

TUGAS AKHIR
PENGUJIAN KAPASITAS LENTUR
BALOK CASTELLA DENGAN MENGGUNAKAN
PROFIL I



Disusun oleh :

JUN MIRASDI

No. Mhs : 91 310 014
NIRM : 910051013114120014

FENDRIKO MARDI SATRIA

No. Mhs : 91 310 113
NIRM : 910051013114120109

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1998

TUGAS AKHIR
PENGUJIAN KAPASITAS LENTUR
BALOK CASTELLA DENGAN MENGGUNAKAN
PROFIL I



Disusun oleh :

JUN MIRASDI

No. Mhs : 91 310 014
NIRM : 910051013114120014

FENDRIKO MARDI SATRIA

No. Mhs : 91 310 113
NIRM : 910051013114120109

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Moch. Teguh, MSCE
Dosen Pembimbing I

Ir. Suharyatmo, MT
Dosen Pembimbing II

Tanggal: 5 - 11 - 1998

Tanggal: 5 - 11 - 98

MOTTO

....., dan mereka tidak mengetahui apa - apa dari ilmu Allah
melainkan apa yang dikehendaki - Nya.

(Q.S. Al-Baqarah : 255)

Allah akan meninggikan orang - orang yang beriman
diantaramu dan orang - orang yang diberi ilmu pengetahuan

(Q.S. Al-Mujaadilah : 11)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT.
Kupersembahkan Laporan Tugas Akhir ini kepada.
Ayah dan Ibuku tercinta, Adik - adikku tersayang,
serta pujaan hatiku yang selalu memberi inspirasi dan semangat
dalam aku bekerja.

PRAKATA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puja dan puji kita panjatkan kepada Allah SWT, atas rahmat serta hidayahNya yang telah dilimpahkan kepada kita sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik dan juga tak lupa kita sampaikan salam dan salawat kepada Nabi besar junjungan kita, Nabi Muhammad SAW.

Walaupun dalam penyelesaian banyak sekali mendapatkan aral serta rintangan, Alhamdulillah, berkat restu serta usaha keras yang dilakukan, maka tugas akhir ini dapat juga selesai guna memenuhi syarat keserjanaan Strata - I, di jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Adapun hal yang menjadi ide penelitian dalam tugas terakhir ini adalah bagaimana menaikan kapasitas lentur balok profil dengan menggunakan metode *Castella*. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah balok profil I dengan ukuran kecil. Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data kapasitas lentur di lakukan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Data kuat tarik baja, hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama perjalanan penelitian dan penyelesaian laporan penulis banyak sekali mendapatkan bantuan, baik langsung maupun tidak langsung. Mulai dari pencarian bahan uji, pembuatan bahan uji, pelaksanaan pengujian di Laboratorium Struktur maupun Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, serta penyusunan laporan. Untuk

itu Penulis menghaturkan ucapan terima kasih yang tulus dan sebesar - besarnya kepada yang disebutkan seperti dibawah ini:

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, PhD selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Tadjudin B.M.A, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil,
3. Bapak Ir. Muhammad Teguh, MSCE selaku Dosen Pembimbing I,
4. Bapak Ir. Suharyatmo, MT selaku Dosen Pembimbing II,
5. Bapak Ir. Halim Asmar, MSCE selaku Dosen tamu,
6. Bapak Ir. Bambang Suhendro, MSCE, PhD selaku ketua Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada,
7. Sahabat - sahabat kami baik di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia maupun di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada yang telah banyak membantu jalannya penelitian,
8. Rekan - rekan sesama mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan selaku tempat bertukar pikiran,
9. Serta pihak - pihak lain yang secara tidak langsung telah membantu, tetapi tidak sempat kami tuliskan satu persatu.

Semoga bantuan yang telah diberikan secara ikhlas tersebut akan menjadi amal baik dan mendapatkan pahala yang setimpal dari Allah SWT, Amin.

Walaupun laporan Tugas Akhir ini telah selesai dengan baik, namun masih jauh dari kesempurnaan, karena keterbatasan waktu, dana serta pengetahuan dalam menghadapi berbagai permasalahan mengenai teknologi baja yang cukup kompleks.

Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun untuk mencapai kesempurnaan penulisan tugas akhir tersebut, mudah - mudahan hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi yang memerlukannya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.



Yogyakarta, November 1998

DAFTAR ISI

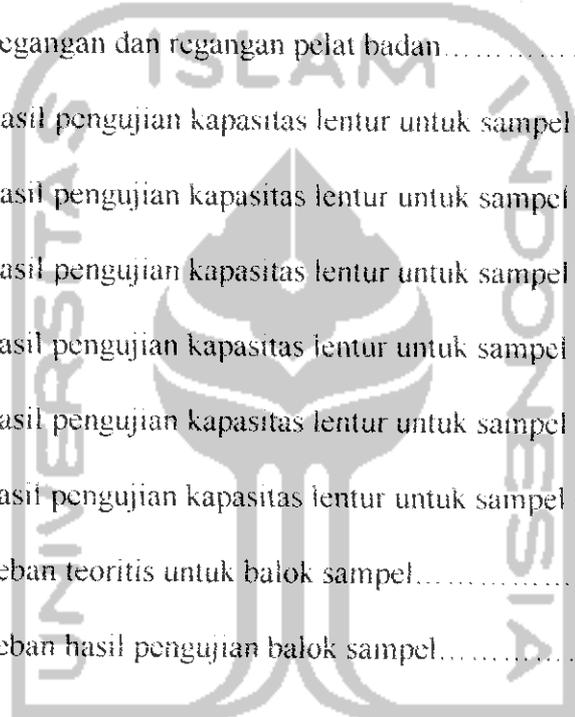
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iii
PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR SYMBOL.....	xv
ABSTRAK.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sifat - sifat Baja Struktur.....	5
2.2 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan.....	6
2.3 Balok Castella atau Web Openning.....	8
2.3.1 Disain Konsep.....	8
2.3.2 Kemampuan Menahan Beban.....	11

BAB III	LANDASAN TEORI.....	13
	3.1 Umum.....	13
	3.2 Sifat Bahan.....	13
	3.3 Gaya dan Tegangan.....	13
	3.3.1 Tegangan Lentur.....	15
	3.3.2 Tegangan Ijin.....	16
	3.3.3 Tegangan Geser Maksimum.....	17
	3.4 Model Dukungan.....	18
	3.5 Pembebanan.....	18
BAB IV	METODE PENELITIAN.....	24
	4.1 Bahan.....	24
	4.2 Jenis-Jenis Sampel.....	24
	4.3 Alat - alat.....	26
	4.4 Pemotongan.....	27
	4.4.1 Balok Castella Model Lubang Segi Enam.....	28
	4.4.2 Balok Castella Model Lubang Empat Persegi Panjang.....	29
	4.5 Penyambungan.....	30
	4.6 Pemasangan Alat Uji.....	32
	4.7 Langkah Kerja Pengujian di Laboratorium.....	33
	4.7.1 Pengujian Tarik.....	33
	4.7.2 Pengujian Lentur.....	35
BAB V	PELAKSANAAN DAN HASIL PENGUJIAN	41
	5.1 Umum.....	41
	5.2 Analisis Pembebanan pada Balok Sampel.....	41

5.2.1 Balok Sampel 1.....	41
5.2.2 Balok Sampel 2.....	44
5.2.3 Balok Sampel 3.....	47
5.2.4 Balok Sampel 4.....	50
5.2.5 Balok Sampel 5.....	53
5.2.6 Balok Sampel 6.....	56
5.3 Hasil Pengujian di Laboratorium.....	59
5.3.1 Hasil Pengujian Tarik.....	59
5.3.2 Hasil Pengujian Lentur.....	61
5.4 Kapasitas Momen Balok Sampel.....	71
5.4.1 Kapasitas Momen Balok Baja utuh.....	71
5.4.2 Kapasitas Momen Balok Castella.....	73
BAB VI PEMBAHASAN.....	87
6.1 Umum.....	87
6.2 Beban Balok Sampel.....	87
6.2.1 Beban Balok Sampel Teoritis.....	87
6.2.2 Beban Balok sampel Eksperimen.....	88
6.3 Kapasitas Lentur Balok Castella.....	91
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	93
7.1 Kesimpulan.....	93
7.2 Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....	96

DAFTAR TABEL

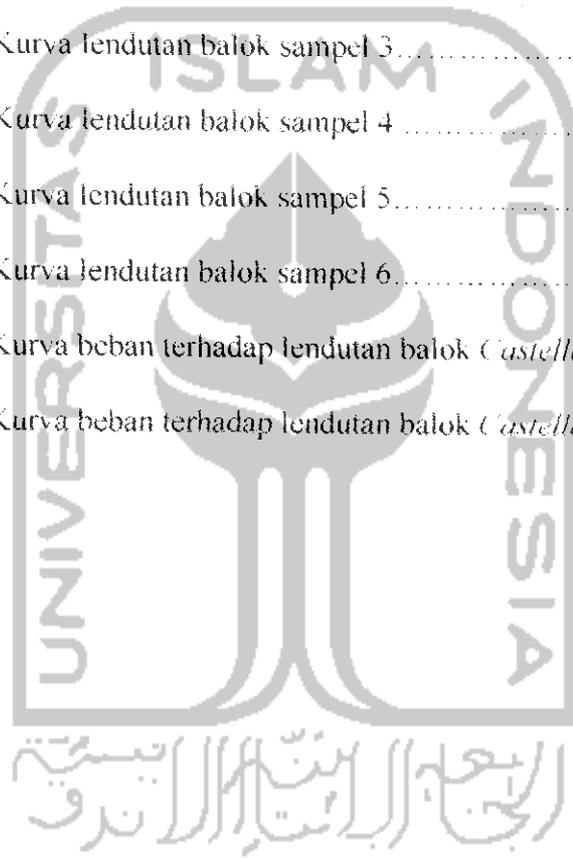
Tabel 3.1	Tegangan leleh dan tegangan ijin	17
Tabel 4.1	Daftar alat-alat.....	27
Tabel 4.2	Sampel yang diuji di laboratorium.....	40
Tabel 5.1	Tegangan dan regangan pelat badan.....	60
Tabel 5.2	Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 1.....	62
Tabel 5.3	Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 2.....	64
Tabel 5.4	Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 3.....	65
Tabel 5.5	Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 4.....	67
Tabel 5.6	Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 5.....	68
Tabel 5.7	Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 6.....	70
Tabel 6.1	Beban teoritis untuk balok sampel.....	88
Tabel 6.2	Beban hasil pengujian balok sampel.....	88



 الجامعة الإسلامية الشفاء

DAFTAR GRAFIK

Grafik	5.1	Kurva tegangan dan regangan	61
Grafik	5.2	Kurva lendutan balok sampel 1	63
Grafik	5.3	Kurva lendutan balok sampel 2	65
Grafik	5.4	Kurva lendutan balok sampel 3	66
Grafik	5.5	Kurva lendutan balok sampel 4	68
Grafik	5.6	Kurva lendutan balok sampel 5	69
Grafik	5.7	Kurva lendutan balok sampel 6	70
Grafik	6.1	Kurva beban terhadap lendutan balok <i>Castella</i> dan balok utuh	89
Grafik	6.2	Kurva beban terhadap lendutan balok <i>Castella</i> dan balok utuh	90



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Tegangan dan Regangan Baja Struktur.....	6
Gambar 2.2	Pemotongan secara zig-zag dengan sudut 45°	8
Gambar 2.3	Pemotongan secara zig-zag dengan sudut 90°	9
Gambar 2.4	<i>Castella</i> model lubang segi enam.....	9
Gambar 2.5	<i>Castella</i> model lubang empat persegi panjang.....	10
Gambar 3.1	Model dukungna <i>simple beam</i>	17
Gambar 3.2	Model pembebanan dua titik.....	18
Gambar 3.3	BMD dan SFD.....	19
Gambar 3.4	<i>Web opening</i>	22
Gambar 3.5	BMD bagian berlubang balok <i>Castella</i>	23
Gambar 4.1	Tampang melintang dan memanjang sampel 1.....	24
Gambar 4.2	Tampang melintang dan memanjang sampel 2.....	25
Gambar 4.3	Tampang melintang dan memanjang sampel 3.....	25
Gambar 4.4	Tampang melintang dan memanjang sampel 4.....	25
Gambar 4.5	Tampang melintang dan memanjang sampel 5.....	26
Gambar 4.6	Tampang melintang dan memanjang sampel 6.....	26
Gambar 4.7	Pemotongan pola zig-zag dengan sudut 45°	29
Gambar 4.8	Pemotongan pola zig-zag dengan sudut 90°	30
Gambar 4.9	Penyambungan untuk model lubang empat persegi panjang.....	31
Gambar 4.10	Penyambungan untuk model lubang segi enam.....	31

Gambar 4.11	Besi pelat dengan empat buah lubang	32
Gambar 4.12	Besi pelat dengan lubang ditengah - tengah	33
Gambar 4.13	Uji tarik baja.....	35
Gambar 4.14	Balok utuh.....	36
Gambar 4.15	Balok baja <i>Castella</i> model lubang segi enam.....	37
Gambar 4.16	Balok baja <i>Castella</i> model lubang empat persegi panjang.....	38
Gambar 4.17	Pipa besi yang dilaskan pada balok sampel.....	38
Gambar 4.18	Besi dukungan dimasukkan kedalam pelat siku.....	38
Gambar 4.19	Baja sampel siap uji.....	39
Gambar 5.1	Tampang melintang balok sampel 1.....	42
Gambar 5.2	Tampang melintang balok sampel 2.....	45
Gambar 5.3	Tampang melintang balok sampel 3.....	48
Gambar 5.4	Tampang melintang balok sampel 4.....	51
Gambar 5.5	Tampang melintang balok sampel 5.....	54
Gambar 5.6	Tampang melintang balok sampel 6.....	57
Gambar 5.7	Tampang melintang balok utuh.....	71
Gambar 5.8	Tampang melintang <i>Castella</i> sampel 2.....	74
Gambar 5.9	Tampang melintang <i>Castella</i> sampel 3.....	77
Gambar 5.10	Tampang melintang <i>Castella</i> sampel 4.....	79
Gambar 5.11	Tampang melintang <i>Castella</i> sampel 5.....	82
Gambar 5.12	Tampang melintang <i>Castella</i> sampel 6.....	84

DAFTAR SYMBOL

- A_p = luas Profil
 b_f = lebar profil
 C_c = koefisien *Castella*
 d_g = tinggi *Castella*
 d_h = tinggi profil mula - mula
 d_T = tebal atau jarak dari sisi terluar profil dengan sisi terluar lubang
 e = lebar potongan arah horisontal
 h_p = tinggi lubang
 h = tinggi setengah lubang
 I_b = inersia balok utuh
 I_g = inersia balok *Castella*
 t_w = tebal badan profil atau web
 t_f = tebal flens atau sayap
 S_b = modulus baja
 S_f = modulus *of flens*
 S_s = modulus *of steam*
 V_T = gaya perlawanan akibat adanya gaya vertikal
 σ_b = tegangan pada badan balok
 σ_T = tegangan pada bagian badan yang berlubang
 σ_c = tegangan ijin balok *Castella*
 σ_{kip} = tegangan ijin balok
 σ_Y = tegangan leleh baja
 σ_e' = batas elastis baja
 σ_p = batas sebanding antara tegangan dan regangan

ABSTRAKSI

Salah satu upaya untuk memodifikasi balok baja adalah dengan menggunakan metode *Castella*, yaitu suatu metode untuk menaikkan kapasitas lentur balok baja dengan cara merubah tinggi badan balok menjadi lebih tinggi.

Upaya tersebut dilakukan dengan cara membagi dua badan balok secara simetris dengan pemotongan pola zig - zag, dimulai dari pemotongan pada jarak atau ketebalan tertentu dari sisi terluar sayap profil (dT) secara horisontal dengan panjang tertentu (e), kemudian pemotongan naik pada sudut tertentu pula sampai pada ketebalan yang sama pada waktu pemotongan awal, selanjutnya diulangi lagi seperti pemotongan pertama.

Selanjutnya hasil potongan berupa dua bagian simetris disatukan lagi dengan alat las *blender*, sehingga akan didapat balok baru yang lebih tinggi dan berlubang pada bagian badan.

Pada pengujian kapasitas lentur ini menggunakan metode lentur murni, yaitu balok *simple beam* atau balok sederhana diberi pembebanan dua titik. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadi gaya geser pada balok uji.

Momen lentur yang didapat dari pembebanan dua titik, merupakan penjumlahan dari momen primer dan momen sekunder. Momen primer yaitu momen yang terjadi pada bagian badan balok padat atau solid, sedangkan momen sekunder adalah momen yang terjadi pada bagian badan berlubang, yang sifatnya mengurangi momen primer, sehingga momen lentur balok *Castella* adalah momen primer dikurangi momen sekunder.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini permintaan pembangunan di bidang Struktur semakin meningkat, artinya telah terjadi kenaikan volume bangunan. Kenaikan volume bangunan tersebut harus diikuti juga dengan peningkatan kualitas bangunan, untuk memenuhi tuntutan pangsa pasar yang semakin kompetitif dan selektif.

Pembangunan bidang struktur meliputi beberapa aspek, antara lain aspek efisiensi dan aspek optimalisasi, baik mengenai penggunaan dana untuk pembelian bahan bangunan maupun penggunaan bahan sebagai unsur dari bahan bangunan itu sendiri. Salah satu unsur bangunan struktur adalah baja, yang peranannya selain sebagai penguat pada beton bertulang, juga sebagai struktur utama bangunan, contohnya baja sebagai balok atau kolom bangunan. Penggunaan baja sebagai balok pada bangunan struktur, mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan balok yang terbuat dari beton bertulang, antara lain dari segi waktu lebih efisien, karena baja tidak perlu menunggu usia 28 hari sebagaimana layaknya usia beton.

Dari segi pemasangan juga relatif lebih praktis, karena baja dapat dipasang secara langsung, artinya tidak harus membuat acuan dan campuran yang tepat selayaknya pada beton, tetapi permasalahannya harga satuan baja relatif lebih mahal dibandingkan dengan harga satuan beton, sehingga penggunaan baja harus seefisien mungkin.

Untuk optimalisasi penggunaan baja, diperlukan suatu metode tepat guna yang salah satunya disebut metode *Castella*, yaitu suatu metode modifikasi profil baja konvensional menjadi baja pengembangan, sehingga metode tersebut dapat menaikkan daya dukung baja profil kecil.

Dalam hal ini baja yang dimodifikasi adalah profil-I sayap lebar (*wide flange*), secara umum dengan cara membagi dua profil-I tersebut secara simetris dimulai pemotongan secara mendatar pada bagian bawah dan naik pada sudut tertentu, sampai pada ketinggian tertentu kembali pemotongan secara mendatar (pola pemotongan secara zig-zag), turun lagi dengan sudut yang sama dan kembali pemotongan secara mendatar pada ketinggian tertentu. Pemotongan dilakukan secara terus menerus dengan cara yang sama sehingga mencapai panjang (l) tertentu.

Selanjutnya sisi potongan terluar ditemukan dan disatukan dengan teknik pengelasan, sehingga akan didapatkan profil-I dengan tinggi yang berbeda dari sebelumnya (d_b menjadi d_g), dan berlubang dibagian badannya (*web opening*).

(Gagasan ini pertama kali dikemukakan oleh *H. E. HORTON* dari *Chicago and Iron Works*, sekitar tahun 1910).

Analisis balok profil *web opening* atau *Castella* ini menggunakan statis tertentu dengan profil-I sayap lebar dan diharapkan setelah penelitian ini dapat diketahui sampai seberapa besar kenaikan kapasitas lentur dari balok tersebut.

