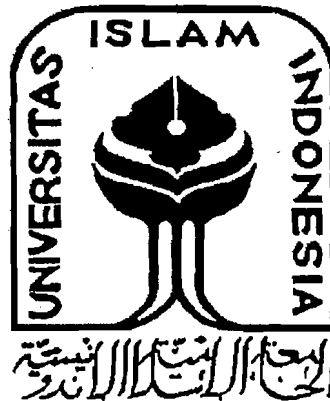


**TUGAS AKHIR
PENELITIAN LABORATORIUM**

**KAPASITAS LENTUR BALOK CASTELLA
DENGAN PERKUATAN**

(FLEXURAL CAPACITY OF CASTELLATED BEAM WITH STIFFENERS)

Diajukan untuk memenuhi syarat mendapat gelar sarjana S-1 pada Fakultas
Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil



disusun oleh :

MUHAMMAD JAWAD

NIM. : 95 310 146

NIRM. : 950051013114120144

A'AN SUPARIYANTO

NIM : 95 310 211

NIRM : 950051013114120208

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

2002

LEMBAR PENGESAHAN

**KAPASITAS LENTUR BALOK CASTELLA
DENGAN PERKUATAN**

DISUSUN OLEH:

MUHAMMAD JAWAD

NIM :95 310 146

NIRM. :950051013114120144

A'AN SUPARIYANTO

NIM :95 310 211

NIRM : 950051013114120208

Telah diperiksa dan disetujui oleh :


Ir. H. SUHARYATMO, MT

Dosen Pembimbing I

Ir FATKHURROHMAN N.S, MT

Dosen Pembimbing II


Tanggal: 2/9/2022


Tanggal:

Kupersembahkan untuk;
Ayah ibuku: Bpk Ibu Tumidjan
Adik-adikku: Ayu, Faziri, Arwi
'n my Future Soulmate

".....Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah kamu berharap....."
[QS. Alam Nasyrah (94), 6-8]

"Mencari ilmu itu seperti ibadah, mengungkapkannya seperti bertasbih, menyelidikinya seperti berjihad, mengajarkannya seperti bersedekah, dan memikirkannya seperti berpuasa."
(Ibnu Ady bin Jabbat)

Dan janganlah kamu mengikuti apa yang kamu tidak mempunyai pengetahuan tentangnya. Sesungguhnya pendengaran, penglihatan, dan hati, semuanya itu akan diminta pertanggungjawabannya. (QS Al-'Israa':36)

JAWAD would like to say **MATUR NUWUN** dumateng:

Gusti ingkang akarya jagad **Allah SWT** atas izinNya TA ini dapat terselesaikan, **Nabi Agung Muhammad SAW** semoga shalawat tetap tercurah kepada beliau. **Bapak Ibu Tumidjan, adikku (Ayu di Jakarta, Faziri, Arwi)** matur nuwun tanpa doa kalian, semua ini tidak akan terlaksana, Teman-teman di **RISMAH** (Widanang, Eko, Aswin, Mau, Likhin, Ichsan, Ria, Inta, Laila, Hesti, Atun, etc)ayo pererat kebersamaan kita. **Crew Pamp 'n Waroeng Biroe** (Ari, Iyah, Edi, Oxi, Didin, Ganang, Wantex, Romadi, Wiwin, Nanik, Betty..... yang rajin ya biar laris.), adikku di **TPA Amaliyah** (Erwin, Trio, Fran, Manto, Reza, Iwan, dll) kalian selalu membuat aku tersenyum., my computer, my motor, bkl comp, maulana comp, alif comp, istana comp..... last but not least to my partner **A'an** .. akhirnya selesai juga yaa.....

Tidak lupa untuk semua teman-teman **angkatan '95** terimakasih untuk segala dukungan dan dorongan serta motivasi yang kalian berikan.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr Wb

Segala puji dan puja hanya bagi Allah Tuhan yang maha agung tiada tuhan selain Dia, dan hanya atas nikmat yang diberikan-Nya maka kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Kapasitas Lentur Balok Castella” sebagai syarat untuk mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Sholawat semoga tetap tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, semoga terlimpah juga kepada keluarga, shahabat, serta umat yang mengikuti sunah-sunah Beliau.

Segala bantuan baik yang berupa material ataupun non material, dukungan, serta motivasi yang diterima penulis sangat membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Hanya ucapan terima kasih dari lubuk hati kami yang terdalam yang bisa kami berikan balasan kepada :

1. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir
2. Bapak Ir Fatkhurrohman NS. MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir
3. Bapak Ir Tri Fajar Budiono MT, selaku Dosen Penguji
4. Bapak Ir Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
5. Bapak Ir H Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
6. Bapak Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil

7. Staff Urusan TA
8. Kedua Orang Tua , serta keluarga kami
9. Teman –teman
10. Serta semua pihak yang telah membantu sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Inilah hasil terbaik yang bisa kami hasilkan, dan kami sadar bahwa yang kami tulis ini masih banyak kekurangan serta kesalahan, saran serta kritik selalu kami nantikan untuk kemajuan bersama.

Akhirnya semoga yang telah kami hasilkan ini mampu memberi manfaat kepada kita dan penelitian-penelitian yang akan dilakukan pada masa yang akan datang

Wassalamualaikum Wr Wb

Yogyakarta, akhir Agustus 2002

Jawad & A'an

HAL JUDUL.....	i
HAL PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	iv
INTISARI.....	vi
Bab I. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	2
1.2. Batasan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
Bab II Tinjauan Pustaka.....	4
Bab III Landasan Teori.....	8
3.1. Pendahuluan.....	8
3.2. Tegangan Kritis Pelat.....	10
3.2.1. Tegangan Kritis Pelat yang Menerima Tekanan Merata.....	11
3.2.2. Tekanan Elastis Akibat Geser Murni.....	13
3.2.3. Tekuk Vertikal Pada Sayap.....	14
3.2.4. Tekuk Pada Bidang Badan.....	16
3.3. Balok Castella.....	18
3.4. Tegangan Geser Pada Profil Castella.....	23
3.5. Hubungan Momen Kelengkungan.....	25

3.6. Daktilitas	30
Bab IV. Metode Penelitian.....	33
4.1. Metode penelitian.....	33
4.2. Persiapan Bahan Dan Alat.....	35
4.2.1. Bahan.....	35
4.2.2. Peralatan Penelitian.....	35
4.3. Model Benda Uji.....	38
4.4. Pembuatan Benda Uji.....	40
4.5. Pengujian.....	41
4.6. Pengujian Kuat Tarik Baja.....	41
4.7. Pengujian Kuat lentur Balok Castella	41
Bab V. Hasil Penelitian dan Pembahasan	43
5.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	43
5.2. Hasil Pengujian Kuat lentur Balok Castella.....	43
5.2.1. Hubungan Beban Lendutan	43
5.2.1.1. Hubungan Beban Lendutan Hasil Penelitia	43
5.2.1.2. Analisa Data Hubungan Beban Lendutan	45
5.2.2. Hubungan Momen Kelengkungan	47
5.2.2.1. Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Penelitian.....	47
5.2.2.2. Analisa Data Hubungan Momen Kelengkungan.....	48
5.3. Analisa Kerusakan.....	48
5.4. Pembahasan.....	49
5.4.1. Kuat Lentur Balok Berdasarkan Hubungan Beban Lendutan.....	49
5.4.2. Daktilitas Simpangan ditinjau Dari Hubungan Beban Lendutan	50
5.4.3. Kuat Lentur Balok Berdasarkan Hubungan Momen Kelengkungan	51

5.4.4. Daktilitas Simpangan Ditinjau Dari Hubungan Momen Kelengkungan	51
Bab VI. Kesimpulan.....	52
6.1. Kesimpulan.....	52
6.2. Saran.....	53

Daftar Gambar

Daftar Gambar

Gambar 3.1 Balok Satais Tertentu dengan beban Terbagi Merata.....	8
Gambar 3.2 Koef Tekuk Elastis Untuk tekanan pada Pelat Segi Empat.....	11
Gambar 3.3 Jarak Pengaku.....	12
Gambar 3.4 Koef Tekuk Untuk yang Mengalami Lentur Murni.....	14
Gambar 3.5.1 Pembuatan Profil castella.....	15
Gambar 3.5.b SFD Dan BMD.....	15
Gambar 3.6 Momen Lentur karena Gaya Geser Vertikal.....	16
Gambar 3.7 Gaya-Gaya Pada Penampang Profil Castella.....	17
Gambar 3.8 Penampang T Profil Castella.....	18
Gambar 3.9 Gaya Geser Horizontal Pada Profil Castella.....	19
Gambar 3.10 Tegangan Geser Pada Profil Castella.....	20
Gambar 3.11 Deformasi Balok Dalam Lenturan.....	22
Gambar 3.12 Defleksi pada Balok Badan Terbuka.....	24
Gambar 3.13 Hubungan Momen Kelengkungan.....	26
Gambar 3.14 Hubungan Beban Lendutan.....	27
Gambar 3.15 Hubungan Momen Kelengkungan.....	27
Gambar 4.1 Flowchart Metode Penelitian.....	29
Gambar 4.2 Universal Testing Material.....	31
Gambar 4.3 Bentuk Fisik Loading Frame.....	32
Gambar 4.4 Dukungan sendi Rol.....	33
Gambar 4.5 Hidrolik Jack.....	33

Gambar 4.6 Dial Gauge	36
Gambar 4.7 Macam Benda Uji	35
Gamabr 4.8 Dimensi Profil I	36
Gambar 4.9 Benda Uji Tarik Baja	36
Gambar 4.10 Model Pembebanan.....	36
Gambar 5.1 Hubungan Beban Lendutan	40
Gambar 5.2 Hubungan momen kelengkungan	42

Daftar Tabel

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Tarik Baja	38
Tabel 5.2 Beban Maksimum Benda Uji	39
Tabel 5.3 Analisa Kekakuan Hubungan Beban Lendutan	41
Tabel 5.4 Analisa Daktilitas Lendutan dari Hubungan Beban Lendutan	41
Tabel 5.5 Analisa Kekakuan Dari Hubungan Momen Kelengkungan	43
Tabel 5.6 Analisa Daktilitas Kelengkungan Hubungan Momen kelengkungan	43

Daftar Lampiran

Lampiran 1 Kartu Peserta Tugas Akhir

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian

Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian

Lampiran 4 Propertis Penampang I dan Castella

Lampiran 5 Hubungan Beban Lentutan dan Momen Kelengkungan Secara
Teoritis

DAFTAR NOTASI

- a = jarak pengaku
 af = luas sayap
 aw = luas badan
 b = lebar
 b/t = rasio lebar terhadap tebal
 C = gaya tekan
 C_m = koefisien reduksi momen
 d_b = tinggi profil I
 d_g = tinggi profil castella
 d_t = tebal pemotongan profil castella
 E = modulus elastis baja ($2 \cdot 10^5$ Mpa)
 e = lebar pemotongan profil castella
 EI = kekakuan lentur
 F_e' = tegangan Euler
 F_{cr} = tegangan kritis (Mpa)
 F_u = tegangan tarik ultimit
 F_y = tegangan leleh
 h = tinggi pemotongan profil castella
 k = koefisien tekuk
 L = jarak, panjang bentang
 M = momen
 P = beban

t = tebal badan profil baja

μ = angka poisson

ϵ = regangan

σ = tegangan

ρ = jari-jari girasi

$\mu_{\text{simpangan}}$ = daktilitas simpangan

$\mu_{\text{kelengkungan}}$ = daktilitas kelengkungan

Δ = lendutan

Δ_u = lendutan akhir daerah *post-elastic*

Δ_y = lendutan pada pertama leleh

ϕ = kelengkungan

ϕ_u = kelengkungan pada akhir daerah *post-elastic*

ϕ_y = kelengkungan pada pertama leleh

ϕ = sudut pemotongan profil castella

INTISARI

Balok baja profil Castella merupakan balok baja pengembangan dari profil I yang dipotong secara zigzag dengan sudut tertentu sehingga diperoleh profil baru yang mempunyai lubang pada badan dan lebih tinggi dari profil I yang asli. Dengan penambahan tinggi maka rasio h/t dari profil castella juga akan menjadi lebih besar, hal ini menyebabkan tegangan kritis pelat badan profil castella akan menjadi lebih kecil dibanding dengan tegangan kritis pelat badan profil I. Hal ini menyebabkan profil baja castella rawan terhadap tekuk pada badan. Bahaya tekuk dapat dihindari dengan cara meningkatkan tegangan kritis pelat badan, dengan cara menambahkan perkuatan pada badan.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kapasitas lentur balok castella tanpa perkuatan dan dengan perkuatan serta mengetahui daktilitas profil castella dengan perkuatan dan tanpa perkuatan.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan perkuatan mampu memberikan kenaikan beban sebesar 140 % pada variasi perkuatan tiap tiga lubang. Kerusakan yang terjadi pada benda uji adalah terjadi tekuk lateral karena dukungan lateral yang tidak baik.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Profil baja yang diproduksi oleh pabrik terdiri dari berbagai macam bentuk, antarlain adalah profil IWF. Profil produksi pabrik tersebut masih dapat dinaikkan kemampuan menahan beban dengan melakukan modifikasi pada profil tersebut. Salah satu modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan membuat profil I menjadi profil castella. Balok castella ini termasuk kedalam keluarga balok badan terbuka (*open web beam*).

Modifikasi yang dilakukan adalah dengan cara memotong baja profil I pada bagian badan dengan pemotongan zig-zag kemudian kedua potongan tadi disatukan lagi sehingga didapat baja profil baru yang lebih tinggi dibanding dengan baja profil I semula dan mempunyai lubang pada bagian badan. Karena profil bertambah tinggi maka momen inersia menjadi lebih besar dibandingkan dengan momen inersia profil asli, sehingga kapasitas lentur profil castella meningkat.

Namun disisi lain dengan penambahan tinggi profil dan terdapat lubang pada bagian badan balok yang akan mengakibatkan kerugian. Diantara kerugian – kerugian adalah kelangsingan badan (h/t) akan bertambah sehingga tegangan kritis plat akan kecil dan kemungkinan terjadinya tekuk pada badan profil akan semakin besar, perhatian juga perlu diberikan pada bagian badan yang berlubang sehingga terjadi pengurangan luasan penampang yang menahan geser, selain itu pada penampang T akan timbul momen sekunder akibat gaya geser vertical.

sehingga terjadi pengurangan luasan penampang yang menahan geser, selain itu pada penampang T akan timbul momen sekunder akibat gaya geser vertical.

Bahaya tekuk yang terjadi dapat diatasi dengan meningkatkan tegangan kritis pelat dengan menambah perkuatan pada daerah yang mengalami momen maksimum dan geser maksimum.

1.2 Batasan Masalah

Untuk mengetahui seberapa besar kapasitas momen profil Castella, maka perlu pembatasan sebagai berikut :

1. Profil yang digunakan adalah profil castella dari profil IWF
2. Pemotongan menggunakan pola zig-zag
3. Jenis struktur memakai balok struktur sederhana (*simple beam*)
4. Model pembebanan menggunakan dua beban terpusat untuk mendapatkan lentur murni.
5. Penelitian ini hanya meninjau kuat lentur saja.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan dan wawasan tentang baja khususnya profil castella.
2. Sebagai bahan pertimbangan pada penelitian-penelitian lebih lanjut mengenai profil castella.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. Mengetahui kapasitas lentur profil baja *castella* dengan perkuatan dan tanpa perkuatan
2. Membandingkan momen lentur balok baja profil *castella* dengan perkuatan dan tanpa perkuatan.
3. Mengetahui daktilitas simpangan dan daktilitas lengkung profil baja *castella*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Balok castella merupakan balok pengembangan berbadan terbuka (*open web expanded beams*) dari profil I yang dipotong secara zigzag kemudian kedua potongan ditata sedemikian rupa sehingga diperoleh profil baru dengan penambahan tinggi dan mempunyai lubang pada badan. (*Omer W Blodgett*)

Peristiwa tekuk pada komponen struktur dari pelat baja dapat terjadi dalam bentuk tekuk keseluruhan (*overall buckling*) dan tekuk lokal (*local buckling*). Tekuk keseluruhan merupakan fungsi dari kelangsingan (Kl/r). Tekuk setempat dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen penyusun penampang sebelum tegangan kritis terlampaui. (*Salmon dan Johnson, 1990*)

Bila sebuah plat dipengaruhi secara langsung oleh desakan, lenturan, atau tegangan geser atau oleh gabungan gaya-gaya tersebut, maka plat tersebut dapat menekuk secara setempat sebelum seluruh bagian konstruksi mengalami kegagalan. (*Joseph E Bowles, 1985*)

Pengaku antara dengan jarak teratur mampu memperbesar kekuatan balok untuk memikul geser. Parameter yang berpengaruh adalah rasio kelangsingan badan (h/t) dan rasio jarak antar pengaku (a/h) (*Timoshenko Woinowski-Krieger, 1959*)

Parameter stabilitas untuk badan gelagar adalah jarak antar pengaku dan kelangsingan elemen. Tekuk akibat geser dapat dihindari bila parameter kestabilan dapat dipertahankan cukup rendah atau tegangan geser dapat ditekan dibawah tegangan tekuk kritis (*Salmon Johnson, 1990*)

Sifat paling menonjol pada gelagar plat adalah pengaku transversal dengan jarak teratur. Pengaku memperbesar kekuatan badan balok untuk menahan geser (*Basler, 1960, Salmon Johnson, 1990*)

Semakin besar rasio lebar terhadap tebal (b/t) suatu plat, tegangan kritisnya semakin rendah sehingga tekuk lokal yang terjadi jauh dibawah tegangan lelehnya. (*Bresler dkk, 1967*). Pendapat yang sama juga dikemukakan oleh (*Englekirk, 1994*), (*Bowles, 1985*), (*Salmon dan Johnson, 1990*)

Sebagai akibat pemotongan zig-zag pada profil I menyebabkan penambahan tinggi dan terjadi kenaikan inersia profil sehingga momen yang mampu ditahan juga akan mengalami peningkatan. (*Omer W Blodgett*)

Bagian konstruksi yang menahan beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya lintang sering dijumpai pada balok atau gelagar. (*J.E. Bowles*)

Elemen-elemen pengaku dipasang pada dua bidang pelat atau hanya satu bidang permukaan saja. Bahan elemen pengaku sebaiknya dibuat minimal kekuatan bahannya sama dengan pelat yang diperkuat. (*Padosbajayo, 1992*)

Kemampuan dari suatu bahan untuk mengalami perubahan bentuk melewati batas elastis disebut daktilitas. (*Englekirk, 1994*). Pendapat yang sama juga dikemukakan oleh (*Lynn S Beedle, 1958*).

