

PERPUSTAKAAN FTSP UIN	
HADIAH/BELE	
TGL. TERIMA :	05 - 12 - 2007
NO. JUDUL :	2674
NO. INV. :	5120002674001
NO. INDUK :	002674

TUGAS AKHIR

**KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT  
PENAMPANG I DAN PENAMPANG DOBEL DELTA  
DENGAN RASIO TINGGI TERHADAP LEBAR  
SAMA DENGAN  $\left(\frac{h}{b} = 6\right)$**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Program  
Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia Jogjakarta**



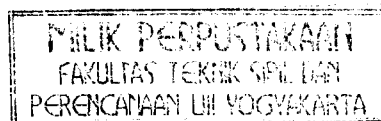
Disusun oleh :

**BATRA NOVEN AZHARI**

**(02 511 136)**

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

**2007**



**HALAMAN PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT  
PENAMPANG I DAN PENAMPANG DOBEL DELTA  
DENGAN RASIO TINGGI TERHADAP LEBAR**

$$\left(\frac{h}{b} = 6\right)$$

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Program  
Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia Jogjakarta**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Batra Noven Azhari  
No. Mhs : 02 511 136**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing I**



**Ir. FATKHURROHMAN N.S, MT**

**Tanggal : 10/05 - 2007**

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

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

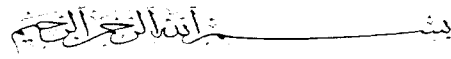
“ Jadilah dirimu sendiri dan janganlah engkau mengikuti apa yang dikatakan orang lain bila perkataan itu tak berguna bagi dirimu, dirimulah yang dapat mengetahui apa yang hendak kamu kerjakan”.

### **PERSEMBAHAN**

**Tugas akhir ini kupersembahkan kepada :**

- 1. Ayahnda dan Ibunda tercinta,**
- 2. Kakanda Tersayang**
- 3. Temen-temen terdekat,**
- 4. Para pembaca sekalian**

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya laporan tugas akhir dengan judul “*kapasitas lentur gelagar pelat I dan Dobel Delta dengan rasio tinggi terhadap lebar ( $h/b = 6$ )*” dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkakan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu prasyarat untuk menyelesaikan jenjang strata satu (S-1) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Tugas akhir merupakan sarana bagi mahasiswa untuk dapat mengaplikasikan ilmu dan pengetahuan yang telah didapat selama mengikuti perkuliahan di Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan jurusan teknik sipil. Selain itu, sesuai konsep Link dan Match yang diterapkan dalam dunia pendidikan Indonesia, sebagai upaya untuk menciptakan lulusan perguruan tinggi yang siap pakai dan sebagai professional maka perlu diberikan tugas akhir ini sebagai bekal didalam dunia kerja nantinya.

Selama pelaksanaan tugas akhir dan penyelesaian laporan tugas akhir ini, tak lepas dari hambatan, rintangan dan tantangan. Namun berkat motivasi,

Informasi, dan konsultasi akhirnya alhamdulillah semua dapat teratasi. Untuk itu, tidak berlebih kiranya, jika ada kesempatan untuk menyampaikan rasa hormat sebagai rasa ubgkapan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Ir Fatkhurrohman N,S, MT selaku Dosen Pembimbing yang banyak memberikan arahan-arahan dan motivasi sehingga laporan ini dapat terselesaikan
2. Prof. DR.Edi Suandi Hamid, M.Ec, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia Jogjakarta
3. Bapak DR. Ir. H. Ruzardi, MS, Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir H Faizol AM, MS Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan.
5. Staf Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
6. Ayahnda, Ibunda, Serta Kakanda yang selalu senantiasa memberikan Do'a dan memberikan motivasi baik riil maupun Nonriil hingga laporan ini terselesaikan.
7. Bapak Aris, Selaku penjaga laboratorium mekanika rekayasa yang banyak membantu selama penelitian dilakukan dilaboratorium hingga selesai
8. Bapak, Ibu Bengkel Candi Indah yang telah membantu membuat sampel gelagar pelat I dan Pelat Dobel Delta
9. Saudara Kholiq selaku temen satu penelitian yang banyak membantu hingga laporan ini dapat terselesaikan

10. Teman-teman A Class Civil UII : PNS, KT, D2N, E1, Ki2, Gt, Heru, dan kawan-kawan kampus yang banyak membantu melaksanakan uji laboratorium dari seting sampai pembacaan. Bersama kalianlah laporan ini dapat terselesaikan.

11. Anak-anak Wismateng yang memberikan saran dan motivasi.

Akhirnya besar harapan penyusunan laporan ini dapat berguna bagi pembaca pada umumnya-. Jika ada kesalahan-kesalahan dalam penulisan laporan mohon dimaafkan. Besar harapan penyusun dari pembaca untuk memberikan kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan ini.

*Wassalamu 'alaikum Wr.Wb*

Yogyakarta, Mei 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
MOTO PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
ABSTRAKSI.....	xxii

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Keaslian Penelitian.....	5
1.6 Lokasi Penelitian.....	5

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Gelagar Pelat.....	6
2.2 Bentuk Penampang.....	6
2.3 Kapasitas Lentur Gelagar Pelat.....	7

2.4 Hubungan Momen Kelengkungan.....	7
2.5 Tegangan Kritis Pelat.....	7
2.6 Hubungan Beban Deformasi.....	8
2.7 Kelangsingan Batas Elemen Pelat.....	8
2.8 Aksi Medan Tarik.....	9
2.9 Koefisien Pelat Asembling.....	9
2.10 Tekuk Badan.....	9
2.12 Tekuk Puntir Lateral.....	10
2.10 Tekuk Sayap.....	10

### **BAB III LANDASAN TEORI**

3.1. Gelagar Pelat.....	11
3.2. Tegangan Pada Penampang Pelat.....	11
3.3 Penampang I dan Dobel Delta.....	13
3.4 Tegangan Kritis Pelat.....	17
3.5 Tekuk Elastis Pelat Akibat Tekan.....	17
3.6 Tekuk Elastis Akibat Lentur Murni.....	21
3.7 Tekuk Elastis Akibat Geser.....	22
3.8 Rasio Kelangsingan Batas Pelat Sayap.....	24
3.9 Rasio Kelangsingan Batas Pelat Badan.....	25
3.10 Momen Batas Gelagar Pelat.....	26
3.11 Momen Batas Berdasarkan Tekuk Lokal.....	29



3.12 Momen Batas Berdasarkan Tekuk Puntir.....	31
3.13 Karakteristik Gelagar Pelat.....	42
3.14 Lendutan Gelagar Pelat.....	45
3.15 Desain Plastis Gelagar Pelat.....	49
3.16 Hipotesa.....	51

#### **BAB IV METODOLOGI PENELITIAN**

4.1 Tahap-tahap penelitian.....	53
4.2 Pesiapan Bahan Dan Peralatan.....	54
4.2.1 Pesiapan Bahan.....	54
4.2.2 Pesiapan Peralatan.....	54
4.3 Model Benda Uji.....	58
4.4 Pembuatan Benda Uji .....	59
4.5 Langkah-langkah Pengujian.....	59
4.5.1 Set Up Peralatan.....	59
4.5.2 Pelaksanaan Pembebanan.....	60
4.5.3 Uji Kuat Tarik Baja Dan Kuat Tarik Las.....	61

#### **BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	62
5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....	63
5.3 Hasil Uji Lentur Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....	64
5.3.1 Grafik Hasil Pengujian Penampang I dan Dobel Delta.....	64
5.3.2 Hubungan Beban Lendutan Gelagar I Versus Dobel Delta.....	70

5.3.3 Nilai Tegangan Kritis Gelagar I dan Dobel Delta.....	73
5.3.4 Nilai Koefisien Tekuk.....	76
5.3.5 Nilai Faktor Kelengkungan Gelagar I dan Dobel Delta.....	78
5.3.6 Hubungan Rasio $M_n/M_y$ terhadap $h/t_w$ Gelagar I dan Dobel Delta.....	82
5.4 Pembahasan.....	84
5.4.1 Rasio Kerusakan Pelat I dan Dobel Delta.....	84
5.4.2 Hubungan Beban – Lendutan Pengujian.....	85
5.4.3 Rasio Momen Batas ( $M_{cr}$ ) Pelat I dan Dobel Delta.....	90
5.4.4 Rasio Koefisien Tekuk Pelat I dan Dobel Delta.....	95
5.4.5 Rasio Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus ( $h/t_w$ ). 5.4.6 Perbandingan Tekuk Lokal Terhadap Tekuk Puntir Lateral Terhadap Kerusakan Pelat.....	97 100
5.4.7 Nilai Faktor Kelengkungan Pelat I dan Dobel Delta.....	101
5.4.8 Desain Plastis Gelagar.....	105

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

6.1 Kesimpulan.....	107
6.2 Saran.....	108
6.3 Penutup.....	109

## **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

1. Lampiran 1 Lembar Konsultasi Dosen
2. Lampiran 2 Perhitungan Hasil Uji Tarik Baja Dan Uji Tarik Las

3. Lampiran 3 Perhitungan Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Dan Tekuk Puntir Lateral
4. Lampiran 4 Perhitungan Beban Maksimum Teoritis
5. Lampiran 5 Perhitungan Beban Teoritis Berdasarkan Tegangan Geser
6. Lampiran 6 Data Beban-Lendutan Hasil Uji
7. Lampiran 7 Perhitungan Koefisien Tekuk Hasil Uji
8. Lampiran 8 Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Uji Dan Teoritis
9. Lampiran 9 Perhitungan Rasio Momen Nominal ( $M_n$ ) terhadap Momen Leleh ( $M_y$ ) Secara Teoritis Dan Berdasarkan Hasil Uji
10. Lampiran 10 Perhitungan Lendutan Secara Teoritis
11. Lampiran 11 Foto-foto Hasil Penelitian

## DAFTAR GAMBAR

1.	Gambar 3.1	Gelagar Pelat Dengan Beban Transversal.....	12
2.	Gambar 3.2	(a) Penampang I (b) Penampang Dobel Delta.....	13
3.	Gambar 3.3	Pelat Memikul Tekanan Merata.....	18
4.	Gambar 3.4	Koefisien Tekuk Pelat Dengan Kondisi Tumpuan Bervariasi.....	19
5.	Gambar 3.5	Koefisien Tekuk Pelat Dalam Lentur Murni.....	20
6.	Gambar 3.6	Koefisien Tekuk Lokal Untuk Batang Lentur Penampang I.....	21
7.	Gambar 3.7	Pelat Memikul Tegangan Geser.....	23
8.	Gambar 3.8	Nilai Koefisien Tekuk Dengan Variasi $a/h$ .....	23
9.	Gambar 3.9	Kurva Parameter Kelangsinga Pelat Panjang.....	25
10	Gambar 3.10	Rasio Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan.....	27
11.	Gambar 3.11	Pelat Penampang I.....	29
12	Gambar 3.12	Pelat Penampang Dobel Delta.....	30
13.	Gambar 3.13	Balok Dibebani Dengan Beban Merata.....	32
14.	Gambar 3.14	Balok Gelagar Pelat Puntir.....	32
15	Gambar 3.15	Deformasi Balok Akibat Puntir.....	33
16	Gambar 3.16	Distribusi Tegangan Geser Pada Puntir Murni.....	33
17	Gambar 3.17	Defleksi Lateral Pada Pelat Sayap.....	34
18	Gambar 3.18	Balok Profil I dalam Kondisi Tertekuk.....	36

19	Gambar 3.19	Komponen Momen Puntir.....	38
20	Gambar 3.20	Gelagar Pelat Dengan Beban Terpusat P.....	42
21.	Gambar 3.21	Contoh Kurva Beban Deformasi.....	43
22	Gambar 3.22	Kurva Momen Kelengkungan.....	45
23	Gambar 3.23	Kurva Elastis.....	46
24	Gambar 3.24	Aksi Momen Akibat Beban Terpusat.....	48
25.	Gambar 3.25	Distribusi Momen Lentur.....	50
26	Gambar 4.1	Bagan Alir Metode Penelitian.....	53
27	Gambar 4.2	Loading Frame.....	55
28	Gambar 4.3	Dial Gauge.....	56
29	Gambar 4.4	Dukungan Sendi Dan Rol.....	56
30	Gambar 4.5	Hydrolick Jack.....	57
31.	Gambar 4.6	Universal Testing Machine Shimtzu UMH 30.....	57
32	Gambar 4.7	Benda Uji Untuk Kuat Tarik.....	58
33	Gambar 4.8	Benda Uji Untuk Kuat Tarik Las.....	58
34	Gambar 4.9	Model Gelagar (a) Penampang I (b) Penampang Dobel Delta.....	58
35	Gambar 4.10	Set Up Peralatan.....	60
36.	Gambar 5.1	Benda Uji Tarik Baja.....	62
37.	Gambar 5.2	Benda Uji Tarik Las.....	63
38.	Gambar 5.3	Gelagar Pelat Penampang I.....	65
39	Gambar 5.4	Grafik Hubungan Beban Lendutan Gelagar Pelat I.....	66

40.	Gambar 5.5	Gelagar Pelat Penampang Dobel Delta.....	68
41	Gambar 5.6	Grafik Hubungan Beban Lendutan Gelagar Pelat Dobel Delta.....	69
42	Gambar 5.7	Grafik Hubungan Beban-Lendutan Pelat I dan Dobel Delta.....	71
43.	Gambar 5.8	Grafik Hubungan M <sub>cr</sub> Uji Versus M <sub>cr</sub> Teoritis.....	74
44	Gambar 5.9	Grafik Momen Kelengkungan Gelagar Pelat I.....	79
45	Gambar 5.10	Grafik Momen Kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta.....	81
46	Gambar 5.11	Grafik Hubungan Momen Kelengkungan Pelat I dan Dobel Delta...	82
47	Gambar5.12	Grafik Hubungan Beban-Lendutan Profil I.....	86
48	Gambar5.13	Grafik Hubungan Beban-Lendutan Profil Dobel Delta.....	88
49	Gambar 5.14	Kurva Parameter Kelangsingan Panjang.....	94
50	Gambar 5.15	Koefisien Tekuk Lokal Pada Batang Lentur.....	96
51	Gambar 5.16	Koefisien Tekuk Pelat Dalam Lentur Murni.....	97
52	Gambar 5.17	Hubungan Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan.....	99
53.	Gambar 5.18	Grafik Perbandingan Momen Kelengkungan Pelat I.....	103
54.	Gambar 5.19	Grafik Perbandingan Momen Kelengkungan Pelat Dobel Delta.....	105
55.	Gambar 5.20	Distribusi Tegangan Lentur.....	106

## DAFTAR TABEL

1.	Tabel 5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	62
2.	Tabel 5.2	Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....	64
3.	Tabel 5.3	Hasil Uji Beban Lendutan Pelat I.....	65
4.	Tabel 5.4	Nilai Beban Leleh dan Beban Maksimum Pelat I.....	67
5.	Tabel 5.5	Hasil Uji Beban Lendutan Pelat Dobel Delta.....	68
6.	Tabel 5.6	Nilai Beban Leleh dan Beban Maksimum Pelat Dobel Delta.....	70.
7.	Tabel 5.7	Kekakuan Gelagar Pelat I dengan Berbagai Variasi h/b.....	72
8.	Tabel 5.8	Kekakuan Gelagar Pelat Dobel Delta dengan Berbagai Variasi h/b.....	72
9.	Tabel 5.9	Nilai Momen Kritis Gelagar Pelat I dan Pelat Dobel Delta.....	73
10.	Tabel 5.10	Nilai Momen Kritis Secara Teoritis.....	74
11.	Tabel 5.11	Nilai $S_x$ Pada Gel;agar Pelat I dan Dobel Delta.....	75
12.	Tabel 5.12	Nilai Tegangan Kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....	75
13.	Tabel 5.13	Nilai Koefisien Tekuk (k) pelat Sayap Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....	77
14.	Tabel 5.14	Nilai Koefisien Tekuk (k) pelat Badan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....	77
15.	Tabel 5.15	Nilai Kelengkungan Gelagar Pelat I.....	78
16.	Tabel 5.16	Nilai Kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta.....	80

17.	Tabel 5.17	Hubungan Rasio Momen Nominal Terhadap Momen leleh versus Kelangsingan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta .....82
18	Tabel 5.26	Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Puntir Lateral Gelagar Pelat I..... 100
19	Tabel 5.27	Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Puntir Lateral Gelagar Pelat Dobel Delta.....101
20	Tabel 5.30	Nilai M <sub>cr</sub> Hasil Uji dan Momen Plastis.....106



## DAFTAR NOTASI

a	=	Jarak antar pengaku
Ab	=	Abruto = Luas penampang lintang bruto
Ae	=	Luas efektif
Apb	=	Luas kontak pengaku
Aw	=	Luasan badan
b	=	Lebar pelat sayap
bE	=	Lebar efek dimana tegangan maksimum dapat dianggap semua yang dapat memberikan kapasitas tebal yang tepat
bf	=	Lebar Flens
Cb	=	Faktor untuk menghitung gradient momen kekuatab balok, Nilainya 1,0-2,3
Cc	=	Rasio kerampingan KL/r yang memisahkan antara kolom Panjang dan pendek ASD
Cw	=	Konstanta kelengkungan puntir
d	=	Tinggi gelagar
Dw	=	Kedalaman badan
e	=	Eksentrisitas badan
E	=	Modulus elastisitas bahan.
f	=	Tegangan karena geser langsung

$f_a$	=	Tegangan tarik aksial beban layan.
$f_b$	=	Tegangan lentur dalam layan
$f_c$	=	Tegangan merata beban layan
$f_v$	=	Tegangan geser beban layan
$F_a$	=	Tegangan aksial beban layan yang disajikan dalam ASD
$F_b$	=	Tegangan lentur ijin.
$F_{cr}$	=	Tegangan kritis
$F_s$	=	Faktor keamanan
$F_v$	=	Tegangan geser
$F_y$	=	Tegangan leleh
$F_{yw}$	=	Tegangan leleh untuk bahan
$G$	=	Modulus elastisitas geser
$h$	=	Kedalaman, tinggi pelat
$I$	=	Momen inersia
$I_x$	=	Momen inersia sumbu kuat
$I_y$	=	Momen inersia sumbu lemah
$k$	=	Koefisien tekuk pelat
$L$	=	Panjang bentang
$L_b$	=	Panjang tanpa penopang lateral
$m$	=	Momen puntir beban layan terdistribusi merata
$M_{cr}$	=	Momen kritis

$M_p$	=	Kekuatan momen elastis
$M_u$	=	Momen beban layan terfaktor
$M_x$	=	Momen berdasarkan arah sumbu kuat
$M_y$	=	Momen berdasarkan arah sumbu lemah
$M_z$	=	Momen lentur puntir arah z menurut sumbu batang
$P$	=	Beban aksial layan
$P_n$	=	Kekuatan nominal batanbg tekan yang dibebani aksial
$P_u$	=	Beban aksial terfaktor
$S_x$	=	Modulus penampang elastis
$t$	=	Tebal pelat
$t_f$	=	Tebal pelat sayap
$t_w$	=	Tebal pelat badan
$V$	=	Tegangan geser
$V_n$	=	Kekuatan nominal geser
$V_u$	=	Kekuatan geser terfaktor
$y$	=	Defleksi pada sumbu lokasi z sepanjang bentang
$z$	=	Modulus elastic
$Z_x$	=	Modulus elastic sumbu Z
$\gamma$	=	Istilah umum untuk factor kelebihan badan
$\epsilon$	=	Regangan
$\epsilon_t$	=	Regangan total

$\epsilon_x$	=	Regangan arah x
$\epsilon_y$	=	Regangan pada saat tegangan leleh
$\Delta$	=	Defleksi
$\Delta_y$	=	Lendutan pada saat beban maksimum
$\Delta_{total}$	=	Defleksi total
$\lambda$	=	Rasio kerampingan untuk pelat
$\lambda_c$	=	parameter kerampingan
$\lambda_p$	=	Rasio kerampingan maksimum pelat kompak
$\mu'$	=	Rasio poisson
$\phi$	=	Kelengkungan
$\tau$	=	Tegangan geser
$\tau_{cr}$	=	Tegangan tekuk geser
$\tau_y$	=	Tegangan leleh geser
$\theta$	=	Sudut rotasi
$\rho$	=	Rasio luas penampang lintang badan $A_w$ terhadap luas penampang $A_f$ salah satu sayap
$\sigma$	=	Tegangan
$\pi$	=	Konstanta ( $\frac{22}{7}$ )

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran 1 Lembar Konsultasi Dosen
2. Lampiran 2 Perhitungan Hasil Uji Tarik Baja Dan Uji Tarik Las
3. Lampiran 3 Perhitungan Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Dan Tekuk Puntir Lateral
4. Lampiran 4 Perhitungan Beban Maksimum Teoritis
5. Lampiran 5 Perhitungan Beban Teoritis Berdasarkan Tegangan Geser
6. Lampiran 6 Data Beban-Lendutan Hasil Uji
7. Lampiran 7 Perhitungan Koefisien Tekuk Hasil Uji
8. Lampiran 8 Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Uji Dan Teoritis
9. Lampiran 9 Perhitungan Rasio Momen Nominal ( $M_n$ ) terhadap Momen Leleh ( $M_y$ ) Secara Teoritis Dan Berdasarkan Hasil Uji
10. Lampiran 10 Perhitungan Lendutan Secara Teoritis
11. Lampiran 11 Foto-foto Hasil Penelitian

## ABSTRAKSI

Gelagar pelat I merupakan pelat yang terdiri dari dua pelat sayap dan satu pelat badan yang dihubungkan dengan menggunakan alat sambung las. Dalam perencanaan biasanya pelat I memiliki angka kelangsingan yang tinggi. Akibatnya, pelat cenderung mengalami tekuk (*buckling*). Banyak ragam kegagalan yang terjadi pada gelagar pelat I yaitu : Tekuk Lokal Sayap ( Local Buckling Flens), Tekuk Lokal Badan (Web Local Buckling), Dan Tekuk Puntir Lateral (*Lateral Torsional Buckling*). Karena banyaknya kelemahan pada pelat I bukan tidak mungkin kapasitas gelagar pelat I dapat ditingkatkan. Kapasitas gelagar I dapat ditingkatkan dengan menambahkan pelat penopang pada sisi sayap dan pelat badannya atau yang dikenal dengan pelat Dobel Delta.

Penelitian eksperimental ini bertujuan untuk membandingkan momen lentur gelagar I dan gelagar Dobel Delta, membandingkan koefisien tekuk, membandingkan nilai tegangan kritis, membandingkan kurva beban deformasi dan kekakuan pelat, mendapatkan kurva kelengkungan, dan membandingkan nilai hubungan momen nominal dan momen leleh terhadap kelangsingan pelat antara gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta. Bila faktor penambahan bahan lebih kecil dari kapasitas kekuatan gelagar pelat bukan tidak mungkin gelagar pelat Dobel Delta dijadikan pertimbangan dalam perencanaan.

Hasil penelitian yang telah didapatkan antara lain : terjadi peningkatan kapasitas dalam menahan beban sebesar 1,64 kali, terjadi penurunan defleksi, tekuk local tidak terjadi pada pelat Dobel Delta, terjadi peningkatan koefisien tekuk pelat sayap dan pelat badan, terjadi peningkatan kekakuan sebesar 1,39, terjadi penurunan momen kelengkungan, semakin kecil kelangsingan pelat semakin tinggi dalam menahan lentur dan terjadi peningkatan tegangan kritis sebesar 1,23 kali, serta terjadi peningkatan kapasitas momen.

Kata Kunci : Hubungan beban – Lendutan, kapasitas momen, koefisien tekuk, tegangan kritis, kekakuan, deformasi beban, momen kelengkungan, tekuk puntir lateral, dan hubungan ( $M_n/M_y$ ) terhadap ( $h/t_w$ )

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Penggunaan gelagar pelat sebagai komponen struktur yang memikul momen dan gaya geser sudah cukup populer. pelat penampang I memiliki penampang yang terdiri dari dua pelat sayap yang dihubungkan secara menerus dengan pelat badan, ketiga komponen tersebut terbuat dari pelat baja yang dirangkai dengan menggunakan las. Fungsi pelat sayap pada gelagar pelat penampang I yaitu untuk mendukung momen, sedangkan pelat badan untuk mendukung gaya geser. Gelagar penampang I yang badannya langsing dan diberi pengaku terbukti cukup ekonomis dan mampu memikul momen dan gaya geser besar dengan mengandalkan kekuatan pelat pasca tekuk (*post buckling*) dari aksi medan tarik (*tesion action filed*). Gelagar pelat penampang I penampangnya tergolong langsing sehingga momen batas gelagar I dibatasi oleh tekuk (*buckling*) yang terjadi sebelum penampangnya leleh. Ragam tekuk yang mungkin terjadi pada gelagar penampang I dapat berupa: (1) tekuk badan (*web local buckling*), (2) tekuk sayap (*flens local buckling*) dan (3) tekuk puntir lateral (*lateral torsional buckling*). Tekuk sayap dipengaruhi oleh rasio kelangsingan pelat sayap ( $b/2t_f$ ), tekuk badan dipengaruhi oleh rasio kelangsingan pelat badan ( $d/t_w$ ), dan tekuk puntir lateral dipengaruhi oleh rasio panjang bentang antara dua tumpuan lateral jari-jari inersia minimumnya ( $L_b/r_y$ ).

Pada pelat sayap gelagar I memiliki desain yang hanya ditumpu pada salah satu sisinya, sehingga dapat berpotensi mengalami tekuk. Oleh karena itu ukuran sayap di pertebal, untuk menghindari tekuk. Guna mencegah tekuk puntir lateral di tempat-tempat tertentu pada penampang yang tertekan dipasang dukungan lateral (*lateral support*). Tekuk lokal dan tekuk puntir yang terjadi pada gelagar pelat penampang I menunjukkan momen batas gelagar I belum maksimal dan masih mungkin ditingkatkan.

Momen batas gelagar pelat I masih mungkin ditingkatkan dengan menambahkan pelat penopang yang menyatukan antara pelat badan dengan sisi pelat sayap yang dikenal dengan pelat Dobel Delta. Penambahan pelat penopang secara teoritis akan mengurangi tinggi badan, meningkatkan momen inersia sumbu kuat ( $I_x$ ) dan momen inersia sumbu lemah ( $I_y$ ). Dengan berkurangnya tinggi pelat secara teoritis akan meningkatkan tegangan kritis pelat. Meningkatnya tegangan kritis pada pelat secara teoritis akan meningkatkan momen batas serta menambah kekakuan pada pelat Dobel Delta. Disisi lain, penambahan pelat penopang pada gelagar pelat I akan memberikan penambahan biaya pada pelaksanaan. Namun, jika penambahan biaya material lebih kecil daripada peningkatan kapasitas kekuatan maka perencanaan gelagar pelat Dobel Delta layak untuk dijadikan pertimbangan dalam perencanaan.

Momen batas gelagar pelat Dobel Delta dapat dianalisis berdasarkan teori stabilitas pelat dan kekuatan bahan. Namun sampai saat ini belum ada formula praktis untuk menganalisis gelagar pelat Dobel Delta. Guna mengetahui kapasitas



batas gelagar pelat Dobel Delta terhadap gelagar pelat I maka diperlukan penelitian eksperimental.

### 1.2. Tujuan Penelitian.

Tujuan dilakukan penelitian eksperimental gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap penampang I antara lain :

1. Mendapatkan kurva beban deformasi ( $P-\Delta$ ) dan rasio kekakuan gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap Penampang I.
2. Membandingkan rasio tegangan kritis gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap penampang I
3. Mendapatkan nilai koefisien tekuk pelat sayap dan pelat badan gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta.
4. Mendapatkan nilai hubungan momen nominal terhadap momen leleh ( $M_n/M_y$ ) pada berbagai rasio kelangsingan ( $h/t$ )
5. Mendapatkan kapasitas lentur aktual gelagar pelat penampang Dobel Delta yang mempunyai tinggi dan lebar yang sama dengan gelagar pelat penampang I, serta membandingkan rasio kapasitas momen lentur aktual gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap penampang I.
6. Mendapatkan kurva momen kelengkungan dan faktor kekakuan gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap gelagar pelat penampang I yang memiliki ketinggian dan lebar yang sama.

### 1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian eksperimental ini yaitu:

1. Merupakan pengembangan pengetahuan yang telah ada, khususnya tentang momen nominal dan perilaku lentur gelagar pelat penampang dobel delta,
2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan struktur lentur bentang panjang.

### 1.4. Batasan Masalah

Perilaku kapasitas lentur gelagar pelat mencakup persoalan yang cukup luas dan dipengaruhi oleh banyak faktor, karena itu penelitian ini dibatasi untuk keadaan-keadaan berikut:

1. Gelagar pelat penampang dobel delta dan penampang I prismatis, dukungan sederhana (sendi-rol) dan memikul beban terpusat statis pada sepertiga bentang,
2. Tinggi dan lebar penampang dobel delta sama dengan tinggi dan lebar penampang, dimana  $\frac{h}{b} = 6$
3. Tebal sayap dan tebal badan penampang dobel delta sama dengan penampang,
4. Gelagar pelat dibuat dari pelat-pelat yang dihubungkan dengan las dan mengabaikan efek tegangan residu akibat pengelasan.

### **1.5. Keaslian Penelitian**

Berdasarkan studi pustaka, penelitian gelagar pelat I dan pelat dobel delta telah dilaksanakan sebelumnya. Dalam penelitian ini digunakan rasio tinggi terhadap lebar yang berbeda dengan penelitian terdahulu yaitu 6. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penelitian ini asli.

### **1.6. Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian dan pengujian sample dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Gelagar Pelat**

(*Taly, 1998*) mengemukakan definisi gelagar pelat, yaitu balok yang penampangnya simetris terhadap bidang badan, mempunyai sayap sama atau tidak sama, berbadan tipis sehingga kekuatannya dibatasi oleh tekuk lentur dan tekuk geser. Hal ini juga dikemukakan oleh (*Bowles, 1985*) gelagar pelat pada pokoknya yaitu bagian konstruksi rangka yang sayapnya berupa batang tepi atas dan batang tepi bawah dan badan yang membentuk suatu konstruksi.

#### **2.2.1 Bentuk Penampang I**

(*Taly, 1998*) Penampang gelagar pelat yang sederhana adalah penampang I, terdiri dari dua sayap yang relatif tebal dihubungkan menerus dengan pelat badan yang langsing.

#### **2.2.2 Bentuk Penampang Dobel Delta**

(*Taly, 1998*) Penampang gelagar pelat yang lain berupa penampang dobel delta, yaitu merupakan modifikasi dari penampang I dengan cara menambah batang penopang yang digunakan sebagai penghubung tepi-tepi pelat sayap dengan pelat badan.

*Salmon dan Johnson (1996)* menyatakan gelagar delta memberikan rigiditas lateral yang sempurna untuk bentang-bentang panjang yang tak berpanumpu lateral.

### 2.3 Kapasitas Lentur Gelagar Pelat

*Salmon dan Johnson (1996)* mengemukakan kekuatan nominal tereduksi ( $M_n$ ) dipengaruhi oleh fungsi rasio luas badan terhadap terhadap luas sayap ( $A_w/A_f$ ), rasio tinggi badan terhadap tebal ( $h/t_w$ ), rasio panjang total terhadap jari-jari girasi ( $L/r_y$ ) dan rasio lebar sayap terhadap tebal ( $b/t_f$ ). Pengaruh rasio tinggi terhadap lebar adalah semakin besar lebar yang kita gunakan maka akan semakin kecil rasio yang didapat, begitu juga sebaliknya. Sehingga akan mempengaruhi kapaasitas gelagar tersebut.

### 2.4 Hubungan Momen-Kelengkungan

*Timoshenko dan Gere (1961)* menyatakan hubungan momen dengan kelengkungan. Kelengkungan struktur berbanding lurus dengan momen, berbanding terbalik dengan modulus elastis bahan dan momen inersia penampang.

Perilaku struktur (karakteristik) balok yang beban transversal dapat diketahui dapat dikehahui berdasarkan kurva beban-deformasi ( $P - \Delta$ ) dan kurva momen-kelengkungan ( $M - \phi$ )

### 2.5 Tegangan Kritis Pelat

*Tall (1974)* dan *Edwin at. All (1992)* menyatakan bahwa tegangan kritis elastis elemen pelat dipengaruhi oleh nilai koefisien tekuk pelat ( $k$ ), modulus elastisitas ( $E$ ) dan rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ). Nilai tegangan kritis yang terjadi berbanding lurus terhadap nilai koefisien tekuk ( $k$ ) dan modulus elastisitasnya ( $E$ ),

namun berbanding terbalik dengan nilai kuadrat rasio lebar terhadap tebal sayap pelat ( $b/t$ ). Sehingga semakin lebar pelat sayapnya maka semakin kecil nilai tegangan kritisnya dan berlaku sebaliknya.

**Salmon dan Johnson (1996)** Menyatakan bahwa pelat sayap memikul tegangan tekan dan tidak diberi pengaku memiliki nilai tekuk 0,425. Sedangkan elemen pelat yang diberi pengaku mempunyai nilai antara 4 – 6,97. Pelat badan termasuk elemen pelat yang diperkuat karena ditumpu pada kedua sisinya. Koefisien tekuk pelat badan yang memikul lentur bervariasi, mulai dari tumpuan sederhana 23,9 hingga pada tumpuan jepit 39,6. Koefisien tekuk pelat badan yang memikul gaya geser dipengaruhi oleh rasio panjang terhadap lebar ( $a/h$ ).

## **2.6 Hubungan Beban-deformasi**

*Timoshenko dan Gere (1961)* menyatakan kekakuan suatu struktur sebagai rasio beban deformasi ( $P - \Delta$ )

## **2.7 Kelangsingan Batas Elemen Pelat**

*Salmon dan Johnson, (1996)* mengemukakan bahwa kelangsingan pelat sayap perlu dibatasi agar dapat mencapai tegangan kritis yang nilainya sama dengan tegangan leleh. Kelangsingan pelat badan perlu dibatasi agar pelat tersebut mempunyai kekuatan cukup untuk mencegah tekuk vertikal sayap. Pelenturan gelagar menimbulkan komponen gaya vertikal dan mengakibatkan tekanan pada tepi-tepi badan yang berhubungan dengan sayap.

## **2.8 Aksi Medan Tarik**

*Salmon dan Johnson (1996)* Menyatakan bahwa aksi medan tarik adalah Gaya tarik yang dipikul oleh membran dari badan sedangkan gaya tekan dipikul oleh pengaku.

## **2.9 Koefisien Pelat Assembling**

*N.S Trahair dan M bradford (1998)* menyatakan bahwa perakitan gelagar pelat yang mengalami tekuk lokal dapat di cek melalui hubungan antara rasio  $b/d$  dengan koefisien tekuk lokal pada sayap yang terjadi. Dimana  $b$  adalah lebar  $\frac{1}{2}$  pelat sayap,  $d$  adalah tinggi pelat badan,  $k$  adalah koefisien tekuk lokal,  $T$  adalah tebal pelat sayap, dan  $t$  adalah tebal pelat badan. Secara teotitis, semakin nilai rasio  $b/d$  maka nilai koefisien tekuk lokal semakin besar dan membentuk grafik  $T/t$ .

## **2.10 Tekuk Badan**

*Salmon dan Johnson (1996)* menyatakan Tekukan badan merupakan sebuah distorsi badan diluar bidang yang diakibatkan oleh gabungan nilai banding  $d/tw$  yang besar dan tegangan lentur. Tekukan badan dikontrol baik dengan membatasi nilai banding  $d/tw$  maupun dengan membatasi tegangan yang dapat digunakan untuk nilai banding  $d/tw$  yang diberikan.

### **2.11 Tekuk Puntir Lateral**

*Samuel H Marcus* menyatakan bahwa tekuk puntir lateral terjadi bergantung dari kekuatan bajanya, dimana sepanjang pelat sayap tidak terjepit atau tidak ada penopangnya. Pengaku yang dipasang disepanjang gelagar berguna untuk mencegah tekuk puntir lateral akibat perilaku plastis.

### **2.12 Tekuk Sayap**

*Taly (1996)* menyatakan tekuk pada sayap dipengaruhi oleh rasio kelangsingan sayap, rasio  $b/t$  pada keadaan *elastic*, dan rasio  $b/t$  terhadap kekuatan tekuk lateral (*postbuckling strength*).



## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Gelagar Pelat.

Gelagar pelat merupakan komponen struktural yang memikul momen lentur dan gaya geser. Gelagar pelat didefinisikan sebagai balok yang penampangnya simetris terhadap bidang badan, mempunyai sayap sama atau tidak sama, berbadan tipis sehingga kekuatannya dibatasi oleh tekuk lentur dan tekuk geser.

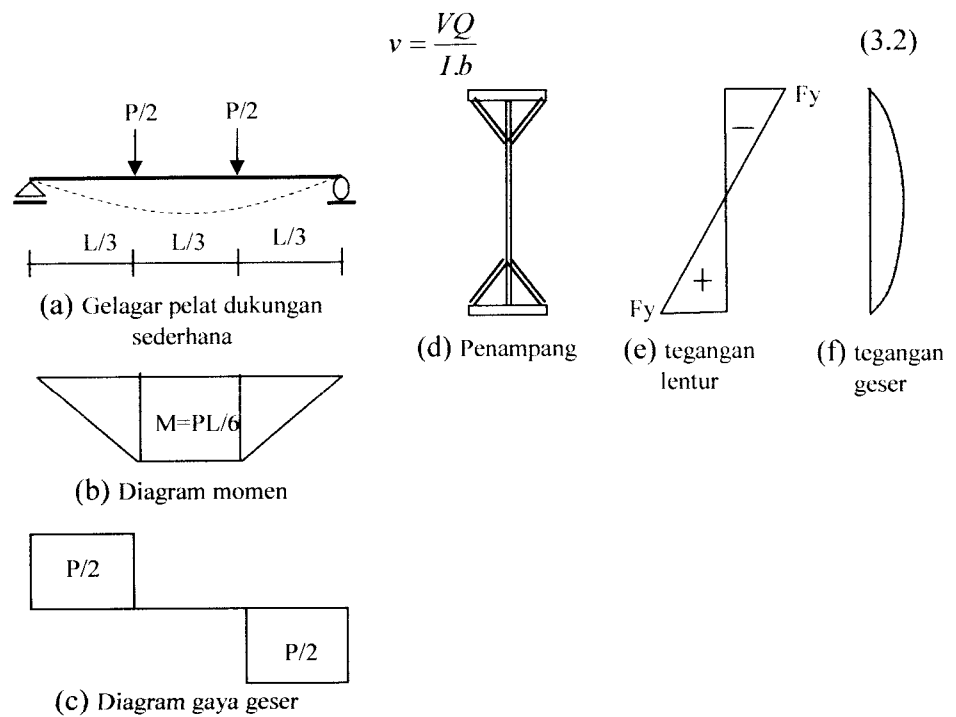
#### 3.2. Tegangan Pada Penampang Gelagar Pelat.

Gelagar Pelat dengan tumpuan sederhana yang dibebani oleh beban P (Gambar 3.1a) akan menimbulkan momen lentur murni dan gaya geser (Gambar 3.1b dan 3.1c). Jika beban P melalui pusat geser penampang dobel delta (Gambar 3.1d) menerima tegangan lentur. dan tegangan geser. Dalam keadaan elastis, distribusi tegangan lentur diperlihatkan pada Gambar 3.1e, besarnya tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan (3.1) yang diturunkan oleh *Timoshenko dan Gere* (1961) yaitu:

Dalam keadaan elastis :

$$\sigma = \pm \frac{My}{I} \quad (3.1)$$

Dengan M adalah momen, y adalah jarak serat ke sumbu netral dan I adalah momen inersia. Distribusi tegangan geser diperlihatkan pada Gambar 3.1f, dapat dihitung dengan persamaan (3.2) sebagai berikut yaitu :



**Gambar 3.1. Gelagar Pelat Dengan Beban Transversal**

Dari Gambar (3.1) dijelaskan bahwa sebuah balok sederhana yang diberikan beban sebesar  $P/2$  pada jarak yang sama dan terletak pada jarak  $L/3$  bentang. Pembebanan pada balok menyebabkan momen dan gaya geser sebesar  $P/2$  dan terjadi juga momen lentur murni sebesar  $1/6 PL$ . Pada Gambar (3.1d) terlihat bahwa penampang pelat akan terjadi tegangan-tegangan yaitu tegangan lentur dan tegangan geser pada pelat sayap Gambar (3.1e) dan pelat badannya Gambar (3.1f).