1.2 Permasalahan

Adapun permasalahan yang menjadi latar belakang penelitian dapat diuraikan seperti di bawah ini:

1. Tuntutan pangsa pasar akan pembangunan di bidang struktur semakin meningkat.
2. Diperlukan pembangunan di bidang struktur yang hemat waktu dan hemat biaya dengan kualitas bangunan yang tinggi.
3. Harga satuan baja relatif lebih mahal dari harga satuan beton, jadi penggunaan baja harus seefisien dan seoptimal mungkin.
4. Diperlukan suatu metode yang dapat memodifikasi baja profil kecil dengan kemampuan daya dukung besar.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mengetahui seberapa besar daya dukung profil *Castella*, maka perlu pembatasan sebagai berikut ini:

1. Profil yang digunakan adalah profil-I sayap lebar.
2. Sampel yang digunakan sebanyak 6 buah, dengan rincian satu buah sampel berupa profil utuh, sedangkan 5 buah lainnya dibuat menjadi bentuk *Castella*.
3. Pemotongan menggunakan pola zig-zag.
4. Tiga buah sampel dipotong dengan sudut pemotongan sebesar 45° dengan perbedaan pada ketebalan atau jarak dari sisi terluar lubang dengan sisi terluar profil, dan dua buah sampel lainnya dipotong dengan sudut pemotongan sebesar 90° .
5. Jenis struktur memakai balok sederhana atau *simple beam*.
6. Kenaikan kapasitas lentur dihitung dengan menggunakan *metode elastis*.
7. Model pembebanan menggunakan pembebanan dua titik untuk mendapatkan lentur murni.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian untuk mengetahui seberapa besar kenaikan kapasitas lentur dari profil *Castella*.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian untuk menaikkan kapasitas lentur balok baja dengan metode balok *Castella*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sifat - sifat Baja Struktur

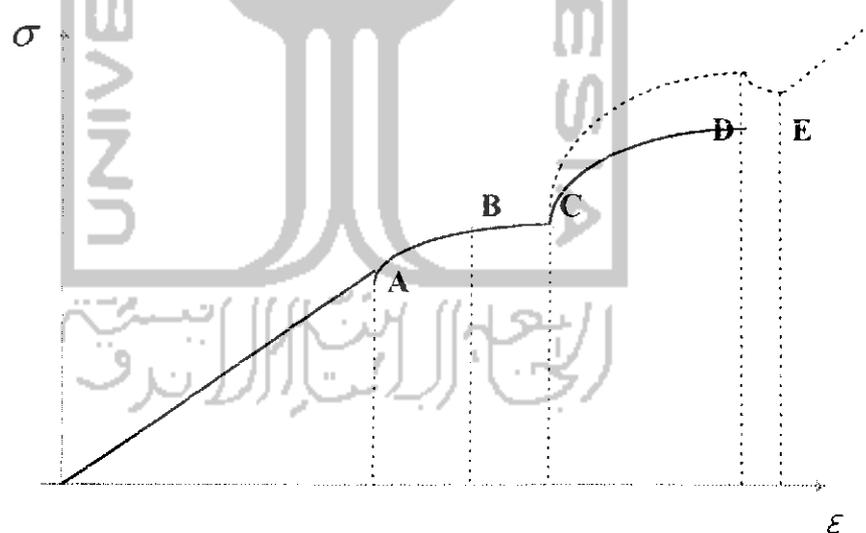
Baja Struktur adalah suatu jenis baja yang berdasarkan pertimbangan ekonomi, kekuatan dan sifatnya, cocok untuk memikul beban. Baja Struktur banyak dipakai untuk kolom dan balok menerus. (Padosbajayo, 1991)

Beberapa keuntungan yang diperoleh dari penggunaan baja sebagai bahan struktur adalah sebagai berikut : baja mempunyai kekuatan cukup tinggi serta merata, kekuatan baja terhadap tarik maupun tekan tidak banyak berbeda dan bervariasi antara 300 MPa sampai 2000 MPa. Kekuatan yang tinggi ini mengakibatkan struktur yang terbuat dari baja mempunyai luas tampang yang cukup kecil dibandingkan dengan struktur dari bahan lainnya. Oleh karena itu struktur cukup ringan, walaupun berat jenis baja cukup tinggi. (Kozai Club, 1983). Keuntungan lainnya adalah pemanfaatan areal untuk pondasi lebih kecil. Baja mempunyai sifat dapat *leleh* yang dapat menaikan kuat dukung struktur terhadap beban. Juga mempunyai sifat *elastis* yaitu pembebanan sampai batas tertentu bentuk baja akan kembali kebentuk asalnya setelah pembebanan dilepas (Padosbajayo, 1991).

Kelemahan struktur yang terbuat dari bahan baja adalah memerlukan pemeliharaan yang tetap dengan pembiayaan tidak sedikit, selain itu kekuatan baja dipengaruhi oleh temperatur. Pada temperatur tinggi kekuatan baja akan berkurang sehingga seringkali pada waktu terjadi kebakaran, struktur bangunan runtuh, walaupun tegangan yang terjadi masih rendah. (Padosbajayo, 1991).

2.2 Hubungan antara Tegangan dan Regangan

Suatu bentuk diagram tegangan-regangan tipikal normal dapat dilihat pada gambar 2.1. Tampak bahwa hubungan antara tegangan regangan pada OA linier, sedangkan di atas titik A sudah tidak linier lagi, sehingga titik A disebut sebagai batas sebanding (*proporsional limit*).



Gambar 2.1 Diagram tegangan - regangan baja struktur (Salmon, Struktur Baja I, Disain dan Perilaku)

Tegangan yang terjadi pada titik A disebut sebagai batas sebanding (σ_p), artinya penambahan tegangan diikuti juga bertambahnya regangan pada bahan. Sedikit di atas titik A (AB) disebut sebagai titik batas elastis bahan. Hal ini berarti bahwa batang yang dibebani sedemikian rupa, sehingga tegangan yang timbul tidak melampaui σ_e , dan panjang batang akan kembali pada posisi semula apabila beban dihilangkan.

Pada umumnya tegangan σ_p dan σ_e relatif cukup dekat, sehingga seringkali kedua tegangan tersebut dianggap sama, yaitu sebesar σ_e . Regangan (ϵ) yang timbul pada saat benda uji putus atau patah. Pada umumnya berkisar 150 - 200 kali regangan elastis ϵ_e . Pada titik B disebut sebagai titik leleh σ_y . Pada saat leleh ini, seperti terlihat pada gambar 2.1 baja masih mempunyai kekuatan, hal ini berarti pada saat leleh baja masih mampu menghasilkan gaya perlawanan. Bentuk kurva pada bagian leleh ini, mula-mula mendekati datar, berarti tidak ada penambahan tegangan, sekalipun regangan bertambah. Berarti baja dalam waktu selang plastis dan berakhir pada saat terjadi pengerasan regangan (*strain hardening*) di titik C. Kurva naik ke atas lagi sampai mencapai kuat tarik (*tensile strength*) di titik D. Setelah itu kurva turun dan benda uji putus atau baja mengalami patah (*fracture*) di titik E.

Diagram tegangan-regangan ini dibuat berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian bahan, dengan anggapan luas benda uji tidak mengalami

perubahan selama pembebanan. Menurut hukum Hooke suatu batang yang di bebani tarikan secara tak aksial, luas tampangnya akan mengecil. Sebelum titik C perubahan luas tampang ini cukup kecil, maka pengaruhnya dapat diabaikan. Tetapi setelah fase pengerasan regangan, hukum Hooke tidak berlaku lagi, tampang mengalami penyempitan yang cukup besar. Kalau penyempitan tersebut ikut diperhitungkan dalam penggambaran diagram, akan diperoleh kurva dengan garis putus-putus. Besar tegangan pada titik - titik A, B, C, D, dan E tersebut di atas, dipengaruhi oleh benda yang diuji.

2.3 Balok *Castella* atau *Web Openning*

2.3.1 Disain Konsep

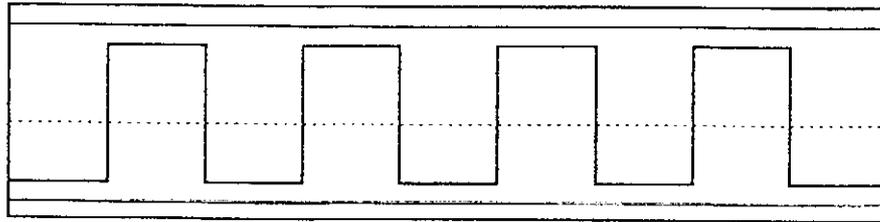
Metode *Castella* tidak menggunakan penambahan elemen pada balok baja, melainkan pengurangan atau menjadikan lubang (*web opening*) pada badan balok, tetapi ada kenaikan tinggi badan. Lima buah sampel dipotong secara zig-zag, dengan rincian tiga buah sampel dipotong dengan sudut 45° , lihat gambar 2.2



Gambar 2.2 Pemotongan secara zig-zag dengan sudut 45° (Omer W. Blodgett,

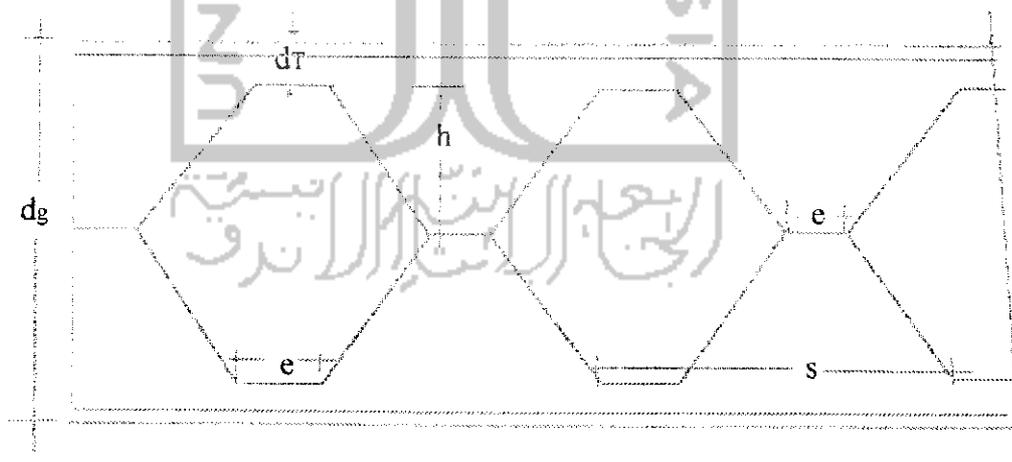
Design of Welded Structure)

Dua buah lagi dipotong dengan sudut 90° , lihat gambar 2.3



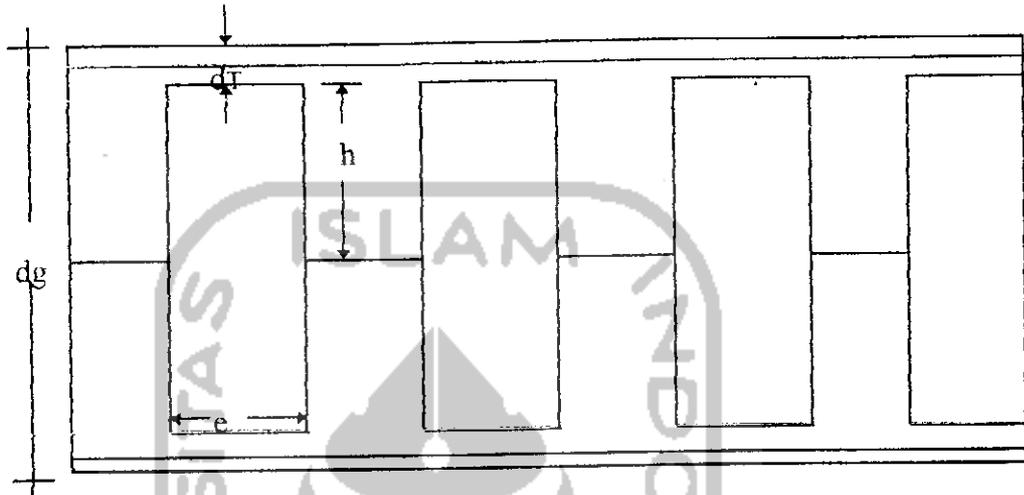
Gambar 2.3 Pemotongan zig-zag dengan sudut 90° (Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure*)

Perbedaan atau variasi pada sampel pada jarak sisi terluar potongan dengan sisi terluar profil yang selanjutnya disebut d_T , kemudian masing-masing ujung atau sisi terluar disatukan atau dipertemukan sehingga membentuk lubang dan ketinggian balok menjadi lebih tinggi, sehingga menghasilkan bentuk lubang segi enam, lihat gambar 2.4



Gambar 2.4 *Castella* model lubang segi enam (Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure*)

Sedangkan sambungan dengan model potongan sudut 90° membentuk lubang empat persegi panjang, lihat gambar 2.5



Gambar 2.5 Castella model empat persegi panjang (Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure*)

$$d_s = d_b + h \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

$$d_r = \frac{d_b - h}{2} \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

$$s = 2(b + e) \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

d_g = tinggi profil Castella

d_b = tinggi profil awal

h = tinggi pemotongan horisontal

Terlihat adanya penambahan tinggi pada profil dari d_b menjadi d_s , sehingga secara teori kenaikan pada tinggi badan profil akan menaikkan juga

inersia pada profil, yaitu : $I = \frac{b \cdot h^3}{2}$ dan $M = \frac{\sigma \cdot I}{y}$, jadi jika nilai h naik berarti nilai I juga akan bertambah besar dan jika nilai I bertambah besar berarti nilai M (kapasitas momen) juga akan bertambah besar.

2.3.2 Kemampuan Menahan Beban

Beban yang ada pada balok *Castella* adalah beban vertikal dua titik yang akan ditahan oleh kedua ujung profil, karena besar kedua beban pada balok adalah sama dan jarak masing-masing beban ke dukungan adalah sama, maka masing-masing ujung akan menerima beban sebesar $\frac{1}{2}$ (setengah) dari beban total ($V_T = \frac{1}{2} \times 2P$). Momen terbesar akan terjadi pada daerah antara beban pertama ke beban kedua. Tinggi penampang T dalam pengujian dibuat sama, sehingga dapat dianggap bahwa setiap penampang T yang bekerja, besarnya sama dengan $\frac{1}{2}$ kali gaya lintang yang bekerja pada balok. Untuk tujuan perancangan gaya dan tegangan pada balok *Castella* memenuhi anggapan sebagai berikut:

1. Tegangan akibat lentur (momen primer) yang terjadi pada serat terluar penampang *Castella*, yang memenuhi persamaan:

$$\sigma_b = \frac{M}{S_g} \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan, M = momen primer

S_g = section modeulus castella

2. Tegangan akibat lentur sekunder pada bagian penampang T, dianggap bekerja pada tengah-tengah e yang besarnya harus lebih kecil dari tegangan izin, dengan persamaan:

$$\sigma_T = \frac{V_T \cdot e}{2S_b} \dots\dots\dots(2.5)$$



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Komponen utama dalam percobaan ini menggunakan baja profil sayap lebar (profil I WF). Dalam pembuatan balok *Castella* perlu adanya mengetahui sifat-sifat baja, baik dalam hal lentur maupun dalam hal cara pemotongan dan penyambungan baja tersebut, karena ini semua akan berpengaruh terhadap kekuatan baja itu sendiri setelah diperlakukan pemotongan dan penyambungan. Apabila pemotongan dan penyambungan yang kurang cermat akan mempengaruhi kekuatan baja setelah menjadi balok *Castella*.

3.2 Sifat Bahan

Baja yang akan diuji haruslah mempunyai sifat elastis, yaitu apabila dibebani sampai batas tertentu dan beban kemudian dihilangkan, maka baja tersebut akan kembali pada kondisi semula (batas sebanding), juga harus mempunyai sifat leleh bahan, yaitu kondisi dimana pertambahan regangan lebih besar dari pertambahan tegangan, dan jika beban terus bertambah, maka baja tersebut akan mengalami kondisi putus.

3.3 Gaya dan Tegangan

Karena sampel yang digunakan dalam pengujian kapasitas lentur ini adalah profil I, maka jelas bahwa sebagian momen yang bekerja didukung oleh badan, sebagian lagi di dukung oleh sayap profil dan gaya lintang didukung sepenuhnya oleh badan. Karena itu adanya pengurangan luas badan pada profil *Castella* pengaruhnya sangat kecil pada tinjauan kapasitas lentur. Selain itu akibat dari kenaikan tinggi badan menjadikan profil *Castella* berbadan langsing, sehingga akan sangat besar kemungkinan terjadi keruntuhan prematur akibat tekuk (*buckling*), sebelum mencapai beban maksimum. Pada setiap profil *Castella* yang terbuka dapat dipandang sebagai dua penampang T yang fungsinya identik dengan batang tepi sebuah struktur rangka batang (*truss*) yang dibebani gaya geser vertikal. Karena itu pada penampang T selain bekerja momen lentur (momen primer), juga bekerja momen sekunder. Gaya lintang yang bekerja di tengah balok statis tertentu relatif kecil, sehingga pengaruh momen sekunder relatif kecil. Gaya lintang paling terjadi pada dukungan, sehingga pengaruh momen sekunder relatif besar.

Momen sekunder yang terjadi pada dukungan akan terjadi pada jarak $\frac{1}{2}$ kali jarak potongan arah horisontal ($\frac{1}{2}c$). Dalam pembuatan sampel, tinggi kedua penampang T dibuat sama, sehingga dapat dianggap setiap penampang T bekerja $\frac{1}{2}$ kali gaya lintang ($\frac{1}{2}VT$). Adapun gaya dan tegangan yang timbul pada penampang *Castella* dapat dianggap sebagai berikut ini.

1. Tegangan akibat lentur (momen primer) yang terjadi pada serat terluar memenuhi persamaan :

$$\sigma_b = \frac{M}{S_g} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan M = momen primer

S_b = modulus section of Castella

2. Gaya lintang yang bekerja pada penampang terbuka didukung oleh dua penampang T yang sama besar, sehingga dapat dianggap gaya geser vertikal bekerja pada tengah-tengah e, dengan menganggap tegangan akibat momen lentur sekunder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_T = \frac{V \cdot e}{4 \cdot S_T} \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan besar momen lentur sekunder harus lebih kecil dari tegangan ijin.

3.3.1 Tegangan Lentur

Kombinasi akibat tegangan lentur primer dengan tegangan lentur akibat momen sekunder paling besar terjadi pada sisi terluar dari lubang pada balok *Castella* adalah memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{tot} = \frac{M}{h \cdot A} + \frac{V \cdot e}{4 \cdot S_T} \dots\dots\dots(3.3)$$

3.3.2 Tegangan Ijin

Tegangan ijin lentur pada penampang T profil *Castella* yang berlaku untuk statis tertentu adalah dengan mengganti panjang yang tidak disokong (L) dengan jarak (e) pada profil *Castella* (PPBBG, hal 42). Adapun besarnya tegangan leleh dan ijin yang berlaku untuk setiap profil berkisar antara seperti pada tabel 3.1

$$C_1 = \frac{e \cdot h_t}{b \cdot t_s} \dots \dots \dots (3.4)$$

dengan : h_t = tinggi penampang T,

b = lebar sayap penampang T,

t_s = tebal sayap.

$$C_2 = \frac{0,63 \cdot E}{\sigma} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$C_3 = \frac{0,21 \cdot E}{\sigma} \cdot (1 + \beta) \cdot (3 - 2\beta) \dots \dots \dots (3.6)$$

$$\beta = \frac{M_{kiri} + M_{kanan}}{2 \cdot M_{jepit}} \dots \dots \dots (3.7)$$

Tabel tegangan leleh dan tegangan ijin lentur untuk untuk setiap penampang T profil *Castella* dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Tegangan Lelah dan Tegangan Ijin

Tegangan Lelah Ksi	Tegangan Ijin Ksi
36 000	$22\,000 - 14,44 \left(\frac{h_f}{t_b}\right)^2$
42 000	$25\,000 - 19,15 \left(\frac{h_f}{t_b}\right)^2$
45 000	$27\,000 - 22,14 \left(\frac{h_f}{t_b}\right)^2$
46 000	$27\,000 - 23,04 \left(\frac{h_f}{t_b}\right)^2$
50 000	$30\,000 - 27,34 \left(\frac{h_f}{t_b}\right)^2$
55 000	$33\,000 - 33,10 \left(\frac{h_f}{t_b}\right)^2$
60 000	$36\,000 - 39,35 \left(\frac{h_f}{t_b}\right)^2$
65 000	$39\,000 - 46,27 \left(\frac{h_f}{t_b}\right)^2$

3.3.3 Tegangan Geser Maksimum

Perkiraan tegangan geser maksimum yang terjadi pada badan balok di sepanjang garis netral, dengan menganggap balok tanpa lubang, maka dapat digunakan persamaan di bawah ini:

$$\tau_{\text{mak}} = 1,16 \cdot \tau_{\text{rata-rata}}$$

$$\tau_{\text{maks}} = \frac{V^*}{t_b \cdot h_g} \dots \dots \dots (3.8)$$

dengan $V^* = 0,95 \cdot V$

3.4 Model Dukungan

Model dukungan menggunakan model *simple beam* atau balok sederhana yaitu sendi - rol, dimaksudkan untuk mendapatkan mekanika statis tertentu.



Gambar 3.1 Model dukungan *simple beam*

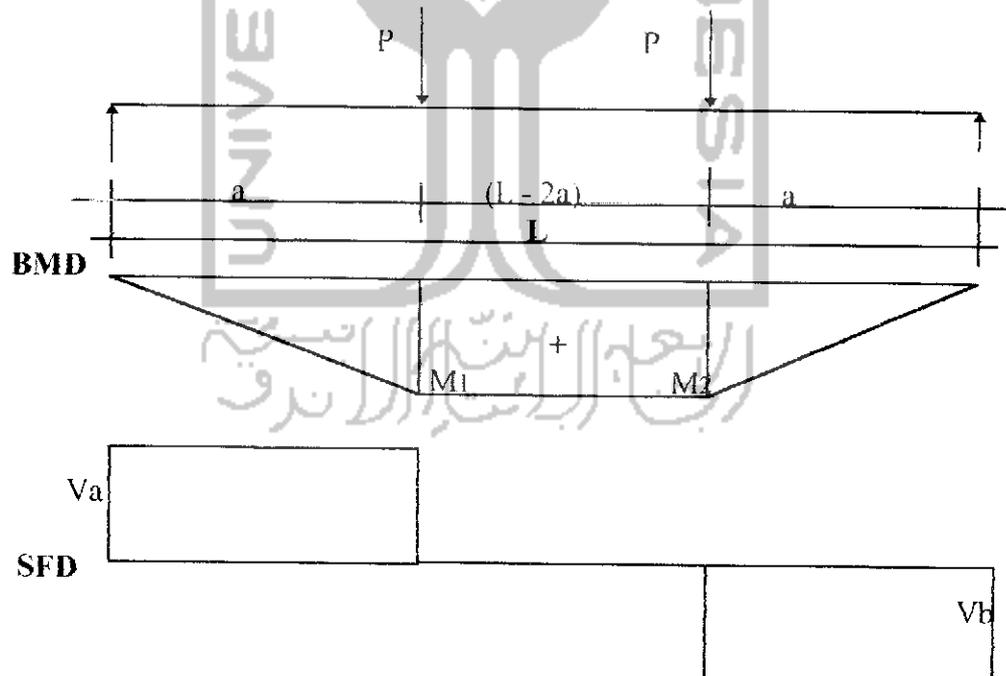
3.5 Pembebanan

Pembebanan menggunakan metode pembebanan dua titik, dimaksudkan untuk mendapatkan lentur murni agar tidak terjadi gaya geser pada balok *Castella*, karena orientasi penelitian hanya pada besar kapasitas lentur saja.