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*).

Jika suatu balok mengalami lentur sebagai akibat adanya beban, maka bentuk perubahan dari sumbu netral disebut dengan kurva elastis (*elastic curve*). (*Tung Au dan Christiano*)

Keruntuhan tekuk pada komponen struktur pelat baja dapat terjadi dalam bentuk keseluruhan ataupun tekuk lokal. Tekuk lokal dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen penyusun penampang. (*Salmon Johnson, 1990*)

Gaya geser yang terjadi pada bagian solid profil castella dapat menyebabkan tekuk pada badan, sehingga untuk mencegah tekuk pada badan diperlukan pengaku. (*Omer W Blodgett*)

Adanya kenaikan tinggi profil castella sebagai akibat pemotongan zig-zag pada badan profil I menyebabkan inersia menjadi lebih besar sehingga momen yang mampu ditahan juga akan meningkat (*Omer W Blodgett*)

Bagian konstruksi yang menahan beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya lintang dengan tahanan lentur sebagai parameter desain sering dijumpai pada balok atau gelagar (*Joseph E Bowles*)

Pengaku antara dengan jarak teratur mampu memperbesar kekuatan balok untuk memikul geser. Parameter stabilitas yang berpengaruh adalah rasio

kelangsingan elemen badan (h/t) dan rasio jarak antar pengaku (a/h) (*Timoshenko Woinowski-Krieger, 1959*)

Elemen-elemen pengaku dipasang menempel pada dua bidang permukaan pelat atau hanya satu bidang permukaan saja. Bahan elemen pengaku sebaiknya dibuat minimal kekuatan bahannya sama dengan pelat yang diperkuat. (*PADOSBAJAYO, 1992*), (*Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia, 1984*).

Kelengkungan sebagai akibat adanya beban pada balok dapat dicari dengan menggunakan metode *central differences*. (*Fathkurrahman N S, 1991*)

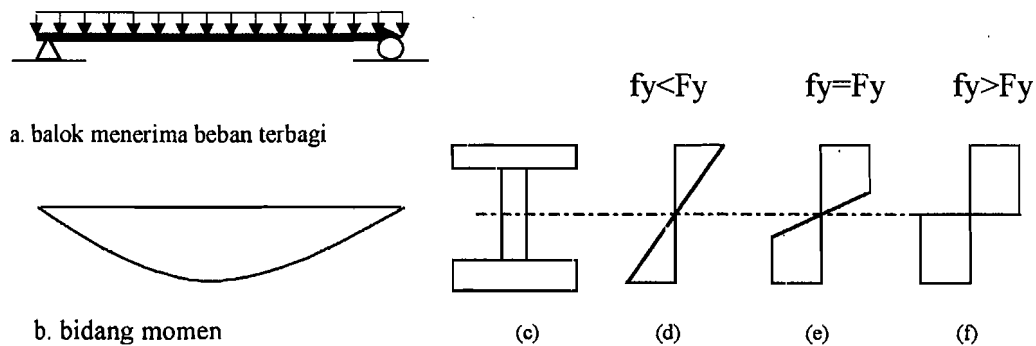
Hubungan momen kelengkungan yang ideal berupa grafik trilinear yang berubah menjadi grafik bilinear (*Park and Paulay 1975*)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Pendahuluan.

Menurut **J.E.Bowles (1985)** komponen struktur yang mengalami lentur banyak dijumpai sebagai balok ataupun gelagar. Salah satu contoh struktur yang mengalami lentur adalah balok sederhana (*simple beam*) yang mempunyai penampang berbentuk I menerima beban terbagi merata. Akibat beban tersebut balok menerima momen dan gaya geser.



Gambar 3.1 Tegangan lentur balok (*J.E. Bowles*)

Akibat momen, penampang balok mengalami tegangan lentur (*bending stress*) (Gambar 3.1 d), sedangkan gaya geser menimbulkan tegangan geser. Dalam keadaan penampang masih elastis (Gambar 3.1d), distribusi tegangan lentur pada penampang balok adalah linier. Tegangan pada serat yang letaknya y dari sumbu netral adalah:

$$fb = \pm \frac{M.y}{I} \quad (3.1)$$

dengan M = momen pada penampang yang ditinjau, y = jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral, I = momen inersia

Tegangan lentur maksimum terjadi pada serat terluar yaitu serat yang letaknya terjauh dari sumbu netral. Jika penampang balok simetris dan jarak serat terluar dinyatakan dengan C , maka tegangan maksimumnya adalah:

$$fb = \pm \frac{M.C}{I} \quad (3.2a)$$

karena $I/C = S$, persamaan 3.2 dapat ditulis dalam bentuk

$$fb = \pm \frac{M}{S} \quad (3.2b)$$

Dari persamaan (3.2a) dapat dilihat bahwa jika momen inersia balok diperbesar maka tegangan maksimum yang terjadi diserat terluar balok akan menjadi kecil sehingga momen yang mampu ditahan oleh balok akan meningkat.

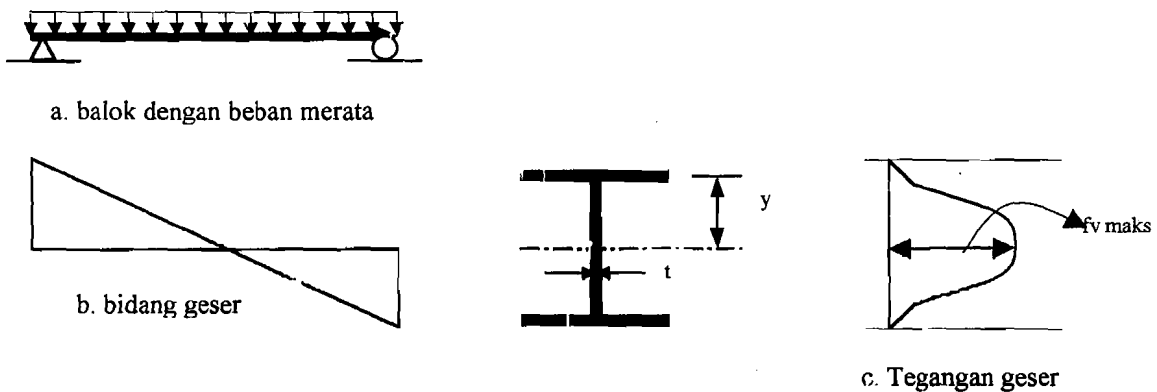
Jika beban terus bertambah maka tegangan lentur maksimum yang terjadi akan bergerak ke sisi dalam dari penampang seperti terlihat pada Gambar 3.1e, penampang dalam keadaan ini disebut kondisi inelastic. Jika seluruh serat mengalami tegangan maksimum maka penampang disebut dalam keadaan plastis (Gambar 3.1f).

Pada profil I sayap berfungsi untuk menahan momen dan badan berfungsi menahan geser dan sebagian momen selain itu badan juga berfungsi menghubungkan sayap atas dan sayap bawah sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh.

Pada profil castella terdapat lubang pada badan profil sehingga gaya geser yang terjadi pada badan perlu mendapat perhatian yang cukup. *J.E Bowles(1981)* mengemukakan rumus umum yang sering digunakan untuk menghitung tegangan geser adalah

$$f_v = \frac{V \cdot Q}{I t} \quad (3.3)$$

dengan V = gaya geser, Q = momen statis dimana tegangan geser ditinjau = $A \cdot y$ (A = luas penampang, y = jarak ke garis netral), t = tebal profil, I =momen inersia.



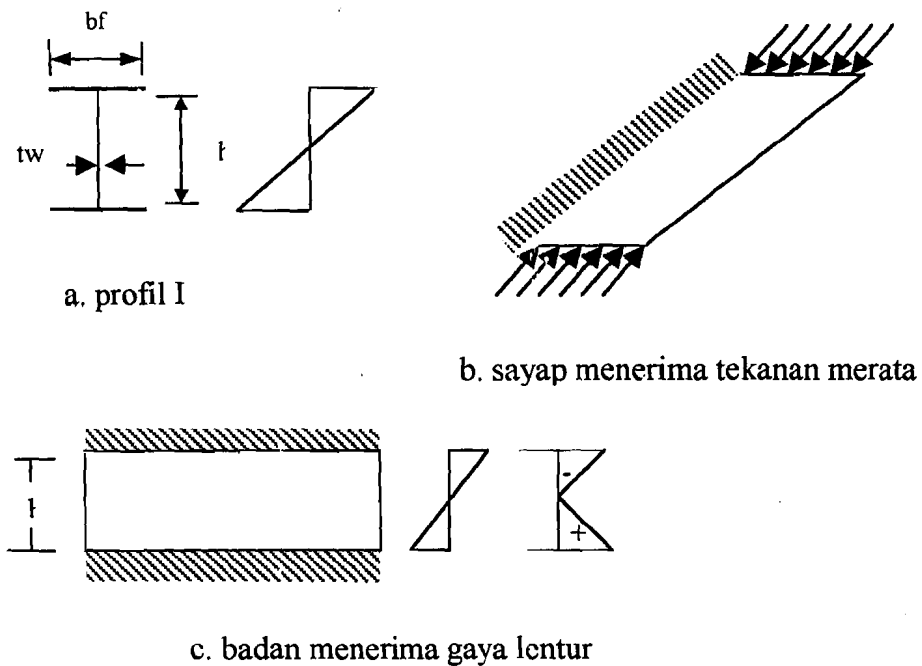
Gambar 3.2 tegangan geser

Dari Persamaan 3.3 dan gambar 3.2 c terlihat bahwa tegangan geser maksimum terjadi pada sumbu netral profil I

3.2. Tegangan Kritis Pelat

Profil baja penampang I disusun dari elemen sayap dan elemen badan yang terbuat dari pelat yang tipis, sehingga apabila pelat menerima gaya tekan, gaya lentur atau geser rawan terhadap tekuk.

Sayap pada profil I akibat tegangan lentur dapat diasumsikan menerima gaya tekan merata (gambar 3.3b) sedang badan menerima gaya lentur (Gambar 3.3c)



Gambar 3.3 Gaya pada profil I

3.2.1. Tegangan Kritis Pelat Yang menerima Tekanan Merata

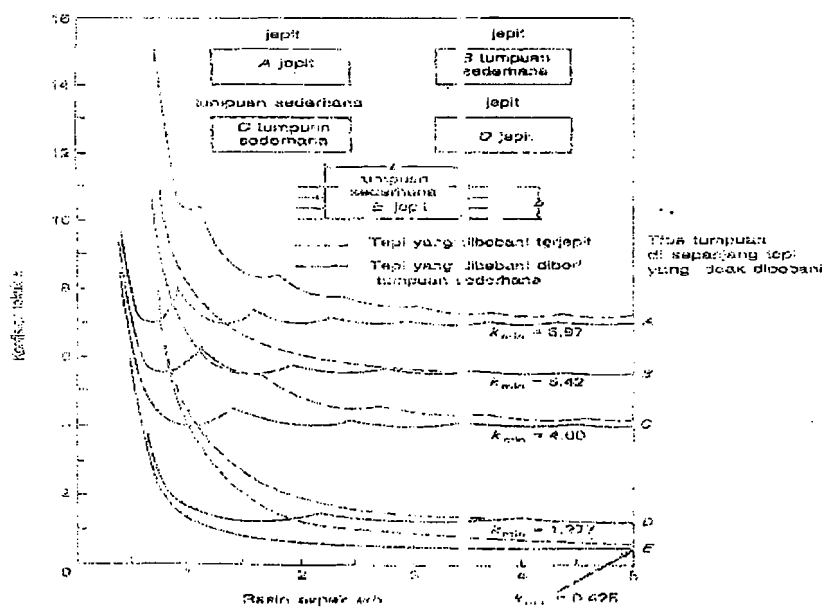
Salmon dan Johnson, 1990, mengemukakan tegangan kritis elastik teoritik untuk pelat yang menerima tekanan merata dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = k \cdot \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.4)$$

dengan : F_{cr} = tegangan kritis , k = koefisien tekuk pelat, E = modulus elastis baja ($2 \cdot 10^5$ Mpa), μ = angka poisson , h/t = rasio tinggi terhadap tebal.

Dari persamaan (3.4) tampak bahwa nilai F_{cr} dipengaruhi oleh koefisien tekuk (k) dan rasio tinggi terhadap tebal (h/t).

Koefisien tekuk pelat (k) dipengaruhi oleh distribusi tegangan dan kondisi tumpuan tepi (tumpuan sederhana pada keempat tepi), serta rasio aspek a/b . Untuk pelat yang menerima tekanan merata nilai k ditunjukkan pada Gambar (3.2).



Gambar 3.4. Koefisien tekuk elastis untuk tekanan merata (Salmon Johnson)

Terlihat bahwa untuk plat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai $k_{min}=6.79$. Untuk plat dengan tumpuan sederhana jepit (B) nilai $k_{min} = 5.42$. Sedangkan plat dengan tumpuan sederhana-sederhana nilai $k_{min}=4$ dan untuk pelat jepit bebas nilai $k_{min}=1.277$, serta untuk plat dengan tumpuan sederhana bebas nilai $k_{min}=0.425$.

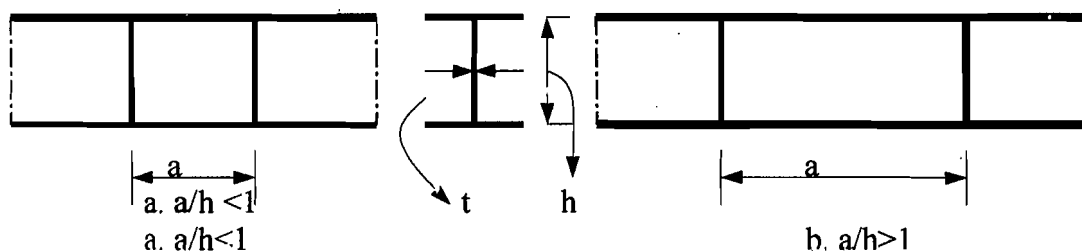
3.2.2. Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut Timoshenko dan Krieger (1959) Tegangan kritis pelat untuk geser murni adalah :

$$\tau_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) (\text{sisipendek} / t)^2} \dots\dots\dots (3.5)$$

dimana untuk kasus tepi bertumpuan sederhana (perpindahan dicegah tetapi rotasi terhadap tepi tidak dikekang):

$$k = 5.34 + 4.0 \left(\frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \dots\dots\dots (3.6)$$



Gambar 3.5 Jarak pengaku. (Salmon Johnson)

Untuk perencanaan, Persamaan 3.5 dan 3.6 biasanya ditulis dalam bentuk a/h , dimana a =jarak antar pengaku, h =tinggi badan. Bila hal ini dilakukan maka ada dua kasus yang harus ditinjau yaitu $a/h > 1$ dan $a/h < 1$, sehingga nilai k pada persamaan 3.6 menjadi:

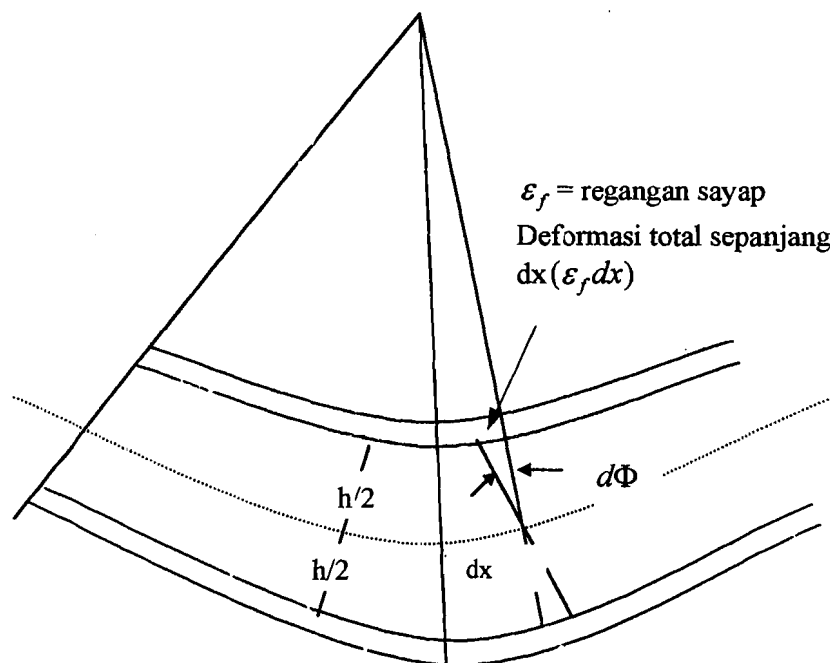
$$k = 4.0 + 5.34 / (a/h)^2 \quad \text{Untuk } a/h < 1 \dots\dots\dots (3.7)$$

$$k = 4.0 / (a/h)^2 + 5.34 \quad \text{Untuk } a/h > 1 \dots\dots\dots (3.8)$$

Dari kedua persamaan diatas tampak bahwa jika koefisien tekuk pelat dipengaruhi oleh rasio a/h semakin rapat jarak antar pengaku yang berarti nilai a/h semakin kecil maka nilai koefisien tekuk pelat akan semakin besar.

3.2.3. Tekuk Vertikal Pada Sayap

Gelagar yang melengkung, seperti ditunjukkan Gambar 3.6 akan mengakibatkan tegangan tekan pada tepi-tepi badan yang berhubungan dengan sayap. Apabila badan balok tetap stabil terhadap tegangan tekan tersebut berarti sayap tidak mengalami tekuk vertical.

