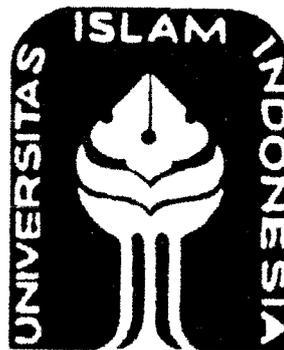


PERPUSTAKAAN FTSP UIN	
HADIWIBELI	
TGL. TERIMA :	13 Februari 2007
NO. JUDUL :	002162
NO. INV. :	520002162001
NO. INDEK. :	

TUGAS AKHIR

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

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



Disusun oleh:

R.SINDHU ADITYO

02 511 027

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

2006

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UIN YOGYAKARTA

**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

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

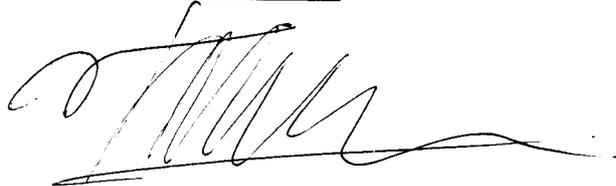
**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar
Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia Jogjakarta**

Disusun Oleh :

**Nama : R.Sindhu Adityo
No. Mhs : 02 511 027**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I



Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT

Tanggal : 30/8-2006

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Carilah ilmu sampai di Negeri Cina”

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

“Dan jangan sebagian kamu memakan harta sebagian yang lain diantara kamu dengan jalan yang bathil” (QS. Al Baqarah : 188)

PERSEMBAHAN

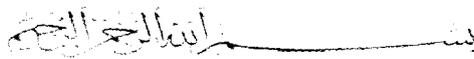
Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

Almamater tercinta Universitas Islam Indonesia

Teman-teman Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia

Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dikemudian hari.

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

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

Tugas akhir dengan judul **KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG I DAN PENAMPANG DOBEL DELTA DENGAN RASIO TINGGI TERHADAP LEBAR LIMA** diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

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

1. Prof. DR. Edy Suandi Hamid, M.Ec selaku Rektor Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.
2. DR.Ir.H Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

3. Ir.H.Faisol AM. MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
4. Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir dan selaku Kepala Laboratorium Mekanika Rekayasa, yang telah memberikan ide-ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya tugas akhir ini.
5. Staf Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
6. Mama dan Papa tercinta yang telah membimbing sejak kecil hingga kini dan selalu memberikan dorongan baik secara moral maupun material.
7. De'An tersayang yang selalu memberikan motivasi, semangat dan doanya.
8. Fajar dan Widhid selaku teman penelitian serta teman-temanku semua, aa deden, iwan, amal makruf, rikhi, kate, ulung, mang heru, dan lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

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

Tidak ada yang dapat saya berikan selain ucapan terima kasih ini bermanfaat dan memberikan tambahan ilmu bagi kita semua. Semoga Allah SWT meridloi kita semua, amin.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh.

Jogjakarta, Agustus 2006

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
ABSTRAKSI.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan penelitian.....	3
1.3 Manfaat penelitian.....	3
1.4 Batasan masalah.....	4
1.5 Keaslian penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III LANDASAN TEORI.....	10
3.1 Tegangan pada penampang gelagar pelat.....	10
3.2 Penampang I dan Penampang dobel delta.....	11

3.3	Tegangan kritis pelat.....	15
3.4	Tekuk elastis pelat akibat tekan.....	15
3.5	Tekuk elastis akibat lentur murni.....	18
3.6	Tekuk elastis akibat geser.....	20
3.7	Rasio kelangsingan batas pelat sayap.....	22
3.8	Rasio kelangsingan batas pelat badan.....	24
3.9	Momen batas gelagar pelat.....	24
3.10	Momen batas berdasarkan tekuk lokal.....	26
3.11	Momen batas berdasarkan tekuk puntir.....	28
3.12	Karakteristik gelagar pelat.....	38
3.13	Lendutan Gelagar Pelat.....	41
3.14	Desain Plastis Gelagar Pelat.....	44
3.13	Hipotesa.....	46
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN.....		47
4.1	Tahap-tahap penelitian.....	47
4.2	Bahan.....	49
4.3	Peralatan.....	49
4.4	Benda uji gelagar pelat penampang I dan dobel delta.....	52
4.5	Pembuatan Benda Uji.....	53
4.5	Set up peralatan.....	53
4.6	Pelaksanaan pembebanan.....	54
4.8	Uji Kuat Tarik Baja dan Kuat Tarik Las.....	54

BAB V HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN.....	55
5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	55
5.2 Hasil Perhitungn Kuat Tarik Las.....	56
5.1 Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang I dan DD.....	56
5.1.1 Hubungan beban-lendutan gelagar penampang I dan DD.....	57
5.1.2 Nilai tegangan Kritis (F_{cr}) Gelagar I dan Dobel Delta.....	59
5.1.3 Nilai Koefisien Tekuk.....	61
5.2 Pembahasan.....	62
5.2.1 Pelat I dan Dobel Delta setelah pengujian.....	62
5.2.2 Hubungan beban-lendutan pelat hasil uji.....	63
5.2.3 Rasio nilai momen batas (M_{cr}) gelagar I dan dobel delta.....	66
5.2.4 Rasio nilai tegangan kritis (F_{cr}) gelagar I dan dobel delta.....	68
5.2.5 Rasio nilai koefisien tekuk (k) gelagar I dan dobel delta.....	70
5.2.6 Nilai faktor kelengkungan gelagar I dan dobel delta.....	73
5.2.7 Hubungan rasio M_n/M_y terhadap h/t_w gelagar I dan dobel delta.....	77
5.2.8 Rasio momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan.....	78
5.2.9 Perbandingan tekuk local terhadap nilai momen puntir lateral.....	80
5.2.10 Desain Plastis Gelagar.....	81
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
6.1 KESIMPULAN.....	83
6.2 SARAN.....	84
6.3 PENUTUP.....	85

DAFTAR PUSTAKA.....	86
LAMPIRAN 1	Arsip Tugas Akhir
LAMPIRAN 2	Hasil Hitungan Kuat Tarik Baja
LAMPIRAN 3	Perhitungan Momen Batas Tekuk Lokal dan Tekuk Puntir Lateral
LAMPIRAN 4	Perhitungan Beban Maksimum Teoritis Pelat
LAMPIRAN 5	Perhitungan Beban Teoritis Berdasarkan Tegangan Geser
LAMPIRAN 6	Tabel dan Grafik Beban-Lendutan Hasil Uji
LAMPIRAN 7	Perhitungan Koefisien Tekuk Pelat Hasil Uji
LAMPIRAN 8	Tabel dan Grafik Momen-Kelengkungan Hasil Uji
LAMPIRAN 9	Perhitungan Rasio Momen Nominal terhadap Momen Leleh Teoritis
LAMPIRAN 10	Perhitungan Lendutan Teoritis
LAMPIRAN 11	Desain Plastis Gelagar
LAMPIRAN 12	Foto Kerusakan Benda Uji

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Gelagar pelat dengan beban transversal.....	9
Gambar 3.2 Gambar penampang I dan penampang dobel delta.....	11
Gambar 3.3 Grafik rasio inersia I_x gelagar I dan dobel delta.....	14
Gambar 3.4 Grafik rasio inersia I_y gelagar I dan dobel delta.....	14
Gambar 3.5 Pelat memikul tekanan merata.....	16
Gambar 3.6 Grafik koefisien tekuk pelat yang memikul tekanan merata.....	17
Gambar 3.7 Grafik hubungan koefisien tekuk pelat badan terhadap rasio a/h	18
Gambar 3.8 Koefisien tekuk local pelat assembling profil I.....	19
Gambar 3.9 Koefisien tekuk local pelat assembling penampang box.....	19
Gambar 3.10 Pelat memikul tegangan geser.....	21
Gambar 3.11 Nilai koefisien tekuk dengan variasi a/h	21
Gambar 3.12 Kurva parameter kelangsingan pelat panjang.....	23
Gambar 3.13 Grafik rasio momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan.....	25
Gambar 3.14 Gambar detail penampang I dan penampang dobel delta.....	27
Gambar 3.15 Grafik rasio momen kritis berdasarkan tekuk local pelat I dan DD.....	28
Gambar 3.16 Balok dibebani dengan beban merata.....	29
Gambar 3.17 Balok gelagar pelat terpuntir.....	29
Gambar 3.18 Deformasi balok akibat puntir.....	29
Gambar 3.19 Distribusi tegangan geser pada puntir murni.....	30

Gambar 3.20 Defleksi lateral pada sayap.....	31
Gambar 3.21 Balok tertekuk akibat puntir lateral.....	33
Gambar 3.22 Komponen momen puntir.....	35
Gambar 3.23 Grafik rasio momen kritis berdasarkan tekuk local pelat I dan DD	38
Gambar 3.24 Gelagar pelat dengan beban terpusat P.....	38
Gambar 3.25 Contoh kurva beban deformasi.....	39
Gambar 3.26 Kurva momen-kelengkungan.....	41
Gambar 3.27 Kurva elastis.....	41
Gambar 3.28 Aksi momen akibat beban terpusat.....	43
Gambar 3.29 Distribusi momen lentur.....	45
Gambar 4.1 Bagan alir pelaksanaan penelitian.....	48
Gambar 4.2 Portal pemikul beban.....	49
Gambar 4.3 Dial gauge kapasitas 50 mm.....	50
Gambar 4.4 Dukungan sendi dan rol.....	50
Gambar 4.5 Hidraulic Jack.....	51
Gambar 4.6 Universal Testing Machine.....	51
Gambar 4.7 Model gelagar penampang I dan Dobel Delta.....	52
Gambar 4.8 Benda uji kuat tarik.....	52
Gambar 4.9 Benda uji kuat tarik las.....	53
Gambar 4.10 Set Up Peralatan.....	54
Gambar 5.1 Grafik hubungan beban dan lendutan penampang I.....	57
Gambar 5.2 Grafik hubungan beban dan lendutan penampang dobel delta.....	58
Gambar 5.3 Grafik perbandingan lendutan gelagar I dan gelagar dobel delta.....	59

Gambar 5.3 Grafik nilai beban dan lendutan gelagar I.....	64
Gambar 5.4 Grafik nilai beban dan lendutan gelagar dobel delta.....	65
Gambar 5.5 Grafik hubungan M_{cr} hasil uji dan teoritis.....	68
Gambar 5.6 Kurva parameter kelangsingan panjang.....	69
Gambar 5.7 Grafik hubungan rasio a/b terhadap nilai koefisien tekuk pelat.....	71
Gambar 5.8 Grafik koefisien tekuk pelat badan.....	72
Gambar 5.9 Grafik koefisien tekuk local pada batang tekan.....	73
Gambar 5.10 Grafik kelengkungan pelat I.....	75
Gambar 5.11 Grafik kelengkungan pelat dobel delta.....	77
Gambar 5.12 Grafik hubungan momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan hasil uji.....	79
Gambar 5.13 Distribusi momen lentur gelagar.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tari Baja.....	55
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....	56
Tabel 5.3 Nilai M_{cr} gelagar I dan dobel delta hasil pengujian.....	60
Tabel 5.4 Nilai y dan I_x gelagar I dan dobel delta.....	60
Tabel 5.5 Nilai F_{cr} gelagar I dan dobel delta.....	60
Tabel 5.6 Nilai koefisien tekuk hasil penelitian gelagar I dan dobel delta.....	62
Tabel 5.7 Nilai beban-lendutan gelagar I.....	63
Tabel 5.8 Nilai beban-lendutan gelagar dobel delta.....	64
Tabel 5.9 Nilai rasio M_{cr} dobel delta terhadap I hasil pengujian.....	66
Tabel 5.10 Nilai rasio M_{cr} dobel delta terhadap I teoritis.....	66
Tabel 5.11 Nilai tegangan kritis (F_{cr}) tiga sample pengujian.....	68
Tabel 5.12 Nilai koefisien tekuk sayap gelagar I dan dobel delta hasil uji.....	70
Tabel 5.13 Nilai koefisien tekuk badan gelagar I dan dobel delta hasil uji.....	71
Tabel 5.14 Nilai kelengkungan gelagar pelat I.....	74
Tabel 5.15 Nilai kelengkungan gelagar pelat dobel delta.....	75
Tabel 5.16 Hubungan M_n/M_y terhadap h/t_w gelagar I dan dobel delta.....	76
Tabel 5.17 Momen batas terhadap tekuk local versus tekuk lateral gelagar I.....	80
Tabel 5.18 Momen batas terhadap tekuk local versus tekuk lateral gelagar DD.....	81
Tabel 5.19 Nilai M_{cr} hasil uji dan Momen Plastis.....	82

DAFTAR NOTASI

a	=	Jarak antar pengaku
A_b	=	Abruto = Luas penampang lintang bruto
A_e	=	Luas efektif
A_{pb}	=	Luas kontak pengaku
A_w	=	Luasan badan
b	=	Lebar pelat sayap
b_E	=	Lebar efek dimana tegangan maksimum dapat dianggap semua yang dapat memberikan kapasitas tebal yang tepat
b_f	=	Lebar Flens
C_b	=	Faktor untuk menghitung gradient momen kekuatab balok, Nilainya 1,0-2,3
C_c	=	Rasio kerampingan KL/r yang memisahkan antara kolom Panjang dan pendek ASD
C_w	=	Konstanta kelengkungan puntir
d	=	Tinggi gelagar
D_w	=	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 A_w terhadap luas penampang A_f salah satu sayap
σ	=	Tegangan
π	=	Konstanta ($\frac{22}{7}$)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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

puntir lateral dipengaruhi oleh rasio panjang bentang antara dua tumpuan lateral jari-jari inersia minimumnya (L_b/r_y).

Pada pelat sayap gelagar I memiliki desain yang hanya ditumpu pada salah satu sisinya, sehingga dapat berpotensi mengalami tekuk. Untuk menghindari tekuk (elastis maupun inelastis), ukuran sayap dipertebal. Momen inersia sumbu lemah gelagar I relatif kecil dibanding momen inersia sumbu kuat karena itu gelagar penampang I berpotensi mengalami tekuk puntir lateral (*lateral torsional buckling*). Guna mencegah tekuk puntir lateral di tempat-tempat tertentu pada penampang yang tertekan dipasang dukungan lateral (*lateral support*). Tekuk lokal dan tekuk puntir yang terjadi pada gelagar pelat penampang I menunjukkan momen batas gelagar I belum maksimal dan masih mungkin ditingkatkan.

Momen batas (momen nominal) gelagar pelat penampang I masih mungkin ditingkatkan dengan memodifikasi penampang I menjadi penampang dobel delta. Pada gelagar penampang I ditambah pelat-pelat penopang yang menghubungkan sisi-sisi luar pelat sayap dengan pelat badan. Penambahan pelat-pelat penopang secara teoritis dapat meningkatkan kekuatan pelat badan dan pelat sayap, selain itu juga dapat meningkatkan momen inersia (I_x) dan (I_y). Dengan demikian penambahan pelat penopang tersebut juga dapat meningkatkan momen batas (momen nominal). Di sisi lain penambahan pelat-pelat penopang membutuhkan material tambahan dan biaya pembuatan. Jika peningkatan kapasitas lebih besar dibanding peningkatan material dan biaya pembuatan maka penggunaan gelagar pelat dobel delta sebagai komponen struktur alternatif layak dipertimbangkan.

Momen batas gelagar pelat penampang dobel delta dapat dianalisis berdasarkan teori stabilitas pelat dan kekuatan bahan (*strength of materials*), namun hingga sekarang belum tersedia formula praktis untuk keperluan ini. Guna mengetahui kapasitas batas gelagar pelat penampang dobel delta dan rasio kapasitas batas gelagar dobel delta terhadap kapasitas batas gelagar I perlu dilakukan penelitian ekperimental.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian perilaku lentur gelagar pelat penampang dobel delta antara lain:

1. Mendapatkan kapasitas lentur nyata gelagar pelat penampang dobel delta yang mempunyai tinggi dan lebar sama dengan gelagar pelat menampang I,
2. Mendapatkan kurva beban-deformasi ($P - \Delta$) dan kekakuan gelagar pelat penampang dobel delta dan gelagar pelat penampang I,
3. Mendapatkan kurva momen-kelengkungan dan faktor kekakuan gelagar pelat penampang dobel delta dan penampang I yang mempunyai tinggi dan lebar sama,
4. Mendapatkan rasio kapasitas lentur gelagar dobel delta terhadap kapasitas lentur gelagar I yang mempunyai tinggi dan lebar sama.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian eksperimental ini yaitu:

1. Merupakan pengembangan pengetahuan yang telah ada, khususnya tentang momen nominal dan perilaku lentur gelagar pelat penampang dobel delta,

2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan struktur lentur bentang panjang.

1.4. Batasan Masalah

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

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

1.5. Keaslian Penelitian

Berdasarkan studi pustaka, belum dijumpai penelitian ekperimental rasio kapasitas lentur gelagar pelat penampang dobel delta terhadap penampang I. Jika dikemudian hari diketahui sudah ada penelitian serupa, namun parameter yang digunakan tidak sama dengan parameter yang digunakan dalam penelitian ini, dengan demikian dapat disimpulkan penelitian ini asli.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelagar Pelat

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

2.2. Bentuk Penampang

(*Taly, 1998*) Penampang gelagar pelat yang sederhana adalah penampang I, terdiri dari dua sayap yang relatif tebal dihubungkan menerus dengan pelat badan yang langsing. Penampang gelagar pelat yang lain berupa penampang dobel delta, yaitu merupakan modifikasi dari penampang I dengan cara menambah batang penopang yang digunakan sebagai penghubung tepi-tepi pelat sayap dengan pelat badan.

2.3. Tegangan Kritis Pelat

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

terhadap nilai koefisien tekuk (k) dan modulus elastisitasnya (E), namun berbanding terbalik dengan nilai kuadrat rasio lebar terhadap tebal sayap pelat (b/t). Sehingga semakin lebar pelat sayapnya maka semakin kecil nilai tegangan kritisnya dan berlaku sebaliknya.

Salmon dan Johnson (1996) Menyatakan bahwa pelat sayap memikul tegangan tekan dan tidak diberi pengaku 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).

2.4. Tekuk Pada Sayap

Samuel H Marcus (1977), mengemukakan bahwa Tekuk pada sayap adalah tekuk yang terjadi akibat beban maksimal yang ditumpu dan pelat tersebut tidak patah, meskipun dilihat bukan suatu masalah besar namun kestabilan gelagar tersebut sudah tidak bisa diandalkan. Ada 2 macam tekuk pada sayap yaitu: tekuk pada sayap yang telah diperkaku dan tekuk pada sayap yang belum diperkaku. Hal ini dikemukakan juga oleh *Tally (1996)* yaitu tekuk pada sayap dipengaruhi oleh rasio kelangsingan, rasio b/t pada keadaan elastis dan rasio b/t terhadap kekuatan tekuk lateral (*post buckling strength*).

2.6 Tekuk Pada Badan

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

2.5. Tekuk puntir lateral

Samuel H Marcus (1977), menyatakan bahwa tekuk puntir lateral terjadi tergantung kekuatan bajanya, dimana sepanjang pertemuan pelat sayap terhadap pelat badan tidak dijepit atau tidak ada penopangnya (*bracing*). Bracing yang dipasang sempurna berguna untuk mencegah tekuk lateral akibat perilaku plastis.

2.6. Kapasitas Lentur Gelagar Pelat

Salmon dan Johnson (1996) mengemukakan kekuatan nominal tereduksi (M_n) dipengaruhi oleh fungsi rasio luas badan terhadap terhadap luas sayap (A_w/A_f), rasio tinggi badan terhadap tebal (h/t_w), rasio panjang total terhadap jari-jari girasi (L/r_y) dan rasio lebar sayap terhadap tebal (b/t_f).

2.7. Kelangsingan Batas Elemen Pelat

Salmon dan Johnson, (1996) mengemukakan bahwa kelangsingan pelat sayap perlu dibatasi agar dapat mencapai tegangan kritis yang nilainya sama dengan tegangan leleh. Kelangsingan pelat badan perlu dibatasi agar pelat tersebut mempunyai kekuatan

cukup untuk mencegah tekuk vertikal sayap. Pelenturan gelagar menimbulkan komponen gaya vertikal dan mengakibatkan tekanan pada tepi-tepi badan yang berhubungan dengan sayap.

2.8. Hubungan Beban-deformasi

Timoshenko dan Krieger (1961) menyatakan kekakuan suatu struktur sebagai rasio beban deformasi (P/Δ).

2.9. 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 deferenes* 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 ($M - \phi$)

2.10. Koefisien Pelat Assembling

N.S Trahair dan M Bradford (1988) menyatakan bahwa Perakitan pelat girder yang mengalami tekuk local dapat dicek melalui hubungan antara rasio b/d dengan koefisien tekuk local pada sayap yang terjadi. Dimana b adalah lebar $\frac{1}{2}$ pelat sayap, d adalah tinggi pelat badan, k adalah koefisien tekuk pelat, T adalah tebal pelat sayap, dan t

adalah tebal pelat badan. Secara teoritis, semakin besar nilai rasio b/d maka nilai koefisien tekuk local semakin besar sehingga membentuk grafik T/t .

2.11 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. Dikemukakan juga oleh *Leonard Spiegel dan Limbrunner (1991)*, 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.

2.12 Desain Plastis Gelagar Pelat

Leonard Spiegel dan Limbrunner (1991) menyatakan bahwa metode desain plastis memanfaatkan kekuatan cadangan balok baja yang ada setelah tercapai leleh pada beberapa lokasi. Teori plastis menggunakan hubungan tegangan-regangan yang meliputi juga daerah plastis hingga mencapai *strain hardening*.

BAB III

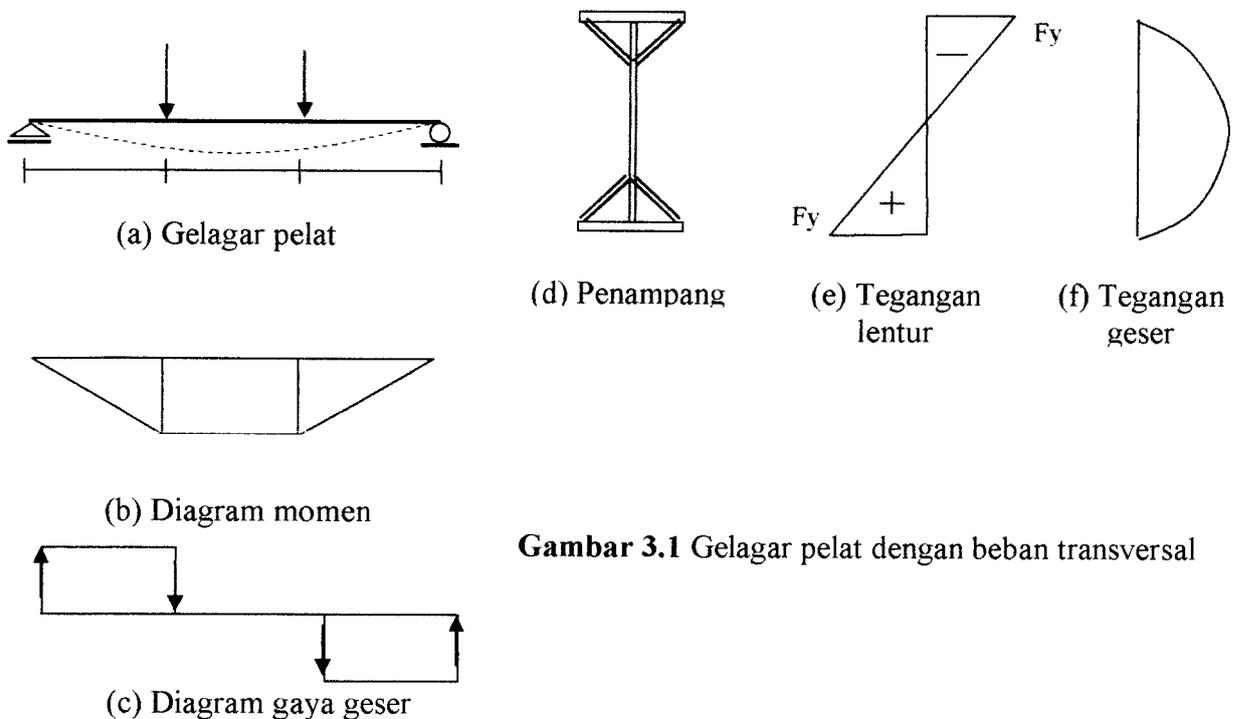
LANDASAN TEORI

3.1. Tegangan Pada Penampang Gelagar Pelat

Beban P yang bekerja pada gelagar pelat tumpuan sederhana Gambar 3.1a menimbulkan momen dan gaya geser (Gambar 3.1b dan 3.1c). Jika beban P melalui pusat geser penampang dobel delta Gambar 3.1d akan menerima distribusi tegangan lentur dan tegangan geser (Gambar 3.1e dan 3.1f) saat keadaan elastis, besar tegangan oleh *Timoshenko dan Gere* (1961) dihitung dengan Persamaan (3.1), yaitu

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

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



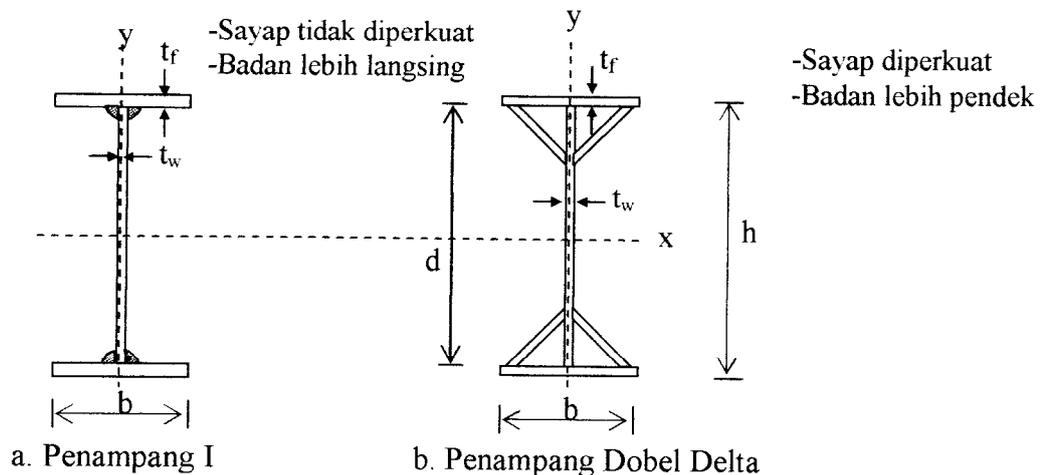
Gambar 3.1 Gelagar pelat dengan beban transversal

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \quad (3.2)$$

Dimana komponen persamaannya adalah V = gaya geser, Q = momen statis luasan dan b = lebar penampang. Sayap atas gelagar pelat dobel delta memikul tegangan tekan, sayap bawah memikul tegangan tarik, badan gelagar memikul tegangan lentur sebesar $\frac{1}{6}PL$ dan tegangan geser sebesar $\frac{P}{2}$.