Gambar 3.2 Model pembebanan dua titik

Analog pembebanan dua titik dalam bentuk diagram terlihat pada gambar 3.3 di bawah ini :



Gambar 3.3 BMD dan SFD

Terlihat dari gambar 3.3 yang menentukan kapasitas lentur adalah *Bending Moment Diagram* atau *BMD*, karena pada gambar terlihat besarnya M_1 dan M_2 saling menjumlahkan, sedangkan pada *Shearing Force Diagram (SFD)*, terlihat V_a dan V_b sama besar dan saling mengurangi hingga menjadi nol.

Akibat pembebanan dua titik pada balok tersebut, maka momen yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$P \cdot a + P \cdot ((L - 2a) + a) - V_b \cdot L = 0$$

$$V_b = \frac{P \cdot a + P \cdot (L - a)}{L}$$

$$V_b = V_a = P$$

Momen yang terjadi $M = P \cdot a$

M_1 dan M_2 ternyata sama besar, dengan catatan bahwa beban yang terjadi pada balok sama besar, dan jarak kedua beban dari dukungan juga sama besar (pembebanan dua titik). Kenaikan momen pada balok sebanding dengan beban P dikalikan jarak beban dari dukungan, jadi jika beban bertambah berarti momen juga bertambah. Adapun persamaan momen yang terjadi pada balok tersebut adalah :

$$M = \frac{\sigma \cdot I}{y} \dots\dots\dots(3.9)$$

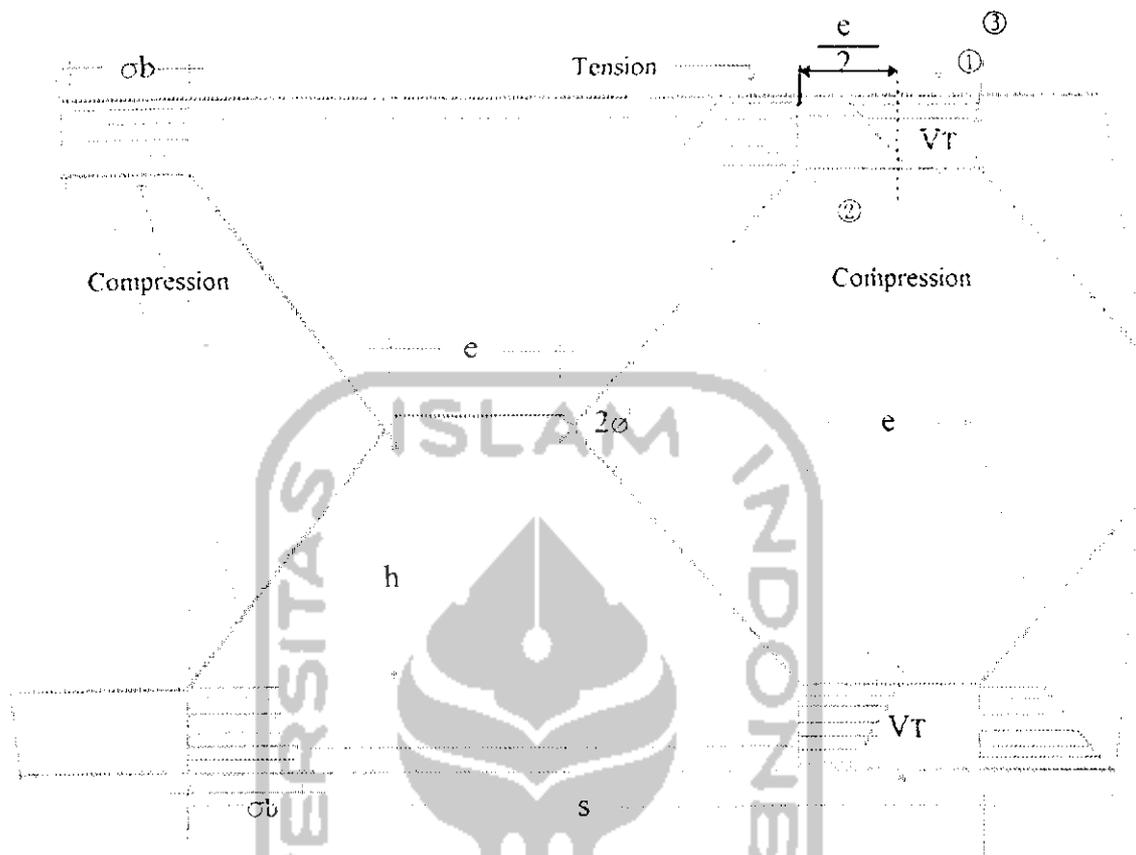
$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \dots\dots\dots(3.10)$$

Persamaan (1) masuk ke persamaan (2):

$$M = \frac{\sigma \cdot (b \cdot h^3)}{12 \cdot y} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dari pernyataan di atas menunjukkan nilai momen sebanding dengan tinggi balok profil I, jadi jika nilai h bertambah, maka nilai M juga akan ikut bertambah, dalam artian untuk menaikkan kapasitas suatu balok profil I, maka upaya yang dilakukan adalah dengan menaikkan tinggi profil. Salah satu metode untuk menaikkan kapasitas lentur suatu balok adalah dengan *memodifikasi* balok profil I menjadi balok *Castella*.

Pada balok *Castella*, tinggi profil telah berubah menjadi lebih tinggi dari tinggi sebelumnya, sedangkan berat balok tidak terjadi perubahan atau tetap. Sedangkan pada badan balok terdapat lubang hasil dari pemotongan dan penyambungan kembali badan balok. Adapun yang perlu diperhatikan pada waktu pembuatan balok *Castella* adalah tinggi maksimum dari balok *Castella* tersebut, tebal atau jarak tepi terluar lubang dengan sisi terluar dari balok profil serta ~~panjang~~ pemotongan arah horisontal, lihat gambar 3.4 dibawah ini.



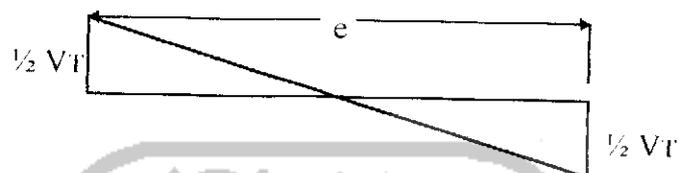
Gambar 3.4 *Web Opening*(Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure*)

1. Sisi atas dan sisi bawah balok *Castella* mengalami tegangan tarik dan tegangan desak sebesar $\sigma_b = M/S_b$ (lihat daerah diarsir),
2. Badan balok mendukung gaya vertikal (V) dari beban yang diterima dan menghasilkan gaya perlawanan sebesar V_T pada bagian berlubang sebesar P , karena $V_T = P$,
3. Karena model pembebanan pada balok adalah model pembebanan dua titik dengan besar beban dan jarak beban dari ujung-ujung balok adalah sama, maka momen yang dihasilkan adalah $M = P \times a$ (Beban dikalikan jarak),

4. Pada bagian yang berlubang terjadi momen sekunder sebesar :

$$M = \frac{1}{2} V_T \times e$$

5. *Bending Momen Diagram* untuk Balok *Castella* adalah:



Gambar 3.5 BMD bagian berlubang balok *Castella*

6. Terlihat pada gambar 3.5 momen terbesar terjadi pada $\frac{1}{2} e$, sehingga:

$$M = \frac{V_T \cdot e}{4}$$

7. Jadi tegangan yang dihasilkan oleh balok *Castella* pada bagian padat dan bagian berlubang adalah sebesar :

$$\sigma = \sigma + \sigma_{T_b}$$

$$\sigma = \frac{M}{h \cdot A_f} + \frac{V_T \cdot e}{4 \cdot S_b}$$

BAB IV
METODE PENELITIAN

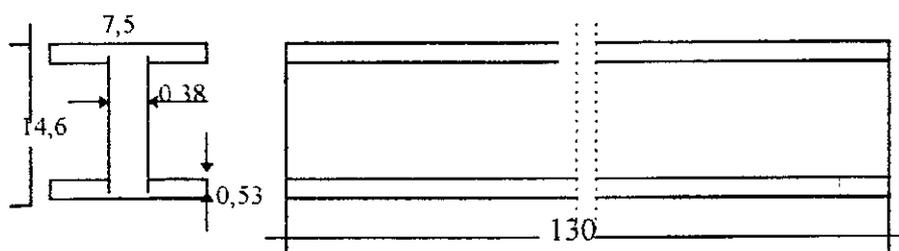
4.1 Bahan

Bahan untuk pengujian adalah baja profil I, dengan panjang potongan adalah 150 cm sebanyak 6 buah. Satu potongan atau sampel dibiarkan dalam bentuk utuh, dan lima buah potongan lainnya dibuat menjadi bentuk *Castella* dengan perincian tiga buah *Castella* model lubang segi enam dan dua buah lagi dibuat menjadi bentuk *Castella* model lubang empat persegi panjang.

4.2 Jenis - jenis Sampel

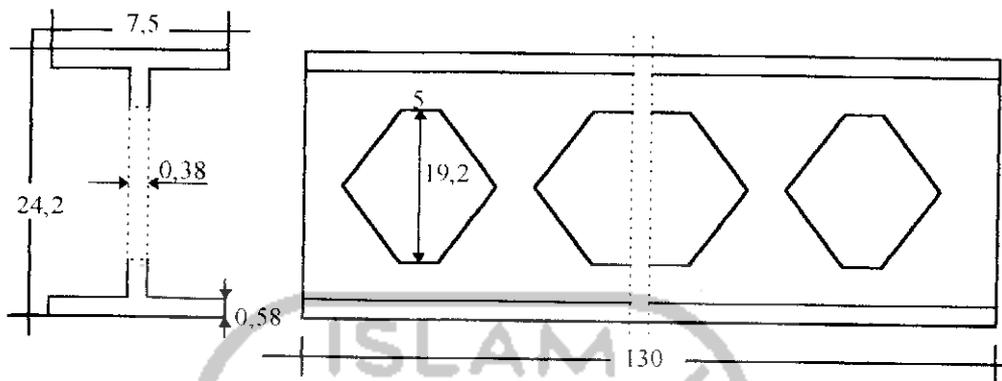
Pada bagian ini akan diuraikan bentuk sampel yang akan diuji serta ukuran-ukuran untuk masing-masing sampel. Adapun ukuran dan jenis masing-masing sampel dijelaskan dalam gambar 4.1 sampai dengan 4.6 di bawah ini.

1. Balok Utuh (sampel 1)



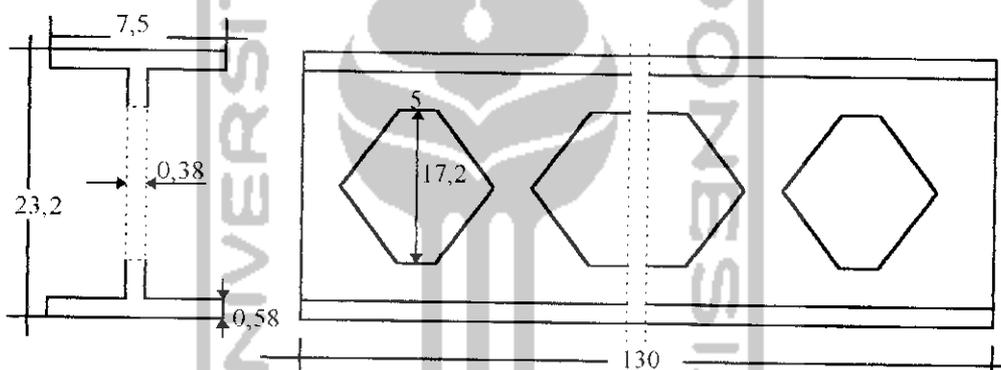
Gambar 4.1 Tampang melintang dan memanjang sampel 1

2. Balok *Castella* model lubang segi enam dengan dT setebal 2,5 cm (sampel 2)



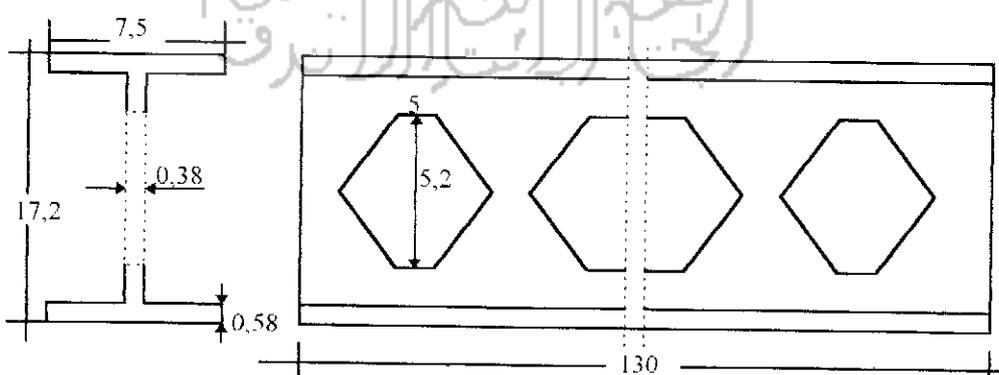
Gambar 4.2 Tampang melintang dan memanjang balok sampel 2

3. Balok *Castella* model lubang segi enam dengan tebal dT = 3 cm (sampel 3)



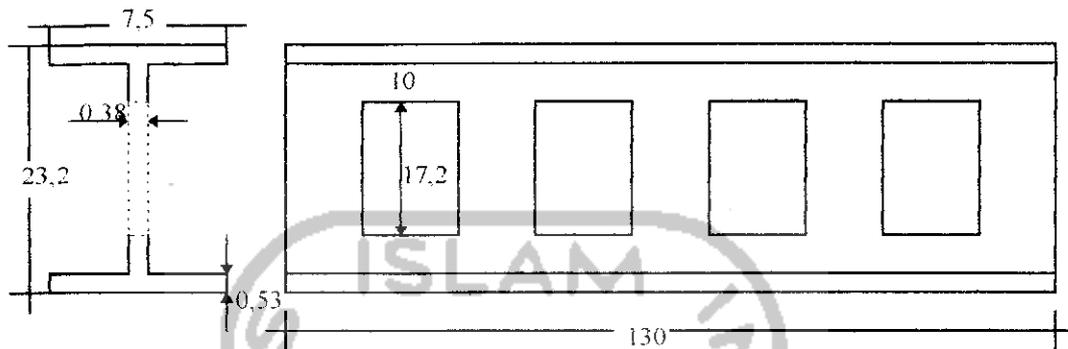
Gambar 4.3 Tampang melintang dan memanjang balok sampel 3

4. Balok *Castella* model lubang segi enam dengan tebal dT = 6 cm (sampel 4)



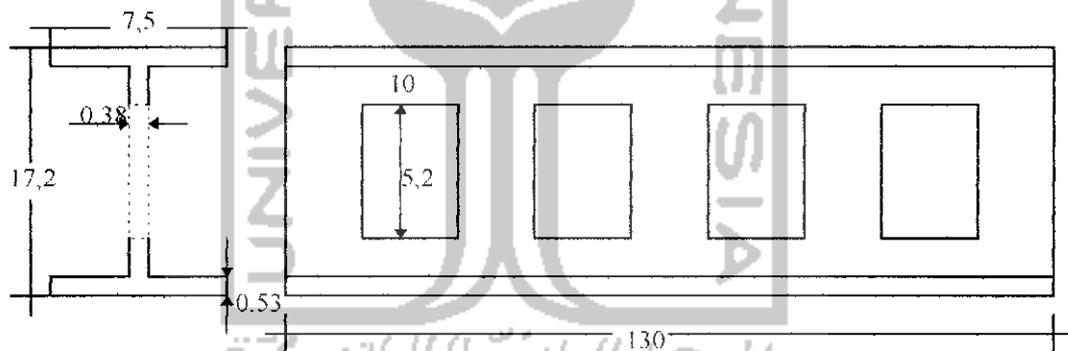
Gambar 4.4 Tampang melintang dan memanjang balok sampel 4

5. Balok *Castella* model lubang empat persegi panjang dengan tebal $dT = 3$ cm (sampel 5)



Gambar 4.5 Tampang melintang dan memanjang balok sampel 5

6. Balok *Castella* model lubang empat persegi panjang dengan tebal $dT = 6$ cm (sampel 6)



Gambar 4.6 Tampang melintang dan memanjang balok sampel 6

4.2 Alat - alat

Alat-alat yang digunakan untuk membantu kelancaran penelitian pada waktu pengujian berlangsung dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ‘Uji Kapasitas Lentur’ Balok *Castella* dengan menggunakan Profil I WF

No.	Nama Alat	Jml	Kegunaan
1	Portal baja	1 set	Penahan beban serta dudukan
2	Besi siku	4	Dudukan sendi - Rol
3	Besi lonjong padat Ø5 cm, panjang 10 cm	4	Dukungan model sendi - rol dan pembeban 2 titik
4	Besi rel kereta api, panjang 50 cm	1	Beban
5	Pipa Ø5,5 cm, panjang 5 cm	2	Fungsi sendi - rol
6	Dial Gouge	2	Pengukuran lentur dan tekuk
7	Jack Load	1	Pembebanan
8	Pompa	1	Menaikan beban

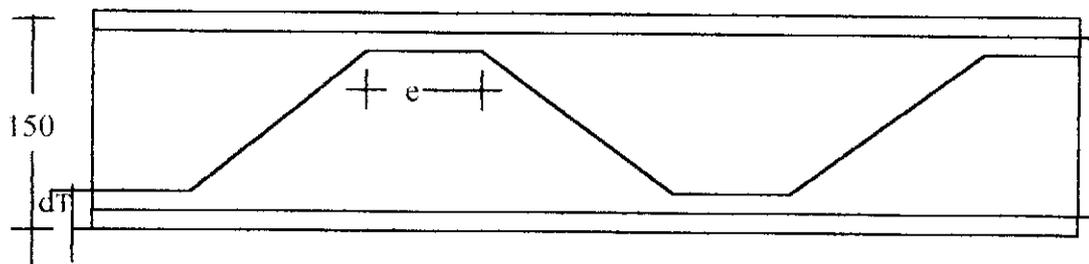
4.3 Pemotongan

Baja profil I dalam bentuk batangan dengan panjang 12 meter, dipotong-potong menjadi potongan dengan panjang 150 cm sebanyak 6 buah. Pemotongan dilakukan dengan metode *blender*, yaitu metode pemotongan menggunakan panas yang sangat tinggi dengan ketebalan mata *blender* 0,2 mm. Pada waktu pelaksanaan pemotongan profil dengan cara ditekan pada sisi kanan dan sisi kiri sayap profil, dimaksudkan agar pada waktu diperlakukan pemotongan, baja tidak mengalami pelengkungan karena dikenai panas yang sangat tinggi tersebut, karena sifat baja selalu akan menghindari panas. Pemotongan menggunakan pola zig-zag tertentu dengan sudut pemotongan yang tertentu pula.

4.3.1 Balok *Castella* Model Lubang Segi Enam

Yang dimaksud dengan model lubang segi enam adalah bentuk lubang pada badan balok *Castella* berbentuk segi enam yang merupakan hasil dari pemotongan dan penyambungan dengan sudut pemotongan 45° . Untuk mendapatkan *Castella* dengan model lubang segi enam adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan baja yang telah dipotong dengan panjang 150 cm sebanyak tiga buah.
2. Baja diletakkan dalam posisi berdiri di atas sayap profil, dan ditekan pada sisi kanan dan sisi kiri sayap profil, untuk menghindari terjadinya pelengkungan pada waktu baja dipotong.
3. Pemotongan menggunakan metode *blender*.
4. Dimulai dari pemotongan sisi sebelah kanan dengan arah pemotongan sejajar sayap atau horisontal.
5. Setelah pemotongan arah horisontal, selanjutnya pemotongan ke arah sayap sebelah kiri dengan pemotongan miring membentuk sudut 45° dari arah horisontal, sampai mendekati sayap sebelah kiri dengan ketebalan tertentu dari sisi terluar sayap profil.
6. Setelah mencapai ketebalan diinginkan, pemotongan kembali ke arah horisontal atau kembali mendatar, searah sayap profil sebelah kiri.
7. Selanjutnya diulangi lagi seperti awal pemotongan, disebut pemotongan dengan pola zig-zag (lihat gambar 4.7).



