PERPUSTAKAAN FTSP UII
HADIAH/BELI
TGL. TERIMA : 19 Februari 2007
NO. JUDUL : 002289
NO. INV. : 5120002229001
NO. INDUK. :

TUGAS AKHIR

KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG I DAN PENAMPANG DOBEL DELTA DENGAN RASIO TINGGI TERHADAP LEBAR (4,25)

PERPUSTAKAAN YOGYAKARTA

Disusun oleh :

WIDHID ANALISWATI

(02511147)

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2006

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

HALAMAN PENGESAHAN

KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG I DAN PENAMPANG DOBEL DELTA DENGAN RASIO TINGGI TERHADAP LEBAR 4,25

Disusun Oleh :

Widhid Analiswati
02511147

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Fatkhurrohman N, MT
Dosen Pembimbing I

Tanggal : 31/08/2006

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

"Carilah ilmu sampai negeri Cina

"Hendaklah ada diantaramu 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 janganlah sebagian kamu memakan harta sebagian yang lain diantara kamu dengan jalan yang bathil". (QS.Al Baqarah : 188)

PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini kupersembahkan buat :

1. Ibu Bapak tercinta
2. Kakak dan adikku tersayang
3. Sahabat-sahabatku
4. Pembaca sekalian

KATA PENGANTAR

Assalamu ' alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, hidayah, dan inayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai sarana bagi mahasiswa untuk mengaplikasikan ilmu dan pengetahuan yang telah didapat selama mengikuti perkuliahan dan sebagai salah satu persyaratan kelulusan menempuh jenjang pendidikan Strata Satu (S-1) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama melaksanakan dan menyusun laporan Tugas Akhir, penyusun mendapatkan banyak bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr.Ir.H.Ruzardi, MS., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Ir. H.Faisol AM, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
3. Bapak Ir. Fatkhurrohman N., MT., selaku Dosen Pembimbing I,
4. Ibu dan bapak Tercinta, atas segala doa, dukungan moral dan material.

5. Mas fajar (Kakak), yuris (adikku) dan Mbak ita (gonel), yang telah memberi motivasi, semangat, dan membuat hari-hari dirumah menjadi ramai.
6. Rekan satu tim (Fajar&Sindu) yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan kepada penyusun.
7. Teman-temanku (janu, wulan, putra, ucox, wien, oel) makasih atas perhatiannya
8. Teman-teman "blor" yang selalu ceria
9. Semua pihak yang telah banyak membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini, yang tidak mungkin penyusun sebutkan satu persatu.

Besar harapan penulis dari pembaca untuk memberikan kritik dan saran demi tercapainya kesempurnaan penyusunan laporan penelitian Tugas Akhir ini. Penyusun berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu ' alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Agustus 2006

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....i

HALAMAN PENGESAHAN.....ii

HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN.....iii

KATA PENGANTAR.....iv

DAFTAR ISI.....vi

DAFTAR GAMBAR.....x

DAFTAR TABEL.....xii

DAFTAR NOTASI.....xiii

DAFTAR LAMPIRAN.....xvi

ABSTRAKSI.....xvii

BAB I PENDAHULUAN

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

1.6 Lokasi Penelitian.....5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelagar pelat.....6

2.2 Bentuk Penampang.....5

2.3 Tegangan Kritis Pelat.....7

2.4 Kapasitas Lentur Gelagar Pelat.....7

2.5 Kelangsingan Batas Elemen Pelat.....9

2.6 Hubungan Beban-Deformasi.....9

2.7 Hubungan Momen-kelengkungan.....9

2.8 Desain Plastis Gelagar Pelat.....10

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Penampang Gelagar Pelat.....11

3.2 Penampang I dan dobel Delta.....12

3.3 Tegangan Kritis Pelat.....16

3.4 Tekuk Elastis Pelat Akibat tekan.....16

3.5 Tekuk Elastis Akibat Lentur Murni.....19

3.6 Tekuk Elastis Akibat Geser.....22

3.7 Rasio Kelangsingan Batas Pelat Sayap.....23

3.8 Rasio Kelangsingan Batas Pelat Badan.....24

3.9 Momen Batas Gelagar Pelat.....25

3.10 Kapasitas Geser.....26

3.11 Momen Batas berdasarkan Tekuk Lokal.....28

3.12 Momen Batas tekuk Puntir.....29

3.13 Karakteristik gelagar Pelat.....36

3.14 Lendutan Gelagar Pelat.....39

3.15 Desain Gelagar Pelat.....42

3.16 Hipotesa.....45

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tahap- Tahap Penelitian.....46

4.2 Bahan.....47

4.3 Peralatan.....47

a. Portal Pemikul Beban.....47

b. Dial Gauge.....48

c. Sendi dan Rol.....48

d. Hidraulic Jack.....49

4.4 Benda Uji Gelagar Pelat Penampang I dan Dobel Delta.....50

4.5 Set Up Peralatan.....51

4.6 Pelaksanaan Pembebanan.....52

4.7 Uji Kuat Tarik Baja dan Kuat tarik Las.....52

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....53

5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....53

5.3 Hasil Uji Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang I dan Dobel delta...54

5.3.1 Hubungan Beban-Lendutan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....54

5.3.2 Rasio Nilai Momen Batas (Mcr) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.....58

5.3.3 Nilai Tegangan Kritis (Fcr).....59

5.3.4 Nilai Koefisien Tekuk.....60

5.3.5 Nilai Faktor Kelengkungan Pelat I dan Dobel delta.....61

5.3.6 Hubungan Rasio Mn/My terhadap h/tw Gelagar I dan Dobel Delta.....64

5.4. Pembahasan

5.4.1 Pola Kerusakan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....65

5.4.2 Hubungan Beban-Lendutan Pengujian.....66

5.4.3 Rasio Nilai Momen Batas (Mcr) Gelagar Penampang I dan Dobel delta.....67

5.4.4 Rasio Nilai Tegangan Kritis (Fcr) Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....69

5.4.5 Nilai Koefisien Tekuk (k) Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.....69

5.4.6 Hubungan Rasio Mn/My terhadap h/tw Gelagar I dan Dobel Delta.....71

5.4.7 Perbandingan Tekuk Lokal Terhadap Nilai momen Puntir Lateral Terhadap Kerusakan Pelat.....72

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.....74

6.2 Saran.....75

DAFTAR PUSTAKA.....76

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.a GelagarPelat.....11
Gambar 3.1.b Diagram momen.....11
Gambar 3.1.c Diagram gaya geser.....11
Gambar 3.1.d Penampang.....11
Gambar 3.1.e Tegangan lentur.....11
Gambar 3.1.f Tegangan geser.....11
Gambar 3.2.a Penampang I.....13
Gambar 3.2.b Penampang dobel delta.....13
Gambar 3.3 Grafik rasio Inersia x penampang Dobel Delta terhadap penampang I.....15
Gambar 3.4 Grafik Rasio Inersia y penampang Dobel Delta terhadap penampang I.....15
Gambar 3.5 Pelat memikul tekanan merata.....17
Gambar 3.6 Koefisien tekuk pelat yang memikul tekanan merata dengan variasi kondisi tepi dan rasio panjang terhadap lebar (a/b).....18
Gambar 3.7 Koefisien tekuk untuk pelat akibat lentur.....19
Gambar 3.8 Koefisien tekuk lokal untuk batang lentur penampang I.....20
Gambar 3.9 Koefisien tekuk lokal untuk batang lentur penampang kotak.....21
Gambar 3.10 Pelat memikul tegangan geser.....22
Gambar 3.11 Kurva parameter kelangsingan pelat panjang.....24
Gambar 3.12 Rasio momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan badan (h/tw).....26
Gambar 3.13 Grafik rasioMomen lentur Berdasarkan tekuk lokal penampang dobel delta terhadap penampang I.....29
Gambar 3.14 Defleksi lateral pada sayap.....30
Gambar 3.15 Balok profil I dalam posisi sedikit tertekuk.....31
Gambar 3.16 Grafik Rasio momen batas Berdasarkan Tekuk puntir lateral Penampang Dobel Delta terhadap Penampang I.....36
Gambar 3.17 Gelagar pelat dengan beban terpusat P.....36

Gambar 3.18 Contoh kurva beban-deformasi 37
Gambar 3.19 Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ).....39
Gambar 3.20 Kurva elastis.....39
Gambar 3.21 Aksi Momen Akibat Beban Terpusat.....41
Gambar 3.22 Distribusi Momen Lentur.....43
Gambar 4.1 Bagan alir Pelaksanaan penelitian.....46
Gambar 4.2 Portal pemikul beban.....47
Gambar 4.3 Dial Gauge kapasitas 50 mm.....48
Gambar 4.4 Dukungan sendi dan rol.....48
Gambar 4.5 Hidraulic Jack.....49
Gambar 4.6 Universal testing Machine (UTM).....49
Gambar 4.7 Model Gelagar.....50
Gambar 4.8 Benda uji tarik pelat.....50
Gambar 4.9 Benda uji Tarik las.....51
Gambar 4.10 Set Up Peralatan.....51
Gambar 5.1 Grafik hubungan beban – lendutan Gelagar Pelat I.....55
Gambar 5.2 Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar Pelat Dobel Delta.....55
Gambar 5.3 Grafik rasio hubungan beban lendutsn ditengah bentang Gelagar I dan Dobel Delta.....56
Gambar 5.4 Grafik rasio hubungan Mcr uji versus Mcr teoritis.....59
Gambar 5.5 Kurva momen kelengkungan Gelagar Pelat I.....64
Gambar 5.6 Kurva momen kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta.....64
Gambar 5.7 Grafik hubungan beban lendutan ditengah bentang Gelagar I.....66
Gambar 5.8 Grafik hubungan beban lendutan ditengah bentang Gelagar Pelat Dobel Delta.....67
Gambar 5.9 Kurva parameter Kelangsingan panjang.....68
Gambar 5.10 Koefisien tekuk lokal pada batang lentur.....70
Gambar 5.11 Hubungan momen batas terhadap Momen leleh versus kelangsingan.....71

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....53

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....54

Tabel 5.3 Nilai kekakuan Gelagar Pelat I dengan variasi h/b.....57

Tabel 5.4 Nilai kekakuan Gelagar Pelat Dobel Delta dengan variasi h/b.....57

Tabel 5.5 Nilai momen kritis (Mcr) Pengujian I dan Dobel Delta.....58

Tabel 5.6 Nilai momen kritis (Mcr) Teoritis I dan Dobel Delta.....58

Tabel 5.7 Modulus I dan Dobel Delta.....59

Tabel 5.8 Nilai Tegangan kritis (Fcr) hasil Uji I dan Dobel Delta.....60

Tabel 5.9 Nilai Koefisien Tekuk (k) sayap Gelagar pelat I dan Dobel Delta.....61

Tabel 5.10 Nilai Koefisien Tekuk (k) badan Gelagar pelat I dan Dobel Delta.....61

Tabel 5.11 Nilai kelengkungan Gelagar Pelat I.....62

Tabel 5.12 Nilai kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta.....63

Tabel 5.13 Nilai Mn/My terhadap h/tw Pelat I dan Dobel Delta.....65

Tabel 5.14 Momen Batas tekuk lokal versus tekuk lateral gelagar pelat I.....72

Tabel 5.15 Momen Batas tekuk lokal versus tekuk lateral gelagar pelat Dobel delta.....73

DAFTAR NOTASI

A = Jarak antar pengaku

Ab = Abruto = Luas penampang lintang bruto

Ae = Luas efektif

Af = Luas bruto sebuah flens

Apb = Luas kontak pengaku

Aw = Luasan badan

b = Lebar flens

be = Lebar efek dimana tegangan maksimum dapat dianggap sama rata yang dapat memberikan kapasitas tebal yang tepat

bf = Lebar flens

Cb = Faktor untuk menghitung gradien momen kekuatan balok, nilainya 1,0-2,3

Cc = Rasio kerampingan KL/r yang memisahkan antara kolom panjang dan pendek ASD

Cv = Rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh

Cw = Konstanta kelengkungan puntir

d = Tinggi gelagar

dw = Kedalaman badan

D = Nilai geser maksimum

e = Eksentrisitas badan

E = Modulus elastisitas

F = Tegangan karena geser langsung

fa = Tegangan tarik aksial beban layanan

fb = Tegangan lentur dalam layanan

fc = Tegangan merata beban layanan

fv = Tegangan geser beban layanan

Fa = Tegangan aksial beban layanan yang disajikan dalam ASD

Fb = Tegangan lentur yang diijinkan

Fcr = Tegangan kritis

Fs = Faktor keamanan

Fu = Kekuatan tarik baja struktur

Fv = Tegangan geser yang diijinkan

Fy = Tegangan leleh

Fyw = Tegangan leleh untuk badan

G = Modulus elastisitas geser

H = Kedalaman, tinggi pelat badan

I = Momen Inersia

Ix = Momen Inersia sumbu x

Iy = Momen Inersia sumbu y

k = Koefisien tekuk pelat

L = Panjang bentang

Lb = Panjang tanpa penopang lateral

M = Momen puntir beban layanan terdistribusi merata

Mcr = Kekuatan momen tekuk mpuntir lateral elastik

Mp = Kekuatan momen elastis

Mr = Kekuatan momen bila serat terluar mencapai (Fy/Fr)

Mu = Momen beban layanan terfaktor

Mx = Momen menurut sumbu x

My = Momen menurut sumbu y bila lentur biaksial diperhitungkan

Mz = momen lentur/momen punter pada arah z menurut sumbu batang

P = Beban aksial layanan

Pn = Kekuatan nominal batang tekan yang dibebani secara aksial

Pu = Beban aksial terfaktor

Sx = Modulus penampang elastis

t = Ketebalan

tf = Tebal flens (sayap)

ts = Tebal penyambung

tw = Tebal badan

V = Tegangan geser

Vn = Kekuatan geser nominal

Vu = Gaya geser terfaktor

Y = Defleksi pada sumbu lokasi z sepanjang bentang

Z = Modulus elastik

γ = Istilah umum untuk faktor kelebihan beban

ε = Regangan

ε_t = regangan total

ε_x = Regangan arah x

ε_y = Regangan pada saat tegangan leleh

Δ = Defleksi/lendutan

Δ_y = Lendutan pada saat beban maksimum

Δtotal = Lendutan total

λ = Rasio kerampingan untuk pelat

λ c = Parameter kerampingan

λ p = Rasio kerampingan maksimum untuk elemen kompak

μ = Rasio poison

ϕ = Koefisien resistensi

τ = Tegangan geser

τ cr = Tegangan tekuk geser

τ y = Tegangan leleh geser

θ = Sudut rotasi

ρ = Rasio luas penampang lintang badan Aw terhadap luas penampang Af salah satu flens

σ = Tegangan

π = 3,14

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Konsultasi
Lampiran 2 Perhitungan Benda Uji.....1
Lampiran 3 Hasil pengujian kuat tarik baja.....13
Lampiran 4 Hasil pembebanan benda uji.....17
Lampiran 5 Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk (k) pengujian.....20
Lampiran 6 Perhitungan Momen Kelengkungan.....24
Lampiran 7 Perhitungan Rasio Momen nominal terhadap Momen leleh..... .27
Lampiran 8 Foto Benda Uji.....29

ABSTRAKSI

Gelagar pelat adalah komponen struktur tersusun yang fungsi utamanya memikul momen lentur dan gaya geser. Gelagar Pelat Dobel Delta merupakan modifikasi dari gelagar pelat I dengan penambahan pelat-pelat penopang yang menghubungkan sisi-sisi luar pelat sayap dengan pelat badan.

Penelitian eksperimental menggunakan dua benda uji, yaitu gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta, dengan spesifikasi lebar sayap (bf) = 94 mm, tebal sayap (tf) = 3mm, tebal badan (tw) = 2 mm, tinggi badan (h) = 400 mm pada gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kurva hubungan beban - lendutan, momen–kelengkungan, koefisien tekuk, momen kritis, dan rasio kapasitas lentur gelagar pelat.

Hasil penelitian eksperimental ini diperoleh bahwa gelagar pelat Dobel Delta mempunyai beban yang semakin meningkat untuk menahan lendutan, sehingga didapat tegangan kritis meningkat, momen kritis (Mcr), koefisien tekuk semakin meningkat. Dari penelitian ini didapatkan bahwa gelagar pelat Dobel Delta menahan lentur lebih besar daripada gelagar pelat I.

Kata Kunci = Gelagar pelat, beban-lendutan, tegangan kritis, momen kritis, koefisien tekuk pelat.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baja struktural penampang I sudah banyak digunakan sebagai komponen struktur lentur tersusun yang mampu memikul beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya geser. Kapasitas profil I yang tersedia di pasaran terbatas dan hanya digunakan pada struktur dengan bentang pendek. Pada bentang panjang, kapasitas penampang I dapat berupa penampang tersusun gelagar pelat untuk mendapatkan penampang baja struktural yang lebih ekonomis.

Gelagar penampang I dapat dibuat dari pelat-pelat baja yang dirangkai dengan las atau paku keling. Penampangnya terdiri dari dua pelat sayap yang dihubungkan menerus dengan pelat badan. Pelat sayap difungsikan mendukung momen, sedangkan pelat badan diprioritaskan mendukung gaya geser. Gelagar penampang I yang badannya langsing dan diberi pengaku terbukti cukup ekonomis dan mampu memikul momen dan gaya geser besar dengan mengandalkan kekuatan pelat pasca tekuk *(post buckling)* dari aksi medan tarik *(tension action filed)*. 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 : tekuk sayap *(flens local buckling)*, tekuk badan *(web local buckling)*, dan tekuk puntir lateral *(lateral torsional buckling)*.

Untuk menghindari tekuk elastis, pelat sayap yang hanya ditumpu pada salah satu sisinya dibuat tebal. Momen inersia sumbu lemah gelagar I relatif kecil dibanding momen inersia sumbu kuat karena itu gelagar penampang I mudah mengalami tekuk puntir lateral. Untuk mencegah terjadinya tekuk puntir lateral di tempat-tempat tertentu pada penampang yang tertekan dipasang dukungan lateral *(lateral support)*. Kegagalan tekuk lokal dan tekuk puntir pada gelagar pelat penampang I menunjukkan momen batas gelagar I belum mencapai maksimal dan perlu ditingkatkan.

Momen batas gelagar pelat penampang I masih mungkin dapat ditingkatkan dengan memodifikasi penampang I menjadi penampang dobel delta. Pada gelagar penampang I ditambah pelat-pelat penopang yang menguhubungkan 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 (Ix) dan (Iy) dengan demikian penambahan pelat penopang dapat meningkatkan momen batas.

Di sisi lain penambahan pelat-pelat penopang membutuhkan biaya material 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 untuk dipertimbangkan.

Momen batas gelagar pelat penampang dobel delta dapat dianalisis berdasarkan teori stabilitas pelat dan kekuatan bahan *(strength of materials)*, namun sampai saat ini belum tersedia formula praktis untuk keperluan ini.

Penelitian eksperimental pada gelagar plat ini dilakukan untuk mengetahui sifat penampang gelagar pelat penampang dobel delta, dan rasio kapasitas batas gelagar dobel delta terhadap kapasitas batas gelagar I.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari perilaku gelagar pelat penampang dobel delta antara lain:

1. Mendapatkan kapasitas lentur nyata gelagar pelat penampang dobel delta yang mempunyai tingi dan lebar sama dengan gelagar pelat penampang I, serta mendapatkan rasio kapasitas gelagar pelat dobel delta terhadap gelagar pelat I.
2. Mendapatkan nilai tegangan kritis gelagar pelat penampang I dan gelagar pelat penampang dobel delta.
3. Mendapatkan kurva beban-lendutan $(P-\Delta)$, dan kekakuan gelagar pelat penampang dobel delta dan gelagar pelat penampang I
4. Mendapatkan kurva momen - kelengkungan gelagar pelat penampang dobel delta dan penampang I yang mempunyai tinggi dan lebar sama,
5. Mendapatkan nilai hubungan momen nominal terhadap momen leleh (Mn/My) pada rasio kelangsingan (h/t).

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian eksperimental ini adalah :

1. Memperoleh pengetahuan tentang kapasitas dan perilaku gelagar pelat penampang dobel delta,

2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penelitian gelagar pelat.

1.4. Batasan Masalah

Perilaku kapasitas gelagar pelat meliputi permasalahan yang cukup luas dan dipengaruhi oleh banyak faktor, karena itu penelitian ini perlu adanya batasan sebagai berikut :

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

1.5. Keaslian Penelitian

Berdasarkan studi literatur dan kajian-kajian pustaka, belum dijumpai penelitian ekperimental kapasitas lentur gelagar pelat penampang I dan penampang dobel delta dengan rasio tinggi terhadap lebar 4,25. Jika dikemudian hari diketahui sudah ada penelitian serupa, namun parameter yang digunakan

tidak sama dengan parameter yang digunakan dalam penelitian ini. maka dapat disimpulkan bahwa penelitian ini asli.

1.6. Lokasi Penelitian

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelagar Pelat

Taly (1998) mengemukakan definisi gelagar pelat, yaitu komponen struktur tersusun yang fungsi utamanya memikul momen lentur dan gaya geser. Dari sudut pandang perencanaan, gelagar pelat didefinisikan sebagai balok yang penampangnya simetris terhadap bidang badan, mempunyai sayap sama atau tidak sama, berbadan tipis sehingga kekuatannya dibatasi oleh tekuk lentur dan tekuk geser.

Gelagar pelat adalah elemen struktur lentur tersusun yang didesain dan difabrikasi untuk memenuhi kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang gilas biasa.***(Spiegel dan Limbrunner,1991)***.

Salmon dan johnson (1996), mengemukakan bahwa gelagar pelat adalah suatu balok yang dibuat dari elemen-elemen pelat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien ketimbang yang mungkin diperoleh dengan balok tempa.

2.2. Bentuk Penampang

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, terdiri pelat badan, dua pelat sayap dan pelat-pelat yang menghubungkan sayap dengan badan ***(Taly 1998).***

2.3. Tegangan Kritis Pelat

Tall (1974) dan Ewwin at. All (1992) menyatakan bahwa tegangan kritis elastis elemen pelat dipengaruhi oleh jenis tegangan, kondisi tepi, rasio lebar terhadap tebal (b/t) dan rasio panjang terhadap lebar (a/b). Pelat sayap pada gelagar penampang I termasuk elemen pelat yang tidak diperkaku karena hanya ditumpu pada salah satu sisinya.

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

Salmon dan Johnson (1996) , menyatakan bahwa pelat sayap memikul tegangan tekan dan mempunyai rasio panjang terhadap lebar (a/b) cukup karena itu koefien tekuk pelat sayap dapat diambil 0,425. Pelat badan termasuk elemen pelat yang diperkuat karena ditumpu pada kedua sisinya. Koefisien tekuk pelat badan yang memikul lentur bervariasi, mulai dari 23,9 pada tumpuan sederhana hingga 39,6 pada tumpuan jepit . Koefisien tekuk pelat pelat badan yang memikul gaya geser dipengaruhi oleh oleh rasio panjang terhadap lebar (a/h).

2.4. Kapasitas Lentur Gelagar Pelat

Berdasarkan penelitian ***Salmon dan Johnson (1996)***, kapasitas lentur gelagar pelat bergantung pada :

a. Rasio tinggi terhadap tebal pelat menentukan ketidakstabilan badan (tekuk lentur).

b. Rasio jarak tambatan lateral terhadap radius girasi menentukan ketidakstabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral).

c. Rasio lebar terhadap tebal sayap menentukan tekuk setempat atau tekuk puntir pada sayap.

d. Rasio luas badan terhadap luas sayap menentukan pengaruh tekuk badan pada sayap.

Salmon dan Johnson (1996), mengemukakan bahwa kuat geser dan kuat lentur gelagar pelat umumnya berkaitan dengan badan balok, badan balok yang ramping dapat menyebabkan persoalan, antara lain :

a. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok tersebut untuk memikul bagian elastis dan momen lentur.

b. Tekuk sayap tekan dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah tekuk sedemikian rupa.

c. Tekuk karena geser.

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

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

2.5. 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.

2.6. Hubungan Beban-deformasi

Timoshenko dan Gere (1961) menyatakan kekakuan dari sebuah batang yang dibebani secara aksial didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan satuan. Kekakuan merupakan rasio antara beban dan defleksi yang terjadi.

2.7 Hubungan Momen-Kelengkungan

Timoshenko dan Gere (1961) menyatakan hubungan momen dengan kelengkungan. Kelengkungan struktur berbanding lurus dengan momen, berbanding terbalik dengan modulus elastis bahan dan momen inersia penampang. Kelengkungan suatu struktur dapat diukur dengan pendekatan metode *central deferences* dengan bantuan deformasi di tiga titik yang berurutan dan jaraknya sama.