3.2 Penampang I dan Penampang Dobel delta

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



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

Dari Gambar 3.2 terlihat bahwa notasi b adalah lebar gelagar, t_f adalah tebal sayap, t_w adalah tebal badan, d adalah tinggi dalam gelagar, dan h adalah tinggi total gelagar. Apabila kedua penampang tersebut mempunyai tinggi 400 cm dan lebar 80 cm, dibuat dari pelat yang tebalnya sama, pelat sayap 3 mm dan pelat badan 2 mm, maka dapat kita ketahui pula bahwa momen-momen inersia penampang dobel delta secara teoritis lebih besar dibanding momen inersia penampang I. Secara teoritis momen inersia (I_x dan I_y) penampang tersebut dapat dihitung dengan Persamaan (3.3a) dan Persamaan (3.3b) yaitu:

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

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

Momen-momen inersia (I_{ix}) dan (I_{iy}) penampang I yang badannya langsing dan terbuat dari pelat-pelat segi empat dapat didekati dengan Persamaan (3.4a) dan (3.4b), yaitu

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

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

Pelat gelagar penampang dobel delta merupakan hasil modifikasi penampang I yang diberi pelat penopang setebal 2mm yaitu dengan menghubungkan ujung pelat-pelat sayap dengan pelat badan membentuk sudut 45° . Sehingga momen inersia penampang dobel delta dapat dihitung hampir sama dengan penampang I, hanya saja ada penambahan

perhitungan untuk pelat penopangnya, persamaan momen inersia penampang I dan delta yaitu:

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

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

Berdasarkan persamaan (3.5.a) dan (3.5.b) terhadap persamaan (3.6a) dan (3.6b) dapat diambil rasio momen inersia dari kedua penampang tersebut, yaitu:

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

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

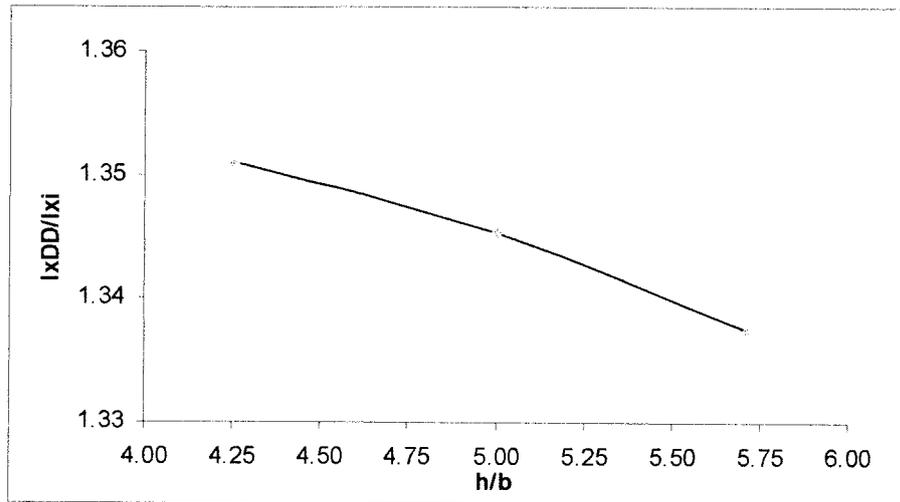
Bila ditetapkan $b = 5 d$ dan $t_f = 1,5 t_w$ rasio momen inersia penampang delta terhadap momen inersia penampang I adalah:

$$\frac{I_{Dx}}{I_{Ix}} \approx 1,34 \quad \text{dan} \quad \frac{I_{Dy}}{I_{Iy}} \approx 1,66 \quad (3.7)$$

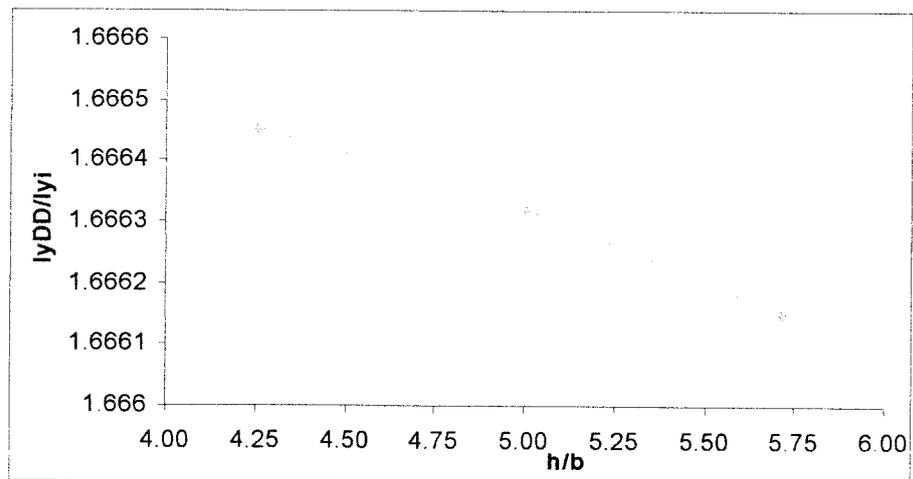
Rasio luas penampang Gambar 3.2a terhadap Gambar 3.2b adalah:

$$\frac{A_d}{A_i} \approx 1,35 \quad (3.8)$$

Dari hasil analisis tampak bahwa rasio momen inersia lebih besar dibanding rasio luas penampang. Persamaan tersebut akan lebih jelas jika divariasikan tinggi terhadap lebar pelat yang dimiliki oleh saudara Widhid $h/b=4,2$ dan saudara Fajar $h/b=5,7$ maka didapatkan grafik rasio inersia sumbu kuat (I_x) dan rasio inersia sumbu lemah (I_y) pelat Dobel Delta terhadap pelat I adalah sebagai berikut yaitu :



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



Gambar 3.4 Grafik rasio inersia y (I_y) gelagar pelat penampang I dan penampang Dobel Delta.

Gambar grafik secara teoritis bahwa penambahan pelat penopang pada badan dan sisi sayap pelat akan meningkatkan momen inersia sumbu lemah dan sumbu kuat.

3.3. Tegangan Kritis Pelat

Tegangan kritis pelat adalah tegangan pada saat pelat menjadi tidak stabil, tegangan ini yang membatasi kapasitas momen (momen batas) gelagar pelat penampang dobel delta maupun penampang I. Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan kritis adalah koefisien tekuk pelat (k), modulus elastisitas (E), dan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (b/t).

3.4. Tekuk Elastis Pelat Akibat Tekan

Elemen pelat yang menerima tegangan tekan berpotensi mengalami tekuk. Keseimbangan pelat isotropik yang ditumpu sederhana pada ke empat sisinya (Gambar 3.5) dan memikul gaya $N_x = \sigma_x \cdot t$ oleh *Timoshenko and Gere (1961)* dinyatakan dengan Persamaan:

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

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

$$q = -N_x \frac{\delta^4 w}{\delta x^2} \quad (3.10)$$

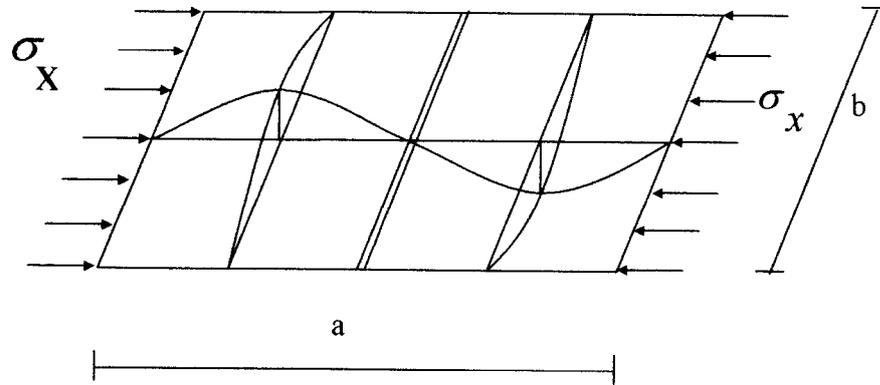
Bila Persamaan (3.9) disubstitusikan dengan Persamaan (3.10), maka didapatkan persamaan sebagai berikut yaitu :

$$\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = - \frac{N_x}{D} \frac{\delta^2 \omega}{\delta x^2} \quad (3.11)$$

Dimana $D = Et^2 / 12(1 - \mu^2)$ 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 3.5 sebagai berikut yaitu :



Gambar 3.5 Pelat memikul tekanan merata

Solusi Persamaan (3.10) menghasilkan Persamaan (3.11) yang menunjukkan tegangan kritis elastis pelat , yaitu

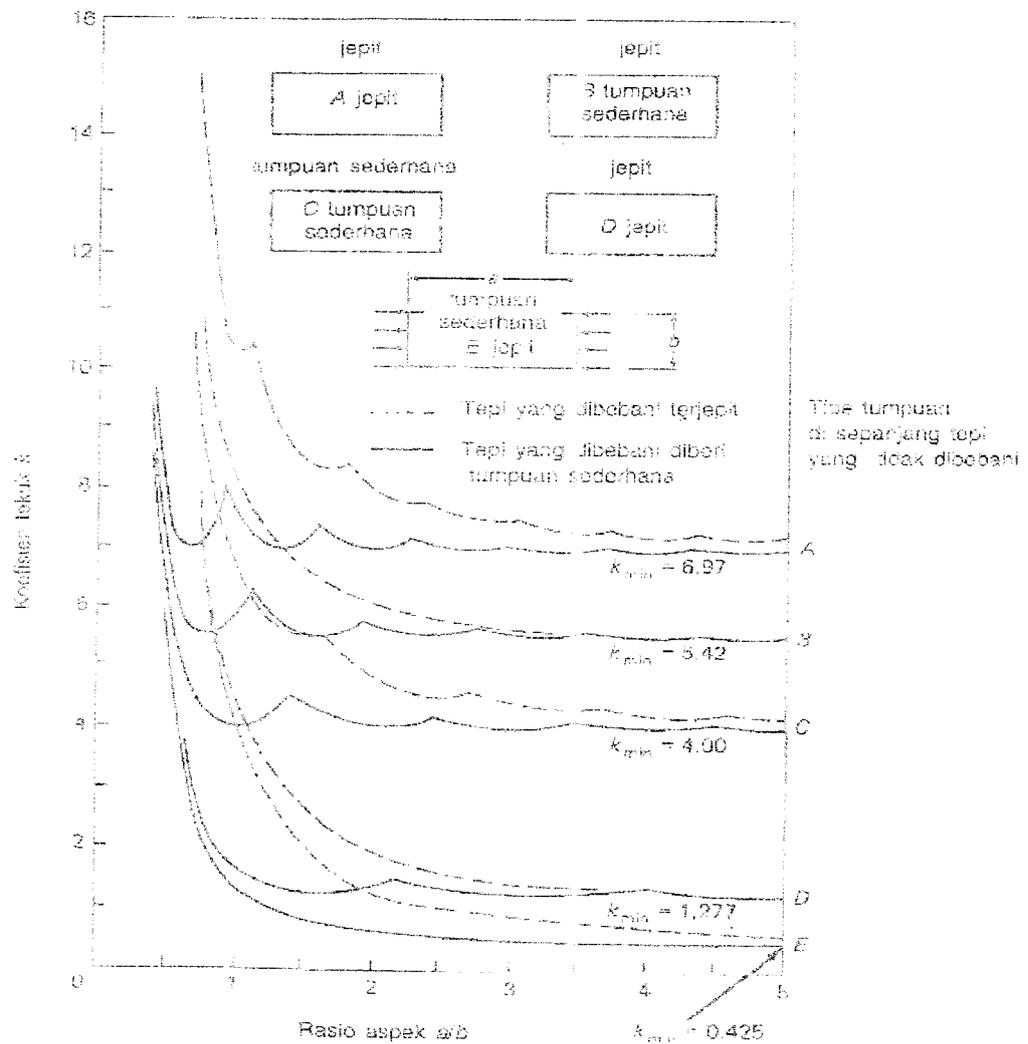
$$\sigma_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.12)$$

dimana k = koefisien tekuk pelat yang bergantung kepada jenis tegangan, kondisi tepi pelat dan aspek rasio. Tampak tegangan kritis pelat berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu pelat tegangan kritisnya semakin kecil.

Koefisien tekuk pelat yang ditumpu pada keempat dan memikul tekanan merata dinyatakan dengan Persamaan (3.13), yaitu.

$$k = \left(\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right) \quad (3.13)$$

Dimana m = jumlah setengah gelombang pada arah gaya, (a/b) = rasio panjang terhadap lebar. Koefisien tekuk pelat-pelat yang memikul tekanan merata dengan kondisi tepi dan (a/b) bervariasi disajikan pada Gambar 3.6 sebagai berikut:



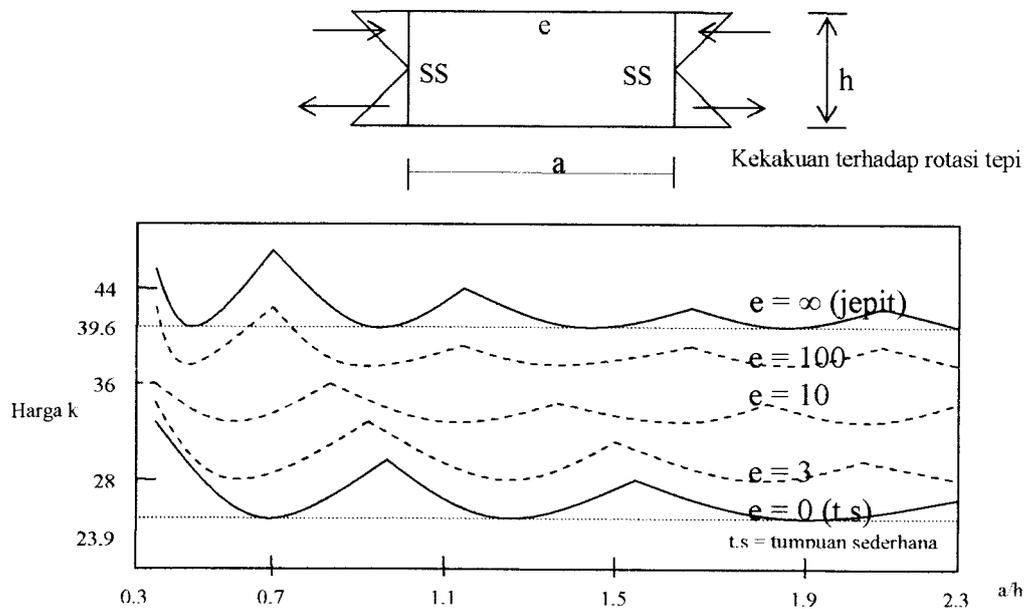
Gambar 3.6. Koefisien tekuk pelat yang memikul tekanan merata dengan variasi kondisi tepi dan rasio panjang terhadap lebar (a/b)

Tampak pada (a/b) yang cukup besar koefisien tekuk pelat (k) minimum. Karena sayap gelagar I hanya ditumpu pada salah satu sisinya dan mempunyai aspek rasio cukup besar maka diasumsikan bertumpu pada sendi yang memiliki nilai $k = 0,425$.

Berbeda dengan halnya penampang dobel delta, memiliki batang penopang yang menghubungkan tepi pelat sayap dengan pelat badan diasumsikan sebagai tumpuan sederhana, maka nilai k yaitu 4.

3.5 Tekuk Elastis Akibat Lentur Murni

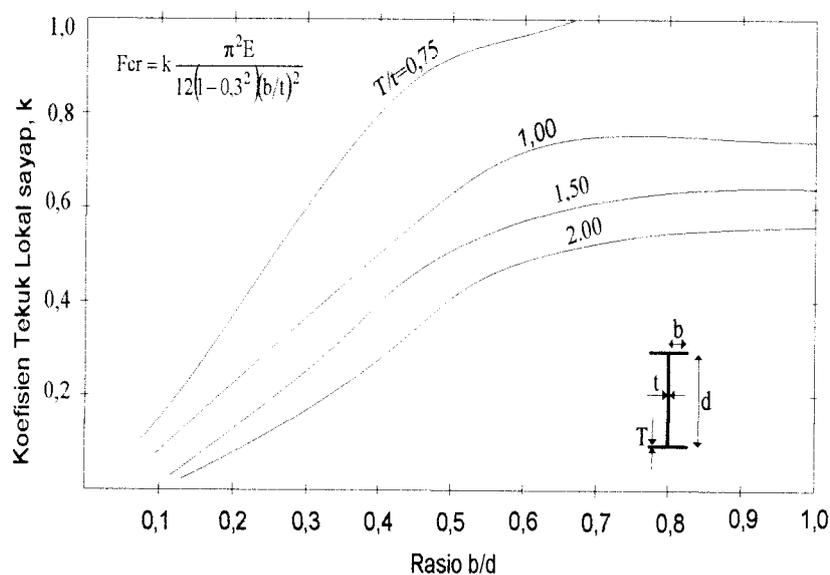
Gelagar pelat memiliki penampang yang langsing, baik pada sayap maupun badannya. pelat badan yang dimiliki oleh gelagar mempunyai rasio (h/t_w) yang dimungkinkan akan terjadi tekuk akibat lentur. Menurut *Timoshenko* dan *Gere* (1961), koefisien tekuk pelat badan yang memikul momen dan ditumpu menerus pada kedua sisinya adalah 23,9 untuk tumpuan sederhana dan 39,6 untuk tumpuan jepit. Adapun grafik yang menunjukkan bahwa adanya hubungan koefisien tekuk pelat badan terhadap a/h sebagai berikut:



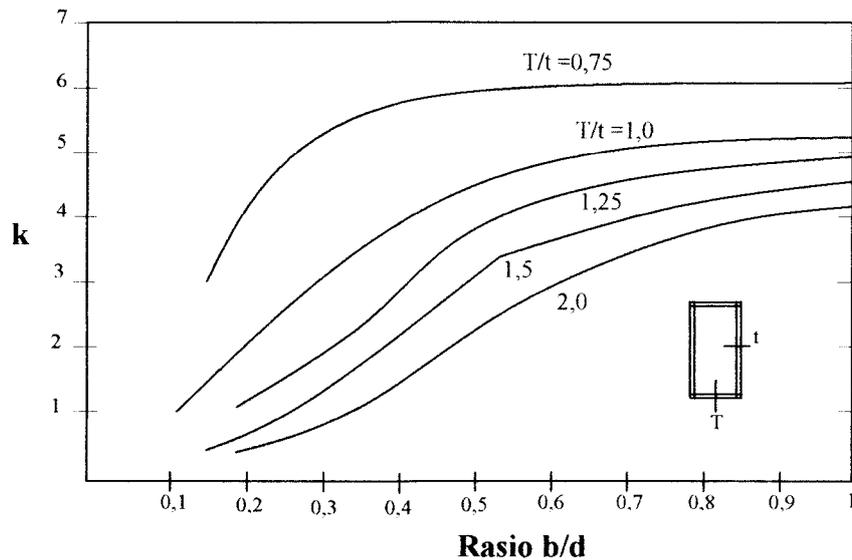
Gambar 3.7 Grafik hubungan koefisien tekuk pelat badan terhadap rasio a/h

Tekuk lokal pada elemen plat dapat menyebabkan kegagalan dini (*premature collapse*) pada keseluruhan penampang. Pada Gambar 3.7 menunjukkan nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi lentur.

Perakitan pelat girder yang mengalami tekuk lokal dapat dicek melalui grafik 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 pelat sayap, T adalah tebal pelat sayap, dan t adalah tebal pelat badan. Hal tersebut dapat dibuktikan pada Grafik 3.8 (yang dikemukakan oleh **N.S Trahair** dan **M Bradford, 1988**) sebagai berikut:



Gambar 3.8 Koefisien tekuk lokal pelat assembling profil I



Gambar 3.9 Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan 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. Karakteristik nilai koefisien tekuk local penggunaan pelat box dapat dilihat pada Gambar 3.9.

3.6. Tekuk Elastis Akibat Geser

Tegangan kritis elastis pelat-pelat yang menerima tegangan geser dinyatakan dengan Persamaan (3.14), yaitu:

$$\sigma_{cr} = k \frac{k \pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (3.14)$$

3.7. Rasio Kelangsingan Batas Pelat Sayap

Rasio kelangsingan pelat sayap gelagar penampang I perlu dibatasi agar tegangan sayap desak dapat mencapai tegangan leleh. Rasio kelangsingan batas pelat sayap ditentukan dengan menyamakan Persamaan (3.14) dengan tegangan leleh, sehingga persamaan menjadi:

$$\sigma_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \geq \sigma_y \quad (3.16)$$

Masing-masing ruas Persamaan (3.16) dibagi tegangan leleh, didapat:

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

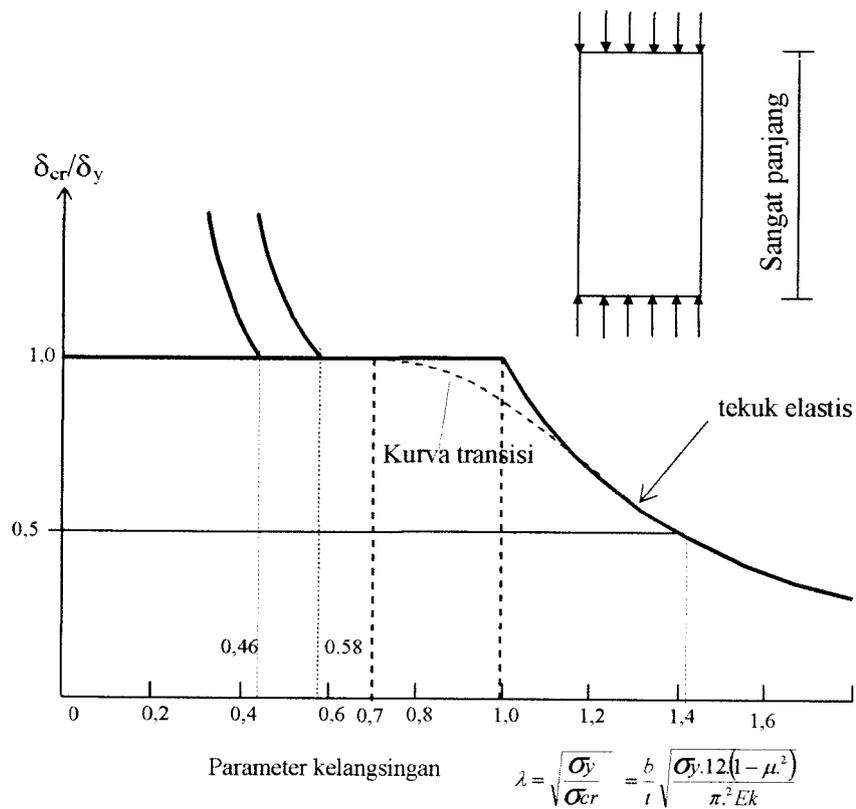
selanjutnya parameter kelangsingan dinyatakan dengan:

$$\lambda^2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}} \quad (3.18)$$

Substitusi Persamaan (3.18) ke dalam Persamaan (3.17) didapat rasio kelangsingan batas:

$$\frac{b}{t} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \sigma_y}} \quad (3.19)$$

Guna memperoleh kepastian sayap mencapai tegangan leleh digunakan parameter kelangsingan hasil penelitian, yaitu $\lambda_c = 0,7$, lihat Gambar 3.12 (*Ostapenko, 1974*).



Gambar 3.12 Kurva Parameter Kelangsingan Pelat Panjang

Dari grafik di atas jika disubstitusi $\lambda_c=0,7$; $k=0,425$ dan $E=2.10^5$ Mpa ke dalam Persamaan (3.19) dan menggunakan notasi pada Gambar (3.12) didapat rasio kelangsingan batas pelat sayap gelagar penampang I, yaitu:

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{250}{\sqrt{\sigma_y \text{ (MPa)}}} = 15,8 \quad (3.20)$$

Pada gelagar pelat penampang dobel delta sayap gelagar ditumpu menerus pada kedua sisinya. Untuk gelagar pelat yang dilas disarankan menggunakan nilai $k = 1,4$.

3.8. Rasio Kelangsingan Batas Pelat Badan

Kelangsingan pelat badan dibatasi agar pelat badan mempunyai kekakuan cukup untuk mencegah sayap tekan tertekuk secara vertikal. Uraian kelangsingan batas untuk tujuan ini dikemukakan oleh (*Salmon dan Johnson, 1996*); (*Taly, 1998*), didapat persamaan (3.21), yaitu:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{9650}{\sqrt{\sigma_{yf}(\sigma_{yf} + 114)}} (\text{MPa}) = 31,98 \quad (3.21)$$

Kelangsingan pelat badan yang diberi pengaku boleh melebihi (h/t_w) yang didapat Persamaan (3.21) dan boleh digunakan hingga (h/t_w) mencapai Persamaan (3.22), yaitu

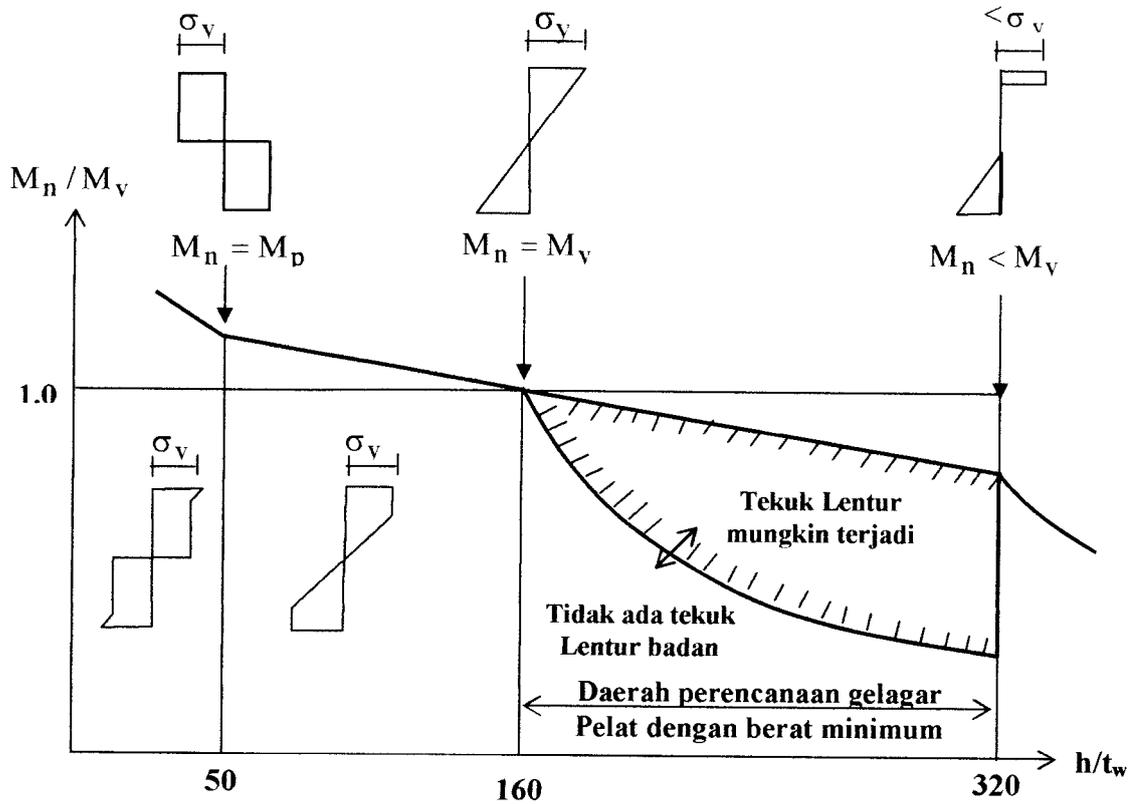
$$\frac{h}{t_w} = \frac{5250}{\sqrt{\sigma_{yf}}} (\text{MPa}) = 332,04 \quad (3.22)$$

3.9. Momen Batas Gelagar Pelat

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

$$M_{cr} = f \left(\frac{h}{t_w}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f}, \frac{L_b}{r_y} \right) \quad (3.23)$$

dengan (h/t_w) = kelangsingan pelat badan, (b/t_f) = kelangsingan pelat sayap, (A_w/A_f) = rasio luas badan terhadap luas sayap dan (L_b/r_y) = rasio jarak bentang terhadap jari inersia minimum. Jika tekuk sayap dan tekuk puntir laeral dicegah maka momen batas gelagar pelat merupakan fungsi dari (h/t_w) dan (A_w/A_f) . Momen batas gelagar pelat penampang I fungsi (h/t_w) ditunjukkan pada Gambar (3.13). Daerah perencanaan gelagar pelat yang efisien diantara $162 < h/t < 320$



Gambar 3.13. Rasio momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan badan (h/t_w)

Untuk menentukan kapasitas geser gelagar pelat digunakan rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh (Persamaan 3.24), yaitu:

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} \quad (3.24)$$

dengan τ_y = tegangan leleh geser. Dalam keadaan badan gelagar mengalami tekuk geser

elastis nilai C_v menjadi:

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t_w)^2 \sigma_{yw}} \quad (3.25)$$

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

$$C_v = \frac{491}{(h/t_w)^2} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.26)$$

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}), sehingga persamaan menjadi:

$$V_n = V_{cr} + V_{if} \quad (3.27)$$

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

$$V_{cr} = \tau_y h t C_v \quad (3.28)$$

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 :

$$V_{if} = \sigma_t \frac{ht}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.29)$$

3.10. Momen Batas Berdasarkan Tekuk Lokal

Momen batas gelagar pelat Penampang I berdasarkan kondisi batas tekuk lokal adalah momen maksimum yang dipikul oleh gelagar pelat akibat pelat sayap atau badan gelagar tertekuk.

