

PERPUSTAKAAN FTSP UH	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	29 03 2003
NO. JUDUL :	000400
NO. INV. :	5120000400001
NO. INDUK :	

TUGAS AKHIR

**“PENGARUH LOBANG TANPA PENGAKU DAN DENGAN PENGAKU
(PADA BADAN) TERHADAP KAPASITAS GELAGAR PELAT”**



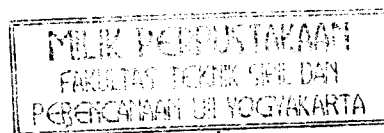
Disusun oleh:

M. Faizal Risza
 No. Mhs. : 96 310 010
 N.I.R.M : 960051013114120008

Rahmat Hidayat
 No. Mhs. : 97 511 219
 N.I.R.M : 970051013114120176

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

JUNI 2002



TUGAS AKHIR

**PENGARUH LUBANG TANPA PENGAKU DAN DENGAN
PENGAKU (PADA BADAN) TERHADAP KAPASITAS GELAGAR
PELAT**

Disusun oleh:

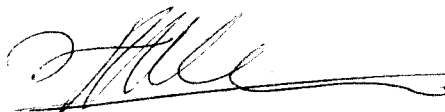
**M. Faizal Risza
No. Mhs. : 96 310 010
N.I.R.M : 960051013114120008**

**Rahmat Hidayat
No. Mhs. : 97 511 219
N.I.R.M : 970051013114120176**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:


Ir. Fatkhurrohman NS, MT

Dosen Pembimbing I


Tanggal : 8/8-03

Ir. Helmy Akbar Bale, MT

Dosen Pembimbing II


Tanggal : 8/3/03

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaanirrohim

Maha suci Allah, Segala puji bagi Allah Tuhan semesta alam. Berkat rahmat dan karunia-Nya maka penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini, yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program S1 Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia .

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan baik dari segi materi maupun susunan bahasanya yang membuat tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik yang membangun dan saran yang dapat memberikan manfaat dan dorongan bagi peningkatan kemampuan penulis.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan serta pengarahan-pengarahan untuk membimbing penulis dalam penulisan tugas akhir sebagai berikut ini:

1. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman NS, MT, selaku dosen pembimbing I.
3. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT, selaku dosen pembimbing II.
4. Bapak Ir. H. Sarwidi, MSCE, PhD, selaku dosen penguji.
5. Kedua orang tua dan saudara-saudara kami tercinta yang dengan kasih sayangnya telah membekali penulis dengan do'a dan semangat.

6. Mas Gembuk, mas Yayat, mas Dwi , mas Rijal, mas Koko, bang Darman, dan tak lupa mas Aries selaku pegawai Lab. MR yang telah membantu angkat-angkat juga mencatat serta memompa alat uji hingga berjalannya penelitian kami.
7. Dik Ida yang telah memberikan semangat dengan cinta dan kasih sayangnya dari Amsterdam untuk penelitian mas Risza hingga selesai.
8. Windy dan juga putriku Aura, yang telah memberi semangat dan dorongan kepada bang Rahmat.
9. Semua pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu tugas akhir ini hingga selesai.

Akhir kata penulis penulsi mohon maaf dengan segala ketulusan hati seandainya dalam menuliskan tugas akhir ini terdapat kekhilafan, semoga Allah SWT, selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua dan segala sesuatu yang telah kita laksanakan akan menjadi bekal yang berguna dan bermanfaat kelak dikemudian hari.
Amin.

Alhamdulillahirobbil'aalamin.

Yogyakarta , Februari 2003

Penulis,

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Halaman Persembahan	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar isi	vi
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Lampiran	xiii
Daftar Notasi	xiv
Daftar Konversi Satuan	xviii
Abstraksi	xix
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Lokasi Penelitian	3
Bab II Tinjauan Pustaka	4
2.1 Tinjauan Umum	4

3.6 Hubungan Beban dengan Lendutan	40
3.7 Pengelompokan Baja Berdasarkan Tegangan Leleh	42
Bab IV Metode Penelitian	43
4.1 Metode Penelitian	43
4.2 Persiapan Bahan dan Alat	44
4.2.1 Bahan	44
4.2.2 Peralatan Penelitian	44
4.3 Model Benda Uji	48
4.4 Pembuatan Benda Uji	49
4.5 Pengujian Benda Uji	50
4.5.1 Pengujian kuat tarik baja	50
4.5.2 Pengujian kuat lentur	51
Bab V Hasil Penelitian dan Pembahasan	53
5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	53
5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentu Gelagar Pelat Simple Beam	53
5.2.1 Hubungan beban-lendutan	54
5.2.2 Analisa data hubungan beban-lendutan	56
5.2.3 Hubungan momen-kelengkungan	56
5.2.4 Analisa data hubungan momen-kelengkungan	59
5.3 Analisa Kerusakan Pada Benda Uji	60
5.4 Pembahasan	60
5.4.1 Kuat tarik baja berdasar hasil pengujian kuat tarik baja	60

5.4.2 Kuat lentur vertikal gelagar pelat simple beam berdasarkan hubungan beban-lendutan	60
5.4.3 Kuat lentur gelagar pelat simple beam ditinjau dari hubungan momen-kelengkungan.	61
Bab VI Kesimpulan dan Saran	62
6.1 Kesimpulan	62
6.2 Saran	63
Daftar Pustaka	
Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1** Gaya geser dan momen pada gelagar pelat dan tegangan yang terjadi
- Gambar 3.2** Komponen tipikal gelagar pelat.
- Gambar 3.3** Tegangan pada pelat badan.
- Gambar 3.4** Gelagar pelat berbadan solid.
- Gambar 3.5** Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar.
- Gambar 3.6** Koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni.
- Gambar 3.7** Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada pelat baja A.36.
- Gambar 3.8** Teori geser klasik.
- Gambar 3.9** Lokasi sendi plastis.
- Gambar 3.10** Diagram interaksi momen-geser.
- Gambar 3.11** Potongan melintang gelagar pelat dengan lubang di badan tanpa diperkaku.
- Gambar 3.12** Propertis lubang tanpa pengaku.
- Gambar 3.13** Gelagar pelat dengan lubang di badan diperkaku di keempat sisinya.
- Gambar 3.14** Propertis lubang dengan pengaku.
- Gambar 3.15** Penampang lintang efektif pengaku tumpu.
- Gambar 3.16** Tegangan pada balok dengan lateral support pada jarak tertentu.
- Gambar 3.17** Deformasi segmen balok dalam lenturan.
- Gambar 3.18** Momen kelengkungan.

- Gambar 3.19** Hubungan beban-lendutan pada balok.
- Gambar 4.1** Bagan alir metode penelitian.
- Gambar 4.2** Universal testing material shimatzu.
- Gambar 4.3** Bentuk fisik loading frame.
- Gambar 4.4** Dukungan sendi-rol.
- Gambar 4.5** Hidroulic jack.
- Gambar 4.6** Dial gauge.
- Gambar 4.7** Model benda uji.
- Gambar 4.8** Benda uji untuk uji tarik baja.
- Gambar 4.9** Gelagar pelat tumpuan sederhana dengan $L_c = 400$ mm.
- Gambar 5.1** Grafik hubungan beban-lendutan ketiga benda uji.
- Gambar 5.2** Grafik hubungan momen-kelengkungan masing-masing benda uji.
- Gambar 5.3** Grafik hubungan momen-kelengkungan ketiga benda uji.

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Hasil pengujian kuat tarik baja.

Tabel 5.2 Analisa kekakuan dari analisa hubungan beban-lendutan.

Tabel 5.3 Hubungan momen-kelengkungan hasil pengujian benda uji 1.

Tabel 5.4 Hubungan momen-kelengkungan hasil pengujian benda uji 2.

Tabel 5.5 Hubungan momen-kelengkungan hasil pengujian benda uji 3.

Tabel 5.6 Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan.

DAFTAR NOTASI

- a = jarak antar pengaku
- A_b = A_{bruto} = luas penampang lintang bruto
- A_e = A_{eff} = luas efektif
- A_f = luas sayap bruto
- A_{ph} = luas kontak pengaku
- A_w = luasan badan
- b = lebar, lebar sayap
- b_e = lebar efektif dimana tegangan maks. dapat dianggap merata yang dapat memberikan kapasitas tebal yang tepat
- b_f = lebar sayap
- C_c = rasio kerampingan Kl / r yang memisahkan antara kolom panjang dan pendek menurut ASD
- C_v = rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh = $\frac{\tau_{cr}}{\tau_y}$
- d = tinggi gelagar
- D = nilai geser maksimum $\tau = \frac{D.S}{I.b}$
- e = eksentrisitas badan
- E = modulus elastisitas
- f = tegangan karena geser langsung

- R_n = kekuatan nominal pada sub penyambung dalam tarik geser atau pikul; kekuatan reaksi nominal
- S_x = modulus penampang elastis
- t = ketebalan
- t_f = tebal sayap
- t_s = tebal penyambung
- t_w = tebal badan
- v = tegangan geser
- V_n = kekuatan geser nominal
- V_u = gaya geser terfaktor
- y = defleksi pada sumbu lokasi z sepanjang bentang
- z = modulus elastik
- Z_x = modulus elastik sumbu x
- 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
- Δ_{total} = lendutan total

DAFTAR KONVERSI SATUAN

Dari	Ke	Faktor Konversi
m	mm	1000
ton	kg	1000
MPa	N/mm ²	1
MPa	kg/cm ²	10
MPa	Ksi	0,1450
Ksi	MPa	6,895

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang masalah

Salah satu permasalahan atau problem yang sering muncul dalam perencanaan struktur bangunan adalah penempatan fasilitas-fasilitas, seperti penempatan pipa drainasi, pipa air minum, AC, gas dan pipa listrik. Secara tradisional fasilitas-fasilitas seperti pipa diletakan di bawah balok yang mana pada saat ini dengan perkembangan ilmu struktur dan arsitektur dianggap mengurangi kerapihan dari suatu bangunan, sehingga salah satu cara yang digunakan adalah dengan membuat lubang di badan sebagai fasilitas perletakan.

Pemberian lubang di badan akan mengakibatkan pengurangan luas penampang dan pengurangan Momen Inersia dan juga luas bidang geser, selain itu juga merubah pola pelat yang semula terjepit dua sisinya menjadi terjepit bebas (kantilever) yang akan berpengaruh terhadap penurunan nilai koefisien tekuk k yang akan mengurangi kapasitas lentur dan kapasitas geser gelagar pelat tersebut.

Koefisien tekuk k dapat ditingkatkan dengan memberi pengaku pada sisi lubang, dengan pemberian pengaku akan meningkatkan derajat kekakuan di daerah sekitar lubang sehingga kapasitas lentur dan geser gelagar pelat meningkat.

3. Sebagai salah satu masukan bagi pembaca sehingga menambah pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan struktur baja.

1.5 Batasan Masalah

Untuk mengetahui seberapa besar penurunan kapasitas lentur gelagar pelat oleh lubang pada badan dan peningkatan kapasitas lentur oleh pengaku, diperlukan pembatasan sebagai berikut:

1. Gelagar pelat yang digunakan merupakan gabungan antara profil siku dengan pelat biasa yang membentuk profil 'I' berbadan tipis.
2. Pemberian lobang pada badan hanya satu lobang dengan panjang lubang sama dengan tinggi badan dan lebar lubang sama dengan setengah tinggi badan yang terletak pada seperempat panjang gelagar bagian kiri.
3. Jenis struktur memakai balok struktur sederhana (*simple beam*).
4. Model pembebanan menggunakan pembebanan dua titik.
5. Perkuatan pada lubang menggunakan profil siku pada keempat sisinya.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dan pengujian benda uji gelagar pelat *simple beam* dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, dan untuk pengujian sampel pendahuluan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Gelagar pelat adalah suatu balok yang dibuat dari elemen-elemen pelat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien dari pada yang mungkin diperoleh dengan balok tempa, (*Salmon dan Johnson, 1996*).

Menurut *Bowles (1985)*, gelagar pelat pada pokoknya adalah bagian konstruksi rangka yang flensnya adalah batang tepi atas dan batang tepi bawah dan badan yang membentuk suatu bagian konstruksi.

Spiegel (1991), menyimpulkan bahwa *girder* (gelagar) adalah balok utama atau tinggi yang sering juga digunakan untuk menumpu balok-balok lain.

Gelagar pelat mempunyai bentuk yang mirip dengan profil I yang bukan bentukan hanya saja perilaku pada gelagar pelat sangat berbeda dengan profil I yang bukan bentukan, (*Salmon dan Johnson, 1996*).

Salmon dan Johnson (1990), mengemukakan semakin besar rasio lebar terhadap tebal (b/t) suatu pelat, tegangan kritisnya semakin rendah sehingga tekuk lokal yang terjadi jauh di bawah tegangan lelehnya.

Pendapat yang sama mengenai tegangan kritis juga dikemukakan oleh *Bresler dkk (1967)*; *Ergle Kirk (1994)*; *Bowles (1985)*.

Untuk meningkatkan nilai tegangan kritis F_{cr} dengan cara mengubah koefisien tekuk k yang bergantung pada kondisi tumpuan tepi pelat, (*Salmon dan Johnson, 1996*).

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

Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959), menjabarkan bahwa penurunan nilai k secara teoritis untuk lentur pada bidang pelat. Untuk sembarang jenis pembebanan nilai, k tergantung pada rasio bentuk a/h dan kondisi tumpuan sepanjang tepi, dengan kata lain tegangan kritis elemen pelat bergantung kepada distribusi tegangan, kondisi tepi pelat dan aspek rasio (a/h).

Kuat lentur nominal M_n gelagar pelat badan yang ramping dikontrol oleh keadaan batas pelepasan pada *flens* tarik atau keadaan batas tekuk pada *flens* tekan selain itu juga dipengaruhi oleh rasio kerampingan (h/t), (*Salmon dan Johnson, 1996*).

2.2 Pengaruh Pemberian lubang di badan terhadap kapasitas gelagar pelat

R.G. Redwood (1970), mengemukakan bahwa kuat lentur nominal M_n dari gelagar pelat dengan lubang di badan dipengaruhi oleh rasio tinggi lubang terhadap tinggi gelagar pelat (H/d) dan rasio luas badan terhadap luas sayap (A_w/A_f).


R. G. Redwood (1970), menganalisa balok-balok dengan lubang di badan dengan asumsi tambahan bahwa balok-balok pengaku tidak menahan gaya geser secara langsung.

Pengaku lubang dengan maksud pada batang horizontal dan atau vertikal secara relatif merupakan langkah ekonomis dalam meningkatkan kekuatan pada sebuah lubang, (*R. G. Redwood, 1970*).

Kusman dan Cooper (1976), menyatakan bahwa kenaikan kapasitas gelagar pelat dipengaruhi oleh luas perkuatan bagian atas atau bawah lobang pada badan gelagar pelat.

R. G. Redwood (1970), mengemukakan bahwa kuat lentur nominal (M_n) dari gelagar pelat dengan lubang di badan diperkaku dipengaruhi oleh luas pengaku (A_r) dan Luas bagian badan (A_w).

2.3 Pengaku

 Pengaku umumnya diperlukan bila pelat badan sangat tipis, perbandingan h/t_w besar dan tegangan geser badan relatif tinggi. Pengaku secara efektif akan menambah kapasitas geser terhadap tekukan geser badan. Pengaku hampir selalu diperlukan oleh spesifikasi dibawah beban yang terkonsentrasi dan pada reaksi gelagar pelat, (*Bowles, 1985*).

Pengaku dukungan diperlukan secara berpasangan dan diletakan diatas reaksi-reaksi. Pengaku dukungan juga diperlukan dibawah beban terkonsentrasi yang diangkut oleh gelagar pelat, (*Salmon dan Johnson, 1996*).

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Gelagar Pelat adalah suatu balok yang dibuat dari elemen-elemen pelat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien dari pada yang mungkin diperoleh dengan balok tempa (*Salmon dan Johnson, 1996*).

Menurut *Salmon dan Johnson, 1996*, gelagar pelat mempunyai bentuk yang mirip dengan profil I yang bukan bentukan hanya saja perilaku pada gelagar pelat sangat berbeda dengan profil I yang bukan bentukan. Sebagian besar profil I termasuk penampang kompak karena memenuhi persyaratan $\frac{b}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_y(\text{ksi})}}$

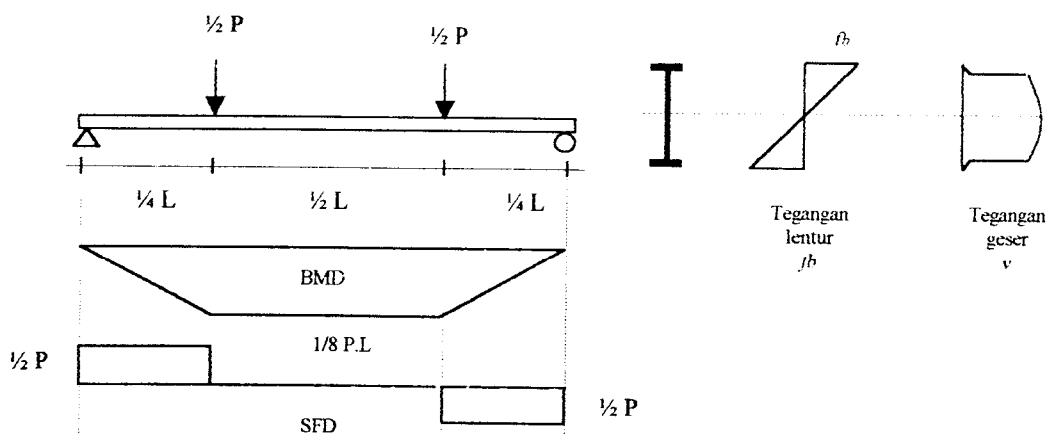
atau $\frac{b}{2t_f} \leq \frac{171}{\sqrt{F_y(\text{MPa})}}$. Sedangkan pada gelagar pelat mempunyai badan yang sangat tipis sehingga menyebabkan profil tersebut tidak kompak. Karena tidak kompak inilah maka instabilitas menjadi persoalan yang utama pada gelagar pelat.