2.8 Desain Plastis Gelagar Pelat

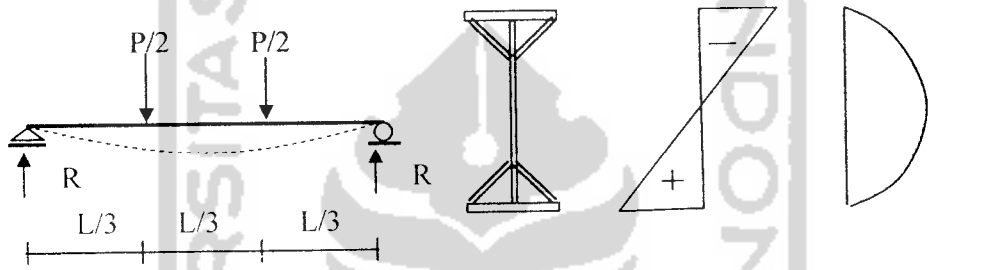
Leonard Spiegel dan Limbrunner (1991) menyatakan bahwa metode desain plastis memanfaatkan kekuatan cadangan balok baja yang ada setelah tegangan leleh tercapai pada beberapa lokasi. Teori plastis menggunakan hubungan tegangan-regangan yang meliputi juga daerah plastis sampai pada saat akan mencapai *strain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

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Penampang Gelagar Pelat

Beban P yang bekerja pada gelagar pelat tumpuan sederhana (Gambar 1a) menimbulkan momen dan gaya geser (Gambar 1b dan 1c). Beban P melalui pusat geser penampang dobel delta (Gambar 3.1d) menerima tegangan lentur, dan tegangan geser.

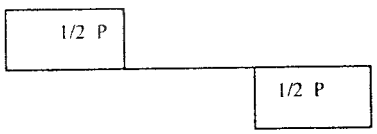


(a) Gelagar pelat (d) Penampang (e) tegangan lentur (f) tegangan geser

$$R = \frac{\left(\frac{1}{2}P.\frac{L}{3}\right)+\left(\frac{1}{2}P.2\frac{L}{3}\right)}{L} = \frac{1}{2}P$$

$$M_{maksimum} = \frac{1}{2}P.\frac{L}{3} = \frac{1}{6}P.L$$

(b) Diagram momen



(c) Diagram gaya geser

Gambar 3.1. Gelagar pelat dengan beban transversal

Dalam keadaan elastis, distribusi tegangan lentur diperlihatkan pada (Gambar 3.1e), besar tegangan oleh Timoshenko dan Gere (1961) dihitung dengan Persamaan (3.1), yaitu

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

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

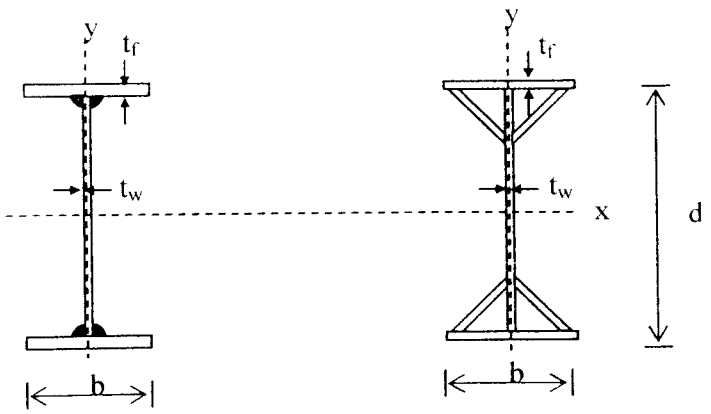
$$\tau = \frac{VQ}{I.b} \tag{3.2}$$

dengan V = gaya geser, Q = momen statis luasan, b= lebar penampang, I= momen Inersia, distribusi tegangan geser ditunjukkan pada (Gambar 3.1f). Sayap atas gelagar pelat dobel delta memikul tegangan tekan, sayap bawah memikul tegangan tarik, badan gelagar memikul tegangan lentur dan tegangan geser.

3.2 Penampang I dan Dobel delta

Gelagar penampang Dobel Delta merupakan hasil modifikasi dari gelagar pelat penampang I dengan penambahan elemen pelat didesain pada sayap atas dan sayap bawah dapat memperkecil tinggi badan, sehingga badan menjadi lebih kaku.

Gambar 3.2.a dan 3.2.b berturut-turut menunjukkan penampang I dan dobel delta, keduanya memiliki dua sumbu simetri, yaitu sumbu kuat (sumbu-x) dan sumbu lemah (sumbu-y).



a. Penampang I b. Penampang dobel delta

Gambar 3.2.(a) Penampang I dan (b) Penampang dobel delta

Jika kedua penampang tersebut mempunyai tinggi dan lebar sama, serta dibuat dari pelat yang tebalnya sama maka momen-momen inersia penampang dobel delta lebih besar dibanding momen inersia penampang I. Secara umum momen inersia (I_x dan I_y) penampang tersebut dapat dihitung dengan Persamaan (3.3) dan (3.4) yaitu,

$$I_x = \int_0^A y^2 dA \tag{3.3}$$

$$I_y = \int_0^A x^2 dA \tag{3.4}$$

Momen-momen inersia (I_{ix}) dan (I_{iy}) penampang I yang badannya langsing dan terbuat dari pelat-pelat segi empat dapat didekati dengan Persamaan (3.5) dan (3.6), yaitu

$$I_{ix} = \frac{1}{12} t_w (d)^3 + \frac{1}{6} b.t_f{}^3 + \frac{1}{2} (b.t_f) d^2 \tag{3.5}$$

$$I_{iy} = \frac{1}{12} (d) t_w{}^3 + \frac{1}{6} t_f b^3 \tag{3.6}$$

Momen inersia penampang gelagar dobel delta dengan pelat penopang membentuk sudut 45^{o} dan tebalnya sama dengan tebal pelat badan dihitung dengan Persamaan (3.7) dan (3.8)

$$I_{dx} = I_{ix} + \left(\frac{1}{24} t_w b^3 + 2(t_w)(b)(d/2 - b/4)^2 \right) \tag{3.7}$$

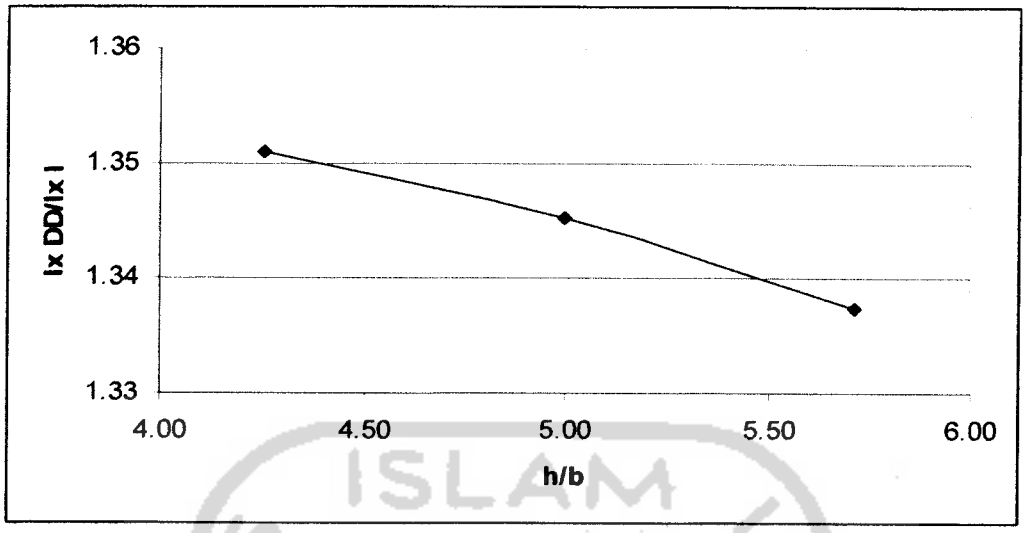
$$I_{dy} = I_{iy} + \frac{1}{6}(t_w)b^3 \tag{3.8}$$

Rasio momen inersia penampang dobel delta terhadap penampang I dapat dihitung dengan Persamaan (3.9) dan (3.10) yaitu,

$$\frac{I_{dx}}{I_{ix}} = 1 + \left(\frac{\frac{1}{24} t_w b^3 + 2(t_w)(b)(d/2 - b/4)^2}{1/12 t_w (d)^3 + \frac{1}{6} b t_f^3 + 1/2(b t_f)(d)^2} \right) \tag{3.9}$$

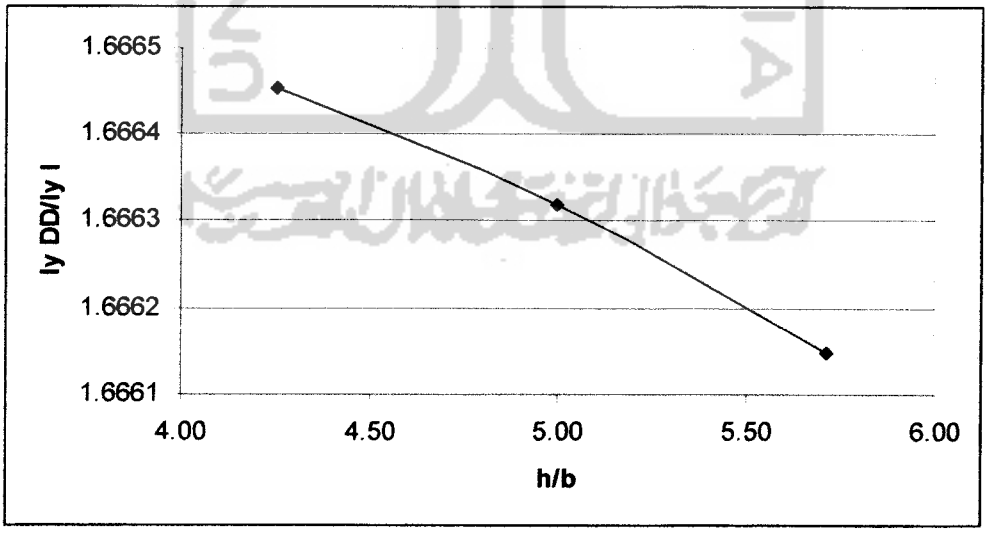
$$\frac{I_{dy}}{I_{iy}} = 1 + \left(\frac{\frac{1}{6} t_w b^3}{1/12(d) t_w^3 + (1/6) t_f b^3} \right) \tag{3.10}$$

Bila ditetapkan tinggi konstan terhadap lebar yang bervariasi dan $t_f = 1.5 t_w$, maka rasio inersia sumbu kuat penampang dobel delta terhadap penampang I dapat dihitung dengan Persamaan (3.9) dan dapat digambarkan pada grafik gambar (3.3).



Gambar 3.3 Grafik rasio Inersia x penampang Dobel Delta terhadap penampang I

Dengan tinggi konstan dan lebar bervariasi (h/b=4,25), (h/b=5), dan (h/b=5,71) dapat dihitung berdasarkan Persamaan (3.10), rasio inersia sumbu lemah penampang dobel delta terhadap penampang I, sehingga didapatkan gambar (3.4) sebagai berikut :



Gambar 3.4 Grafik rasio Inersia y penampang Dobel Delta terhadap penampang I

Dari gambar grafik (3.3) dan (3.4) dapat diketahui bahwa dengan menambahkan pelat-pelat penopang yang menghubungkan sisi-sisi luar pelat sayap dan pelat badan akan meningkatkan momen inersia sumbu lemah dan sumbu kuat.

3.3. Tegangan Kritis Pelat

Tegangan kritis pelat adalah adalah tegangan pada saat pelat menjadi tidak stabil, tegangan ini membatasi kapasitas momen (momen batas) gelagar dobel delta maupun gelagar dan I. Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan kritis adalah jenis tegangan, kondisi tepi pelat dan aspek rasio.

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) , oleh *Timoshenko and Gere (1961)* dinyatakan dengan Persamaan

$$D\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}+2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2}+\frac{\partial^4 w}{\partial y^4}\right)=q \qquad (3.11)$$

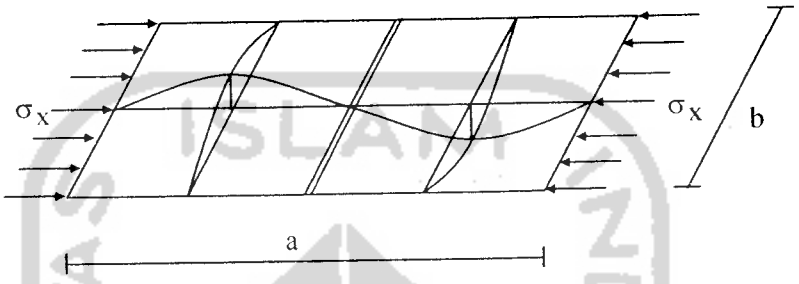
Komponen beban transversal q yang yang menyebabkan lentur pelat dan komponen transversal gaya tekan N_x, bila pelat mengalami defleksi ke posisi yang sedikit tertekuk, adalah

$$q=-N_x\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \qquad (3.12)$$

Bila Persamaan (3.11) disubstitusi dengan Persamaan (3.12), maka Persamaan differensialnya menjadi persamaan (3.13).

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = -\frac{1}{D} N_x \frac{\partial^2 w}{\partial_x^{\ 2}} \qquad (3.13)$$

dengan $D = Et^3 / 12(1-\mu^2)$ menunjukkan kekakuan lentur pelat, E = modulus elastisitas , μ = nilai banding poisson dan $Nx = \frac{D\pi^2}{b^2}\left(\frac{1}{m}\frac{a}{b} + m\frac{b}{a}\right)^2$.



Gambar 3.5 Pelat memikul tekanan merata

Solusi Persamaan (3.13) dengan mensubstitusi nilai D dan Nx menghasilkan Persamaan (3.14) yang menunjukkan tegangan kritis elastis pelat , yaitu

$$\sigma_{cr} = \frac{k.\pi^2.E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \qquad (3.14)$$

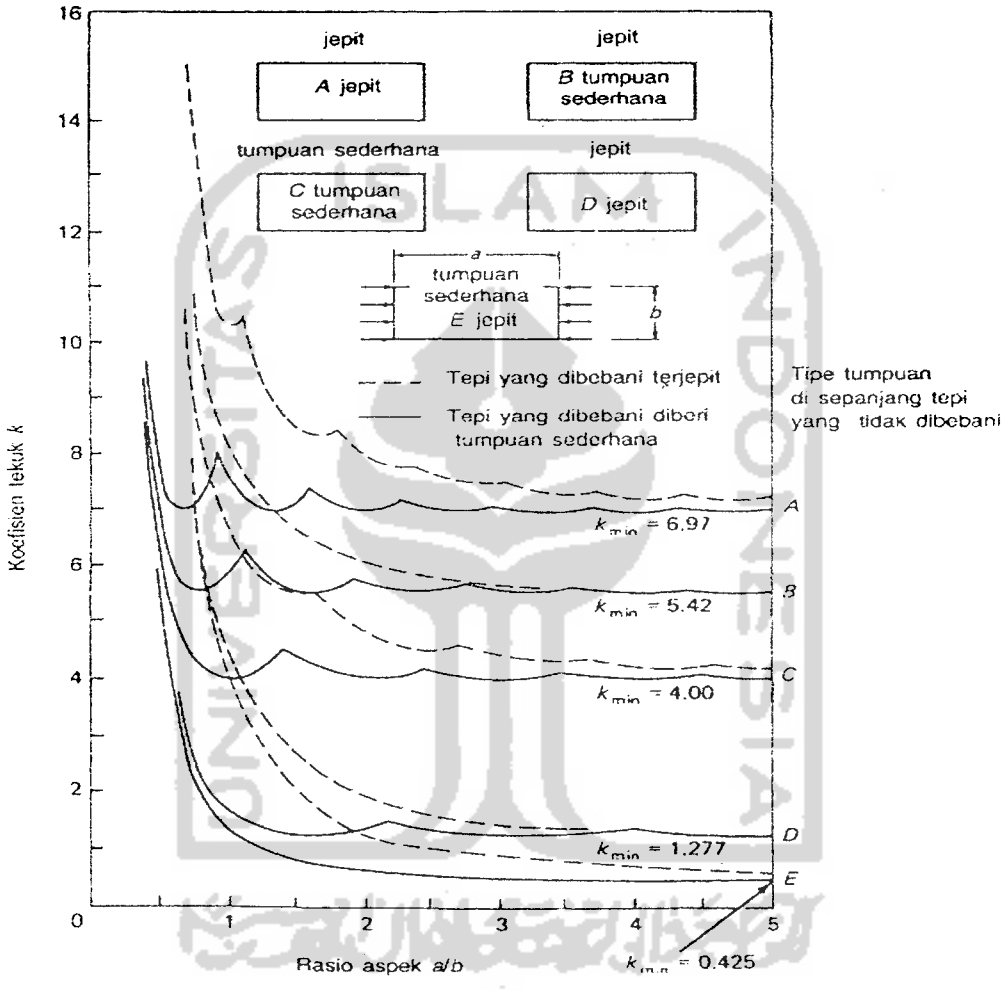
dengan k = koefisien tekuk pelat yang bergantung kepada jenis tegangan, kondisi tepi pelat dan aspek rasio. Tampak tegangan kritis pelat berbading terbalik dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu pelat tegangan kritisnya semakin kecil.

Koefisien tekuk pelat yang ditumpu pada keempat sisinya dan memikul tekanan merata dinyatakan dengan Persamaan (3.15), yaitu

$$k = \left(\frac{1}{m}\frac{a}{b} + m\frac{b}{a}\right) \qquad (3.15)$$

dengan 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)

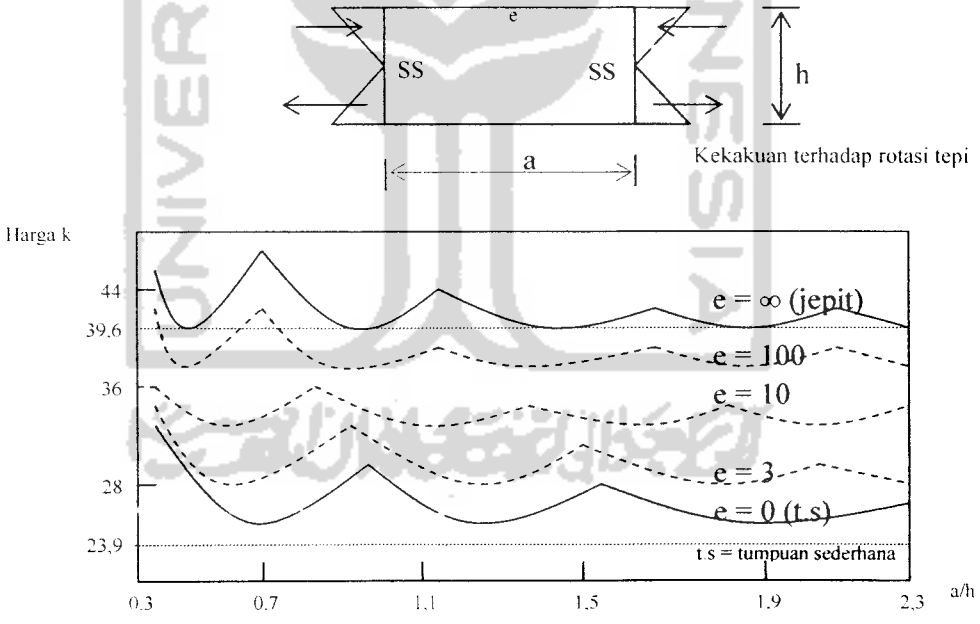


Gambar 3.6. Koefisien tekuk pelat yang memikul tekanan merata dengan variasi kondisi tepi dan rasio panjang terhadap lebar (a/b)

Tampak pada rasio aspek (a/b) yang cukup besar koefisien tekuk pelat (k) tetap. Karena sayap gelagar I hanya ditumpu pada salah satu sisinya dan mempunyai aspek rasio cukup besar maka nilai k minimum = 0,425. Untuk penampang Dobel delta kedua sisi elemen sayap baik sisi luar dan dalam elemen ditumpu pelat dengan asumsi mempunyai tumpuan sederhana nilai k=4. Hal ini dinyatakan oleh Timoshenko dan Gere (1961).

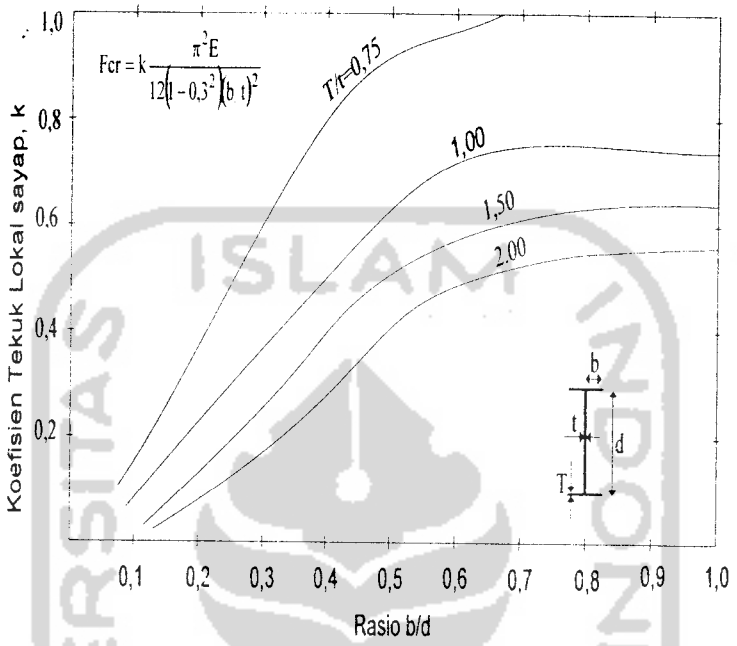
3.5 Tekuk Elastis Akibat Lentur Murni

Persamaan (3.13) berlaku untuk pelat-pelat yang memikul lentur. Menurut *Timoshenko* dan *Gere* (1961), koefisien tekuk pelat yang memikul momen dan ditumpu menerus pada kedua sisinya adalah 23,9 untuk tumpuan sederhana dan 39,6 untuk tumpuan jepit (lihat Gambar 3.7).



Gambar 3.7. Koefisien tekuk untuk plat akibat lentur murni

Tekuk local pada elemen plat dapat menyebabkan kegagalan dini *(premature collapse)* pada keseluruhan penampang. Nilai koefisien tekuk pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi lentur ditunjukkan pada gambar (3.8).



Gambar 3.8 Koefisien tekuk lokal untuk batang lentur penampang I (N.S Trahair dan M.A. Bradford, 1988)

Dari **Gambar 3.8** dapat dilihat nilai koefisien tekuk local pada pelat tipis penampang I dipengaruhi oleh rasio lebar sayap terhadap tinggi badan (b/d) dan tebal sayap terhadap tebal badan (T/t). Dapat dilihat juga bahwa semakin besar rasio b/d, maka nilai k semakin besar, dan semakin kecil rasio T/t nilai k semakin besar. Nilai k akan mengalami peningkatan yang signifikan pada nilai b/d 0,5.

3.6. T

T

dinyatak

dengan b

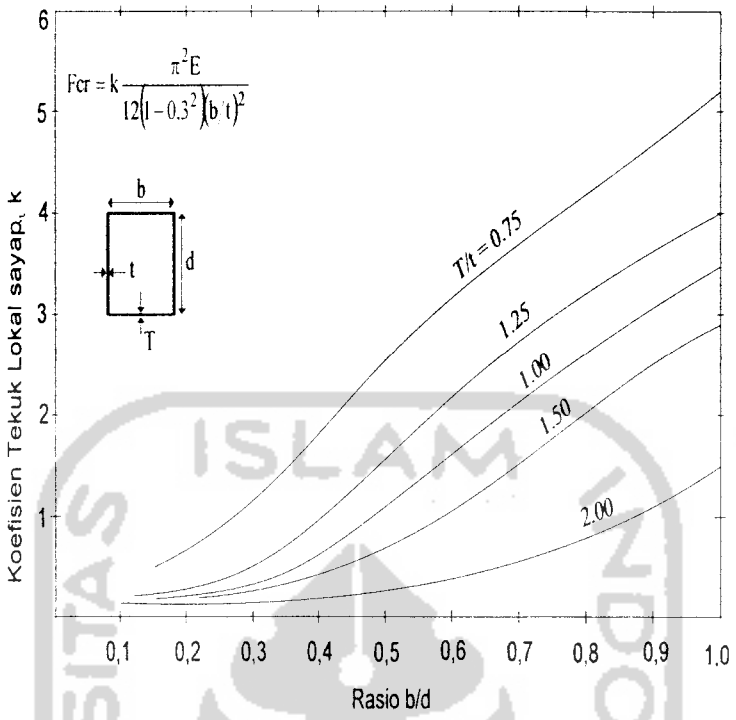
kepada (

Nilai k p

Nilai k p

Tampak

k akan s



Gambar 3.9 Koefisien tekuk lokal untuk batang lentur penampang kotak (N.S Trahair dan M.A. Bradford, 1988)

Dari gambar 3.9 dapat dijelaskan bahwa untuk mendapatkan nilai koefisien tekuk yang besar diperlukan lebar sayap yang semakin panjang dan tebal, sehingga akan didapatkan nilai koefisien tekuk sayap yang besar.

