TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS LENTUR DAN GESER PROFIL CASTELLA DENGAN MENGGUNAKAN PROFIL - I SAYAP LEBAR (WIDE FLANGE)

Oleh:

PURNOMO ARIF MULYAWAN
No. Mhs. : 92310207
Nirm. : 920051013114120207

BAYU LAKSONO
No. Mhs. : 91310078
Nirm. : 910051013114120074

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

1999

TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS LENTUR DAN GESER PROFIL CASTELLA DENGAN MENGGUNAKAN PROFIL - I SAYAP LEBAR (WIDE FLANGE)

Disusun oleh :

PURNOMO ARIF MULYAWAN
No. Mhs. : 92310207
Nirm. : 920051013114120207

BAYU LAKSONO
No. Mhs. : 91310078
Nirm. : 910051013114120074

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir.Moch. Teguh, MSCE
Dosen Pembimbing I

Tanggal : 3-5-1999

Ir. Suharyatmo, MT
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 3-5-99

MOTTO

Ilmu tanpa pengamalan bagai pohon yang tak berbuah.

Carilah ilmu dari ayunan sampai ke liang kubur.

Persembahan

dengan terwujudnya dan tercapainya Laporan Tugas Akhir ini,
pertama-tama dengan penuh rasa syukur kami panjatkan kepada Allah SWT,
dan kupersembahkan kepada kedua Orang Tua yang telah dengan penuh kasih sayang dan dorongan yang diberikan, serta adik-adikku tersayang, tidak lupa untuk teman-teman yang telah membantu berwujud apapun dan terutama untuk kekasihku tercinta yang selalu memberikan semangat dalam menyelesaikan Tugas Ahir ini.

PRAKATA

Assalamu'alaikum wr. wb.

Puji syukur ke hadiarat Allah swt penulis panjatkan, atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan-Nya sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik. Shalawat dan salam penulis sampaikan kepada Nabi besar junjungan kita, Nabi Muhammad saw.

Alhamdulillah, meskipun banyak kendala, aral dan rintangan, berkat restu dan usaha keras yang dilakukan, akhirnya tugas akhir ini dapat selesai guna memenuhi syarat kesarjanaan Strata-I, pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Hal yang menjadi ide penelitian dalam tugas akhir ini adalah bagaimana meningkatkan kapasitas lentur dan geser suatu profil dari profil I dengan ukuran kecil dimodifikasi menjadi profil *castella*. Pengujian kapasitas lentur dan geser dilaksanakan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, sedangkan pengujian tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama dilakukan penelitian dan dilesaiakannya laporan ini, banyak sekali dukungan dan bantuan yang penulis dapatkan, baik secara langsung maupun tidak

langsung, Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang tersebut berikut ini.

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, PhD selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. H. Tadjudin B.M.A, MT, Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Bapak Ir. H. Moch. Teguh, MSCE selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Ir. Suharyatmo, MT selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak Ir. Helmi Akbar Bale, MT selaku Dosen Tamu.
6. Bapak Ir. Bambang Suhendro, MSCE, PhD selaku Kepala Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
7. Pihak-pihak lain yang ikut memberi dukungan dan bantuan, 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.

Meskipun laporan tugas akhir ini telah terselesaikan, namun masih jauh dari kesempurnaan, karena keterbatasan waktu, dana serta pengetahuan dalam menghadapi berbagai permasalahan mengenai teknologi baja yang sangat kompleks. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun untuk mencapai kesempurnaan penyusunan tugas akhir tersebut.

Mudah-mudahan hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi yang memerlukannya.

Wassalamu'alikum wr. wb.

Yogyakarta, April 1999

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN iii

PRAKATA iv

DAFTAR ISI vii

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GRAFIK x

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR SIMBOL xii

ABSTRAK xv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Permasalahan 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Batasan Masalah 4

1.6 Rumusan Masalah 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Tinjauan Umum 5

2.2 Sifat – sifat Baja 6

2.3 Baja Profil I sebagai Profil Castella 9

2.3.1 Disain Profil Castella 9

2.3.2 Kemampuan Menahan Beban 11

BAB III LANDASAN TEORI 13

3.1 Penjelasan Umum 13

3.2 Balok Baja Profil Castella 13

3.3 Tegangan Lentur Aktual 15

3.4 Tegangan Geser Aktual 16

3.5 Tegangan Lentur Ijin 17
3.6. Tegangan Geser Ijin 18
3.7 Kombinasi Geser dan Lentur 19
BAB IV METODE PENELITIAN 20
4.1 Bahan 20
4.2 Peralatan 20
4.3 Pelaksanaan 21
4.3.1 Persiapan 21
1. Pembuatan Sampel 21
2. Penyusunan Alat 25
4.3.2 Pengujian 27
1. Kuat Tarik Baja 27
2. Kuat Lentur dan Geser 28
4.3.3 Analisis Penelitian 32
1. Analisis Lentur Murni 33
2. Analisis Kombinasi Lentur dan Geser 39
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 47
5.1 Hasil Pengujian 47
5.1.1 Kuat Tarik Baja 47
5.1.2 Kuat Lentur dan Geser 49
5.2 Pembahasan 59
5.2.1 Kuat Tarik Baja 59
5.2.2 Kuat Lentur dan Geser 59
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 63
6.1 Kesimpulan 63
6.2 Saran-saran 65
DAFTAR PUSTAKA 66
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	3.1	Tegangan geser ijin untuk berbagai sudut pemotongan	19
Tabel	4.1	Daftar alat – alat	20
Tabel	4.2	Sampel yang akan diuji di laboratorium	32
Tabel	4.3	Hasil perhitungan analisis lentur murni untuk sampel *castella*.....	39
Tabel	4.4	Hasil perhitungan analisis kombinasi lentur dan geser untuk sampel *castella*	46
Tabel	5.1	Tegangan dan regangan plat badan	47
Tabel	5.2	Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel utuh	50
Tabel	5.3	Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel *castella* 1..	51
Tabel	5.4	Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel *castella* 2..	53
Tabel	5.5	Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel *castella* 3..	54
Tabel	5.6	Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel *castella* 4..	56
Tabel	5.7	Beban hasil eksperimen	57
Tabel	5.8	Beban hasil eksperimen dan hasil teoritis	59

DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1 Kurva tegangan dan regangan 48

Grafik 5.2 Kurva regresi balok sampel utuh 50

Grafik 5.3 Kurva regresi balok sampel *castella* 1..... 52

Grafik 5.4 Kurva regresi balok sampel *castella* 2 53

Grafik 5.5 Kurva regresi balok sampel *castella* 3 55

Grafik 5.6 Kurva regresi balok sampel *castella* 4 56

Grafik 5.7 Kurva regresi perbandingan tiap sampel 58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	2.1	Diagram tegangan dan regangan	7
Gambar	2.2	Sebagian diagram tegangan-regangan baja struktural	8
Gambar	2.3	Pemotongan zig–zag dengan sudut 60°	10
Gambar	2.4	Profil I yang telah mengalami pertambahan tinggi	10
Gambar	2.5	Balok *castella* dengan muatan terbagi merata	12
Gambar	3.1	Tegangan lentur yang terjadi pada balok *castella*	14
Gambar	3.2	(a) Potongan profil *castella*, (b) potongan badan, (c) diagram lentur	17
Gambar	4.1	Sampel uji tarik	21
Gambar	4.2	Pemotongan pola zig–zag dengan sudut 60°	22
Gambar	4.3	Penyambungan model lubang segi enam	23
Gambar	4.4	Tampang melintang dan emanjang sampel I	23
Gambar	4.5	Tampang melintang dan memanjang sampel II	24
Gambar	4.6	Tampang melintang dan memanjang sampel III	24
Gambar	4.7	Tampang melintang dan memanjang sampel IV	24
Gambar	4.8	Tampang melintang dan memanjang sampel V	25
Gambar	4.9	Besi pelat dengan 4 buah lubang	26
Gambar	4.10	Besi pelat dengan lubang pada pusatnya	26
Gambar	4.11	Balok baja utuh	29
Gambar	4.12	Balok baja *castella* model lubang segi enam	29
Gambar	4.13	Pipa besi yang dilaskan pada sampel	30
Gambar	4.14	Posisi baja sampel di atas dua dukungan	30
Gambar	4.15	Baja sampel siap uji	31
Gambar	4.16	Tampang melintang balok sampel utuh	33
Gambar	4.17	Tampang melintang balok sampel *castella* 1	36
Gambar	4.18	Tampang melintang balok sampel utuh	40
Gambar	4.19	Tampang melintang balok sampel *castella* 1	42

DAFTAR SIMBOL

A = luas penampang

A_f = luas penampang sayap yang ditinjau

A_w = luas penampang badan yang ditinjau

A_T = luas penampang profil castella

b = lebar penampang yang ditinjau

b_f = lebar sayap profil

C_b = koefisien lentur yang besarnya bergantung pada gradien momen

C_c = perbandingan kelangsingan profil yang menjadi batas antara tekuk elastis dan tekuk inelastis

d = tinggi profil

d_b = tinggi profil asli

d_g = tinggi profil castella

d_T = jarak dari tepi lubang badan dengan tepi terluar profil

e = panjang sisi mendatar lubang segi enam pada castella, jarak horisontal antar lubang

E = modulus elastis baja

h = tinggi pemotongan profil castella

h_p = tinggi lubang pada profil castella

h_w = jarak bersih sayap profil

I = I_g = momen inersia profil

L = panjang batang

L_b = panjang tanpa dukungan lateral

L_c = panjang tanpa dukungan lateral maksimum untuk penggunaan σ

L_o = panjang batang mula-mula (sebelum diuji tarik)

L_u = panjang tanpa dukungan lateral untuk digunakan pada tegangan ijin $\sigma = 0{,}6\sigma_y$ bila $C_b = 1$

M = momen pada balok

P = beban luar pada balok

$P_{eksperimen}$ = beban yang terbaca pada alat pada waktu pengujian

$P_{kombinasi}$ = beban hasil analisis lentur dan geser

P_{lentur} = beban hasil analisis lentur murni

P_{tot} = $P_{total\ eksperimen}$ = beban yang terbaca ditambah berat alat

q = berat sendiri balok

Q = statis momen luasan

r = jari-jari inersia terkecil

S_b = modulus penampang profil

t = tebal penampang yang ditinjau

t_f = tebal sayap (*flange*) profil

t_w = tebal badan (*web*) profil

V = gaya geser vertikal

y_a = jarak serat tepi terluar ke garis netral profil

ε	=	regangan baja
σ	=	tegangan lentur aktual
σ_y	=	tegangan leleh baja
$\bar{\sigma}$	=	tegangan lentur ijin
τ	=	tegangan geser aktual
$\bar{\tau}$	=	tegangan geser ijin
ϕ	=	sudut pemotongan untuk disain profil *castella*
θ	=	sudut pembentuk sudut 90° terhadap sudut pemotongan

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

ABSTRAK

Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dalam pemakaian baja, diperlukan suatu metode yang dapat meningkatkan kemampuan profil baja tanpa mengesampingkan efisiensi dan penghematan dalam pembuatannya. Metode yang dimaksud adalah metode *castella*, yaitu suatu metode untuk memodifikasi profil baja konvensional menjadi baja pengembangan, sehingga diharapkan dapat menaikkan daya dukung profil. Profil hasil modifikasi yang menjadi lebih tinggi dari profil asli ini dinamakan *profil castella*. Perubahan tinggi profil akan memperbesar momen inersia dan modulus penampangnya. Dari pengujian di laboratorium yang menggunakan 5 buah sampel terdiri dari 4 buah sampel *castella* dengan tinggi profil masing-masing 222 mm (*castella* 1), 212 mm (*castella* 2), 192 mm (*castella* 3), 172 mm (*castella* 4), dan 1 buah sampel profil asli (utuh) dengan tinggi 146 mm, ternyata menghasilkan satu buah sampel *castella* yang memiliki kapasitas lentur dan geser lebih besar dibandingkan dengan sampel utuh. Sampel *castella* tersebut adalah sampel *castella* 3 yang menghasilkan beban maksimum sebesar 16060 kg, sedangkan sampel utuh menghasilkan beban maksimum sebesar 15560 kg. Dari perhitungan secara analitis sampel *castella* 3 juga menghasilkan beban maksimum lebih besar daripada sampel utuh, yaitu sebesar 17731,6132 kg, sedangkan sampel utuh sebesar 17430,4949 kg. Untuk sampel *castella* yang lebih tinggi daripada *castella* 3 justru mengalami tekuk yang besar, sehingga tidak kuat menahan beban. Pada sampel *castella* 4, beban terhenti pada lendutan yang cukup besar sebelum mencapai beban di atas sampel utuh. Dari hasil pengamatan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa proporsionalitas sampel *castella* 3 sesuai dengan kriteria sebagai profil *castella*, yaitu memiliki tinggi badan tidak lebih dari 1,5 kali profil asli sehingga kapasitas lentur dan geser semakin meningkat.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan di bidang struktur dewasa ini berkembang semakin pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat yang semakin komplek. Hal ini berarti juga terjadi kenaikan volume bangunan yang harus diikuti dengan peningkatan kualitas untuk memenuhi tuntutan masyarakat yang semakin kompetitif dan selektif.

Salah satu jenis material bangunan yang sering digunakan untuk struktur dalam bangunan teknik sipil seperti gedung dan jembatan, adalah baja. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju, diupayakan berbagai cara untuk dapat meningkatkan sifat-sifat baja.

Dalam rangka meningkatkan kualitas di bidang struktur perlu ditinjau beberapa aspek, antara lain aspek optimalisasi, baik mengenai penggunaan dana untuk pembelian bahan bangunan maupun penggunaan bahan sebagai unsur dari bangunan struktur itu sendiri. Baja mempunyai peranan selain sebagai penguat pada beton bertulang, juga sebagai struktur utama bangunan, misalnya sebagai balok atau kolom bangunan. Dari segi pemasangan juga relatif lebih praktis, karena baja dapat dipasang secara langsung, artinya tidak harus membuat acuan dan campuran yang tepat sebagaimana layaknya pada beton, tetapi

permasalahaannya harga satuan baja relatif lebih mahal dibandingkan dengan harga satuan beton, sehingga penggunaan baja harus seefisien mungkin.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dalam pemakaian baja, diperlukan suatu metode yang dapat meningkatkan kemampuan profil baja tanpa mengesampingkan efisiensi dan penghematan dalam pembuatannya. Metode tersebut adalah metode untuk memodifikasi profil baja konvensional menjadi baja pengembangan, sehingga diharapkan dapat menaikkan daya dukung profil. Profil hasil modifikasi itu dinamakan *profil castella.*

Profil *castella* ini dibuat secara ekonomis dengan menggunakan suatu profil baja yang dipotong secara simetris arah zig-zag sepanjang garis tengah profil. Dimulai pemotongan secara mendatar, pada bagian bawah dengan panjang tertentu kemudian naik dengan sudut dan ketinggian tertentu, kembali pemotongan secara mendatar, turun lagi dengan sudut dan ketinggian tertentu, kembali pemotongan secara mendatar dengan panjang yang sama. Pemotongan dilakukan secara terus menerus dengan cara yang sama sehingga mencapai panjang batang (L) yang diinginkan. Selanjutnya sisi potongan terluar ditemukan dan disatukan dengan teknik pengelasan, sehingga akan didapatkan profil yang lebih tinggi dari sebelumnya, dan berlubang pada bagian badan (*open-web expanded beam*).

