

PERPUSTAKAAN NISF UII	
KABUPATEN/DETI	
TGL. TERIMA :	16 Februari 2007
NO. JUDUL :	002179
NO. INV. :	52070 2179 001
NO. INDUK :	

TUGAS AKHIR

**KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT
PENAMPANG I DAN PENAMPANG DOBEL DELTA
DENGAN RASIO TINGGI TERHADAP LEBAR 5,71**

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

R
6537
Wib
k
1



xvii, 91 : bab : lamp : 28

Disusun oleh :

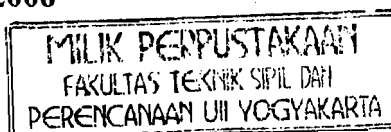
FAJAR ARI WIBAWANTO

02511014

- pelat - penampang
- Kap. lentur
- Peramp. Doble Delta
- judul.

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

2006



**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT
PENAMPANG I DAN PENAMPANG DOBEL DELTA
DENGAN RASIO TINGGI TERHADAP LEBAR 5,71**

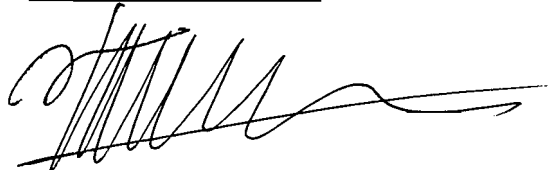
**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Program
Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia Jogjakarta**

Disusun Oleh :

**Nama : Fajar Ari Wibawanto
No. Mhs : 02511014**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I



Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT

Tanggal : 30/8-2006

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)

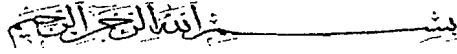
“ Jadilah dirimu sendiri dan janganlah engkau mengikuti apa yang dikatakan orang lain bila perkataan itu tak berguna bagi dirimu, dirimulah yang dapat mengetahui apa yang hendak kamu kerjakan”.

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 ($h/b = 5.71$)*" dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkkn 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, rintanga 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. Prof. DR.Edi Suandi Hamid, M.Ec, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia Jogjakarta
2. Bapak DR. Ir. H. Ruzardi, MS, Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Ir H Faizol AM, MS Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
4. Bapak Ir Fatkhurrohman N,S, MT selaku Dosen Pembimbing yang banyak memberikan arahan-arahan dan motivasi sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
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 Sindhu dan Widhid selaku temen satu penelitian yang banyak membantu hingga laporan ini dapat terselesaikan

10. Teman-teman A Class Civil UII : Ulg, KT, D2N, E1, Ki2, Slh, 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 Jalangkunx Koas 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, Agustus 2006

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.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gelagar Pelat.....	5
2.2 Bentuk Penampang.....	5
2.3 Tegangan Kritis Pelat.....	6
2.4 Kapasitas Lentur Gelagar Pelat.....	7

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

BAB III LANDASAN TEORI

3.1. Gelagar Pelat.....	10
3.2. Tegangan Pada Penampang Pelat.....	10
3.3 Penampang I dan Dobel Delta.....	12
3.4 Tegangan Kritis Pelat.....	16
3.5 Tekuk Elastis Pelat Akibat Tekan.....	17
3.6 Tekuk Elastis Akibat Lentur Murni.....	20
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.....	46
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.....	60

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	62
5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....	62
5.3 Hasil Uji Lentur Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....	63
5.3.1 Grafik Hasil Pengujian Penampang I dan Dobel Delta.....	64
5.3.2 Hubungan Beban Lendutan-Gelagar I Versus Dobel Delta.	66

5.3.3 Nilai Tegangan Kritis Gelagar I dan Dobel Delta.....	68
5.3.4 Nilai Koefisien Tekuk.....	70
5.3.5 Nilai Faktor Kelengkungan Gelagar I dan Dobel Delta.....	72
5.3.6 Hubungan Rasio M_n/M_y terhadap h/t_w Gelagar I dan Dobel Delta.....	75
5.4 Pembahasan.....	76
5.4.1 Rasio Kerusakan Pelat I dan Dobel Delta.....	76
5.4.2 Hubungan Beban – Lendutan Pengujian.....	77
5.4.3 Rasio Momen Batas (M_{cr}) Pelat I dan Dobel Delta.....	79
5.4.4 Rasio Koefisien Tekuk Pelat I dan Dobel Delta.....	81
5.4.5 Rasio Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus (h/t_w).	83
5.4.6 Perbandingan Tekuk Lokal Terhadap Tekuk Puntir Lateral Terhadap Kerusakan Pelat.....	85
5.4.7 Pertimbangan Perencanaan.....	86

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.....	88
6.2 Saran.....	89
6.3 Penutup.....	91

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.....	11
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	Koefisien tekuk Lokal Untuk Batang Lentur Penampang Box.....	21
8.	Gambar 3.8	Pelat Memikul Tegangan Geser.....	23
9.	Gambar 3.9	Nilai Koefisien Tekuk Dengan Variasi a/h	23
10.	Gambar 3.10	Kurva Parameter Kelangsinga Pelat Panjang.....	25
11	Gambar 3.11	Rasio Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan.....	27
12.	Gambar 3.12	Pelat Penampang I.....	29
13	Gambar 3.13	Pelat Penampang Dobel Delta.....	30
14.	Gambar 3.14	Balok Dibebani Dengan Beban Merata.....	32
15.	Gambar 3.15	Balok Gelagar Pelat Puntir.....	32
16	Gambar 3.16	Deformasi Balok Akibat Puntir.....	33
17	Gambar 3.17	Distribusi Tegangan Geser Pada Puntir Murni.....	33
18	Gambar 3.18	Defleksi Lateral Pada Pelat Sayap.....	34

19	Gambar 3.19	Balok Profil I dalam Kondisi Tertekuk.....	36
20	Gambar 3.20	Komponen Momen Puntir.....	38
21	Gambar 3.21	Gelagar Pelat Dengan Beban Terpusat P.....	42
22	Gambar 3.22	Contoh Kurva Beban Deformasi.....	43
23	Gambar 3.23	Kurva Momen Kelengkungan.....	45
24	Gambar 3.24	Kurva Elastis.....	46
25	Gambar 3.25	Aksi Momen Akibat Beban Terpusat.....	48
26	Gambar 3.26	Distribusi Momen Lentur.....	50
27	Gambar 4.1	Bagan Alir Metode Penelitian.....	53
28	Gambar 4.2	Loading Frame.....	55
29	Gambar 4.3	Dial Gauge.....	56
30	Gambar 4.4	Dukungan Sendi Dan Rol.....	56
31	Gambar 4.5	Hydrolick Jack.....	57
32	Gambar 4.6	Universal Testing Machine Shimitzu UMH 30.....	57
33	Gambar 4.7	Benda Uji Untuk Kuat Tarik.....	58
34	Gambar 4.8	Benda Uji Untuk Kuat Tarik Las.....	58
35	Gambar 4.9	Model Gelagar (a) Penampang I (b) Penampang Dobel Delta.....	58
36	Gambar 4.10	Set Up Peralatan.....	60
37	Gambar 5.1	Grafik Hubungan Beban Lendutan Gelagar Pelat I.....	64
38	Gambar 5.2	Grafik Hubungan Beban Lendutan Gelagar Pelat Dobel Delta.....	65
39	Gambar 5.3	Grafik Hubungan Beban-Lendutan Pelat I dan Dobel Delta.....	66

40.	Gambar 5.4	Grafik Hubungan M_{cr} Uji Versus M_{cr} Teoritis.....	69
41	Gambar 5.5	Grafik Momen Kelengkungan Gelagar Pelat I.....	73
42	Gambar 5.6	Grafik Momen Kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta.....	75
43	Gambar 5.7	Grafik Hubungan Beban-Lendutan Profil I.....	77
44	Gambar 5.8	Grafik Hubungan Beban-Lendutan Profil Dobel Delta.....	78
45	Gambar 5.9	Kurva Parameter Kelangsingan Panjang.....	81
46	Gambar 5.10	Koefisien Tekuk Lokal Pada Batang Lentur.....	82
47	Gambar 5.11	Koefisien Tekuk Pelat Dalam Lentur Murni.....	83
48	Gambar 5.12	Hubungan Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan.....	84

DAFTAR TABEL

1.	Tabel 5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	62
2.	Tabel 5.2	Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....	63
1.	Tabel 5.3	Kekakuan Gelagar Pelat I dengan Berbagai Variasi h/b.....	67
2.	Tabel 5.4	Kekakuan Gelagar Pelat Dobel Delta dengan Berbagai Variasi h/b.....	67
3.	Tabel 5.5	Nilai Momen Kritis Gelagar Pelat I dan Pelat Dobel Delta.....	68
4.	Tabel 5.6	Nilai Momen Kritis Secara Teoritis.....	69
5.	Tabel 5.7	Nilai S_x Pada Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....	70
6.	Tabel 5.8	Nilai Tegangan Kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....	70
7.	Tabel 5.9	Nilai Koefisien Tekuk (k) pelat Sayap Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....	71
8.	Tabel 5.10	Nilai Koefisien Tekuk (k) pelat Badan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....	72
9.	Tabel 5.11	Nilai Kelengkungan Gelagar Pelat I.....	72
10.	Tabel 5.12	Nilai Kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta.....	74
11.	Tabel 5.13	Hubungan Rasio Momen Nominal Terhadap Momen leleh versus Kelangsingan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta	75
12.	Tabel 5.14	Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Puntir Lateral Gelagar Pelat I.....	85

13	Tabel 5.15	Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Puntir Lateral Gelagar Pelat Dobel Delta.....	86
14	Tabel 5.16	Pertimbangan Perencanaan Hasil Penelitian.....	86

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
γ	=	Istilah umum untuk factor kelebihan badan
ϵ	=	Regangan
ϵ_t	=	Regangan total

ϵ_x	=	Regangan arah x
ϵ_y	=	Regangan pada saat tegangan leleh
Δ	=	Defleksi
Δy	=	Lendutan pada saat beban maksimum
Δ_{total}	=	Defleksi total
λ	=	Rasio kerampingan untuk pelat
λ_c	=	parameter kerampingan
λ_p	=	Rasio kerampingan maksimum pelat kompak
μ'	=	Rasio poisson
ϕ	=	Kelengkungan
τ	=	Tegangan geser
τ_r	=	Tegangan tekuk geser
τ_y	=	Tegangan leleh geser
θ	=	Sudut rotasi
ρ	=	Rasio luas penampang lintang badan Aw terhadap luas penampang Af salah satu sayap
σ	=	Tegangan
π	=	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 1,57 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 1,72, terjadi penurunan momen kelengkungan, semakin kecil kelangsingan pelat semakin tinggi dalam menahan lentur dan terjadi peningkatan tegangan kritis sebesar 1,17 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 Masalah.

Gelagar pelat I sudah cukup populer digunakan untuk memikul beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya geser. Gelagar pelat I terdiri atas dua buah pelat sayap yang dihubungkan menerus dengan pelat badan dimana ketiga rangkaian elemen pelat disambung menggunakan las. Pelat sayap pada penampang I berfungsi untuk menahan momen sedangkan pelat badan berfungsi untuk menahan gaya geser. Gelagar pelat I tergolong langsing sehingga kapasitas lentur pelat dibatasi oleh instabilitas (tekuk) yang dapat menyebabkan kegagalan dini (*premature collapse*) yaitu keruntuhan dibawah tegangan leleh. Ragam tekuk yang terjadi pada gelagar pelat berupa tekuk badan (*web local buckling*), tekuk sayap (*flens local buckling*) dan tekuk puntir lateral (*lateral torsional buckling*). Gelagar pelat I terbagi atas dua sumbu simetri yaitu sumbu kuat dan sumbu lemah dimana inersia sumbu kuat lebih besar daripada inersia sumbu lemah sehingga pada pelat I akan mengalami tekuk puntir lateral (*lateral torsional buckling*). Oleh karena itu, agar terhindar dari tekuk puntir lateral maka pada penampang yang tertekan harus dipasang dukungan lateral (*lateral support*). Kegagalan yang terjadi pada pelat gelagar I akibat tekuk lokal (*local buckling*) dan tekuk puntir lateral (*lateral torsional buckling*) menunjukkan bahwa kapasitas lentur gelagar I belum maksimal dan masih mungkin untuk 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 dan rasio 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. 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.
3. Mendapatkan nilai koefisien tekuk pelat sayap dan pelat badan gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta.
4. Membandingkan rasio tegangan kritis gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap penampang I.
5. Mendapatkan kurva momen kelengkungan dan faktor kekakuan gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap gelagar pelat penampang I yang memiliki ketinggian dan lebar yang sama.
6. Mendapatkan nilai hubungan momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) pada berbagai rasio kelangsingan (h/t)

1.3. Manfaat penelitian.

Manfaat dilakukan penelitian eksperimental gelagar pelat penampang Dobel Delta dan penampang I adalah sebagai berikut yaitu :

1. Pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya tentang rasio kapasitas dan perilaku lentur gelagar pelat penampang Dobel Delta terhadap penampang I.
2. Dapat dijadikan alternatif dalam perencanaan struktur menggunakan pelat penampang Dobel Delta dalam perencanaan gelagar pelat.

1.4. Batasan Masalah.

Perilaku kapasitas lentur pada gelagar pelat mencakup banyak persoalan, karena itu, perlu dibarikan batasan-batasan agar terjadi kesatuan pemahaman antara lain sebagai berikut yaitu :

1. Gelagar pelat penampang Dobel Delta dan penampang I prismatis dukungan sederhana (sendi rol) dan memikul beban statis pada sepertiga bentang.
2. Rasio tinggi dan lebar pelat penampang I dan penampang Dobel Delta sama.
3. Rasio tebal pelat sayap terhadap tebal pelat badan sama dengan satu koma lima ($t_f \approx 1,5 t_w$).
4. Gelagar pelat dibuat dari pelat-pelat tipis yang dihubungkan dengan menggunakan las dengan mengabaikan efek tegangan residu akibat pengelasan.

1.5. Keaslian Penelitian.

Berdasarkan studi pustaka penelitian gelagar pelat penampang I sudah banyak dilakukan, namun penelitian tentang rasio kekuatan lentur gelagar pelat penampang I dan penampang Dobel Delta belum pernah dilakukan. Jika dikemudian hari ditemukan penelitian serupa, namun parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini tidak sama, dengan demikian penelitian dengan judul "Kekuatan Lentur Gelagar Pelat Penampang Dobel Delta Terhadap Gelagar Pelat I Rasio Tinggi Terhadap Lebar 5,71" disimpulkan penelitian ini asli.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelagar Pelat.