Dapat dilihat dari gambar 3.8 dan 3.9 bahwa penggunaan pelat penampang kotak lebih baik dibandingkan penampang I karena penampang kotak mempunyai koefisien tekuk yang lebih besar daripada penampang I.

3.6. Tekuk Elastis Akibat Geser

Tegangan kritis elastis pelat-pelat yang menerima tegangan geser dinyatakan dengan Persamaan (3.16)

$$\sigma_{cr} = \frac{k.\pi^2.E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \tag{3.16}$$

dengan b=sisi pendek pelat. Koefisien tekuk pelat yang memikul geser bergantung kepada (a/h), dinyatakan dengan Persamaan 3.17 dan 3.18

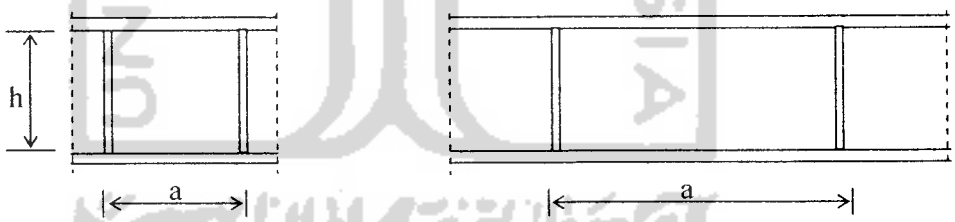
Nilai k pada kasus $a/h \leq 1$ (Gambar 3.10.a) adalah

$$k = 4 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \tag{3.17}$$

Nilai k pada kasus $a/h \geq 1$ (Gambar 3.10.b) adalah

$$k = \frac{4}{(a/h)^2} + 5.34 \tag{3.18}$$

Tampak pada persamaan (3.17) dan (3.18) apabila a/h semakin kecil maka nilai k akan semakin besar.



(a) a/h < 1 (b) a/h > 1

Gambar 3.10 Pelat memikul tegangan geser

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 (3.16) dengan tegangan leleh, sehingga didapat

$$\sigma_{cr} = \frac{k.\pi^2.E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \leq \sigma_y \qquad (3.19)$$

Masing-masing ruas Persamaan (3.19) dibagi tegangan leleh, didapat

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \frac{k.\pi^2.E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2\sigma_y} \qquad (3.20)$$

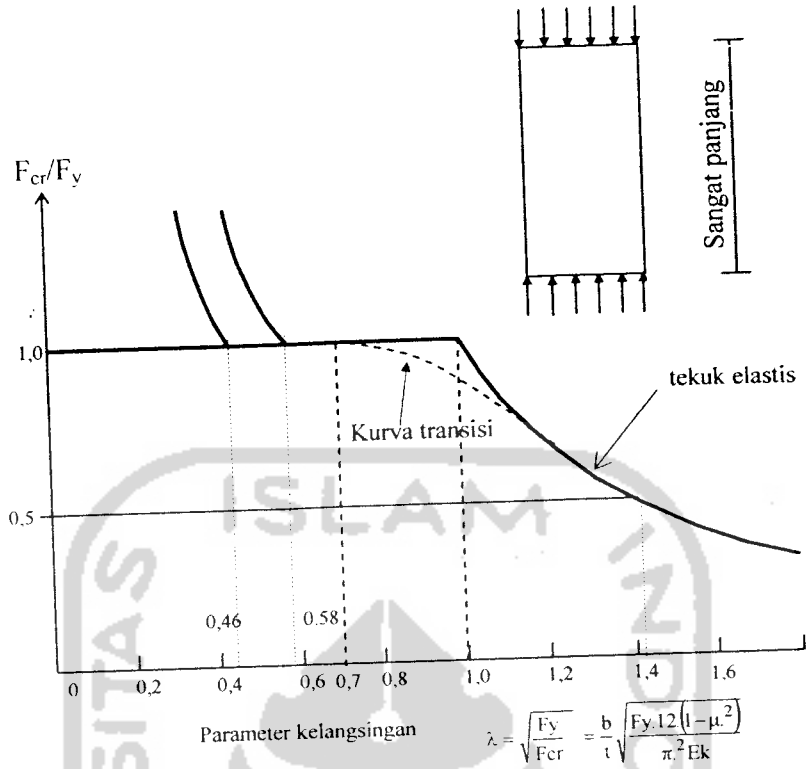
selanjutnya parameter kelangsingan dinyatakan dengan persamaan (3.21), yaitu

$$\lambda^2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}} \qquad (3.21)$$

Subtitusi Persamaan (3.21) ke dalam Persamaan (3.20) sehingga didapat persamaan (3.22) rasio kelangsingan batas

$$\frac{b}{t} = \sqrt{\frac{\lambda.k\,\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\sigma_y}} \qquad (3.22)$$

Guna memperoleh kepastian sayap mencapai tegangan leleh digunakan parameter kelangsingan hasil penelitian, yaitu $\lambda_c = 0{,}7$, lihat Gambar 3.11 *(Ostapenko 1974)*.



Gambar 3.11 Kurva parameter kelangsingan pelat panjang

Berdasarkan gambar diatas dapat disubstitusikan λ_c =0,7, k=0,425 dan E=2.10^5 Mpa ke dalam Persamaan (3.22) dan menggunakan notasi pada Gambar (3.2.a) didapat rasio kelangsingan batas pelat sayap gelagar penampang I, yaitu

$$\frac{b}{2t_f} = 15{,}8 \qquad (3.23)$$

Pada gelagar 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),*** hasilnya adalah

$$\frac{h}{t_w} = 319{,}9 \tag{3.24}$$

Kelangsingan pelat badan yang diberi pengaku boleh melebihi (h/t_w) yang didapat Persamaan (3.24) dan boleh digunakan hingga (h/t_w) mencapai Persamaan (3.25), maka

$$\frac{h}{t_w} = 332 \tag{3.25}$$

3.9. Momen Batas Gelagar Pelat

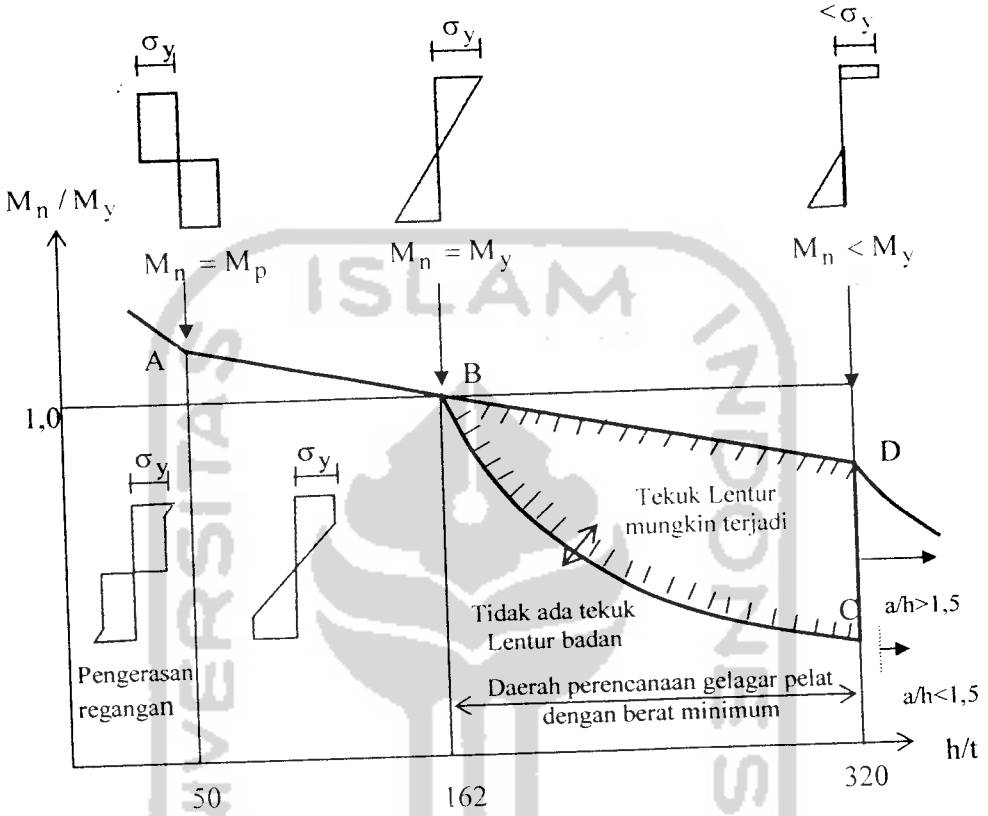
Momen batas gelagar pelat oleh Salmon dan Johnson (1990) dinyatakan dengan Persamaan (3.26) yaitu

$$M_{cr} = f\left(\frac{h}{t_w}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f}, \frac{L_b}{r_r}\right) \tag{3.26}$$

dengan (h/t_w)= kelangsingan pelat badan yang menentukan ketidakstabilan badan (tekuk lentur), (b/t_f) = kelangsingan pelat sayap, (A_w/A_f) = rasio luas badan terhadap luas sayap yang menentukan pengaruh pasca tekuk, dan (L_b/r_y) = rasio jarak bentang terhadap jari inersia minimum. Jika tekuk sayap dan tekuk puntir lateral dicegah maka momen batas gelagar pelat merupakan fingsi dari (h/t_w) dan (A_wA_f). Momen batas gelagar pelat penampang I fungsi (h/t_w) ditunjukkan pada Gambar (3.12).

Kapasitas lentur pada gelagar pelat tanpa pengaku cenderung mengalami tekuk lentur pada h/tw sebesar 162 sehingga kapasitas lentur gelagar akan mengalami penurunan. Daerah perencanaan gelagar yang efisien diantara $162 < h/t < 320$.

Tegangan kritis pelat akan meningkat apabila diberikan pengaku vertikal dan horizontal pada badan gelagar, sehingga akan meningkatkan kapasitas lentur gelagar dan kekuatan pasca tekuk.



Gambar 3.12. Rasio momen batas terhadap momen leleh versus kelangsingan badan (h/t_w)

3.10 Kapasitas Geser

Untuk menentukan kapasitas geser gelagar pelat digunakan rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh (Persamaan 3.27), yaitu:

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 E.k}{\tau y(12)(1-\mu^2)(h/t)^2} \qquad (3.27)$$

Substitusi nilai E = 200000 Mpa, μ = 0,3, μ = 0,6 σ_{yw}

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

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t_w)^2 \sigma_{yw}} \tag{3.28}$$

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

$$C_v = \frac{491}{(h/t_w)^2} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \tag{3.29}$$

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_{tf}), yaitu

$$V_n = V_{cr} + V_{tf} \tag{3.30}$$

Kekuatan geser kritis dari suatu gelagar berdasarkan tekuk tak-elastik atau elastik badan dapat dinyatakan pada Persamaan (3.31)

$$V_{cr} = C_v \tau_y A_w \tag{3.31}$$

Dengan Aw = h.tw, dan $C_v = \tau_{cr} / \tau_y$, diberikan oleh Persamaan 3.28 dan 3.29 masing-masing untuk tekuk elastis dan tidak elastis.

Dalam penelitian Basler,1958 seperti yang dikutip oleh Salmon dan Johnson, 1991 mengatakan bahwa kekuatan geser V_{tf} yang berasal dari aksi medan-tarik dalam badan gelagar menimbulkan suatu jalur gaya-gaya tarik yang terjadi setelah badan itu mengalami tekuk akibat tekan diagonal (tegangan-

tegangan utama dalam teori balok biasa). Keseimbangan dipertahankan melalui transfer gaya ke pengaku vertikal. Dengan naiknya badan gelagar, sudut medan-tarik berubah untuk mengakomodasi kapasitas menahan beban terbesar.

Kekuatan geser dari aksi medan tarik dinyatakan dengan Persamaan (3.32)

$$V_{tf} = \sigma_t \frac{Aw}{2}\left[\frac{1}{\sqrt{1+(a/h)^2}}\right] \tag{3.32}$$

3.11. 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 (3.33)

$$M_{cr} = b.t_f(\sigma_{crf})(d) + \frac{1}{4}t_w(d)^2\sigma_{crw} \tag{3.33}$$

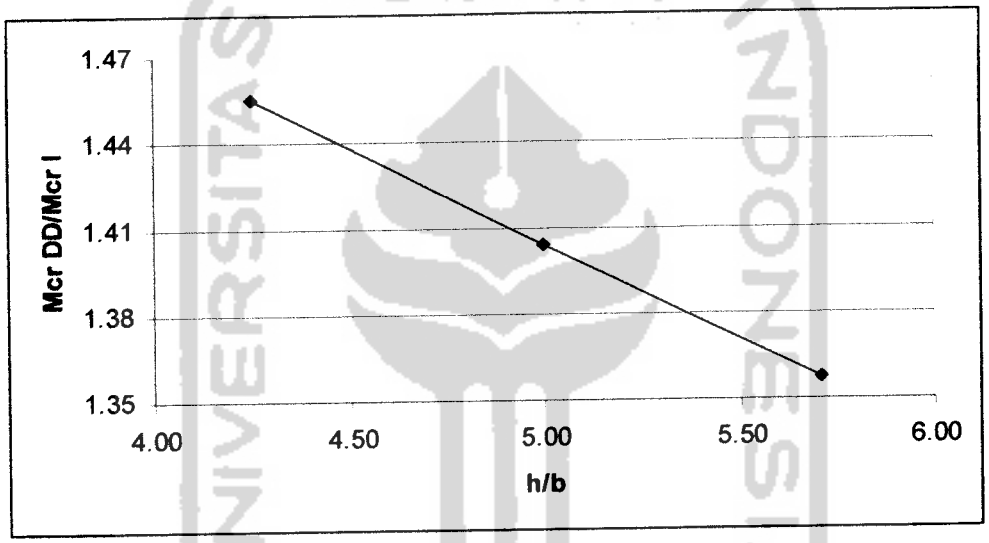
Momen batas gelagar pelat dobel delta berdasarkan kondisi batas tekuk lokal adalah jumlah momen batas pelat sayap, pelat badan dan pelat-pelat penopang, dihitung dengan Persamaan (3.34), yaitu

$$M_{cr} = bt_f(d)(\sigma_{crf}) + (d_1 t_w)\sigma_{crw}(d_1) + \frac{1}{4}t_w(d_2)^2\sigma_{crw} + (2)((b/2)((t_w)(d-b/2)\sigma_{crw} \tag{3.34}$$

Rasio momen batas gelagar dobel delta terhadap momen batas gelagar I berdasarkan kondisi batas tekuk lokal ditunjukkan pada Persamaan (3.35).

$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} = \frac{b.t_f(d)\sigma_{crf} + (d_1 t_w)\sigma_{crw}(d_1) + \frac{1}{4}t_w(d)^2\sigma_{crw} + (2)((b/2)((t_w)(d-b/2)\sigma_{crw}}{b.t_f(d)\sigma_{crf} + \frac{1}{4}t_w(d)^2\sigma_{crw}} \quad (3.35)$$

Dari Gambar 3.13 menunjukkan rasio momen lentur berdasarkan tekuk local penampang dobel delta terhadap penampang I dengan variasi (h/b) yang didapatkan pada Persamaan (3.35).



Gambar 3.13 Grafik Rasio Momen Lentur Berdasarkan Tekuk Lokal Penampang dobel delta terhadap penampang I

3.12 Momen Batas Tekuk Puntir

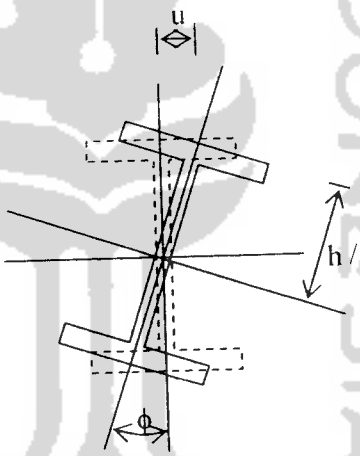
Penerapan beban pada suatu bidang akan menyebabkan batang tersebut mengalami puntir, kecuali bila ada kekangan eksternal untuk mencegah terjadinya puntir tersebut. Bidang puntiran sebelum mengalami puntir akan tetap berupa bidang dan hanya berupa rotasi elemen yang terjadi selama puntiran berlangsung dapat disebut sebagai puntir murni (*puntir Saint-Venant*).

Dalam puntir murni, momen puntir M dibagi rigiditas torsional GJ sama dengan kurvatur puntiran (perubahan sudut puntir ϕ per satuan panjang), sehingga dihasilkan komponen Ms karena puntir murni dinyatakan pada persamaan (3.36). yaitu

$$M_s = GJ\frac{d\phi}{dz} \tag{3.36}$$

Dimana G = modulus elastisitas geser, dan J = konstanta puntir.

Sebuah balok yang terkena puntiran, flens tekannya akan melengkung pada salah satu arah lateral sedangkan flens tariknya akan melengkung ke arah lain, merupakan puntir lengkungan lateral (*Warping torsion*).



Gambar 3.14 Defleksi lateral pada sayap

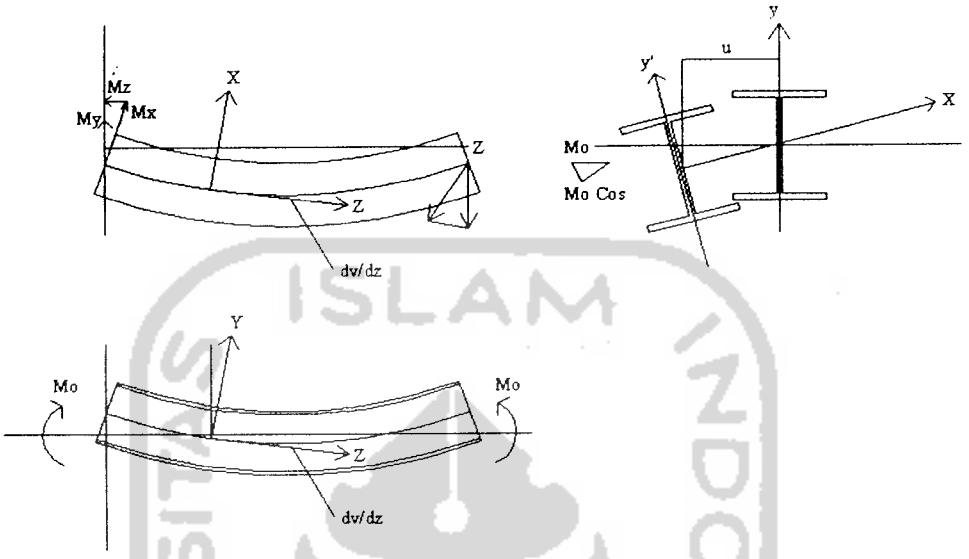
Dari gambar (3.14) flens terdefleksi secara lateral dapat dinyatakan pada persamaan (3.37)

$$u_f = \phi\frac{h}{2} \tag{3.37}$$

Komponen momen puntir M_w, yang menyebabkan lentur lateral dari flens-flensnya, sama dengan gaya geser dikalikan lengan momen, sehingga didapatkan

$$M_w = V_f h = -EI_f \frac{h^2}{2} \frac{d^3\phi}{dz^3} \tag{3.38}$$

$$= -EC_w \frac{d^3\phi}{dz^3} \tag{3.39}$$



Gambar 3.15 Balok profil-I dalam posisi yang sedikit tertekuk

Pada balok dalam suatu posisi tertekuk (gambar 3.15), terlihat bahwa momen yang bekerja Mo pada bidang yz akan meningkatkan komponen momen Mx, My dan Mz, masing-masing menurut sumbu x'-, y'-, dan z'-. Ini berarti akan terdapat kurvatur lentur baik pada bidang x'z' maupun y'z' serta kurvatur puntir menurut sumbu z'. Dengan asumsi deformasi kecil, lentur pada bidang y'z' (dengan memperhitungkan kosinus arahnya adalah 1 antara sumbu-sumbu y'- dan y-, dan z'- dan z) dapat ditulis:

$$EI_x \frac{d^2v}{dz^2} = M_{x'} \tag{3.40}$$

dimana v adalah displacement sentroid pada arah y. Demikian pula, kurvatur pada bidang x'z' adalah

$$EI_y \frac{d^2u}{dz^2} = M_{y'} = M_0\phi \tag{3.41}$$

Momen puntir totalnya merupakan penjumlahan dari bagian yang mengalami rotasi M_s, dan bagian yang mengalami lentur lateral M_w, dari Persamaan (3.36) dan (3.39), maka

$$M_z = M_s + M_w = GJ\frac{d\phi}{dz} - EC_w\frac{d^3\phi}{dz^3} \tag{3.42}$$

Komponen puntir dari M_0 ketika balok tersebut sedikit tertekuk adalah sebanding dengan putaran sudut balok dalam

$$M_z = -\frac{du}{dz}M_0 \tag{3.43}$$

Untuk persamaan diferensial puntir dapat dihitung dengan persamaan (3.44)

$$-\frac{du}{dz}M_o = GJ\frac{d\phi}{dz} - EC_w\frac{d^3\phi}{dz^3} \tag{3.44}$$

Bila Persamaan (3.44) dideferensiasi terhadap z akan diperoleh

$$-\frac{d^2u}{dz^2}M_o = GJ\frac{d^2\phi}{dz^2} - EC_w\frac{d^4\phi}{dz^4} \tag{3.45}$$

Dari Persamaan (3.41) diperoleh persamaan (3.46)

$$\frac{d^2u}{dz^2} = -\frac{M_0\phi}{EI_y} \tag{3.46}$$

Bila persamaan (3.46) disubstitusikan ke dalam Persamaan (3.45), maka akan didapatkan persamaan (3.47)

$$EC_w \frac{d^4\phi}{dz^4} - GJ\frac{d^2\phi}{dz^2} - \frac{M_0^{\,2}}{EI_y}\phi = 0 \tag{3.47}$$

Bila terjadi tekuk puntir lateral pada kondisi tekuk elastis dengan pola tekuk fundamental dengan bilangan bulat sembarang, maka akan didapatkan nilai M_0 sebagai momen kritis pada Persamaan (3.48), yaitu

$$q = \sqrt{-\alpha + \sqrt{\beta + \alpha^2}} = \frac{\pi}{L} \tag{3.48}$$

Untuk mendapatkan suatu penyelesaian dengan mengasumsikan

$$2\alpha = \frac{GJ}{EC_w} \text{ dan } \beta = \frac{Mo^2}{E^2 C_w I_y} \tag{3.49}$$

Bila kedua sisi diakarkan, dan definisi α dan β disubstitusi, dari Persamaan (3.49), maka

$$-\frac{GJ}{2EC_w} + \sqrt{\frac{M_0^{\,2}}{E^2 C_w I_y} + \left(\frac{GJ}{2EC_w}\right)^2} = \frac{\pi^2}{L^2} \tag{3.50}$$

Penyelesaian untuk $M_0 = M_{cr}$ didapat persamaan (3.51) dan disederhanakan menjadi persamaan (3.52)

$$M_{cr}^{\,2} = E^2 C_w I_y \left[\left(\frac{\pi^2}{L^2} + \frac{GJ}{2EC_w}\right)^2 - \left(\frac{GJ}{2EC_w}\right)^2\right] \tag{3.51}$$

$$M_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^4 E^2 C_w I_y}{L^4} + \frac{\pi^2 EI_y GJ}{L^2}} \tag{3.52}$$

Sehingga didapat persamaan (3.53)

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L_b}\sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_w I_y + EI_y GJ} \tag{3.53}$$

Momen batas gelagar pelat berdasarkan tekuk puntir lateral merupakan fungsi: (a) momen inersia sumbu lemah, (b) panjang bentang antar dukungan lateral (L_b), konstanta puntir (C_w), modulus geser (G), momen inersia polar (J), dengan

Mcr = Momen kritis arah lateral,

C_w = konstanta puntir

L_b = panjang bentang antar dukungan lateral.