Bila perencana bebas untuk mencapai pemikulan beban yang paling efisien, maka jelaslah bahwa untuk momen lentur hampir seluruhnya dipikul oleh sayap, penampang yang tinggi lebih disukai. Badan diperlukan agar sayap-sayap bekerja sebagai satu kesatuan dan untuk memikul gaya geser, tetapi tebal badan yang berlebihan menambah berat gelagar. Bila ditinjau dari sudut bahan, badan

yang tipis dengan pengaku akan menghasilkan gelagar yang paling ringan. Dengan demikian instabilitas pelat badan yang tipis menjadi masalah utama (Salmon dan Johnson, 1996).

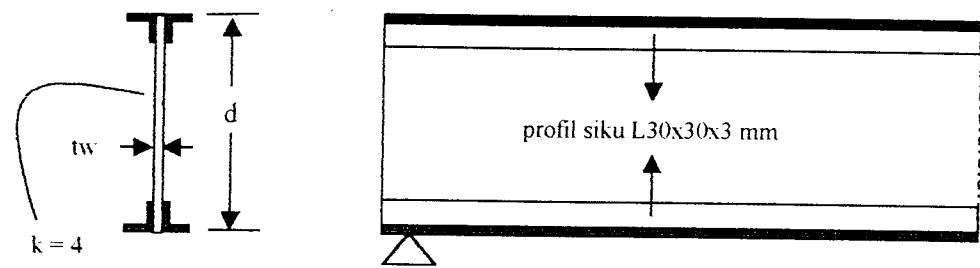
Sebuah gelagar pelat yang berbentuk menyerupai profil I yang dikenakan beban titik seperti pada Gambar 3.1 maka akan menerima momen maksimum sebesar $1/8 PL$ dan menerima gaya geser maksimum sebesar $0,5 P$ yang mana dari gaya-gaya yang terjadi tersebut akan menyebabkan terjadi juga tegangan geser v dan tegangan lentur fb .

Tegangan lentur yang diterima oleh sayap bagian atas akan menyebabkan tekan sedangkan pada bagian bawah akan menyebabkan tarik pada flens, dimana flens dianggap sebagai suatu batang tekan yang independen dari bagian gelagar pelat yang lainnya dan untuk mencegah terjadinya tekuk setempat maka AISC menetapkan tegangan tekuk kritis F_{cr} tidak boleh lebih kecil dari tegangan leleh baja F_y . Sedangkan pada bagian badan yang memiliki rasio h/t_w cukup besar atau berbadan tipis dapat menyebabkan terjadinya tekuk karena lentur.



Gambar 3.1 Gaya geser dan momen pada gelagar pelat dan tegangan yang terjadi.

3.2. Gelagar Pelat Berbadan Solid / Utuh



Gambar 3.4 Gelagar pelat berbadan solid dan nilai kekakuannya.

3.2.1. Kuat Tekan Sayap Gelagar Pelat berbadan solid

Tekuk setempat pada elemen pelat mengakibatkan tegangan menjadi tidak merata dan mengurangi kekuatan keseluruhan, oleh karena itu AISC menetapkan tegangan tekuk kritis F_{cr} tidak boleh lebih kecil dari tegangan leleh baja F_y pada elemen pelat, dengan kata lain tekuk dicegah sebelum tegangan leleh sebesar F_y tercapai.

Salmon dan Johnson (1990), mengemukakan tegangan kritis elastik teoritik untuk pelat yang menerima tekanan merata dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 3.1.

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 E}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot (b_f / t_f)^2} \geq F_y \quad (3.1)$$

dimana:

F_{cr} = Tegangan kritis

μ = angka poisson (0,3)

k = Koefisien tekuk pelat ($k=4$)

b_f / t_f = Rasio lebar terhadap tebal

E = Modulus elastis baja ($2 \cdot 10^5$) MPa

Semakin besar rasio lebar (b_f) terhadap tebal sayap (t_f), tegangan kritisnya semakin rendah sehingga tekuk lokal yang terjadi jauh di bawah tegangan lelehnya.

Dengan menggunakan $\mu = 0.3$ untuk baja dan $E = 200,000$ MPa dan F_y dalam MPa menurut *Salmon dan Johnson (1992)* :

$$\frac{b}{t} \leq 425 \sqrt{\frac{k}{F_y}} \quad (3.2)$$

Untuk elemen yang tidak diperkuat, bila $k = 0,425$ (harga kecilnya), menghasilkan

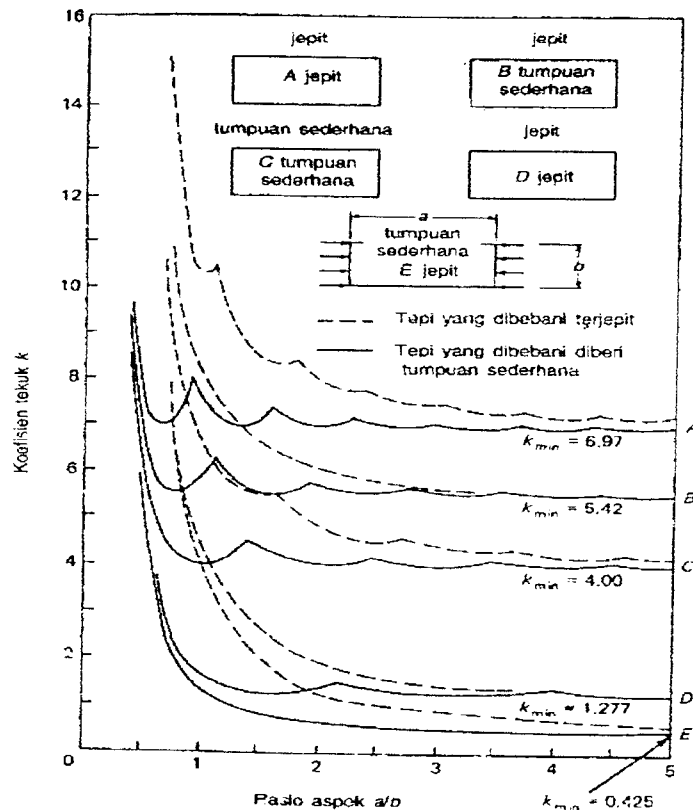
$$\frac{b}{t} \leq \frac{127}{\sqrt{F_y}} \quad (3.3)$$

Untuk elemen yang diperkuat bila $k = 4$ yaitu harga minimum dengan menganggap pengekangan rotasi tepi pelat sebagai kondisi sendi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5, menetapkan batas untuk elemen tekan yang diperkuat sebagai:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{500}{\sqrt{F_y}} \quad (3.4)$$

Dan untuk nilai k adalah konstanta yang tergantung pada jenis tegangan dan kondisi tumpuan tepi. Untuk kondisi tumpuan jepit-bebas nilai k minimum = 0,425 sedangkan untuk kondisi tumpuan tepi jepit-jepit nilai k minimum = 4.

Maka untuk meningkatkan F_{cr} dengan cara mengubah koefisien tekuk k yang bergantung pada kondisi tumpuan tepi pelat akan menghasilkan kenaikan F_{cr} sebesar lebih kurang dapat meningkatkan nilai tegangan kritis F_{cr} hampir 10 kali lipat.



Gambar 3.5 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar (*Salmon dan Johson, 1996*).

3.2.2. Kuat Lentur Nominal Gelagar Pelat berbadan solid

Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio sebesar h/t_w , tekuk mungkin terjadi akibat lentur pada bidang badan. Pada badan gelagar yang langsing dan diberi pengaku setelah terjadinya tekuk elastis masih ada kekuatan pasca tekuk. Penurunan harga k secara teoristis untuk lentur pada bidang plat dijabarkan oleh *Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959)*. Untuk sembarang jenis pembebanan nilai, k bergantung pada rasio bentuk a/h dan kondisi tumpuan sepanjang tepi. Variasi nilai k terhadap rasio a/h ditunjukkan pada Gambar 3.6.

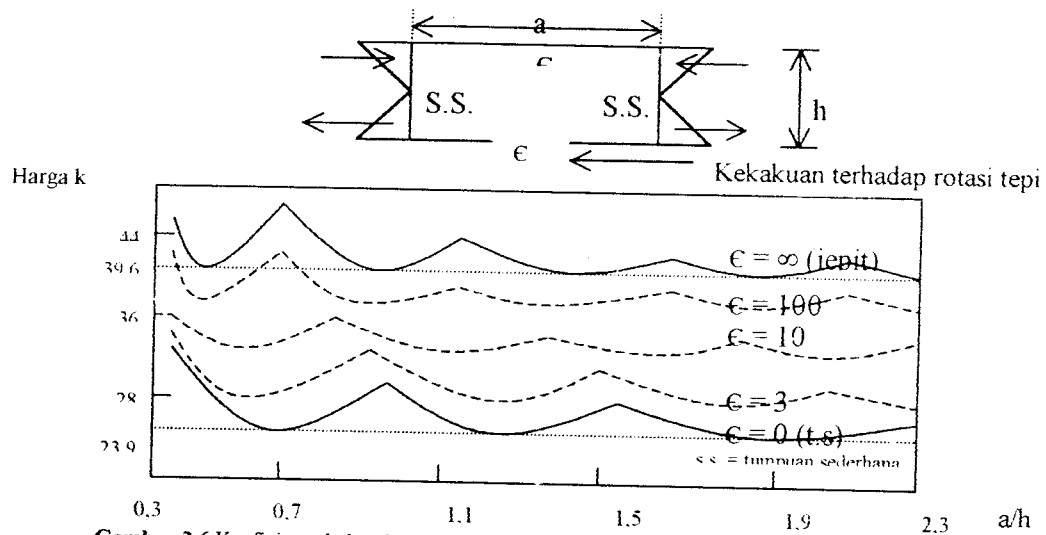
Tegangan kritis (dengan $E = 200.000$ MPa) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa untuk } k = 23,9 \quad (3.5)$$

(tumpuan sederhana di sayap)

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa untuk } k = 39,6 \quad (3.6)$$

(jepit sempurna di sayap)



Gambar 3.6 Koefisien tekuk pelat yang mengalami lentur murni (Salmon dan Johnson, 1996).

Berdasarkan penelitian *Salmon & Johnson, (1996)*, dengan bahan penelitian baja profil I dengan mutu baja *A36*, badan akan tertekuk akibat tegangan lentur.

Kapasitas momen batas gelagar tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.7)$$

h/t = menentukan ketidak stabilan badan (tekuk lentur)

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

b/t_f = menentukan tekuk setempat atau tekuk puntir pada sayap

A_w/A_f = menentukan pengaruh purna tekuk pada sayap

untuk *flens* tekan:

$$M_n = F_{cr} S_{xc} R_{pg} R_e \quad (3.9)$$

dimana untuk *nonhybrid* $R_e = 1$, *Hybrid* $R_e = 1 - 0,1 (1,3 + \beta) (0,81 - \alpha)$ dan (AISC-LRFD) menentukan faktor reduksi sebagai berikut:

$$R_{pg} = 1 - 0,0005 \alpha_r \left(\frac{h_c}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \leq 1,0 \quad (3.10)$$

dimana:

F_{yf} = tegangan leleh sayap tekan

F_{yw} = tegangan leleh baja pada badan

S_{xt} = modulus penampang arah x yang diacukan ke sayap tarik

$\beta_r = A_w / A_f$, dimana A_f adalah luas *flens* tekan.

$\beta_r = A_w / A_f$, rasio luas penampang lintang penampang terhadap penampang salah satu *flens*.

$\alpha_r = F_{yw} / F_{yf}$, rasio tegangan leleh baja badan terhadap tegangan leleh baja *flens*

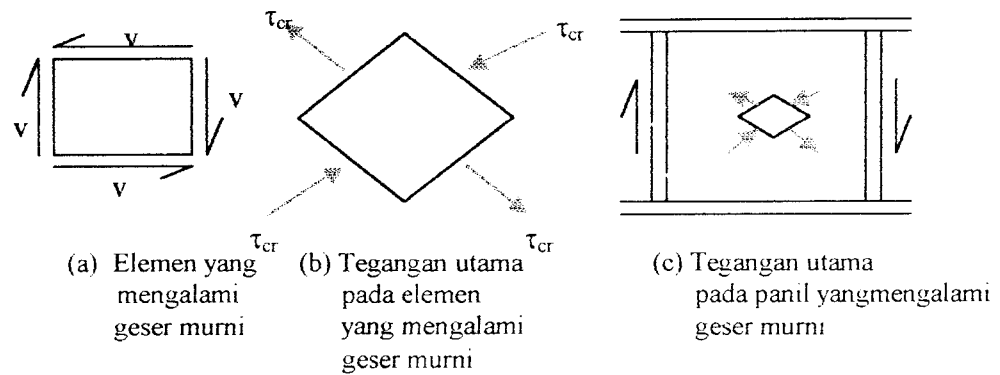
R_e = faktor reduksi untuk memperhitungkan leleh pada pelat badan

R_{pg} = faktor reduksi untuk memperhitungkan tekuk lentur pada badan

Penentuan tegangan kritis F_{cr} yang akan digunakan dapat diperoleh dengan membagi kekuatan nominal M_n dengan modulus penampang S_x . Untuk badan yang ramping F_{cr} max adalah F_{yf} , tegangan leleh pada *flensnya*

3.2.3. Kuat Geser Nominal

Daerah-daerah yang gesernya tinggi dan momen lenturnya rendah, kekuatan tekuk panel dapat diselidiki dengan mengasumsikan hanya dikenai geser saja (geser murni), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Teori geser klasik (*Salmon dan Johnson, 1996*).

Tegangan tekuk elastik (*Euler*) untuk sembarang pelat diberikan oleh Persamaan 3.1 sebagai

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.11)$$

dimana untuk kasus geser murni persamaan di atas dapat ditulis dengan (*Salmon dan Johnson, 1996*).

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

dimana:

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

Untuk stabilitas elastik diperlukan C_v , C_v sebagai rasio tegangan geser τ_{cr} pada saat tekuk terhadap tegangan leleh τ_y .

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 E k}{\tau_y (12)(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.14)$$

dengan memasukkan $E = 200000$ MPa, $\mu = 0,3$, $\tau_y = 0,6.F_{yw}$, maka didapat:

untuk tekuk elastis, dimana $\frac{h}{t_w} > 615 \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}}$

$$C_v = \frac{303000.k}{(h/t)^2.F_{yw}} \quad (3.15)$$

untuk tekuk tak elastis, dimana $615 \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \geq \frac{h}{t_w} \geq 491 \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}}$

$$C_v = \frac{491}{(h/t)} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.16)$$

Kekuatan geser nominal V_n dari suatu gelagar berdasarkan tekuk tak elastis atau elastis badan adalah sebagai berikut (*Salmon & Johnson, 1996*):

untuk $h/t_w < 491 \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}}$

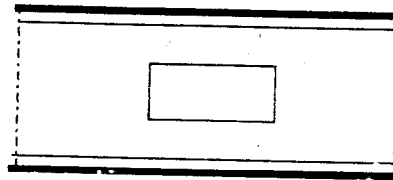
$$V_n = 0,6.F_{yw}.A_w \quad (3.17)$$

untuk $h/t_w > 491 \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}}$

$$V_n = 0,6.F_{yw}.A_w \left[C_v + \frac{1 - C_v}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.18)$$

3.3 Gelagar Pelat dengan lubang di badan

Kekuatan puncak dari balok-balok baja berlobang yang diberi beban statis diperkirakan menggunakan analisis plastis dan pendekatan ini telah digunakan oleh banyak peneliti. Analisis pertama kali dari tipe ini dimunculkan oleh *Worley (1958)*, yang mempertimbangkan lubang persegi panjang, pada tengah lebar sayap batang. Materi plastis yang sangat sempurna dipertimbangkan dan pengaruh dari gaya-gaya normal dan geser. Mekanika keruntuhan dianggap melibatkan empat sendi plastis yang ditunjukkan dalam Gambar 3.9.