Analisis balok profil *castella* ini menggunakan statis tertentu dengan profil-I sayap lebar (*wide flange).* Diharapkan setelah penelitian ini dapat diketahui sampai seberapa besar kenaikan kapasitas lentur dan geser dari balok tersebut.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang menjadi latar belakang dalam penelitian ini adalah :

1. tuntutan masyarakat 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, sehingga penggunaan baja harus seefisien dan seoptimal mungkin,
4. diperlukan suatu metode yang dapat memodifikasi profil baja untuk mendapatkan daya dukung profil yang lebih besar.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kemampuan baja profil *castella* yang merupakan modifikasi profil-I sayap lebar dalam menerima lentur dan geser.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan mengetahui perubahan kapasitas lentur dan geser dari profil asli menjadi profil *castella*, diharapkan dapat diperoleh profil *castella* yang mempunyai kapasitas lentur dan geser lebih besar daripada profil asli.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Digunakan profil-I 150x75 sebagai bahan sampel uji.
2. Jumlah sampel sebanyak 5 buah yang terdiri dari 4 buah sampel *castella* dengan sudut pemotongan sebesar 60° dan 1 buah sampel utuh dengan panjang tiap sampel 100 cm. Variasi sampel *castella* dibedakan pada ketebalan atau jarak dari sisi terluar lubang pada profil dengan sisi terluar profil.
3. Penelitian menggunakan metode balok sederhana (*simple beam*) dengan tumpuan sendi-rol.

1.6 Rumusan Masalah

Untuk mengetahui sampai seberapa besar kapasitas lentur dan geser profil *castella* ini maka penelitian dirumuskan seperti berikut ini.

1. Agar mendapatkan geser yang besar maka dipakai dua beban titik yang sama besar, masing-masing diletakkan pada daerah dekat tumpuan.
2. Sebagai pembanding terhadap hasil pengujian, dilakukan perhitungan secara analitis yang menghasilkan beban teoritis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

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

Penggunaan baja sebagai bahan struktur memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut :

1. proses pemasangan di lapangan berlangsung dengan cepat,
2. dapat dirangkai dengan las,
3. komponen-komponen struktur bisa digunakan lagi untuk keperluan lainnya,
4. komponen-komponen yang sudah terpakai masih mempunyai nilai sebagai besi tua, sehingga dapat dijual kembali meskipun dengan harga lebih murah,
5. struktur yang dihasilkan bersifat permanen dengan cara pemeliharaan yang tidak terlalu sukar.

Baja mempunyai kekuatan cukup tinggi serta merata. Kekuatan baja terhadap tarik ataupun 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 menjadi cukup ringan, walaupun berat jenis baja cukup tinggi (Kozai Club, 1983).

Baja mempunyai sifat dapat leleh yang dapat menaikkan kuat dukung struktur terhadap beban. Juga mempunyai sifat elastis yaitu pembebanan sampai batas tertentu bentuk baja akan kembali ke bentuk asalnya setelah pembebanan dilepas. Di samping keuntungan tersebut bahan baja juga mempunya kelemahan-kelemahan, seperti :

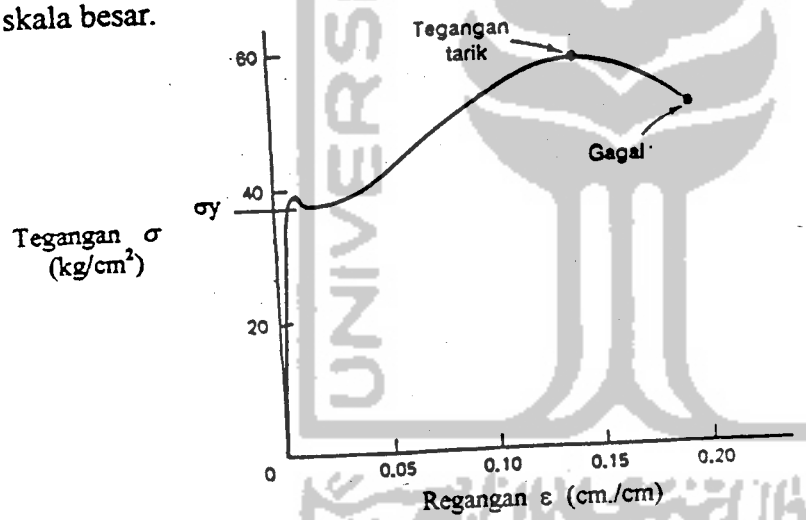
1. komponen-komponen struktur yang dibuat dari bahan baja perlu diusahakan supaya tahan api sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk bahaya kebakaran,
2. diperlukan biaya pemeliharan yang tidak sedikit untuk mencegah baja dari bahaya karat,
3. walaupun dapat menahan tekuk akibat gaya aksial pada batang-batang langsing, tetapi tidak bisa mencegah terjadinya pergeseran horisontal,
4. kekuatan baja dipengaruhi oleh temperatur, yaitu pada temperatur tinggi kekuatan baja akan menurun sehingga pada waktu kebakaran struktur bangunan dapat runtuh walaupun tegangan akibat beban yang terjadi masih rendah.

2.2 Sifat-sifat Baja

Sifat mekanis yang sangat penting pada baja dapat diperoleh dari uji tarik. Uji tarik ini melibatkan pembebanan tarik sampel baja dan bersamaan dengan itu

dilakukan pengukuran beban dan perpanjangan sehingga akan diperoleh tegangan dan regangan. Hasil uji ini ditunjukan dalam diagram tegangan–regangan. Pada gambar 2.1 diperlihatkan diagram tegangan-regangan khas untuk baja struktur yang umum digunakan.

Akibat dibebani, pada awalnya menunjukkan hubungan linier antara tegangan dan regangan. Hubungan tegangan-regangan menjadi tidak linier setelah mencapai titik yang disebut limit proporsional (batas proporsional). Hal ini ditunjukan dalam gambar 2.2 yang merupakan bagian kiri dari gambar 2.1 yang diperlihatkan dengan skala besar.

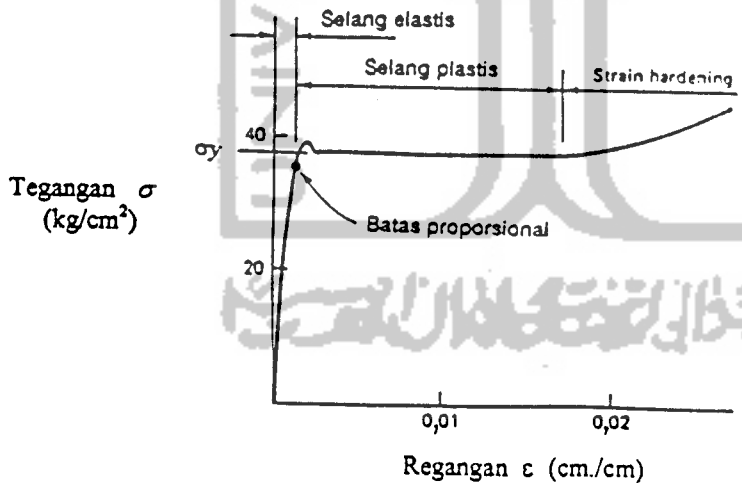


Gambar 2.1. Diagram tegangan-regangan khas dari baja struktural (Leonard Spiegel, George F. Limbrunner, Desain Baja Struktur Terapan).

Baja tersebut tetap elastis (artinya, apabila beban dihilangkan, akan kembali ke panjang semula) asalkan tegangannya tidak melampaui batas di atas limit proporsional yang disebut limit elastis. Limit proporsional dan limit elastis sangat

dekat nilainya sehingga seringkali dianggap pada titik yang sama. Dengan menambah beban akan tercapai suatu titik pada saat regangan terus bertambah pada nilai tegangan yang konstan. Tegangan pada saat itu terjadi disebut tegangan leleh, σ_y, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 dan 2.2 Sedangkan tegangan di bawah titik leleh σ_y disebut tegangan ijin. Bagian kurva mulai dari titik awal sampai limit proporsional disebut selang elastis.

Dalam Gambar 2.2 terlihat bahwa apabila telah mencapai limit proporsionalnya, baja akan masuk ke dalam selang plastis dan regangannya akan konstan pada tegangan sebesar σ_y. Pada saat baja ini terus meregang, lama-kelamaan akan dicapai titik yang mana kapasitas pikul bebannya bertambah. Fenomena pertambahan kekuatan ini disebut *strain hardening*.



Gambar 2.2 Sebagian diagram tegangan-regangan untuk baja struktural (Leonard Spiegel, George F. Limbrunner, Desain Baja Struktur Terapan).

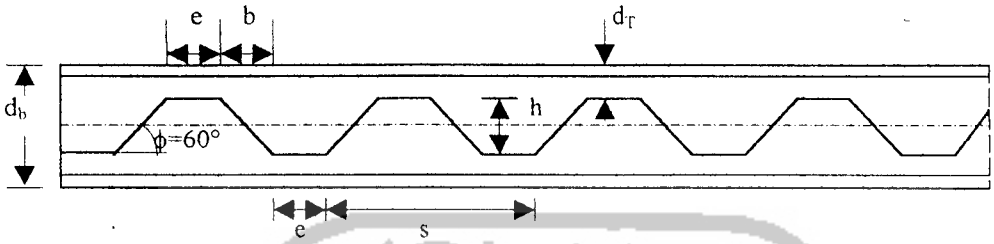
Untuk berbagai tujuan praktis, di dalam disain struktural, hanya batas elastis dan batas plastis yang ditinjau, karena regangan di dalam *strain hardening* sedemikian besar sehingga deformasi yang terjadi terletak dalam batas yang tidak dapat diterima di dalam desain.

2.3 Baja Profil – I sebagai Profil Castella

Salah satu cara meningkatkan kapasitas lentur dan geser profil-I adalah dengan membuat penampang I menjadi *castella*. Setelah menjadi castella, profil menjadi lebih tinggi dari pada profil asli, sehingga inersia dan modulus penampang bertambah serta kapasitas lentur dan geser meningkat.

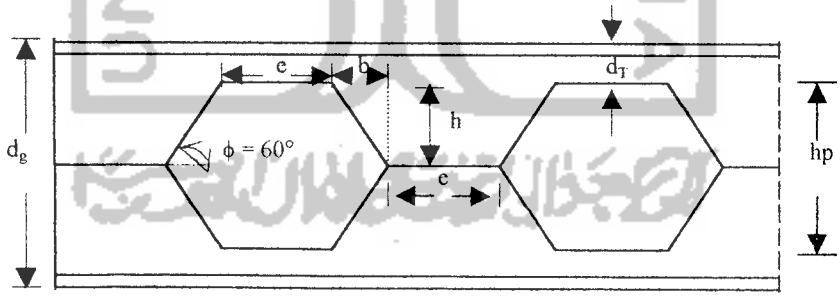
2.3.1 Disain Profil Castella

Dalam Metode Castella tidak diperlukan penambahan elemen pada baja profil. Empat buah sampel dipotong secara zig-zag dengan sudut tertentu., sepanjang garis netral profil, sedangkan satu sampel tetap utuh. Secara umum sudut yang digunakan minimum sebesar 45° dan maksimum sebesar 70°, sedangkan yang paling sering digunakan adalah sudut 45° dan 60°. Pada penelitian ini dipakai jenis profil dengan ukuran yang relatif kecil, sehingga semua sampel *castella* menggunakan sudut 60°, karena dengan anggapan bahwa dengan sudut yang lebih besar akan lebih memperkuat daerah sepanjang (e+2b), seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pemotongan zig-zag dengan sudut 60° (Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure*)

Perbedaan atau variasi sampel adalah pada ketebalan atau jarak dari lubang dengan sisi terluar profil (d_T). Setelah dilakukan pemotongan zig-zag kemudian masing-masing ujung (sisi yang datar bekas pemotongan) disatukan atau dipertemukan sehingga membentuk lubang pada badan balok, maka ketinggiannya menjadi berubah.



Gambar 2.4 Profil–I yang telah mengalami pertambahan tinggi dengan lubang segi enam pada badan (Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure*).

$$\tan \phi = \frac{h}{b} \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

$$d_g = d_b + h \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

$$d_T = \frac{(db-h)}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.3)$$

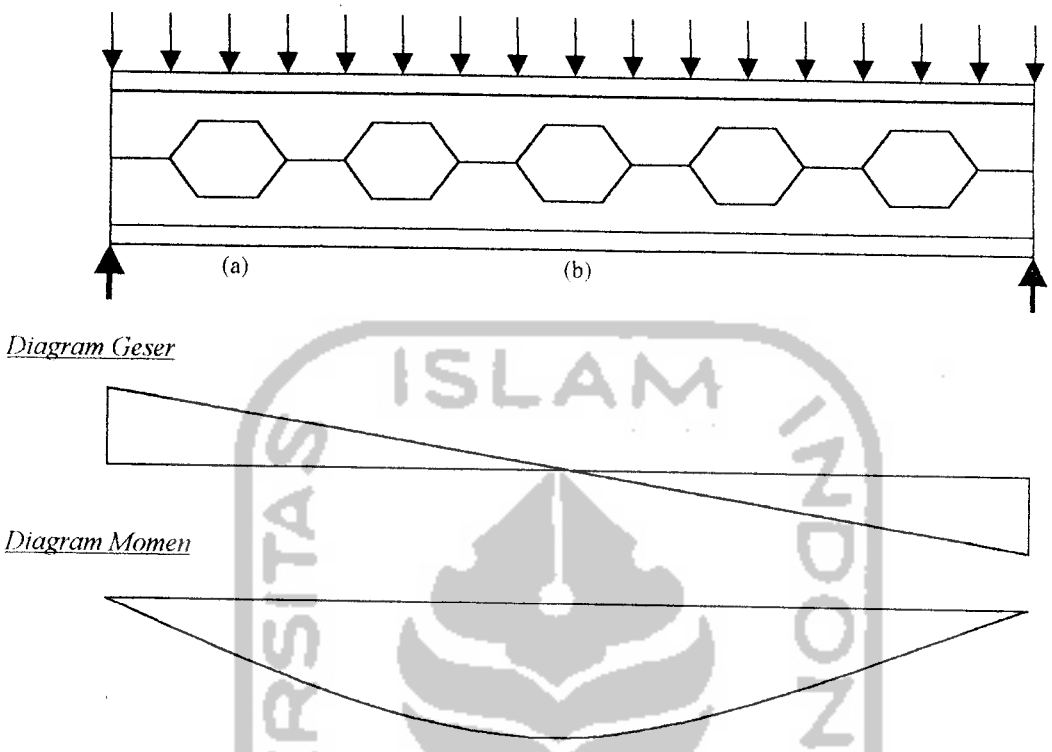
$$s = 2(b + e) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.4)$$

Seperti pada gambar 2.4 terlihat ada penambahan tinggi pada profil dari d_b menjadi dg, sehingga inersia profil juga mengalami kenaikan, yaitu : $I = 1/12\ bh^4$; dan $M = \sigma\ I/y$; jadi kalau nilai h naik maka 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

Daerah sayap pada balok memikul sebagian besar beban lentur yang terjadi, sehingga bagian badan yang menjadi berlubang tidak terlalu dipermasalahkan. Sedangkan untuk geser sebagian besar akan dipikul oleh badan balok, sehingga hal inilah yang perlu dipertimbangkan.