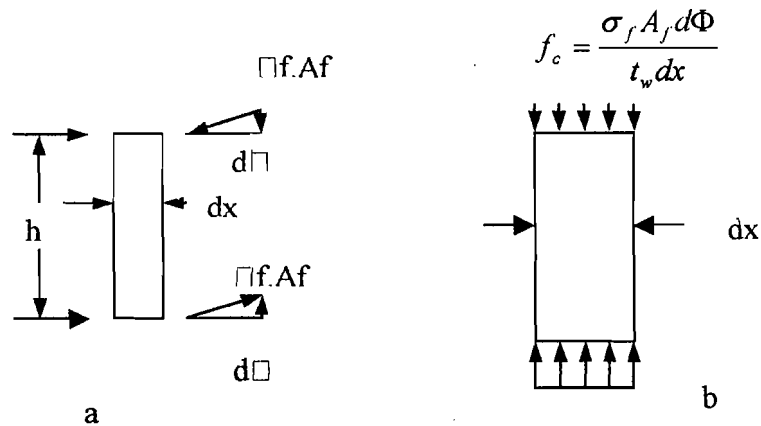


Gambar 3.6 Gaya yang terjadi akibat kurvatur pada gelagar.

Mengacu pada Gambar 3.6 deformasi $\epsilon_f dx$ yang terakumulasi sepanjang jarak dx adalah

$$\epsilon_f dx = d\Phi \frac{h}{2} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$d\Phi = \frac{2}{h} \epsilon_f dx \dots\dots\dots(3.10)$$



Gambar 3.7. tekuk vertical pada badan

Pada Gambar 3.7 a komponen vertical yang menunjukkan tegangan tekan adalah $\sigma_f A_f d\Phi$. Setelah dibagi dengan $t_w dx$ untuk memperoleh tegangan tekan f_c yang diperlihatkan Gambar 3.7 b, Persamaan 3.10. untuk $d\Phi$ dimasukkan sehingga :

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d\Phi}{t_w dx} = \frac{2\sigma_f A_f E_f}{t_w h} \dots\dots\dots(3.11)$$

Tegangan tekuk elastis untuk plat :

$$F_{or} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^3} \dots\dots\dots(3.12)$$

Bila $k=1$ dan persamaan 3.11 disamakan dengan tegangan kritis maka diperoleh:

$$\frac{2\sigma_f A_f \epsilon_f}{t_w h} = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$t_w h = A_w$$

maka

$$\frac{h}{t_w} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{24(1 - \mu^2)} \left(\frac{A_w}{A_f}\right) \left(\frac{1}{\sigma_f \epsilon_f}\right)} \dots\dots\dots(3.14)$$

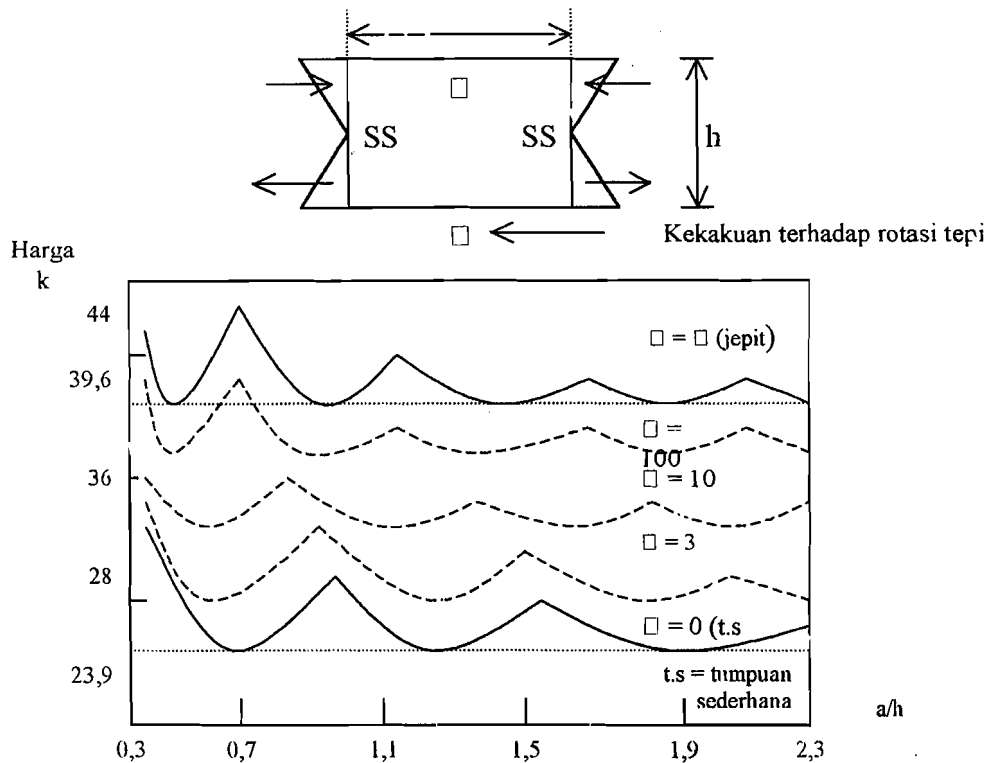
Untuk mencegah tekuk maka nilai $f_c < F_{cr}$

3.2.4. Tekuk Pada Bidang Badan

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. Jika plat bisa dianggap jepit sempurna sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan maka nilai k min untuk sembarang rasio a/h adalah 39,6. Jika sayap dianggap tidak mengekang tepi maka nilai k min 23,9. Variasi nilai k terhadap rasio a/h ditunjukkan pada Gambar 3.8. Tegangan kritis (dengan $E = 200.000$ MPa) bisa dikatakan terletak antara :

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

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



Gambar 3.8 Koefisien Tekuk Untuk Pelat yang menerima lentur murni

Dengan memasukkan rasio h/t untuk profil I dan profil castella maka dapat diketahui F_{cr} profil I dan profil Castella.

Rasio h/t profil IWF 15 adalah $13.8/0.5=27.6$ dengan anggapan jepit sempurna pada sayap maka nilai F_{cr} untuk profil I 15 adalah:

$$F_{cr} = \frac{7120000}{27.6^2} = 9346.77 \text{ Mpa}$$

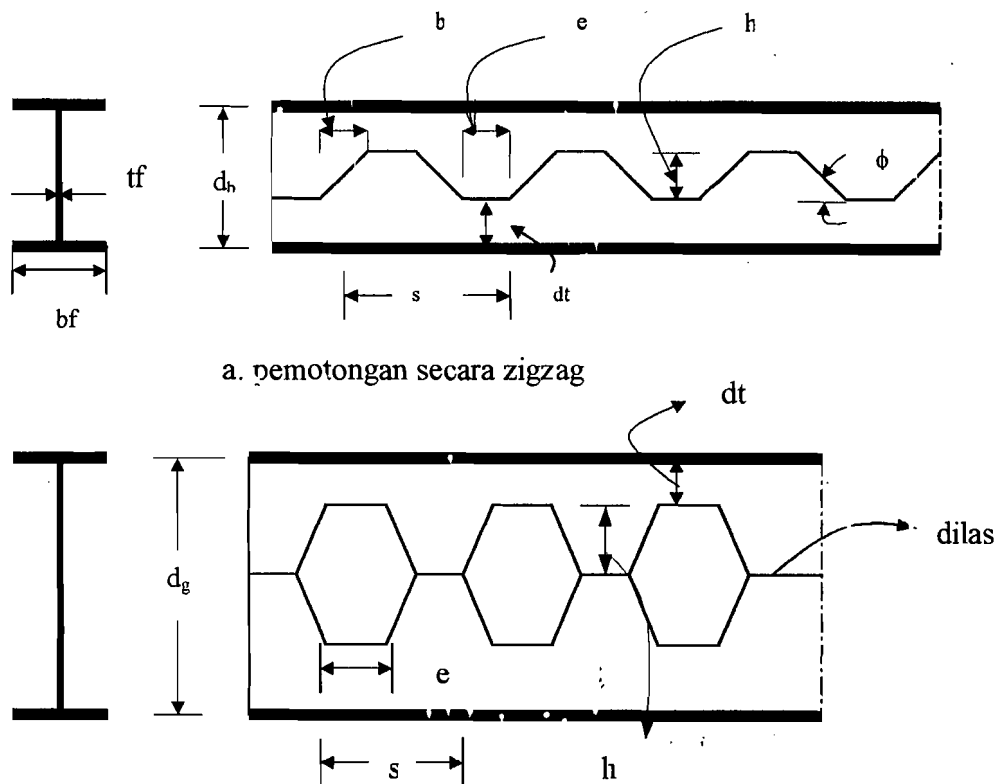
Rasio h/t untuk profil castella adalah $22.8/.5=45.6$ maka nilai F_{cr} adalah:

$$F_{cr} = \frac{7120000}{45.6^2} = 3424.13 \text{ Mpa}$$

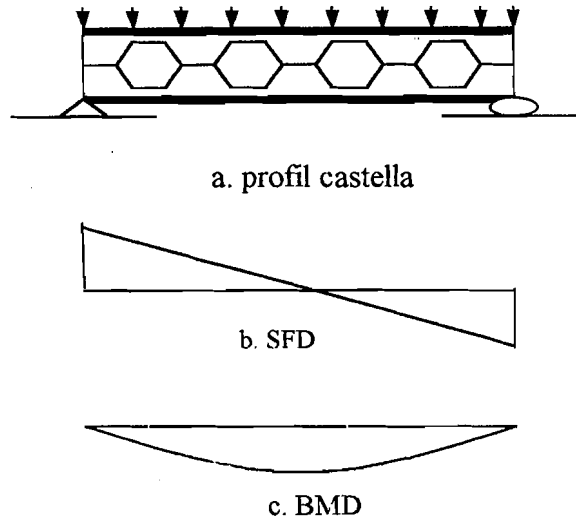
Terlihat bahwa F_{cr} profil castella mengalami penurunan dibandingkan F_{cr} profil I, sehingga dengan meningkatkan profil inersia akan mengalami peningkatan tetapi disisi lain tegangan kritis pelat akan mengalami penurunan.

3.3. Balok castella

Profil castella merupakan pengembangan dari profil I yang dipotong secara zig-zag pada badan profil kemudian kedua potongan tadi disatukan lagi sehingga diperoleh profil baru yang lebih tinggi dan mempunyai lubang pada badannya. Pertambahan tinggi profil menyebabkan rasio kelangsingan badan menjadi lebih besar sebagai contoh profil I 15 nilai h/t yaitu $h/t = 30$, setelah diubah menjadi profil castella maka nilai h/t menjadi 48.



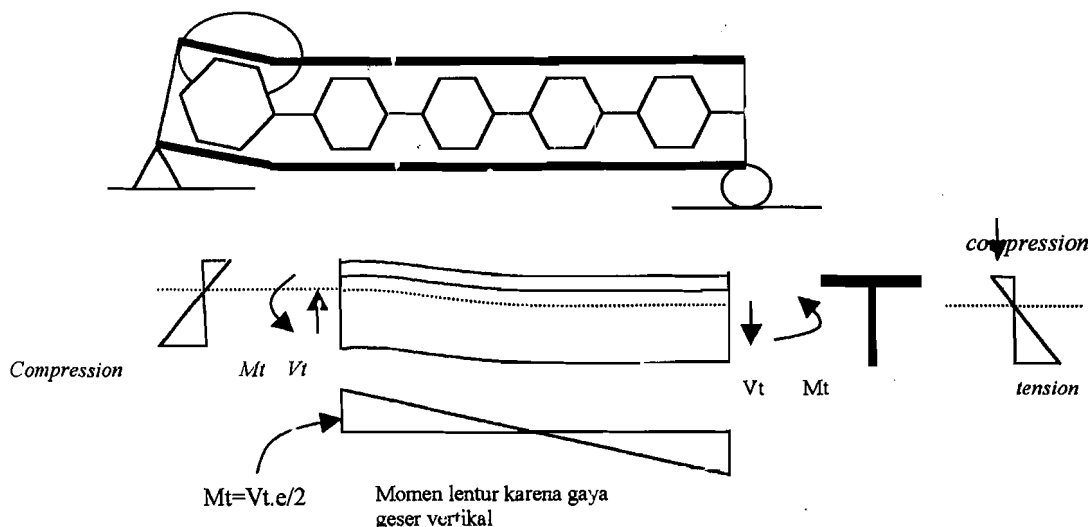
Gambar 3.9a. pembuatan profil castella (*Omer W Blodgett*)



Gambar 3.9b. SFD dan BMD Profil castella (*Omer W Blodgett*)

Dari Gambar 3.9b terlihat bahwa pada daerah tengah bentang, gaya geser yang terjadi kecil sehingga mempunyai pengaruh yang kecil juga terhadap kekuatan balok castella. Mendekati daerah tumpuan, gaya geser yang terjadi juga semakin besar sehingga pada profil castella akan terjadi momen akibat gaya geser pada penampang T yang harus ditambahkan dengan tegangan lentur akibat beban yang bekerja.

Gaya geser yang bekerja pada penampang T profil castella dapat menyebabkan momen pada penampang T seperti terlihat pada Gambar 3.9



Gambar 3.10. Momen lentur pada penampang T karena gaya geser vertikal

Gaya dan tegangan yang terjadi pada profil castella dapat dianggap sebagai berikut (*Omer W Blodget*) :

1. Sisi bawah dan atas balok mengalami tegangan tarik dan tegangan tekan akibat momen lentur utama (akibat beban pada balok) yang memenuhi persamaan:

$$f_b = \frac{M}{S_b} \dots\dots\dots(3.15)$$

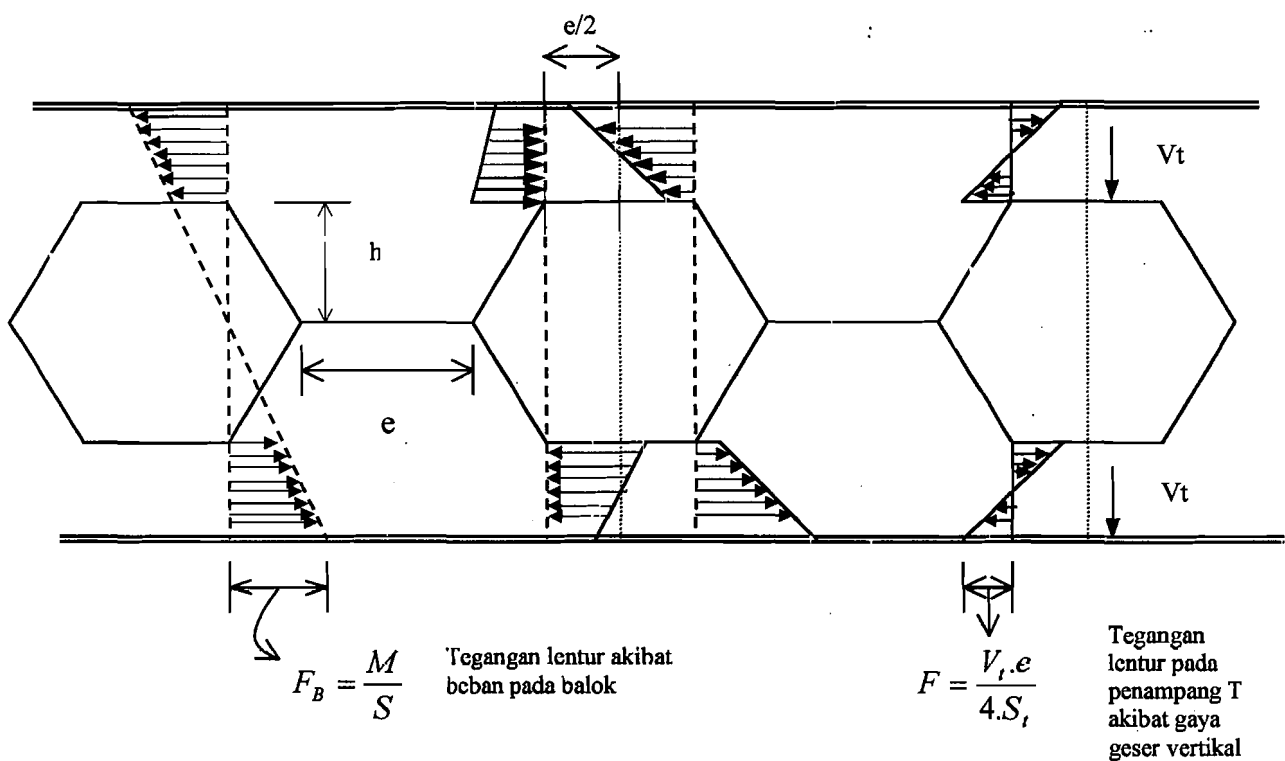
dengan M =momen primer, S_b =*modulus section of Castella*

2. Badan balok memikul gaya geser vertikal akibat beban dan menghasilkan tegangan geser pada badan dan bagian tangkai (*stem*) dari penampang T
3. Pada daerah lubang, gaya geser dibagi dua antara penampang T atas dan bawah. Dengan mengacu kepada Gambar 3.7 dan menganggap geser terjadi pada tengah bagian maka akan menghasilkan momen sebesar:

$$M = \frac{V_t \cdot e}{4} \dots \dots \dots (3.16)$$

Tegangan lentur sekunder yang terjadi adalah:

$$f_f = \frac{V_t \cdot e}{4 \cdot S_f} \dots \dots \dots (3.17)$$



Gambar 3.11 Gaya-gaya pada penampang profil castella (Omer W Blodgett)

Pada penampang T profil castella selain memikul gaya geser yang menyebabkan momen, juga memikul gaya tekan yang disebabkan oleh tegangan lentur seperti terlihat seperti Gambar 3.12 . Sehingga pada penampang T dapat dianggap sebagai balok kolom karena menerima dua gaya yaitu gaya tekan dan gaya

lentur. Dengan demikian pada penampang T berlaku rumus interaksi balok kolom AISC (AISC 9th Edition) sebagai berikut:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{Cm.fb}{\left(1 - \frac{fa}{Fe'}\right)} \leq 1 \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

$$\frac{fa}{0.6Fy} + \frac{fb}{Fb} \leq 1 \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

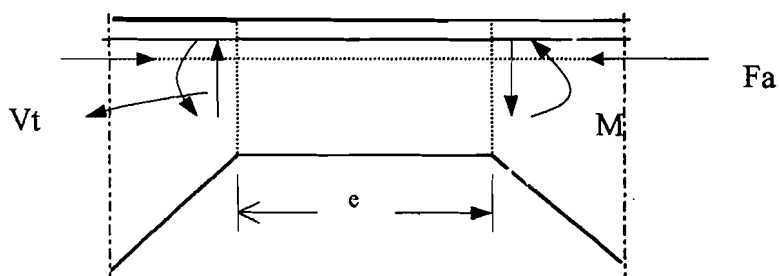
dengan

$$Fe' = \frac{12.E.\pi^2}{23(KL/r)^2} \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

dan

$$Cm = 0.6 - \frac{0.4M_1}{M_2} \geq 0.4 \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

Dengan Fe' adalah tegangan tekuk Euler, dan Cm adalah factor reduksi momen.