Gelagar Pelat merupakan komponen struktur yang berfungsi memikul momen lentur dan gaya geser. (*Taly, 1998*). Pendapat lain juga dikemukakan oleh *Bowles* (1985) mendefinisikan gelagar pelat merupakan bagian konstruksi rangka yang sayapnya adalah batang tepi atas dan batang tepi bawah dan badanya membentuk konstruksi itu juga. Selain itu, *Speigel dan Limbrunner* (1991) berpendapat gelagar pelat merupakan balok utama atau tinggi yang sering digunakan untuk menumpu balok-balok lain. Begitu pula dengan *Salmon dan Johnson* (1996) menyatakan gelagar pelat merupakan suatu balok dari elemen-elemen pelat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien ketimbang yang tidak mungkin diperoleh oleh balok tempa.

2.2. Bentuk Penampang.

Bentuk penampang gelagar pelat yang sederhana merupakan penampang I, yang terdiri dari dua sayap yang relatif tebal dihubungkan dengan pelat badan yang memiliki tebal yang tipis. Penampang lain yang dipakai dalam perencanaan gelagar pelat adalah penampang Dobel Delta yang terdiri atas pelat badan, pelat sayap, dan pelat-pelat yang menghubungkan antara pelat sayap dan pelat badan. (*Taly, 1998*)

2.3. Tegangan Kritis Pelat.

Tegangan kritis pelat dipengaruhi oleh nilai koefisien tekuk (k), modulus elastisitas bahan (E), dan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan. Nilai koefisien tekuk (k) berbanding lurus dengan modulus elastisitas bahan (E) dan berbanding terbalik dengan kuadrat rasio lebar terhadap tebal sayap (b/t_f) pelat sehingga bila semakin lebar pelat sayapnya maka akan semakin kecil nilai tegangan kritisnya begitu pula sebaliknya. (*Bowles, 1985 ; Salmon and Johnson, 1996*)

Salmon dan Johnson (1996) Menyatakan bahwa pelat sayap memikul tegangan tekan dan tidak diberi pengaku memiliki nilai tekuk adalah 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 pada hingga pada tumpuan jepit 39,6. Koefisien tekuk pelat badan yang memikul gaya geser dipengaruhi oleh rasio panjang terhadap lebar (a/h).

Spiegel dan Limbrunner (1991) mengemukakan bahwa setelah panel badan yang tipis yang diperkaku tertekuk oleh tegangan geser, panel tersebut masih mampu menahan beban, badan yang tertekuk memikul tarik diagonal dan pengaku mengalami gaya tekan, perilaku ini disebut aksi medan tarik.

2.4. Kapasitas Lentur Gelagar Pelat.

Kapasitas lentur gelagar merupakan fungsi dari persamaan : Nilai lebar terhadap tebal badan (h/t_w), Nilai lebar pelat terhadap tebal pelat sayap (b/t_f), Rasio luas badan terhadap luas sayap pada pelat (A_w/A_f), dan Rasio panjang bentang terhadap jari-jari inersia minimum (L_y/R_y). (*Salmon & Johnson*, 1996)

2.5. Kelangsingan Batas Elemen Pelat.

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

2.6. Hubungan Beban Deformasi.

Hubungan beban deformasi merupakan kekakuan suatu struktur sebagai rasio beban deformasi ($P-\Delta$). (*Timoshenko & Gere*, 1961).

2.7. 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

Kelengkungan suatu struktur dapat diukur dengan pendekatan metode *central defereences* dengan bantuan deformasi di tiga titik yang berurutan dan jaraknya sama.

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

2.8 Koefisien Pelat *Assembling*

N.S Trahair dan M Bradford (1988) menyatakan bahwa Perakitan gelagar pelat yang mengalami tekuk lokal dapat dicek 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 teoritis, semakin besar nilai rasio b/d maka nilai koefisien tekuk lokal semakin besar dan membentuk grafik T/t .

2.9 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.

2.10 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*)

2.11 Tekuk Badan

Salmon dan Johnson (1996) berpendapat 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.

2.12 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 di sepanjang gelagar berguna untuk mencegah tekuk puntir lateral akibat perilaku plastis.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Gelagar Pelat.

Gelagar pelat secara umum merupakan komponen struktural yang memikul momen lentur dan gaya geser. Dari sudut pandang perencanaan, 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. Gelagar pelat tersusun dari elemen-elemen pelat sayap yang dilas pada pelat badan yang relatif tipis.

Gelagar pelat penampang I pada bagian sayap diasumsikan pada kondisi jepit bebas sehingga kekakuan sayap tekannya lemah. Dengan menambah pelat penopang pada sisi pelat sayap yang menghubungkan pelat badan bertujuan untuk menambah kekakuan pelat. Hal ini dikarenakan karena pelat sayap diasumsikan pada kondisi jepit-jepit pada sisinya. Selain itu, dengan menambah penopang yang menghubungkan sisi luar sayap dan badan mengakibatkan pengurangan ketinggian pada pelat badan, sehingga kondisi badan akan semakin kaku.

3.2. Tegangan Pada Penampang Pelat.

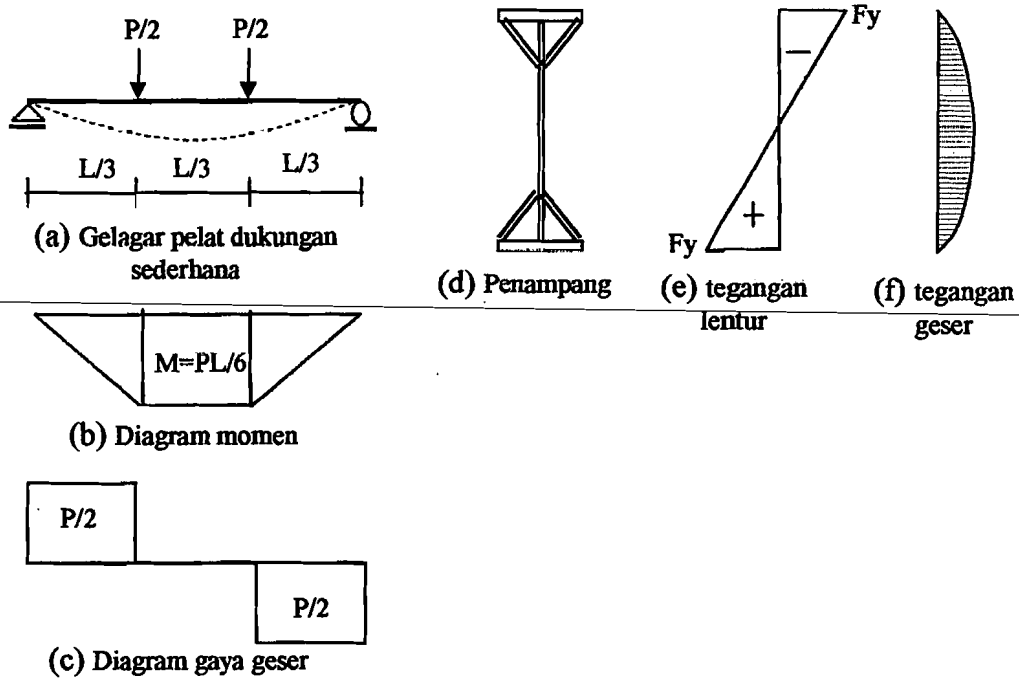
Gelagar Pelat dengan tumpuan sederhana yang dibebani oleh beban P (Gambar 3.1a) akan menimbulkan momen lentur murni dan gaya geser (Gambar 3.1b

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* yaitu :

$$\sigma = \pm \frac{My}{I} \tag{3.1}$$

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

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \tag{3.2}$$



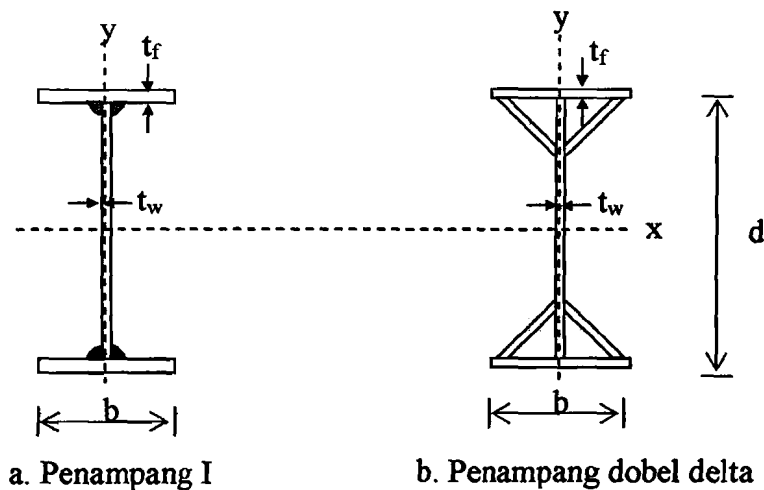
Gambar 3.1. Gelagar Pelat Dengan Beban Transversal

Dari Gambar (3.1) dijelaskan bahwa sebuah balok sederhana yang diberikan beban sebesar $\frac{P}{2}$ pada jarak yang sama dan terletak pada jarak $\frac{1}{3}$ bentang. Pembebanan pada balok mengakibatkan terjadinya gaya geser sebesar $\frac{P}{2}$ dan terjadi juga momen lentur murni sebesar $\frac{1}{6}PL$. Lentur murni terjadi karena pada bentang tengah tidak terjadi gaya geser. 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).

Pada persamaan (3.2) dijelaskan bahwa V = gaya geser, Q = momen statis luasan dan b = lebar penampang dari faktor tersebut maka akan diketahui nilai tegangan geser.

3.3. Penampang I dan Dobel Delta.

Penampang I merupakan pelat yang tersusun dari elemen-elemen sayap dengan ketebalan tertentu yang diteruskan pada pelat badan yang langsing, sedangkan penampang Dobel Delta merupakan modifikasi dari penampang I dimana sisi luar sayap dan sepertiga dari tinggi badan dipasangkan penopang. Pada penampang I dan Penampang Dobel Delta memiliki sumbu simetri yaitu sumbu kuat (sumbu-x) dan sumbu lemah (sumbu-y). hal ini dapat dijelaskan pada gambar sebagai berikut :



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

Dari Gambar (3.2a) merupakan pelat penampang I dimana memiliki ketinggian yang lebih dibanding Gambar (3.2b) pelat Dobel Delta, sehingga pelat I memiliki badan yang langsing sedangkan pelat Dobel Delta merupakan pelat yang memiliki tinggi yang pendek. Pelat Dobel delta pada dasarnya memiliki geometri yang hampir sama dengan pelat I, namun pada sisi sayap pelat Dobel Delta lebih diperkaku dengan pelat penopang yang diletakkan pada sisi sayap dengan sudut 45° dengan ketebalan pelat sama dengan pelat badan.

Bila diasumsikan penampang I dan penampang Dobel Delta memiliki ketinggian dan lebar yang sama, dan memiliki ketebalan sayap dan ketebalan badan yang sama maka, secara teoritis momen inersia penampang Dobel Delta akan relatif lebih besar daripada penampang I. Secara umum momen inersia (i_x) dan (i_y) pada penampang I dan Penampang Dobel Delta dapat ditulis pada persamaan (3.3a) dan persamaan (3.3b) sebagai berikut yaitu:

$$I_x = \int_0^A y^2 dA \quad (3.3a)$$

$$I_y = \int_0^A x^2 dA \quad (3.3b)$$

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 :

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

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

Pada pelat penampang Dobel Delta merupakan modifikasi dari pelat penampang I dengan menambahkan penopang pada sisi luar dan badan yang membentuk sudut 45° , 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 :

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

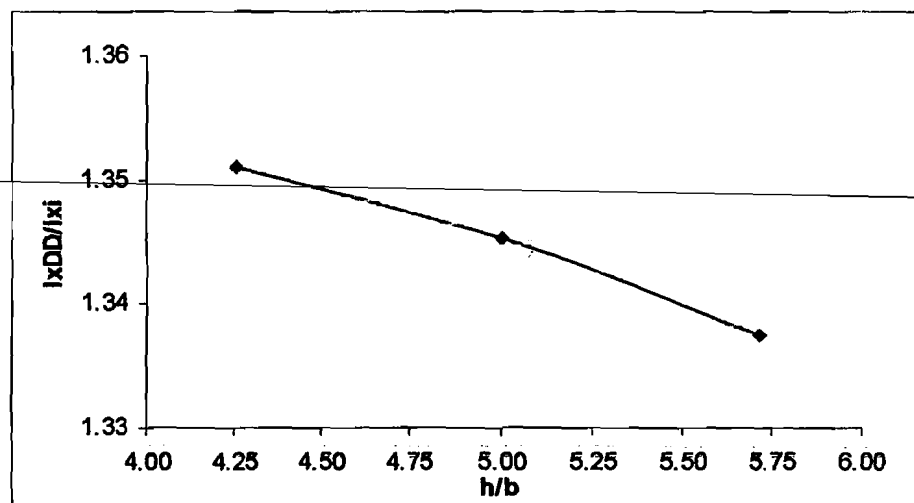
$$I_{iy} = I_{iy} + \frac{1}{6} (t_w) b^3 \quad (3.5b)$$

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 :

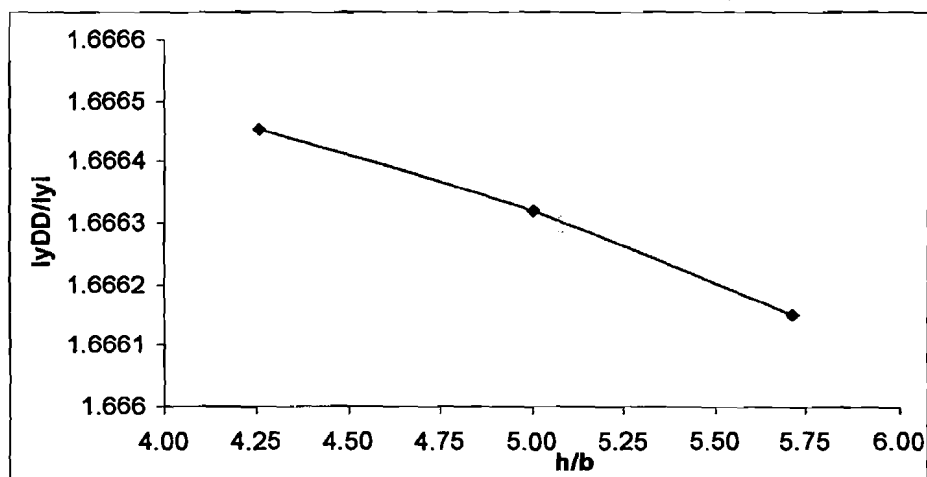
$$\frac{I_{dx}}{I_{ix}} = 1 + \left(\frac{\frac{1}{24}t_w b^3 + 2(t_w)(b)(d/2 - b/4)^2}{1/12t_w(d)^3 + \frac{1}{6}bt_f^3 + 1/2(bt_f)(d)^2} \right) \quad (3.6a)$$

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

Untuk memperjelas persamaan diatas maka bila digunakan tinggi terhadap lebar pelat yang divariasikan maka didapatkan grafik rasio inersia sumbu kuat (ix) dan rasio inersia sumbu lemah (iy) pelat Dobel Delta terhadap pelat I adalah sebagai berikut yaitu :



Gambar grafik rasio inersia x (Ix) gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta.