I_y = momen inersia minimum,

J = konstanta puntir

G = Modulus elastisitas geser = E/(2(1+μ)), merupakan fungsi modulus elastisitas tarik tekan E dan rasio poisson μ

Persamaan (3.53) dapat digunakan untuk meghitung momen batas gelagar penampang I dan penampang dobel delta. Konstanta puntir gelagar pelat penampang I dinyatakan dengan C_w nilainya didekati dengan Persamaan (3.54), yaitu

$$C_w = I_f \frac{h^2}{4} \tag{3.54}$$

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

Nilai C_w untuk penampang I didapatkan pada persamaan (3.55)

$$C_{wi} = \frac{1}{12} t_f b^3 \frac{h^2}{2} \tag{3.55}$$

Nilai C_w penampang dobel delta adalah

$$C_{wd} = \frac{1}{12} t_f .b^3 \frac{h^2}{2} + 2\frac{1}{12} t_w (b/2)^3 (h/2 - b/4)^2 \qquad (3.56)$$

Momen inersia polar J dihitung dengan Persamaan (3.57)

$$J = \sum \frac{1}{3} bt^3 \qquad (3.57)$$

Nilai J penampang I dihitung dengan persamaan (3.58)

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

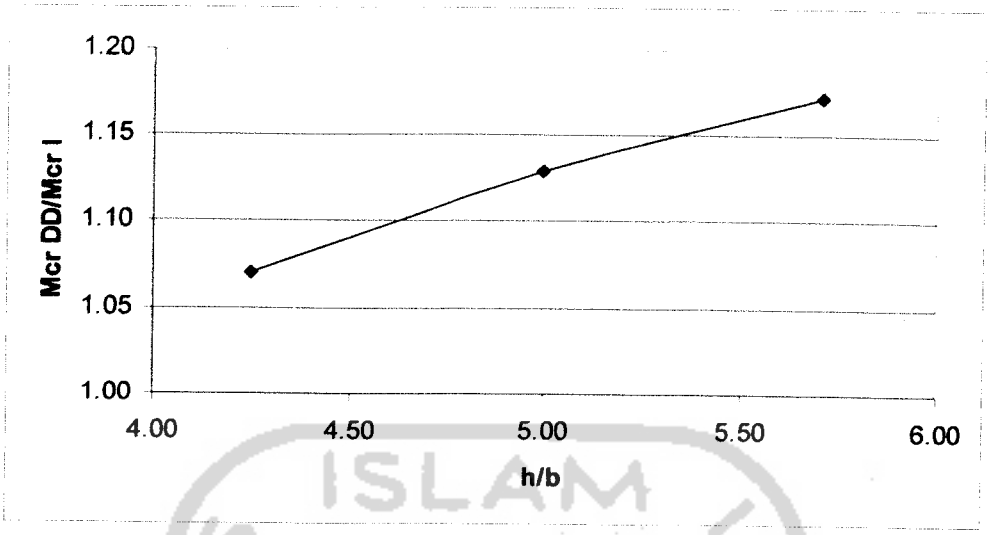
Nilai J penampang dobel delta dihitung dengan persamaan (3.59)

$$J_d = \frac{1}{3} d.t_w^3 + 2\frac{1}{3} b.t_f^3 + 4.(0{,}7b)t_w^3 \qquad (3.59)$$

Rasio momen batas gelagar pelat penampang dobel delta terhadap penampang I dinyatakan dengan Persamaan (3.60)

$$\frac{M_{cr\,d}}{M_{cr\,i}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_{wd} I_{yd} + EI_d GJ_d}}{\sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_{wi} I_{yi} + EI_y GJ_i}} \qquad (3.60)$$

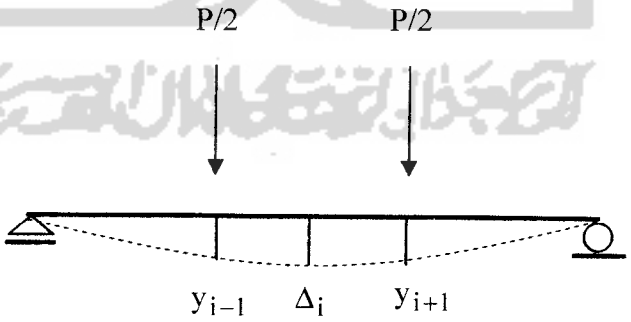
Bila diasumsikan h= 4,25b dan tf=1,5 tw maka akan didapatkan gambar (3.16) grafik momen batas berdasarkan tekuk puntir penampang dobel delta terhadap penampang I.



Gambar 3.16 Grafik Rasio Momen Batas Berdasarkan Tekuk Puntir Lateral Penampang dobel delta terhadap penampang I

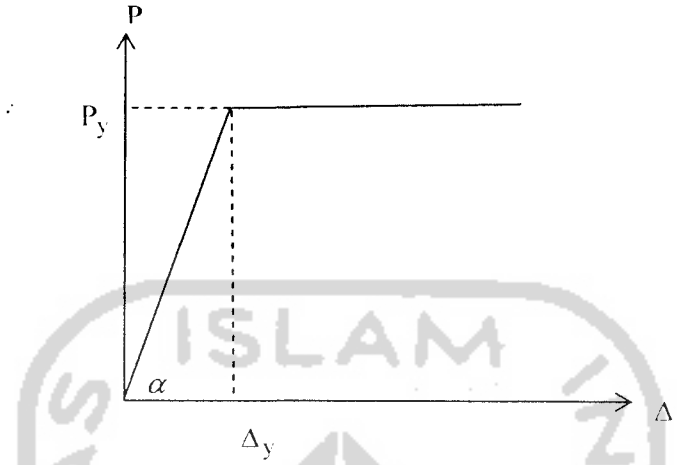
3.13. Karakteristik Gelagar Pelat

Beban transversal P yang bekerja pada gelagar pelat seperti pada Gambar 3.17. menghasilkan momen, gaya geser, dan lendutan. Karakteristik gelagar pelat dapat diketahui dari kurva beban-lendutan ($P-\Delta$ hasil) dan kurva momen-kelengkungan ($M-\varphi$) hasil eksperimen.



Gambar 3.17. Gelagar pelat dengan beban terpusat P

Jika beban P dikerjakan bertahap hingga balok mengalami keruntuhan dan pada setiap tahap pembebanan lendutan maksimumnya diukur didapat kurva beban-lendutan. Contoh kurva beban lendutan ditunjukkan pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18. Contoh kurva beban-deformasi

Besarnya lendutan sesuai dengan beban yang bekerja pada struktur sehingga kemiringan yang dihasilkan disebut sebagai kekakuan.

Kekakuan gelagar yang masih elastis dihitung dengan Persamaan (3.61)

$$k = tg\alpha = \frac{P}{\Delta} \qquad (3.61).$$

Dimana : k adalah kekakuan (KN/mm), P adalah beban (KN), Δ adalah lendutan (mm).

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)* dinyatakan dalam persamaan (3.62)

$$\frac{d_y^2}{dx^2} = \frac{M}{EI} \tag{3.62}$$

Kelengkungan balok dapat ditentukan berdasarkan metode *Central difference* dengan bantuan lendutan di tiga penampang yang berurutan yang jaraknya sama. Kemiringan (sloope) didekati dengan Persamaan (3.63), yaitu

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \tag{3.63}$$

turunan kedua persamaan 3.63 adalah

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d/dx)(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1})(d/dx)(2\Delta x)}{(2\Delta_x)^2} \tag{3.64}$$

karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka akan didapatkan persamaan (3.65)

$$\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0 \tag{3.65}$$

Sehingga Persamaan 3.66 menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x)(d/dx)(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \tag{3.66}$$

selanjutnya dari Persamaan 3.66 didapatkan Persamaan (3.67)

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \tag{3.67}$$

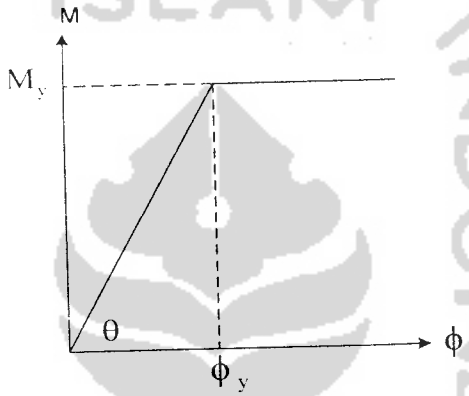
Untuk menghitung momen menggunakan persamaan (3.68), yaitu

$$M = \frac{1}{6}PL \tag{3.68}$$

Kelengkungan hasil eksperimen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut yaitu :

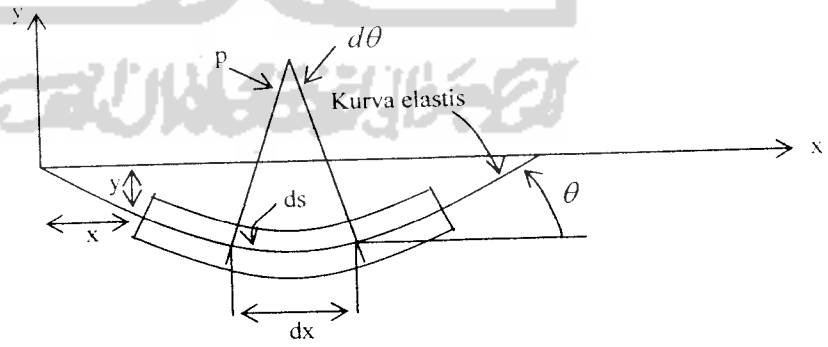
$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} \tag{3.69}$$

Dimana ε = regangan dan h = tinggi pelat badan, Sehingga dengan menggunakan persamaan (3.69) didapatkan kurva momen kelengkungan sebagai berikut yaitu : Hubungan momen (M) dan kelengkungan (curvature)(ϕ) ditunjukkan pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ)

3.14 Lendutan Gelagar Pelat



Gambar 3.20 Kurva Elastis

Gambar (3.20) menunjukkan permukaan netral balok yang melendut atau disebut dengan kurva elastis balok dimana ditetapkan lendutan tegak y dari setiap titik dengan terminologi koordinat x. Bila ditinjau variasi θ dalam panjang diferensial ds yang disebabkan lenturan balok maka :

$$ds = pd\theta \tag{3.70}$$

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

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} \tag{3.71}$$

dengan menggunakan rumus lentur maka diperoleh hubungan :

$$\frac{1}{p} = \frac{M}{EI} \tag{3.72}$$

Dengan ρ didekati dengan persamaan :

$$\rho = \left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2} \tag{3.73}$$

Persamaan (3.73) disubstitusikan dengan persamaan (3.72) maka akan didapatkan persamaan :

$$\frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{M}{EI} \tag{3.74}$$

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

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \tag{3.75}$$

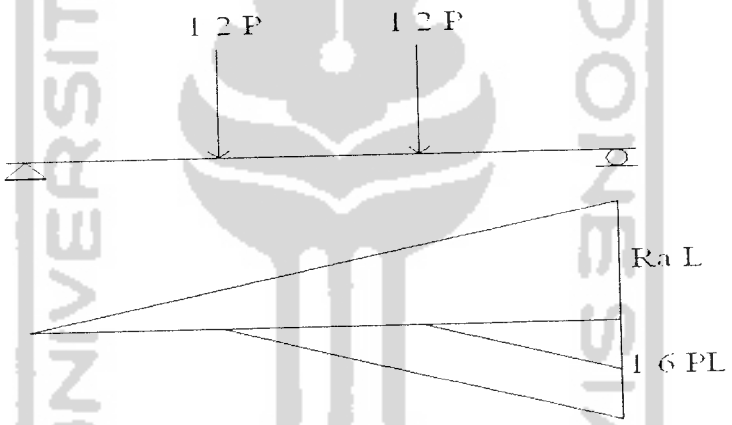
Bila Persamaan (3.75) diintegrasikan dengan EI konstan maka :

$$EI\frac{dy}{dx} = \int Mdx + C_1 \tag{3.76}$$

Bila persamaan (3.76) diintegrasikan maka :

$$EI\frac{dy}{dx} = \int Mdxdx + C_1x + C_2 \tag{3.77}$$

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 3.21.



Gambar 3.21 Aksi Momen Akibat Beban Terpusat

Berdasarkan Gambar (3.21) didapatkan penurunan lendutan berdasarkan metode luas bidang momen yaitu :

$$\Delta t = (\frac{P}{2}\frac{L^2}{2})(\frac{L}{3}) - (\frac{P}{2}\frac{4L^2}{18})(\frac{2L}{9}) - (\frac{P}{2}\frac{L^2}{18})(\frac{L}{9}) \tag{3.78}$$

Bila persamaan (3.78) disederhanakan maka :

$$\Delta t = (\frac{PL^3}{12}) - (\frac{8PL^3}{324}) - (\frac{PL^3}{324}) \quad (3.79)$$

Bila persamaan (3.79) disederhanakan pada jarak setengah bentang maka :

$$\Delta t = (\frac{18PL^3}{648}) \quad (3.80)$$

Lendutan pada setengah bentang dapat diturunkan dengan Persamaan :

$$\Delta t = (\frac{PL^3}{96}) - (\frac{PL^3}{2592}) \quad (3.81)$$

Bila persamaan (3.81) disederhanakan maka :

$$\Delta t = (\frac{26PL^3}{2592}) \quad (3.82)$$

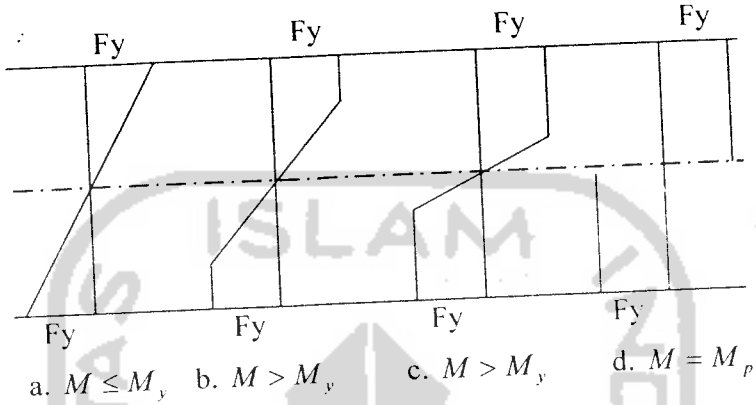
Bila persamaan (3.80) dikurangi dengan persamaan (3.82) maka didapatkan lendutan maksimum yaitu :

$$\Delta_{AB} = \frac{23PL^3}{1296EI} \quad (3.83)$$

3.15 Desain Plastis Gelagar Pelat

Metode desain plastis memafaatkan kekuatan cadangan balok baja yang ada setelah tegangan leleh tercapai hingga pada saat akan mencapai *strain hardening*. Selang *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, asumsi yang digunakan pada desain plastis adalah regangannya belum mencapai *strain hardening*. Bentuk distribusi momen lentur yang terjadi sebagai berikut:



a. $M \leq M_y$ b. $M > M_y$ c. $M > M_y$ d. $M = M_p$

Gambar 3.22 Distribusi Momen Lentur

Pada gambar 3.22 (a) adalah merupakan bentuk umum distribusi momen lentur dan dibatasi hingga tegangan lentur maksimum mencapai Fy. Artinya, serat terluar pada balok baja telah mencapai Fy sedangkan bagian yang lain masih ada yang mengalami tegangan lebih kecil dari Fy. Momen tahanan balok pada kondisi ini, yaitu :

$$M_y = F_y x S_x \tag{3.84}$$

Dimana My = Momen leleh

Fy = Tegangan leleh

Sx = Modulus penampang elastis

Apabila momen diperbesar lagi, maka serat terluar yang telah mencapai tegangan leleh dahulu, akan terus mengalami tegangan leleh dan pada saat yang sama mengalami pembesaran regangan. Akan tetapi regangan tersebut tidak sebanding dengan tegangan yang dialami, jadi momen tahanan tambahan yang diperlukan diperoleh dari serat-serat yang mendekati sumbu netral, seperti terlihat pada gambar 3.22 (b). Proses ini dapat diteruskan dengan semakin banyak bagian penampang tersebut yang mengalami tegangan leleh seperti terlihat pada gambar 3.22 (c). sehingga dicapai distribusi tegangan segiempat plastis seperti pada gambar 3.22 (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:

$$M_p = F_y z \tag{3.85}$$

Dengan Mp = Momen plastis

Z = Modulus penampang plastis

Fy = Tegangan leleh

3.16 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka dan landasan teori diatas dapat diambil hipotesa bila h = 4,25 b dan tf = 1,5 tw, maka

1. Rasio inersia sumbu lemah dan sumbu kuat penampang I dan Penampang Dobel Delta adalah

$$\frac{I_{Dx}}{I_{Ix}} \approx 1{,}35 \quad \text{dan} \quad \frac{I_{Dy}}{I_{Iy}} \approx 1{,}66$$

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

$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} \approx 1{,}45$$

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

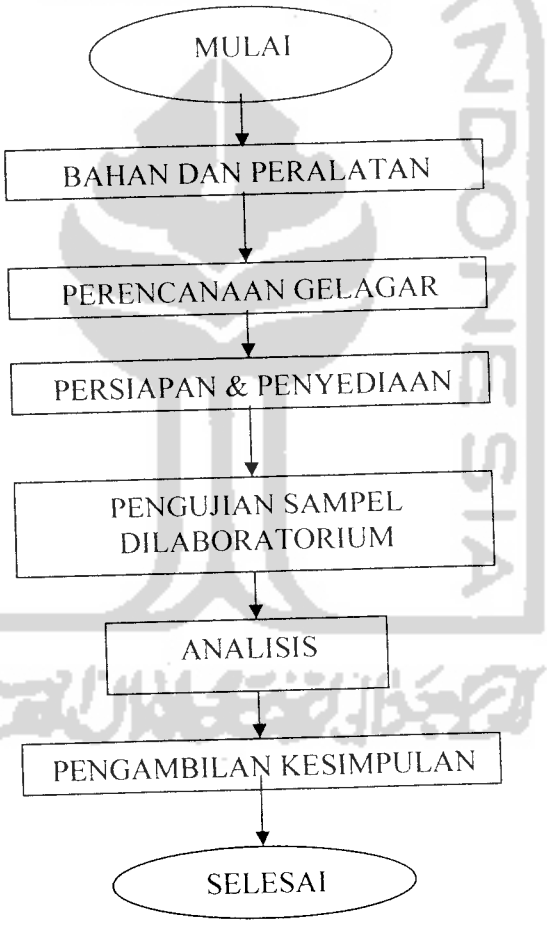
$$\frac{M_{crd}}{M_{cri}} \approx 1{,}07$$

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1. Tahap-tahap Penelitian

Metode Penelitian ini merupakan suatu cara pelaksanaan penelitian dalam penulisan tugas akhir. Tahapan penelitian dapat dilihat dari bagan alir pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Bagan alir pelaksanaan penelitian

4.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Pelat baja tebal 2 mm digunakan untuk badan dan pelat tebal 3 mm digunakan untuk sayap

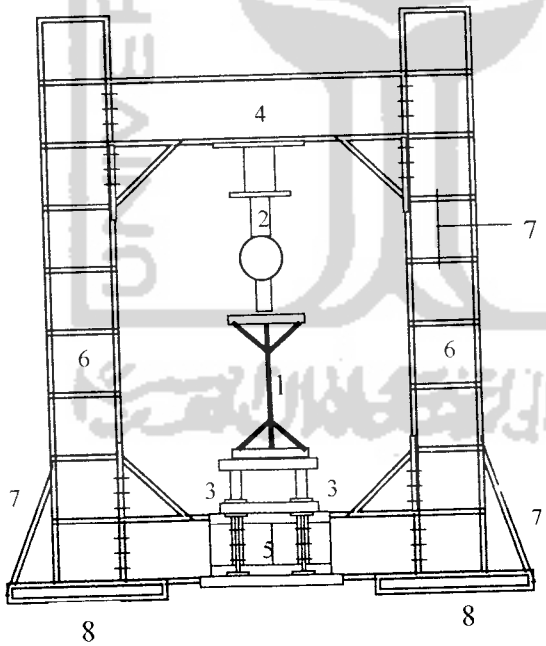
b. Kawat Las E 70 XX digunakan untuk menyambung pelat

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. Tinggi portal dapat diatur sesuai kebutuhan, . sketsa fisik alat ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



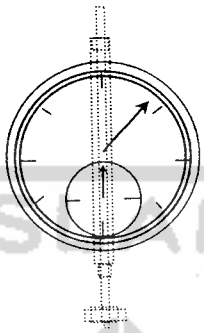
Keterangan:

1. Model Balok
2. Hydraulic Jack
3. Dukungan
4. Balok Portal
5. Balok Lintang
6. Kolom
7. Pengaku
8. Plat Dasar

Gambar 4.2. Portal pemikul beban

b. Dial Gauge

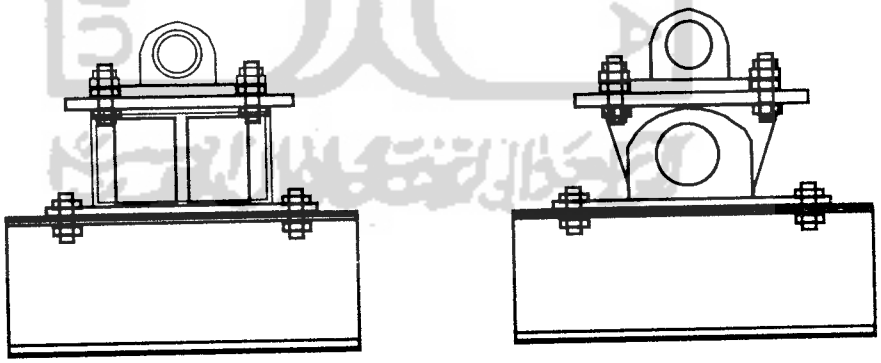
Alat ini digunakan untuk mengukur deformasi pada benja uji. Dalam penelitian digunakan 4 (empat) *Dial gauge* kapasitas ukur maksimal 50 mm dengan ketelitian 0,01 mm, sketsa Dial gauge ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Dial Gauge* kapasitas 50 mm

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.

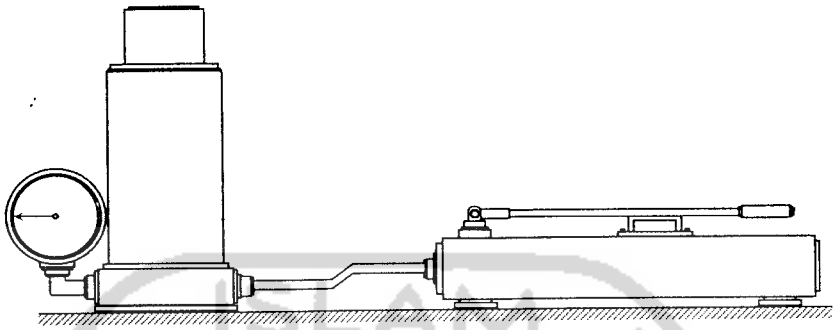


(a) Dukungan sendi *(b) Dukungan rol*

Gambar 4.4 *Dukungan Sendi dan Rol*

d. Hydraulic Jack

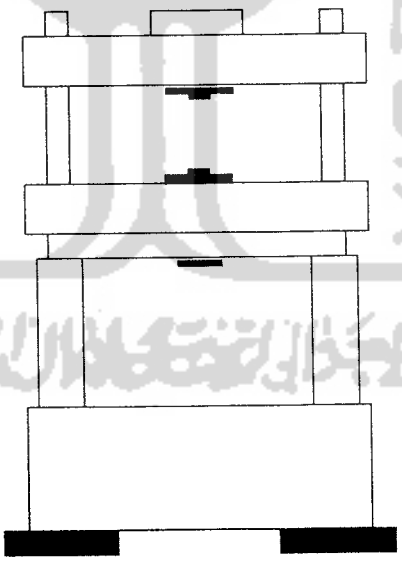
Alat ini digunakan sebagai pembangkit beban tranversal pada gelagar pelat Kapasitas hydraulik jack yang digunakan adalah 300 kN (lihat Gambar 4.5)



Gambar 4.5. *Hidraulic Jack*

e. Mesin Uji Kuat Tarik

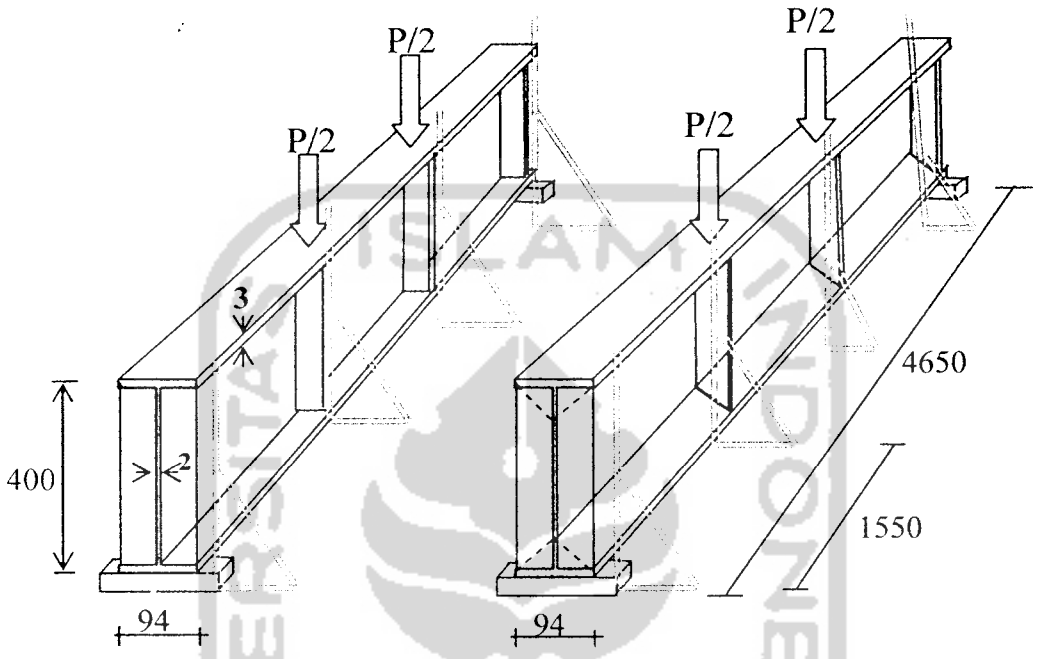
Mesin uji ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar kuat tarik pelat baja yang digunakan. Alat ini bernama *Universal Testing Machine* (UTM) merk Shimitsu type UMH-330 dengan kapasitas 30 ton, seperti Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Universal testing Machine* (UTM)

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

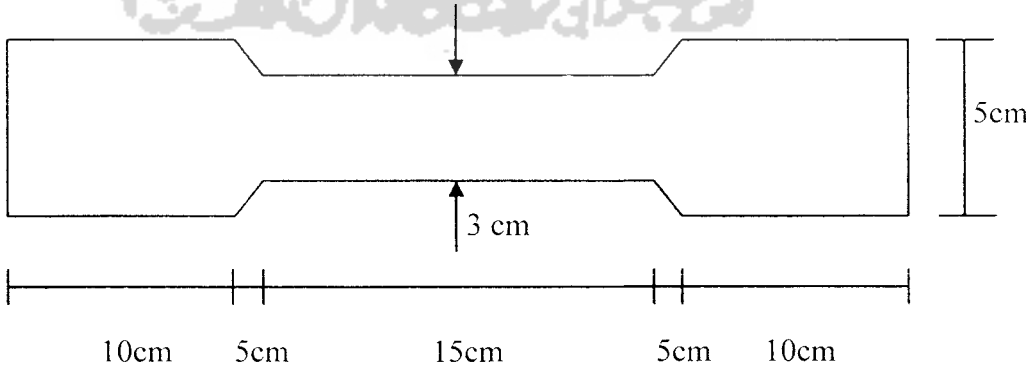
Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa gelagar pelat penampang I dan dobel delta



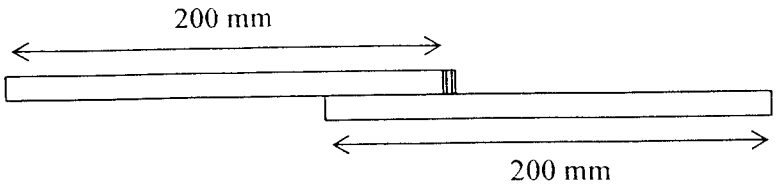
Gambar 4.7 Model gelagar (a) penampang I (b) penampang dobel delta

b. Benda Uji Tarik Pelat dan Tarik Las

Benda uji tarik pelat yang digunakan dengan tebal 2 mm dan 3 mm.