Gambar 3.12 Penampang T profil Castella(Omer W Blodgett)

Kombinasi tegangan lentur primer dan sekunder memenuhi persamaan (3.16)

$$F_{tot} = \frac{M}{S_g} + \frac{V.e}{4.S_T} \quad \dots\dots\dots(3.22)$$

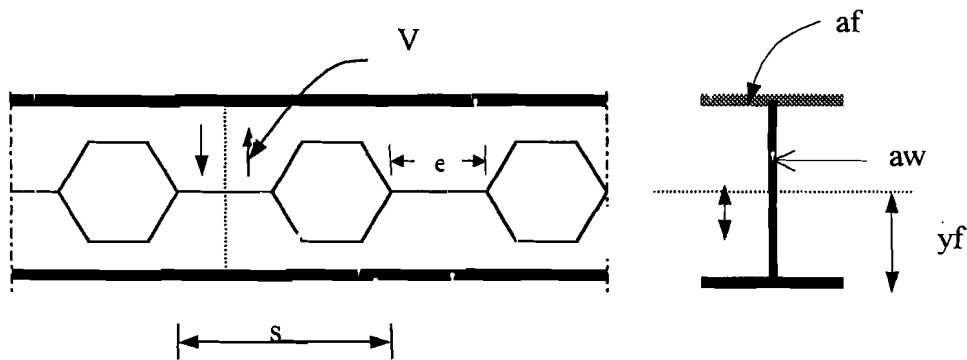
3.4. Tegangan Geser Horizontal Profil Castella

Untuk menghitung tegangan geser horizontal sepanjang garis netral balok terdapat beberapa cara diantaranya (*Omer W Blodgett*):

1. Dengan menggunakan rumus umum tegangan geser dengan anggapan badan

balok tidak berlubang $\tau = \frac{V \cdot a \cdot y}{I t}$, kemudian menaikkan tegangan ini dengan rasio badan secara keseluruhan dengan bagian badan yang tidak berlubang (s/e).

Perhatikan Gambar 3.13 dibawah:



Gambar 3.13 Gaya geser Horizontal pada profil castella (*OmerWBlodgett*)

Sehingga persamaan tegangan geser menjadi

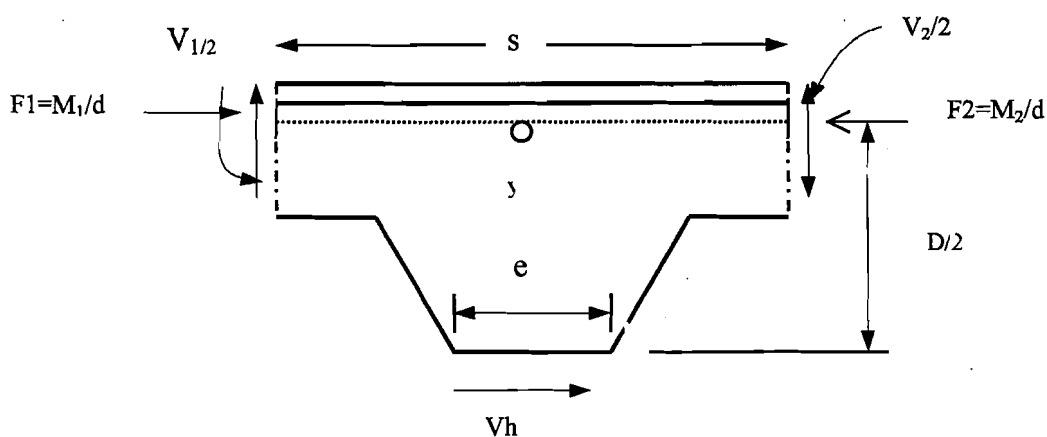
$$\tau_h = \frac{V \cdot a_y \left(\frac{s}{e} \right)}{I t} = \frac{V \cdot (a_f \cdot y_f + a_w \cdot y_w) \left(\frac{s}{e} \right)}{I t_w} \dots\dots\dots(3.23)$$

2. Dengan memperlakukan bagian atas dari balok sebagai *free body* yang mengalami momen lentur. Perbedaan besar gaya yang terjadi pada ujung-ujungnya disalurkan sepanjang garis netral sebagai tegangan geser horizontal seperti Gambar 3.13.

Tegangan geser horizontal kemudian dibagi dengan bagian padat dari badan sepanjang garis netral.

$$V_h = \frac{M_2 - M_1}{d}$$

$$\tau_h = \frac{M_2 - M_1}{d \cdot e \cdot t_w}$$



Gambar3.15 tegangan geser pada profil castella(OmerW Blodgett)

3. Dengan menggunakan *free body* yang sama dihitung momen dari titik y didapat:

$$\frac{V_1}{2} \left(\frac{s}{2} \right) + \frac{V_2}{2} \left(\frac{s}{2} \right) - V_h \cdot \frac{d}{2} = 0 \quad \dots\dots\dots(3.24)$$

Dengan menganggap $(V_1+V_2)/2=V_x$, maka tegangan geser rata-rata menjadi:

$$V_h = V_x \left(\frac{s}{d} \right) \quad \dots\dots\dots(3.25)$$

Sehingga tegangan geser horizontal menjadi:

$$\tau_h = \frac{V_h}{t_w \cdot e} \quad \dots\dots\dots(3.26)$$

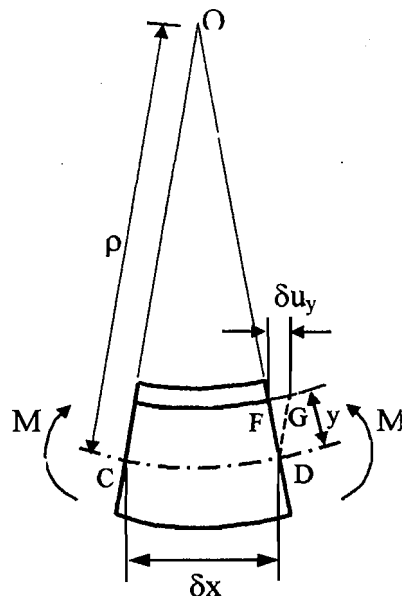
3.5. Hubungan Momen Kelengkungan

Tung Au dan Christiano, 1987, mengemukakan bahwa jika pada suatu balok mengalami lentur, maka bentuk perubahan dari sumbu netral disebut dengan kurva elastis (*elastic curve*). Memperhatikan elemen kecil δx , seperti ditunjukkan pada Gambar (3.16). Jika y sebagai titik ordinat dari sumbu netral elemen, berharga positif ketika titik tersebut diatas sumbu netral. Dengan mengasumsikan bahwa bagian tersebut akan tetap datar selama terdeformasi. Tegangan lentur σ pada serat sejauh y dari garis netral untuk bahan yang bersifat elastis linier adalah sebagai berikut :

$$f = -\frac{My}{I} \quad (3.27)$$

dengan M adalah momen pada bagian tersebut dan I adalah momen inersia tampang. Tanda negatif menunjukkan gaya tekan. Gambar (3.16) menunjukkan perpotongan O disebut dengan pusat kelengkungan (*center of curvature*) dan jarak sejauh ρ dari perpotongan O menuju sumbu netral disebut dengan jari-jari kelengkungan (*radius of curvature*). Untuk serat pada jarak sejauh y dari sumbu netral, panjang awal dari elemen δx memendek menjadi δu_y , dan regangan pada serat tersebut sama dengan $\epsilon = \delta u_y / \delta x$. Dengan δx mendekati nol.

$$\epsilon = -\frac{du_y}{dx} \quad (3.28)$$



Gambar 3.15. Deformasi balok dalam lenturan

dari segitiga OCD dan FGD didapatkan

$$\frac{\delta u_y}{y} = \frac{\delta x}{\rho} \text{ atau } \frac{du_y}{dx} = \frac{y}{\rho} \quad (3.29)$$

dari persamaan (3.28) dan (3.29) didapat :

$$\epsilon = -\frac{y}{\rho} \quad (3.30)$$

untuk bahan elastis memakai hukum Hooke,

$$\sigma = \epsilon E = -\frac{Ey}{\rho} \quad (3.31)$$

dengan menyamakan persamaan (3.27) dan (3.31), hubungan momen kelengkungan

dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{\rho} \quad (3.32)$$

Pada dasarnya hubungan gaya-deformasi dengan M adalah gaya dan kelengkungan $1/\rho$ merupakan hasil dari perubahan bentuk. Besaran EI sebagai faktor kekakuan (*flexural rigidity*) atau *bending stiffness* dari balok. Dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (3.33)$$

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

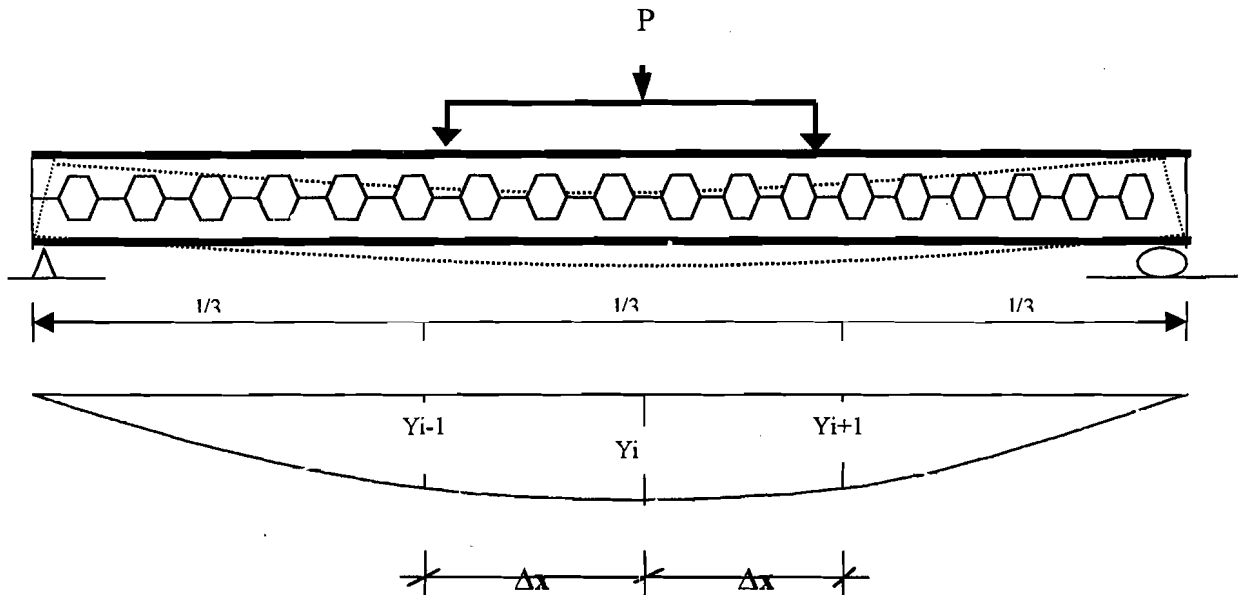
$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0$$

Sehingga persamaan (3.33) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI} \quad (3.34)$$

Dari pengujian kuat lentur balok badan terbuka, didapatkan defleksi pada titik-titik distrik seperti pada Gambar (3.16) *Fatkhurrahman N., 1991*, mengemukakan pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Differences*.

Mengacu pada Gambar (3.16).



Gambar 3.16. Defleksi pada balok badan terbuka

turunan pertama didekati dengan (3.35)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.36)$$

turunan kedua didekati dengan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{u}{v} = \frac{u'v - v'u}{v^2} \quad (3.37)$$

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

$2\Delta x$ adalah konstanta

$$\text{sehingga } \frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0 \quad (3.38)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{2\Delta x^2} \quad (3.39)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi \quad \text{sehingga}$$

$$\phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{2\Delta x^2} \quad (3.40)$$

Dari persamaan (3.34) tampak bahwa kelengkungan dapat dicari dengan bantuan tiga titik seperti ditunjukkan pada Gambar (3.16). Mengacu pada Gambar (3.16) didapat momen maksimum (M) sebesar :

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.41)$$

Dengan mengacu pada persamaan (3.28) dan (3.35) akan didapat hubungan momen dengan kelengkungan sebagai berikut.

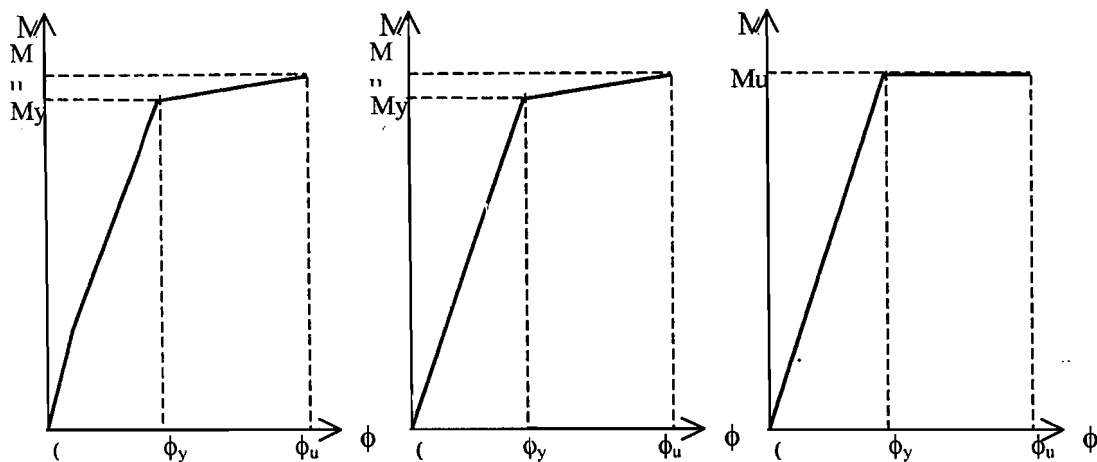
$$EI = \frac{M}{\phi} \quad (3.42)$$

$$M = EI\phi \quad (3.43)$$

$$M = EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.44)$$

Hubungan momen-kelengkungan ($M-\phi$) yang ideal menurut *Park dan Paulay, 1975*, ditunjukkan pada grafik tri-linier, kemudian berubah menjadi kurva bilinier.

Pada saat pembebanan telah tercapai pada P_{\max} dan terjadi momen batas yang menimbulkan mekanisme keruntuhan maka penampang ini akan terus berdeformasi tanpa menghasilkan daya tahan tambahan. Sudut regangan ϕ akan elastis seluruhnya setelah itu keadaan tidak stabil dan lendutan tidak terkendali Gambar (3.17).



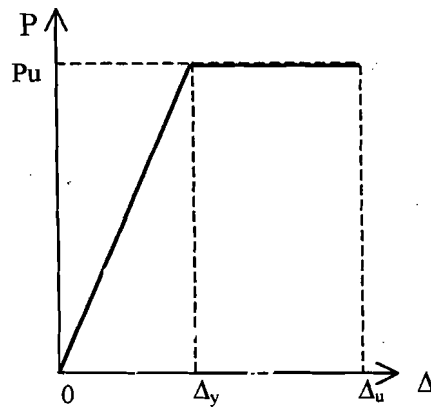
Gambar 3.17. Hubungan Momen (M) dan kelengkungan (ϕ).

3.6. Daktilitas

Englekirk, 1994, mengemukakan bahwa suatu bahan dikatakan daktil ketika bahan tersebut dapat menahan deformasi purna luluh. Daktilitas (μ) didapatkan dengan membagi deformasi yang telah dicapai dengan deformasi pada saat luluh.

Menurut *Park dan Paulay, 1975*, daktilitas merupakan rasio dari deformasi ultimit dengan deformasi pada saat pertama luluh.

Dalam penelitian, setelah didapat besarnya lendutan, maka daktilitas simpangan dapat dicari dari grafik hubungan beban-lendutan seperti ditunjukkan pada Gambar (3.18) yaitu perbandingan antara Δ_u dan Δ_y .



Gambar 3.18. Grafik hubungan beban-lendutan

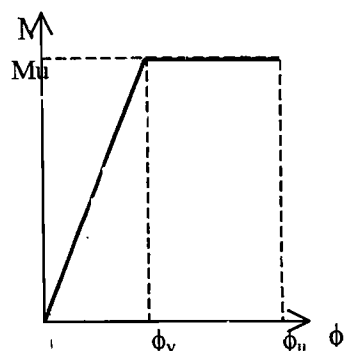
$$\mu_{\text{simpangan}} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (3.45)$$

dimana : $\mu_{\text{simpangan}}$ = daktilitas simpangan

Δ_u = lendutan akhir daerah *post-elastic*

Δ_y = lendutan pada pertama leleh

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari grafik hubungan momen-kelengkungan, seperti ditunjukkan pada Gambar (3.18) yaitu perbandingan antara ϕ_u dan ϕ_y .