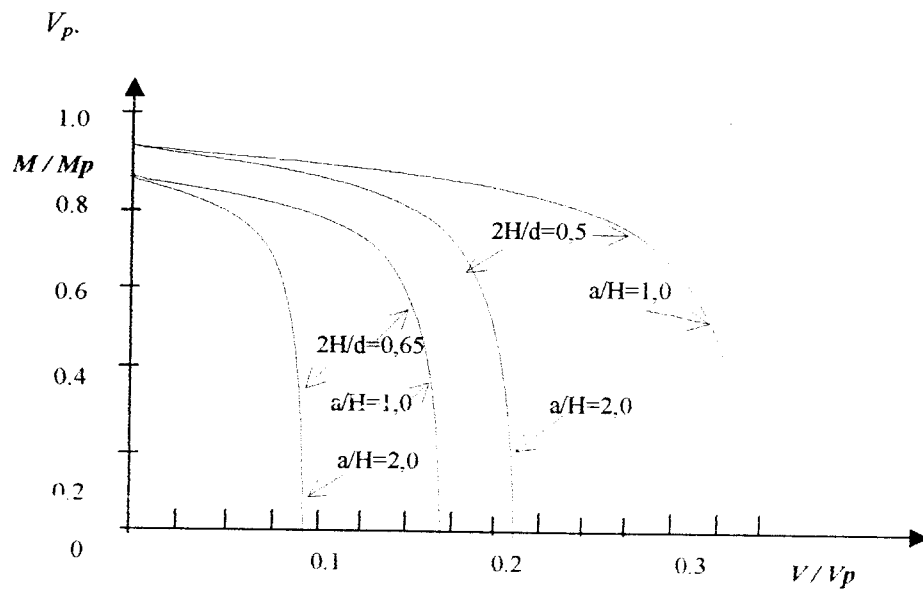
Gambar 3.9 Lokasi sendi plastis

dan lokasi sendi berbeda-beda secara independen yang bertujuan untuk menentukan beban runtuh minimum dalam penyelesaian batas tertinggi.

Kesetimbangan resultan gaya-gaya di dekat tiap sudut lubang ditentukan dan pada saat yang sama berdasarkan meteri plastis yang sempurna dianggap sempurna, lokasi ini berhubungan pada posisi sendi plastis pada Gambar 3.9, metode ini mengikuti *R.G. Redwood (1968, 1978)*.

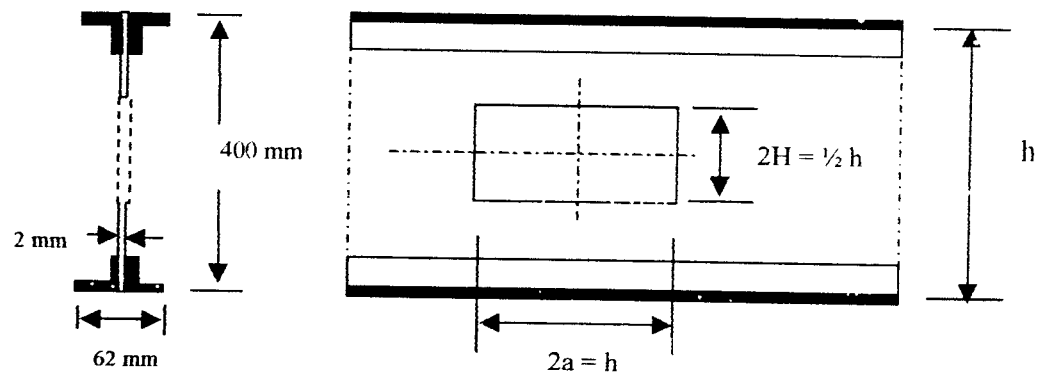
Untuk sebuah balok dan lubang yang diberikan, sebuah kurva interaksi berkaitan dengan nilai-nilai batas momen (M) dan geser (V), Gambar 3.10, menunjukkan beberapa tipe diagram, dimana momen M diberikan sebagai sebuah proporsi momen plastis M_p dari bagian badan yang tidak berlubang dan gaya geser

V ditunjukkan oleh tegangan geser plastis dari bagian badan yang tidak berlubang.



Gambar 3.10 Diagram Interaksi Momen-Geser (*P.G. Redwood, 1982*).

3.3.1 Gelagar Pelat dengan lubang di badan tanpa diperkaku



Gambar 3.11 Propertis gelagar pelat dengan lubang di badan tanpa diperkaku dan nilai kekakuannya.

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa untuk } k = 39,6 \quad (3.21)$$

(jepit sempurna di sayap)

Berdasarkan penelitian *Salmon dan Johnson, (1996)*, dengan bahan penelitian baja profil I dengan mutu baja A36, badan akan tertekuk akibat adanya tegangan lentur.

Kapasitas momen batas gelagar tinggi merupakan fungsi dari :

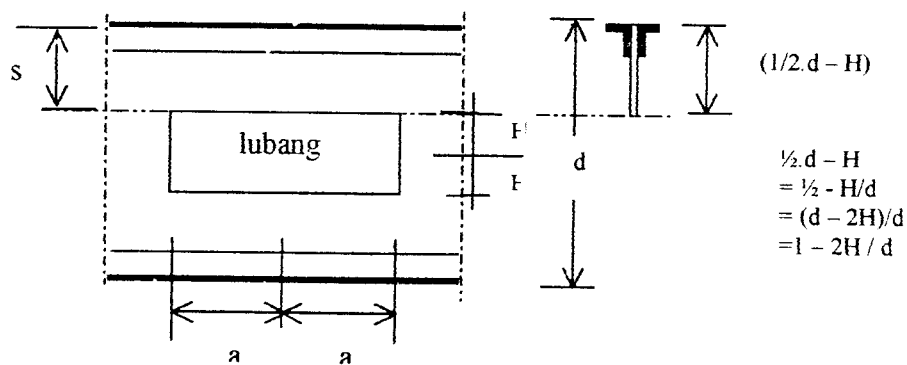
$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.22)$$

h/t = menentukan ketidak stabilan badan (tekuk lentur)

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

b/t_f = menentukan tekuk setempat atau tekuk puntir pada sayap

A_w/A_f = menentukan pengaruh puna tekuk pada sayap



Gambar 3.12 Propertis lubang tanpa pengaku.

A_w = luas badan

$$\alpha = \frac{3}{4} \left(\frac{s}{a} \right)^2 \quad (3.23)$$

Jika diasumsikan bahwa tebal sayap t_f kecil dibanding dengan tinggi badan bagian T, maka:

$$\frac{M_n}{M_p} = \frac{(2\bar{k}-1) - \frac{A_w}{4A_f} \left(1 - \frac{2H}{d}\right) \frac{2}{\sqrt{1+\alpha}}}{1 + \frac{A_w}{4A_f}} \quad (3.24)$$

jika $\bar{k} = 1$ (faktor tetapan 0-1)

$$\frac{M_n}{M_p} = \frac{1 - \frac{A_w}{4A_f} \left(1 - \frac{2H}{d}\right) \frac{2}{\sqrt{1+\alpha}}}{1 + \frac{A_w}{4A_f}}$$

Pada kasus rasio momen terhadap geser yang tinggi persamaan disesuaikan dengan persamaan 3.24 adalah sebagai berikut:

$$\frac{M_n}{M_p} = \frac{1 - \frac{A_w}{4A_f} \left(1 - \frac{2H}{d}\right) \frac{1}{\sqrt{1+\alpha}} \left[2k \cdot (1 + 0,5\bar{k}) - \left(1 - \frac{2H}{d}\right) \cdot (1 - \bar{k}^2) \right]}{1 + \frac{A_w}{4A_f}} \quad (3.25)$$

dimana: α = parameter geometris

$$\bar{\alpha} = \alpha \cdot k^2 \cdot (2 - \bar{k})^2 \quad (3.26)$$

$$\alpha = \frac{3}{4} \left(\frac{s}{a} \right)^2 \quad (3.27)$$

dimana:

$$M_p = Z \cdot F_y = \left[b \cdot t_f (d - t_f) + 0,25 \cdot t_w (d - 2 \cdot t_f)^2 \right] F_y \quad (3.28)$$

Nilai M_n tergantung pada rasio H/d dan rasio A_w/A_f , semakin besar tinggi lubang (H) maka tinggi badan bagian T (s) serta luasan badan (A_w) semakin kecil, maka nilai momen nominal (M_n) semakin kecil.

3.3.1.3. Kuat Geser Nominal

Menurut *Salmon dan Johnson, (1986)*, tegangan tekuk elastis untuk satu pelat ditentukan oleh Persamaan 3.1 sebagai

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.29)$$

Untuk kasus geser murni lihat Gambar 3.7 persamaan 3.29 bisa dituliskan sebagai (dengan mengganti F dengan τ untuk tegangan geser)

$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{\text{sisipendek}}{t} \right)^2} \quad (3.30)$$

untuk kasus tepi bertumpuan sederhana (yakni perpindahan dicegah tetapi rotasi terhadap tepi tidak dikekang).

$$V_p = \frac{A_w \cdot F_y}{\sqrt{3}} \quad (3.31)$$

A_w = luas badan

$$\frac{F_y}{\sqrt{3}} = \tau_y \quad (3.32)$$

$$V_p = A_w \cdot \tau_y \quad (3.33)$$

$$\alpha = \frac{3}{4} \left(\frac{s}{a} \right)^2 \quad (3.34)$$

dimana: α = parameter geometris

$$\bar{\alpha} = \alpha \cdot k^2 \cdot (2-k)^2 \quad (3.35)$$

Jika diasumsikan bahwa tebal sayap t_f kecil dibanding dengan tinggi badan bagian T, maka:

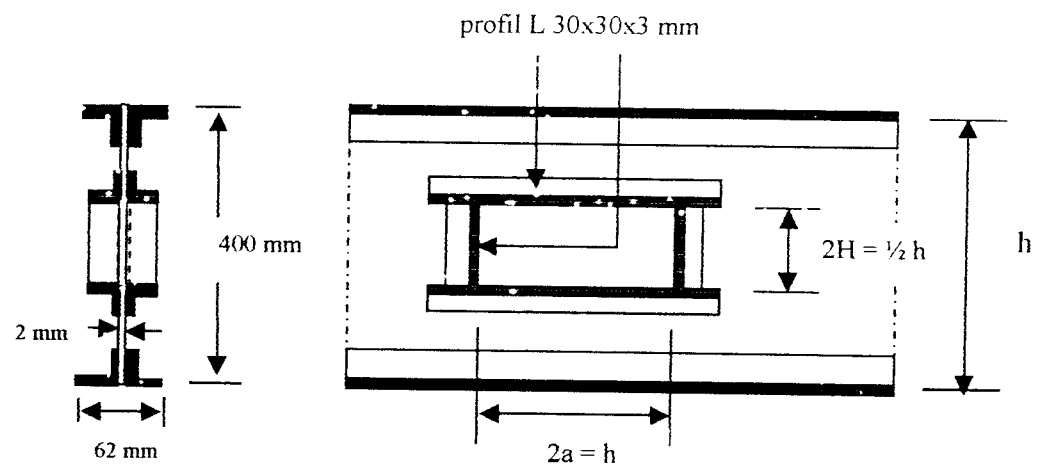
$$\frac{V_n}{V_p} = \left(1 - \frac{2H}{d} \right) \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \quad (3.36)$$

Pada kasus rasio momen terhadap geser yang tinggi persamaan disesuaikan dengan persamaan 3.36 adalah sebagai berikut:

$$\frac{V_n}{V_p} = \left(1 - \frac{2H}{d}\right) \sqrt{\left(\frac{\alpha}{1+\alpha}\right)} \quad (3.37)$$

Nilai V_n tergantung pada rasio tinggi lubang terhadap tinggi gelagar (H/d) dan tinggi badan (s). Semakin besar nilai (H) maka semakin kecil nilai s dan tegangan geser nominal (V_n) semakin kecil.

3.3.2. Gelagar Pelat dengan lubang di badan diperkaku.



Gambar 3.13 Gelagar pelat dengan lubang di badan diperkaku di keempat sisinya

Pengaku lobang dengan maksud pada batang horizontal dan atau vertikal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14, secara relatif merupakan langkah ekonomis dalam peningkatan kekuatan pada sebuah lobang. (*R.G. Redwod, 1970*).

Kusman dan Cooper (1976), menyatakan bahwa kenaikan kapasitas gelagar pelat dipengaruhi oleh luas perkuatan bagian atas atau bawah lobang pada badan gelagar pelat.

3.3.2.1. Kuat tekan gelagar pelat dengan lubang di badan diperkaku

Salmon dan Johnson, (1990), mengemukakan tegangan kritis elastik teoritik untuk pelat yang menerima tekanan merata dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \geq F_y \quad (3.38)$$

Dimana:

F_{cr} = Tegangan kritis

μ = angka poisson (0,3)

k = Koefisien tekuk pelat ($k = 4$)

b/t = Rasio tinggi terhadap tebal

E = Modulus elastis baja ($2 \cdot 10^5$) MPa

3.3.2.2. Kuat lentur pada bidang badan

Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio sebesar h/t_w , tekuk mungkin terjadi akibat lentur pada bidang badan. Pada badan gelagar yang langsing dan diberi pengaku setelah terjadinya tekuk elastis masih ada kekuatan pasca tekuk.

Penurunan harga k secara teoritis untuk lentur pada bidang plat dijabarkan oleh *Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959)*. Untuk sembarang jenis pembebanan nilai, k bergantung pada rasio bentuk a/h dan kondisi tumpuan sepanjang tepi.

Tegangan kritis (dengan $E = 200.000$ MPa) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa untuk } k = 23,9$$

(tumpuan sederhana di sayap) (3.39)

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa untuk } k = 39,6$$

(jepit sempurna di sayap) (3.40)

Berdasarkan penelitian *Salmon dan Johnson, (1996)*, dengan bahan penelitian baja profil I dengan mutu baja A36, badan akan tertekuk akibat adanya tegangan lentur.

Kapasitas momen batas gelagar tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.41)$$

h/t = menentukan ketidak stabilan badan (tekuk lentur)

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

b/t_f = menentukan tekuk setempat atau tekuk puntir pada sayap

A_w/A_f = menentukan pengaruh purna tekuk pada sayap

Kusman dan Cooper, (1976), menyatakan bahwa kapasitas gelagar pelat dipengaruhi oleh luas perkuatan bagian atas atau bawah lubang pada badan gelagar pelat.

Untuk $A_r < A_{r0}$:

$$\frac{M_n}{M_p} = \frac{1 - \frac{A_r}{A_f} - \beta}{1 + \frac{A_w}{4A_f}} \quad (3.42)$$

$$k_n = 5,34 + 4,0 \left(\frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \quad (3.43)$$

$$A_{r0} = \frac{\alpha t_w}{\sqrt{3}} \quad (3.44)$$

$$\beta = -\frac{2\alpha}{1+\alpha} \left(\frac{A_r}{A_f} \right) + 2 \frac{A_w}{A_f} \sqrt{\left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right) \left[\frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{a}{d} \right)^2 - \frac{1}{1+\alpha} \frac{A_r}{A_w} \right]^{1/2}} \quad (3.45)$$

$$\alpha = \frac{3}{16} \left(\frac{d}{a} \right)^2 \left[1 - \frac{2H}{d} \right]^2 \quad (3.46)$$

dimana : A_r = luas pengaku

untuk $A_r \geq A_{r0}$:

$$\frac{M_n}{M_p} = \frac{1 - \frac{A_{r0}}{A_f}}{1 + \frac{A_w}{4A_f}} \quad (3.47)$$

3.3.2.3. Kuat Geser Nominal

Menurut *Salmon dan Johnson, (1986)*, tegangan tekuk elastis untuk satu pelat ditentukan oleh persamaan 3.47 sebagai

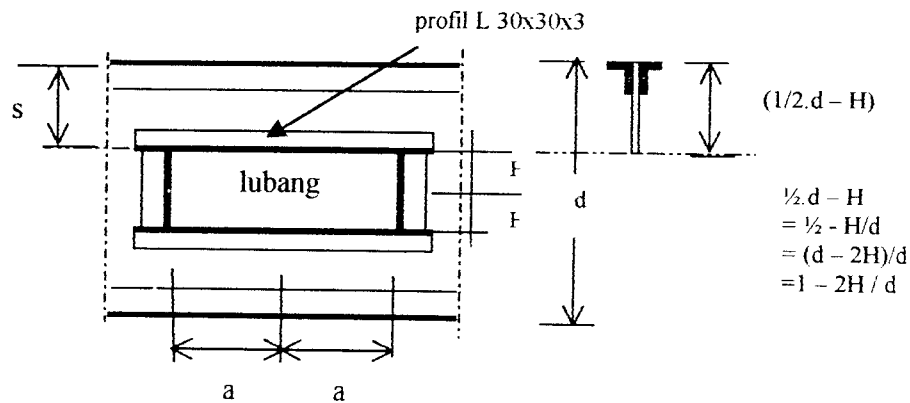
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.48)$$

Untuk kasus geser murni lihat Gambar 3.7 persamaan 3.47 bisa dituliskan sebagai (dengan mengganti F dengan τ untuk tegangan geser)

$$\tau_{cr} = k_n \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{\text{sisipendek}}{t} \right)^2} \quad (3.49)$$

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

Kusman dan Cooper (1976) menyatakan bahwa kenaikan kapasitas gelagar pelat dipengaruhi oleh luas perkuatan bagian atas atau bawah lobang pada badan gelagar pelat.