Gambar 4.7 Pemotongan pola zig-zag dengan sudut 45°

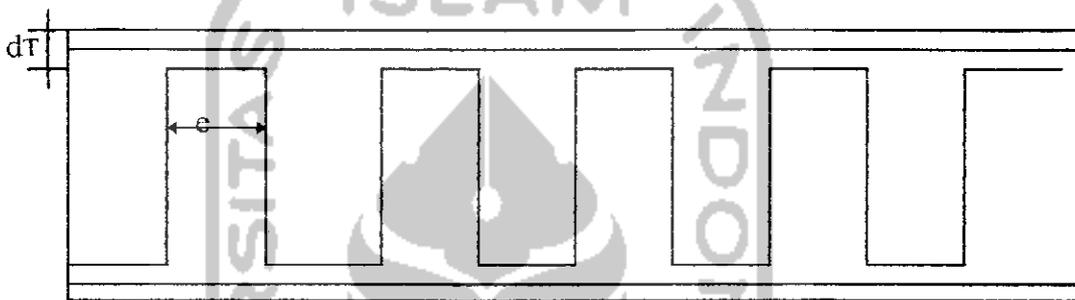
9. Pemotongan pola zig zag dengan model segi enam dibuat tiga buah, masing-masing dengan dT setebal 2,5 cm, 3 cm dan 6 cm.
10. Dari hasil pemotongan tersebut diperoleh tiga buah *Castella* dengan model lubang segi enam.

4.3.2 Balok *Castella* Model Lubang Empat Persegi Panjang

Selain model segi enam, sebagai pembanding dibuat model empat persegi panjang. Adapun metode pemotongan *Castella* model empat persegi panjang adalah seperti dibawah ini.

1. Mempersiapkan baja sampel yang sudah dipotong sepanjang 150 cm sebanyak dua buah.
2. Baja diletakkan dalam posisi berdiri di atas sayap profil, dan pada sisi kanan dan sisi kiri sayap profil ditekan agar pada waktu pemotongan tidak terjadi pelengkungan pada badan baja.
3. Pemotongan menggunakan metode *blender*.
4. Dimulai pemotongan dari sisi sebelah kanan setebal dT , dengan pemotongan arah sejajar sayap atau horisontal.

5. Setelah pemotongan arah horisontal, selanjutnya pemotongan ke arah sayap sebelah kiri dengan pemotongan tegak lurus atau membentuk sudut 90° dari arah horisontal, sampai mendekati sayap sebelah kiri dengan ketebalan yang diinginkan
6. Selanjutnya pemotongan diulangi lagi seperti awal pemotongan pertama, disebut pola potongan zig-zag (lihat gambar 4.8)



Gambar 4.8 Pemotongan pola zig-zag dengan sudut 90°

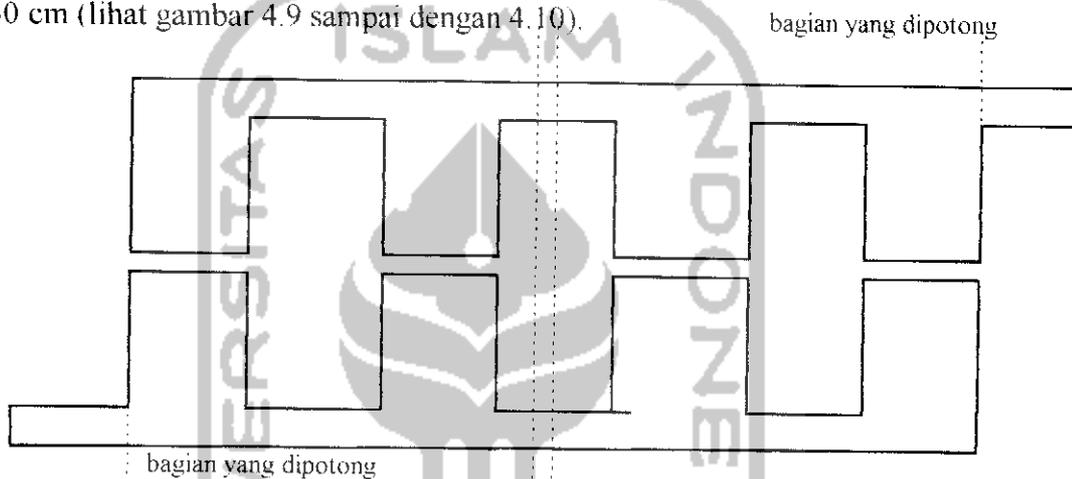
9. *Castella* model lubang empat persegi panjang dibuat dua buah dengan perbedaan pada dt , satu setebal 3 cm dan satunya lagi setebal 6 cm.
10. Dari hasil pemotongan dan penyambungan tersebut diperoleh dua buah *Castella* model lubang empat persegi panjang.

4.4 Penyambungan

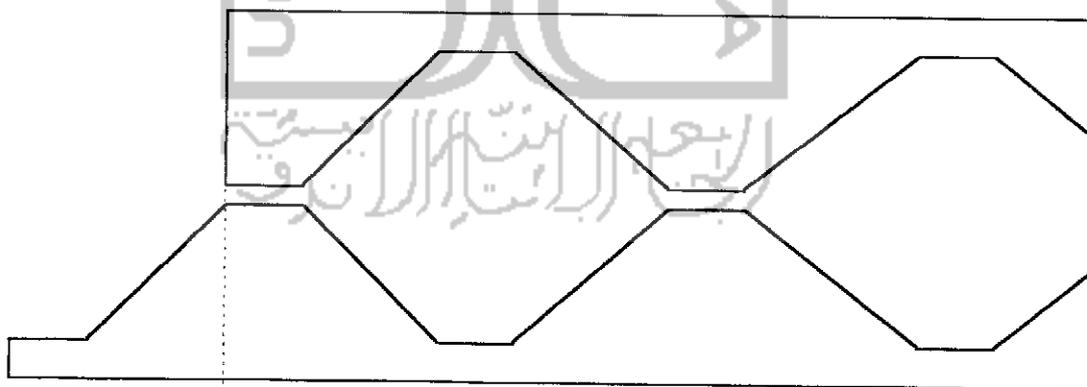
Sisi-sisi potongan terluar profil baja disatukan dengan metode pengelasan listrik dengan tipe 3,2 mm dan ketebalan mata las maksimum 5 mm. Hal ini dimaksudkan agar tidak merusak kekuatan dari baja itu sendiri, karena apabila

ketebalan pengelasan terlalu besar, maka akan terjadi pengurangan dari ketebalan baja mula-mula.

Dari hasil penyambungan akan didapat kenaikan tinggi badan, tetapi setelah disatukan panjang balok menjadi lebih pendek, karena adanya bagian yang harus dipotong. Panjang batang awal 150 cm, setelah menjadi *Castella* menjadi 130 cm (lihat gambar 4.9 sampai dengan 4.10).



Gambar 4.9 Penyambungan untuk model empat persegi panjang



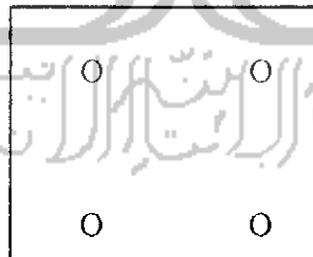
Gambar 4.10 Penyambungan model lubang segi enam

Jadi secara keseluruhan akan didapat 6 buah balok sampel dengan rincian satu buah balok berbentuk utuh, tiga buah berbentuk *Castella* dengan model lubang segi enam dan dua buah *Castella* dengan model lubang berbentuk empat persegi panjang.

4.5 Pemasangan Alat Uji

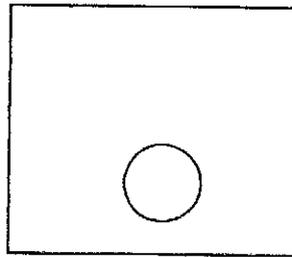
Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Adapun pemasangan alat untuk pengujian adalah sebagai berikut ini.

1. Mempersiapkan portal baja sebagai penahan beban.
2. Sebagai alat untuk penahan dukungan sendi-rol dibuat dari besi pelat dengan tebal 150 mm. Besi pelat tersebut dipotong dengan panjang kali lebar adalah 25 x 25 cm, sebanyak 8 buah. Empat buah potongan masing-masing dibuat 4 buah lubang untuk masuknya mur (lihat gambar 4.11).



Gambar 4.11 Besi pelat dengan 4 buah lubang

3. Empat buah lagi dibuat lubang dengan diameter 6 cm untuk masuknya besi padat berbentuk lonjong (lihat gambar 4.12).



Gambar 4.12 Besi pelat dengan lubang pada tengah-tengah

4. Kemudian kedua besi pelat tadi disatukan dengan metode pengelasan, dengan membentuk sudut 90° atau membentuk siku.
5. Didapati 4 buah besi pelat siku dan dipasang pada landasan dengan posisi lubang berdiameter 6 cm saling sejajar, dengan jarak 8 cm.
6. Besi pelat siku kemudian dikunci dengan mur dan baut pada landasan.
7. Dibuat dukungan untuk sendi-rol dari besi padat berbentuk lonjong, dengan diameter 5 cm dan panjang 6 cm.
8. Untuk pembebanan dibuat model pembebanan dua titik dengan menggunakan besi rel kereta api sepanjang 50 cm dengan dilaskan dua buah besi padat berbentuk bulat.

4.6 Langkah Kerja Pengujian di Laboratorium

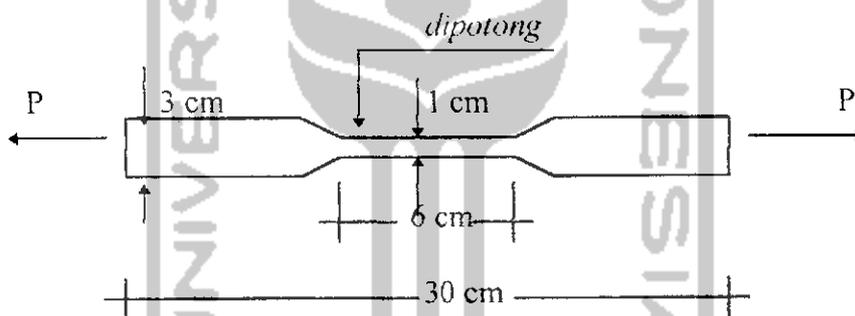
4.6.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Bahan yang digunakan adalah baja Profil-I WF 150, dengan tegangan leleh dari fabrikasi

sebesar 36 Ksi. Untuk membuktikan apakah benar tegangan leleh baja profil tersebut adalah sebesar 36 Ksi, maka terlebih dahulu dilakukan pengujian tarik pada baja tersebut pada bagian sayap dan badan profil, dengan cara sebagai berikut ini.

1. Menyiapkan sampel yang akan diuji yang diambil dari potongan badan dan sayap baja sampel sepanjang 30 cm, dengan lebar 3 cm.
2. Pada daerah sepanjang 6 cm di tengah-tengah benda uji lebarnya dikurangi menjadi 1 cm dengan cara dipotong (lihat gambar 4.10.).
3. Memasang *dial gauge* pada bagian yang dikurangi ketebalannya untuk pembacaan pertambahan panjang.
4. Sampel yang siap diuji diletakkan pada alat untuk uji tarik dengan posisi berdiri.
5. Kedua ujung benda uji ditarik dengan alat untuk uji tarik secara perlahan-lahan.
6. Kemudian dibaca kenaikan beban yang terjadi pada sampel uji sewaktu ditarik dan hasilnya dicatat, sehingga akan didapat nilai tegangan dari besarnya beban yang terjadi pada waktu ditarik dan dibagi dengan luas benda uji arah melintang badan.
7. Pertambahan tegangan diikuti pula dengan bertambahnya regangan yang didapat dari hasil pembagian pertambahan panjang dengan panjang awal.

8. Dikontrol lama waktu pembebanan yang terjadi.
9. Sampai mencapai batas maksimum, maka benda uji akan mengalami kondisi putus atau patah.
10. Dibuat grafik tegangan dan regangan dari hasil pengujian.
11. Dibaca kenaikan tegangan dan regangan dari hasil grafik.
12. Sebelum benda uji mengalami kondisi putus atau patah, maka kondisi tersebut adalah kondisi leleh baja.
13. Kondisi sebelum patah atau kondisi leleh baja inilah yang akan dipakai sebagai tegangan leleh baja.



Gambar 4.13 Uji tarik pada baja

4.6.2 Pengujian Lentur

Pengujian lentur baja dilakukan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Material atau bahan yang digunakan untuk pengujian adalah baja profil I WF 150. Adapun karakteristik pada baja sampel adalah

- hw = tinggi badan/Web = 14,6 cm,
- bf = lebar sayap/flens = 7,5 cm,
- L = panjang batang = 130 centimeter.

Baja yang akan diuji didatangkan dari pabrik baja yang berada di Semarang, dengan panjang batang 12 meter, lalu dipotong sebanyak 6 buah dengan panjang masing-masing 1,5 meter. Dari 6 potongan tadi, 5 buah potongan dibuat menjadi baja *Castella* dengan rincian 3 buah dibuat menjadi *Castella* model lubang segi enam, dengan perbedaan pada ketebalan dt yaitu masing-masing 2,5 cm, 3 cm dan 6 cm, lalu 2 buah yang lainnya dibuat *Castella* model lubang empat persegi panjang dengan perbedaan pada ketebalan dt yaitu masing-masing 3 cm dan 6 cm. Sedangkan sisanya dibiarkan utuh, dalam artian dibiarkan dalam kondisi seperti apa adanya (periksa gambar 4.14 sampai dengan 4.16).



Gambar 4.14 Balok baja utuh



Gambar 4.15 Balok baja *Castella* model lubang segi enam



Gambar 4.16 Balok *Castella* model lubang empat persegi panjang

Kondisi sampel yang akan diuji haruslah bersih dari material apapun yang sifatnya tambahan, dan tidak terdapat cacat fisik, untuk menjamin kekuatan baja sesuai dengan perencanaan. Adapun urutan pelaksanaan pengujian di

Laboratorium untuk setiap sampel hampir sama, dengan tahapan sebagai berikut ini.

1. Menyiapkan sampel yang akan diuji.
2. Ambil satu buah pipa besi yang sudah disiapkan sebelumnya, kemudian direkatkan pada sampel dengan cara dilas untuk mewakili fungsi sendi (lihat gambar 4.17)



Gambar 4.17 Pipa besi yang dilaskan pada sampel

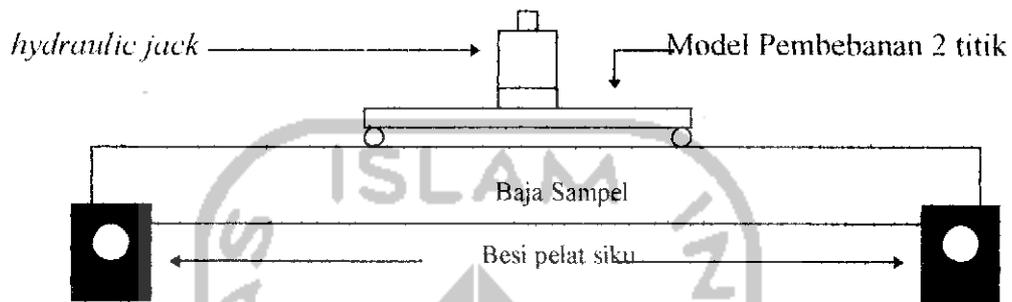
3. Ke dalam pipa besi tersebut dimasukkan besi padat bulat yang sudah disiapkan sebelumnya.
4. Besi padat tersebut juga dimasukkan ke dalam lubang pada besi pelat siku, lihat gambar 4.18.



Gambar 4.18 Besi dukungan dimasukkan kedalam pelat siku

5. Di atas baja sampel yang akan diuji, diletakkan model pembebanan 2 titik yang terbuat dari besi rel kereta api dengan dua buah besi padat yang dilaskan pada ujung-ujung potongan rel kereta api.

6. Di tengah-tengah model pembebanan dua titik, di atasnya diletakkan alat yang disebut *hydraulic jack*, yang fungsinya sebagai penambahan beban, lihat gambar 4.19.



Gambar 4.19 Baja sampel siap uji

7. Ujung atas *hydraulic jack*, sebelum dipompa harus tepat menyentuh bagian bawah portal.
8. *Hydraulic jack* tersebut dihubungkan dengan pompa yang berfungsi untuk menaikkan beban secara bertahap.
9. Di tengah-tengah profil, di bawahnya dipasang alat pembaca lendutan atau lentur yang terjadi pada benda uji, yang disebut dengan *dial gauge*, alat ini berfungsi untuk membaca seberapa besar lendutan yang terjadi pada profil.
10. Pada badan profil juga dipasang *dial gauge* yaitu alat untuk membaca apakah terjadi tekuk atau *buckling* pada badan sewaktu pengujian sedang berlangsung, ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah benar posisi beban tepat di tengah-tengah profil (sentris).

11. Setelah alat-alat dan bahan untuk pengujian siap, maka dilakukan pengujian untuk mengetahui kapasitas lentur dari masing-masing sampel.
12. Beban dari *hydraulic jack* dinaikkan secara perlahan-lahan, dengan cara dipompa pada alat pompa untuk menaikkan beban.
13. Beban dinaikkan secara bertahap, sambil dibaca lendutan yang terjadi dan dikontrol tekuk atau *buckling* yang terjadi, apakah sesuai dengan yang direncanakan atau tidak, sampai beban tidak mau bertambah lagi atau statis.
14. Hasil setiap pengujian dicatat dalam bentuk tabel.
15. Adapun sampel yang akan diuji diuraikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Sampel yang akan diuji di Laboratorium

Sampel	Model Lubang	Panjang (cm)	dT (cm)	hw (cm)
1	Utuh	130	-	15
2	Segi enam	130	2,5	25
3	Segi enam	130	3	24
4	Segi enam	130	6	18
5	Empat persegi panjang	130	3	24
6	Empat persegi panjang	130	6	18

BAB V

PELAKSANAAN DAN HASIL PENGUJIAN

5.1 Umum

Penelitian Tugas Akhir ini merupakan studi eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Urutan pelaksanaan percobaan yang dilakukan dalam penelitian akan dibahas dalam bab ini, yaitu persiapan bahan, uji kapasitas lentur, analisis balok utuh, analisis balok *Castella*.

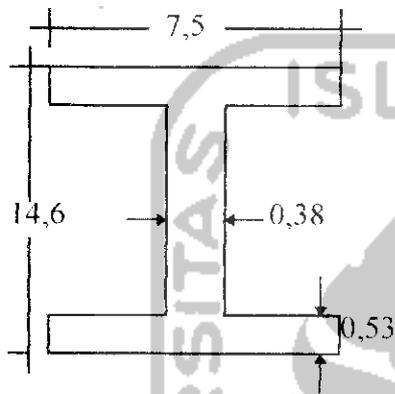
5.2 Analisis Pembebanan pada Balok Sampel

Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu ditinjau seberapa besar beban yang akan dihasilkan oleh masing-masing balok sampel secara teoritis. Adapun beban yang dihasilkan secara teoritis untuk setiap balok sampel adalah sebagai berikut ini.