Momen Gelagar penampang I adalah momen batas pelat sayap ditambah momen batas pelat badan, dinyatakan dengan Persamaan:

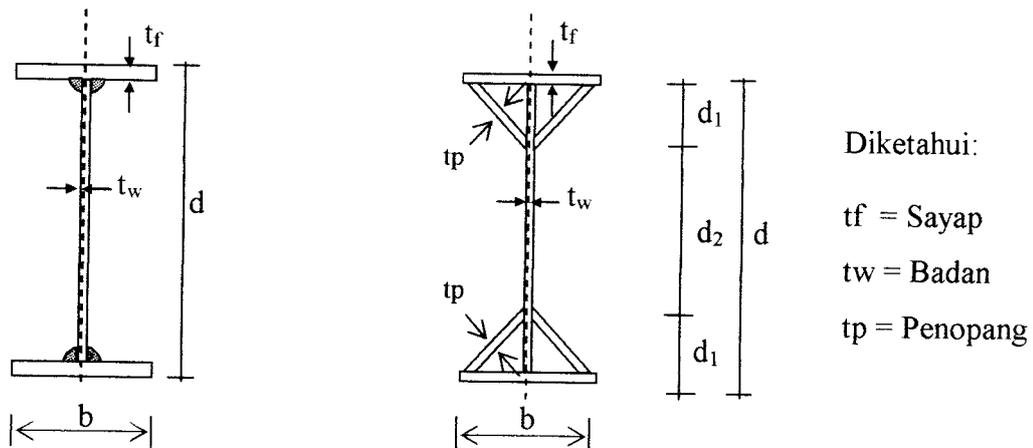
$$M_{cr} = b \cdot t_f (\sigma_{crf})(d) + \frac{1}{6} t_w (d)^2 \sigma_{crw} \quad (3.30)$$

Momen batas gelagar pelat dobel delta berdasarkan kondisi batas tekuk lokal adalah jumlah momen batas pelat sayap, pelat badan dan ditambah pelat-pelat penopang, dihitung dengan Persamaan (3.31), yaitu:

$$M_{cr} = b \cdot t_f (d)(\sigma_{crf}) + \frac{1}{6} t_w (d)^2 \sigma_{crw} + (2)((b/2)((t_w)(d - b/2)\sigma_{crw} \quad (3.31)$$

Rasio momen batas gelagar dobel delta terhadap momen batas gelagar I berdasarkan kondisi batas tekuk lokal ditunjukkan pada Persamaan (3.32), yaitu:

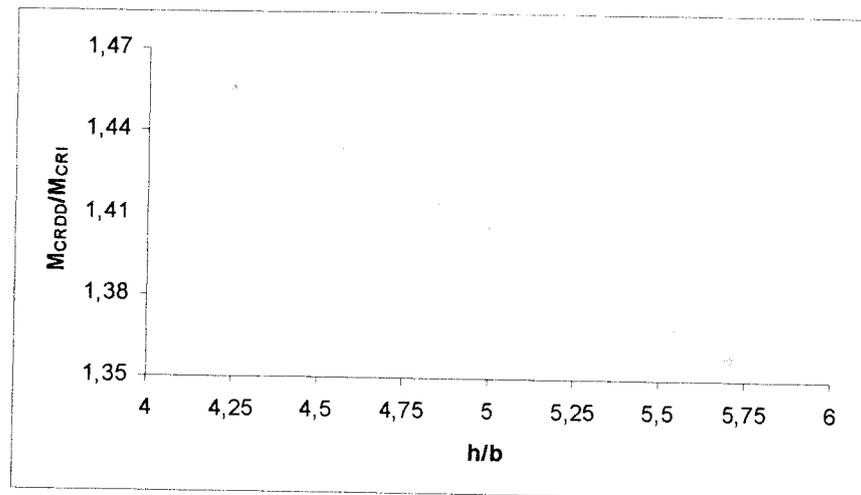
$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} = \frac{b \cdot t_f (d) \sigma_{crf} + \frac{1}{6} t_w (d)^2 \sigma_{crw} + (2)((b/2)((t_w)(d - b/2)\sigma_{crw}}{b \cdot t_f (d) \sigma_{crf} + \frac{1}{6} t_w (d)^2 \sigma_{crw}} \quad (3.32)$$



Gambar 3.14 Penampang I dan Penampang Dobel Delta

Dari Gambar 3.14 dapat kita ketahui lebih detail ada sedikit perbedaan kedua penampang. Gelagar pelat penampang dobel delta merupakan modifikasi dari penampang

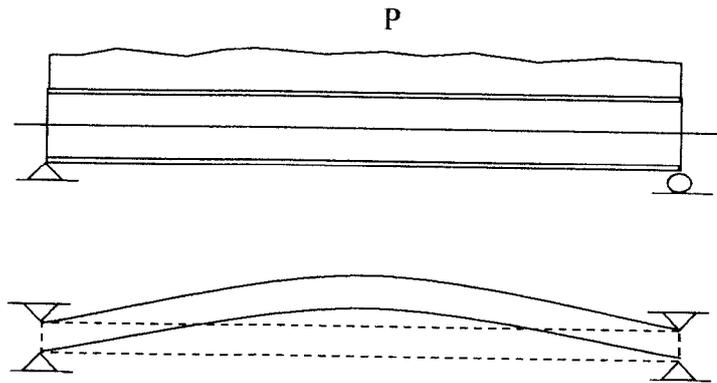
I yaitu dengan menambah penopang yang menghubungkan tepi pelat sayap dengan pelat badannya dengan membentuk sudut 45° dan memiliki tinggi $1/3$ bentang ($1/3 d$). Namun dari keduanya memiliki lebar (b) dan tinggi (d) yang sama. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.15 Grafik rasio momen kritis berdasarkan tekuk lokal gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta

3.11. Momen Batas Berdasarkan Tekuk Puntir.

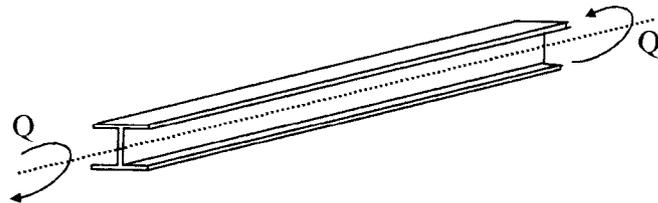
Momen batas gelagar pelat berdasarkan tekuk puntir lateral merupakan fungsi: (a) momen inersia sumbu lemah, (b) panjang bentang antar dukungna lateral (L_b), konstanta puntir (C_w), modulus geser (G), momen inersia polar (J), dinyatakan oleh *Timoshenko and Gere (1961)*, persamaan terbentuk berdasarkan gambar sebagai berikut:



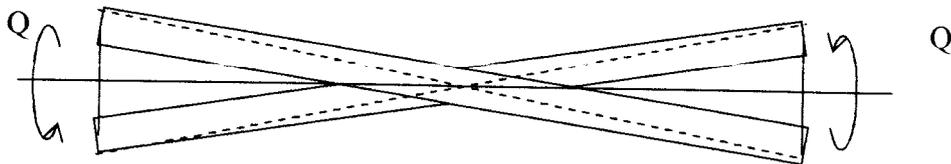
Gambar 3.16 Balok Dibebeani Dengan Beban Merata

Pada Gambar (3.16) 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 punter lateral.

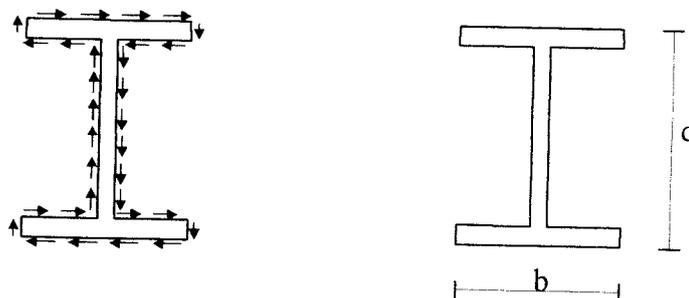
Bila balok penampang I Gambar (3.17) dipuntir dan deformasi arah aksialnya dicegah maka serat memanjang pada balok tersebut mengalami deformasi ditunjukkan pada Gambar (3.18). Puntir murni hanya menghasilkan tegangan geser yang distribusinya ditunjukkan pada Gambar (3.19).



Gambar 3.17 Balok Gelagar Pelat Puntir



Gambar 3.18 Defomasi Balok Akibat Puntir



Gambar 3.19 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 ,

$$\phi/L = Q/C \quad (3.33)$$

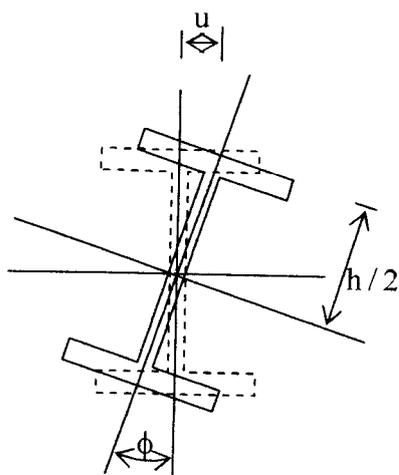
Dengan C = kekakuan puntir dapat dinyatakan sebagai hasil dari, G = modulus geser material, J = konstanta puntir penampang. Kontanta J untuk dinding tipis seperti pada penampang I dan kanal didekati dengan Persamaan

$$J = \frac{1}{3} b \cdot t^3 \quad (3.34)$$

Nilai J pada penampang yang tebalnya tidak sama dihitung dengan Persamaan

$$J = \sum \frac{1}{3} b_i \cdot t_i^3 \quad (3.35)$$

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 diformasi aksial yang dihasilkan dinamakan *warping displacement*.



Gambar 3.20 Defleksi Lateral Pada Sayap

Secara umum puntir dapat diketahui dengan persamaan (3.36) sebagai berikut :

$$Q_1 = \frac{GJ\phi}{L} \quad (3.36)$$

Berdasarkan Gambar (3.20) defleksi lateral pada pelat sayap dapat dinyatakan pada persamaan sebagai berikut :

$$U_f = \phi \frac{h}{2} \quad (3.37)$$

Momen lateral pada pelat sayap (M_f) dinyatakan dengan persamaan (3.38) yaitu :

$$M_f = EI_f \frac{d^2 u}{dz^2} \quad (3.38)$$

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 :

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

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

$$V_f = \frac{dM_f}{dz} \quad (3.40)$$

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

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

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

$$Q_2 = -EI_f \frac{h^2}{2} \frac{d^3\phi}{dz^3} \quad (3.42)$$

Bila persamaan (3.36) dan persamaan (3.42) dikombinasikan maka didapat persamaan sebagai berikut :

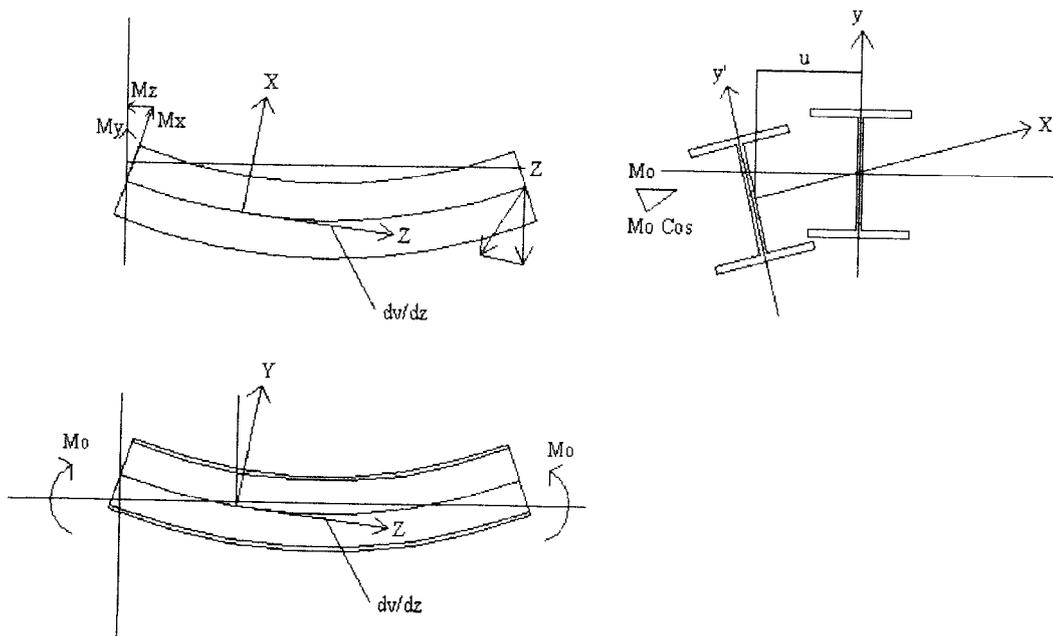
$$Q = GJ \frac{d\phi}{dz} - EI_f \frac{h^2}{2} \frac{d^3\phi}{dz^3} \quad (3.43)$$

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

$$Q = GJ \frac{d\phi}{dz} - EI_w \frac{d^3\phi}{dz^3} \quad (3.44)$$

Dimana koefisien warping dinyatakan dengan persamaan :

$$I_w \approx \frac{I_y}{2} \frac{h^2}{2} = I_y \frac{h^2}{4} \quad (3.45)$$



Gambar 3.21 Gambar Balok Tertekuk Akibat Puntir Lateral

Dengan mengacu Gambar 3.21 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:

$$EI_x \frac{d^2 v}{dz^2} = M_{x'} \quad (3.46)$$

dimana v adalh displacement sentroid pada arah y (lihat Gambar 3.21). Demikian pula, kurvatur pada bidang $x'z'$ adalah

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = M_{y'} \quad (3.47)$$

seperti terlihat pada gambar 3.21, dimana u merupakan pergeseran sentroid pada arah x . yang menentukan persamaan untuk torsi adalah:

$$GJ \frac{d\phi}{dz} = M_{\xi} \quad (3.48)$$

dimana M_{ξ} = merupakan komponen momen puntir pada sumbu kuat (sumbu x).

Gambar 3.21 menunjukkan hubungan aplikasi momen M_{ξ} 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 3.21. Persamaan 3.46 dan 3.47 dapat ditulis kembali menjadi persamaan lain yaitu:

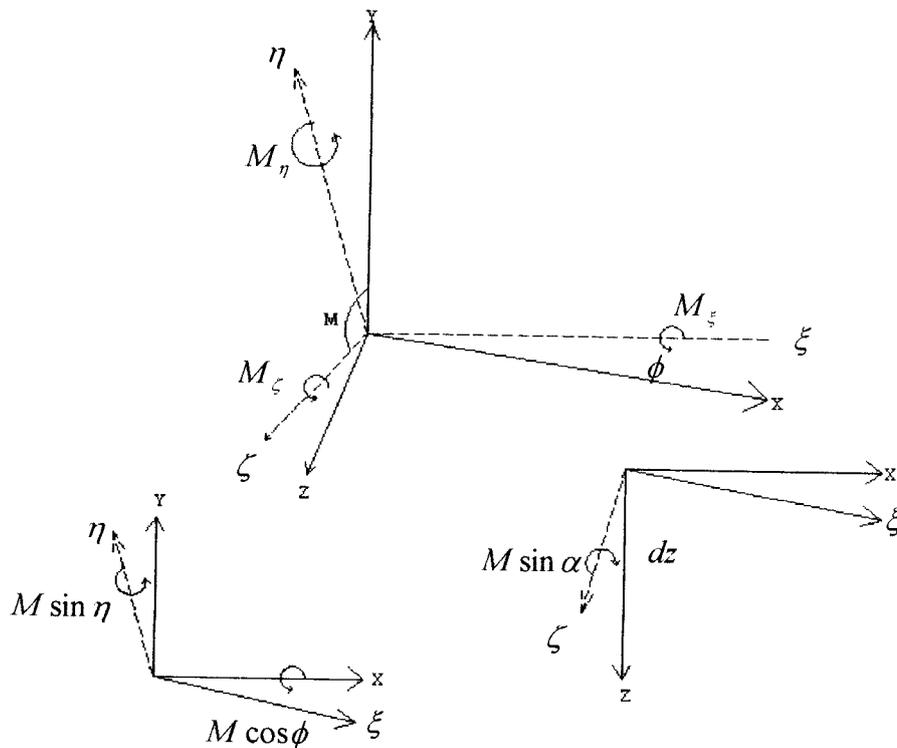
$$EI_x \frac{d^2 v}{dz^2} = M \cdot \cos \phi \quad (3.49)$$

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = M \cdot \sin \phi \quad (3.50)$$

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

$$EI_x \frac{d^2 v}{dz^2} = M \quad (3.51)$$

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = M \cdot \phi \quad (3.52)$$



Gambar 3.22 Komponen Momen Puntir

Jumlah M_ξ mungkin berlaku nilai 0 yang dapat dilihat pada Gambar 3.22 yang dapat disamakan dengan persamaan $M \sin \alpha$. Menyamakan $\sin \alpha$ dengan $-du/dz$ dapat ditunjukkan pada persamaan 3.52 terhadap persamaan 3.48 yaitu:

$$GJ \frac{d\phi}{dz} = M \frac{du}{dz} \quad (3.53)$$

Persamaan 3.48 – 3.53 merupakan system yang menggambarkan respon dari balok terhadap pembebanan M . Dengan mengkombinasi persamaan 3.53 dengan menstubtitusikan d^2u/dz^2 dapat ditunjukkan pada persamaan 3.54 sebagai berikut:

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

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

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot GJ} \quad (3.55)$$

Pada persamaan 3.53 menunjukkan pula bahwa $M_{cr} = M$ yang telah disebutkan pada persamaan sebelumnya. Persamaan 3.45 perlu dirubah dengan memasukkan efek warping menjadi:

$$GJ \frac{d\phi}{dz} - EI_w \frac{d^3\phi}{dz^3} = M\zeta \quad (3.56)$$

dengan menstutitusikan $M\zeta$ ke persamaan 3.56 menjadi:

$$EI_w \frac{d^4\phi}{dz^4} - GJ \frac{d^2\phi}{dz^2} + \frac{M^2}{EI_y} \phi = 0 \quad (3.57)$$

dan persamaan M_{cr} ditetapkan menjadi:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot GJ} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GJ} \right)} \quad (3.58)$$

dengan v = perpindahan adalah arah y . Atau lebih ringkasnya persamaan menjadi:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L_b} \sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b} \right)^2 C_w I_y + EI_y GJ} \quad (3.59)$$

dimana C_w = konstanta puntir, L_b = panjang bentang antar dukungan lateral, I_y = momen inersia minimum, J = konstanta puntir. Persamaan (3.59) dapat digunakan untuk menghitung momen batas gelagar penampang I dan penampang dobel delta.

Agar persamaan 3.59 dapat diselesaikan, dibutuhkan nilai-nilai yang terkandung didalamnya yaitu C_w , J , I_y dan G .

Nilai modulus geser (G) untuk gelagar penampang I dan dobel delta dapat dihitung dengan persamaan:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (3.60)$$

dimana nilai: μ = nilai poisson ratio (0.3)

E = modulus elastisitas bahan ($2,1 \times 10^5$)

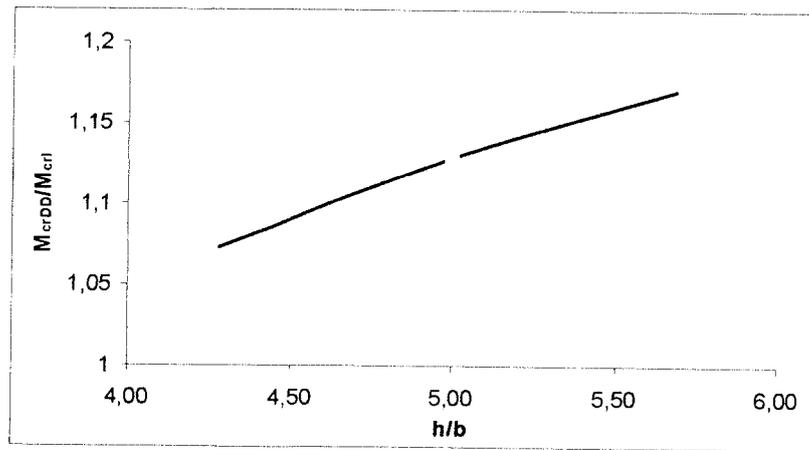
Rasio momen batas gelagar pelat penampang dobel delta terhadap penampang I dinyatakan dengan Persamaan (3.61)

$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_{wd} I_{yd} + EI_{yd} GJ_d}}{\sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_{wi} I_{yi} + EI_{yi} GJ_i}} \quad (3.61)$$

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

$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} = 1.13 \quad (3.62)$$

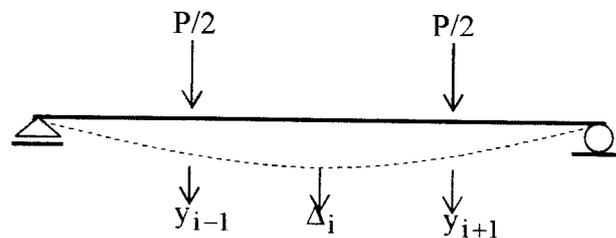
Apabila dengan tinggi terhadap lebar yang bervariasi yaitu saudara Widhid dengan rasio tinggi terhadap lebar = 4, Saudara Sindhu = 5, dan Saudara Fajar = 5,7 maka didapatkan grafik rasio momen lentur terhadap rasio tinggi dan lebar penampang pelat I dan penampang Dobel Delta adalah sebagai berikut yaitu :



Gambar 3.23 Grafik Rasio Momen Kritis Berdasarkan Tekuk Puntir Gelagar Pelat Penampang I dan Dobel Delta

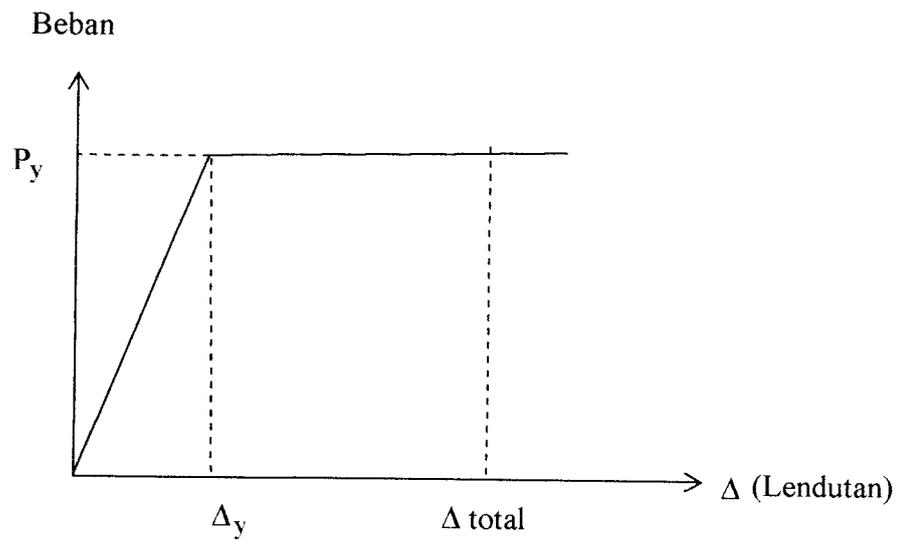
3.12. Karakteristik Gelagar Pelat

Beban transversal P pada gelagar pelat Gambar 3.24 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 3.24 Gelagar Pelat Dengan Beban Terpusat P

Jika beban P dikerjakan bertahap hingga balok runtuh dan pada setiap tahap pembenanan lendutan maksimumnya diukur dan didapat kurva beban-lendutannya. Contoh kurva beban lendutan ditunjukkan pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25. Contoh kurva beban-deformasi

Kekakuan gelagar yang masih elastis dihitung dengan Persamaan:

$$k = \frac{P_y}{\Delta_y} \quad (3.63)$$

Kelengkungan balok dapat ditentukan berdasarkan metode *Central diefference* dengan bantuan lendutan di tiga penampang yang berurutan yang jaraknya sama.

Mengamati Gambar (3.23) dapat diperoleh $\frac{dy}{dx}$ didekati dengan Persamaan (3.64), yaitu

:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.64)$$

Turunan dari persamaan (3.64) ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut :

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

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

$$\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0 \quad (3.66)$$

Substitusi persamaan (3.66) terhadap persamaan (3.65) maka diperoleh persamaan sebagai berikut yaitu:

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

$$\varphi = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.68)$$

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

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.69)$$

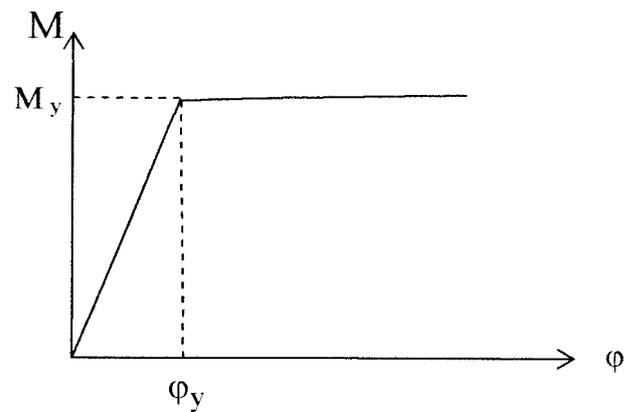
Mengacu pada Gambar 3.25 didapatkan momen :

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.70)$$

Kelengkungan hasil eksperimen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut yaitu :

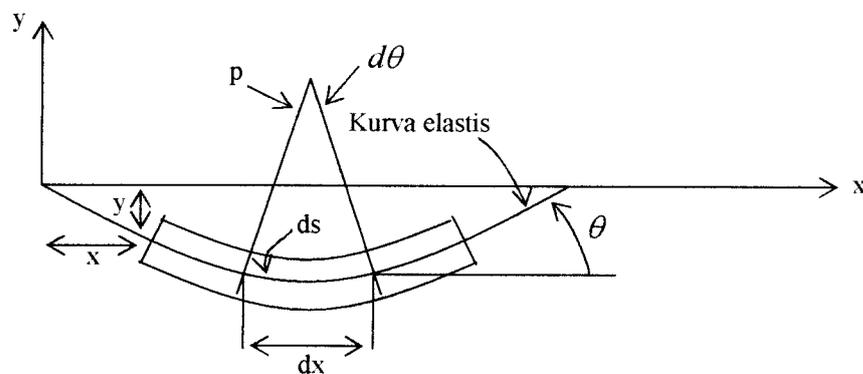
$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} \quad (3.71)$$

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



Gambar 3.26 Kurva momen-kelengkungan

3.13 Lendutan Gelagar Pelat



Gambar 3.27 Kurva Elastis

Gambar 3.27 menyatakan bahwa permukaan netral balok yang melendut atau disebut dengan kurva elastis balok dimana ditetapkan bahwa lendutan tegak y dari setiap

titik dengan terminologi koordinat x . Bila ditinjau variasi θ dalam satuan panjang diferensial ds yang disebabkan lenturan balok maka:

$$ds = \rho d\theta \quad (3.72)$$

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

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.73)$$

Dengan mengambil rumus lentur, maka akan diperoleh hubungan:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (3.74)$$

Dengan ρ didekati dengan persamaan :

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

Persamaan (3.75) disubstitusikan dengan persamaan (3.74) maka akan didapatkan persamaan :

$$\frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} = \frac{M}{EI} \quad (3.76)$$

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

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.77)$$

Bila Persamaan (3.77) diintegrasikan dengan EI konstan maka :

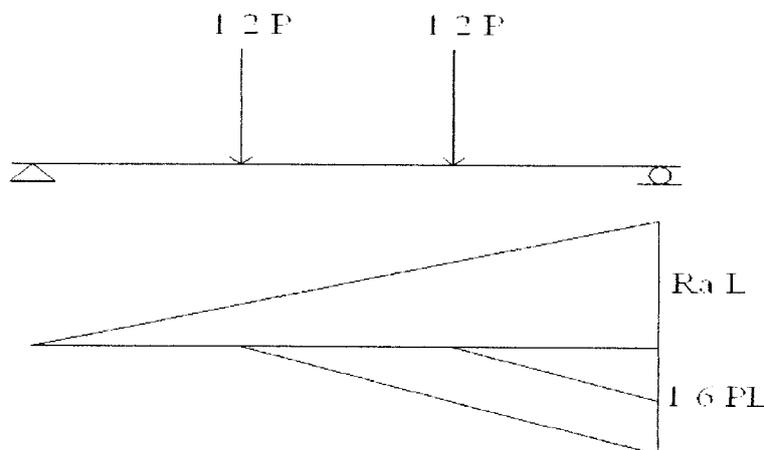
$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \quad (3.78)$$

Bila persamaan (3.78) diintegrasikan maka :

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (3.79)$$

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 3.28.