Gambar 3.14 Propertis lobang dengan pengaku.

$$V_p = \frac{A_w \cdot F_y}{\sqrt{3}} \quad (3.50)$$

A_w = luas badan

A_r = luas pengaku lobang

$$\frac{F_y}{\sqrt{3}} = \tau_y \quad (3.51)$$

$$V_p = A_w \cdot \tau_y \quad (3.52)$$

$$A_{r0} = \frac{\alpha \cdot I_w}{\sqrt{3}} \quad (3.53)$$

Untuk $A_r < A_{r0}$:

$$\left(\frac{V_n}{V_p} \right)^2 = \frac{4}{3} \left(\frac{a}{d} \right)^2 \alpha - \left(\frac{A_f}{A_w} \beta \right)^2 \quad (3.54)$$

$$\alpha = \frac{3}{16} \left(\frac{d}{a} \right)^2 \left[1 - \frac{2H}{d} \right]^2 \quad (3.55)$$

Untuk $A_r \geq A_{r0}$:

$$\frac{V_n}{V_p} = 1 - \frac{2H}{d} \quad (3.56)$$

Geser yang dinyatakan oleh persamaan 3.56 merupakan maksimum yang dapat didukung oleh daerah badan yang ada. Luas pengaku (A_r) dan tinggi lubang (H) serta panjang lubang (a) sangat mempengaruhi nilai rasio V_n/V_p dimana semakin besar luas pengaku (A_r) maka tegangan geser nominal (V_n) yang mampu ditahan semakin besar.

3.4 Perencanaan Pengaku

Pengaku umumnya diperlukan bila pelat badan sangat tipis, perbandingan h/t_w besar dan tegangan geser badan relatif tinggi. Pengaku secara efektif akan menambah kapasitas geser terhadap tekukan geser badan. Pengaku hampir selai diperlukan oleh spesifikasi dibawah beban yang terkonsentrasi dan pada reaksi gelagar pelat (*Bowles, 1985*).

Bila kekuatan geser gelagar pelat tergantung pada keikutsertaan medan tarik maka untuk mencapai kesetimbangan diperlukan pengaku pada badan gelagar hingga sayap untuk memperkaku gelagar dan diketahui bahwa suatu pelat yang diperkaku oleh sayap dan pengaku transversal memiliki kekuatan pasca tekuk yang cukup besar.

3.4.1. Pengaku Dukung / Landasan

Pengaku dukungan diperlukan secara berpasangan dan diletakan diatas reaksi-reaksi. Pengaku dukungan juga diperlukan dibawah beban terkonsentrasi yang diangkut oleh gelagar pelat (*Salmon dan Johnson, 1996*).

Pengaku tumpu yang mentransmisikan beban tekan didesain sebagai kolom. Panjang efektif kl menurut LRFD harus diambil sama dengan $0.75h$. Rasio kelangsingan dihitung sebagai

$$\frac{KL}{r} = 0.75 \frac{h}{r} \quad (3.57)$$

dengan h = kedalaman pelat badan

$$r = \text{jari-jari girasi} = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.58)$$

luas efektif A_e yang dihitung dengan menggunakan kekuatan kolom P_n .

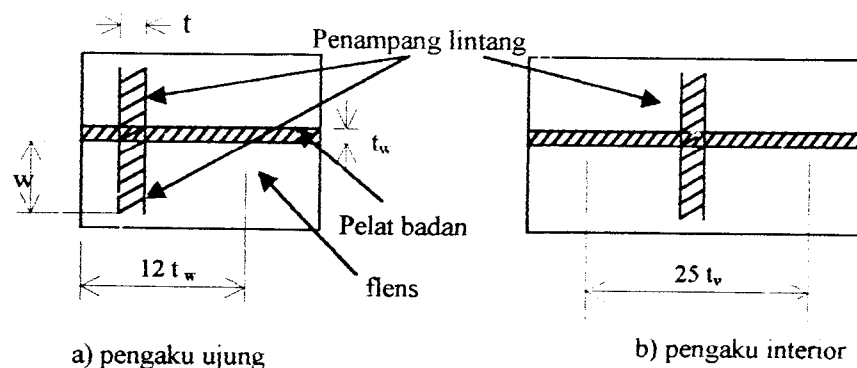
Persyaratan menurut LRFD adalah

$$\phi_c P_n \geq P_u \quad (3.59)$$

dengan ϕ = faktor resistansi = 0.85, $P_n = F_{cr} A_e$, P_u = beban tekan terpusat terfaktor, F_{cr} = tegangan tekuk kolom, A_e = luas kolom yaitu mencakup luas pelat pengaku dan luas pelat badan daerah pengaruhnya.

Menurut *Salmon dan Johnson, (1996)*, luas efektif yang diperlukan adalah

$$A_{e \text{ perlu}} = \frac{P_u}{\phi_c F_{cr}} \quad (3.60)$$



Gambar 3.15 Penampang Lintang Efektif Pengaku Tumpu (*Salmon dan Johnson, 1992*).

Persyaratan tumpu yang harus dipenuhi oleh LRFD adalah

$$\phi_c R_n \geq P_u \quad (3.61)$$

dengan $\phi = 0.75$, $R_n =$ kekuatan tumpu nominal $= 2.F_y.A_{pb}$, $A_{pb} =$ luas kontak pengaku yang menumpu pada sayap.

Persyaratan tegangan ijin adalah

$$f_a \leq F_a \quad (3.62)$$

dengan $f_a = P/A_e$. $P =$ beban terpusat layanan. $A_e =$ luas kolom yaitu mencakup luas pelat pengaku dan luas pelat badan daerah pengaruhnya.

$F_a =$ tegangan kolom ijin.

untuk $\frac{KL}{r} < C_c$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{SF} \quad (3.63)$$

$$SF = \frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3} \quad (3.64)$$

untuk $\frac{KL}{r} > C_c$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \quad (3.65)$$

$$\text{dimana: } C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (3.66)$$

3.4.2. Pengaku Antara

Gelagar pelat biasanya didesain menggunakan pengaku antara. Pengaku antara tidak diperlukan apabila memenuhi syarat-syarat dibawah ini

$$\frac{h}{t_w} \leq 260 \quad (3.67)$$

dan $V_n \leq C_v (0,6 F_{yw}) A_w \quad (3.68)$

bila $\frac{1100}{\sqrt{F_{yw}}} < \frac{h}{t_w} < \frac{1400}{\sqrt{F_{yw}}}$

maka $C_v = \frac{1100}{\frac{h}{t_w} \sqrt{F_{yw}}} \text{ (tekuk tak elastis)} \quad (3.69)$

bila $\frac{h}{t_w} > \frac{1400}{\sqrt{F_{yw}}}$

maka $C_v = \frac{1516900}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_{yw}} \text{ (tekuk elastis)} \quad (3.70)$

3.4.3. Penempatan Pengaku Lateral

Berdasarkan asumsi bahwa beban transversal dikenakan secara vertikal melalui pusat geser maka perlu ditambahkan pengaku lateral dengan interval tertentu agar kegagalan akibat tekuk puntir lateral pada bagian yang tidak diinginkan dapat dicegah.

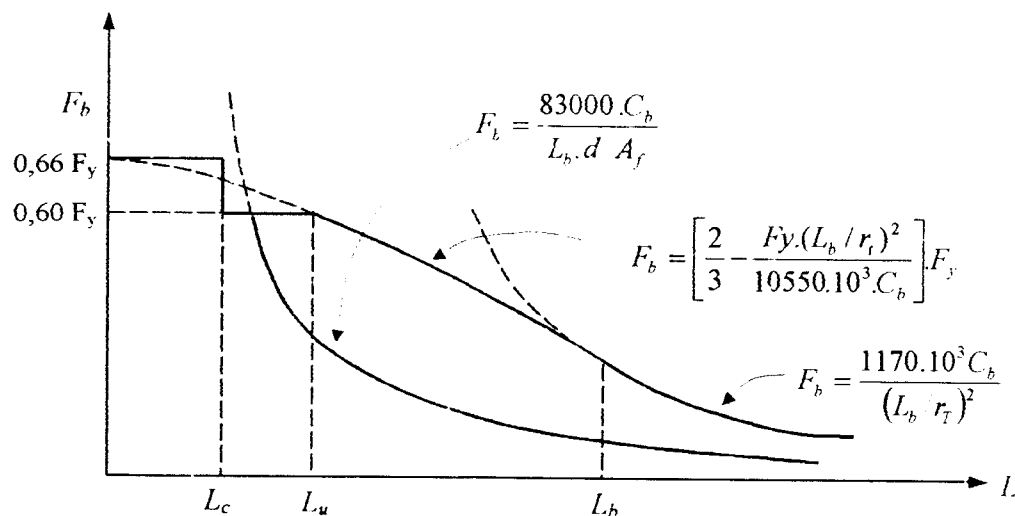
Pengaku lateral pada struktur dua tumpuan sederhana (*simple beam*) akan diperlukan bila syarat kompak pada struktur tersebut tidak terpenuhi. Adapun

syarat kompak dari suatu struktur adalah apabila memenuhi persamaan-persamaan sebagai berikut, (*Salmon dan Johnson, 1996*)

$$\text{Sayap : } \frac{b_f}{2.t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{F_y}}, \text{ MPa} \quad (3.71)$$

$$\text{Badan : } \frac{d}{t_w} \leq \frac{1690}{\sqrt{F_y}}, \text{ MPa} \quad (3.72)$$

Apabila syarat kompak tersebut di atas tidak terpenuhi maka struktur tersebut harus diberi pengaku lateral, dengan ketentuan jarak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.16. Tegangan pada balok dengan lateral support pada jarak tertentu (*Salmon dan Johnson, 1996*)

Dari Gambar 3.16 dapat dilihat bahwa :

1. Apabila : $L < L_c$

Maka tegangan ijin maksimal dipakai : $F_b = 0,66 F_y$.

L_c diambil nilai terkecil dari :

$$L_c = \frac{200.b_f}{\sqrt{F_y}}, \text{ MPa} \quad (3.73)$$

$$L_c = \frac{138000}{(d/A_f)F_y}, \text{ MPa} \quad (3.74)$$

2. Apabila : $L_c < L < L_u$

Maka tegangan ijin maksimal dipakai : $F_b = 0,60 F_y$

L_u diambil nilai terbesar dari :

$$L_u = \frac{2900}{(d/A_f)F_y}, \text{ MPa} \quad (3.75)$$

$$L_u = r_t \sqrt{\frac{14800.c_b}{F_y}}, \text{ MPa} \quad (3.76)$$

dimana : r_t seperti pada persamaan 3.77

$$r_t = \sqrt{\frac{1/12.t_f.b_f^3}{t_f.b_f + 1/6.t_w(d - 2t_f)}} \quad (3.77)$$

3. Apabila : $L_u < L < r_t \sqrt{\frac{510000.c_b}{F_y}}, \text{ MPa}$

Maka tegangan F_b diambil nilai terbesar dari persamaan :

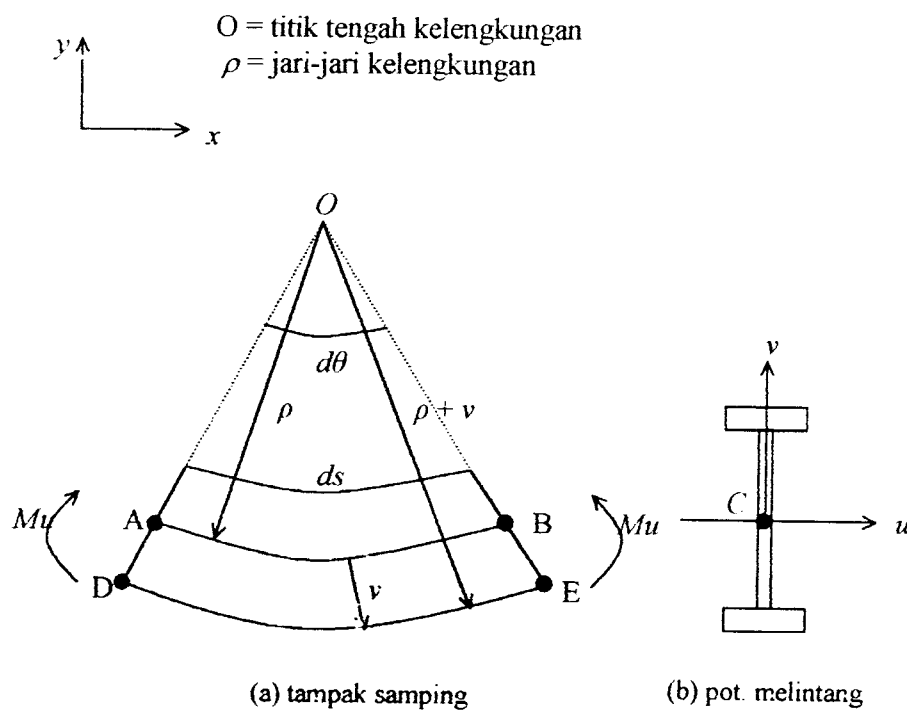
$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y.(L_b/r_t)^2}{10550.10^3.C_b} \right] F_y, \text{ MPa} \quad (3.78)$$

$$F_b = \frac{83000.C_b}{L.(d/A_f)}, \text{ MPa} \quad (3.79)$$

3.5 Hubungan Momen dengan Kelengkungan

kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan satuan, *Gere dan timoshenko, (1985)*. Kekakuan lentur (*Flexural stiffness*) EI didefinisikan sebagai momen per unit kelengkungan (*West, 1980*)

Perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi, yaitu saat kondisi elastis, leleh, elastis-plastis dan plastis. Teori defleksi balok dipengaruhi oleh geometri atau kinematika dari sebuah elemen balok. Kinematika dasar yang menghipotesa bahwa irisan-irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap merupakan bidang datar selama berdeformasi.



Gambar 3.17. Deformasi segmen balok dalam lenturan

Elemen differensial balok untuk lentur murni ditunjukkan pada Gambar 3.17. Sumbu u dan v pada potongan melintang, adalah sumbu utama yang ditunjukkan

pada Gambar 3.17b. AB adalah garis netral, pada garis netral ini garis tidak memendek ataupun memanjang. Regangan pada garis netral didapatkan dari persamaan :

$$\varepsilon_x = \frac{\text{panjang akhir} - \text{panjang awal}}{\text{panjang awal}} \quad (3.80)$$

Dengan substitusi didapat :

$$\varepsilon_x = \frac{(\rho + v)d\theta - \rho.d\theta}{\rho.d\theta} = \frac{v}{\rho} \quad (3.81)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dengan regangan linier, didapat :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{-\varepsilon_x}{v} \quad (3.82)$$

Karena sifat beban tidak diperhitungkan maka hubungan ini digunakan untuk masalah-masalah elastis maupun tidak.

$$\sigma_x = E.\varepsilon_x \quad (3.83)$$

sehingga :

$$\varepsilon_x = \frac{Mu_v}{EI_u} \quad (3.84)$$

Substitusi Persamaan 3.37 ke Persamaan 3.38 akan diperoleh :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{Mu_v}{EI_u} \quad (3.85)$$

Dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\pm d^2v/dx^2}{[1 + (dv/dx)^2]^{3/2}} \quad (3.86)$$

karena kemiringan dv/dx dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka :

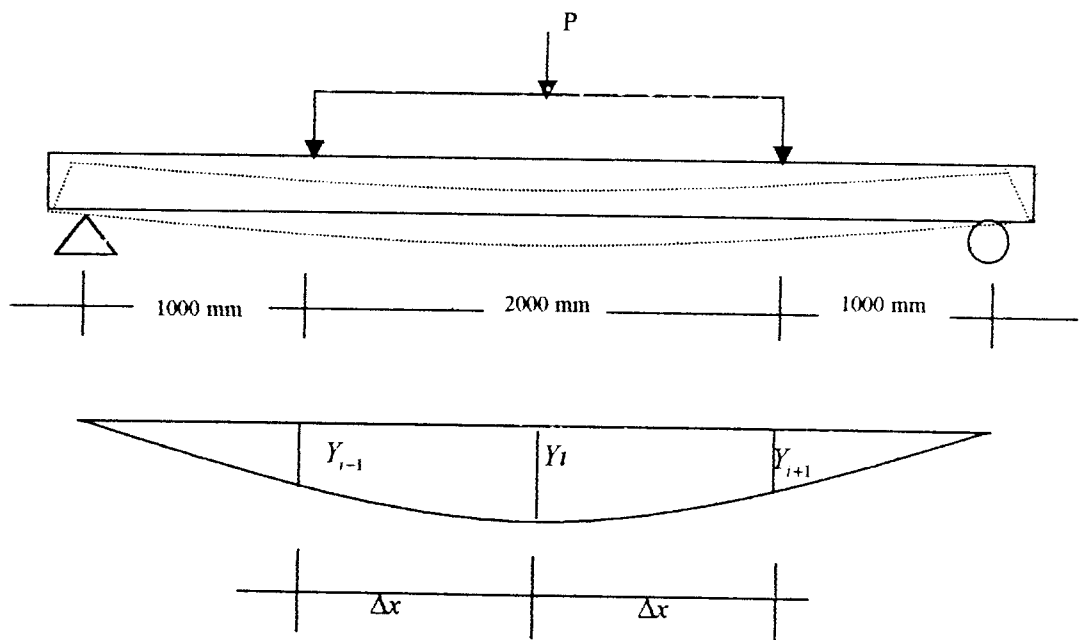
$$(dv/dx)^2 \approx 0 \quad (3.87)$$

Persamaan 3.88 disubstitusi dengan Persamaan 3.89 menjadi :

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI_u} \quad (3.88)$$

$$EI_u = \frac{M}{(d^2v/dx^2)} \quad (3.89)$$

Dari hasil pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik-titik pembebanan:



Gambar 3.18. Momen kelengkungan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.90)$$

turunan kedua Persamaan (3.90) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.91)$$

karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka

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

sehingga Persamaan (3.91) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.92)$$

selanjutnya dari Persamaan (3.92) didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.93)$$

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

$$M = EI \cdot \phi$$

$$M = EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.94)$$

Mengacu pada Gambar 3.18 didapat momen (M):

$$M = \frac{1}{8} PL \quad (3.95)$$

Dengan menganggap stabilitas lateral sayap tekan memadai, perencanaan balok didasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum.