5.2.1 Balok Sampel 1

Profil yang digunakan untuk pengujian di Laboratorium adalah profil I WF 150 dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d_h &= 14,6 \text{ cm} = 5,748 \text{ in} & t_w &= 0,38 \text{ cm} = 0,1496 \text{ in} \\
 b_f &= 7,5 \text{ cm} = 2,9528 \text{ in} & t_f &= 0,53 \text{ cm} = 0,2087 \text{ in} \\
 A_f &= b_f \cdot t_f = 2,9528 \times 0,2087 = 0,6163 \text{ in}^2 \\
 \frac{d}{A_f} &= \frac{5,748}{0,6163} = 9,3266 \text{ in}^{-1} \\
 F_y &= 5620,8482 \text{ kg/cm}^2 = 36,2635 \text{ kips}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.1 Tampang melintang balok sampel 1

Checking terhadap kekompakkan, Geometri penampang :

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{7,5}{2 \times 0,53} = 7,0755 \leq \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{65}{\sqrt{36,2635}} = 10,75 \dots \text{ok}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{14,60}{0,38} = 38,4210 \leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} = \frac{640}{\sqrt{36,2635}} = 106,2784 \dots \text{ok}$$

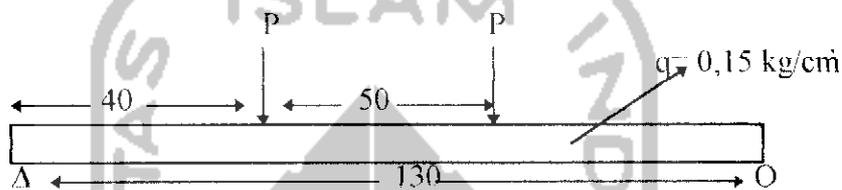
$$L_b = \text{jarak dukungan lateral} = 130 \text{ cm} = 51,1811 \text{ in}$$

$$L_c = \frac{76 \times b_f}{\sqrt{F_y}} = \frac{76 \times 2,9528}{\sqrt{36,2635}} = 37,2695 \text{ in}$$

$$I_u = \frac{20000}{\frac{d}{A_f} \cdot xI_y'} = \frac{20000}{0,6163 \cdot 36,2635} = 894,8868 \text{ in}$$

$$I_c < I_b < I_u$$

Dari penampang geometri dan panjang dukungan lateral, maka dapat dikatakan bahwa penampang dalam keadaan kompak, $F_b = 0,6 F_y$



Untuk pembebanan 2 titik, momen terbesar terjadi sepanjang titik P1 sampai dengan P2, sebesar :

$$M_{\text{maks}} = P \cdot X - 1/8 \cdot q \cdot L^2$$

$$= P \times 40 - 1/8 \times 0,15 \times 130^2$$

$$M_{\text{maks}} = 40P - 316,875 \text{ kg} \cdot \text{cm} \dots \dots \dots (1)$$

Untuk penampang kompak dan tidak berubah bentuk, maka :

$$F_b = 0,60 \times F_y$$

$$= 0,60 \times 5620,8482$$

$$= 3372,5089 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 1/12 \times 7,5 \times 14,6^3 - 2 \times (1/12 \times 3,56 \times 13,54^3)$$

$$= 472,2478 \text{ cm}^4$$

$$f_b \geq f_b = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$M \leq \frac{f_b \cdot I}{y}$$

$$M \leq \frac{3372,5089 \times 472,2478}{7,3}$$

$$M \leq 218172,5902 \text{ kg.cm} \dots \dots \dots (2)$$

Dari persamaan (1) dan (2) didapat:

$$218172,5902 = 40 \cdot P - 316,875$$

$$P_{\min} = 5462,3117 \text{ kg}$$

5.2.2 Balok Sampel 2



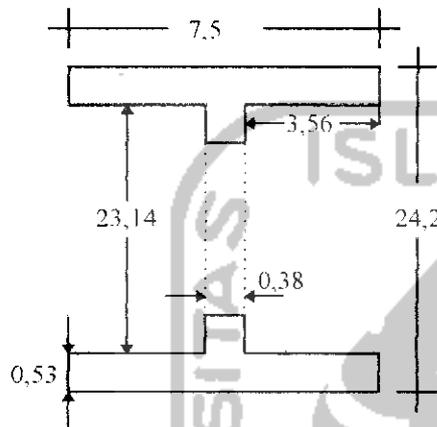
Untuk pembebanan 2 titik, momen terbesar terjadi sepanjang titik P1 sampai dengan P2, sebesar :

$$\begin{aligned} M_{\max} &= P \cdot X - 1/8 \cdot q \cdot L^2 \\ &= P \times 40 - 1/8 \times 0,15 \times 130^2 \end{aligned}$$

$$M_{\max} = 40P - 316,875 \text{ kg.cm} \dots \dots \dots (1)$$

Kemudian dicari momen lentur dengan metode elastis akibat adanya pembebanan sebesar P dan lendutan yang terjadi. Adapun data-data sampel profil yang dipakai sebagai bahan uji adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 b_f &= 7,5 \text{ cm} & t_f &= 0,53 \text{ cm} \\
 t_w &= 0,38 \text{ cm} & d_g &= (14,6 - 2,5) \times 2 = 24,2 \text{ cm} \\
 h_w &= 23,14 \text{ cm} & h_p &= 24,2 - 2,5 \times 2 = 19,2 \text{ cm} \\
 V_f &= \frac{1}{2} P_{total}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.2 Lampang melintang balok sampel 2

1. Menghitung luas profil

$$\begin{aligned}
 A &= 2 \cdot A_f + A_w \\
 &= 2 \cdot (b_f \cdot t_f) + t_w \cdot h_{bt} \\
 &= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 23,14 \\
 &= 16,7432 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

2. Menghitung tegangan akibat beban yang bekerja



$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_p = 5620,8482 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \times \left(\frac{9,6}{0,38} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 5620,8482 = 324,1040 \text{ kg / cm}^2$$

3. Menghitung inersia balok dengan anggapan tidak ada lubang pada balok :

$$I_x = \frac{1}{12} \times b_f \times d_g^3 - 2 \left(\frac{1}{12} \times 3,56 \times 23,14^3 \right) - \frac{1}{12} \times t_w \times h_p^3$$

$$I_x = \frac{1}{12} \times 7,5 \times 24,2^3 - 2 \times \left(\frac{1}{12} \times 3,56 \times 23,14^3 \right) - \frac{1}{12} \times 0,38 \times 19,2^3$$

$$I_x = 1281,9543 \text{ cm}^4$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a = \frac{1}{2} d_g = \frac{24,2}{2} = 12,1 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = \frac{I_x}{y_a} = \frac{1281,9543}{12,1} = 105,9466 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h \cdot A_y} + \frac{V_y \cdot e}{4 \cdot S_b}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_y \cdot e}{4 \cdot S_b} \right) \times h_p \times A$$

$$M = \left(324,1040 - \frac{P \times 5}{4 \times 105,9466} \right) \times 19,2 \times 16,7432$$

$$M = \left(324,1040 - \frac{5 \cdot P}{423,7864} \right) \times 321,4694$$

$$M = 104189,5184 - 3,7928 \cdot P \dots \dots \dots (2)$$

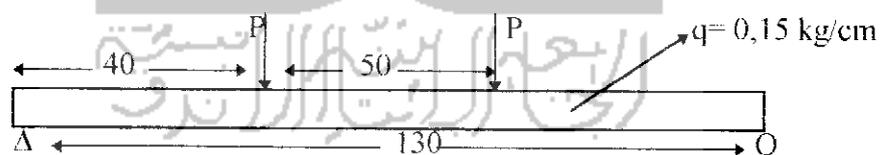
Dari persamaan (1) dan (2), maka didapat besarnya P adalah :

$$104189,5184 - 3,7928 \cdot P = 40 \cdot P - 316,875$$

$$103872,6434 = 43,7928 \cdot P$$

$$P_{\min} = 2386,3829 \text{ kg}$$

5.2.3 Balok Sampel 3



Untuk pembebanan 2 titik, momen terbesar terjadi sepanjang titik P₁ sampai dengan P₂, sebesar :

$$M_{\max} = P \cdot X - 1/8 \cdot q \cdot L^2$$

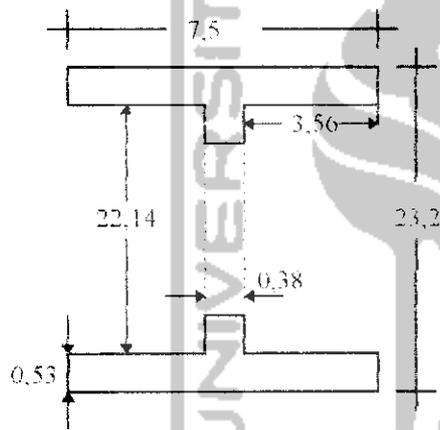
$$= P \times 40 - 1/8 \times 0,15 \times 130^2$$

$$M_{\max} = 40P - 316,875 \text{ kg.cm} \dots \dots \dots (1)$$

Kemudian dicari momen lentur dengan metode elastis akibat adanya pembebanan sebesar P dan lendutan yang terjadi. Adapun data-data sampel profil yang dipakai sebagai bahan uji adalah berikut ini.

$$\begin{aligned} b_f &= 7,5 \text{ cm} & t_f &= 0,53 \text{ cm} \\ t_w &= 0,38 \text{ cm} & d_g &= (14,6 - 3) \times 2 = 23,2 \text{ cm} \\ h_w &= 22,14 \text{ cm} & h_p &= 24,2 - 3 \times 2 = 17,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$V_r = \frac{1}{2} P_{\text{trial}}$$



Gambar 5.3 Tampang melintang balok sampel 3

1. Menghitung luas profil

$$\begin{aligned} A &= 2.A_f + A_w \\ &= 2.(b_f \cdot t_f) + t_w \cdot h_w \\ &= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 22,14 \\ &= 16,3632 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung tegangan akibat beban yang bekerja

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_y = 5620,8482 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \times \left(\frac{8,6}{0,38} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 5620,8482 = 926,111 \text{ kg/cm}^2$$

3. Menghitung inersia balok dengan anggapan tidak ada lubang pada balok :

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b_f \cdot d_g^3 - 2 \left(\frac{1}{12} \times 3,56 \times 22,14^3 \right) - \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot h_p^3$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 7,5 \times 23,2^3 - 2 \left(\frac{1}{12} \times 3,56 \times 22,14^3 \right) - \frac{1}{12} \times 0,38 \times 17,2^3$$

$$I_g = 1204,1505 \text{ cm}^4$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a = \frac{1}{2} d_g = \frac{1}{2} \times 23,2 = 11,6 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = I_g / y_a = \frac{1204,1505}{11,6} = 103,8061 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h.A} + \frac{V_T.c}{4.S_b}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_T.c}{4.S_b} \right) \times h.A$$

$$M = \left(926,111 - \frac{5.P}{4 \times 103.8061} \right) \times 17,2 \times 16,3632$$

$$M = 260651,1626 - 3,3891.P \dots \dots \dots (2)$$

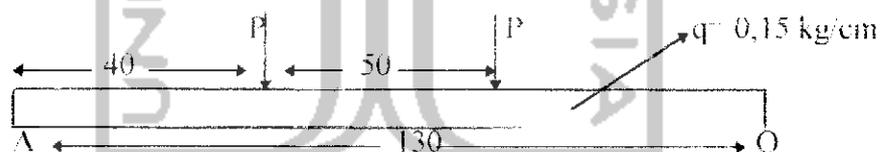
Dari persamaan (1) dan (2), maka didapat besarnya P adalah :

$$260951,1626 - 3,3891.P = 40.P - 316,875$$

$$260334,2876 = 43,3891.P$$

$$P_{\min} = 6014,5990 \text{ kg}$$

5.2.4 Balok Sampel 4



Untuk pembebanan 2 titik, momen terbesar terjadi sepanjang titik P1 sampai dengan P2, sebesar :

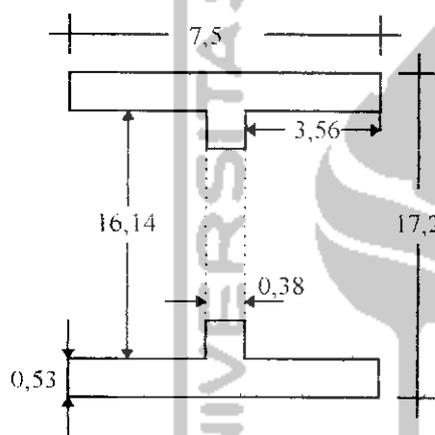
$$M_{\max} = P.X - 1/8.q.L^2$$

$$= P \times 40 - 1/8 \times 0,15 \times 130^2$$

$$M_{\max} = 40P - 316,875 \text{ kg.cm} \dots \dots \dots (1)$$

Kemudian dicari momen lentur dengan metode elastis akibat adanya pembebanan sebesar P dan lendutan yang terjadi. Adapun data-data sampel profil yang dipakai sebagai bahan uji adalah berikut ini.

$$\begin{aligned} b_f &= 7,5 \text{ cm} & t_f &= 0,53 \text{ cm} \\ t_w &= 0,38 \text{ cm} & d_g &= (14,6 - 6) \times 2 = 17,2 \text{ cm} \\ h_w &= 16,14 \text{ cm} & h_p &= 17,2 - 6 \times 2 = 5,2 \text{ cm} \\ V_T &= \frac{1}{2} P_{total} \end{aligned}$$



Gambar 5.4 Tampang melintang balok sampel 4

1. Menghitung luas profil

$$\begin{aligned} A &= 2 \cdot A_f + A_w \\ &= 2 \cdot (b_f \cdot t_f) + t_w \cdot h_w \\ &= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 16,14 \\ &= 14,0832 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung tegangan akibat beban yang bekerja

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_y = 5620,8482 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \times \left(\frac{2,6}{0,38} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 5620,8482 = 3148,9032 \text{ kg/cm}^2$$

3. Menghitung inersia balok dengan anggapan tidak ada lubang pada balok :

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12 \cdot b_f \cdot d_g^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 16,14^3) - 1/12 \cdot t_w \cdot (h_p)^3 \\ &= 1/12 \times 7,5 \times 17,2^3 - 2 \times (1/12 \times 3,56 \times 16,14^3) - 1/12 \times 0,38 \times 5,2^3 \\ &= 681,1790 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a = \frac{1}{2} d_g = \frac{1}{2} 17,2 = 8,6 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = I_g / y_a = \frac{681,1790}{8,6} = 79,2069 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h.A} + \frac{V_t \cdot e}{4.S_b}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_t \cdot x e}{4.S_b} \right) \cdot x h.A$$

$$M = \left(3148,9032 - \frac{5.P}{4 \cdot 79,2069} \right) \cdot 5,2 \cdot 14,0832$$

$$M = 230602,3742 - 1,1557.P \dots \dots \dots (2)$$

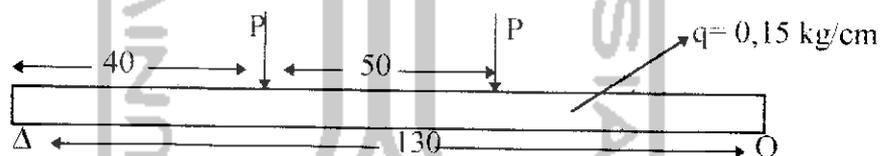
Dari persamaan (1) dan (2), maka didapat besarnya P adalah :

$$230602,3742 - 1,1557.P = 40.P - 316,875$$

$$230919,2492 = 41,1557.P$$

$$P_{\min} = 5610,8692 \text{ kg}$$

5.2.5 Balok Sampel 5



Untuk pembebanan 2 titik, momen terbesar terjadi sepanjang titik P₁ sampai dengan P₂, sebesar :

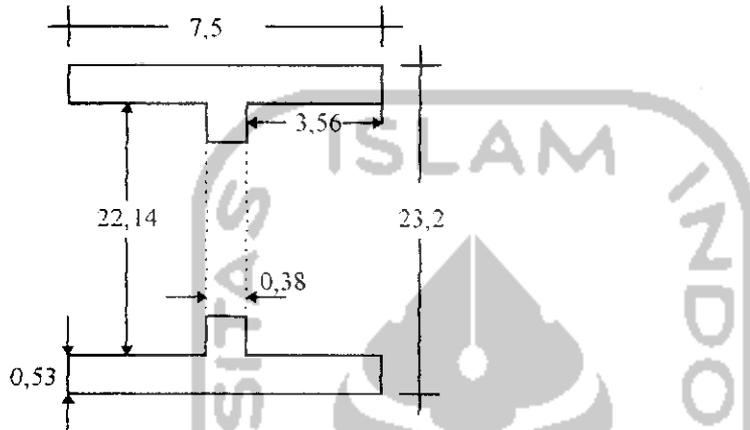
$$M_{\max} = P \cdot X - 1/8 \cdot q \cdot L^2$$

$$= P \cdot 40 - 1/8 \cdot 0,15 \cdot 130^2$$

$$M_{\max} = 40P - 316,875 \text{ kg.cm} \dots \dots \dots (1)$$

Kemudian dicari momen lentur dengan metode elastis akibat adanya pembebanan sebesar P dan lendutan yang terjadi dibawah ini.

$$\begin{aligned}
 b_f &= 7,5 \text{ cm} & t_f &= 0,53 \text{ cm} \\
 t_w &= 0,38 \text{ cm} & d_g &= (14,6 - 3) \times 2 = 23,2 \text{ cm} \\
 h_w &= 22,14 \text{ cm} & h_p &= 23,2 - 3 \times 2 = 17,2 \text{ cm} \\
 V_T &= \frac{1}{2} P_{total}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.5 Tampang melintang balok sampel 5

1. Menghitung luas profil

$$\begin{aligned}
 A &= 2.A_f + A_w \\
 &= 2.(b_f \cdot t_f) + t_w \cdot h_{bt} \\
 &= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 22,14 \\
 &= 16,3632 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$h_b = 2 \times h_{bt} = 2 \times 11,07 = 22,14 \text{ cm}$$

2. Menghitung tegangan akibat beban yang bekerja

$$E = 2,1 \times 10^3 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_v = 5620,8482 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \times \left(\frac{8,6}{0,38} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 5620,8482 = 926,1110 \text{ kg/cm}^2$$

3. Menghitung inersia balok dengan anggapan tidak ada lubang pada balok :

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12 \cdot b \cdot d^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 22,14^3) - 1/12 \cdot t \cdot w \cdot (2 \cdot h_p)^3 \\ &= 1/12 \cdot 7,5 \cdot 23,2^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 22,14^3) - 1/12 \cdot 0,38 \cdot 17,2^3 \\ &= 1204,1505 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a = \frac{1}{2} d_g = \frac{1}{2} 23,2 = 11,6 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = I_g / y_a = \frac{1204,1505}{11,6} = 103,8061 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h \cdot A} + \frac{V_f \cdot e}{4 \cdot S_b}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_f \cdot xe}{4 \cdot S_b} \right) \cdot h \cdot A$$

$$M = \left(926,111 - \frac{10 \cdot P}{4 \cdot 103,8061} \right) \cdot 17,2 \cdot 16,3632$$

$$M = 260651,1626 - 6,7782 \cdot P \dots \dots \dots (2)$$

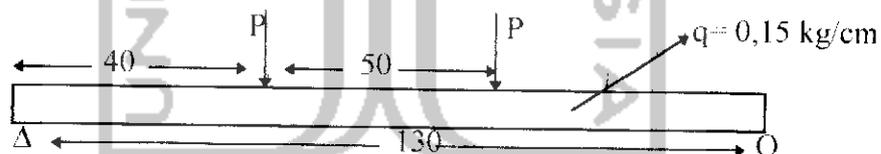
Dari persamaan (1) dan (2), maka didapat besarnya P adalah :

$$260651,1626 - 6,7782 \cdot P = 40 \cdot P - 316,875$$

$$260968,0375 = 46,7782 \cdot P$$

$$P_{\min} = 5578,8388 \text{ kg}$$

5.2.6 Balok Sampel 6



Untuk pembebanan 2 titik, momen terbesar terjadi sepanjang titik P1 sampai dengan P2, sebesar :

$$M_{\max} = P \cdot X - 1/8 \cdot q \cdot L^2$$

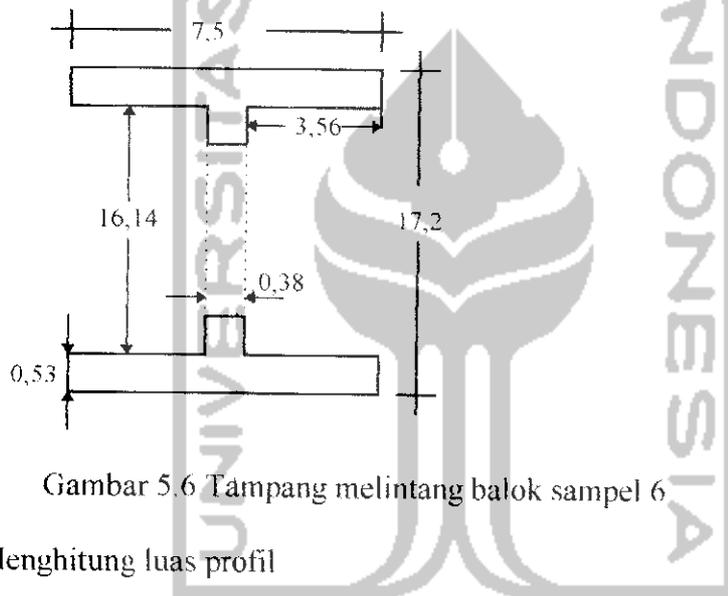
$$= P \cdot 40 - 1/8 \cdot 0,15 \cdot 130^2$$

$$M_{\max} = 40P - 316,875 \text{ kg.cm} \dots \dots \dots (1)$$

Kemudian dicari momen lentur dengan metode elastis akibat adanya pembebanan sebesar P dan lendutan yang terjadi. Adapun data-data sampel profil yang dipakai sebagai bahan uji adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b_f &= 7,5 \text{ cm} & t_f &= 0,53 \text{ cm} \\ t_w &= 0,38 \text{ cm} & d_g &= (14,6 - 6) \times 2 = 17,2 \text{ cm} \\ h_w &= 16,14 \text{ cm} & h_p &= 17,2 - 6 \times 2 = 5,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$V_T = \frac{1}{2} P_{total}$$



Gambar 5.6 Tampang melintang balok sampel 6

1. Menghitung luas profil

$$\begin{aligned} A &= 2.A_f + A_w \\ &= 2.(b_f \cdot t_f) + t_w \cdot h_{bt} \\ &= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 16,14 \\ &= 14,0832 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$h_b = 2 \times h_{bt} = 2 \times 8,07 = 16,14 \text{ cm}$$

2. Menghitung tegangan akibat beban yang bekerja

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_y = 5620,8482 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \times \left(\frac{2,6}{0,38} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 5620,8482 = 3148,9032 \text{ kg/cm}^2$$

3. Menghitung inersia balok dengan anggapan tidak ada lubang pada balok :

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12 \cdot b \cdot f \cdot d_g^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 16,14^3) - 1/12 \cdot t_w \cdot (2 \cdot h_p)^3 \\ &= 1/12 \times 7,5 \times 17,2^3 - 2 \times (1/12 \times 3,56 \times 16,14^3) - 1/12 \times 0,38 \times 5,2^3 \\ &= 681,1790 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a = \frac{1}{2} d_g = \frac{1}{2} 17,2 = 8,6 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = I_g / y_a = \frac{681,1790}{8,6} = 79,2069 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h \cdot A} + \frac{V_r \cdot e}{4 \cdot S_b}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_r \cdot x e}{4 \cdot S_b} \right) \cdot h \cdot A$$

$$M = \left(3148,9032 - \frac{10 \cdot P}{4 \cdot 79,2069} \right) \cdot 5,2 \cdot 14,0832$$

$$M = 230602,3742 - 2,3114 \cdot P \dots \dots \dots (2)$$

Dari persamaan (1) dan (2), maka didapat besarnya P adalah :

$$230602,3742 - 2,3114 \cdot P = 40 \cdot P - 316,875$$

$$230919,2492 - 42,3114 \cdot P$$

$$P_{\min} = 5457,6131 \text{ kg}$$

5.3 Hasil Pengujian di Laboratorium

5.3.1 Hasil Pengujian Tarik

Adapun hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel 5.1 dengan karakteristik bahan sebagai berikut ini.

tw = tebal sampel = 0,38 cm,

hw = lebar bagian sampel yang di potong = 1,03 cm,

h = lebar sampel yang tidak dipotong/dikurangi panjangnya = 3 cm.