Daerah b pada gambar 2.5, gaya geser (V) yang terjadi adalah minimum, dan berpengaruh kecil pada kekuatan balok. Sebagai pendekatan untuk mengimbangi geser yang tinggi pada daerah a, maka tegangan lentur yang dihasilkan akibat geser ini harus ditambah dengan tegangan lentur akibat beban pada balok.



Gambar 2.5 Balok *castella* dengan muatan terbagi merata (Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure*)

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Penjelasan Umum

Balok adalah elemen struktur yang memikul beban arah tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Hal ini menyebabkan balok itu melentur. Apabila memvisualisasi balok untuk analisis maupun desain, akan lebih mudah dengan memandang elemen struktur tersebut dalam bentuk idealisasi. Bentuk ideal itu harus dapat mempresentasikan sedekat mungkin dengan elemen struktur aktualnya, tetapi bentuk ideal juga harus dapat memberikan keuntungan secara matematis.

Dalam penelitian ini digunakan balok dengan tumpuan sederhana sendi–rol. Tumpuan sendi dapat memberikan reaksi vertikal dan horisontal (tetapi tidak ada kekangan terhadap rotasi) dan rol hanya dapat memberikan reaksi vertikal. Akibat adanya beban akan timbul momen lentur di samping geser.

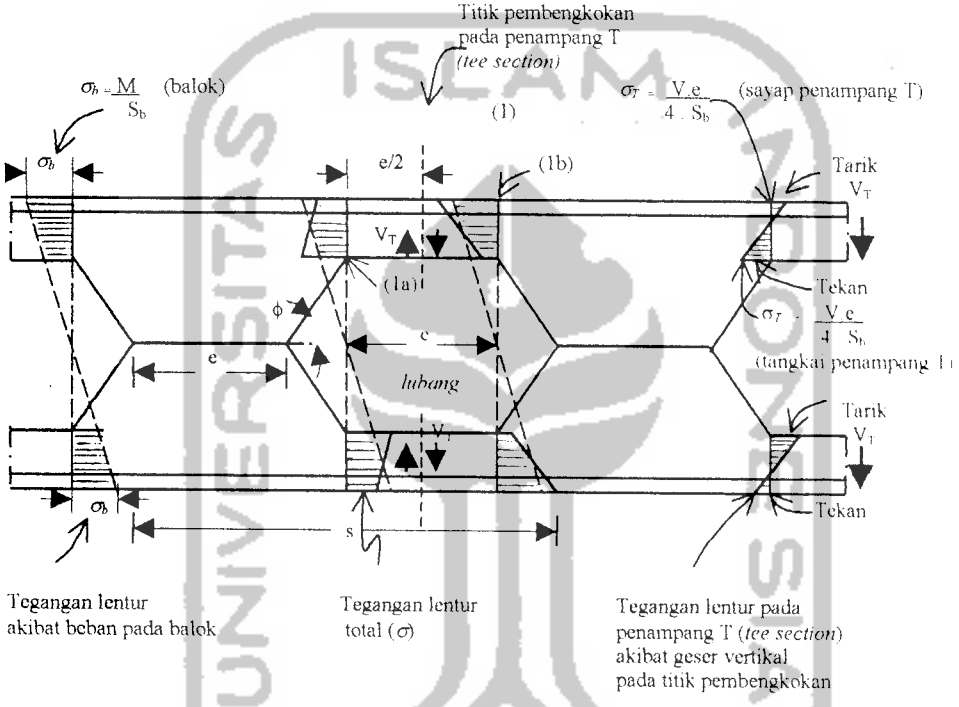
3.2 Balok Baja Profil Castella

Untuk balok *castella* yang perlu diperhatikan adalah seperti berikut ini.

1. Sisi atas dan bawah balok mengalami tegangan tekan dan tegangan tarik akibat

momen lentur utama (lentur akibat muatan pada balok) sebesar $\sigma_b = M/S_b$, dapat dilihat pada Gambar 3.1 (bagian paling kiri).

2. Badan balok memikul gaya geser vertikal (V) akibat beban, dan menghasilkan tegangan geser vertikal pada daerah badan (bagian pejal (*solid*) dan bagian tangkai (*stem*) dari penampang T (*tee section*)).



Gambar 3.1. Tegangan-tegangan lentur yang terjadi pada balok *castella* (Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure*)

3. Pada daerah lubang, gaya geser vertikal (V) dibagi dua antara penampang T bagian atas dan bagian bawah . Dengan menganggap bahwa geser terjadi pada tengah-tengahnya, maka akan menghasilkan momen lentur pada kantilever penampang T, dapat dilihat pada gambar 3.1 (bagian paling kanan). Tegangan lentur sekunder (σ_T) yang terjadi adalah:

$$\sigma_T = \frac{V.e}{4.S} \quad \text{.....(3.1)}$$

yang harus ditambahkan pada tegangan lentur utama.

4. Gaya geser horisontal pada bagian pejal dari badan sepanjang garis netral balok mengakibatkan tekuk (*buckling*).

3.3 Tegangan Lentur Aktual

Tegangan lentur total yang terjadi pada balok merupakan perpaduan antara tegangan lentur akibat geser vertikal (tegangan lentur sekunder σ_T) dengan tegangan lentur akibat beban (tegangan lentur utama σ_b), yaitu:

a) Tegangan lentur sekunder pada tangkai penampang T (*stem of tee*) akibat geser vertikal (V) di titik (1) ditambah dengan tegangan lentur utama pada tangkai T akibat momen utama (M) di titik (1a) :

$$\sigma_{1a} = \frac{M_{1a}.h}{I_g} + \frac{V_1.e}{4.S_b} \quad \text{.....(3.2a)}$$

b) Tegangan lentur sekunder pada sayap penampang T (*flange of tee*) akibat geser vertikal (V) di titik (1) ditambah dengan tegangan lentur utama pada sayap T akibat momen utama (M) di titik (1b) :

$$\sigma_{1b} = \frac{M_{1b}.d_g}{I_g 2} + \frac{V_1 e}{4.S_b} \quad \text{.....(3.2b)}$$

Karena hanya ada satu tegangan lentur total pada titik (1) yang merupakan titik pembengkokan penampang T, maka tidak dikehendaki perhitungan pada dua titik yang berbeda (tangkai pada titik (1a) dan sayap pada titik (1b)), sehingga tegangan lentur total yang terjadi adalah tegangan lentur rata-rata :

$$\sigma = \frac{M_1}{h.A_T} + \frac{V_1 e}{4.S_b} \quad \text{.....(3.3)}$$

3.4 Tegangan Geser Aktual

Untuk memeriksa tegangan geser yang terjadi pada serat penampang yang berjarak y dari garis netral balok digunakan rumus konvensional untuk tegangan geser, yaitu:

$$\tau = \frac{V.Q}{I\,t} = \frac{V(A_f.y_f + A_w.y_w)}{I.t_w} \quad \text{.....(3.4)}$$

dengan :

V = gaya geser vertikal

Q = statis momen luasan

I = inersi momen

t = tebal penampang yang ditinjau

A_f = luas sayap yang ditinjau

y_f = jarak titik berat sayap yang ditinjau ke garis netral profil

A_w = luas badan yang ditinjau

y_w = jarak titik berat badan yang ditinjau ke garis netral profil

3.5 Tegangan Lentur Ijin

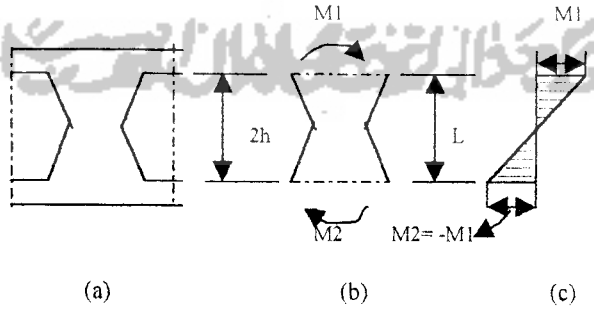
Menurut Omer W. Blodgett dalam bukunya *Design of Welded Struktur*, rumus tegangan lentur ijin profil *castella* didasarkan pada AISC Sec. 1.5.1.4.5. dengan penjabaran sebagai berikut :

$$\bar{\sigma} = \left[1{,}0 - \frac{\left(L/r\right)^2}{2.Cc^2 Cb}\right] 0{,}60\sigma_y \quad \text{.....} (3.5)$$

dengan :

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}} \quad ; E = \text{Elastisitas modulus baja} = 2{,}1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$Cb = 1{,}75 - 1{,}05\left[\frac{M_1}{M_2}\right] + 0{,}3\left[\frac{M_1}{M_2}\right]^2 \leq 2{,}3$$



Gambar 3.2. (a) Potongan profil *castella*, (b) Potongan badan, (c) Diagram lentur .

Dari diagram momen yang terjadi, M_2 = - M_1 maka Cb akan lebih besar dari 2,3, sehingga dipakai Cb=2,3 ; L=2h.

Jari-jari inersia terkecil (r):

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}; I = \frac{bt^3}{12}; A = bt$$

$$r = \sqrt{\left[\frac{\left(bt^3/12\right)}{bt}\right]} = \frac{t}{\sqrt{12}} = 0{,}288.t$$

Rumus (3.5) menjadi :

$$\bar{\sigma} = \left[1{,}0 - \frac{10{,}434}{Cc^2}\left(\frac{h}{t_w}\right)^2\right].0{,}60\sigma_y \quad \text{.....(3.6)}$$

3.6 Tegangan Geser Ijin

Menurut Omer W. Blodgett (*Design of Welded Structure*), rumus tegangan geser untuk profil *castella* adalah :

$$\bar{\tau} = \frac{4\theta^2}{3.\tan\theta}.\bar{\sigma} \leq 0{,}40\sigma_y \quad \text{.....(3.7)}$$

dengan : $\theta = 90° - \phi$; ϕ = sudut pemotongan

Untuk berbagai sudut pemotongan pada profil castella, rumus tegangan geser ijin yang dipakai dapat dipermudah dengan menggunakan tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1. Tegangan Geser Ijin untuk Berbagai Sudut Pemotongan

$\phi = 45°$	$\theta = 45°$	$\tau = 0{,}8225\ \sigma$
$\phi = 50°$	$\theta = 40°$	$\tau = 0{,}7745\ \sigma$
$\phi = 55°$	$\theta = 35°$	$\tau = 0{,}7106\ \sigma$
$\phi = 60°$	$\theta = 30°$	$\tau = 0{,}6332\ \sigma$

3.7 Kombinasi Geser dan Lentur

Kombinasi geser dan lentur yang terjadi pada balok dinyatakan dengan persamaan:

$$\left[\frac{\tau}{\bar{\tau}}\right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\bar{\sigma}}\right]^2 = 1 \qquad \text{.....(3.8)}$$

dengan σ = tegangan lentur aktual

$\bar{\sigma}$ = tegangan lentur ijin

τ = tegangan geser aktual

$\bar{\tau}$ = tegangan geser ijin

(Edwin, Charles, James, *Design of Steel Structures*)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Bahan

Bahan yang dipakai sebagai sampel dalam pengujian adalah baja profil I 150x75. Dalam pengujian tarik untuk menentukan tegangan leleh baja, bahan yang dipakai diambil dari potongan badan dan sayap sepanjang 300 mm dari profil tersebut, sedangkan untuk pengujian lentur dan geser dipakai profil I dengan panjang tiap sampel 1000 mm sebanyak 5 buah.

4.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam pengujian tarik adalah 1(satu) unit alat uji tarik dan 1(satu) buah *dial gauge* untuk pembacaan perubahan panjang sampel yang terjadi. Alat-alat untuk pengujian lentur dan geser dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Alat-alat yang digunakan dalam penelitian 'Uji Lentur dan Geser' balok *castella* dengan menggunakan profil I 150x75

No	Nama Alat	Jml	Kegunaan
1	Portal baja	1 set	Uji lentur dan geser
2	Besi siku	4	Dudukan sendi–rol
3	Besi silinder padat Ø5 cm, panjang 10 cm	4	Dukungan model sendi-rol dan pembeban 2 titik

Lanjutan Tabel 4.1. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian 'Uji Lentur dan Geser' balok *castella* dengan menggunakan profil I 150x75

4	Besi rel kereta api, panjang 100 cm	1	Mendistribusikan beban
5	Pipa Ø55 mm, panjang 50 mm	5	Fungsi sendi–rol
6	*Dial gauge*	2	Pengukuran lentur dan tekuk
7	*Jack load*	1	Pembebanan
8	*Hydrolick pump*	1	Menaikkan beban

4.3 Pelaksanaan

4.3.1 Persiapan

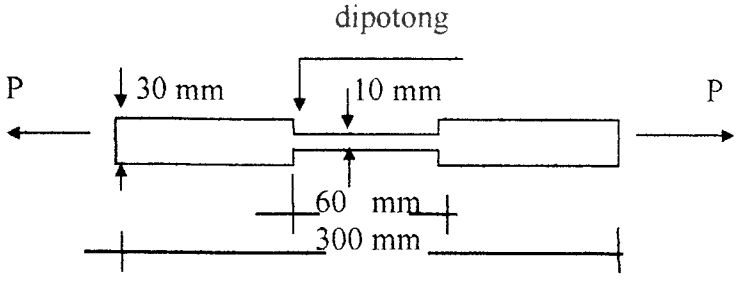
Sebelum pengujian dilaksanakan terlebih dahulu dilakukan persiapan yang meliputi pembuatan sampel dan penyiapan alat uji.

1. Pembuatan Sampel

a. Sampel uji tarik

Pembuatan sampel untuk uji tarik adalah sebagai berikut ini.

1) Diambil bagian badan dan sayap profil uji, masing-masing sepanjang 300 mm dan lebar 30 mm. Jumlah benda uji tarik dibuat satu buah pada badan dan satu pada sayap.
2) Pada daerah sepanjang 60 mm di tengah-tengah benda uji, lebarnya dikurangi menjadi 10 mm dengan cara dipotong seperti pada gambar 4.1.

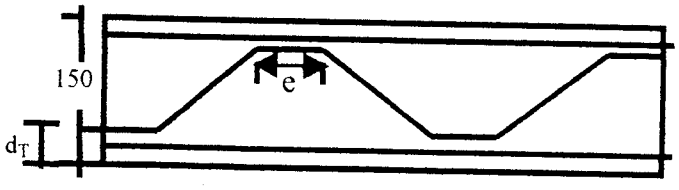


Gambar 4.1 Sampel uji tarik baja

b. Sampel uji lentur dan geser

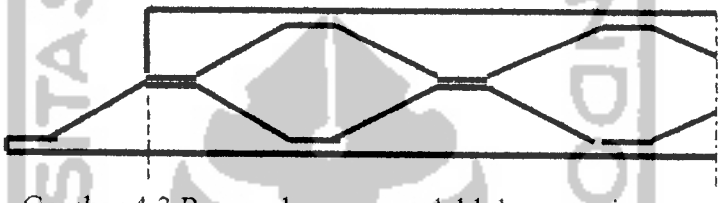
Tahap-tahap pembuatan sampel untuk uji lentur dan geser adalah seperti berikut ini.