Gambar 3.28 Aksi Momen Akibat Beban Terpusat

Berdasarkan Gambar (3.28) didapatkan penurunan lendutan berdasarkan metode luas bidang momen yaitu :

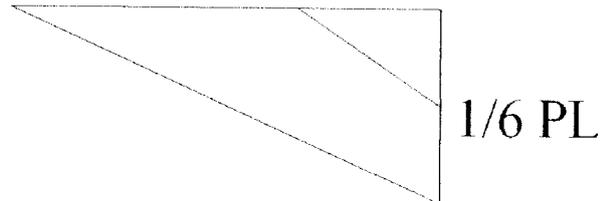
$$\Delta t = \left(\frac{P}{2} \frac{L^2}{2}\right)\left(\frac{L}{3}\right) - \left(\frac{P}{2} \frac{4L^2}{18}\right)\left(\frac{2L}{9}\right) - \left(\frac{P}{2} \frac{L^2}{18}\right)\left(\frac{L}{9}\right) \quad (3.80)$$

Bila persamaan (3.80) disederhanakan maka :

$$\Delta t = \left(\frac{PL^3}{12}\right) - \left(\frac{8PL^3}{324}\right) - \left(\frac{PL^3}{324}\right) \quad (3.81)$$

Bila persamaan (3.81) disederhanakan dan diambil jarak setengah bentang maka :

$$\Delta t = \left(\frac{18PL^3}{648} \right) \quad (3.82)$$



Lendutan pada setengah bentang dapat diturunkan dengan persamaan :

$$\Delta t = \left(\frac{PL^3}{96} \right) - \left(\frac{PL^3}{2592} \right) \quad (3.83)$$

Bila persamaan (3.83) disederhanakan maka :

$$\Delta t = \left(\frac{26PL^3}{2592} \right) \quad (3.84)$$

Bila persamaan (3.82) dikurangi dengan persamaan (3.84) maka didapatkan lendutan maksimum yaitu :

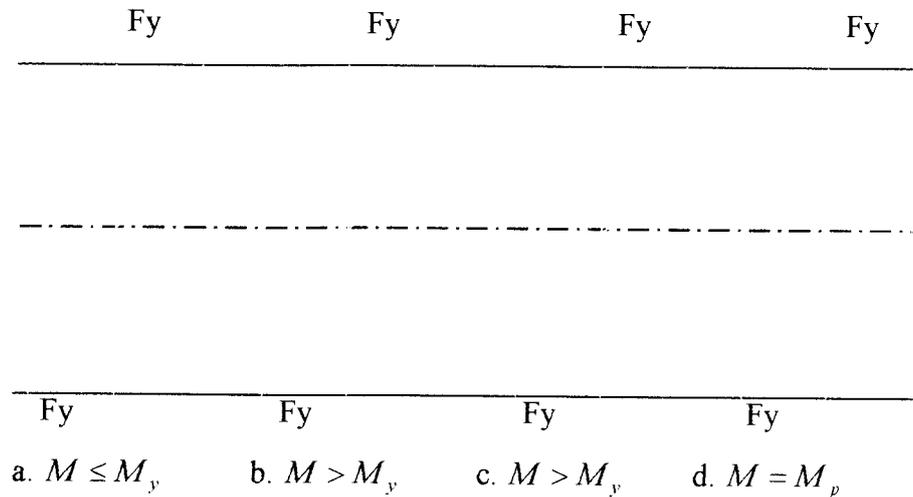
$$\Delta_{AB} = \frac{23PL^3}{1296EI} \quad (3.85)$$

3.14 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 kondisi distribusi momen lentur, yaitu:



Gambar 3.29 Distribusi Momen Lentur

Pada gambar 3.29 (a) 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:

$$M_y = F_y x S_x \quad (3.86)$$

Dimana M_y = Momen leleh (N.mm)

F_y = Tegangan leleh (N/mm²)

S_x = Modulus penampang elastis (mm³)

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 3.28 (b). Proses ini dapat diteruskan dengan semakin banyak bagian penampang tersebut yang mengalami tegangan leleh seperti terlihat pada gambar 3.28 (c). hingga akhirnya dicapai distribusi tegangan segiempat plastis seperti pada gambar 3.28 (d). 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:

$$M_p = F_y x Z \quad (3.87)$$

Yaitu M_p = Momen plastis (N.mm)

Z = Modulus penampang plastis (mm^3)

F_y = Tegangan leleh (N/mm^2)

3.15 Hipotesa

Teori yang memperkuat kebenarannya bahwa penambahan pelat penopang pada gelagar pelat I dapat meningkatkan momen inersia gelagar I dan menjadikan pelat sayap lebih kaku. Sehingga nilai koefisien tekuk pelat badan maupun sayap gelagar dobel delta lebih besar dibandingkan gelagar I. Nilai koefisien tekuk pelat yang semakin meningkat akan mengakibatkan nilai tegangan kritis (F_{cr}) dan momen kritis (M_{cr}) yang semakin besar pula. Dapat disimpulkan bahwa dengan memodifikasi gelagar I menjadi gelagar dobel delta dapat meningkatkan kekuatan.

Teori yang tercantum dalam tinjauan pustaka dan landasan teori, diambil hipotesa dimana gelagar pelat memiliki $h = 5 b$ dan $t_f = 1,5 t_w$, memiliki :

- Rasio inersia sumbu lemah dan rasio inersia sumbu kuat penampang I dan Penampang Dobel Delta yaitu

$$\frac{I_{Dx}}{I_{Ix}} \approx 1,34 \quad \text{dan} \quad \frac{I_{Dy}}{I_{Iy}} \approx 1,66 \quad (3.88)$$

- Rasio momen batas berdasarkan tekuk lokal penampang I dan penampang Dobel Delta yaitu:

$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} \approx 1,4 \quad (3.89)$$

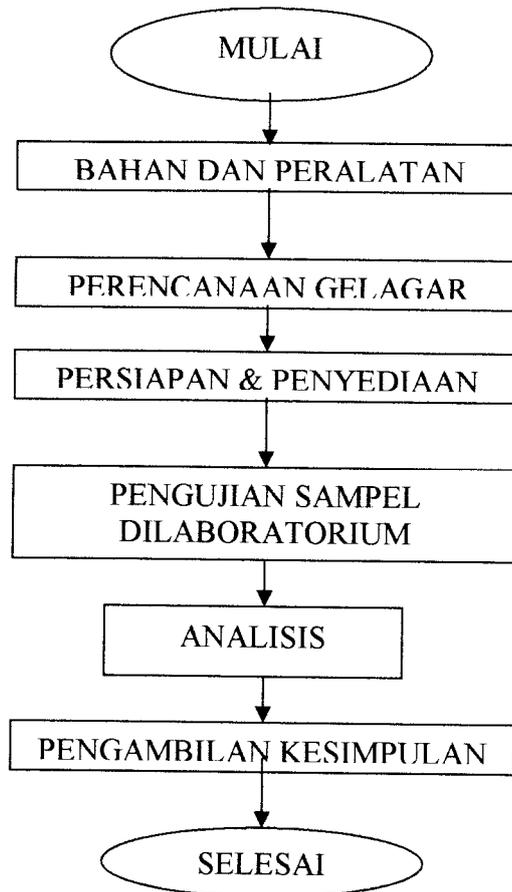
- Rasio momen batas berdasarkan tekuk puntir penampang I dan penampang Dobel Delta yaitu:

$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} \approx 1,13 \quad (3.90)$$

BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1. Tahap-tahap Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan seperti yang tersaji pada bagan alir Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

4.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

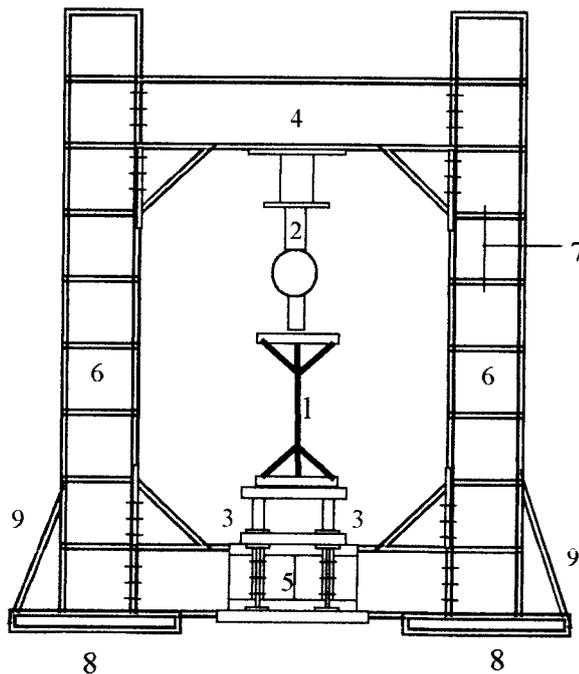
- a. Pelat baja tebal 3 mm digunakan untuk sayap serta pelat tebal 2 mm digunakan untuk badan dan penopang.
- b. Penyambungan antar pelat digunakan las.

4.3. Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain:

a. Portal Pemikul Beban

Portal pemikul beban (*loading frame*) adalah portal baja yang dibuat dari profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Bentuk dasar berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (rigid floor) dengan perantara besi setebal 14mm sebagai penguat. Agar portal tersebut lebih stabil, pelat dasar dibaut kelantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14 mm. Posisi balok portal dapat diatur ketinggiannya menyesuaikan model benda uji yang akan dilaksanakan pengujian. Sketsa fisik alat ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



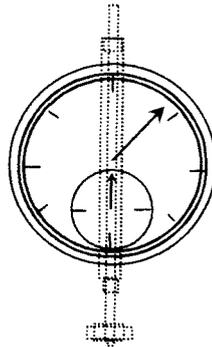
Keterangan:

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

Gambar 4.2. Portal pemikul beban

b. Dial Gauge

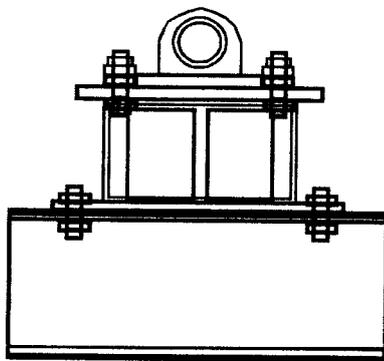
Alat ini digunakan untuk mengukur deformasi pada benda uji. Dalam penelitian digunakan 4 (empat) *Dial gauge* kapasitas ukur maksimal 50 mm dengan ketelitian 0,01 mm, pada pengujian balok kecil dipakai *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 20mm dan ketelitian 0,01mm. Dalam penelitian ini digunakan 4 buah *dial gauge*. Sketsa *Dial gauge* ditunjukkan pada Gambar 4.3.



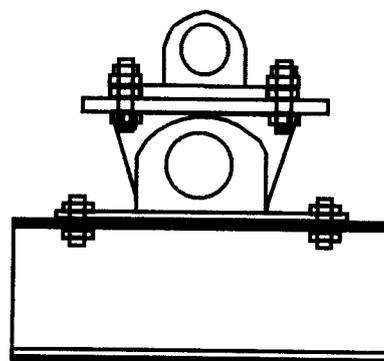
Gambar 4.3 *Dial Gauge*

c. Tumpuan Sendi dan Rol

Ujung-ujung benda uji gelagar pelat ditumpu sederhana, satu ujung ditumpu oleh sendi, ujung yang lain ditumpu oleh rol. Bentuk fisik tumpuan sendi dan rol ditunjukkan pada pada Gambar 4.4a dan 4.4b



(a) Dukungan sendi

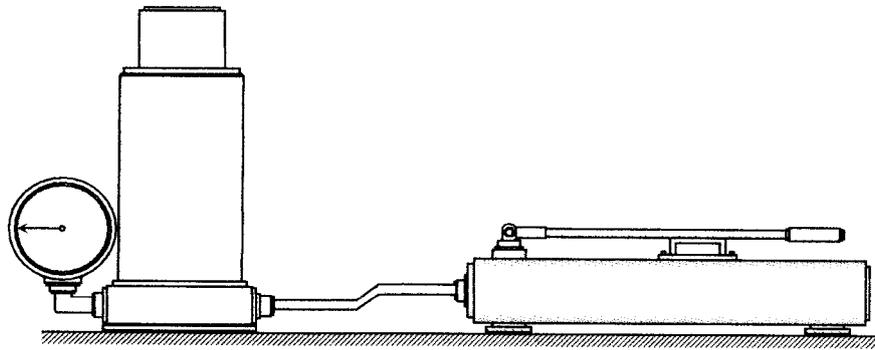


(b) Dukungan rol

Gambar 4.4 *Dukungan Sendi dan Rol*

d. Hydraulic Jack

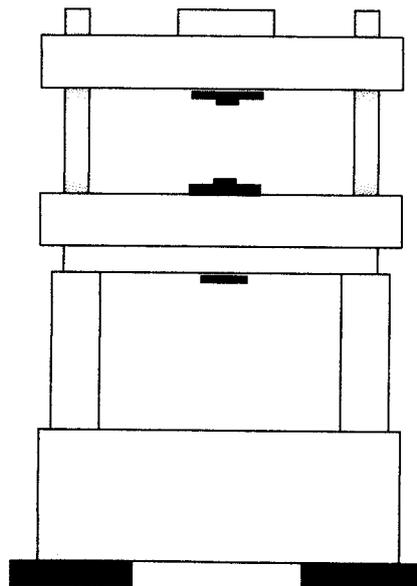
Alat ini digunakan sebagai pembangkit beban transversal pada gelagar pelat. Kapasitas maksimal hydraulic jack yang digunakan adalah 300 kN dengan ketelitian 0,5 ton (lihat Gambar 4.5)



Gambar 4.5. *Hidraulic Jack*

e. Mesin Uji Kuat Tarik

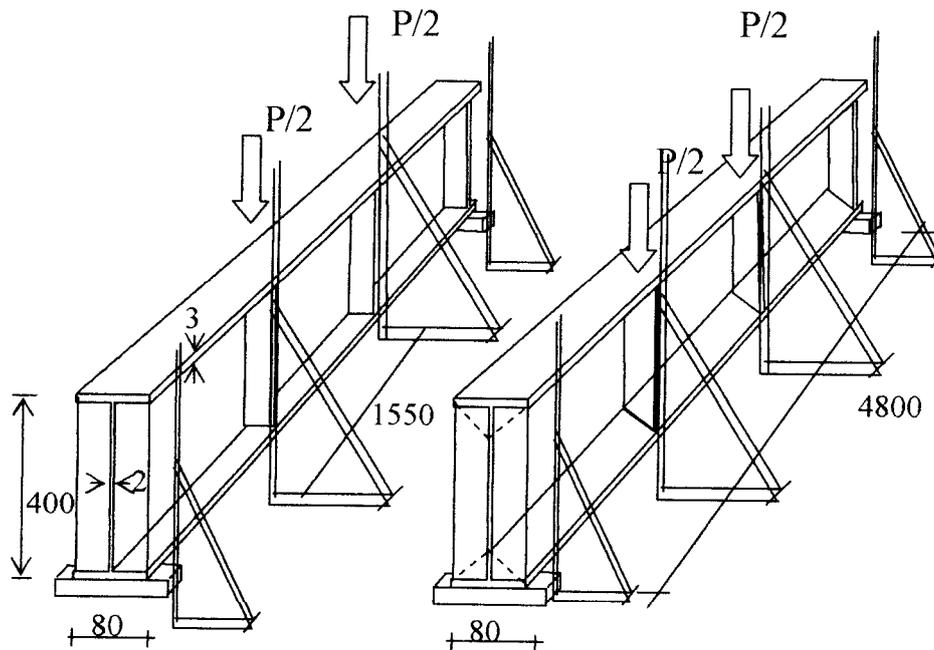
Mesin ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar kuat tarik pelat baja yang digunakan. Alat ini bernama *Universal Testing Machine* (UTM) merk Shimitsu type UMH-330 dengan kapasitas 30 ton, seperti Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Universal testing Machine (UTM)*

4.4 a. Benda Uji Gelagar Pelat Penampang I dan Dobel delta

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa gelagar pelat penampang I dan dobel delta

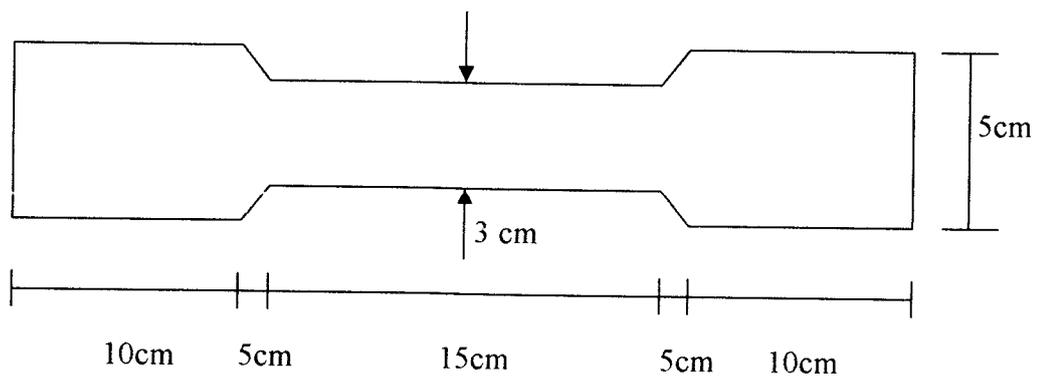


Gambar 4.7 Model gelagar (a) penampang I (b) penampang dobel delta

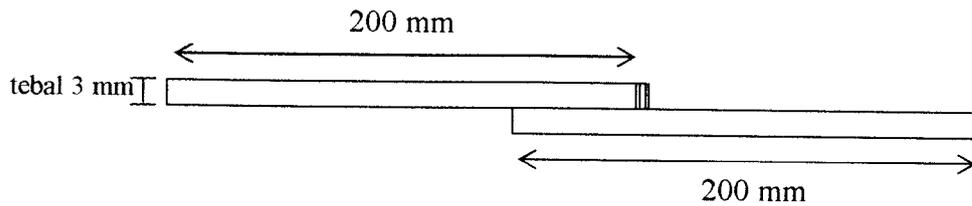
Ukuran penampang dan panjang benda uji ditentukan dengan mempertimbangkan kapasitas peralatan yang ada di laboraorium.

b. Benda Uji Tarik Pelat dan Tarik Las

Benda uji tarik pelat yang digunakan ada dua buah, yaitu pelat 2 mm dan 3 mm:



Gambar 4.8 Benda Uji Kuat Tarik



Gambar 4.9 Benda Uji Tarik Las

4.5 Pembuatan Benda Uji

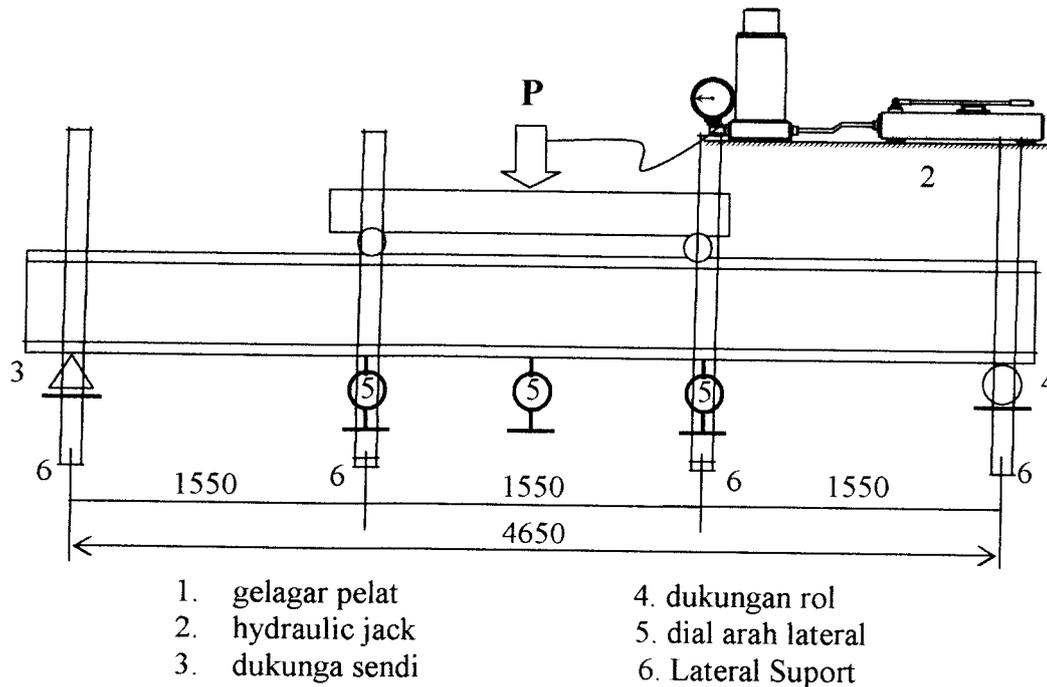
Sebelum melakukan pembuatan benda uji, dilakukan perhitungan dimensi gelagar terlebih dahulu baik gelagar I maupun gelagar dobel delta. Tahapan pembuatan benda uji sebagai berikut:

1. Pengukuran dan pemotongan pelat sesuai dimensi gelagar yang akan dibuat.
2. Penyambungan antar pelat dilakukan dengan menggunakan las listrik.
3. Pengelasan dilakukan secara menerus sepanjang pertemuan antar pelat.
4. Setelah selesai, beri pelat 2 buah pada sepertiga bentang sebagai dudukan pemberian beban namun pengelasan tidak secara menerus.
5. Pembuatan bracing untuk menyangga gelagar agar tidak terjadi puntir saat terjadi pembebanan.

4.6 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 transversal dan 3 (tiga) dial gauge pada arah lateral,
3. Pembangkit beban (*Hydraulic Jack*) dipasang diatas benda uji.



Gambar 4.9 Set Up Peralatan

4.7 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 6 kN, lendutan pada titik 1 hingga 6 dibaca pada dial,
4. Prosedur seperti di atas terus diulangi hingga gelagar rusak.

4.8 Uji Kuat Tarik Baja dan Kuat Tarik Las

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

BAB V

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.

Pelat baja yang digunakan untuk pengujian memiliki ketebalan 2mm dan 3mm. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat bernama *Universal Testing Machine* (UTM) merk Shimadzu type UMH 30 di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari pengujian ini, 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 2mm	230	350
2	Pelat 3mm	230	300

Dari hasil pengujian didapatkan nilai f_u/f_y pelat 2mm yaitu 1.52, sedangkan pelat 3mm yaitu $f_u/f_y = 1,3$. Nilai f_u/f_y pelat 2mm lebih besar daripada f_u/f_y pelat 3mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa pelat 3mm memiliki lebih besar kuat tariknya dibandingkan dengan pelat 2mm. Hasil perhitungan kuat tarik baja dapat dilihat pada lampiran 2.

5.2 Hasil Perhitungan Kuat Tarik Las

Pengujian kuat tarik las ini juga dilaksanakan dengan menggunakan alat bernama *Universal Testing Machine (UTM)* merk Shimadzu type UMH 30 di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari pengujian ini didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

P Maksimum (N)	Fu (Mpa)
21000	614

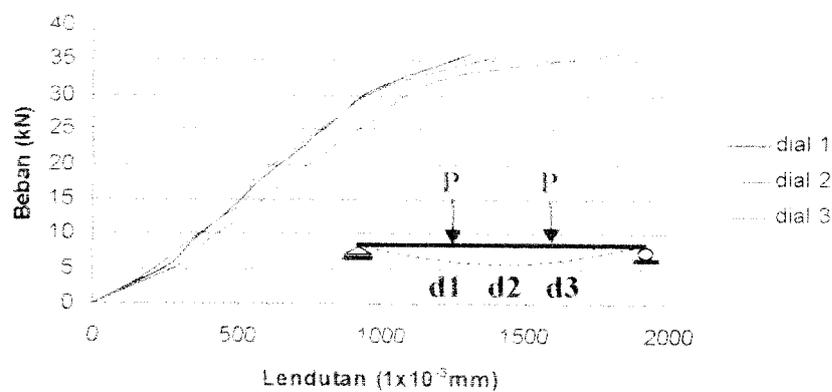
Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tarik las sebesar 614 Mpa. Dapat diambil kesimpulan bahwa nilai kuat tarik las sebesar 614 Mpa memenuhi persyaratan las 70 Ksi yang setara dengan 490 Mpa. Perhitungan kuat tarik las dapat dilihat pada lampiran 2.

5.1 Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang I dan Dobel Delta.

Pelaksanaan penelitian telah dilaksanakan pada tanggal 7 dan 8 Juni 2006 di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini terdiri atas pengujian kekuatan gelagar pelat penampang I dan penampang dobel delta dengan menggunakan Hidrolek Jack sebagai pemberi beban berkapasitas 300 KN. Segala persiapan pengujian termasuk alat-alat yang membantu, antara lain kunci-kunci mur baut, tang jepit, palu, alat Dial yang berguna untuk mengetahui besarnya nilai lendutan yang terjadi akibat pembebanan, pengaku-pengaku (*bracing*) yang dipasang disamping kiri maupun kanan benda uji dengan jarak sepertiga bentang (1550 mm). Hal ini dimaksudkan agar benda uji tidak mengalami tekuk puntir lateral. Hasil pengujian dituliskan dalam lampiran 2 laporan ini.

5.1.1 Hubungan Beban – Lendutan Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Beban yang diberikan secara kontinu pada setiap 3 kN, membuat gelagar tersebut mengalami lendutan. Apabila beban yang diberikan telah mencapai maksimum, maka pembebanan dihentikan. Pembebanan telah mencapai maksimum ditandai dengan tidak bertambahnya nilai beban yang tertera pada Hidrolik Jack meskipun pemompaan terus dilanjutkan. Jika setelah mencapai maksimum dan pemompaan diteruskan, maka akan terjadi nilai penurunan beban. Angka penurunan beban juga dapat dijadikan bukti kekuatan gelagar pasca tekuk. Nilai lendutan dapat dibaca pada dial yang telah terpasang pada ketiga tempat, yaitu ujung-ujung 1/3 bentang (dial 1 dan dial 3) serta 1/2 bentang gelagar (dial 2). Dimana nilai pada dial 2 harus lebih besar dari pada nilai di dial 3, sebab momen yang terjadi di dial 2 lebih besar. Begitu pula nilai lendutan dial 1 dan dial 3 juga harus sama untuk menunjukkan ketepatan jarak menaruh beban ke gelagar. Gelagar Pelat Penampang I didapatkan lendutan maksimum sebesar $1820 \times 0,01 = 18,2 \text{ mm}$.