Untuk menghitung tegangan dan regangan setiap pembebanan, maka diperlukan:

A = luas bagian yang dipotong

$$= hw \cdot tw = 0,38 \times 1,03 = 0,3914 \text{ cm}^2$$

Lo = panjang bagian yang dipotong = 5,2 cm.

Tabel 5.1 Tegangan dan regangan plat badan.

Beban(P) (kg)	ΔL (1×10^{-3} cm)	σ (P/A) kg/cm ²	ϵ ($\Delta L/L_0$) 1×10^{-3}
100	7	255,4913	0,13
200	17	510,9862	3,2692
300	20	766,4793	3,8461
400	22,5	1021,9724	4,3269
500	24	1277,4655	4,6154
600	25	1532,9586	4,8077
700	26	1788,4517	5,0000
800	27	2043,9448	5,1923
900	29	2294,4379	5,5769
1000	30	2554,9310	5,7692
1100	31	2810,4241	5,9615
1200	31	3065,9172	5,9615
1300	33	3321,4103	6,3461
1400	34	3576,9034	6,5385
1500	34	3832,3965	6,5385
1600	34,5	4087,8896	6,6346
1700	34,5	4343,3828	6,6346
1800	37	4598,8758	7,1154
1900	50	4854,3689	9,6153
2200	103	5620,8482	19,8076
2570	550	6566,1727	105,7692
2690	570	6872,7644	109,6154
2750	590	7026,0060	113,4615
2680	610	6847,2151	117,3077

σ_{maks} = tegangan maksimum yang dicapai pada pembebanan 2750 kg

adalah 7026,0060 kg/cm²

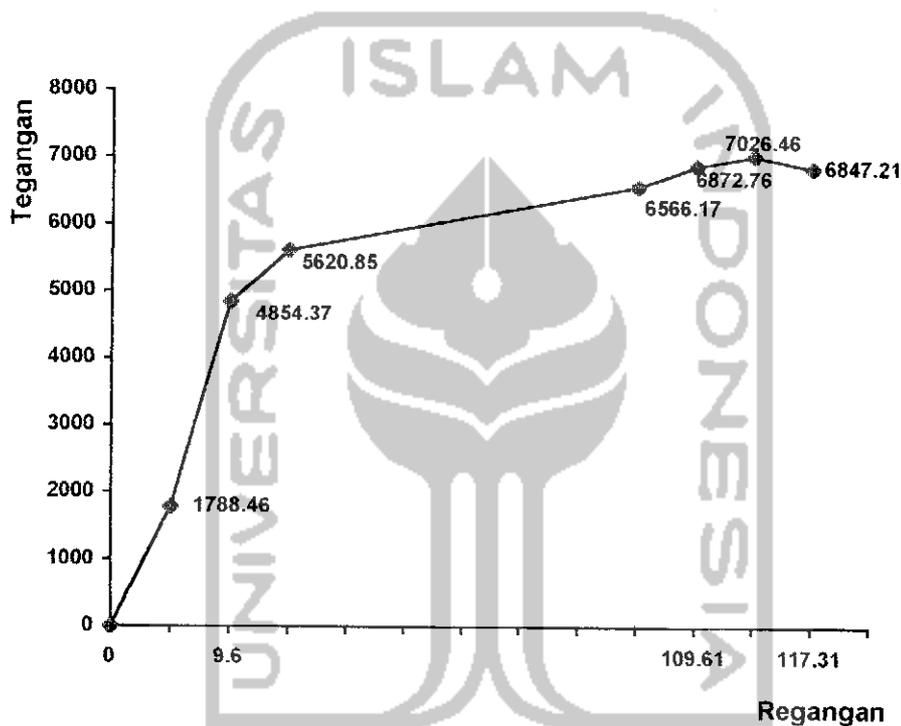
σ_y = tegangan leleh yang terjadi pada pembebanan 2200 kg adalah

5620,8482 kg/cm²

σ_p – batas sebanding antara tegangan dan regangan pada beban 1900 kg adalah 4854,3689 kg/cm²

σ_e = batas leleh baja pada beban 2570 kg adalah 6566,1722 kg/cm²

Kurva tegangan dan regangan yang terjadi disajikan pada grafik 5.1 seperti dibawah ini. -



Grafik 5.1 Kurva Tegangan dan Regangan

5.3.2 Hasil Pengujian Lentur

Hasil pengujian kapasitas lentur di Laboratorium berupa beban dan lendutan yang terjadi disajikan dalam bentuk tabel, dengan skala kenaikan beban setiap satu ton dan lendutan yang terjadi dalam milimeter.

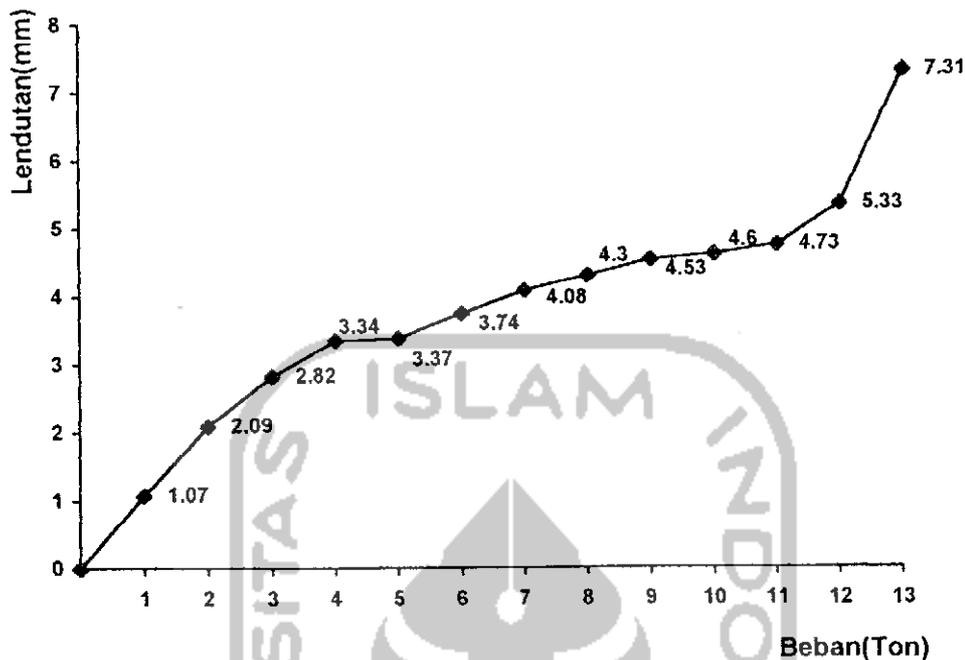
1. Balok Utuh

Yang dimaksud dengan balok utuh adalah, baja profil yang tidak dibuat menjadi balok *Castella*, artinya bentuk fisiknya masih tetap utuh. Hasil dari pengujian balok sampel berupa beban dan lendutan, kemudian dihitung besar momen yang terjadi. Momen hasil pengujian balok utuh ini akan dijadikan acuan menaikkan kapasitas lentur. Adapun hasil pengujian di laboratorium disajikan dalam tabel 5.2 di bawah ini.

Tabel 5.2 Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 1

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Buckling (mm)
1	1,07	- 0,15
2	2,09	- 0,62
3	2,82	- 1,19
4	3,34	- 1,70
5	3,37	- 1,81
6	3,74	- 2,03
7	4,08	- 2,30
8	4,30	- 2,48
9	4,53	- 2,70
10	4,60	- 2,78
11	4,73	- 2,91
12	5,33	- 3,64
13	7,31	- 4,55

Pada posisi pembacaan beban sebesar 13 ton, beban tidak bertambah lagi, bahkan pada pembacaan jarum beban menunjukkan jarum cenderung turun kembali dari angka 13 ton. Total beban ditambahkan dengan berat besi rel + besi bulat 2 buah + *jack load* adalah 60 kg. Kurva beban dan lendutan yang terjadi disajikan dalam grafik 5.2 di bawah ini.



Grafik 5.2 Kurva lendutan balok sampel 1

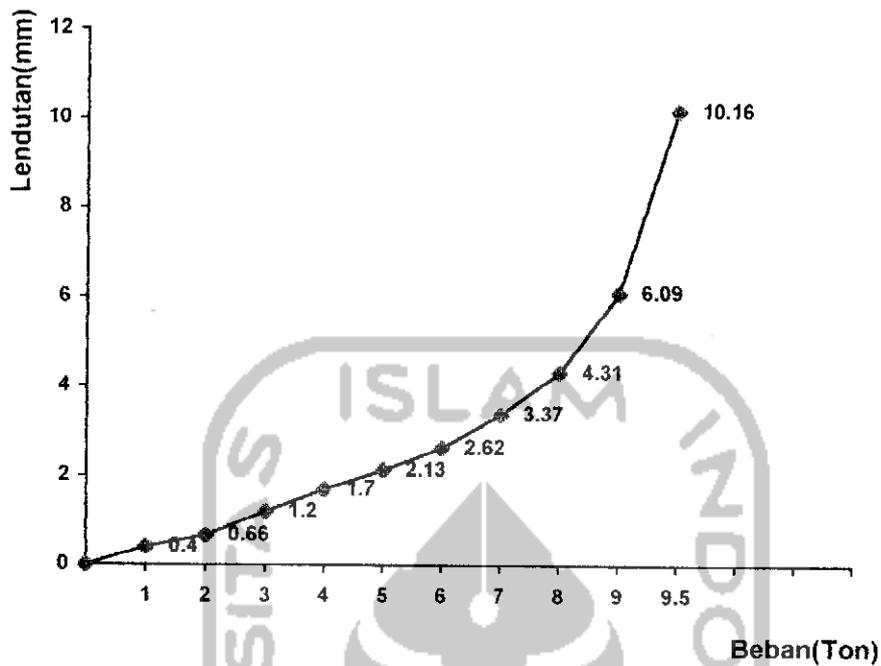
2. *Castella* Model Lubang Segi Enam dengan $dT = 2,5$ cm

Balok *Castella* model lubang segi enam adalah *modifikasi* dari balok baja profil utuh. Modifikasi balok tersebut pada badan dengan bentuk lubang segi enam. Akibat modifikasi pada badan balok tersebut maka pada balok tersebut terjadi kenaikan tinggi badan, dari d_h menjadi d_g , sehingga akan memperbesar inersia balok. Sedangkan panjang balok sampel menjadi berkurang karena ada pengurangan pada ujung - ujung batang penyambungan kembali balok yang telah dipotong (lihat penjelasan pada Bab IV). Adapun hasil pengujian balok *Castella* model lubang segi enam dengan $dT = 2,5$ cm disajikan pada tabel 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.3 Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 2

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Buckling (mm)
1	0,40	0,12
2	0,66	0,50
3	1,20	0,80
4	1,70	1,08
5	2,13	1,06
6	2,62	1,04
7	3,37	0,62
8	4,31	0,55
9	6,09	0,60
9,5	10,16	0,84

Pada posisi pembacaan beban sebesar 9,5 ton, beban tidak bertambah lagi, bahkan jarum beban cenderung turun kembali dari angka 9,5 ton. Selama pembebanan berlangsung, terjadi dua kali tekuk yang berlawanan arah, yaitu pada posisi pembacaan beban 5 ton dan posisi pembacaan beban 9 ton. Total beban ditambahkan dengan berat besi rel + Besi bulat 2 buah + *jack load* adalah 60 kg. Kurva beban terhadap lendutan untuk balok *Castella* model lubang segi enam dengan tebal *dt* sebesar 2,5 cm, dapat dilihat pada grafik 5.3 di bawah ini



Grafik 5.3 Kurva lendutan balok Castella sampel 2

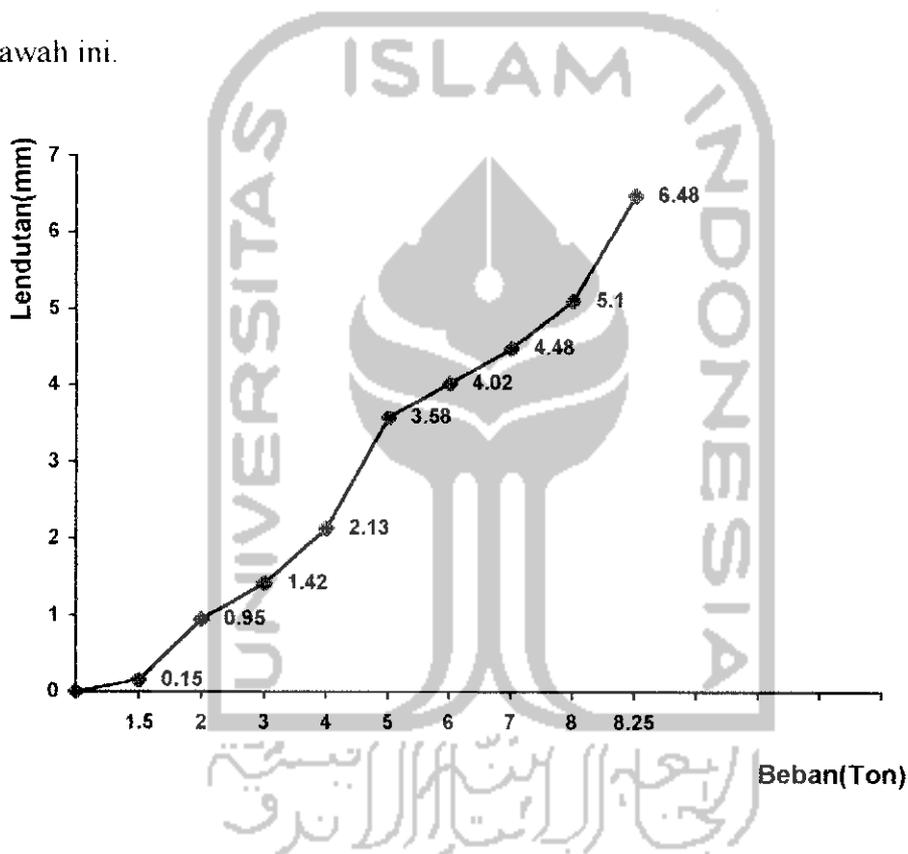
3. *Castella* Model Lubang Segi Enam dengan $dt = 3$ cm

Adapun hasil pengujian balok *Castella* model lubang segi enam dengan tebal dt sebesar 3 cm dapat dilihat pada tabel 5.4 di bawah ini.

Tabel 5.4 Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 3

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Buckling (mm)
1,5	0,15	0,12
2	0,95	0,91
3	1,42	1,47
4	2,13	2,20
5	3,58	3,12
6	4,02	4,02
7	4,48	4,07
8	5,10	5,01
8,25	6,48	6,61

Pada posisi pembacaan beban sebesar 8,25 ton, beban tidak bertambah lagi, bahkan jarum beban cenderung turun kembali dari angka 8,25 ton. Total beban ditambahkan dengan berat besi rel kereta api + besi bulat 2 buah + *jack load* adalah 60 kg. Kurva beban terhadap lendutan untuk balok *Castella* model lubang segi enam dengan tebal dT sebesar 3 cm dapat dilihat pada grafik 5.4 di bawah ini.



Grafik 5.4 Kurva lendutan balok sampel 3

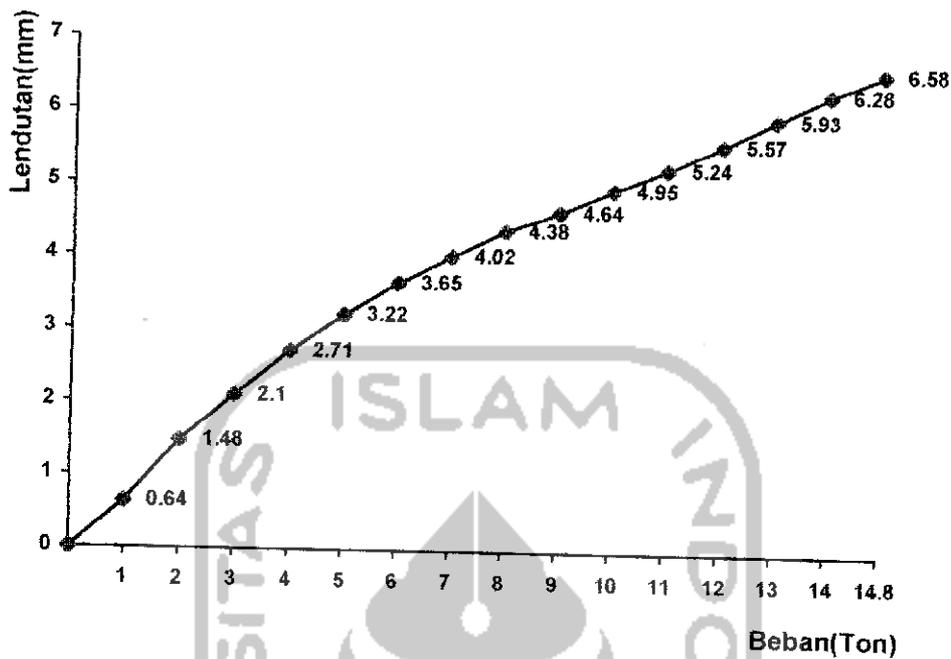
4. *Castella* Model Lubang Segi Enam dengan dT sebesar 6 cm

Adapun hasil pengujian balok *Castella* model lubang segi enam dengan tebal dT sebesar 6 cm dapat dilihat pada tabel 5.5 di bawah ini.

Tabel 5.5 Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 4

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Buckling 1 (mm)	Buckling 2 (mm)
1	0,64	- 0,20	0,38
2	1,48	- 0,61	0,58
3	2,10	- 0,81	0,71
4	2,71	- 0,81	0,99
5	3,22	- 0,68	1,15
6	3,65	- 0,48	1,13
7	4,02	- 0,32	1,09
8	4,38	- 0,26	1,00
9	4,64	- 0,25	0,83
10	4,95	- 0,28	0,64
11	5,24	- 0,33	0,49
12	5,57	- 0,42	0,37
13	5,93	- 0,51	0,25
14	6,28	- 0,85	0,20
14,5	6,43	- 2,11	1,25
14,8	6,58	- 3,25	2,55

Pada posisi pembacaan beban sebesar 14,8 ton, beban tidak bertambah lagi, bahkan jarum beban cenderung turun kembali dari angka 14,8 ton. Total beban ditambahkan dengan berat besi rel kereta api + besi bulat 2 buah + *jack load* adalah 60 kg. Adapun kurva beban terhadap lendutan yang dihasilkan oleh balok *Castella* model lubang segi enam dengan tebal *dT* sebesar 6 cm dapat dilihat pada grafik 5.5 di bawah ini.



