

**TUGAS AKHIR  
STUDI EKSPERIMENTAL**

**KUAT LENTUR GELAGAR PELAT NONPRISMATIK**



Disusun Oleh :

Nama : REPPY  
No. Mhs : 97 511 148  
NIRM :-

Nama : ZAINAL ARIFIN  
No. Mhs : 97 511 400  
NIRM :-

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

**TUGAS AKHIR  
STUDI EKSPERIMENTAL**

**KUAT LENTUR GELAGAR PELAT NONPRISMATIK**



**Disusun Oleh :**

**Nama : REPPY  
No. Mhs : 97 511 148  
NIRM : -**

**Nama : ZAINAL ARIFIN  
No. Mhs : 97 511 400  
NIRM : -**

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

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**KUAT LENTUR GELAGAR PELAT NONPRISMATIK**

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

**Disusun Oleh :**

**Nama : REPPY**  
**No. Mhs : 97 511 148**

**Nama : ZAINAL ARIFIN**  
**No. Mhs : 97 511 400**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Ir. FATKHURROHMAN N.S.,MT**  
Dosen Pembimbing I

**Ir. HELMY AKBAR BALE ,MT**  
Dosen Pembimbing II



Tanggal :



Tanggal :

## LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Tugas Akhir ini Kami persembahkan untuk:*

- ❖ *Almamater tercinta Universitas Islam Indonesia*
- ❖ *Teman-teman Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia*

*Semoga tugas akhir ini bermanfaat dikemudian hari*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

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

Tugas akhir dengan judul **KUAT LENTUR GELAGAR PELAT NONPRISMATIK** diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil Pada Jurusan Teknik Sipil,Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

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

1. Bapak Prof.Ir.H.widodo, MSCE PHD, selaku Dekan FTSP-Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Ir Fatkhurrohman Nursodik, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan juga selaku Kepala Laboratorium Mekanika Rekayasa,

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ,Universitas Islam Indonesia , yang telah memberikan ide-ide dan bimbingannya hingga tugas akhir ini.

3. Bapak Ir Helmy Akbar Bale, Mt, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah banyak memberikan dukungan Moral maupun materi kepada kami.
5. Ainun Fadillah, Bayu, Toni, Diang, Memet, dan banyak teman-teman yang tidak dapat disebutkan yang banyak memberikan sumbangsuhnya.
6. Keluarga Besar di Pontianak yang mendukung maupun yang tidak mendukungku selama ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu kami dalam penyusunan tugas akhir ini.
8. Penyusun mnyadari bahwa penulisan tugas ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan ilmu,kemampuan dan pengalaman kami dalam penelitian dan penulusan. Untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harafkan guna perbaikan dan pengalaman selanjutnya.

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

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

*Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Jogjakarta, september 2003

Penulis

## DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR SIMBOL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
ABSTRAKSI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
BAB III LANDASAN TEORI.....	7
3.1 Umum .....	7

3.1.1 Gelagar Pelat.....	7
3.1.2 Stabilitas Pelat .....	8
3.1.3 Tekuk Lokal Gelagar Pelat.....	10
3.1.4 Lentur Pada Gelagar Pelat.....	10
3.2 Tekuk Pada Bidang Badan.....	12
3.2.1 Tekuk Pada Bidang Badan Akibat Lentur.....	12
3.2.2 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni.....	14
3.2.3 Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni.....	17
3.3 Tekuk Vertikal Pada Sayap.....	18
3.4 Tekuk Elastis Pada Pelat Sayap.....	21
3.5 Kekuatan Lentur Batas Pada Gelagar.....	23
3.6 Kekuatan Geser Dari Aksi Medan Tarik.....	25
3.7 Hubungan Momen – Kelengkungan.....	26
3.8 Hubungan Beban – Lendutan.....	29
3.9 Daktilitas.....	33
<b>BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN.....</b>	<b>35</b>
4.1 Metode Penelitian.....	35
4.2 Bahan Penelitian.....	36
4.3 Alat Yang Digunakan.....	36
4.4 Benda Uji.....	40
4.5 Pembuatan Benda Uji.....	41
4.6 Jumlah Benda Uji.....	41

4.7 Pengujian Benda Uji.....	42
4.7.1 Pengujian Kuat Lentur.....	42
4.7.2 Pengujian Kuat Tarik Baja.....	43
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>44</b>
5.1 Hasil Penelitian.....	44
5.1.1 Kualitas Pelat Baja.....	44
5.1.2 Hubungan Beban – Lendutan.....	44
1. Hubungan Beban - Lendutan Teoritis.....	44
2. Hubungan Beban – Lendutan Hasil Penelitian.....	45
3. Grafik Hubungan Beban – Lendutan.....	46
4. Analisa Data Hubungan Beban- Lendutan.....	47
5.1.3 Hubungan Momen Kelengkungan.....	48
1. Hubungan Momen – Kelengkungan Teoritis.....	48
2. Hubungan Momen – Kelengkungan Hasil Penelitian.....	49
3. Analisa Data Hubungan Momen – Kelengkungan....	50
4. Analisa Kerusakan Pada Benda Uji.....	51
5.2 Pembahasan.....	51
5.2.1 Kuat Lentur Gelagar Pelat Ditinjau Dari Hubungan Beban – Lendutan.....	51
5.2.2 Daktilitas Simpangan Gelagar Pelat Ditinjau Dari Hubungan Beban - Lendutan.....	52

5.2.3	Kuat Lentur Gelagar Pelat Ditinjau Dari Hubungan Momen - Kelengkungan.....	53
5.2.4	Daktilitas Lengkung Gelagar Pelat Ditinjau Dari Hubungan Momen – Kelengkungan.....	54
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>56</b>
6.1	Kesimpulan.....	56
6.2	Saran.....	57

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Penampang Gelagar Plat.....	7
Gambar 3.2	Balok statis tertentu dengan beban terdistribusi merata.....	11
Gambar 3.3	Koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni.....	13
Gambar 3.4	Teori geser klasik .....	14
Gambar 3.5	Dua keadaan dari jarak pengaku antara .....	15
Gambar 3.6	Kapasitas geser yang tersedia dengan memperhitungkan kekuatan pasca tekuk.....	17
Gambar 3.7	Gaya Sayap Akibat lengkungan gelagar.....	18
Gambar 3.8	Pengaruh Komponen Gaya Sayap Yang Tegak lurus Pelat Sayap.....	19
Gambar 3.9	Pelat Yang Ditekan Merata.....	21
Gambar 3.10	Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar.....	22
Gambar 3.11	Kekuatan Lentur Gelagar yang Dipengaruhi oleh Tegangan Lentur Pada Pelat Badan : A36.....	24
Gambar 3.12	Aksi medan tarik .....	25
Gambar 3.13	Hubungan Momen – Kelengkungan .....	27
Gambar 3.14	Momen – Kelengkungan .....	28
Gambar 3.15	Garis elastika balok sederhana.....	30
Gambar 3.16	Hubungan beban – lendutan pada balok.....	32
Gambar 4.1	<i>Flow chart</i> metode penelitian.....	35

Gambar 4.2	<i>Loading frame</i> .....	37
Gambar 4.3	Dial Gauge.....	38
Gambar 4.4	Hidraulic Jack.....	39
Gambar 4.5	Dukungan sendi dan rol.....	39
Gambar 4.6	Model benda uji.....	40
Gambar 4.7	Gambar sampel benda uji.....	42
Gambar 4.8	Perletakan benda uji.....	43
Gambar 5.1	Grafik hubungan beban – lendutan hasil penelitian dan teoritis.....	47
Gambar 5.2	Grafik hubungan momen – kelengkungan hasil penelitian.....	49

## DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Hasil uji tarik baja .....	44
Tabel 5.2	Perhitungan beban – lendutan secara teoritis.....	45
Tabel 5.3	Perhitungan beban – lendutan hasil penelitian Gelagar Pelat nonPrismatik.....	46
Tabel 5.4	Kekuatan maksimum dua jenis Gelagar Pelat.....	46
Tabel 5.5	Analisa kekakuan dari data hubungan beban – lendutan.....	48
Tabel 5.6	Analisa daktilitas lendutan data hubungan beban – lendutan.....	48
Tabel 5.7	Analisa kekakuan dari data hubungan momen – kelengkungan.....	50
Tabel 5.8	Analisa daktilitas lengkung dari data hubungan momen – kelengkungan.....	50

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perhitungan Benda Uji
- Lampiran 2 Perhitungan Jumlah Baut.
- Lampiran 3 Hasil Pembebanan Benda Uji
- Lampiran 4 Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel Pelat Prismatic
- Lampiran 5 Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel Pelat nonPrismatic
- Lampiran 6 Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk Pelat (k)
- Lampiran 7 Perhitungan Lendutan Pada Balok NonPrismatic
- Lampiran 8 Gambar Pelaksanaan Pengujian

## DAFTAR SIMBOL

- $a$  = Jarak antar pengaku
- $A_f$  = Luas bruto sebuah sayap
- $A_w$  = Luas badan
- $b$  = Lebar sayap
- $C_v$  =  $\tau_{cr} / \tau_y$  = Stabilitas elastis
- $d$  = Tinggi keseluruhan penampang baja
- $E$  = Modulus elastisitas tarik tekan
- $f_b$  = Tegangan lentur beban layanan
- $f_c$  = Tegangan tekan
- $F_{cr}$  = Tegangan kritis
- $F_y$  = Tegangan leleh
- $h$  = Tinggi badan
- $I$  = Momen inersia tampang
- $k$  = Koefisien tekuk tekan pelat
- $L$  = Panjang bentangan
- $M$  = Momen lentur
- $M_{cr}$  = Kekuatan momen tekuk punter lateral
- $M_n$  = Kekuatan momen nominal

- $M_u$  = Momen layanan terfaktor  
 $P$  = Beban aksial layanan  
 $P_y$  = Beban leleh  
 $r_y$  = Radius girasi  
 $S$  = Modulus penampang elastis  
 $S_x$  = Modulus penampang elastis menurut sumbu x  
 $t_f$  = Tebal sayap  
 $t_w$  = Tebal badan  
 $V_n$  = Kekuatan geser nominal  
 $Y$  = Jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral  
 $Z$  = Modulus plastis  
 $\epsilon_f$  = Regangan sayap  
 $\rho$  = Jari-jari kelengkungan  
 $\mu$  = Rasio Poisson = 0,03; daktilitas  
 $\sigma$  = Tegangan  
 $\Delta$  = Defleksi  
 $\Phi$  = Kelengkungan  
 $\tau$  = Tegangan geser  
 $\pi$  = 3,14

## ABSTRAKSI

Gelagar pelat adalah komponen struktur lentur tersusun yang didesain dan dipabrikasi untuk memenuhi kebutuhan profil penampang struktur bentang panjang. Untuk menghasilkan gelagar pelat yang efisien, maka kedua sayap diletakkan berjauhan sehingga menghasilkan gelagar pelat berbadan langsing. Hal ini menyebabkan gelagar pelat rawan akan tekuk sehingga diperlukan pengaku antara dan pengaku landasa pada badan. Tinggi pelat badan dengan nilai inersia yang bervariasi pada gelagar pelat diharapkan memiliki kapasitas momen lentur yang besar dan bervariasi, tetapi menyebabkan penampang tidak kompak.

Pada penelitian eksperimental gelagar pelat dengan dukungan sederhana (sendi-rol) dilakukan untuk mengetahui hubungan beban lendutan ( $P-\Delta$ ), momen kelengkungan ( $M-\Phi$ ), dan perilaku gelagar pelat prismatic dan nonprismatic

Pada gelagar pelat yang elemen sayap dan badannya relatif langsing akan mempengaruhi tegangan kritisnya. Profil yang mengalami lentur akibat tegangan lentur akan dibatasi oleh tekuk setempat pada sayap, tekuk setempat pada badan dan tekuk puntir lateral. Kapasitas momen batas gelagar yang tinggi merupakan fungsi dari  $h/t_w$  (menentukan ketidak-stabilan badan (tekuk lentur),  $L/r_y$  (menentukan ketidak-stabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral),  $b/t_f$  (menentukan tekuk setempat/tekuk puntir pada sayap),  $A_w/A_f$  (menentukan pengaruh purna tekuk badan pada sayap). Dengan menganggap bahwa tekuk puntir lateral dan tekuk setempat dicegah maka variabel dari fungsi tersebut menjadi  $h/t_w$  dan  $A_w/A_f$ .

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku gelagar pelat prismatic dan nonprismatic, mengetahui hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) dan kekakuan gelagar ( $k$ ), mengetahui hubungan momen-kelengkungan ( $M-\Phi$ ) dan faktor kekakuan lentur ( $EI$ ). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa : 1) beban yang dapat ditahan oleh gelagar pelat nonprismatic lebih kecil dibanding gelagar pelat prismatic., 2) pada gelagar pelat nonprismatic nilai kekakuannya mengalami penurunan dibanding dengan gelagar pelat prismatic, 3) kuat lentur yang terjadi pada gelagar pelat nonprismatic lebih kecil dibanding gelagar pelat prismatic

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baja termasuk salah satu material yang sering digunakan untuk komponen struktur. Ukuran penampang baja yang tersedia saat ini terbatas sehingga baja struktur hanya digunakan sebagai struktur lentur bentang pendek. Untuk memenuhi kebutuhan penampang struktur berbentuk panjang digunakan profil tersusun, salah satu diantaranya adalah gelagar pelat (*plate girder*) yang diproporsikan sebagai komponen struktur untuk menahan lentur.

Gelagar pelat (*plate girder*) merupakan balok tinggi dengan ukuran penampang yang dapat dibuat bervariasi. Gelagar pelat (*plate girder*) paling sederhana penampangnya terdiri dari sayap atas, sayap bawah dan badan. Kedua sayap tersebut berfungsi menahan momen sedangkan badan berfungsi sebagai penahan gaya geser dan sebagian kecil momen serta menghubungkan kedua sayap agar bekerja sebagai satu kesatuan. Suatu pelat badan yang mempunyai tinggi lebih mengalami momen besar dapat menyebabkan (*Premature Collepse*) yaitu keruntuhan dibawah tegangan leleh yang berupa tekuk lokal badan atau sayap. Untuk menghindari tekuk badan diperlukan pengaku antara maupun pengaku landasan sehingga dihasilkan kekuatan purna tekuk

Pada gelagar pelat nonprismatik yang memiliki nilai inersia bervariasi diharapkan akan menghasilkan lendutan yang kecil sehingga dapat mengurangi jumlah bahan yang dipergunakan. Disamping itu besar kecilnya penampang pada

balok yang digunakan tergantung dari besar kecilnya momen yang terjadi dan ini sangat bergantung pada jumlah, letak dan tumpuan dari balok tersebut. Pada gelagar pelat prismatic biasanya lendutan yang terjadi besar sehingga mengakibatkan penampilan jelek dan struktur yang terlalu lemas. Hal ini biasanya terjadi pada waktu perencanaan bangunan.

Melihat kondisi tersebut, timbul pemikiran untuk mempelajari dan melakukan penelitian tentang perilaku gelagar pelat yang mempunyai tinggi bervariasi (nonprismatic). sehingga dapat diketahui kapasitas lentur yang dapat ditahan oleh gelagar pelat, beban-deformasi, momen-kelengkungan, selain itu dapat pula dicari koefisien kekakuan pelat.

## 1.2 Tujuan penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan mempelajari perilaku gelagar pelat penampang/bentuk I, yaitu :

1. Mendapatkan gambaran tentang perilaku gelagar pelat sederhana (sendi-rol) prismatic dan nonprismatic
2. Mengetahui hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) dan kekakuan gelagar ( $k$ )
3. mengetahui hubungan momen-kelengkungan ( $M-\Phi$ ) dan faktor kekakuan lentur ( $EI$ )

## 1.3 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian diharapkan dapat diketahui

1. tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) elemen gelagar pelat nonprismatic yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan.

2. memberikan alternatif lain sebagai bahan pertimbangan, jika ditemukan permasalahan-permasalahan yang identik dengan penelitian ini, sehingga kebijaksanaan yang diambil dapat lebih optimal.
3. memberikan masukan kepada pembaca sebagai pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan struktur baja.

#### **1.4 Batasan Masalah**

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

1. Profil yang digunakan adalah profil-I.
2. Gelagar pelat yang dianalisa adalah gelagar plat nonprismatik dan prismatik.
3. Model pembebanan menggunakan pembebanan dua titik dan menguji kuat lentur gelagar pelat.
4. Bentang gelagar pelat (  $L$  ) konstan yaitu 4500 mm.
5. Alat sambung yang digunakan adalah baut.

#### **1.5 Lokasi Penelitian**

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

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Gelagar pelat adalah suatu balok yang dibuat dari elemen-elemen pelat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien daripada yang diperoleh dengan balok tempa. Gelagar pelat cukup ekonomis bila bentangnya cukup panjang sehingga memungkinkan penghematan biaya dengan cara memproporsionalkan terhadap persyaratan-persyaratan tertentu ( **Salmon dan Johnson, 1996** ).

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

Apabila pelat bisa dianggap jepit sempurna ( pengekangan sempurna terhadap rasio tepi ) sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan yaitu ditepi disambung dengan sayap, maka harga  $k$  minimum untuk sembarang rasio  $a/h$  menjadi 39,6. Jika sayap dianggap tidak mengekang rotasi tepi, maka harga  $k$  minimum menjadi 23,9 ( **Timoshenko dan Wainowsky, 1959** ).

**Salmon dan Johnson (1986)** mengemukakan bahwa Profil giling ataupun profil tersusun terdiri dari elemen-elemen pelat, kekuatannya yang didasarkan pada angka kelangsingan keseluruhan hanya dapat tercapai jika elemen pelat tersebut tidak tertekuk setempat.

Menurut **Salmon dan Johnson (1996)** menyimpulkan bahwa kuat lentur dan geser gelagar pelat pada umumnya berhubungan dengan badan balok, dan badan balok yang ramping mengakibatkan permasalahan antara lain:

1. Tekuk sayap tekan dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah tekuk sedemikian rupa.
2. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok tersebut untuk memikul beban elastis dan momen lentur.
3. Tekuk karena geser

penampang profil tempa terdiri dari elemen-elemen pelat. Sampai diperhatikannya kemungkinan tekuk batang berdasarkan rasio kerampingan untuk keseluruhan penampang lintang. Akan tetapi, mungkin saja tekuk local terjadi lebih dahulu pada salah satu pelat pembentuk penampang tersebut (**Salmon dan Johnson, 1992**).