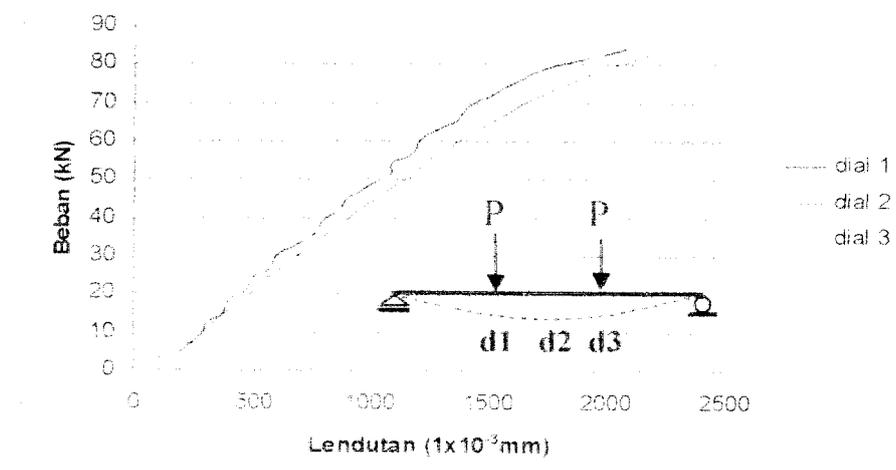


Gambar 5.1 Hubungan beban dan lendutan penampang I

Dari Grafik 5.1 didapatkan bahwa nilai dial tengah atau dial 2 ($1820 \times 0,01 = 18,2 \text{ mm}$) lebih besar dari pada nilai dial 1 ($1305 \times 0,01 = 13,05 \text{ mm}$) dan dial 3

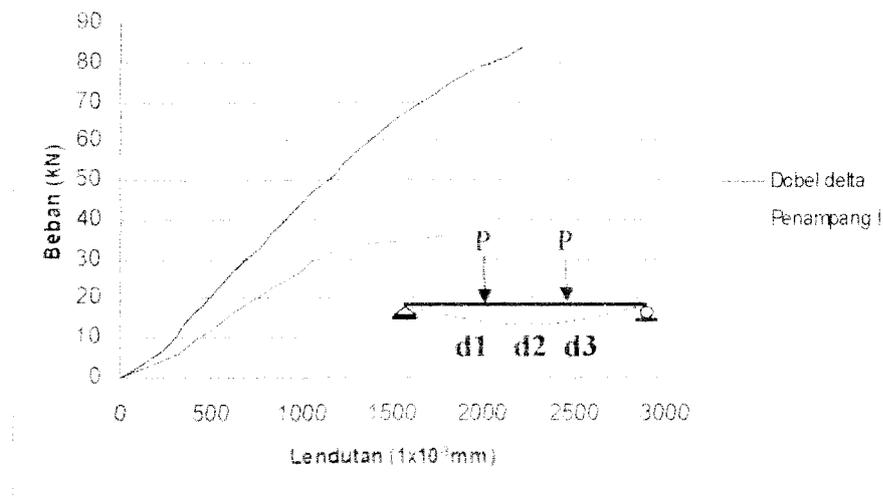
($1445 \times 0,01 = 14,45 \text{ mm}$). Hal ini menunjukkan bahwa lendutan terbesar terletak pada 1/2 bentang. Namun nilai dial 1 dan dial 3 tidak memiliki nilai yang sama, hal ini disebabkan karena penempatan alat dial yang agak bergeser dari 1/3 bentang gelagar. Data hasil pengujian beban-lendutan pelat I dapat dilihat pada Lampiran 6 laporan ini.

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



Gambar 5.2 Hubungan beban dan lendutan penampang Dobel Delta

Dari Grafik 5.2 didapatkan bahwa nilai dial tengah atau dial 2 ($2219 \times 0,01 = 22,19 \text{ mm}$) lebih besar dari pada dial 1 ($2085 \times 0,01 = 20,85 \text{ mm}$) dan dial 3 ($2018 \times 0,01 = 20,18 \text{ mm}$). Hal ini menunjukkan bahwa lendutan terbesar terletak pada 1/2 bentang. Namun nilai dial 1 dan dial 3 tidak memiliki nilai yang sama, hal ini disebabkan karena penempatan alat dial yang agak bergeser dari 1/3 bentang gelagar. Gelagar pelat penampang dobel delta ini didapat lendutan maksimum sebesar $2219 \times 0,01 = 22,19 \text{ mm}$.



Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Lendutan Gelagar I dan Gelagar Dobel Delta

Grafik 5.3 menunjukkan bahwa apabila kedua gelagar tersebut diberi beban yang sama, maka gelagar pelat dobel delta memiliki nilai lendutan yang lebih kecil dibandingkan gelagar I. Misalkan kedua gelagar diberi beban 36 kN, maka gelagar I mendapatkan lendutan sebesar 18,20 mm sedangkan gelagar dobel delta didapatkan lendutan sebesar 8,14 mm. Sehingga dengan adanya penambahan pelat penopang pada gelagar I dapat meningkatkan kekuatan gelagar, yaitu sebesar 2,2 kali.

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

Dari hasil pengujian gelagar pelat, diperoleh P_{maks} pada masing-masing penampang yaitu untuk gelagar pelat penampang I = 36 kN, sedangkan untuk gelagar pelat dobel delta = 84 kN. Diketahui bahwa 1 kN=100Kg dan beban tersebut dapat kita peroleh momen maksimum dengan persamaan 5.1 berikut.

$$M_{cr} = (P.L)/6 \quad (5.1)$$

Maka nilai M_{cr} sebagai berikut :

Tabel 5.3 Nilai M_{cr} gelagar I dan Dobel Delta hasil pengujian

Profil	I	Dobel Delta
M_{cr} (N.mm)	279000000	65100000

Untuk mendapatkan nilai S_x , maka dibutuhkan data I_x dan y sebagai berikut:

Tabel 5.4 Nilai y dan I_x gelagar I dan Dobel Delta

Profil	I	Dobel Delta
y (mm)	203	203
I_x (mm⁴)	30156106,67	40566773,33

Maka nilai S_x dapat dihitung dengan persamaan 5.2 berikut:

$$S_x \text{ (mm}^3\text{)} = \frac{I_x \text{ (mm}^4\text{)}}{y \text{ (m)}} \quad (5.2)$$

Nilai S_x untuk penampang I adalah 148552,25 mm³ dan untuk penampang dobel delta adalah 199836,32 mm³.

Setelah itu, dapat diperoleh pula nilai tegangan kritis (F_{cr}) gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta dengan persamaan 5.3 berikut:

$$F_{cr} \text{ (N/mm}^2\text{ atau Mpa)} = \frac{M_{cr} \text{ (Nmm)}}{S \text{ (mm}^3\text{)}} \quad (5.3)$$

Didapat nilai F_{cr} sebagai berikut.

Tabel 5.5 Nilai F_{cr} gelagar I dan Dobel Delta hasil pengujian

Benda Uji	I	Dobel Delta
F_{cr} Pengujian (Mpa)	187,8	230

Nilai F_{cr} gelagar dobel delta lebih besar dibanding dengan nilai F_{cr} gelagar I. hal ini disebabkan karena gelagar pelat dobel delta memiliki nilai koefisien tekuk pelat (k) yang lebih besar dan rasio tinggi terhadap tebal pelat sayap yang lebih kecil dibanding gelagar pelat I. Pada gelagar dobel delta ini memiliki nilai $F_{cr} = 325,76$ Mpa ($F_{cr} > F_y$), dapat disimpulkan bahwa gelagar dobel delta telah mencapai *strain hardening*, artinya gelagar tersebut memungkinkan menahan tegangan tambahan (>230 Mpa) namun semakin besarnya lendutan dan regangan sehingga gelagar tersebut sudah tidak stabil. Maka dalam perhitungan berikutnya, digunakan nilai $F_{cr} = F_y$ yaitu 230 Mpa.

5.1.3 Nilai Koefisien Tekuk.

Dari hasil pengujian yang diperoleh, didapat beban maksimum (P) dan tegangan kritis (F_{cr}), sehingga dapat diperoleh pula nilai koefisien tekuk (k) hasil penelitian dengan persamaan 5.4 dan persamaan 5.5 sebagai berikut

k badan :

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^4) \left(\frac{h}{t_w} \right)^2}{\pi^2 \cdot E} \quad (5.4)$$

k sayap :

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^4) \left(\frac{b}{2t_f} \right)^2}{\pi^2 \cdot E} \quad (5.5)$$

Secara teoritis nilai koefisien tekuk (k) untuk gelagar pelat I diasumsikan sebagai tumpuan sederhana adalah 0,425 pada sayap, sedangkan pada pelat badan adalah

23.9. Demikian pula nilai k gelagar pelat dobel delta adalah 4 pada sayap dan 23.9 pada badan. Dengan meningkatkan nilai koefisien tekuk pelat, maka dapat dibuktikan pula bahwa gelagar pelat dobel delta lebih kaku dan lebih kuat. Untuk mengetahui hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan, dapat dilihat pada tabel 5.6 sebagai berikut:

Tabel 5.6 Nilai koefisien tekuk (k) hasil penelitian gelagar pelat I dan dobel delta

Profil	I	Dobel Delta
Sayap	0.175	0.21
Badan	39.54	31.02

5.2 Pembahasan

5.2.1 Pelat I dan Dobel Delta setelah pengujian.

Setelah dilakukan pengujian gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta terdapat kerusakan-kerusakan yang terjadi akibat pembebanan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pelat sayap pada gelagar pelat penampang I mengalami tekuk lokal dan sedikit mengalami tekuk lateral. Sedangkan pada pelat Dobel Delta pelat sayap tidak mengalami tekuk lokal dan sedikit mengalami tekuk lateral.

Dari kerusakan-kerusakan yang terjadi dapat diambil kesimpulan bahwa dengan memodifikasi pelat I menjadi pelat Dobel Delta akan menghindari gelagar pelat mengalami tekuk lokal (*buckling*) pada pelat sayap, nilai k sayap pada gelagar I yaitu 0,425 dan untuk dobel delta sayapnya yang telah diperkaku yaitu dengan nilai $k=4$. Sehingga dengan pelat sayap yang diperkaku, terbukti bahwa dari hasil pengujian pelat sayap pada gelagar dobel delta sama sekali tidak terdapat tekuk lokal sayap.

Kerusakan yang terjadi selain tekuk pada sayap gelagar I, ada pula tekuk puntir lateral pada pelat badan gelagar I. Pada gelagar pelat, tekuk puntir lateral terjadi karena

tidak seimbangnya sokongan samping. Apabila dihindarkan tidak terjadi tekuk puntir lateral pada gelagar, maka dipasang sokongan samping (pengekangan momen dan geser) yang menerus sepanjang pertemuan pelat sayap dan pelat badan. Pada gelagar pelat dobel delta yang diujikan juga mengalami tekuk puntir lateral namun lebih kecil. Tekuk puntir lateral yang terjadi semakin kecil setelah pelat sayap pada gelagar I diperkaku, karena akibat penambahan pengaku tersebut, h (tinggi gelagar) yang dimiliki dobel delta lebih pendek dibanding gelagar pelat I sehingga pelat badan gelagar dobel delta lebih kaku. Agar lebih jelas untuk mengetahui tingkat kerusakan pelat hasil uji dapat dilihat pada lampiran 12 tugas akhir ini.

5.2.2 Hubungan Beban – Lendutan Pengujian.

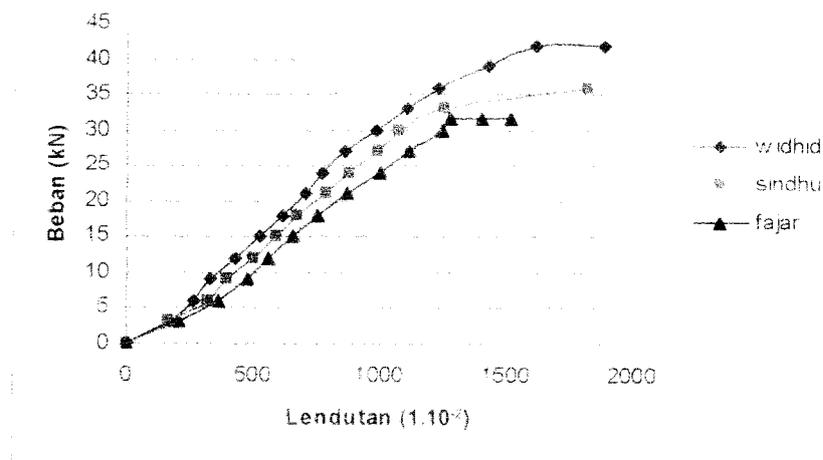
Dari pengujian yang telah dilakukan, bahan uji mengalami tekuk lokal pada sayap gelagar, baik penampang I maupun Dobel Delta. Hal ini dapat dilihat pada lampiran laporan ini. Dalam pengujian ini, kami melibatkan 3 mahasiswa dengan nilai h/b yang bervariasi. Yaitu diantaranya Widhid dengan $h/b=4$, Sindhu dengan $h/b=5$, dan Fajar dengan $h/b=5.7$. Nilai beban dan lendutan dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan 5.8 dibawah ini, yaitu:

Tabel 5.7 Nilai Beban - Lendutan Gelagar I

Nilai I	$h/b=4$	$h/b=5$	$h/b=5.7$
Beban (kN)	42	36	31.5
Lendutan (mm)	18.82	18.2	15.16
Kekakuan (kN/mm)	2.23	1.97	2.07

Dari Tabel 5.7 dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap lebar suatu gelagar I maka semakin kecil beban yang dapat didukung dan semakin kecil pula lendutan yang terjadi. Nilai kekakuan pun dapat dicari dengan membagi faktor beban

terhadap lendutan yang terjadi, dapat disimpulkan pula bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap lebar suatu gelagar maka semakin kecil nilai kekakuannya. Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6 laporan ini. Adapun grafik beban-lendutan yang terjadi pada gelagar I delta setiap kenaikan beban 3kN yaitu:



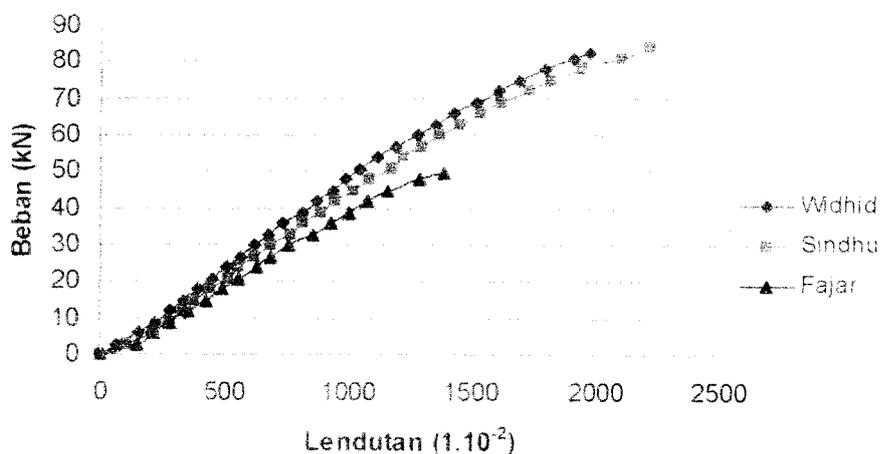
Gambar 5.3 Nilai Beban dan Lendutan Gelagar I

Setelah dilakukan pengujian, didapat nilai kenaikan beban setiap 3kN hingga beban maksimum. Semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar pula lendutan yang terjadi. Hal ini terjadi pada pelaksanaan ketiga macam gelagar I yaitu gelagar $h/b=4$ saudara Widhid, gelagar $h/b=5$ saudara Sindhu dan gelagar $h/b=5,7$ saudara Fajar.

Tabel 5.8 Nilai Beban dan Lendutan Gelagar Dobel Delta

Nilai DD	$h/b=4$	$h/b=5$	$h/b=5,7$
Beban	82,5	84	49,5
Lendutan	19,7	22,19	13,86
Kekakuan	4,18	3,78	3,57

Dari Tabel 5.8 menunjukkan bahwa karakteristik nilai beban maksimum dan lendutan yang terjadi pada gelagar dobel delta sama dengan karakteristik nilai gelagar I yaitu semakin besar rasio tinggi terhadap lebar gelagar maka semakin kecil beban maksimum yang dapat dipikul dan semakin kecil pula lendutan yang terjadi. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 6 laporan ini. Adapun grafik beban-lendutan yang terjadi pada gelagar dobel delta setiap kenaikan beban 3 kN atau 100Psi yaitu:



Gambar 5.4 Nilai Beban dan Lendutan Gelagar Dobel Delta

Dalam pengujian ini, benda uji dengan rasio $h/b=5$ pada gelagar I mampu menahan beban maksimum hingga 36 kN dengan lendutan yang terjadi akibat beban sebesar 18.20 mm. Sedangkan gelagar dobel deltanya mampu menahan beban maksimum hingga 84 kN dengan lendutan yang terjadi sebesar 22.19 mm. Sehingga dapat ditarik pernyataan bahwa dengan memodifikasi Gelagar I menjadi Gelagar Dobel Delta, dapat meningkatkan kekuatan sebesar 2.3 kali. Dari peningkatan yang sebesar itu, modifikasi yang dilakukan hanya meningkatkan inersia sumbu kuat $I_x = 1.34$ kali dan sumbu lemah $I_y=1.66$ kali. Inersia meningkat dikarenakan adanya penambahan bahan yang terjadi.

dengan penambahan bahan yang cukup ekonomis dapat meningkatkan kekuatan sebesar 2,3 kali lipat.

Dari penelitian yang dilakukan bersama saudara Fajar dan saudari Widhid dapat disimpulkan bahwa semakin lebar pelat sayap dengan tebal dan tinggi yang sama akan meningkatkan kekakuan pada pelat dan akan semakin tinggi kemampuan pelat dalam menerima beban yang terjadi. Hal ini patut dipertimbangkan dalam perencanaan gelagar pelat.

5.2.3 Rasio Nilai Momen Batas (M_{cr}) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Berdasarkan hasil pengujian, didapat nilai momen batas maksimum yang terjadi pada ketiga sampel sebagai berikut.

Tabel 5.9 Nilai Rasio M_{cr} Dobel Delta Terhadap I Hasil Pengujian

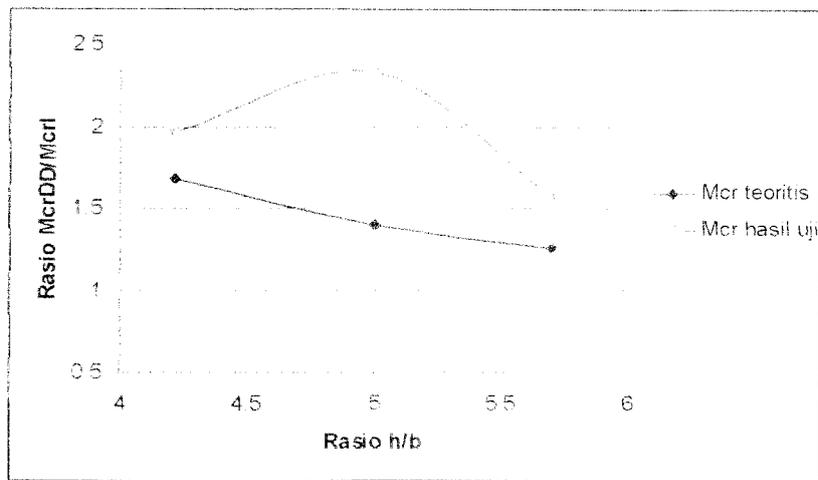
Variasi	$h/b=4$	$h/b=5$	$h/b=5,7$
$M_{cr I}$	32550000	27900000	24412500
$M_{cr DD}$	63937500	65100000	38362500
Rasio M_{crDD}/M_{crI}	1,96	2,33	1,57

Tabel 5.10 Nilai Rasio M_{cr} Dobel Delta Terhadap I Teoritis

Variasi	$h/b=4$	$h/b=5$	$h/b=5,7$
$M_{cr I}$	38221246,67	40369600	31547566,67
$M_{cr DD}$	64436342,31	56677536,47	39705191,88
Rasio M_{crDD}/M_{crI}	1,68	1,40	1,26

Dari hasil teori dan pengujian didapatkan rasio nilai M_{cr} gelagar I dan nilai M_{cr} gelagar dobel delta seperti pada Tabel 5.9 dan 5.10. Secara teoritis, semakin besar rasio tinggi terhadap lebar gelagar maka semakin kecil rasio M_{cr} dobel delta terhadap M_{cr} I nya. Sedangkan dari hasil pengujiannya yang seharusnya juga memiliki rasio M_{cr} dobel delta terhadap M_{cr} I semakin kecil akibat makin besarnya rasio tinggi terhadap lebar gelagarnya, namun pada kenyataannya tidak terlalu sesuai. Nilai rasio M_{crDD} terhadap M_{cr} I pada gelagar $h/b=5$ lebih kecil dibanding gelagar $h/b=4$. Hal ini dikarenakan gelagar pelat I yang dipasang saat dilaksanakan pengujian, memiliki penopang samping (*bracing*) yang terlalu menekan kuat gelagar, sehingga keadaan gelagar I ini lebih kaku dibanding gelagar I yang dipasang dengan $h/b=4$ maupun $h/b=5,7$. kekuatan *bracing* sangat menentukan kekuatan gelagar itu sendiri, semakin kuat dan rapat *bracing* yang dipasang pada samping gelagar maka kekuatan gelagar tersebut semakin besar. Terlebih *bracing* yang dipasang pada setiap pertemuan pelat badan dan pelat sayap, gelagar tersebut tidak akan mengalami tekuk puntir lateral sebab gelagar tersebut memiliki keseimbangan tegangan yang terjadi pada kedua sumbunya. Artinya, inersia sumbu lemah (I_y) memiliki nilai yang lebih kecil dibanding nilai inersia sumbu kuatnya (I_x) sehingga tidak seharusnya gelagar tersebut mengalami tekuk kearah sumbu kuat (I_x) jika pemasangan *bracing* yang tepat. Data selengkapnya tentang cara mendapatkan M_{cr} hasil uji dapat dilihat pada Lampiran 7 laporan ini.

Perbedaan yang signifikan tersebut antara rasio M_{cr} dobel delta hasil uji terhadap rasio M_{cr} teoritis dapat dilihat dengan Grafik 5.5 dibawah ini:



Gambar 5.5 Hubungan Mer hasil uji dan teoritis

Dari Grafik 5.5 dapat diambil kesimpulan bahwa secara teoritis dengan memodifikasi gelagar I menjadi Dobel Delta dapat meningkatkan Momen Kritis (Mer) sebesar 1.40 kali, sedangkan pembuktian secara nyata didapatkan dari hasil pengujian Mer meningkat sebesar 2,33 kali. Dari grafik diatas menunjukkan rasio Mer untuk $h/b=5$ lebih besar dibandingkan rasio Mer untuk $h/b=4$. Hal itu disebabkan karena adanya sedikit kesalahan dalam pemasangan bracing yang terlalu rapat disalah satu sisi benda uji, dengan kerapatannya tersebut membuat gelagar lebih kuat dan lebih kaku.

Dari pengujian yang telah dilakukan bersama Saudara Fajar dan Saudari Widhid jelas bahwa semakin besar lebar sayap akan meningkatkan Momen Kritis pelat (Mer).

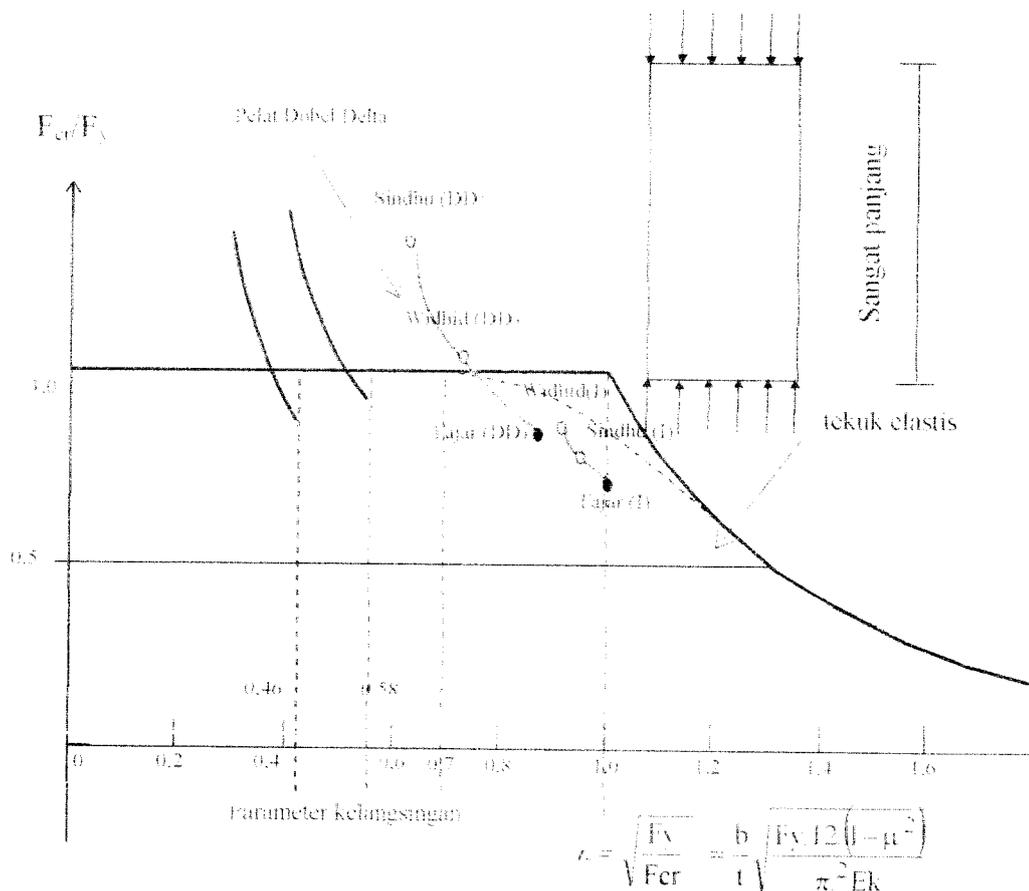
5.2.4 Rasio Nilai Tegangan Kritis (F_{cr}) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Dari hasil pengujian, didapat nilai tegangan kritis ketiga sampel pada **Tabel 5.9** yaitu:

Tabel 5.11 Nilai tegangan kritis (F_{cr}) ketiga sampel

Variasi	$h/b=4,25$	$h/b=5$	$h/b=5,7$
I	196,85	187,81	178,78
Dobel Delta	286,21	230	210,05
Rasio F_{cr}	1,17	1,22	1,17

Dari pengujian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa memodifikasi pelat I menjadi Pelat Dobel Delta akan meningkatkan tegangan kritis pelat sebesar 1.22 kali. F_{cr} dobel delta hasil pengujian memiliki nilai lebih besar dari F_y ($F_{cr} > F_y$) yaitu 325,76 MPa, maka gelagar dobel delta telah mencapai *strain hardening*. Artinya gelagar tersebut memungkinkan menahan tegangan tambahan ($\sigma > 230$ Mpa) namun semakin besarnya lendutan dan regangan yang terjadi sehingga gelagar tersebut sudah tidak stabil. Maka dalam perhitungan berikutnya, digunakan nilai $F_{cr} = F_y$ yaitu 230 Mpa. Berdasarkan parameter yang telah ditetapkan oleh *Ostapenko (1974)* jelas bahwa penelitian ini telah memenuhi persyaratan-persyaratan yang telah ditetapkan hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5.6 Kurva Parameter Kelangsingan Pelat Panjang

Nilai dari Tabel 5.11, dapat disimpulkan bahwa dengan ditambahkan pengaku pada kedua sayap penampang I, dapat meningkatkan nilai tegangan kritis (F_{cr}). F_{cr} pada penampang I memiliki nilai yang lebih kecil dari pada penampang dobel delta, hal itu disebabkan karena Koefisien tekuk yang dimiliki penampang I lebih kecil dibandingkan dengan penampang dobel delta baik sayap maupun badan. Membuat pelat sayap menjadi lebih kaku, akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar dari gelagar I dan menghambat terjadinya tekuk pada sayap. Selain itu, dengan adanya pengaku pada gelagar dobel delta, menjadikan tinggi gelagar juga semakin pendek, sehingga tekuk puntir lateral kemungkinannya kecil terjadi. Data selengkapnya untuk mendapatkan nilai F_{cr} hasil uji dapat dilihat pada Lampiran 7 laporan ini.