Gambar 4.8 Benda Uji tarik pelat

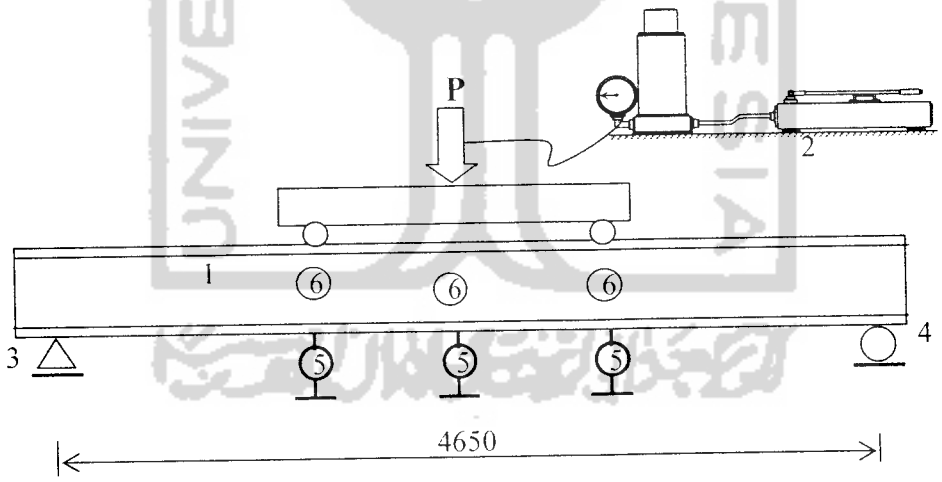


Gambar 4.9 Benda Uji Tarik Las

4.5 Set Up peralatan

Set up peralatan pada pengujian ini ditunjukan pada Gambar 4.10.

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 *(Hidraulic Jack)* dipasang diatas benda uji.



1. gelagar pelat
2. hydraulic jack
3. dukungan sendi
4. dukungan rol
5. dial arah transversal
6. dial arah lateral

Gambar 4.10 Set Up Peralatan

4.6. Pelaksanaan Pembebanan

1. Beban tranversal diberikan pada gelagar melalui hydraulik jack, pembebanan awal 3 kN,
2. Lendutan pada titik 1 hingga 6 akibat beban 3 kN dibaca pada dial 1 hingga dial 6,
3. Benda uji diberi tekanan dengan alat Hidraulic Jack dengan pembacaan dial setiap kelipatan beban 3 kN.
4. Pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan, beban konstan dan dinaikkan secara berangsur-angsur sampai maksimum. Prosedur seperti di atas terus diulangi hingga gelagar rusak.

4.7. Uji Kuat Tarik Baja dan Kuat Tarik Las

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

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.

Pengujian kuat tarik baja digunakan pelat baja dengan tebal 2mm dan 3 mm. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) merk *shimitzu* type UMH 30 dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari pelaksanaan pengujian tersebut didapatkan data hasil kuat tarik baja pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

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

Dari hasil pengujian kuat tarik baja didapatkan bahwa untuk pelat 2 mm nilai fu/fy = 350/230 = 1,52, sedangkan pada pelat 3 mm nilai fu/fy = 300/230 = 1,30, fu/fy pelat 2 mm lebih besar daripada fu/fy pelat 3 mm. Jadi pelat 3 mm memiliki kuat tarik yang lebih besar. Hasil perhitungan kuat tarik baja dapat dilihat pada lampiran 3.

5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.

Pengujian kuat tarik las dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) merk *shimitzu* type UMH 30 dilaksanakan di Laboratorium

Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian didapatkan hasil kuat tarik las ditunjukan pada Tabel 5.2 yaitu :

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

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

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa nilai kuat tarik las yaitu 614 MPa yaitu memenuhi persyaratan las 70 Ksi atau setara 490 MPa. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran 3.

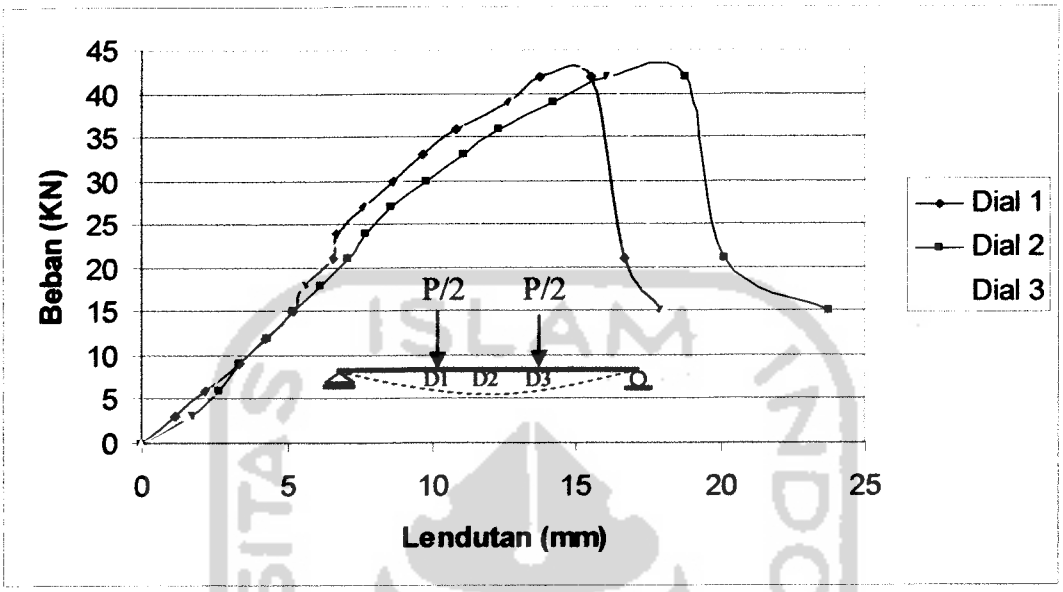
5.3. Hasil uji Kuat lentur gelagar Pelat Penampang I dan Dobel Delta

Pengujian kuat lentur gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta menggunakan alat Loading frame dan sumber beban didapatkan dari Hidraulic Jack dengan kapasitas 300 KN. Pada setiap pengujian gelagar penampang I dan penampang dobel delta diberi pengaku pada sisi kanan dan sisi kiri pada 1/3 bentang (1550 mm), agar tidak terjadi tekuk puntir lateral. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data dan Foto pelaksanaan uji dapat dilihat pada lampiran 8 tugas akhir ini.

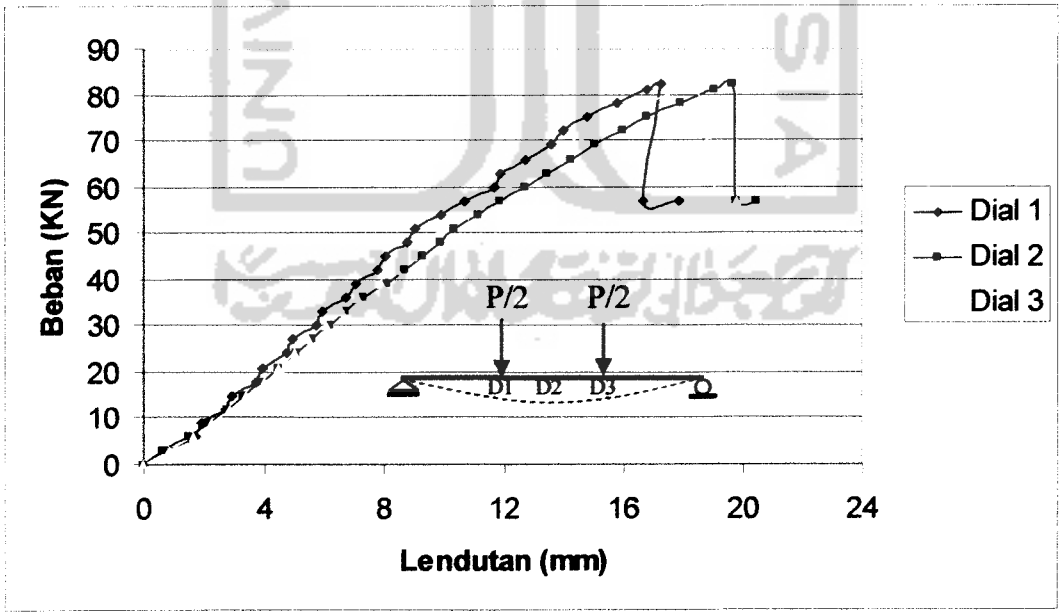
5.3.1 Hubungan Beban-Lendutan Gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta

Pengujian kuat lentur gelagar pelat ini, dilaksanakan dengan memberikan beban yang terletak pada 1/3 bentang, kemudian gelagar pelat diberi beban secara bertahap dengan setiap kenaikan 3 kN. Pada setiap tahap pembebanan lendutan

yang terjadi dilakukan pembacaan dan pencatatan pada tabel. Data hasil pengujian tersebut dapat dibuat grafik hubungan beban lendutan seperti pada gambar 5.1



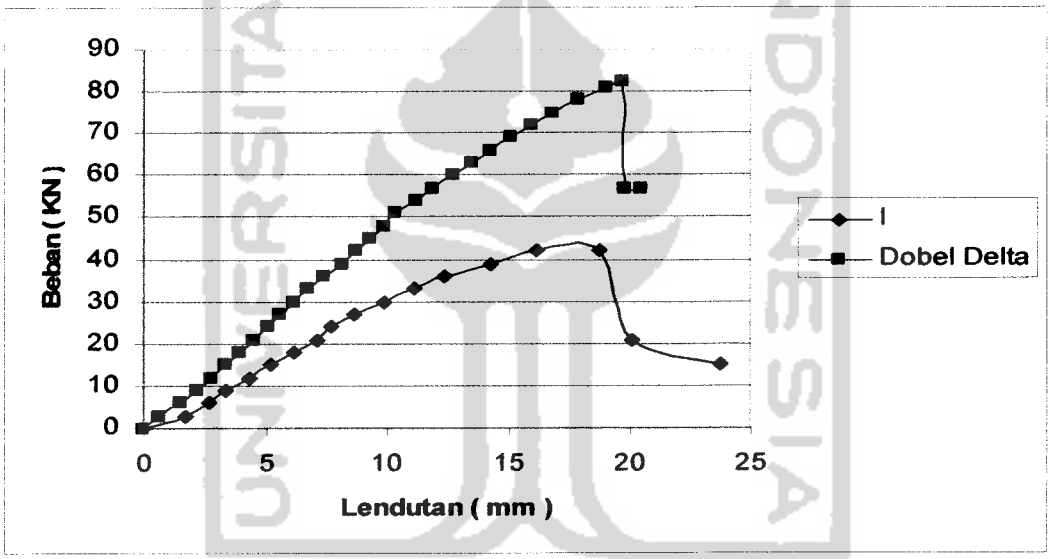
Gambar 5.1 Grafik hubungan beban-lendutan Gelagar Pelat I



Gambar 5.2 Grafik hubungan Beban-lendutan Gelagar Pelat Dobel Delta

Tampak dari Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 bahwa pembacaan dial 2 pada gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta yang terletak ditengah bentang mempunyai lendutan maksimum, sedangkan pada dial 1 dan 3 mengalami perbedaan lendutan karena perletakan dial pembebanan yang kurang tepat pada 1/3 bentang. Setelah beban mencapai maksimum kemudian beban tidak mengalami kenaikan lagi.

Untuk mengetahui lendutan arah vertikal yang terjadi pada gelagar pelat I dan Dobel Delta dapat dilihat pada gambar grafik 5.3 sebagai berikut :



Gambar 5.3 Grafik rasio hubungan beban lendutan ditengah bentang Gelagar I dan Dobel Delta

Dari gambar 5.3 dapat diketahui bahwa lendutan yang terjadi pada gelagar pelat I sebesar 18,82 mm dan mampu manahan beban 42 kN, sedangkan pada gelagar pelat Dobel Delta lendutan yang terjadi sebesar 19,7 mm dan mampu menahan beban 82,5 kN.

Data pembebanan benda uji dapat digunakan untuk memperoleh nilai kekakuan gelagar pelat. Untuk mengetahui nilai kekakuan gelagar pelat I dan Gelagar pelat Dobel delta dapat dicari dengan Persamaan 5.1, yaitu :

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

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

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

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

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

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

Dari hasil perhitungan (Tabel 5.3 dan 5.4) dapat diketahui nilai kekakuan sebesar 2,23 kN/mm pada gelagar pelat I dan nilai kekakuan pada gelagar pelat Dobel Delta sebesar 4,18 kN/mm.

5.3.2 Rasio Nilai Momen Batas (Mcr) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Setelah pengujian terhadap gelagar I dan Dobel Delta didapatkan beban maksimum (P) pada kedua gelagar tersebut yaitu untuk gelagar I = 42 kN, sedangkan untuk gelagar Dobel Delta =18,82 kN. Dari beban tersebut didapatkan momen maksimum dengan persamaan (5.2), yaitu

$$Mmaks = 1/6.P.L \quad (5.2)$$

Dari pengujian Gelagar pelat Penampang I dan Dobel Delta didapatkan nilai momen kritis pada tabel (5.5) sebagai berikut

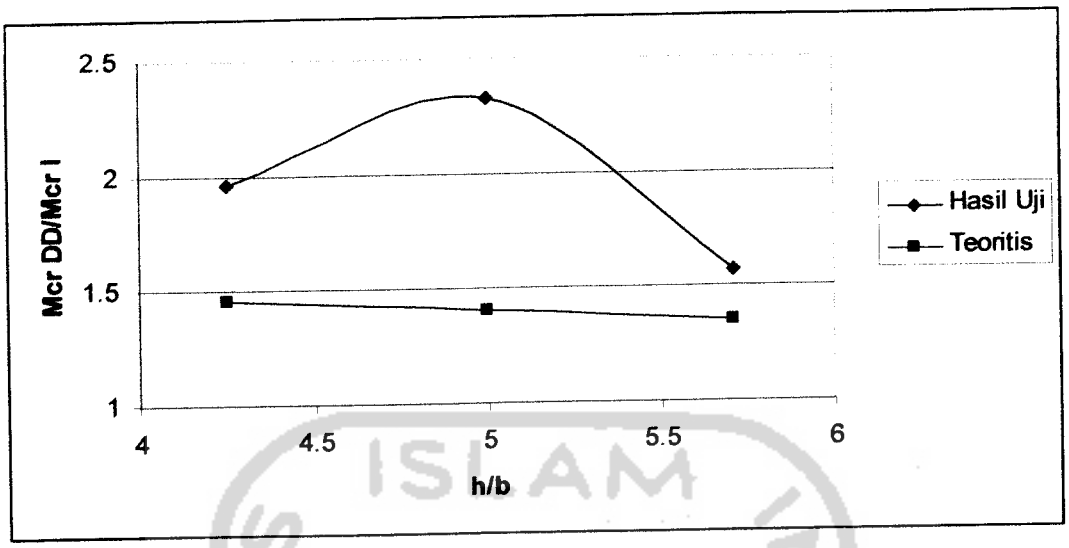
Tabel 5.5 Nilai Momen Kritis (Mcr) Pengujian I dan Dobel Delta

Pengujian	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5,71
I (Nmm)	32550000	27900000	24412500
Dobel Delta(Nmm)	63937500	65100000	38362500
Rasio Mcr $_{DD/I}$	1,96	2,33	1,57

Untuk nilai momen kritis teoritis gelagar pelat I dan gelagar pelat dobel delta dapat dilihat dari tabel 5.6, yaitu

Tabel 5.6 Nilai Momen Kritis (Mcr) Teoritis I dan Dobel Delta

Teoritis	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5,71
I (Nmm)	44262580	40369600	37588900
Dobel Delta(Nmm)	64436342,31	57617841,18	51507244,14
Rasio Mcr $_{DD/I}$	1,45	1,41	1,35



Gambar 5.4 Grafik rasio hubungan Mcr uji versus Mcr teoritis

Nilai momen kritis hasil pengujian (tabel 5.5) dan momen kritis hasil perhitungan secara teoritis (tabel 5.6) dapat diperoleh gambar (5.4) grafik hubungan momen kritis uji dan teoritis terhadap rasio (h/b).

5.3.3 Nilai tegangan kritis (Fcr)

Setelah momen didapatkan dan inersia kedua profil telah diketahui, maka dapat dihitung nilai tegangan kritis (Fcr) dengan persamaan :

$$Fcr = M/Sx \quad (5.3)$$

Dengan nilai Sx sebagai berikut :

Tabel 5.7 Tabel Modulus I dan Dobel Delta

profil	I	Dobel Delta
Sx (mm^3)	165353,49	223395,17

Karena nilai modulus Sx dari kedua profil sudah diketahui, maka dapat diperoleh nilai tegangan kritis (Fcr) gelagar pelat penampang I dan Dobel Delta sebagai berikut :

Tabel 5.8 Nilai Tegangan kritis(Fcr) Hasil uji I dan Dobel Delta

Variasi	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5,71
I (Mpa)	196,8	187,81	178,78
Dobel Delta (Mpa)	230	230	210,05
Rasio Fcr $_{DD/I}$	1,17	1,22	1,17

Nilai tegangan kritis (Fcr) tabel 5.8 dapat diketahui bahwa dengan memodifikasi gelagar pelat I menjadi gelagar pelat Dobel Delta akan meningkatkan tegangan kritis pelat sebesar 1,17 kali. Nilai tegangan kritis gelagar pelat dobel delta hasil pengujian mempunyai nilai lebih besar dari Fy (Fcr>Fy), maka gelagar dobel delta mengalami kondisi plastis.

5.3.4 Nilai koefisien tekuk (k)

Dari hasil pengujian, diperoleh beban maksimum (P) dan tegangan kritis (Fcr) dari gelagar pelat I dan Dobel Delta, sehingga dapat diperoleh nilai koefisien tekuk (k) hasil penelitian dengan Persamaan (5.4) dan (5.5) :

Untuk badan :

$$k = \frac{Fcr.12.(1-0{,}3^2)\left(\frac{h}{t}\right)^2}{\pi^2.E} \qquad (5.4)$$

Untuk sayap :

$$k = \frac{Fcr.12.(1-0{,}3^2)\left(\frac{b}{t}\right)^2}{\pi^2.E} \qquad (5.5)$$

Secara teoritis nilai koefisien tekuk (k) untuk gelagar pelat I diasumsikan sebagai tumpuan sederhana adalah 0,425 pada sayap, sedangkan pada badan adalah 23,9. Untuk gelagar pelat dobel delta adalah 4 pada sayap dan 23,9 pada badan.Untuk mengetahui hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan, dapat dilihat pada tabel 5.9 dan tabel 5.10.