Distribusi tegangan pada profil sayap lebar tipikal yang mengalami momen lentur yang semakin besar diperlihatkan pada Gambar 3.18. Kekakuan ini didasarkan pada bahan yang tetap elastis sampai titik leleh tercapai, setelah itu tambahan regangan tidak menimbulkan kenaikan tegangan. Pada saat tegangan leleh (F_y) tercapai diserat terluar (S_x) kapasitas momennya disebut momen leleh (M_y) dan dapat dihitung sebagai:

$$M_y = F_y \cdot S_x \quad (3.96)$$

Bila penampang berada dalam kondisi plastis, regangan pada setiap serat sama dengan atau lebih besar dari $\varepsilon_y = F_y/E_y$, dengan kata lain serat berada pada daerah plastis. Besarnya momen plastis yaitu dimana seluruh serat berada pada daerah plastis. Kapasitas momen disebut momen plastis (M_p) dan besarnya :

$$M_p = f_b \int y \cdot dA \quad (3.97)$$

Dengan $z = \int y \cdot dA$ maka :

$$M_p = f_b \cdot z \quad (3.98)$$

Dimana z = modulus plastis.

Terlihat bahwa rasio M_p/M_y adalah sifat bentuk penampang lintang dan tidak bergantung pada sifat bahan. Rasio ini disebut faktor bentuk f .

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{z}{S} \quad (3.99)$$

3.6 Hubungan Beban-Lendutan

Apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti mengalami lendutan. Meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser, suatu balok bisa tidak layak apabila balok terlalu fleksibel. Defleksi yang terlalu

berlebihan harus dihindari karena defleksi yang terlihat dengan mata dapat mengurangi keyakinan terhadap kekuatan struktur.

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

Hubungan beban-lendutan ditunjukkan :

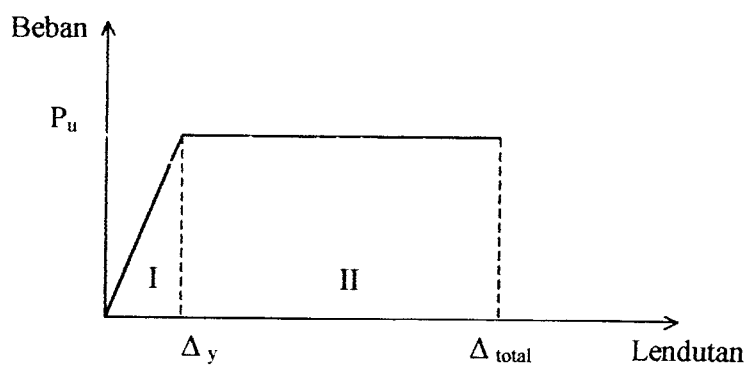
$$\Delta = \frac{23.P.L^3}{648.EI} \quad (3.100)$$

dengan :

Δ	= defleksi balok	L	= panjang bentang balok
P	= beban balok	I	= Momen Inersia penampang
E	= modulus elastis bahan		

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

3.19.



Gambar 3.19 Hubungan Beban dan Lendutan pada Balok

Pada daerah I yaitu pada daerah praretak, balok masih bersifat elastis penuh, tegangan tarik maksimal yang terjadi pada baja masih lebih kecil dari kuat

tarik lentur baja, kekakuan lentur EI balok masih mengikuti modulus elastisitas (E_c) baja dan momen inersia penampang balok baja.

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

3.7 Pengelompokan Baja Berdasarkan tegangan Leleh

Berdasarkan besar tegangan leleh, *Padosbajayo, (1992)* membagi baja dalam empat kelompok, dengan kisaran tegangan leleh sebagai berikut :

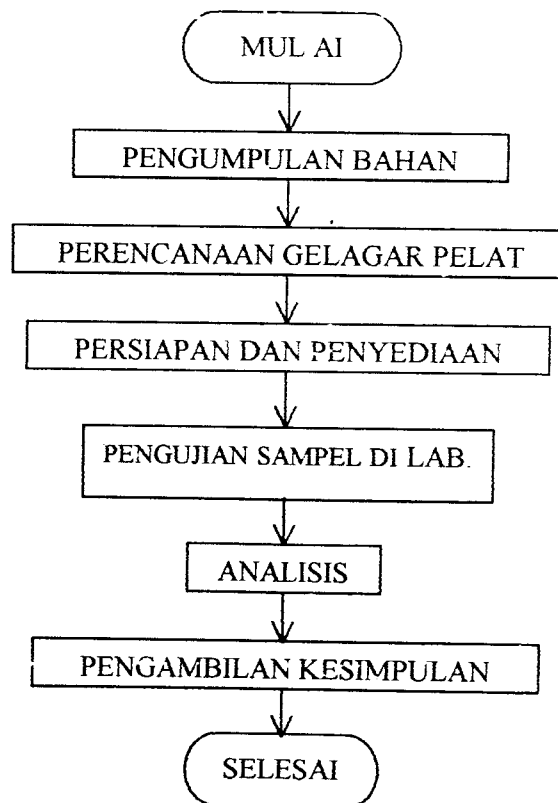
- a. *Carbon Steels*, tegangan leleh 210-280 MPa
- b. *High-Strength Low-Alloy Steels*, tegangan leleh 280-490 MPa
- c. *Heat-Treated Carbon and High-Strength Low-Alloy Steels*, tegangan leleh 322-700 MPa
- d. *Heat-Treated Constructional Alloy Steels*, tegangan leleh 630-700 MPa.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah suatu cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Jalannya penelitian dapat dilihat dari bagan alir seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Bagan Alir metode penelitian

4.2. Persiapan Bahan dan Alat

Sebelum melaksanakan penelitian perlu diadakan persiapan bahan dan alat yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian.

4.2.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

a. Pelat baja

1. Pelat baja tebal 2 mm digunakan sebagai badan dari gelagar pelat
2. Pelat baja tebal 3 mm digunakan sebagai pelat pengisi

b. Profil siku

Profil siku L30x30x3 digunakan sebagai :

1. sayap gelagar pelat
2. pengaku pada dukungan, pengaku pada lubang sebagai perkuatan

c. Baut

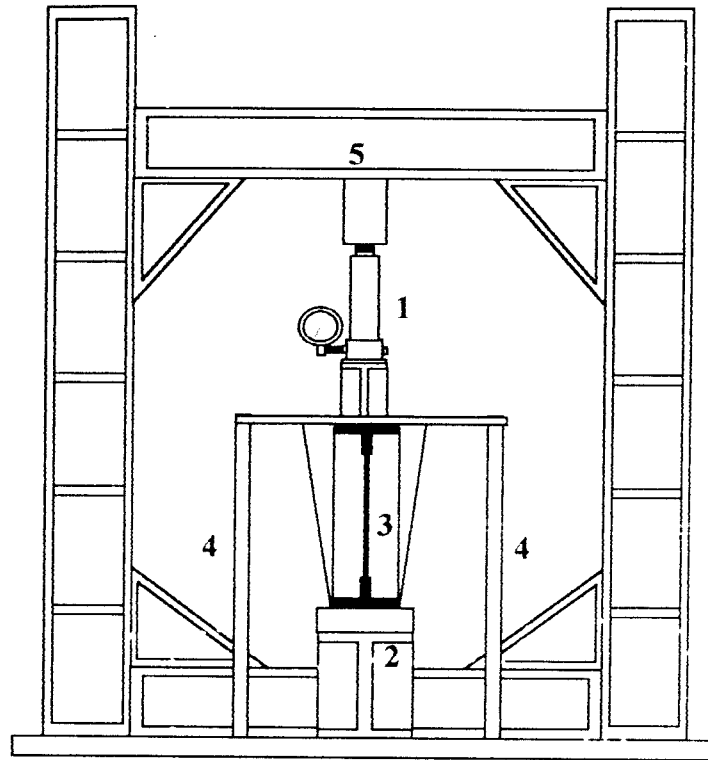
Baut ϕ 5mm digunakan sebagai alat sambung

4.2.2 Peralatan Penelitian

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

a. Mesin Uji Kuat Tarik

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu Universal Testing Material (UTM) merk Shimadzu type UMH-30 dengan kapasitas 30 ton, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.



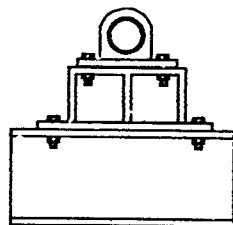
Gambar 4.3. Bentuk fisik *Loading Frame*

Keterangan :

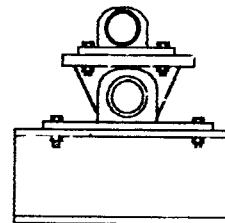
- | | |
|-------------------|-------------------------|
| 1. Hydraulic Jack | 4. Pengaku lateral |
| 2. Dukungan | 5. Baja WF 450x200x9x14 |
| 3. Benda uji | |

c. Dukungan sendi dan rol

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



(a.) Dukungan Sendi

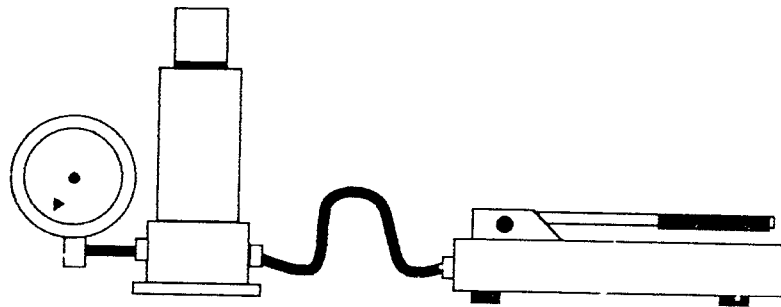


(b.) Dukungan Rol

Gambar 4.4. Dukungan Sendi dan Rol

d. Hidraulic Jack

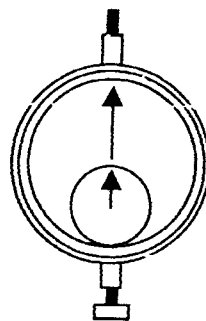
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak gelagar pelat kantilever dengan beban sentris P yang mempunyai kapasitas maksimum 20 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,3 ton. Alat tersebut dapat dilihat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. *Hidraulic Jack*

e. Dial Gauge

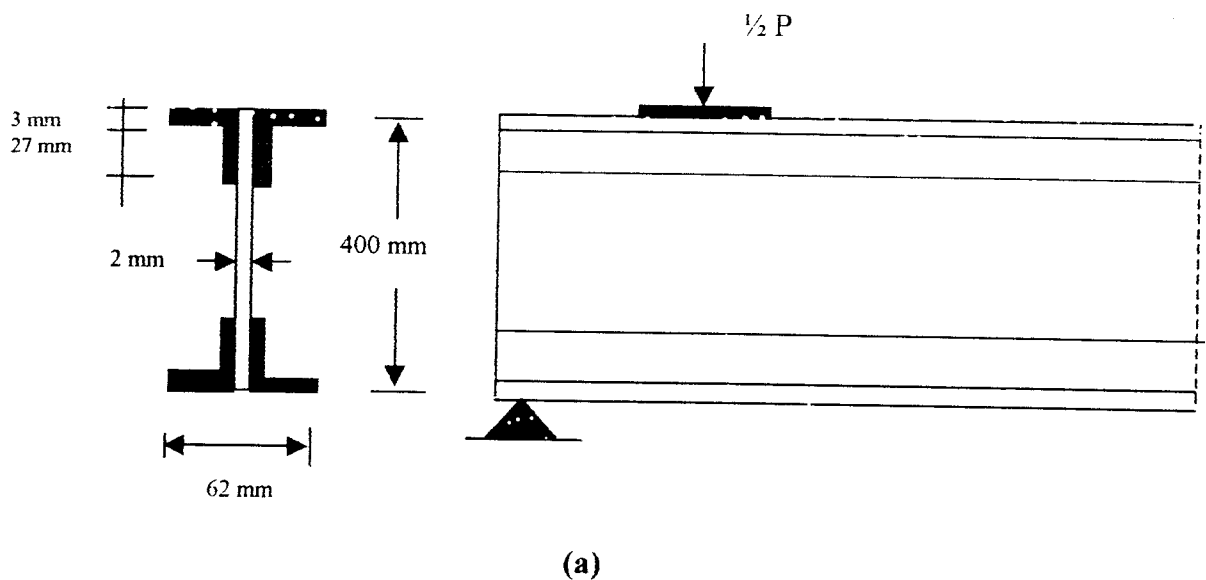
Dial Gauge digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dengan ketelitian pembacaan *dial* 0,01 mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6. Pada penelitian tugas akhir ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah. 2 buah diletakkan di bawah gelagar pelat tepat pada beban titik, 1 buah pada tengah bentang dibawah gelagar pelat



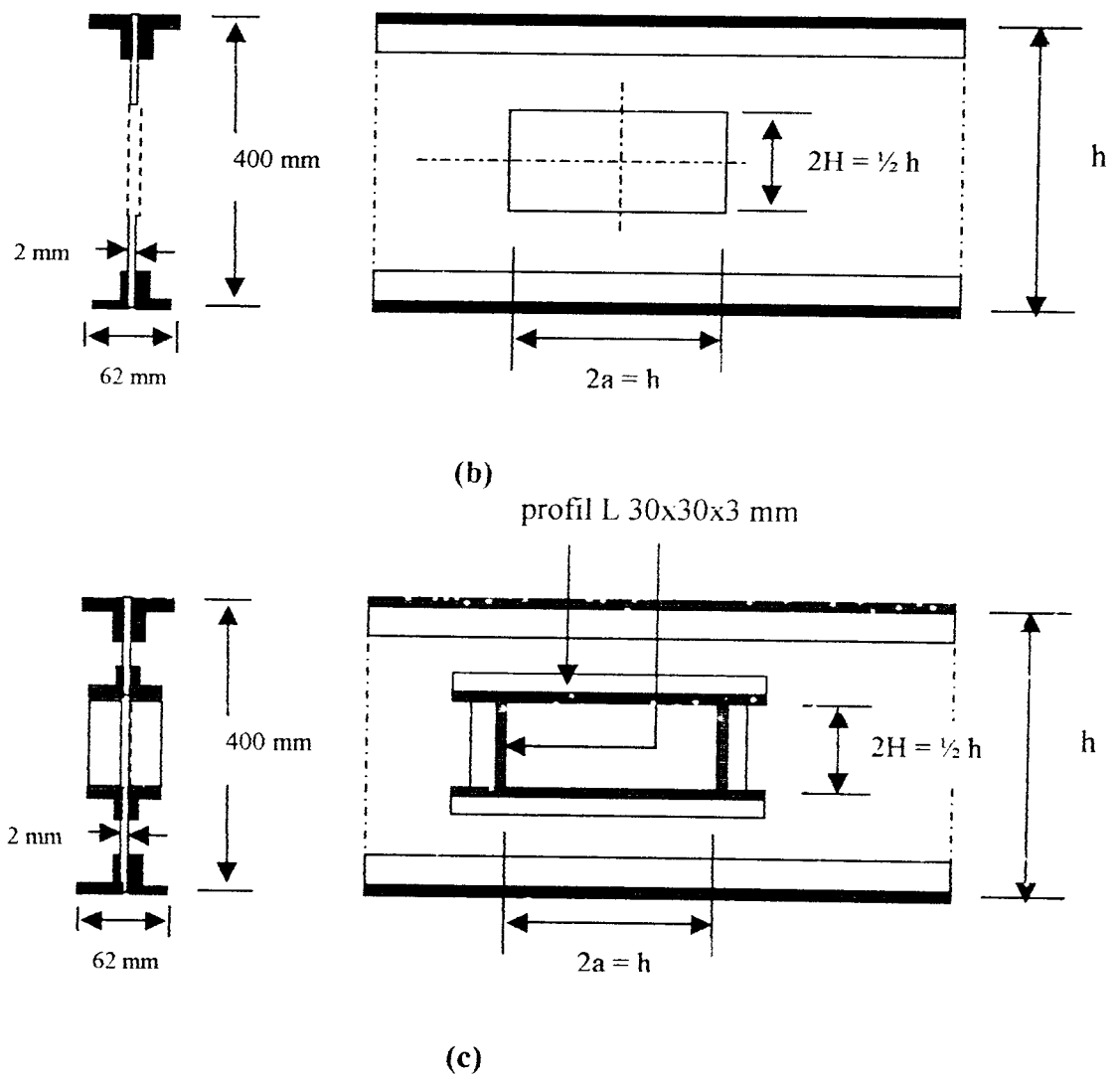
Gambar 4.6. *Dial Gauge*

4.3. Model Benda Uji

Model benda uji dalam penelitian ini berupa rangkaian profil I gelagar pelat dengan panjang 4 m (tumpuan sederhana / simple beam), merupakan gelagar pelat profil I yang disusun dari lempengan pelat dengan tebal 2 mm sebagai badan, pelat dengan tebal 3 mm sebagai pelat pengisi, profil siku L 30x30x3 sebagai sayap dan diperkuat dengan alat sambung baut. Benda uji dibuat sebanyak tiga buah sampel (gelagar pelat utuh, gelagar pelat dengan lubang di badan tanpa diperkuat, gelagar pelat dengan lubang di badan diperkuat). alat sambung yang digunakan adalah baut seperti ditunjukkan Gambar 4.7



Gambar 4.7. (a). Model benda uji gelagar pelat utuh, (b). Gelagar pelat dengan lubang dibadan tanpa pengaku, (c). Gelagar pelat dengan lubang dibadan dengan pengaku.