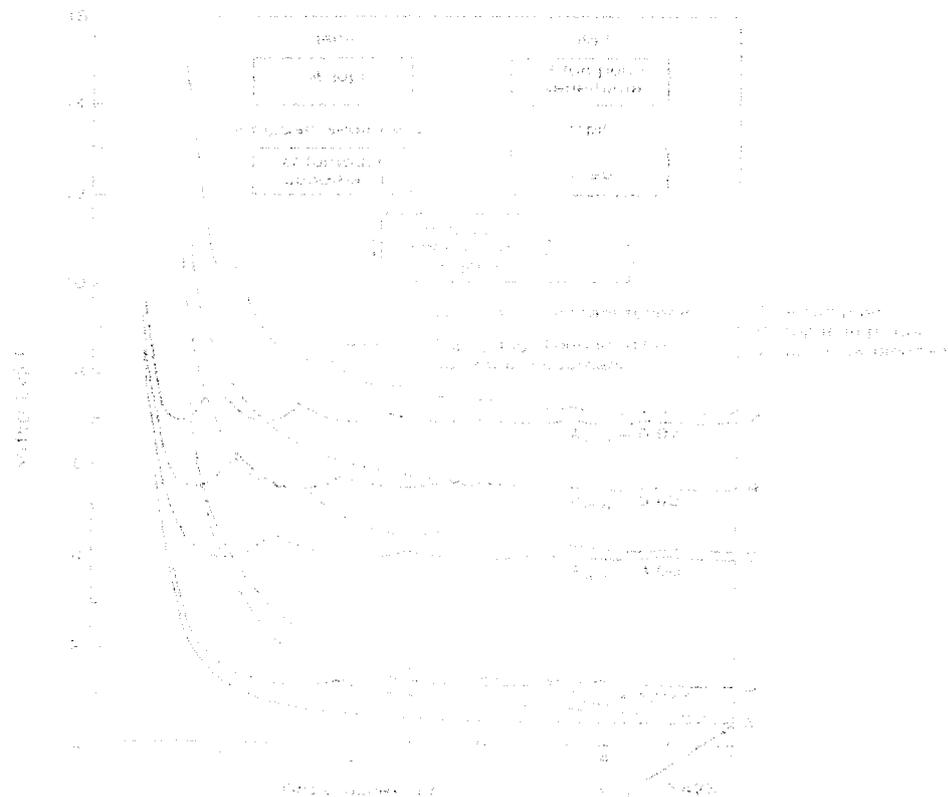
5.2.5 Rasio Nilai Koefisien Tekuk (k) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Dari hasil pengujian, didapat nilai koefisien tekuk (k) ketiga sampel, yaitu:

Untuk k sayap (Tabel 5.12):

Variasi	$h/b=4$	$h/b=5$	$h/b=6$
k I	0,25	0,175	0,13
k Dobel Delta	0,29	0,21	0,15

Dari hasil pengujian, nilai koefisien tekuk hasil modifikasi gelagar I menjadi gelagar Dobel Delta meningkat sebesar 1,2 kali. Nilai koefisien tekuk (k) pada sayap dapat dilakukan pengecekan pada Grafik 5.7 dibawah ini:



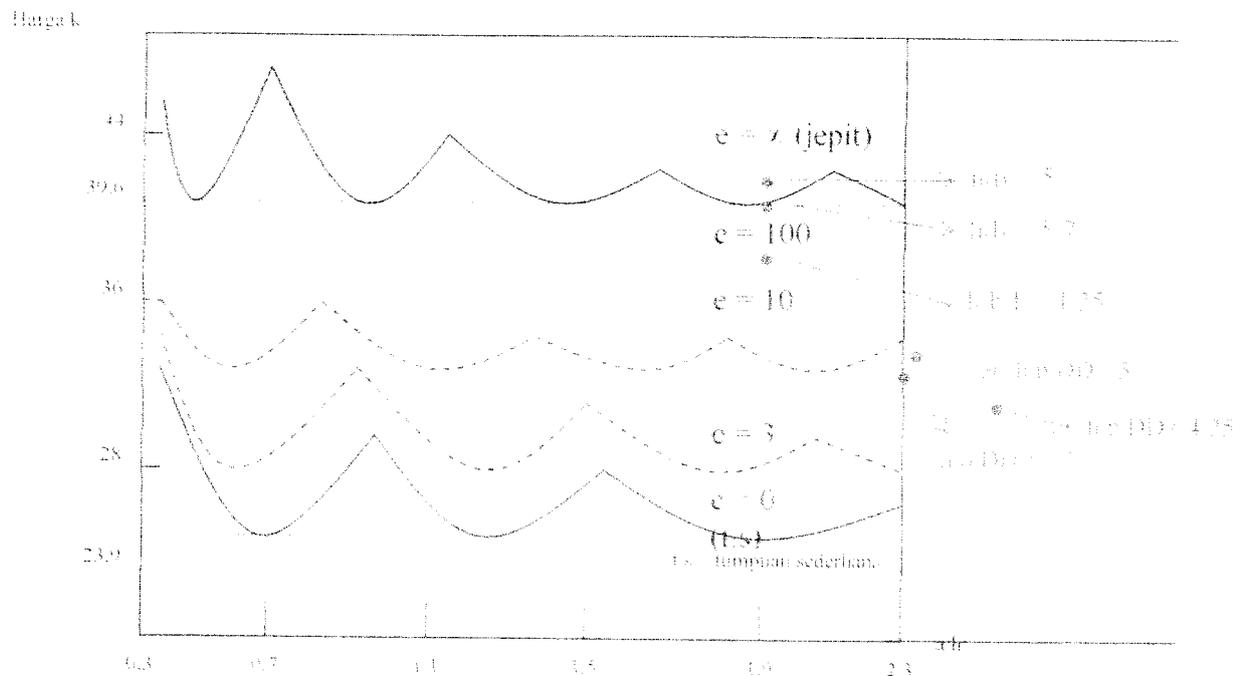
Gambar 5.7 Hubungan rasio a/b terhadap nilai koefisien tekuk pelat

Dari penelitian yang telah dilakukan bersama Saudara Fajar dan Saudari Widhid dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar lebar pelat sayap akan memberikan nilai koefisien tekuk semakin besar pula sehingga akan mempengaruhi besarnya nilai tegangan kritis pada pelat sayap.

Untuk k badan (Tabel 5.13):

Variasi	$h/b=4,25$	$h/b=5$	$h/b=5,7$
k I	41,45	39,54	37,64
k Dobel Delta	28,36	31,02	30,11

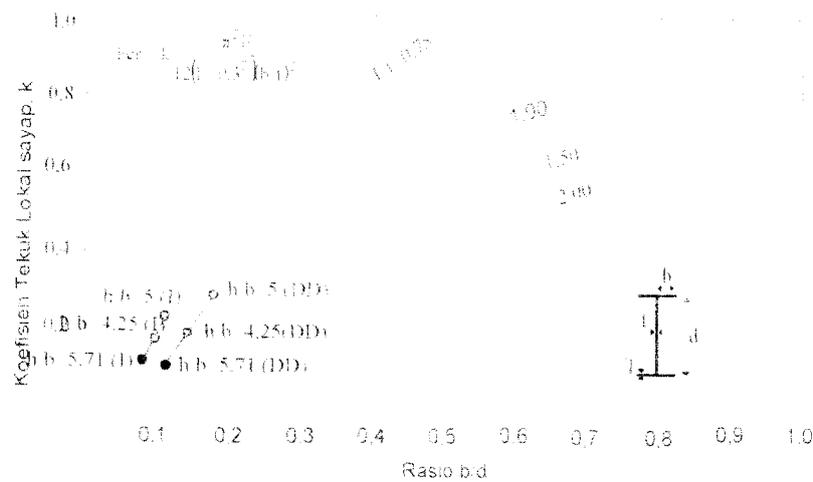
Dari hasil pengujian didapatkan nilai koefisien tekuk pada badan pelat I sebesar 39,54 dan pada pelat dobel delta sebesar 31,02. Dapat disimpulkan bahwa modifikasi gelagar I menjadi Dobel Delta dapat meningkatkan nilai koefisien tekuk sebesar 0,78 kali. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat dilakukan pengecekan terhadap koefisien pelat badan yaitu :



Gambar 5.8 Grafik Koefisien tekuk pelat badan

Berdasarkan Gambar 5.8 dapat diambil suatu kesimpulan bahwa nilai koefisien tekuk pada pelat badan memenuhi persyaratan parameter nilai koefisien tekuk.

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



Gambar 5.9 Koefisien tekuk lokal pada batang tekan

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa kebenaran penelitian yang telah dilakukan. Hal ini telah terbukti bahwa penelitian yang telah dilakukan memiliki nilai yang hampir sama dengan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Agar lebih jelasnya cara mendapatkan nilai k hasil uji, dapat dilihat pada Lampiran 7 laporan ini.

5.2.6 Nilai Faktor Kelengkungan Pelat I dan Dobel Delta

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

Dengan menggunakan persamaan 5.10 akan didapatkan nilai kelengkungan pelat sebagai berikut :

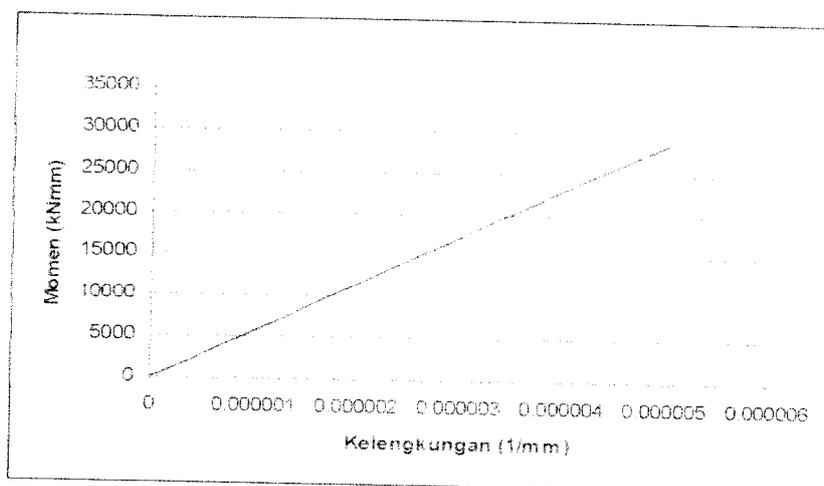
$$\phi = \frac{\varepsilon}{h \cdot 2} \quad (5.6)$$

Dengan persamaan diatas didapatkan nilai kelengkungan hasil uji pelat I sebagai berikut :

Tabel 5.14 Nilai Kelengkungan Gelagar Pelat I

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Fcr (MPa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
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
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
33	25575	187,2922	0,000892	4,45934E-06
36	27900	204,3187	0,000973	4,86473E-06

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



Gambar 5.10 Grafik kelengkungan pelat I

Dari pengujian gelagar pelat dobel delta juga didapatkan nilai kelengkungan sebagai berikut yaitu . (Tabel 5.13)

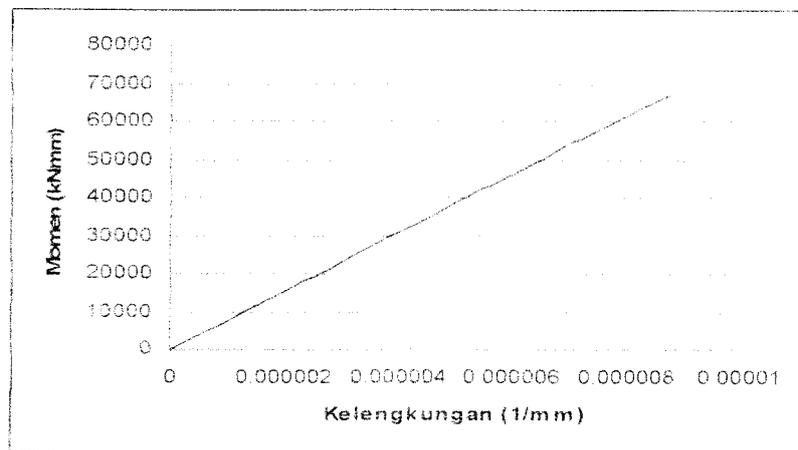
Tabel 5.13 Nilai kelengkungan Dobel Delta

Beban (kN)	Momen (kNm)	Fcr (MPa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
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

Lanjutan Tabel 5.14 Nilai Kelengkungan Dobel Delta

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Fcr (MPa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
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
51	39525	216.419	0.001031	5.15283E-06
54	41850	229.1496	0.001091	5.45594E-06
57	44175	241.8801	0.001152	5.75905E-06
60	46500	254.6106	0.001212	6.06216E-06
63	48825	267.3411	0.001273	6.36527E-06
66	51150	280.0717	0.001334	6.66837E-06
69	53475	292.8022	0.001394	6.97148E-06
72	55800	305.5327	0.001455	7.27459E-06
75	58125	318.2633	0.001516	7.5777E-06
78	60450	330.9938	0.001576	7.8808E-06
81	62775	343.7243	0.001637	8.18391E-06
84	65100	356.4549	0.001697	8.48702E-06

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



Gambar 5.11 Grafik kelengkungan pelat Dobel Delta

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

Dari hasil pengujian, diperoleh rasio M_n/M_y terhadap h/t_w sebagai berikut:

Tabel 5.15 Hubungan M_n/M_y terhadap h/t_w gelagar I dan Dobel Delta

Benda Uji	M_n/M_y		Rasio
	I	Dobel Delta	$\frac{M_n}{M_y^{ddl}} / \frac{M_n}{M_y^I}$
$h/b=4$	0,83	1	1,17
$h/b=5$	0,78	1	1,28
$h/b=6$	0,74	0,87	1,18

Persamaan yang digunakan untuk mencari M_n/M_y sebagai berikut:

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{F_{cruji}}{F_y} \quad (5.7)$$

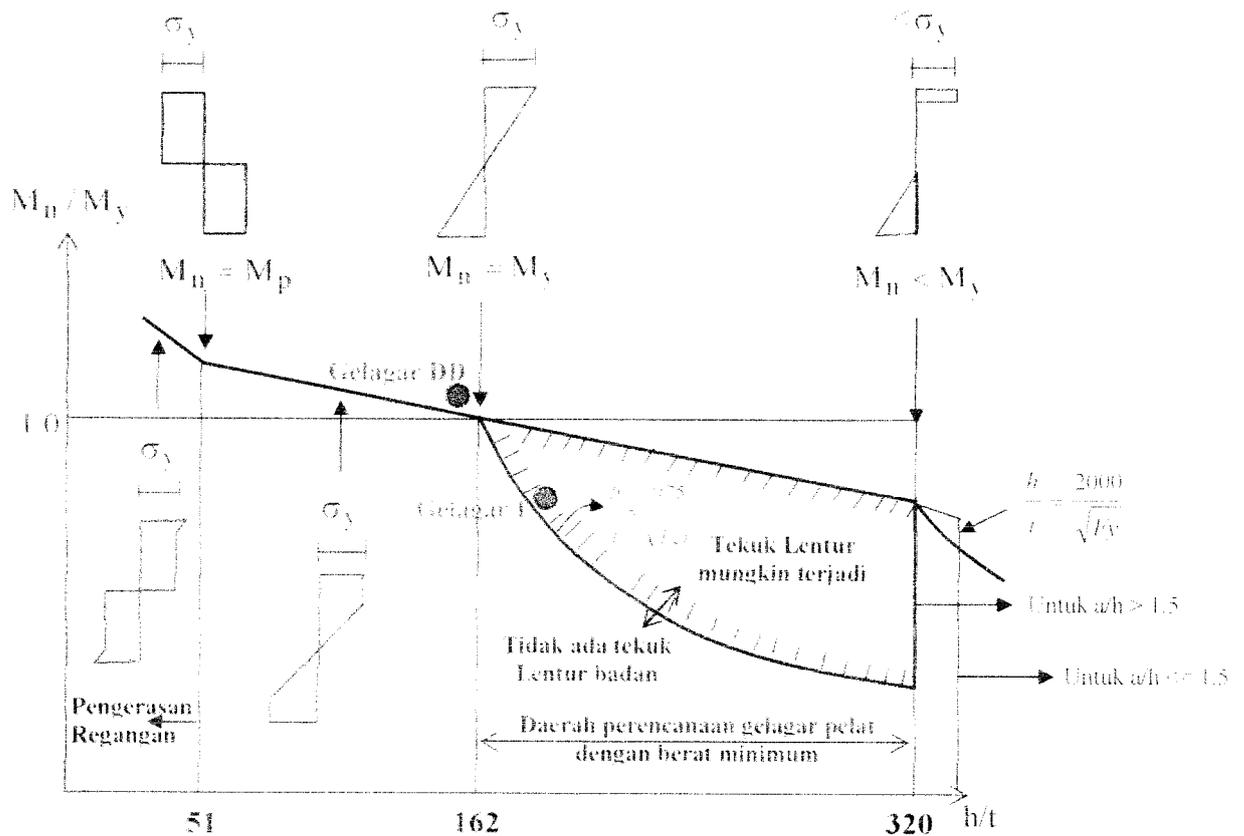
Nilai F_{cr} hasil uji gelagar I yaitu $187,8 \text{ Mpa} < F_y \text{ } 230 \text{ Mpa}$ maka dapat digunakan $F_{cr} = 178,78$. Sedangkan gelagar dobel delta memiliki nilai $F_{cr} \text{ } 325,7 \text{ Mpa} > F_y$ maka digunakan $F_{cr} = 230 \text{ Mpa}$. Tampak bahwa dari Tabel 5.15 bahwa, memodifikasi gelagar I menjadi gelagar Dobel Delta terjadi peningkatan M_n/M_y sebesar 1,29 kali. Hal ini terjadi karena nilai tegangan kritis (F_{cr}) gelagar I lebih kecil dibanding gelagar Dobel delta. Selain itu, h/t_w pada badan gelagar I lebih besar dari pada gelagar Dobel Delta, semakin kecil nilai h/t_w maka nilai M_n/M_y meningkat. Atau bisa dikatakan bahwa nilai rasio M_n/M_y berbanding lurus dengan rasio tegangan kritis (F_{cr}) dan berbanding terbalik dengan rasio h/t_w .

5.2.8 Rasio Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan.

Setelah didapat nilai momen kritis pada pengujian maka akan didapatkan nilai rasio momen batas terhadap momen lelehnya. Pada perhitungan tercantum pada Tabel 5.15 didapatkan nilai M_n/M_y pada pelat penampang I adalah sebesar 0,77 dan pada pelat penampang Dobel Delta adalah sebesar 1. Sehingga didapat momen batas terhadap momen leleh adalah sebesar 1,29.

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

Untuk mengetahui kebenaran penelitian yang telah dilakukan maka berdasarkan grafik momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan yang ditetapkan oleh peneliti terdahulu mamka dapat dilakukan pengecekan sebagai berikut yaitu :



Gambar 5.12 Hubungan Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan

Grafik 5.12 menerangkan bahwa desain bahan yang memiliki rasio $h/t < 50$ akan mengalami momen plastis penuh, atau momen nominal (M_n) $>$ Momen Plastis (M_p). Hal ini membuat bahan tidak akan mengalami tekuk pada badan sebab dimensi bahan yang sangat tebal. Sedangkan dimensi bahan yang memiliki rasio h/t antara $50 < h/t < 162$ juga tidak akan mengalami tekuk pada badan, sebab pada daerah ini dimensi bahan yang digunakan masih tebal meskipun batas maksimal rasio h/t bahan memiliki nilai momen

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

Dari gambar grafik 5.12 jelas bahwa penelitian yang telah dilakukan masuk dalam persyaratan yang telah ditetapkan. Untuk gelagar I memiliki nilai $M_n/M_y < 1$, daerah ini disebut dengan daerah elastis. Sedangkan gelagar dobel delta memiliki nilai $M_n/M_y > 1$, disebut daerah plastis atau gelagar telah mengalami plastis (*strain hardening*). Dengan ditambahkannya pengaku pada gelagar pelat I, dapat meningkatkan tegangan kritis hingga mencapai tegangan leleh.

5.2.9 Perbandingan Tekuk Lokal Terhadap Nilai Momen Puntir Lateral.

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

Tabel 5.16 Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Lateral Gelagar Pelat I

Variasi	Mcr Tekuk Puntir Lateral (Nmm)	Mcr Tekuk Lokal (Nmm)
$h/b = 4,21$	51505954	38221246,67
$h/b = 5$	31982365	40369600
$h/b = 5,7$	21611339,66	31547566,67

Dari Tabel (5.15) Diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai M_{cr} lokal yang lebih kecil dari pada M_{cr} puntir lateral menyebabkan tekuk yang akan terjadi setelah pengujian adalah tekuk lokal pada sayap. Terbukti bahwa pada penelitian aktual menunjukkan pelat I mengalami tekuk lokal pada pelat sayapnya. Untuk lebih memperkuat hasil penelitian dapat dilihat pada lampiran foto kerusakan pelat hasil uji pada gelagar poelat penampang I.

Tabel 5.17 Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Lateral Gelagar Pelat Dobel Delta

Variasi	M_{cr} Tekuk Puntir Lateral (Nmm)	M_{cr} Tekuk Lokal (Nmm)
$h/b = 4,21$	55166646	50616685,8
$h/b = 5$	36109539	56677536,47
$h/b = 5,7$	25335786,82	39705191,88

Dari Tabel (5.16) Diatas dapat disimpulkan bahwa pelat Dobel Delta cenderung mengalami tekuk lokal pada pelat sayap hal ini ditunjukkan dengan nilai momen berdasarkan tekuk lokal lebih kecil dari momen berdasarkan tekuk puntir lateral. Terbukti bahwa pada penelitian aktual yang menunjukkan pelat Dobel Delta mengalami tekuk lokal pada pelat sayapnya. Untuk lebih memperkuat hasil penelitian dapat dilihat pada lampiran foto kerusakan pelat hasil uji pada gelagar pelat penampang Dobel Delta.

5.2.10 Desain Plastis Gelagar

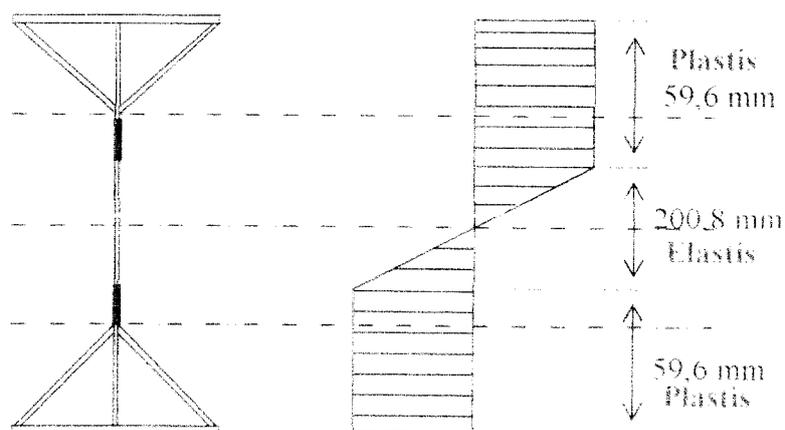
Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan nilai F_{cr} gelagar dobel delta lebih dari nilai tegangan lelehnya (230 Mpa), yaitu 325,76 Mpa. maka gelagar tersebut telah mencapai daerah strain hardening. Pada keadaan ini, gelagar dapat diartikan masih mungkin menahan tegangan tambahan (> 230 Mpa) akan tetapi deformasi dan

regangannya sangat besar sehingga gelagar sudah tidak stabil. Maka, terbukti bahwa dengan memodifikasi gelagar I menjadi gelagar dobel delta dapat meningkatkan tegangan kritisnya. Tidak hanya sampai pada kondisi sama dengan tegangan lelehnya, namun hingga mencapai kondisi plastis. Adapun nilai desain plastis gelagar dobel delta sebagai berikut:

Tabel 5.18 Nilai M_{cr} Hasil Uji dan Momen Plastis

Momen Desain Plastis	M _{cr} Hasil Uji
59.381.101,27	65.100.000

Semakin dekatnya nilai Momen Plastis (M_p) maka semakin teliti pula pembagian daerah elastis dan daerah plastisnya pada distribusi momen lenturnya. Dari hasil perhitungan desain plastis gelagar tersebut, didapatkan nilai M_p = 59.381.101,27. Nilai rasio M_{cr} hasil uji terhadap M_p didapatkan = 1,09, nilai rasio M_{cr} hasil uji terhadap M_p adalah lebih dari 1. Maka kesimpulannya, gelagar tersebut telah mencapai *strain hardening*. Hitungan desain plastis gelagar tertulis dalam lampiran 11 laporan ini. Sehingga didapatkan gambar distribusi momen lentur gelagar dobel delta yaitu:



Gambar 5.13 Distribusi Momen Lentur Gelagar

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan uraian pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Apabila dilihat dari besarnya beban yang ditumpu dan lendutan yang terjadi, kekuatan gelagar pelat dobel delta meningkat 2,3 kali atau 133% terhadap gelagar pelat I.
2. Nilai tegangan kritis (F_{cr}) pada gelagar pelat dobel delta meningkat sebesar 1,73 kali atau 73 % terhadap gelagar pelat I.
3. Penambahan pengaku pada gelagar pelat dobel delta dapat meningkatkan nilai koefisien tekuk pada sayap sebesar 1,72 kali atau 72% dan koefisien tekuk pada badan 1,1 kali atau 10% terhadap gelagar pelat I.
4. Rasio MN/My yang dimiliki gelagar pelat dobel delta menunjukkan peningkatan sebesar 1,73 kali atau 73% terhadap gelagar pelat I.

6.2 **Saran**

Apabila ingin melakukan penelitian lebih lanjut tentang gelagar pelat I dan dubel delta, maka harus dipertimbangkan sebagai berikut:

1. Perlu diperhatikan pada pembuatan sample dan saat penyetingan hingga pengujian dilaksanakan agar didapat data yang lebih sempurna.
2. Pada pemasangan dukungan lateral (lateral support) hendaknya dipasang tepat dan rapat terhadap gelagar, agar beban sempurna menekan gelagar dan tidak terjadi keruntuhan lateral.
3. Pada penelitian lebih lanjut dapat lakukan perubahan variasi-variasi sampel.
4. Konsentrasi tidak dibatasi dengan panjang gelagar pelat sehingga akan tampak lebih jelas lendutan yang terjadi apabila gelagar lebih panjang.

PENUTUP

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

Dalam penyusunan laporan ini, penulis berusaha menyajikan laporan yang terbaik agar laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkecimpung dibidang teknik sipil atau semua pihak yang membutuhkannya. Namun disadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan sebagai manusia, sehingga laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu demi tercapainya kesempurnaan laporan ini, penyusun mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak.

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

DAFTAR PUSTAKA

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1996, **STRUKTUR BAJA** Edisi Ketiga, Gramedia, Jakarta.

S. Timoshenko, S. Woinowsky, Krieger, S. Hindarko, 1988, **TEORI PELAT DAN CANGKANG** Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

Gere dan Timoshenko, Hans J. Wospakrik, 1987, **MEKANIKA BAHAN** Edisi kedua Versi SI Jilid 1, Erlangga, Jakarta.

Hand Book of Mechanics, Materials and Structures, Alexander Blake, 1985, John Willey & Sons, Inc, USA.

Load and Resistance Factor Design Specification For Structural Steel Building (AISC), 2000, American Institute of Steel Construction, USA.

Stephen P. Timoshenko, James M. Gere, **THEORY OF ELASTIC STABILITY**, 1961, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.

Michael Bruneau, att all, **DUCTILE DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, 1998, McGraw-Hill Companies. Inc, New York.

Friedrich Bleich, **BUCKLING STRENGTH OF METAL STRUCTURES**, 1952, United Engineering Trustees, Inc, USA

Edwin H. Gaylord, Jr, **DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, 1992, McGraw-Hill Companies. Inc, Singapore



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

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

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : : 9 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ III /2006
Lamp. : -
Hal : BIMBINGAN TUGAS AKHIR
Periode Ke : III (Mar 06 - Agst 06)

Jogjakarta, 24-Mar-06

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

Jogjakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

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

1	Na m a	:	R Sindhu Adityo
	No. Mhs.	:	02 511 027
	Bidang Studi	:	Teknik Sipil
	Tahun Akademi	:	2005 - 2006

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

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

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Rasio Momen Batas Gelagar Plat Penampang Dobel Delta Terhadap Penampang I Dengan Rasio Tinggi Terhadap Lebar Lima (h/b: 5)
--

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.