1) Mempersiapkan baja yang telah dipotong dengan panjang 1200 mm sebanyak empat buah.
2) Baja direbahkan dengan ditumpu oleh kedua sayap profil, kemudian dilakukan penekanan atau *pressing* pada kedua sisi, agar tidak terjadi pelengkungan pada waktu dipotong.
3) Pemotongan menggunakan alat las dengan suhu yang sangat tinggi.
4) Dimulai dari pemotongan pada bagian badan dengan arah horisontal sejauh d_T yang diukur dari salah satu sisi terluar sayap profil.
5) Panjang potongan arah horisontal tersebut selanjutnya diberi notasi e.
6) Pemotongan dilanjutkan ke arah sisi yang lain dengan membentuk sudut 60° dari arah horisontal sampai pada jarak sejauh d_T dari sisi terluar sayap profil.
7) Pemotongan kembali dilakukan dengan arah horisontal sejauh e, kemudian berbelok membentuk sudut 60° dari arah horisontal sampai pada titik sejauh d_T diukur dari sisi terluar sayap profil.
8) Selanjutnya diulang seperti pada awal pemotongan, lihat gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pemotongan pola zig-zag dengan sudut 60°

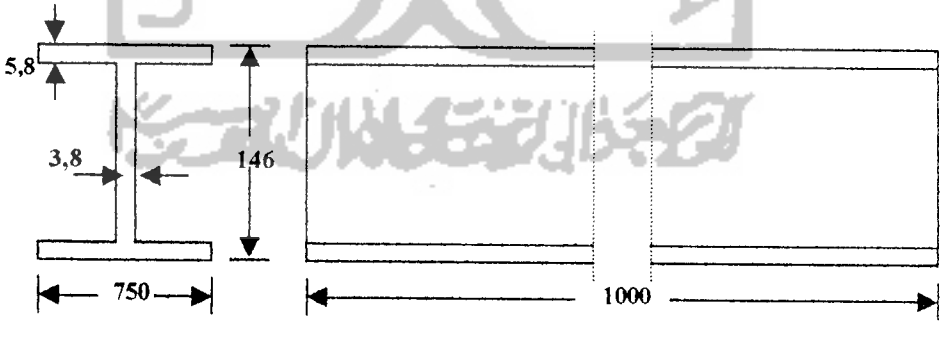
9) Kemudian sisi-sisi potongan terluar profil baja disatukan seperti pada gambar 4.3 dengan metode pengelasan, sehingga didapat empat buah *castella* model lubang segi enam dengan perbedaan pada ketebalan d_T masing-masing setebal 35 mm, 40 mm, 50 mm dan 60 mm. Panjang balok yang mula-mula 1200 mm setelah menjadi *castella* menjadi 1000 mm. Jadi secara keseluruhan didapat 5 buah sampel, satu sampel yang dibiarkan tetap dalam bentuk utuh, empat buah *castella* dengan model lubang segi enam.



Gambar 4.3 Penyambungan model lubang segi enam

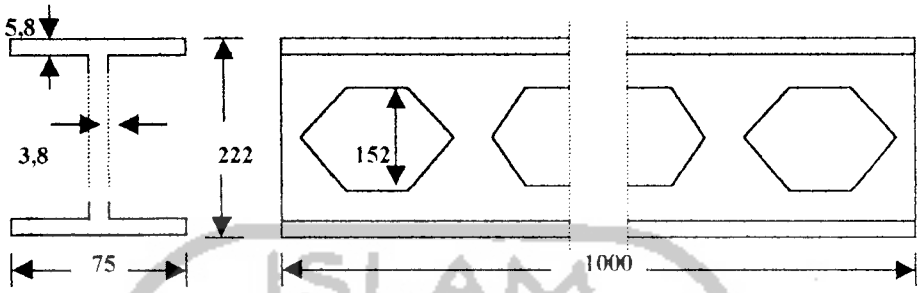
10) Bentuk dan ukuran sampel yang akan diuji secara rinci dapat diuraikan seperti berikut ini (satuan ukuran dalam mm).

(i) Sampel I (utuh), yaitu baja profil I utuh dengan panjang 1000 mm.



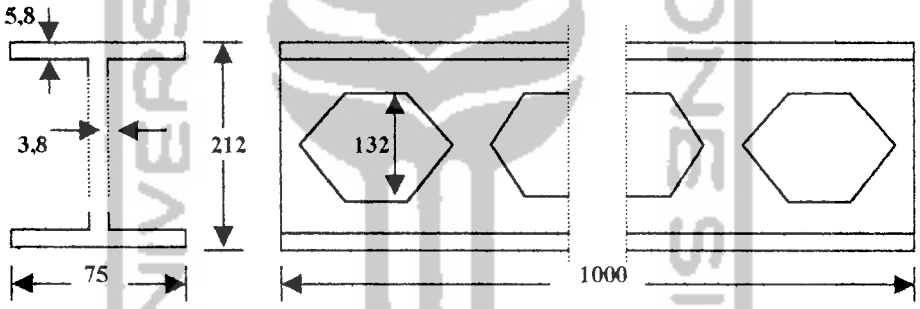
Gambar 4.4. Tampang melintang dan memanjang sampel I

(ii) Sampel II (*castella* 1), profil *castella* model lubang segi enam d_T setebal 35 mm.



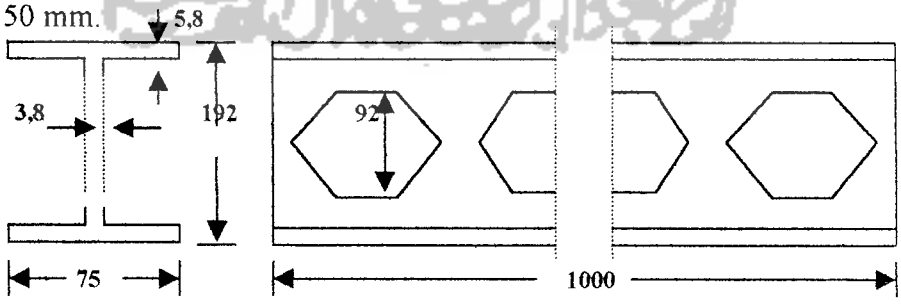
Gambar 4.5. Tampang melintang dan memanjang sampel II

(iii) Sampel III (*castella* 2), profil *castella* model lubang segi enam d_T setebal 40 mm..



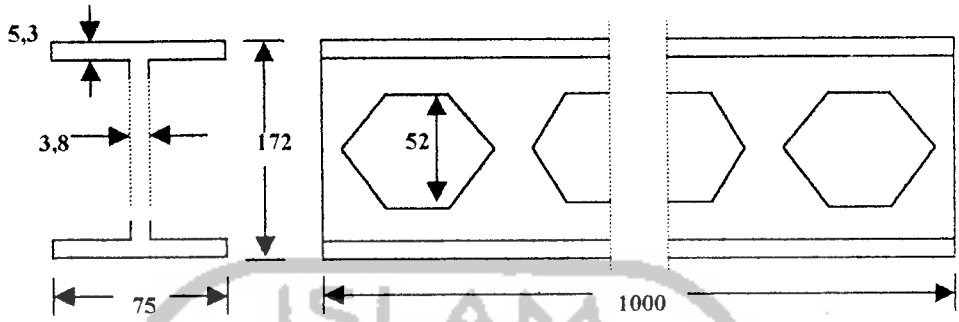
Gambar 4.6. Tampang melintang dan memanjang sampel III

(iv) Sampel IV (*castella* 3), profil *castella* model lubang segi enam d_T setebal 50 mm.



Gambar 4.7. Tampang melintang dan memanjang sampel IV

(v) Sampel V (*castella* 4), profil *castella* model lubang segi enam *dT* setebal 60 mm.



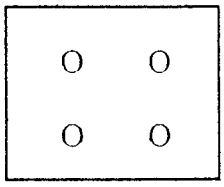
Gambar 4.8. Tampang melintang dan memanjang sampel V

2. Penyiapan Alat

Dalam pengujian tarik, 1(satu) unit alat uji tarik dan 1(satu) buah *dial gauge* telah tersedia di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, dan dalam kondisi siap pakai untuk pengujian.

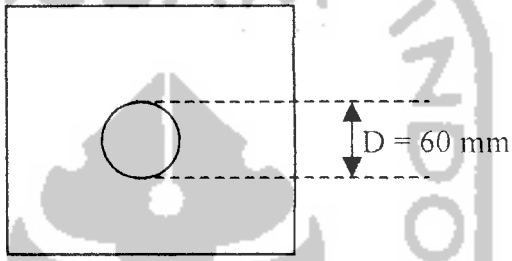
Penyiapan alat-alat yang diperlukan dalam pengujian lentur dan geser adalah sebagai berikut ini.

1. Mempersiapkan portal baja yang berguna sebagai penahan beban dengan tinggi dari dasar 600 mm.
2. Sebagai alat untuk penahan dukungan sendi-rol dibuat dari besi pelat dengan tebal 10 mm. Besi pelat tersebut dipotong dengan ukuran 250 x 250 mm, sebanyak 8 buah. Untuk empat potongan, masing-masing dibuat 4 buah lubang untuk masuknya baut (periksa gambar 4.9).



Gambar 4.9 Besi pelat dengan 4 buah lubang

3. Empat buah potongan yang lain dibuat lubang dengan diameter 60 mm untuk masuknya besi padat berbentuk silinder (periksa gambar 4.10).



Gambar 4.10 Besi pelat dengan lubang pada pusatnya

4. Kemudian kedua besi pelat yang mana disatukan dengan metode pengelasan, dengan membentuk sudut 90° atau membentuk siku.
5. Diperoleh 4 buah besi pelat siku dan dipasang pada landasan dengan posisi lubang berdiameter 60 mm saling sejajar, dengan jarak 80 mm.
6. Besi pelat siku kemudian dikunci dengan mur dan baut pada landasan.
7. Dibuat dukungan untuk sendi-rol dari besi padat berbentuk silinder, dengan diameter 50 mm dan panjang 60 mm.
8. Untuk pembebanan dibuat model pembebanan dua titik dengan menggunakan dua buah besi padat berbentuk silinder yang diletakkan pada masing–masing titik pembebanan di atas sampel yang diuji. Kemudian di atas besi itu diletakkan besi

rel kereta api sepanjang 1000 mm, dan diatasnya lagi diletakkan sebuah *jack load.*

4.3.2 Pengujian

1. Uji Kuat Tarik Baja

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Bahan yang digunakan adalah baja Profil I 150x75. Untuk menentukan nilai tegangan leleh profil tersebut terlebih dahulu dilakukan pengujian tarik pada baja tersebut pada bagian sayap dan badan profil, dengan cara seperti berikut ini.

a. Menyiapkan sampel yang akan diuji yang diambil dari potongan badan dan sayap baja sampel sepanjang 300 mm, dengan lebar 30 mm.
b. Memasang *dial gauge* pada bagian yang dikurangi ketebalannya untuk pembacaan pertambahan panjang.
c. Sampel yang siap diuji diletakkan pada alat untuk uji tarik dengan posisi berdiri.
d. Kedua ujung benda uji ditarik dengan alat untuk uji tarik secara perlahan-lahan.
e. Kemudian dibaca kenaikan beban yang terjadi pada sampel uji sewaktu ditarik dan hasilnya dicatat.
f. Beban yang terbaca dibagi dengan luas benda uji arah melintang badan, sehingga akan diperoleh tegangan tarik baja.

g. Pertambahan tegangan diikuti pula dengan pertambahan regangan yang diperoleh dari hasil pembagian pertambahan panjang dengan panjang mula-mula.

h. Kontrol lama waktu pembebanan yang terjadi.

i. Sampai mencapai batas maksimum, maka benda uji akan mengalami kondisi putus atau patah.

j. Dibuat grafik tegangan dan regangan dari hasil pengujian.

k. Dibaca kenaikan tegangan dan regangan dari hasil grafik.

l. Sebelum benda uji mengalami kondisi putus atau patah, maka kondisi tersebut adalah kondisi leleh baja. Kondisi sebelum patah atau kondisi leleh baja inilah yang akan dipakai sebagai tegangan leleh baja.

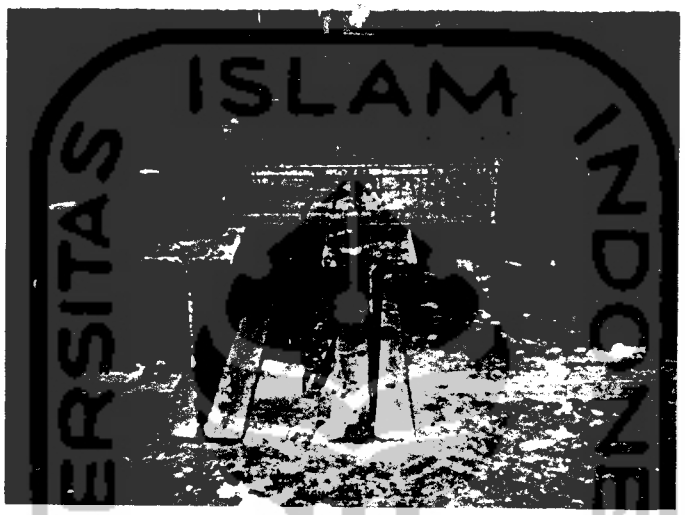
2. Uji Kuat Lentur dan Geser

Material atau bahan yang digunakan untuk pengujian adalah baja profil I 150x75 dengan ukuran profil sebagai berikut ini.

- h_w = tinggi badan (*web*) = 146 mm
- b_f = lebar sayap (*flens*) = 75 mm
- t_w = tebal badan = 3,8 mm
- t_f = tebal sayap = 5,3 mm
- L = panjang batang = 1000 mm

Baja yang akan diuji didatangkan dari pabrik baja yang berada di Semarang, dengan panjang batang 12000 mm, lalu dipotong-potong sebanyak 5 buah sebagai

sampel dengan panjang masing-masing 1000 mm. Dari 5 potongan tersebut, 4 buah potongan dibuat menjadi baja *castella* model lubang segi enam, dengan perbedaan pada ketebalan d_T yaitu masing-masing 35 mm, 40 mm, 50 mm dan 60 mm, sedangkan sisanya dibiarkan utuh. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini.



Gambar 4.11 Balok baja utuh

Gambar 4.12 Balok baja *castella* model lubang segi enam

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kondisi sampel yang akan diuji haruslah bersih dari material apapun yang sifatnya tambahan, dan tidak terdapat cacat fisik, agar terjamin kekuatan baja sesuai dengan perencanaan. Adapun urutan pelaksanaan pengujian di laboratorium untuk setiap sampel hampir sama, dengan tahapan sebagai berikut ini.

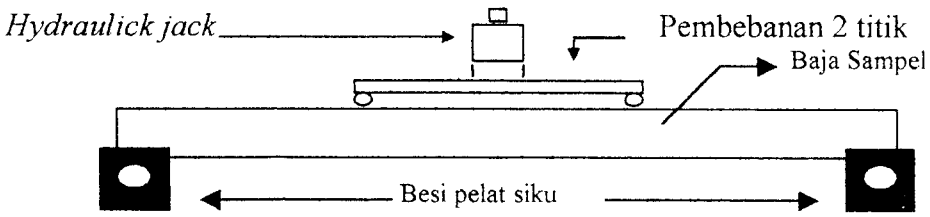
1. Menyiapkan sampel yang akan diuji.
2. Mengambil satu buah pipa besi yang sudah disiapkan sebelumnya, kemudian direkatkan 50 mm dari salah satu ujung balok dengan cara dilas untuk mewakili fungsi sendi, lihat gambar 4.13.