Gambar grafik 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. Pada gelagar pelat tegangan kritis yang terjadi yaitu pada pelat sayap dan pada pelat badan.

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 :

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

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

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

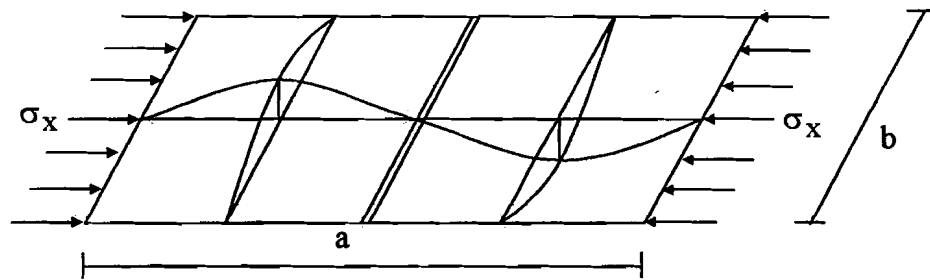
Bila persamaan (3.7) disubstitusikan dengan persamaan (3.8), maka didapatkan persamaan sebagai berikut yaitu :

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

Dimana $D = Et^3 / 12(1 - \mu^2)$ menunjukkan kekuatan lentur pelat, E menunjukkan modulus elastisitas bahan, dan μ menunjukkan nilai banding *poison* dan

$N_x = \frac{D\pi^2}{b^2} \left(\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right)^2$. Agar penjelasan diatas dapat dipahami maka lihat Gambar

3.3 sebagai berikut yaitu :



Gambar 3.3. Pelat Memikul Tekanan Merata

Persamaan (3.9) disubstitusikan dengan nilai D dan N_x maka didapatkan persamaan :

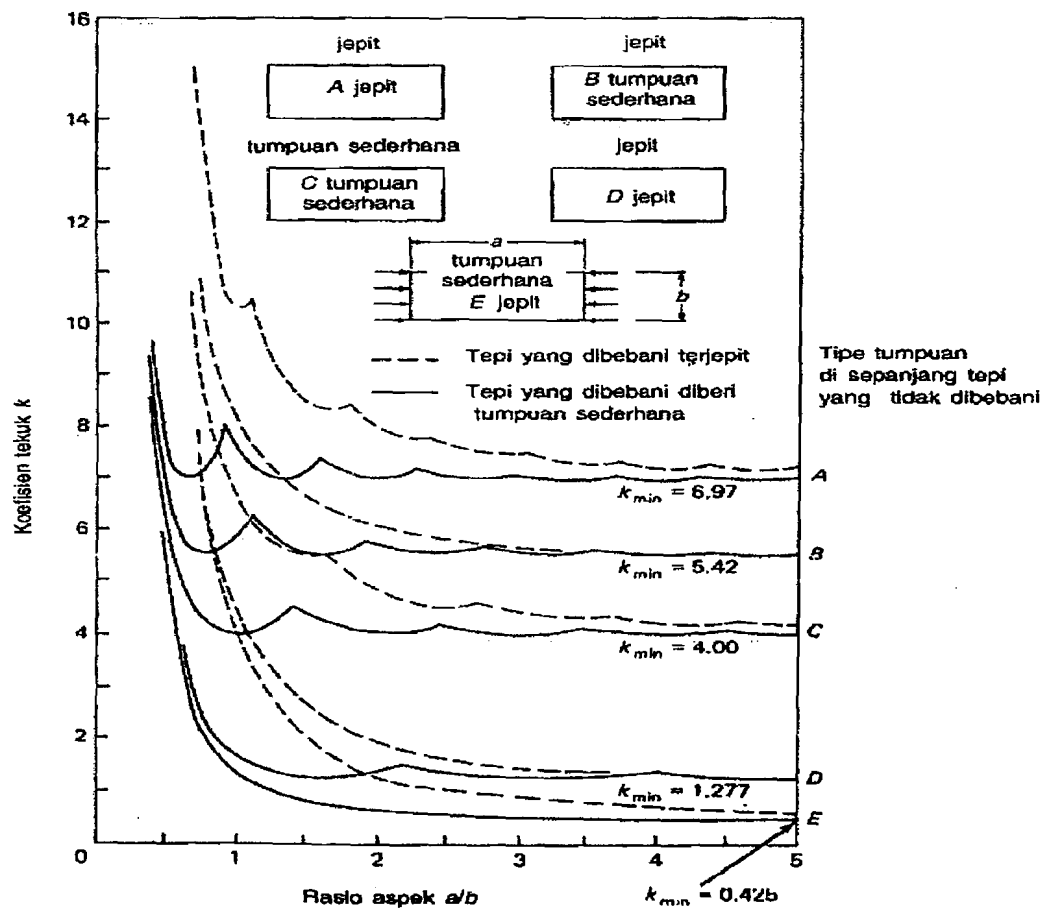
$$\sigma_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \bar{E}}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.10)$$

Dimana k menunjukkan koefisien tekuk pelat yang bergantung pada kondisi tumpuan pelat, jenis tegangan, dan aspek rasio. Dari persamaan diatas 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 :

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

Dimana m menunjukkan jumlah gelombang sinus pada arah gaya, (a/b) menunjukkan 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 :



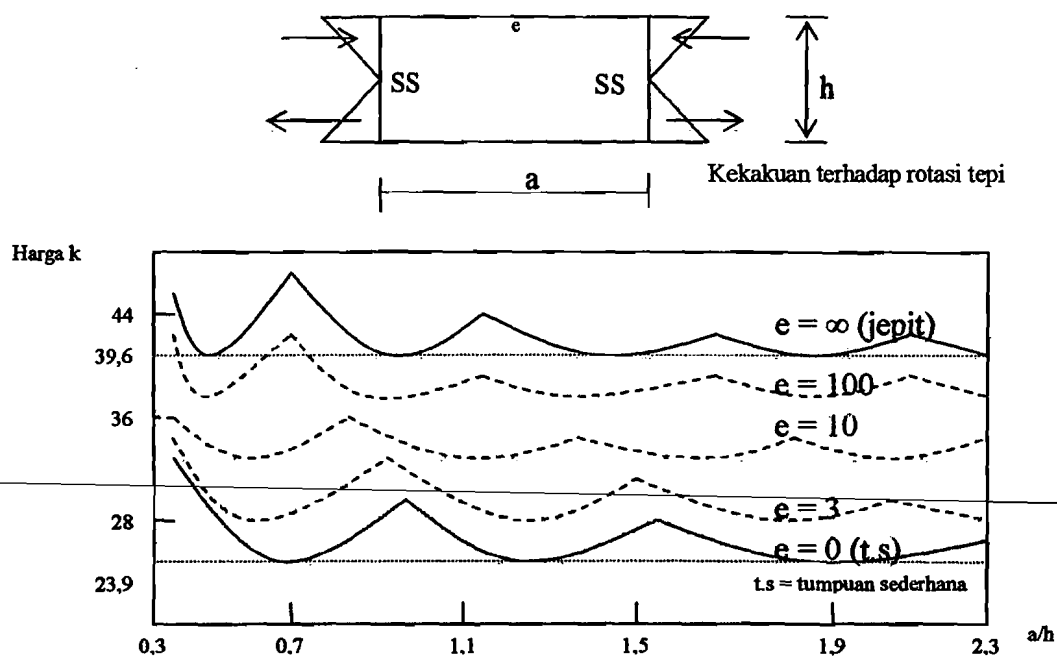
Gambar 3.4. Koefisien tekuk pelat dengan kondisi tumpuan bervariasi.

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.

Gelagar pelat biasanya direncanakan memiliki penampang yang langsing, baik pada elemen sayap dan elemen badan pelat. Karena elemen badan gelagar memiliki rasio (h/t_w) kemungkinan tekuk terjadi akibat lentur pada bidang badan. Untuk mengetahui tegangan pada pelat badan dapat dilihat pada persamaan (8) yang telah dijelaskan diatas, dimana $b = h$ dan $t_f = 1,5 t_w$.

Pengembangan nilai koefisien tekuk badan akibat lentur murni oleh *Timoshenko dan Gere* (1961) dijelaskan pada Gambar (3.5) sebagai berikut yaitu :

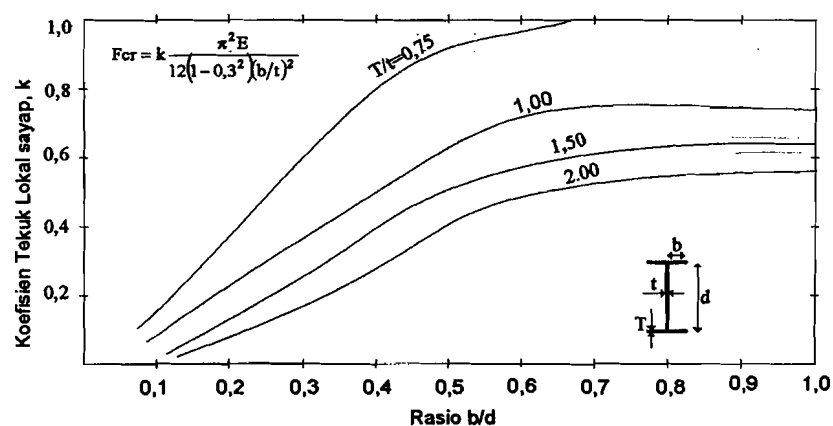


Gambar 3.5. Koefisien Tekuk Pelat Dalam Lentur Murni

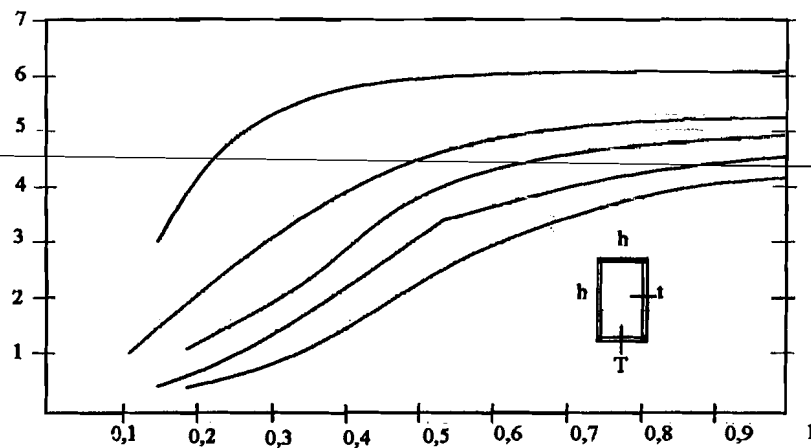
Pada Gambar (3.5) dijelaskan bahwa bila mengambil nilai (a/h) dengan rasio sembarang, dan pada pelat badan diasumsikan pelat ditumpu pada balok sederhana

maka nilai kekakuan pelat badan adalah 23,9. Bila tumpuan pelat badan diasumsikan jepit sempurna maka nilai kekakuan adalah 39,6.

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)



Gambar 3.7 Koefisien tekuk lokal untuk batang lentur penampang Box
(N.S Tharair dan M Bradford)

Pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 dapat dilihat nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis penampang I dan penampang Box. Nilai koefisien tekuk pada pelat dipengaruhi oleh rasio lebar sayap terhadap tinggi badan (b/d) dan tebal sayap terhadap tebal badan (T/t). Dari kedua 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. Penggunaan pelat Box lebih baik dibandingkan penggunaan pelat I sebab nilai koefisien tekuk pada pelat box lebih besar dibandingkan dengan pelat I.

3.7. Tekuk Elastis Akibat Geser.

Tegangan kritis elastis pelat-pelat yang menerima tegangan geser dinyatakan pada persamaan ebagai berikut yaitu :

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

Dimana b menunjukkan sisi pendek pelat. Koefisien tekuk pelat yang memikul geser bergantung dari (a/h) , dimana (a/h) merupakan rasio jarak bentang terhadap lebar, yang dinyatakan pada persamaan sebagai berikut yaitu :

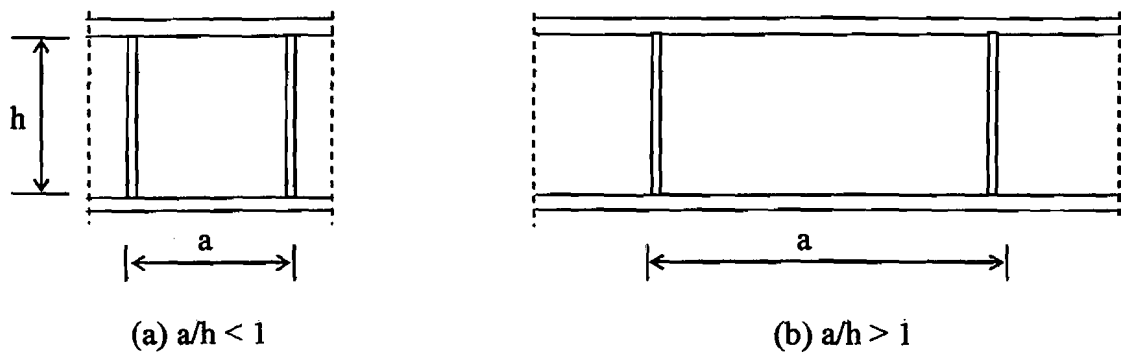
Nilai k untuk kasus $(a/h) \leq 1$ Gambar (3.8a) adalah