Tekuk lokal dipengaruhi oleh nilai  $b/t$ , bila nilai  $b/t$  rendah, pengerasan regangan dapat tercapai tanpa mengalami tekuk, sedang untuk harga  $b/t$  menengah, tegangan sisa dan ketidaksempurnaan menyebabkan tekuk tak elastik atau masa transisi dan untuk  $b/t$  besar maka akan melampaui kekuatan tekuk yakni pelat itu akan menunjukkan terjadinya kekuatan pasca tekuk ( **Salmon dan Johnson, 1992** ).

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

**Gere dan Timoshenko (1987), Linn S Beedle (1958)** mengemukakan bahwa lendutan maksimum terjadi dekat tengah-tengah balok sehingga memberikan suatu perkiraan yang baik dari besarnya lendutan maksimum. Pada keadaan yang paling menguntungkan dimana, perbedaan antara lendutan maksimum dan lendutan di tengah-tengah balok adalah lebih kecil dari pada 3%.

**Gere dan Timoshenko (1987), Linn S Beedle (1958)** menyatakan bahwa lendutan dapat dihitung dengan berbagai cara diantaranya adalah metode luas momen. Metode luas momen yaitu metode yang memanfaatkan sifat-sifat diagram luas momen lentur, karena dengan cara ini kita dapat memperoleh besaran-besaran lendutan yang diinginkan dan putaran sudut pada satu titik saja tanpa mencari persamaan selengkapya dari garis lentur terlebih dahulu.

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

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Umum

##### 3.1.1 Gelagar pelat.

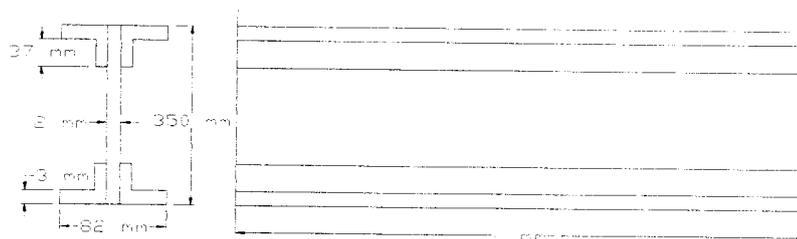
Gelagar pelat adalah suatu balok yang dibuat dari elemen-elemen pelat untuk mendapatkan penampang gelagar pelat yang terdiri dari pelat sayap (atas dan bawah) dan pelat badan. Berikut ini dikemukakan oleh **Salmon dan Johson,1996** beberapa elemen-elemen dasar gelagar pelat:

1. Pelat Badan

Berupa pelat baja yang diletakkan memanjang vertikal, umumnya pelat badan relatif langsing yang diperkaku dengan pelat sayap dan pengaku transversal.

2. Pelat Sayap

Pelat baja ini terdiri dari dua bagian yang diletakkan pada posisi memanjang horizontal yang dibaut pada bagian atas dan bawah badan



**Gambar 3.1** Penampang gelagar pelat

### 3.1.2 Stabilitas Pelat

Stabilitas pelat yang diuraikan Timoshenko yang dimodifikasi oleh Gerstle dengan melakukan pendekatannya yaitu suku umum  $q$  dinyatakan komponen beban transversal akibat lenturan pelat, komponen transversal dari gaya tekan  $N_x$  ketika pelat melendut ke posisi tertekuk perlu ditinjau. Persamaan differensial untuk lenturan pelat homogen yang diturunkan dari teori pelat oleh **Timoshenko (1959)**, yang ditunjukkan pada Persamaan 3.1.

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

$D$  = rigiditas fleksural per panjang satuan pelat.

$q$  = beban pada bentang balok.

Jika Persamaan 3.1 dituliskan untuk balok dengan lebar  $b$ , persamaan diferensial untuk beban menjadi

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

dengan  $I = r^3 b / [12(1-\mu^2)]$  dan  $qb$  adalah beban persatuan panjang bentang balok.

Di samping suku umum  $q$  yang menyatakan komponen beban transversal akibat lenturan pelat, komponen transversal dari gaya tekan  $N_x$  ketika pelat melendut adalah

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

Persamaan diferensial, Persamaan 3.1 menjadi

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

dari Persamaan 3.4 jika jika diuraikan lebih lanjut dengan menyatakan lendutan  $w$  sebagai perkalian fungsi  $x$  ( $X$ ) dan fungsi  $y$  ( $Y$ ). Juga, tekuk dapat menimbulkan lendutan yang berbentuk kurva sinus dalam arah  $x$  akan didapatkan Persamaan 3.5

$$N_x = \frac{D\pi^2}{b^2} \left[ \frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \dots (3.5)$$

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

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \dots (3.6)$$

untuk kasus khusus pada pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana, harga  $k$  menurut **Salmon dan Johnson (1994)** adalah

$$k = \left[ \frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \dots (3.7)$$

Semakin besar nilai koefisien tekuk ( $k$ ), maka tegangan kritisnya ( $F_{cr}$ ) semakin besar sedangkan untuk nilai aspek rasio ( $b/t$ ) yang diperbesar, maka semakin kecil nilai tegangan kritisnya ( $F_{cr}$ ). Nilai koefisien tekuk ( $k$ ) bergantung pada kondisi tepi pelat yang sejajar arah gaya dan distribusi tegangan. Koefisien tekuk ( $k$ ) merupakan fungsi dari jenis tegangan (dalam hal ini tekanan merata pada dua tepi yang berseberangan) dan kondisi tumpuan tepi.

### 3.1.3 Tekuk Lokal Pada Gelagar Pelat

**Salmon dan Johnson (1992)** menyatakan bahwa bila gelagar pelat memiliki stabilitas lateral yang cukup pada flens tekannya, satu-satunya keadaan batas yang mungkin membatasi kekuatan momen adalah tekuk lokal pada tekan flens dan atau elemen pelat yang membentuk penampang lintang gelagar tersebut.

Menurut **Salmon dan Johnson (1992)** tekuk lokal dipengaruhi oleh nilai  $b/t$ . Bila nilai  $b/t$  rendah, pengerasan regangan dapat tercapai tanpa terjadinya tekuk; sedang untuk harga  $b/t$  menengah, tegangan sisa dan ketidak sempurnaan menyebabkan tekuk tak elastik atau masa transisi dan untuk  $b/t$  besar maka akan melampaui kekuatan tekuk yakni pelat itu akan menunjukkan terjadinya kekuatan pasca tekuk.

Tekuk lokal selain dipengaruhi oleh nilai  $b/t$  juga dipengaruhi oleh nilai koefisien tekuk ( $k$ ) yaitu semakin besar nilai koefisien tekuk maka semakin besar pula nilai tegangan kritis tekuk yang terjadi.

Persyaratan untuk mencapai tegangan leleh tanpa tekuk lokal adalah

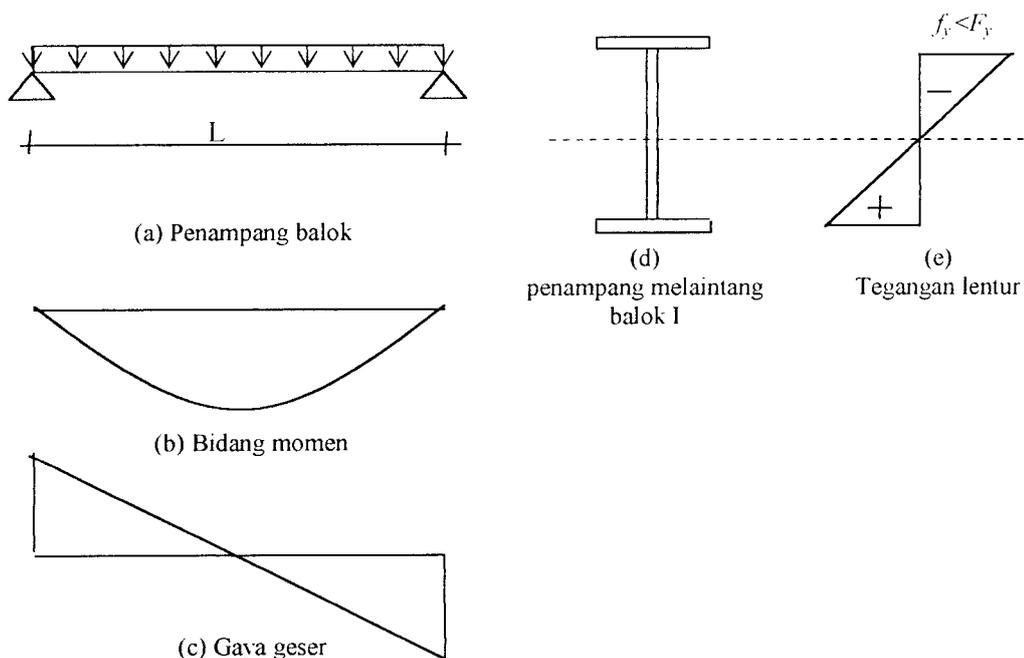
$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \geq F_y \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan  $k$  adalah konstanta tekuk merupakan fungsi distribusi tegangan dan kondisi di tepi pelat.

### 3.1.4 Lentur Pada Gelagar Pelat

Menurut **Bowles (1980)** komponen struktur yang mengalami lentur banyak dijumpai sebagai balok maupun gelagar pelat. Salah satu contoh struktur yang

mengalami lentur adalah balok sederhana (*simple beam*) yang penampangnya berbentuk I menerima beban terdistribusi (Gambar 3.2a), akibat beban tersebut balok menerima momen lentur (Gambar 3.2b) dan gaya geser (Gambar 3.2c). Akibat momen, penampang balok mengalami tegangan lentur (*bending stress*) (Gambar 3.2e), sedangkan gaya geser menimbulkan tegangan geser. Dalam keadaan penampang masih elastis, distribusi tegangan pada penampang balok linier.



**Gambar 3.2** Balok statis tertentu dengan beban terdistribusi merata

Tegangan pada serat yang letaknya  $y$  dari sumbu netral (**Bowles, 1980**) adalah

$$f_b = \pm \frac{M \cdot y}{I} \dots\dots\dots (3.9)$$

$M$  = momen pada penampang yang ditinjau

$y$  = jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral

$I$  = momen inersia.

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

$$f_b = \pm \frac{M.C}{I} \dots\dots\dots (3.10)$$

Karena  $\frac{I}{C} = S$ , Persamaan 3.10 dapat ditulis kembali dalam bentuk

$$f_b = \pm \frac{M}{S} \dots\dots\dots (3.11)$$

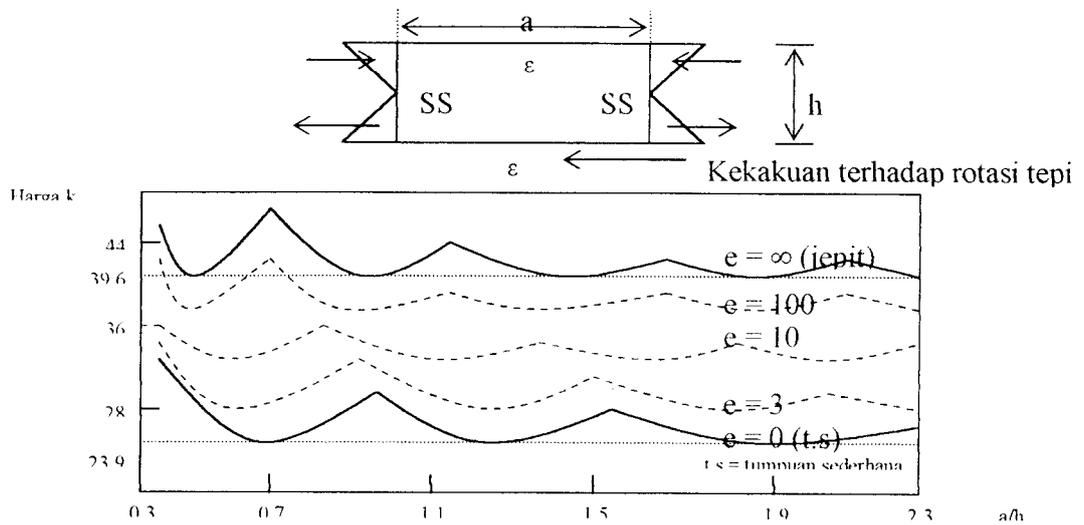
dengan  $S$  adalah modulus potongan (*section modulus*). Pada penampang balok yang momen inersianya diperbesar, maka tegangan di serat terluar pada penampang balok ( $f_b$ ) menjadi kecil.

## 3.2 Tekuk Pada Bidang Badan

### 3.2.1 Tekuk Pada Bidang Badan Akibat Lentur

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

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



**Gambar 3.3** Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni

Pada Gambar 3.3 jika pelat bisa dianggap jepit sempurna sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan maka harga k minimum untuk sembarang rasio a/h menjadi 39,6, sedangkan sayap dianggap tidak mengekang secara rotasi tepi maka harga k minimum menjadi 23,9 walaupun tegangan lentur dan geser pada daerah tertentu sepanjang bentang gelagar biasanya bisa ditinjau secara terpisah umumnya tegangan geser dan lentur selalu ada yang bersama-sama mengakibatkan ketidak-stabilan elastis.

### 3.2.2 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut **Salmon dan Johnson, 1996**, tegangan tekuk elastis untuk satu pelat ditentukan oleh Persamaan 3.12 sebagai :

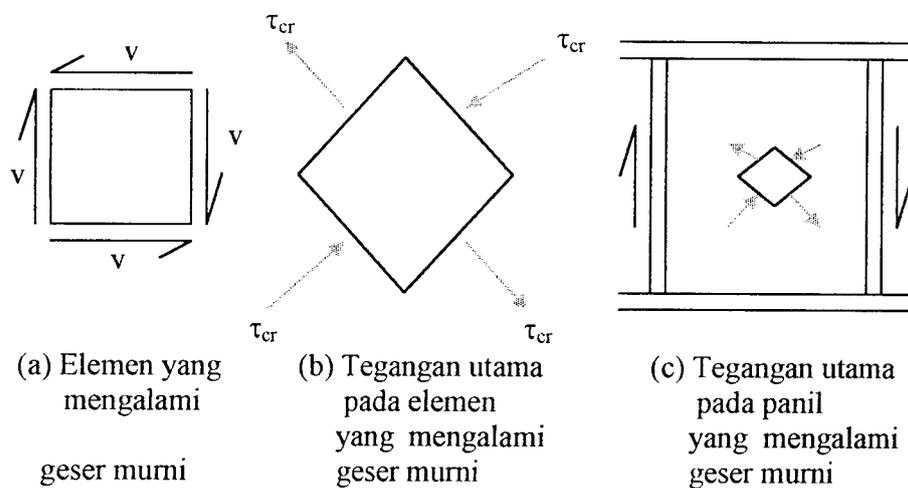
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \tag{3.12}$$

Untuk kasus geser murni Persamaan 3.12 bisa dituliskan dengan mengganti  $F_{cr}$  dengan  $\tau_{cr}$  untuk tegangan geser.

$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left( \frac{\text{sisipendek}}{t} \right)^2} \quad (3.13)$$

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

$$k = 5,34 + 4,0 \left( \frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \quad (3.14)$$



**Gambar 3.4** Teori geser klasik (Salmon dan Johnson,1986)



$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 Ek}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.17)$$

dengan :

$$K = 4,0 + 5,34/(a/h)^2, \text{ untuk } a/h \leq 1 \quad (3.18)$$

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

tampak pada Persamaan 3.18 dan 3.19 bila nilai  $a/h$  semakin kecil, maka nilai  $k$  akan semakin besar sehingga menghasilkan tegangan geser kritis ( $\tau_{cr}$ ).

Dalam **AISC-1.10.5**, Persamaan 3.17 ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien  $C_v$  sebagai rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan leleh geser,

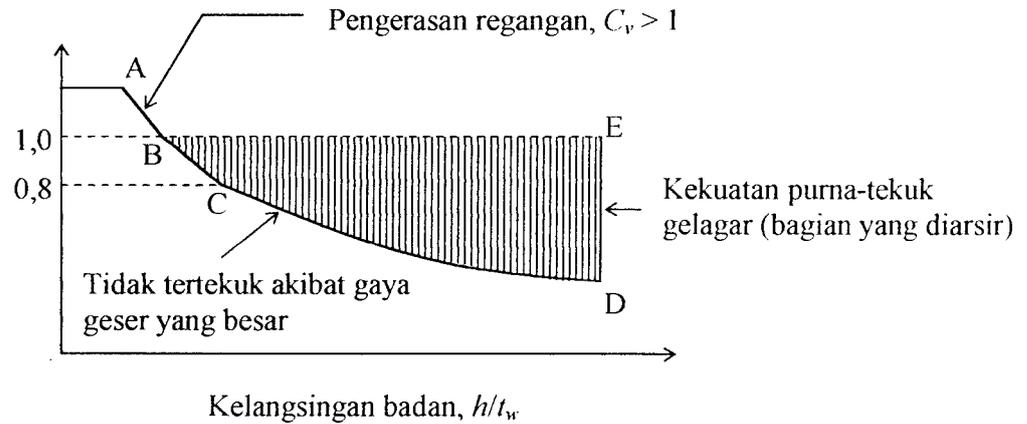
$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{\tau_y (12)(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.20)$$

tampak bahwa  $C_v$  merupakan stabilitas elastis. Substitusi nilai  $E = 200000 \text{ MPa}$ ,  $\mu = 0,3$ ,  $\tau_y = 0,6 F_y$  ke Persamaan 3.20 menjadi :

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t)^2 F_{yw} (\text{Mpa})} \quad (3.21)$$

Pada Gambar 3.6 menunjukkan bahwa nilai  $C_v$  semakin kecil jika nilai  $h/t_w$  semakin besar. Pelat yang diperkuat oleh sayap dan pengaku memiliki kekuatan purna tekuk yang cukup besar. Agar pemakaian bahan pelat badan pada gelagar pelat efisien, badan harus tipis sehingga tekuk terjadi pada tegangan geser yang ada. Dengan adanya pengaku kekuatan geser dapat dinaikan dari kekuatan

berdasarkan tekuk (ABCD pada Gambar 3.6) mendekati kondisi yang selaras dengan leleh geser pada balok klasik (ABE Gambar 3.6).



**Gambar 3.6** Kapasitas geser yang tersedia dengan memperhitungkan kekuatan pasca tekuk (Salmon dan Johson, 1992)

### 3.2.3 Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni

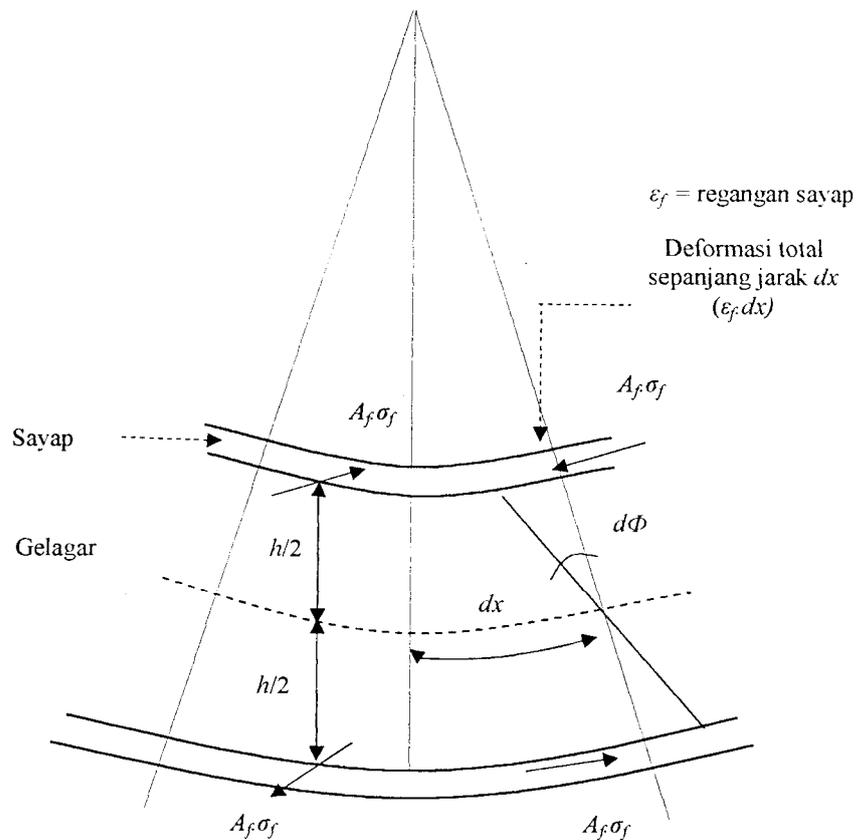
Sebagaimana dalam situasi stabilitas, tegangan sisa dan ketidaksempurnaan (*imperfection*) mengakibatkan tekuk tak elastis pada saat tegangan kritis mendekati tegangan leleh.

$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{\text{batas proporsional}} \tau_{cr(\text{elastikideal})}} \quad (3.22)$$

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

$$C_v = \frac{491}{h/t_w} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.23)$$

### 3.3 Tekuk Vertikal Pada Sayap



**Gambar 3.7** Gaya sayap akibat lengkungan gelagar

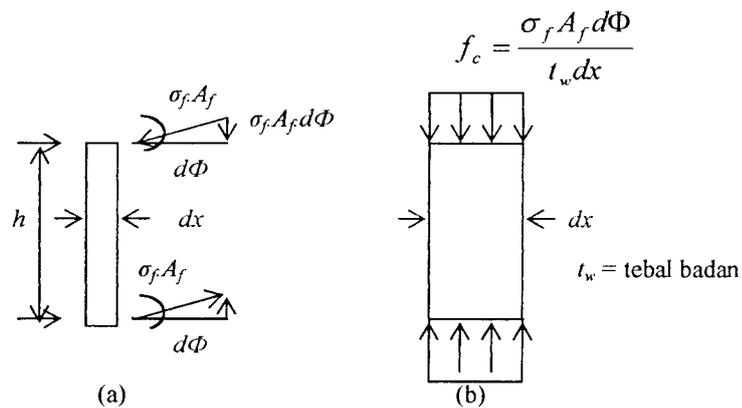
Gelagar yang melengkung, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7, kurvatur tersebut memperbesar komponen-komponen gaya flens yang mengakibatkan tegangan tekan pada tepi-tepi badan yang berhubungan dengan flens tersebut. Apabila badan balok tetap stabil terhadap tegangan tekan akibat komponen-komponen gaya tersebut, berarti sayap tidak dapat tertekuk vertikal (Salmon dan Johnson, 1996).

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

$$\varepsilon_f dx = d\Phi \frac{h}{2} \dots\dots\dots (3.24)$$

$$d\Phi = \frac{2\varepsilon_f}{h} dx \dots\dots\dots (3.25)$$

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.



**Gambar 3.8** Pengaruh komponen gaya sayap yang tegak lurus plat sayap

Persamaan 3.25 untuk  $d\Phi$  dimasukkan sehingga

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d\Phi}{t_w dx} = \frac{2\sigma_f A_f \varepsilon_f}{t_w h} \dots\dots\dots (3.26)$$

Tegangan tekuk elastis untuk suatu plat menurut **Salmon dan Johnson (1996)**

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \dots\dots\dots (3.27)$$

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

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \dots\dots\dots (3.28)$$

bila tegangan yang dikenakan, Persamaan 3.14, disamakan dengan tegangan kritis, Persamaan 3.28, akan diperoleh

$$\frac{2\sigma_f A_f \varepsilon_f}{t_w h} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \dots\dots\dots (3.29)$$

dengan memisalkan  $t_w h = A_w$  akan memberikan

$$\frac{h}{t_w} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{24(1-\mu^2)} \left(\frac{A_w}{A_f}\right) \left(\frac{1}{\sigma_f \varepsilon_f}\right)} \dots\dots\dots (3.30)$$

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

$\sigma_f$  secara konservatif dianggap harus mencapai tegangan leleh  $F_{yf}$  agar kapasitas batas sayap tercapai. Jika tegangan residu  $F_r$  bekerja pada sayap maka regangan sayap total akan sama dengan jumlah tegangan residu ditambah tegangan leleh dengan demikian

$$\varepsilon = \frac{(F_r + F_{yf})}{E} \dots\dots\dots (3.31)$$

Regangan ini adalah regangan sayap di dekat badan yang diperlukan.

Substitusi  $\sigma_y = F_{yf}$ ,  $\varepsilon_f =$  Persamaan 3.19,  $E = 200.000$  MPa, dan  $\mu = 0,3$

sehingga Persamaan 3.30 menghasilkan

$$\frac{h}{t} = \frac{135.000 \sqrt{A_w / A_f}}{\sqrt{F_{yf} (F_{yf} + F_r)}} \dots\dots\dots (3.32)$$

yang merupakan harga  $h/t_w$  maksimum yang konservatif untuk mencegah tekuk

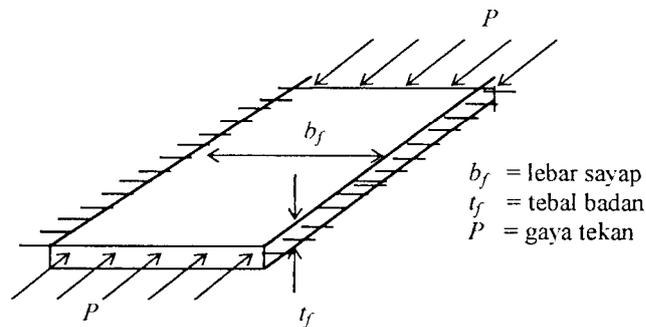
vertikal.  $A_w/A_f$  jarang sekali kurang dari 0,5 dan  $F_r = 114$  MPa merupakan harga yang realistik. Jika harga-harga tersebut dimasukkan, maka

$$\frac{h}{t_w} = \frac{96500}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 114)}} \dots\dots\dots (3.33)$$

bila  $a/h$  tidak melebihi 1,5 maka Persamaan 3.32 menjadi

$$\frac{h}{t_w} = \frac{5250}{\sqrt{F_{yf}}} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (3.34)$$

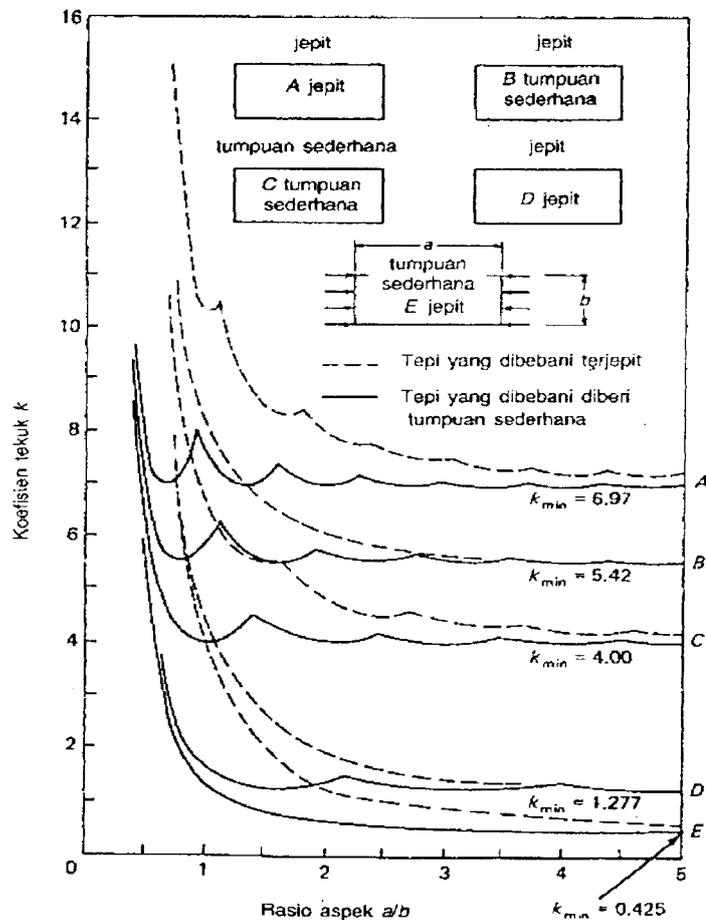
### 3.4 Tekuk Elastis Pada Pelat Sayap



**Gambar 3.9** Pelat yang ditekan merata

Pada dasarnya, pelat yang mengalami tekanan, seperti pada elemen sayap tekan, perilakunya sama dengan kolom. Tekuk pelat yang mengalami tekanan merata ditunjukkan pada gambar 3.9. Tegangan tekuk elastik teoritis atau tegangan kritis pelat yang tertekan dinyatakan pada persamaan 3.12

Nilai  $k$  tergantung pada tipe tegangan kondisi tumpuan tepi dan rasio panjang terhadap lebar (rasio aspek) dari pelat yang bersangkutan. Gambar 3.10 menunjukkan variasi  $k$  terhadap rasio aspek  $a/b$  untuk berbagai kondisi tumpuan tepi ideal



**Gambar 3.10.** Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar (Salmon dan Johson,1996)

Gambar 3.10 memperlihatkan bahwa variasi  $k$  terhadap rasio ( $a/b$ ) untuk kondisi tepi ideal yang umum yaitu jepit, tumpuan sederhana, dan bebas. Untuk pelat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai  $k_{\min} = 6,97$ , pelat dengan tumpuan sederhana-jepit (B) nilai  $k_{\min} = 5,42$ , pelat dengan tumpuan sederhana-sederhana (C) nilai  $k_{\min} = 4$ . Sedangkan untuk pelat dengan tumpuan jepit-bebas, nilai  $k_{\min} = 1,277$ , serta untuk pelat dengan tumpuan sederhana-bebas, nilai  $k_{\min} = 0,425$ . Dalam penelitian ini dipakai pelat dengan tumpuan jepit –bebas dengan nilai  $k_{\min} = 0.425$ .

### 3.5 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 kapasitasnya. Kapasitas momen batas gelagar yang tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t_w}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \dots\dots\dots(3.35)$$

$h/t_w$  = menentukan ketidak-stabilan badan (tekuk lentur)

$L/r_y$  = menentukan ketidak-stabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral)

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

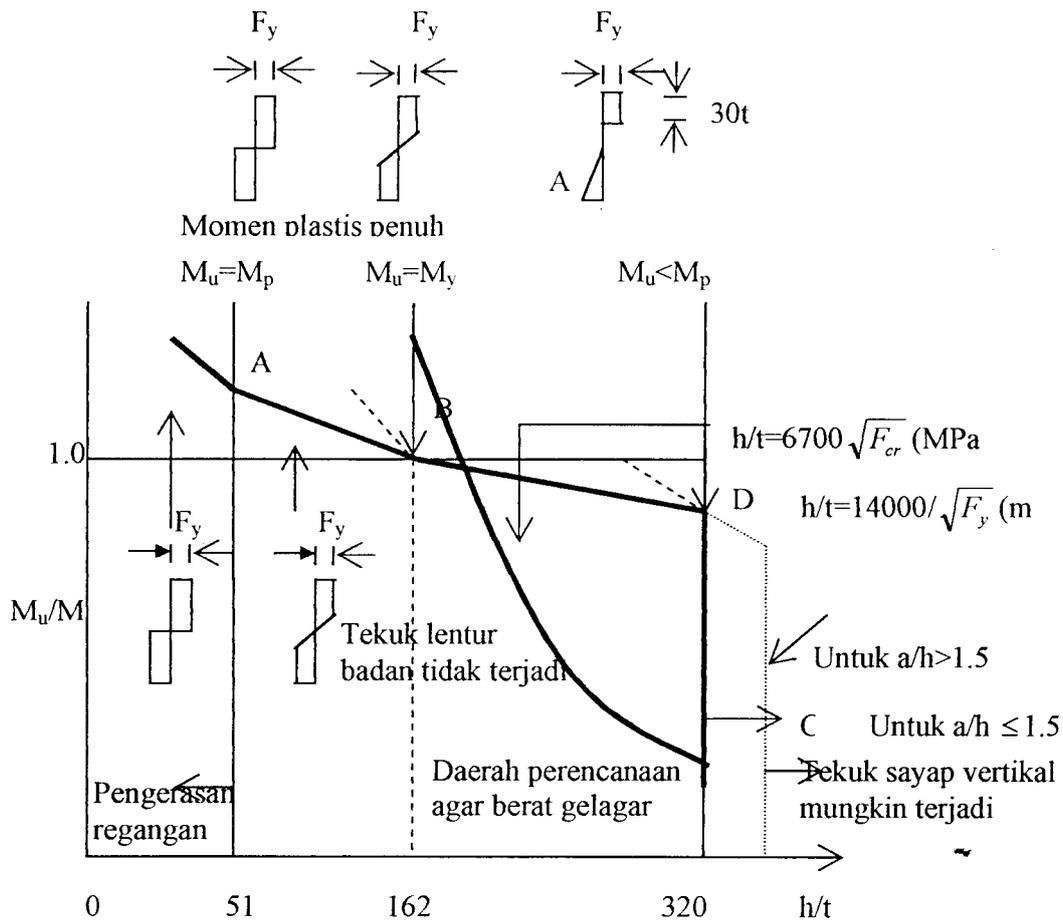
$A_w/A_f$  = menentukan pengaruh purna tekuk badan pada sayap

Gambar 3.11 memperlihatkan hubungan antara kekuatan momen nominal  $M_n$  dan  $h/t_w$ . Gambar ini memperlihatkan bahwa keadaan batas tekuk puntir lateral dan tekuk flens lokal tidak menentukan. Dengan menganggap bahwa tekuk puntir lateral dan tekuk setempat dicegah seperti anggapan yang digunakan pada gambar 3.12, variabel dari fungsi diatas menjadi

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \dots\dots\dots(3.36)$$

Dari gambar 3. memperlihatkan semakin besar nilai  $h/t_w$  maka nilai kapasitas momennya semakin menurun. Merujuk pada gambar 3.12 penurunan yang signifikan terjadi pada  $h/t_w$  lebih besar dari 162 yang ditunjukkan oleh kurva

ABC, namun dengan memberi pengaku pada gelagar pelat maka penurunan nilai kapasitas momennya tidak terlalu besar yang ditunjukkan oleh kurva ABC.



**Gambar 3.11** Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh teg lentur pada pelat badan : baja A36

bila keadaan batas yang menentukan mencegah tegangan sayap mencapai  $F_y$ , maka tegangan dari keadaan batas yang menentukan  $F_{cr}$  harus menggantikan  $F_y$ , maka secara umum kekuatan tereduksi  $M_n$  menurut **Salmon dan Johnson (1956)**

$$M_n = \frac{F_y J_e}{(1 - k)h} \dots\dots\dots(3.37)$$

dengan persamaan untuk k adalah

$$k = \sqrt{\frac{192}{1024} + \frac{38}{16\rho} + \frac{4}{\rho^2} - \left(\frac{3}{32} - \frac{2}{\rho}\right)} \dots\dots\dots(3.38)$$

persamaan untuk nilai  $I_x$ ,

$$I_x = A_f(k \cdot h)^2 + \frac{2}{3} t_w(k \cdot h)^3 + A_f(1-k)^2 2h^2 + \frac{6t_w \cdot h}{32} \left(\frac{61}{64}h - kh\right)^2 \dots\dots\dots(3.39)$$

nilai  $\rho$  adalah

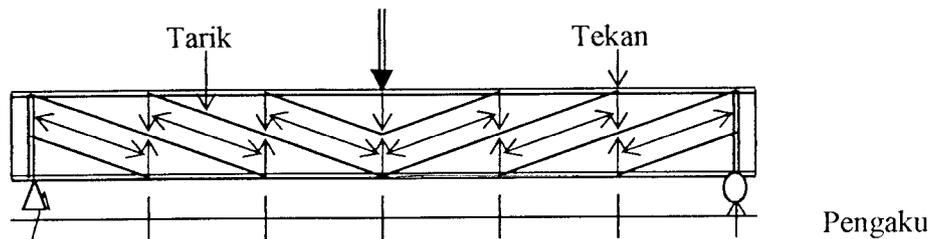
$$\rho = \frac{A_w}{A_f} = \frac{t_w \cdot h}{t_f \cdot b_f} \dots\dots\dots(3.40)$$

persamaan untuk momen leleh adalah

$$MM_y = F_y \cdot A_f \cdot h \left(1 + \frac{\rho}{6}\right) \dots\dots\dots(3.41)$$

**3.6 Kekuatan Geser dari Aksi Medan Tarik**

Jika  $h/t_w$  cukup kecil, maka tekukan badan tidak akan terjadi dibawah gaya geser sebelum terjadi luluh gaya geser. Sebenarnya badan balok sebagai bagian dari konstruksi lentur dipengaruhi oleh sebuah momen lentur pengangkut gaya geser yang berada di dalam sebuah “medan tarik “ dimana pengaku adalah bagian konstruksi desak dan segmen badan diantara pengaku adalah elmen tarik.



**Gambar 3.12** Aksi medan tarik (Johnson,1986)

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

$$V_n = V_{cr} + V_{tf} \quad (3.42)$$

Kekuatan tekuk nominal dengan  $V_n = V_{cr}$ , dimana  $C_v = \tau_{cr}/\tau_y$ , maka

$$V_{cr} = C_v \cdot \tau_y \cdot A_y \quad (3.43)$$

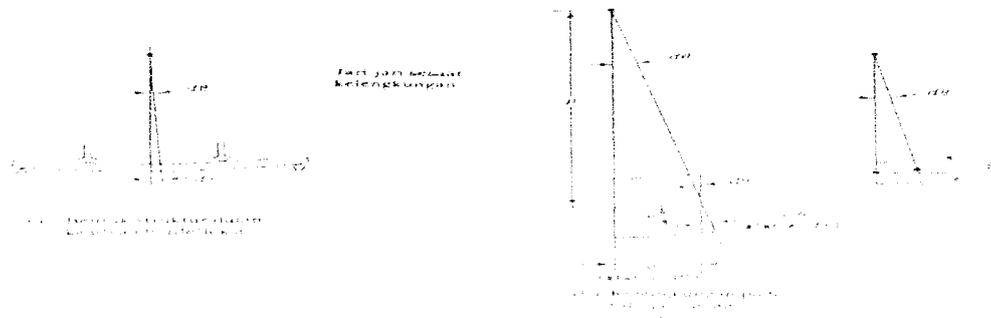
Kekuatan geser  $V_{tf}$  berasal dari aksi medan tarik dalam badan gelagar menimbulkan suatu pita gaya-gaya tarik yang terjadi setelah badan itu mengalami tekuk akibat tekan diagonal. Keseimbangan gaya dipertahankan melalui transfer gaya ke pengaku vertikal.

Kekuatan geser  $V_{tf}$  dinyatakan dalam Persamaan berikut ini :

$$V_{tf} = \sigma_t \frac{h_{tw}}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.44)$$

### 3.7 Hubungan Momen-Kelengkungan

Menurut **Scohodek 1991** hubungan yang ada diantara momen di suatu titik dan kelengkungan elemen struktur pada titik yang sama. Momen menyebabkan terjadinya lenturan pada struktur. Semakin besar momen tersebut, akan semakin besar pula lenturan yang di akibatkannya. Potongan kecil dari suatu balok yang mengalami lentur Gambar 3.13. Anggap bahwa bidang yang semula datar pada balok akan tetap datar pada saat melentur. Dengan demikian, dua bidang yang berdekatan ( mempunyai jarak sebesar  $d\sigma$ ) pada saat balok melentur akan mengalami rotasi relatif sebesar  $d\theta$ .



**Gambar 3.13** Hubungan momen kelengkungan ( Schodek, 1991 )

Serat-serat dibagian atas akan memendek, sedangkan yang dibagian bawah akan memanjang. Perpanjangan serat yang terletak sejauh  $y$  dari bidang netral (bidang horizontal yang mempunyai deformasi 0) dapat diperoleh dengan meninjau lokasi semula kedua bidang. Perpanjangan ini adalah busur lingkaran yang mempunyai jari-jari  $y$  dan dibatasi sudut  $d\theta$ . Jadi, perpanjangannya adalah  $y\theta$ . Apabila panjang elemen sebelum deformasi adalah  $dx$  dan regangan (deformasi per satuan panjang) pada  $y$  adalah  $\epsilon_y$ , maka  $y d\theta = \epsilon_y dx$ , atau  $\epsilon_y = d\theta/dx$ , atau  $(d\theta/dx) = \epsilon_y/y$ .

Dari Gambar 3.13 jelaslah bahwa jari-jari kelengkungan  $\rho$  dan  $dx$  pada penampang tengah adalah busur lingkaran yang berjari-jari  $\rho$  dan dibatasi sudut  $d\theta$ , hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk  $(d\theta/dx) = 1/\rho$ . Dengan menyamakan kedua ekspresi untuk  $d\theta/dx$ , sehingga diperoleh Persamaan 3.45 :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\epsilon_y}{y} \text{ atau } \epsilon_y = \frac{y}{\rho} \quad (3.45)$$

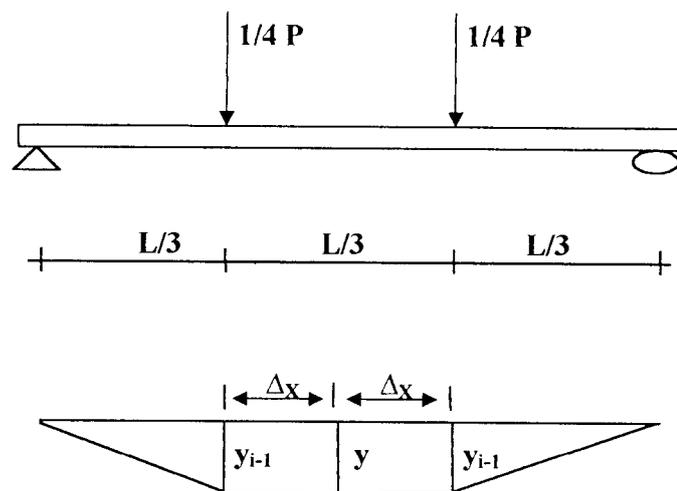
Hubungan antara tegangan dan regangan untuk material elastis homogen berbentuk  $E = f_y/\epsilon_y$  dimana  $E$  adalah modulus elastisitas material dan  $f_y$  adalah

tegangan di suatu titik. Dari Persamaan 3.45 dapat disubstitusikan kedalam

bentuk  $\epsilon_y = \frac{M \cdot y}{EI}$  sehingga diperoleh Persamaan 3.46 :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (3.46)$$

Ini adalah hubungan momen-kelengkungan,. Kelengkungan ( $1/\rho$ ) berbanding lurus dengan momen ( $M$ ) pada elemen struktur dan berbanding terbalik dengan hasil kali modulus elastisitas ( $E$ ) dan momen inersia ( $I$ ) elemen struktur.



**Gambar 3.14** Momen-kelengkungan

Dari pengujian kuat lentur diperoleh defleksi pada titik-titik distrik. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *central difference*. Mengacu pada Gambar 3.13  $d_y/d_x$  didekati Persamaan 3.47

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta_x} \quad (3.47)$$

turunan kedua dari Persamaan 3.47 adalah :

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

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

$$\frac{d}{dx}(2\Delta_x) = 0 \quad (3.49)$$

sehingga Persamaan 3.48 menjadi :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.50)$$

selanjutnya dari Persamaan 3.50 didapatkan :

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

kemudian Persamaan 3.51 disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i - y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \quad (3.52)$$

dengan :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \quad (3.53)$$

$$M = EI \cdot \Phi \quad (3.54)$$

### 3.8 Hubungan Beban-Lendutan

Bila sebuah balok dibebani, maka balok yang semula lurus akan berubah menjadi sebuah kurva yang disebut kurva lendutan dari balok. 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



Untuk bentuk penyederhanaan, maka  $ds \approx dx$  sehingga dari Persamaan 3.55 didapatkan,

$$d\theta = \frac{M}{EI} dx \quad (3.56)$$

Dari Persamaan 3.56 dapat diartikan bahwa elemen sudut  $d\theta$  yang dibentuk oleh dua tangen arah pada dua titik yang berjarak  $dx$  besarnya sama dengan luas bidang momen antara dua titik tersebut dibagi dengan  $EI$ , sehingga bila potongan m-m bergerak kekiri sampai dukungan A dan potongan n-n bergerak kekanan sampai dukungan B, maka besarnya  $dx$  sama dengan bentak balok. Dengan demikian sudut yang dibentuk oleh kedua arah dari kedua titik akan didapatkan,

$$\theta_{ab} = \int \frac{M}{EI} dx \quad (3.57)$$

Pada Gambar 3.15 menunjukkan garis singgung pada potongan m-m dan n-n yang berpotongan dengan garis vertikal yang melewati titik B, akan didapatkan,

$$B''B''' = d\delta = x.d\theta$$

$$d\delta = \frac{M \cdot x}{EI} dx \quad (3.58)$$

Dari Persamaan 3.58 dapat dinyatakan bahwa nilai  $M \cdot dx$  adalah luas bidang momen sepanjang  $dx$ , sedangkan  $M \cdot dx \cdot x$  adalah statik momen luas bidang momen terhadap titik yang berjarak  $x$  dari elemen luasan bidang momen tersebut.

Dengan mengintegrasikan Persamaan 3.58 antara titik A dan B, maka didapatkan,

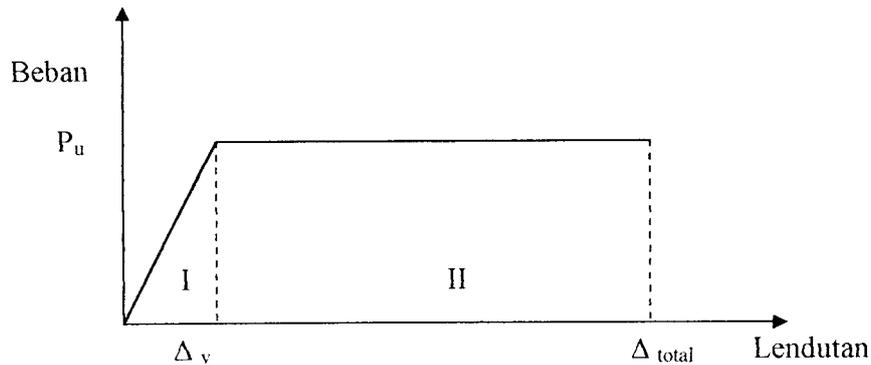
$$\int_A^B d\delta = \int_A^B x \frac{M \cdot dx}{EI} \quad (3.59)$$

Integral di sisi kiri sama dengan  $\delta$  sedangkan integral di sisi kanan menunjukkan momen pertama terhadap titik B dari luas diagram  $M/EI$  antara A dan B. Dengan demikian Persamaan 3.59 dapat dituliskan.

$$BB' = \delta = \int_A^B \frac{M \cdot x}{EI} \cdot dx \quad (3.60)$$

dengan :  $\delta$  = Momen pertama dari luas diagram  $M/EI$  antara titik A dan B, yang ditinjau dari titik B, M = Momen, E = Modulus elastis bahan, x = Jarak bidang momen ke titik lendutan yang dicari, I = Momen inersia penampang.

Hubungan beban–lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier seperti pada Gambar 3.16



**Gambar 3.16** Hubungan beban – lendutan pada balok

Pada daerah 1, 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 pada daerah pasca layan, dimana tegangan pada daerah ini sudah mencapai tegangan maksimum, pada daerah ini diagram lendutan lebih landai daripada daerah-daerah sebelumnya. Hal ini karena semakin berkurangnya kekakuan lentur akibat bertambahnya jumlah dan lebar retak di sepanjang bentang.

### 3.9 Daktilitas

Daktilitas suatu bahan dapat didefinisikan sebagai banyaknya regangan permanen (*permanent strain*). Daktilitas mengizinkan konsentrasi tegangan (*locally stress*) untuk didistribusikan. Prosedur dari suatu perencanaan biasanya selalu didasarkan pada kekuatan ultimit yang membutuhkan kesatuan daktilitas yang besar, terutama untuk memperbaiki tegangan-tegangan dekat lubang atau perubahan yang mendadak pada bentuk batang seperti dalam perencanaan sambungan.

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

$$Daktilitas = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_y} \quad (3.61)$$

dengan :  $\varepsilon_{tot}$  = regangan total,  $\varepsilon_y$  = regangan pada saat leleh pertama.

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

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta_{tot}}{\Delta_y} \quad (3.62)$$

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

Sedangkan daktilitas lengkung diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan, yaitu perbandingan antara  $\Phi_{tot}$  dan  $\Phi_y$ , yang dirumuskan :

$$\mu_{lengkung} = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi_y} \quad (3.63)$$

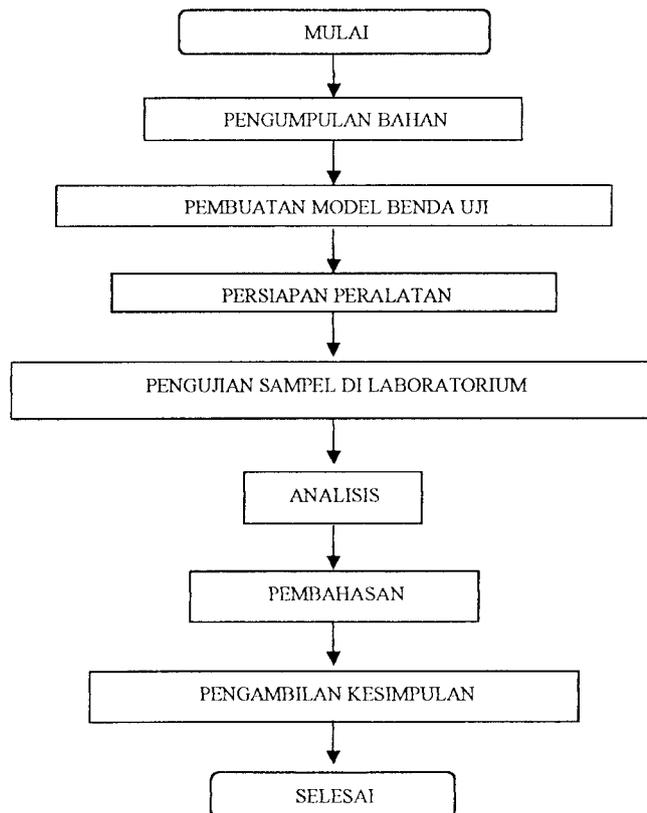
dengan :  $\mu_{lengkung}$  = daktilitas lengkung,  $\Phi_{tot}$  = kelengkungan total,  $\Phi_y$  = kelengkungan pada momen maksimum.

## BAB IV

### PELAKSANAAN PENELITIAN

#### 4.1 Metode penelitian

Pada penelitian ini diperlukan suatu metode penelitian. Metode ini merupakan suatu cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan yang ada dalam penulisan tugas akhir. Jalannya penelitian dapat dilihat pada *flowchart* (Gambar 4.1)



**Gambar 4.1** *Flowchart* metode penelitian

## 4.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang di gunakan dalam penelitian ini adalah :

### 1. Plateser.

Pelat badan dan pelat sambung dalam penelitian ini menggunakan plateser dengan ukuran (2400 x 1200 x 2) mm.

### 2. Pelat siku

Pelat sayap dalam penelitian ini menggunakan pelat siku dengan ukuran (40x40x3x6000) mm

### 3. Baut

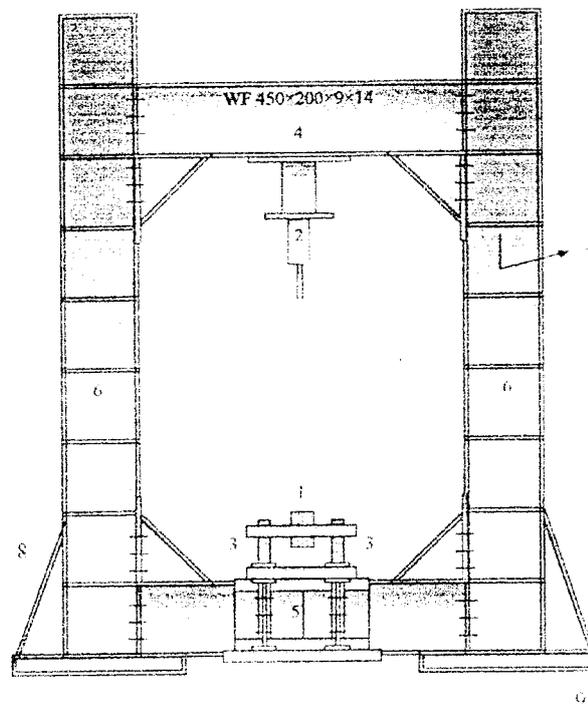
Alat sambung yang digunakan dalam penelitian ini adalah baut dengan diameter 5 mm dan panjang 20 mm

## 4.3 Alat Yang Digunakan

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

### 1. *Loading Frame*

untuk keperluan penelitian ini telah dibuat *Loading Frame* dari bahan baja profil WF 450x200x9x14 mm (Gambar 4.2)



Keterangan :

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

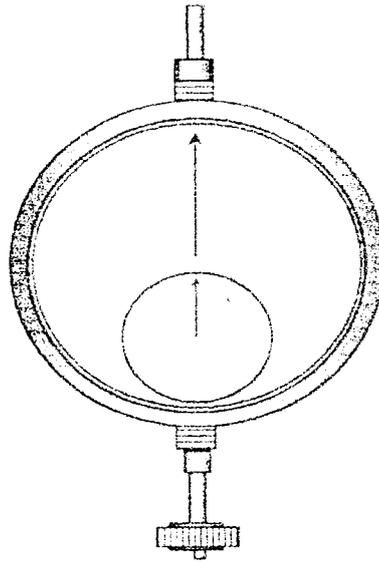
**Gambar 4.2** *Loading Frame*

Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (rigid floor) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14 mm. Posisi balok

portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan di uji 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.

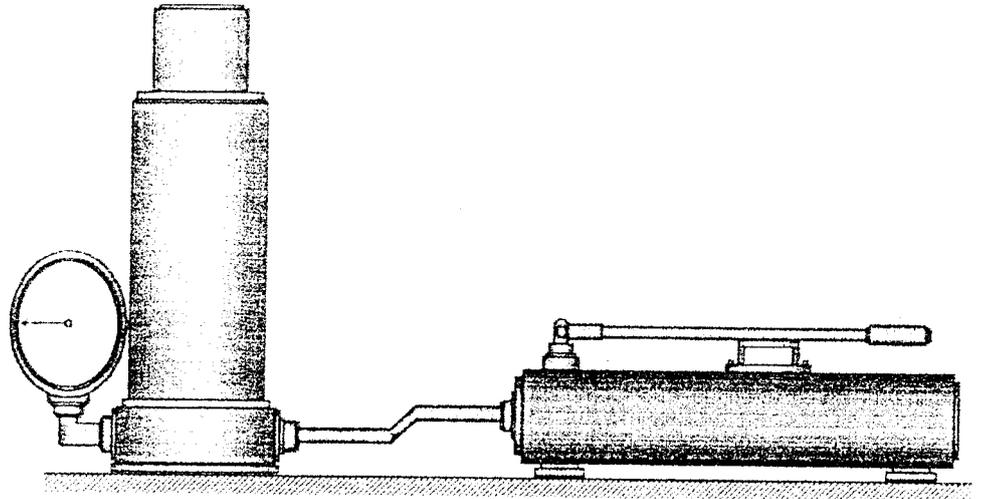


Gambar 4.3 *Dial Gauge*

## 3. *Hydraulic Jack*

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok skala penuh (Gambar 4.4). Dalam penelitian ini digunakan *hydraulic jack*

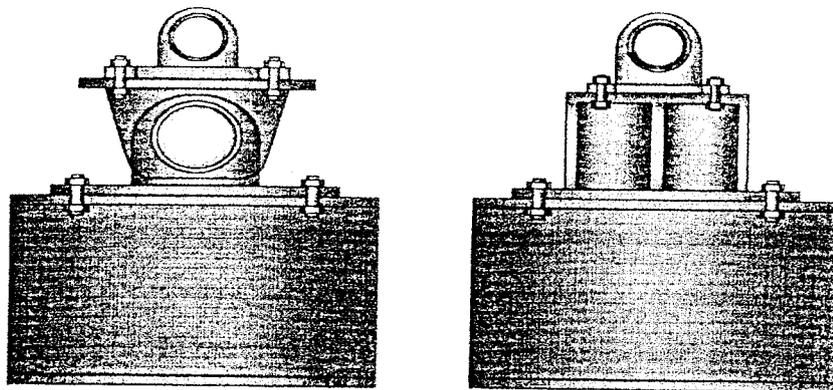
dengan kapasitas maksimum yang dimiliki adalah 30 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0,5 ton.



Gambar 4.4 *Hydraulic Jack*

#### 4. Dukungan Sendi dan Rol

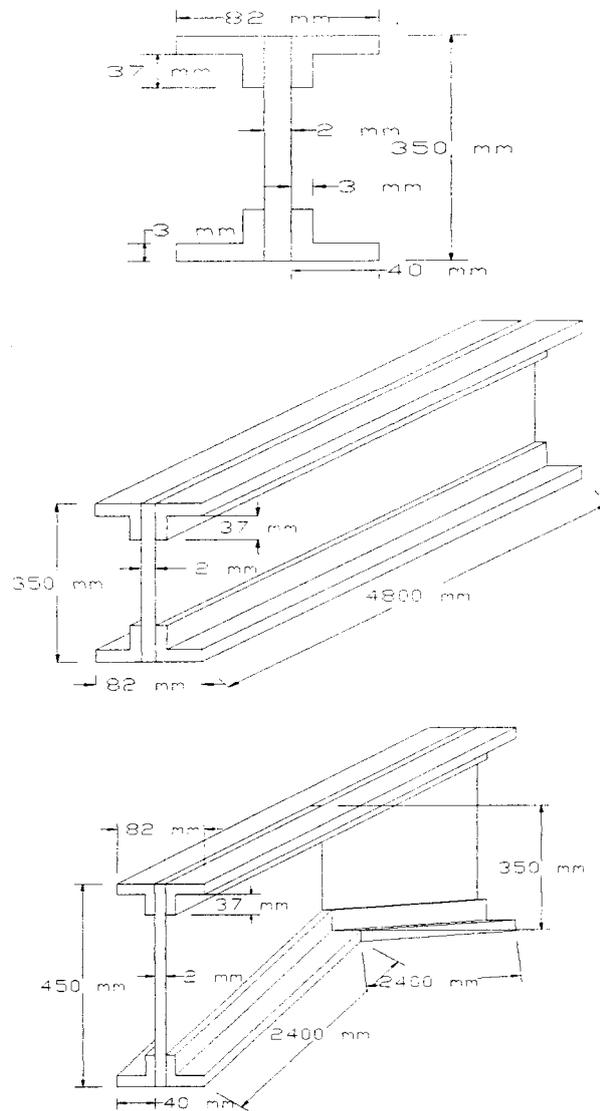
Untuk membuat model balok mendekati balok sederhana (*simple beam*), maka pada salah satu ujung model balok dipasang dukungan rol, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan sendi (Gambar 4.5)



Gambar 4.5 Dukungan sendi dan rol

#### 4.4 Benda Uji

Benda uji berupa gelagar pelat dengan bentuk penampang I dengan dimensi lebar sayap ( $b$ )= 82 mm, tebal sayap ( $t_f$ )=3 mm,tebal badan ( $t_w$ )=2 mm, dengan bentuk prismatik dan nonprismatik dan panjang benda uji ( $L$ ) = 4800 mm.



Gambar 4.6 Model benda uji

#### 4.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji penelitian dilakukan di Bengkel Pondok Pesantren Ki Ageng Giring gandok Tambakan Ngaglik Sleman. Setelah perhitungan proporsi dimensi badan, sayap dan panjang benda uji didapat ,maka selanjutnya pembuatan benda uji melalui tahapan-tahapan berikut ini :

1. Bahan-bahan disiapkan dan diukur dengan proporsi yang telah ditentukan sesuai dengan rencana. Pada tahap ini dilakukan pemotongan plateser untuk badan dan pelat sambung serta pelat siku untuk pelat sayap dan pengaku sesuai dengan ukuran yang telah direncanakan. Pemotongan bahan uji dilakukan secara manual menggunakan gergaji besi.
2. Plateser untuk pelat badan disambung lebih dulu menggunakan pelat sambung dengan alat sambung baut kemudian disatukan dengan plat siku untuk pelat sayap. Setelah pelat badan dan pelat sayap disatukan,dipasang pengaku dukungan dengan jarak antara pengaku sebesar 450 mm.

#### 4.6 Jumlah Benda Uji

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

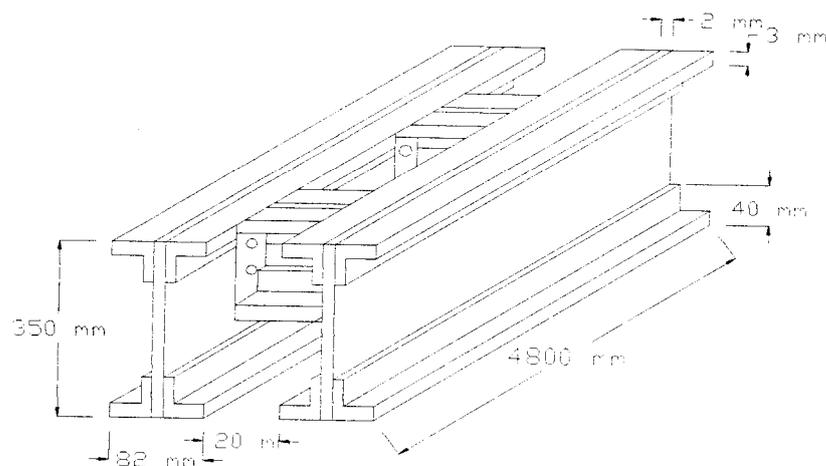
Banyaknya benda uji yang dibuat dalam penelitian ini adalah:

1. Dua buah gelagar pelat Prismatic dengan panjang ( $L$ ) = 4800 mm,tebal sayap ( $t_f$ ) = 3 mm, lebar sayap ( $b$ )= 82 mm,tebal badan ( $t_w$ ) = 2 mm,tinggi badan ( $h$ ) =350 mm.

2. Dua buah gelagar pelat nonprismatik dengan panjang ( $L$ ) = 4800 mm, tebal sayap ( $t_f$ ) = 3 mm, lebar sayap ( $b$ ) = 82 mm, tebal badan ( $t_w$ ) = 2 mm, tinggi badan pada  $\frac{1}{2}$  bentang 350 mm sedangkan pada tepi dengan tinggi 450 mm

#### 4.7 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilakukan secara bertahap, yaitu 2 benda uji di rangkai menjadi satu yang bentuknya sama.



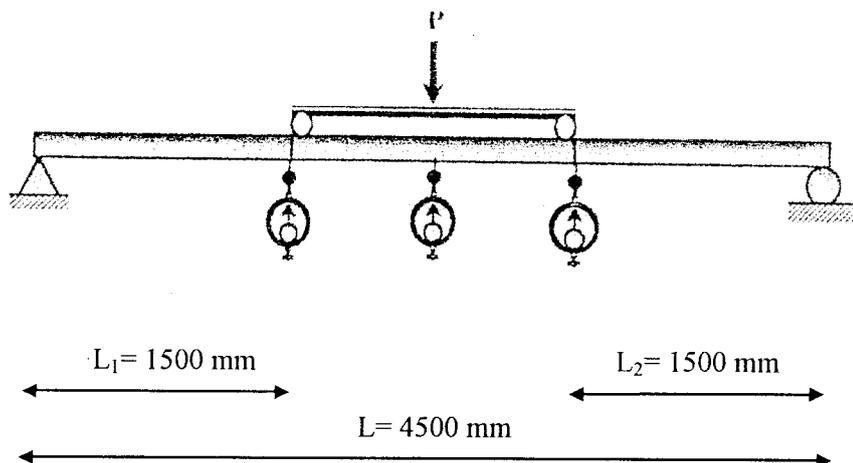
Gambar 4.7 Sampel benda uji

##### 4.7.1 Pengujian Kuat Lentur

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

1. Sebelum pengujian dilakukan, benda uji diberi tanda sebagai titik pembebanan pada benda uji, kemudian diletakkan pada tumpuan sesuai dengan tanda yang

telah diberikan serta letak bebannya. Di bawah benda uji dipasang dial (alat pengukur lendutan) untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada waktu dilaksanakan pengujian kuat lentur, posisi benda uji dan letak dial terlihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.8** Perletakkan benda uji

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

#### 4.7.2 Pengujian Kuat Tarik Baja

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

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

##### 5.1.1 Kualitas Pelat Baja

Untuk mengetahui kualitas pelat baja yang dipakai untuk benda uji, dilakukan uji tarik baja, hasil uji tarik baja ditunjukkan pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1** Hasil uji tarik baja

Benda Uji	P Luluh (Kg)	P maks (Kg)	P Patah (Kg)	Fy (kg/cm <sup>2</sup> )
Siku 1	730	1045	950	3650
Siku 2	810	965	50	2625
Pelat	795	1000	50	1988

Berdasarkan data diatas maka kuat tarik rata-rata dari ketiga sampel uji tarik baja adalah sebesar 240 Mpa.

##### 5.1.2 Hubungan Beban-Lendutan

###### 1. Hubungan Beban-Lendutan Teoritis

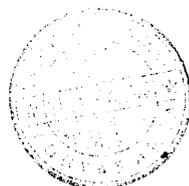
Nilai hasil perhitungan beban-lendutan secara teori ditampilkan dalam Tabel 5.2. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian sedangkan besar lendutannya dihitung dengan Persamaan 3.51.

**Tabel 5.2** Perhitungan beban – lendutan secara teoritis

No	Beban (KN)	L (mm)	Inersia (mm <sup>4</sup> )	EI KNmm <sup>2</sup> )	$\Delta$ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
1	0	0	32041853	6408370666	0	0	0
2	3	1800	32041853	6408370666	0.360758627	450	7.02207E-08
3	6	1800	32041853	6408370666	0.721517253	900	1.40441E-07
4	9	1800	32041853	6408370666	1.08227588	1350	2.10662E-07
5	12	1800	32041853	6408370666	1.443034506	1800	2.80883E-07
6	15	1800	32041853	6408370666	1.803793133	2250	3.51103E-07
7	18	1800	32041853	6408370666	2.164551759	2700	4.21324E-07
8	21	1800	32041853	6408370666	2.525310386	3150	4.91545E-07
9	24	1800	32041853	6408370666	2.886069013	3600	5.61765E-07

## 2. Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian

Pengujian lentur gelagar pelat prismatic dan nonprismatic dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada kedua jenis sampel tersebut diberi pembebanan di dua titik secara bertahap dengan interval pembebanan 3 KN pada setiap tahap pembebanan, kemudian dipasang *dial gauge* sebanyak tiga buah yang diletakkan di bawah model benda uji untuk mengetahui lendutannya. Lendutan yang terjadi dicatat, yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.3. Untuk hasil selengkapnya disajikan dalam lampiran. Selain itu Tabel 5.4 menunjukkan beban maksimum



yang dicapai untuk model uji gelagar pelat prismatik dan nonprismatik yang diuji dalam penelitian ini.

**Tabel 5.3** Perhitungan beban-Lendutan hasil penelitian gelagar pelat nonprismatik

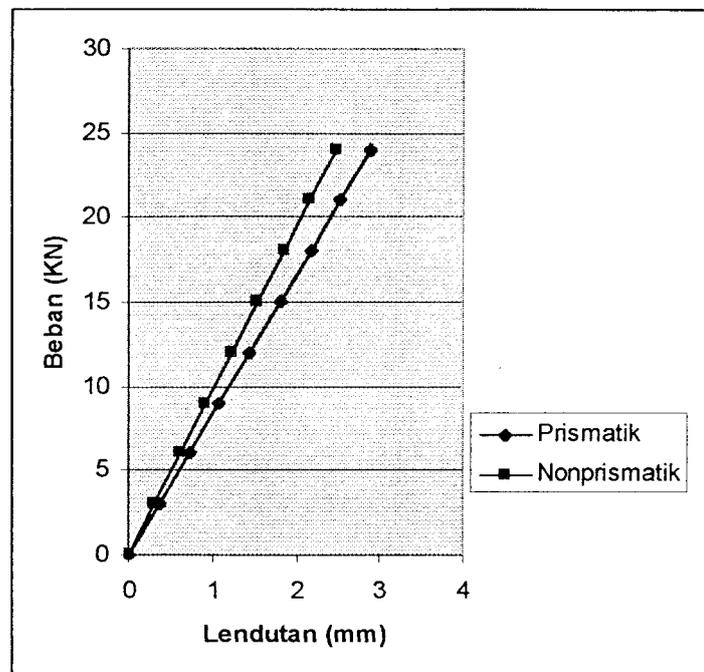
No	BEBAN	Defleksi			Jarak (mm)	Momen (KNmm) $M=(1/12)P.L$	Kelengkungan (1/mm)
		DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3			
1	0	0	0	0	4500	0	0
2	3.965	181.5	188.5	219	4500	1486.875	4.17778E-05
3	6.965	388.5	498	434	4500	2611.875	0.000308444
4	9.965	652	823.5	658	4500	3736.875	0.000599111
5	12.965	997.5	1212.5	1000.5	4500	4861.875	0.000759111
6	13.465	1166	1456.5	1165	4500	5049.375	0.001034667
7	10.965	1222.5	1571	1237	4500	4111.875	0.001213333
8	11.965	1320.5	1691.5	1326	4500	4486.875	0.001309333
9	13.965	1402.5	1819.5	1419	4500	5236.875	0.001453333
10	11.265	1490.5	1823.5	1516.5	4500	4224.375	0.001137778

**Tabel 5.4** Kekuatan Maksimum dua jenis gelagar pelat

No	Jenis Sampel	P Maks (KN)	P Maks (%)
1	Prismatik	15.965	100
2	nonPrismatik	13.465	84.341

### 3. Grafik Hubungan Beban-Lendutan

Dari hasil perhitungan secara teoritis dan hasil pengujian kedua jenis sampel gelagar pelat tersebut maka dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan.



**Gambar 5.1** Grafik hubungan beban-lendutan hasil teoritis

Dari grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 5.1, mulai titik awal pembebanan sampai terjadi kerusakan (tekuk), gelagar uji ini berperilaku elastis dan berbentuk linier. Kekakuan adalah gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit lendutan, semakin kaku suatu elemen struktur maka semakin besar kemiringannya

#### 4. Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan

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

**Tabel 5.5** Analisa kekakuan dari data hubungan beban-lendutan

Jenis Sampel	Beban (KN)	Lendutan ( $\Delta$ ) Mm	Kekakuan (KN/mm)	Kekakuan (%)
Prismatik	15.965	1030	1.55	100
nonPrismatik	13.465	1456.5	0.924476485	59.64364418

Dari Tabel 5.5 dapat diamati dan diteliti pengaruh jenis gelagar pelat prismatik dan nonprismatik pada kekuatan lentur gelagar pelat dan perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji. Selain itu, dari Gambar 5.1 dapat disimpulkan tentang *daktilitas* lendutan yang disajikan dalam Tabel 5.6.

**Tabel 5.6** Analisa *daktilitas* lendutan dari data hubungan beban-lendutan

Nama Gelagar	Beban (KN)	$\Delta y$ Mm	$\Delta_{total}$ mm	Daktilitas	Daktilas (%)
Prismatik	15.965	1030	1139	1.105825	100
nonPrismatik	13.465	1456.5	1823.5	1.251974	113.2163

### 5.1.3 Hubungan Momen-Kelengkungan

#### 1. Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

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

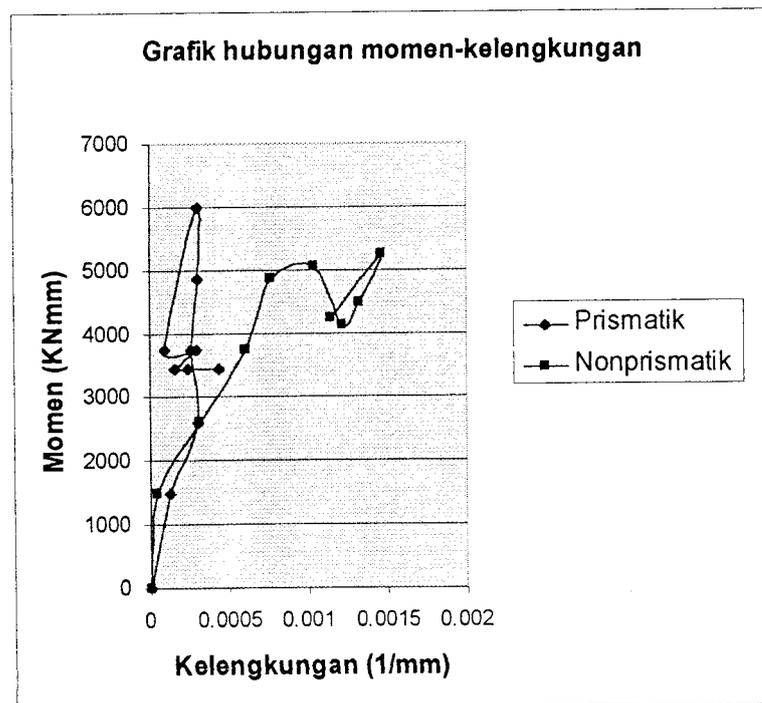
Dari data perhitungan momen-kelengkungan teoritis dapat digambarkan grafiknya. Grafik tersebut akan dibandingkan dengan grafik hasil pengamatan

yang diperoleh dari hasil pengujian model uji gelagar pelat prismatic dan nonprismatic.

## 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 3.43.

Peningkatan kelengkungan terjadi bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur gelagar. Dari data pembacaan dial dapat dicari momen dan kelengkungan seperti yang terlihat pada Tabel 5.7, untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



**Gambar 5.2** Grafik hubungan momen-kelengkungan Hasil penelitian

Dari Tabel 5.3 dapat digambarkan grafik momen-kelengkungan seperti yang terlihat pada Gambar 5.2, dan untuk hasil grafik momen-kelengkungan selengkapnya disajikan dalam lampiran.

### 3. Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

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

**Tabel 5.7** Analisa Kekakuan dari data hubungan momen kelengkungan

Nama Sampel	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (mm)	Momen (%)
Prismatik	5986.875	0.000433	6408370666	100
nonPrismatik	5049.375	0.001138	6408370666	84.34074538

Dari Gambar 5.2 juga bisa diamati pengaruh Jenis gelagar pelat (gelagar pelat Prismatik dan nonprismatik) terhadap daktilitas lengkung gelagar yang disajikan dalam Tabel 5.8.

**Tabel 5.8** Analisa daktilitas lengkung dari data hubungan momen-kelengkungan

Nama Sampel	Momen (KNmm)	$\Phi_y$ (1/mm)	$\Phi_{tot}$ (1/mm)	Daktilitas ( $\Phi_{tot}/\Phi_y$ )	Daktilitas (%)
Prismatik	5986.875	0.000298	0.000433	1.453020134	100
nonPrismatik	5049.375	0.00103	0.001138	1.104854369	76.0384762

#### **4. Analisa Kerusakan Pada Benda Uji**

Kerusakan yang terjadi pada kedua jenis benda uji penelitian ini adalah terjadi tekuk lateral arah lateral pada pelat sayap dan lengkungan pada pelat badan. Kerusakan pada sayap merupakan kerusakan akibat gaya tekan sebagai manifestasi momen yang diterima sedangkan pada pelat badan mengalami kerusakan yang diakibatkan tegangan geser yang terjadi. Letak kerusakan pada sampel uji rata-rata terletak di bawah beban terpusat.

### **5.2 Pembahasan**

#### **5.2.1 Kuat Lentur Gelagar Pelat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan**

Pengamatan terhadap 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 linier. 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 linier yaitu gelagar mempunyai kuat lentur yang sama dengan kuat lentur ultimit kedua. Pada fase ini beban gelagar tetap sedangkan lendutannya mengalami peningkatan. Kuat lentur paling besar dialami oleh gelagar pelat prismatic pada beban 15.965 KN sedangkan kuat lentur paling kecil di alami oleh gelagar pelat nonprismatic pada beban 13.465 KN

Dari hasil penelitian didapatkan hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ), dalam hal ini adalah nilai kekakuan dari masing-masing gelagar. Nilai kekakuan didapat dari  $P/\Delta$ , kekakuan pada gelagar secara umum mempunyai perilaku yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik beban-lendutan yang diperoleh dari data laboratorium. Dari pengujian ini tidak diperoleh kurva yang plastis karena sampel pada sayap mengalami tekuk lokal atau kegagalan dini hal ini dikarenakan tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan leleh.

Dari analisa beban-lendutan dapat diperoleh perbandingan kurva lendutan antara gelagar pelat prismatic dengan pelat nonprismatic. Sebagai pembanding atau standar kekakuan dipakai gelagar pelat prismatic dengan menganggap besar kekakuannya yaitu 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka penurunan nilai kekakuan dari gelagar pelat nonprismatic dengan beban maksimumnya adalah 13.465 KN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 59,643 KN/mm.

Beban maksimum gelagar pelat nonprismatic mengalami penurunan sebesar 15,659 % dan nilai kekakuannya mengalami penurunan sebesar 40,357 % terhadap gelagar pelat prismatic.

Dari kedua sampel gelagar pelat tersebut diatas, rata-rata mengalami pola kegagalan berupa tekuk lokal yang terjadi pada bagian sayap .

### **5.2.2 Daktilitas Simpangan Gelagar Pelat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan**

Besarnya lendutan pada beban maksimum dan lendutan maksimum pada gelagar pelat merupakan dasar untuk mencari daktilitas gelagar pelat. Daktilitas

simpangan merupakan perbandingan dari  $\Delta_{tot}/\Delta_y$ . Berdasarkan pengamatan pada grafik hubungan beban-lendutan yang kemudian dianalisa seperti ditampilkan pada Tabel 5.6, dapat dilihat daktilitas gelagar pelat nonprismatik dan dapat dibandingkan dengan gelagar pelat prismatik sebagai pembandingnya dengan menganggap daktilitas dan beban ultimitnya sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada gelagar pelat prismatik yang mempunyai nilai daktilitas sebesar 100 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 15.965 KN. Gelagar pelat nonprismatik mengalami penurunan daktilitas yaitu sebesar 23,962 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 13.465 KN.

### **5.2.3 Kuat Lentur Gelagar Pelat 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, setelah mencapai kuat lentur ultimit gelagar mulai mengalami kerusakan yaitu tertekuk arah vertikal akibat gaya aksial yang cukup signifikan sehingga terjadi penurunan kuat lentur sedikit.

Kuat lentur paling besar dialami oleh gelagar pelat nonprismatik yaitu pada momen sebesar 5986,875 KNmm, sedangkan kuat lentur paling kecil dialami oleh gelagar pelat prismatik yaitu pada momen sebesar 5049,375 KNmm.

Kelengkungan terpanjang terjadi pada gelagar pelat nonprismatik dan terpendek terjadi pada gelagar pelat prismatik

Hubungan momen-kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan, seperti yang terdapat pada tabel 5.7 maka dapat dilakukan analisa data momen dengan kelengkungan sehingga dapat diperoleh perbandingan grafik momen-kelengkungan gelagar pelat prismatik dengan nonprismatik.

Sebagai pembanding atau standar kekakuan gelagar pelat dipakai gelagar pelat prismatik 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 pelat.

Pada gelagar pelat nonprismatik mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 6408370666 KNmm<sup>2</sup> pada saat gelagar menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 5049,375 KNmm. Pada gelagar pelat prismatik mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 6408370666 KNmm<sup>2</sup> pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar 5986,875 KNmm.

#### **5.2.4 Daktilitas Lengkung Gelagar Pelat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan**

Besarnya kelengkungan pada momen maksimum dan kelengkungan maksimum merupakan dasar untuk mencari daktilitas gelagar. Daktilitas kelengkungan didapat dari perbandingan  $\Phi_{tot}/\Phi_y$ . Dari tabel Tabel 5.8 yang

diperoleh dari pengamatan perbandingan kurva kelengkungan gelagar pelat prismatik dengan nonprismatik.

Sebagai pembanding atau standar daktilitas gelagar, dipakai gelagar pelat prismatik dengan menganggap daktilitas dan momen maksimumnya sebesar 100%. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada pelat prismatik didapat nilai daktilitas sebesar 1,453020134 pada saat gelagar tersebut menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 5986,875 KNmm.

Pada pelat nonprismatik didapat nilai daktilitas sebesar 1,104854369 pada saat gelagar tersebut menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 5049,375 KNmm.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan mengenai perilaku gelagar pelat nonprismatik, yaitu sebagai berikut :

1. Perbedaan inersia gelagar pelat prismatik dan nonprismatik sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuannya. Pada gelagar pelat nonprismatik yang mempunyai inersia yang berbeda, mengalami penurunan nilai kekuatan dan kekakuannya. Semakin besar kekuatan yang mampu ditahan oleh gelagar pelat nonprismatik, maka semakin kecil momen yang dapat ditahannya sedangkan gelagar pelat prismatik dipakai sebagai pembanding.
2. Grafik hubungan beban- lendutan ( $P-\Delta$ ) menunjukkan bahwa gelagar pelat nonprismatik memiliki kekakuan ( $k$ ) sebesar 59.64364418 % lebih kecil dibandingkan dengan gelagar pelat prismatik.
3. Grafik hubungan antara momen-kelengkungan ( $M-\Phi$ ) menunjukkan bahwa pada gelagar pelat nonprismatik menunjukkan faktor kekakuan lentur ( $EI$ ) lebih kecil dibandingkan dengan gelagar pelat prismatik.

## 6.2 Saran

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut tentang gelagar pelat nonprismatik penampang I, bisa mengaanti penampang I dengan penampang kotak.
2. Perlu dicari pemecahan untuk mengatasi kerusakan akibat tekuk lokal pada pelat sayap tekan serta tekuk akibat gaya geser pada pelat badan yaitu dengan memperhatikan cara pengelasan sehingga didapatkan kekuatan yang maksimal.
3. Di perlukan diperhatikan ketelitian dan kecermatan pada saat pembuatan benda uji, terutama pada pemasangan pelat sayap dengan pelat badan.
4. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca alat uji dan kerusakan yang terjadi pada benda uji sehingga dapat diperoleh data yang lebih valid dan akurat.

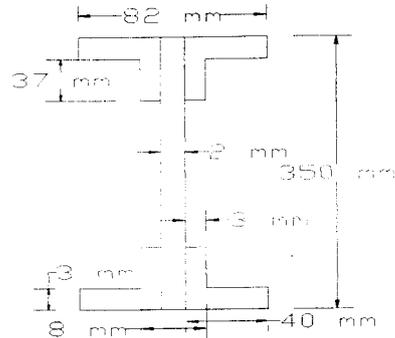
## DAFTAR PUSTAKA

- Caharles G. Salmon dan Jonh E. Johnson,Wira ,1990, STRUKTUR BAJA,  
Erlangga, Jakarta.
- Joseph E. Bowles, 1980, STRUKTUR STEEL DESIGN, McGraw-Hill Book  
Company,Inc.
- Lynn S. Beedle, 1958, PLASTIC DESIGN OF STEEL FRAMES, Johs Willey  
and Sons,Inc.
- Timoshenko dan Woinowski-Kriger,1959, THEORY OF OLATES AND  
SHEELS, McGraw- McGraw-Hill Book Company,Inc, New York.
- Daniel L Schodek,1991,str ,PT ERESKO, Bandung.
- Gere dan Timoshenko,1987, MEKANIKA BAHAN,Penerbit Erlangga, Jakarta.

# LAMPIRAN

# LAMPIRAN 1

## PERHITUNGAN BENDA UJI



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

$$I_{\text{badan}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 2 \times 135^3 \right) + \left( 2 \times 135 \times 67,5^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \times 8 \times 37^3 \right) + \left( 8 \times 37 \times 153,5^2 \right) \right\}$$
$$= 17231177,33 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{sayap}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 82 \times 3^3 \right) + \left( 82 \times 3 \times 173,5^2 \right) \right\}$$
$$= 14810676 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{total}} = I_{\text{badan}} + I_{\text{sayap}}$$
$$= 32041853,33 \text{ mm}^4$$

$$y = 0,5 \times d = 0,5 \times 350 = 175 \text{ mm}$$

$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{32041853,33}{175} = 183096,305 \text{ mm}^3$$

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

$$M = F_y \times S_x = 240 \times 183096,305 = 43943113,2 \text{ Nmm.}$$

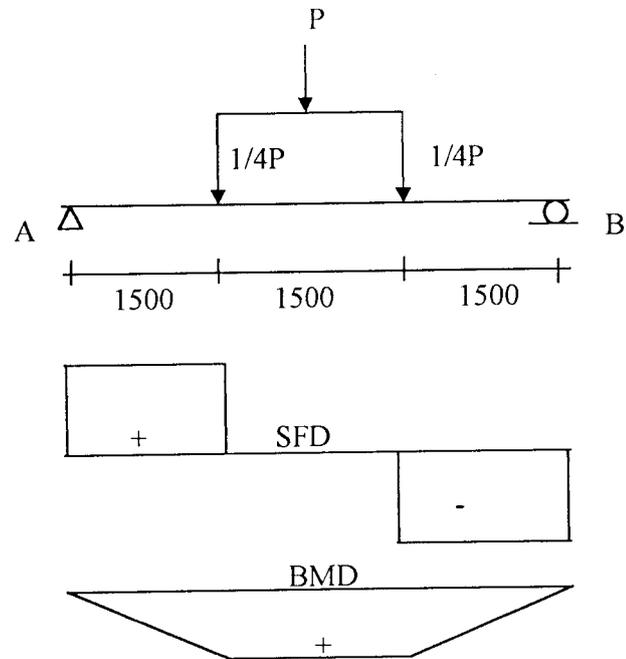
$$= 43943,1132 \text{ KNmm}$$

$$F_{\text{cr}} = \frac{M}{S_x} = \frac{43943,1132}{183096,305} = 0,24 \text{ KN/mm}^2 = 240 \text{ MPA}$$

## LAMPIRAN I

$$M = \frac{1}{12} \times P \times L \text{ dengan } L = 4500 \text{ mm}$$

$$P = \frac{12M}{L} = \frac{12 \times 43943,1132}{4500} = 117,18 \text{ KN} = 11.718 \text{ Ton}$$



$$\sum M_A = 0$$

$$-R_B \cdot 4500 + \frac{1}{4}P \cdot 1500 + \frac{1}{4}P \cdot 3000 = 0$$

$$R_B = \frac{1}{4}P \text{ Ton}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A \cdot 4500 - \frac{1}{4}P \cdot 1500 - \frac{1}{4}P \cdot 3000 = 0$$

$$R_A = \frac{1}{4}P \text{ Ton}$$

## LAMPIRAN 1

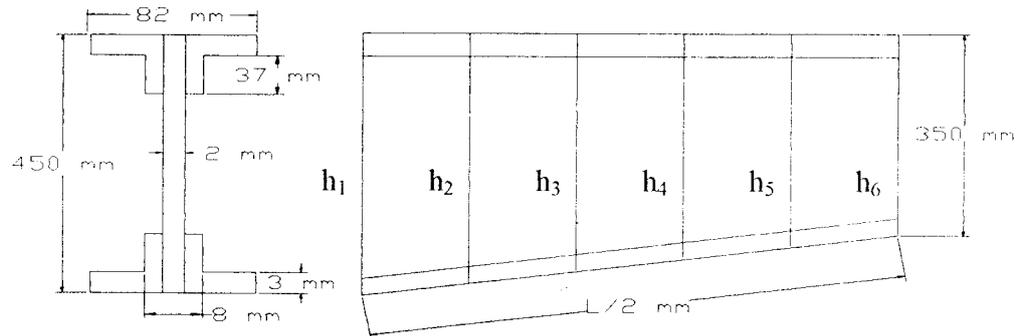
$$M_A = M_B = 0$$

$$M_C = R_A \cdot \frac{L}{3} = \frac{1}{12} \cdot P \cdot L \text{ Tonmm}$$

$$M_D = R_B \cdot \frac{L}{3} = \frac{1}{12} \cdot P \cdot L \text{ Tonmm}$$

## LAMPIRAN 1

### PERHITUNGAN INERSIA BENDA UJI



- $I_1$  untuk  $h_1 = 450$  mm

$$I_{\text{badan}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 2 \times 185^3 \right) + (2 \times 185 \times 92,5^2) + \left( \frac{1}{12} \times 8 \times 37^3 \right) + (8 \times 37 \times 203,5^2) \right\}$$

$$= 32966890,85 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{sayap}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 82 \times 3^3 \right) + (82 \times 3 \times 223,5^2) \right\}$$

$$= 24576876 \text{ mm}^4$$

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

$$= 57543766,85 \text{ mm}^4$$

- $I_2$  untuk  $h_2 = 431,25$  mm

$$I_{\text{badan}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 2 \times 175,63^3 \right) + (2 \times 175,63 \times 87,82^2) + \left( \frac{1}{12} \times 8 \times 37^3 \right) + (8 \times 37 \times 194,13^2) \right\}$$

$$= 29536111,25 \text{ mm}^4$$

## LAMPIRAN I

$$I_{\text{sayap}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 82 \times 3^3 \right) + (82 \times 3 \times 214,13^2) \right\}$$

$$= 22559384,19 \text{ mm}^4$$

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

$$= 52095495,44 \text{ mm}^4$$

- $I_3$  untuk  $h_3 = 412,5 \text{ mm}$

$I_{\text{badan}}$

$$= 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 2 \times 166,25^3 \right) + (2 \times 166,25 \times 83,13^2) + \left( \frac{1}{12} \times 8 \times 37^3 \right) + (8 \times 37 \times 184,75^2) \right\}$$

$$= 26335513,99 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{sayap}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 82 \times 3^3 \right) + (82 \times 3 \times 204,75^2) \right\}$$

$$= 20626269,75 \text{ mm}^4$$

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

$$= 46961783,74 \text{ mm}^4$$

- $I_4$  untuk  $h_4 = 393,75 \text{ mm}$

$I_{\text{badan}}$

$$= 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 2 \times 156,88^3 \right) + (2 \times 156,88 \times 78,44^2) + \left( \frac{1}{12} \times 8 \times 37^3 \right) + (8 \times 37 \times 175,38^2) \right\}$$

$$= 23358681,67 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{sayap}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 82 \times 3^3 \right) + (82 \times 3 \times 195,38^2) \right\}$$

## LAMPIRAN 1

$$= 18781654,44 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} I_{\text{total}} &= I_{\text{badan}} + I_{\text{sayap}} \\ &= 42140336,11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- $I_5$  untuk  $h_5 = 375 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} I_{\text{badan}} &= 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 2 \times 147,5^3 \right) + (2 \times 147,5 \times 73,75^2) + \left( \frac{1}{12} \times 8 \times 37^3 \right) + (8 \times 37 \times 166^2) \right\} \\ &= 20571997,12 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{sayap}} &= 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 82 \times 3^3 \right) + (82 \times 3 \times 186^2) \right\} \\ &= 17021601 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

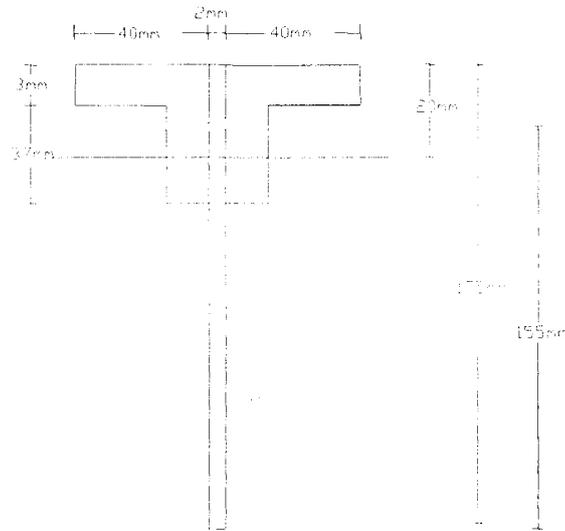
$$\begin{aligned} I_{\text{total}} &= I_{\text{badan}} + I_{\text{sayap}} \\ &= 37593598,12 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- $I_6$  untuk  $h_6 = 350 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} I_{\text{badan}} &= 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 2 \times 135^3 \right) + (2 \times 135 \times 67,5^2) + \left( \frac{1}{12} \times 8 \times 37^3 \right) + (8 \times 37 \times 153,5^2) \right\} \\ &= 17231177,33 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{sayap}} &= 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 82 \times 3^3 \right) + (82 \times 3 \times 173,5^2) \right\} \\ &= 14810676 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{total}} &= I_{\text{badan}} + I_{\text{sayap}} \\ &= 32041853,33 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$S = 2 (40 \cdot 3 \cdot 175 + 3 \cdot 20 \cdot 149) + (2 \cdot 120 \cdot 149) = 65840 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{D \cdot S}{l \cdot b} = \frac{1,289 \cdot 65840}{15,037 \cdot 355 \cdot 8} = 0,705 \text{ kg}$$

$$P = \tau \cdot b \cdot L = 0,705 \cdot 8 \cdot 4800$$

$$= 27090,219 \text{ kg}$$

Kekuatan untuk satu baut dengan  $\emptyset$  baut = 5 mm

$$P = d \cdot t \cdot F_u = 5 \cdot 8 \cdot 260 = 10400 \text{ N}$$

$$P = \frac{1}{4} \pi d^2 F_v = \frac{1}{4} \pi \cdot 5^2 \cdot 145 = 2847,06 \text{ N}$$

Dipakai baut ( P ) = P baut = 2847 = 284,7 Kg

$$\text{Jumlah baut ( n )} = \frac{P}{P_{\text{baut}}} = \frac{27090,219}{284,7} = 95,154 \text{ buah}$$

~96 buah

Jarak antar baut = 50 mm

LAMPIRAN 3

**Hasil Pembebanan Benda Uji**

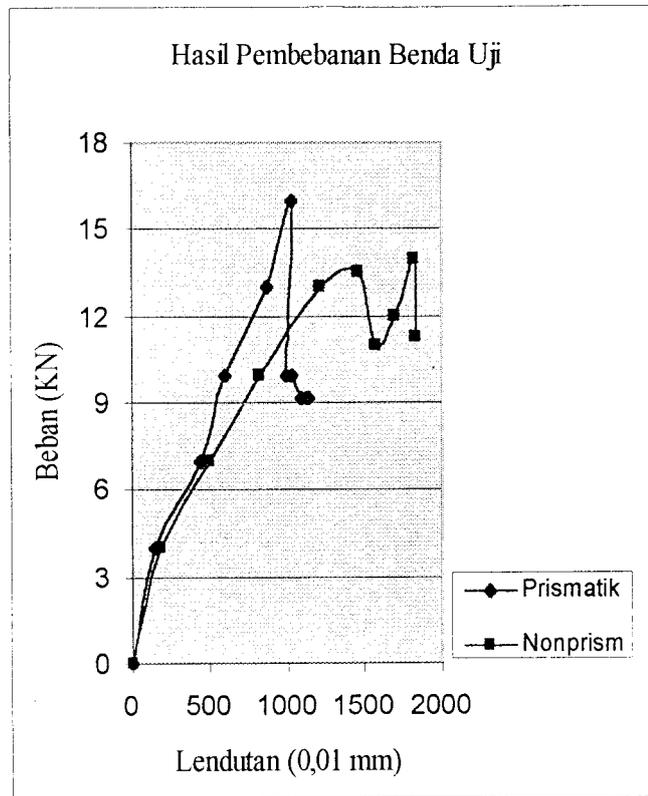
Tabel pengujian benda uji gelagar pelat prismatic

No	BEBAN	defleksi		
		DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
1	0	0	0	0
2	3.965	166	146	198
3	6.965	321	437.5	386
4	9.965	490	599.5	565
5	12.965	725.5	868	839
6	15.965	845	1030	1047.5
7	9.965	1008	994	1035
8	9.965	1078	1035	1156
9	9.165	1100.5	1094	1174.5
10	9.165	1167	1134	1235.5
11	9.165	1225	1139	1296.5

Tabel pengujian benda uji gelagar pelat nonprismatic

No	BEBAN	defleksi		
		DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
1	0	0	0	0
2	3.965	181.5	188.5	219
3	6.965	388.5	498	434
4	9.965	652	823.5	658
5	12.965	997.5	1212.5	1000.5
6	13.465	1166	1456.5	1165
7	10.965	1222.5	1571	1237
8	11.965	1320.5	1691.5	1326
9	13.965	1402.5	1819.5	1419
10	11.265	1490.5	1823.5	1516.5

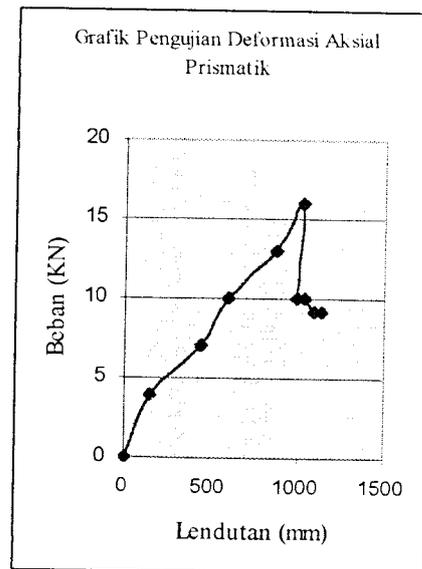
LAMPIRAN 3



Gambar grafik pembebanan benda uji

### Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel pelat Prismatik

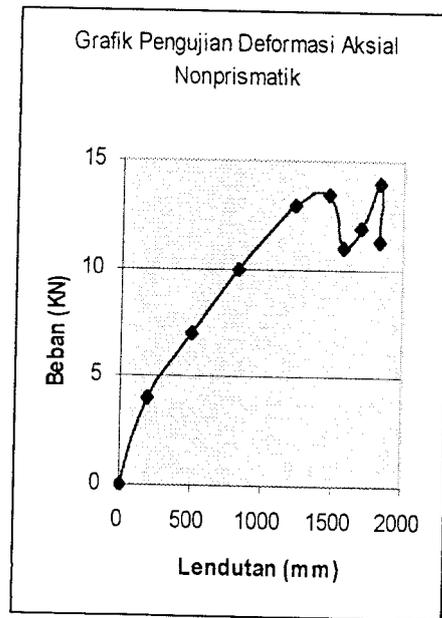
No	BEBAN	Defleksi			Jarak (mm)	Momen (KNmm) $M=(1/12)$ P.L	Kelengkungan (1/mm)
		DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3			
1	0	0	0	0	4500	0	0
2	3.965	166	146	198	4500	1486.875	0.000128
3	6.965	321	437.5	386	4500	2611.875	0.000298667
4	9.965	490	599.5	565	4500	3736.875	0.000256
5	12.965	725.5	868	839	4500	4861.875	0.000304889
6	15.965	845	1030	1047.5	4500	5986.875	0.000297778
7	9.965	1008	994	1035	4500	3736.875	9.77778E-05
8	9.965	1078	1035	1156	4500	3736.875	0.000291556
9	9.165	1100.5	1094	1174.5	4500	3436.875	0.000154667
10	9.165	1167	1134	1235.5	4500	3436.875	0.000239111
11	9.165	1225	1139	1296.5	4500	3436.875	0.000432889



Gambar Grafik Hubungan Beban-Lendutan Benda uji

**Hasil Pengujian Deformasi Aksial sampel Pelat Nonprismatik**

No	BEBAN	defleksi			Jarak (mm)	Momen (KNmm) $M=(1/12)P.L$	Kelengkungan (1/mm)
		DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3			
1	0	0	0	0	4500	0	0
2	3.965	181.5	188.5	219	4500	1486.875	4.17778E-05
3	6.965	388.5	498	434	4500	2611.875	0.000308444
4	9.965	652	823.5	658	4500	3736.875	0.000599111
5	12.965	997.5	1212.5	1000.5	4500	4861.875	0.000759111
6	13.465	1166	1456.5	1165	4500	5049.375	0.001034667
7	10.965	1222.5	1571	1237	4500	4111.875	0.001213333
8	11.965	1320.5	1691.5	1326	4500	4486.875	0.001309333
9	13.965	1402.5	1819.5	1419	4500	5236.875	0.001453333
10	11.265	1490.5	1823.5	1516.5	4500	4224.375	0.001137778



**Gambar Grafik Hubungan Beban-lendutan Benda Uji**

## Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk Pelat (k)

Dipakai  $I = I_6 = 350 \text{ mm}$

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

$$I_{\text{badan}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 2 \times 135^3 \right) + (2 \times 135 \times 67,5^2) + \left( \frac{1}{12} \times 8 \times 37^3 \right) + (8 \times 37 \times 153,5^2) \right\}$$

$$= 17231177,33 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{sayap}} = 2 \left\{ \left( \frac{1}{12} \times 82 \times 3^3 \right) + (82 \times 3 \times 173,5^2) \right\}$$

$$= 14810676 \text{ mm}^4$$

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

$$= 32041853,33 \text{ mm}^4$$

$$y = 0,5 \times d = 0,5 \times 350 = 175 \text{ mm}$$

$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{32041853,33}{175} = 183096,305 \text{ mm}^3$$

$$M_{\text{cr}} = \frac{1}{12} \times P_{\text{cr}} \times L$$

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

### 1. Sampel Prismatic

$P_{\text{max}} = 15.965 \text{ KN}$  (didapat dari hasil pengujian pada saat mencapai beban maksimum)

## LAMPIRAN 6

$$L = 4500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{1}{12} \times P_{cr} \times L \\ &= \frac{1}{12} \times 15.965 \times 4500 \\ &= 5986,875 \text{ KNmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{M_{cr}}{S} = \frac{5986,875}{183096,305} = 0,0327 \text{ KN/mm}^2 \\ &= 32,7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = \frac{k \times \pi^2 \times E}{12 \times (1 - \mu^2) \left( \frac{b}{t_f} \right)^2}$$
$$32,7 = \frac{k \times \pi^2 \times 2.10^5}{12 \times (1 - 0.3^2) \left( \frac{40}{3} \right)^2}$$

$$k = 0.0322$$

### 3. Sampel Nonprismatik

P max = 13.465 KN (didapat dari hasil pengujian pada saat mencapai beban maksimum)

$$L = 4500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{1}{12} \times P_{cr} \times L \\ &= \frac{1}{12} \times 13.465 \times 4500 \\ &= 5049,375 \text{ KNmm} \end{aligned}$$

## LAMPIRAN 6

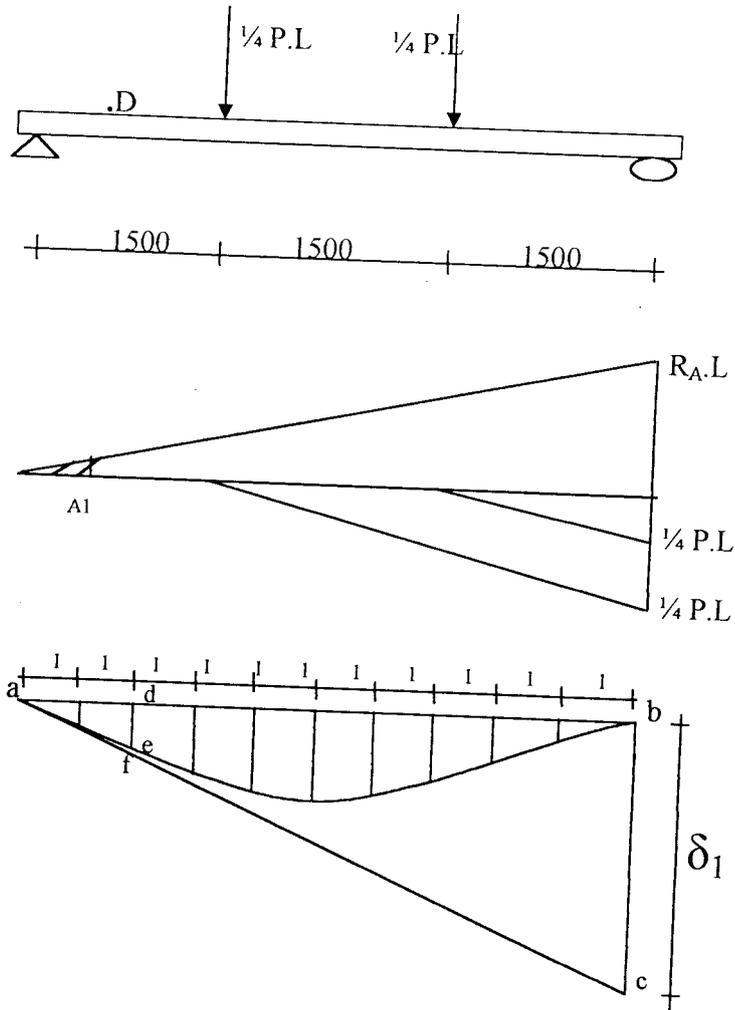
$$F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S} = \frac{5049,375}{183096,305} = 0.0276 \text{ KN/mm}^2$$
$$= 27,6 \text{ MPa}$$

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

$$27,6 = \frac{k \times \pi^2 \times 2.10^5}{12 \times (1 - 0.3^2) \left( \frac{40}{3} \right)^2}$$

$$k = 0.0272$$

**Perhitungan Lendutan Pada Balok Nonprismatik**



dengan :  $l$  = Jarak pias

$P$  = Beban

$L$  = Panjang Bentang

**Perhitungan**

- $R_A = R_B = \frac{1}{4} P$  ( perhitungan selengkapnya pada lampiran )

Lendutan pada titik  $D$  ( Jarak pias =  $450$  mm )

$\delta_1 = bc = 1/EI$  (Luas AB. Zb)

LAMPIRAN 7

$$= \left( \frac{1}{4} P \cdot 4500 \cdot 4500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 4500 \right) \right) - \left( \frac{1}{4} P \cdot 3000 \cdot 3000 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 3000 \right) \right) -$$

$$\left( \frac{1}{4} P \cdot 1500 \cdot 1500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1500 \right) \right)$$

$$= \frac{2531250000 \cdot P}{EI}$$

$$df = \frac{450}{4500} \cdot (\delta_1) = \frac{450}{4500} \cdot \frac{2531250000 \cdot P}{EI} = \frac{253125000 \cdot P}{EI}$$

$$ef = 1/EI (\text{Luas } A_1 \cdot z_1) = \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{4} P \cdot 450 \cdot 450 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 450 \right) \right) = \frac{3796875 \cdot P}{EI}$$

$$de = df - ef = \frac{249328125 \cdot P}{EI}$$

- Lendutan pada Jarak pias = 900 mm

$$\delta_1 = bc = 1/EI (\text{Luas } AB \cdot Z_b)$$

$$= \left( \frac{1}{4} P \cdot 4500 \cdot 4500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 4500 \right) \right) - \left( \frac{1}{4} P \cdot 3000 \cdot 3000 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 3000 \right) \right) -$$

$$\left( \frac{1}{4} P \cdot 1500 \cdot 1500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1500 \right) \right)$$

$$= \frac{2531250000 \cdot P}{EI}$$

$$df = \frac{900}{4500} \cdot (\delta_1) = \frac{900}{4500} \cdot \frac{2531250000 \cdot P}{EI} = \frac{506250000 \cdot P}{EI}$$

$$ef = 1/EI (\text{Luas } A_1 \cdot z_1) = \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{4} P \cdot 900 \cdot 900 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 900 \right) \right) = \frac{30375000 \cdot P}{EI}$$

$$de = df - ef = \frac{475875000 \cdot P}{EI}$$

LAMPIRAN 7

- Lendutan pada Jarak pias = 1350 mm

$$\delta_1 = bc = 1/EI (\text{Luas AB. Zb})$$

$$= \left( \frac{1}{4} P \cdot 4500 \cdot 4500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 4500 \right) \right) - \left( \frac{1}{4} P \cdot 3000 \cdot 3000 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 3000 \right) \right) -$$

$$\left( \frac{1}{4} P \cdot 1500 \cdot 1500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1500 \right) \right)$$

$$= \frac{2531250000 \cdot P}{EI}$$

$$df = \frac{1350}{4500} \cdot (\delta_1) = \frac{1350}{4500} \cdot \frac{2531250000 \cdot P}{EI} = \frac{759375000 \cdot P}{EI}$$

$$ef = 1/EI (\text{Luas } A_1 \cdot z_1) = \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{4} P \cdot 1350 \cdot 1350 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1350 \right) \right) = \frac{102515625 \cdot P}{EI}$$

$$de = df - ef = \frac{656859375 \cdot P}{EI}$$

- Lendutan pada Jarak pias = 1800 mm

$$\delta_1 = bc = 1/EI (\text{Luas AB. Zb})$$

$$= \left( \frac{1}{4} P \cdot 4500 \cdot 4500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 4500 \right) \right) - \left( \frac{1}{4} P \cdot 3000 \cdot 3000 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 3000 \right) \right) -$$

$$\left( \frac{1}{4} P \cdot 1500 \cdot 1500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1500 \right) \right)$$

$$= \frac{2531250000 \cdot P}{EI}$$

$$df = \frac{1800}{4500} \cdot (\delta_1) = \frac{1800}{4500} \cdot \frac{2531250000 \cdot P}{EI} = \frac{1012500000 \cdot P}{EI}$$

$$ef = 1/EI (\text{Luas } A_1 \cdot z_1)$$

LAMPIRAN 7

$$= \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{4} P \cdot 1800 \cdot 1800 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1800 \right) \right) - \left( \frac{1}{4} P \cdot 300 \cdot 300 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 300 \right) \right) = \frac{241875000 \cdot P}{EI}$$

$$de = df - ef = \frac{770625000 \cdot P}{EI}$$

- Lendutan pada Jarak pias = 2250mm

$$\delta_1 = bc = 1/EI (\text{Luas AB. Zb})$$

$$= \left( \frac{1}{4} P \cdot 4500 \cdot 4500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 4500 \right) \right) - \left( \frac{1}{4} P \cdot 3000 \cdot 3000 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 3000 \right) \right) -$$

$$\left( \frac{1}{4} P \cdot 1500 \cdot 1500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1500 \right) \right)$$

$$= \frac{2531250000 \cdot P}{EI}$$

$$df = \frac{2250}{4500} \cdot (\delta_1) = \frac{2250}{4500} \cdot \frac{2531250000 \cdot P}{EI} = \frac{1265625000 \cdot P}{EI}$$

$$ef = 1/EI (\text{Luas } A_1 \cdot z_1)$$

$$= \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{4} P \cdot 2250 \cdot 2250 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 2250 \right) \right) - \left( \frac{1}{4} P \cdot 750 \cdot 750 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 750 \right) \right) = \frac{457031250 \cdot P}{EI}$$

$$de = df - ef = \frac{808593750 \cdot P}{EI}$$

- Lendutan pada Jarak pias = 2700mm

$$\delta_1 = bc = 1/EI (\text{Luas AB. Zb})$$

$$= \left( \frac{1}{4} P \cdot 4500 \cdot 4500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 4500 \right) \right) - \left( \frac{1}{4} P \cdot 3000 \cdot 3000 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 3000 \right) \right) -$$

$$\left( \frac{1}{4} P \cdot 1500 \cdot 1500 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1500 \right) \right)$$

LAMPIRAN 7

$$= \frac{2531250000.P}{EI}$$

$$df = \frac{2700}{4500} (\delta_1) = \frac{2700}{4500} \cdot \frac{2531250000.P}{EI} = \frac{1518750000.P}{EI}$$

$$ef = 1/EI (\text{Luas } A_1.z_1)$$

$$= \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{4} P \cdot 2700 \cdot 2700 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 2700 \right) \right) - \left( \frac{1}{4} P \cdot 1200 \cdot 1200 / 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1200 \right) \right)$$

$$= \frac{748125000.P}{EI}$$

$$de = df - ef = \frac{770625000.P}{EI}$$

Pada Beban  
21 KN

No	Beban (KN)	L (mm)	Inersia (mm <sup>4</sup> )	EI (KNmm <sup>2</sup> )	Δ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
1	21	0	57543766.85	11508753370	0	0	0
2	21	450	52095495.44	10419099088	0.502528153	787.5	7.5582E-08
3	21	900	46961783.74	9392356748	1.063990143	1575	1.6769E-07
4	21	1350	42140336.11	8428067222	1.636680488	2362.5	2.8031E-07
5	21	1800	37593598.12	7518719624	2.152377773	3150	4.1895E-07
6	21	2250	32041853.33	6408370666	2.525310386	3937.5	6.1443E-07
7	21	2700	37593598.12	7518719624	2.152377773	4725	6.2843E-07
8	21	3150	42140336.11	8428067222	1.636679741	5512.5	6.5406E-07
9	21	3600	46961783.74	9392356748	1.063990143	6300	6.7076E-07
10	21	4050	52095495.44	10419099088	0.502528153	7087.5	6.8024E-07
11	21	0	57543766.85	11508753370	0	0	0

Pada Beban  
24 KN

No	Beban (KN)	L (mm)	Inersia (mm <sup>4</sup> )	EI (KNmm <sup>2</sup> )	Δ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
1	24	0	57543766.85	11508753370	0	0	0
2	24	450	52095495.44	10419099088	0.57431789	900	8.638E-08
3	24	900	46961783.74	9392356748	1.215988735	1800	1.9165E-07
4	24	1350	42140336.11	8428067222	1.870491986	2700	3.2036E-07
5	24	1800	37593598.12	7518719624	2.459860312	3600	4.788E-07
6	24	2250	32041853.33	6408370666	2.886069013	4500	7.0221E-07
7	24	2700	37593598.12	7518719624	2.459860312	5400	7.1821E-07
8	24	3150	42140336.11	8428067222	1.870491132	6300	7.475E-07
9	24	3600	46961783.74	9392356748	1.215988735	7200	7.6658E-07
10	24	4050	52095495.44	10419099088	0.57431789	8100	7.7742E-07
11	24	0	57543766.85	11508753370	0	0	0

LAMPIRAN 7

Pada Beban  
12 KN

No	Beban (KN)	L (mm)	Inersia (mm <sup>4</sup> )	EI (KNmm <sup>2</sup> )	Δ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
1	12	0	57543766.85	11508753370	0	0	0
2	12	450	52095495.44	10419099088	0.287158945	450	4.31899E-08
3	12	900	46961783.74	9392356748	0.607994367	900	9.58226E-08
4	12	1350	42140336.11	8428067222	0.935245993	1350	1.60179E-07
5	12	1800	37593598.12	7518719624	1.229930156	1800	2.39402E-07
6	12	2250	32041853.33	6408370666	1.443034506	2250	3.51103E-07
7	12	2700	37593598.12	7518719624	1.229930156	2700	3.59104E-07
8	12	3150	42140336.11	8428067222	0.935245566	3150	3.73751E-07
9	12	3600	46961783.74	9392356748	0.607994367	3600	3.8329E-07
10	12	4050	52095495.44	10419099088	0.287158945	4050	3.88709E-07
11	12	0	57543766.85	11508753370	0	0	0

Pada Beban  
15 KN

No	Beban (KN)	L (mm)	Inersia (mm <sup>4</sup> )	EI (KNmm <sup>2</sup> )	Δ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
1	15	0	57543766.85	11508753370	0	0	0
2	15	450	52095495.44	10419099088	0.358948681	562.5	5.39874E-08
3	15	900	46961783.74	9392356748	0.759992959	1125	1.19778E-07
4	15	1350	42140336.11	8428067222	1.169057492	1687.5	2.00224E-07
5	15	1800	37593598.12	7518719624	1.537412695	2250	2.99253E-07
6	15	2250	32041853.33	6408370666	1.803793133	2812.5	4.38879E-07
7	15	2700	37593598.12	7518719624	1.537412695	3375	4.4888E-07
8	15	3150	42140336.11	8428067222	1.169056958	3937.5	4.67189E-07
9	15	3600	46961783.74	9392356748	0.759992959	4500	4.79113E-07
10	15	4050	52095495.44	10419099088	0.358948681	5062.5	4.85887E-07
11	15	0	57543766.85	11508753370	0	0	0

Pada Beban  
18 KN

No	Beban (KN)	L (mm)	Inersia (mm <sup>4</sup> )	EI (KNmm <sup>2</sup> )	Δ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
1	18	0	57543766.85	11508753370	0	0	0
2	18	450	52095495.44	10419099088	0.430738417	675	6.4785E-08
3	18	900	46961783.74	9392356748	0.911991551	1350	1.4373E-07
4	18	1350	42140336.11	8428067222	1.40286899	2025	2.4027E-07
5	18	1800	37593598.12	7518719624	1.844895234	2700	3.591E-07
6	18	2250	32041853.33	6408370666	2.164551759	3375	5.2665E-07
7	18	2700	37593598.12	7518719624	1.844895234	4050	5.3866E-07
8	18	3150	42140336.11	8428067222	1.402868349	4725	5.6063E-07
9	18	3600	46961783.74	9392356748	0.911991551	5400	5.7494E-07
10	18	4050	52095495.44	10419099088	0.430738417	6075	5.8306E-07
11	18	0	57543766.85	11508753370	0	0	0

### Perhitungan Lendutan Pada Balok Nonprismatik

Pada Beban  
3 KN

No	Beban (KN)	L (mm)	Inersia (mm <sup>4</sup> )	EI (KNmm <sup>2</sup> )	Δ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
1	3	0	57543766.85	11508753370	0	0	0
2	3	450	52095495.44	10419099088	0.071789736	112.5	1.07975E-08
3	3	900	46961783.74	9392356748	0.151998592	225	2.39556E-08
4	3	1350	42140336.11	8428067222	0.233811498	337.5	4.00448E-08
5	3	1800	37593598.12	7518719624	0.307482539	450	5.98506E-08
6	3	2250	32041853.33	6408370666	0.360758627	562.5	8.77758E-08
7	3	2700	37593598.12	7518719624	0.307482539	675	8.97759E-08
8	3	3150	42140336.11	8428067222	0.233811392	787.5	9.34378E-08
9	3	3600	46961783.74	9392356748	0.151998592	900	9.58226E-08
10	3	4050	52095495.44	10419099088	0.071789736	1012.5	9.71773E-08
11	3	0	57543766.85	11508753370	0	0	0

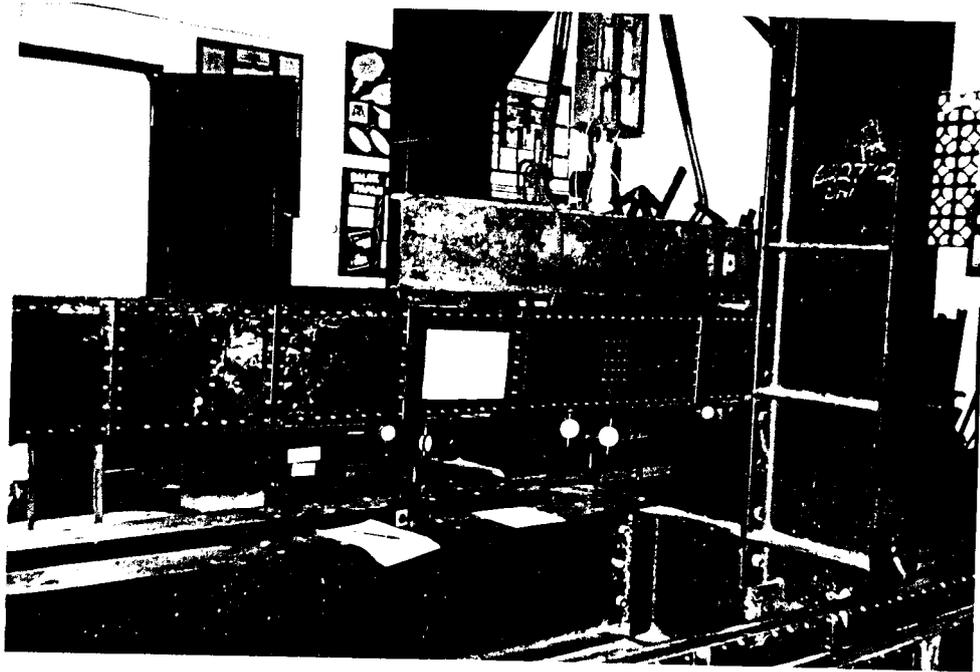
Pada Beban  
6 KN

No	Beban (KN)	L (mm)	Inersia (mm <sup>4</sup> )	EI (KNmm <sup>2</sup> )	Δ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
1	6	0	57543766.85	11508753370	0	0	0
2	6	450	52095495.44	10419099088	0.143579472	225	2.1595E-08
3	6	900	46961783.74	9392356748	0.303997184	450	4.79113E-08
4	6	1350	42140336.11	8428067222	0.467622997	675	8.00895E-08
5	6	1800	37593598.12	7518719624	0.614965078	900	1.19701E-07
6	6	2250	32041853.33	6408370666	0.721517253	1125	1.75552E-07
7	6	2700	37593598.12	7518719624	0.614965078	1350	1.79552E-07
8	6	3150	42140336.11	8428067222	0.467622783	1575	1.86876E-07
9	6	3600	46961783.74	9392356748	0.303997184	1800	1.91645E-07
10	6	4050	52095495.44	10419099088	0.143579472	2025	1.94355E-07
11	6	0	57543766.85	11508753370	0	0	0

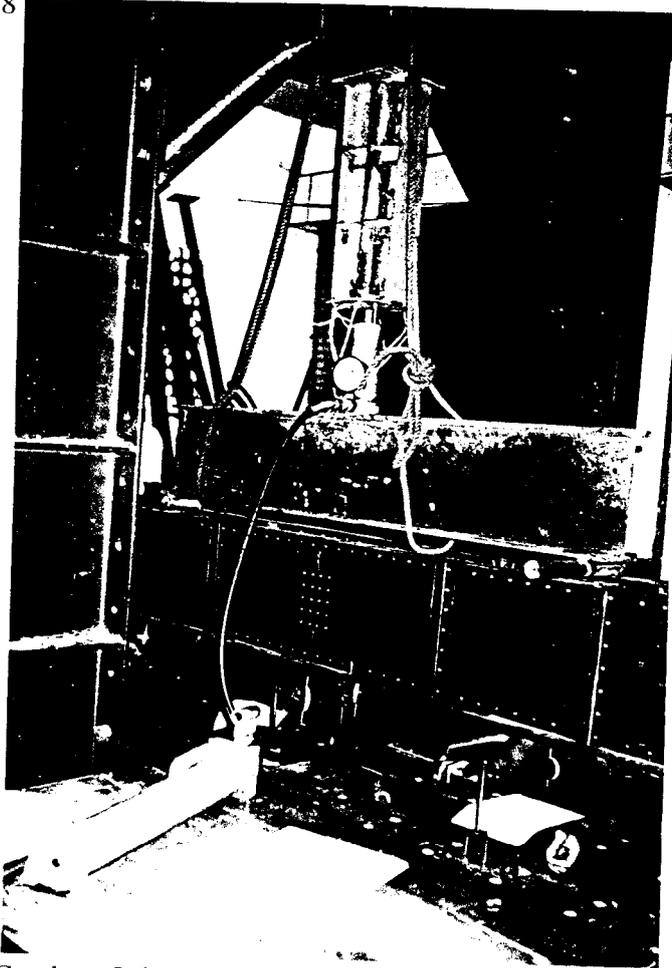
Pada Beban  
9 KN

No	Beban (KN)	L (mm)	Inersia (mm <sup>4</sup> )	EI (KNmm <sup>2</sup> )	Δ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
1	9	0	57543766.85	11508753370	0	0	0
2	9	450	52095495.44	10419099088	0.215369209	337.5	3.23924E-08
3	9	900	46961783.74	9392356748	0.455995776	675	7.18669E-08
4	9	1350	42140336.11	8428067222	0.701434495	1012.5	1.20134E-07
5	9	1800	37593598.12	7518719624	0.922447617	1350	1.79552E-07
6	9	2250	32041853.33	6408370666	1.08227588	1687.5	2.63327E-07
7	9	2700	37593598.12	7518719624	0.922447617	2025	2.69328E-07
8	9	3150	42140336.11	8428067222	0.701434175	2362.5	2.80313E-07
9	9	3600	46961783.74	9392356748	0.455995776	2700	2.87468E-07
10	9	4050	52095495.44	10419099088	0.215369209	3037.5	2.91532E-07
11	9	0	57543766.85	11508753370	0	0	0

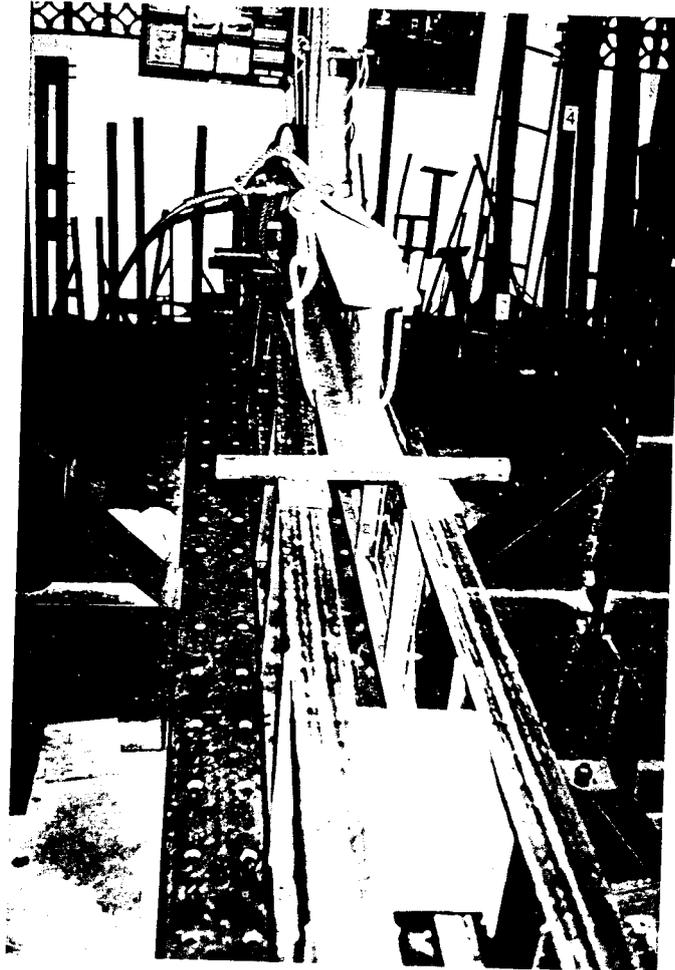
LAMPIRAN 8



Gambar Gelagar pelat sebelum diuji



Gambar Gelagar pelat pada saat dilakukan pengujian



Gambar Kerusakan pada gelagar pelat

LAMPIRAN 8



Gambar Kerusakan pada gelagar pelat

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	.....	97511148	Teknik Sipil
2	.....	97511100	Teknik Sipil

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

.....  
 .....  
 .....

**PERIODE II : DESEMBER - MEI  
 TAHUN : 2002 - 2003**

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

DOSEN PEMBIMBING I : .....  
 DOSEN PEMBIMBING II : .....



Yogyakarta, .....  
 a.n. Dekan,  
 ST *[Signature]*  
 (.....H. Mawanto. UII.....)

**Catatan.**

Seminar : .....  
 Sidang : .....  
 Pendadaran : .....

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1			
2			

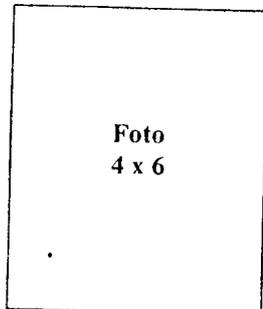
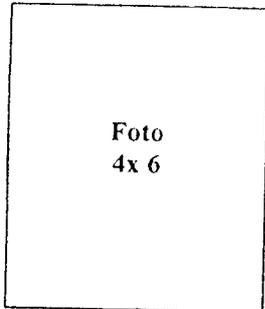
**JUDUL TUGAS AKHIR :**

.....  
 .....  
 .....

**PERIODE II : DESEMBER - MEI  
TAHUN :**

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

DOSEN PEMBIMBING I : .....  
 DOSEN PEMBIMBING II : .....



Yogyakarta, .....  
 a.n. Dekan,

(.....)

**Catatan.**

Seminar : .....  
 Sidang : .....  
 Pendadaran : .....