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

Variasi	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5,71
I	0,25	0,175	0,13
Dobel Delta	0,29	0,21	0,15

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

Variasi	h/b=4,25	h/b=5	h/b=5,71
I	41,47	39,54	37,64
Dobel Delta	28,36	31,02	30,11

5.3.5 Nilai Faktor Kelengkungan Pelat I dan Dobel Delta

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai beban-beban sampai mencapai beban maksimum. Dari data-data ini akan didapatkan nilai

kelengkungan dari profil I dan profil Dobel delta. Dengan menggunakan Persamaan 5.6 didapat nilai kelengkungan pelat sebagai berikut :

$$\varphi = \frac{\varepsilon}{h/2} \tag{5.6}$$

Dengan Persamaan (5.6) didapatkan nilai kelengkungan hasil uji pelat I sebagai berikut :

Tabel 5.11 Nilai Kelengkungan Gelagar pelat I

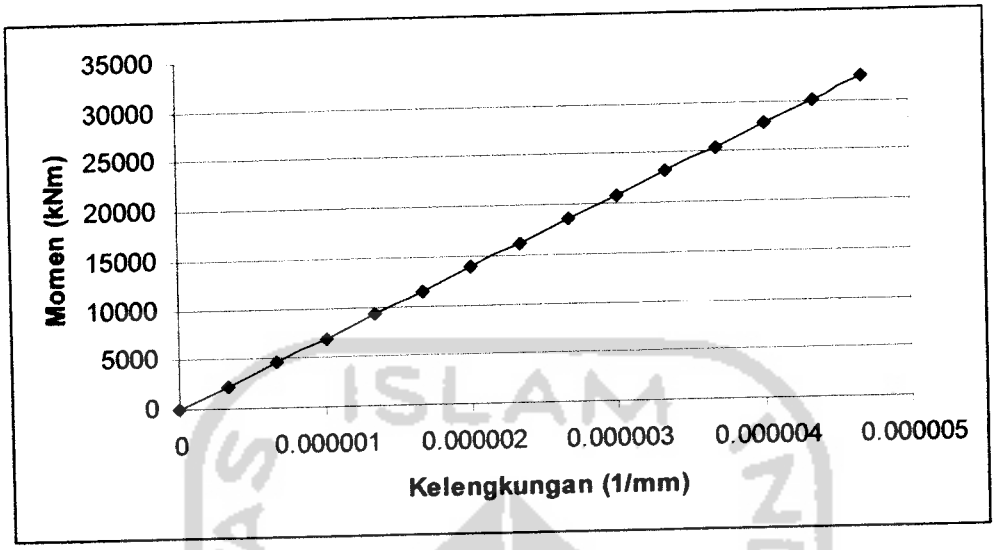
Beban (kN)	Momen (kNmm)	Fcr (Mpa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0
3	2325	14.061	0.00007	0.0000003
6	4650	28.122	0.00013	0.0000007
9	6975	42.182	0.00020	0.0000010
12	9300	56.243	0.00027	0.0000013
15	11625	70.304	0.00033	0.0000017
18	13950	84.365	0.00040	0.0000020
21	16275	98.426	0.00047	0.0000023
24	18600	112.486	0.00054	0.0000027
27	20925	126.547	0.00060	0.0000030
30	23250	140.608	0.00067	0.0000033
33	25575	154.669	0.00074	0.0000037
36	27900	168.729	0.00080	0.0000040
39	30225	182.790	0.00087	0.0000044
42	32550	196.851	0.00094	0.0000047
42	32550	196.851	0.00094	0.0000047

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

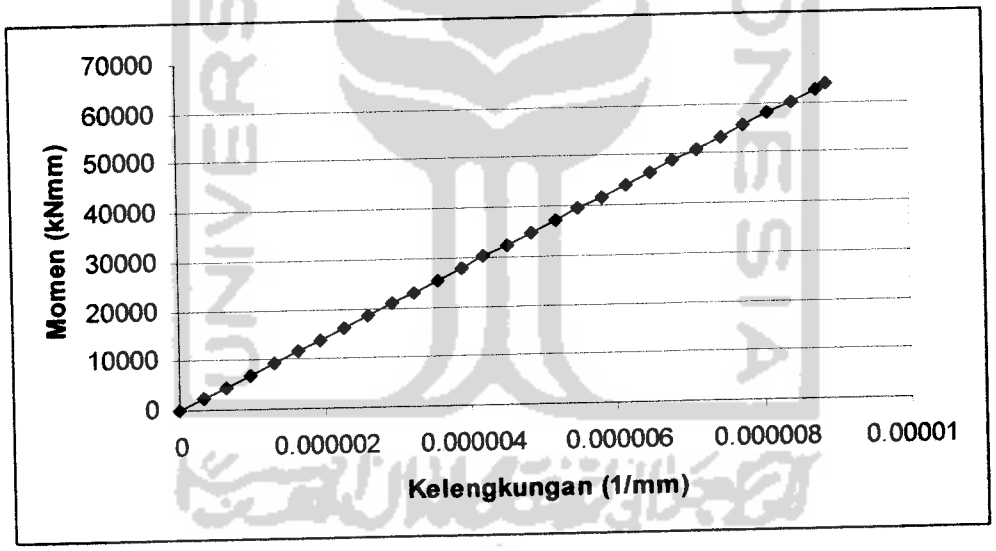
Tabel 5.12 Nilai Kelengkungan Gelagar pelat Dobel Delta

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Fcr (Mpa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0
3	2325	10.408	0.00005	0.0000003
6	4650	20.815	0.00010	0.0000006
9	6975	31.223	0.00015	0.0000010
12	9300	41.630	0.00020	0.0000013
15	11625	52.038	0.00025	0.0000016
18	13950	62.445	0.00030	0.0000019
21	16275	72.853	0.00035	0.0000023
24	18600	83.261	0.00040	0.0000026
27	20925	93.668	0.00045	0.0000029
30	23250	104.076	0.00050	0.0000032
33	25575	114.483	0.00055	0.0000036
36	27900	124.891	0.00059	0.0000039
39	30225	135.298	0.00064	0.0000042
42	32550	145.706	0.00069	0.0000045
45	34875	156.113	0.00074	0.0000049
48	37200	166.521	0.00079	0.0000052
51	39525	176.929	0.00084	0.0000055
54	41850	187.336	0.00089	0.0000058
57	44175	197.744	0.00094	0.0000062
60	46500	208.151	0.00099	0.0000065
63	48825	218.559	0.00104	0.0000068
66	51150	228.966	0.00109	0.0000071
69	53475	239.374	0.00114	0.0000075
72	55800	249.782	0.00119	0.0000078
75	58125	260.189	0.00124	0.0000081
78	60450	270.597	0.00129	0.0000084
81	62775	281.004	0.00134	0.0000087
82.5	63937.5	286.208	0.00136	0.0000089

Dari hasil perhitungan momen kelengkungan (tabel 5.11) dan (tabel 5.12) dapat ditunjukkan pada gambar (5.5) dan gambar (5.6) grafik nilai momen kelengkungan yang terjadi pada gelagar penampang I dan penampang dobel delta. Grafik hubungan momen kelengkungan memiliki perilaku yang tidak jauh berbeda dengan kuat lentur dari grafik hubungan beban lendutan..



Gambar 5.5 Kurva Momen Kelengkungan Gelagar Pelat I



Gambar 5.6 Kurva Momen Kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta

5.3.6 Hubungan Rasio Mn/My terhadap h/tw Gelagar I dan Dobel Delta

Dari hasil pengujian, rasio Mn/My terhadap h/tw gelagar pelat I dan Dobel Delta dapat dilihat pada tabel 5.13.

Tabel 5.13 Nilai Mn/My terhadap h/tw pelat I dan Dobel Delta

Benda Uji	Mn/My		$(Mn/My)_{DD/I}$
	I	Dobel Delta	
h/b=4,25	0,85	1	1,17
h/b=5	0,78	1	1,22
h/b=5,71	0,74	0,87	1,17

Persamaan yang digunakan untuk mencari Mn/My yaitu:

$$\frac{Mn}{My} = \frac{Fcruji}{Fy} \tag{5.7}$$

Dari perhitungan menggunakan Persamaan (5.7) didapatkan nilai rasio Mn/My terhadap h/tw.

5.4. Pembahasan

5.4.1 Pola Kerusakan Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.

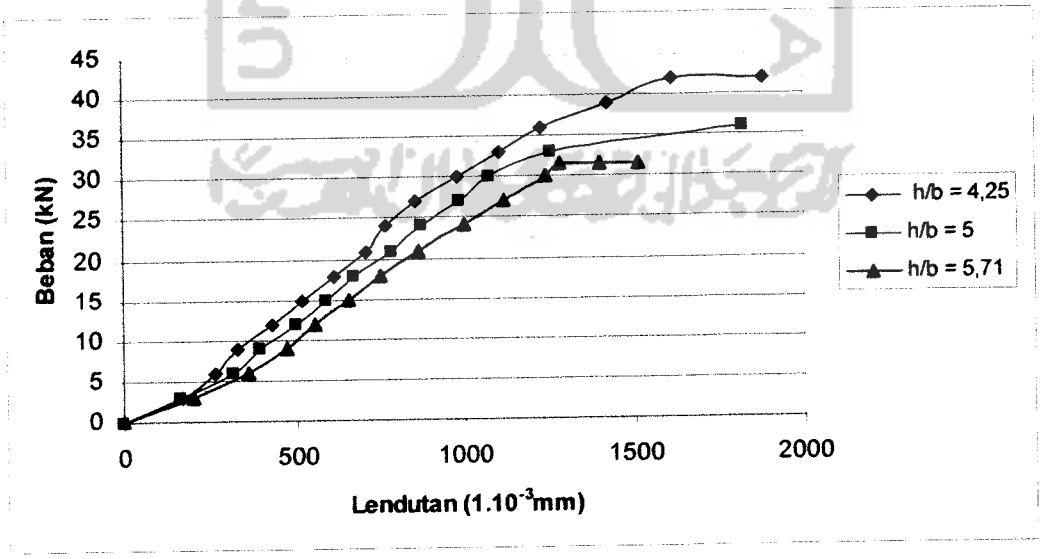
Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa pelat sayap pada gelagar pelat penampang I mengalami tekuk lokal dan sedikit terjadi tekuk puntir. Sedangkan pada Dobel Delta pelat sayap tidak mengalami tekuk lokal, namun pada pelat badan Dobel Delta mengalami sedikit tekuk puntir . Pada gelagar pelat I mengalami kerusakan tekuk puntir karena kurang keseimbangan pada sokongan samping pada sayap dan badan. Pada kondisi lentur pada badan mempunyai koefisien tekuk yang lebih besar daripada sayapnya.

Untuk gelagar pelat Dobel Delta tidak mengalami tekuk lokal karena diperkaku sehingga dapat meningkatkan koefisien tekuk pelat.

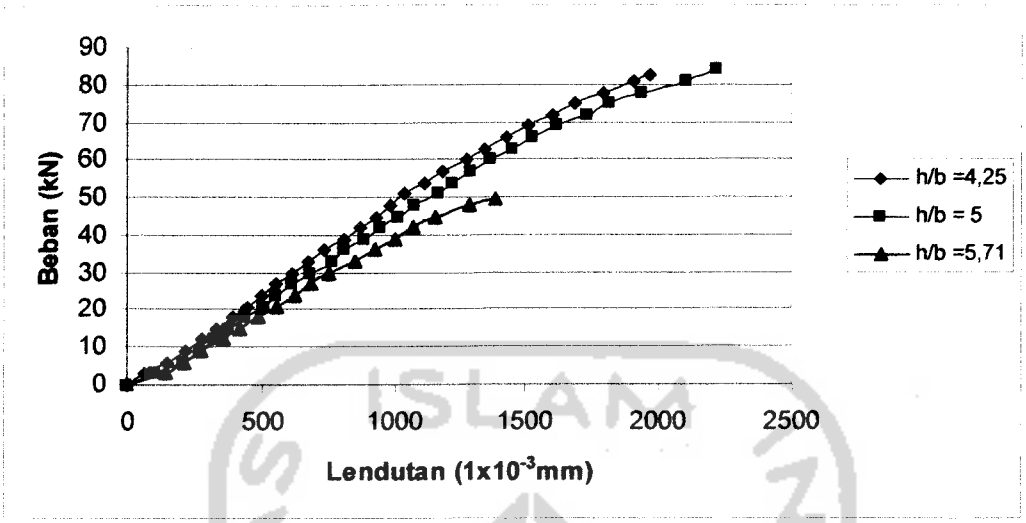
Kerusakan-kerusakan yang terjadi dapat dilihat pada lampiran 8 laporan ini.

5.4.2. Hubungan Beban – Lendutan Pengujian

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diperoleh beban maksimum dan lendutan seperti pada gambar (5.1) dan gambar (5.2), didapatkan beban maksimum untuk kedua gelagar pelat yaitu untuk gelagar pelat I = 42 kN dengan lendutan =18,82 mm dan Ix = 33566758,67 mm^4, sedangkan untuk gelagar pelat Dobel Delta = 82,5 kN dengan lendutan = 19,70 mm dan Ix = 45349220 mm^4. Dari hasil penelitian dengan bentuk profil I dan dobel delta dengan (h/b=5) dan penelitian (h/b=5,71) didapatkan P maksimum dan lendutan yang dapat dilihat pada gambar 5.7 dan gambar 5.8.



Gambar 5.7 Grafik hubungan beban lendutan ditengah bentang Gelagar I



Gambar 5.8 Grafik hubungan beban lendutan ditengah bentang Gelagar Pelat Dobel Delta

Hasil uji pada gelagar pelat didapatkan rasio kekuatan gelagar pelat untuk menahan lendutan untuk gelagar pelat I : gelagar pelat dobel delta = **1 : 1,96** atau meningkat sebesar 96% terhadap gelagar pelat I. Selain meningkatkan kekuatan, dengan memodifikasi gelagar pelat I menjadi gelagar pelat dobel delta juga akan meningkatkan nilai kekakuan sebesar **1 : 1,87.**

Dari Gambar (5.7) dan gambar (5.8) dapat diketahui peningkatan nilai kekuatan dan kekakuan Gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel delta dengan variasi h/b dengan tinggi dan tebal yang sama maka didapatkan nilai kekuatan dan kekakuan yang semakin besar pada gelagar pelat dobel delta terhadap pelat I.

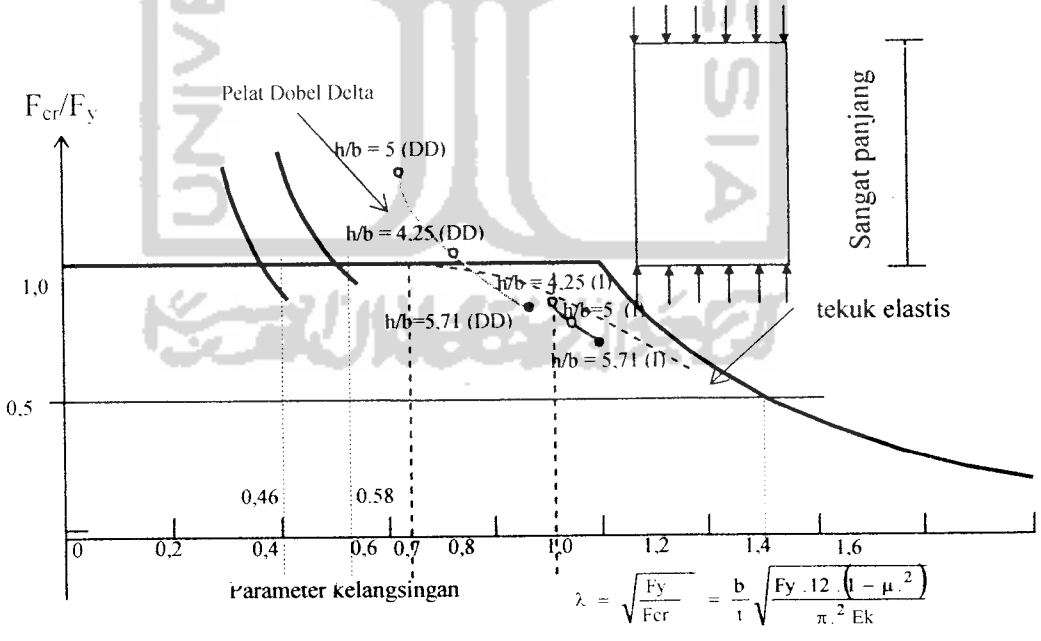
5.4.3 Rasio Nilai Momen Batas (Mcr) Gelagar Penampang I dan Dobel Delta.

Dari gambar 5.4 dapat diperoleh informasi bahwa Momen kritis pada gelagar dobel delta lebih besar dibandingkan gelagar pelat I dengan rasio gelagar

pelat I : dobel delta (h/b=4,25) = **1 : 1,96**. Sehingga rasio perbandingan beban maksimum berbanding lurus dengan momen kritisnya. Rasio momen kritis pengujian mengalami kenaikan terhadap rasio momen kritis teoritis.

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan variasi h/b dapat diketahui bahwa semakin besar lebar sayap akan meningkatkan nilai momen kritis . Hal ini dapat dilihat pada gambar 5.4. Sehingga, dapat dinyatakan bahwa semakin lebar pelat sayap akan meningkatkan tegangan kritis dan akan meningkatkan momen kritis pada pelat . Hal ini terbukti bahwa nilai uji dilaboratorium lebih besar daripada nilai uji secara teoritis seperti pada gambar 5.4.

Untuk dapat membuktikan kebenaran penelitian yang telah dilakukan dapat dijelaskan pada gambar grafik oleh Ostapenko yang menunjukkan parameter kelangsingan terhadap rasio tegangan kritis pelat.



Gambar 5.9 Kurva Parameter Kelangsingan Panjang

Dari gambar 5.9 dapat diketahui bahwa semakin besar tegangan kritisnya, maka nilai kelangsingannya semakin kecil.

5.4.4. Rasio Nilai Tegangan Kritis (Fcr) Gelagar Pelat I dan Dobel Delta

Berdasarkan tabel 5.6 diperoleh nilai tegangan kritis (Fcr) untuk gelagar pelat penampang I = 196,8 Mpa dan tegangan kritis Dobel delta = 230 Mpa. Maka rasio tegangan kritis gelagar pelat I dengan pengaku : gelagar pelat dobel delta dengan pengaku = **1 : 1,17**. Dengan penambahan penopang pada sayap atas dan sayap bawah maka akan meningkatkan nilai tegangan kritis (Fcr).

5.4.5. Rasio Nilai Koefisien tekuk (k) gelagar pelat I dan Dobel Delta.

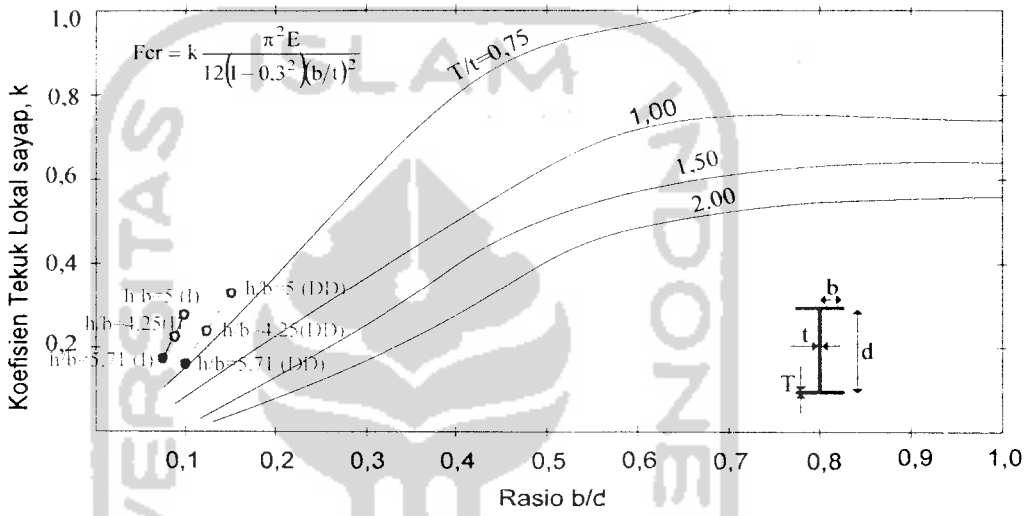
Dengan mengamati tabel 5.9 dan 5.10 dapat dilihat nilai koefisien tekuk (k) gelagar pelat I yang terjadi pada sayap lebih kecil dibandingkan nilai koefisien tekuk (k) gelagar pelat dobel delta. Hal ini dapat diketahui dari nilai faktor tekuk pada sayap gelagar I sebesar 0,25 sedangkan untuk sayap dobel delta sebesar 0,29. Untuk nilai koefisien tekuk pada badan gelagar pelat I didapatkan nilai 41,47 dan gelagar pelat dobel delta 28,36 .

Berdasarkan nilai uraian diatas dapat dilihat bahwa nilai koefisien tekuk (k) pada sayap meningkat karena nilai tegangan kritis (Fcr) dobel delta lebih besar daripada nilai tegangan kritis (Fcr) I.

Pada penelitian dengan variasi lebar yang lebih kecil akan didapatkan nilai koefisien tekuk pada pelat sayap dan pelat badan akan semakin menurun. Hal ini

menunjukkan bahwa semakin lebar pelat sayap akan meningkatkan koefisien tekuk pelat sayap maupun pelat badan.

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



.**Gambar 5.10** Koefisien tekuk lokal pada batang lentur

Dari Gambar 5.10 menunjukkan bahwa nilai koefisien tekuk gelagar pelat dobel delta mengalami peningkatan terhadap gelagar pelat I, sehingga nilai tegangan kritisnya akan meningkat.

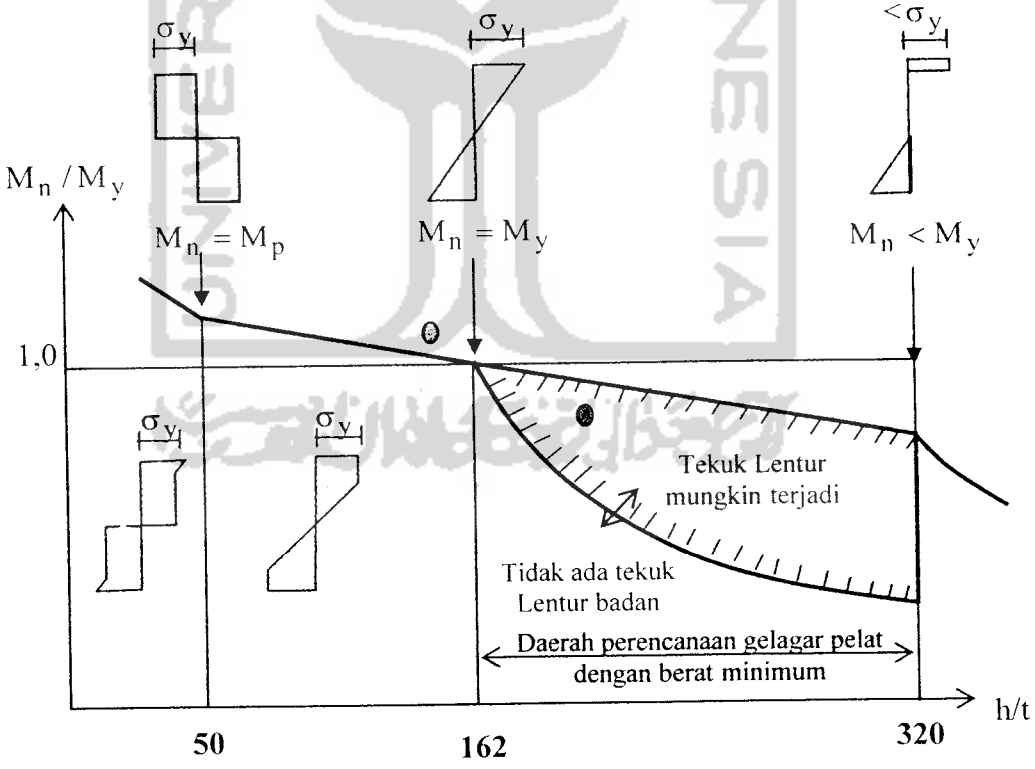
Berdasarkan pada Bab III landasan teori pada gambar 3.7 , nilai koefisien tekuk pelat badan gelagar pelat I dan gelagar pelat dobel delta hasil pengujian mempunyai kebenaran terhadap asumsi nilai koefisien tekuk teoritis sebesar 23,9.

5.4.6 Hubungan Rasio Mn/My terhadap h/tw Gelagar I dan Dobel Delta

Dengan mengamati tabel 5.13 dapat dilihat bahwa nilai Mn/My pada gelagar pelat dobel delta lebih besar dibandingkan gelagar pelat I, hal ini disebabkan karena tegangan kritis pada gelagar pelat dobel delta lebih besar daripada gelagar pelat I.

Dari tabel 5.11 dapat diperoleh bahwa rasio Mn/My dari gelagar pelat dobel delta dan gelagar I yang terjadi pada hasil pengujian yaitu Mn/My dobeldelta = 1,17 Mn/My gelagar pelat I.

Dari penelitian dengan variasi lebar yang lebih kecil didapatkan bahwa nilai rasio momen batas terhadap momen leleh akan semakin kecil. Hal ini ditunjukkan pada tabel 5.11 pada laporan ini.



Gambar 5.11 Hubungan Momen Batas Terhadap Momen Leleh Versus Kelangsingan

Gambar (5.11) menunjukkan bahwa pada pelat I memiliki nilai kelangsingan yang tinggi daripada gelagar pelat dobel delta, sehingga pada gelagar pelat I tekuk lentur mungkin dapat terjadi. Pada gelagar pelat I memiliki nilai Mn/My < 1 merupakan kondisi elastis. Sedangkan gelagar pelat dobel delta memiliki nilai Mn/My > 1 sehingga mengalami kondisi plastis. Dengan penambahan pengaku pada gelagar pelat I, dapat meningkatkan tegangan kritis hingga mencapai tegangan leleh.

5.4.7 Perbandingan Tekuk Lokal Terhadap Nilai Momen Puntir Lateral Terhadap Kerusakan Pelat.

Berdasarkan perhitungan teoritis tabel 5.14 dan 5.15 didapatkan momen batas gelagar pelat I dan gelagar pelat dobel delta sebagai berikut :

Tabel 5.14 Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Lateral Gelagar Pelat I

Variasi	Mcr Tekuk Puntir Lateral (Nmm)	Mcr Tekuk Lokal (Nmm)
h/b = 4,25	51505954,11	44262580

Tabel 5.15 Momen Batas Terhadap Tekuk Lokal Versus Tekuk Lateral Gelagar Pelat Dobel Delta

Variasi	Mcr Tekuk Puntir Lateral (Nmm)	Mcr Tekuk Lokal (Nmm)
h/b = 4,25	71263207,61	64436342,31

Dari Tabel 5.14 dan 5.15 menunjukkan bahwa gelagar pelat I dan gelagar pelat Dobel Delta cenderung mengalami tekuk lokal pada pelat sayap, hal ini ditunjukkan dengan nilai momen kritis berdasarkan tekuk lokal lebih kecil dari momen kritis berdasarkan tekuk puntir lateral. Hasil pengujian menunjukkan bahwa gelagar pelat I dan Dobel Delta mengalami tekuk lokal pada pelat sayapnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan :

1) Kapasitas lentur gelagar pelat dobel delta mengalami peningkatan kekuatan terhadap gelagar pelat I, dengan rasio gelagar pelat I : gelagar pelat dobel delta = **1: 1,96**.
2) Penambahan pelat penopang pada pelat sayap dan pelat badan akan meningkatkan nilai tegangan kritis (Fcr) gelagar pelat I : gelagar pelat dobel delta = **1: 1,17**.
3) Rasio kekakuan gelagar pelat I : gelagar pelat dobel delta = **1:1,87**, sehingga dengan memodifikasi gelagar pelat I menjadi dobel delta mengalami peningkatan kekakuan sebesar 87 % terhadap gelagar pelat I.
4) Hubungan momen - kelengkungan pada gelagar pelat I dan gelagar pelat dobel delta dapat dinyatakan bahwa semakin kecil tinggi pelat badan, maka nilai kelengkungannya akan semakin kecil.
5) Untuk rasio Mn/My pada gelagar pelat I : gelagar pelat dobel delta = **1: 1,17** atau meningkat sebesar 17 % terhadap gelagar pelat I.