Gambar 4.7. lanjutan

4.4 Pembuatan Benda Uji

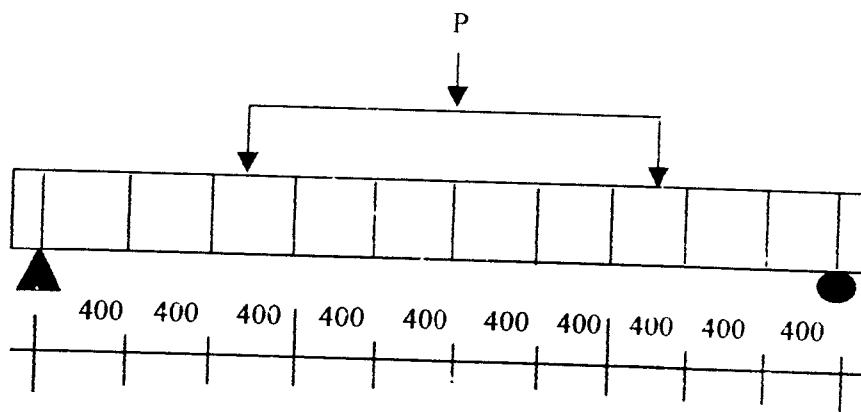
Setelah persiapan bahan dan perhitungan dimensi profil L gelagar pelat , maka selanjutnya adalah pembuatan benda uji sesuai dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Bahan-bahan yang telah disiapkan diukur sesuai dengan rencana.

4.5.2 Pengujian Kuat Lentur

Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan *setting* terhadap peralatan yang akan digunakan, sebagai berikut :

Dukungan rol yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 b diletakan sejauh 2 m dari pusat *loading frame* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan dukungan sendi yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 a diletakan pada *loading frame* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 pada posisi 2 m dari pusat *loading frame*. Kemudian pengaku lateral ditempatkan pada sisi kiri dan kanan benda uji dengan jarak setiap 500 mm sesuai dengan perencanaan pada Gambar 4.9 untuk menahan benda uji agar tidak mengalami tekuk lateral ke arah samping. Selanjutnya *Hidraulic Jack* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 diletakkan di atas balok sepanjang 2 meter yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang membebani benda uji dan tiga buah *Dial Gauge* yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 diletakkan di bawah benda uji.



Gambar 4.9. Gelagar Pelat simple beam dengan $L_c = 400$ mm

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Dilakukan pengujian kuat tarik baja berupa profil L30x30x3 yang diambil bagian sayap dan pelat baja dengan tebal 2 mm masing-masing sebanyak 3 sampel yang hasilnya dapat dilihat pada Lampiran 2. Pengujian kuat tarik baja ini dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII. Dari pengujian tersebut mendapatkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

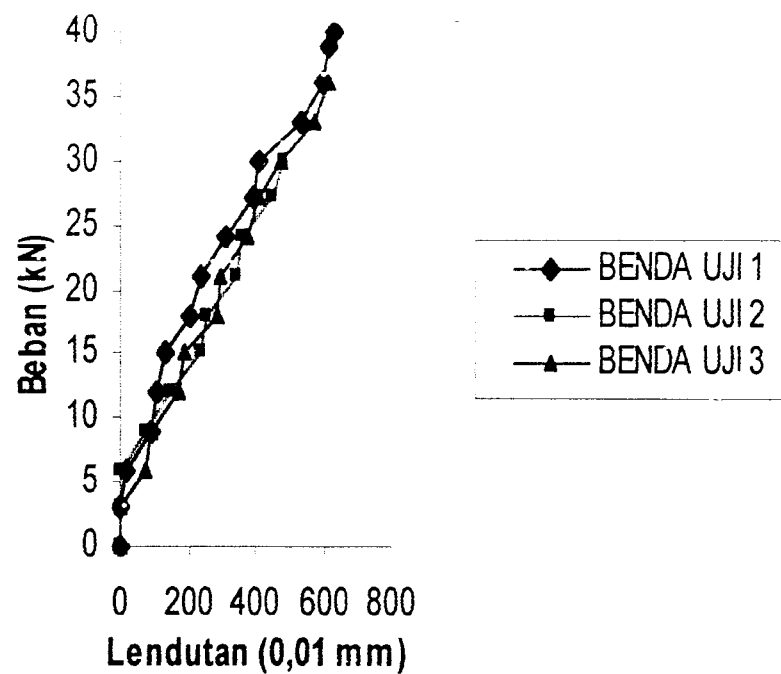
No.	Jenis Pengujian	F_y (Mpa)	F_u (Mpa)
1	Kuat Tarik Pelat	240	260
2	Kuat Tarik Profil L (siku)	160	380

5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Simple Beam

Pengujian kuat lentur gelagar pelat simple beam dilaksanakan di laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Foto-foto pelaksanaan pada Lampiran 6 dan hasil pembebanan benda uji dapat dilihat pada Lampiran 3, dari hasil pengujian didapat grafik hubungan beban-lendutan dan momen kelengkungan.

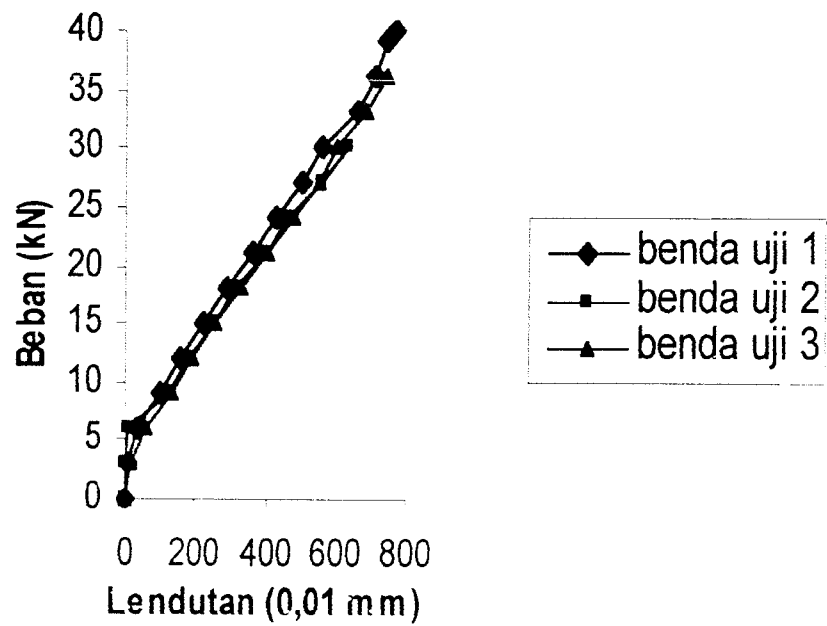
5.2.1 Hubungan Beban-Lendutan

Pengujian kuat lentur gelagar pelat ini diberikan dua beban titik sepanjang 2,0 m di tengah bentang, kemudian secara bertahap gelagar pelat tersebut diberi kenaikan beban sebesar 300 kg (3,0 kN), kemudian setiap tahap pembebanan, lendutan yang terjadi dicatat. Data pengujian dapat dilihat pada Lampiran 2. Dari data hasil pengujian ketiga benda uji tersebut dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1.

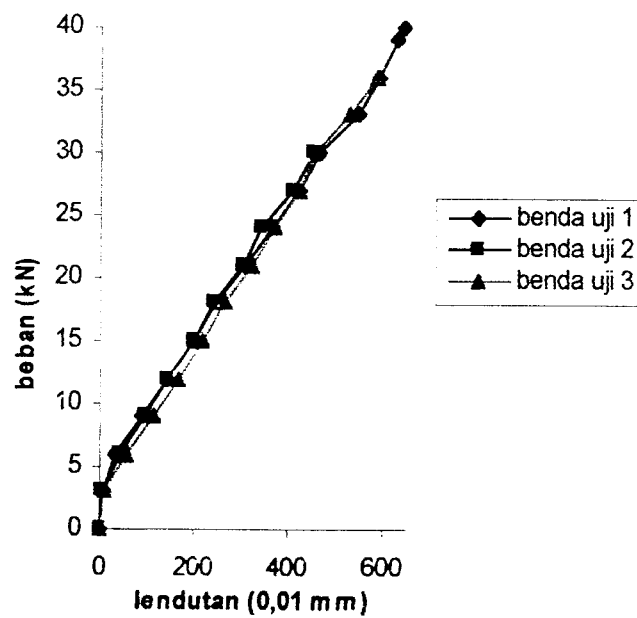


Grafik hubungan beban-lendutan dial 1 dari ketiga benda uji

Gambar 5.1 Grafik hubungan beban-lendutan masing-masing dial dari ketiga benda uji



Grafik hubungan beban-lendutan dial 2 dari ketiga benda uji



Grafik hubungan beban-lendutan dial 3 dari ketiga benda uji

Gambar 5.1 Lanjutan

5.2.2 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan

Dari data hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) pada Gambar 5.1 dapat disimpulkan tentang kekakuan gelagar pelat seperti pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan.

Benda Uji	Beban (P) kN	Lendutan (Δ) Mm	Kekakuan (P/Δ) kN/mm	Kekakuan %
Benda Uji 1 (berbadan solid)	40	7,7	5,195	100
Benda Uji 2 (dg lubang di badan tanpa diperkaku)	30	6,37	4,709	90,645
Benda Uji 3 (dg lubang di badan diperkaku)	36	7,45	4,832	93,013

5.2.3 Hubungan Momen-Kelengkungan

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) sehingga dapat dicari momem (M) dan kelengkungan (Φ)

Tabel 5.3. Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Benda Uji 1

No.	Beban	defleksi (0,01mm)			Momen (kN/mm) $M = (1.8).P.L$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	0	7	11	1500	7,5.E-9
3	6	20	35	35	3000	3,75E-8
4	9	92	97	88	4500	3,5.E-8
5	12	109	159	141	6000	1,7.E-7
6	15	134	225	198	7500	2,95.E-7
7	18	206	287	248	9000	3,0.E-7
8	21	234	360	308	10500	4,45.E-7
9	24	312	430	365	12000	4,57.E-7
10	27	395	500	423	13500	4,55.E-7
11	30	412	558	466	15000	5,95.E-7
12	33	532	659	545	16500	6,025.E-7
13	36	592	711	590	18000	6,0.E-7
14	39	615	745	625	19500	6,25.E-7
15	40	630	770	641	20000	6,725.E-7

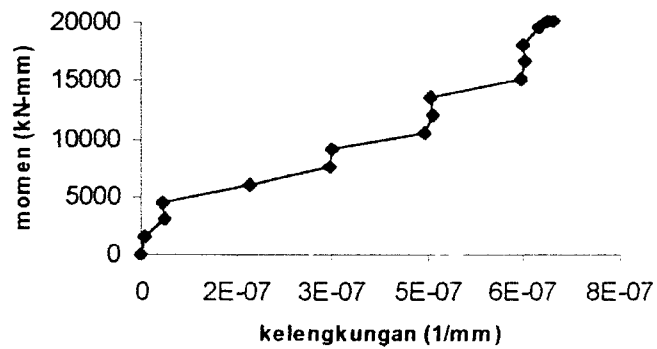
Tabel 5.4. Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Benda Uji 2

No.	Beban	defleksi (mm)			Momen (kN/mm) $M = (1/8).P.L$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	0	0	3	1500	7.5E-09
3	6	4	5	41	3000	8.75E-08
4	9	73	125	95	4500	2.05E-07
5	12	145	1815	141	6000	1.925E-07
6	15	234	258	197	7500	2.125E-07
7	18	254	3175	240	9000	3.525E-07
8	21	340	403	304	10500	4.05E-07
9	24	358	460	342	12000	5.5E-07
10	27	446	559.5	406	13500	6.675E-07
11	30	480	637	450	15000	8.6E-07

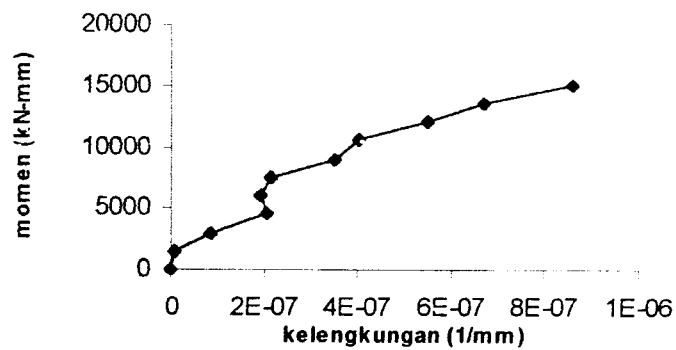
Tabel 5.5. Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Benda Uji 3

No.	Beban	defleksi (mm)			Momen (kN/mm) $M = (1/8).P.L$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	0	13	9	1500	4.25E-8
3	6	71	61	59	3000	2.0E-8
4	9	90	128	116	4500	1.25E-7
5	12	171	192	166	6000	1.175E-7
6	15	190	259	216	7500	2.8E-7
7	18	289	329	267	9000	2.55E-7
8	21	294	407	322	10500	4.95E-7
9	24	375	475	370	12000	5.125E-7
10	27	409	555	423	13500	6.95E-7
11	30	476	602	454	15000	6.85E-7
12	33	573	687	527	16500	6.85E-7
13	36	609	745	582	18000	7.475E-7

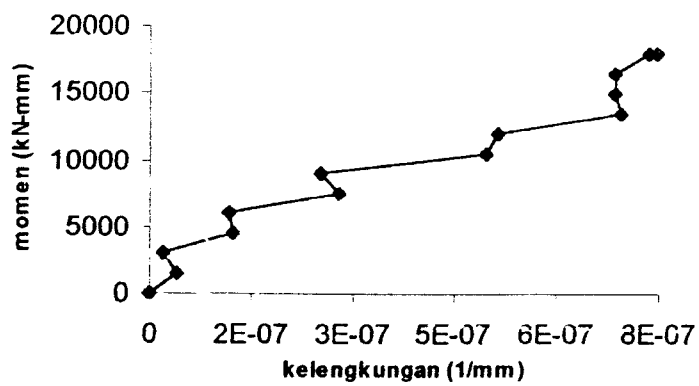
Dari Tabel hubungan momen-kelengkungan diatas didapat grafik hubungan momen-kelengkungan lentur (vertikal).



(a). Grafik hub. momen-kelengkungan benda uji 1

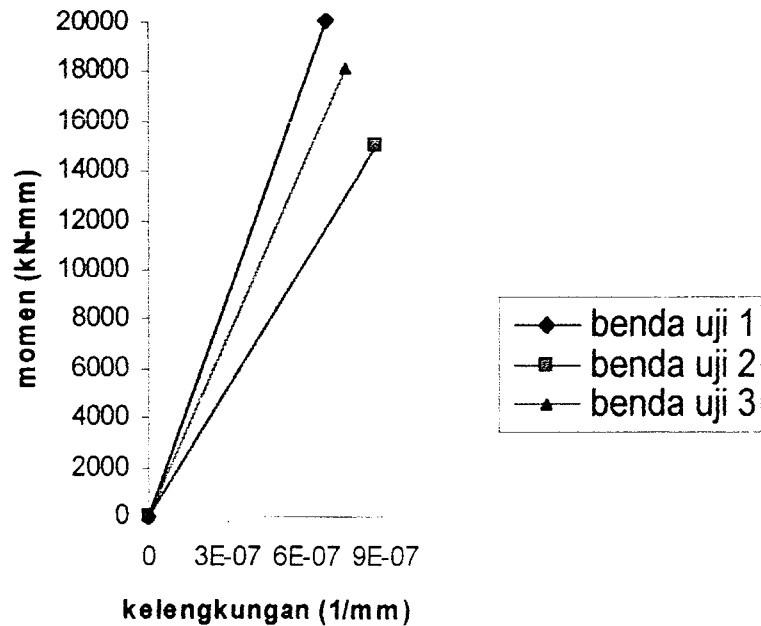


(b). Grafik hub. momen-kelengkungan benda uji 2



(c). Grafik hub. momen-kelengkungan benda uji 3

Gambar 5.2 Grafik hubungan momen kelengkungan masing-masing benda uji



Gambar 5.3. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan dari Tiga Benda Uji

Dari Gambar 5.3 Tampak bahwa ketiga benda uji mengalami tekuk lokal.

$$\text{nilai } F_{cr} = \frac{M}{S} < F_y$$

5.2.4 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Hasil pengamatan seperti pada Gambar 5.3. dapat dicari kekakuan gelagar pelat simple beam seperti ditunjukkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.6. Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan lentur (vertikal)

Benda Uji	Momen (M) $kN-mm$	Kelengkungan (Φ)/ mm	$EI = M'(\Phi)$ $kN-mm^2$	EI (%)
Benda Uji 1 (berbadan solid)	20000	6,725E-07	2,974E+10	100
Benda Uji 2 (dg lubang di badan tanpa diperkaku)	15000	8,60E-07	1,744E+10	58,64
Benda Uji 3 (dg lubang di badan diperkaku)	18000	7,475E-07	2,408E+10	80,97

5.3 Analisa kerusakan pada benda uji

Dalam penelitian gelagar pelat simple beam ini terjadi kerusakan di badan dan sayap pada bagian lubang yang menerima beban. Kerusakan tersebut dapat dilihat pada foto-foto dalam lampiran 6.