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

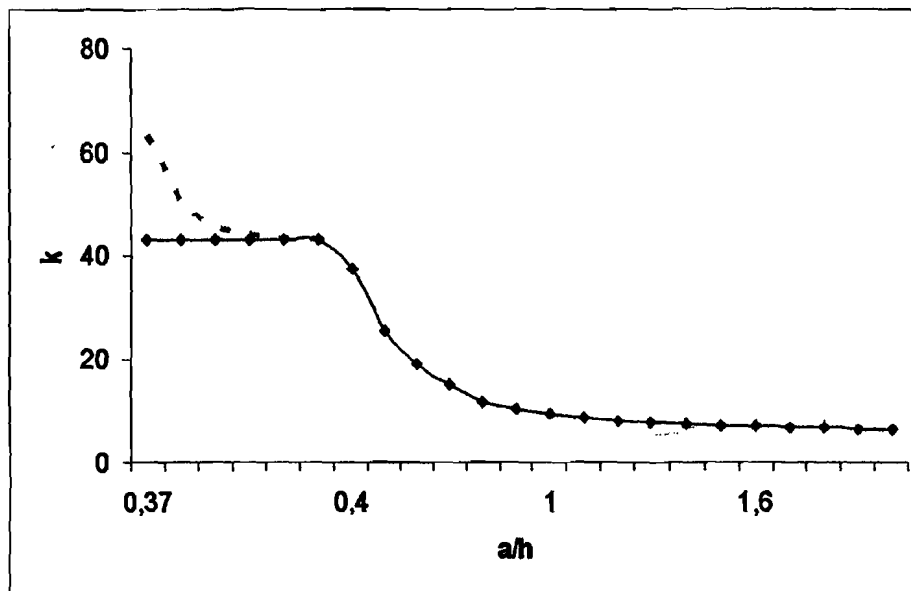
Nilai k pada kasus $a/h \geq 1$ (Gambar 6b) adalah

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

Agar persamaan (3.13a) dan persamaan (3.13b) dapat dipahami maka dapat dijelaskan pada Gambar (3.8) sebagai berikut yaitu :



Gambar 3.8. Pelat Memikul Tegangan Geser



Gambar 3.9 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 :

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

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

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

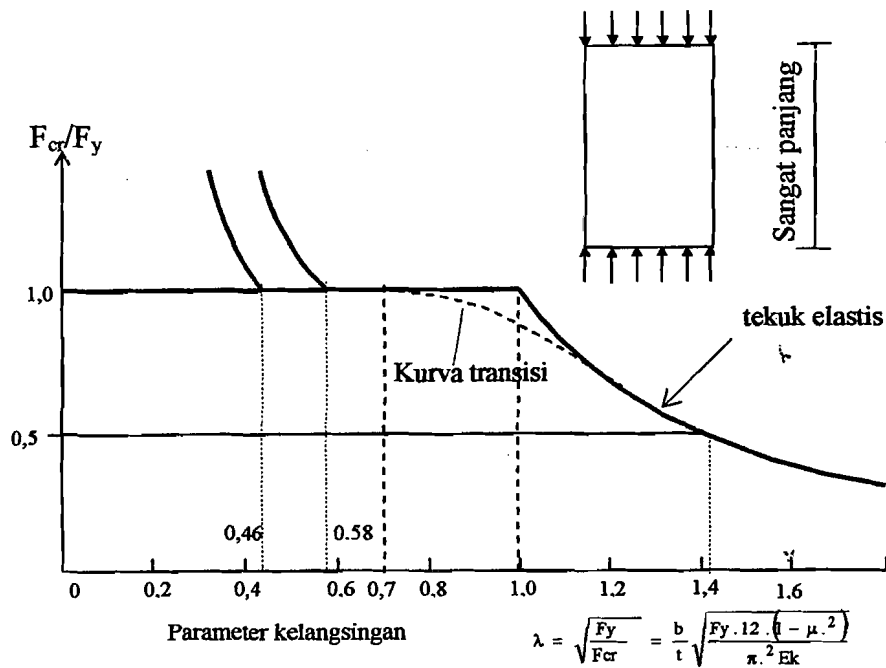
Parameter kelangsingan dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut yaitu :

$$\lambda^2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}} \quad (3.16)$$

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

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

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 3.10. Kurva Parameter Kelangsingan Pelat Panjang

Dari Gambar 3.10 bila diasumsikan $\lambda_c = 0,7$, $k = 0,425$, dan $E=2,10^5$ Mpa disubstitusikan kedalam persamaan (3.17) 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

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

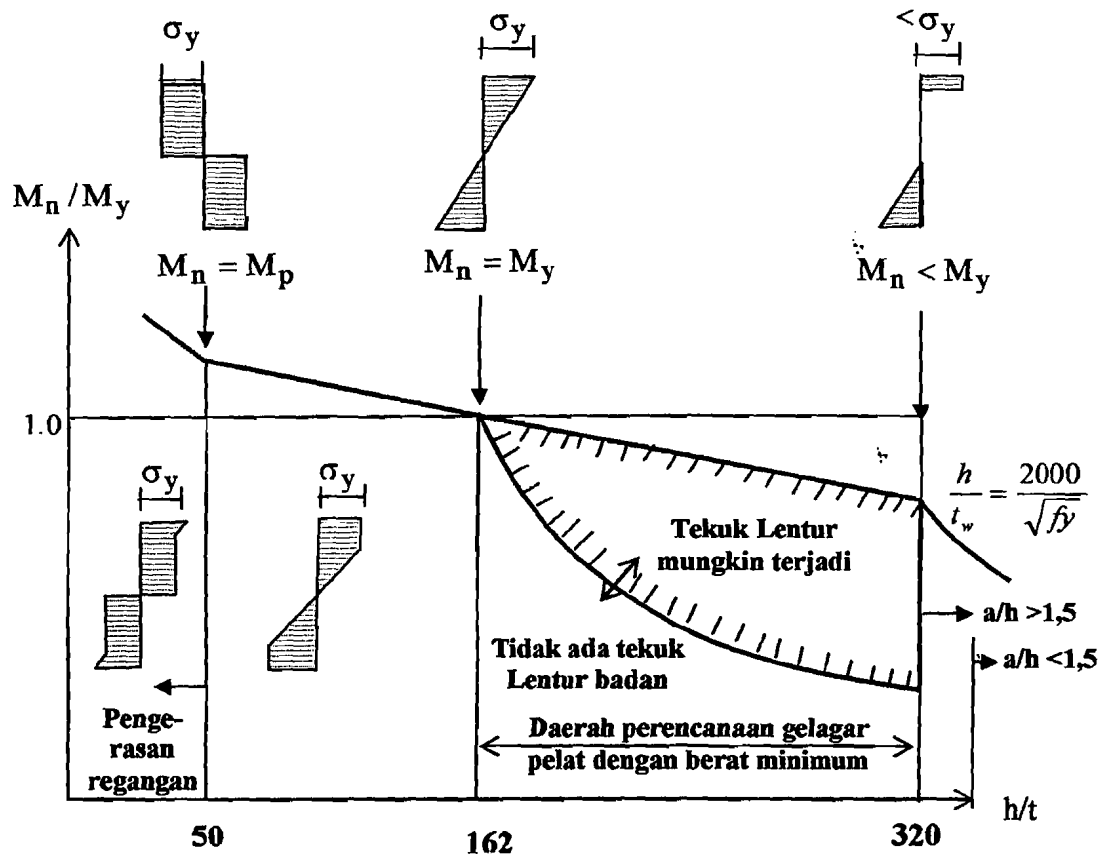
3.10. Momen Batas Gelagar Pelat.

Momen batas gelagar pelat oleh *Salmon dan Johnson* (1996) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut yaitu :

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

Dari persamaan (3.21) dapat diketahui bahwa momen batas gelagar pelat dipengaruhi oleh kelangsingan pelat badan (h/t_w), kelangsingan pelat sayap (b/t_f), rasio luas badan terhadap luas sayap (A_w/A_f), dan rasio jarak bentang terhadap jari-jari inersia minimum (L/r_f). 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 3.11. daerah perencanaan gelagar pelat yang efisien yaitu antara $162 < h/t < 320$.



Gambar 3.11. 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:

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} \quad (3.22)$$

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

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

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

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

Badan gelagar yang diperkaku oleh sayap dan pengaku transversal mempunyai kekuatan pasca tekuk yang cukup besar. 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 :

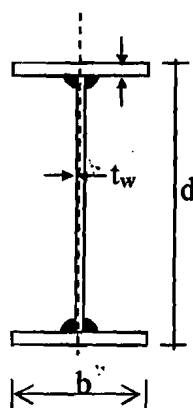
$$V_{cr} = \tau_y ht C_v \quad (3.26)$$

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 :

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

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. Momen tekuk lokal pada penampang I adalah momen batas pelat sayap ditambah dengan momen batas pelat badan. Secara prinsip dapat dilihat pada Gambar (3.12) sebagai berikut :



Penampang I

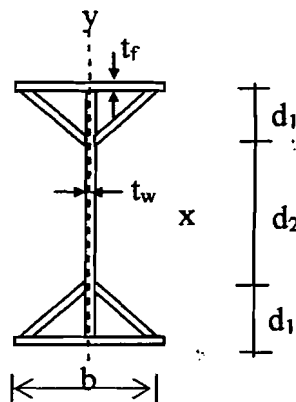
Gambar 3.12. Penampang I

Dari Gambar (3.12) diatas secara analitis dapat dirumuskan dalam persamaan untuk mencari nilai momen batas berdasarkan tekuk lokal, adapun persamaan sebagai berikut yaitu :

$$M_{cr} = b.t_f(\sigma_{crf})(d) + \frac{1}{4}t_w(d)^2\sigma_{crw} \quad (3.28)$$

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 3.13. sebagai berikut :



Penampang dobel delta

Gambar 3.13. Penampang Dobel Delta

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

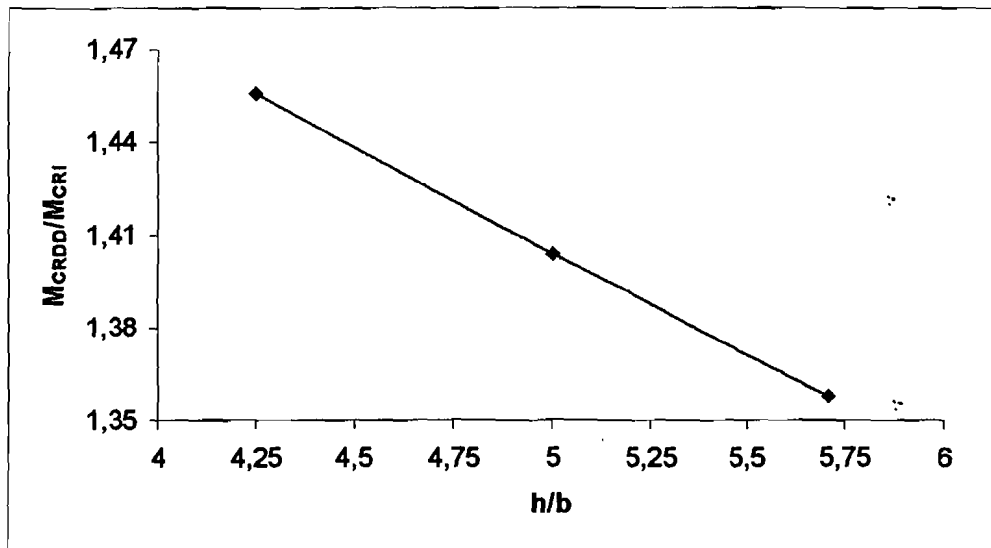
$$M_{cr} = b t_f (d) (\sigma_{crf}) + (d_1 t_w) \sigma_{crw} (d_1) + \frac{1}{4} t_w (d_2)^2 \sigma_{crw} + (2) \left(\frac{b}{2} \right) (t_w) (d - b/2) \sigma_{crw} \quad (3.29)$$

berdasarkan persamaan (29) dan persamaan (30) akan didapatkan rasio momen batas berdasarkan tekuk lokal yaitu dengan persamaan,

$$\frac{M_{crd}}{M_{crl}} = \frac{b t_f (d) \sigma_{crf} + (d_1 t_w) \sigma_{crw} (d_1) + \frac{1}{4} t_w (d)^2 \sigma_{crw} + (2) \left(\frac{b}{2} \right) (t_w) (d - b/2) \sigma_{crw}}{b t_f (d) \sigma_{crf} + \frac{1}{4} t_w (d)^2 \sigma_{crw}} \quad (3.30)$$

Bila persamaan (3.30) digunakan dengan tinggi terhadap lebar bervariasi yaitu rasio tinggi terhadap lebar 4, 5, dan 5,7 maka didapatkan grafik rasio momen lentur

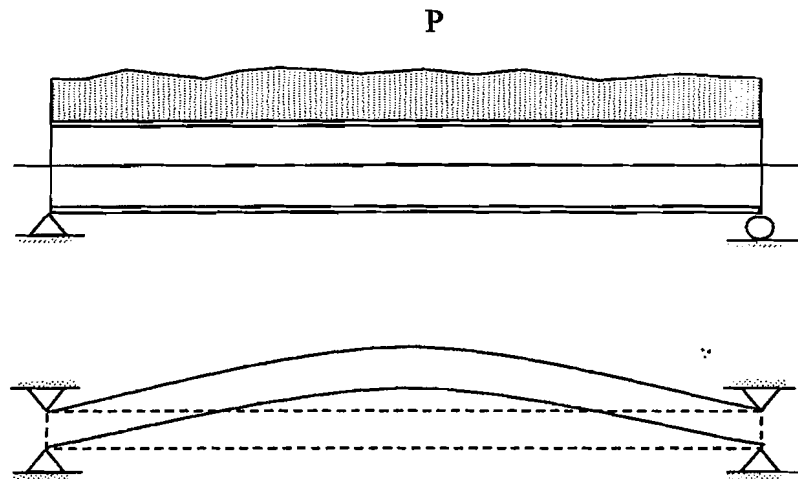
terhadap rasio tinggi dan lebar penampang pelat I dan penampang Dobel Delta adalah sebagai berikut yaitu :



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

3.12. Momen Batas Berdasarkan Tekuk Puntir.

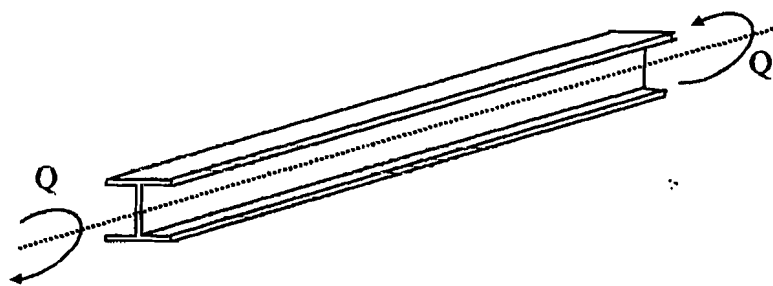
Momen batas gelagar pelat berdasarkan tekuk puntir lateral merupakan fungsi dari momen inersia sumbu lemah, panjang bentang antar dukungan lateral (I_b), Konstanta puntir / koefisien warping (C_w), Modulus Geser (G), dan momen inersia polar (J), dinyatakan oleh *Timoshenko dan Gere* perhatikan Gambar (3.14) sebagai berikut :



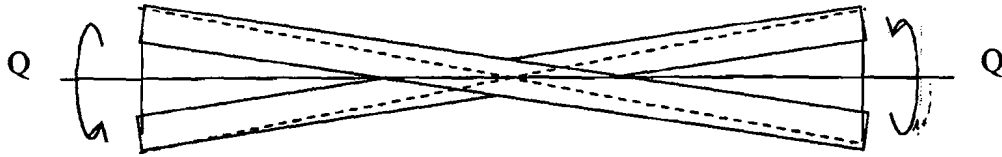
Gambar 3.14 Balok Dibebani Dengan Beban Merata

Pada Gambar (3.14) 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.

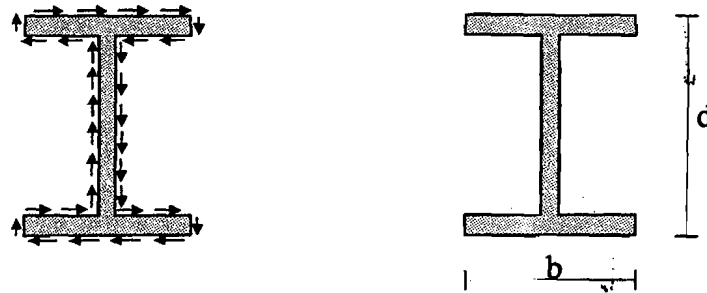
Bila balok penampang I Gambar (3.15) dipuntir dan deformasi arah aksialnya dicegah maka serat memanjang pada balok tersebut mengalami deformasi ditunjukkan pada Gambar (3.16). Puntir murni hanya menghasilkan tegangan geser yang distribusinya ditunjukkan pada Gambar (3.17).



Gambar 3.15 Balok gelagar pelat puntir



Gambar 3.16 Defomasi balok akibat puntir



Gambar 3.17 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

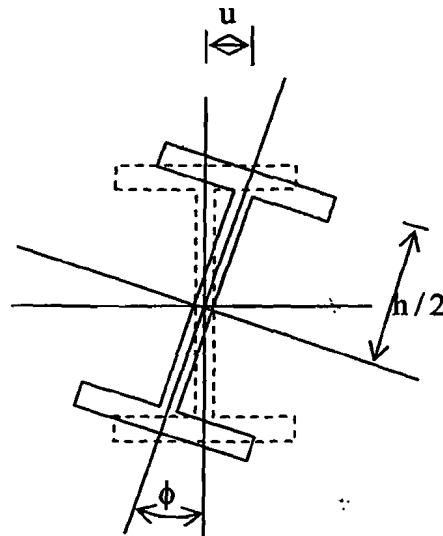
$$J = \frac{1}{3} b \cdot t^3 \quad (3.32)$$

Nilai J pada penampang yang tebalnya tidak 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 3.18 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 :

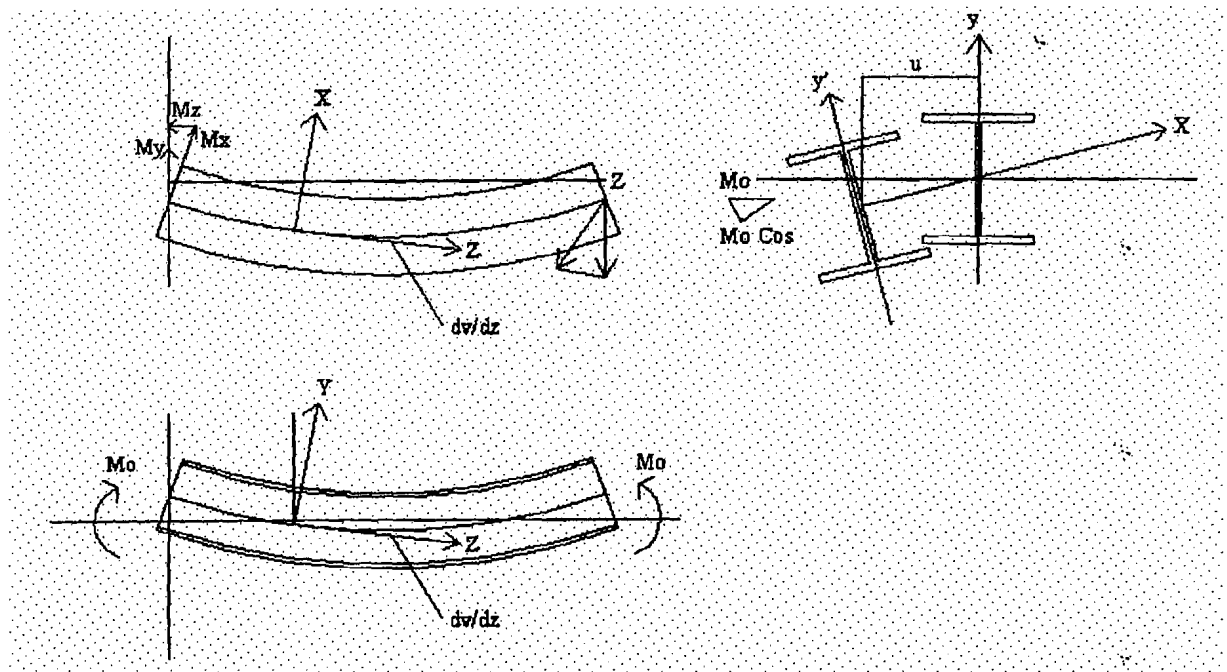
$$Q = GJ \frac{d\phi}{dz} - EI_f \frac{h^2}{2} \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (3.41)$$

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 :

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



Gambar 3.19 Balok Profil I Dalam Keadaan Tertekuk

Dengan mengacu Gambar (3.19) 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:

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

dimana v adalah *displacement centroid* pada arah y (lihat Gambar 3.18). Demikian pula, kurvatur pada bidang $x'z'$ adalah

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = M_y \quad (3.44)$$

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

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

Dimana M_ζ = merupakan komponen momen puntir pada sumbu kuat (sumbu x).

Gambar (3.13) menunjukkan hubungan aplikasi momen M_ζ yang mana terletak pada bidang yz dan komponen $\xi\eta\zeta$ itu mengacu pada sumbu x . Penetapan η dan ξ dalam persamaan M ditunjukkan dalam Gambar (3.19). persamaan (3.43) dan (3.44) dapat ditulis kembali menjadi persamaan lain yaitu:

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

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

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

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

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

dimana v adalah *displacement centroid* pada arah y (lihat Gambar 3.18). Demikian pula, kurvatur pada bidang $x'z'$ adalah

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = M_y \quad (3.44)$$

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

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

Dimana M_ζ = merupakan komponen momen puntir pada sumbu kuat (sumbu x).

Gambar (3.13) menunjukkan hubungan aplikasi momen M_ζ yang mana terletak pada bidang yz dan komponen $\xi\eta\zeta$ itu mengacu pada sumbu x . Penetapan η dan ξ dalam persamaan M ditunjukkan dalam Gambar (3.19). persamaan (3.43) dan (3.44) dapat ditulis kembali menjadi persamaan lain yaitu:

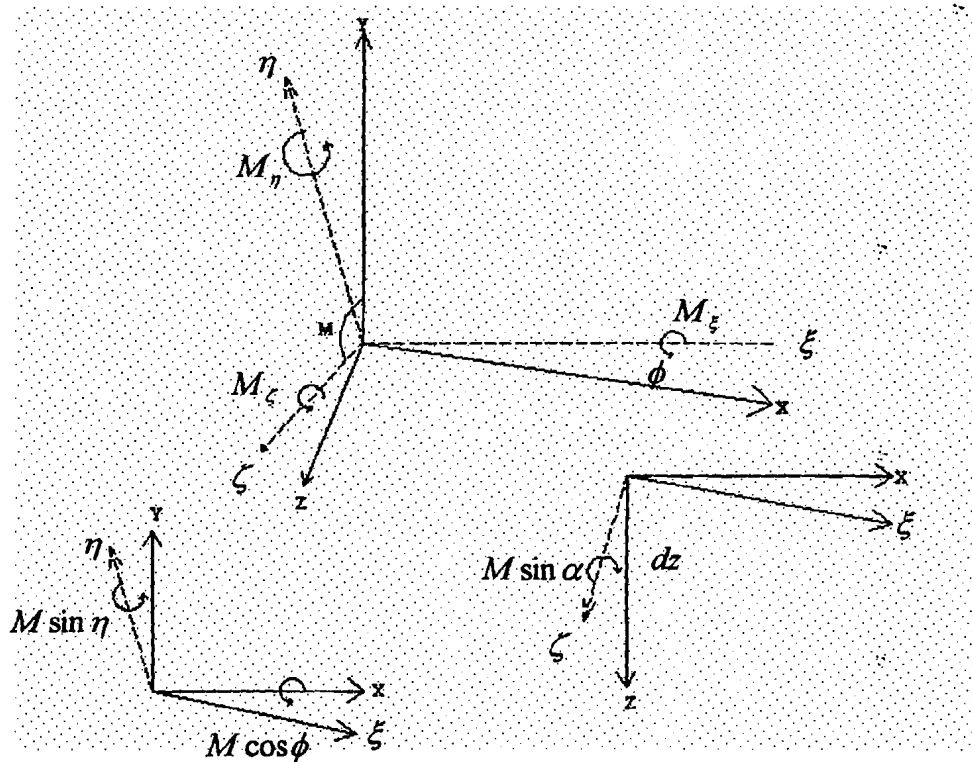
$$EI_x \frac{d^2 v}{dz^2} = M \cdot \cos \phi \quad (3.46)$$

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

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

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

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



Gambar 3.20 Komponen Momen Puntir

Jumlah M_ξ mungkin berlaku nilai 0 yang dapat dilihat pada Gambar (3.20) 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 $d^2 u/dz^2$ 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 :

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

dengan menstutitusikan $M\zeta$ 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 = koefisien puntir, G = 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 dobel 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

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

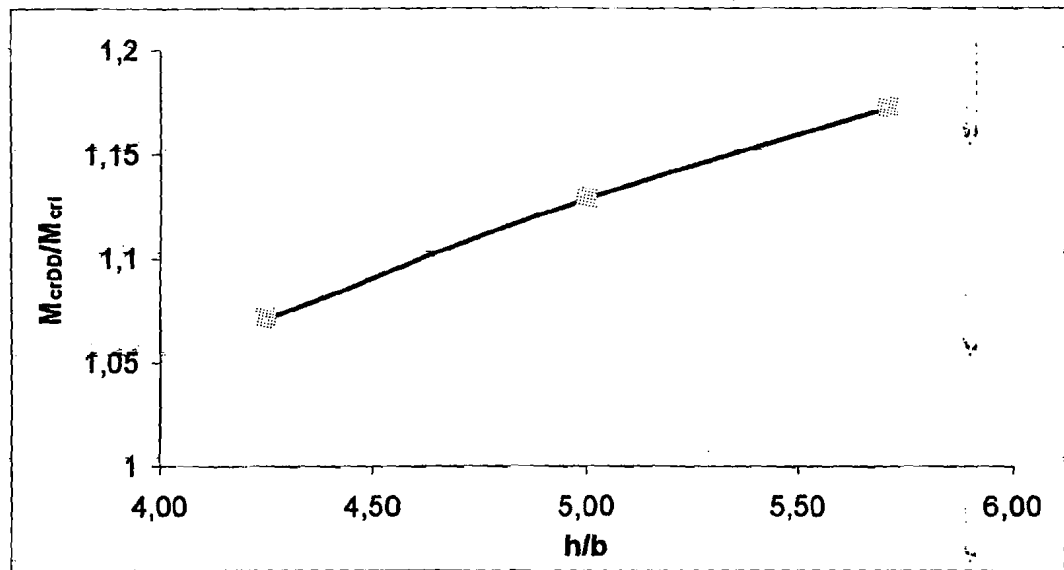
Nilai modulus geser (G) pada penampang I dan penampang Dobel Delta secara prinsip sama, dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut yaitu,

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

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,

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

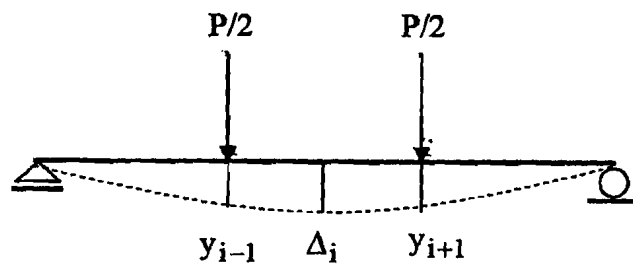
Bila persamaan (3.60) digunakan dengan tinggi terhadap lebar bervariasi yaitu rasio tinggi terhadap lebar 4,25, 5, dan 5,71 serta jarak pengaku *lateral support* (L_b) adalah 1550 mm, maka didapatkan grafik rasio momen puntir lateral terhadap rasio tinggi dan lebar penampang pelat I dan penampang Dobel Delta adalah sebagai berikut yaitu :



Gambar grafik rasio momen kritis berdasarkan tekuk puntir lateral gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta

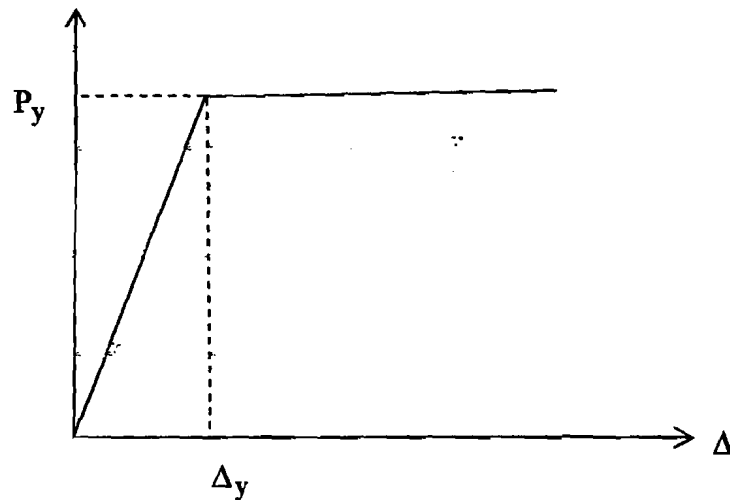
3.13. Karakteristik Gelagar Pelat.

Beban transversal P pada gelagar pelat Gambar (3.13). meimbulkan momen dan gaya geser, lendutan dan pelenturan. Karakteristik gelagar pelat dapat diketahui dari kurva beban-lendutan ($P-\Delta$ hasil) dan kurva momen kelengkungan ($M-\phi$) hasil eksperimen.



Gambar 3.21. 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 3.21.