Gambar 4.13 Pipa besi yang dilaskan pada sampel

3. Ke dalam pipa besi tersebut dimasukkan besi padat silinder yang sudah disiapkan sebelumnya.
4. Besi padat tersebut juga dimasukkan ke dalam lubang pada besi pelat siku sebagai dukungan.

Gambar 4.14 Posisi baja sampel diatas dua dukungan

5. Di atas baja sampel yang akan diuji, diletakkan pembebanan 2 titik yang terbuat dari besi rel kereta api dengan dua buah besi padat yang diletakkan pada masing-masing titik pembebanan. Di atas pembebanan dua titik tersebut diletakkan alat yang disebut *hydraulick jack*, yang fungsinya sebagai beban yang terukur.



Gambar 4.15. Baja sampel siap uji

6. Ujung atas *hydraulick jack*, sebelum dipompa harus tepat menyentuh bagian bawah portal.
7. *Hydraulick jack* tersebut dihubungkan dengan pompa yang berfungsi untuk menaikan beban secara bertahap.
8. Di tengah-tengah profil bagian bawah 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.
9. Pada badan profil dekat tumpuan juga dipasang *dial gauge* untuk membaca besarnya tekuk (*buckling*) yang terjadi waktu pengujian sedang berlangsung.
10. Setelah alat-alat dan bahan untuk pengujian siap, maka dilakukan pengujian untuk mengetahui kapasitas lentur dari masing-masing sampel.
11. Beban dari *hidraulick jack* dinaikkan secara perlahan-lahan, dengan cara dipompa pada alat pompa untuk menaikan beban.
12. Beban dinaikan secara bertahap, sambil dibaca lendutan yang terjadi dan dikontrol tekuk (*buckling*) yang terjadi sampai beban tidak dapat bertambah lagi.
13. Hasil setiap pengujian dicatat dalam bentuk tabel.

14. Adapun sampel yang akan diuji adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2. Sampel yang akan diuji di laboratorium

Sampel	Model Lubang	Panjang (mm)	d_T (mm)	d_g (mm)
Utuh	Utuh	1000	-	146
Castella 1	Segi enam	1000	35	222
Castella 2	Segi enam	1000	40	212
Castella 3	Segi enam	1000	50	192
Castella 4	Segi enam	1000	60	172

4.3.3 Analisis Penelitian

Sebelum dilaksanakan pengujian, terlebih dahulu dilakukan perhitungan analitis untuk menentukan besar beban total teoritis yang mampu ditahan tiap sampel. Hasil perhitungan analitis ini kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian di laboratorium.

Analisis penelitian diorientasikan kepada pengaruh kombinasi lentur dan geser yang terjadi. Namun demikian, analisis terhadap lentur murni tetap dilakukan sebagai pelengkap dalam mengadakan penelitian. Untuk perhitungan analitis ini, panjang efektif balok sampel yang dipakai adalah 900 mm, karena dukungan sendi dan rol terletak sejauh 50 mm dari masing-masing ujung balok. Dalam perhitungan, berat sendiri balok sepanjang 50 mm tersebut diabaikan.

1. Analisis Lentur Murni.

a. Sampel utuh

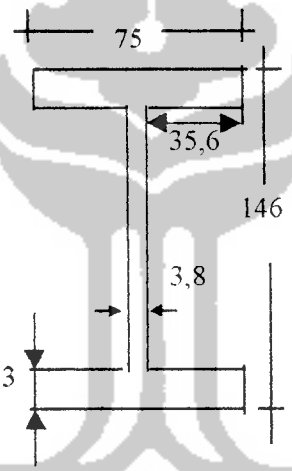
Profil yang digunakan untuk pengujian di laboratorium adalah profil I 150x75 dengan data sebagai berikut ini.

d_h = 146 mm = 5,748 in t_w = 3,8 mm = 0,1496 in

b_f = 75 mm = 2,9528 in t_f = 5,3 mm = 0,2087 in

$A_f = b_f \times t_f$ = 2,9528 x 0,2087 = 0,6163 in^2 σ_y = 36 ksi = 5580,0112 kg/cm^2

d/A_f = 5,748/0,6163 = 9,3266 in^{-1}



Gambar 4.16 Tampang melintang sampel utuh (ukuran dalam mm)

i) Menghitung tegangan lentur ijin

Kontrol terhadap kekompakan.

Geometri penampang :

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{7,5}{2 \times 0,53} = 7,0755 \langle \frac{65}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10,8333 \text{.....} Oke..!$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{14,60}{0,38} = 38,4210 \langle \frac{640}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{640}{\sqrt{36}} = 106,6667 \text{.....} Oke..!$$

Lb = jarak dukungan lateral = 90 cm = 35,4331 in

$$Lc = \frac{76 \times bf}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{76 \times 2,9528}{\sqrt{36}} = 34,4021\, in$$

$$Lu = \frac{20000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \times \sigma_y} = \frac{20000}{0,6163 \times 36} = 901,4369\, in$$

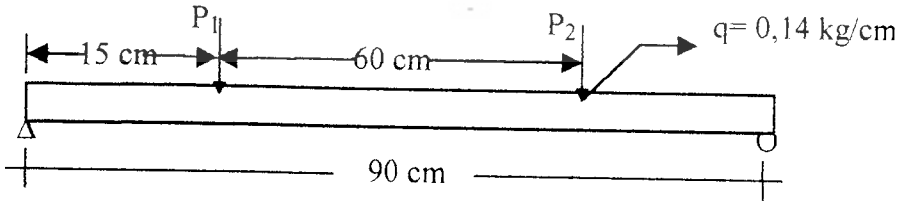
Lc ⟨ Lb ⟨ Lu. ..... *non kompak* .....!

Dari penampang geometri dan panjang dukungan lateral, maka penampang dalam keadaan non kompak,

$$\bar{\sigma} = 0,60\, \sigma_y$$

$$= 0,60 \text{x} 5580,0112 = 3348,0067 \text{ kg/cm}^2$$

ii) Menghitung momen akibat P



Untuk pembebanan dua titik, momen terbesar terjadi sepanjang 60 cm dari titik P_1 sampai dengan P_2, sebesar :

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

$$= P \times 15 - 1/8 \times 0{,}14 \times 90^2$$

$$M_{maks} = 15P - 141{,}75 \text{ kgcm} \quad \ldots\ldots(1)$$

iii) Menghitung momen inersia profil

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

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

iv) Menghitung jarak antara serat tepi terluar dengan garis netral profil

$$y_a = \tfrac{1}{2}\, dh = \tfrac{1}{2}.\, 14{,}6 = 7{,}3 \text{ cm}$$

v) Menghitung momen ijin

$$\bar{\sigma} = \frac{M.y}{I}$$

$$M = \frac{\bar{\sigma} \times I}{y} = \frac{3348{,}0067 \times 472{,}2478}{7{,}3} = 216587{,}5066\ kgcm \quad \ldots\ldots(2)$$

vi) Menghitung beban P

Dari persamaan (1) dan (2) didapat:

$$216587{,}5066 = 15.P - 141{,}75$$

$$P = 14448{,}6171 \text{ kg}$$

$$P_{tot} = 2P = 28897{,}2342 \text{ kg}$$

b. Sampel *castella* 1

Data mengenai sampel yang dipakai sebagai bahan uji adalah sebagai berikut ini.

b_f = 75 mm

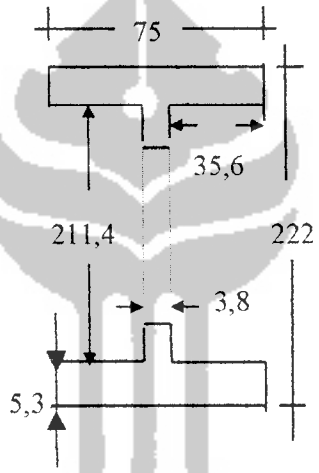
t_f = 5,3 mm

t_w = 3,8 mm

d_g = (146 - 35)x2 = 222 mm

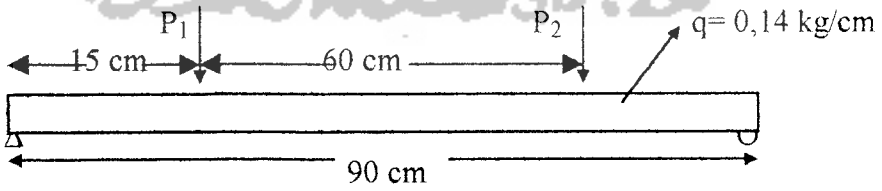
h_w = 211,4 mm

h_p = 222-35x2 = 152 mm



Gambar 4.17 Tampang melintang sampel *castella* 1 (ukuran dalm mm)

i) Menghitung momen akibat P



Untuk pembebanan dua titik, momen terbesar terjadi sepanjang 60 cm dari titik P_1 sampai dengan P_2, sebesar :

Mm-aks = P.X - 1/8.q.L^2

= P x 15 - 1/8 x 0,14 x 90^2

Mmaks = 15P-141,75 kgcm.....(1)

ii) Menghitung luas penampang profil

$A_T = 2.(A_f + A_s)$

$= 2.(b_f.\ t_f + t_w.\ h_s)$

= 2x(7,5x0,53+ 0,38x2,97)

= 10,2072 cm^2

iii)Menghitung tegangan lentur ijin

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2.E}{\sigma_y}}$$

E = 2,1 x 10^5 Mpa = 2,1 x 10^6 kg/cm^2

σ_y = 5580,0112 kg/cm^2

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{5580,0112}} = 86,1900$$

$$\bar{\sigma} = \left[1 - \frac{10,434}{Cc^2}\left(\frac{h}{t_w}\right)^2\right] 0,6.\sigma_y$$

$$\bar{\sigma} = \left[1 - \frac{10,434}{86,1900^2} \times \left(\frac{7,6}{0,38}\right)^2\right] \times 0,6 \times 5580,0112 = 1467,0302 \text{ kg/cm}^2$$

iv)Menghitung momen inersia

I_g = 1/12.$b_f.d_g^3$ - 2.(1/12.3,56.21,14^3)-1/12.$t_w.(h_p)^3$

$= 1/12x7,5x22,2^3 - 2x(1/12x3,56x21,14^3)-1/12x0,38x15,2^3$

$= 1121,4563\ cm^4$

v) Menghitung jarak serat tepi terluar ke garis netral profil

$$y_a = \tfrac{1}{2} d_g = \tfrac{1}{2} \times 22,2 = 11,1\ cm$$

vi) Menghitung modulus penampang profil

$$S_b = I_g/y_a = \frac{1121,4563}{11,1} = 101,0321\ cm^3$$

vii) Menghitung momen ijin

$$\bar{\sigma} = \frac{M}{h.A_T} + \frac{V_T.e}{4Sb}$$

$$M = \left(\bar{\sigma} - \frac{V_T.e}{4Sb}\right) hp.A_T$$

$$M = \left(1467,0302 - \frac{P \times 5}{4 \times 101,0321}\right) \times 15,2 \times 10,2072$$

$= 227608,9080-1,9196P$ .....(2)

viii) Menghitung beban P

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

$227608,9080-1,9196P = 15.P-141,75$

$P = 13460,7590\ kg$

$Ptot = 2P = 26921,5180\ kg$

Dengan langkah-langkah perhitungan yang sama, maka hasil dari perhitungan analitis untuk sampel *castella* dapat ditabelkan seperti berikut ini.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan analisis lentur murni untuk sampel *castella*

Variabel	*Castella 1*	*Castella 2*	*Castella 3*	*Castella 4*
d_T (mm)	35	40	50	60
b_f (mm)	75	75	75	75
t_f (mm)	5,3	5,3	5,3	5,3
t_w (mm)	3,8	3,8	3,8	3,8
d_g (mm)	222	212	192	172
h_w (mm)	211,4	201,4	181,4	161,4
h_p (mm)	152	132	92	52
A_T (cm^2)	10,2072	10,5872	11,3472	12,1072
$\bar{\sigma}$ (kg/cm^2)	1467,0302	1929,4586	2658,9232	3127,8647
I_g (cm^4)	1121,4563	1035,2016	857,3311	681,1790
y_a (cm)	11,1	10,6	9,6	8,6
S_b (cm^3)	101,0321	97,6605	89,3053	79,5069
P (ton)	13460,7590	16069,4751	16871,0675	12321,4352
Ptot (ton)	26921,5180	32138,9503	33742,1351	24642,8704

2. Analisis Kombinasi Lentur dan Geser

a. Sampel utuh

Profil yang digunakan untuk pengujian lentur dan geser adalah profil I150x75 dengan data sebagai berikut ini.

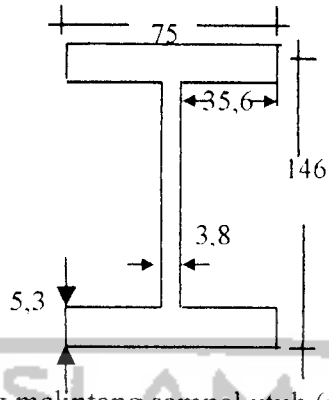
d_h = 146 mm = 5,748 in

b_f = 75 mm = 2,9528 in

σ_y = 36 ksi = 5580,0112 kg/cm^2

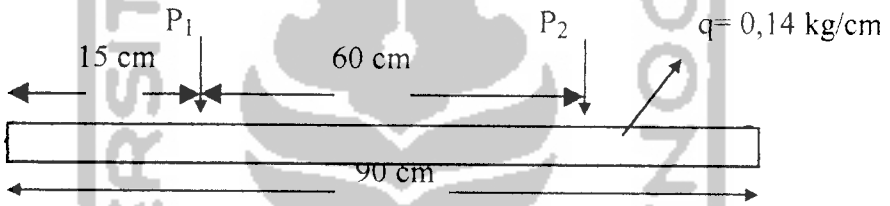
t_w = 3,8 mm = 0,1496 in

t_f = 5,3 mm = 0,2087 in



Gambar 4.18 Tampang melintang sampel utuh (ukuran dalam mm)

i) Momen akibat P



Untuk pembebanan dua titik, momen terbesar terjadi sepanjang 60 cm dari titik P_1 sampai dengan P_2, sebesar :

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

$= P \times 20 - 1/8 \times 0,14 \times 90^2$

$M_{maks} = 15P - 14175$ kgcm .....(1)

ii) Menghitung tegangan lentur ijin

$\bar{\sigma} = 0,60\,\sigma_y$

$= 0,60 \times 5580,0112 = 3348,0067$ kg/cm^2

iii)Menghitung momen inersia profil

$$I_g = 1/12x7,5x14,6^3 - 2x\ (1/12x\ 3,56x13,54^3)$$

$$= 472,2478\ cm^4$$

iv)Menghitung jarak antara serat tepi terluar dengan garis netral profil

$$y_a = ½\ dh = ½.\ 14,6 = 7,3\ cm$$

v) Tegangan lentur aktual

$$\sigma = \frac{M.y_b}{I_g}$$

$$= \frac{(15P - 141,75) \times 7,3}{472,2487} = 0,2319P - 2,1912$$

vi)Tegangan geser aktual

$$\tau = \frac{P((7,5x0,53)x7,03 + (0,38x6,77)x3,39)}{472,2478x0,38} = 0,2043P$$

vii) Tegangan geser ijin

$$\frac{h}{t_w} = \frac{(14,6-2x0,53)}{0,38} = 35,6316 < \frac{380}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{380}{\sqrt{36}} = 63,3333$$

sehingga dipakai rumus:

$$\bar{\tau} = 0,40\sigma_y = 0,40x5580,0112 = 2232,0015\ kg/cm^2$$

viii) Menghitung P total

$$\left[\frac{\tau}{\bar{\tau}}\right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\bar{\sigma}}\right]^2 = 1$$

$$\left[\frac{0{,}2043P}{2232{,}0019}\right]^2 + \left[\frac{0{,}2319P - 2{,}1912}{3348{,}0067}\right]^2 = 1$$

$$1{,}3176\text{x}10^{-8}\,P^2 - 9{,}0665\text{x}10^{-8}\,P - 1 = 0$$

$$P = 8715{,}2474 \text{ kg}$$

$$Ptot = 2P = 17430{,}4949 \text{ kg}$$

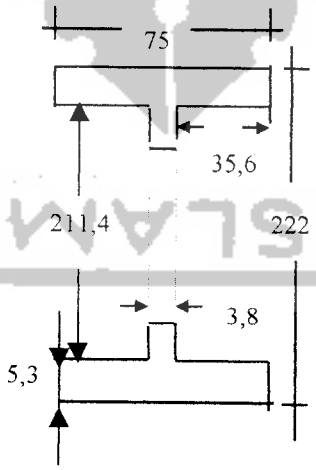
b. Sampel *castella* 1

Data mengenai sampel yang dipakai sebagai bahan uji adalah sebagai berikut ini.