5.4 Pembahasan

5.4.1 Kuat Tarik Baja Berdasarkan Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik pelat baja maka baja dengan $F_y = 240$ MPa dan $F_u = 260$ MPa dapat digolongkan sebagai baja karbon, dan hasil pengujian kuat tarik Profil L30x30x3 dengan $F_y = 160$ MPa dan $F_u = 380$ MPa maka baja dapat digolongkan sebagai baja karbon, dengan asumsi bahwa F_y kurang dari 210 MPa termasuk baja karbon.

5.4.2 Kuat Lentur Vertikal Gelagar Pelat Simple Beam Berdasarkan Hubungan Beban-Lendutan

Dengan mengamati hubungan beban-lendutan ketiga benda uji pada Gambar 5.1 dapat dilihat bahwa ketiganya mempunyai perilaku yang hampir sama yaitu mulai dari titik awal sampai beban maksimum kemudian beban tetap maksimum dengan lendutan yang semakin bertambah besar. Gelagar pelat utuh mempunyai kekakuan berdasarkan hubungan beban-lendutan sebesar 6,987 % lebih baik dari gelagar pelat dengan lubang di badan diperkaku, sedangkan gelagar pelat dengan lubang di badan diperkaku sebesar 9,355 % lebih baik dari yang tidak diperkaku. Gelagar pelat utuh dapat memikul beban maksimum 40 kN, gelagar pelat dengan lubang di badan diperkaku dapat memikul beban maksimum

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Gelagar pelat berbadan solid mampu menahan beban maksimum sebesar 40 kN dengan besar lendutan maksimum sebesar 7,70 mm yang terletak ditengah bentang dan kekakuan akibat hubungan beban-lendutan sebesar 5,195 kN/mm dan untuk hubungan momen-kelengkungan nilai kekakuan EI sebesar $2,974E+10$ kN-mm².
2. Gelagar pelat dengan lubang di badan tanpa diperkaku dapat menahan beban maksimum sebesar 30 kN dan besar lendutan maksimum sebesar 6,37 mm yang terletak ditengah bentang dan kekakuan akibat hubungan beban-lendutan sebesar 4,709 kN/mm dan untuk hubungan momen-kelengkungan nilai kekakuan EI sebesar $1,744E+10$ mm².
3. Gelagar pelat dengan lubang di badan diperkaku dapat menahan beban maksimum sebesar 36 kN dan besar lendutan maksimum sebesar 7,45 mm yang terletak di tengah bentang dan kekakuan akibat hubungan beban-

lendutan sebesar 4,832 kN/mm dan untuk hubungan momen-kelengkungan nilai kekakuan EI sebesar $2,408E+10$ mm².

4. Mengasumsikan bahwa gelagar pelat berbadan solid memiliki kapasitas 100%, dengan pemberian lubang di badan tanpa diperkaku akan menurunkan kapasitas sebesar 25%, setelah diberi pengaku di sekitar lubang, kapasitasnya naik sebesar 15%. Jadi pemberian pengaku pada sekitar lubang akan meningkatkan kapasitas.

6.2 Saran

1. Untuk meningkatkan kapasitas dari suatu gelagar pelat yang mempunyai lubang di badan sebaiknya diberi pengaku di sekitar lubang agar mendapatkan gelagar pelat yang kuat.
2. Pada penelitian ini belum diukur lendutan kesamping akibat tekuk lateral, sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai tekuk lateral pada gelagar pelat dengan pemberian lubang di badan.
3. Pada penelitian ini pengaku lubang yang digunakan hanya satu variasi, sehingga perlu adanya penelitian dengan bermacam-macam variasi pengaku lubang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles JE, 1985, *Desain Baja Konstruksi* (alih bahasa Pantur Silaban, PhD), PT Erlangga, Jakarta.
- Redwood R.G, 1982, *Design Of I-Beam With Web Perforations*, Departemen of Civil Engineering and Applied Mechanics, Mc Gill University, Montreal, Canada.
- Salmon C.G, Johnson J.E, 1986, *Struktur Baja Desain dan Perilaku* (alih bahasa Ir. Wira MSCE), PT Erlangga, Jakarta.
- Spiegel L. Limbrunner, GF, 1991, *Desain Baja Terapan* (alih bahasa Ir. Bambang Suryoatmono, MSc), Eresco, Bandung.
- _____, 1995, *AISC-LRFD Manual of Steel Construction* volume I dan II, American Institute of Steel Construction.

LAMPIRAN 1

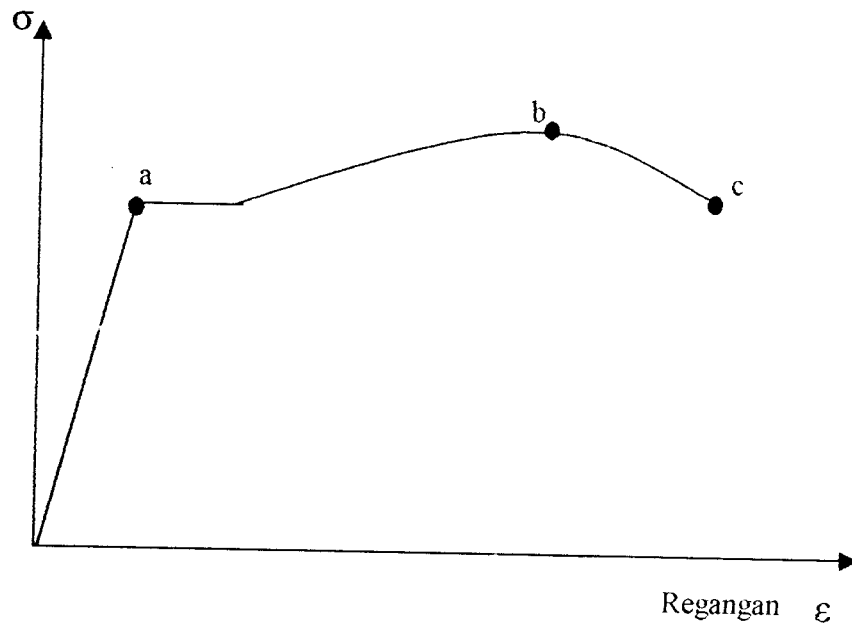
ODE
FA
nbin

LAMPIRAN 2



HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap kuat tarik pelat baja dengan tebal 2 mm dan profil L30x30x3 mm diambil bagian sayapnya. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik sipil UII Yogyakarta pada tanggal 20 september 2002. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut:



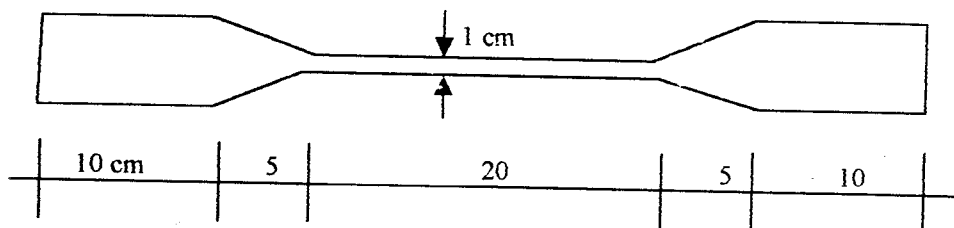
Keterangan:

a = Beban Luluh; b = beban maksimum; c = beban patah

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

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

a. Pelat Baja



Lampiran 2

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

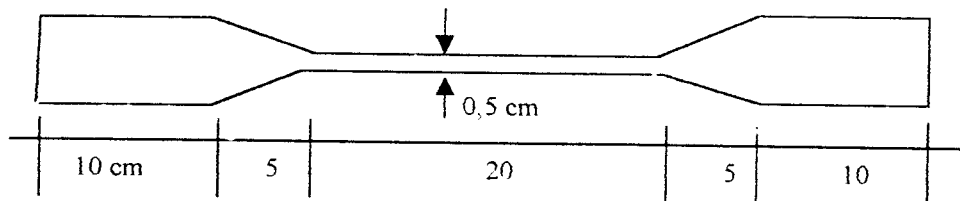
$$A = 1 \text{ cm} \times 0,2 \text{ cm} = 0,2 \text{ cm}^2$$

No	P luluh (kg)	P Maks (Kg)	$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A}$ (kg/cm ²)	$F_y = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$ (kg/cm ²)
1	525	560	2625 = 262,5 MPa	2800 = 280 MPa
2	420	510	2100 = 210 MPa	2550 = 255 MPa
3	480	515	2400 = 240 MPa	2575 = 257,5 MPa

$$F_y = \frac{252,5 + 210 + 240}{3} = 237,5 \text{ MPa, dipakai } F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$F_u = \frac{280 + 255 + 257,5}{3} = 260,167 \text{ MPa, dipakai } F_u = 260 \text{ MPa}$$

b. Profil L 30x30z3



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

$$A = 0,5 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm} = 0,15 \text{ cm}^2$$

No	P luluh (kg)	P Maks (Kg)	$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A}$ (kg/cm ²)	$F_c = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$ (kg/cm ²)
1	267,5	622,5	1783,3 = 178,33 MPa	4150 = 415 MPa
2	205	470	1366,7 = 136,7 MPa	3133,3 = 313,3 MPa
3	285	627,5	1900 = 190 MPa	4183 = 418,3 MPa

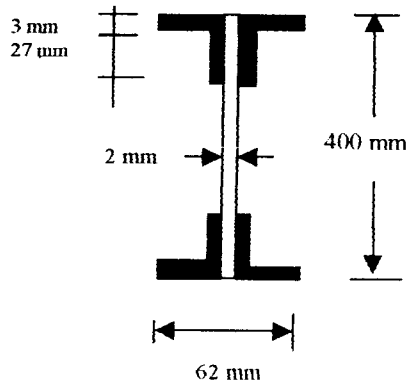
$$F_y = \frac{178,3 + 136,7 + 190}{3} = 168 \text{ MPa, dipakai } F_y = 160 \text{ MPa}$$

$$F_u = \frac{415 + 313,3 + 418,3}{3} = 382,22 \text{ MPa, dipakai } F_u = 380 \text{ MPa}$$

LAMPIRAN 3

Lampiran 3

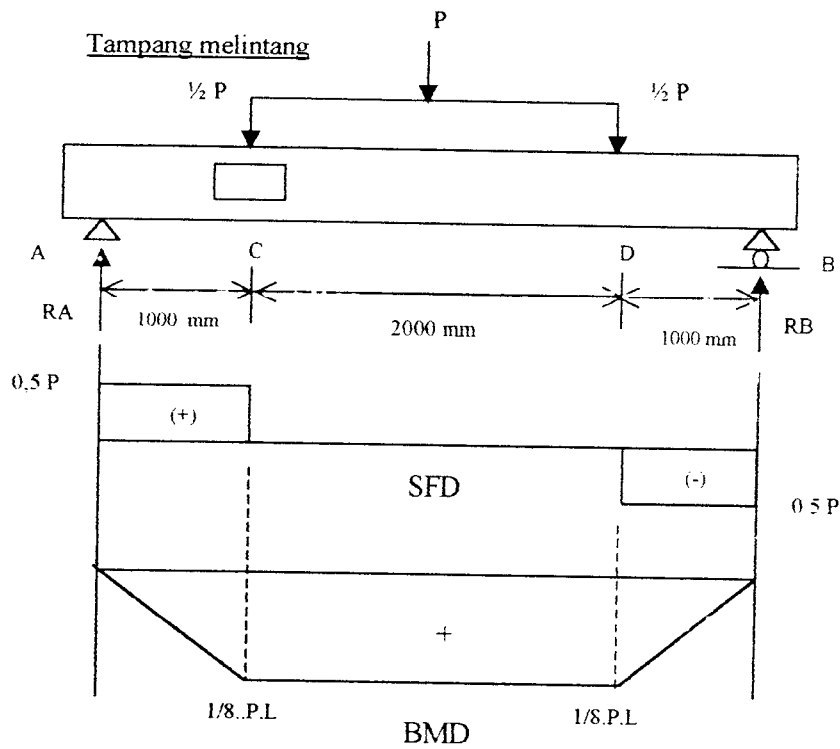
PERHITUNGAN BENDA UJI



$$L/h = 4000 / 394 = 10,15$$

$$h/t = 394 / 2 = 197$$

2^o ccc



$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \cdot 4000 - \frac{1}{2} \cdot P \cdot 3000 - \frac{1}{2} \cdot P \cdot 1000 = 0$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_B \cdot 4000 + \frac{1}{2} \cdot P \cdot 3000 + \frac{1}{2} \cdot P \cdot 1000 = 0$$

$$R_A = \frac{2000}{4000} \cdot P$$

$$R_A = 1/2 \cdot P$$

$$R_B = \frac{2000}{4000} \cdot P$$

$$R_B = 1/2 \cdot P$$

Lampiran 3

$$Ma = Mb = 0$$

$$Mc = Md = Ra \cdot 1/4 \cdot L = 1/2 \cdot P \cdot 1/4 L = 1/8 \cdot P \cdot L$$

***) Gelagar Pelat Badan Solid / Tanpa Lubang**

1. Kuat lentur

$$I_{\text{badan}} = 1/12 \cdot 2 \cdot 394^3 + 1/12 \cdot 8 \cdot 27^3 + 2 \cdot (8 \cdot 27 \cdot 183,5^2) = 21110200,678 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{sayap}} = 2 \cdot (1/12 \cdot 62 \cdot 3^3) + 2 \cdot (62 \cdot 3 \cdot 198,5^2) = 14657916 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{total}} = I_{\text{badan}} + I_{\text{sayap}} = 21110200,678 + 14657916$$

$$I_{\text{total}} = 35768116,67 \text{ mm}^4$$

$$y = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ mm}$$

$$S_x = I / y = 35768116,67 / 200 = 178840,58 \text{ mm}^3$$

$$\beta r = A_w / A_f = (394 \cdot 2) / (3 \cdot 62) = 4,237$$

$$\alpha r = F_{yw} / F_{yt} = 240 / 160 = 1,5$$

$$R_e = 1 - 0,1(1,3 + \beta r)(0,81 - \alpha) = 1 - 0,1(1,3 + 4,237)(0,81 - 1,5) = 1,382$$

$$R_{pg} = 1 - 0,0005 \cdot \alpha r [(h/t_w) - (2550/F_{cr})] \leq 1,0$$

$$R_{pg} = 1 - 0,0005 \cdot 1,5 [394 - (2550/240)] \leq 1,0$$

$$R_{pg} = 0,976 \leq 1,0$$

$$F_{cr} = F_{yf} = 160 \text{ MPa}$$

$$M_n = F_{cr} \cdot S_x \cdot R_{pg} \cdot R_e = 160 \cdot 176393,5115 \cdot 0,976 \cdot 1,382 = 38056385,25 \text{ N-mm}$$

2. Kuat geser

misal: $a/h = 10,2 > 1$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{394}{2} = 197 > 615 \cdot \sqrt{\frac{k}{F_{yw}, \text{Mpa}}} = 615 \cdot \sqrt{\frac{4}{240}} = 79,396$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5 + \frac{5}{(10,2)^2} = 5,048$$

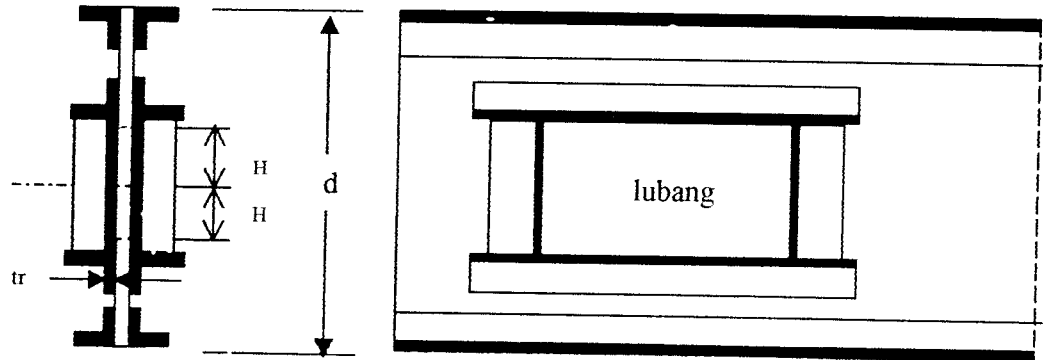
$$C_v = \frac{303000 \cdot k_n}{F_{yw} \cdot (h/t_w)^2} = \frac{303000 \cdot 5,048}{240 \cdot (394/2)^2} = 0,165$$