Gambar 3.22. 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 (3.21) 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 :

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

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 (Δx) 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

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

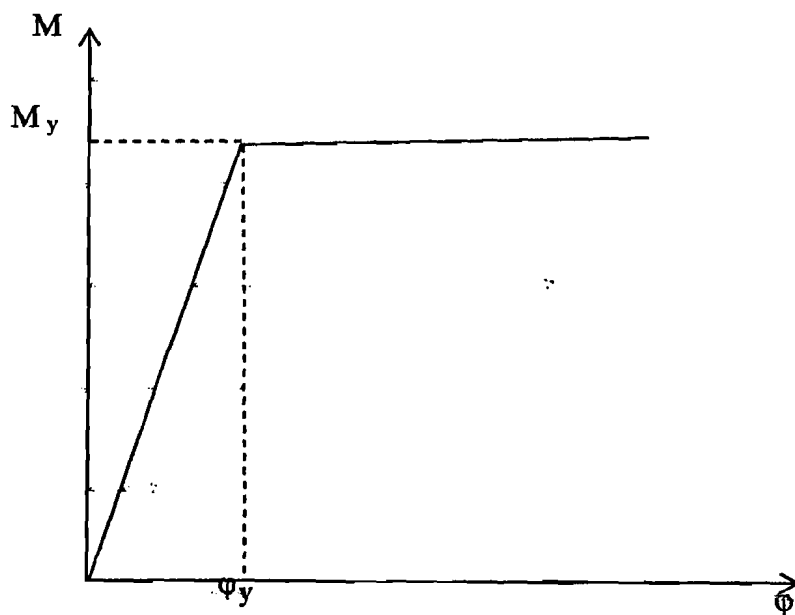
mengacu pada Gambar (3.20) didapatkan momen :

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

Kelengkungan hasil eksperimen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut yaitu :

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

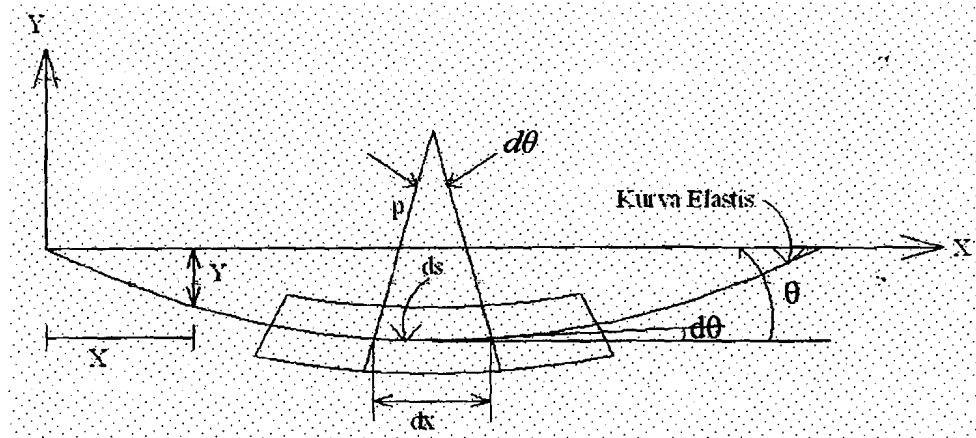
Dimana ε = regangan dan h = tinggi pelat badan. Sehingga dengan menggunakan persamaan diatas didapatkan kurva momen kelengkungan sebagai berikut yaitu :



Gambar 3.23 Kurva Momen Kelengkungan



3.14. Lendutan Gelagar Pelat



Gambar 3.24 Kurva Elastis

Gambar (3.24) 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 θ dalam panjang diferensial ds yang disebabkan lenturan balok maka :

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

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

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

dengan mengambil rumus lentur maka akan diperoleh hubungan : :

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

Dengan ρ didekati dengan persamaan :

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

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

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

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 :

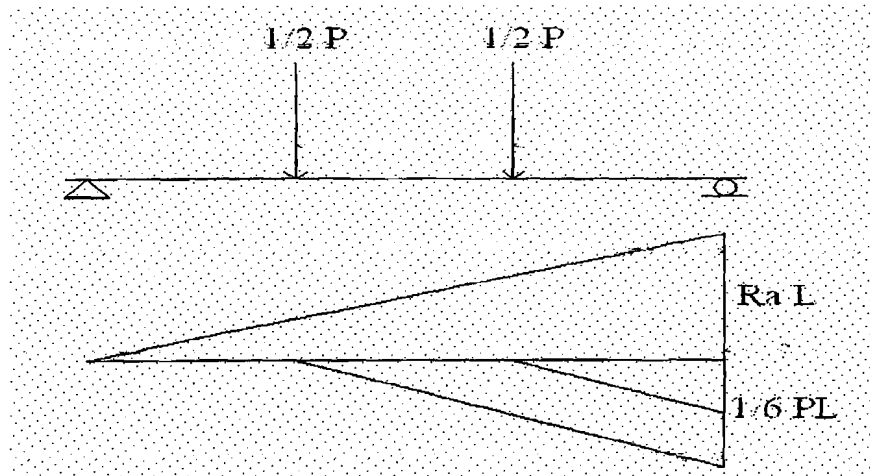
$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \quad (3.77)$$

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 3.25.



Gambar 3.25 Aksi Momen Akibat Beban Terpusat.

Berdasarkan Gambar (3.25) didapatkan penurunan lendutan berdasarkan metode luas bidang momen yaitu :

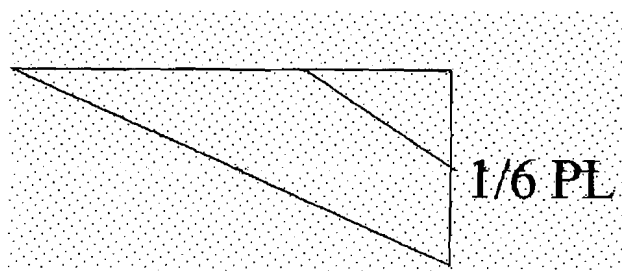
$$\Delta t = \left(\frac{P L^2}{2 \cdot 2}\right)\left(\frac{L}{3}\right) - \left(\frac{P \cdot 4L^2}{2 \cdot 18}\right)\left(\frac{2L}{9}\right) - \left(\frac{P L^2}{2 \cdot 18}\right)\left(\frac{L}{9}\right) \quad (3.79)$$

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 :

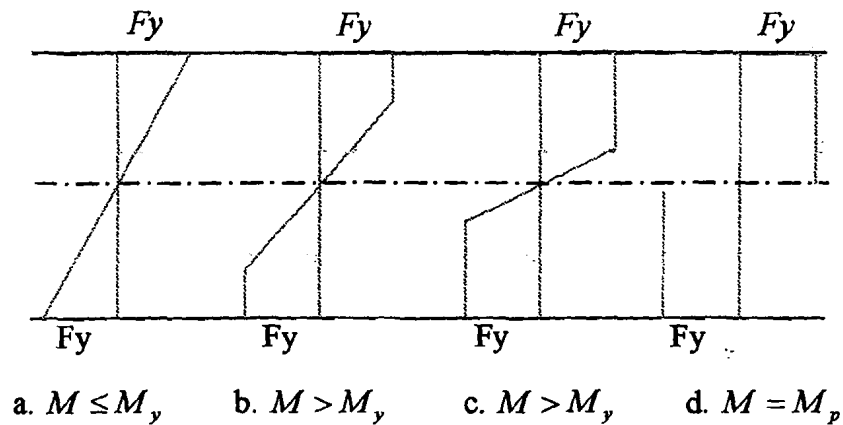
$$\Delta t = \left(\frac{26PL^3}{2592}\right) \quad (3.83)$$

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 3.26 Distribusi Momen Lentur

Pada Gambar (3.26a) 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 (3.26b). Proses ini dapat diteruskan dengan semakin banyak bagian penampang

tersebut yang mengalami tegangan leleh seperti terlihat pada Gambar (3.26c). hingga akhirnya dicapai distribusi tegangan segiempat plastis seperti pada Gambar (3.26d). 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 $h = 5,71 b$ 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 :

$$\frac{I_{Dx}}{I_{Ix}} \approx 1,33 \text{ dan } \frac{I_{Dy}}{I_{Iy}} \approx 1,66$$

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

$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} \approx 1,36$$

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

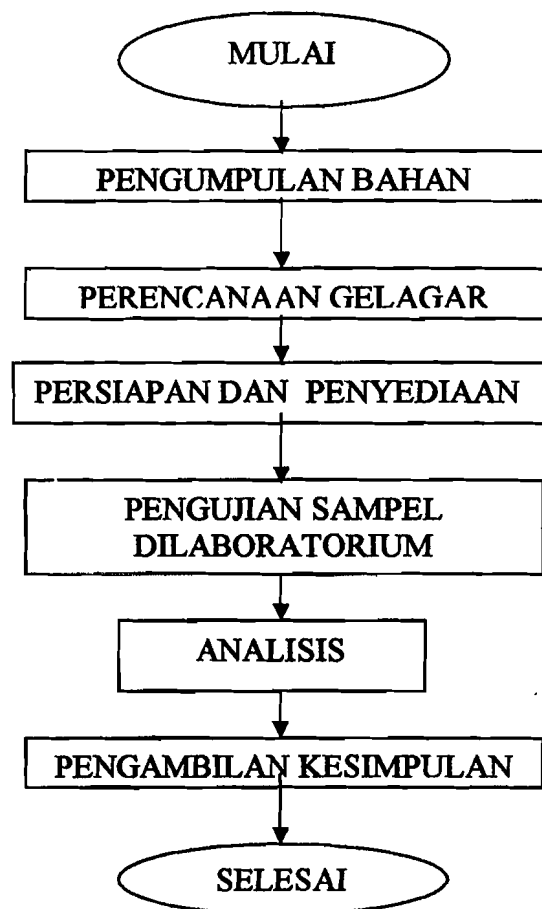
$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} \approx 1.17$$

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 :

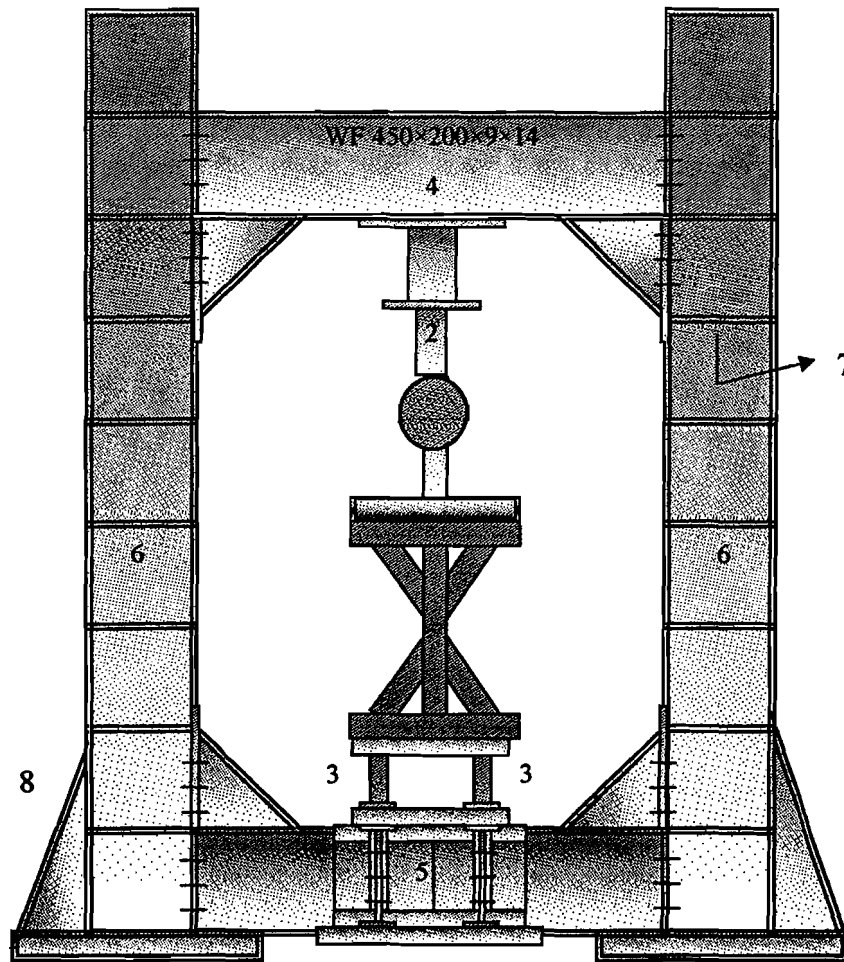
- a. Pelat baja dengan ketebalan 3 mm untuk pelat sayap dan pelat baja dengan ketebalan 2 mm untuk pelat badan dan penopang.
- b. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung las.

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.



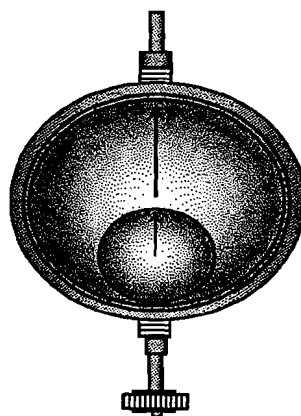
Keterangan :

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*

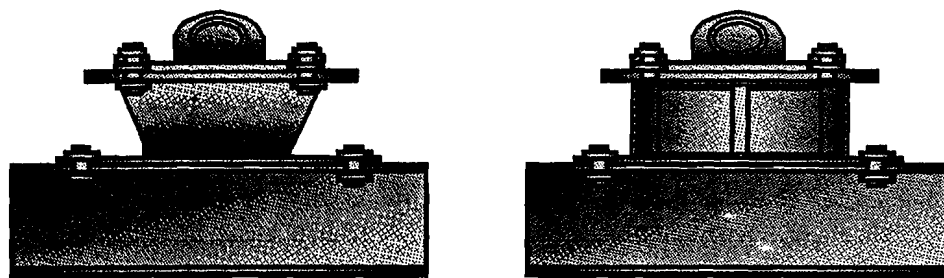
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm. Dalam penelitian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



Gambar 4.3. *Dial Gauge*

c. *Dukungan Sendi dan Rol*

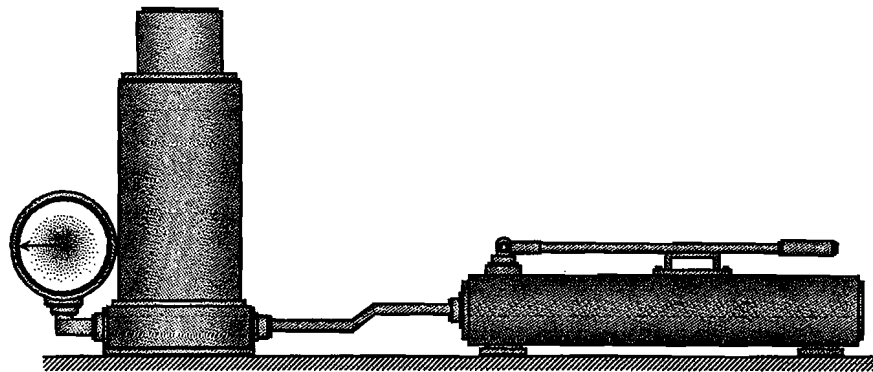
Dukungan sendi dipasang pada salah satu dukungan balok gelagar plat dan dukungan rol dipasang pada dukungan lainnya, seperti pada Gambar 4.4



Gambar 4.4. Dukungan Sendi dan Rol

d. *hydraulic Jack*

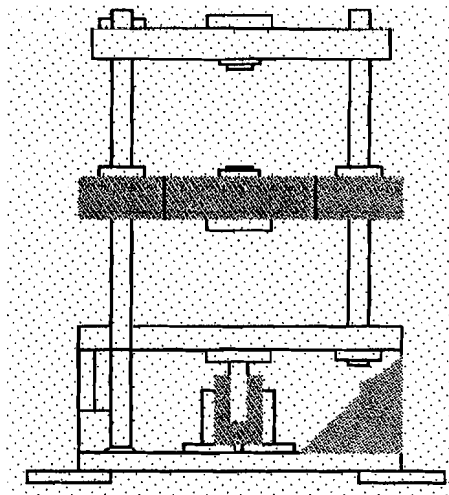
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur gelagar pelat skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton. (lihat Gambar 4.5)



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.

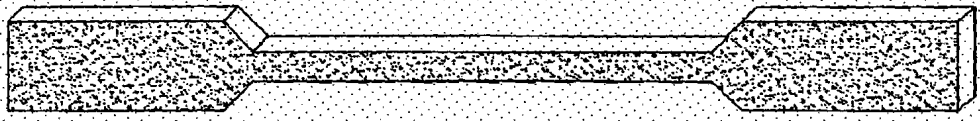


Gambar 4.6 *Universal Testing Machine Shimitsu UMH 30*

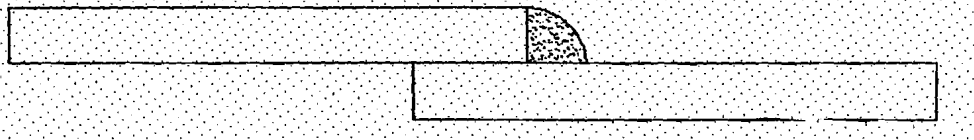
4.3. Model Benda Uji.

a. Benda Uji Tarik Pelat dan Tarik Las

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



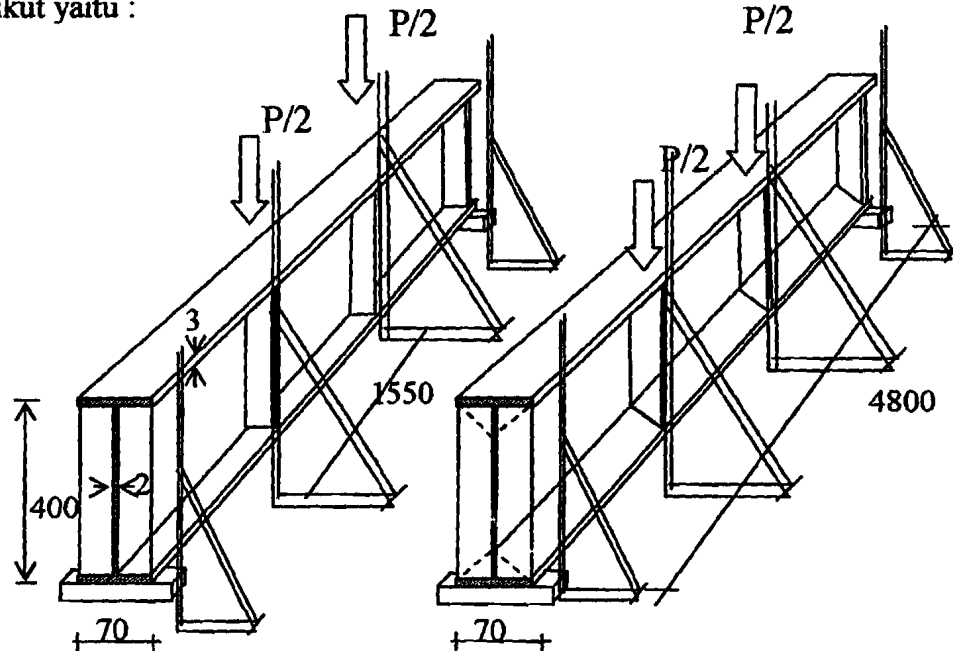
Gambar 4.7 Benda Uji Untuk Kuat Tarik.



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 ∇ -Shapes dan Both ∇ -Shapes serta mempersiapkan bahan. Selanjutnya pembuatan benda uji sesuai dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

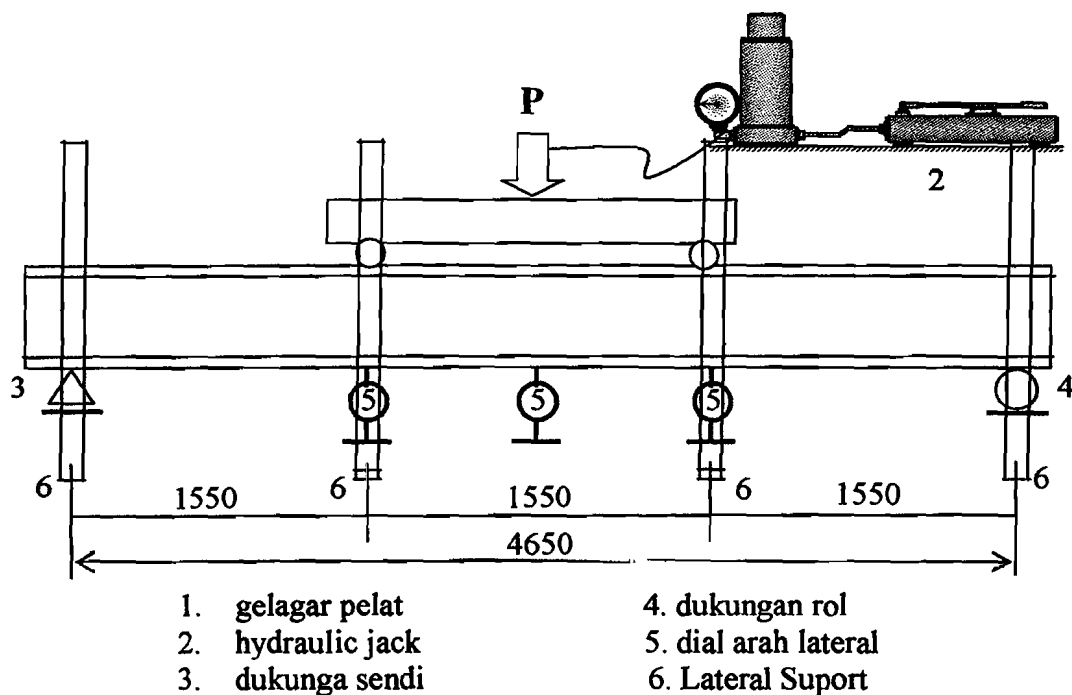
1. Bahan pelat baja yang akan dibuat benda uji di ukur dahulu sesuai dimensi rencana.
2. Potongan pelat baja yang telah jadi kemudian di las listrik secara menerus dengan diberi pengaku dukung sehingga menjadi penampang Dobel Delta.

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

4.5.3. Uji Kuat Tarik Baja Dan Kuat Tarik Las

1. Pemasangan benda uji pada alat uji tarik *Universal Testing Machine (UTM) merk shimizu type UMH – 300* dengan kapasitas 30 ton

2. Benda uji disetting sehingga siap dipakai dalam pengujian, kemudian mesin 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.

Hasil pengujian kuat tarik baja dibuat dari pelat baja dengan ketebalan 2mm dan 3mm. Pengujian 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 tersebut didapatkan data hasil kuat tarik baja pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

No	Benda Uji	Fy (MPa)	Fu (MPa)
1	Pelat 2 mm	230	350
2	Pelat 3 mm	230	300

Dari hasil pengujian kuat tarik baja didapatkan bahwa untuk pelat 2 mm nilai $f_u/f_y = 350/230 = 1,52$, sedangkan pada pelat 3 mm nilai $f_u/f_y = 300/230 = 1,3$. f_u/f_y pelat 2 mm lebih besar daripada f_u/f_y pelat 3 mm. Jadi pelat 2 mm memiliki kuat tarik yang lebih besar. Hasil perhitungan kuat tarik baja dapat dilihat pada lampiran2.

5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.

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

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

No	P Maksimum (N)	Fu (MPa)
1	21000	614

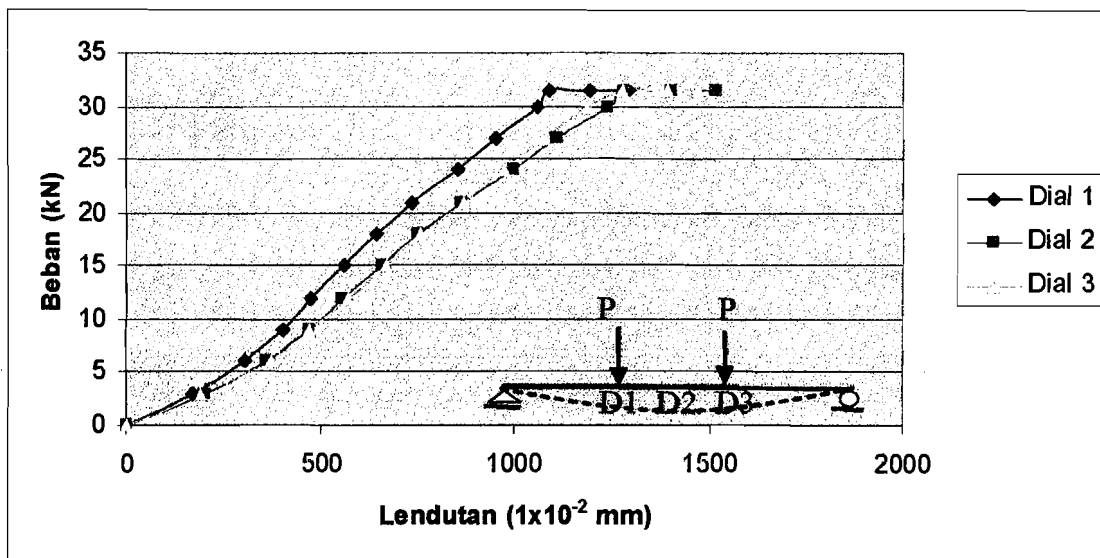
Dari hasil pengujian didapatkan bahwa nilai kuat tarik las yaitu 614 MPa yaitu memenuhi persyaratan las 70 Ksi atau setara dengan 490 MPa. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran 2.

5.3 Hasil Uji Kuat 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 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.

Pengujian kuat lentur gelagar pelat ini dilaksanakan dengan memberikan dua beban yang terletak sepanjang 1550 mm dan terletak pada tengah bentang. Kemudian secara bertahap diberi kenaikan beban sebesar 3 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 pengujian gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :

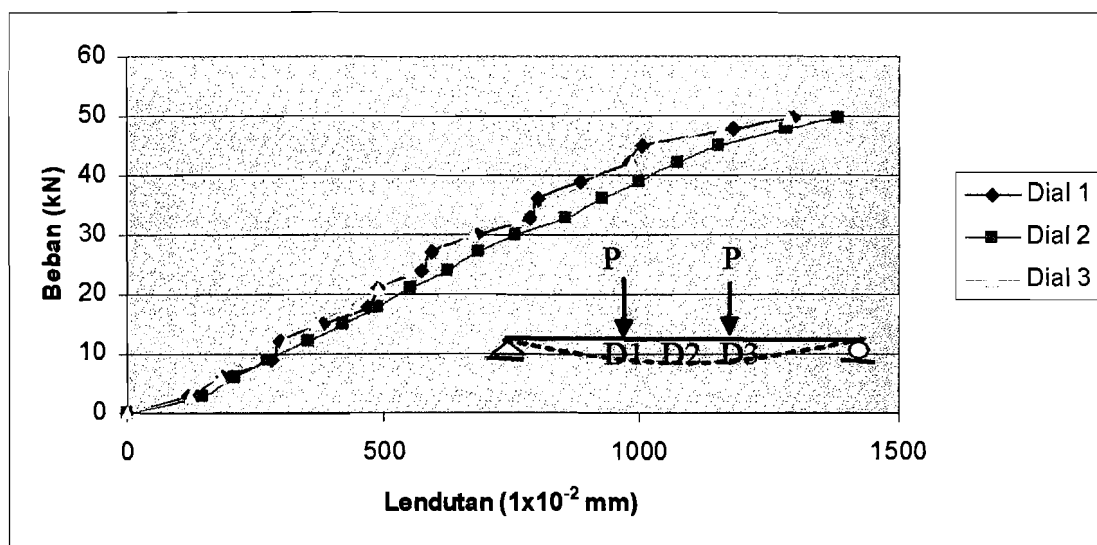


Gambar 5.1 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Gelagar Pelat I

Dari Gambar 5.1 didapatkan data nilai lendutan pada dial 1 sebesar 12,95 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 15,16 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 14,68 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 15,16 mm. Namun pembacaan pada dial 1 dan dial 3 tidak

memiliki nilai yang sama 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 31,5 kN.

Grafik hubungan beban – lendutan pada pengujian gelagar pelat penampang dobel delta dapat dilihat pada Gambar (5.2) yaitu sebagai berikut :



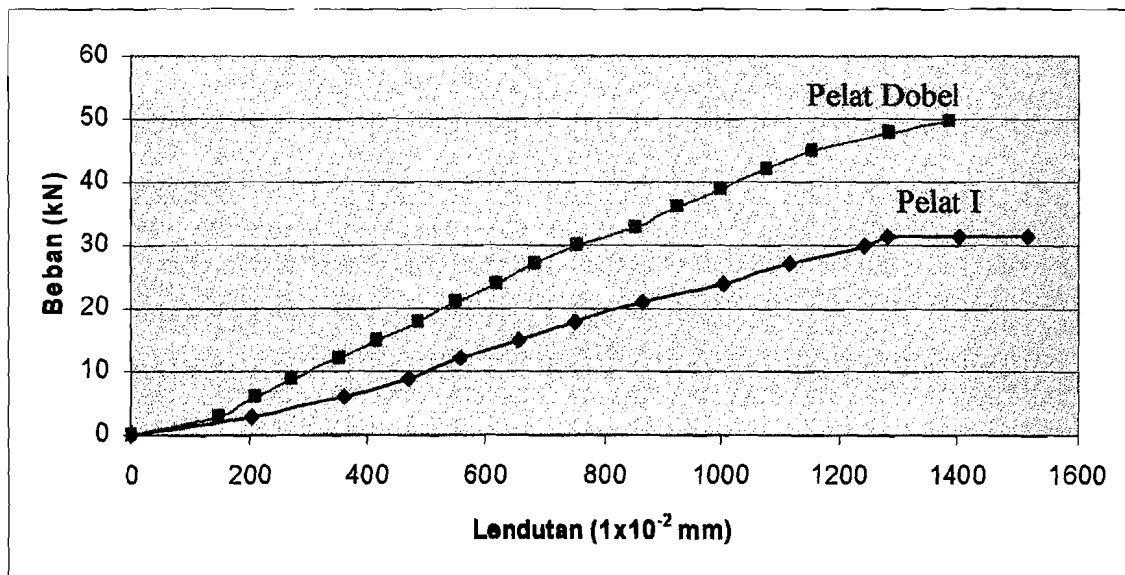
Gambar 5.2 Lendutan Pada Gelagar Pelat Dobel Delta.

Dari Gambar (5.2) didapatkan data nilai lendutan pada dial 1 sebesar 12,99 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 13,86 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 12,88 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 13,86 mm. Namun pembacaan pada dial 1 dan dial 3 tidak memiliki nilai yang sama hal ini dikarenakan pada saat pengujian beban bergeser

sehingga pemberian beban tidak tepat pada 1/3 panjang bentang. Selain itu, dari grafik diatas didapatkan beban maksimum yang diterima oleh gelagar pelat I adalah sebesar 49,5 kN

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. Berikut ini grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian adalah sebagai berikut yaitu :



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Pelat I dan Dobel Delta

Gambar 5.3 menunjukkan gelagar pelat dobel delta lebih besar menerima beban dibandingkan pelat I yaitu 49,5 kN untuk gelagar pelat Dobel Delta dan 31,5 kN untuk gelagar pelat I. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memodifikasi gelagar pelat I menjadi pelat Dobel Delta dapat meningkatkan kekuatan pelat terhadap beban

hingga 1,57 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 :

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

Dengan menggunakan Persamaan 5.1 maka nilai kekakuan untuk profil I dan gelagar dobel delta adalah sebagai berikut yaitu :

Tabel 5.3 Kekakuan Gelagar Pelat I Dengan Berbagai Variasi h/b

Nilai I	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5,7
Beban (kN)	42	36	31,5
Lendutan (mm)	18,82	18,2	15,16
Kekakuan (kN/mm)	2,23	1,97	2,07

Tabel 5.4 Kekakuan Gelagar Pelat Dobel Delta Dengan Berbagai Variasi h/b

Nilai I	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5,7
Beban (kN)	82,5	84	49,5
Lendutan (mm)	19,7	22,19	13,86
Kekakuan (kN/mm)	4,18	3,78	3,57

Dari perhitungan kekakuan diatas tampak jelas bahwa terjadi peningkatan kekakuan sebesar 3,57 untuk gelagar pelat dobel delta dan 2,07 untuk gelagar pelat I. Data ini menunjukkan bahwa dengan memodifikasi pelat I menjadi Pelat Dobel Delta dapat meningkatkan kekakuan gelagar pelat hingga 1,72 kali.

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

Hasil pengujian gelagar pelat I dan Gelagar pelat dobel delta menunjukan beban maksimum (P) pada kedua gelagar yaitu 31,5 kN pada gelagar pelat I dan 49,5 kN pada gelagar pelat dobel delta. Dari beban maksimum dapat diperoleh nilai batas momen maksimum yaitu dengan persamaan 5.2 sebagai berikut :

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

Berdasarkan perhitungan lampiran 3 dan lampiran 7 dapat dibuat tabel sebagai berikut :

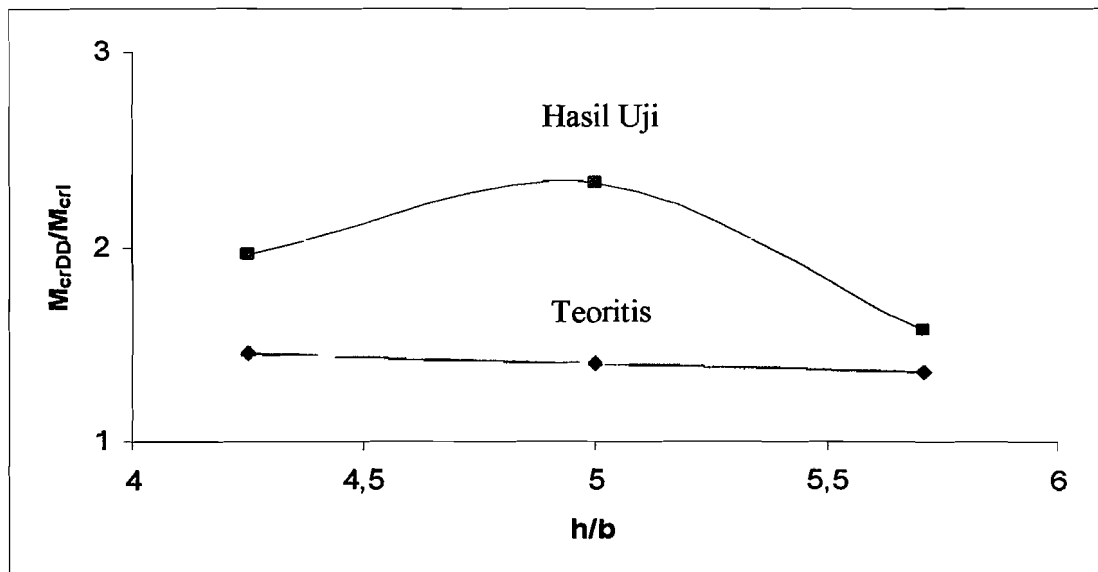
Tabel 5.5 Nilai Momen Kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Variasi	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5.7
I (Nmm)	32550000	27900000	24412500
Dobel Delta (Nmm)	63937500	65100000	38362500
M_{crDD}/M_{crI}	1,96	2,33	1,57

Tabel 5.6 Nilai Momen Kritis Secara Teoritis.

Variasi	$h/b=4,25$	$h/b=5$	$h/b=5,7$
I (Nmm)	44262580	40369600	37588900
Dobel Delta (Nmm)	64436348,66	56684850,1	51042400,82
M_{crDD}/M_{crI}	1,46	1,41	1,35

Tabel (5.5) dan Tabel (5.6) menunjukkan terjadi peningkatan momen kritis hasil pengujian dan nilai momen kritis berdasarkan teori. Dari nilai-nilai diatas dapat ditunjukkan dalam grafik sebagai berikut yaitu :

**Gambar 5.4 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 :

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

Berdasarkan perhitungan lampiran 7 didapatkan nilai S_x sebagai berikut :

Tabel 5.7 Nilai S_x pada Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Profil	I	Dobel Delta
y (mm)	203	203
S_x (mm ³)	136551,363	182631,823

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 :

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

Berdasarkan perhitungan lampiran 7 didapatkan nilai tegangan kritis sebagai berikut :

Tabel 5.8 Nilai Tegangan Kritis Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.

Variasi	h/b = 4,25	h/b=5	h/b=5,71
I (MPa)	196.85	187.81	178,78
Dobel Delta (MPa)	230	230	210.05
F_{crDD}/F_{crI}	1,17	1,22	1,17

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_{cr} , sehingga nilai koefisien tekuk (k) hasil

pengujian dapat dicari dengan persamaan 5.5 dan persamaan 5.6 sebagai berikut yaitu :

k badan :

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

k sayap :

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

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 lampiran 7 didapatkan nilai koefisien tekuk pelat sayap dan pelat badan sebagai berikut :

Tabel 5.9 Nilai Koefisien Tekuk (k) Pelat Sayap Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Variasi	h/b = 4,25	h/b=5	h/b=5,7
k_I	0,25	0,175	0,13
$k_{Dobel\ Delta}$	0,29	0.21	0,15

Tabel 5.10 Nilai Koefisien Tekuk (k) Pelat Badan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Variasi	h/b= 4,25	h/b=5	h/b=5,7
k_I	41.47	39.54	37.64
$k_{Dobel\ Delta}$	28,36	31,02	30.11

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 :

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

Berdasarkan perhitungan lampiran 8 didapatkan nilai hubungan momen - kelengkungan sebagai berikut :

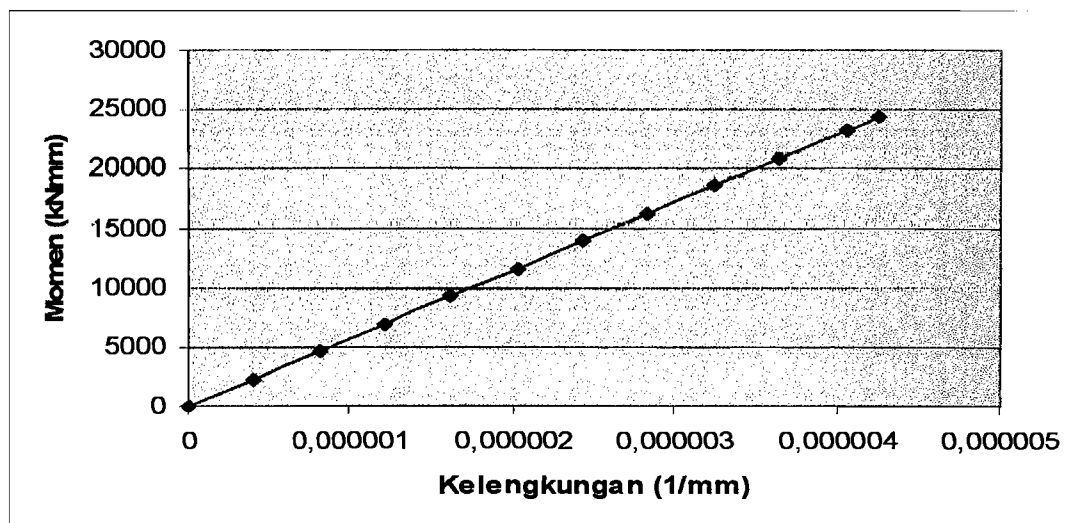
Tabel 5.11 Nilai Kelengkungan gelagar pelat I

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Fcr (MPa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0
3	2325	17.02656	8.11E-05	4.05394E-07
6	4650	34.05312	0.000162	8.10789E-07
9	6975	51.07968	0.000243	1.21618E-06
12	9300	68.10624	0.000324	1.62158E-06
15	11625	85.1328	0.000405	2.02697E-06

Lanjutan Tabel 5.11

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Fcr (MPa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
18	13950	102.1594	0.000486	2.43237E-06
21	16275	119.1859	0.000568	2.83776E-06
24	18600	136.2125	0.000649	3.24315E-06
27	20925	153.239	0.00073	3.64855E-06
30	23250	170.2656	0.000811	4.05394E-06
31.5	24412.5	178.7789	0.000851	4.25664E-06
31.5	24412.5	178.7789	0.000851	4.25664E-06
31.5	24412.5	178.7789	0.000851	4.25664E-06

Dari hasil perhitungan dapat ditunjukkan dengan grafik nilai kelengkungan yang terjadi pada pelat penampang I sebagai berikut yaitu :



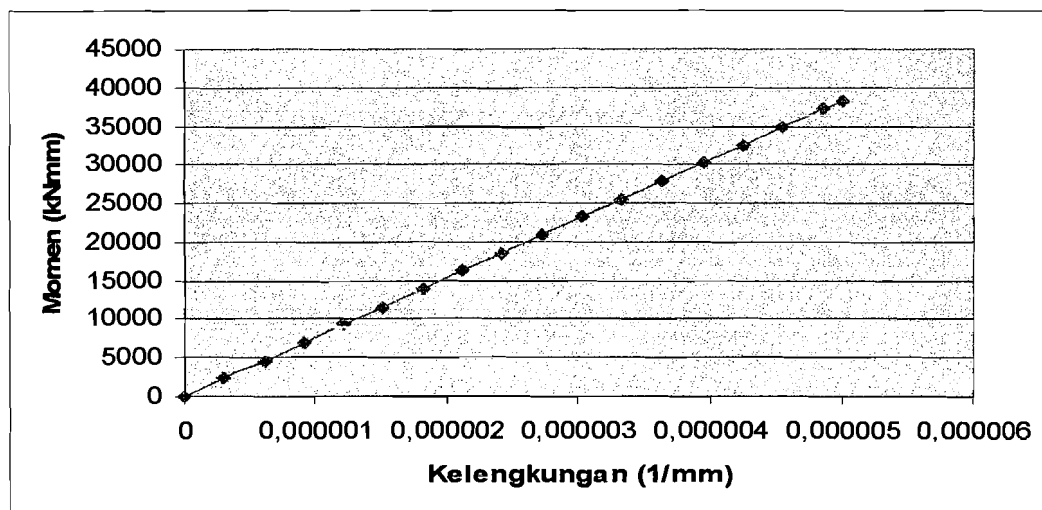
Gambar 5.5 Kurva Momen Kelengkungan Gelagar Pelat I

Dari pengujian pelat dobel delta juga didapatkan nilai kelengkungan sebagai berikut yaitu :

Tabel 5.12 Nilai Kelengkungan gelagar pelat Dobel Delta

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Fcr (MPa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0
3	2325	12.73053	6.06E-05	3.03108E-07
6	4650	25.46106	0.000121	6.06216E-07
9	6975	38.19159	0.000182	9.09324E-07
12	9300	50.92212	0.000242	1.21243E-06
15	11625	63.65265	0.000303	1.51554E-06
18	13950	76.38318	0.000364	1.81865E-06
21	16275	89.11371	0.000424	2.12176E-06
24	18600	101.8442	0.000485	2.42486E-06
27	20925	114.5748	0.000546	2.72797E-06
30	23250	127.3053	0.000606	3.03108E-06
33	25575	140.0358	0.000667	3.33419E-06
36	27900	152.7664	0.000727	3.63729E-06
39	30225	165.4969	0.000788	3.9404E-06
42	32550	178.2274	0.000849	4.24351E-06
45	34875	190.958	0.000909	4.54662E-06
48	37200	203.6885	0.00097	4.84973E-06
49.5	38362.5	210.0538	0.001	5.00128E-06

Adapun Grafik hubungan kelengkungan pada gelagar pelat penampang dobel delta adalah sebagai berikut yaitu :



Gambar 5.6 Kurva Momen Kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta

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

Berdasarkan perhitungan lampiran 9 didapatkan nilai rasio momen nominal terhadap momen leleh versus kelangsingan sebagai berikut :

Tabel 5.13 Nilai M_n/M_y terhadap h/t_w pelat I dan Dobel Delta

Benda Uji	Mn/My		M _{nDD} /M _{nI}
	I	Dobel Delta	
h/b = 4,25	0,85	1	1,17
h/b = 5	0,78	1	1,28
h/b = 5,71	0,77	0,91	1,18