Grafik 5.5 Kurva lendutan balok sampel 4

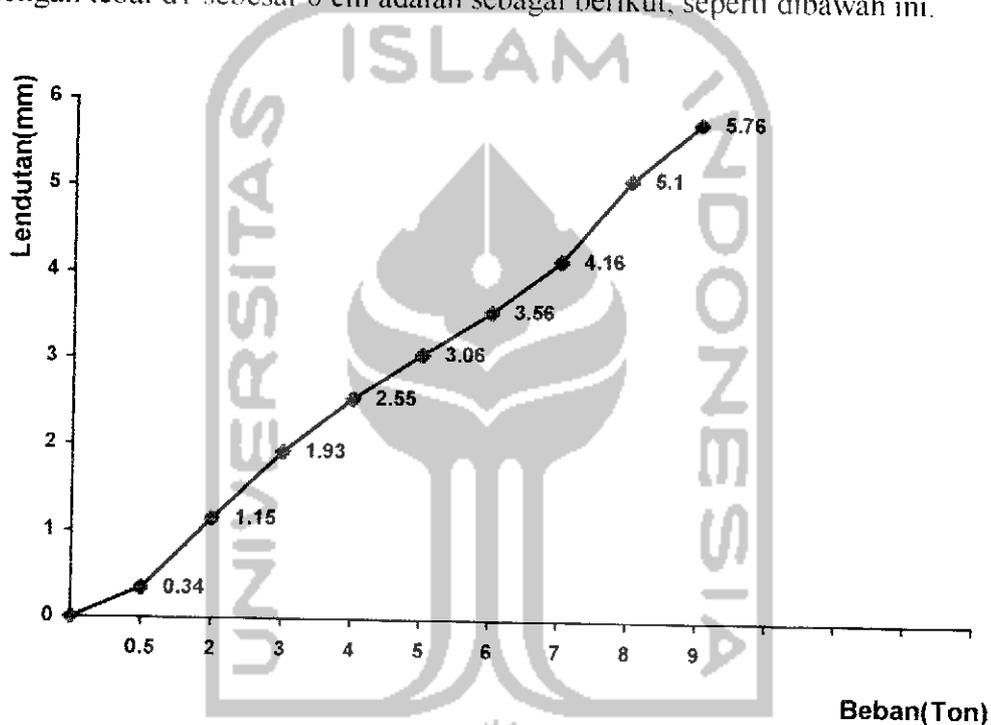
5. *Castella* Model Lubang Empat Persegi Panjang dengan $dt = 3$ cm

Adapun hasil pengujian balok *Castella* model lubang empat persegi panjang dengan ketebalan dt sebesar 3 cm disajikan dalam tabel 5.6 seperti di bawah ini.

Tabel 5.6 Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 5

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Buckling (mm)
0,5	0,34	0,04
2	1,15	0,07
3	1,93	0,16
4	2,55	0,20
5	3,06	0,25
6	3,56	0,23
7	4,16	0,19
8	5,10	0,15
9	5,76	0,02

Pada pembacaan 9 ton, beban tidak bertambah lagi, bahkan jarum beban cenderung menunjukkan turun. Total beban ditambahkan dengan berat besi rel kereta api + besi bulat 2 buah + *jack load* adalah 60 kg. Adapun kurva beban terhadap lendutan yang dihasilkan oleh balok *Castella* model lubang segi enam dengan tebal dT sebesar 6 cm adalah sebagai berikut, seperti dibawah ini.



Grafik 5.6 Kurva lendutan balok sampel 5

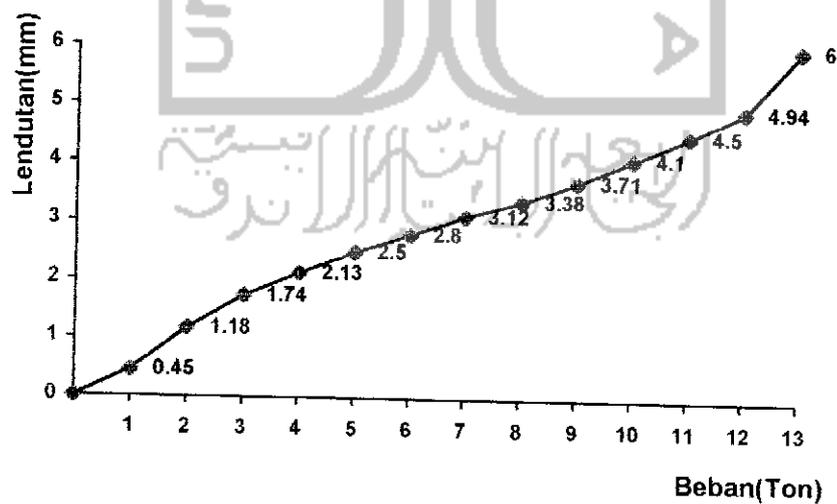
6. *Castella* Model Lubang Empat Persegi Panjang dan dT = 6 cm

Adapun hasil pengujian untuk balok *Castella* model lubang empat persegi panjang dengan tebal dT sebesar 6 cm disajikan pada tabel 5.7 di bawah ini.

Tabel 5.7 Hasil pengujian kapasitas lentur untuk sampel 6

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Tekuk (mm)
1	0,45	0,00
2	1,18	0,05
3	1,74	0,14
4	2,13	0,10
5	2,50	0,02
6	2,80	0,28
7	3,12	0,78
8	3,38	1,19
9	3,71	1,61
10	4,10	2,14
11	4,50	2,80
12	4,94	2,94
13	6,00	3,64

Pada pembacaan beban sebesar 13 ton, jarum beban tidak bertambah lagi bahkan cenderung turun. Kurva beban terhadap lendutan untuk balok Castella model lubang empat persegi panjang dengan tebal dt sebesar 6 cm dapat dilihat pada grafik 5.7 di bawah ini.



Grafik 5.7 Kurva lendutan balok sampel 6

5.4 Kapasitas Momen pada Balok Sampel

Pada bagian ini yang akan dicari adalah seberapa besar kapasitas momen yang dimiliki oleh setiap balok sampel, akibat pembebanan sebesar P yang dihasilkan pada eksperimen di laboratorium, dan seberapa besar kapasitas momen yang dihasilkan oleh setiap balok sampel *Castella* akibat kenaikan tinggi badan.

5.4.1 Kapasitas Momen Utuh

Kapasitas momen yang mampu didukung oleh balok sampel 1 atau balok utuh dengan beban sebesar 13000 kg adalah sebagai berikut ini.

$$P_1 = P_2 = 13000 \text{ kg}$$

$$P_{\text{total}} = 2 \times 13000 + 60 = 26060 \text{ kg}$$

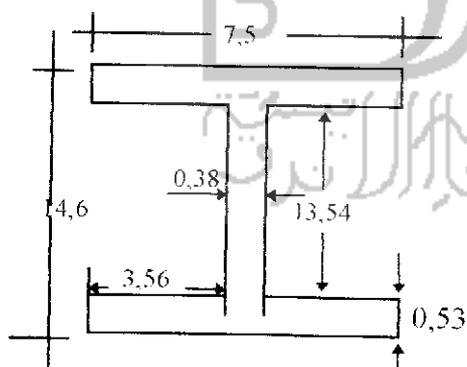
$$b_f = 7,5 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,53 \text{ cm}$$

$$t_w = 0,38 \text{ cm}$$

$$d_h = 14,6 \text{ cm}$$

$$h_w = 13,54 \text{ cm}$$



Gambar 5.7 Tampang melintang balok utuh

1. Menghitung luas profil

$$\begin{aligned}
 A &= A_f + A_w \\
 &= bf \cdot t_f + tw \cdot hbt \\
 &= 7,5 \times 0,53 + 0,38 \times 6,77 \\
 &= 6,5476 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

2. Menghitung tegangan ijin pada balok utuh

$$\begin{aligned}
 F_b &= 5620,8482 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_y &= 0,6 \times F_b = 0,6 \times 5620,8482 = 3372,5089 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

3. Menghitung luas Inersia pada profil I:

$$\begin{aligned}
 I_h &= 1/12 \cdot bf \cdot dh^3 - 2x(1/12 \cdot 3,56 \cdot 13,54^3) \\
 &= 1/12 \times 7,5 \times 14,6^3 - 2x(1/12 \times 3,56 \times 13,54^3) \\
 &= 472,2478 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

5. Menghitung besar lendutan yang terjadi

$$y_a = (hT - \Delta_{ijin}) = (7,3 - 0,731) = 6,569 \text{ cm}$$

6. Menghitung momen yang dihasilkan oleh balok utuh

$$F_b \geq f_b = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$M \leq \frac{F_b \cdot I}{y}$$

$$M \leq \frac{3372,5089 \cdot 472,2478}{7,3} = 218172,5902 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

5.4.2 Kapasitas Momen Balok Castella

Tinjauan untuk balok Castella karena adanya kenakan tinggi badan dari d_h menjadi d_g , sehingga momen inersia badan juga akan ikut bertambah. Karena yang ditinjau adalah kapasitas momen maka pengaruh adanya lubang pada badan harus diperhitungkan, terhadap luas badan, inersia balok dan tegangan yang terjadi. Rumus mencari momen pada balok *Castella* adalah sebagai berikut:

Tegangan ijin *Castella* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{kip} = \left[1 - \frac{10,434}{C_c} \times \left(\frac{h_p}{2t_w} \right)^2 \right] \times 0,6 \times \sigma$$

$$\sigma_{kip} = \frac{M}{A \cdot h_p} + \frac{V_f \cdot e}{4 \cdot S_b}$$

$$M = \left(\sigma_{kip} - \frac{V_f \cdot e}{4 \cdot S_b} \right) \times A \times h_p$$

Adapun kapasitas momen untuk balok *Castella* seperti di bawah ini.

1. Balok Sampel 2

Kapasitas momen yang mampu didukung oleh balok sampel 2 atau balok *Castella* dengan model lubang segi enam dan tebal d_T sebesar 2,5 cm adalah sebagai berikut ini.

$$P_1 = P_2 = 9500 \text{ kg}$$

$$P_{\text{total}} = 2 \times 9500 + 60 = 19060 \text{ kg}$$

$$b_f = 7,5 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,53 \text{ cm}$$

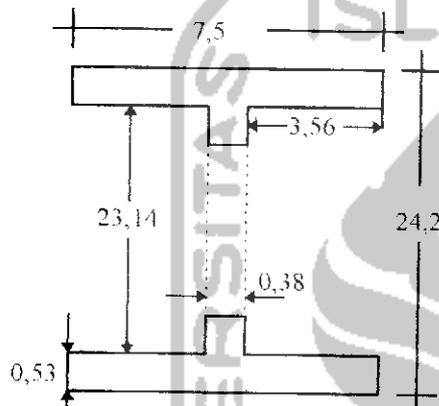
$$t_w = 0,38 \text{ cm}$$

$$d_h = 24,2 \text{ cm}$$

$$h_w = 23,14 \text{ cm}$$

$$h_p = 19,2 \text{ cm}$$

$$V_1 = \frac{1}{2} \times P_{\text{total}} = \frac{1}{2} \times 19060 = 9530 \text{ kg}$$



Gambar 5.8 Tampang melintang *Castella* sampel 2

I. Menghitung luas profil

$$A_p = 2 \cdot A_f + A_w$$

$$= 2 \times b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w$$

$$= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 23,14$$

$$= 16,7432 \text{ cm}^2$$

2. Menghitung tegangan akibat beban yang bekerja

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = 5620,8482 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \cdot \left(\frac{9,6}{0,38} \right)^2 \right) \cdot 0,6 \cdot 5620,8482 = 324,1040 \text{ kg/cm}^2$$

3. Menghitung inersia balok dengan anggapan tidak ada lubang pada balok :

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12 \cdot b \cdot d^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 23,14^3) - 1/12 \cdot t_w \cdot (h_p)^3 \\ &= 1/12 \cdot 7,5 \cdot 24,2^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 23,14^3) - 1/12 \cdot 0,38 \cdot 19,2^3 \\ &= 1281,9544 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a = h_t - \Delta = 12,1 - 1,016 = 11,084 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = I_g / y_a = \frac{1281,9544}{11,082} = 115,6789 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h \cdot A_f} + \frac{V_f \cdot e}{4 \cdot S_h}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_f \cdot e}{4 \cdot S_h} \right) \cdot h_f \cdot A$$

$$M = \left(324,1040 - \frac{9530 \cdot 5}{4 \cdot 115,6789} \right) \cdot 19,2 \cdot 16,7432$$

$$M = 71710,1935 \text{ kg.cm}$$

2. Balok Sampel 3

Kapasitas momen yang mampu didukung oleh balok sampel 3 atau balok *Castella* dengan model lubang segi enam dan tebal dt sebesar 3 cm adalah sebagai berikut ini.

$$P_1 = P_2 = 8310 \text{ kg}$$

$$P_{\text{total}} = 2 \times 8310 + 60 = 16680 \text{ kg}$$

$$b_f = 7,5 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,53 \text{ cm}$$

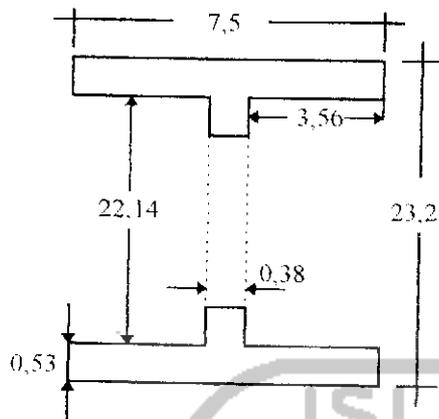
$$t_w = 0,38 \text{ cm}$$

$$d_h = 23,2 \text{ cm}$$

$$h_w = 22,14 \text{ cm}$$

$$h_p = 17,2 \text{ cm}$$

$$V_T = \frac{1}{2} \times P_{\text{total}} = \frac{1}{2} \times 16680 = 8340 \text{ kg}$$



Gambar 5.9 Tampang melintang *Castella* sampel 3

1. Menghitung luas profil

$$\begin{aligned}
 A_p &= 2 \times A_f + A_w \\
 &= 2 \times b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_b \\
 &= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 22,14 \\
 &= 16,3632 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$h_b = 2 \times h_{br} = 2 \times 11,07 = 22,14 \text{ cm}$$

2. Menghitung tegangan ijin yang terjadi akibat pembebanan

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_y = 5620,8482 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \cdot \left(\frac{8,6}{0,38} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 5620,8482 = 926,111 \text{ kg/cm}^2$$

3. Menghitung inersia dengan anggapan tidak ada lubang pada balok:

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12.bf.dg^3 - 2.(1/12.3,56.22,14^3) - 1/12.tw.17,2^3 \\ &= 1/12 \times 7,5 \times 23,2^3 - 2 \times (1/12 \times 3,56 \times 22,14) - 1/12 \times 0,38 \times 17,2^3 \\ &= 1364,7400 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a = h_t - \Delta = 11,6 - 0,648 = 10,952 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = I_g / y_a = 1364,74 / 10,952 = 124,6112 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h \cdot A_p} + \frac{V_T \cdot e}{4 \cdot S_b}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_T \cdot e}{4 \cdot S_b} \right) \times h_p \times A$$

$$M = \left(926,1111 - \frac{8340 \times 5}{4 \times 124,6112} \right) \times 17,2 \times 16,3632$$

$$M = 237105,3074 \text{ kg.cm}$$

3. Balok Sampel 4

Kapasitas momen yang mampu didukung oleh balok sampel 4 atau balok *Castella* dengan model lubang segi enam dan tebal dT sebesar 6 cm adalah sebagai berikut ini.

$$P_1 = P_2 = 14800 \text{ kg}$$

$$P_{\text{total}} = 2 \times 14800 + 60 = 29660 \text{ kg}$$

$$b_f = 7,5 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,53 \text{ cm}$$

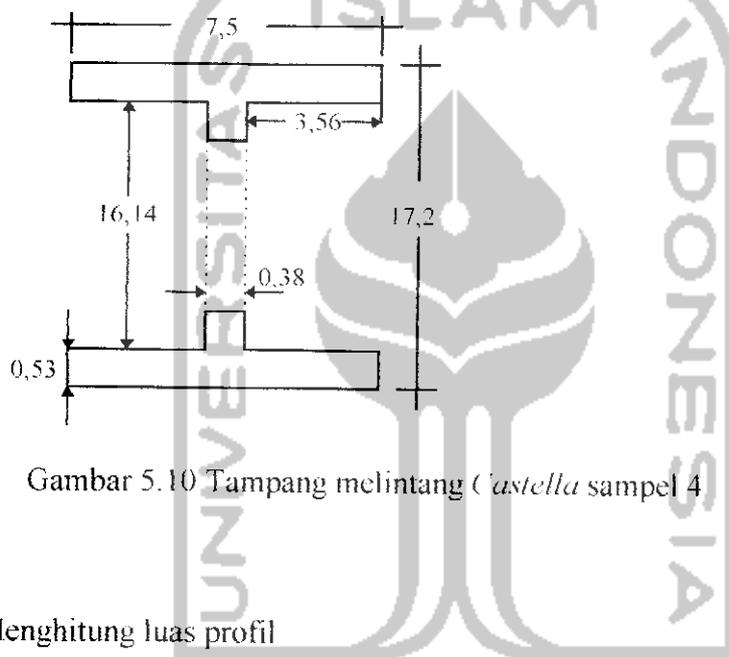
$$t_w = 0,38 \text{ cm}$$

$$d_h = 17,2 \text{ cm}$$

$$h_w = 16,14 \text{ cm}$$

$$h_p = 5,2 \text{ cm}$$

$$V_f = \frac{1}{2} \times P_{\text{total}} = \frac{1}{2} \times 29660 = 14830 \text{ kg}$$



Gambar 5.10 Tampang melintang *Castella* sampel 4

1. Menghitung luas profil

$$A_p = 2 \cdot A_f + A_w$$

$$= 2 \times b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_b$$

$$= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 16,14$$

$$= 14,0832 \text{ cm}^2$$

$$h_b = 2 \times h_{bt} = 2 \times 8,07 = 16,14 \text{ cm}$$

2. Menghitung tegangan ijin yang terjadi akibat pembebanan

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = 5620,8482 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot x \cdot \pi^2 \cdot 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \times \left(\frac{2,6}{0,38} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 5620,8482 = 3148,9063 \text{ kg / cm}^2$$

3. Menghitung inersia dengan anggapan tidak ada lubang pada balok:

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12 \cdot b_f \cdot d_g^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 16,14^3) - 1/12 \cdot t_w \cdot 16,14^3 \\ &= 1/12 \cdot 7,5 \cdot 17,2^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 16,14^3) - 1/12 \cdot 0,38 \cdot 16,14^3 \\ &= 552,4902 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a = h_t - \Delta = 8,6 - 0,658 = 7,942 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = I_g / y_a = 552,4902 / 7,942 = 69,5656 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h \cdot A_T} + \frac{V_T \cdot e}{4 \cdot S_b}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_T \cdot e}{4 \cdot S_b} \right) \times h_p \times A$$

$$M = \left(3148,9063 - \frac{14830 \times 5}{4 \times 69,5656} \right) \times 5,2 \times 14,0832$$

$$M = 211088,0466 \text{ kg.cm}$$

4. Balok Sampel 5

Kapasitas momen yang mampu didukung oleh balok sampel 5 atau balok *Castella* dengan model lubang empat persegi panjang dan tebal dT sebesar 3 cm adalah sebagai berikut ini.

$$P_1 = P_2 = 9000 \text{ kg}$$

$$P_{\text{total}} = 2 \times 9000 + 60 = 18060 \text{ kg}$$

$$b_F = 7,5 \text{ cm}$$

$$t_F = 0,53 \text{ cm}$$

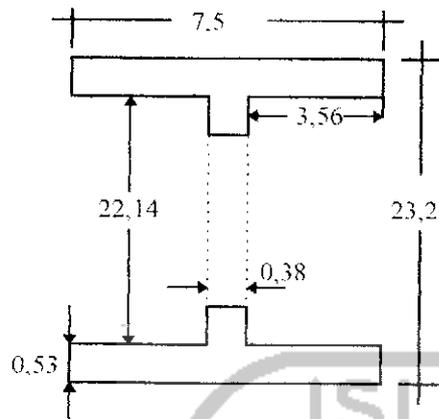
$$t_W = 0,38 \text{ cm}$$

$$d_h = 23,2 \text{ cm}$$

$$h_W = 22,14 \text{ cm}$$

$$h_p = 17,2 \text{ cm}$$

$$V_T = \frac{1}{2} \times P_{\text{total}} = \frac{1}{2} \times 18060 = 9030 \text{ kg}$$



Gambar 5.11 Tampang melintang sampel 5

1. Menghitung luas profil

$$\begin{aligned}
 A_p &= 2 \times A_f + A_w \\
 &= 2 \times b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_b \\
 &= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 22,14 \\
 &= 16,3632 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$h_b = 2 \times h_{br} = 2 \times 11,07 = 22,14 \text{ cm}$$

2. Menghitung tegangan ijin yang terjadi akibat pembebanan

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_y = 5620,8482 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \times \left(\frac{8,6}{0,38} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 5620,8482 = 926,1111 \text{ kg / cm}^2$$

3. Menghitung inersia dengan anggapan tidak ada lubang pada balok:

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12.bf.dg^3 - 2.(1/12.3,56.22,14^3) - 1/12.tw.17,2^3 \\ &= 1/12 \times 7,5 \times 23,2^3 - 2 \times (1/12 \times 3,56 \times 22,14^3) - 1/12 \times 0,38 \times 17,2^3 \\ &= 1364,7400 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a = h_t - \Delta = 11,6 - 0,648 = 10,952 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = I_g / y_a = 1364,74 / 10,952 = 124,6112 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h \cdot A_p} + \frac{V_T \cdot e}{4 \cdot S_b}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_T \cdot e}{4 \cdot S_b} \right) \cdot h_p \cdot xA$$

$$M = \left(926,1111 - \frac{9030 \cdot 10}{4 \cdot 124,6112} \right) \cdot 17,2 \cdot 16,3632$$

$$M = 209663,2995 \text{ kg.cm}$$

5. Balok Sampel 6

Kapasitas momen yang mampu didukung oleh balok sampel 5 atau balok *Castella* dengan model lubang empat persegi panjang dan tebal dt sebesar 6 cm adalah sebagai berikut ini.