Dekan
Jurusan Teknik Sipil
Munadhir, MS

Tembusan

- 1) Dosen Pembimbing ybs
- 2) Mahasiswa ybs
- 3) Arsip. 24-Mar-06
- 4) Sampai Akhir Agustus 2006



UNTUK DOSEN

**KARTU PRESENSI KONSULTASI
TUGAS AKHIR MAHASISWA**

PERIODE KE	:	III (Mar 06 - Agst 06)
TAHUN	:	2005 - 2006
Sampai Akhir Agustus 2006		

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	R Sindhu Adityo	02 511 027	Teknik Sipil
JUDUL TUGAS AKHIR			
Rasio Momen Batas Gelagar Plat Penampang Dobel Delta Terhadap Penampang I Dengan Rasio Tinggi Terhadap Lebar Lima (h/b: 5)			

Dosen Pembimbing I : Fathkurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Fathkurrohman N,Ir,MT



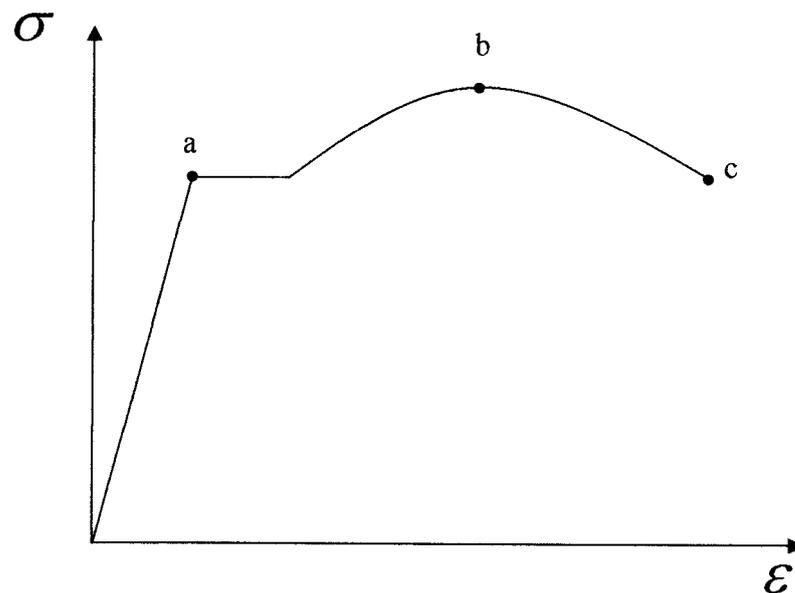
Jogyakarta , 24-Mar-06
a.n. Dekan

Ir.H.Munadhir, MS

Catatan	:
Seminar	:
Sidang	:
Pendadaran	:

HASIL HITUNGAN KUAT TARIK BAJA

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



Keterangan:

a = Beban mencapai titik leleh

b = Beban maksimum

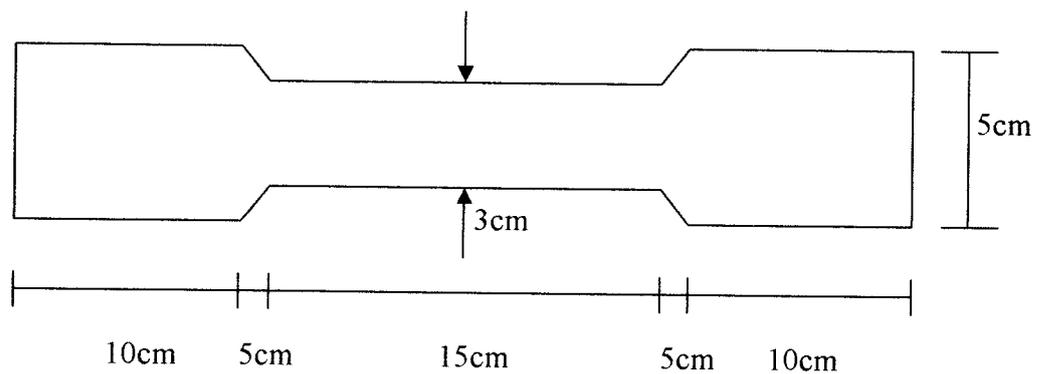
c = Beban patah akibat kuat tarik

Persamaan yang mendukung teori tersebut adalah:

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

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

a. **Pelat Baja 2mm**



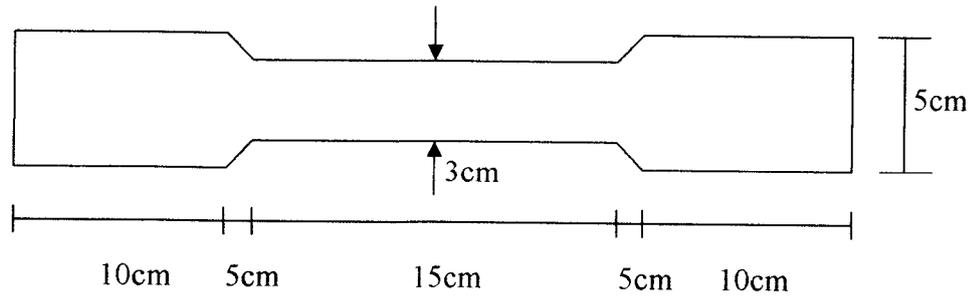
Diketahui bahwa:

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

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

No	P leleh (N)	P maks (N)	P patah (N)	$F_y = \frac{\text{bebanleleh}}{A}$ (N/mm ²)	$F_u = \frac{\text{bebanmaks}}{A}$ (N/mm ²)
1.	14000	21400	9500	230	356,67

b. Pelat Baja 3mm



Gambar benda uji tarik

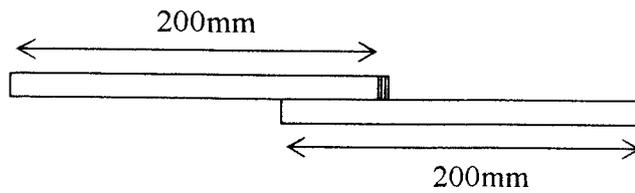
Diketahui bahwa:

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

$$A = 3 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm} = 0,9 \text{ cm}^2 = 90 \text{ mm}^2$$

Tabel hasil uji tarik baja

No	P leleh (N)	P maks (N)	P patah (N)	$F_y = \frac{\text{bebanluluh}}{A}$ (N/mm ²)	$F_u = \frac{\text{bebanmaks}}{A}$ (N/mm ²)
1.	21000	27500	12000	230	305,56

c. Uji Tarik Las

Diketahui:

Lebar las=3cm=30mm

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

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

Tabel hasil uji las

P maks	Fy (N/mm² atau Mpa)
2100	614

LAMPIRAN III

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

Diketahui :

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

$$B = 80 \text{ mm}$$

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

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

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

❖ Penampang I.

Pelat Sayap

$$A_1 = 2 \times (80 \times 3) = 480 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{\text{total}} = 1280 \text{ mm}^2$$

❖ Penampang Dobel Delta.

$$A_1 = 2 \times (80 \times 3) = 480 \text{ mm}^2$$

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

$$A_3 = 4 \times (2 \times \sqrt{40^2 + 40^2}) = 452,548 \text{ mm}^2.$$

$$A_{\text{total}} = 1732,548 \text{ mm}^2$$

Titik Berat Penampang I \approx Penampang Dobel Delta.

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

$$Y_I = 40 \text{ mm}$$

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

❖ Penampang I.

Momen Inersia Sumbu Kuat

$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12}t_w(h)^3 + \frac{1}{6}bt_f^3 + 2(bt_f) \times (h + tf)^2 \\
 I_x &= \frac{1}{12}2(400)^3 + \frac{1}{6}80(3)^3 + 2(80,3) \times \left(\frac{400}{2} + \frac{3}{2}\right)^2 \\
 I_x &= 30156106,67 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Momen Inersia Sumbu Lemah

$$\begin{aligned}
 I_y &= \frac{1}{12}(d)t_w^3 + \frac{1}{6}t_f b^3 \\
 I_y &= \frac{1}{12}(400)2^3 + \frac{1}{6}3(80^3) \\
 I_y &= 256133,33 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

❖ Penampang Dobel Delta.

Momen Inersia Sumbu Kuat

$$\begin{aligned}
 I_x &= I_w + \left(\frac{1}{24}t_w b^3 + 2(t_w)(b)(h/2 - b/4)^2 \right) \\
 I_x &= 30156106,67 + \frac{1}{24}(2)80^3 + 2(2)(80)\left(\frac{400}{2} - \frac{80}{4}\right)^2 \\
 I_x &= 40566773,33 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Momen Inersia Sumbu Lemah

$$\begin{aligned}
 I_y &= I_w + \frac{1}{6}(t_w)b^3 \\
 I_y &= 256133,33 + \frac{1}{6}(2)80^3 \\
 I_y &= 426800,00 \text{ mm}^4.
 \end{aligned}$$

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

❖ Penampang I.

Diketahui :

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

$$\mu = 0,3$$

a) Tegangan kritis elastis pelat sayap

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

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{h}{2t_f} \right)^3} = \frac{0,425\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{80}{2 \times 3} \right)^3} \\ &= 453,741 \text{ Mpa} > 230 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{cr \text{ pakai}} = 230 \text{ Mpa.}$$

b) Tegangan kritis pelat badan.

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

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= \frac{\left(\frac{h}{2} - t_f \right)^2}{\left(\frac{h}{2} \right)^3} \times \sigma_{cr} = \frac{\left(\frac{400}{2} - 3 \right)^2}{\left(\frac{400}{2} \right)^3} \times 230 \\ &= 226,55 \text{ Mpa} < 230 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{cr \text{ pakai}} = 226,55 \text{ Mpa}$$

Momen batas (M_{cr}) berdasarkan tekuk lokal penampang I adalah

$$M_{cr} = b t_f (\sigma_{cr}) (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w (h)^2 \sigma_{cr}$$

$$M_{cr} = 80,3(230)(406 - 3) + \frac{1}{4} 2(400)^2 226,55$$

$$M_{cr} = 40369600 \text{ N mm.}$$

❖ **Penampang Dobel Delta.**

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

$$\mu = 0,3$$

a) Momen batas tekuk lokal pelat sayap

$$k = 4$$

$$\sigma_{cr1} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{2t_f}\right)^2} = \frac{4\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{80}{2 \times 3}\right)^2}$$

$$\sigma_{cr1} = 4270,501 \text{ Mpa} > 230 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{cr1\text{pakai}} = 230 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr1} = t_f b (d - t_f) \sigma_{cr1} = 3 \times 80 \times (406 - 3) \times 230$$

$$M_{cr1} = 22245600 \text{ N.mm}$$

b) Tegangan kritis elastis pelat penopang.

$$k = 4$$

$$\sigma_{cr2} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t_w}\right)^2} = \frac{4\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{80}{2}\right)^2 + \left(\frac{80}{2}\right)^2}}{2} \right]^2}$$

$$\sigma_{cr2} = 949 \text{ Mpa} > 230 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{cr2\text{pakai}} = 230 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr2} = 2xw \times \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \times \left(h - \left(\frac{b}{2}\right)\right) \times f_{cr2}$$

$$= 2 \times 2 \times \sqrt{\left(\frac{80}{2}\right)^2 + \left(\frac{80}{2}\right)^2} \times \left(400 - \left(\frac{80}{2}\right)\right) \times 230$$

$$M_{cr2} = 18735501,27 \text{ N.mm}$$

c) Tegangan kritis pelat badan 1

$$k = 23,9$$

$$h_f = \frac{b}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ mm}$$

$$\sigma_{cr2} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{h_f}{t_w} \right)^3} = \frac{23,9\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{40}{2} \right)^3}$$

$$\sigma_{cr2} = 11340,55 \text{ Mpa} > 230 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{cr3} = 230 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr3} = \left(\frac{b}{2} \right) \sigma_{cr3} (b - h_f) = \left(\frac{80}{2} \right) 230 (400 - 40)$$

$$M_{cr3} = 6624000 \text{ N mm}$$

d) Tegangan kritis pelat badan 2.

$$k = 23,9$$

$$h_f = h - \frac{b}{2} = 400 - \left(\left(\frac{80}{2} \right) \times 2 \right) = 320 \text{ mm}$$

$$\sigma_{cr4} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{h_f}{t_w} \right)^3} = \frac{23,9\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{320}{2} \right)^3}$$

$$\sigma_{cr4} = 177.196 \text{ Mpa.}$$

$$\sigma_{cr4 \text{ (pab. ii)}} = 177.196 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr4} = \frac{1}{4} t_w (h_f)^2 \sigma_{cr4} = \frac{1}{4} 2 (320)^2 177.196$$

$$M_{cr4} = 9072435,2 \text{ Nmm.}$$

$$M_{cr \text{ total}} = M_{cr1} + M_{cr2} + M_{cr3} + M_{cr4}$$

$$M_{cr \text{ total}} = 22245600 + 18735501,27 + 6624000 + 9072435,2$$

$$M_{cr \text{ total}} = 56677536,47 \text{ Nmm}$$

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

Diketahui :

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

$$\mu = 0,3$$

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

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

❖ Penampang I.

$$I_y = 256266,667 \text{ mm}^4$$

$$C_w = \frac{1}{12} I_y (b^3) \left(\frac{h^2}{4} \right) = \frac{1}{12} 3(80^3) \left(\frac{400^2}{4} \right)$$

$$C_w = 5120000000 \text{ mm}^6$$

$$J = \frac{1}{3} d(t_w)^3 + \frac{2}{3} b(t_f)^3 = \frac{1}{3} 400(2)^3 + \frac{2}{3} 80(3)^3$$

$$J = 2506,666 \text{ mm}^4$$

$$\text{Mer puntir} = \frac{\pi}{L_b} \sqrt{\left(\frac{\pi d}{L_b} \right)^2 C_w I_y + L I_y G J}$$

$$\text{Mer puntir} = \frac{\pi}{1550} \sqrt{\left(\frac{\pi 2,1 \times 10^5}{1550} \right)^2 5120000000 \times 256266,667 + 2,1 \times 10^5 \times 256266,667 \times 8,08 \times 10^4 \times 2506,67}$$

$$\text{Mer puntir} = 3198236,5 \text{ N/mm}$$

❖ **Penampang Dobel Delta.**

$$I_y = 426933.333 \text{ mm}^4.$$

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

$$C_w = \frac{1}{12} 3(80^3) \left(\frac{400^2}{4} \right) + \frac{1}{6} 2 \left(\frac{80}{2} \right)^3 \left(\frac{400}{2} - \frac{80}{4} \right)^2$$

$$C_w = 5811200000 \text{ mm}^6.$$

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

$$J = \frac{1}{3} 400(2)^3 + \frac{2}{3} 80(3)^3 + 4(0,7 \times 80)(2)^3$$

$$J = 4298.667 \text{ mm}^4.$$

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

$$M_{cr \text{ puntir}} = \frac{\pi}{1550} \sqrt{\left(\frac{\pi 2,1 \times 10^5}{1550} \right)^2 5811200000 \times 426933,33 + 2,1 \times 10^5 \times 426933,33 \times 8,08 \times 10^4 \times 4298,67}$$

$$M_{cr \text{ puntir}} = 36109539 \text{ N.mm}$$

LAMPIRAN IV
PERHITUNGAN BEBAN MAKSIMUM TEORITIS

1. Gelagar Pelat Profil I

- Momen Inersia Sumbu Kuat

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

$$I_x = \frac{1}{12} 2(400)^3 + \frac{1}{6} 80.3^3 + 2(80.3) x \left(\frac{400}{2} + \frac{3}{2} \right)^2$$

$$I_x = 30156106,67 \text{ mm}^4.$$

- Pada Pelat Sayap

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

$$\sigma_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{2t_f} \right)^2} = \frac{0,425\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{80}{2 \times 3} \right)^2}$$

$$= 454.106 \text{ Mpa} > 230 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{cr \text{ pakai}} = \mathbf{230 \text{ Mpa.}}$$

- Pada Pelat Badan.

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

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

$$= \mathbf{113,405 \text{ Mpa}} < 230 \text{ Mpa}$$

- Pmax Pada Pelat Sayap

$$P_{\max} = \frac{6x F_{cr \text{ sayap}} x I_x}{L Y_1} = \frac{6 \times 230 \times 30156106,67}{4650 \times 203}$$

$$= 44,086 \text{ kN}$$

- Pmax Pada Pelat Badan

$$P_{\max} = \frac{6x F_{cr_{\text{badan}}} x I_x}{L Y_1} = \frac{6x 113,405 x 30156106,67}{4650 x 200}$$

$$= 22,063 \text{ kN}$$

- Pmax Teoritis

Dipakai Pmax dengan nilai yang minimum yaitu :

$$P_{\max_{\text{sayap}}} < P_{\max_{\text{badan}}} \approx 44,086 \text{ kN} < 22,063 \text{ kN}$$

$$P_{\max_{\text{pakai}}} = 22,063 \text{ kN}$$

2. Gelagar Pelat Profil Dobel Delta

- Momen Inersia Sumbu Kuat

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

$$I_x = 30156106,67 + \frac{1}{24} (2)80^3 + 2(2)(80)\left(\frac{406}{2} - \frac{80}{4}\right)^2$$

$$I_x = 40566773,33 \text{ mm}^4.$$

- Pada Pelat Sayap

$$K = 4$$

$$\sigma_{\text{cr1}} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{2t_f} \right)^2} = \frac{4\pi^2 2,1x10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{80}{2x3} \right)^2}$$

$$\sigma_{\text{cr1}} = 4273.94 \text{ MPa} > 230 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{cr1}_{\text{pakai}}} = 230 \text{ Mpa.}$$

- Pada Pelat Badan.

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

$$\sigma_{cr\text{badan}} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{23,9\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{320}{2}\right)^2}$$

$$= 177.338 \text{ Mpa} < 230 \text{ Mpa}$$

- Pmax Pada Pelat Sayap

$$P_{\text{max}} = \frac{6x F_{cr\text{sayap}} x I_x}{LY_1} = \frac{6x 230x 40566773,33}{4650x 203}$$

$$= 59,306 \text{ kN}$$

- Pmax Pada Pelat Badan

$$P_{\text{max}} = \frac{6x F_{cr\text{badan}} x I_x}{LY_1} = \frac{6x 177,338x 40566773,33}{4650x 160}$$

$$= 58,01 \text{ kN.}$$

- Pmax Teoritis

Dipakai Pmax dengan nilai yang minimum yaitu :

$$P_{\text{maxsayap}} < P_{\text{maxbadan}} \approx 59,306 \text{ kN} > 58,01 \text{ kN}$$

$$P_{\text{maxpakai}} = 58,01 \text{ kN.}$$

LAMPIRAN V

PERHITUNGAN BEBAN TEORITIS BERDASARKAN TEGANGAN GESER

1. Gelagar Pelat Profil I.

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

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

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

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

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

$$k = 6,405$$

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

$$\sigma_{cr} = 30,39 \text{ Mpa} < 230 \text{ MPa}$$

Jadi gaya geser teorititis sebesar

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

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

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

2. Gelagar Pelat Profil Dobel Delta

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

$$A_{w1} = h \times t_w = 320 \times 2 = 640 \text{ mm}^2.$$

$$A_{w2} = h \times t_w = 40 \times 2 = 80 \text{ mm}^2.$$

- Pada badan dengan $h = 320 \text{ mm}$

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

Untuk $a/h = 775 / 320 = 2,42 > 1$ maka;

$$k = 5,34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5,34 + \frac{4}{(2,42)^2}$$

$$k = 6,02$$

$$\sigma_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{6,02\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{320}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_{cr} = 44,63 \text{ Mpa} < 230 \text{ MPa}$$

- Pada badan dengan $h = 40 \text{ mm}$

Untuk $a/h = 775 / 40 = 19,375 > 1$ maka;

$$k = 5,34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5,34 + \frac{4}{(19,375)^2}$$

$$k = 5,35$$

$$\sigma_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{5,35\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{40}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_{cr} = 2538,576 \text{ Mpa} > 230 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr \text{ pakai}} = 230 \text{ Mpa}$$

Jadi gaya geser teotitis sebesar

$$V_{cr1} = A_w \times \sigma_{cr} = 640 \times 44,63$$

$$V_{cr1} = 28,56 \text{ kN}$$

$$V_{cr2} = A_w \times \sigma_{cr} = 80 \times 230$$

$$V_{cr2} = 18,4 \text{ kN}$$

$$V_{cr \text{ total}} = V_{cr1} + V_{cr2} = 28,56 + 18,4 = 49,96$$

$$P = V_{cr} \times 2 = 49,96 \times 2 = \mathbf{93,92 \text{ kN}}$$

Lampiran VI

**Tabel dan Grafik Beban-Lendutan Hasil Uji
Penampang I dan Dobel Delta**

1. Tabel Gelagar Pelat Profil I

Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	p/Δ (kN/mm)
0	0	0	0	
3	143	163.5	138	0.018349
6	279	318	243	0.018868
9	345	396	333.4	0.022727
12	435	500.5	435.8	0.023976
15	512.5	591	535	0.025381
18	585	676	559	0.026627
21	683	789	660.9	0.026616
24	759	878	751	0.027335
27	856.5	989.5	852.4	0.027287
30	929	1077	943.2	0.027855
33	1092	1258	1135	0.026232
36	1305	1820	1445	0.01978
24	1465	2048	1627	0.011719
18	1630	2253	1744.3	0.007989

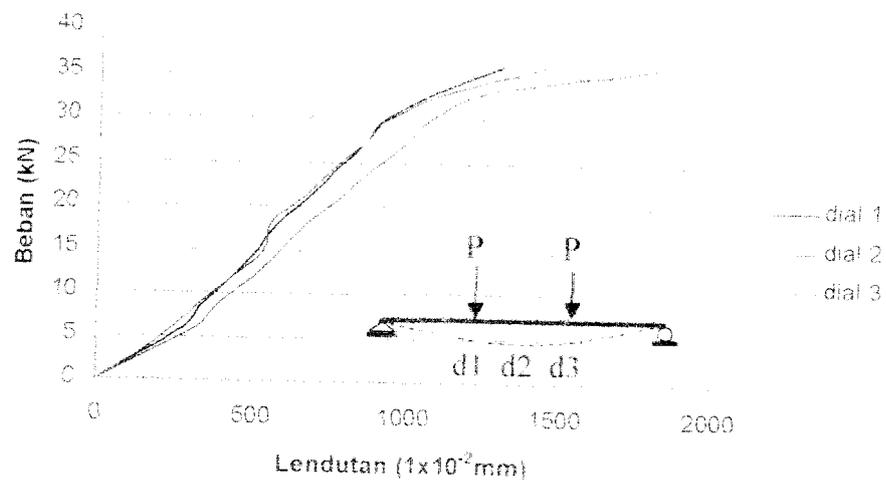
2. Tabel Gelagar Pelat Profil Dobel Delta

Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	p/Δ (kN/mm)
0	0	0	0	0
3	101	108	94.8	0.027778
6	195	213	192.8	0.028169
9	278	274	248	0.032847

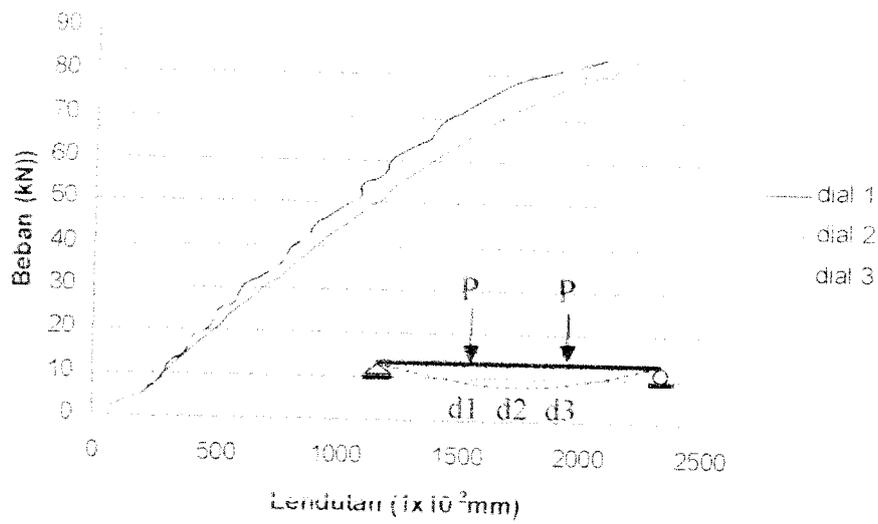
Lanjutan Tabel Gelagar Pelat Dobel Delta

Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	p/Δ (kN/mm)
12	298	328.5	297.2	0.03653
15	373	378.5	344.3	0.03963
18	398	442.5	406	0.040678
21	476	509	467	0.041257
24	493	554	506.3	0.043321
27	574	617	563.3	0.04376
30	599	682.5	625	0.043956
33	685	766	701.5	0.043081
36	762	814.5	745.8	0.044199
39	786	886.2	812.2	0.044008
42	870	947	870	0.044351
45	890.5	1015	931	0.044335
48	975	1081	992.5	0.044403
51	1078	1173.5	1081	0.04346
54	1084	1224	1124	0.044118
57	1174	1294	1187	0.044049
60	1199	1369.5	1256	0.043812
63	1285	1453.5	1330.5	0.043344
66	1373	1531	1402.5	0.043109
69	1411	1615	1477.5	0.042724
72	1508	1729	1580	0.041643
75	1589	1817	1659	0.041277
78	1690	1939	1767	0.040227
81	1874	2105	1906	0.03848
84	2085	2219	2018	0.037855
75	2473	2565	2195	0.02924

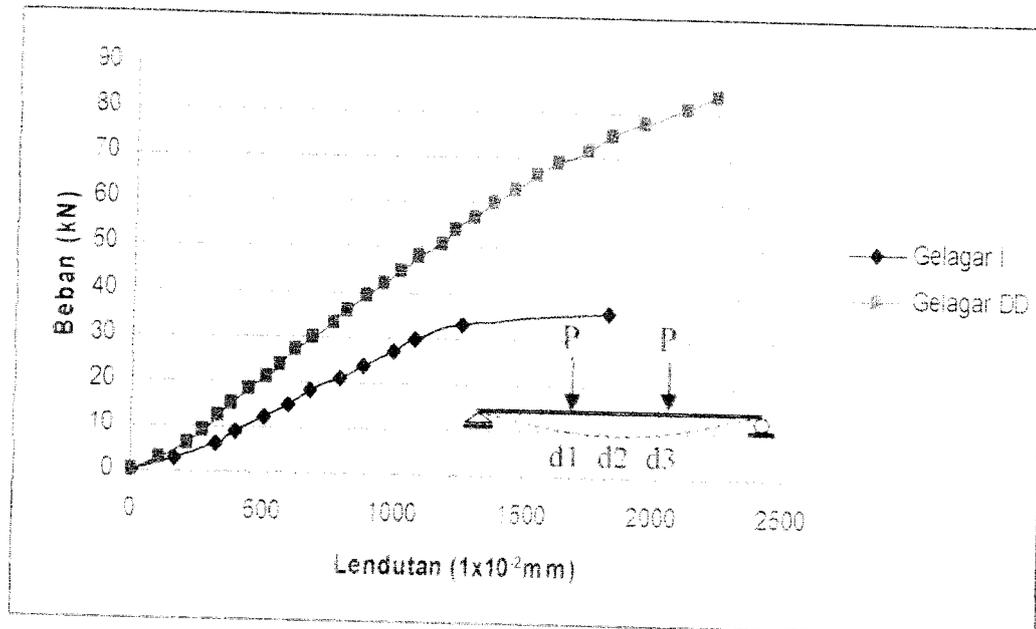
3. Grafik Pembebanan Versus Lendutan Hasil Uji Pelat I



4. Grafik Pembebanan Versus Lendutan Hasil Uji Pelat Dobel Delta



5. Grafik Pembebanan Versus Lendutan Hasil Uji Gelagar I dan Dobel Delta



Lampiran VII
PERHITUNGAN KOEFISIEN TEKUK HASIL UJI

1. Gelagar Pelat Profil I

Diketahui data-data hasil pengujian sebagai berikut :

$$P_{\max} = 36 \text{ kN}$$

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

$$I_x = 30156106,67 \text{ mm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{1}{6} P_{\max} \times L = \frac{1}{6} 3600 \times 4650$$

$$M_{cr} = 2790000 \text{ kgmm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{30156106,67}{203}$$

$$S_x = 148552,25 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_x} = \frac{2790000}{148552,25}$$

$$F_{cr} = 18,78 \text{ Kg/mm}^2 = 187,8 \text{ N/mm}^2 = 187,8 \text{ Mpa} < 230 \text{ Mpa}$$