$b_f = 75$ mm $\qquad t_f = 5{,}3$ mm

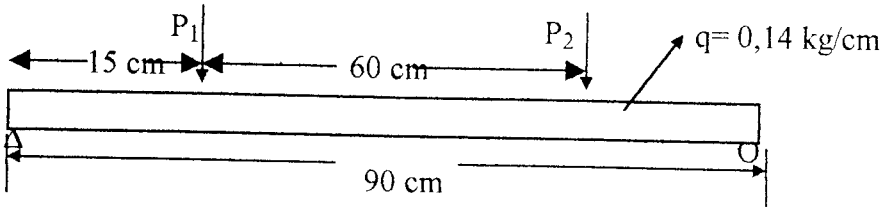
$t_w = 3{,}8$ mm $\qquad d_g = (146 - 35)\text{x}2 = 222$ mm

$h_w = 211{,}4$ mm $\qquad h_p = 222\text{-}35\text{x}2 = 152$ mm



Gambar 4.19 Tampang melintang sampel *castella* 1 (ukuran dalam mm)

i) Momen akibat P



Untuk pembebanan dua titik, momen terbesar terjadi sepanjang 60 cm dari titik P_1 sampai dengan P_2, sebesar :

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

$= Px15-1/8x\ 0,14x\ 90^2$

$M_{maks}= 15P-141,75$ .....(1)

ii) Luas penampang profil

$A_T = 10,2072\ cm^2$

iii)Menghitung tegangan lentur ijin

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2.E}{\sigma_y}}$$

$E = 2,1x10^5$ Mpa $= 2,1x10^6\ kg/cm^2$

$\sigma_y = 5580,0112\ kg/cm^2$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{5580{,}0112}} = 86{,}1900$$

$$\bar{\sigma} = \left[1 - \frac{10{,}434}{Cc^2}\left(\frac{h}{t_w}\right)^2\right] 0{,}6.\sigma_y$$

$$\bar{\sigma} = \left[1 - \frac{10{,}434}{86{,}1900^2} \times \left(\frac{7{,}6}{0{,}38}\right)^2\right] \times 0{,}6 \times 5580{,}0112 = 1467{,}0302 \text{ kg/cm}^2$$

iv)Menghitung momen inersia

$I_g = 1/12.b_f.d_g^3 - 2.(1/12.3{,}56.21{,}14^3) - 1/12.t_w.(h_p)^3$

$= 1/12x7{,}5x22{,}2^3 - 2x(1/12x3{,}56x21{,}14^3) - 1/12x0{,}38x15{,}2^3$

$= 1121{,}4563 \text{ cm}^7$

v) Menghitung jarak serat tepi terluar ke garis netral profil

$y_a = ½\, d_g = ½\, 22{,}2 = 11{,}1$ cm

vi) Menghitung modulus penampang profil

$$S_b = I_g/y_a = \frac{1121{,}4563}{11{,}1} = 101{,}0321 \text{ cm}^3$$

vii) Tegangan lentur aktual

$$\sigma = \frac{M}{h.A_T} + \frac{V_T.e}{4Sb}$$

$$= \left(\frac{15P - 141{,}75}{15{,}2 \times 10{,}2072} + \frac{P \times 5}{4 \times 101{,}0321}\right)$$

$$= 0{,}1091P - 0{,}9136$$

viii) Tegangan geser ijin

Dari tabel 3.1. rumus tegangan geser ijin profil *castella* untuk sudut pemotongan (ϕ) 60° adalah :

$$\bar{\tau} = 0{,}6332.\bar{\sigma} = 0{,}6332 \times 1467{,}0302 = 928{,}9235\ kg/cm^2$$

ix) Tegangan geser aktual

$$\tau = \frac{P((7{,}5x0{,}53)x10{,}84 + (0{,}38x10{,}57)x5{,}29)}{1121{,}4563x0{,}38} = 0{,}1510P$$

x) Menghitung P total

$$\left[\frac{\tau}{\bar{\tau}}\right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\bar{\sigma}}\right]^2 = 1$$

$$\left[\frac{0{,}1510P}{925{,}9235}\right]^2 + \left[\frac{0{,}1091P - 0{,}9136}{1467{,}0302}\right]^2 = 1$$

$$3{,}2126x10^{-8}P^2 - 9{,}2626x10^{-8}P - 1 = 0$$

$$P = 5580{,}6385\ kg$$

$$Ptot = 2P = 11161{,}2770\ kg$$

Dengan langkah-langkah perhitungan yang sama, maka hasil dari perhitungan analitis untuk sampel *castella* dapat ditabelkan seperti berikut ini.

PERPUSTAKAAN YOGYAKARTA

Tabel 4.4 Hasil perhitungan analisis kombinasi lentur dan geser untuk sampel *castella*

Variabel	*Castella 1*	*Castella 2*	*Castella 3*	*Castella 4*
d_T (mm)	35	40	50	60
b_f (mm)	75	75	75	75
t_f (mm)	5,3	5,3	5,3	5,3
t_w (mm)	3,8	3,8	3,8	3,8
d_g (mm)	222	212	192	172
h_w (mm)	211,4	201,4	181,4	161,4
h_p (mm)	152	132	92	52
A_T (cm^2)	10,2072	10,5872	11,3472	12,1072
$\bar{\sigma}$ (kg/cm^2)	1467,0302	1929,4586	2658,9232	3127,8647
I_g (cm^4)	1121,4563	1035,2016	857,3311	681,1790
y_a (cm)	11,1	10,6	9,6	8,6
S_b (cm^3)	101,0321	97,6605	89,3053	79,5069
σ (kg/cm^2)	0,1091P-0,9136	0,1201P-1,0143	0,1577P-1,3578	0,2540P-2,2515
$\bar{\tau}$ (kg/cm^2)	928,9235	1221,7332	1683,6302	1980,5639
τ (kg/cm^2)	0,1510P	0,1534P	0,1619P	0,1758P
P (ton)	5580,6385	7138,4882	8865,8066	8316,3304
P_{tot} (ton)	11161,2770	14276,9764	17731,6132	16632,6608

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian

5.1.1 Kuat Tarik Baja

Hasil pengujian tarik disajikan dalam bentuk tabel 5.1 sebagai berikut ini.

Tabel 5.1 Tegangan dan regangan plat badan.

Beban(P) (kg)	ΔL ($1x10^{-3}$ cm)	σ(P/A) kg/cm^2	ε (ΔL/Lo) $1x10^{-3}$
100	7	255,4913	1,3452
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

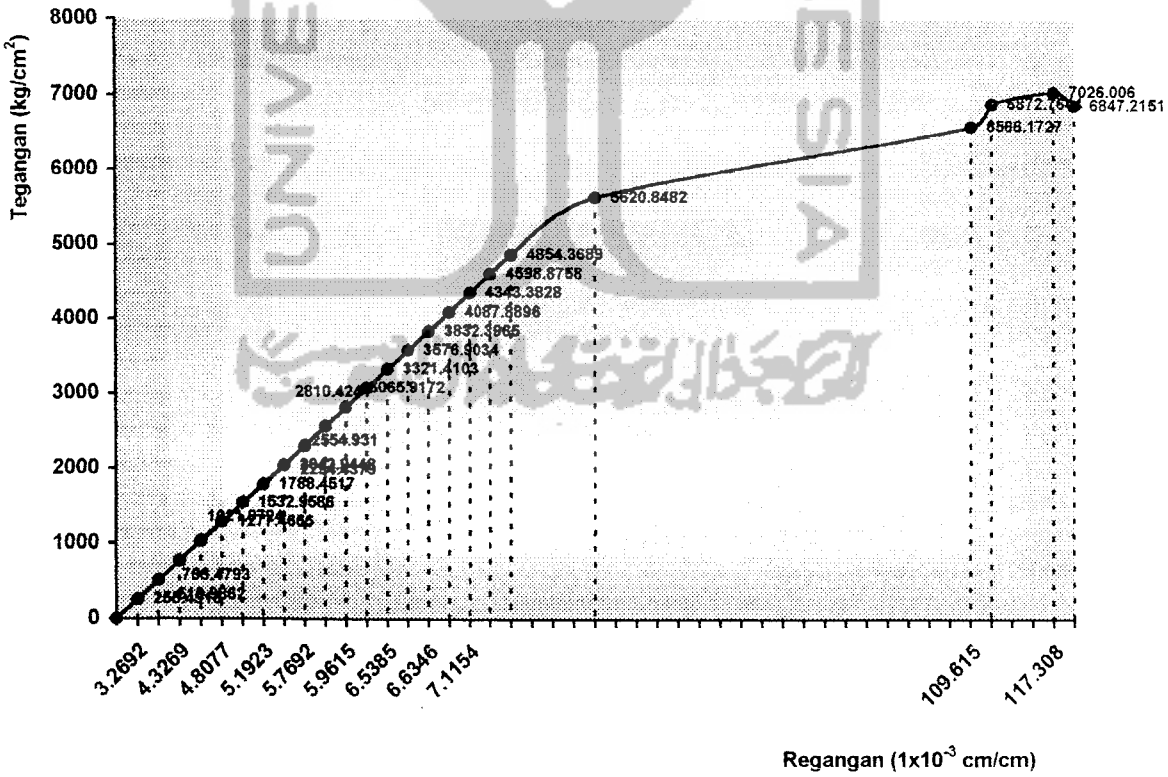
σ_{maks} = tegangan maksimum yang dicapai pada pembebanan 2750 kg adalah 7026,0060 kg/cm^2,

σ_y = tegangan leleh yang terjadi pada pembebanan 2200 kg adalah 5620,8482 kg/cm^2,

σ_p = batas sebanding antara teganga dan regangan pada beban 1900 kg adalah 4854,3689 kg/cm^2,

σ_e' = batas leleh baja pada beban 2570 kg adalah 6566,1722 kg/cm^2.

Kurva tegangan dan regangan yang terjadi disajikan dalam bentuk grafik 5.1 di bawah ini.



Grafik 5.1 Kurva tegangan dan regangan

Data sampel yang dipakai :

Lo = panjang bagian yang dipotong = 52 mm,

t_w = tebal sampel = 3,8 mm,

h_w = lebar bagian sampel yang di potong = 10,3 mm,

h = lebar sampel yang tidak dipotong/dikurangi panjangnya = 30 mm,

A = luas bagian yang dipotong,

$= h_w \cdot t_w = 3{,}8 \times 10{,}3 = 3{,}914 \text{ mm}^2$.

5.1.2 Kuat Lentur dan Geser

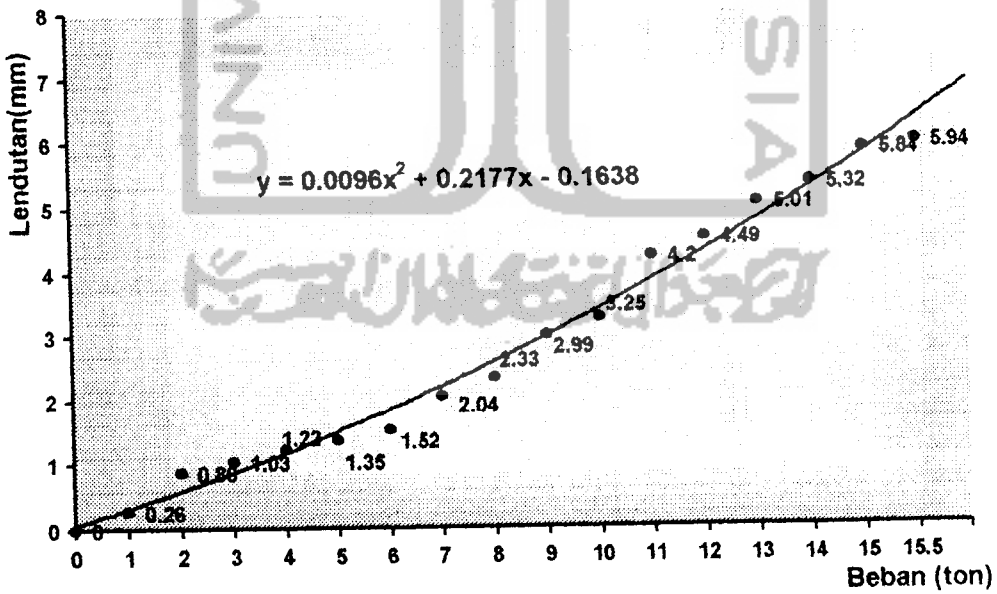
Hasil pengujian di laboratorium disajikan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi sebagai berikut ini.