Gambar 3.19. Grafik hubungan momen-kelengkungan

$$\mu_{\text{kelengkungan}} = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (3.46)$$

dimana : $\mu_{\text{kelengkungan}}$ = daktilitas kelengkungan

ϕ_u = kelengkungan pada akhir daerah *post-elastic*

ϕ_y = kelengkungan pada pertama leleh

3.7 Hipotesa

Dengan memperhatikan latar belakang, tujuan penelitian, tinjauan pustaka, dan landasan teori maka :

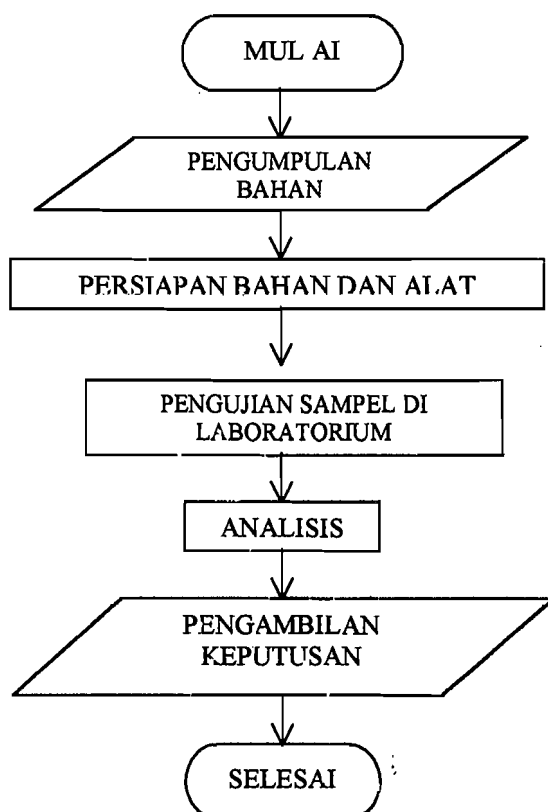
1. Penambahan kekuatan akan meningkatkan tegangan kritis pelat.
2. Balok castella dengan kekuatan mempunyai kapasitas lentur lebih besar dibanding dengan balok castella tanpa kekuatan

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 flowchart pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Flowcart 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. Baja profil

Baja profil yang digunakan adalah baja profil I WF 15 yang dimodifikasi menjadi profil castella.

b. Pelat baja

Pelat baja tebal 3 mm digunakan sebagai perkuatan pada balok castella

c. Profil siku

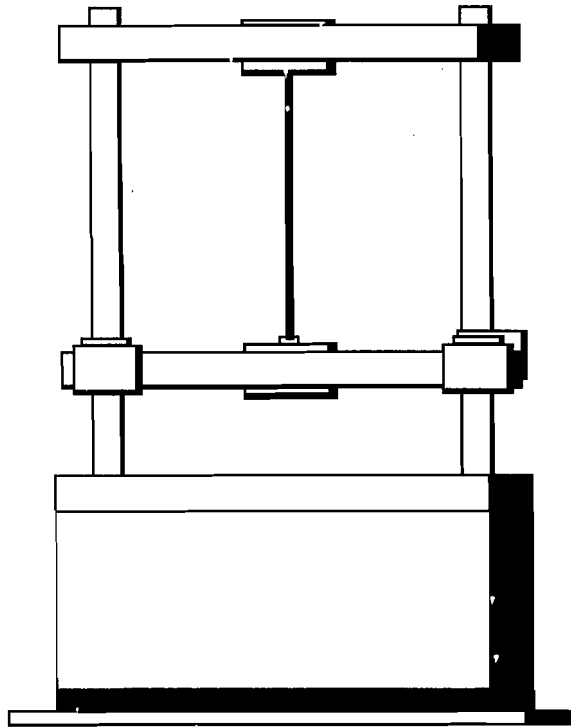
Profil siku L50x50x4 dan L40x40x3 digunakan untuk *bracing*.

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

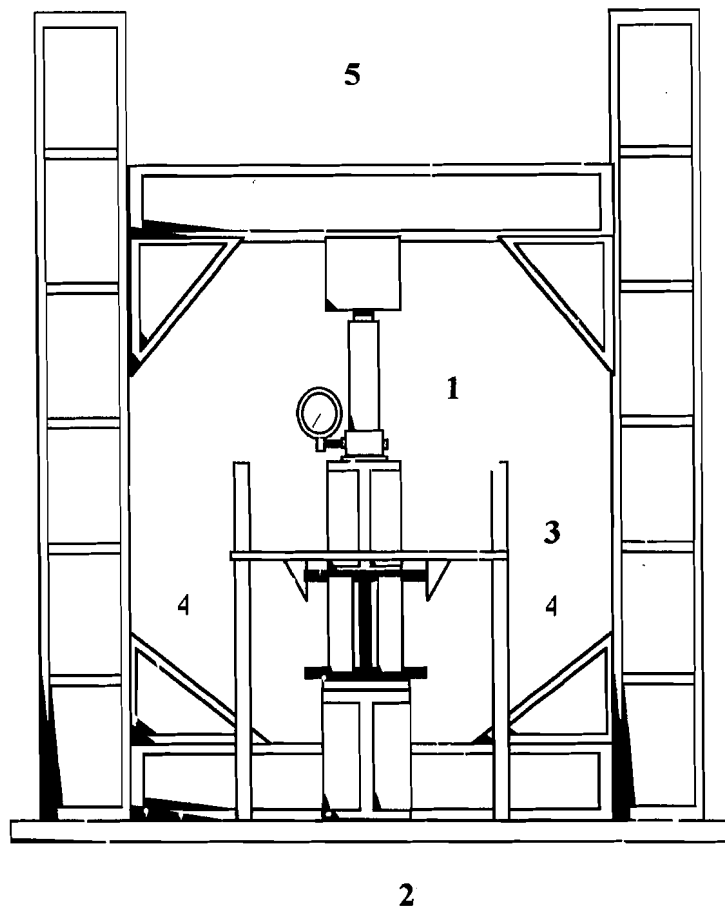
Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu Universal Testing Material (UTM) merk Shimadzu type UMH-30 dengan kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar (4.2).



Gambar 4.2. *Universal Testing Material Shimadzu UMH30*

b. *Loading Frame*

Untuk keperluan uji pembebanan digunakan *loading frame*, dari bahan baja profil WF 450x200x9x14, seperti pada Gambar (4.3). Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap satabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji.



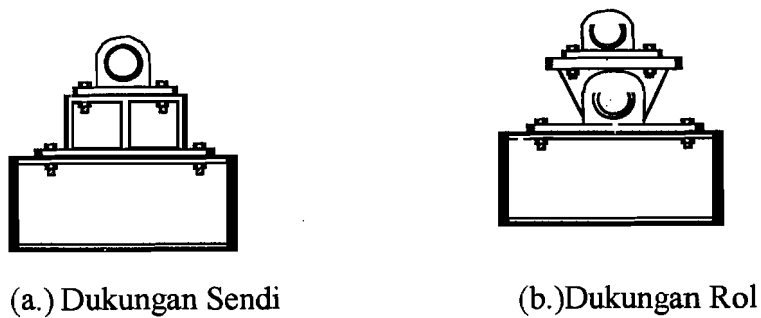
Keterangan :

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

Gambar 4.3. Bentuk fisik *Loading Frame*

c. Dukungan sendi dan rol

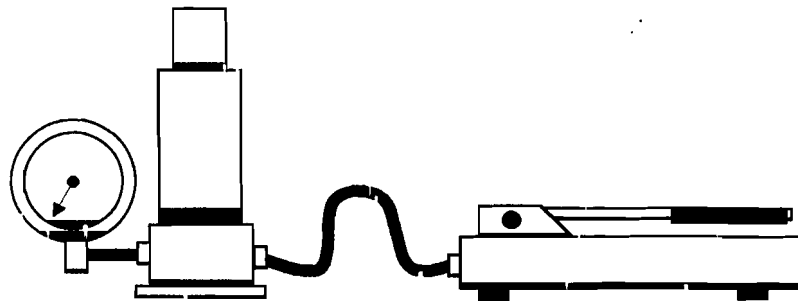
Dukungan sendi dipasang pada salah satu dukungan balok badan terbuka dan dukungan rol dipasang pada dukungan lainnya, seperti pada Gambar (4.4).



Gambar 4.4. Dukungan Sendi dan Rol

d. *Hydraulic Jack*

Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak balok badan terbuka dengan beban sentris P yang mempunyai kapasitas maksimum 20 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,25 ton. Alat tersebut dapat dilihat pada gambar (4.5)

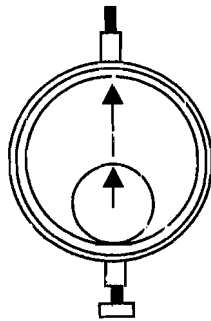


Gambar 4.5. *Hydraulic Jack*

e. *Dial Gauge*

Dial Gauge digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 30 mm dengan ketelitian pembacaan *dial* 0,01

mm, seperti pada Gambar (4.6). Pada penelitian tugas akhir ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah.



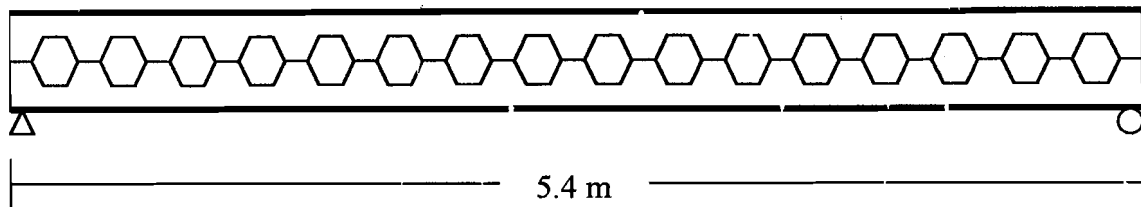
Gambar 4.6. *Dial Gauge*

4.3. Model Benda Uji

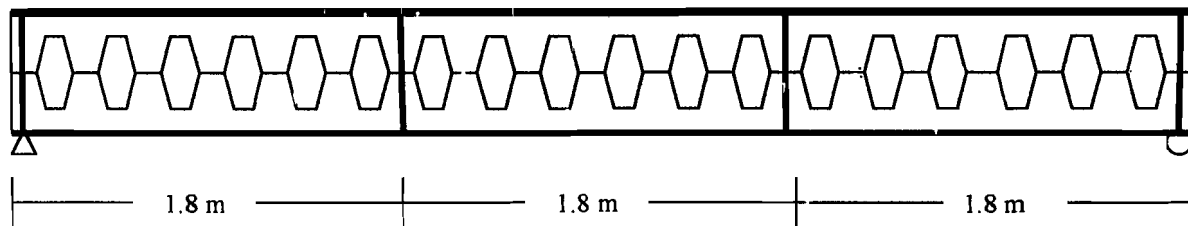
Bahan utama dalam penelitian ini adalah baja profil I yang dimodifikasi menjadi profil castella dengan lubang segienam dan sudut 45 derajat, dengan panjang 5,42 m dengan jumlah sample 4 buah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Sampel Penelitian

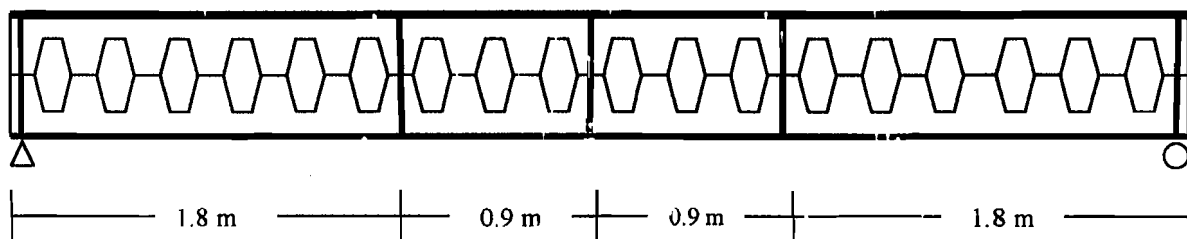
No	Nama sample	Letak perkuatan	Jarak perkuatan
1	SI	Pada tengah bentang dan dibawah beban terpusat	180 cm
2	SII	Setiap 3 lubang	90 cm
3	SIII	Tanpa perkuatan	-
4	SIV	Pada beban terpusat	180 cm



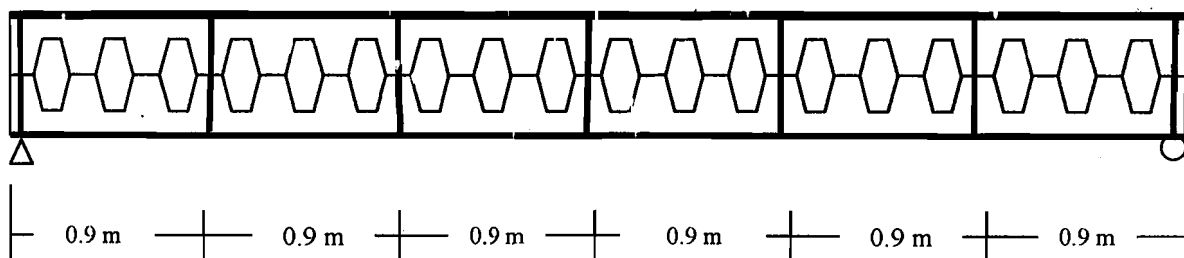
a. balok castella tanpa perkuatan



b. balok castella dengan perkuatan pada beban terpusat



c. balok castella dengan perkuatan pada beban terpusat dan tengah bentang

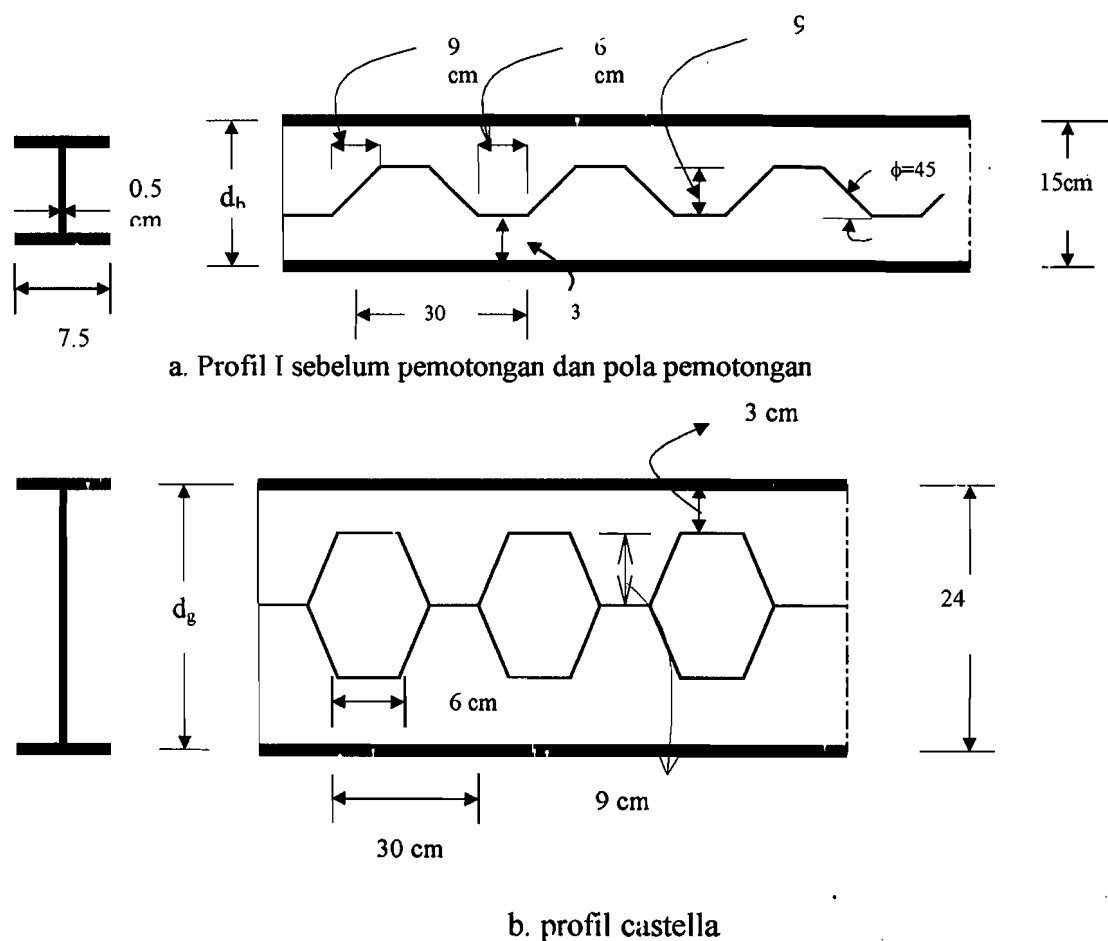


d. balok castella dengan perkuatan tiap tiga lubang

Gambar 4.7 macam benda uji

4.4. Pembuatan Benda Uji

Profil castella dibuat dengan memotong profil I secara zigzag dengan sudut pemotongan 45 derajat, panjang pemotongan horizontal 9 cm, tebal $dt=3$ cm. Setelah profil I selesai dipotong maka kedua bagian profil I tadi disatukan lagi dengan las sehingga akan terbentuk profil baru dengan ada lubang pada badan profil.

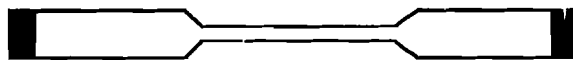


Gambar 4.8 Dimensi Profil I dan Profil Castella

4.5. Pengujian

4.5.1. Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari luasan benda uji. Benda uji untuk kuat tarik baja dibuat seperti pada (Gambar 4.8).