• Koefisien Tekuk Pada Pelat Sayap

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

$$k = \frac{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{2t_f}\right)^2 F_{cr}}{\pi^2 E} = \frac{12(1-0,3^2) \left(\frac{80}{2 \times 3}\right)^2 187,8}{\pi^2 2,1 \times 10^5}$$

$$k = 0,175$$

- Koefisien Tekuk Pada Pelat Badan

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

$$k = \frac{12(1-\mu^2) \left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_{cr}}{\pi^2 E} = \frac{12(1-0,3^2) \left(\frac{400}{2}\right)^2 187,8}{\pi^2 2,1 \times 10^5}$$

$$k = 39,54$$

2. Gelagar Pelat Profil Dobel Delta

Diketahui data-data hasil pengujian sebagai berikut :

$$P_{max} = 84 \text{ kN}$$

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

$$I_x = 40566773,33 \text{ mm}^4.$$

$$M_{cr} = \frac{1}{6} P_{max} \times L = \frac{1}{6} 8400 \times 4650$$

$$M_{cr} = 6510000 \text{ kgmm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{40566773,33}{203}$$

$$S_x = 199836,32 \text{ mm}^3.$$

$$F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_x} = \frac{6510000}{199836,32}$$

$$F_{cr} = 32,576 \text{ Kg/mm}^2 = 325,76 \text{ N/mm}^2 = 325,76 \text{ MPa} > 230 \text{ Mpa}$$

- Koefisien Tekuk Pada Pelat Sayap

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

$$k = \frac{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{2t_f}\right)^2 F_{cr}}{\pi^2 E} = \frac{12(1-0,3^2)\left(\frac{80}{2 \times 3}\right)^2 230}{\pi^2 2,1 \times 10^5}$$

$$k = 0,21$$

- Koefisien Tekuk Pada Pelat Badan

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

$$k = \frac{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_{cr}}{\pi^2 E} = \frac{12(1-0,3^2)\left(\frac{320}{2}\right)^2 230}{\pi^2 2,1 \times 10^5}$$

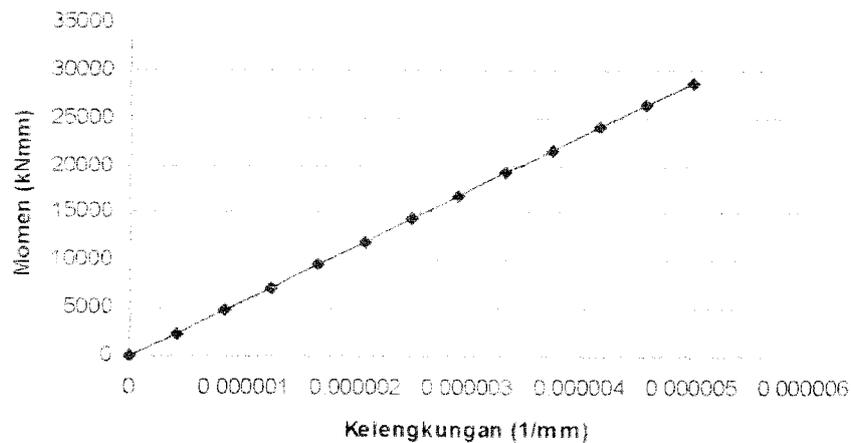
$$k = 31,02$$

LAMPIRAN VIII

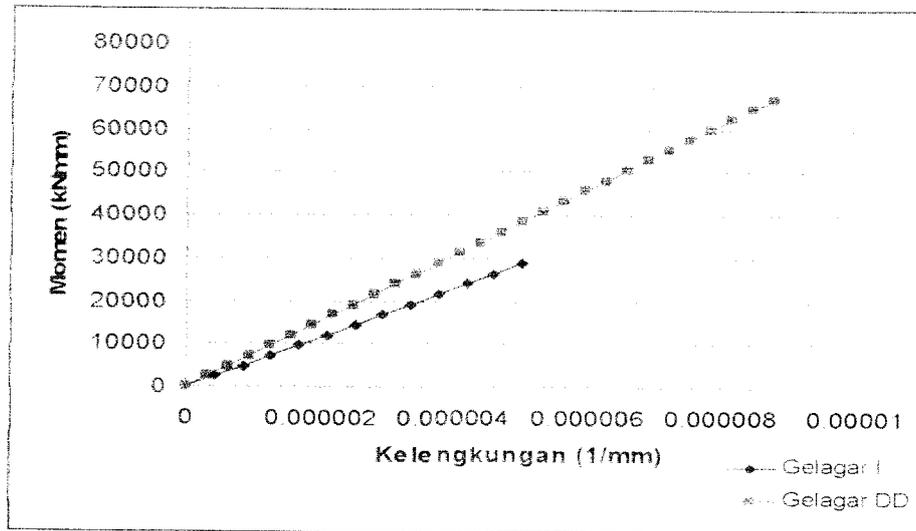
HUBUNGAN MOMEN – KELENGKUNGAN
HASIL PENGUJIAN

Tabel Momen-Kelengkungan Gelagar 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
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
33	25575	187.2922	0.000892	4.45934E-06
36	27900	204.3187	0.000973	4.86473E-06



Grafik momen-kelengkungan gelagar I



Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Gelagar I dan Dobel Delta

I. Gelagar Pelat I

Kondisi elastis

$$M = f_y \times S_x$$

$$f_y = 113,405 \text{ MPa} < 230 \text{ Mpa}$$

$$S_x = 148552,25 \text{ mm}^3$$

$$M = 113,405 \times 148552,25$$

$$M = 16846567,91 \text{ Nmm} = 16846,56 \text{ kNmm}$$

Nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{113,405}{2 \times 10^5} = 5,67 \times 10^{-4}$$

Nilai Kelengkungan

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

2. Gelagar Pelat Dobel Delta

Kondisi elastis

$$M = F_{cr} \times S_x$$

$$F_{cr} = 117,338 \text{ MPa} < 230 \text{ Mpa}$$

$$S_x = 199836,32 \text{ mm}^3$$

$$M = 117,338 \times 199836,32$$

$$M = 23448494,03 \text{ Nmm} = 23448,49 \text{ kNmm}$$

Nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{117,338}{2 \times 10^5} = 5,866 \times 10^{-4}$$

Nilai Kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{5,866 \times 10^{-4}}{320/2} = 3,67 \times 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

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

1. Pelat I.

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

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[1 - 0,0005 \frac{800}{420} \left(\frac{400}{2} - \frac{970}{\sqrt{113,405}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 0,89$$

2. Pelat Dobel Delta

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

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[1 - 0,0005 \frac{800}{818,97} \left(\frac{400}{2} - \frac{970}{\sqrt{117,338}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 0,946$$

PERHITUNGAN RASIO MOMEN NOMINAL (M_n) TERHADAP MOMEN**LELEH (M_y) Hasil Uji****1 Pelat I.**

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{F_{cr}U_{ji}}{F_y}$$

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{187,8}{230}$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 0,816$$

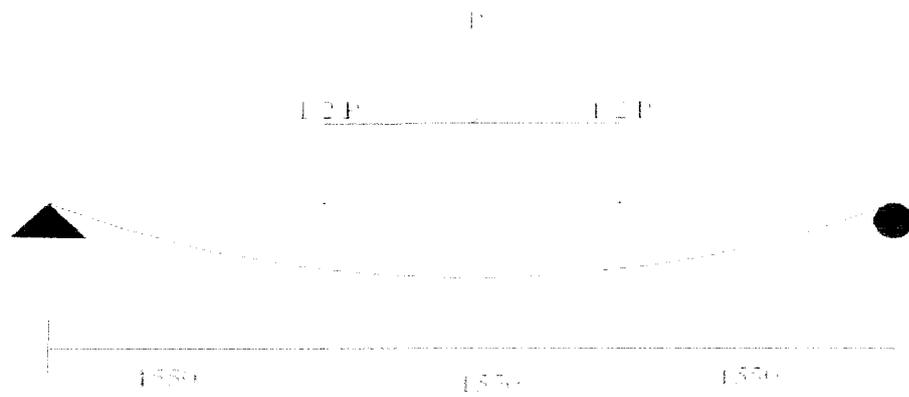
2 Pelat Dobel Delta

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{F_{cr}U_{ji}}{F_y}$$

$$\frac{M_n}{M_y} = \frac{230}{230}$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 1$$

PERHITUNGAN LENDUTAN TEORITIS



1. Gelagar Pelat I

$$P = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} \times 20,063 = 10,03 \text{ kN}$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$I = 30156106,67 \text{ mm}^4$$

$$EI = 2 \times 10^5 \times 30156106,67 = 6,03 \times 10^{12} \text{ N/mm}^2$$

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

$$\Delta = \frac{23 \times P \times L^3}{1296 EI} = \frac{23 \times 10030 \times 4650^3}{1296 \times 6,03 \times 10^{12}} = 2,96 \text{ mm}$$

2. Gelagar Pelat Dobel Delta

$$P = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} \times 58,01 = 29 \text{ kN}$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$I = 40566773,33 \text{ mm}^4$$

$$EI = 2 \times 10^5 \times 40566773,33 = 8,11 \times 10^{12} \text{ N/mm}^2$$

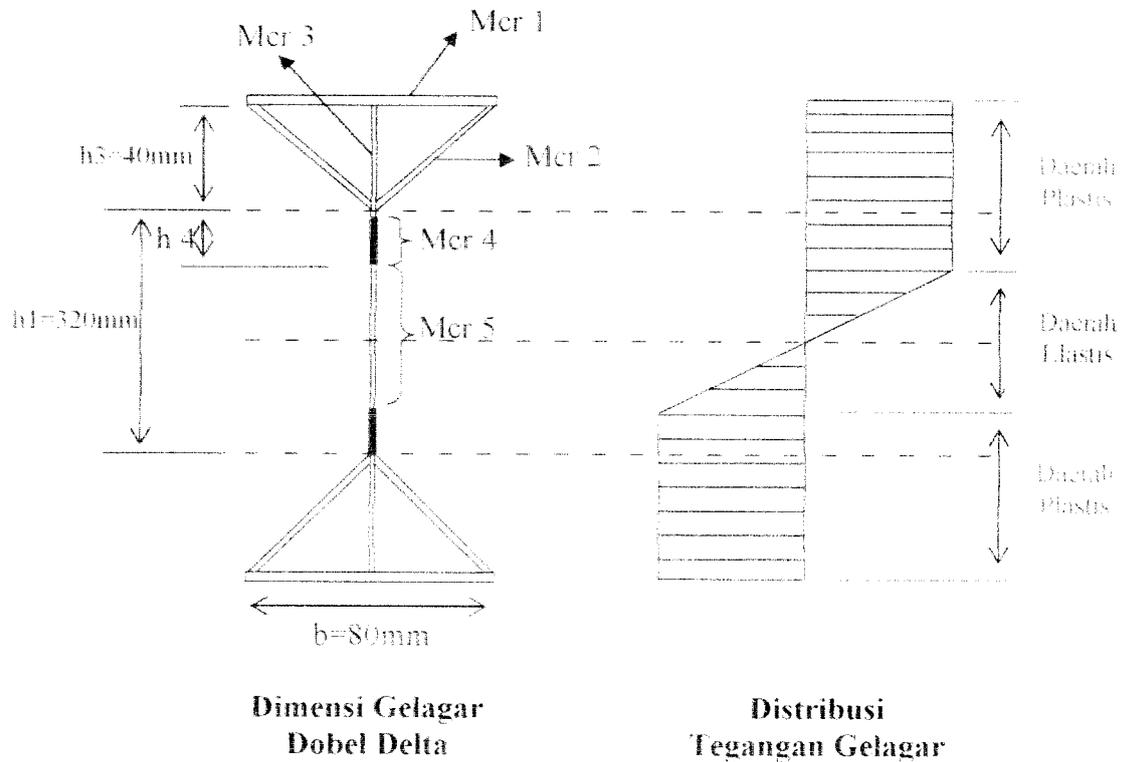
$$L = 4650 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{23 \times P \times L^3}{1296 EI} = \frac{23 \times 58010 \times 4650^3}{1296 \times 8,11 \times 10^{12}} = 12,76 \text{ mm}$$

LAMPIRAN 11

DESAIN PLASTIS GELAGAR

Dari hasil pengujian, didapatkan nilai F_{cr} gelagar pelat dobel delta $\rightarrow F_y$ yaitu 325.67 MPa. Maka gelagar tersebut telah mencapai strain hardening (plastis). Berikut perhitungan plastis gelagar dobel delta:



Dari gambar diatas diketahui diasumsikan bahwa Mer1, Mer2, Mer3 dan Mer4 adalah momen plastis. Sedangkan Mer5 adalah momen elastis gelagar. Telah dihitung dalam lampiran 7 bahwa M_{cr} hasil uji adalah 65100000 Nmm, dan Momen Leleh (F_y) gelagar dapat dihitung dengan persamaan:

$$M_y = S_x \times F_y = 199836,32 \text{ mm}^3 \times 230 \text{ N/mm}^2 = 45962353,6 \text{ Nmm.}$$

Kondisi gelagar berada pada $M_y \leq M_{cr}$ hasil uji $\leq M_p$

Untuk mendapatkan Momen Plastis (M_p) gelagar yaitu:

a) M_{cr1} yaitu:

$$k = 4$$

$$\sigma_{cr1} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{2t}\right)^2} = \frac{4\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^4}{12(1-0,3^2) \left(\frac{80}{2 \times 3}\right)^2}$$

$$\sigma_{cr1} = 4270,501 \text{ Mpa} > 230 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{cr1 \text{ pakai}} = 230 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr1} = if \cdot b(d - if) \sigma_{cr1} = 3 \times 80 \times (400 - 3) \times 230$$

$$M_{cr1} = 22245600 \text{ N.mm}$$

b) M_{cr2} (Mer penopang) yaitu:

$$k = 4$$

$$\sigma_{cr2} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t_w}\right)^2} = \frac{4\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^4}{12(1-0,3^2) \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{80}{2}\right)^2 + \left(\frac{80}{2}\right)^2}}{2} \right]^2}$$

$$\sigma_{cr2} = 949 \text{ Mpa} < 230 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{cr2 \text{ pakai}} = 230 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr2} = 2 \times t_w \times \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \times \left(h - \left(\frac{b}{2}\right)\right) \times f \times 2$$

$$= 2 \times 2 \times \sqrt{\left(\frac{80}{2}\right)^2 + \left(\frac{80}{2}\right)^2} \times \left(400 - \left(\frac{80}{2}\right)\right) \times 230$$

$$M_{cr2} = 18735501,27 \text{ N mm}$$

c) M_{cr} 3 yaitu:

$$k = 23,9$$

$$h_1 = \frac{b}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ mm}$$

$$\sigma_{cr2} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h_3}{t_w}\right)^2} = \frac{23,9\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{40}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_{cr3} = 11340,55 \text{ Mpa} > 230 \text{ Mpa.}$$

$$\sigma_{cr3} = 230 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr3} = \left(\frac{b}{2} t_w\right) \sigma_{cr3} (h - h_3) = \left(\frac{80}{2} 2\right) 230 (400 - 40)$$

$$M_{cr3} = 6624000 \text{ N.mm}$$

Agar didapatkan nilai Momen Plastis (Mp) mendekati nilai M_{cr} hasil uji, maka dapat di coba nilai h₄ nya. Hal ini digunakan untuk menunjukkan batas antara daerah elastis dengan daerah plastis gelagar pada diagram distribusi momen.

d) M_{cr} 4 yaitu:

$$k = 23,9$$

$$h_4 = 19,6 \text{ mm (dimisalkan)}$$

$$\sigma_{cr4} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h_4}{t_w}\right)^2} = \frac{23,9\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{19,6}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_{cr4} = 47270.66234 \text{ Mpa} > 230 \text{ Mpa.}$$

$$\sigma_{cr4} = 230 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr4} = \sigma_{cr3} \cdot h_4 \cdot t_w \cdot (h_1 - h_4) = 230 \times 19,6 \times 2 \times (320 - 19,6)$$

$$= 2708406.4 \text{ Nmm.}$$

e) M_{cr5} yaitu:

$$k = 23,9$$

$$h_4 = 74,6 \text{ mm (dimisalkan)} \longrightarrow \text{maka } h \text{ pakai} = (h_1 - h_4)$$

$$\sigma_{cr5} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{h_1 - h_4}{t_w} \right)^2} = \frac{23,9\pi^2 2,1 \times 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{320 - 19,6}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_{cr5} = 230,30 \text{ Mpa} > 230 \text{ Mpa} \text{ ----- dipakai } 230 \text{ Mpa.}$$

$$M_{cr5} = \sigma_{cr5} \cdot \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot (h_1 - 2h_4)^2 = 230 \times \frac{1}{4} \times 2 \times (320 - (2 \times 19,6))^2$$

$$= 9067593,6 \text{ Nmm.}$$

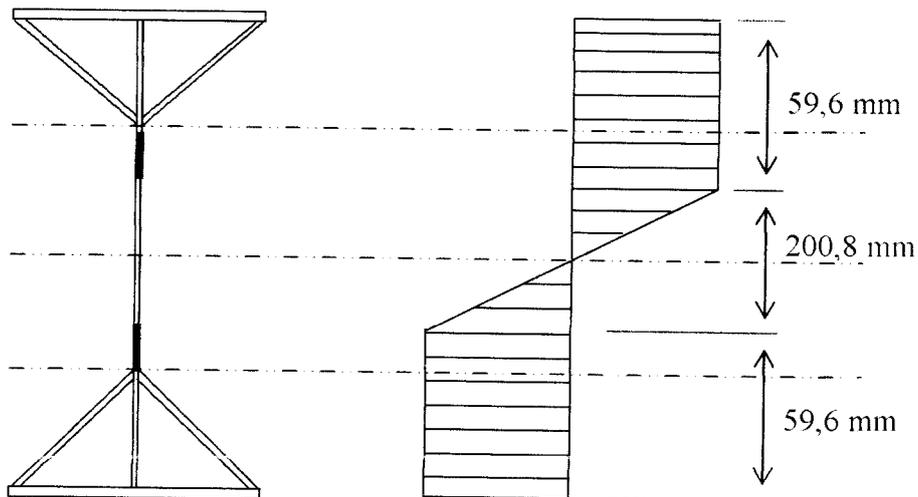
$$M_{cr \text{ total}} = M_{cr1} + M_{cr2} + M_{cr3} + M_{cr4} + M_{cr5}$$

$$= 59.381.101,27 \text{ Nmm} \geq 65.100.000 \text{ Nmm}$$

$M_{cr \text{ total}} \approx M_{cr \text{ hasil uji}}$, maka ok.

$$\text{Daerah plastis} = 19,6 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 59,6 \text{ mm}$$

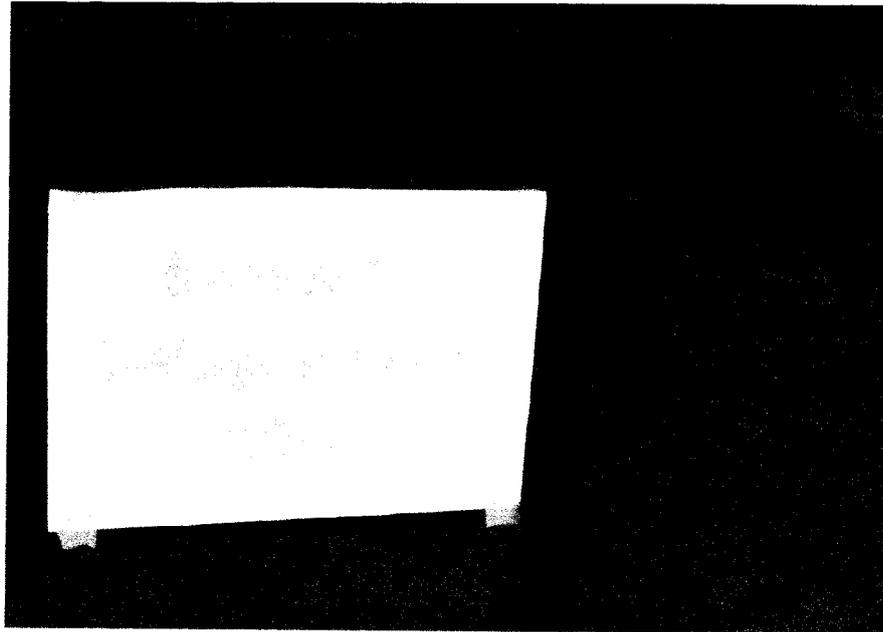
$$\text{Daerah Elastis} = h - \text{daerah plastis} = 400 - (19,6 \times 2) = 200,8 \text{ mm}$$



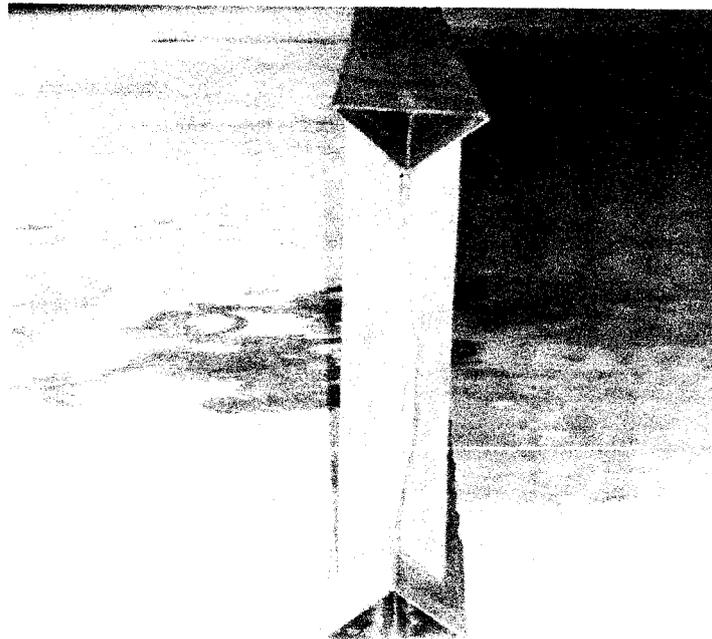
Gambar Distribusi Tegangan Lentur

LAMPIRAN 12

Gambar pelat Dobel Delta Setelah Pengujian



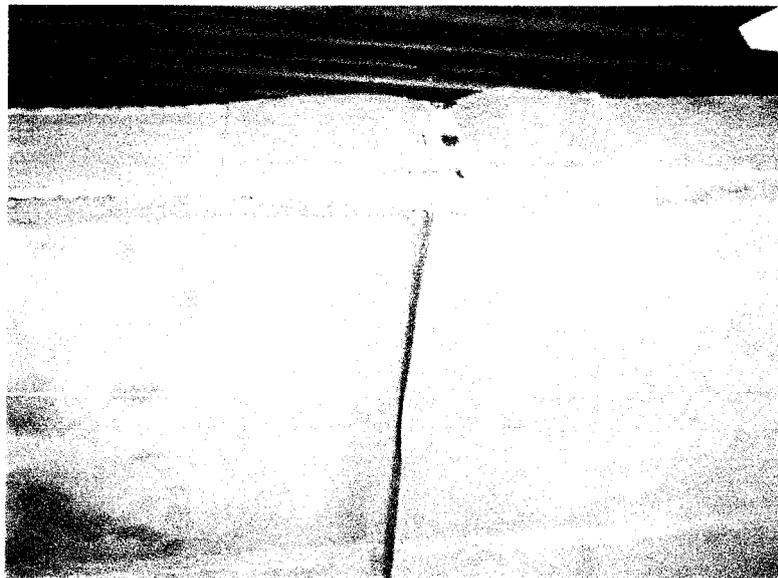
Gambar Pelat Tampak Samping



Gambar Pelat Tampak Depan



Gambar Pelat Terjadi Tekuk Puntir Lateral

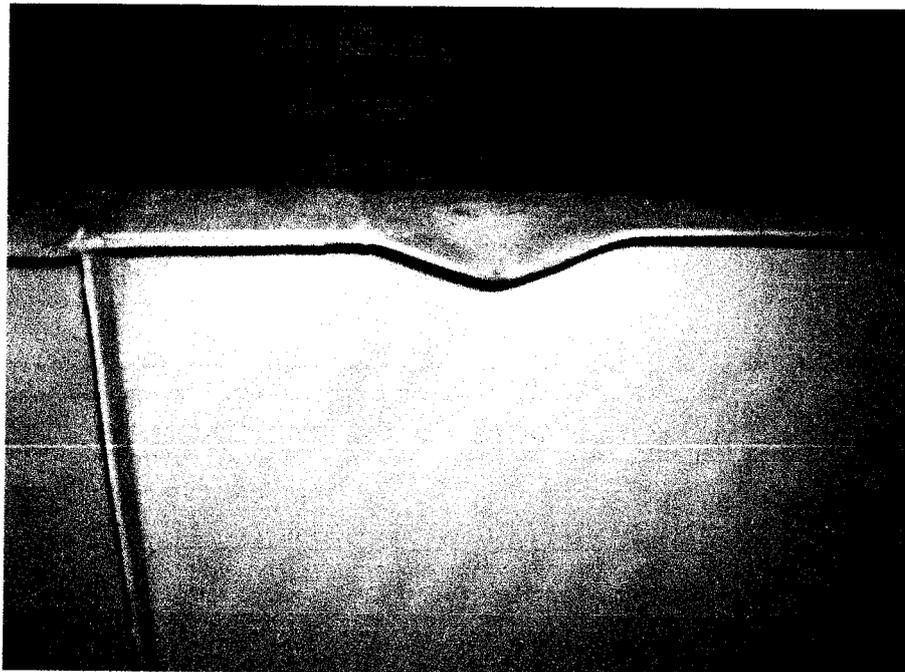


Gambar Pelat Terjadi Tekuk Pada Sayap

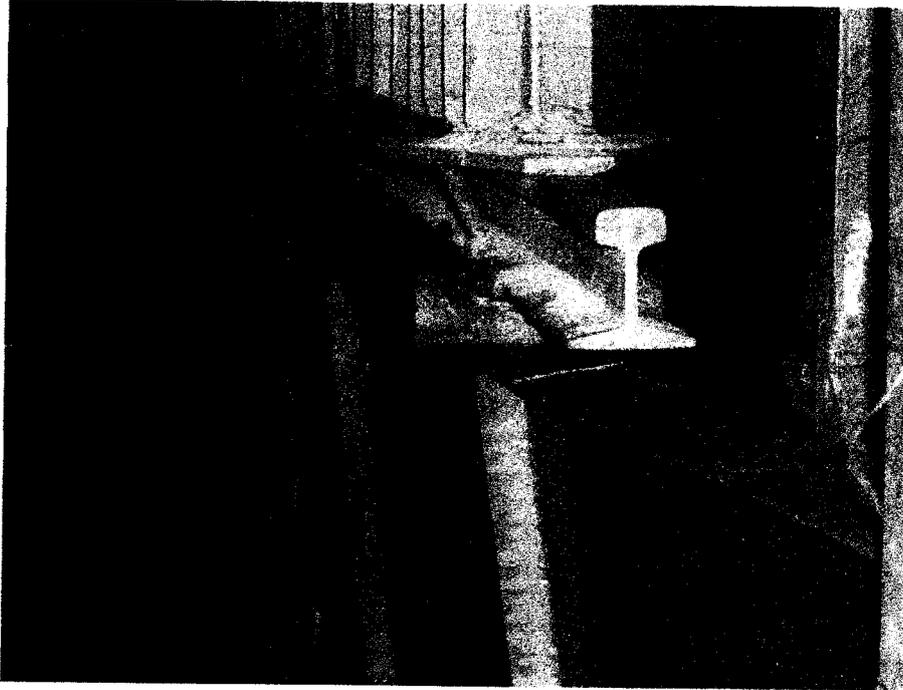
Gambar Pelat I $h/b=5$ Setelah Pengujian



Gambar Pelat I Tampak Samping



Gambar Pelat I Terjadi Tekuk Pada Sayap



Gambar pelat I Terjadi Tekuk Puntir Lateral