6.2. Saran

Untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang gelagar pelat penampang I dan dobel delta perlu pertimbangan hal-hal sebagai berikut :

1) Pada pengujian perlu dilakukan variasi sampel, benda uji gelagar pelat dobel delta dapat divariasi bentuk sudut pada sayap atas dan bawah.
2) Pemasangan pengaku/bracing pada saat penelitian di Laboratorium harus diperhatikan agar pelat tidak mengalami puntir dan diharapkan dapat meningkatkan keamanan pada saat pengujian.
3) Memberikan penambahan dial saat pengujian pada badan gelagar pelat agar mendapatkan data lendutan lateral yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1990, **STRUKTUR BAJA** Jilid 1 Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1991, **STRUKTUR BAJA** Jilid 2 Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

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

Joseph E.Bowles, Pantur Silaban, 1985, **DISAIN BAJA KONSTRUKSI**, Erlangga, Jakarta.

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

Gere dan Timoshenko, Hans J. Wosparik, 1987, **MEKANIKA BAHAN** Edisi kedua versi S1 Jilid 1, Erlangga, Jakarta.

E.P. Popov, Zainur Astamar, 1984, **MEKANIKA TEKNIK** Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

Leonard Spiegel, George F. Limburner, 1991, **DESAIN BAJA STRUKTURAL TERAPAN**, PT ERESCO, Bandung.

Nanang Lubis, Anang Arifin,2005, **PERILAKU LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG ∇ DAN ∇- SHAPED FLANGE TERHADAP PEMBEBANAN STATIK**, Jogjakarta.

Dedi Herianto, Ramdan Arafat, 2006, **PERILAKU LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG ∇ (∇ SHAPED) DAN ∇ GANDA (BOTH ∇ SHAPED) TANPA PENGAKU PADA PEMBEBANAN STATIK**, Jogjakarta.

LAMPIRAN 1

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 : : 14 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ III /2006 Jogjakarta, 28-Mar-06
Lamp. : -
H a l : BIMBINGAN TUGAS AKHIR
Periode Ke : III (Mar 06 - Agst 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	:	Widhid Analiswati
	No. Mhs.	:	02 511 147
	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 4

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

An Dekan
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir.H. Munadhir,MS

Tembusan
1) Dosen Pembimbing ybs
2) Mahasiswa ybs
3) Arsip. 28-Mar-06
4) Sampai Akhir Agustus 2006

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JL.KALIURANG KM.14,4 TELP.895042
EMAIL : FTSP.UII.AC.ID JOGJAKARTA KODE POS 55584

FM-UII-AA-FPU-09

UNTUK MAHASISWA

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Widhid Analiswati	02 511 147	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR

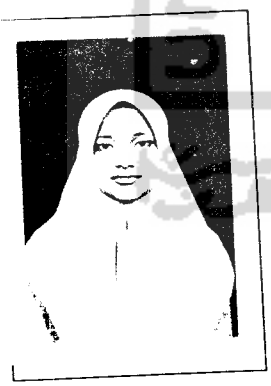
Rasio Momen Batas Gelagar Plat Penampang Dobel Delta terhadap Penampang I Dengan Rasio Tinggi Terhadap Lebar 4

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

No.	Kegiatan	Bulan Ke : MAR.	APR.	MEI.	JUN.	JUL.	AGT.
1	Pendaftaran						
2	Penentuan Dosen Pembimbing						
3	Pembuatan Proposal						
4	Seminar Proposal						
5	Konsultasi Penyusunan TA.						
6	Sidang - Sidang						
7	Pendadaran						

Dosen Pembimbing I : Fathkurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Fathkurrohman N,Ir,MT



Jogjakarta , 28-Mar-06

a.n. Dekan

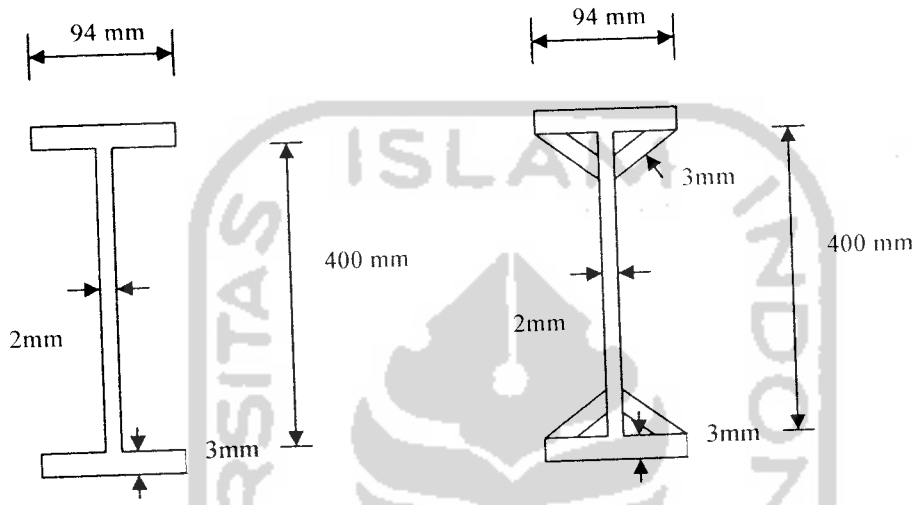
Ir.H.Munadhir, MS

Catatan	:	
Seminar	:	
Sidang	:	
Pendadaran	:	

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN BENDA UJI

1. Perhitungan Luas dan Titik Berat Gelagar Pelat I dan Gelagar Pelat Dobel Delta.



` Diketahui :

h = 400 mm

b = 94 mm

tw = 2 mm

tf = 3 mm

d = 406 mm

Karena nilai h mendekati nilai d, maka d ≈ h digunakan sebagai pendekatan dalam perhitungan.

⊥ **Gelagar Pelat I.**

Pelat Sayap

A_1 = 2 x (94 x 3) = 564 mm^2

A_2 = 400 x 2 = 800 mm^2

A_{total} = 1364 mm^2

⊥ **Gelagar Dobel Delta.**

A_1 = 2 x (94 x 3) = 504 mm^2

A_2 = 400 x 2 = 800 mm^2.

A_3 = 4 x (2 x $\sqrt{47^2 + 47^2}$) = 531,7443 mm^2.

A_{total} = 1895,7443 mm^2.

Titik Berat Penampang I ≈ Penampang Dobel Delta.

X1 = 47 mm.

Y1 = 200 mm

2. Perhitungan Inersia Sumbu Kuat dan Lemah Gelagar Pelat I dan Dobel Delta.

⊥ **Gelagar pelat I**

Momen Inersia Sumbu Kuat

$$Ix = \frac{1}{12}t_w(d)^3 + \frac{1}{6}bt_f^{\ 3} + \frac{1}{2}(bt_f)x(d^2 + tf^2)$$

$$Ix = \frac{1}{12}2(400)^3 + \frac{1}{6}.94.3^3 + 2(94.3)x(\frac{400}{2} + \frac{3}{2})^2$$

$$Ix = 33566758.67\ mm^4$$

Momen Inersia Sumbu Lemah

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

$$Iy = \frac{1}{12}(400)2^3 + \frac{1}{6}3.94^3$$

$$Iy = 415558{,}6667\ mm^4$$

- **Gelagar Pelat Dobel Delta.**

Momen Inersia Sumbu Kuat

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

$$Ix = 33566758{,}67 + \frac{1}{24}(2).94^3 + 2(2)(94)\left(\frac{400}{2} - \frac{94}{4}\right)^2$$

$$Ix = 45349220 \text{ mm}^4.$$

Momen Inersia Sumbu Lemah

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

$$Iy = 415558{,}6667 + \frac{1}{6}(2)94^3$$

$$Iy = 692420 \text{ mm}^4.$$

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

- **Gelagar I.**

Diketahui :

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

$\mu = 0.3$

a) Tegangan kritis elastis pelat sayap.

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

$$\sigma_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{2t_f}\right)^2} = \frac{0.425\pi^2 2{,}1x10^5}{12(1-0{,}3^2)\left(\frac{94}{2x3}\right)^2}$$

$= 328$ Mpa > 230 Mpa

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

b) Tegangan kritis pelat badan.

K = 23,9 (tumpuan dimisalkan sendi dan sendi)

$$\sigma_{cr} = \frac{\left(\left(\frac{h}{2}\right)-t_f\right)}{\left(\frac{h}{2}\right)} x\sigma_{crf} = \frac{\left(\left(\frac{400}{2}\right)-3\right)}{\left(\frac{400}{2}\right)} x230$$

$\therefore$

= 226,55 Mpa < 230 Mpa

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

Momen batas berdasarkan tekuk local penampang I adalah

$$M_{crl.} = bt_f(\sigma_{crf})(d-tf)+\frac{1}{4}t_w(h)^2\sigma_{crw}$$

$$M_{crl.} = 94.3(230)(406-3)+\frac{1}{4}2(400)^2 226,55$$

M_{crl} = 44262580 Nmm.

- **Gelagar Dobel Delta.**

E = $2,1x10^5$ N/mm^2.

μ = 0,3

c) Momen batas tekuk local pelat sayap.

k = 4

$$\sigma_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{2t_f}\right)^2} = \frac{4\pi^2 2,1x10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{94}{2x3}\right)^2}$$

σ_{crl} = 3095,656 Mpa > 230 Mpa

$\sigma_{crl\ pakai}$ = 230 Mpa.

$M_{crl} = tfxbx(d-tf)x\sigma_{crl}$ = 3 x 94 x (406-3) x 230

M_{crl} = 26138580 Nmm

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

)	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
		- Hasil² menulis persamaan . - Semua gambar diberi nomor dan disebut dlm uraian - Semua persamaan diberi nomor dan disebut dlm uraian - hasil² memberi nomor ? Kerja hasil-hasil . - Tujuan diimplementasikan untuk hasil & kesimpulan Siapkan sidang hasil Pendadaran 19/8 - 2006	17/8-2006 21/8-2006

d) Tegangan kritis elastis pelat penopang.

k = 4

$$\sigma_{cr2} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{t_w}\right)^2} = \frac{4\pi^2 2{,}1x10^5}{12(1-0{,}3^2)\left(\frac{\left(\sqrt{\left(\frac{94}{2}\right)^2+\left(\frac{94}{2}\right)^2}\right)}{2}\right)^2}$$

σ_{cr2} = 687,923 Mpa > 230 Mpa

$\sigma_{cr2pakai}$ = 230 Mpa.

$$M_{cr2} = 2\left(\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2+\left(\frac{b}{2}\right)^2}\right).(t_w)\left(d-b/2\right)\sigma_{cr2}$$

$$= 2\left(\sqrt{\left(\frac{94}{2}\right)^2+\left(\frac{94}{2}\right)^2}\right).(2)\left(400-94/2\right)230$$

M_{cr2} = 21586159,84 Nmm

e) Tegangan kritis pelat badan 1.

k = 23,9

$$h_1 = \frac{b}{2} = \frac{94}{2} = 47 \text{ mm}$$

$$\sigma_{cr2} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h_1}{t_w}\right)^2} = \frac{23.9x\pi^2 2{,}1x10^5}{12(1-0{,}3^2)\left(\frac{47}{2}\right)^2}$$

σ_{cr3} = 8214 Mpa > 230 Mpa.

σ_{cr3} = 230 Mpa

$$M_{cr3} = (\frac{b}{2}t_w)\sigma_{cr3}(h_1) = (\frac{94}{2}.2).230.(400-47)$$

M_{cr3} = 7631860 Nmm

f) Tegangan kritis pelat badan 2.

k = 23,9

h_1 = h-($\frac{b}{2}$x2) = 400-$\left(\left(\frac{94}{2}\right)x2\right)$ = 306 mm

σ_{cr4} = $\frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h_1}{t_w}\right)^2}$ = $\frac{23{,}9.\pi^2\, 2{,}1x10^5}{12(1-0{,}3^2)\left(\frac{306}{2}\right)^2}$

σ_{cr4} = 193,937 Mpa

$\sigma_{cr4pakai}$ = 193,937 Mpa < 230

M_{cr4} = $\frac{1}{4}t_w(h_2)^2\sigma_{cr4}$ = $\frac{1}{4}2(306)^2.193{,}937$

M_{cr4} = 9079742,4 Nmm.

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

$M_{crtotal}$ = 26138580+ 21586159,84+7631860 +9079742,4

$M_{crtotal}$ = 64436342,31 Nmm

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

Diketahui :

E = 2,1x10^5 N/mm^2

μ = 0,3

Lb = 1550 mm

G = $\frac{E}{2(1+\mu)}$ = $\frac{2{,}1x10^5}{2(1+0{,}3)}$ = 8,08 x 10^4 N/mm^2

- **Gelagar I.**

Iy = 415558,6667mm^4.

Cw = $\frac{1}{12}t_f(b^3)\left(\frac{h^2}{4}\right)$ = $\frac{1}{12}3(94^3)\left(\frac{400^2}{4}\right)$

Cw = 8305840000 mm^3

J $= \frac{1}{3}d(t_w)^3 + \frac{2}{3}b(t_f)^3 = \frac{1}{3}400(2)^3 + \frac{2}{3}.94.(3)^3$

J = 2758,667 mm^4.

Mcr puntir $= \frac{\pi}{Lb}\sqrt{\left(\frac{\pi E}{Lb}\right)^2 C_w I_y + EI_y GJ}$

Mcr puntir $= \frac{\pi}{1550}\sqrt{\left(\frac{\pi 2.1x10^5}{1550}\right)^2 8305840000.415558.6667 + 2.1x10^5 x415558.6667x8.08x10^4 x2758.667}$

Mcr puntir = 51505954,11 Nmm

- **Gelagar Dobel Delta.**

Iy = 692420 mm^4.

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

Cw $= \frac{1}{12}3(94^3)\left(\frac{400^2}{4}\right) + \frac{1}{6}.2.\left(\frac{94}{2}\right)^3\left(\frac{400}{2} - \frac{94}{4}\right)^2$

Cw = 9383946684 mm^3.

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

J $= \frac{1}{3}400(2)^3 + \frac{2}{3}94(3)^3 + 4\ (0,7 \text{ x } 94)(2)^3$

J = 4864,267 mm^4.

Mcr puntir $= \frac{\pi}{Lb}\sqrt{\left(\frac{\pi E}{Lb}\right)^2 C_w I_y + EI_y GJ}$

Mcr puntir $= \frac{\pi}{1550}\sqrt{\left(\frac{\pi 2.1x10^5}{1550}\right)^2 9383946684x692420 + 2.1x10^5 x692420x8.08x10^4 x4864.267}$

Mcr puntir = 71263207,61 Nmm

5. Perhitungan beban Maksimum Teoritis Berdasarkan Lentur

- **Gelagar Pelat I**

P Maksimum Sayap $= \frac{6.\sigma_{cr}.Ix}{L.y}$

$= \frac{6.230.33566758,67}{4650.203}$

= 49073 N = 49,073 kN

P Maksimum Badan $= \frac{6.\sigma_{cr}.Ix}{L.y}$

$= \frac{6.226,55.33566758,67}{4650.200}$

= 49062 N = 49,062 kN

P Maksimum terpakai benda uji = 49,062 kN

- **Gelagar Pelat Dobel Delta**

P Maksimum Sayap $= \frac{6.\sigma_{cr}.Ix}{L.y}$

$= \frac{6.230.45349220}{4650.203}$

= 66298 N = 66,298 KN

P Maksimum Badan $= \frac{6.\sigma_{cr}.Ix}{L.y}$

$= \frac{6.193,937.45349220}{4650.153}$

= 74171 N = 74,171 kN

P Maksimum terpakai benda uji = 66,298 kN

6. Perhitungan Beban Teoritis Berdasarkan Tegangan Geser

⊥ Gelagar Pelat I

Vcr = A_w x σ_{cr}

A_w = h x t_w = 400 x 2 = 800 mm^2.

Bila dipakai a = 775 mm

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

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

$$k = 6{,}405$$

$$\sigma_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{6{,}405\pi^2 2{,}1x10^5}{12(1-0{,}3^2)\left(\frac{400}{2}\right)^2}$$

σ_{cr} = 30,39 Mpa

Jadi diperoleh gaya geser teoritis :

Vcr = A_w x σ_{cr} = 800 x 30,39

Vcr = 24312 N ≈ 24,312 kN

Vcr = 0,5 P

P = Vcr x 2 = 24,312 x 2 = 48,624 kN

⊥ Gelagar Pelat Dobel Delta

Vcr = A_w x σ_{cr}

A_{w1} = h_1 x t_w = 306 x 2 = 612 mm^2

A_{w2} = h_2 x t_w = 47 x 2 = 94 mm^2

Pada badan dengan h = 306 mm

Bila dipakai a = 775 mm

Untuk a/h = 775 / 306 = 2,53 > 1 maka :

$$k = 5{,}34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5{,}34 + \frac{4}{(2{,}53)^2}$$

$k = 5,96$

$$\sigma_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{5,96\pi^2 2,1x10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{306}{2}\right)^2}$$

$\sigma_{cr} = 48,32$ Mpa

Pada badan dengan h = 47 mm

Untuk a/h = 775 / 47 = 16,48 > 1 maka;

$$k = 5,34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5,34 + \frac{4}{(16,48)^2}$$

$k = 5,35$

$$\sigma_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{5,35\pi^2 2,1x10^5}{12(1-0,3^2)\left(\frac{47}{2}\right)^2}$$

$\sigma_{cr} = 1838,71$ Mpa > 230

$\sigma_{crpakai} = 230$ Mpa

Jadi gaya geser teoritis :

$Vcr_1 = A_w \times \sigma_{cr} = 612 \times 48,32$

$Vcr_1 = 29,57$ kN

$Vcr_2 = A_w \times \sigma_{cr} = 94 \times 230$

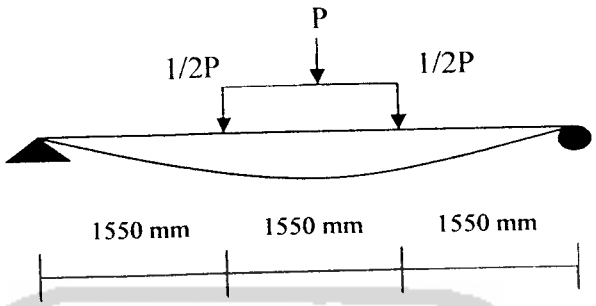
$Vcr_2 = 21,62$ kN

$Vcr_{total} = Vcr_1 + Vcr_2 = 29,57 + 21,62 = 51,19$

$Vcr = 0,5\ P$

$P = Vcr \times 2 = 51,19 \times 2 = 102,38$ kN

7. Perhitungan Lendutan Teoritis



- **Gelagar Pelat I**

P = 49,062 kN

E = $2x10^5$ MPa

I = 33566758,67 mm^4

$EI = 2x10^5 x33566758,67 = 6,71x10^{12}$ N/mm^2

L = 4650 mm

$$\Delta = \frac{23PL^3}{1296EI} = \frac{23x49062x4650^3}{1296x6,71x10^{12}} = 13,05mm$$

- **Gelagar Pelat Dobel Delta**

P = 66.298 kN

E = $2x10^5$ MPa

I = 45349220 mm^4

$EI = 2x10^5 x45349220 = 9,07x10^{12}$ N/mm^2

L = 4650 mm

$$\Delta = \frac{23PL^3}{1296EI} = \frac{23x66298x4650^3}{1296x9,07x10^{12}} = 13,04 \text{ mm}$$

8. Perhitungan Hubungan Momen – Kelengkungan Secara Teoritis

- **Gelagar Pelat I**

$M = F_{cr} x S_x$

Fcr = 226,55 MPa < 230 Mpa

Sx = 165353,49 mm^3.

$M = 226,55 x 165353,49 = 37460833$ kNmm

Nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{226,55}{2x10^5} = 1,13x10^{-3}$$

Nilai Kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{1,13x10^{-3}}{400/2} = 5,66 \text{ x}10^{-6} \text{ 1/mm}$$

- **Gelagar Pelat Dobel Delta**

$M = F_{cr} x S_x$

Fcr = 193,937 MPa < 230 Mpa

Sx = 223395,17 mm^3

$M = 193,937 x 223395,17 = 43324,589$ kNmm

Nilai regangan $\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{193,937}{2x10^5} = 9,69x10^{-4}$

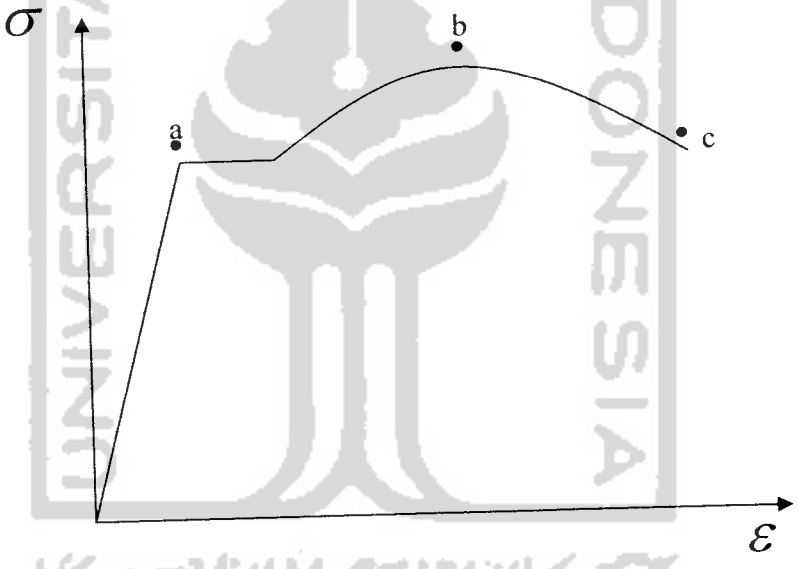
Nilai Kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{9,69x10^{-4}}{306/2} = 6,33x10^{-6} \text{ 1/mm}$$

LAMPIRAN 3

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap kekuatan kuat tarik pelat baja kekuatan dengan tebal 2 mm dan 3 mm. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia Jogjakarta. Grafik yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan kuat tarik baja sebagai berikut:



Keterangan:

a = Beban mencapai titik leleh

b = Beban maksimum

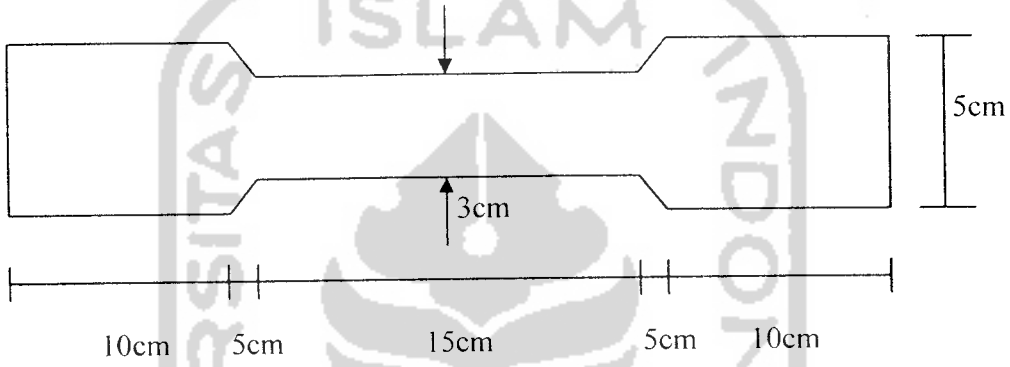
c = Beban patah akibat kuat tarik

Persamaan yang mendukung teori tersebut adalah:

$$Fy = \frac{Bebanluluh}{A}$$

$$Fu = \frac{Bebanmaksimum}{A}$$

a. **Pelat Baja 2mm**



Diketahui

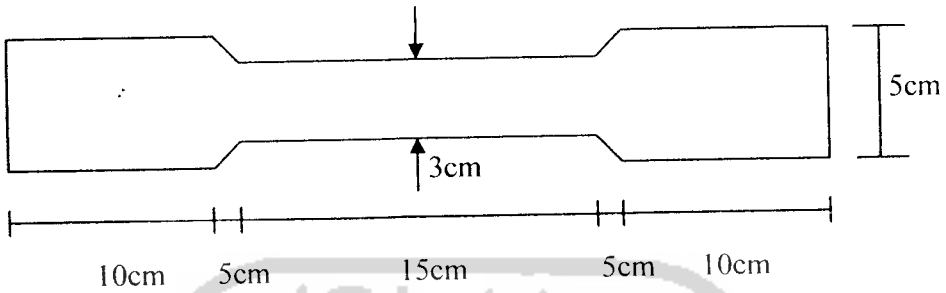
t = 0,2 cm

A = 3cm x 0,2 cm = 0,6 cm^2

Tabel hasil uji tarik baja

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

b. **Pelat Baja 3mm**



Gambar benda uji tarik

Diketahui

t = 0,3 cm

A = 3cm x 0,3 cm = 0,9 cm^2

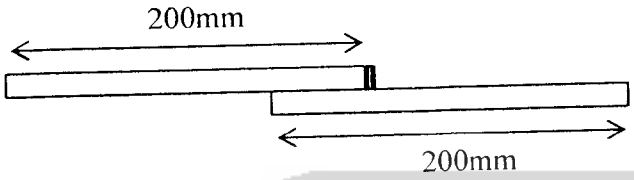
Tabel hasil uji tarik baja

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

c. Uji Tarik Las

Diketahui:

Lebar las=3cm=30mm



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

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

Tabel hasil uji las

P maks (N)	Fy (N/mm^2 atau Mpa)
21000	614

LAMPIRAN 4

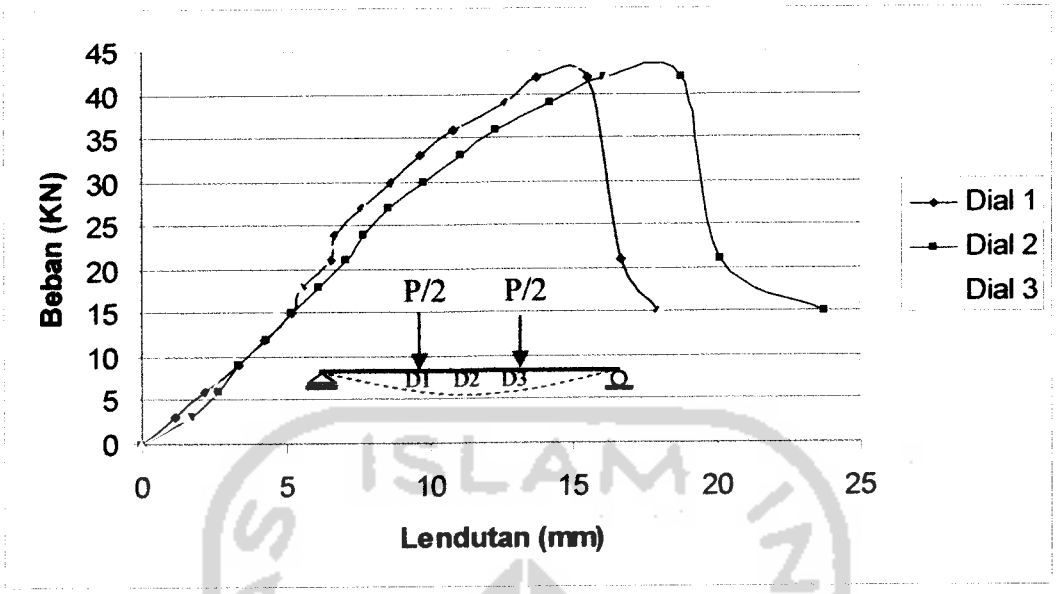
Hasil Pembebanan Benda Uji

1. Hasil Pengujian Beban -Lendutan Gelagar Pelat I

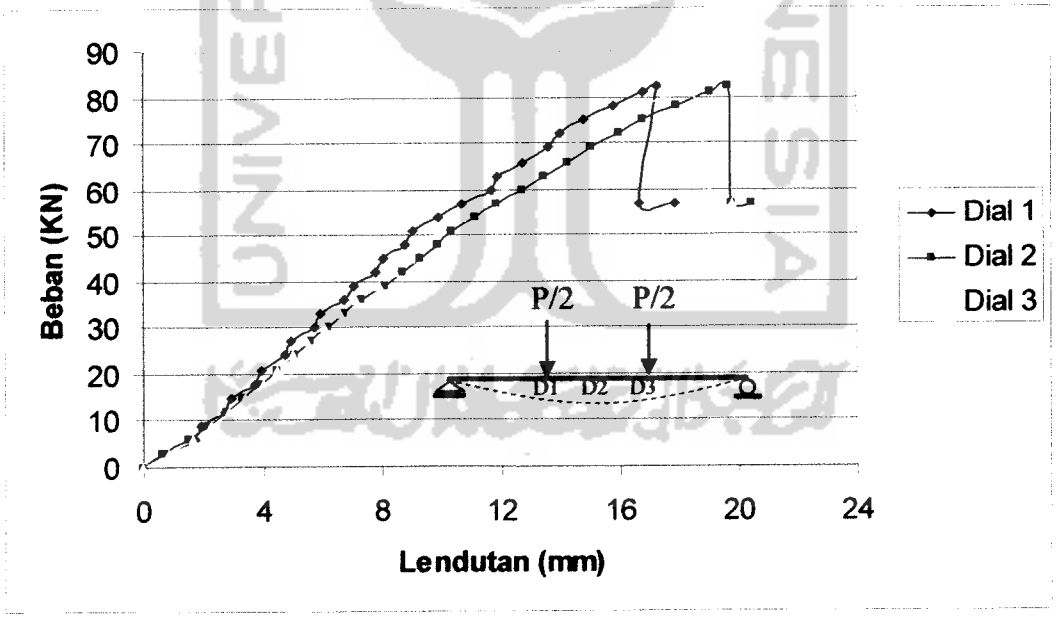
No	Beban (kN)	Lendutan		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0	0	0
2	3	117	172	156
3	6	216	265	236
4	9	335	332	294
5	12	426	430	377
6	15	517	521	462
7	18	550	614	546
8	21	657	708	633
9	24	667	769	690
10	27	760	860	776
11	30	863	984	887
12	33	970	1108	1000
13	36	1080	1232	1111
14	39	1269	1425	1279
15	42	1373	1617	1434
16	42	1555	1882	1618
17	21	1668	2016	1768
18	15	1796	2377	1804

2. Hasil pengujian Beban-Lendutan Gelagar Pelat Dobel Delta

No	Beban (kN)	Lendutan		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.0	80.5	69.0	83.3
3	6.0	172.0	154.0	166.5
4	9.0	195.0	219.5	229.0
5	12.0	274.0	277.5	285.0
6	15.0	295.0	333.0	337.8
7	18.0	375.0	394.5	396.1
8	21.0	395.0	447.0	444.2
9	24.0	475.0	503.0	497.8
10	27.0	491.0	558.0	548.0
11	30.0	572.0	615.0	602.8
12	33.0	590.0	673.0	656.0
13	36.0	672.0	734.2	714.5
14	39.0	705.0	813.5	788.0
15	42.0	779.0	872.0	841.8
16	45.0	807.0	933.5	900.5
17	48.0	880.0	988.0	950.0
18	51.0	905.0	1039.0	998.0
19	54.0	988.0	1118.5	1072.4
20	57.0	1073.0	1189.0	1137.5
21	60.0	1167.0	1275.5	1218.0
22	63.0	1188.0	1348.0	1286.0
23	66.0	1276.0	1427.0	1358.0
24	69.0	1366.0	1511.0	1433.5
25	72.0	1400.0	1601.0	1517.0
26	75.0	1481.0	1685.0	1595.2
27	78.0	1581.0	1792.0	1691.0
28	81.0	1681.0	1907.0	1801.0
29	82.5	1731.0	1970.0	1850.5
30	57.0	1670.0	1978.0	1912.0
31	57.0	1788.0	2046.0	1980.8



Grafik hubungan beban-lendutan Gelagar Pelat I



Grafik hubungan Beban-lendutan Gelagar Pelat Dobel Delta

LAMPIRAN 5

LAMPIRAN 5

Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk (k) Pengujian

- **Gelagar Pelat I**

Mcr = Fcr.Sx

Sx = Ix/y

Ix = 33566758.67 mm^4

Y = 203 mm

Pmaks = 4200 kg

L= 4650 mm

$$Sx = Ix/y = \frac{33566758,67}{203} = 165353,49\ mm^3$$

$$M = \frac{1}{6}.P.L = \frac{1}{6}.4200.4650 = 3255000\ Kgmm = 32550000\ Nmm$$

$$Fcr = \frac{Mcr}{Sx}$$

$$Fcr = \frac{3255000}{165353,49} = 19,68\ kg/mm^2 = 196,8\ Mpa < Fy = 230\ Mpa$$

Nilai Koefisien Tekuk (k) Pada Sayap

$$k = \frac{Fcr.12.(1-\mu^2).\left(\frac{b}{2tf}\right)^2}{\pi^2.E}$$

$$k = \frac{196,8.12.(1-0,3^2).\left(\frac{94}{2.3}\right)^2}{\pi^2.210000}$$

k = 0.25

Nilai Koefisien Tekuk (k) Pada Badan

$$k = \frac{Fcr.12.(1-\mu^2).\left(\frac{h}{tw}\right)^2}{\pi^2.E}$$

LAMPIRAN 5

$$k = \frac{196,8.12.(1-0,3^2).\left(\frac{400}{2}\right)^2}{\pi^2.210000}$$

k = 41,47

- **Gelagar Pelat Dobel Delta**

Mcr = Fcr.Sx

Sx = Ix/y

Ix = 45349220 mm^4

Y = 203 mm

Pmaks = 8250 kg

L= 4650 mm

$$Sx = Ix/y = \frac{45349220}{203} = 223395,17\ mm^3$$

$$M = \frac{1}{6}.P.L = \frac{1}{6}.8250.4650 = 6393750\ Kgmm = 63937500\ Nmm$$

$$Fcr = \frac{Mcr}{Sx}$$

$$Fcr = \frac{6393750}{223395,17} = 28,62\ kg/mm^2 = 286,2\ Mpa > Fy = 230\ Mpa, plastis$$

Nilai Koefisien Tekuk (k) Pada Sayap

$$k = \frac{Fcr.12.(1-\mu^2).\left(\frac{b}{2tf}\right)^2}{\pi^2.E}$$

$$k = \frac{230.12.(1-0,3^2).\left(\frac{94}{2.3}\right)^2}{\pi^2.210000}$$

k = 0.29

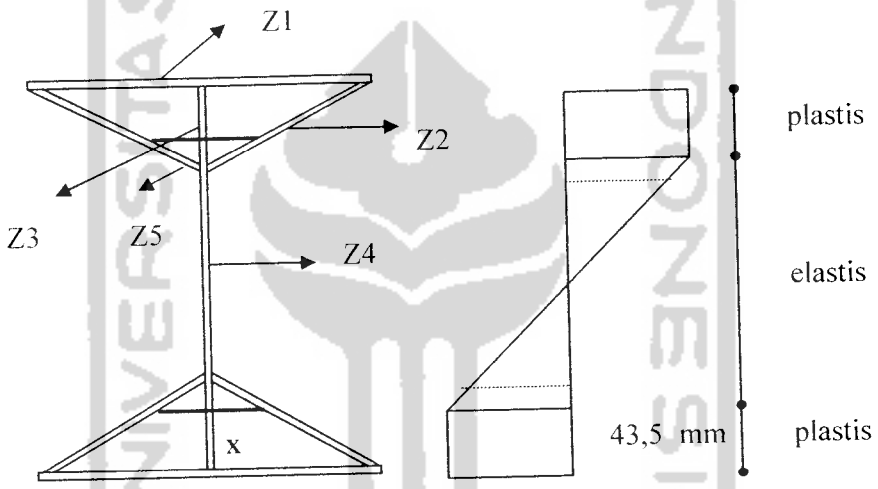
Nilai Koefisien Tekuk (k) Pada Badan

$$k = \frac{Fcr.12.(1-\mu^2).\left(\frac{h}{tw}\right)^2}{\pi^2.E}$$

$$k = \frac{230.12.(1-0{,}3^2).\left(\frac{306}{2}\right)^2}{\pi^2.210000}$$

k = 28,36

Perhitungan Mcr , My < Mcr < Mp, dicoba



Mcr1= $tfxbx(d-tf)x\sigma_{cr1}$ = 3 x 94 x (406-3) x 230= 26138580 Nmm

Mcr2= $2\left(\sqrt{(x)^2+(x)^2}\right).(tw)(h-x).Fy$

$= 2\left(\sqrt{(43{,}5)^2+(43{,}5)^2}\right).(2)(400-43{,}5).230 = 20176769$ Nmm

Mcr3= x . tw . (h-x) . Fy = 43,5.2.356,5.230 = 7133565 Nmm

Mcr4= $\frac{1}{4}t_w(h_2)^2.Fy = \frac{1}{4}.2.(400-2.43{,}3)^2.184{,}88 = 9079749$ Nmm

$$Mcr5 = 2\left(\sqrt{\left(\frac{b}{2} - x\right)^2 + \left(\frac{b}{2} - x\right)^2}\right).tw.\left(h - \frac{b}{2} - x\right).Fy$$

$$2\left(\sqrt{(3{,}7)^2 + (3{,}7)^2}\right)x2.309{,}5x230 = 1490891 \text{ Nmm}$$

Mcr total = Mcr 1+ Mcr 2+ Mcr3 + Mcr4+ Mcr 5

= 26138580+20176769+7133565+9079749+1490891

∴ = 63938050 Nmm

LAMPIRAN 6

Hubungan Momen – Kelengkungan

Perhitungan Momen Kelengkungan Hasil Uji

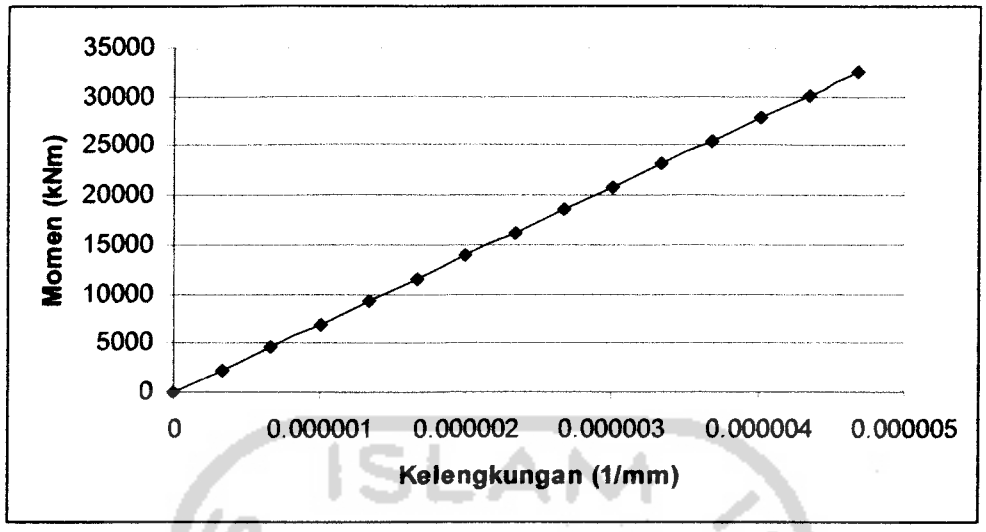
1. Gelagar Pelat I

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Fcr (Mpa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0
3	2325	14.061	0.00007	0.0000003
6	4650	28.122	0.00013	0.0000007
9	6975	42.182	0.00020	0.0000010
12	9300	56.243	0.00027	0.0000013
15	11625	70.304	0.00033	0.0000017
18	13950	84.365	0.00040	0.0000020
21	16275	98.426	0.00047	0.0000023
24	18600	112.486	0.00054	0.0000027
27	20925	126.547	0.00060	0.0000030
30	23250	140.608	0.00067	0.0000033
33	25575	154.669	0.00074	0.0000037
36	27900	168.729	0.00080	0.0000040
39	30225	182.790	0.00087	0.0000044
42	32550	196.851	0.00094	0.0000047
42	32550	196.851	0.00094	0.0000047

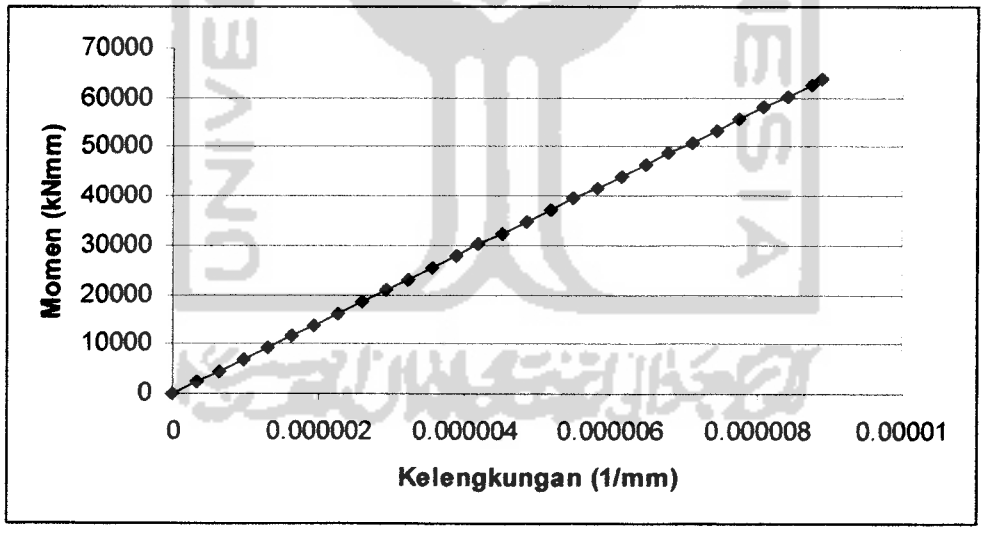
LAMPIRAN 6

2. Gelagar Pelat Dobel Delta

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Fcr (Mpa)	Regangan	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0
3	2325	10.408	0.00005	0.0000003
6	4650	20.815	0.00010	0.0000006
9	6975	31.223	0.00015	0.0000010
12	9300	41.630	0.00020	0.0000013
15	11625	52.038	0.00025	0.0000016
18	13950	62.445	0.00030	0.0000019
21	16275	72.853	0.00035	0.0000023
24	18600	83.261	0.00040	0.0000026
27	20925	93.668	0.00045	0.0000029
30	23250	104.076	0.00050	0.0000032
33	25575	114.483	0.00055	0.0000036
36	27900	124.891	0.00059	0.0000039
39	30225	135.298	0.00064	0.0000042
42	32550	145.706	0.00069	0.0000045
45	34875	156.113	0.00074	0.0000049
48	37200	166.521	0.00079	0.0000052
51	39525	176.929	0.00084	0.0000055
54	41850	187.336	0.00089	0.0000058
57	44175	197.744	0.00094	0.0000062
60	46500	208.151	0.00099	0.0000065
63	48825	218.559	0.00104	0.0000068
66	51150	228.966	0.00109	0.0000071
69	53475	239.374	0.00114	0.0000075
72	55800	249.782	0.00119	0.0000078
75	58125	260.189	0.00124	0.0000081
78	60450	270.597	0.00129	0.0000084
81	62775	281.004	0.00134	0.0000087
82.5	63937.5	286.208	0.00136	0.0000089



Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Gelagar Pelat I



Grafik Hubungan Momen – Kelengkungan Gelagar Pelat Dobel Delta.

LAMPIRAN 7

PERHITUNGAN RASIO MOMEN NOMINAL (Mn) TERHADAP MOMEN LELEH (My) SECARA TEORITIS

- **Gelagar Pelat I.**

$$\frac{Mn}{My} = \left[1 - 0{,}0005\frac{Aw}{2Af}\left(\frac{h}{tw} - \frac{970}{\sqrt{Fcr}}\right)\right]$$

$$\frac{Mn}{My} = \left[1 - 0{,}0005\frac{800}{564}\left(\frac{400}{2} - \frac{970}{\sqrt{226{,}55}}\right)\right]$$

$$\frac{Mn}{My} = 0{,}904$$

- **Gelagar Pelat Dobel Delta**

$$\frac{Mn}{My} = \left[1 - 0{,}0005\frac{Aw}{2Af}\left(\frac{h}{tw} - \frac{970}{\sqrt{Fcr}}\right)\right]$$

$$\frac{Mn}{My} = \left[1 - 0{,}0005\frac{800}{1361}\left(\frac{306}{2} - \frac{970}{\sqrt{193{,}937}}\right)\right]$$

$$\frac{Mn}{My} = 0{,}98$$

PERHITUNGAN RASIO MOMEN NOMINAL (Mn) TERHADAP MOMEN LELEH (My) Hasil Uji

- **Gelagar Pelat I.**

$$\frac{Mn}{My} = \frac{FcrUji}{Fy}$$

$$\frac{Mn}{My} = \frac{196,8}{230}$$

$$\frac{Mn}{My} = 0,85$$

- **Gelagar Pelat Dobel Delta**

$$\frac{Mn}{My} = \frac{FcrUji}{Fy}$$

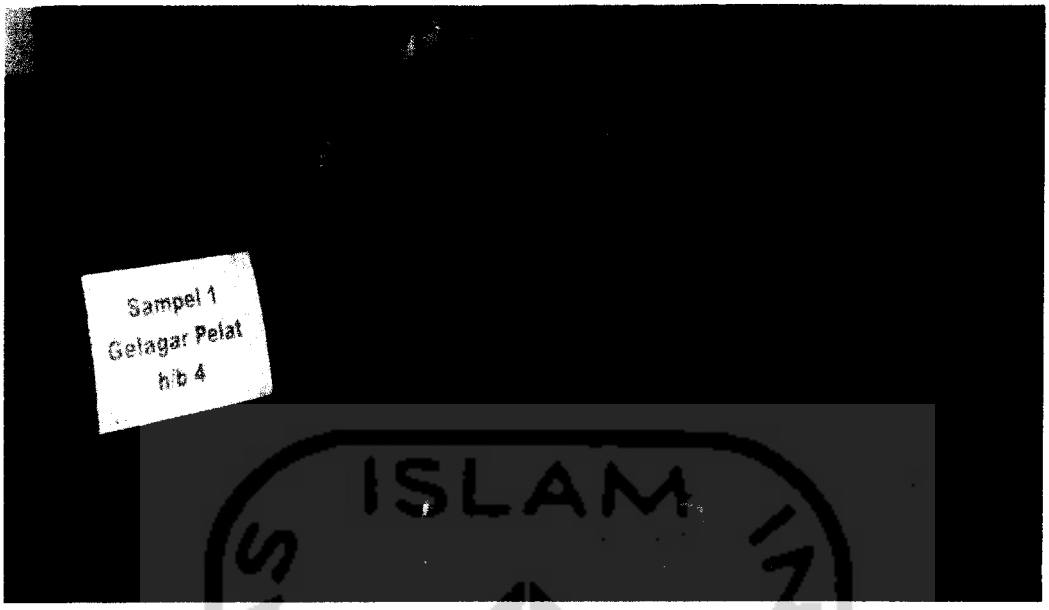
$$\frac{Mn}{My} = \frac{286,2}{230}$$

$$\frac{Mn}{My} = 1,24 > 1$$

LAMPIRAN 8

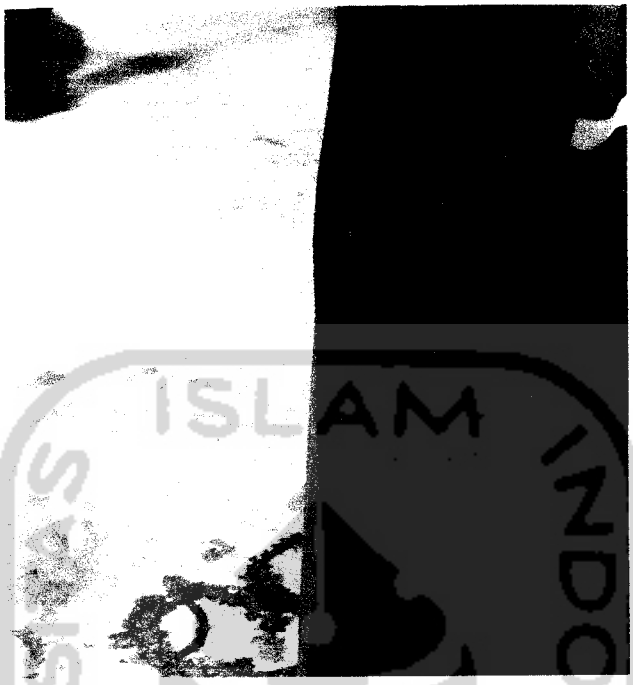
Gambar gelagar pelat I sebelum pengujian.

Gambar gelagar pelat I Mengalami tekuk lokal pada sayap .



Gambar gelagar pelat I mengalami tekuk puntir lateral.

Gambar gelagar pelat dobel delta mengalami tekuk lokal pada pelat sayap.



Gambar gelagar pelat dobel delta mengalami tekuk puntir lateral.