Gambar 4.9 Benda Uji Tarik Baja

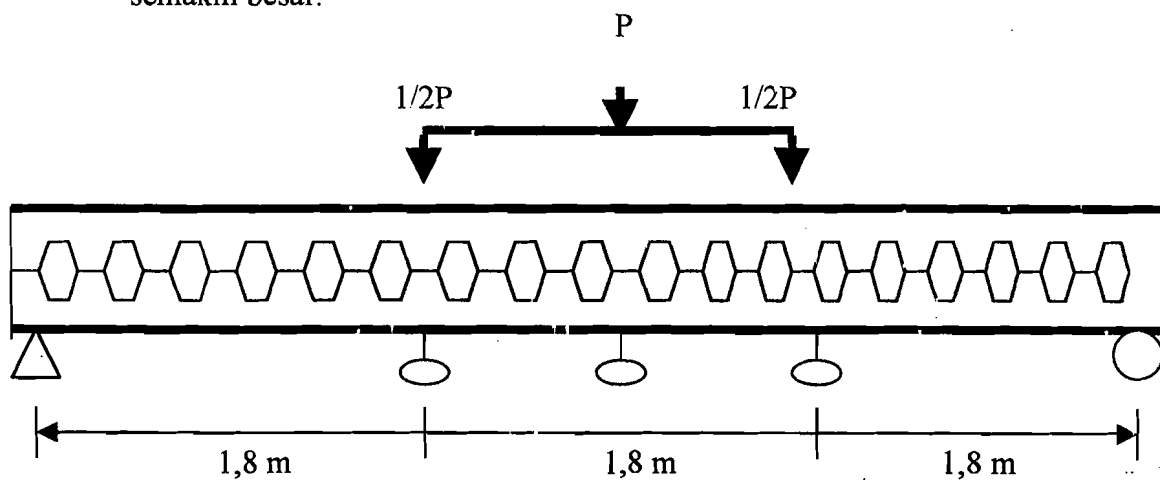
4.5.2. Pengujian Kuat Lentur Balok Castella

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

Dukungan rol dan dukungan sendi (Gambar 4.4.) diletakkan pada *loading frame* (Gambar 4.3.) pada posisi 2,7 meter dari pusat *loading frame*, yang dipergunakan untuk menumpu benda uji dengan panjang 5,4 meter. Kemudian pengaku lateral (*bracing*) ditempatkan pada sisi kiri dan kanan benda uji untuk menahan benda uji agar tidak mengalami tekuk lateral ke arah samping. Selanjutnya *Hidraulic Jack* (Gambar 4.5.) diletakkan diatas balok sepanjang 1,8 meter yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang membebani benda uji, dan tiga buah *Dial Gauge* (Gambar 4.10.) diletakkan di bawah benda uji.

Setelah proses *setting* peralatan selesai kemudian dilaksanakan pengujian kuat lentur balok castella. Proses pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Setelah benda uji diletakkan di loading frame dan proses setting selesai dilakukan, maka dilakukan pembebanan melalui hidrolis jack.
2. Karena adanya beban dari hidrolis jack akan mengakibatkan balok castella mengalami lendutan..
3. Pada setiap penambahan beban oleh hidrolis jack sebesar 300 kg (0,3 kN) besarnya lendutan yang terukur oleh dial gauge dicatat.
4. Pada saat beban pada hidrolis jack sudah tidak bertambah maka balok castella sudah mencapai beban maksimum, sehingga lendutan yang terjadi akan semakin besar.



Gambar 4.10 model pembebanan

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Untuk mengetahui kualitas dari profil baja yang akan diuji maka diadakan pengujian tarik baja yang dilakukan di Lab BKT UII. Benda uji yang diuji ada dua buah dengan hasil pengujian terlihat pada tabel 5.1

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

No	Benda uji (kN)	Beban leleh (kN)	Beban max (kN)	Luas (cm ²)	Fy (kN/cm ²)	Keterangan
1	I	20.25	25.70	0.5	40.5	badan
2	II	20.80	30.90	0.6	34.667	sayap

Dari hasil pengujian tarik baja diatas maka dapat diketahui tegangan leleh rata-rata benda uji yaitu : 37.5833 kN/cm²

5.2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Baja Profil Castella

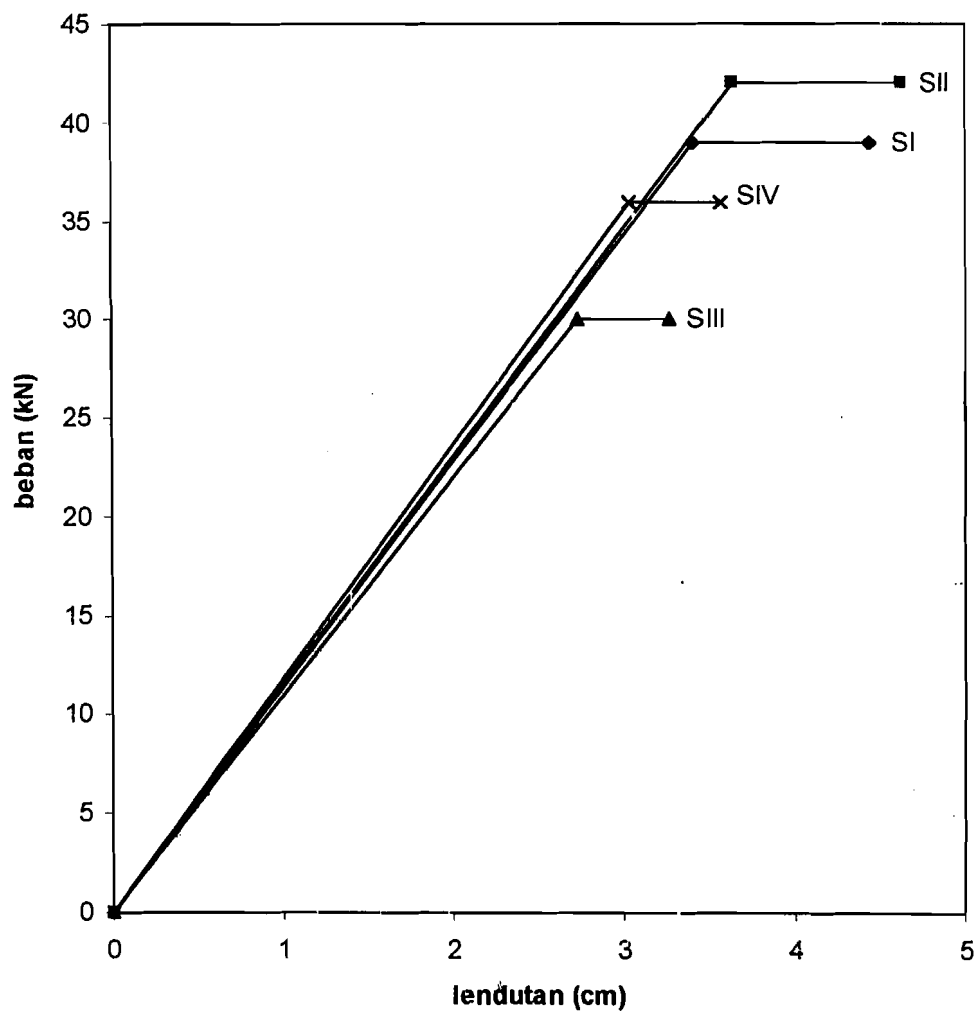
5.2.1. Hubungan Beban Lendutan

5.2.1.1. Hubungan Beban Lendutan Hasil Penelitian

Pelaksanaan pengujian kuat letur balok castella dilakukan di laboratorium struktur Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan UII, foto-foto pelaksanaan pengujian, serta data pengujian dapat dilihat pada lampiran. Dari pengujian kuat

lentur dapat diperoleh grafik hubungan beban lendutan dan grafik hubungan momen kelengkungan.

Hubungan bebanlendutan



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Beban Lendutan.

Pada pengujian lentur ini, benda uji balok berbadan terbuka diberi beban setiap sepertiga bentang. Secara bertahap beban dinaikkan dengan interval 300 kg (0.3 kN), data lendutan yang terjadi dicatat. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik hubungan beban lendutan seperti terlihat pada gambar 5.1. Pada Tabel 5.2 dapat dilihat beban maksimum yang mampu ditahan oleh masing – masing benda uji.

Tabel 5.2 Beban Maksimum benda Uji

No	Sampel	P max (kN)	P max (%) (terhadap castella tanpa perkuatan)
1	Castella Perkuatan tiap 3 lubang (SII)	42	140
2	Castella Perkuatan pada tengah bentang dan dibawah beban terpusat	39	130
3	Castella Perkuatan dibawah beban terpusat	36	120
4	Castella Tanpa perkuatan	30	100
5	Profil I (teoritis)	21.74	72.5

5.2.1.1. Analisa Data Hubungan Beban Lendutan

Dari data hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar (5.1) dapat disimpulkan tentang kekakuan balok badan terbuka pada beban ultimit dalam Tabel (5.3).



Tabel 5.3. Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan

Benda uji	Beban (P) kN	Lendutan (Δ_y) mm	Kekakuan (P/Δ_y) kN/m	Kekakuan (%)
Perkuatan tiap 3 lubang	42	36.41	1153.53	125.73
Perkuatan pada beban terpusat dan tengah bentang	39	34.17	1141.35	124.43
Perkuatan pada beban terpusat	36	31.9	1128.53	123.09
Tanpa perkuatan	30	27.34	917.43	100

Dari data dalam Tabel (5.3) dapat diamati dan diteliti pengaruh pelat perkuatan pada kekuatan lentur balok castella dan lendutan yang terjadi pada benda uji. Selain itu, dari Gambar (5.1) dapat dicari daktilitas lendutan yang disajikan dalam Tabel (5.4).

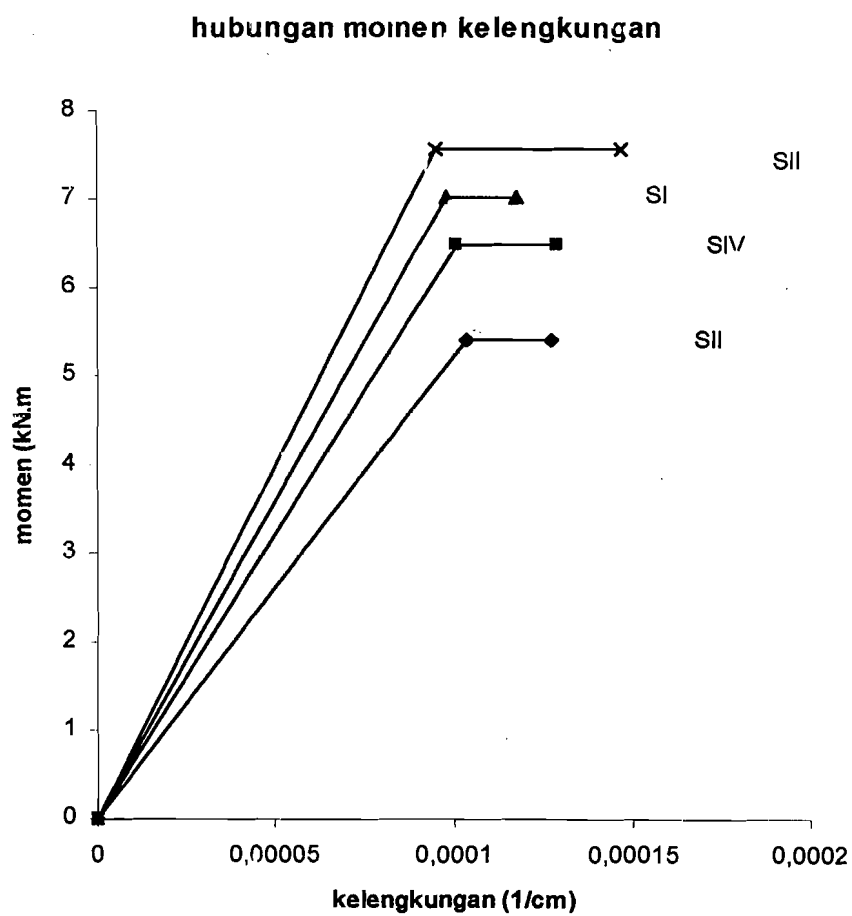
Tabel 5.4. Analisa daktilitas lendutan dari hubungan beban-lendutan

Benda uji	Beban (P) kN	Lendutan (Δ_y) mm	Lend. maks. (Δ_u) mm	Daktilitas (Δ_u/Δ_y)	Daktilitas (%)
Perkuatan tiap 3 lubang	42	36.41	44.23	1.215	110.45
Perkuatan pada beban terpusat dan tengah bentang	39	34.17	40.82	1.195	108.6
Perkuatan pada beban terpusat	36	31.9	35.27	1.12	101.8
Tanpa perkuatan	30	27.34	30.15	1.1	100

5.2.2. Hubungan Momen Kelengkungan

5.2.2.1. Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Penelitian

Dari data hasil penelitian diperoleh grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) sehingga dapat dicari momen (M) dan kelengkungan (ϕ). Hubungan grafik $M-\phi$ dapat digunakan untuk mencari nilai kekakuan. Dari data hasil pengujian pada keempat sampel balok castella dapat dibuat grafik hubungan momen-kelengkungan seperti pada Gambar (5.2).



Gamba 5.2 Hubungan momen kelengkungan

5.2.2.2. Analisa Data Hubungan Momen Kelengkungan

Dari hasil pengamatan Grafik hubungan momen-kelengkungan pada Gambar (5.2) dapat dicari kekakuan balok badan terbuka, seperti pada Tabel (5.5).

Tabel 5.5. Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan

Benda uji	Momen (M) kNm	Kelengkungan (ϕ) 1/m	EI = M/ ϕ KNm ²	EI %
Perkuatan tiap 3 lubang	7.56	9.94E-0.3	2281.6901	146.48
Perkuatan pada beban terpusat dan tengah bentang	7.02	9.79E-0.3	2155.3577	138.37
Perkuatan pada beban terpusat	6.48	0.0101	1924.7525	123.56
Tanpa perkuatan	5.4	0.0104	1557.6923	100

Dari Gambar (5.2) juga dapat dicari daktilitas kelengkungan balok badan terbuka seperti dalam Tabel (5.6).

Tabel 5.6. Analisa daktilitas kelengkungan dari hubungan momen-kelengkungan

Benda uji	M KNm	ϕ_y 1/m	ϕ_u 1/m	Daktilitas ϕ_u/ϕ_y	Daktilitas %
Perkuatan tiap 3 lubang	7.56	9.94E-0.3	0.000147	1.475	126.07
Perkuatan pada beban terpusat dan tengah bentang	7.02	9.79E-0.3	0.00013	1.33	113.67
Perkuatan pada beban terpusat	6.48	0.000101	0.000129	1.27	108.55
Tanpa perkuatan	5.4	0.000104	0.000122	1.17	100

5.3. Analisa Kerusakan

Kerusakan yang terjadi pada balok castella adalah terjadinya tekuk lateral pada balok.

5.4. Pembahasan

5.4.1. Kuat Lentur Balok Berdasarkan Hubungan Beban Lendutan

Dengan mengamati grafik hubungan beban-lendutan keempat benda uji, dapat dilihat bahwa keempat benda uji memiliki perilaku kuat lentur yang hampir sama. Mulai dari titik pangkal koordinat sampai pada titik leleh, kurva masih tampak linier, setelah itu kurva tampak datar dengan beban tetap sedangkan lendutannya mengalami peningkatan.

Balok castella dengan perkuatan mempunyai kuat lentur yang lebih baik dari balok castella tanpa perkuatan. Hal ini dapat dilihat dari grafik hubungan beban lendutan (gambar 5.1). Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa balok castella tanpa perkuatan mampu menahan beban sebesar 30 kN, sedangkan balok castella dengan perkuatan mampu menahan beban lebih besar yaitu 36 kN (S 4), 39 kN (S 1), 42 kN (S 2).

Dari tabel hubungan beban lendutan dapat juga dicari kekakuan balok castella, sehingga dapat diketahui pengaruh perkuatan pada kekakuan balok castella.

Untuk S 1 (perkuatan pada beban terpusat dan tengah bentang), beban maksimum adalah 39 kN, dengan nilai kekakuan 1141,35 kN/m, sedang untuk S2 (perkuatan tiap 3 lubang) mampu menahan beban maksimum sebesar 42 kN dan kekakuan sebesar 1153,53 kN/m, S3 (tanpa perkuatan) beban maksimum adalah

30 kN dan kekakuan adalah 917,43 kN/m, dan S4 (perkuatan pada beban terpusat) beban maksimum adalah 36 kN dan kekakuan adalah 1128,53 kN/m. Dari data diatas serta dengan mengambil balok castella tanpa perkuatan sebagai pembanding maka dapat diketahui bahwa balok castella dengan perkuatan mengalami peningkatan kemampuan menahan beban. Kenaikan ini bervariasi untuk setiap benda uji. Peningkatan terbesar terjadi pada balok castella dengan perkuatan setiap tiga lubang yaitu sebesar 140 % untuk beban maksimum, sedangkan kekakuan mengalami peningkatan sebesar 125.73 %

5.4.2. Daktilitas Simpangan Ditinjau Dari Hubungan Beban Lendutan

Berdasarkan pengamatan dari grafik hubungan beban-lendutan yang kemudian dianalisa seperti ditampilkan pada Tabel (5.4), dapat dilihat daktilitas balok castella tanpa perkuatan dan dengan perkuatan kemudian daktilitas balok castella tersebut dapat dibandingkan.

Pada balok castella tanpa perkuatan nilai daktilitas adalah 1,1 sedangkan untuk balok castella dengan perkuatan yang terdiri dari tiga variasi letak perkuatan daktilitas terbesar adalah 1,215 yaitu untuk perkuatan tiap 3 lubang kemudian berturut-turut nilai daktilitas adalah 1,195 (perkuatan pada tengah bentang dan beban terpusat) dan 1,12 (perkuatan pada beban terpusat).

Dengan balok castella tanpa perkuatan sebagai nilai pembanding dapat dilihat bahwa balok castella dengan perkuatan mengalami peningkatan nilai daktilitas simpangan karena beban lendutan. Kenaikan nilai daktilitas simpangan karena beban lendutan tertinggi terjadi pada balok castella dengan perkuatan setiap tiga lubang yaitu 110.45 %.

5.4.3. Kuat Lentur Balok Berdasarkan Hubungan Momen Kelengkungan

Dengan mengamati grafik hubungan momen-kelengkungan keempat benda uji Gambar (5.2), dapat dilihat bahwa keempat benda uji memiliki perilaku kuat lentur yang hampir sama. Mulai dari titik pangkal koordinat sampai pada titik leleh kurva masih tampak linier setelah itu kurva tampak datar dengan momen tetap sedangkan kelengkungannya mengalami peningkatan.