$$P_1 = P_2 = 13000 \text{ kg}$$

$$P_{\text{total}} = 2 \times 13000 + 60 = 26060 \text{ kg}$$

$$b_f = 7,5 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,53 \text{ cm}$$

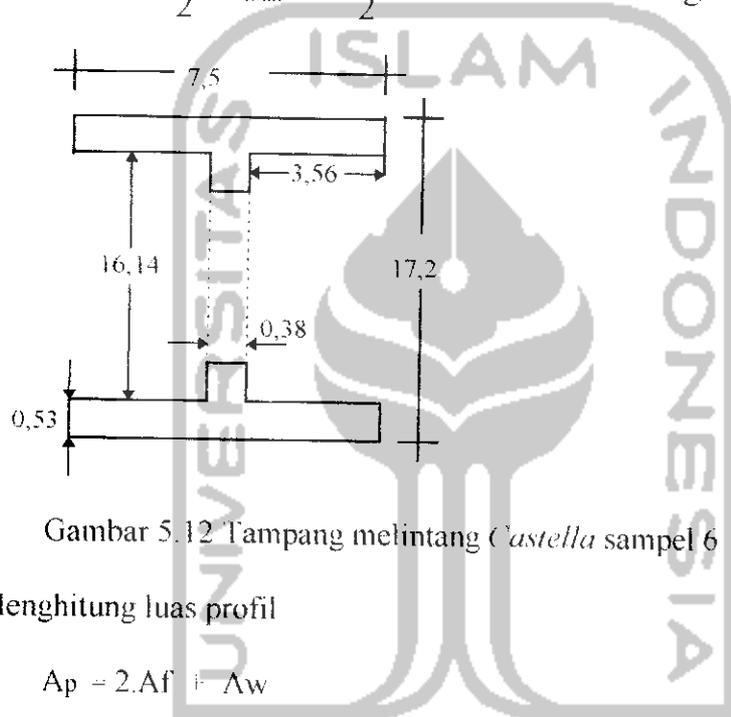
$$t_w = 0,38 \text{ cm}$$

$$d_h = 17,2 \text{ cm}$$

$$h_w = 16,14 \text{ cm}$$

$$h_p = 5,2 \text{ cm}$$

$$V_i = \frac{1}{2} \times P_{\text{total}} = \frac{1}{2} \times 26060 = 13030 \text{ kg}$$



Gambar 5.12 Tampang melintang *Castella* sampel 6

1. Menghitung luas profil

$$A_p = 2 \cdot A_f + A_w$$

$$= 2 \times b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_b$$

$$= 2 \times (7,5 \times 0,53) + 0,38 \times 16,14$$

$$= 14,0832 \text{ cm}^2$$

$$h_b = 2 \times h_{bt} = 2 \times 8,07 = 16,14 \text{ cm}$$

2. Menghitung tegangan ijin yang terjadi akibat pembebanan

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} = 2,1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_c = 5620,8482 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot x \pi^2 \cdot x \cdot 2100000}{5620,8482}} = 85,8328$$

$$\sigma_{kip} = \left(1 - \frac{10,434}{85,8328^2} \cdot x \left(\frac{2,6}{0,38} \right)^2 \right) \cdot 0,6 \cdot 5620,8482 = 3148,9063 \text{ kg / cm}^2$$

3. Menghitung inersia dengan anggapan tidak ada lubang pada balok:

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12 \cdot b \cdot f \cdot d^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 16,14^3) - 1/12 \cdot t \cdot w \cdot 16,14^3 \\ &= 1/12 \cdot 7,5 \cdot 17,2^3 - 2 \cdot (1/12 \cdot 3,56 \cdot 16,14^3) - 1/12 \cdot 0,38 \cdot 16,14^3 \\ &= 552,4902 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4. Menghitung lendutan yang terjadi

$$y_a - h_t - \Delta = 8,6 - 0,658 = 7,942 \text{ cm}$$

5. Menghitung luas modulus profil

$$S_b = I_g / y_a = 552,4902 / 7,942 = 69,5656 \text{ cm}^3$$

6. Menghitung besarnya momen yang terjadi

$$\sigma = \frac{M}{h \cdot A_T} + \frac{V_T \cdot e}{4 \cdot S_b}$$

$$M = \left(\sigma - \frac{V_T \cdot e}{4 \cdot S_b} \right) \cdot h \cdot A_T$$

$$M = \left(3148,9063 - \frac{13030 \cdot 10}{4 \cdot 69,5656} \right) \cdot 5,2 \cdot 14,0832$$

$$M = 196310,5821 \text{ kg.cm}$$



BAB VI

PEMBAHASAN

6.1 Umum

Dalam bab ini yang akan dibahas adalah kapasitas lentur untuk setiap balok sampel, apakah dengan menaikkan tinggi badan balok profil akan didapat kenaikan kapasitas lentur pada balok *Castella*, karena secara teoritis dengan menaikkan tinggi badan profil suatu balok, maka akan terjadi kenaikan kapasitas lentur dari balok tersebut, yaitu $\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$ dan $M = \frac{\sigma \cdot I}{y}$, jika inersia balok dinaikkan, maka diharapkan nilai momen juga ikut naik. Naiknya nilai momen pada balok *Castella*, berarti balok tersebut juga mampu menaikkan kemampuan menahan beban yang lebih besar, $M = P \cdot a$, sehingga tujuan memodifikasi balok kecil menjadi balok *Castella* terpenuhi, yaitu menaikkan kemampuan balok kecil untuk dapat menahan beban yang lebih besar.

6.2 Beban Balok Sampel

6.2.1 Beban Balok Sampel Teoritis

Beban hasil perhitungan dari balok sampel secara teoritis merupakan beban minimum yang harus dicapai oleh hasil eksperimen, jika beban hasil pengujian lebih

kecil dari beban hasil teoritis, maka pengujian tersebut dapat dikategorikan gagal.

Adapun hasil perhitungan beban secara teoritis dapat dilihat pada tabel 6.1.

Tabel 6.1 Beban teoritis balok sampel

Jenis Sampel	P _{teoritis} (kg)	Momen (kg.cm)
1	5462,3117	218172,5902
2	2386,3829	95138,4453
3	6014,5990	240267,0851
4	5610,8692	224117,8927
5	5578,8358	222836,6978
6	5457,6131	217987,6473

Dari hasil hitungan secara teoritis terlihat bahwa untuk balok sampel 3 atau balok *Castella* dengan model lubang segi enam dan tebal dT sebesar 3 cm yang menghasilkan momen terbesar, yaitu sebesar 240267,0851 kg.cm. Jika dibandingkan dengan momen yang dihasilkan oleh balok utuh, maka akan terjadi kenaikan sebesar 22094,4949 kg.cm.

6.2.2 Beban Balok Sampel Eksperimen

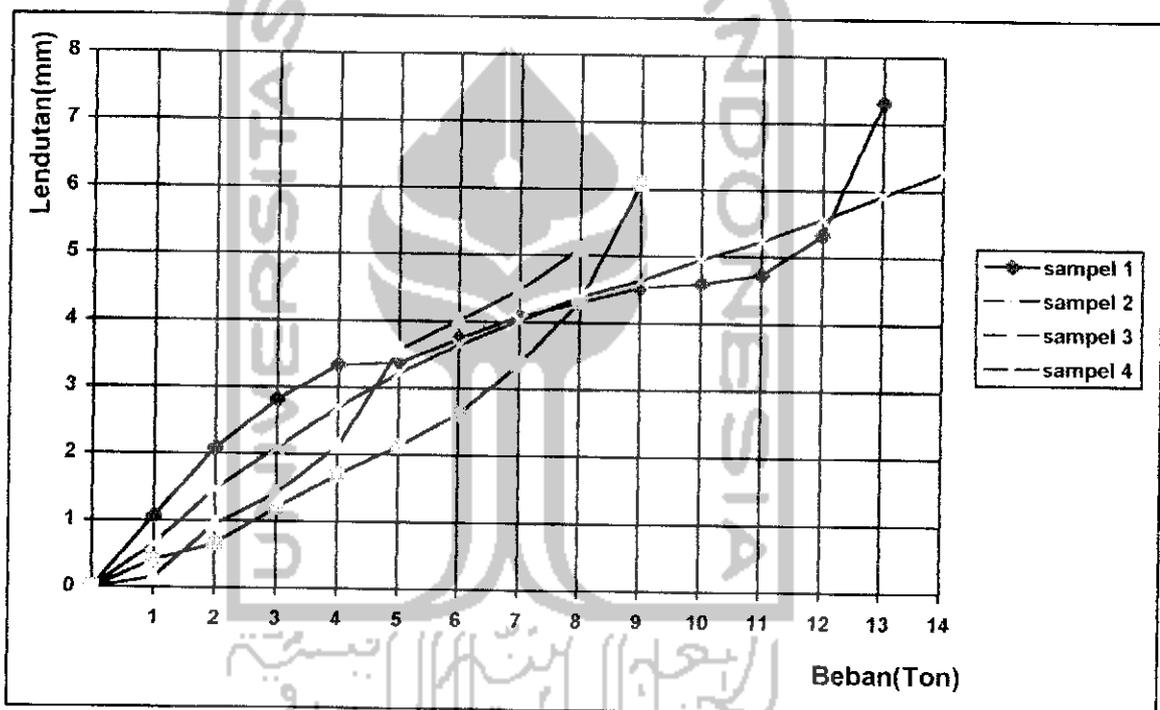
Beban yang didapat dari hasil pengujian atau eksperimen, merupakan beban yang sebenarnya, atau total beban yang masih mampu didukung oleh balok sampel. Adapun besarnya beban yang dihasilkan oleh balok sampel tersebut dapat dilihat pada tabel 6.2.

Tabel 6.2 Beban hasil pengujian balok sampel

Jenis Sampel	Peksperimen (kg)	Momen (kg.cm)
1	13000	276730,1154
2	9500	71710,1935
3	8250	237105,3074
4	14800	211088,0466
5	9000	209663,2995
6	13000	196310,5821

Dari hasil eksperimen terlihat bahwa beban terbesar yang mampu didukung oleh balok sampel adalah pada balok *Castella* dengan model lubang segi enam dengan tebal dT sebesar 6 cm, tetapi momen terbesar dihasilkan oleh balok sampel dengan model lubang segi enam dan tebal dT sebesar 3 cm.

Grafik kenaikan beban untuk balok sampel dengan lubang segi enam dapat dilihat pada grafik 6.1 seperti dibawah ini.



Grafik 6.1 Kurva beban terhadap lendutan balok *Castella* dan balok utuh

Keterangan :

Sampel 1 adalah Balok Baja Utuh

Sampel 2 adalah *Castella* dengan model lubang segi enam dan dT = 2,5 cm

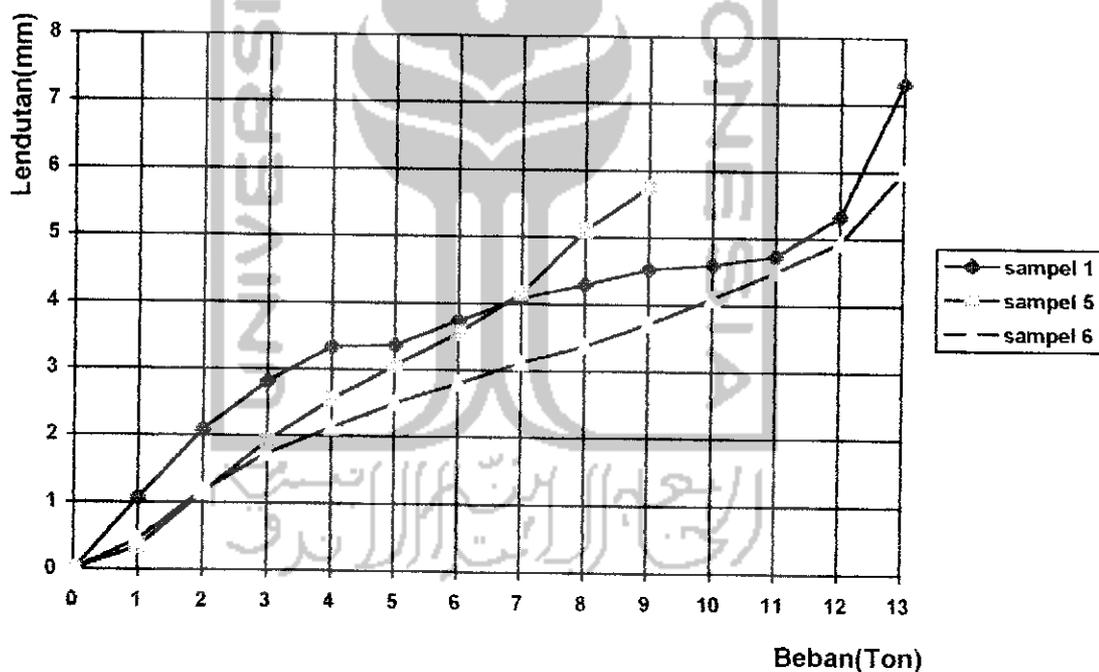
Sampel 3 adalah *Castella* dengan model lubang segi enam dan dT = 3 cm

Sampel 4 adalah *Castella* dengan model lubang segi enam dan dT = 6 cm

Dari grafik di atas terlihat bahwa beban terbesar dihasilkan balok sampel 4, sedangkan lendutan terbesar terjadi pada balok sampel 1. Jadi kalau dilihat dari grafik

maka modifikasi yang paling baik untuk balok profil I adalah dengan tebal dT sebesar 6 cm, dan kenaikan lendutannya merupakan garis lurus, berarti masih ada kemungkinan untuk terjadinya penambahan lendutan dan juga penambahan beban. Kondisi beban maksimum tersebut tidak tercapai, dikarenakan profil sudah rusak terlebih dahulu, sebelum mencapai beban maksimum (keruntuhan prematur).

Grafik kenaikan beban dan lendutan untuk balok sampel dengan model lubang empat persegi panjang dengan pembanding adalah balok sampel utuh dapat dilihat pada grafik 6.2



Grafik 6.2 Kurva beban terhadap lendutan balok *Castella* dan balok utuh

Keterangan .

Sampel 1 adalah balok baja utuh

Sampel 5 adalah *Castella* model lubang empat persegi panjang dan dT = 3 cm

Sampel 6 adalah *Castella* model lubang empat persegi panjang dan dT = 6 cm

Dari grafik di atas terlihat bahwa beban terbesar dihasilkan oleh balok sampel utuh dan balok sampel dengan model lubang empat persegi panjang dan tebal d_T sebesar 6 cm. Sedangkan lendutan terbesar dihasilkan oleh balok sampel utuh.

6.3 Kapasitas Lentur Balok *Castella*

Dari hasil eksperimen didapat beban terbesar terjai pada balok sampel 4 yaitu balok sampel dengan model lubang segi enam dan tebal d_T sebesar 6 cm sebesar 14800 kg, tetapi momen terbesar dihasilkan oleh balok utuh, yaitu sebesar 276730,1154 kg.cm.

Kondisi ini disebabkan karena pada balok *Castella* terjadi dua momen lentur, satu disebut dengan momen primer, dan yang lainnya disebut dengan momen sekunder. Momen primer adalah momen yang terjadi pada bagian solid atau padat, sedangkan momen sekunder adalah momen yang terjadi pada bagian berlubang, dan ini sifatnya mengurangi kekuatan dari momen primer.

Besarnya momen yang terjadi pada balok *Castella* adalah :

$$M = (\sigma_{kip} \times A \times hp) - (V \times e \times A \times hp) / 4 \times Sb$$

$$M_{total} = M_{primer} - M_{sekunder}$$

Jadi momen primer akan menjadi kecil apabila momen sekunder menjadi besar. Adapun unsur yang mempengaruhi besarnya momen sekunder adalah :

1. Momen inersia (I)

Nilai I dipengaruhi oleh tingginya badan profil, jika nilai I membesar maka nilai S_b akan ikut membesar pula, dan jika nilai S_b membesar maka nilai momen sekunder akan mengecil, karena S_b dengan momen sekunder berbanding terbalik.

2. Tinggi lubang (h_p)

Semakin tinggi lubang pada balok *Castella*, maka akan memperbesar momen primer pada balok *Castella*.

3. Reaksi pada dukungan (V)

Adalah besarnya gaya keatas atau gaya lintang yang dihasilkan oleh dukungan pada balok, dan merupakan penjumlahan momen yang diakibatkan oleh berat sendiri dan gaya luar. Besarnya nilai V , dipengaruhi oleh besarnya beban yang terjadi pada balok.

Jadi secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa untuk memodifikasi balok *Castella*, tidaklah hanya dengan menaikkan tinggi badan setinggi mungkin, tetapi harus membuat tinggi yang proporsional, lebih kurangnya 1,5 kali dari tinggi badan mula-mula.

Pada waktu eksperimen berlangsung, beban yang terjadi pada balok *Castela*, belum mencapai kondisi maksimum, tetapi balok sudah rusak terlebih dahulu yang disebut dengan kerusakan prematur. Penyebab kerusakan prematur ini antara lain disebabkan karena panjang bentangan pada waktu pengujian berlangsung, terlalu pendek, sehingga mengakibatkan *shear dominated* pada balok uji, selain itu pada waktu pengujian berlangsung, juga tidak ada penguat samping pada badan balok, sehingga pada waktu pembebanan berlangsung, badan balok mengalami *buckling*.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian di Laboratorium dan pembahasan 'Uji Kapasitas Lentur' dengan menggunakan baja profil I WF 150, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pemotongan dan penyambungan baja profil I WF 150, dihasilkan baja modifikasi yang disebut dengan *Castella*,
2. Dari pola pemotongan secara zig-zag dengan dua sudut yang berbeda didapati hasil balok *Castella* dengan lubang segi enam dan lubang empat persegi panjang,
3. Akibat pemotongan dan penyambungan tersebut, terjadi kenaikan tinggi badan profil dari d_b menjadi d_g ,
4. Karena ada kenaikan tinggi badan, maka terjadi pula kenaikan momen inersia pada balok baja modifikasi,
5. Beban paling besar yang mampu didukung oleh balok *Castella* adalah dengan model lubang segi enam dan tebal d_T sebesar 6 cm,

6. Hasil pembahasan kapasitas lentur, didapat momen terbesar dihasilkan oleh balok *Castella* dengan model lubang segi enam dan tebal di sebesar 3 cm, walaupun beban yang mampu didukung oleh balok *Castella* tersebut kecil,
7. Kondisi tersebut disebabkan karena adanya momen sekunder pada balok *Castella* yang sifatnya mengurangi dari momen primer,
8. Momen primer yaitu yang terjadi pada bagian yang solid atau padat,
9. Momen sekunder adalah momen yang terjadi pada bagian yang berlubang,
10. Yang menentukan besar tidaknya momen sekunder adalah tinggi profil, karena semakin tinggi profil tersebut, maka semakin besar nilai S_b atau *modulus of section* profil,
11. Semakin besar nilai S_b , maka semakin kecil nilai momen sekunder dari balok *Castella* tersebut,
12. Besarnya sudut pemotongan tidak mempengaruhi kapasitas lentur dari balok *Castella*,
13. Panjang pemotongan arah mendatar atau e memperbesar momen sekunder yang terjadi,
14. Berat profil relatif tetap, yaitu berat profil dalam keadaan utuh dengan berat profil setelah menjadi *Castella*, tidak ada penambahan yang berarti,
15. Karena badan profil menjadi lebih langsing, maka terjadi bahaya lipat (*local buckling*) pada profil *Castella* yang menyebabkan keruntuhan prematur pada balok,

16. Gaya geser vertikal (gaya lintang) yang bekerja pada penampang T yang melalui lubang menimbulkan tegangan lentur sekunder,
17. Pengurangan luas badan pada profil *Castella* kecil pengaruhnya pada tegangan lentur yang terjadi,

7.2 Saran - saran

Dari kesimpulan diatas, maka balok profil kecil apabila dimodifikasi dengan benar, maka akan mampu menahan beban lebih besar. Namun demikian perlu diperhatikan saran - saran sebagai berikut:

1. Untuk menaikkan beban yang mampu didukung oleh balok *Castella*, maka tinggi badan balok tidak boleh terlalu tinggi lebih kuang 1,5 kali tinggi mula - mula.
2. Untuk mendapatkan beban yang dikarenakan rusak akibat lentur, maka panjang sampel untuk pengujian haruslah lebih panjang.
3. Selain itu pada bagian badan profil diberi penguat samping untuk menghindari terjadinya tekuk dan puntir pada waktu pengujian berlangsung.
4. Variasi sampel untuk satu model lubang harus lebih banyak untuk ketelitian perbandingan kenaikan kapasitas lentur persampel,
5. Sebaiknya sudut potongan pola zig-zag berkisar antara 45° sampai dengan 60°

DAFTAR PUSTAKA

1. American Institute of Steel Construction, AISC, *Manual of Steel Construction*, Eighth Edition, American Institute of Steel Construction, Inc, 400 North Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611, 1980.
2. Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure, Open-Web Expanded Beams and Girder*, Section 4.7 - (1 - 24).
3. Padosbajayo, *Struktur Baja I*, Paguyuban Dosen Baja Yogyakarta, 1991
4. Salmon, C. G, Johnson, J. E, *Struktur Baja I, Disain dan Perilaku*, Jilid 1, Edisi ke-3, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1992.