Lampiran 3

$$\frac{V_n}{V_p} = \left(1 - \frac{2H}{d}\right) \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} = \left(1 - \frac{2 \cdot 100}{400}\right) \sqrt{\frac{0,176}{1+0,176}} = 0,135$$

$$V_n = 0,135 \cdot V_p = 0,135 \cdot 53762,857 = 7275,688 N$$

*) Gelagar pelat dengan lubang pada badan dengan perkuatan



1. Kuat lentur

$$M_p = Z \cdot F_y = [b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + 0,25 \cdot t_w \cdot (d - t_f)^2] \cdot F_y = [62,3 \cdot (400 - 3) + 0,25 \cdot 2 \cdot (400 - 3)^2] \cdot 307,85$$

$$M_p = 46992225,03 N \cdot mm$$

$$\frac{M_n}{M_p} = \frac{\left[1 - \frac{A_{r0}}{A_f}\right]}{\left[1 + \frac{A_w}{4 \cdot A_f}\right]} = \frac{\left[1 - \frac{230}{372}\right]}{\left[1 + \frac{388}{4 \cdot 372}\right]} \Leftrightarrow M_n = M_p \cdot 0,302771855 = 14227923,14 N \cdot mm$$

2. Kuat geser

$$A_r = t_r \cdot h_r = 2 \cdot (3 \cdot (30 + 27)) = 342 mm^2$$

$$A_{r0} = \frac{a \cdot t_w}{\sqrt{3}} = \frac{200 \cdot 2}{\sqrt{3}} = 230 mm^2 < A_r = 342 mm^2$$

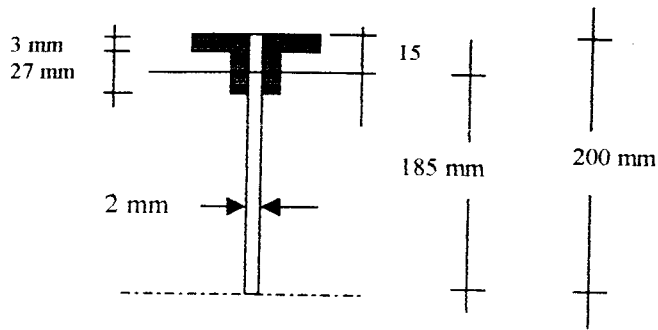
$$V_p = \frac{A_w \cdot F_y}{\sqrt{3}} = \frac{788 \cdot 307,85}{\sqrt{3}} = 140056,977 N$$

$$\frac{V_n}{V_p} = 1 - \frac{2H}{d} = 1 - \frac{2 \cdot 100}{400} = 0,5$$

$$V_n = 0,5 \cdot V_p = 0,5 \cdot 140056,977 = 70028,488 N$$

GELAGAR PELAT	Vn (N)	Mn (N.mm)
<i>Solid / tanpa lubang</i>	43341,762	38056385,25
<i>Dengan lubang tanpa perkuatan</i>	7275,688	2323044,9
<i>Dengan lubang dengan perkuatan</i>	70028,488	14227923,14

PERHITUNGAN JUMLAH BAUT



$$S = 2(30.3.198,5 + 3.12.191) + (2.12.191) = 54066 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{D.S}{I.b} = \frac{70028,448.54066}{3527870231.8} = 13,415 \text{ MPa} < 0.4.F_y = 96 \text{ MPa}$$

$$P = \tau.b.L = 13,415.8.1000 = 107320 \text{ N}$$

kekuatan untuk 1 baut, diameter baut = 5 mm

$$P = d.t.F_u = 5.8.260 = 10400 \text{ N}$$

$$P = 1/4.\pi.d^2.F_v = 1/4.\pi.5^2.145 = 2847 \text{ N}$$

dipakai P baut = 2847 N

$$\text{jumlah baut (n)} = P/P_{\text{baut}} = 107320 / 2847 = 37.696 \longrightarrow 40 \text{ buah baut}$$

$$\text{jarak antar baut} = 4000 / 40 = 100 \text{ mm}$$

PERENCANAAN PENGAKU

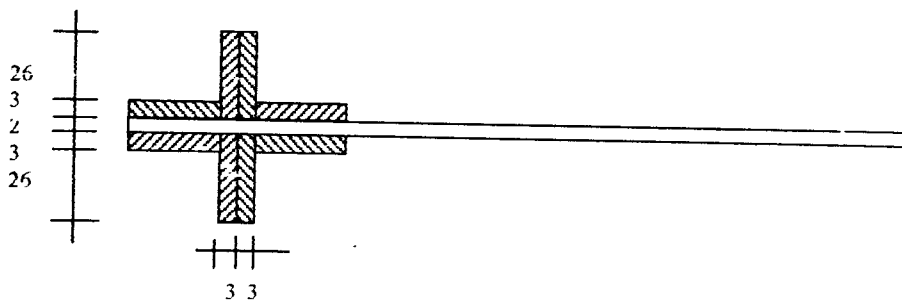
a. Pengaku Tumpu

$$\frac{R}{I_w.(N + 2.k)} \leq 0,75.F_y$$

$$\frac{70028,448}{2.(10 + 2.3)} = 2188,89 \text{ MPa} \geq 0,75.F_y = 180 \text{ MPa}$$

Perlu pengaku tumpu

digunakan pelat 30x30x3 mm



Lampiran 3

$$I = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 6 \cdot 62^3 = 119164 \text{ mm}^4$$

$$A_e = 62 \cdot 3 + 2 \cdot 30 \cdot 3 = 366 \text{ mm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{119164}{366}} = 18,04$$

$$\frac{k \cdot L}{r} = \frac{0,75 \cdot 500}{18,04} = 41,57$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{240}} = 128,55 > \frac{k \cdot L}{r}, \text{ maka}$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{k \cdot L}{r} \right)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 \cdot \left(\frac{k \cdot L}{r} \right)^2}{8C_c} + \frac{\left(\frac{k \cdot L}{r} \right)^3}{8C_c^3}} = 127,516 \text{ MPa}$$

$$f_a = D / A_p$$

$$A_p = (2 \cdot 30 \cdot 3 + 2 \cdot 27 \cdot 3) \cdot 2 = 684$$

$$f_a = \frac{70028,448}{684} = 102,38 \text{ MPa} < 127,516 \text{ MPa}$$

jadi pelat 2(30x30x3) dapat dipakai sebagai pengaku landasan

b. Pengaku Antara

$$V_n = 70028,448 \text{ N}$$

$$V_n \leq C_v \cdot (0,6 \cdot F_y) \cdot A_w$$

$$A_w = 2 \cdot 394 = 788 \text{ mm}^2$$

$$C_v = \frac{1100}{(h/t) \cdot \sqrt{F_y, \text{MPa}}} = \frac{1100}{197 \cdot \sqrt{240}} = 0,36$$

$$70028,448 \text{ N} \leq 0,36 \cdot (0,6 \cdot 240) \cdot 788 = 40849,92 \text{ N}$$

$$h/t_w = 394/2 = 197 \leq 260$$

Tidak diperlukan pengaku antara.

LAMPIRAN 4

HASIL PEMBEBANAN BENDA UJI

Tabel Hasil Pengujian Benda Uji 1

No.	Beban	defleksi (0,01mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	0	7	11
3	6	20	35	35
4	9	92	97	88
5	12	109	159	141
6	15	134	225	198
7	18	206	287	248
8	21	234	360	308
9	24	312	430	365
10	27	395	500	423
11	30	412	558	466
12	33	532	659	545
13	36	592	711	590
14	39	615	745	625
15	40	630	770	641

Tabel Hasil Pengujian Benda Uji 2

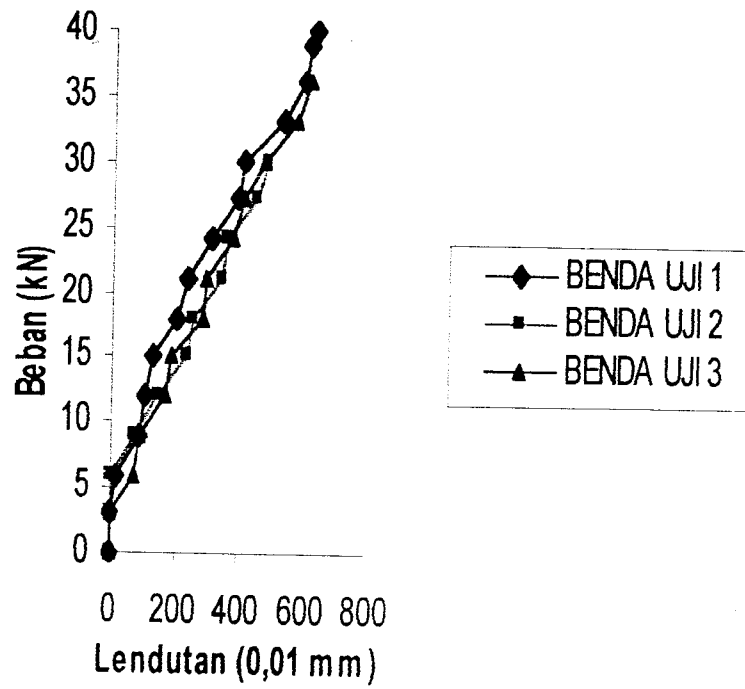
No.	Beban	defleksi (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	0	0	3
3	6	4	5	41
4	9	73	125	95
5	12	145	1815	141
6	15	234	258	197
7	18	254	3175	240
8	21	340	403	304
9	24	358	460	342
10	27	446	559.5	406
11	30	480	637	450

Lampiran 4

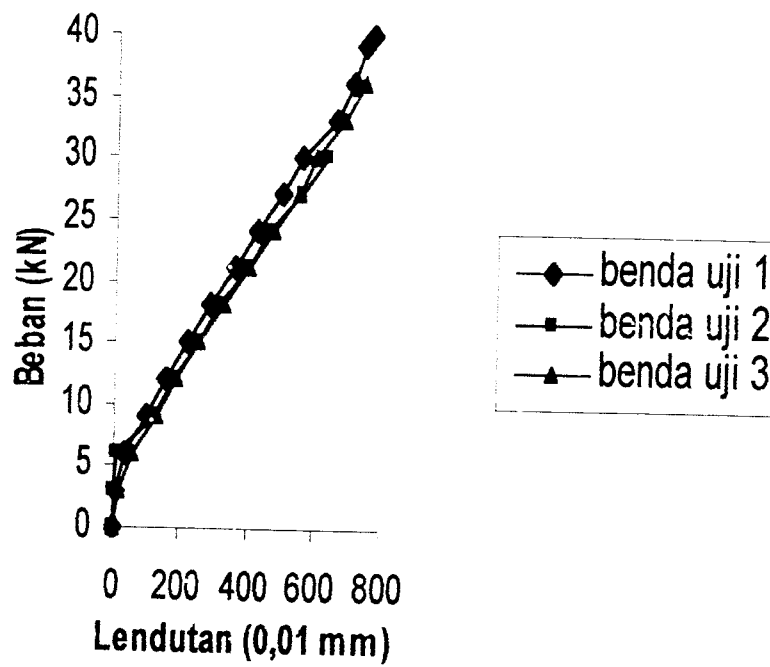
Tabel Hasil Pengujian Benda Uji 3

No.	Beban	defleksi (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	0	13	9
3	6	71	61	59
4	9	90	128	116
5	12	171	192	166
6	15	190	259	216
7	18	289	329	267
8	21	294	407	322
9	24	375	475	370
10	27	409	555	423
11	30	476	602	454
12	33	573	687	527
13	36	609	745	582

Lampiran 4

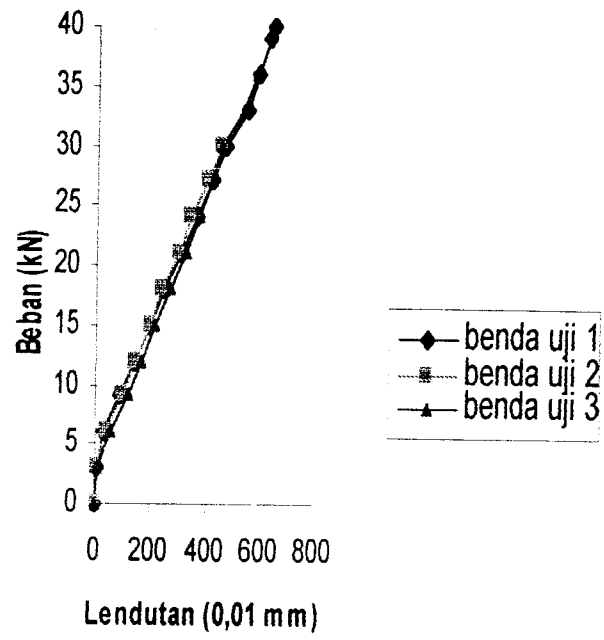


Grafik hubungan beban-lendutan dial 1 dari ketiga benda uji



Grafik hubungan beban-lendutan dial 2 dari ketiga benda uji

Lampiran 4



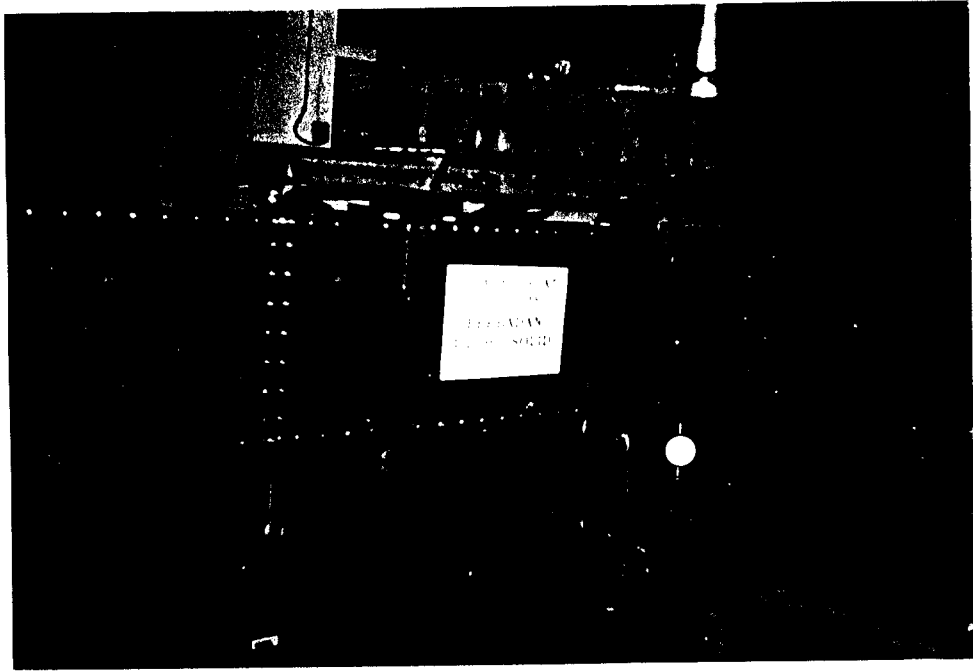
Grafik hubungan beban-lendutan dial 3 dari ketiga benda uji

N
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

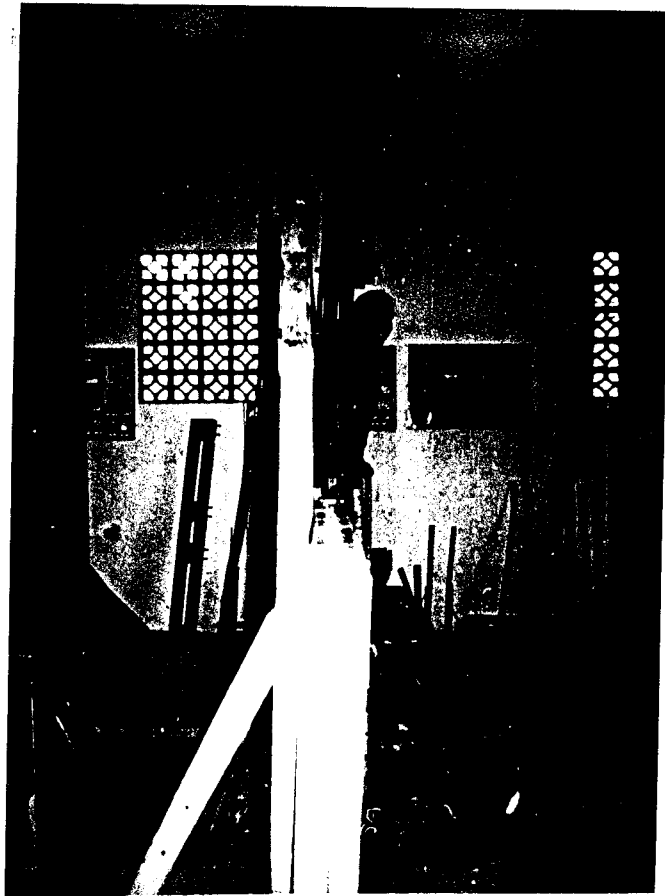
N
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Benda Uji 3

No.	Beban	defleksi (mm)			Momen (kN/mm) $M = (1/8).P.L$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	0	13	9	1500	4.25E-8
3	6	71	61	59	3000	2.0E-8
4	9	90	128	116	4500	1.25E-7
5	12	171	192	166	6000	1.175E-7
6	15	190	259	216	7500	2.8E-7
7	18	289	329	267	9000	2.55E-7
8	21	294	407	322	10500	4.95E-7
9	24	375	475	370	12000	5.125E-7
10	27	409	555	423	13500	6.95E-7
11	30	476	602	454	15000	6.85E-7
12	33	573	687	527	16500	6.85E-7
13	36	609	745	582	18000	7.475E-7



Benda uji 1 sebelum dilakukan pengujian



Benda uji 1 setelah dilakukan pengujian

B