Balok castella dengan perkuatan yang terdiri dari 3 variasi letak perkuatan mampu menahan momen yang lebih besar dibandingkan balok castella tanpa perkuatan. Momen yang dapat ditahan oleh balok castella tanpa perkuatan adalah 5.4 kN.m sedangkan balok castella mampu menahan momen sebesar 7.56 kN.m (perkuatan tiap tiga lubang).

Dari data tabel hubungan momen-kelengkungan dapat dipakai juga untuk mencari kekakuan, sehingga diperoleh kekakuan pada balok castella tanpa perkuatan dan balok castella dengan perkuatan, seperti ditunjukkan dalam Tabel (5.5), kemudian dengan mengambil balok castella dengan perkuatan tiap tiga lubang sebagai pembandingnya maka dapat diketahui prosentase penurunan kekakuan balok castella.

Balok castella tanpa perkuatan mempunyai factor kekakuan sebesar 1557.6923 kN.m². Sedangkan balok castella dengan perkuatan mempunyai factor kekakuan 2281.6981 kN.m (perkuatan tiap tiga lubang), 2155.3577 kN.m(perkuatan tengah bentang dan beban terpusat), 1924.7524 kN.m (perkuatan pada beban terpusat).

5.4.4. Daktilitas Simpangan Ditinjau dari Hubungan Momen Kelengkungan

Berdasarkan pengamatan pada grafik hubungan momen-kelengkunganyang kemudian di analisa seperti ditampilkan pada Tabel (5.6), dapat dilihat daktalitas balok castella dengan perkuatan dan tanpa perkuatan (tanpa perkuatan) dan kemudian daktalitas dari masing-masing benda uji tersebut dapat dibandingkan.

Untuk balok castella tanpa perkuatan didapat nilai daktilitas sebesar 1.17, sedangkan untuk balok castella dengan perkuatan nilai daktilitas dari masing – masing benda uji adalah 1.47 (perkuatan tiap tiga lubang), 1.33 (perkuatan pada tengah bentang dan beban terpusat), 1.27 (perkuatan pada beban terpusat).

Dengan balok castella tanpa perkuatan sebagai nilai pembanding dapat dilihat bahwa balok castella dengan perkuatan mengalami penimngkatan nilai daktilitas simpangan karena momen kelengkungan. Kenaikan nilai daktilitas simpangan karena momen kelengkungan tertinggi terjadi pada balok castella dengan perkuatan setiap tiga lubang yaitu 125.64 %

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan mengenai kuat lentur balok castella tanpa perkuatan dan dengan perkuatan sebagai berikut:

1. Kapasitas lentur balok castella tanpa perkuatan adalah 5.4 kN.m dengan beban maksimum yang mampu ditahan 30 kN, sedangkan balok castella dengan perkuatan tiap 3 lubang adalah 7.56 kNm dengan beban maksimum 42 kN.
2. Balok castella dengan perkuatan mempunyai kapasitas lentur yang lebih besar disbanding dengan balok castella tanpa perkuatan. Peningkatan terbesar terjadi pada balok castella dengan perkuatan tiap 3 lubang.
3. Daktilitas simpangan balok baja profil castella berkisar 1.1 s/d 1.215 sedangkan daktilitas lengkung berkisar 1.17 s/d 1.475

6.2. Saran

1. Pada penelitian ini belum diukur lendutan kesamping akibat tekuk lateral sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai tekuk lateral pada balok castella

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan mengenai kuat lentur balok castella tanpa perkuatan dan dengan perkuatan sebagai berikut:

1. Kapasitas lentur balok castella tanpa perkuatan adalah 5.4 kN.m dengan beban maksimum yang mampu ditahan 30 kN, sedangkan balok castella dengan perkuatan tiap 3 lubang adalah 7.56 kNm dengan beban maksimum 42 kN.
2. Balok castella dengan perkuatan mempunyai kapasitas lentur yang lebih besar disbanding dengan balok castella tanpa perkuatan. Peningkatan terbesar terjadi pada balok castella dengan perkuatan tiap 3 lubang.
3. Daktilitas simpangan balok baja profil castella berkisar 1.1 s/d 1.215 sedangkan daktilitas lengkung berkisar 1.17 s/d 1.475

6.2. Saran

1. Pada penelitian ini belum diukur lendutan kesamping akibat tekuk lateral sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai tekuk lateral pada balok castella

2. Untuk mencegah terjadinya tekuk lateral maka dukungan lateral pada balok castella harus benar-benar baik sehingga terjadinya tekuk lateral dapat dicegah.
3. Dalam pembuatan profil castella diperlukan ketelitian dan kehati-hatian dalam memotong dan mengelas profil I sehingga diperoleh profil castella sesuai dengan perencanaan.
4. Pada penelitian ini belum dilakukan pengujian las sehingga pada penelitian selanjutnya pengujian las perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas las yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Au, Tung., Christiano, Paul., 1987, STRUCTURAL ANALYSIS, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Burns, Thomas., 1995, STRUCTURAL STEEL DESIGN, Delman Publisher, New York.
- Bowles, Joseph E., 1981, STRUCTURAL STEEL DESIGN, McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- Bresler, Boris., Lin, T.Y., Scalzi, John B., 1968, DESIGN OF STEEL STRUCTURES, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Englekirk, Robert., 1994, STEEL STRUCTURES CONTROLLING BEHAVIOR THROUGH DESIGN, John Willey & Scns, Inc., Canada.
- Gere, James M., Timoshenko, Stephen P., 1985, MEKANIKA BAHAN, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Gunawan , Rudi., 1988, Tabel Profil KONSTRUKSI BAJA, Penerbit Kanisius.
- Johnston, Bruce G., Lin, Fung-Jen., Galambos, T.V., 1980, BASIC STEEL DESIGN Second edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Park, R., Paulay, T., 1975, REINFORCED CONCRETE STRUCTURES, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Salmon, Charles G., Johnson, John E., (diterjemahkan oleh Prihminto Widodo), 1996, STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU 1, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.




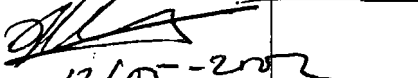

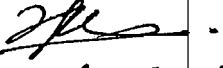
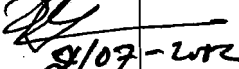
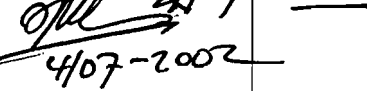
Salmon, Charles G., Johnson, John E., (diterjemahkan oleh Prihminto Widodo),
1996, STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU 2, PT Gramedia
Pustaka Utama, Jakarta.

-----, 1989, MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION ALLOWABLE
STRESS DESIGN, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago.

-----, 1984, PERATURAN PERENCANAAN BANGUNAN BAJA
INDONESIA, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.

West, Harry H., 1980, ANALYSIS OF STRUCTURES, John Willey & Sons,
Inc., Canada.

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
		- cari literatur . - lebur, Fer, perkuatan	
		Dilampirkan proposal ini ke DPI .	 18/03-2002
		Buat laporan & grafik Buat babasan .	 2/05-2002
		Tanya jessie & Caudan temi	 12/05-2002
		Dirumen 23/02-2002 	
		klasifikasi ke DPI I baku pusea deklarasi dry boni ?	
		$T \quad S = ?$ M nail keler? \perp $f_{\text{total}} = \frac{m}{\sum f_r}$ = ... baugh & fer. $f_r < f_r$ cek per berdasar hasil keler.	 4/06 2002
		Gambar ¹ -, pengujian dftm ini, Gbr, gbr	 2/07-2002
		Dilampirkan ke pada DPI I	 4/07-2002
		Perbaik. /o	
		Perbaik. /o	

10/13/7/02 = Data asli eksperimen
 15/7/02 = Perbaik. /o
 17/7/02 = dikumpulkan /o Ace /o

Lampiran 2.
Data Pengujian Kuat Lentur Balok

Lampiran 2

Data Pengujian Balok Castella

Pengujian I Balok Castella dengan perkuatan pada tengah bentang dan beban terpusat

Pengujian ke 1

<i>no</i>	<i>beban kN</i>	<i>dial 1 cm</i>	<i>dial 2 cm</i>	<i>dial 3 cm</i>	<i>lengkung</i>	<i>momen kN.cm</i>
1	3	0,169	0,264	0,135	1,23E-05	1620
2	6	0,402	0,513	0,363	1,43E-05	3240
3	9	0,669	0,781	0,534	1,97E-05	4860
4	12	0,743	0,981	0,709	2,8E-05	6480
5	15	0,941	1,253	0,913	3,58E-05	8100
6	18	1,188	1,554	1,165	4,14E-05	9720
7	21	1,341	1,8	1,324	5,13E-05	11340
8	24	1,474	1,985	1,462	5,67E-05	12960
9	27	1,672	2,259	1,666	6,47E-05	14580
10	30	1,856	2,513	1,859	7,19E-05	16200
11	33	2,098	2,844	2,11	8,12E-05	17820
12	36	2,229	3,028	2,244	8,69E-05	19440
13	39	2,512	3,417	2,541	9,77E-05	21060
14	39	2,838	3,663	2,735	9,62E-05	21060
15	39	2,987	3,821	2,849	9,91E-05	21060
16	39	3,12	3,986	2,981	0,000103	21060
17	39	3,221	4,201	3,12	0,000113	21060
18	39	3,315	4,34	3,325	0,000112	21060
19	39	3,38	4,398	3,28	0,000117	21060
20	39	3,501	4,432	3,398	0,000108	21060

Pengujian II (Balok Castella dengan perkuatan tiap tiga lubang)

no	beban kN	dial 1 cm	dial 2 cm	dial 3	ngkungan cm	momen kN.cm
1	3	0,17	0,231	0,19	5,6E-06	1620
2	6	0,46	0,495	0,37	8,78E-06	3240
3	9	0,582	0,73	0,62	1,42E-05	4860
4	12	0,729	0,896	0,71	1,94E-05	6480
5	15	0,912	1,174	0,93	2,78E-05	8100
6	18	1,081	1,413	1,102	3,53E-05	9720
7	21	1,276	1,69	1,396	3,88E-05	11340
8	24	1,421	1,87	1,447	4,78E-05	12960
9	27	1,681	2,2	1,69	5,65E-05	14580
10	30	1,799	2,401	1,84	6,38E-05	16200
11	33	2,069	2,793	2,184	7,31E-05	17820
12	36	2,295	2,986	2,216	8,02E-05	19440
13	39	2,533	3,27	2,445	8,57E-05	21060
14	42	2,801	3,641	2,67	9,94E-05	22680
15	42	2,853	3,779	2,886	9,98E-05	22680
16	42	2,931	3,99	2,986	0,000113	22680
17	42	2,956	4,213	2,999	0,000136	22680
18	42	3,051	4,231	3,01	0,000132	22680

Pengujian III

Balok Castella tanpa perkuatan

no	beban kN	dial 1 cm	dial 2 cm	dial 3	ngkungan cm	momen kN.cm
1	3	0,146	0,2	0,124	7,13E-06	1620
2	6	0,362	0,55	0,214	2,88E-05	3240
3	9	0,504	0,77	0,407	3,45E-05	4860
4	12	0,697	1,07	0,613	4,55E-05	6480
5	15	0,906	1,367	0,802	5,63E-05	8100
6	18	1,112	1,658	1,098	6,07E-05	9720
7	21	1,306	1,933	1,269	7,08E-05	11340
8	24	1,563	2,163	1,398	7,49E-05	12960
9	27	1,709	2,376	1,415	8,93E-05	14580
10	30	1,951	2,734	1,619	0,000104	16200
11	30	2,067	2,905	1,719	0,000111	16200
12	30	2,102	3,091	1,762	0,000127	16200
13	30	2,226	3,168	1,838	0,000125	16200
14	30	2,357	3,221	1,895	0,00012	16200
15	30	2,391	3,27	1,922	0,000122	16200

Pengujian IV
Balok Castella perkuatan pada beban terpusat

<i>no</i>	<i>beban</i> <i>kN</i>	<i>dial 1</i> <i>cm</i>	<i>dial 2</i> <i>cm</i>	<i>dial 3</i> <i>cm</i>	<i>lendutan</i>	<i>momen</i> <i>kN.cm</i>
1	3	0,186	0,235	0,139	7,96E-06	1620
2	6	0,398	0,586	0,355	2,3E-05	3240
3	9	0,585	0,853	0,55	3,13E-05	4860
4	12	0,734	1,07	0,666	4,06E-05	6480
5	15	0,936	1,344	0,859	4,9E-05	8100
6	18	1,095	1,56	1,01	5,57E-05	9720
7	21	1,309	1,85	1,216	6,45E-05	11340
8	24	1,45	2,052	1,354	7,13E-05	12960
9	27	1,627	2,27	1,529	7,59E-05	14580
10	30	1,847	2,579	1,729	8,68E-05	16200
11	33	2,062	2,877	1,941	9,61E-05	17820
12	36	2,179	3,04	2,054	0,000101	19440
13	36	2,278	3,218	2,185	0,000108	19440
14	36	2,303	3,529	2,214	0,000139	19440
15	36	2,326	3,3	2,244	0,000111	19440
16	36	2,358	3,34	2,2274	0,000115	19440
17	36	2,378	3,385	2,303	0,000115	19440
18	36	2,405	3,526	2,335	0,000127	19440
19	36	2,435	3,572	2,364	0,000129	19440

Lampiran 3
Dokumentasi Penelitian

Lampiran 3

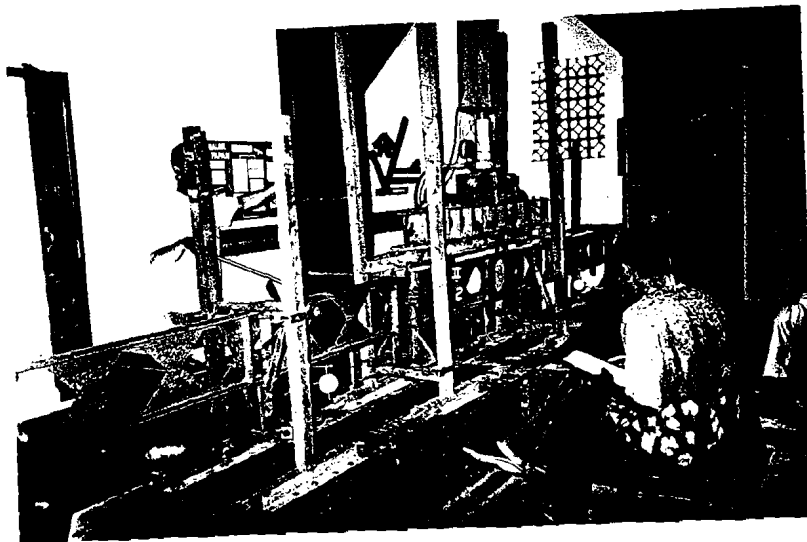


Foto. 1. Pengujian Lentur Balok Castella



Foto 2 Setting Benda Uji



Foto 3. Tekuk Lateral Pada Balok castella

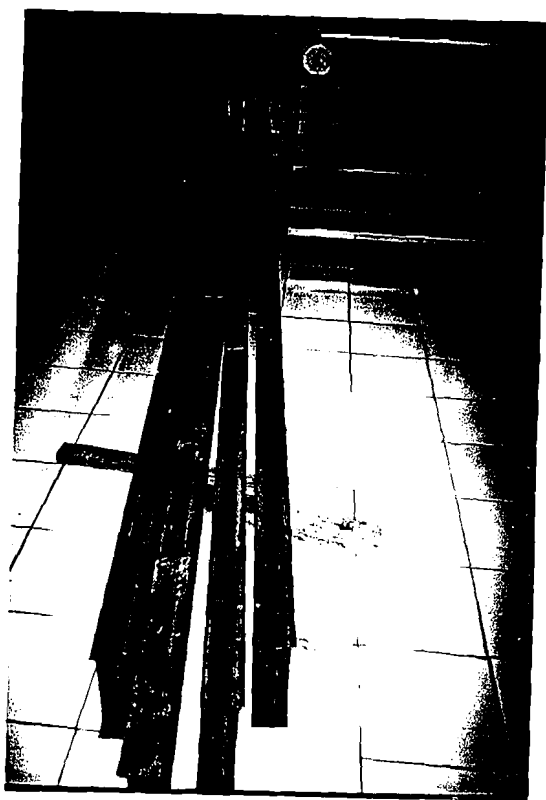
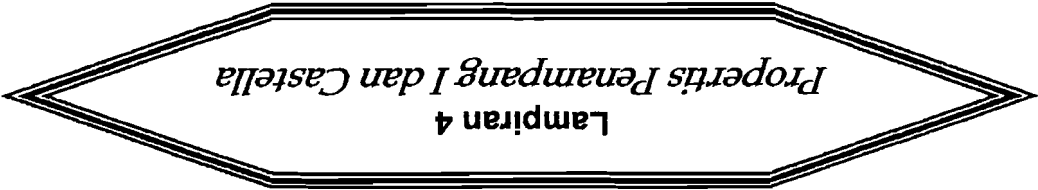


Foto 4 Benda Uji Setelah Pengujian

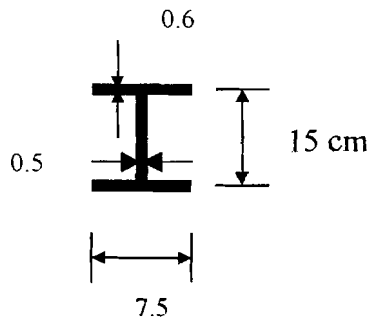
Foto 5. Dukungan lateral pada Benda Uji





Lampiran 4
Propertis Penampang I dan Castella

Propertis Penampang I



$$b_f = 7.5 \text{ cm} = 3 \text{ in}, t_f = 0.6 \text{ cm} = 0.24 \text{ in}, t_w = 0.5 \text{ cm} = 0.2 \text{ in}, h = 15 \text{ cm} = 6 \text{ in}$$

$$A_f = 0.6 * 7.5 = 4.5 \text{ cm}^2$$

$$d/a_f = 6/4.5 = 8.3$$

$$F_y = 3758.33 \text{ kg/cm}^2 = 24.25 \text{ ksi}$$

Inersia Profil I

$$y = \frac{0.6 * 7.5 * \frac{1}{2} * 0.6 + 0.5 * 13.8 * (0.6 + 0.5 * 13.8) + 0.6 * 7.5 * (0.5 * 0.6 + 14.4)}{15.9}$$

$$y = \frac{1.35 + 51.75 + 66.15}{15.9} = 7.5 \text{ cm}$$

Inersia

$$I = \frac{1}{12} * 0.5 * 13.8^3 + 2 * \left(\frac{1}{12} * 0.6^3 * 7.5 + 4.5 * 7.2^2 \right) = 576.333 \text{ cm}^4$$

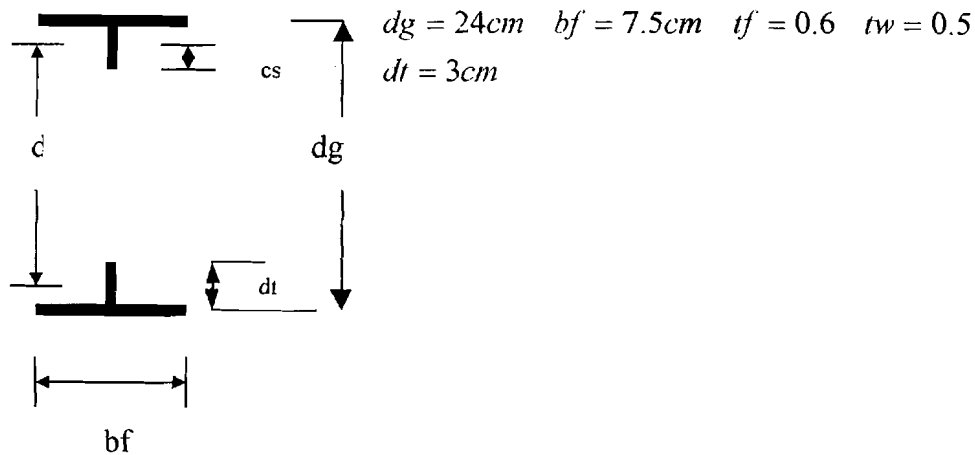
Section Modulus

$$S = \frac{I}{Y}$$

$$S = \frac{576.333}{7.5}$$

$$S = 76.84 \text{ cm}^3$$

Propertis Profil Castella



$$At = b * tf + ds * tw = 7.5 * 0.7 + 2.3 * 0.5 = 6.4 \text{ cm}$$

$$My = Af \left(ds + \frac{tf}{2} \right) + As * \frac{ds}{2} = 5.25 \left(2.3 + \frac{0.6}{2} \right) + 1.785 * \frac{2.3}{2} = 15.9625 \text{ cm}$$

$$Iy = Af \left(ds^2 + ds * tf + \frac{tf^2}{3} \right) + As * \frac{ds^2}{3}$$

$$= 5.25 \left(2.3^2 + 2.3 * 0.6 + \frac{0.6^2}{3} \right) + 1.785 * \frac{2.3^2}{3} = 68.5579 \text{ cm}^4$$

$$Cs = \frac{My}{At} = \frac{15.9625}{6.4} = 2.49457$$

$$It = Iy - Cs * My = 68.5579 - 2.4957 * 15.96525$$

$$= 28.73146 \text{ cm}^4$$

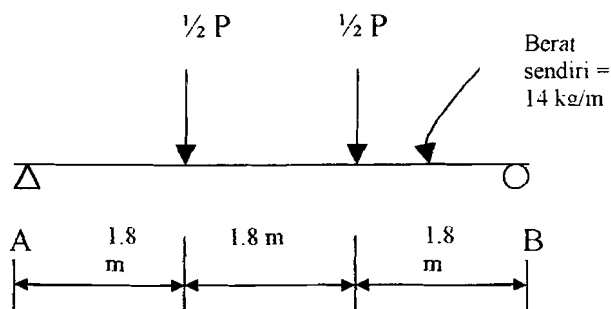
$$Ss = \frac{It}{Cs} = \frac{28.73146}{2.49457} = 11.5176 \text{ cm}^3$$

$$d = 2 * (h + Cs) = 2 * (9 + 2.49457) = 22.98914 \text{ cm}$$

$$I_g = 2 * It + \frac{At * d^2}{2} = 2 * 28.73196 + \frac{6.4 * 22.98914^2}{2} = 1748.664 \text{ cm}^4$$

$$S_g = \frac{2 * I_g}{dg} = \frac{2 * 1748.664}{24} = 145.722 \text{ cm}^2$$

Perhitungan Beban Profil I



$$R_a = \frac{\frac{1}{2} P * 360 + \frac{1}{2} P * 180 + 0.14 * 540^2 * 0.5}{540} = \frac{270 * P + 20412}{540}$$

Momen maksimum

$$M = R_a * 180 - 0.14 * 180^2 * 0.5$$

$$M = \left(\frac{270 * P + 20412}{540} \right) * 180 - 2268$$

$$M = \frac{270 * P + 13608}{3} \text{ kg.cm}$$

$$\text{Inersia} = 576.333 \text{ cm}^4$$

$$F_b = \frac{M}{S}$$

Cek Kekompakan

$$\frac{bf}{2tf} = \frac{3}{2 * 0.24} = 6.25 < \frac{65}{\sqrt{24.25}} \dots \text{OK}$$

$$\frac{d}{tw} = \frac{6}{0.2} = 3 < \frac{640}{\sqrt{24.25}} \dots \text{OK}$$

$$L_c = \frac{76bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{76 * 3}{\sqrt{24.24}} = 46.3 \text{ in}$$

$$L_u = \sqrt{\frac{120000}{F_y}} = \sqrt{\frac{120000}{24.25}} = 222.45$$

$$L = 540 \text{ cm} = 212.5 \text{ in}$$

$$L_c < L < L_u \rightarrow F_b = 0.6 * F_y$$

$$M = F_b * S = 0.6 * 3758.33 * \frac{666}{7.5} = 173283 \text{ kg.cm}$$

$$173283 = \frac{270 * P + 13608}{3}$$

$$P = 2174.53 \text{ kg}$$

Lampiran 5
Hubungan beban lendutan dan Momen
Kelengkungan Teoritis

Perhitungan Lendutan dan Kelengkungan secara teoritis Profil I

- Lendutan teoritis dihitung dengan rumus:

$$\Delta = \frac{23 * P * L^3}{648 * E * I}$$

- Kelengkungan teoritis dihitung dengan rumus:

$$\phi = \frac{M}{EI}$$

- Momen dihitung dengan rumus:

$$M = P * L$$

E= 200000 MPa

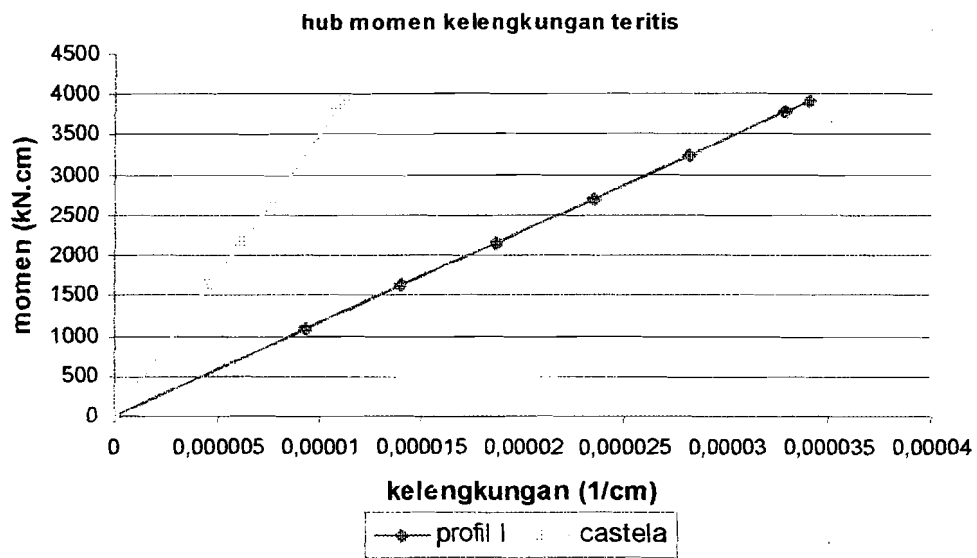
I profil I = 576.333 Cm⁴

I castella=1748.667 Cm⁴

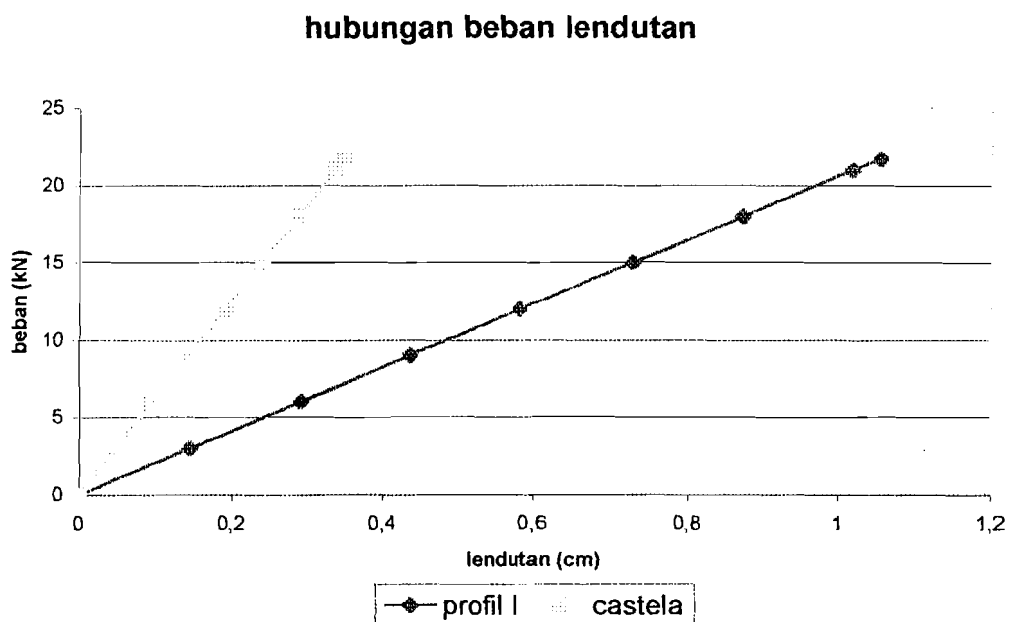
Tabel perhitungan beban lendutan dan momen kelengkungan secara teoritis

no	beban kN	lendutan cm	momen kN.cm	kelengkungan	lendutan castella	kelengkungan castella
1	3	0,145463	1620	1,40544E-05	0,479423	4,63211E-06
2	6	0,290926	1080	9,36958E-06	0,958846	3,08807E-06
3	9	0,436388	1620	1,40544E-05	1,438269	4,63211E-06
4	12	0,581851	2160	1,87392E-05	1,917692	6,17614E-06
5	15	0,727314	2700	2,3424E-05	2,397115	7,72018E-06
6	18	0,872777	3240	2,81087E-05	2,876538	9,26421E-06
7	21	1,018239	3780	3,27935E-05	3,355961	1,08082E-05
8	21,74	1,05412	3913,2	3,39491E-05	3,474218	1,11891E-05

Hubungan momen kelengkungan profil I dan castella secara teoritis

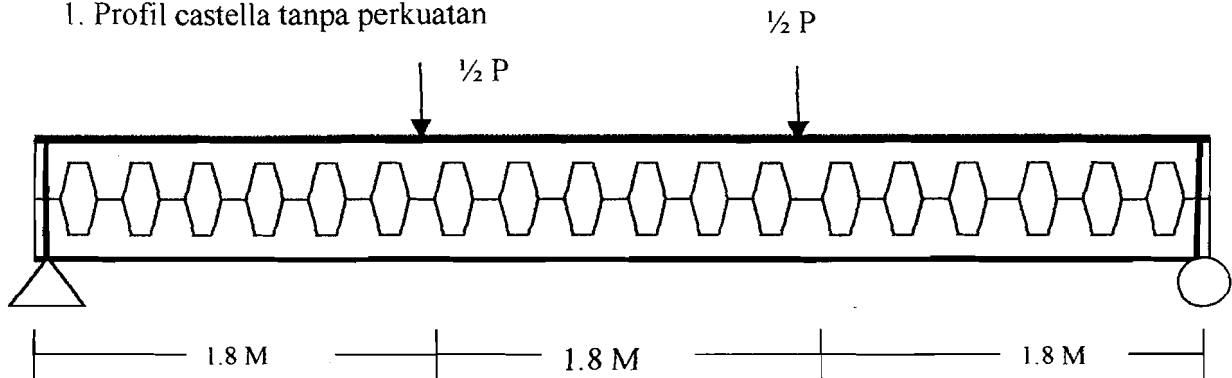


hubungan beban lendutan profil I dan castella teoritis



PERHITUNGAN TEORITIS BEBAN

1. Profil castella tanpa perkuatan



Tegangan yang terjadi castella:

$$F = \frac{M}{S_g} + \frac{V * e}{4 * S_s}$$

$$F = \frac{\frac{1}{6} * P * 540}{145.722} + \frac{\frac{1}{2} * P * 6}{4 * 11.5176} = 0.6827 * P$$

Tegangan Ijin Profil Castella:

$$F = \left[1 - \frac{10.434 \left(\frac{h}{tw} \right)^2}{Cc^2} \right] * 0.6 * F_y$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{I_y}} = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 2 * 10^5}{375.833}} = 323.94$$

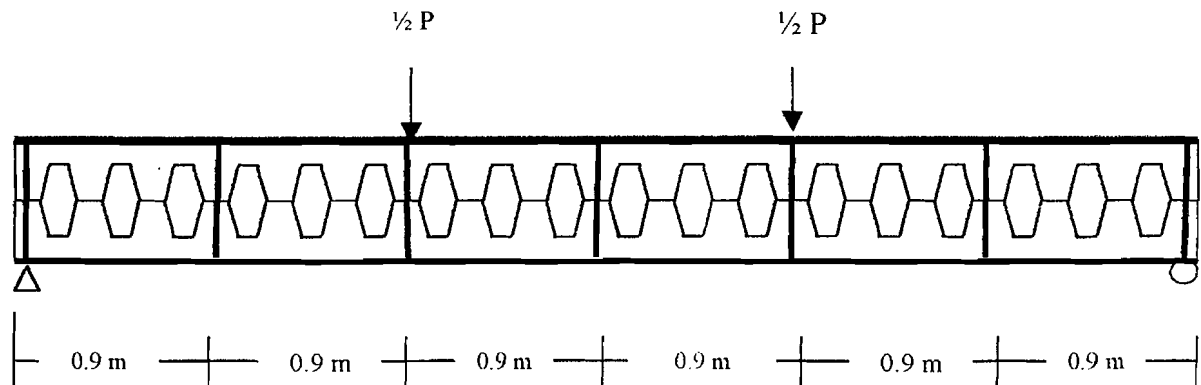
$$F = \left[1 - \frac{10.434 \left(\frac{90}{0.5} \right)^2}{323.94^2} \right] * 0.6 * 375.833 = 152.855 \text{ MPa}$$

$$F = 0.6827 * P$$

$$152.855 = 0.6827 * P$$

$$P = 22.389 \text{ kN} = 2238.9 \text{ kg}$$

2. Profil Castella dengan perkuatan Tiap tiga lubang



$$\frac{a}{h} = \frac{90}{22.8} = 3.95 \geq 1$$

$$k = \frac{4}{3.95^2} + 5.34 = 5.6$$

$$C_v = \frac{303000 * k}{\left(\frac{h}{t}\right)^2 * F_y} = \frac{303000 * 5.6}{\left(\frac{22.8}{0.5}\right)^2 * 375.833} = 2.17$$

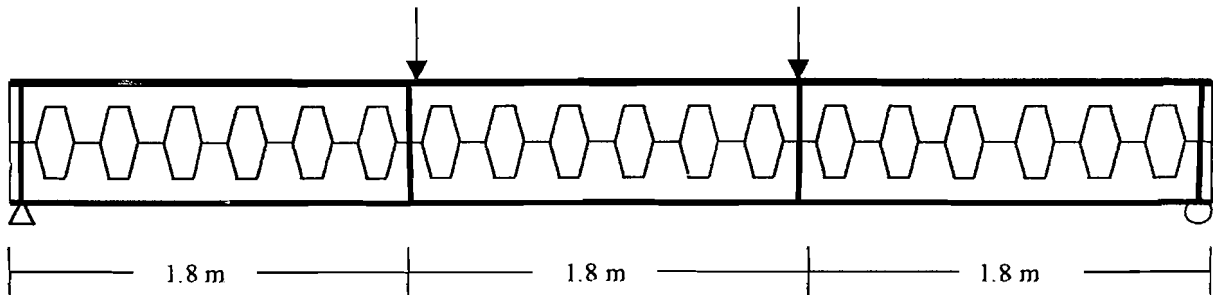
$$F_v = \frac{F_y * C_v}{2.89} = \frac{375.833 * 2.17}{2.89} = 282.36 \text{ MPa} = 28.236 \text{ kN/cm}^2$$

$$F = 0.6827 * P$$

$$28.236 = 0.6827 * P$$

$$P = 41.36 \text{ MPa} = 4136 \text{ kg}$$

3. Castella dengan perkuatan dibawah beban terpusat



$$\frac{a}{h} = \frac{180}{22.8} = 7.89$$

$$k = 5.34 + \frac{4}{7.9^2} = 5.404$$

$$C_v = \frac{303000 * 5.404}{\left(\frac{22.8}{0.5}\right)^2 * 375.833} = 2.09$$

$$F_v = \frac{375.833 * 2.09}{2.89} = 269.195 \text{ MPa}$$

$$F = 0.6827 * P$$

$$P = 3943 \text{ kg}$$