1. Sampel utuh

Balok utuh adalah baja profil asli yang tidak dibuat menjadi balok *castella*. Data hasil pengujian di laboratorium dapat dilihat pad tabel 5.2. Pada posisi pembacaan beban sebesar 15,5 ton, beban tidak dapat bertambah lagi, bahkan pada pembacaan jarum beban menunjukkan jarum cenderung turun kembali dari angka 15,5 ton. Kurva yang dihasilkan oleh pertambahan beban dan kenaikan lendutan ditampilkan pada grafik 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel utuh

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Tekuk (*buckling*) (mm)
1	0,26	- 0,11
2	0,86	- 0,19
3	1,03	- 0,19
4	1,22	- 0,19
5	1,35	- 0,19
6	1,52	- 0,20
7	2,04	- 0,21
8	2,33	- 0,21
9	2,99	- 0,23
10	3,25	- 0,24
11	4,20	- 0,32
12	4,49	- 0,41
13	5,01	- 0,49
14	5,32	-0,56
15	5,84	-0,66
15,5	5,94	-0,70



Grafik 5.2 Kurva regresi sampel utuh

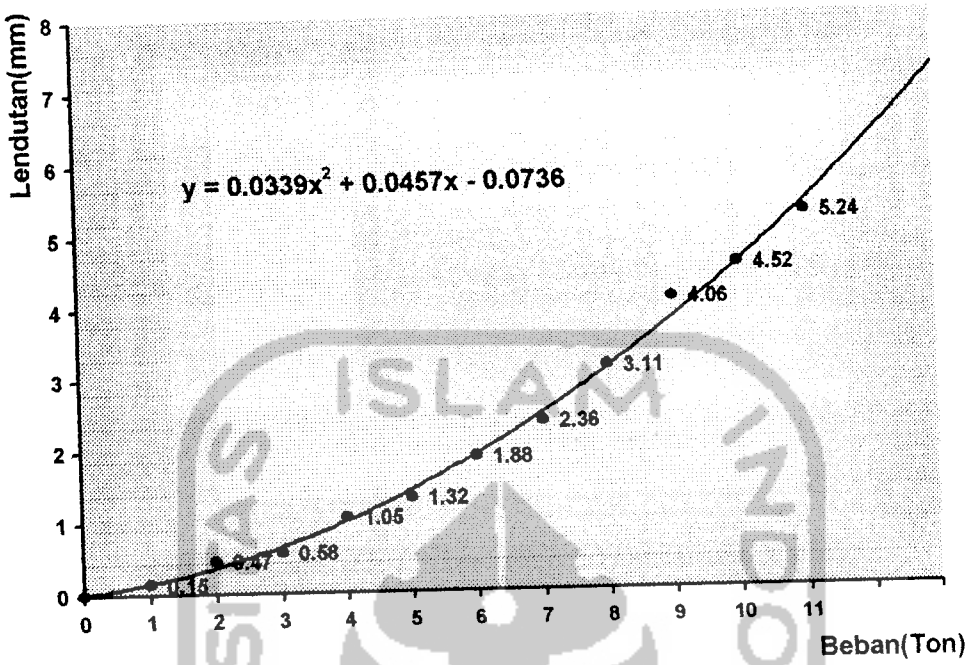
2. Sampel *castella* 1 (d_T=35 mm)

Balok *castella* model lubang segi enam adalah *modifikasi* dari balok baja profil utuh, dengan lubang pada badan berbentuk segi enam. Pada balok *castella* terjadi kenaikan tinggi badan, dari d_h menjadi d_g. Hasil pengujian balok *castella* model lubang segi enam dengan d_T = 35 mm adalah sebagai berikut ini.

Tabel 5.3 Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel *castella* 1

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Tekuk (*buckling*) (mm)
1	0,15	0,16
2	0,47	0,52
3	0,58	0,61
4	1,05	1,12
5	1,32	1,57
6	1,88	1,84
7	2,36	2,45
8	3,11	3,02
9	3,06	3,98
10	3,54	4,59
11	3,87	5,36

Pada posisi pembacaan beban sebesar 11 ton, beban tidak dapat bertambah lagi, bahkan jarum beban cenderung turun kembali dari angka 11 ton. Grafik beban terhadap lendutan untuk balok *castella* model lubang segi enam dengan tebal d_T sebesar 3,5 mm.



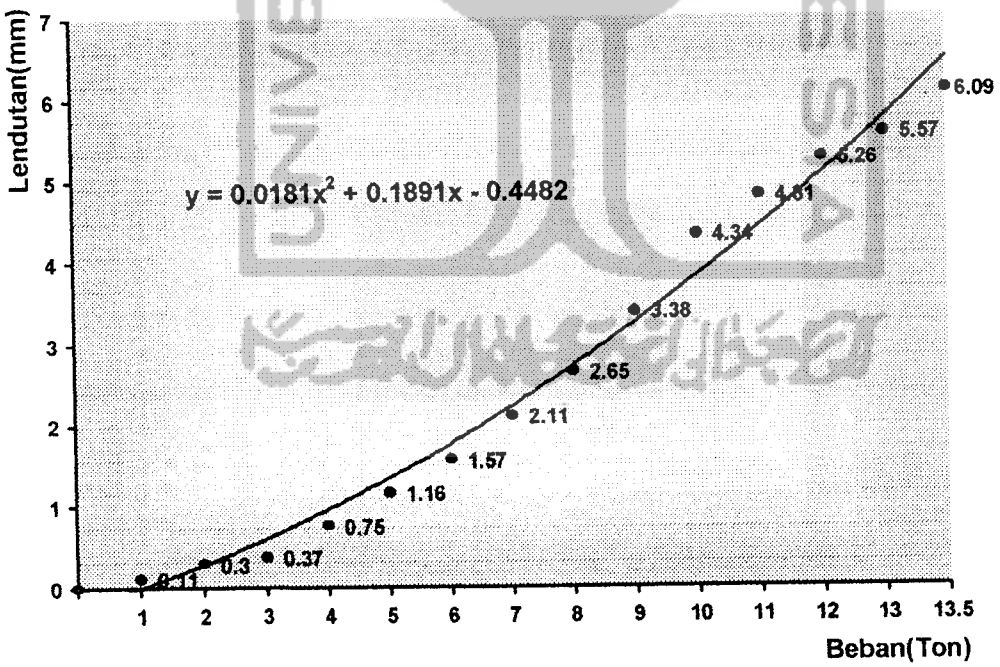
Grafik 5.3 Kurva regresi sampel *castella* 1

3. Sampel *castella* 2 (d_T=40 mm)

Hasil pengujian balok *castella* model lubang segi enam dan tebal d_T sebesar 40 mm dapat dilihat pada tabel 5.4. Pada posisi pembacaan beban sebesar 13,5 ton, beban tidak dapat bertambah lagi, bahkan jarum beban cenderung turun kembali dari angka 13,5 ton. Grafik beban terhadap lendutan untuk balok *castella* model lubang segi enam dengan tebal d_T sebesar 40 mm dapat dilihat pada grafik 5.4.

Tabel 5.4 Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel *castella* 2

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Tekuk (*buckling*) (mm)
1	0,11	0,18
2	0,30	0,40
3	0,37	0,49
4	0.75	0,60
5	1,16	0,69
6	1,57	0,73
7	2,11	0,78
8	2,65	0,84
9	3,38	2,80
10	3,71	2,80
11	3,96	3,11
12	4,05	3,24
13	4,24	3,77
13,5	4,77	3,82



Grafik 5.4 Kurva regresi sampel *castella* 2

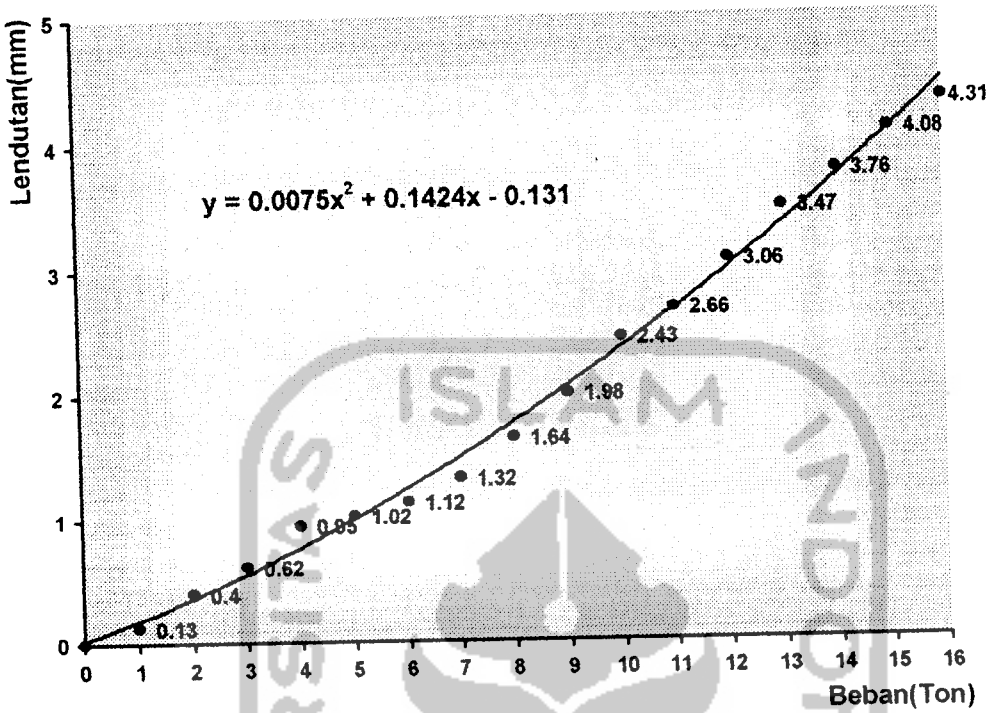
4. Sampel *castella* 3 (d_T=50 mm)

Hasil pengujian balok *castella* model lubang segi enam dan tebal d_T sebesar 50 mm ditampilkan pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel *castella* 3

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Tekuk (*buckling*) (mm)
1	0,13	0,25
2	0,40	0,49
3	0,62	0,53
4	0,95	0,68
5	1,02	0,85
6	1,12	0,99
7	1,32	1,13
8	1,64	1,23
9	1,98	1,33
10	2,43	1,43
11	2,66	1,68
12	3,06	1,94
13	3,47	2,28
14	3,76	2,69
15	4,08	2,86
16	4,31	2,94

Pada posisi pembacaan beban sebesar 16 ton, beban tidak dapat bertambah lagi, bahkan jarum beban cenderung turun kembali dari angka 16 ton. Kurva hubungan antara beban dan lendutan sampel *castella* 3 dapat dilihat pada grafik 5.5.



Grafik 5.5 Kurva regresi sampel *castella* 3

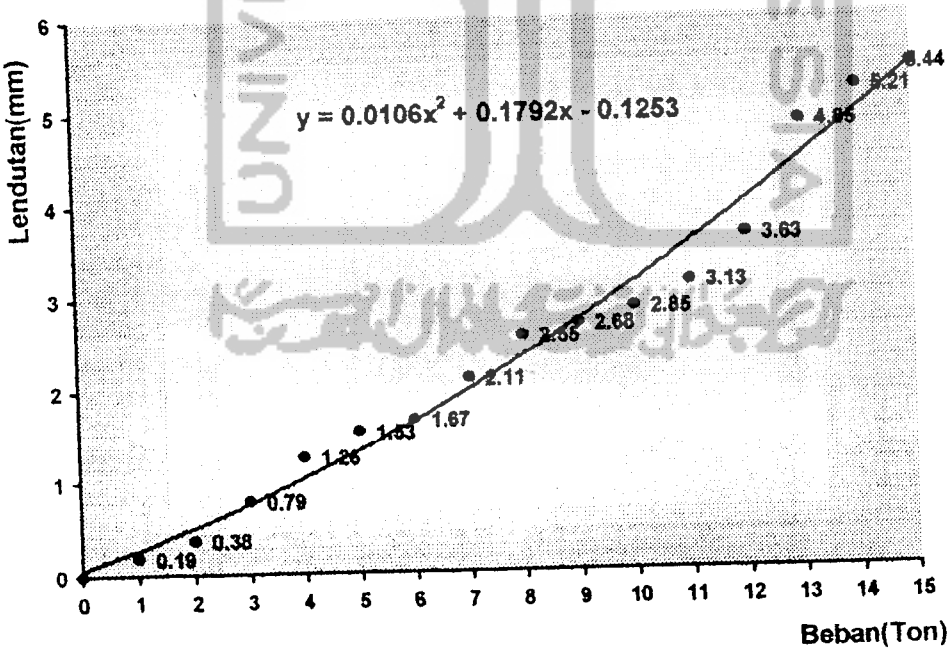
5. Sampel *castella* 4 (d_T=60 mm)

Hasil pengujian balok *castella* model lubang segi enam dengan ketebalan d_T sebesar 60 mm ditampilkan dalam tabel 5.6. Pada pembacaan 15 ton, beban tidak dapat bertambah lagi, bahkan jarum beban cenderung menunjukkan turun.

Grafik yang dihasilkan oleh balok *castella* model lubang segi enam dengan tebal d_T sebesar 60 mm terlihat pada grafik 5.6.

Tabel 5.6 Hasil pengujian kapasitas lentur dan geser untuk sampel *castella* 4

Beban (Ton)	Lendutan (mm)	Tekuk (*buckling*) (mm)
1	0,19	0,15
2	0,38	0,18
3	0,79	0,20
4	1,26	0,23
5	1,53	0,27
6	1,67	0,41
7	2,11	0,56
8	2,55	0,75
9	2,68	0,91
10	2,85	1,35
11	3,13	1,44
12	3,63	1,48
13	4,85	1,51
14	5,21	1,77
15	5,44	1,79



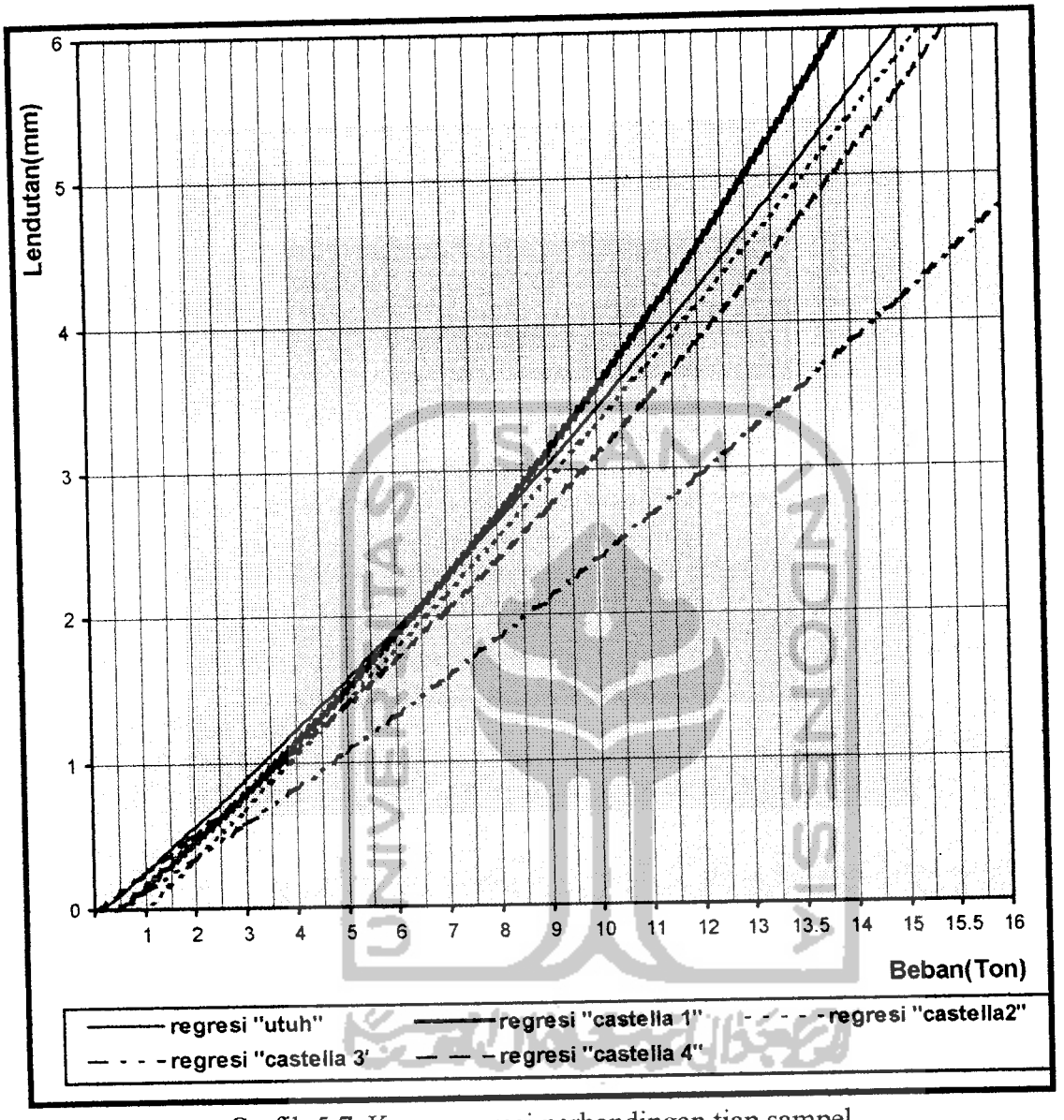
Grafik 5.6 Kurva regresi sampel *castella* 4

Beban total yang terjadi pada tiap sampel pada pengujian adalah beban yang terbaca pada alat ditambah dengan berat besi rel kereta api + besi silinder 2 buah + *jack load* sebesar 60 kg, dan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5.7 Beban hasil eksperimen

Jenis Sampel	Pmaks eksperimen (kg)	Ptotal eksperimen (kg)
Utuh	15500	15560
Castella 1	11000	11060
Castella 2	13500	13560
Castella 3	16000	16060
Castella 4	15000	15060

Kurva-kurva regresi yang dihasilkan dari data pengujian dapat disajikan dalam satu grafik berikut ini.