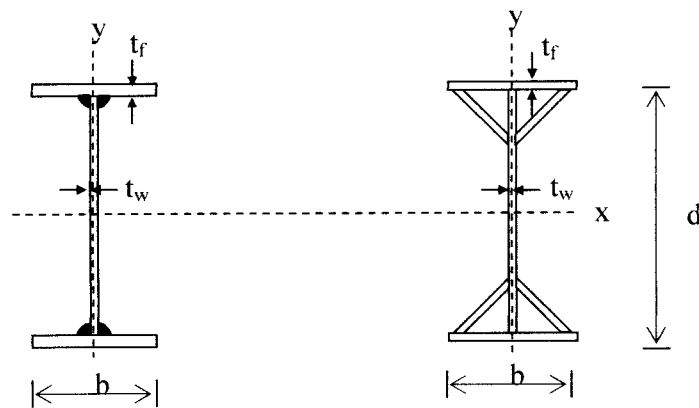
$$v = \frac{VQ}{I.b}$$

Yaitu bahwa  $V$  = gaya geser,  $Q$  = momen statis luasan dan  $b$  = lebar penampang. Distribusi tegangan geser ditunjukkan pada gambar 3.1f. Sayap atas

gelagar pelat dobel delta memikul tegangan tekan, sayap bawah memikul tegangan tarik, badan gelagar memikul tegangan lentur dan tegangan geser.

### 3.3. Penampang I dan Dobel Delta.

Penampang I adalah konfigurasi elemen pelat yang terdiri dari 2 pelat sayap dengan ketebalan yang ditentukan, dihubungkan secara menerus dengan pelat badan yang langsing. Sedangkan penampang dobel delta merupakan hasil modifikasi dari penampang I yang ditambah dengan batang penopang yang menghubungkan tepi – tepi pelat sayap dengan pelat badan. Setiap penampang pasti memiliki sumbu simetri. Yaitu sumbu lemah (sumbu Y) dan sumbu kuat (sumbu X), pada penampang I dan penampang dobel delta dapat kita ketahui sumbu simetrinya pada gambar di bawah ini, yaitu:



a. Penampang I

b. Penampang dobel delta

**Gambar 3.2 (a) Penampang I dan (b). Penampang Dobel Delta.**

Apabila kedua penampang tersebut mempunyai tinggi dan lebar sama dan dibuat dari pelat yang tebalnya sama maka dapat kita ketahui pula bahwa momen-momen inersia penampang dobel delta secara teoritis lebih besar dibanding

momen inersia penampang I. secara teoritis momen inersia ( $I_x$  dan  $I_y$ ) penampang tersebut dapat dihitung dengan persamaan (3.3a) dan persamaan (3.3b) yaitu:

$$\text{Momen inersia terhadap sumbu X, yaitu } I_x = \int_0^A y^2 dA \quad (3.3a)$$

$$\text{Momen inersia terhadap sumbu Y, yaitu } I_y = \int_0^A x^2 dA \quad (3.3b)$$

Momen inersia sumbu kuat ( $i_x$ ) dan sumbu lemah ( $i_y$ ) pada penampang I dengan badan yang langsing dan tersusun dari pelat-pelat segi empat dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut yaitu :

$$I_{ix} = \frac{1}{12} t_w (d)^3 + 2 \cdot \frac{1}{12} b t_f^3 + \frac{1}{2} (b t_f) d^2$$

$$I_{ix} = \frac{1}{12} t_w (d)^3 + \frac{1}{6} b t_f^3 + \frac{1}{2} (b t_f) d^2 \quad (3.4a)$$

$$I_{iy} = \frac{1}{12} (d) t_w^3 + 2 \cdot \frac{1}{12} t_f b^3$$

$$I_{iy} = \frac{1}{12} (d) t_w^3 + \frac{1}{6} t_f b^3 \quad (3.4b)$$

Pada pelat penampang Dobel Delta merupakan modifikasi dari pelat penampang I dengan menambahkan penopang pada sisi luar dan badan yang membentuk sudut  $45^\circ$ , secara teoritis momen inersia pada penampang Dobel Delta hampir sama dengan penampang I hanya pada penampang dobel delta menambahkan perhitungan pada pelat penopang. Secara umum pada penampang Dobel Delta dapat ditulis pada persamaan sebagai berikut yaitu :

$$I_{dx} = I_{ix} + \left( \frac{1}{24} t_w b^3 + 2(t_w)(b)(d/2 - b/4)^2 \right) \quad (3.5a)$$

$$I_{dy} = I_{iy} + \frac{1}{6} (t_w) b^3 \quad (3.5b)$$

Dari persamaan (3.4a) terhadap (3.5a) dan persamaan (3.4b) terhadap (3.5b) akan didapatkan rasio nilai peningkatan inersia pada penampang Dobel Delta terhadap Penampang I, sehingga persamaan dapat ditulis sebagai berikut yaitu :

$$\frac{I_{dx}}{I_{ix}} = 1 + \left( \frac{\frac{1}{24} t_w b^3 + 2(t_w)(b)(d/2 - b/4)^2}{1/12 t_w (d)^3 + \frac{1}{6} b t_f^3 + 1/2 (b t_f)(d)^2} \right) \quad (3.6a)$$

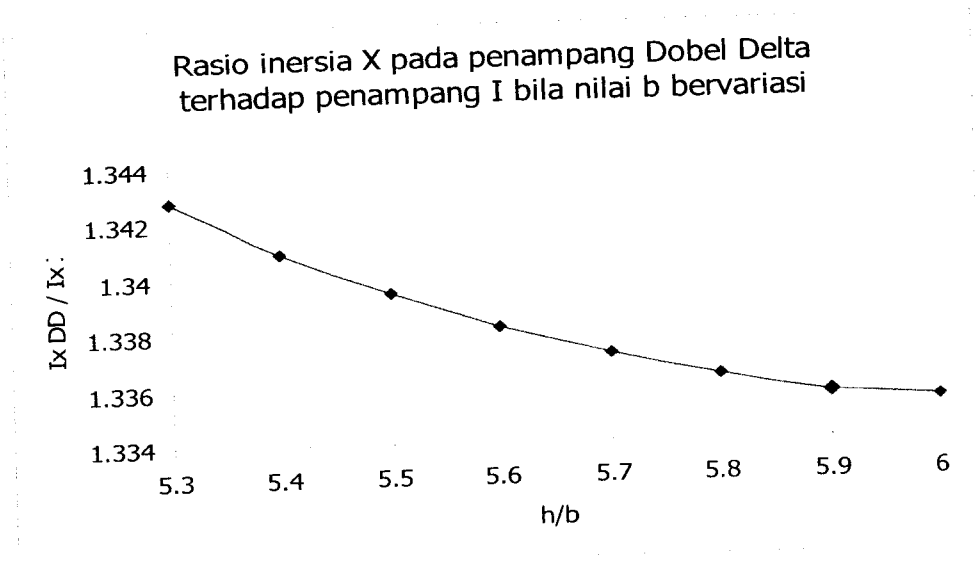
$$\frac{I_{dy}}{I_{iy}} = 1 + \left( \frac{\frac{1}{6} t_w b^3}{1/12 (d) t_w^3 + (1/6) t_f b^3} \right) \quad (3.6b)$$

Bila ditetapkan  $b = 6 d$  dan  $t_f = 1,5 t_w$  rasio momen inersia penampang dobel delta terhadap momen inersia penampang I adalah untuk Inersia sumbu x

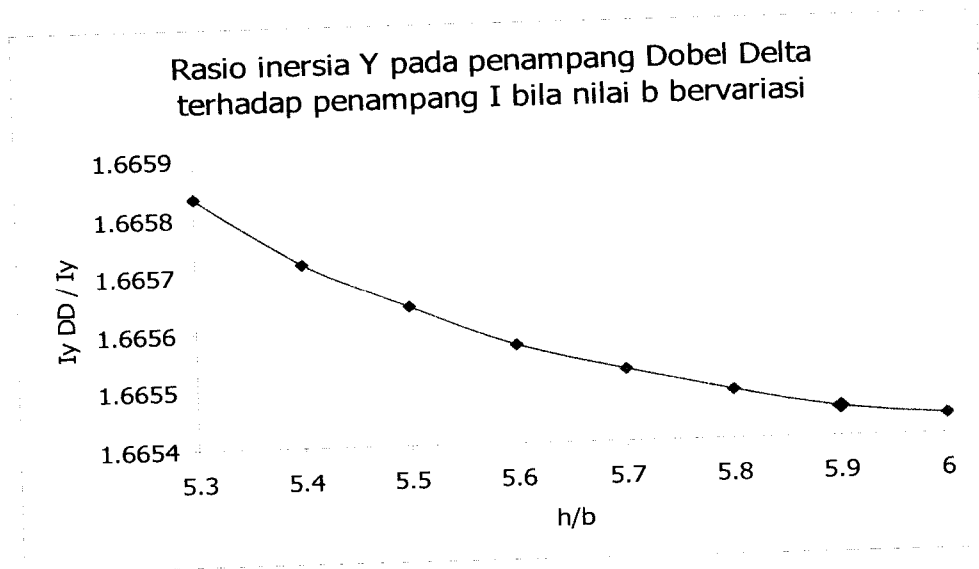
$$= \frac{I_{xDD}}{I_{xI}} = 1,3351 \text{ dan untuk Inersia sumbu } y = \frac{I_{yDD}}{I_{yI}} = 1,66584. \text{ Sedangkan Rasio}$$

luas penampang I terhadap penampang Dobel Delta adalah  $\frac{A_d}{A_i} = 1,34$ .

Dari persamaan 3.6a dan 3.6b maka didapatkan grafik rasio inersia sumbu kuat ( $I_x$ ) dan rasio inersia sumbu lemah ( $I_y$ ) pelat Dobel Delta terhadap pelat I adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.3a** rasio inersia x ( $I_x$ ) gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta.



**Gambar 3.3b** rasio inersia y ( $I_y$ ) gelagar pelat penampang I dan penampang Dobel Delta.

Dari gambar grafik diatas dapat dijelaskan bahwa dengan menambahkan pelat penopang pada pelat badan dan sisi pelat sayap secara teoritis akan meningkatkan momen inersia sumbu lemah dan sumbu kuat.

### 3.4. Tegangan Kritis Pelat.

Tegangan kritis pelat adalah tegangan yang mengakibatkan pelat menjadi tidak stabil, tegangan ini membatasi kapasitas momen (momen batas) pada gelagar penampang I dan penampang Dobel Delta. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya tegangan kritis antara lain sebagai berikut yaitu : aspek rasio, kondisi tegangan, dan jenis tegangan.

### 3.5. Tekuk Elastis Pelat Akibat Tekan.

Elemen pelat yang menerima tegangan tekan berpotensi mengalami tekuk. Keseimbangan pelat *isotropic* yang ditumpu sederhana pada keempat sisinya Gambar(3.3) oleh *Timoshenko dan Gere (1961)* dinyatakan dengan persamaan :

$$\left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = - \frac{Nx}{D} \frac{\delta^2 \omega}{\delta x^2} \quad (3.7)$$

Bila pelat diasumsikan memiliki kelangsingan dan dikonfigurasi dengan beban normal (q) maka keadaan batas stabilitas menjadi :

$$q = -Nx \frac{\delta^4 \omega}{\delta x^2} \quad (3.8)$$

Bila persamaan (3.7) disubstitusikan dengan persamaan (3.8), maka didapatkan persamaan sebagai berikut yaitu :

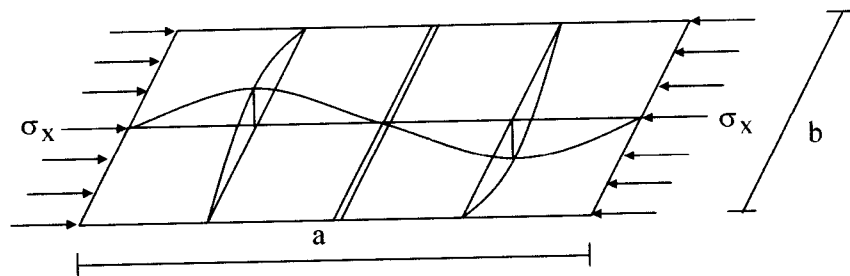
$$\left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = - \frac{N_x \delta^2 \omega}{D \delta x^2} \quad (3.9)$$

Dimana  $D = Et^2 / 12(1 - \mu^2)$  menunjukkan kekuatan lentur pelat, E menunjukkan modulus elastisitas bahan, dan  $\mu$  menunjukkan nilai banding *poison*. Dan

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

Dari Persamaan (3.9) maka didapatkan tegangan kritis

tekuk elastis berdasarkan penelitian oleh (Salmon dan Johnson, 1996) Agar penjelasan diatas dapat dipahami maka lihat Gambar 3.3 sebagai berikut yaitu :



**Gambar 3.3. Pelat Memikul Tekanan Merata (pelat sayap)**

Dari beberapa asumsi atau memanipulasi dengan penurunan rumus yang panjang sampai bentuk sederhana sesuai dengan (Salmon dan Johnson, 1996) didapatkan persamaan (3.10) sebagai berikut:

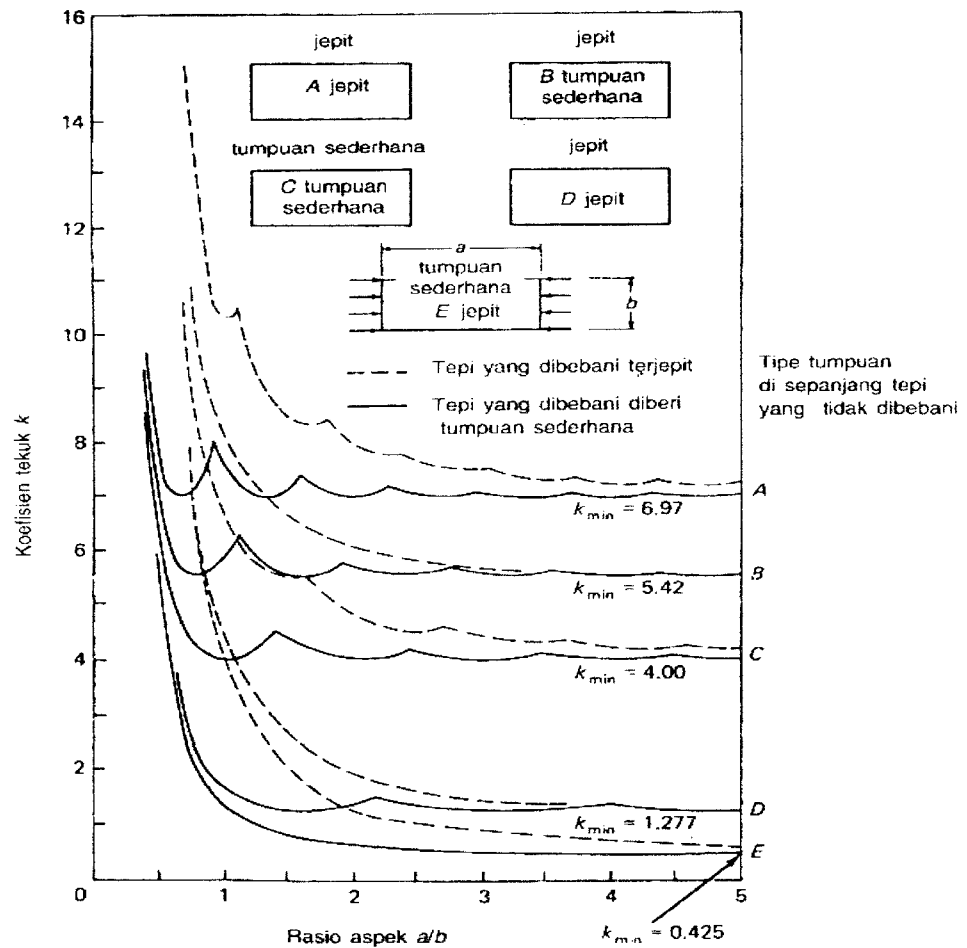
$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.10)$$



Dengan  $k$  adalah koefisien tekuk pelat yang bergantung pada kondisi tumpuan pelat, jenis tegangan, dan aspek rasio. Dari persamaan (3.10) tampak bahwa tegangan kritis berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, sehingga semakin besar kelangsingan pelat badan dan sayap maka semakin kecil tegangan kritisnya begitu pula sebaliknya. Koefisien tekuk pelat yang ditumpu keempat sisinya dan memikul beban merata dapat diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut yaitu :

$$k = \left( \frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right) \quad (3.11)$$

Dengan  $m$  adalah jumlah gelombang sinus pada arah gaya,  $(a/b)$  adalah rasio panjang terhadap lebar pelat. Bila koefisien tekuk pada pelat yang memikul beban merata dengan kondisi tepi atau kondisi tumpuan yang bervariasi dapat dilihat pada penjelasan Gambar (3.4) yaitu :

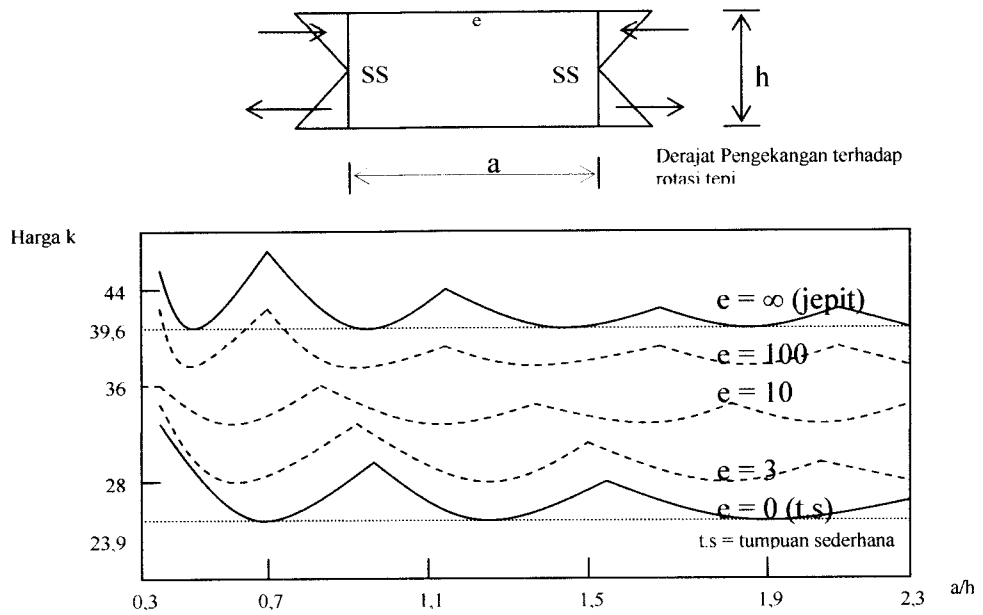


Gambar 3.4. Koefisien tekuk pelat dengan kondisi tumpuan bervariasi.

Pada Gambar (3.4) menunjukkan pelat berpenampang I dimana elemen pelat sayap hanya ditumpu pada salah satu sisinya dan diasumsikan bertumpu pada sendi maka nilai kekakuannya ( $k$ ) = 0.425, sedangkan pada penampang Dobel Delta kedua sisi elemen sayap baik sisi luar dan sisi dalam elemen sayap ditumpu oleh pelat dengan mengasumsikan gelagar memiliki tumpuan sederhana maka nilai  $k = 4$ . hal ini dinyatakan oleh *Timoshenko dan Gere (1961)*.

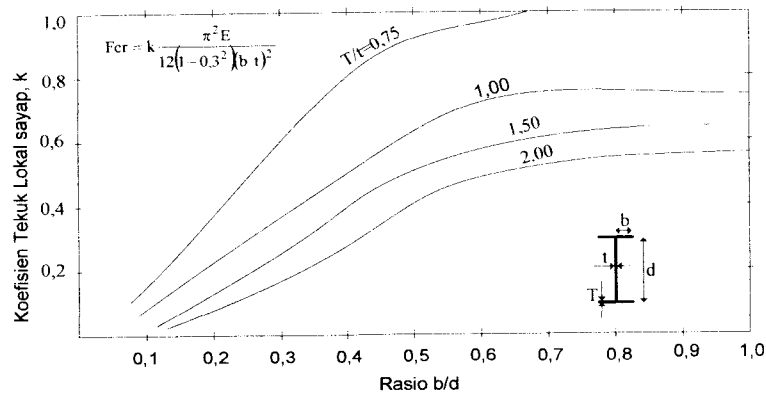
### 3.6. Tekuk Elastis Akibat Lentur Murni (pelat badan)

Persamaan (3.8) berlaku untuk pelat-pelat yang memikul lentur. Menurut *Timoshenko* dan *Gere* (1961) koefisien tekuk pelat yang memikul momen dan ditumou menerus pada kedua sisinya adalah 23,9 untuk tumpuan sederhana dan 39,6 untuk tumpuan jepit Gambar (3.5).



**Gambar 3.5. Koefisien Tekuk Pelat Dalam Lentur Murni**

Tekuk lokal pada elemen plat dapat menyebabkan kegagalan dini (*premature collapse*) pada keseluruhan penampang. Pada Gambar (3.6) menunjukkan nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi lentur.



**Gambar 3.6** Koefisien tekuk lokal untuk batang lentur penampang I  
(*N.S Tharair dan M Bradford*)

Pada Gambar 3.6 dapat dilihat nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis penampang I. Nilai koefisien tekuk pada pelat dipengaruhi oleh rasio lebar sayap terhadap tinggi badan ( $b/d$ ) dan tebal sayap terhadap tebal badan ( $T/t$ ). Dari gambar diatas dapat dijelaskan bahwa untuk mendapatkan nilai koefisien tekuk yang besar diperlukan lebar sayap yang semakin panjang dan tebal sayap yang semakin besar sehingga akan tercapai nilai koefisien tekuk yang besar.

### 3.7. Tegangan kritis Akibat Geser

Tegangan kritis elastis pelat-pelat yang dihubungkan dengan badan sayap yang menerima tegangan geser dinyatakan pada persamaan sebagai berikut yaitu :

$$F_{cr} = k \frac{k \cdot \pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (3.12)$$

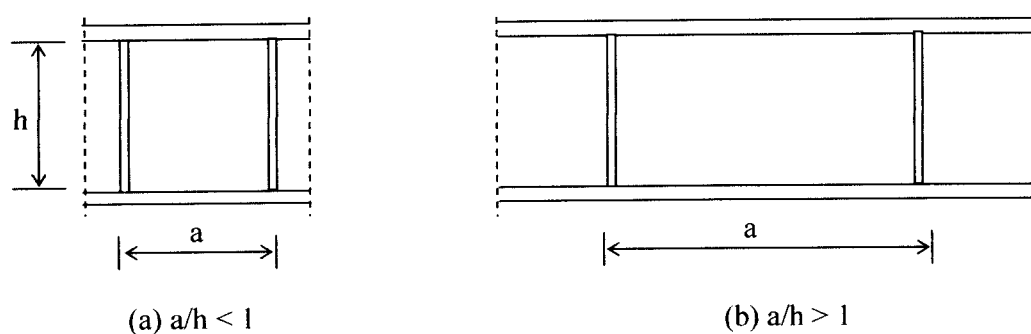
Dengan  $b$  adalah sisi pendek pelat. Koefisien tekuk pelat yang memikul geser bergantung kepada ( $a/h$ ), dinyatakan dengan persamaan (3.13a) dan (3.13b)

$$k = 4 + \frac{5,34}{(a/h)^2} \quad (3.13a)$$

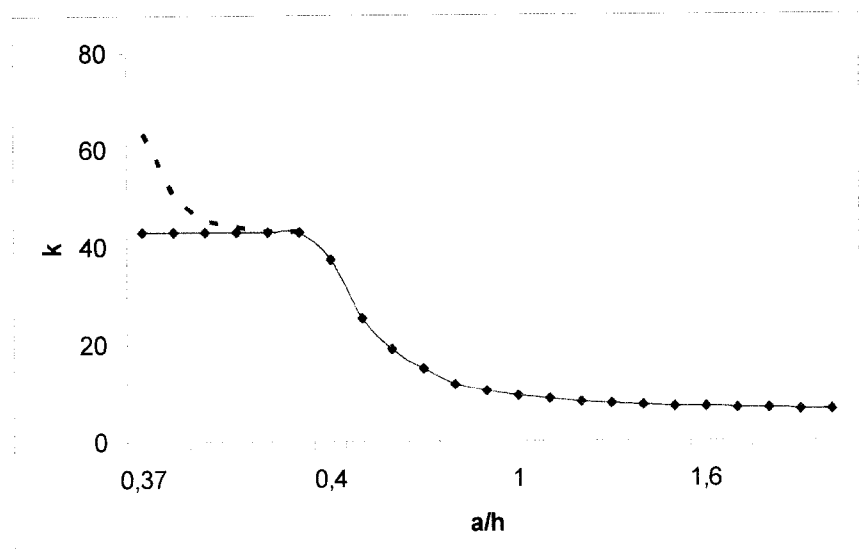
Nilai k pada kasus  $a/h \geq 1$  (Gambar 3.7b) adalah

$$k = \frac{4}{(a/h)^2} + 5,34 \quad (3.13b)$$

Agar persamaan (3.13a) dan persamaan (3.13b) dapat dipahami maka dapat dijelaskan pada Gambar (3. 7) sebagai berikut yaitu :



**Gambar 3.7 Pelat Memikul Tegangan Geser**



**Gambar 3. 8 Nilai Koefisien Tekuk Dengan Variasi a/h**

### 3.8. Rasio Kelangsingan Batas Pelat Sayap.

Rasio kelangsingan pelat sayap penampang I harus dibatasi dengan tujuan dari tegangan sayap tekan dapat mencapai leleh. Rasio kelangsingan pelat sayap dapat ditentukan dengan menyamakan persamaan (3.10) dengan tegangan leleh, menjadi :

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \leq F_y \quad (3.14)$$

Masing-masing ruas persamaan (3.14) dibagi tegangan leleh, maka akan didapat

persamaan menjadi :

$$\frac{F_{cr}}{F_y} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2 F_y} \quad (3.15)$$

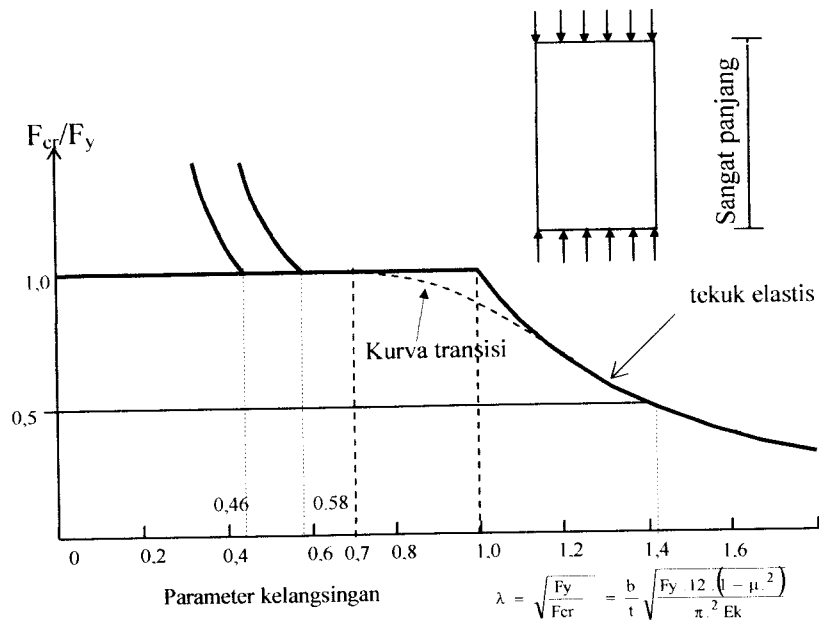
Parameter kelangsingan dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut yaitu :

$$\lambda^2 = \frac{F_y}{F_{cr}} \quad (3.16)$$

Bila persamaan (3.16) disubstitusikan kedalam persamaan (3.15) maka akan didapat persamaan baru yang menunjukkan rasio kelangsingan batas pelat sayap yaitu :

$$\frac{b}{t} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) F_y}} \quad (3.17)$$

Agar diperoleh kepastian pelat sayap mencapai tegangan leleh digunakan parameter kelangsingan berdasarkan hasil penelitian,  $\lambda_c = 0,7$  untuk lebih jelas perhatikan Gambar (3.9) yang dinyatakan oleh **Ostapenko** (1974) yaitu :



**Gambar 3.9. Kurva Parameter Kelangsingan Pelat Panjang**

Dari Gambar 3.9 bila diasumsikan  $\lambda_c = 0,7$ ,  $k = 0,425$ , dan  $E=2,10^5$  Mpa disubstitusikan kedalam persamaan (3.15) dan menggunakan notasi pada gambar (2a) didapat rasio kelangsingan batas pelat sayap gelagar penampang I yaitu :

$$\frac{b}{2t_f} = 15,8 \quad (3.18)$$

Untuk gelagar Dobel Delta bila sayap gelagar diasumsikan ditumpu menerus pada kedua sisinya, maka disarankan menggunakan nilai  $k = 1,4$ .

### 3.9. Rasio Kelangsingan Batas Pelat Badan.

Rasio kelangsingan batas pelat badan perlu dibatasi agar pelat sayap mempunyai kekakuan yang cukup untuk mencegah terjadinya tekuk vertikal. Berdasarkan penelitian oleh (*Salmon dan Johnson, 1996*), (*Taly, 1998*) dihasilkan persamaan yang menyatakan kelangsingan batas pelat badan yaitu :

$$\frac{h}{t_w} = 319,9 \quad (3.19)$$

Kelangsingan pelat badan yang diberi pengaku boleh melebihi  $(h/t_w)$  yang didapat dari persamaan (3.19) dan boleh digunakan hingga  $(h/t_w)$  mencapai persamaan (3.20), yaitu

$$\frac{h}{t_w} = 332,04 \quad (3.20)$$

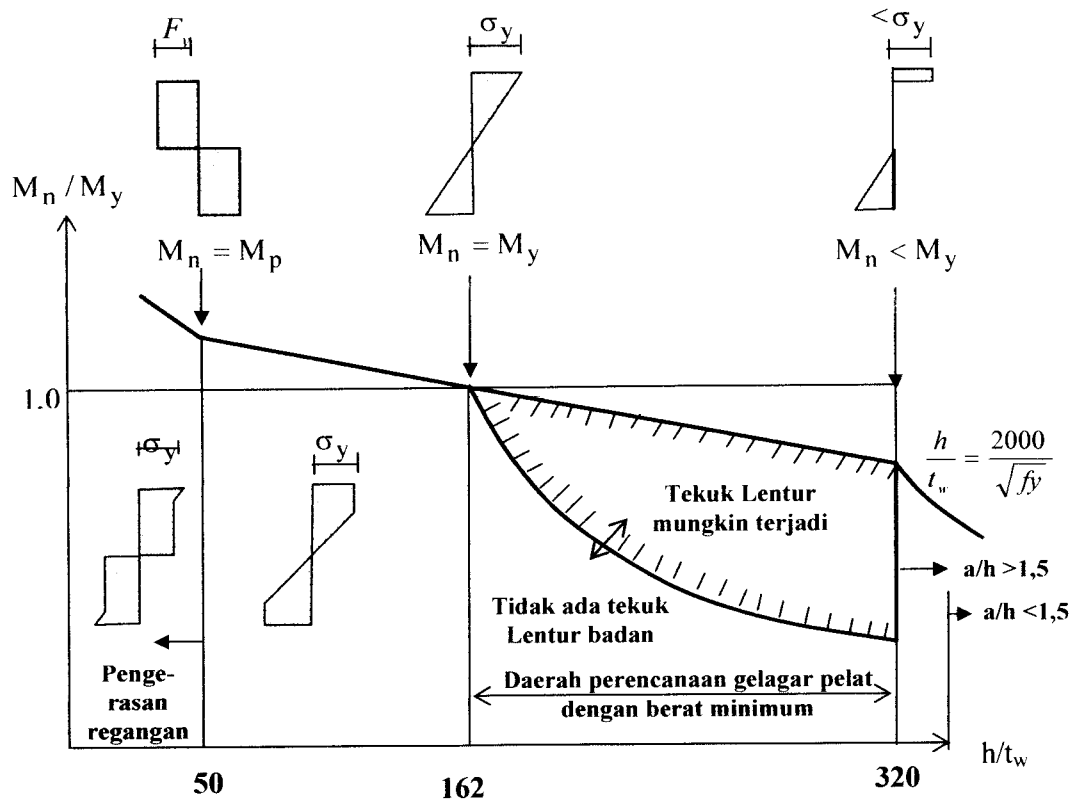
### 3.10. Momen Batas Gelagar Pelat.

Momen batas gelagar pelat oleh *Salmon* dan *Johnson* (1990) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut yaitu :

$$M_{cr} = f\left(\frac{h}{t_w}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f}, \frac{L_b}{r_r}\right) \quad (3.21)$$

Dengan  $(h/t_w)$  = kelangsingan pelat badan,  $(b/t_f)$  = kelangsingan pelat sayap,  $(A_w/A_f)$  = rasio luas badan terhadap luas sayap dan  $(L_b/r_y)$  = rasio jarak bentang terhadap jari-jari inersia minimum. Bila tekuk sayap dan tekuk puntir lateral dapat dicegah, maka momen batas gelagar pelat merupakan fungsi dari persamaan  $(h/t_w)$  dan persamaan  $(A_w/A_f)$ . Momen batas gelagar pelat penampang I fungsi  $(h/t_w)$  ditunjukkan pada Gambar 3.10. daerah perencanaan gelagar pelat yang efisien yaitu antara  $162 < h/t < 320$ .





**Gambar 3.10. Rasio momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan**

Untuk menentukan kapasitas geser gelagar pelat digunakan rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh Persamaan (3.22), yaitu:

$$C_v = \frac{F_{cr}}{F_y} \quad (3.22)$$

dengan  $\tau_y$  = tegangan leleh geser. Dalam keadaan badan gelagar mengalami tekuk geser elastis nilai  $C_v$  menjadi

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t_w)^2 F_{yw}} \quad (3.23)$$

Pada keadaan badan gelagar mengalami tekuk geser tidak elastis nilai  $C_v$  adalah

$$C_v = \frac{491}{(h/t_w)^2} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.24)$$

Kuat tekuk pelat badan dengan menyertakan kuat pelat pasca tekuk adalah jumlah kuat tekuk kritis  $V_{cr}$  ditambah kuat geser pasca tekuk ( $V_{if}$ ), jadi

$$V_n = V_{cr} + V_{if} \quad (3.25)$$

Jumlah kuat tekuk kritis ( $V_{cr}$ ) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut yaitu

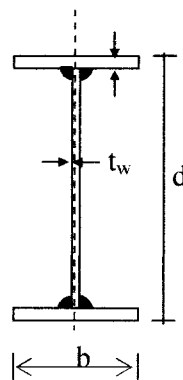
$$V_{cr} = F_y h t C_v \quad (3.26)$$

kekuatan geser  $V_{if}$  akibat aksi medan tarik pada pelat badan menimbulkan jalur gaya tarik yang terjadi setelah badan tertekuk akibat tekanan diagonal. Keseimbangan dipertahankan dengan pemindahan tegangan pengaku vertikal. Bila beban diperbesar maka sudut tarik berubah untuk mengakomodasi daya pikul terbesar. Jumlah kuat geser dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut yaitu :

$$V_{if} = F_t \frac{h t}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.27)$$

### 3.11. Momen Batas Berdasarkan Tekuk Lokal.

Momen batas gelagar penampang I berdasarkan kondisi tekuk lokal merupakan momen maksimum yang dipikul gelagar pelat akibat pelat sayap atau pelat badan yang tertekuk.



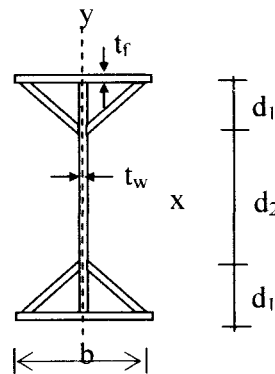
Penampang I

Gambar 3.11. Penampang I

Momen gelagar penampang I adalah momen batas pelat sayap ditambah momen batas pelat badan, dinyatakan dengan persamaan :

$$M_{cr} = b t_f (F_{crf})(d) + \frac{1}{6} t_w (d)^2 F_{crw} \quad (3.28)$$

Momen batas berdasarkan tekuk lokal pada penampang dobel delta secara prinsip sama dengan penampang I, namun pada penampang Dobel Delta hanya terdapat penampahan pada penopang yang menghubungkan 1/3 tinggi badan terhadap sisi luar pelat sayap. Agar dapat dipahami lihat gambar 3.12. sebagai berikut :



Penampang dobel delta

**Gambar 3.12.** Penampang Dobel Delta

Secara analitis penampang Dobel Delta dapat dibuat persamaan untuk menghitung momen batas berdasarkan tekuk lokal, persamaan dapat diturunkan,

$$M_{cr} = bt_f(d)(F_{crf}) + (d_1t_w)F_{crw}(d_1) + \frac{1}{6}t_w(d_2)^2 F_{crw} + (2)((b/2)(t_w)(d - b/2)F_{crw}$$

(3.29)

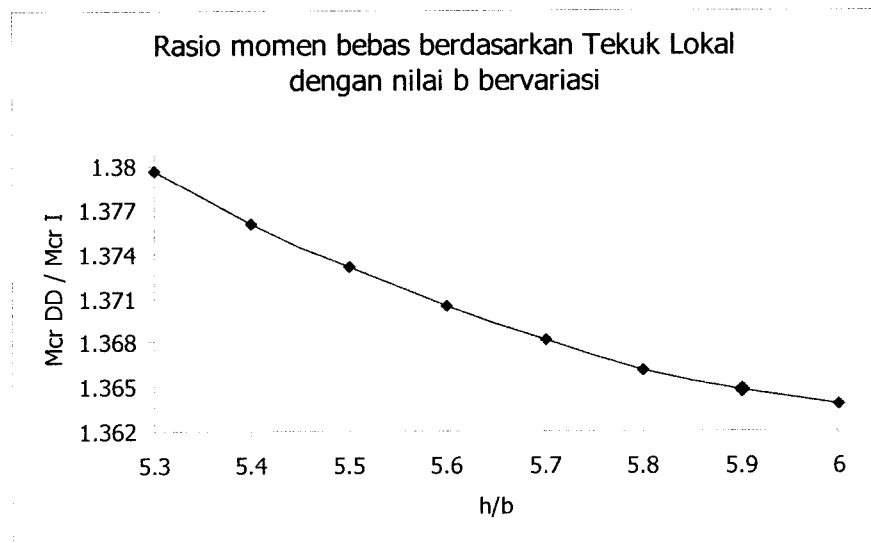
Rasio momen batas gelagar dobel delta terhadap momen batas gelagar I

berdasarkan kondisi batas tekuk lokal ditunjukkan pada persamaan (3.30) yaitu:

$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} = \frac{bt_f(d)F_{crf} + (d_1t_w)F_{crw}(d_1) + \frac{1}{6}t_w(d)^2 F_{crw} + (2)((b/2)(t_w)(d - b/2)F_{crw}}{bt_f(d)F_{crf} + \frac{1}{6}t_w(d)^2 F_{crw}}$$

(3.30)

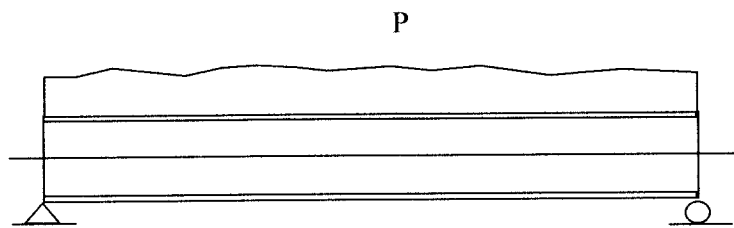
Bila persamaan (3.30) digunakan dengan tinggi terhadap lebar bervariasi yaitu rasio tinggi terhadap lebar 5,3 dan 6 maka didapatkan grafik rasio momen lentur terhadap rasio tinggi dan lebar penampang pelat I dan penampang Dobel Delta adalah sebagai berikut yaitu :



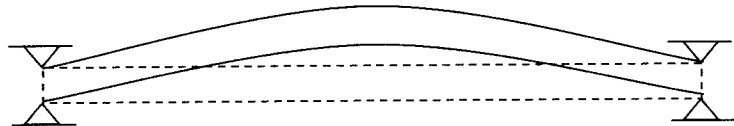
**Gambar 3.13** rasio momen kritis berdasarkan tekuk lokal gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta

### 3.12. Momen Batas Berdasarkan Tekuk Puntir.

Momen batas gelagar pelat berdasarkan tekuk puntir lateral merupakan fungsi dari momen inersia sumbu lemah, panjang bentang antar dukungan lateral ( $L_b$ ), Konstanta puntir / koefisien warping ( $C_w$ ), Modulus Geser ( $G$ ), dan momen inersia polar ( $J$ ), dinyatakan oleh *Timoshenko dan Gere* perhatikan Gambar (3.13) sebagai berikut



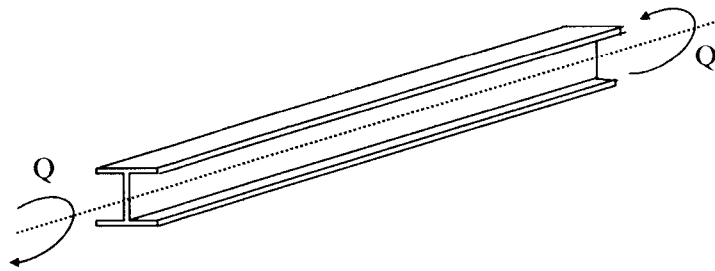
**Gambar 3.13a** Balok Dibebani Dengan Beban Merata (Tampak depan)



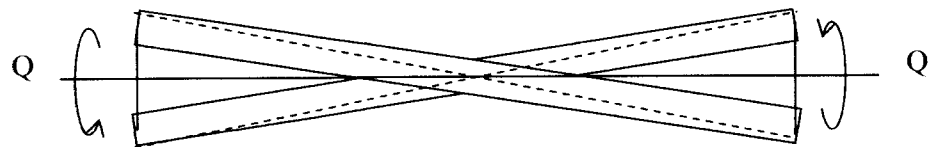
**Gambar 3.13b** Balok Dibebani Dengan Beban Merata (Tampak atas)

Pada Gambar (3.13) dapat diketahui bahwa sebuah balok yang diberikan beban secara merata tidak hanya mengalami tekuk lentur tapi dapat mengalami tekuk secara puntir atau yang disebut dengan tekuk puntir lateral.

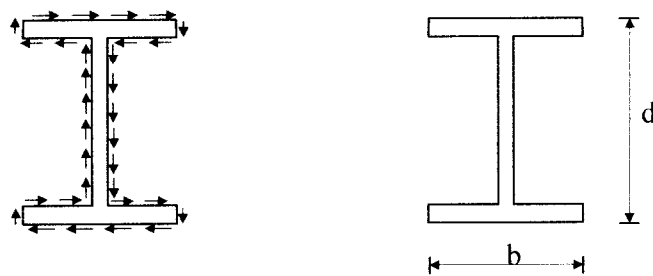
Bila balok penampang I Gambar (3.14) dipuntir dan deformasi arah aksialnya dicegah maka serat memanjang pada balok tersebut mengalami deformasi ditunjukkan pada Gambar (3.15). Puntir murni hanya menghasilkan tegangan geser yang distribusinya ditunjukkan pada Gambar (3.16).



**Gambar 3.14** Balok gelagar pelat puntir



**Gambar 3.15** Defomasi balok akibat puntir



**Gambar 3.16** Distribusi tegangan geser pada puntir murni

Untuk pelat tipis pada penampang terbuka (seperti profil I dan U) anggapan seperti cukup akurat, tegangan geser pada pelat sayap dan badan tegangan bekerja sejajar dengan tepi plat dan besarnya berbanding lurus dengan dengan jarak permukaan pelat. Deformasi puntir dapat dinyatakan dalam sudut puntir per satuan panjang yang dihubungkan dengan puntiran yang bekerja Q,

$$\phi/L = Q/C \quad (3.31)$$

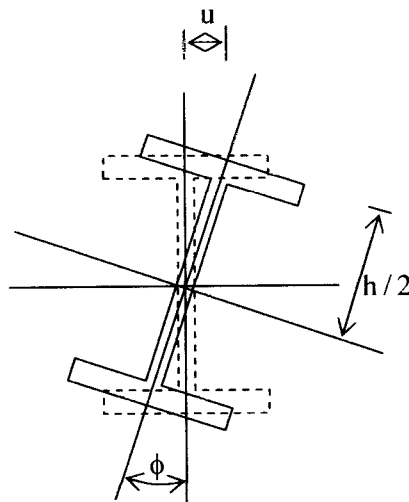
Dengan  $C$  = kekakuan puntir dapat dinyatakan sebagai hasil dari,  $G$  = modulus geser material,  $J$  = konstanta puntir penampang. Kontanta  $J$  untuk dinding tipis seperti pada penampang I dan kanal didekati dengan Persamaan

$$J = \frac{1}{3} b.t^3 \quad (3.32)$$

Nilai  $J$  pada penampang yang tebalnya tidask sama dihitung dengan Persamaan

$$J = \sum \frac{1}{3} b_i \cdot t_i^3 \quad (3.33)$$

Puntiran mengakibatkan serat longitudinal yang semula lurus membentuk *helices*. Pada sudut puntir yang kecil dapat dianggap garis lurus miring pada sumbu rotasi. Dengan demikian serat di pusat sayap yang berjarak  $h/2$  dari sumbu  $z$  menjadi miring dengan sudut miring  $(\phi/L)(h/2)$  yang menghasilkan deformasi arah aksial pada sayap, bentuk deformasi seperti ini dinamakan warping dan deformasi aksial yang dihasilkan dinamakan *warping displacement*



**Gambar 3.17** Defleksi lateral pada sayap

Secara umum puntir dapat diketahui dengan persamaan (3.34) sebagai berikut :

$$Q_1 = \frac{GJ\phi}{L} \quad (3.34)$$

Berdasarkan Gambar (3.17) defleksi lateral pada pelat sayap dapat dinyatakan pada persamaan sebagai berikut :

$$U_f = \phi \frac{h}{2} \quad (3.35)$$

Momen lateral pada pelat sayap ( $M_f$ ) dinyatakan dengan persamaan (3.36) yaitu :

$$M_f = EI_f \frac{d^2 u}{dz^2} \quad (3.36)$$

Dengan  $I_f$  merupakan momen inersia pelat sayap arah sumbu  $y$ . Bila inersia sayap disubstitusikan dengan momen lateral pada pelat sayap maka didapatkan persamaan sebagai berikut yaitu :

$$M_f = EI_f \frac{h}{2} \frac{d^2 \phi}{dz^2} \quad (3.37)$$

Gaya geser untuk lebar sayap ( $V_f$ ) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_f = \frac{dM_f}{dz} \quad (3.38)$$

Bila tegangan geser disubstitusikan dengan momen pada sayap maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$V_f = -EI_f \frac{h}{2} \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (3.39)$$

karena nilai gaya geser sama dengan nilai puntir maka gaya puntir dinyatakan dengan persamaan :

$$Q_2 = -EI_f \frac{h^2}{2} \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (3.40)$$

Bila persamaan (3.34) dan persamaan (3.40) dikombinasikan maka didapat persamaan sebagai berikut :

$$Q = GJ \frac{d\phi}{dz} - EI_f \frac{h^2}{2} \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (3.41)$$

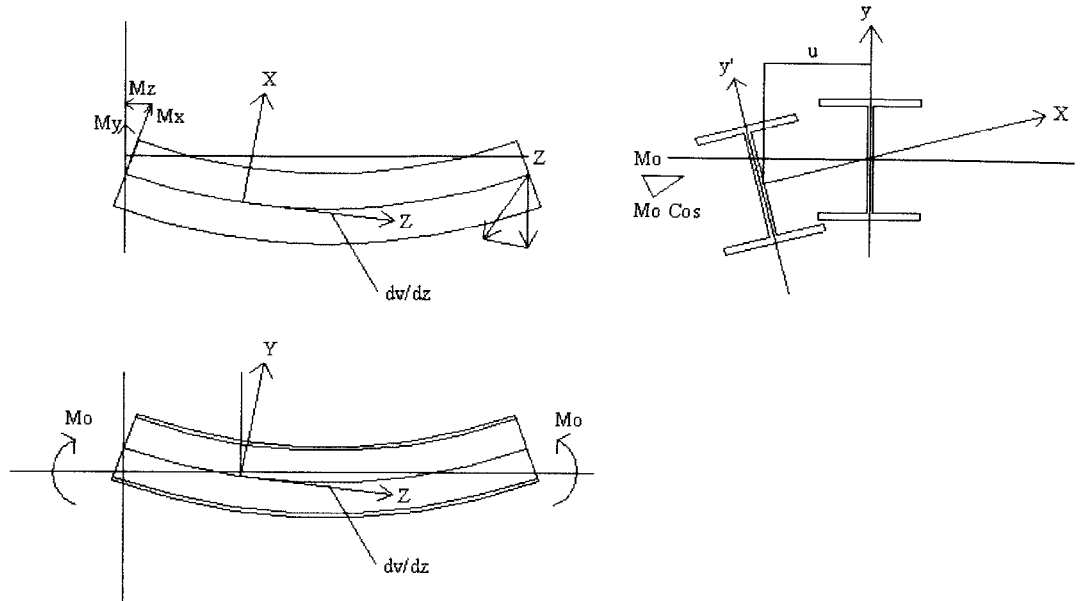
Bila  $I_f$  diasumsikan  $I_y/2$  dan memasukan nilai koefisien *warping* maka,



$$Q = GJ \frac{d\phi}{dz} - EI_w \frac{d^3\phi}{dz^3} \quad (3.42)$$

Dimana koefisien *warping* dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$I_w \approx \frac{I_y}{2} \frac{h^2}{2} = I_y \frac{h^2}{4} \quad (3.43)$$



**Gambar 3.18** Balok Profil I Dalam Keadaan Tertekuk

Dengan mengacu Gambar (3.18) yang memperlihatkan balok dalam suatu posisi tertekuk, terlihat bahwa momen yang bekerja  $M_o$  pada bidang  $yz$  akan meningkatkan komponen momen  $M_x$ ,  $M_y$  dan  $M_z$ , masing-masing menurut sumbu  $x'$ -,  $y'$ -, dan  $z'$ -. ini berate akan terdapat kurvatur lentur baik pada bidang  $x'z'$  maupun  $y'z'$  serta *kurvatur* puntir menurut sumbu  $z'$ . dengan asumsi deformasi kecil, lentur pada bidang  $y'z'$  (dengan memperhitungkan kosinus arahnya adalah 1 antara sumbu-sumbu  $y'$ - dan  $y$ -, dan  $z'$ - dan  $z$ ) dapat ditulis:

$$EI_x \frac{d^2v}{dz^2} = M_{x'} \quad (3.43)$$

dimana  $v$  adalah *displacement centroid* pada arah  $y$  (lihat Gambar 3.17). Demikian pula, kurvatur pada bidang  $x'z'$  adalah

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = M_{y'}$$
 (3.44)

serperti terlihat pada Gambar (3.44), dimana  $u$  merupakan pergesaeran sentroid pada arah  $x$ . yang mentutakan persamaan untuk torsi adalah:

$$GJ \frac{d\phi}{dz} = M_\xi$$
 (3.45)

Dimana  $M_\xi$  = merupakan komponen momen puntir pada sumbu kuat (sumbu  $x$ ).

Gambar (3.12) menunjukkan hubungan aplikasi momen  $M_\xi$  yang mana terletak pada bidang  $yz$  dan komponen  $\xi\eta\zeta$  itu mengacu pada sumbu  $x$ . Penetapan  $\eta$  dan  $\xi$  dalam persamaan M ditunjukkan dalam Gambar (3.18). persamaan (3.43) dan (3.44) dapat ditulis kembali menjadi persamaan lain yaitu:

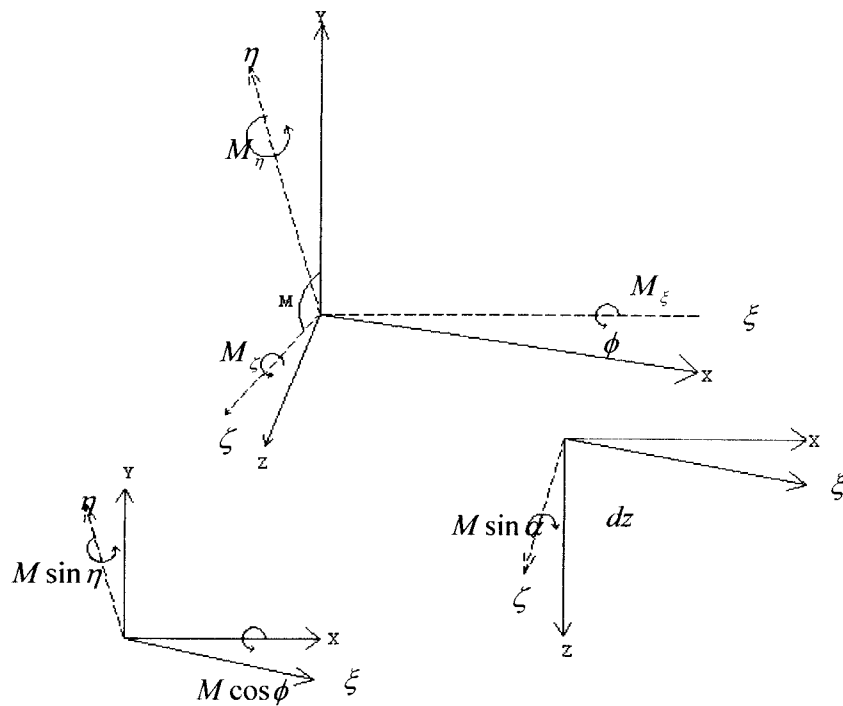
$$EI_x \frac{d^2 v}{dz^2} = M \cdot \cos \phi$$
 (3.46)

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = M \cdot \sin \phi$$
 (3.47)

dimana, selama  $\phi$  kecil, maka  $\sin \phi \approx \phi$  dan  $\cos \phi \approx 1$ , persamaan menjadi:

$$EI_x \frac{d^2 v}{dz^2} = M$$
 (3.48)

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = M \cdot \phi$$
 (3.49)



**Gambar 3.19** Komponen Momen Puntir

Jumlah  $M_\xi$  mungkin berlaku nilai 0 yang dapat dilihat pada Gambar (3.19) yang dapat disamakan dengan persamaan  $M \sin \alpha$ . Menyamakan  $\sin \alpha$  dengan  $-du/dz$  dapat ditunjukkan pada persamaan 3.50 terhadap persamaan 3.45 yaitu:

$$GJ \frac{d\phi}{dz} = M \frac{du}{dz} \quad (3.50)$$

Persamaan (3.48) – persamaan (3.50) merupakan sistem yang menggambarkan respon dari balok terhadap pembebanan M. Bila persamaan (3.50) disubstitusikan dengan  $d^2u/dz^2$  dapat ditunjukkan pada persamaan (3.51) sebagai berikut:

$$\frac{d^2\phi}{dz^2} = \frac{M^2}{EI_y GJ} \phi = 0 \quad (3.51)$$

Dari semua persamaan tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa momen kritis atau momen nominal dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{E.I_y \cdot GJ} \quad (3.52)$$

Pada persamaan 3.52 menunjukkan pula bahwa  $M_{cr} = M$  yang telah disebutkan pada persamaan sebelumnya. Persamaan 3.45 perlu dirubah dengan memasukkan efek warping menjadi :

$$GJ \frac{d\phi}{dz} - EI_w \frac{d^3\phi}{dz^3} = M_G \quad (3.53)$$

dengan menstutitusikan  $M_G$  ke persamaan 3.49 menjadi :

$$EI_w \frac{d^4\phi}{dz^4} - GJ \frac{d^2\phi}{dz^2} + \frac{M^2}{EI_y} \phi = 0 \quad (3.54)$$

dan persamaan  $M_{cr}$  ditetapkan menjadi :

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{E.I_y \cdot GJ} \sqrt{1 + \left( \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GJ} \right)} \quad (3.55)$$

dengan  $v =$  perpindahan adalah arah  $y$  :

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{\left( \frac{\pi E}{L} \right)^2 C_w I_y + E.I_y \cdot GJ} \quad (3.56)$$

Dimana  $C_w$   $\neq$  koefisien puntir,  $G$   $\neq$  modulus geser,  $L_b =$  panjang bentang antara dukungan lateral,  $I_y =$  momen inersia sumbu  $y$  atau momen inersia sumbu lemah,  $E =$  modulus *elastisitas* bahan, dan  $J =$  Konstanta puntir. Agar persamaan (3.56) dapat diselesaikan maka diperlukan nilai-nilai dari fungsi persamaan (3.56), nilai yang harus dicari antara lain  $C_w$ ,  $J$ ,  $I_y$ , dan  $G$ .

Nilai  $C_w$  untuk gelagar pelat penampang  $I$  dan  $\delta$  berturut-turut dinyatakan dengan  $C_{wi}$  dan  $C_{wd}$ .

Nilai  $C_w$  untuk penampang I adalah

$$C_{wi} = \frac{1}{12} t_f b^3 \frac{h^2}{2} \quad (3.57a)$$

Nilai  $C_w$  penampang dobel delta pada prinsipnya sama dengan penampang I hanya menambahkan pada penopang, persamaan dapat didekati dengan,

$$C_{wd} = \frac{1}{12} t_f b^3 \frac{h^2}{2} + 2 \frac{1}{12} t_w (b/2)^3 (h/2 - b/4)^2 \quad (3.57b)$$

Nilai J penampang I dihitung dengan persamaan

$$J_i = \frac{1}{3} d t_w^3 + 2 \frac{1}{3} b t_f^3 \quad (3.58a)$$

Nilai J penampang dobel delta dihitung dengan persamaan

$$J_d = \frac{1}{3} d t_w^3 + 2 \frac{1}{3} b t_f^3 + 4 \cdot (0,7b) t_w^3 \quad (3.58b)$$

Nilai modulus geser (G) pada penampang I dan penampang Dobel Delta secara prinsip sama, dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut yaitu,

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (3.59)$$

Dimana nilai  $\mu$  = nilai *poison ratio* (0.3) dan E = modulus elastisitas bahan ( $2,1 \times 10^5$  MPa). Dari persamaan dari fungsi mencari nilai momen batas berdasarkan tekuk puntir lateral, maka didapat persamaan mencari nilai rasio momen batas berdasarkan tekuk puntir lateral, adapun persamaan sebagai berikut yaitu,

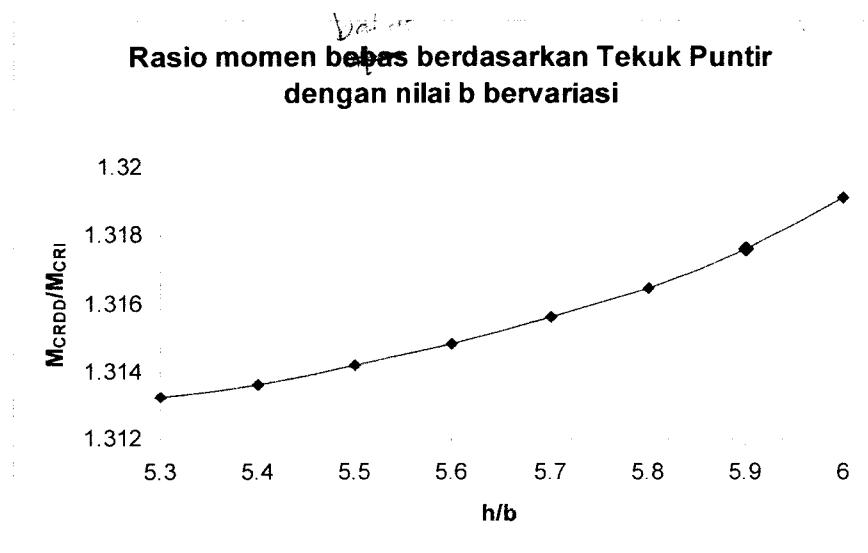
$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_{wi} I_{yi} + EI_{yi} GJ_i}}{\sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_{wd} I_{yd} + EI_y GJ_d}} \quad (3.60)$$

Bila persamaan (3.60) digunakan dengan tinggi terhadap lebar bervariasi yaitu rasio tinggi terhadap lebar 5,3 dan 6 serta jarak pengaku *lateral support* ( $L_b$ ) adalah 1550 mm, maka didapatkan grafik rasio momen puntir lateral terhadap rasio tinggi dan lebar penampang pelat I dan penampang Dobel Delta adalah sebagai berikut yaitu :

Jika diambil nilai  $h = 6 b$  dan  $t_f = 1,5 t_w$  maka momen batas yang didapat berdasarkan tekuk puntir penampang dobel delta terhadap penampang I adalah

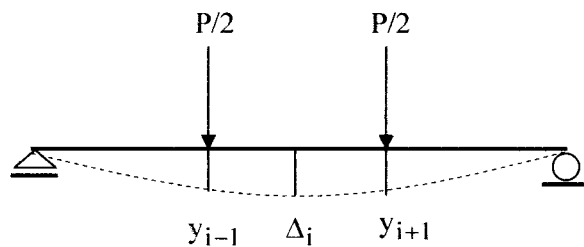
$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} = 1,319$$

Bila persamaan (3.32) digunakan dengan tinggi terhadap lebar bervariasi yaitu rasio tinggi terhadap lebar 5,3 dan 6 serta jarak pengaku *lateral support* ( $L_b$ ) adalah 1550 mm, maka didapatkan grafik rasio momen puntir lateral terhadap rasio tinggi dan lebar penampang pelat I dan penampang Dobel Delta adalah sebagai berikut yaitu :



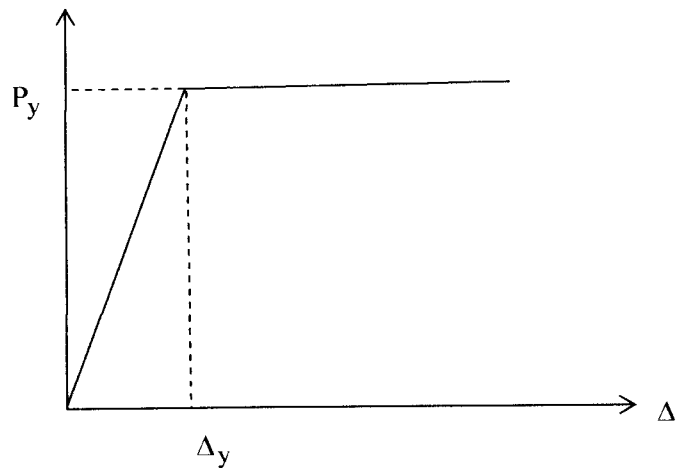
### 3.13. Karakteristik Gelagar Pelat.

Beban transversal  $P$  pada gelagar pelat Gambar (3.12). meimbulkan momen dan gaya geser, lendutan dan pelenturan. Karakteristik gelagar pelat dapat diketahui dari kurva beban-lendutan ( $P - \Delta$  hasil) dan kurva momen kelengkungan ( $M - \varphi$ ) hasil eksperimen.



**Gambar 3.20.** Gelagar pelat dengan beban terpusat  $P$

Jika beban  $P$  dikerjakan bertahap hingga balok runtuh dan pada setiap tahap pembenanan lendutan maksimumnya diukur didapat kurva beban-lendutan. Contoh kurva beban lendutan ditunjukkan pada Gambar 3.20.



**Gambar 3.21.** Contoh kurva beban-deformasi

Kekakuan gelagar yang masih elastis dihitung dengan Persamaan

$$k = \frac{P_y}{\Delta_y} \quad (3.61)$$

Kelengkungan balok dapat ditentukan berdasarkan pendekatan metode *Central difference* dengan bantuan lendutan di tiga penampang yang berurutan yang jaraknya sama. Mengamati Gambar (3.20) dapat diperoleh  $\frac{dy}{dx}$  didekati dengan

Persamaan (3.62), yaitu :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.62)$$

Turunan dari persamaan (3.62) ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut :

$$\varphi = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_i + y_{i-1}) \frac{d_y}{dx} (2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.63)$$

Jika  $(2\Delta x)$  adalah konstanta, maka :

$$\frac{d}{dx} (2\Delta x) = 0 \quad (3.64)$$



Substitusi persamaan (3.63) dan persamaan (3.64) maka diperoleh persamaan sebagai berikut yaitu

$$\varphi = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.65)$$

$$\varphi = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.66)$$

Sehingga persamaan (3.66) disederhanakan menjadi persamaan

$$\varphi = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta x)^2} \quad (3.67)$$

Persamaan merupakan pendekatan kelengkungan, dimana kelengkungan ( $d_2 \frac{y}{dx}$ ) pada suatu titik dapat diukur dengan lendutan yang terjadi pada tiga titik yang berurutan ( $y_{i-1}; y_i; y_{i+1}$ ) yang masing-masing berjarak sama ( $\Delta x$ ) maka :

Momen yang bekerja pada balok mengakibatkan balok melengkung, dalam keadaan gelagar masih elastis hubungan- momen kelengkungan dan faktor kekakuan ( $EI$ ) menurut *Timoshenko dan Gere (1961)* adalah

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.68)$$

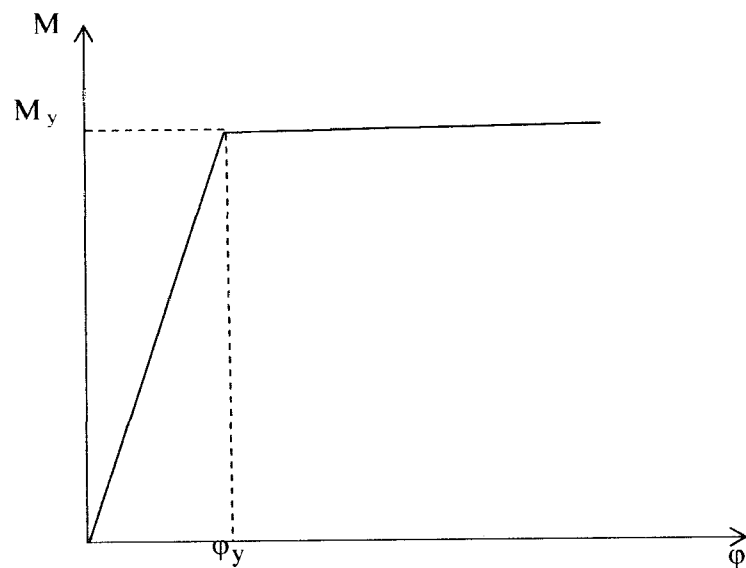
mengacu pada Gambar (3.20) didapatkan momen :

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.69)$$

Kelengkungan hasil eksperimen dapat dihitung dengan persamaan sebagai erikut yaitu :

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} \quad (3.70)$$

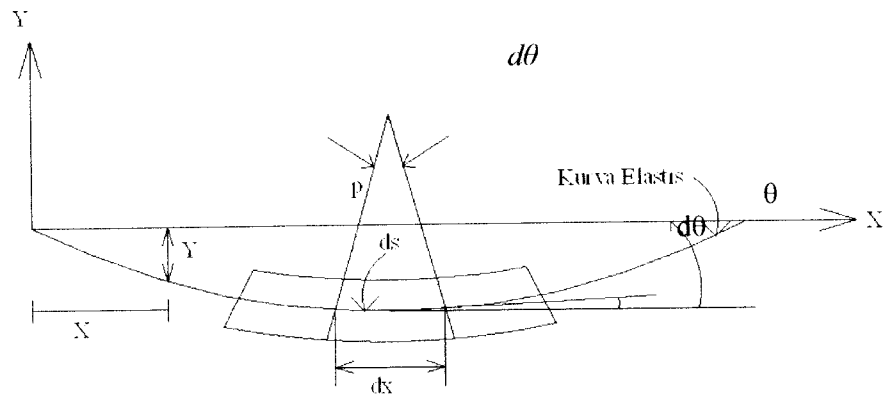
Dimana  $\varepsilon$  = regangan dan  $h$  = tinggi pelat badan. Sehingga dengan menggunakan persamaan diatas didapatkan kurva momen kelengkungan sebagai berikut yaitu :



**Gambar 3.22** Kurva Momen Kelengkungan



### 3.14. Lendutan Gelagar Pelat



**Gambar 3.23** Kurva Elastis

Gambar (3.23) menunjukkan permukaan netral balok yang melendut atau disebut dengan kurva elastis balok dimana ditetapkan lendutan tegak  $y$  dari setiap titik dengan terminologi koordinat  $x$ . Bila ditinjau variasi  $\theta$  dalam panjang diferensial  $ds$  yang disebabkan lenturan balok maka :

$$ds = \rho d\theta \quad (3.71)$$

Dimana  $\rho$  adalah jari-jari kurva sepanjang  $ds$ , karena kurva elastis datar maka didekatkan dengan  $dx$ , maka :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.72)$$

dengan mengambil rumus lentur maka akan diperoleh hubungan ::

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (3.73)$$

Dengan  $\rho$  didekati dengan persamaan :

$$\rho = \left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} \quad (3.74)$$

Persamaan (3.74) dsubstitusikan dengan persamaan (3.73) maka akan didapatkan persamaan :

$$\frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} = \frac{M}{EI} \quad (3.75)$$

Karena nilai  $dy/dx$  sangat kecil, maka dapat dianggap diabaikan, maka :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.76)$$

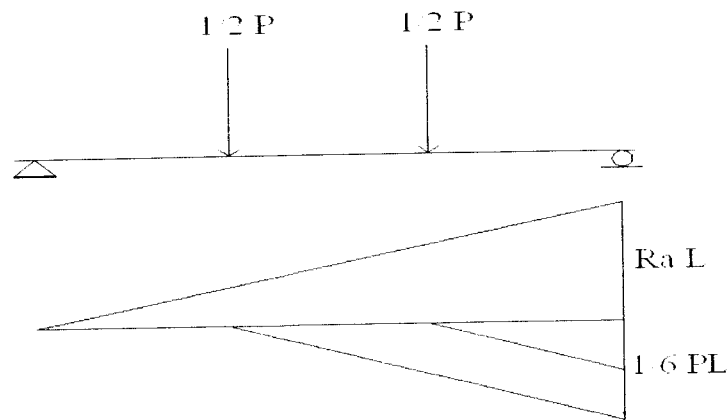
Bila Persamaan (3.76) diintegrasikan dengan  $EI$  konstan maka :

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \quad (3.77)$$

Bila persamaan (3.77) diintegrasikan maka :

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (3.78)$$

Bila sebuah balok diberikan pembebanan pada  $\frac{1}{3}$  bentang dengan beban statik sebesar  $\frac{1}{2} P$ , maka didapatkan momen pada tengah bentang. Untuk lebih jelas lihat Gambar 3.24.



**Gambar 3.24** Aksi Momen Akibat Beban Terpusat

Berdasarkan Gambar (3.24) didapatkan penurunan lendutan berdasarkan metode luas bidang momen yaitu :

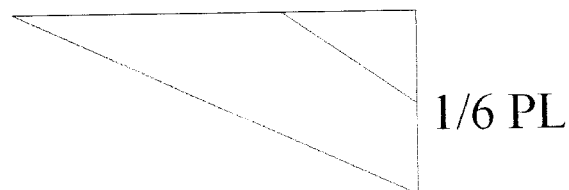
$$\Delta t = \left(\frac{P}{2} \frac{L^2}{2}\right) \left(\frac{L}{3}\right) - \left(\frac{P}{2} \frac{4L^2}{18}\right) \left(\frac{2L}{9}\right) - \left(\frac{P}{2} \frac{L^2}{18}\right) \left(\frac{L}{9}\right) \quad (3.79)$$

Bila persamaan (3.79) disederhanakan maka :

$$\Delta t = \left(\frac{PL^3}{12}\right) - \left(\frac{8PL^3}{324}\right) - \left(\frac{PL^3}{324}\right) \quad (3.80)$$

Bila persamaan (3.80) disederhanakan dan diambil jarak setengah bentang maka :

$$\Delta t = \left(\frac{18PL^3}{648}\right) \quad (3.81)$$



Lendutan pada setengah bentang dapat diturunkan dengan persamaan :

$$\Delta t = \left(\frac{PL^3}{96}\right) - \left(\frac{PL^3}{2592}\right) \quad (3.82)$$

Bila persamaan (3.82) disederhanakan maka :

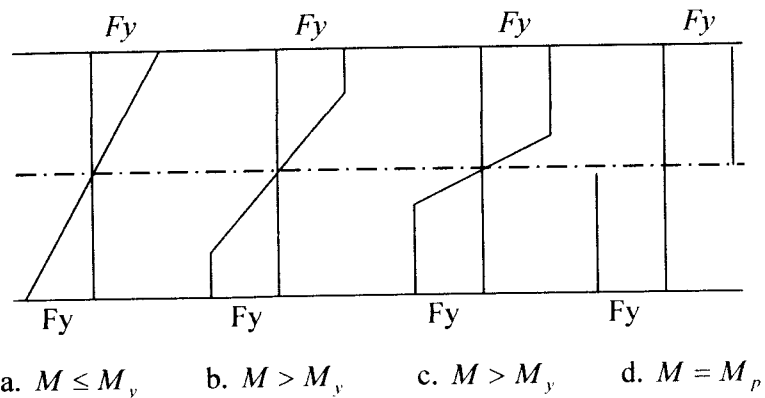
$$\Delta t = \left(\frac{26PL^3}{2592}\right) \frac{1}{EI} \quad (3.83)$$

Bila persamaan (3.81) dikurangi dengan persamaan (3.83) maka didapatkan lendutan maksimum yaitu :

$$\Delta_{AB} = \frac{23PL^3}{1296EI} \quad (3.84)$$

### 3.15. Desain Plastis Gelagar Pelat

Metode desain plastis memanfaatkan kekuatan cadangan balok baja yang ada setelah tegangan leleh tercapai hingga pada saat akan mencapai *strain hardening*. Selang waktu hingga mencapai *strain hardening* secara teoritis memungkinkan elemen struktur baja menahan tegangan tambahan, akan tetapi deformasi dan regangannya sudah sedemikian besarnya sehingga struktur tersebut sudah tidak stabil. Sehingga asumsi yang digunakan pada desain plastis adalah regangannya belum mencapai *strain hardening*. adapun 4 bentuk umum distribusi momen lentur yang terjadi sebagai berikut:



**Gambar 3.25** Distribusi Tegangan Lentur

Pada Gambar (3.25a) adalah merupakan bentuk umum distribusi momen lentur dan dibatasi hingga tegangan lentur maksimum mencapai  $F_y$ . Artinya, serat terluar pada balok baja telah mencapai  $F_y$ , sedangkan bagian yang lain masih ada yang mengalami tegangan  $< F_y$ . Momen tahanan balok pada kondisi ini dapat dicari:

$$M_y = F_y \cdot x S_x \quad (3.85)$$

Dimana  $M_y$  = Momen leleh

$F_y$  = Tegangan leleh

$S_x$  = Modulus penampang elastis

Apabila momen diperbesar lagi, maka serat terluar yang telah mencapai tegangan leleh dahulu, akan terus mengalami tegangan leleh dan pada saat yang sama mengalami pembesaran regangan. Akan tetapi regangan tersebut tidak sebanding dengan tegangan yang dialami, jadi momen tahanan tambahan yang diperlukan diperoleh dari serat-serat yang mendekati sumbu netral, seperti terlihat pada Gambar (3.25b). Proses ini dapat diteruskan dengan semakin banyak bagian penampang tersebut yang mengalami tegangan leleh seperti terlihat pada Gambar

(3.25c). hingga akhirnya dicapai distribusi tegangan segiempat plastis seperti pada Gambar (3.25d). Pada bagian akhir ini, digambarkan bahwa regangan yang terjadi begitu besar dan hingga semua bagian penampang telah mencapai leleh. Momen yang terjadi pada bagian ini disebut Momen Plastis. Momen plastis dapat dihitung dengan persamaan:

$$M_p = F_y z \quad (3.86)$$

Yaitu  $M_p$  = Momen plastis

$Z$  = Modulus penampang plastis

$F_y$  = Tegangan leleh

### 3.16. Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka dan landasan teori diatas dapat diambil hipotesa sementara dimana bila diasumsikan  $h = 6$  dan  $t_f = 1,5 t_w$ , maka akan didapat hipotesa sementara sebagai berikut :

1. Rasio inersia sumbu lemah dan rasio inersia sumbu kuat penampang I dan Penampang Dobel Delta berdasarkan hipotesa sementara yaitu

$$\frac{I_{Dx}}{I_x} \approx 1,3351 \quad \text{dan} \quad \frac{I_{Dy}}{I_y} \approx 1,6654$$

2. Rasio momen batas berdasarkan tekuk lokal penampang I dan penampang Dobel Delta adalah

$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} \approx 1,363$$

:



3. Rasio momen batas berdasarkan tekuk puntir penampang I dan penampang Dobel Delta adalah

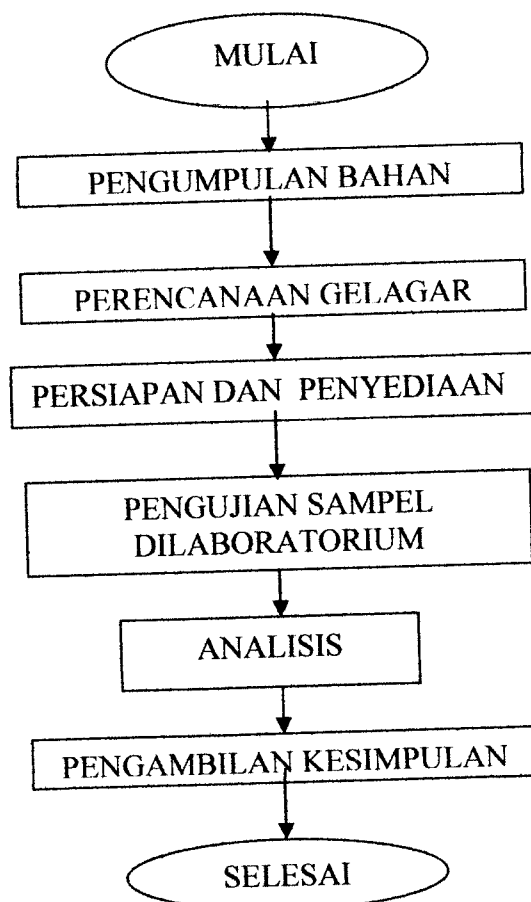
$$\frac{M_{crd}}{M_{cr i}} \approx 1,319$$

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 4.1. Tahap – Tahap Penelitian.

Metodologi penelitian merupakan suatu cara penyelesaian masalah dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang dihadapi dalam tugas akhir ini. Pada tugas akhir ini adapun jalan penelitian sebagai acuan dalam menyelesaikan tugas akhir adalah :



Gambar 4.1. Bagan Alir Metode Penelitian.

## **4.2. Persiapan Bahan Dan Peralatan.**

Sebelum pelaksanaan penelitian dimulai maka diperlukan persiapan bahan dan peralatan sebagai sarana dan prasarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun persiapan-persiapan yang dilakukan antara lain :

### **4.2.1. Persiapan Bahan**

Adapun persiapan bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain :

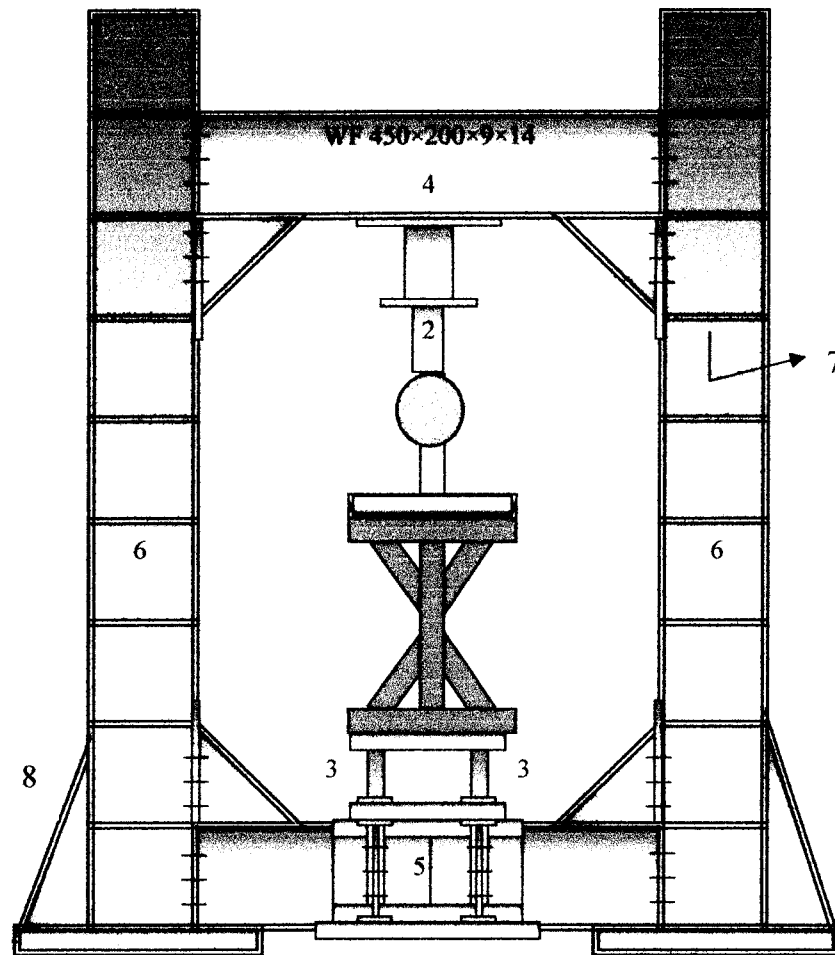
- a. Pelat baja dengan ketebalan 3 mm untuk pelat sayap dan pelat baja dengan ketebalan 2 mm untuk pelat badan dan penopang.
- b. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung las.

### **4.2.2. Persiapan Peralatan.**

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan. Adapun peralatan tersebut terdiri dari:

#### *a. Loading Frame*

adalah alat yang terbuat dari baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm, dengan bentuk dasar berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar alat tersebut stabil, pelat dasar dibaut kelantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan di uji dengan cara melepas sambungan baut. Sketsa fisik *Loading Frame* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



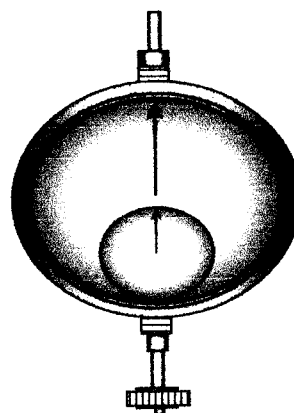
Keterangan :

1. Model Balok
2. Hydraulic Jack
3. Dukungan
4. Balok Portal (bisa digeser)
5. Balok Lintang
6. Kolom
7. Pengaku
8. Angkur
9. Plat Dasar

**Gambar 4.2.** *Loading Frame*

b. *Dial Gauge*

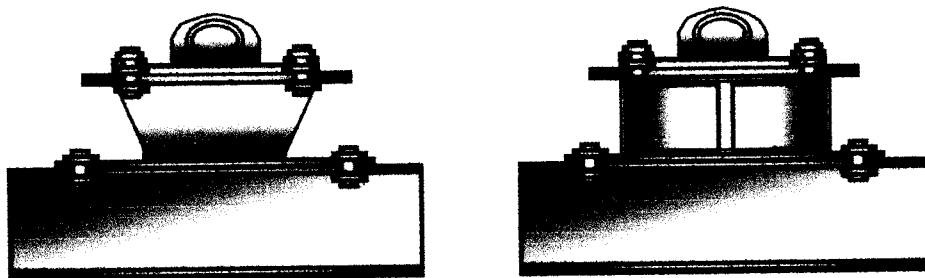
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm. Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak empat buah (Gambar 4.3)



**Gambar 4.3.** *Dial Gauge*

c. *Dukungan Sendi dan Rol*

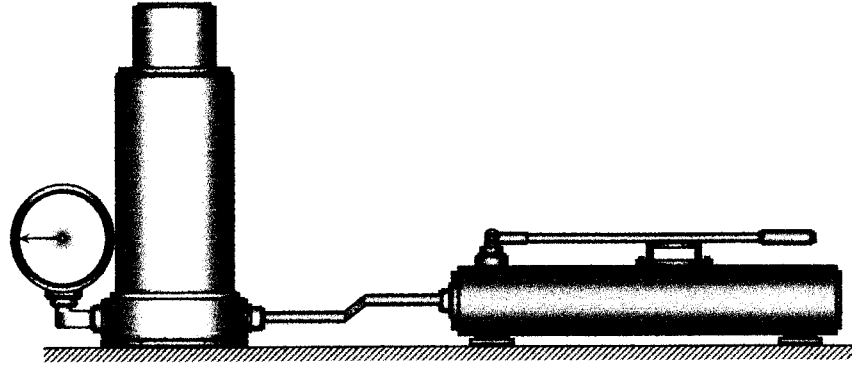
Dukungan sendi dipasang pada salah satu dukungan balok gelagar plat dan dukungan rol dipasang pada dukungan lainnya, seperti pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4.** Dukungan Sendi dan Rol

d. *hydraulic Jack*

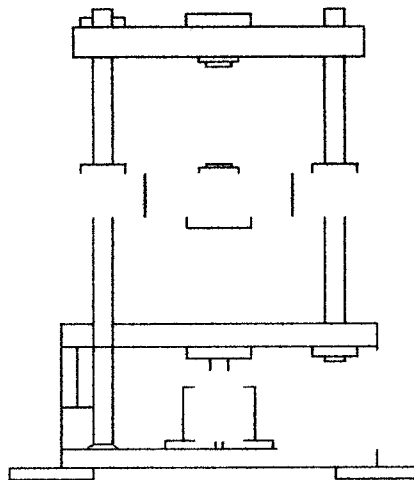
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur gelagar pelat skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton. ( lihat Gambar 4.5 )



**Gambar 4.5.** *Hydraulic Jack*

e. Mesin Uji Kuat Tarik.

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu *universal testing machine* (UTM) merk *Shimitsu type UMH-330* dengan kapasitas 30 ton, seperti Gambar 4.6.

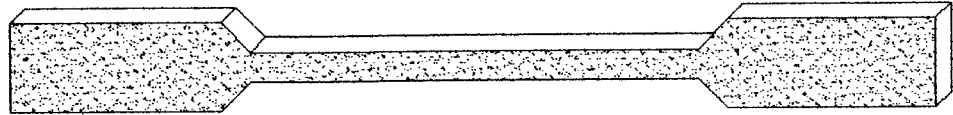


**Gambar 4.6** *Universal Testing Machine Shimitsu UMH 30*

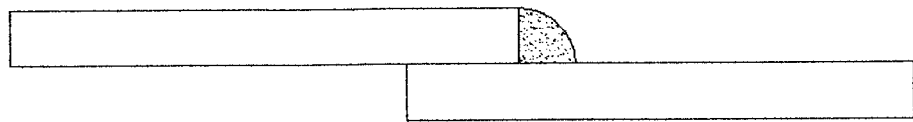
### 4.3. Model Benda Uji.

#### a. Benda Uji Tarik Pelat dan Tarik Las

Benda uji yang digunakan tiga buah, adapun bentuk dari benda uji adalah sebagai berikut :



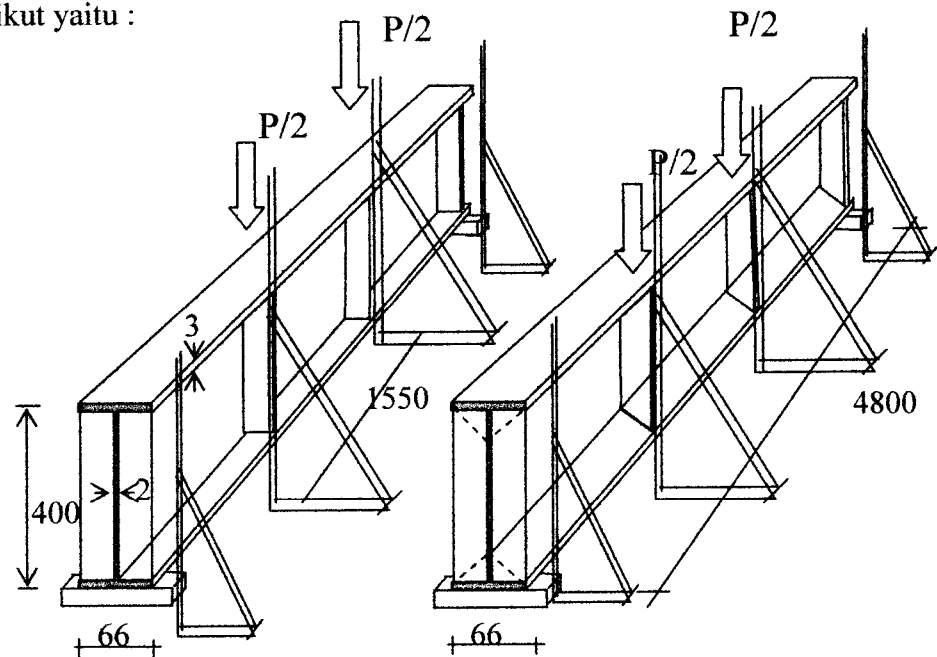
**Gambar 4.7** Benda Uji Untuk Kuat Tarik.



**Gambar 4.8** Benda Uji Untuk Kuat Geser Las.

#### b. Benda Uji Penelitian

Model benda uji yang dipakai dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut yaitu :



**Gambar 4.9.** Model gelagar (a) penampang I (b) penampang dobel delta

#### **4.4. Pembuatan Benda Uji.**

Sebelum membuat benda uji, terlebih dahulu melakukan perhitungan dimensi gelagar plat dengan penampang  $\nabla$ -Shapes dan Both  $\nabla$ -Shapes serta mempersiapkan bahan. Selanjutnya pembuatan benda uji sesuai dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Bahan pelat baja yang akan dibuat benda uji di ukur dahulu sesuai dimensi rencana.
2. Potongan pelat baja yang telah jadi kemudian di las listrik secara menerus dengan diberi pengaku dukung sehingga menjadi penampang Dobel Delta.

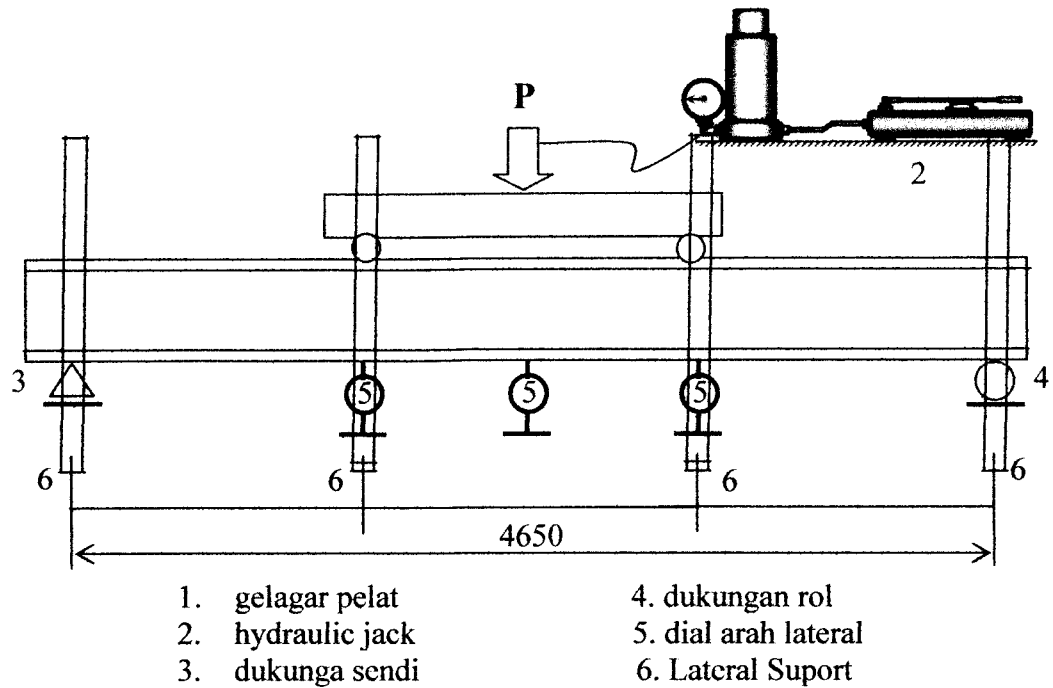
#### **4.5. Langkah-langkah Pengujian.**

##### **4.5.1. Set Up Peralatan.**

Set up peralatan pada pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 4.7.

1. Benda uji gelagar pelat diletakkan di bawah portal pemikul beban, ujung-ujungnya ditumpu oleh sendi dan rol,
2. Pada benda uji dipasang 3 (tiga) *dial gauge* pada arah *lateral*,
3. Pembangkit beban (*Hidraulic Jack*) dipasang diatas benda uji.





**Gambar 4.10** Set Up Peralatan

#### 4.5.2. Pelaksanaan Pembebanan

1. Beban transversal diberikan pada gelagar melalui *hydraulik jack*, pembebanan awal 4 kN,
2. Lendutan pada titik 1 hingga 6 akibat beban 4 kN dibaca pada dial 1 hingga 6,
3. Beban P ditingkatkan menjadi 4,00 kN, lendutan pada titik 1 hingga 6 dibaca pada dial,
4. Prosedur seperti di atas terus diulangi hingga gelagar rusak

#### **4.8 Uji Kuat Tarik Baja dan Kuat Tarik Las**

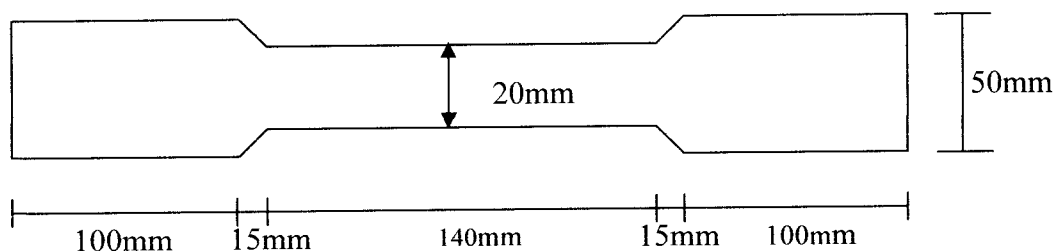
1. Pemasangan benda uji pada alat uji tarik Universal Testing Machine (UTM) merk himitsu type UMH-300 dengan kapasitas 30 ton.
2. Benda uji disetting sehingga siap dipakai dalam pengujian, kemudian diatur kapasitasnya.
3. Kemudian dilakukan pembacaan beban pada kondisi leleh, beban maksimum dan beban pada saat patah.

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.

Uji tarik baja terhadap benda uji yang dibuat dari besar pelat badan dan pelat sayap, dikerjakan guna mengetahui sifat-sifat baja, yaitu tegangan leleh ( $F_y$ ) dan kuat tarik ( $F_u$ ). bentuk benda uji ditunjukkan pada Gambar 5.1. uji dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* merk *shimitzu type UMH 30* dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari pengujian didapatkan data hasil kuat tarik baja pada Tabel (5.1).



**Gambar 5.1** Benda uji tarik baja

**Tabel 5.1** hasil uji tarik baja

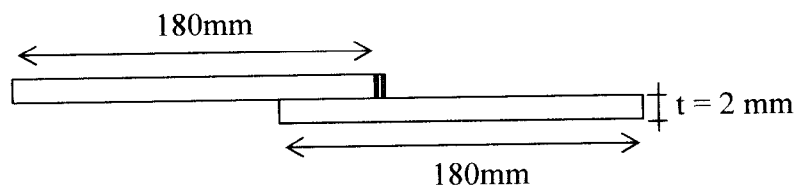
No	b mm	Tebal mm	A mm <sup>2</sup>	P leleh (N)	P maks (N)	P patah (N)	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
1	20	2	40	11994	14193	2230	300	355
2	30	3	60	18716,5	25467,5	18915	310	424

Dari hasil uji tarik baja didapatkan bahwa untuk pelat dengan tebal 2 mm nilai  $F_u/F_y = 355/300 = 1,18$  sedangkan pada pelat 3 mm nilai  $F_u/F_y = 424/310 = 1,36$ .  $F_u/F_y$  pelat 3 mm lebih besar daripada  $F_u/F_y$  pelat 2 mm. Jadi pelat 2 mm memiliki kuat tarik yang lebih besar.

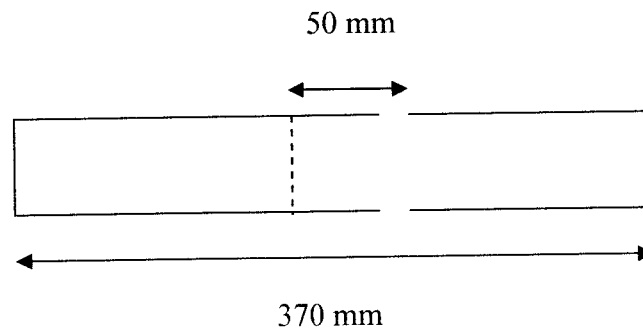
## 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.

Uji tarik las dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) merk *shimitzu type* UMH 30 dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Bentuk benda uji ditunjukkan pada Gambar 5.2



**Gambar 5.2** Benda uji tarik las



$$\text{Lebar las} = 3 \text{ cm} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Ketebalan Las (h)} = 0,5 \times t \times \sqrt{2} = 0,5 \times 2 \times \sqrt{2} = 1,41 \text{ mm}$$

$$\text{Luasan (A)} = 1,41 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} = 42,3 \text{ mm}^2$$

Dari hasil pengujian didapatkan hasil tarik las ditunjukkan pada Tabel (5.2) yaitu :

**Tabel 5.2** Hasil Uji Tarik Las

No	P Maksimum (N)	$F_u$ (MPa)
1	17972,1	424

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa nilai kuat tarik las yaitu 424 MPa yaitu memenuhi persyaratan las 70 Ksi atau setara dengan 490 MPa. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran 2.

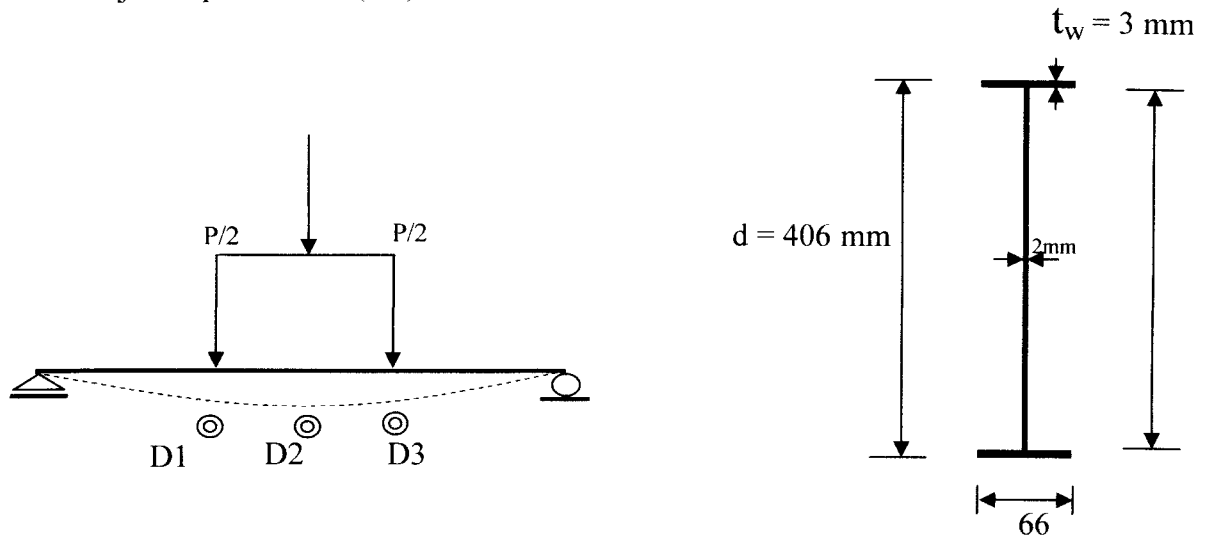
### **5.3 Hasil Uji Lentur Gelagar Pelat Penampang I dan Dobel Delta.**

Pengujian gelagar pelat I dan gelagar pelat penampang Dobel Delta dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Universitas Islam Indonesia. Pengujian dilaksanakan dengan sampel gelagar I dan Dobel Delta diberikan beban dengan menggunakan *Hidrolick Jack* dengan kapasitas beban sebesar 30 Ton (300 kN). Pada setiap sisi kanan dan kiri gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta saat diuji diberikan Pengaku (*bracing*) dengan tujuan agar pelat tidak terjadi tekuk puntir lateral (*lateral torsional buckling*). Adapun data-data yang didapatkan pada pengujian adalah sebagai berikut :

#### **5.3.1 Grafik Hasil Pengujian Gelagar Pelat I Dan Dobel Delta.**

Uji kuat lentur gelagar pelat ini dilaksanakan dengan memberikan dua beban yang terletak sepanjang 1550 mm dan terletak pada tengah bentang. Bentuk benda uji

ditunjukkan pada Gambar 5.3. Kemudian secara bertahap diberi kenaikan beban sebesar 4 kN, pada setiap tahapan kenaikan beban dicatat lendutan (*defleksi*) yang terjadi pada gelagar pelat. Data pengujian ini dapat dilihat pada lampiran laporan tugas akhir ini. Dari Uji lentur gelagar penampang pelat I didapatkan data-data yang ditunjukkan pada Tabel (5.3).



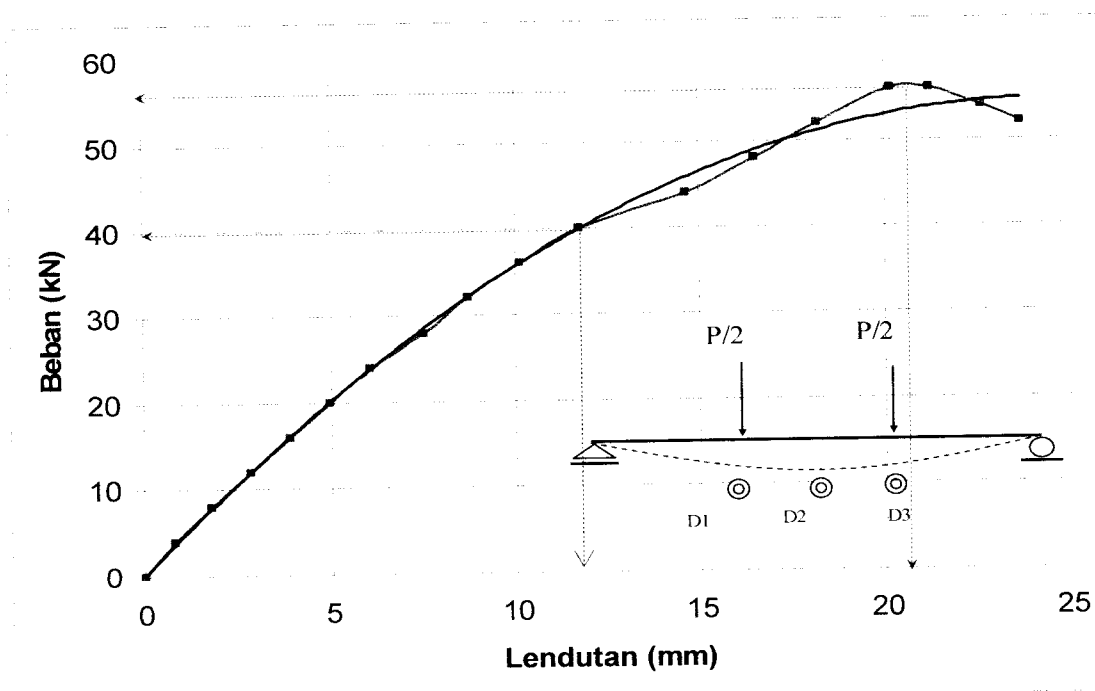
**Gambar 5.3** Gelagar Penampang I

**Tabel 5.3** Hasil Uji Beban-Lendutan Gelagar pelat I

Beban		Lendutan (x0,01 mm)		
P (ton)	kN	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.0	0	0	0	0
0.4	4	50	80	25
0.8	8	137	178	129
1.2	12	223	282	232
1.6	16	325	387	331
2.0	20	417	496	440
2.4	24	517	605	540
2.8	28	645	752	720

3.2	32	749	872	825
3.6	36	874	1,012	938
4.0	40	1,021	1,176	1,125
4.4	44	1,235	1,464	1,336
4.8	48	1,400	1,647	1,522
5.2	52	1,684	1,818	1,638
5.6	56	1,889	2,014	1,829
5.6	56	2,002	2,120	1,923
5.4	54	2,176	2,260	2,027
5.2	52	2,327	2,367	2,210

Tabel 5.3 dapat ditentukan dalam bentuk kurva hubungan beban deformasi yang ditunjuk pada Gambar 5.3



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Gelagar Pelat I

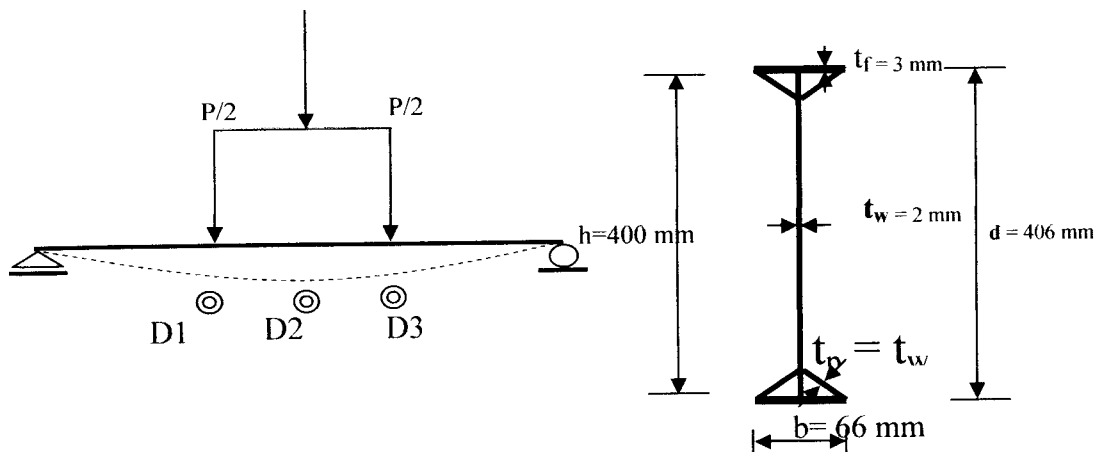
Dari Gambar 5.4 didapatkan data nilai lendutan pada dial 1 = 18,89 mm, lendutan pada dial 2 = 20,14 mm dan lendutan pada dial 3 = 18,29 mm, dan nilai  $P_y = 40$  kN, nilai  $\Delta_y = 11,8$  mm didapat juga nilai  $P_u = 56$  kN, nilai  $\Delta_u = 20,14$  mm. Dari pengujian yang telah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan bahwa nilai lendutan terbesar terjadi pada  $\frac{1}{2}$  panjang bentang atau pada pembacaan dial 2 dengan nilai lendutan sebesar 20,14 mm. Namun pembacaan pada dial 1 dan dial 3 tidak memiliki nilai yang sama persis tapi hanya mendekati hal ini dikarenakan pada saat pengujian beban bergeser sehingga pemberian beban tidak tepat pada  $\frac{1}{3}$  panjang bentang. Selain itu, dari grafik diatas didapatkan beban maksimum yang diterima oleh gelagar pelat I adalah sebesar 56 kN. Dari Gambar 5.4 didapat nilai beban leleh dan beban maximum gelagar pelat I yang ditunjukkan pada Tabel 5.4

**Tabel 5.4** Nilai Beban leleh ( $P_y$ ) dan Beban maksimum ( $P_u$ ) Pelat I

Pelat	$P_y$ (kN)	$P_{max}$ (kN)	$M_y$ (kNmm)	$M_{max}$ (kNmm)	$S_x$ (mm <sup>3</sup> )	$F_y = M_y / S_x$ Mpa	$F_{max} = M_{max} / S_x$ Mpa
I	40	56	3100000	4340000	131751,01	235,2	329,4

Pada Pelat Dobel Delta Bentuk benda uji ditunjukkan pada Gambar (5.5). Kemudian secara bertahap diberi kenaikan beban sebesar 4 kN, pada setiap tahapan kenaikan beban dicatat lendutan (*defleksi*) yang terjadi pada gelagar pelat. Dari Uji lentur gelagar penampang pelat I didapatkan data-data yang ditunjukkan pada Tabel (5.5).





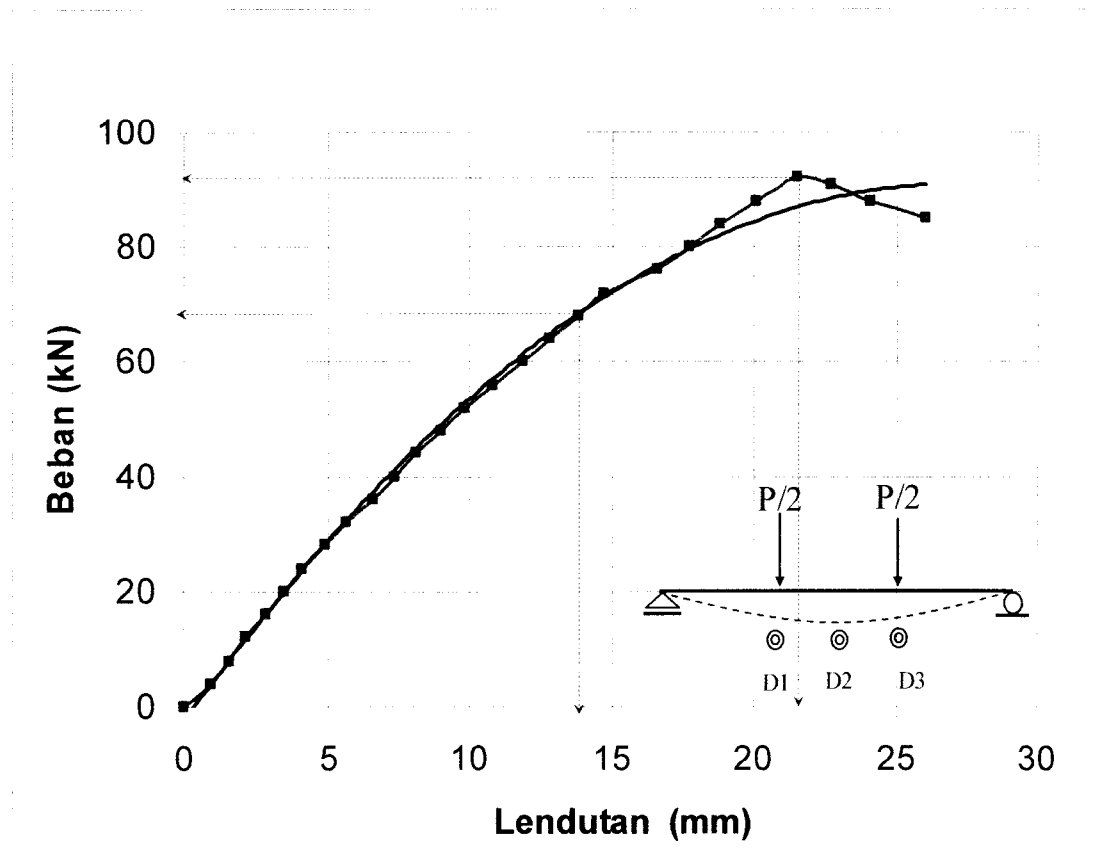
**Gambar 5.5** Gelagar Penampang Dobel Delta

**Tabel 5.5** Hasil Uji Beban-Lendutan Gelagar pelat Dobel Delta

Beban		Lendutan (x0,01 mm)		
P (ton)	kN	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.0	0	0	0	0
0.4	4	84	95	88
0.8	8	137	158	168
1.2	12	189	215	197
1.6	16	247	280	281
2.0	20	303	343	367
2.4	24	362	408	390
2.8	28	433	490	481
3.2	32	503	565	573
3.6	36	578	659	666
4.0	40	653	735	698
4.4	44	719	812	784
4.8	48	794	900	879
5.2	52	866	980	970
5.6	56	956	1082	1068
6.0	60	1049	1186	1166
6.4	64	1134	1282	1208
6.8	68	1226	1384	1295
7.2	72	1303	1470	1383

7.6	76	1471	1658	1571
8.0	80	1576	1775	1667
8.4	84	1674	1882	1762
8.8	88	1796	2005	1871
9.2	92	1919	2149	1976
9.1	91	2023	2268	2084
8.8	88	2145	2408	2198
8.5	85	2308	2601	2392

Tabel 5.5 dapat ditentukan grafik hubungan beban terhadap regangan untuk penampang pelat Dobel delta yang ditunjuk pada gambar 5.4



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Beban –Lendutan Gelagar Pelat Dobel Delta

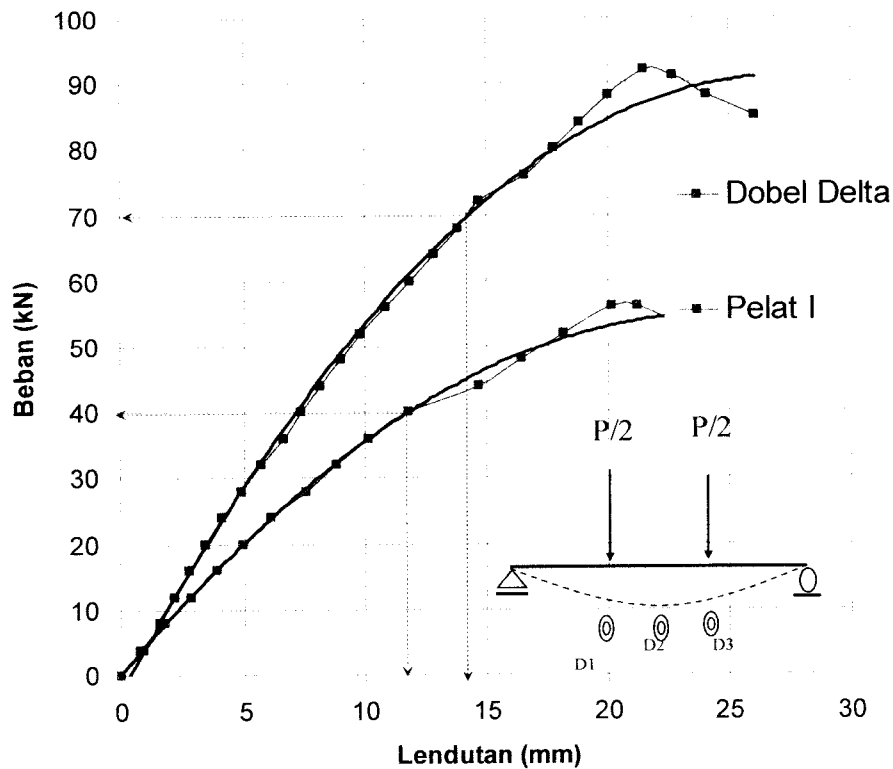
Dari Gambar (5.6) didapatkan data nilai lendutan pada dial 1 = 19,19 mm, lendutan pada dial 2 = 21,49 mm dan lendutan pada dial 3 = 19,76 mm, dan nilai  $P_y = 70$  kN, nilai  $\Delta_y = 14,8$  mm didapat juga nilai  $P_u = 92$  kN, nilai  $\Delta_u = 21,49$  mm. Dari pengujian yang telah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan bahwa nilai lendutan terbesar terjadi pada  $\frac{1}{2}$  panjang bentang atau pada pembacaan dial 2 dengan nilai lendutan sebesar 21,49 mm. Namun pembacaan pada dial 1 dan dial 3 tidak memiliki nilai yang sama persis tapi hanya mendekati hal ini dikarenakan pada saat pengujian beban bergeser sehingga pemberian beban tidak tepat pada  $\frac{1}{3}$  panjang bentang. Selain itu, dari grafik diatas didapatkan beban maksimum yang diterima oleh gelagar pelat I adalah sebesar 92 kN. Dari Gambar 5.6 didapat nilai beban leleh dan beban maximum gelagar pelat Dobel Delta yang ditunjukkan pada Tabel 5.6

**Tabel 5.6** Nilai Beban leleh ( $P_y$ ) dan Beban maksimum ( $P_u$ ) Pelat Dobel Delta

Pelat	$P_y$ (kN)	$P_u$ (kN)	$M_y$ (kNmm)	$M_{max}$ (kNmm)	$S_x$ (mm <sup>3</sup> )	$F_y = M_y/S_x$ Mpa	$F_u = M_{max}/S_x$ Mpa
I	70	92	5425000	7130000	175659,54	308,83	405,8

### 5.3.2 Hubungan Beban-Lendutan Gelagar I Versus Dobel Delta.

Untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada gelagar pelat I dan dobel delta, maka dilakukan perhitungan lendutan hasil pengujian. Dari hasil uji diperoleh data-data beban deformasi dan akan diperoleh grafik hubungan beban –lendutan. Berikut ini grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian pelat I dan Pelat dobel delta yang ditunjuk pada gambar 5.7



**Gambar 5.7** Grafik Hubungan Beban-Lendutan Pelat I dan Dobel Delta

Gambar 5.7 menunjukkan gelagar pelat dobel delta lebih besar menerima beban dibandingkan pelat I yaitu  $P_y = 70$  kN, nilai  $\Delta_y = 14,8$  mm untuk gelagar pelat Dobel Delta dan  $P_y = 40$  kN,  $\Delta_y = 11,8$  mm untuk gelagar pelat I. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memodifikasi gelagar pelat I menjadi pelat Dobel Delta dapat meningkatkan kekuatan pelat terhadap beban hingga  $70/40 = 1,75$  kali. Selain itu, dengan menambahkan pelat penopang pada pelat badan dan sisi pelat sayap akan mengurangi penurunan akibat pembebanan hingga 1,093 kali.

Dari data pembebanan maksimum yang didapat dari pengujian laboratorium kemudian dapat digunakan untuk mencari nilai kekakuan gelagar pelat. Untuk mengetahui nilai kekakuan gelagar pelat I dan Gelagar pelat Dobel delta dapat dicari dengan persamaan 5.1 sebagai berikut yaitu :

$$k = \frac{P_y}{\Delta_y} \quad (5.1)$$

Dengan menggunakan Persamaan 5.1 maka nilai kekakuan untuk profil I dan gelagar dobel delta ditunjukkan pada Tabel (5.7) dan (5.8).

**Tabel 5.7** Kekakuan Gelagar Pelat I Dengan Berbagai Variasi h/b

Nilai I	h/b=5,3	h/b=6
Beban (kN)	44	40
Lendutan (mm)	11,48	11,8
Kekakuan (kN/mm)	3,83	3,38

**Tabel 5.8** Kekakuan Gelagar Pelat Dobel Delta Dengan Berbagai Variasi h/b

Nilai I	h/b=5,3	h/b=6
Beban (kN)	76	70
Lendutan (mm)	15,59	14,8
Kekakuan (kN/mm)	4,87	4,72

Dari perhitungan kekakuan diatas tampak jelas bahwa terjadi peningkatan kekakuan sebesar  $70/14,8 = 4,72$  untuk gelagar pelat dobel delta dan  $40/11,8 = 3,38$  untuk gelagar pelat I. Data ini menunjukkan bahwa dengan memodifikasi pelat I

menjadi Pelat Dobel Delta dapat meningkatkan kekakuan gelagar pelat hingga

$$\left[ \frac{kDD}{kI} \right] = \frac{4,72}{3,38} = 1,39 \text{ kali.}$$

### 5.3.3 Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ). Gelagar I dan Dobel Delta.

Hasil pengujian gelagar pelat I dan Gelagar pelat dobel delta menunjukkan beban maksimum (P) pada kedua gelagar yaitu 56 kN pada gelagar pelat I dan 92 kN pada gelagar pelat dobel delta. Dari beban maksimum dapat diperoleh nilai batas momen maksimum yaitu dengan persamaan 5.2 sebagai berikut :

$$M_{maks} = \frac{1}{6} x P x L \quad (5.2)$$

Dimana Pmax Penampang pelat I = 56 kN

Dimana Pmax Penampang pelat Dobel Delta = 92 kN

Panjangnya (L) = 4650 mm

$$M_{max} = 1/6 x 56 x 4650 = 4340000 \text{ kgmm}$$

Dari persamaan 5.2 kita dapat menentukan nilai momen kritis ( $M_{cr}$ ) pelat I dan Pelat Dobel Delta yang ditunjukkan pada Tabel (5.9).

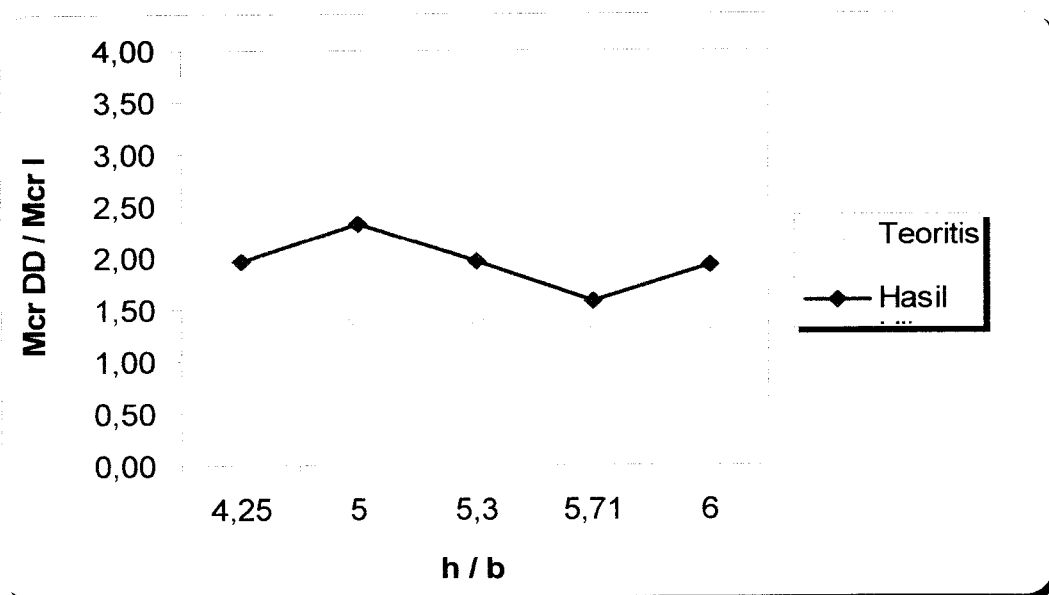
**Tabel 5.9** Nilai Momen Kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Variasi	h/b=5,3	h/b=6
I (Nmm)	46500000	43400000
Dobel Delta (Nmm)	80600000	71300000
$M_{crDD}/M_{crI}$	1,73	1,64

**Tabel 5.10** Nilai Momen Kritis Secara Teoritis.

Variasi	$h/b=5,3$	$h/b=6$
I (Nmm)	52537250	49164140
Dobel Delta (Nmm)	69448156	61783775
$M_{crDD}/M_{crI}$	1,32	1,25

Tabel (5.9) dan Tabel (5.10) menunjukkan terjadi peningkatan momen kritis hasil pengujian dan nilai momen kritis berdasarkan teori. Dari nilai-nilai diatas dapat ditunjuk dalam grafik pada gambar 5.8

**Gambar 5.8** Grafik Hubungan  $M_{cr}$  Uji Versus  $M_{cr}$  Teoritis

karena nilai Inersia dari kedua profil sudah diketahui, maka akan didapatkan nilai  $S_x$  Gelagar Pelat I dan Gelagar Pelat Dobel delta dengan persamaan 5.3 sebagai berikut yaitu :

$$S_x = \frac{I_x}{y} \quad (5.3)$$

Dimana  $I_x$  Penampang I = 26745454,67 mm<sup>4</sup>

$I_x$  Penampang Dobel Delta = 35658887 mm<sup>4</sup>

Berdasarkan perhitungan persamaan (5.3) didapatkan nilai  $S_x$  yang ditunjukkan pada Tabel (5.11).

**Tabel 5.11** Nilai  $S_x$  pada Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Profil	I	Dobel Delta
y (mm)	203	203
$S_x$ (mm <sup>3</sup> )	131751,008	175659,542

Dari kedua data-data diatas maka akan diperoleh nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) pada Gelagar Pelat profil I dan Gelagar Pelat Profil Dobel Delta yaitu dengan persamaan 5.4 sebagai berikut :

$$F_{cr} = \frac{Mcr}{S_x} \quad (5.4)$$

Berdasarkan perhitungan persamaan (5.4) didapatkan nilai tegangan kritis yang ditunjukkan pada Tabel (5.12).

**Tabel 5.12** Nilai Tegangan Kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.

Variasi	h/b=5,3	h/b=6
I (MPa)	324,9	329,4
Dobel Delta (MPa)	419,6	405,8
$F_{crDD}/F_{crI}$	1,29	1,23



### 5.3.4 Nilai Koefisien Tekuk.

Dari hasil pengujian gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta diperoleh beban maksimum ( $P$ ) dan nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ). Karena Nilai  $F_{cr} > F_y$  maka untuk menghitung nilai  $k$  dipakai data  $F_y$ , sehingga nilai koefisien tekuk ( $k$ ) hasil pengujian dapat dicari dengan persamaan 5.5 dan persamaan 5.6 sebagai berikut yaitu :

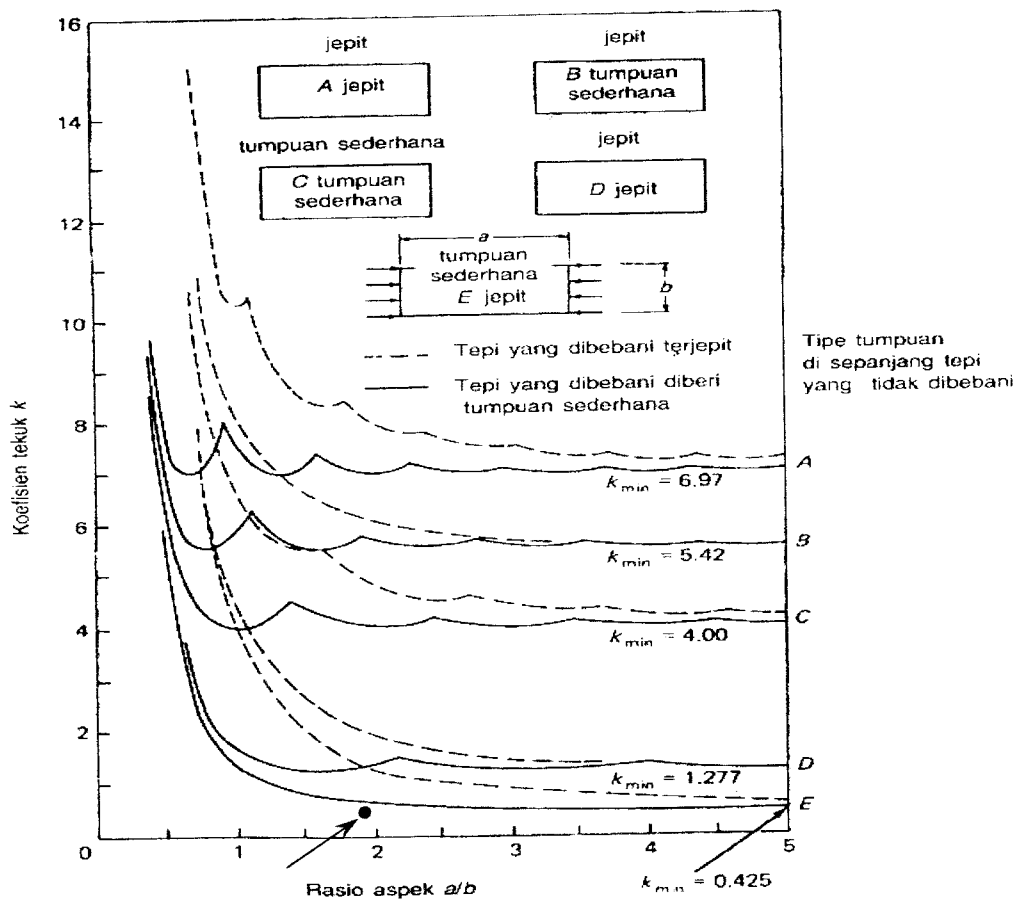
$k$  badan :

$$k = \frac{F_{cr}.12.(1-0,3^2)\left(\frac{h}{t}\right)^2}{\pi^2.E} \quad (5.5)$$

$k$  sayap :

$$k = \frac{F_{cr}.12.(1-0,3^2)\left(\frac{b}{t}\right)^2}{\pi^2.E} \quad (5.6)$$

Secara teoritis nilai koefisien tekuk ( $k$ ) untuk gelagar pelat I diasumsikan sebagai tumpuan sederhana dengan nilai  $k$  sebesar 0,425 pada sayap sedangkan pada pelat badan nilai koefisien tekuk diasumsikan sebesar 23,9. Untuk gelagar pelat Dobel Delta nilai koefisien tekuk ( $k$ ) diasumsikan sebesar 4 pada pelat sayap dan 23,9 pada pelat badan. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai koefisien tekuk pelat sayap dan pelat badan sebagai berikut :



**Tabel 5.13** Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Pelat Sayap Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Variasi	$h/b = 5,3$	$h/b = 6$
$k_I$	0,26	0,21
$k_{Dobel\ Delta}$	0,35	0,26

**Tabel 5.14** Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Pelat Badan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Variasi	$h/b = 5,3$	$h/b = 6$
$k_I$	68,47	69,42
$k_{Dobel\ Delta}$	88,42	85,52

### 5.3.5 Nilai Faktor Kelengkungan Pelat I dan Dobel Delta

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai beban-beban sampai mencapai beban maksimum. Dari data-data ini akan didapatkan nilai kelengkungan dari profil I dan profil Dobel delta. Dengan menggunakan persamaan 5.7 didapat nilai kelengkungan pelat sebagai berikut :

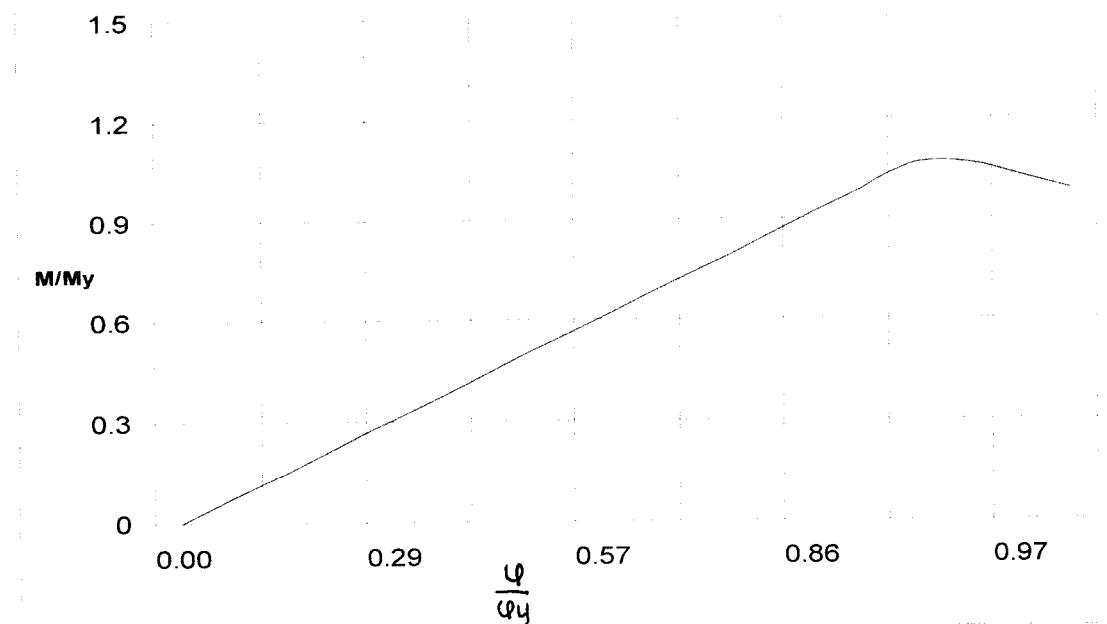
$$\varphi = \frac{\varepsilon}{h/2} \quad (5.7)$$

Dari persamaan 5.7 kita dapat menentukan nilai kelengkungan pelat I yang ditunjukkan pada Tabel 5.15

**Tabel 5.15** Nilai Kelengkungan gelagar pelat penampang I.

Beban		Momen		$F_{cr}$	Regangan		engkungan
P (ton)	kN	(kNmm)	M/M <sub>y</sub>	(Mpa)		$\varphi/\varphi_y$	1/mm
0.0	0	0	0	0	0	0	0.0000000
0.4	4	3100	0.0759007	23.52923171	0.00011204	0.07182305	0.0000006
0.8	8	6200	0.1518015	47.05846341	0.00022409	0.1436461	0.0000011
1.2	12	9300	0.2277022	70.58769512	0.00033613	0.21546915	0.0000017
1.6	16	12400	0.303603	94.11692682	0.00044818	0.28729221	0.0000022
2.0	20	15500	0.3795037	117.6461585	0.00056022	0.35911526	0.0000028
2.4	24	18600	0.4554045	141.1753902	0.00067226	0.43093831	0.0000034
2.8	28	21700	0.5313052	164.7046219	0.00078431	0.50276136	0.0000039
3.2	32	24800	0.607206	188.2338536	0.00089635	0.57458441	0.0000045
3.6	36	27900	0.6831067	211.7630853	0.0010084	0.64640746	0.0000050
4.0	40	31000	0.7590075	235.2923171	0.00112044	0.71823052	0.0000056
4.4	44	34100	0.8349082	258.8215488	0.00123248	0.79005357	0.0000062
4.8	48	37200	0.910809	282.3507805	0.00134453	0.86187662	0.0000067
5.2	52	40300	0.9867097	305.8800122	0.00145657	0.93369967	0.0000073
5.6	56	43400	1.0626104	329.4092439	0.00156862	1.00552272	0.0000078
5.6	56	43400	1.0626104	329.4092439	0.00156862	1.00552272	0.0000078
5.4	54	41850	1.0246601	317.644628	0.00151259	0.9696112	0.0000076
5.2	52	40300	0.9867097	305.8800122	0.00145657	0.93369967	0.0000073

Tabel 5.15 dapat menentukan kurva perbandingan Momen terhadap Kelengkungan pada pelat penampang I yang ditunjukkan pada gambar 5.7



**Gambar 5.9** Kurva Perbandingan  $M/M_y$  versus  $\phi/\phi_y$  gelagar penampang I

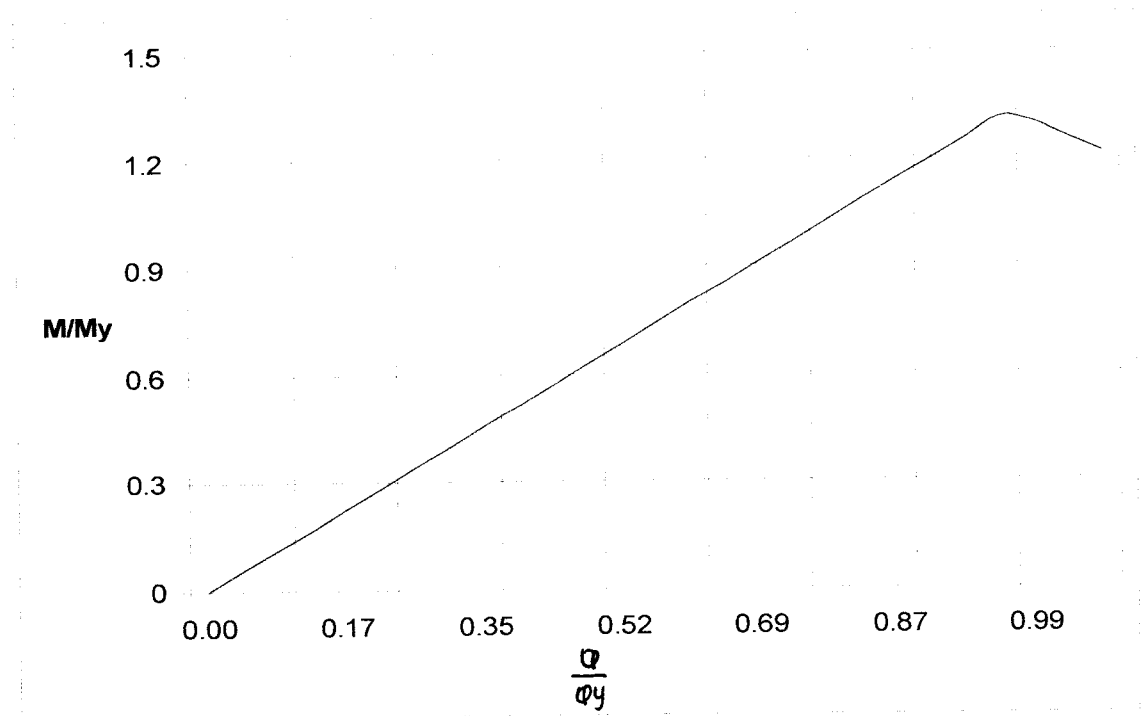
Dari pengujian pelat dobel delta didapatkan nilai kelengkungan yaitu:

**Tabel 5.16** Nilai Kelengkungan gelagar pelat Dobel Delta

Beban		Momen			$F_{cr}$	Regangan		Kelengkungan
P (ton)	kN	(kNmm)	$M/M_y$		(Mpa)		$\phi/\phi_y$	1/mm
0.0	0	0	0		0	0	0	0.0000000
0.4	4	3100	0.0569283		17.64777	0.00008403	0.04331805	0.0000004
0.8	8	6200	0.1138566		35.29554	0.00016807	0.08663611	0.0000008
1.2	12	9300	0.1707849		52.94332	0.00025211	0.12995416	0.0000013
1.6	16	12400	0.2277132		70.59109	0.00033615	0.17327221	0.0000017
2.0	20	15500	0.2846415		88.23887	0.00042019	0.21659026	0.0000021

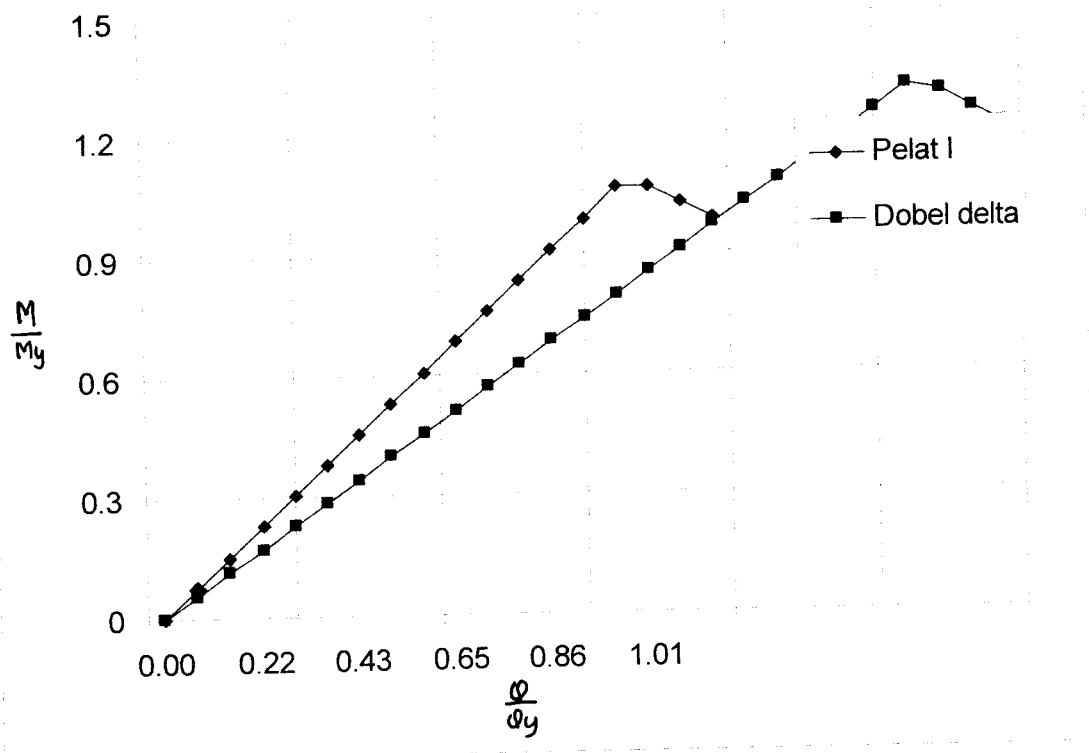
2.0	20	15500	0.2846415	88.23887	0.00042019	0.21659026	0.0000021
2.4	24	18600	0.3415698	105.8866	0.00050422	0.25990832	0.0000025
2.8	28	21700	0.3984981	123.5344	0.00058826	0.30322637	0.0000029
3.2	32	24800	0.4554264	141.1821	0.0006723	0.34654442	0.0000034
3.6	36	27900	0.5123548	158.8299	0.00075633	0.38986247	0.0000038
4.0	40	31000	0.5692831	176.4777	0.00084037	0.43318053	0.0000042
4.4	44	34100	0.6262114	194.1255	0.00092441	0.47649858	0.0000046
4.8	48	37200	0.6831397	211.7732	0.00100844	0.51981663	0.0000050
5.2	52	40300	0.740068	229.4210	0.00109248	0.56313468	0.0000055
5.6	56	43400	0.7969963	247.0688	0.00117652	0.60645274	0.0000059
6.0	60	46500	0.8539246	264.7166	0.00126056	0.64977079	0.0000063
6.4	64	49600	0.9108529	282.3643	0.00134459	0.69308884	0.0000067
6.8	68	52700	0.9677812	300.0121	0.00142863	0.73640689	0.0000071
7.2	72	55800	1.0247095	317.6599	0.00151267	0.77972495	0.0000076
7.6	76	58900	1.0816378	335.3077	0.0015967	0.823043	0.0000080
8.0	80	62000	1.1385661	352.9554	0.00168074	0.86636105	0.0000084
8.4	84	65100	1.1954944	370.6032	0.00176478	0.9096791	0.0000088
8.8	88	68200	1.2524227	388.2510	0.00184881	0.95299716	0.0000092
9.2	92	71300	1.309351	405.8988	0.00193285	0.99631521	0.0000097
9.1	91	70525	1.295119	401.4868	0.00191184	0.98548569	0.0000096
8.8	88	68200	1.2524227	388.2510	0.00184881	0.95299716	0.0000092
8.5	85	65875	1.2097265	375.0152	0.00178579	0.92050862	0.0000089

Tabel 5.16 dapat ditunjukkan dengan grafik nilai kelengkungan yang terjadi pada pelat penampang Dobel delta pada gambar 5.9



**Gambar 5.10** Kurva Perbandingan  $M/M_y$  versus  $\phi/\phi_y$  gelagar penampang Dobel Delta

Untuk mengetahui Kelengkungan yang terjadi pada gelagar pelat I dan dobel delta, maka dilakukan perhitungan Kelengkungan hasil pengujian. Dari hasil uji diperoleh data-data Momen Kelengkungan dan akan diperoleh grafik hubungan Momen–kelengkungan. Berikut ini grafik hubungan Momen-Kelengkungan hasil pengujian pelat I dan Pelat dobel delta yang ditunjuk pada gambar 5.11



**Gambar 5.11** Kurva Perbandingan  $M/M_y$  versus  $\phi/\phi_y$  antara gelagar penampang I dengan gelagar penampang Dobel Delta

### 5.3.6 Hubungan Rasio $M_n/M_y$ terhadap $h/t_w$ Gelagar I dan Dobel Delta

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai rasio momen nominal terhadap momen leleh versus kelangsingan sebagai berikut :

**Tabel 5.17** Nilai  $M_n/M_y$  terhadap  $h/t_w$  pelat I dan Dobel Delta

Benda Uji	$M_n/M_y$		$M_{nDD}/M_{nI}$
	I	Dobel Delta	
$h/b = 5,3$	1,04	1,35	1,30
$h/b = 6$	1,06	1,31	1,23

Persamaan yang digunakan untuk mencari  $M_n/M_y$  yaitu:

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{F_{cruji}}{F_y} \quad (5.8)$$

Dari perhitungan menggunakan persamaan diatas didapatkan nilai rasio  $M_n/M_y$  terhadap  $h/t_w$ . Dengan memodifikasi pelat I menjadi pelat Dobel Delta akan menambah kekuatan menjadi  $1,31/1,06 = 1,23$  kali. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin lebar pelat sayap akan menambah kekuatan pelat terhadap  $M_n/M_y$ . Hal ini terjadi karena terjadi peningkatan tegangan kritis pada pelat dobel delta terhadap pelat I.pada pengujian ini terjadi *strain hardening* karena nilai  $M_n > 1$

## 5.4 Pembahasan

Hasil penelitian gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta berupa data-data hasil uji dan foto – foto dari seting alat sampai hasil pengujian yang dapat dilihat pada lampiran laporan ini.

### 5.4.1 Rasio Kerusakan Pelat I dan Dobel Delta.

Setelah dilakukan pengujian gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta terdapat kerusakan-kerusakan.Hasil pengujian menunjukkan bahwa pelat sayap pada gelagar pelat penampang I mengalami *buckling*. Ini berarti, pada pelat sayap



penampang I mengalami tekuk lokal dan sedikit mengalami tekuk puntir. Pada pelat Dobel Delta pelat sayap tidak mengalami tekuk lokal.

Dari kerusakan-kerusakan yang terjadi dapat diambil kesimpulan bahwa dengan memodifikasi pelat I menjadi pelat Dobel Delta akan menghindari gelagar pelat mengalami tekuk lokal (*local buckling*) pada pelat sayap sehingga akan dapat meningkatkan kekuatan pada pelat sayap gelagar pelat.

Dari penelitian sebelumnya terjadi tekuk puntir dikarenakan penyokong kiri kanannya bersilangan, sehingga tidak kuat untuk menahan beban, akibatnya terjadi tekuk puntir. Sedangkan pada pengujian sekarang penyokongnya sejajar sehingga sampel dapat menahan beban yang lebih kuat, sehingga tidak terjadi tekuk puntirnya.

#### 5.4.1 Hubungan Beban – Lendutan Pengujian.

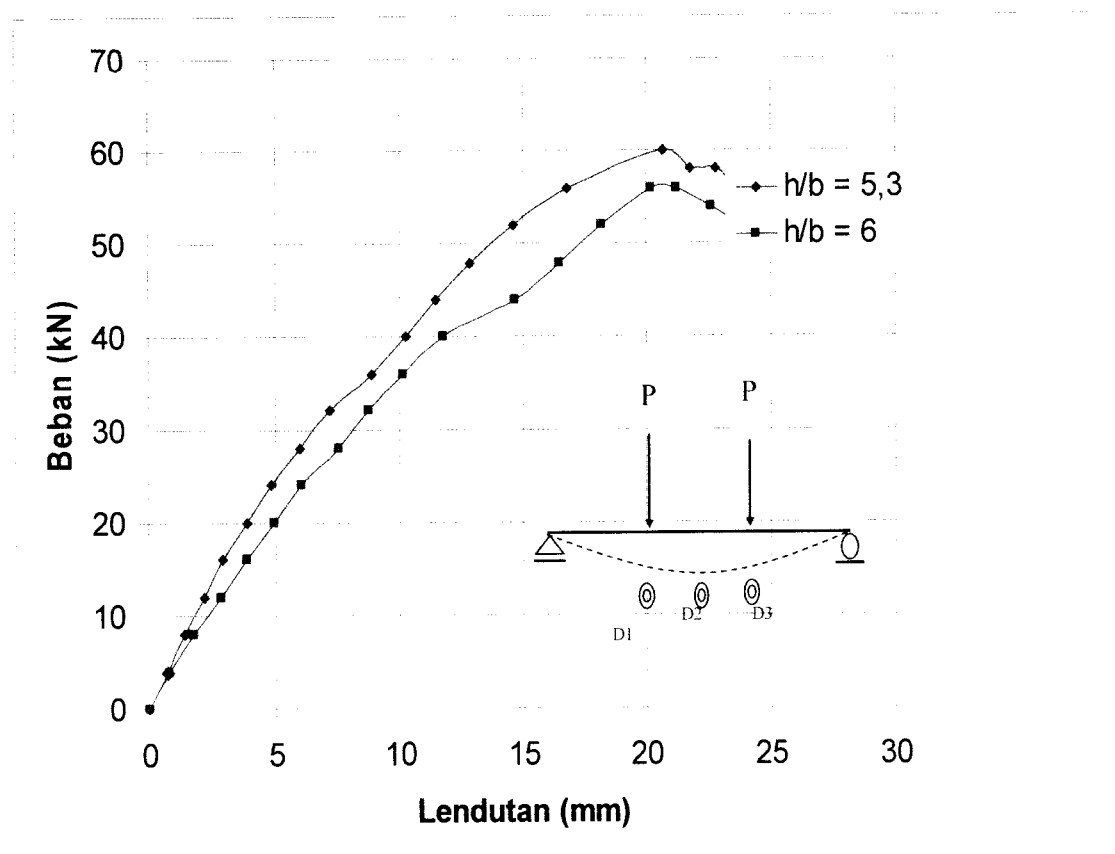
Dari penelitian yang dilakukan dengan menggunakan variasi lebar sayap didapatkan data uji antara beban – lendutan Gelagar Penampang I yang dijelaskan pada Tabel 5.18

**Tabel 5.18** Nilai Beban - Lendutan Gelagar I

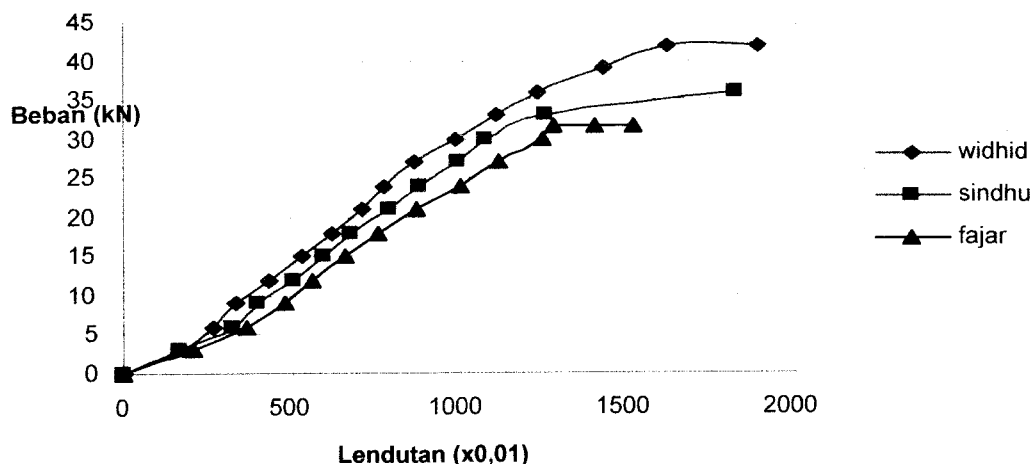
Nilai I	h/b=4	h/b=5	h/b=5.3	h/b=5.7	h/b=6
<b>Beban (kN)</b>	42	36	60	31,5	56
<b>Lendutan (mm)</b>	18,82	18,2	20,67	15,16	20,14
<b>Kekakuan (kN/mm)</b>	2,23	1,97	2,90	2,07	2,78

Dari Tabel 5.18 dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap lebar suatu gelagar I maka semakin kecil beban yang dapat didukung dan semakin kecil pula lendutan yang terjadi. Nilai kekakuan pun dapat dicari dengan membagi faktor beban terhadap lendutan yang terjadi, dapat disimpulkan pula bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap lebar suatu gelagar maka semakin kecil nilai kekakuannya.

Dari penelitian sebelumnya nilai maksimum dan nilai lendutannya lebih kecil dari nilai pengujian sekarang, dikarenakan pada pengujian sekarang pengaku atau penyokongnya lebih kuat dan keseimbangan antara penyokongnya, sehingga mendapatkan nilai beban maksimum yang lebih besar.



**Gambar 5.12** Grafik Hubungan Beban – Lendutan Profil I



**Gambar 5.12** Grafik Hubungan Beban – Lendutan Profil

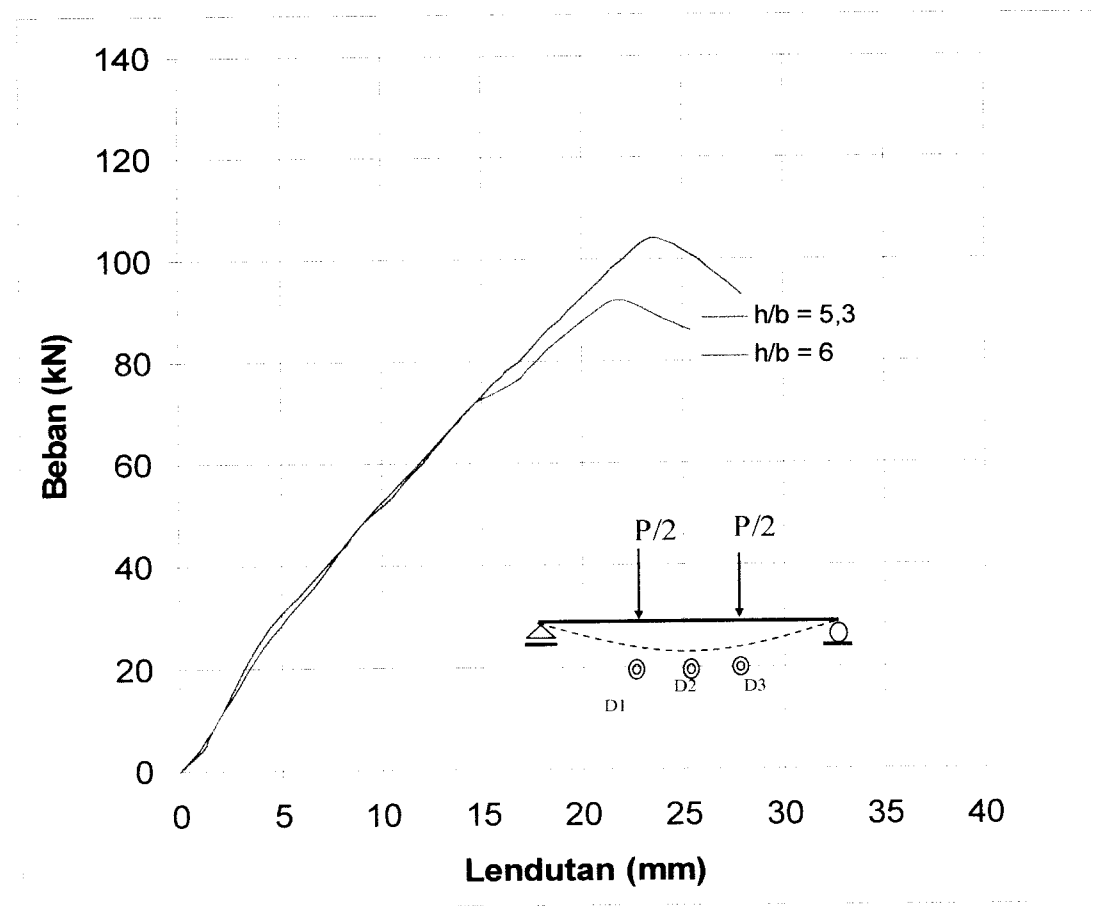
Setelah dilakukan pengujian, didapat nilai kenaikan beban setiap 4 kN hingga beban maksimum. Semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar pula lendutan yang terjadi. Hal ini terjadi pada pelaksanaan kelima macam gelagar I yaitu gelagar  $h/b=4$  saudara Widhid, gelagar  $h/b=5$  saudara Sindhu dan gelagar  $h/b=5,3$  saudara Kholiq, gelagar  $h/b=5,7$  saudara Fajar, gelagar  $h/b=6$  saudara Batra. Dari penelitian didapatkan data uji antara beban – lendutan Gelagar Penampang Dobel Delta yang dijelaskan pada Tabel 5.19.

**Tabel 5.19** Nilai Beban - Lendutan Gelagar Dobel Delta

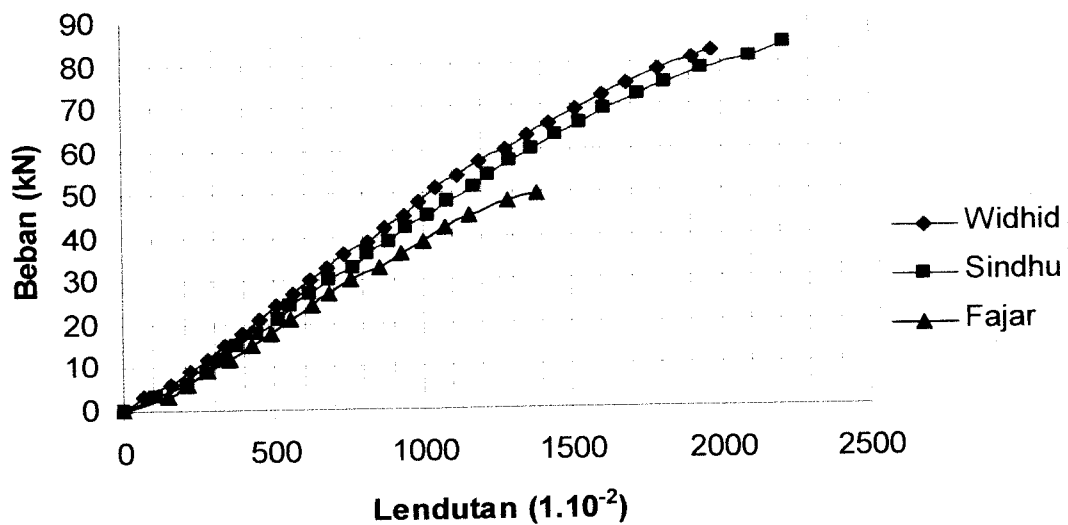
Nilai I	$h/b=4$	$h/b=5$	$h/b=5.3$	$h/b=5.7$	$h/b=6$
<b>Beban (kN)</b>	82,5	84	104	49,5	92
<b>Lendutan (mm)</b>	19,7	22,19	23,43	13,86	21,49
<b>Kekakuan (kN/mm)</b>	4,18	3,78	4,43	3,57	4,28

Dari Tabel 5.19 menunjukkan bahwa karakteristik nilai beban maksimum dengan  $h/b = 5,3$  dan  $h/b = 6$ , maka lendutan yang terjadi pada gelagar dobel delta sama dengan karakteristik nilai gelagar I, yaitu semakin besar rasio tinggi terhadap lebar gelagar maka semakin kecil beban maksimum yang dapat dipikul dan semakin kecil pula lendutan yang terjadi.

Dari penelitian sebelumnya nilai maksimum dan nilai lendutannya lebih kecil dari nilai pengujian sekarang, dikarenakan pada pengujian sekarang pengaku atau penyokongnya lebih kuat dan keseimbangan antara penyokongnya, sehingga mendapatkan nilai beban maksimum yang lebih besar.



**Gambar 5.13** Grafik Hubungan Beban – Lendutan Profil Dobel Delta



**Gambar 5.13** Grafik Hubungan Beban – Lendutan Profil Dobel Delta

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan didapat Beban maksimum yang mampu diterima profil I sebesar 56 kN dengan besar lendutan yang terjadi sebesar 20,14 mm. Sedangkan beban maksimum yang mampu ditahan profil Dobel Delta sebesar 92 kN dengan lendutan yang terjadi sebesar 21,49 mm. Dari hasil penelitian sebelumnya dengan variasi  $h/b$  yang berbeda, dengan  $h/b = 4,25$  didapat beban maksimum 42 kN dengan besar lendutan 18,82 mm, Sedangkan Beban maksimum untuk Dobel Delta sebesar 82,5 kN dengan besar lendutan 19,70 mm, dengan  $h/b = 5$  didapat beban maksimum 36 kN dengan besar lendutan 18,2 mm, dan Beban maksimum untuk Dobel Delta sebesar 84 kN dengan besar lendutan 22,19 mm. dengan  $h/b = 5,71$  didapat beban maksimum 31,5 kN dengan besar lendutan 15,16 mm, dan Beban maksimum untuk Dobel Delta sebesar 49,5 kN dengan besar lendutan 13,86 mm. dari data-data tersebut jelas bahwa dengan memodifikasi pelat I menjadi Pelat Dobel Delta akan dapat meningkatkan kemampuan pelat sebesar 1,64 kali.

Selain itu, dengan memodifikasi pelat I menjadi pelat Dobel Delta akan menambah penurunan yang diakibatkan oleh beban sebesar 1,06 kali. Penambahan pelat pada  $\frac{1}{2}$  b plat dapat menambahkan kekakuan pada pelat sebesar 1,72 kali. Dari pengujian ini dapat diambil kesimpulan bahwa dengan memodifikasi pelat I menjadi dobel delta akan meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan mengurangi lendutan (*defleksi*) yang terjadi pada gelagar pelat.

Dari penelitian saudara **Kholiq** dengan variasi h/b yang lebih besar terjadi peningkatan beban sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan gelagar pelat. Dapat disimpulkan bahwa semakin lebar pelat sayap akan meningkatkan kekuatan dan kekakuan pada gelagar pelat I dan Gelagar pelat Dobel Delta. Hal ini dilihat dari hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar (5.12) dan Gambar (5.13).

Dari penelitian sebelumnya beban maksimum untuk pelat I dan Dobel Delta lebih kecil dari pengujian sekarang dikarenakan pada pengujian sebelumnya penyokong atau pengaku nya dibuat bersilangan sehingga penyokongnya tidak seimbang akibatnya kurang kuat untuk menahan beban, walaupun pelat sayapnya lebih lebar. sebaliknya pada pengujian sekarang pengakunya dibuat sejajar sehingga gaya tahannya lebih kuat dari penelitian sebelumnya. dari sini kita dapat menyimpulkan bahwa pengaku yang dibuat sejajar akan lebih kuat dari pada pengaku yang dibuat bersilangan.

#### **5.4.2 Rasio Nilai Momen Batas (Mcr) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.**

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.12 didapatkan tegangan kritis pada gelagar pelat Dobel Delta adalah 329,40 MPa dan tegangan kritis pada pelat I adalah

405,8 MPa. Dari hasil ini terbukti bahwa dengan memodifikasi pelat I dengan menambahkan pelat penopang pada sisi pelat dapat meningkatkan nilai tegangan kritis sampai  $405,8/329,4 = 1,44$  kali.

Penelitian yang dilaksanakan oleh saudara **Kholiq** dengan menggunakan variasi lebar yang lebih besar dapat meningkatkan nilai tegangan kritis baik pada pelat I dan pada pelat Dobel Delta. Lebih jelasnya dilihat pada Tabel (5.12) dimana didapatkan peningkatan tegangan kritis pada gelagar pelat I dan Gelagar pelat dobel delta.

Dengan mengetahui nilai tegangan kritis dan beban maksimum yang mampu diterima gelagar pelat dapat diketahui nilai momen kritis pada pelat I dan pelat Dobel Delta. Dari Tabel (5.9) didapatkan bahwa momen kritis pada pelat I adalah 43400000 Nmm<sup>2</sup> sedangkan pada pelat Dobel Delta nilai momen kritis adalah sebesar 71300000Nmm<sup>2</sup>. Hal ini membuktikan bahwa nilai momen kritis pelat dobel delta meningkat  $71300000/43400000 = 1,64$  kali dari pelat I.

Hasil dari uji momen kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta dapat kita lihat pada tabel 5.20 sebagai berikut:

**Tabel 5.20** Nilai Momen Kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Variasi	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5,3	h/b=5,71	h/b=6
I (Nmm)	32550000	27900000	46500000	24412500	43400000
Dobel Delta (Nmm)	63937500	65100000	80600000	38362500	71300000
$M_{crDD}/M_{crI}$	1,96	2,33	1,73	1,57	1,64

Hasil dari uji momen kritis secara teoritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta dapat kita lihat pada tabel 5.21 sebagai berikut

**Tabel 5.21** Nilai Momen Kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta Secara Teoritis

Variasi	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5,3	h/b=5,71	h/b=6
I (Nmm)	44262580	40369600	52537250	37588900	49164140
Dobel Delta (Nmm)	64436348	56684850	69448156	51042400	61783775
$M_{crDD}/M_{crI}$	1,46	1,41	1,32	1,35	1,25

Selain pada hasil uji nyata telah dibuktikan juga secara teoritis bahwa pada pelat I nilai momen kritis adalah 49164140 Nmm<sup>2</sup> sedangkan pada pelat Dobel Delta nilai momen kritis adalah sebesar 61783775 Nmm<sup>2</sup>. Rasio momen kritis berdasarkan hasil perhitungan teoritis pada Tabel (5.12) adalah sebesar 61783775/49164140 =1,25 kali.

Dari pengujian yang telah dilakukan bersama Saudara **Kholiq** jelas bahwa semakin besar lebar pelat sayap akan meningkatkan momen kritis pelat. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.6 Hubungan momen batas gelagar pelat Dobel Delta terhadap Pelat I. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa semakin lebar pelat sayap akan meningkatkan tegangan kritis pelat dan secara teoritis akan meningkatkan momen kritis pada pelat dan telah terbukti bahwa nilai uji nyata di Laboratorium lebih besar daripada nilai uji secara teoritis seperti hasil uji pada Gambar (5.6).

Dari pengujian didapatkan nilai tegangan kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta yang ditunjukkan pada Tabel 5.22

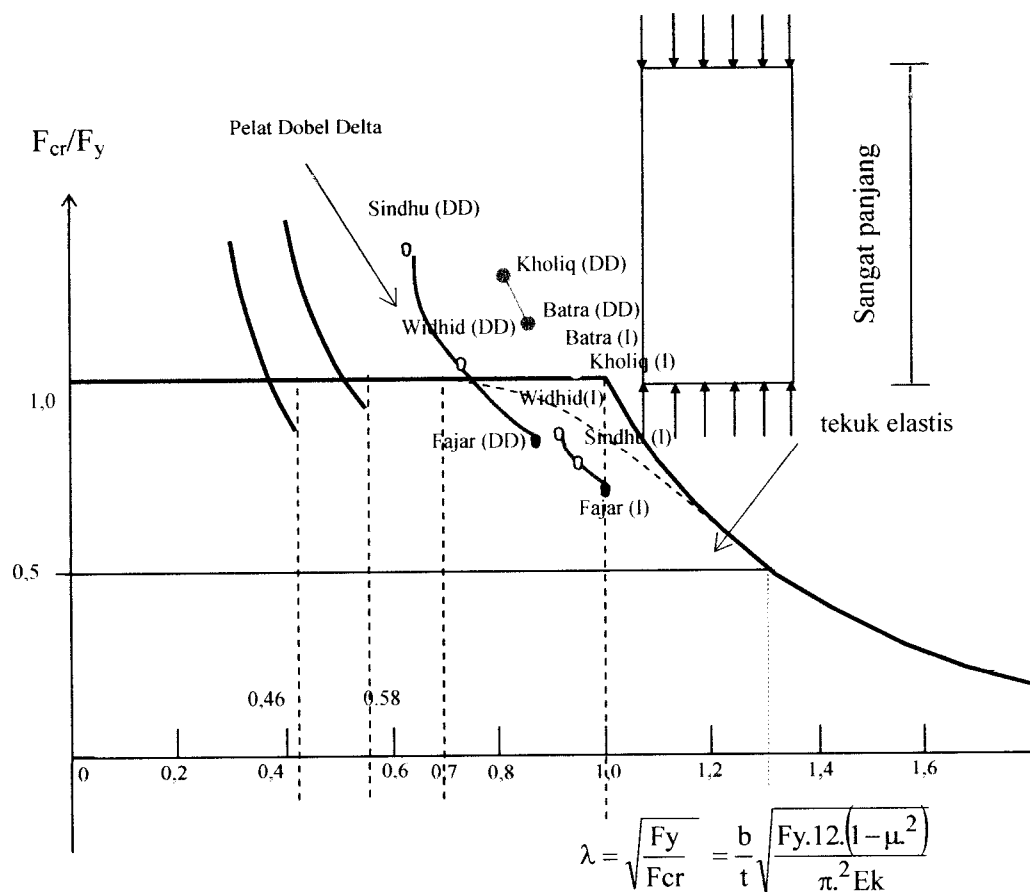


**Tabel 5.22** Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Variasi	$h/b=4,25$	$h/b=5$	$h/b=5,3$	$h/b = 5,7$	$h/b = 6$
I	196,85	187,81	324,91	178,78	329,4
Dobel Delta	286,21	230	419,6	210,05	405,8
Rasio $F_{cr}$	1,17	1,22	1,29	1,17	1,23

Dari pengujian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa memodifikasi pelat I menjadi Pelat Dobel Delta akan meningkatkan tegangan kritis pelat sebesar  $405,8/329,4 = 1,23$  kali.  $F_{cr}$  Pelat I dan dobel delta hasil pengujian memiliki nilai lebih besar dari  $F_y$  ( $F_{cr} > F_y$ ) yaitu 329,4 dan 405,8 MPa, maka gelagar Pelat I dan dobel delta telah mencapai *strain hardening*. pada pengujian ini pelat I dan Dobel delta telah mengalami *strain hardening*, karena nilai tegangan kritisnya melebihi tregangan lelehnya, sedangkan pada penelitian sebelumnya, pelat I tidak mengalami *strain hardening*. Artinya gelagar tersebut memungkinkan menahan tegangan tambahan ( $>310$  Mpa) namun semakin besarnya lendutan dan regangan yang terjadi sehingga gelagar tersebut sudah tidak stabil. Maka dalam perhitungan berikutnya, digunakan nilai  $F_{cr} = F_y$  yaitu 310 Mpa

Untuk dapat membuktikan kebenaran penelitian yang telah dilakukan dapat dijelaskan pada Gambar grafik oleh *Ostapenko (1971)* yang menunjukkan parameter kelangsingan terhadap rasio tegangan kritis pelat. Perhatikan Gambar (5.13) berikut:



**Gambar 5.14 Kurva Parameter Kelangsingan Panjang**

Nilai dari Tabel 5.22, dapat disimpulkan bahwa dengan ditambahkan pengaku pada kedua sayap penampang I, dapat meningkatkan nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ).  $F_{cr}$  pada penampang I memiliki nilai yang lebih kecil dari pada penampang dobel delta, hal itu disebabkan karena Koefisien tekuk yang dimiliki penampang I

lebih kecil dibandingkan dengan penampang dobel delta baik sayap maupun badan. Membuat pelat sayap menjadi lebih kaku, akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar dari gelagar I dan menghambat terjadinya tekuk pada sayap. Selain itu, dengan adanya pengaku pada gelagar dobel delta, menjadikan tinggi gelagar juga semakin pendek, sehingga tekuk puntir lateral kemungkinannya kecil terjadi..

Pada gambar (5.14) kita dapat membedakan perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya, dimana pada Penampang I dan Dobel delta terjadi *strain hardening*, sedangkan penelitian sebelumnya Penampang I nya tidak mengalami *strain hardening*. dan pada penelitian sekarang nilai tegangan kritisnya lebih besar dari penelitian sebelumnya.

#### 5.4.4 Rasio Nilai Koefisien Tekuk ( k ) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan perhitungan pada Tabel (5.13) dan Tabel (5.14) didapatkan nilai koefisien tekuk pada pelat sayap adalah 0,21 untuk pelat I dan pada pelat dobel delta nilai koefisien tekuk adalah 0,26. Pada pelat badan nilai koefisien tekuk penampang I adalah 69,42 dan pada pelat Dobel delta adalah sebesar 85,52.

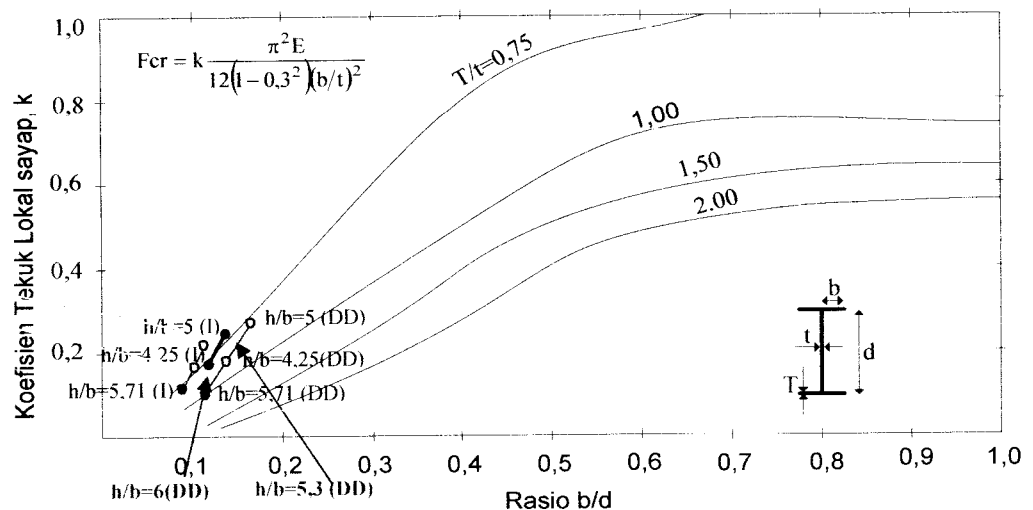
Dari hasil pengujian, didapat nilai koefisien tekuk (k) untuk sayap kelima sampel yang ditunjukkan pada Tabel 5.23

**Tabel 5.23 Untuk k sayap:**

Variasi	$h/b=4,25$	$h/b=5$	$h/b=5,3$	$h/b=5,71$	$h/b=6$
<b>k I</b>	0,25	0,175	0,26	0,13	0,21
<b>k Dobel Delta</b>	0.29	0.21	0.35	0,15	0,26

Pada penelitian yang diuji oleh saudara **Kholiq** dengan variasi lebar yang lebih besar didapatkan bahwa nilai koefisien tekuk pada pelat sayap dan pelat badan akan semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lebar pelat sayap akan meningkatkan koefisien tekuk pelat sayap maupun pelat badan.

Untuk mengetahui kebenaran penelitian yang telah dilakukan dapat dibuktikan pada penelitian yang telah dilakukan oleh *N.S Tharair dan M.A Bradford (1988)* yang ditunjukkan pada gambar sebagai berikut yaitu :



**Gambar 5.15** Koefisien tekuk lokal pada batang lentur

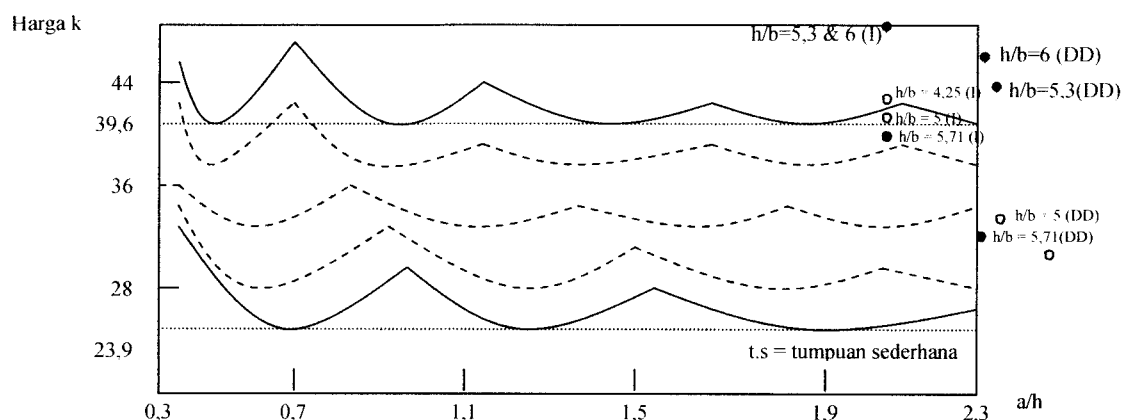
Gambar (5.15) menunjukkan bahwa nilai koefisien tekuk pelat dobel delta meningkat daripada pelat I. Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai faktor tekuk maka akan meningkatkan tegangan kritis pelat.

Dari hasil pengujian, didapat nilai koefisien tekuk ( $k$ ) untuk badan kelima sampel yang ditunjukkan pada Tabel 5.24

Tabel 5.24 Untuk k badan:

Variasi	$h/b=4,25$	$h/b=5$	$h/b=5,3$	$h/b=5,71$	$h/b=6$
<b>k I</b>	41,45	39,54	68,47	37,64	69,42
<b>k Dobel Delta</b>	28,36	31,02	88,42	30,11	85,52

pada gambar nilai koefisien tekuk terhadap nilai  $a/h$  sebagai berikut yaitu :



**Gambar 5.16.** Koefisien Tekuk Pelat Dalam Lentur Murni

Dari Gambar (5.16) terbukti bahwa nilai kekakuan tekuk pada pelat badan melebihi nilai minimal yang telah diasumsikan awal perencanaan yaitu lebih besar dari 23,9 sehingga menunjukkan kebenaran dalam penelitian..

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat diambil suatu kesimpulan bahwa nilai koefisien tekuk pada pelat badan memenuhi persyaratan parameter nilai koefisien tekuk

#### 5.4.5 Rasio Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan.

Setelah didapat nilai momen kritis pada pengujian maka akan didapatkan nilai rasio momen batas terhadap momen lelehnya. Pada perhitungan tercantum pada Tabel

(5.17) didapatkan nilai  $M_n/M_y$  pada pelat penampang I adalah sebesar 1,06 dan pada pelat penampang Dobel Delta adalah sebesar 1,31 Sehingga didapat momen batas terhadap momen leleh adalah sebesar  $1,31/1,06 = 1,23$  kali.

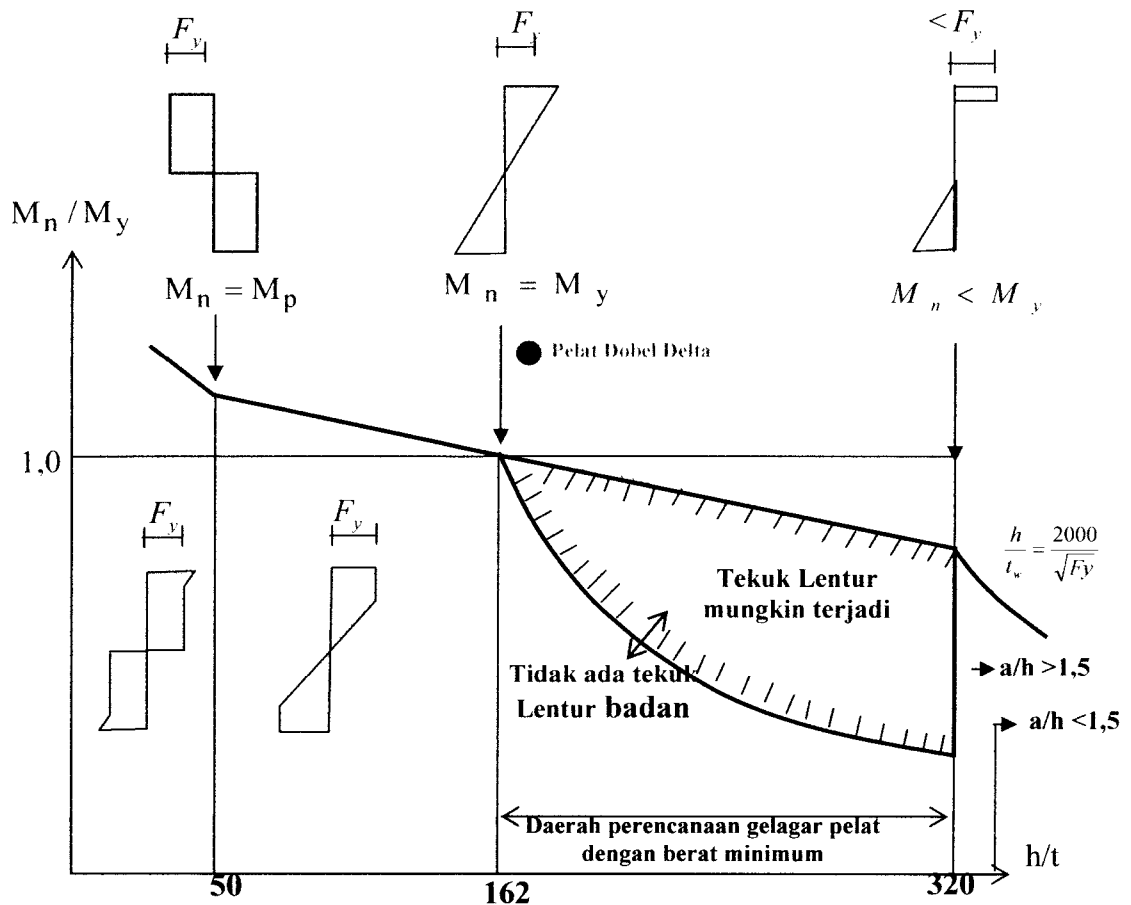
Dari hasil uji dapat menentukan nilai rasio momen batas terhadap momen leleh yang dijelaskan pada Tabel 5.25

**Tabel 5.25** Nilai  $M_n/M_y$  terhadap  $h/t_w$  pelat I dan Dobel Delta

Benda Uji	$M_n/M_y$		Rasio
	I	Dobel Delta	
$h/b=4,25$	0,83	1	1,17
$h/b=5$	0,78	1	1,28
$h/b=5,3$	1,04	1,35	1,30
$h/b=5,71$	0,74	0,87	1,18
$h/b=6$	1,06	1,31	1,23

Dari penelitian yang diuji oleh saudara Kholiq dengan variasi lebar yang lebih kecil didapatkan bahwa nilai rasio momen batas terhadap momen leleh akan semakin besar. Sedangkan pada penelitian sebelumnya dengan variasi lebar yang lebih kecil didapatkan bahwa nilai rasio momen batas terhadap momen leleh akan semakin kecil.

Untuk mengetahui kebenaran penelitian yang telah dilakukan maka berdasarkan grafik momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan yang ditetapkan oleh peneliti terdahulu maka dapat dilakukan pengecekan yang ditunjukkan pada Gambar 5.17.



**Gambar 5.17** Hubungan Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan

Grafik 5.17 menerangkan bahwa desain bahan yang memiliki rasio  $h/t < 50$  akan mengalami momen plastis penuh, atau momen nominal ( $M_n$ ) > Momen Plastis ( $M_p$ ). Hal ini membuat bahan tidak akan mengalami tekuk pada badan sebab dimensi bahan yang sangat tebal. Sedangkan dimensi bahan yang memiliki rasio  $h/t$  antara  $50 < h/t < 162$  juga tidak akan mengalami tekuk pada badan, sebab pada daerah ini dimensi bahan yang digunakan masih tebal meskipun batas maksimal rasio  $h/t$  bahan memiliki nilai momen nominal = momen leleh. Dalam perencanaan gelagar pelat,

dapat pula ditunjukkan hubungan momen batas terhadap momen leleh dan kelangsingannya, yaitu pada daerah dimensi bahan yang memiliki  $h/t > 162$ .

Dari gambar Grafik 5.17 jelas bahwa penelitian yang telah dilakukan masuk dalam persyaratan yang telah ditetapkan. Untuk gelagar I memiliki nilai  $M_n/M_y > 1$ , daerah ini disebut dengan daerah plastis. Sedangkan gelagar dobel delta memiliki nilai  $M_n/M_y > 1$ , disebut daerah plastis atau gelagar telah mengalami plastis (*strain hardening*). Dengan ditambahkannya pengaku pada gelagar pelat I, dapat meningkatkan tegangan kritis hingga mencapai tegangan leleh

#### 5.4.6 Perbandingan Tekuk Lokal Terhadap Nilai Momen Puntir Lateral

##### Terhadap Kerusakan Pelat.

Berdasarkan teori menunjukkan bahwa perencanaan gelagar pelat dengan pelat badan dan pelat sayap yang tipis akan mengalami dua kerusakan yaitu kerusakan tekuk lokal pada pelat sayap dan mengalami tekuk puntir lateral. Berdasarkan analisis teoritis didapatkan nilai tekuk lokal pelat I dan Pelat Dobel Delta adalah sebagai berikut :

**Tabel 5.26** Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Lateral Gelagar Pelat I

Variasi	$M_{cr}$ Tekuk Puntir Lateral	$M_{cr}$ Tekuk Lokal
	(Nmm)	(Nmm)
$h/b = 4,21$	51505954	44262580
$h/b = 5$	31982365	40369600
$h/b = 5,3$	26453545,09	52537250
$h/b = 5,71$	21611339,66	37588900
$h/b = 6$	18187220,02	49164140



Dari Tabel (5.26) dapat disimpulkan bahwa pelat I cenderung mengalami tekuk puntir lateral hal ini ditunjukkan dengan nilai momen berdasarkan tekuk puntir lateral lebih kecil dari momen berdasarkan tekuk lokal. Terbukti bahwa berdasarkan analisis teoritis menunjukkan pelat I mengalami tekuk puntir lateral.

**Tabel 5.27** Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Lateral Gelagar Pelat Dobel Delta

Variasi	$M_{cr}$ Tekuk Puntir Lateral	$M_{cr}$ Tekuk Lokal
	(Nmm)	(Nmm)
$h/b = 4,21$	55166646	50616685,8
$h/b = 5$	36109539	56677536,47
$h/b = 5,3$	34741131,46	69448156.41
$h/b = 5,71$	25335786,82	39705191,88
$h/b = 6$	25448022,85	61783775.46

Dari Tabel (5.27) Diatas dapat disimpulkan bahwa pelat Dobel Delta cenderung mengalami tekuk puntir lateral hal ini ditunjukkan dengan nilai momen berdasarkan tekuk puntir lateral lebih kecil dari momen berdasarkan tekuk lokal. Terbukti bahwa berdasarkan analisis teoritis menunjukkan pelat Dobel Delta mengalami tekuk puntir lateral.

### 5.2.6 Nilai Faktor Kelengkungan Pelat I dan Dobel Delta

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan beban maksimum yang masih dapat dipikul oleh gelagar I maupun gelagar Dobel Delta. Dari data-data ini akan didapatkan nilai kelengkungannya.

Dengan menggunakan Persamaan 5.6 akan didapatkan nilai kelengkungan pelat sebagai berikut :

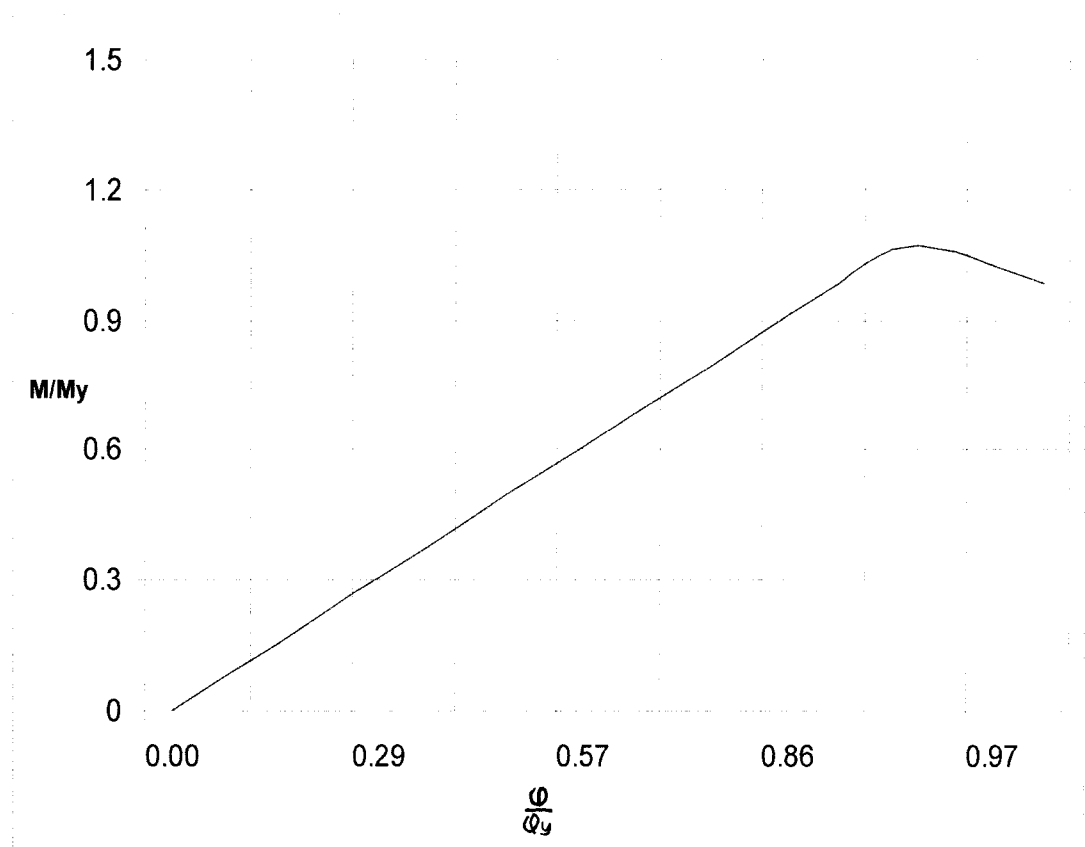
$$\varphi = \frac{\varepsilon}{h/2} \quad (5.6)$$

Dengan persamaan diatas didapatkan nilai kelengkungan hasil uji pelat I ditunjukkan pada Tabel 5.28

**Tabel 5.28** Nilai Kelengkungan gelagar pelat penampang I.

Beban		Momen		$F_{cr}$	Regangan		kelengkungan
P (ton)	kN	(kNmm)	$M/M_y$	(Mpa)		$\varphi/\varphi_y$	1/mm
0.0	0	0	0	0	0	0	0.0000000
0.4	4	3100	0.0759007	23.52923171	0.00011204	0.07182305	0.0000006
0.8	8	6200	0.1518015	47.05846341	0.00022409	0.1436461	0.0000011
1.2	12	9300	0.2277022	70.58769512	0.00033613	0.21546915	0.0000017
1.6	16	12400	0.303603	94.11692682	0.00044818	0.28729221	0.0000022
2.0	20	15500	0.3795037	117.6461585	0.00056022	0.35911526	0.0000028
2.4	24	18600	0.4554045	141.1753902	0.00067226	0.43093831	0.0000034
2.8	28	21700	0.5313052	164.7046219	0.00078431	0.50276136	0.0000039
3.2	32	24800	0.607206	188.2338536	0.00089635	0.57458441	0.0000045
3.6	36	27900	0.6831067	211.7630853	0.0010084	0.64640746	0.0000050
4.0	40	31000	0.7590075	235.2923171	0.00112044	0.71823052	0.0000056
4.4	44	34100	0.8349082	258.8215488	0.00123248	0.79005357	0.0000062
4.8	48	37200	0.910809	282.3507805	0.00134453	0.86187662	0.0000067
5.2	52	40300	0.9867097	305.8800122	0.00145657	0.93369967	0.0000073
5.6	56	43400	1.0626104	329.4092439	0.00156862	1.00552272	0.0000078
5.6	56	43400	1.0626104	329.4092439	0.00156862	1.00552272	0.0000078
5.4	54	41850	1.0246601	317.644628	0.00151259	0.9696112	0.0000076
5.2	52	40300	0.9867097	305.8800122	0.00145657	0.93369967	0.0000073

Dari Tabel 5.28 hasil perhitungan dapat ditunjukkan dengan grafik nilai Momen-kelengkungan yang terjadi pada Gelagar Pelat penampang I ditunjukkan pada Gambar 5.18



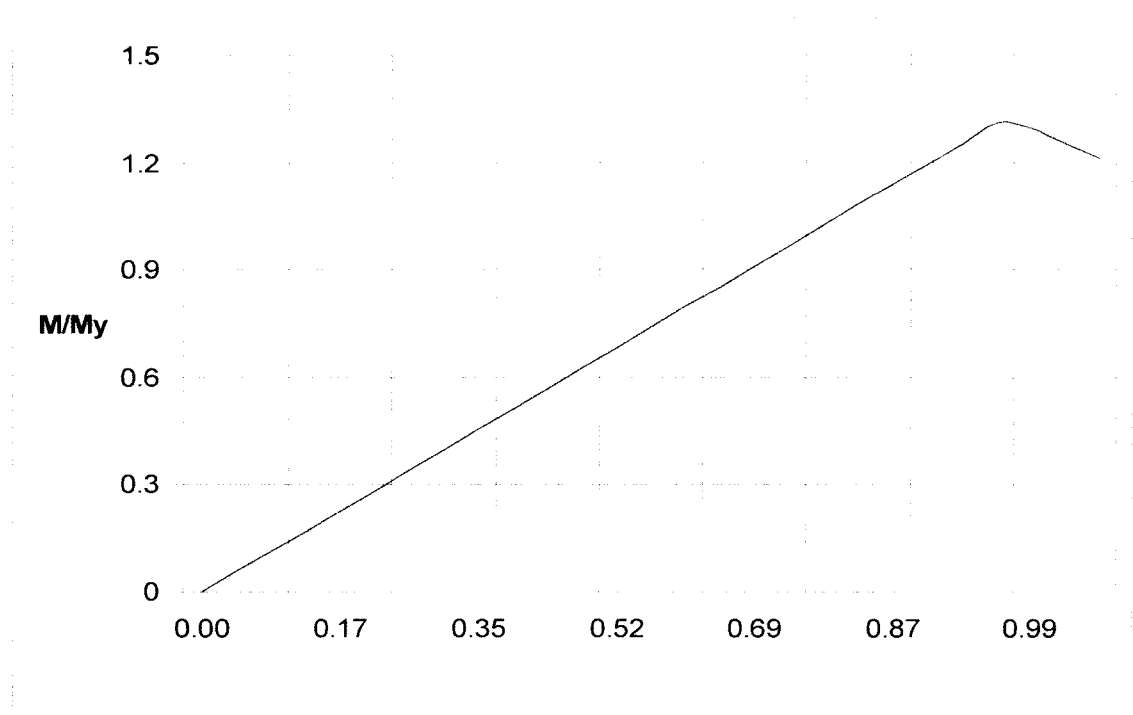
**Gambar 5.18** Kurva Perbandingan  $M/M_y$  versus  $\phi/\phi_y$  gelagar penampang I

Dari pengujian Gelagar Pelat Dobel Delta juga didapatkan nilai Momen-kelengkungan ditunjukkan pada Tabel 5.29

**Tabel 5.29** Nilai Kelengkungan Dobel Delta

Beban		Momen		$F_{cr}$	Regangan		Kelengkungan
P (ton)	kN	(kNmm)	M/My	(Mpa)		$\phi/\phi_y$	1/mm
0.0	0	0	0	0	0	0	0.0000000
0.4	4	3100	0.0569283	17.64777	0.00008403	0.04331805	0.0000004
0.8	8	6200	0.1138566	35.29554	0.00016807	0.08663611	0.0000008
1.2	12	9300	0.1707849	52.94332	0.00025211	0.12995416	0.0000013
1.6	16	12400	0.2277132	70.59109	0.00033615	0.17327221	0.0000017
2.0	20	15500	0.2846415	88.23887	0.00042019	0.21659026	0.0000021
2.4	24	18600	0.3415698	105.8866	0.00050422	0.25990832	0.0000025
2.8	28	21700	0.3984981	123.5344	0.00058826	0.30322637	0.0000029
3.2	32	24800	0.4554264	141.1821	0.0006723	0.34654442	0.0000034
3.6	36	27900	0.5123548	158.8299	0.00075633	0.38986247	0.0000038
4.0	40	31000	0.5692831	176.4777	0.00084037	0.43318053	0.0000042
4.4	44	34100	0.6262114	194.1255	0.00092441	0.47649858	0.0000046
4.8	48	37200	0.6831397	211.7732	0.00100844	0.51981663	0.0000050
5.2	52	40300	0.740068	229.4210	0.00109248	0.56313468	0.0000055
5.6	56	43400	0.7969963	247.0688	0.00117652	0.60645274	0.0000059
6.0	60	46500	0.8539246	264.7166	0.00126056	0.64977079	0.0000063
6.4	64	49600	0.9108529	282.3643	0.00134459	0.69308884	0.0000067
6.8	68	52700	0.9677812	300.0121	0.00142863	0.73640689	0.0000071
7.2	72	55800	1.0247095	317.6599	0.00151267	0.77972495	0.0000076
7.6	76	58900	1.0816378	335.3077	0.0015967	0.823043	0.0000080
8.0	80	62000	1.1385661	352.9554	0.00168074	0.86636105	0.0000084
8.4	84	65100	1.1954944	370.6032	0.00176478	0.9096791	0.0000088
8.8	88	68200	1.2524227	388.2510	0.00184881	0.95299716	0.0000092
9.2	92	71300	1.309351	405.8988	0.00193285	0.99631521	0.0000097
9.1	91	70525	1.295119	401.4868	0.00191184	0.98548569	0.0000096
8.8	88	68200	1.2524227	388.2510	0.00184881	0.95299716	0.0000092
8.5	85	65875	1.2097265	375.0152	0.00178579	0.92050862	0.0000089

Dari Tabel 5.29 hasil perhitungan dapat ditunjukkan dengan grafik Hubungan Momen-Kelengkungan pada gelagar pelat penampang dobel delta ditunjukkan pada Gambar 5.19



**Gambar 5.19** Kurva Perbandingan  $M/M_y$  versus  $\phi/\phi_y$  gelagar penampang Dobel Delta

#### 5.2.10 Desain Plastis Gelagar

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan nilai  $F_{cr}$  gelagar Pelat I dan dobel delta lebih dari nilai tegangan lelehnya (310 Mpa), yaitu 329,4 dan 405,8 Mpa. maka gelagar tersebut telah mencapai daerah strain hardening. Pada keadaan ini, gelagar dapat diartikan masih mungkin menahan tegangan tambahan ( $> 310$  Mpa) akan tetapi deformasi dan regangannya sangat besar sehingga gelagar sudah tidak stabil. Maka, terbukti bahwa dengan memodifikasi gelagar I menjadi gelagar dobel delta dapat

meningkatkan tegangan kritisnya. Tidak hanya sampai pada kondisi sama dengan tegangan lelehnya, namun hingga mencapai kondisi plastis. Adapun nilai desain plastis gelagar dobel delta sebagai berikut:

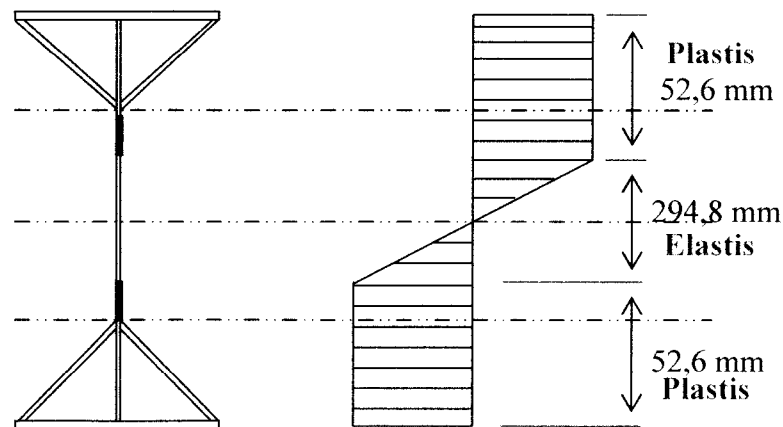
**Tabel 5.30** Nilai  $M_{cr}$  Hasil Uji dan Momen Plastis

Momen Desain Plastis (Nmm)	$M_{cr}$ Hasil Uji (Nmm)
65.280.027	80.600.000

Semakin

dekatnya

nilai Momen Plastis ( $M_p$ ) maka semakin teliti pula pembagian daerah elastis dan daerah plastisnya pada distribusi momen lenturnya. Dari hasil perhitungan desain plastis gelagar tersebut, didapatkan nilai  $M_p = 65.280.027$ . Nilai rasio  $M_{cr}$  hasil uji terhadap  $M_p$  didapatkan  $80.600.000/65.280.027 = 1,23$  nilai rasio  $M_{cr}$  hasil uji terhadap  $M_p$  adalah lebih dari 1. Maka kesimpulannya, gelagar tersebut telah mencapai *strain hardening*..



**Gambar 5.20** Distribusi Tegangan Lentur

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta dapat diambil kesimpulan sebagai berikut yaitu :

1. Penambahan pelat penopang pada sisi pelat sayap dan pelat badan pada gelagar penampang I terbukti dapat meningkatkan rasio kapasitas lentur gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap penampang I hingga 1,64 kali
2. Dengan memodifikasi pelat penampang I didapatkan nilai koefisien tekuk pada pelat penampang Dobel Delta yaitu koefisien tekuk pelat sayap 0,26 dan koefisien tekuk pelat badan 85,52 sedangkan koefisien tekuk pelat sayap penampang I sebesar 0,21 dan koefisien tekuk pelat badan 69,42.
3. Dengan memodifikasi pelat I menjadi pelat Dobel Delta akan meningkatkan rasio tegangan kritis gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap penampang I hingga 1,23 kali.
4. Dengan memodifikasi pelat I menjadi pelat Dobel Delta akan meningkatkan rasio kekakuan gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap penampang I hingga 1,39 kali.

5. Untuk hubungan momen-kelengkungan pada pelat I dan pelat Dobel Delta dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ketinggian pelat badan maka kelengkungan yang terjadi semakin kecil
6. Untuk rasio  $M_n/M_y$  terhadap kelangsingan pelat dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio  $M_n/M_y$  maka semakin kecil tekuk lentur pada pelat badan akan terjadi.

## 6.2 Saran

Agar penelitian gelagar pelat I dan Pelat Dobel Delta lebih akurat maka diharapkan lebih banyak menambahkan variasi-variasi pada penelitian selanjutnya. Adapun saran-saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut yaitu :

1. Penambahan lebar pelat sayap dan tinggi pelat badan masih mungkin dilakukan untuk meningkatkan kekuatan pelat baik pelat profil I maupun Dobel Delta,
2. Penambahan pelat penopang pada sudut yang bervariasi diharapkan dapat lebih menambahkan keakuratan penelitian ini,
3. Pengelasan sample pelat harus benar-benar diperhatikan agar pelat tidak mengalami residu,



4. Pemasangan pengaku (*bracing*) pada saat penelitian dilaboratorium harus benar-benar diperhatikan agar pelat tidak mengalami punter dan diharapkan akan lebih meningkatkan keamanan pada saat pengujian,
5. Pemasangan Dial samping arah vertikal baik digunakan agar dapat mengetahui seberapa besar lendutan kearah samping,
6. Pemasangan beban pada  $\frac{1}{3}$  bentang harus diperhatikan agar didapatkan hasil lendutan yang lebih sesuai.

## Penutup

Alhamdulillah, dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.

Dalam penulisan laporan ini penulis sadar banyak hambatan dan hambatan. Namun berkat motivasi-motivasi dan bimbingan-bimbingan serta masukan-masukan dari berbagai pihak alhamdulillah laporan ini dapat selesai dengan baik. Dalam penulisan laporan penulis berusaha memberikan yang terbaik sehingga dapat bermanfaat bagi pembaca nantinya. Namun, penulis sadar banyak sekali kekurangan-kekurangan yang merupakan hal yang biasa karena penulis hanyalah manusia biasa yang tak pernah luput dari kesalahan. Untuk tercapainya kesempurnaan dalam penulisan penulis mengharapkan kritikan-kritikan dan saran-saran yang membangun sehingga didapatkan kesempurnaan dalam laporan.

Akhirnya penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah membantu hingga tersusunnya dan terselesainya laporan ini. Semoga semua pihak yang telah membantu memperoleh ridho dari Allah SWT amin.



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN : TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN  
KAMPUS : Jalan Kaliurang KM 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, 896440. Fax: 895330  
Email : dekanat@fisp.uui.ac.id. Yogyakarta Kode Pos 55584

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : : 164 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ XII /2006  
Lamp. : -  
Hal : : BIMBINGAN TUGAS AKHIR  
Periode Ke : : II ( Des.06- Mei.07 )

Jogjakarta, 11-Dec-06

Kepada .

Yth. Bapak / Ibu : Fatkhurrohman N,Ir,MT  
di -

Jogjakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu Agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut di bawah ini :

Na ma	:	Batra Noven Azhari
No. Mhs.	:	02 511 136
Bidang Studi	:	Teknik Sipil
Tahun Akademi	:	2006 - 2007

dapat diberikan petunjuk- petunjuk, pengarahan serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir. Kedua Mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok dengan dosen pembimbing sebagai berikut :

Dosen Pembimbing I	:	Fatkhurrohman N,Ir,MT
Dosen Pembimbing II	:	Fatkhurrohman N,Ir,MT

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Rasio Kapasitas Lentur Gelagar Pelat Penampang I Dan Penampang Dobel Delta Dengan Rasio Tinggi Terhadap Lebar ( h/b ) : 536

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Ard. Dekan  
Ketua Jurusan Teknik Sipil  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
H. Faisol AM, MS

Tembusan

- 1) Dosen Pembimbing ybs
- 2) Mahasiswa ybs
- 3) Arsip. 11-Dec-06
- 4) Sampai Akhir Mei 2007



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN : TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN  
KAMPUS : Jalan Kaliurang KM 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, 896440. Fax: 895330  
Email : dekanat@ftspp.uii.ac.id. Yogyakarta Kode Pos 55584

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : : 164 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ XII /2006  
Lamp. : -  
Hal : : BIMBINGAN TUGAS AKHIR  
Periode Ke : : II ( Des.06- Mei.07 )

Jogyakarta, 11-Dec-06

Kepada .  
Yth. Bapak / Ibu : Fatkhurrohman N,Ir,MT  
di -

Jogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu Agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut di bawah ini :

Na m a	:	Batra Noven Azhari
No. Mhs.	:	02 511 136
Bidang Studi	:	Teknik Sipil
Tahun Akademi	:	2006 - 2007

dapat diberikan petunjuk- petunjuk, pengarahan serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir. Kedua Mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok dengan dosen pembimbing sebagai berikut :

Dosen Pembimbing I	:	Fatkhurrohman N,Ir,MT
Dosen Pembimbing II	:	Fatkhurrohman N,Ir,MT

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Rasio Kapasitas Lentur Gelagar Pelat Penampang I Dan Penampang Dobel Delta Dengan Rasio Tinggi Terhadap Lebar ( h/b ) : ~~5.3~~ 6

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Ard. Dekan  
Ketua Jurusan Teknik Sipil  
FAKULTAS TEKNIK  
DAN PERENCANAAN  
Faisol AM, MS

Tembusan

- 1) Dosen Pembimbing ybs
- 2) Mahasiswa ybs
- 3) Arsip. 11-Dec-06
- 4) Sampai Akhir Mei 2007

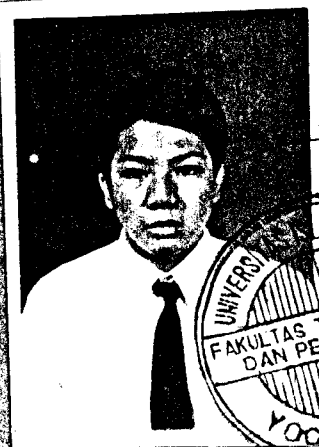
## KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Batra Noven Azhari	02 511 136	Teknik Sipil
<b>JUDUL TUGAS AKHIR</b>			
Rasio Kapasitas Lentur Gelagar Pelat Penampang I Dan Penampang Dobel Delta Dengan Rasio Tinggi Terhadap Lebar (h/b) : <del>5</del> 6			

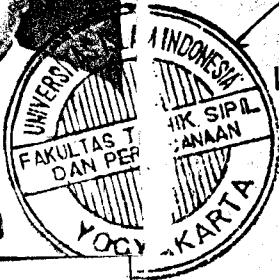
PERIODE KE	: II ( Des.06- Mei.07 )
TAHUN	: 2006 - 2007
Sampai Akhir Mei 2007	

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 : Fatkhurrohman N,Ir,MT  
 Dosen Pembimbing II : Fatkhurrohman N,Ir,MT



Jogjakarta, 11-Dec-06  
 a.n. Dekan



*(Signature)*  
 Ir.H.Faisol AM, MS

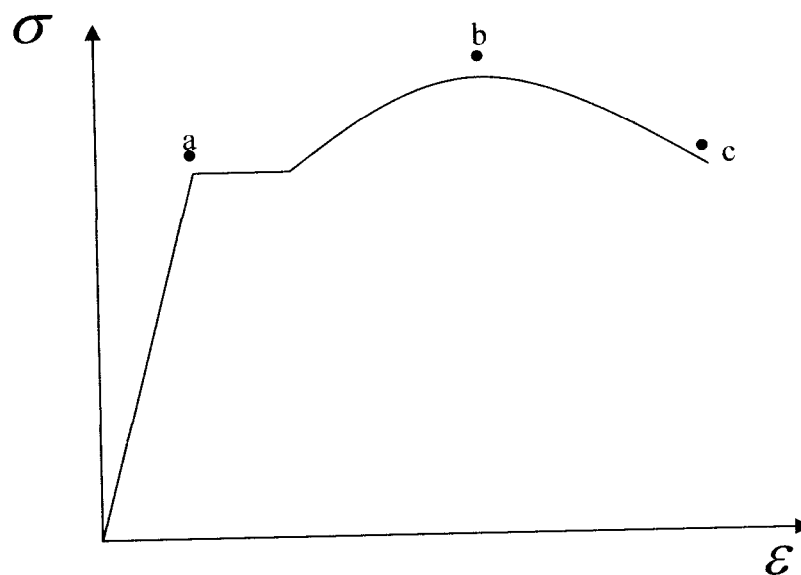
Catatan		
Seminar		
Sidang		
Pendadaran		

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	KONSULTASI KE :	TANDA TANGGA
		cari referensi dari mana saja Mer → Guech jurnal Buat grafik .. plot & tonil penuhi berdasarkan	<u>ML</u> 17/12-2007 <u>ML</u> 28/12-2007
		Seminar kelompok	<u>ML</u> 28/12-2007
		Buat Cap tonil Lunde Das 2 (3) Durum	<u>ML</u>
		Laporan Tensi di behelk	<u>ML</u> 27/02-2007
		Laporan mengplek	<u>ML</u> 12/03 2007
		Sidang hasil	<u>ML</u> 7/04-2007
		Lukedoo	<u>ML</u> 4/5-2007

## HASIL HITUNGAN KUAT TARIK BAJA

Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa besar kekuatan tarik pelat baja dengan tebal 2mm dan 3mm. pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia Jogjakarta. Adapun grafik yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan kuat tarik baja sebagai berikut:



Keterangan:

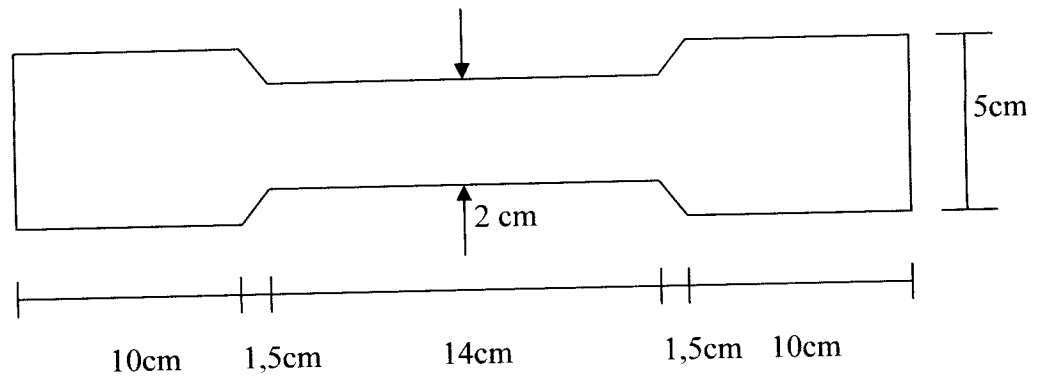
- a = Beban mencapai titik leleh
- b = Beban maksimum
- c = Beban patah akibat kuat tarik

Persamaan yang mendukung teori tersebut adalah:

$$F_y = \frac{\text{Bebanluluh}}{A}$$

$$F_u = \frac{\text{Bebanmaksimum}}{A}$$

a. Pelat Baja 2mm



Diketahui bahwa:

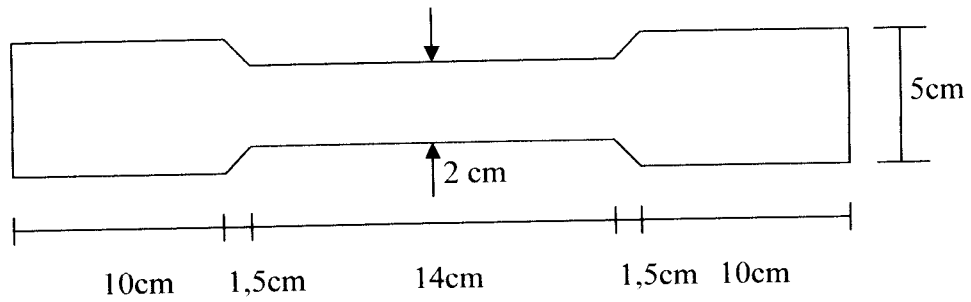
$$T = 0,2 \text{ cm}$$

$$A = 2 \text{ cm} \times 0,2 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}^2 = 40 \text{ mm}^2$$

No	$P_{\text{leleh}}$ (N)	$P_{\text{maks}}$ (N)	$P_{\text{patah}}$ (N)	$F_y = \frac{\text{bebanleleh}}{A}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u = \frac{\text{bebanmaks}}{A}$ (N/mm <sup>2</sup> )
1.	11994	14193	2230	300	355



## b. Pelat Baja 3mm



Gambar benda uji tarik

Diketahui bahwa:

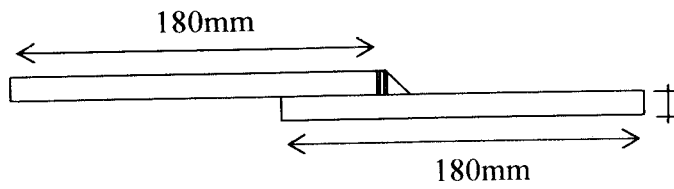
$$T = 0,3 \text{ cm}$$

$$A = 2 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm} = 0,6 \text{ cm}^2 = 60 \text{ mm}^2$$

Tabel hasil uji tarik baja

No	$P_{\text{leleh}}$ (N)	$P_{\text{maks}}$ (N)	$P_{\text{patah}}$ (N)	$F_y = \frac{\text{bebanleleh}}{A}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u = \frac{\text{bebanmaks}}{A}$ (N/mm <sup>2</sup> )
1.	18716,5	25467,5	18915	310	424

### c. Uji Tarik Las



Diketahui:

Lebar las=3cm=30mm

$$\text{Ketebalan Las (h)} = 0,5 \times t \times \sqrt{2} = 0,5 \times 2 \times \sqrt{2} = 1,14 \text{ mm}$$

$$\text{Luasan (A)} = 1,14 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} = 34,2 \text{ mm}^2$$

**Tabel hasil uji las**

$P_{\text{maks}}$	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> atau Mpa)
17972,1	424

### 1. Perhitungan Luas dan Titik Berat Penampang I dan Dobel Delta.

Diketahui :

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

$$b = 66 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 3 \text{ mm}$$

$$d = 406 \text{ mm}$$

Karena nilai  $h$  mendekati nilai  $d$ , maka  $d \approx h$  digunakan sebagai pendekatan dalam perhitungan.

#### ❖ Penampang I.

Pelat Sayap

$$A_1 = 2 \times (66 \times 3) = 396 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 400 \times 2 = 800 \text{ mm}^2.$$

$$A_{\text{total}} = 1196 \text{ mm}^2.$$

#### ❖ Penampang Dobel Delta.

$$A_1 = 2 \times (66 \times 3) = 396 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 400 \times 2 = 800 \text{ mm}^2.$$

$$A_3 = 4 \times (2 \times \sqrt{33^2 + 33^2}) = 373,3523 \text{ mm}^2.$$

$$A_{\text{total}} = 1569,3523 \text{ mm}^2.$$

Titik Berat Penampang I  $\approx$  Penampang Dobel Delta.

$$X1 = 200 \text{ mm.}$$

$$Y1 = 33 \text{ mm}$$

## 2. Perhitungan Inersia Sumbu Kuat dan Lemah Penampang I dan Dobel

### Delta.

#### ❖ Penampang I.

Momen Inersia Sumbu Kuat

$$I_x = \frac{1}{12} t_w (d)^3 + \frac{1}{6} b t_f^3 + \frac{1}{2} (b t_f) x (d/2 + t_f/2)^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} 2(400)^3 + \frac{1}{6} 66.3^3 + 2(66.3)x \left( \frac{400}{2} + \frac{3}{2} \right)^2$$

$$I_x = 26745454,67 \text{ mm}^4.$$

Momen Inersia Sumbu Lemah

$$I_y = \frac{1}{12} (d) t_w^3 + \frac{1}{6} t_f b^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} (400) 2^3 + \frac{1}{6} 3(66^3)$$

$$I_y = 144014,67 \text{ mm}^4.$$

#### ❖ Penampang Dobel Delta.

Momen Inersia Sumbu Kuat

$$I_x = I_{ix} + \left( \frac{1}{24} t_w b^3 + 2(t_w)(b)(d/2 - b/4)^2 \right)$$

$$I_x = 26745454,67 + \frac{1}{24} (2) 66^3 + 2(2)(66) \left( \frac{400}{2} - \frac{66}{4} \right)^2$$

$$I_x = 35658887 \text{ mm}^4.$$

Momen Inersia Sumbu Lemah

$$I_y = I_{iy} + \frac{1}{6} (t_w) b^3$$

$$I_y = 144014,67 + \frac{1}{6} (2) 66^3$$

$$I_y = 239847 \text{ mm}^4.$$

### 3. Perhitungan Momen Batas Berdasarkan Tekuk Lokal Penampang I dan Dobel Delta.

#### ❖ Penampang I.

Diketahui :

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 0,3$$

a) Tegangan kritis elastis pelat sayap.

$$K = 0,425 \text{ (tumpuan dimisalkan sendi dan bebas)}$$

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left( \frac{b}{2t_f} \right)^2} = \frac{0,425\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left( \frac{66}{2 \times 3} \right)^2}$$

$$= 666,65 \text{ Mpa} > 310 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr \text{ pakai}} = 310 \text{ Mpa.}$$

b) Tegangan kritis pelat badan.

$$K = 23,9 \text{ (tumpuan dimisalkan sendi dan sendi)}$$

$$F_{cr} = \frac{\left( \left( \frac{h}{2} \right) - t_f \right)}{\left( \frac{h}{2} \right)} \times F_{crf} = \frac{\left( \left( \frac{400}{2} \right) - 3 \right)}{\left( \frac{400}{2} \right)} \times 310$$

$$= 305,35 \text{ Mpa} < 310 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr \text{ pakai}} = 305,35 \text{ Mpa.}$$

Momen batas berdasarkan tekuk lokal penampang I adalah

$$M_{crI} = b \cdot t_f (F_{crf})(d - t_f) + \frac{1}{6} t_w (h)^2 F_{crw}$$

$$M_{crI} = 66 \cdot 3(310)(406 - 3) + \frac{1}{6} 2(400)^2 305,35$$

$$M_{crI} = 41021473 \text{ Nmm.}$$

## ❖ Penampang Dobel Delta.

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2.$$

$$\mu = 0,3$$

a) Momen batas tekuk lokal pelat sayap.

$$k = 4$$

$$F_{cr1} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{2t_f}\right)^2} = \frac{4\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{66}{2 \times 3}\right)^2}$$

$$F_{cr1} = 6274,38 \text{ Mpa} > 310 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr1 \text{ pakai}} = 310 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr1} = t_f x b (d - t_f) F_{cr1} = 66 \times 3 \times (406 - 3) \times 310$$

$$M_{cr1} = 24736140 \text{ Nmm}$$

b) Tegangan kritis elastis pelat penopang.

$$k = 4$$

$$F_{cr2} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t_w}\right)^2} = \frac{4\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{\left(\sqrt{(66/2)^2 + (66/2)^2}\right)}{2}\right)^2}$$

$$F_{cr2} = 1394,30 \text{ Mpa} > 310 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr2 \text{ pakai}} = 310 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr2} = 2 x t_w x \sqrt{(b/2)^2 + (b/2)^2} x (d - (b/2)) x F_{cr2}$$

$$2 \times 2 \times \sqrt{(66/2)^2 + (66/2)^2} \times (400 - (66/2)) \times 310$$

$$M_{cr2} = 21238151 \text{ Nmm}$$

c) Tegangan kritis pelat badan 1.

$$k = 23,9$$

$$h_1 = \frac{b}{2} = \frac{66}{2} = 33 \text{ mm}$$

$$F_{cr2} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h_1/t_w)^2} = \frac{23,9\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)(33/2)^2}$$

$$F_{cr3} = 16661,97 \text{ Mpa} > 310 \text{ Mpa.}$$

$$F_{cr3} = 310 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr3} = \left(\frac{b}{2}t_w\right)F_{cr3}(h_1) = \left(\frac{66}{2} \times 2\right) \times 310 \times (400 - 33)$$

$$M_{cr3} = 7508820 \text{ Nmm.}$$

d) Tegangan kritis pelat badan 2.

$$k = 23,9$$

$$h_1 = h - \frac{b}{2} = 400 - \left(\left(\frac{66}{2}\right) \times 2\right) = 334 \text{ mm}$$

$$F_{cr4} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h_1}{t_w}\right)^2} = \frac{23,9\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)(334/2)^2}$$

$$F_{cr4} = 162,65 \text{ Mpa}$$

$$M_{cr4} = \frac{1}{4}t_w(h_2)^2 F_{cr4} = \frac{1}{4}2(334)^2 162,65$$

$$M_{cr4} = 9072291,7 \text{ Nmm.}$$

$$M_{crtotal} = M_{cr1} + M_{cr2} + M_{cr3} + M_{cr4}$$

$$M_{crtotal} = 24736140 + 21238151 + 7508820 + 9072291,7$$

$$M_{crtotal} = 62555402,7 \text{ Nmm}$$

#### 4. Perhitungan Momen Batas Berdasarkan Tekuk Puntir Penampang I dan Dobel Delta.

Diketahui :

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 0,3.$$

$$Lb = 1550 \text{ mm}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{2,1 \times 10^5}{2(1+0,3)} = 8,08 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

❖ Penampang I.

$$I_y = 144014,67 \text{ mm}^4.$$

$$C_w = \frac{1}{12} t_f (b^3) \left( \frac{h^2}{4} \right) = \frac{1}{12} 3(66^3) \left( \frac{400^2}{4} \right)$$

$$C_w = 2874960000 \text{ mm}^3.$$

$$J = \frac{1}{3} d(t_w)^3 + \frac{2}{3} b(t_f)^3 = \frac{1}{3} 400(2)^3 + \frac{2}{3} 66(3)^3$$

$$J = 2254,667 \text{ mm}^4.$$

$$M_{cr \text{ puntir}} = \frac{\pi}{Lb} \sqrt{\left( \frac{\pi E}{Lb} \right)^2 C_w I_y + E I_y G J}$$

$$M_{cr \text{ puntir}} = \frac{\pi}{1550} \sqrt{\left( \frac{\pi 2,1 \times 10^5}{1550} \right)^2 2874960000 \times 144014,67 + 2,1 \times 10^5 \times 144014,67 \times 8,08 \times 10^4 \times 2254,667}$$

$$M_{cr \text{ puntir}} = 18187220,02 \text{ Nmm}$$



## ❖ Penampang Dobel Delta.

$$I_y = 239847 \text{ mm}^4.$$

$$C_w = \frac{1}{12} t_f (b^3) \left( \frac{h^2}{4} \right) + \frac{1}{6} t_w \left( \frac{b}{2} \right)^3 \left( \frac{h}{2} - \frac{b}{4} \right)^2$$

$$C_w = \frac{1}{12} 3(66^3) \left( \frac{400^2}{4} \right) + \frac{1}{6} 2 \left( \frac{66}{2} \right)^3 \left( \frac{400}{2} - \frac{66}{4} \right)^2$$

$$C_w = 3278319883 \text{ mm}^3.$$

$$J = \frac{1}{3} d(t_w)^3 + \frac{2}{3} b(t_f)^3 + 4(0,7 \times b)(t_w)^3$$

$$J = \frac{1}{3} 400(2)^3 + \frac{2}{3} 66(3)^3 + 4(0,7 \times 66)(2)^3$$

$$J = 3733,067 \text{ mm}^4.$$

$$M_{cr \text{ puntir}} = \frac{\pi}{Lb} \sqrt{\left( \frac{\pi E}{Lb} \right)^2 C_w I_y + E I_y G J}$$

$$M_{cr \text{ puntir}} = \frac{\pi}{1550} \sqrt{\left( \frac{\pi 2,1 \times 10^5}{1550} \right)^2 3278319883 \times 239847 + 2,1 \times 10^5 \times 239847 \times 8,08 \times 10^4 \times 3733,067}$$

$$M_{cr \text{ puntir}} = 25448022,85 \text{ Nmm}$$

## PERHITUNGAN BEBAN MAKSIMUM TEORITIS

### 1. Gelagar Pelat Profil I

- Momen Inersia Sumbu Kuat

$$I_x = \frac{1}{12} t_w (d)^3 + \frac{1}{6} b t_f^3 + \frac{1}{2} (b t_f) x (d/2 + t_f/2)^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} 2(400)^3 + \frac{1}{6} 66.3^3 + 2(66.3)x(400/2 + 3/2)^2$$

$$I_x = 26745454,67 \text{ mm}^4.$$

- Pada Pelat Sayap

$$K = 0,425 \text{ (tumpuan dimisalkan sendi dan bebas)}$$

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left( \frac{b}{2t_f} \right)^2} = \frac{0,425\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left( \frac{66}{2 \times 3} \right)^2}$$

$$= 666,65 \text{ Mpa} > 310 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr \text{ pakai}} = 310 \text{ Mpa.}$$

- Pada Pelat Badan.

$$K = 23,9 \text{ (tumpuan dimisalkan sendi dan sendi)}$$

$$F_{cr \text{ badan}} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left( \frac{h}{t_w} \right)^2} = \frac{23,9\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left( \frac{400}{2} \right)^2}$$

$$= 113,5 \text{ Mpa} < 310 \text{ Mpa}$$

- $P_{\max}$  Pada Pelat Sayap

$$P_{\max} = \frac{6x F_{cr \text{ sayap}} x I_x}{L Y_1} = \frac{6x 310 x 26745454,67}{4650 x 203}$$

$$= 52,7 \text{ kN}$$

- $P_{\max}$  Pada Pelat Badan

$$P_{\max} = \frac{6x F_{cr_{badan}} x I_x}{LY_1} = \frac{6x 13,5x 26745454,67}{4650x 200}$$

$$= 19,58 \text{ kN}$$

- $P_{\max}$  Teoritis

Dipakai P<sub>max</sub> dengan nilai yang minimum yaitu :

$$P_{\max \text{ sayap}} > P_{\max \text{ badan}} \approx 52,7 > 19,58$$

$$P_{\max \text{ pakai}} = 19,58 \text{ kN.}$$

## 2. Gelagar Pelat Profil Dobel Delta

- Momen Inersia Sumbu Kuat

$$I_x = I_{ix} + \left( \frac{1}{24} t_w b^3 + 2(t_w)(b)(d/2 - b/4)^2 \right)$$

$$I_x = 26745454,67 + \frac{1}{24} (2)66^3 + 2(2)(66)(400/2 - 66/4)^2$$

$$I_x = 35658887 \text{ mm}^4.$$

Pada Pelat Sayap

$$K = 4$$

$$F_{\text{cri}} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left( \frac{b}{2t_f} \right)^2} = \frac{4\pi^2 2,1x10^5}{12(1-0,3^2) \left( \frac{66}{2x3} \right)^2}$$

$$F_{\text{cri}} = 6274,38 \text{ MPa} > 310 \text{ MPa}$$

$$F_{\text{cri pakai}} = 310 \text{ MPa.}$$

- Pada Pelat Badan.

$$K = 23,9 \text{ (tumpuan dimisalkan sendi dan sendi)}$$

$$F_{cr\text{badan}} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{23,9\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{334}{2}\right)^2}$$

$$= 162,65 \text{ Mpa} < 310 \text{ Mpa}$$

- $P_{\max}$  Pada Pelat Sayap

$$P_{\max} = \frac{6x F_{cr\text{sayap}} x I_x}{LY_1} = \frac{6x 310 x 35658887}{4650 x 203}$$

$$= 70,26 \text{ kN}$$

- $P_{\max}$  Pada Pelat Badan

$$P_{\max} = \frac{6x F_{cr\text{badan}} x I_x}{LY_1} = \frac{6x 162,65 x 35658887}{4650 x 167}$$

$$= 44,81 \text{ kN.}$$

- $P_{\max}$  Teoritis

Dipakai  $P_{\max}$  dengan nilai yang minimum yaitu :

$$P_{\max\text{sayap}} > P_{\max\text{badan}} \approx 70,26 > 44,81$$

$$P_{\max\text{pakai}} = 44,81 \text{ kN.}$$

## PERHITUNGAN BEBAN TEORITIS BERDASARKAN TEGANGAN GESER

### 1. Gelagar Pelat Profil I.

$$V_{cr} = A_w \times F_{cr}$$

$$A_w = h \times t_w = 400 \times 2 = 800 \text{ mm}^2.$$

Bila dipakai  $a = 775 \text{ mm}$

Untuk  $a/h = 775 / 400 = 1,9375 > 1$  maka;

$$k = 5,34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5,34 + \frac{4}{(1,9375)^2}$$

$$k = 6,405$$

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{6,405\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{400}{2}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 30,39 \text{ MPa} < 310 \text{ MPa}$$

Jadi gaya geser teoritik sebesar

$$V_{cr} = A_w \times F_{cr} = 800 \times 30,39$$

$$V_{cr} = 24313,4 \text{ N} \approx 24,4 \text{ kN}$$

$$P = V_{cr} \times 2 = 24,3 \times 2 = 48,6 \text{ kN.}$$

### 2. Gelagar Pelat Profil Dobel Delta

$$V_{cr} = A_w \times F_{cr}$$

$$A_{w1} = h \times t_w = 334 \times 2 = 668 \text{ mm}^2.$$

$$A_{w2} = h \times t_w = 33 \times 2 = 66 \text{ mm}^2.$$

- Pada badan dengan  $h = 334 \text{ mm}$

Bila dipakai  $a = 775 \text{ mm}$

Untuk  $a/h = 775 / 334 = 2,31 > 1$  maka;

$$k = 5,34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5,34 + \frac{4}{(2,31)^2}$$

$$k = 6,08$$

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{6,08\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{334}{2}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 41,37 \text{ MPa} < 310 \text{ MPa}$$

- Pada badan dengan  $h = 33 \text{ mm}$

Untuk  $a/h = 775 / 33 = 23,48 > 1$  maka;

$$k = 5,34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5,34 + \frac{4}{(23,48)^2}$$

$$k = 5,34$$

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{5,34\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{33}{2}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 3722,8 \text{ MPa} > 310 \text{ MPa}$$

$$F_{cr \text{ pakai}} = 310 \text{ Mpa}$$

Jadi gaya geser teotitis sebesar

$$V_{cr1} = A_w \times F_{cr} = 668 \times 41,37$$

$$V_{cr1} = 27,63 \text{ kN}$$

$$V_{cr2} = A_w \times F_{cr} = 66 \times 310$$

$$V_{cr2} = 20,46 \text{ kN}$$

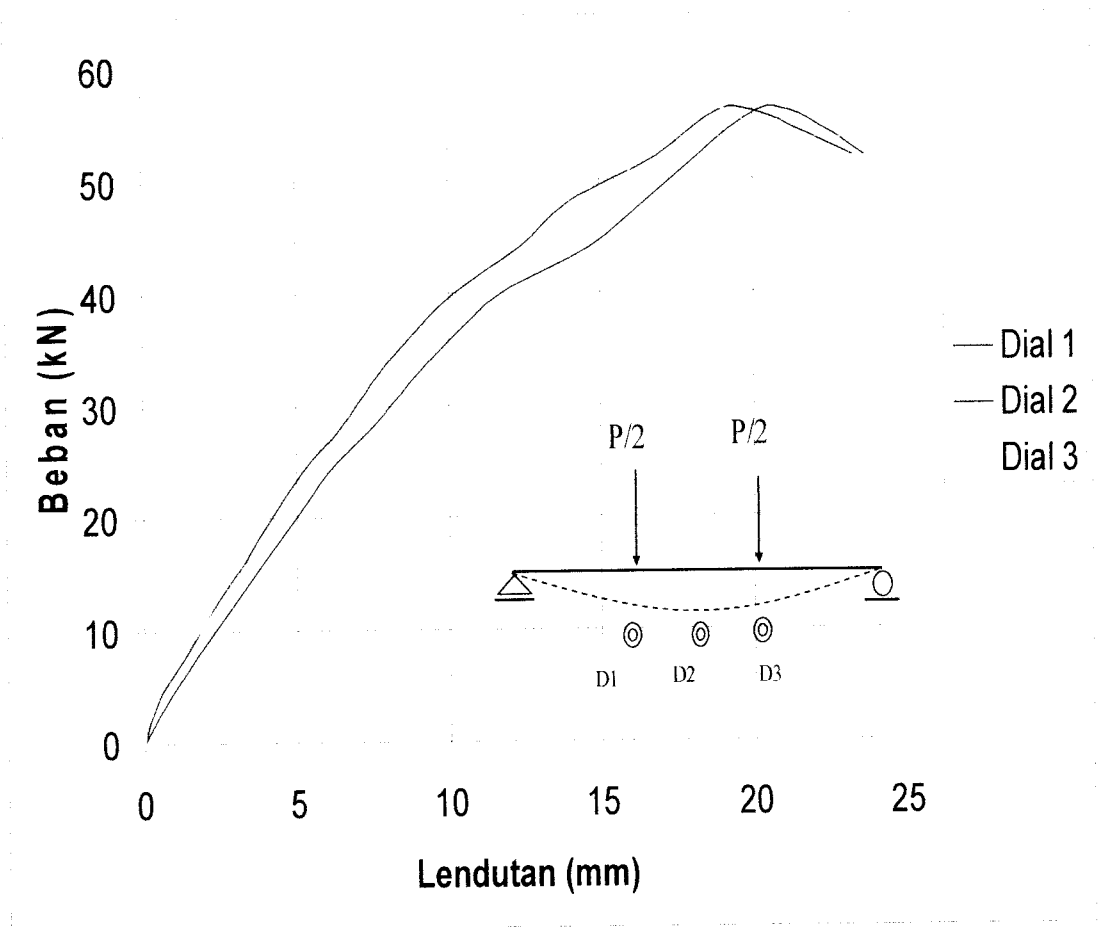
$$V_{cr \text{ total}} = V_{cr1} + V_{cr2} = 27,63 + 20,46 = 48,09$$

$$P = V_{cr} \times 2 = 48,09 \times 2 = 96,18 \text{ kN}$$

### DATA BEBAN – LENDUTAN HASIL UJI

**Tabel Beban-Lendutan Hasil Uji Gelagar Pelat I**

Beban		Lendutan ( mm )			P/Δ
P (ton)	kN	Dial 1	Dial 2	Dial 3	(kN/mm)
0.0	0	0	0	0	0
0.4	4	0,5	0,80	0,25	5
0.8	8	1,37	1,78	1,29	4,494382
1.2	12	2,23	2,82	2,32	4,255319
1.6	16	3,25	3,87	3,31	4,134367
2.0	20	4,17	4,96	4,40	4,032258
2.4	24	5,17	6,05	5,40	3,966942
2.8	28	6,45	7,52	7,20	3,723404
3.2	32	7,49	8,72	8,25	3,669725
3.6	36	8,74	10,12	9,38	3,557312
4.0	40	10,21	11,76	11,25	3,401361
4.4	44	12,35	14,64	13,36	3,005464
4.8	48	14,00	16,47	15,22	2,91439
5.2	52	16,84	18,18	16,38	2,860286
5.6	56	18,89	20,14	18,29	2,780536
5.6	56	20,02	21,20	19,23	2,641509
5.4	54	21,76	22,60	20,27	2,389381
5.2	52	23,27	23,67	22,10	2,196874

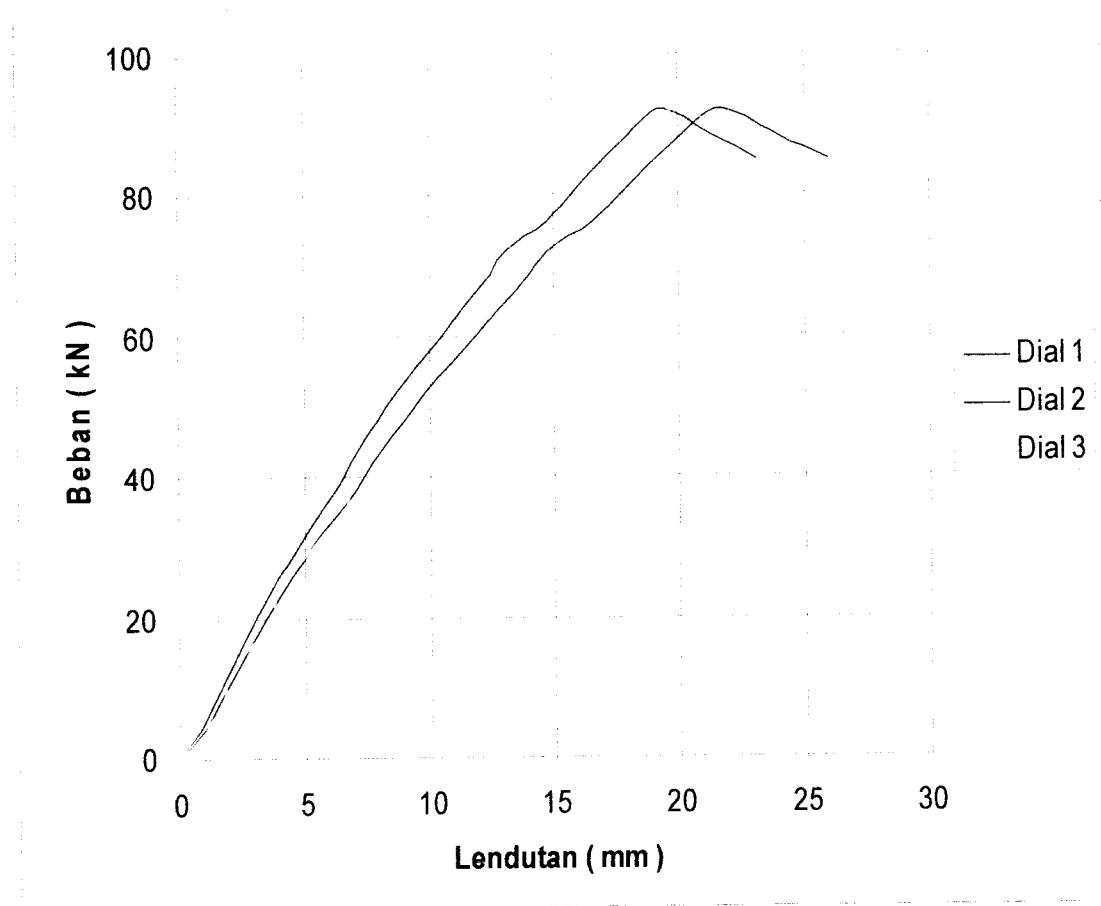


**Grafik Beban-Lendutan Hasil Uji Gelagar Pelat I**

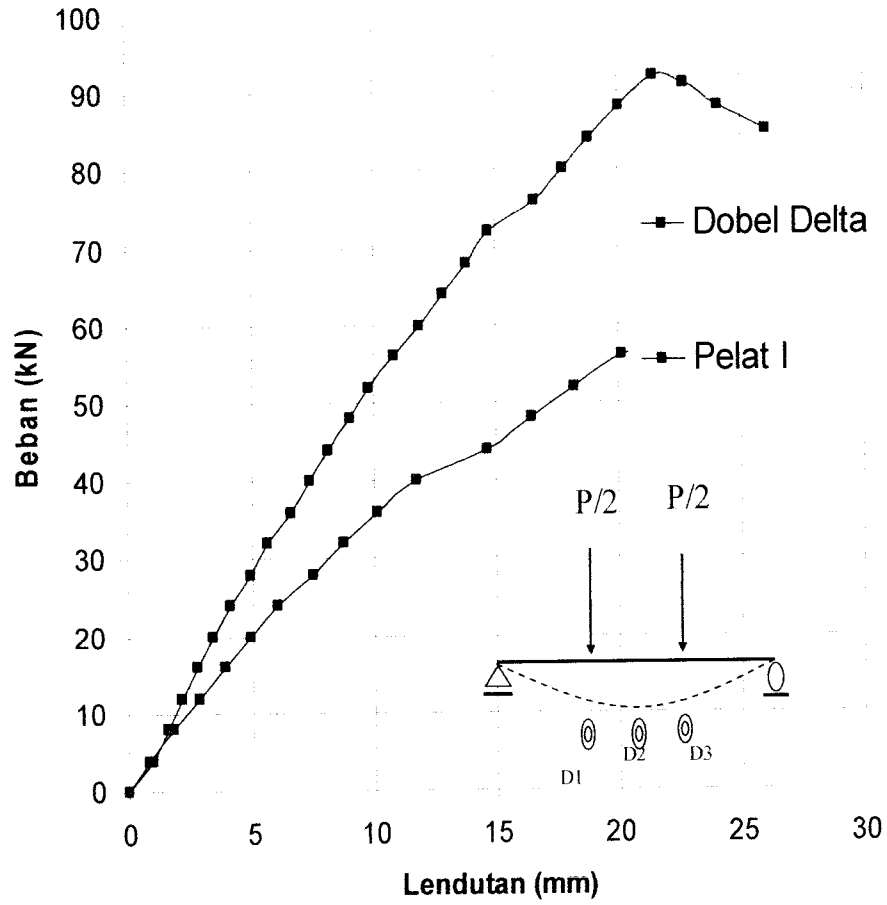


Tabel Beban-Lendutan Hasil Uji Gelagar Pelat Dobel Delta

Beban		Lendutan ( mm )			P/Δ
P (ton)	kN	Dial 1	Dial 2	Dial 3	kN/mm
0.0	0	0	0	0	0
0.4	4	0,84	0,95	0.88	4,2105
0.8	8	1,37	1,58	1.68	5,0633
1.2	12	1,89	2,15	1.97	5,5814
1.6	16	2,47	2,80	2.81	5,7143
2.0	20	3,03	3,43	3.67	5,8309
2.4	24	3,62	4,08	3.90	5,8824
2.8	28	4,33	4,90	4.81	5,7143
3.2	32	5,03	5,65	5.73	5,6637
3.6	36	5,78	6,59	6.66	5,4628
4.0	40	6,53	7,35	6.98	5,4422
4.4	44	7,19	8,12	7.84	5,4187
4.8	48	7,94	9,00	8.79	5,3333
5.2	52	8,66	9,80	9.70	5,3061
5.6	56	9,56	10,82	10.68	5,1756
6.0	60	10,49	11,86	11.66	5,0590
6.4	64	11,34	12,82	12.08	4,9922
6.8	68	12,26	13,84	12.95	4,9133
7.2	72	13,03	14,70	13.83	4,8980
7.6	76	14,71	16,58	15.71	4,5838
8.0	80	15,76	17,75	16.67	4,5070
8.4	84	16,74	18,82	17.62	4,4633
8.8	88	17,96	20,05	18.71	4,3890
9.2	92	19,19	21,49	19.76	4,2811
9.1	91	20,23	22,68	20.84	4,0123
8.8	88	21,45	24,08	21.98	3,6545
8.5	85	23,08	26,01	23.92	3,2680



**Grafik Hubungan Beban-Lendutan Hasil Uji Gelagar Pelat Dobel Delta**



**Grafik Perbandingan Beban-Lendutan  
Gelagar Pelat Dobel Delta Dan Gelagar Pelat I**

## PERHITUNGAN KOEFISIEN TEKUK HASIL UJI

### 1. Gelagar Pelat Profil I

Diketahui data-data hasil pengujian sebagai berikut :

$$P_{\max} = 56 \text{ kN}$$

$$L = 4650 \text{ mm}$$

$$I_x = 26745454,67 \text{ mm}^4.$$

$$M_{cr} = \frac{1}{6} P_{\max} x L = \frac{1}{6} 56000 x 4650$$

$$M_{cr} = 4340000 \text{ kgmm.}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{26745454,67}{203}$$

$$S_x = 131751,01 \text{ mm}^3.$$

$$F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_x} = \frac{4340000}{131751,01}$$

$$F_{cr} = 32,94 \text{ Kg/mm}^2. = 329,40 \text{ Mpa} > F_y = 310 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 310 \text{ MPa}$$

- Koefisien Tekuk Pada Pelat Sayap

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

$$k = \frac{12(1-\mu^2) \left( \frac{b}{2t_f} \right)^2 F_{cr}}{\pi^2 E} = \frac{12(1-0,3^2) \left( \frac{66}{2x3} \right)^2 329,4}{\pi^2 2,1x10^5}$$

$$k = 0,21$$

- Koefisien Tekuk Pada Pelat Badan

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

$$k = \frac{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_{cr}}{\pi^2 E} = \frac{12(1-0,3^2)\left(\frac{400}{2}\right)^2 329,4}{\pi^2 2,1 \times 10^5}$$

$$k = 69,42$$

## 2. Gelagar Pelat Profil Dobel Delta

Diketahui data-data hasil pengujian sebagai berikut :

$$P_{max} = 92 \text{ kN}$$

$$L = 4650 \text{ mm}$$

$$I_x = 35658887 \text{ mm}^4.$$

$$M_{cr} = \frac{1}{6} P_{max} \times L = \frac{1}{6} 9200 \times 4650$$

$$M_{cr} = 7130000 \text{ kgmm.}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{35658887}{203}$$

$$S_x = 175659,54 \text{ mm}^3.$$

$$F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_x} = \frac{7130000}{175659,54}$$

$$F_{cr} = 40,58 \text{ Kg/mm}^2. = 405,8 \text{ Mpa} > F_y = 310 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 310 \text{ MPa}$$

- Koefisien Tekuk Pada Pelat Sayap

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

$$k = \frac{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{2t_f}\right)^2 F_{cr}}{\pi^2 E} = \frac{12(1-0,3^2)\left(\frac{66}{2 \times 3}\right)^2 405,8}{\pi^2 2,1 \times 10^5}$$

$$k = 0,26$$

- Koefisien Tekuk Pada Pelat Badan

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

$$k = \frac{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_{cr}}{\pi^2 E} = \frac{12(1-0,3^2)\left(\frac{400}{2}\right)^2 405,8}{\pi^2 2,1 \times 10^5}$$

$$k = 85,52$$

### HUBUNGAN MOMEN – KELENGKUNGAN HASIL UJI

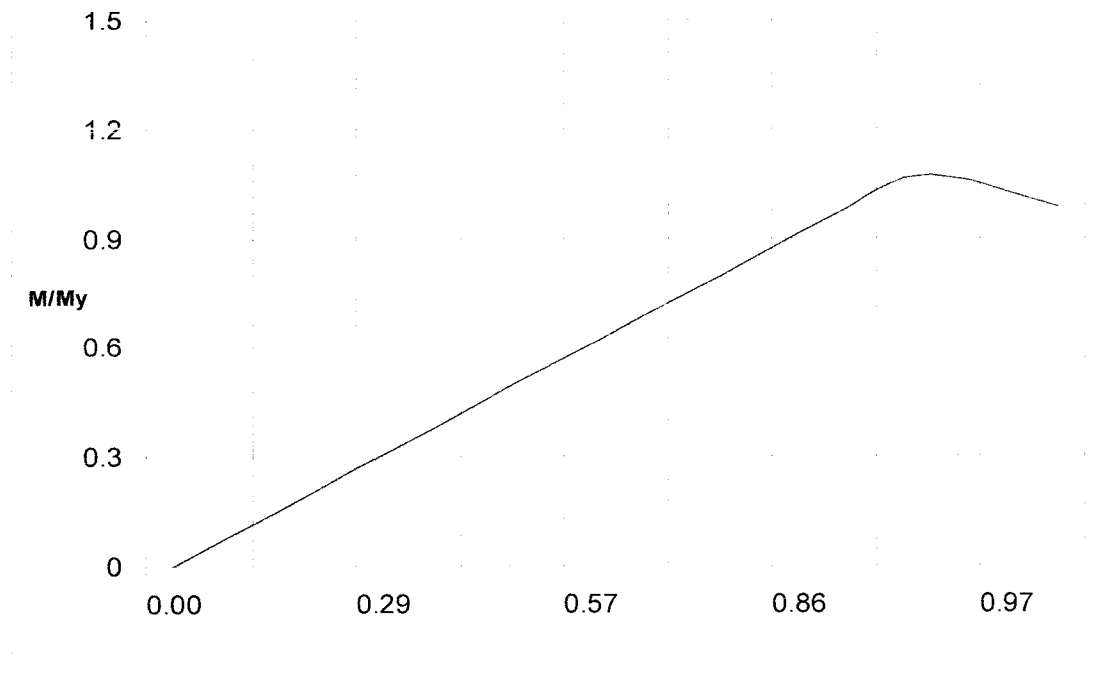
#### Hubungan Momen – Kelengkungan Gelagar Pelat I

Beban		Momen		Fcr	Regangan		Kelengkungan
P (ton)	kN	(kNmm)	M/My	(Mpa)		$\phi/\phi_y$	1/mm
0.0	0	0	0	0	0	0	0.0000000
0.4	4	3100	0.07590	23.5292	0.00011	0.0718	0.0000006
0.8	8	6200	0.15180	47.0585	0.00022	0.1436	0.0000011
1.2	12	9300	0.22770	70.5877	0.00034	0.2155	0.0000017
1.6	16	12400	0.30360	94.1169	0.00045	0.2873	0.0000022
2.0	20	15500	0.37950	117.6462	0.00056	0.3591	0.0000028
2.4	24	18600	0.45540	141.1754	0.00067	0.4309	0.0000034
2.8	28	21700	0.53131	164.7046	0.00078	0.5028	0.0000039
3.2	32	24800	0.60721	188.2339	0.00090	0.5746	0.0000045
3.6	36	27900	0.68311	211.7631	0.00101	0.6464	0.0000050
4.0	40	31000	0.75901	235.2923	0.00112	0.7182	0.0000056
4.4	44	34100	0.83491	258.8215	0.00123	0.7901	0.0000062
4.8	48	37200	0.91081	282.3508	0.00134	0.8619	0.0000067
5.2	52	40300	0.98671	305.8800	0.00146	0.9337	0.0000073
5.6	56	43400	1.06261	329.4092	0.00157	1.0055	0.0000078
5.6	56	43400	1.06261	329.4092	0.00157	1.0055	0.0000078
5.4	54	41850	1.02466	317.6446	0.00151	0.9696	0.0000076
5.2	52	40300	0.98671	305.8800	0.00146	0.9337	0.0000073

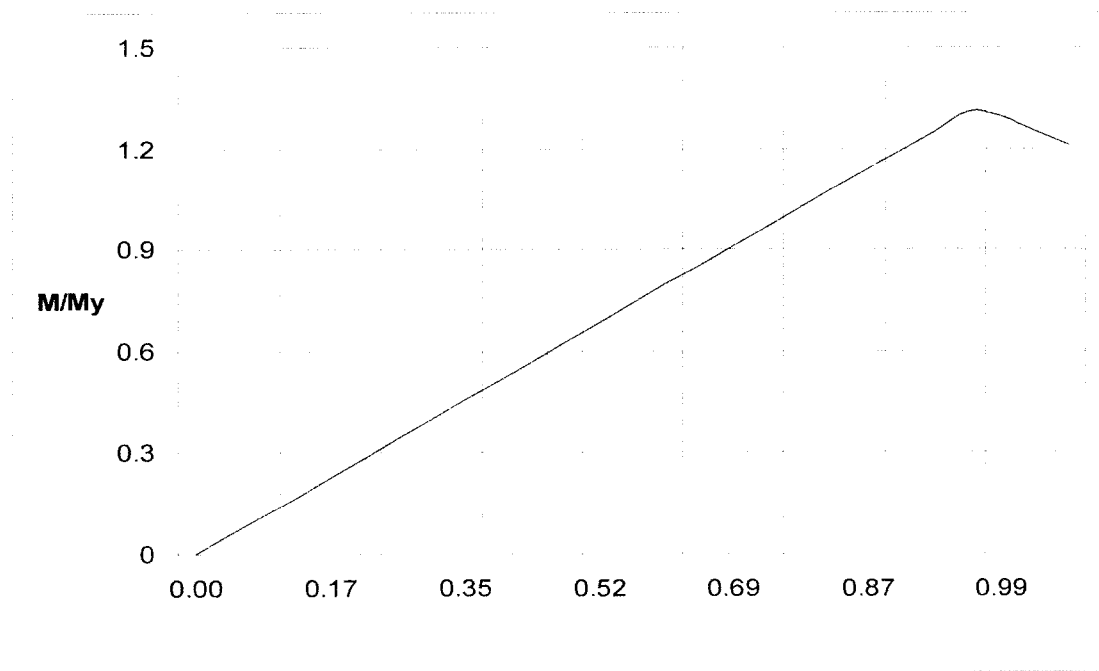
### Hubungan Momen – Kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta

Beban		Momen		Fcr	Regangan		Kelengkungan
P (ton)	kN	(kNmm)	M/My	(Mpa)		$\phi/\phi_y$	1/mm
0.0	0	0	0	0	0	0	0
0.4	4	3100	0.0569	17.6478	0.000084	0.04332	0.0000004
0.8	8	6200	0.1139	35.2955	0.000168	0.08664	0.0000008
1.2	12	9300	0.1708	52.9433	0.000252	0.12995	0.0000013
1.6	16	12400	0.2277	70.5911	0.000336	0.17327	0.0000017
2.0	20	15500	0.2846	88.2389	0.000420	0.21659	0.0000021
2.4	24	18600	0.3416	105.8866	0.000504	0.25991	0.0000025
2.8	28	21700	0.3985	123.5344	0.000588	0.30323	0.0000029
3.2	32	24800	0.4554	141.1822	0.000672	0.34654	0.0000034
3.6	36	27900	0.5124	158.8300	0.000756	0.38986	0.0000038
4.0	40	31000	0.5693	176.4777	0.000840	0.43318	0.0000042
4.4	44	34100	0.6262	194.1255	0.000924	0.47650	0.0000046
4.8	48	37200	0.6831	211.7733	0.001008	0.51982	0.0000050
5.2	52	40300	0.7401	229.4211	0.001092	0.56313	0.0000055
5.6	56	43400	0.7970	247.0688	0.001177	0.60645	0.0000059
6.0	60	46500	0.8539	264.7166	0.001261	0.64977	0.0000063
6.4	64	49600	0.9109	282.3644	0.001345	0.69309	0.0000067
6.8	68	52700	0.9678	300.0122	0.001429	0.73641	0.0000071
7.2	72	55800	1.0247	317.6599	0.001513	0.77972	0.0000076
7.6	76	58900	1.0816	335.3077	0.001597	0.82304	0.0000080
8.0	80	62000	1.1386	352.9555	0.001681	0.86636	0.0000084
8.4	84	65100	1.1955	370.6033	0.001765	0.90968	0.0000088
8.8	88	68200	1.2524	388.2510	0.001849	0.95300	0.0000092
9.2	92	71300	1.3094	405.8988	0.001933	0.99632	0.0000097
9.1	91	70525	1.2951	401.4869	0.001912	0.98549	0.0000096
8.8	88	68200	1.2524	388.2510	0.001849	0.95300	0.0000092
8.5	85	65875	1.2097	375.0152	0.001786	0.92051	0.0000089

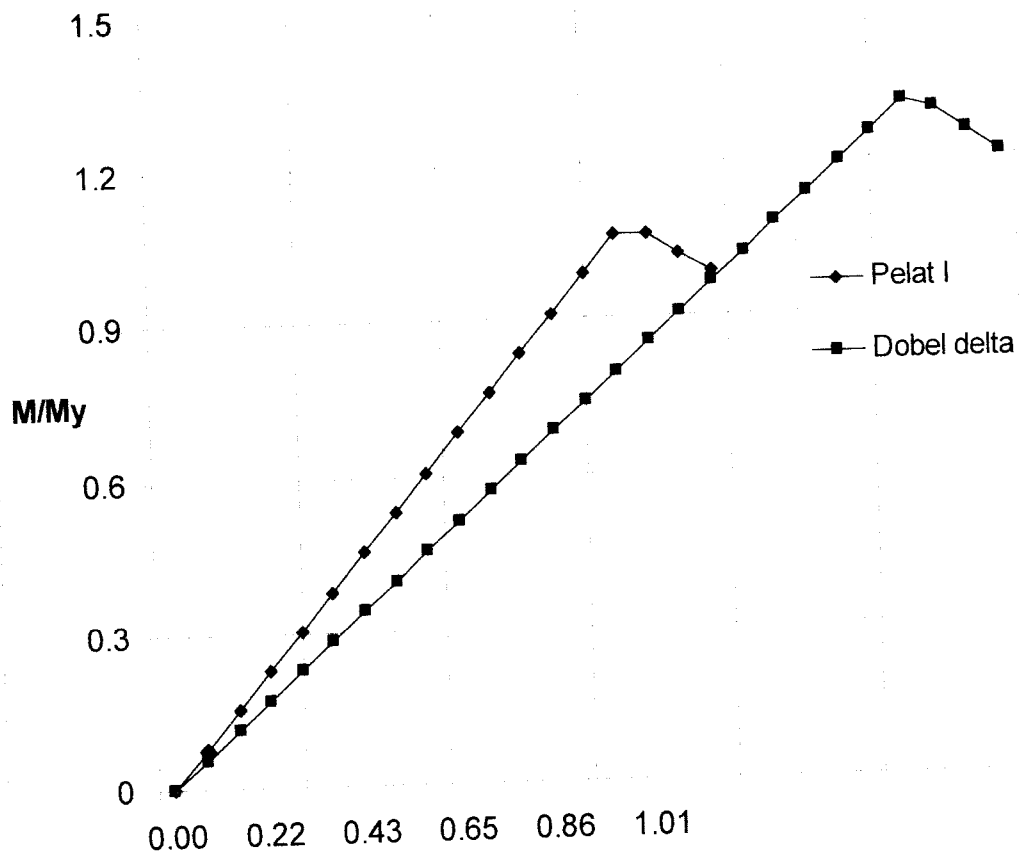




**Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Gelagar Pelat I**



**Grafik Hubungan Momen - Kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta.**



Grafik Hubungan Momen Kelengkungan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

## Perhitungan Hubungan Momen – Kelengkungan Secara Teoritis

### 1. Gelagar Pelat I

Kondisi elastis

$$M = F_{cr} \cdot x S_x$$

$$F_{cr} = 113,5 \text{ MPa} < 310 \text{ Mpa}$$

$$S_x = 131751,01 \text{ mm}^3.$$

$$M = 113,5 \times 131751,01$$

$$M = 14953,739 \text{ kNmm}$$

Nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{113,5}{2 \times 10^5} = 5,67 \times 10^{-4}.$$

Nilai Kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{5,67 \times 10^{-4}}{400/2} = 2,83 \times 10^{-6} \text{ 1/mm.}$$

### 2. Gelagar Pelat Dobel Delta

Kondisi elastis

$$M = F_{cr} \cdot x S_x$$

$$F_{cr} = 162,65 \text{ MPa} < 230 \text{ Mpa}$$

$$S_x = 175659,54 \text{ mm}^3.$$

$$M = 162,65 \times 175659,54$$

$$M = 28571,02 \text{ kNmm}$$

Nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{162,65}{2 \times 10^5} = 8,13 \times 10^{-4}$$

Nilai Kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{8,13 \times 10^{-4}}{334/2} = 4,86 \times 10^{-6} \text{ 1/mm.}$$

**PERHITUNGAN RASIO MOMEN NOMINAL ( $M_n$ ) TERHADAP MOMEN  
LELEH ( $M_y$ ) SECARA TEORITIS**

**1. Pelat I.**

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[ 1 - 0,0005 \frac{A_w}{2A_f} \left( \frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[ 1 - 0,0005 \frac{800}{396} \left( \frac{400}{2} - \frac{970}{\sqrt{113,5}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 0,88$$

**2. Pelat Dobel Delta**

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[ 1 - 0,0005 \frac{A_w}{2A_f} \left( \frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[ 1 - 0,0005 \frac{800}{769,35} \left( \frac{334}{2} - \frac{970}{\sqrt{162,65}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 0,95$$

**PERHITUNGAN RASIO MOMEN NOMINAL ( $M_n$ ) TERHADAP MOMEN  
LELEH ( $M_y$ ) Hasil Uji**

**1 Pelat I.**

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{F_{crtUji}}{F_y}$$

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{329,4}{310}$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 1,06$$

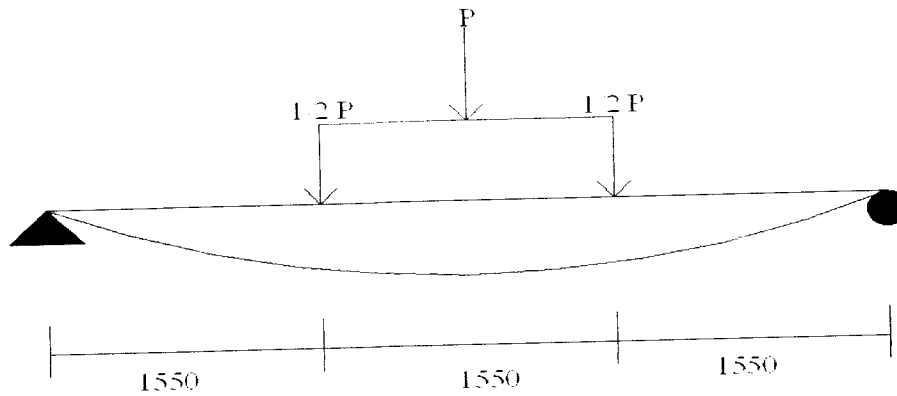
**2 Pelat Dobel Delta**

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{F_{crtUji}}{F_y}$$

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{405,8}{310}$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 1,31$$

### PERHITUNGAN LENDUTAN TEORITIS



#### 1. Gelagar Pelat I

$$P = 19,58 \text{ kN.}$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa.}$$

$$I_x = 26745454,67 \text{ mm}^4.$$

$$EI = 2 \times 10^5 \times 26745454,67 = 5,34 \times 10^{12} \text{ N/mm}^2.$$

$$L = 4650 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{23PL^3}{1296EI} = \frac{23 \times 19580 \times 4650^3}{1296 \times 5,34 \times 10^{12}} = 6,54 \text{ mm}$$

**2. Gelagar Pelat Dobel Delta**

$$P = 44,81 \text{ kN}$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa.}$$

$$I_x = 35658887 \text{ mm}^4.$$

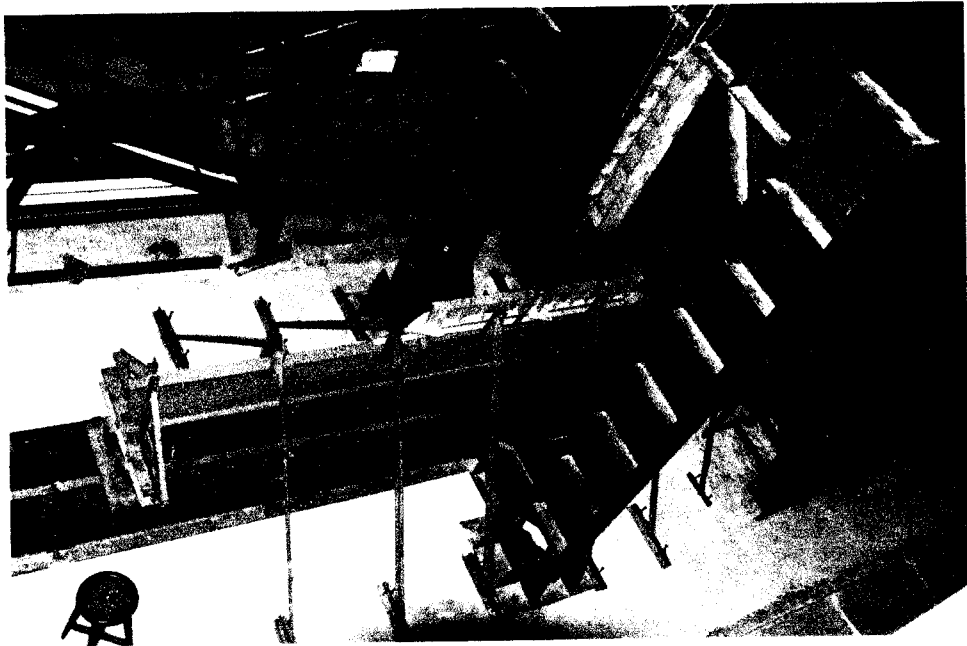
$$EI = 2 \times 10^5 \times 35658887 = 7,13 \times 10^{12} \text{ N/mm}^2.$$

$$L = 4650 \text{ mm}$$

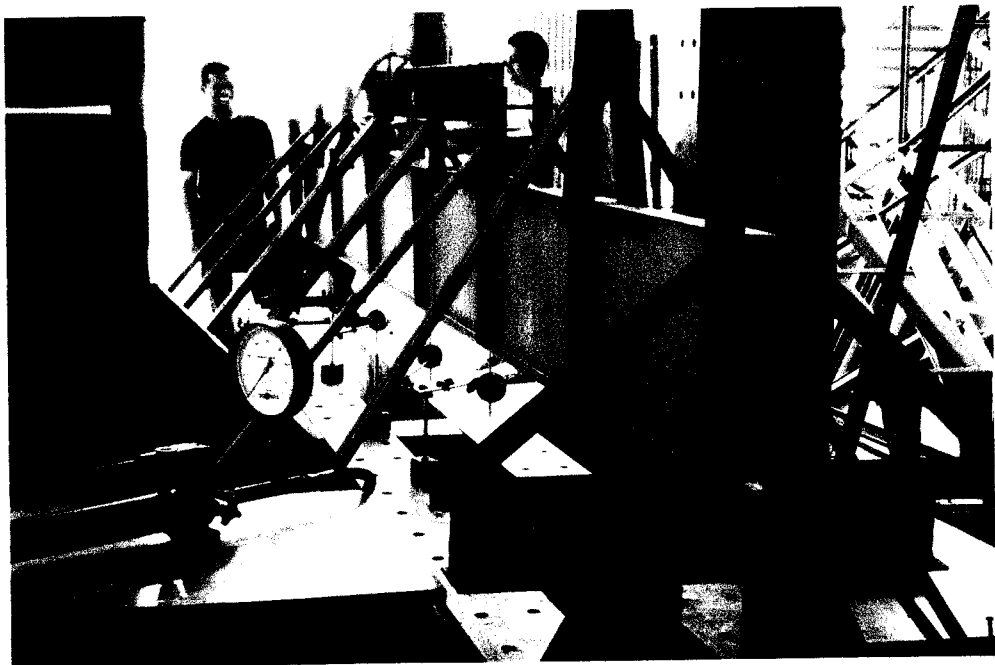
$$\Delta = \frac{23PL^3}{1296EI} = \frac{23 \times 44810 \times 4650^3}{1296 \times 7,13 \times 10^{12}} = 11,2 \text{ mm}$$

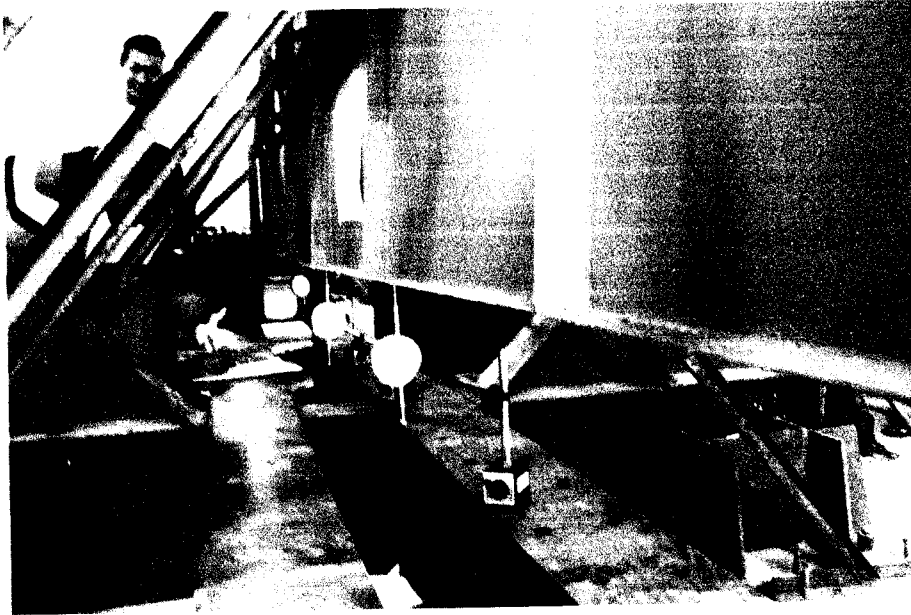


**FOTO PELAKSANAAN PENGUJIAN.**

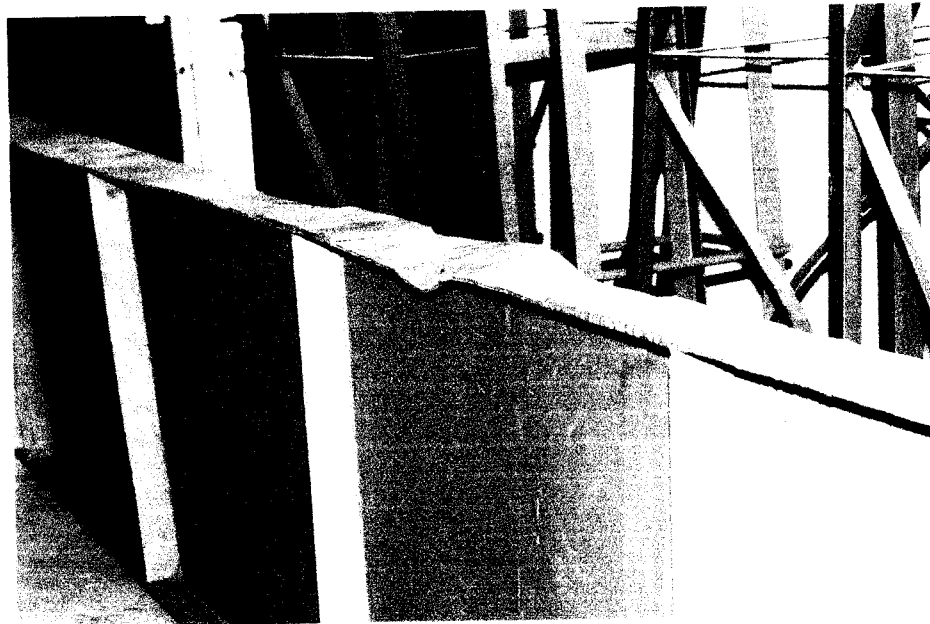


Seting Peralatan Sebelum Pengujian





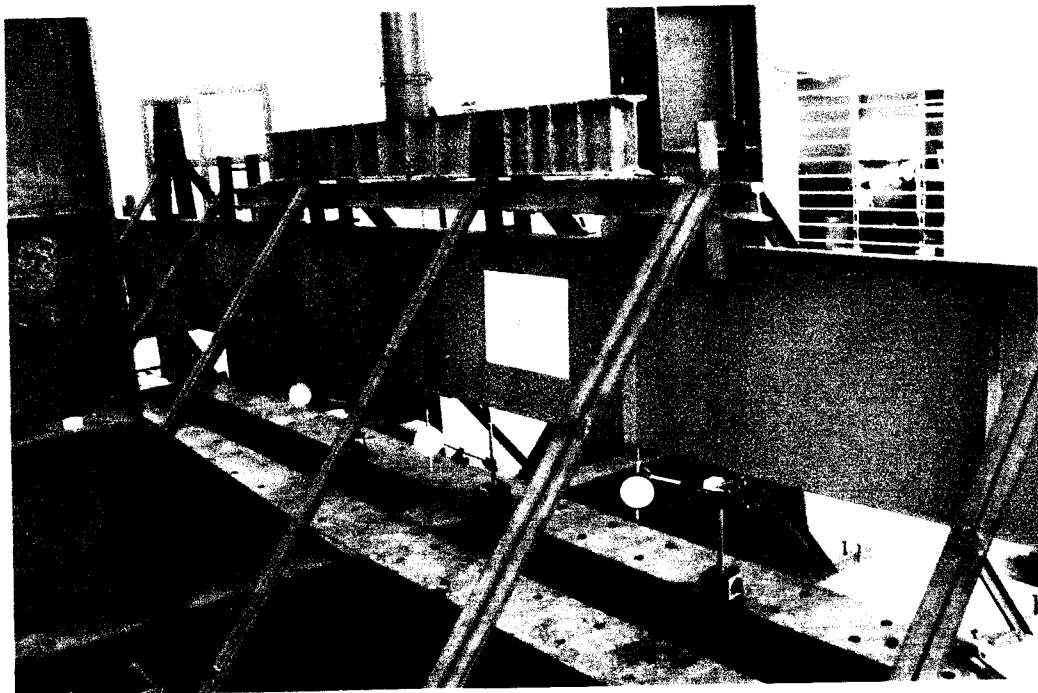
Pengujian Dan Pembacaan Hasil Uji



Kerusakan Tekuk Lokal Pada Pelat Sayap Profil I



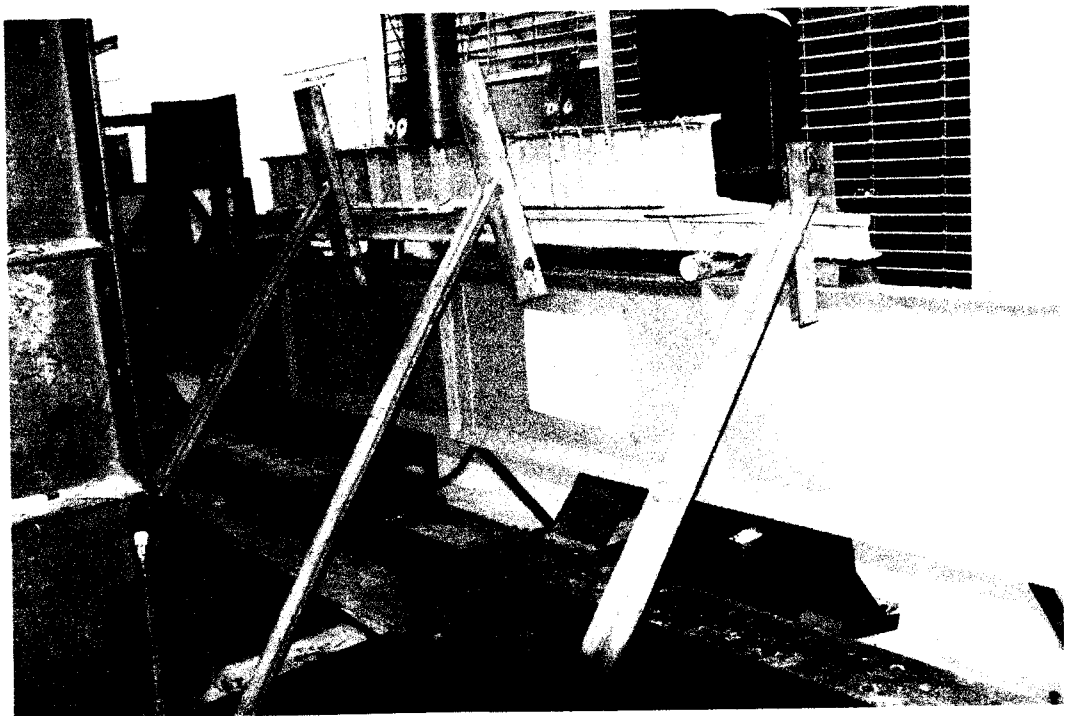
Kerusakan Tekuk Puntir Lateral Pada Pelat I

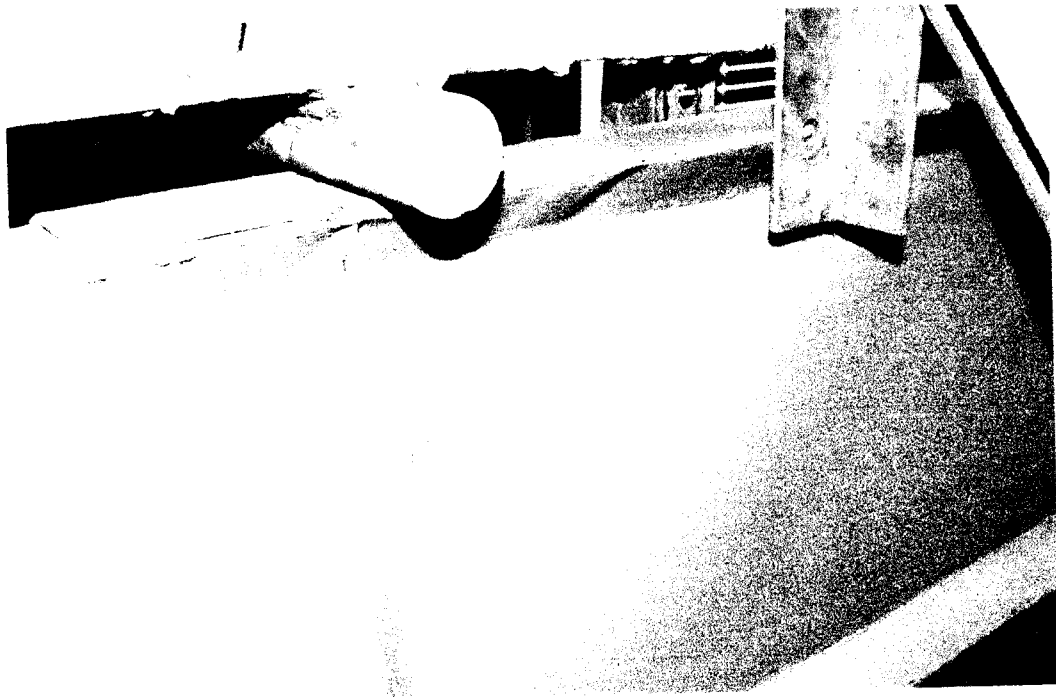


Gambar Tampak Samping Pelat I

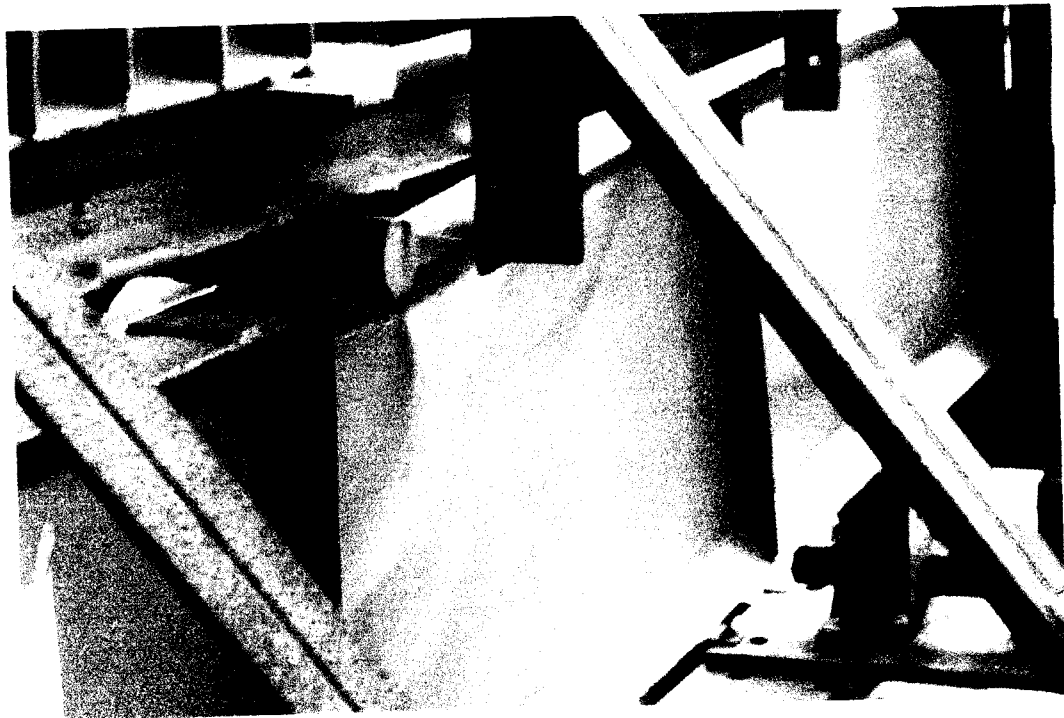


Gambar Tampak Samping Pelat Dobel Delta





Kerusakan Tekuk Lokal Pada Pelat Sayap Profil Dobel Delta



Kerusakan Tekuk Puntir Lateral Pada Pelat Dobel Delta