Grafik 5.7. Kurva regresi perbandingan tiap sampel

Keterangan :

Utuh adalah Balok Baja Utuh

Castella 1 adalah *castella* dengan model lubang segi enam dan $d_T = 35$ mm

Castella 2 adalah *castella* dengan model lubang segi enam dan $d_T = 40$ mm

Castella 3 adalah *castella* dengan model lubang segi enam dan $d_T = 50$ mm

Castella 4 adalah *castella* dengan model lubang segi enam dan $d_T = 60$ mm

5.2 Pembahasan

5.2.1 Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja di laboratorium menghasilkan nilai tegangan leleh riil sebesar 36,2635 ksi, sedangkan tegangan leleh baja fabrikasi adalah sebesar 36 ksi. Dengan tegangan leleh riil yang lebih besar daripada tegangan leleh fabrikasi berarti bahwa baja profil I 150x75 memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pengujian kuat lentur dan geser.

5.2.2 Kuat Lentur dan Geser

Hasil penelitian kuat lentur dan geser yang meliputi hasil eksperimen dan hasil teoritis disajikan dalam tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Beban hasil eksperimen dan hasil teoritis

Jenis Sampel	Ptotal eksperimen (kg)	Plentur (kg)	Pkombinasi (kg)
Utuh	15560	28897,2342	17430,4949
Castella 1	11060	26921,5180	11161,2770
Castella 2	13560	32138,9503	14276,9764
Castella 3	16060	33742,1351	17731,6132
Castella 4	15060	24642,8704	16632,6608

Hal-hal yang perlu dibahas dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Momen inersia dan modulus penampang profil

Sesuai dengan konsep awal disain profil *castella*, yaitu merubah profil menjadi lebih tinggi, maka semua *castella* mengalami kenaikan tinggi badan, sehingga momen inersia dan modulus penampang profil juga semakin meningkat. *Castella* yang memiliki badan profil paling tinggi adalah pada sampel *castella* 1,

sedangkan perubahan tinggi yang paling sedikit adalah pada sampel *castella* 4. Dengan demikian sampel *castella* 1 memiliki momen inersia dan modulus penampang profil yang paling besar.

Syarat ideal untuk tinggi profil *castella* adalah tidak boleh lebih dari 1,5 kali tinggi profil asli. Apabila profil *castella* terlalu tinggi ($d_g > 1{,}5d_h$) maka akan mudah terjadi tekuk dengan beban yang relatif masih kecil. Ini terjadi pada sampel *castella* 1 (d_g=22,2 cm) yang memiliki tinggi profil lebih dari $1{,}5d_h$.

Untuk profil yang terlalu tinggi, d_T yang dipakai menjadi terlalu kecil, sehingga mudah terjadi patah pada daerah T yang merupakan daerah kritis dari profil *castella*. Proporsionalitas sampel *castella* 4 sesuai dengan kriteria sebagai profil *castella*, yaitu memiliki tinggi badan tidak lebih dari 1,5 kali profil asli sehingga kapasitas lentur dan geser semakin meningkat.

2. Beban

Beban yang dihasilkan oleh sampel pada pengujian sebagian besar lebih kecil daripada beban yang dihasilkan dari perhitungan analitis (dalam hal ini Pkombinasi). Hal ini akibat kondisi sampel yang kurang sempurna dalam disain, karena keterbatasan alat pada pabrik pembuatan profil *castella*. Kondisi sampel yang kurang menguntungkan ini terutama pada kekurangsimetrisan antara ujung balok yang satu dengan yang lain, terutama pada sampel yang tinggi. Pada waktu eksperimen berlangsung, sebelum balok mencapai kondisi maksimum balok sudah mengalami

rusak terlebih dahulu yang disebut dengan keruntuhan prematur, sehingga tidak dapat mencapai beban seperti pada hasil teoritis.

3. Tekuk (*buckling*)

Sampel *castella* 3 menghasilkan beban terbesar dibandingkan dengan sampel yang lain. Hal ini berkaitan dengan kemampuannya dalam menahan tekuk. Semakin tinggi profil (d_T semakin kecil) ditambah dengan kekurangsimetrisan antara ujung-ujung balok sampel, maka tekuk (*buckling*) yang terjadi semakin besar. Tekuk yang besar dapat mengurangi kekuatan profil. Untuk sampel *castella* yang lebih tinggi daripada *castella* 3 mengalami tekuk yang besar, sehingga tidak kuat menahan beban. Ini dapat dilihat dari data hasil pengujian yang menunjukkan bahwa sampel *castella* 1 (d_T=35 mm) adalah sampel yang paling lemah dalam menerima beban.

Pada sampel *castella* 4, beban terhenti pada lendutan yang cukup besar sebelum mencapai beban di atas sampel utuh.

4. Kapasitas lentur dan geser

Kapasitas lentur dan geser suatu profil merupakan kemampuan profil untuk menerima beban yang mengakibatkan terjadi lentur dan geser. Dari tabel 5.8 terlihat bahwa sampel *castella* 3 adalah profil yang mempunyai kekuatan terbesar dalam menerima beban, sehingga dapat dikatakan bahwa profil ini memiliki kapasitas lentur dan geser yang paling besar.

Seperti diketahui bahwa tegangan lentur pada *castella* terdiri dari tegangan lentur utama dan tegangan lentur sekunder. Sampel *castella* 3 mempunyai tegangan

lentur sekunder yang cukup besar dibanding dengan sampel *castella* yang lain, sehingga menghasilkan nilai P (beban) yang paling besar.

Apabila dibandingkan, hasil eksperimen tidak jauh berbeda dengan hasil teoritis dari analisis kombinasi lentur dan geser. Namun, apabila dibandingkan dengan hasil analisis lentur murni, hasil eksperimen jauh lebih kecil. Hal ini disebabkan pengaruh geser yang terjadi pada tiap sampel, sehingga kekuatan balok dibagi untuk menahan lentur dan geser. Oleh karena itu, selain untuk keperluan lentur, beban maksimum yang dihasilkan tiap sampel juga didistribusikan untuk keperluan geser yang tidak kecil.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian di laboratorium dan pembahasan uji kapasitas lentur dan geser dengan menggunakan baja profil I 150x75, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Profil I 150x75 dengan nilai tegangan leleh fabrikasi sebesar 36 ksi memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan uji kapasitas lentur dan geser.
2. Kenaikan tinggi badan mengakibatkan kenaikkan momen inersia pada balok baja modifikasi, sehingga dapat meningkatkan kemampuan lentur profil. Tapi tidak selalu setiap kenaikan tinggi badan tersebut menjadikan profil lebih kuat, ini dibuktikan pada hasil teoritis maupun hasil eksperimen yang menunjukkan bahwa profil c*astella* yang mampu mendukung beban terbesar adalah *castella* dengan tebal d_T sebesar 50 mm. Hal ini sesuai dengan syarat ideal untuk tinggi profil *castella* yaitu tidak boleh lebih dari 1,5 kali tinggi profil asli.

3. Bentang sampel yang relatif pendek sangat berpengaruh terhadap geser yang terjadi, sehingga analisis penelitian yang tepat adalah terhadap gabungan lentur dan geser.
4. Kapasitas lentur dan geser adalah kemampuan profil dalam menerima beban yang mengakibatkan lentur dan geser, sehingga dapat dikatakan bahwa sampel *castella* 3, yaitu *castella* dengan d_T sebesar 50 mm, memiliki kapasitas lentur dan geser terbesar. Hal ini disebabkan pengaruh tegangan lentur sekunder pada sampel tersebut yang cukup besar.
5. Berat profil relatif tetap, yaitu berat profil dalam keadaan utuh dengan berat profil setelah menjadi *castella*, tidak ada pertambahan yang berarti.
6. Karena badan profil menjadi lebih langsing, maka terjadi bahaya lipat (*local buckling*) pada profil *castella* yang menyebabkan keruntuhan prematur pada balok.
7. Pengurangan luas badan pada profil *castella* berpengaruh kecil terhadap tegangan lentur yang terjadi.

6.2 Saran-saran

Dari kesimpulan di atas, maka balok profil kecil apabila dimodifikasi dengan benar, maka akan mampu menahan beban lebih besar. Namun demikian, perlu diperhatikan saran-saran seperi berikut ini.

1. Untuk menaikkan beban yang mampu didukung oleh balok *castella,* maka tinggi badan balok tidak boleh lebih dari 1,5 kali tinggi profil asli.
2. Dalam pemakaian di lapangan, pada bagian badan profil sebaiknya diberi pengaku untuk menghindari terjadinya tekuk dan puntir.
3. Kesimetrisan antara ujung-ujung balok harus diperhatikan dalam penyambungan, sehingga kekuatan profil dapat lebih optimal.
4. Variasi sampel untuk satu model lubang harus lebih banyak untuk ketelitian perbandingan kenaikkan kapasitas lentur dan geser persampel.
5. Untuk memperoleh data eksperimen yang lebih baik dapat dipakai pembebanan dengan interval yang tidak terlalu besar, misal tiap 200 kg.
6. Sebaiknya memakai tiga buah *dial gauge*, satu buah dipasang pada tengah-tengah bentang profil bagian bawah untuk mendapatkan data lentur, satu buah dipasang pada salah satu ujung balok sisi sebelah kanan badan profil dan satu buah lagi dipasang pada ujung yang lain dari balok sisi sebelah kiri badan profil. Dua buah *dial gauge* yang dipasang pada masing-masing ujung balok tersebut adalah untuk mendapatkan data tekuk yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

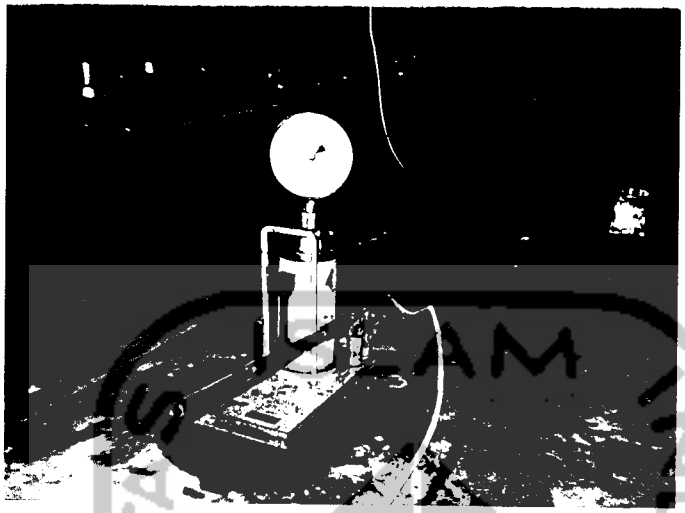
1. American Institute of Steel Construction, *Manual of Steel Construction, Allowablle Stress Design,* Ninth Edition, AISC, 1989.
2. American Institute of Steel Construction, *Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design,* First Edition, AISC, 1986.
3. Edwin H. Gaylord, Jr., Charles N. Gaaylord, James E. Stallmeyer, *Design of Steel Structures*, Third Edition, McGraw-Hill International Edition, Singapore, 1992.
4. Leonard Spiegel, George F. Limbrunner, *Desain Baja Struktur Terapan*, PT. ERESCO, Bandung, 1991.
5. Omer W. Blodgett, *Design of Welded Structure,* 4.7-(1-24).
6. Padosbajayo, *Struktur Baja I,* Edisi ke-3 dengan perbaikan, NAFIRI, Yogyakarta, 1994.
7. Rene Amon, Bruce Knobloch, Atanu Mazumder, *Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur dan Arsitek I,* PT. PRADNYA PARAMITA, Jakarta, Mei 1988.
8. Salmon, C. G, Johnson, J. E., *Struktur Baja I, Disain dan Perilaku*, Jilid 1, Edisi ke-3, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1992.

Lampiran

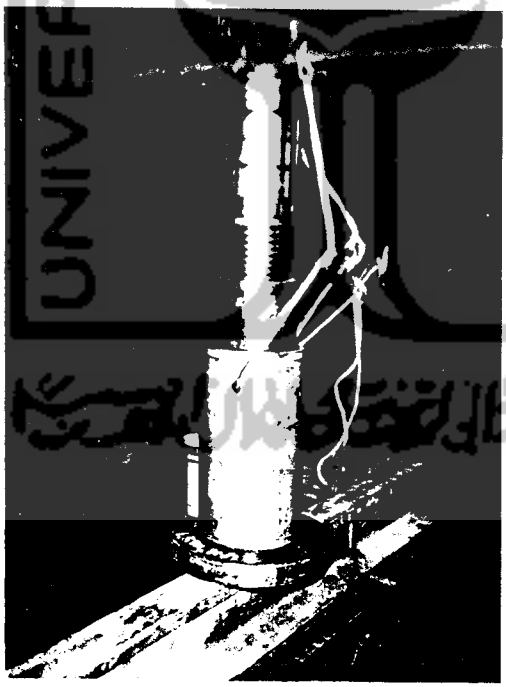
Foto-foto pada waktu pengujian lentur dan geser

Sampel-sampel yang akan diuji

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Pompa hidrolik (*Hydrolick pump*)



Jack load

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Dudukan yang akan dipakai sebagai tumpuan sendi-rol

Pengujian sampel utuh

Pengujian sampel *castella*

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA