

LAPORAN TUGAS AKHIR
**STABILITAS BALOK BADAN TERBUKA (*OPEN WEB
JOIST*) GABUNGAN PROFIL C CANAI DINGIN
DENGAN VARIASI TINGGI (*h*)**

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat sarjana S-1 Teknik Sipil



Oleh :

N a m a : Eko Subandriya P
No. Mhs : 94 310 220
NIRM : 940051013114120214

N a m a : Andri Resmana
No. Mhs : 96 310170
NIRM : 960051013114120145

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2002**

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
STABILITAS BALOK BADAN TERBUKA (*OPEN WEB*
***JOIST*) GABUNGAN PROFIL C CANAI DINGIN**
DENGAN VARIASI TINGGI (*h*)

N a m a : Eko Subandriya P
No. Mhs : 24 310 226
NIRM : 966051013114120214
N a m a : Andri Resmana
No. Mhs : 26 310170
NIRM : 966051013114120145


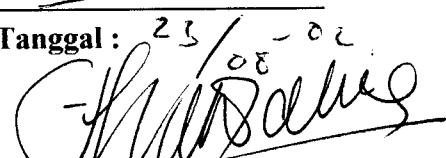
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. M. Samsudin, MT

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Suharyatmo, MT

Dosen Pembimbing II


Tanggal : 23/08-02

Tanggal : 23/8/02

Motto dan Persembahan

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

(QS. Al-Baqarah : 255).

“ Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”

(QS. Al-Mujadillah : 11).

“, Katakanlah : “ adakah orang-orang yang mengetahui sama dengan orang-orang yang tidak mengetahui ?. Sesungguhnya orang-orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran “

(QS. Az-Zumar : 9).

Persembahan,

*Dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah SWT,
Kupersembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada :
Bapak dan Ibunda tercinta,
adik-adikku, serta 'Habibiku'
yang selalu memberi semangat dalam bekerja.*

Persembahan,

*Dengan mengucap syukur kehadiran Allah SWT,
Kupersembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada :
Ayah dan Bunda tercinta,
kakak-kakakku, serta 'Habibiku'
yang selalu memberi semangat dalam bekerja.*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu' alaikum Wr. Wb.

Puji dan puja syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkah, rahmat dan hidayah-Nya, serta sholawat serta salam semoga tetap tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Penyusunan laporan ini merupakan kewajiban bagi setiap mahasiswa, khususnya di lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, guna melengkapi salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan S-1. Laporan ini disusun berdasarkan hasil analisis laboratorium dan studi pustaka dari literatur yang berkaitan. Sesuai subyek penelitian ini, maka laporan ini diberi judul "STABILITAS BALOK BADAN TERBUKA (*OPEN WEB JOIST*) GABUNGAN PROFIL C CANAI DINGIN DENGAN VARIASI TINGGI (*h*)".

Selama pelaksanaan di laboratorium, penyusunan dan penulisan laporan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dan petunjuk yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian tugas akhir ini. Dalam kesempatan yang baik ini, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. M. Samsudin, MT yang selalu memberikan petunjuk dan bimbingan selaku Dosen Pembimbing I tugas akhir.
2. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT yang telah memberikan petunjuk dan bimbingan selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir.
3. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
4. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
5. Bapak dan Ibu Dosen serta karyawan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta..
6. Bapak dan Ibunda, kakak-kakakku dan adikk-adikku tercinta, yang selalu memberi dukungan baik moral maupun material.
7. Dan teman-teman seperjuangan yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu, serta semua pihak yang telah membantu pelaksanaan dan penulisan tugas akhir ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan mendapatkan pahala yang setimpal dari Allah SWT.

Seperti kata peribahasa *tiada gading yang tak retak*, demikian pula dengan laporan tugas akhir ini. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan segala

kritik dan saran yang membangun, agar laporan ini menjadi lebih sempurna lagi dan dapat bermanfaat.

Akhirnya, penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan semua pihak yang membutuhkan.

Billahitaufiq wal hidayah,

Wassalamu'alaikum, Wr. Wb.

Jogjakarta, Juli 2002

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SIMBOL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
INTISARI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1. Pendahuluan	9
3.2. Tekuk Pelat yang ditekan secara Merata	15
3.2.1. Tekuk Lokal	20
3.2.1.1. Tekuk Lokal pada Sayap	21
3.2.1.2. Tekuk Lokal pada Badan	22
3.2.2. Tekuk Primer	24

3.3. Batang Tarik	25
3.4. Batang Tekan	26
3.5. Alat Sambung Las	29
3.6. Tegangan Residu	32
3.7. Hubungan Antara Ketinggian (h) dengan Batang Horizontal Sisi Atas ..	33
3.8. Hubungan Momen dengan Kelengkungan	40
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	44
4.1. Metodologi Penelitian	44
4.2. Bahan dan Peralatan	45
4.2.1. Bahan	45
4.2.2. Peralatan Penelitian	45
4.3. Model Benda Uji	48
4.4. Prosedur Penelitian	51
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	54
5.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja dan Kuat Geser Las	54
5.2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Baja <i>Open Web Joist</i>	54
5.2.1. Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian	55
5.2.2. Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian	66
5.3. Pembahasan	72
5.3.1. Perilaku Elemen <i>Open Web Joist</i>	72
5.3.2. Tekuk Lentur <i>Open Web Joist</i> ditinjau dari hubungan Momen-Kelengkungan	76
5.3.3. Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian Sekarang	79
5.3.3.a. Penelitian Sebelumnya	79
5.3.3.b. Penelitian Sekarang	83

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	88
6.1. Kesimpulan	89
6.2. Saran.....	89
 DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

1. Tabel 3.1. Persyaratan batang tarik	26
2. Tabel 3.2. Kekuatan las	30
3. Tabel 5.1. Hasil pengujian kuat tarik baja dan kuat geser las	54
4. Tabel 5.2. Hubungan beban lendutan hasil pengujian benda uji I	55
5. Tabel 5.3. Hubungan beban lendutan hasil pengujian benda uji II	57
6. Tabel 5.4. Hubungan beban lendutan hasil pengujian benda uji III	60
7. Tabel 5.5. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji	65
8. Tabel 5.6. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji II	67
9. Tabel 5.7. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji III	69
10. Tabel 5.8. Kapasitas elemen benda uji I	72
11. Tabel 5.9. Kapasitas elemen benda uji II	73
12. Tabel 5.10. Kapasitas elemen benda uji III	74
13. Tabel 5.11. Nilai kekakuan benda uji I, II dan III dengan $L = 6,00$ m.....	76

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1. a. Profil saling berhadapan	7
b. Profil saling membelakangi	7
2. Gambar 2.2 Profil saling berhadapan atas bawah	8
3. Gambar 3.1. a. Peristiwa pembebanan dan lendutan	11
b. Diagram momen	11
c. Diagram gaya geser	11
4. Gambar 3.2. a. Gaya batang yang terjadi	12
b. Diagram momen	12
c. Potongan melintang	12
5. Gambar 3.3. a. Perilaku elemen	14
b. Grafik hubungan h / t dengan F_y	14
6. Gambar 3.4. a. Pelat yang mendapat tekan merata	16
b. Elemen pelat dalam posisi lentur	16
c. Pelat-pelat pada sumbu x dan y	16
7. Gambar 3.5. Tekuk pada sayap	21
8. Gambar 3.6. Tekuk horizontal pada badan	22
9. Gambar 3.7. Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar	23
10. Gambar 3.8. Kekakuan pelat yang mengalami tekan tepi	24
11. Gambar 3.9. Batang lurus dibebani gaya aksial desak	27
12. Gambar 3.10. Faktor panjang efektif (k) untuk kolom yang dibebani secara terpusat dengan berbagai kondisi ideal	28
13. Gambar 3.11. Las sudut	31
14. Gambar 3.12. Las sudut dengan sudut $\alpha = 90^\circ$	32
15. Gambar 3.13. Las sudut dengan sudut $\alpha = 0^\circ$	32
16. Gambar 3.14. Benda uji I, II, III	34

17. Gambar 3.15. Daerah plastis dan pengerasan regangan pada hubungan tegangan-regangan untuk baja	35
18. Gambar 3.16. Grafik tak berdimensi untuk kekuatan pelat dengan tekanan tepi	36
19. Gambar 3.17. Kekuatan pelat untuk elemen yang tidak diperkuat (siku tunggal) dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas	38
20. Gambar 3.18. Hubungan antara beban (P) dan lendutan (Δ)	40
21. Gambar 3.19. Hubungan antara momen (M) dan kelengkungan (θ)	42
22. Gambar 4.1. <i>Flow chart</i> metodologi penelitian	44
23. Gambar 4.2. <i>Universal Testing Material Shimadzu UMH 30</i>	46
24. Gambar 4.3. Dukungan rol dan sendi	46
25. Gambar 4.4. <i>Loading frame</i>	47
26. Gambar 4.5. <i>Dial gauge</i>	47
27. Gambar 4.6. <i>Hidraulik jack</i>	48
28. Gambar 4.7. a. Model benda uji I dengan 3 buah <i>dial gauge</i>	49
b. Model benda uji II dengan 3 buah <i>dial gauge</i>	49
c. Model benda uji III dengan 3 buah <i>dial gauge</i>	50
29. Gambar 4.8. Benda uji tarik profil C canai	50
30. Gambar 4.9. Benda uji kuat geser las	51
31. Gambar 5.1. Grafik hubungan beban-lendutan benda uji I	56
32. Gambar 5.2. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji I ..	57
33. Gambar 5.3. Grafik hubungan beban-lendutan benda uji II	59
34. Gambar 5.4. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji II ..	60
35. Gambar 5.5. Grafik hubungan beban-lendutan benda uji III	62
36. Gambar 5.6. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji III	62
37. Gambar 5.7. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan benda uji I, II dan III	63
38. Gambar 5.8. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan dengan hasil perhitungan numeris SAP 90 benda uji I, II dan III	64

39. Gambar 5.9. Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji I	66
40. Gambar 5.10. Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji II	68
41. Gambar 5.11. Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji III	70
42. Gambar 5.12. Grafik perbandingan hubungan momen-kelengkungan dengan benda uji I, II dan III	71
43. Gambar 5.13. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan benda uji I, II, III	80
44. Gambar 5.14 Grafik perbandingan hubungan momen-kelengkungan benda uji I, II, III	81
45. Gambar 5.15 Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan benda uji I, II, III	83
46. Gambar 5.16 Grafik perbandingan hubungan momen-kelengkungan benda uji I, II, III	84

DAFTAR SIMBOL

A	= Luas penampang, mm ²
b	= lebar sayap profil, mm
h	= tinggi badan profil, mm
t	= tebal profil, mm
E	= modulus elastisitas, N/mm ²
k	= koefisien tekuk
μ	= angka poisson
π	= konstanta
f	= tegangan, N/mm ²
F _{cr}	= tegangan kritis, N/mm ²
F _y	= tegangan leleh, N/mm ²
F _a	= tegangan ijin, N/mm ²
P	= beban, kN
P _{cr}	= beban kritis, kN
M	= momen, kN.m
M _n	= momen nominal, kN.m
I	= momen Inersia, m ⁴
Δ	= lendutan, mm
ϕ	= kelengkungan, 1/mm
θ	= sudut kelengkungan, °
d	= diameter, mm
Q	= faktor bentuk profil
Q _s	= faktor bentuk elemen yang tak diperkuat
Q _a	= faktor bentuk elemen yang diperkuat
λ	= kelangsingan
C _c	= kelangsingan kritik
L	= panjang balok, m
L _k	= panjang tekuk, m
r	= jari-jari kelembaman, m

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran I Tegangan bahan profil C canai
2. Lampiran II Perhitungan dimensi batang pengisi
3. Lampiran III Kontrol perhitungan rencana batang pengisi
4. Lampiran IV Perhitungan batang tekan profil C canai
5. Lampiran V Kontrol perhitungan.las
6. Lampiran VI Hasil uji pendahuluan
7. Lampiran VII. Hasil analisis SAP 90 beban rencana

INTISARI

Penggunaan profil C canai dingin sebagai komponen struktur tekan pada bangunan banyak ditemui di lapangan. Profil C ini rawan terhadap peristiwa tekuk lokal karena elemen pelat pembentuk penampang mempunyai rasio lebar terhadap tebal relatif besar. Stabilitas struktur lentur canai dingin perlu diperhatikan karena dapat mengakibatkan kegagalan dini, yaitu keruntuhan pada tegangan yang relatif rendah. Ketidakstabilan struktur lentur dapat berupa tekuk lokal (*local buckling*) dan tekuk puntir lateral (*lateral torsional buckling*). Tekuk lokal merupakan fungsi rasio lebar terhadap tebal (b/t), sedangkan tekuk puntir lateral merupakan fungsi rasio panjang terhadap jari-jari minimum (L_b/r_y).

Penelitian eksperimental tiga benda uji struktur rangka batang dengan profil C canai dingin gabungan yang dihubungkan dengan batang vertikal dan diagonal menggunakan las. Tiga benda uji menggunakan variasi ketinggian (h) masing-masing 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m. Penelitian kuat lentur balok badan terbuka canai dingin gabungan bertujuan untuk mengetahui kapasitas profil balok badan terbuka, dikombinasikan dengan baja tulangan polos sebagai batang pengisi dirangkai dengan variasi tinggi dan juga untuk mempelajari kekakuan struktur lentur profil C canai dingin, yaitu hubungan Beban-Lendutan ($P-\Delta$), Momen-Kelengkungan ($M-\phi$) dan Daktilitas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebelum struktur runtuh akibat pembebanan statik bertahap mengalami tiga fase, yaitu *fase elastis*, *fase elastis-plastis*, dan *fase plastis*. Profil C canai dingin dengan $(b/t) \geq 25$ mengalami keruntuhan pada tegangan rendah, yaitu 136,161 Mpa. Hal ini disebabkan profil C mengalami tekuk lokal pada sayap. Usaha untuk menaikkan tegangan kritis dengan mengubah ketinggian (h) profil C canai dingin sudah berhasil, walaupun ketinggian tersebut dibatasi untuk mencegah terjadinya tekuk lateral.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada saat ini baja merupakan bahan bangunan yang banyak digunakan untuk elemen suatu struktur bangunan sipil. Seiring kemajuan teknologi penggunaan baja sebagai struktur bangunan semakin meningkat, artinya telah terjadi kenaikan volume penggunaan baja. Baja sebagai bahan struktur mempunyai keuntungan kekuatan yang cukup tinggi serta merata. Kekuatan yang tinggi ini mengakibatkan struktur yang terbuat dari baja pada umumnya mempunyai ukuran tampang yang relatif kecil jika dibandingkan dengan struktur dari bahan lainnya, seperti beton. Oleh karena itu, beban struktur cukup ringan sekalipun berat jenis baja tinggi.

Penggunaan baja sebagai struktur dalam inovasinya diharapkan untuk efisien tanpa meninggalkan kualitas dan kekuatannya. Efisiensi penggunaan baja dapat diperoleh dengan mengganti baja struktural dengan merangkaikan baja non-struktural, dalam hal ini profil baja *Cold-formed* yaitu profil baja yang dibentuk waktu dingin dari pelat yang relatif tipis yang dikombinasikan dengan menggunakan *bracing* dari baja tulangan yang dikenal dengan istilah *Open Web Joist*. *Joist* baja sendiri adalah rangkaian baja standart yang diprepabrikasikan untuk digunakan pada awalnya sebagai penumpu langsung atap pada gedung (Spiegel dan Limbrunner,

1991). Elemen struktur ini biasanya juga digunakan bersama dek logam baja gelombang dan memberikan sistem lantai yang ekonomis dan efisien pada gedung yang dibebani relatif ringan.

Open Web Joist atau balok badan terbuka memiliki penampang yang langsing dan akan menyebabkan tidak kompak, yang berarti akan dapat terjadi keruntuhan tekuk lentur jauh di bawah tegangan leleh baja. Dengan kondisi penampang yang demikian, maka perlu adanya usaha untuk meningkatkan kapasitas atau kekuatannya, yaitu dengan menggabungkan *Open Web Joist* secara berhadapan dan dengan memberikan tinggi batang pengisi berbeda yang dapat membuat batang horizontal lebih langsing. Dengan usaha tersebut diharapkan akan dapat meningkatkan kekakuan sehingga kapasitas atau kekuatan profil juga meningkat

Walaupun belum ada peraturan yang membahas tentang profil (*Cold-formed*) yang tidak memenuhi tekuk setempat, *Open Web Joist* yang terbuat dari canai dingin tersebut sudah banyak digunakan untuk komponen struktur, meskipun dalam bentang-bentang yang masih terbatas. Untuk itu persamaan atau formula tekuk setempat (non kompak) dari *Open Web Joist* yang terbuat dari canai dingin perlu dipelajari dan diketahui.

1.2. Tujuan

1. Untuk mengetahui kapasitas profil balok badan terbuka (*Open Web Joist*) canai dingin gabungan, dikombinasikan dengan baja tulangan polos sebagai batang pengisi dirangkai dengan variasi tinggi..
2. Mengetahui perbandingan kekakuan balok badan terbuka gabungan yang menggunakan variasi tinggi batang pengisi dari hubungan lendutan dan momen kelengkungan..

1.3. Batasan Masalah

1. Profil baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja profil C canai dingin gabungan sebagai batang horizontal menerus yang dirangkai saling berhadapan antar sayapnya atas bawah dengan batang pengisi yang menggunakan variasi tinggi.
2. Ukuran *Open Web Joist* dengan bentang 3,00 meter
3. *Bracing* menggunakan baja tulangan polos (BjTp) Ø13, 16 dan 19 mm.
4. Untuk rangka batang Pratt dengan variasi tinggi batang pengisi vertikal 0,40; 0,60; dan 0,80 meter.
5. Perletakan atau tumpuan diasumsikan sebagai sendi dan rol.
6. *Open Web Joist* hanya dibebani dengan pembebanan sentris.
7. Sambungan profil dengan las yang menggunakan elektroda E70XX.
8. Dari penelitian ini yang ditinjau adalah kapasitas dan kekakuan profil.

9. Balok badan terbuka merupakan satu kesatuan monolit, sehingga deformasi profil atas dan bawah sama.

1.4. Manfaat

1. Mengetahui kekakuan dan *ductilitas* profil *Open Web Joist* dengan menggunakan kurva hubungan beban-lendutan.
2. Mengetahui tegangan kritis yang terjadi pada profil *Open Web Joist* dengan menggunakan *ductilitas* lengkung (*curvature ductility*) dan momen maksimum dari kurva hubungan momen kelengkungan sehingga dapat dijadikan sebagai dasar perencanaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tempat pertemuan batang-batang dalam perencanaan struktur rangka batang, sering diasumsikan sebagai keadaan ideal seperti keadaan sendi maupun jepit sempurna seperti yang terjadi di lapangan, dimana sambungan pada joint dipakai sambungan las, sambungan baut, maupun dipakai sambungan paku keling. Tetapi sifat dari sambungan tersebut tidak sama persis dengan keadaan ideal seperti sendi maupun jepit sempurna (Padosbajayo, 1991).

Sebuah struktur kerangka dimana batang-batang komponen bertemu pada simpul-simpul yang kaku, seperti yang dilambangkan oleh simpul-simpul yang dilas pada baja struktural atau simpul-simpul yang dicor secara monolit pada beton bertulang disebut dengan kerangka kaku (Chu-Kia Wang, 1985).

-- Jika suatu struktur rangka *frame* memiliki kekakuan yang jauh lebih besar dalam satu arah dibandingkan dengan arah yang lain dapat diperlakukan sebagai portal bidang, tetapi jika kekakuan dalam satu arah mempengaruhi arah yang lain maka struktur tersebut merupakan struktur portal ruang (Salmon dan Johnson, 1990).

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

Keruntuhan pelat merupakan rasio lebar terhadap tebal (b/t) dan konstanta (k) yang tergantung pada jenis tegangan, kondisi tepi-tepi pelat, dan rasio panjang terhadap lebar (L/b). Semakin besar (b/t) suatu pelat tegangan kritisnya semakin rendah sehingga keruntuhan lokal terjadi jauh di bawah tegangan lelehnya (Bresler, dkk, 1967).

Kekuatan bentang balok dari profil bentukan dingin yang dibatasi oleh gaya geser dan momen lentur dapat menghasilkan tekuk, puntir, dan leleh pada elemen penyusunnya. Keruntuhan kolom pendek dengan (L/r) kurang dari 20, hanya terjadi keruntuhan tekuk setempat (*local buckling*). Pada kolom menengah untuk (L/r) antara 20-120 keruntuhan *local buckling* terjadi beban di bawah beban *ultimate*, tetapi keruntuhan akhir terjadi dari kombinasi *local buckling* dan keruntuhan sistem (*primary buckling*) (Brasler, dkk, 1967).

Kuat lentur pada pelat umumnya berkaitan dengan sayap dan badan profil. Badan balok yang ramping dapat menyebabkan berbagai persoalan :

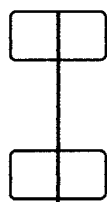
1. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok itu untuk memikul bagian elastis dari momen lentur.
2. Tekuk sayap tekan dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah terjadinya tekuk sedemikian rupa.
3. Tekuk karena geser (Salmon dan Johnson, 1990).

Pembebanan kekuatan batang tekan sampai saat ini menganggap bahwa kedua ujung batang tekan adalah sendi atau tidak mengekang momen, pada

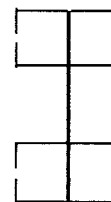
keadaan sesungguhnya pengekangan momen di ujung selalu ada (**Salmon dan Johnson, 1990**).

Tarikan atau tekanan yang bekerja bersama-sama dengan lenturan menimbulkan masalah tegangan gabungan. Jenis batang yang akan digunakan akan tergantung pada jenis tegangan yang dominan. Batang yang mengalami tekanan dan lenturan sekaligus disebut balok-kolom (**Salmon dan Johnson, 1990**).

Pada penelitian ini juga menggunakan tinjauan pustaka penelitian yang pernah dilakukan, yaitu : **penelitian Legowo Aji D. dan A. Subekti (2001)**. Peneliti mengambil pokok bahasan mengenai kekuatan lentur dari profil balok badan terbuka. Pada penelitian ini peneliti menggunakan 4 buah sample dengan 2 variasi, yaitu profil C canai dingin yang digabung saling berhadapan (*front to front*) dengan menggunakan satu buah batang vertikal sebagai *bracing* dan yang kedua, posisi profil C canai dingin saling membelakangi (*back to back*), seperti gambar 2.1 di bawah ini :



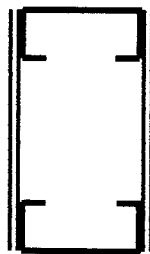
Gambar 2.1 : Gambar profil saling berhadapan



Gambar profil saling membelakangi

Pada penelitian ini peneliti menjelaskan bahwa batang horizontal dari balok profil C canai dingin yang berhadapan memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan balok profil C canai dingin yang saling membelakangi. Dan tekuk pada profil C canai dingin terjadi pada sayap yang terbuat dari pelat tipis dengan perbandingan $(b/t) \geq 25$, dimana tegangan kritisnya jauh di bawah tegangan lelehnya.

Selain itu juga menggunakan tinjauan pustaka penelitian yang sedang dilakukan oleh : **M. Yudha Anrofa dan M. Busron Hanafi (2002)**.Peneliti mengambil pokok bahasan mengenai kekuatan lentur dari profil balok badan terbuka. Pada penelitian ini peneliti menggunakan 3 buah sample dengan variasi sudut, yaitu profil C canai dingin yang digabung saling berhadapan atas bawah dengan menggunakan dua buah batang vertikal sebagai *bracing*, seperti gambar 2.2 di bawah ini :



Gambar 2.2. Gambar profil saling berhadapan atas bawah

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Pendahuluan

Balok merupakan batang yang mengalami beban transversal dan paling efisien bila luasnya disebar sedemikian rupa sehingga jaraknya jauh dari garis netral. Untuk bentang sedang dan beban yang ringan, "balok rangka" (*open web joist*) sering digunakan.

Ada dua filosofi perencanaan yang dipakai dewasa ini. Filosofi perencanaan tegangan kerja (*working stress design*) adalah yang paling umum selama 90 tahun terakhir. Menurut filosofi ini, elemen struktur harus direncanakan sedemikian rupa sehingga tegangan yang dihitung akibat beban kerja atau servis tidak melampaui tegangan ijin yang telah ditetapkan.

Sedangkan keruntuhan pada balok dapat terjadi karena salah satu hal berikut, yaitu jika tegangan-tegangan yang terjadi pada balok melebihi kapasitas tegangan yang dapat diterima oleh material balok tersebut (untuk balok yang relatif besar), dan jika tegangan-tegangan yang terjadi pada balok menyebabkan balok berada dalam keadaan tidak stabil (untuk balok langsing).

Perilaku balok yang mengalami tekuk dapat diuraikan sebagai berikut : Sebuah balok yang dikenai beban yang bertambah secara perlahan-lahan akan mengalami lendutan pada arah beban yang diberikan sampai akhirnya balok tertekuk keluar bidang pembebanan. Keruntuhan dari balok langsing lurus dimulai saat penambahan tegangan pada keadaan tekuk lateral elastis menyebabkan leleh.

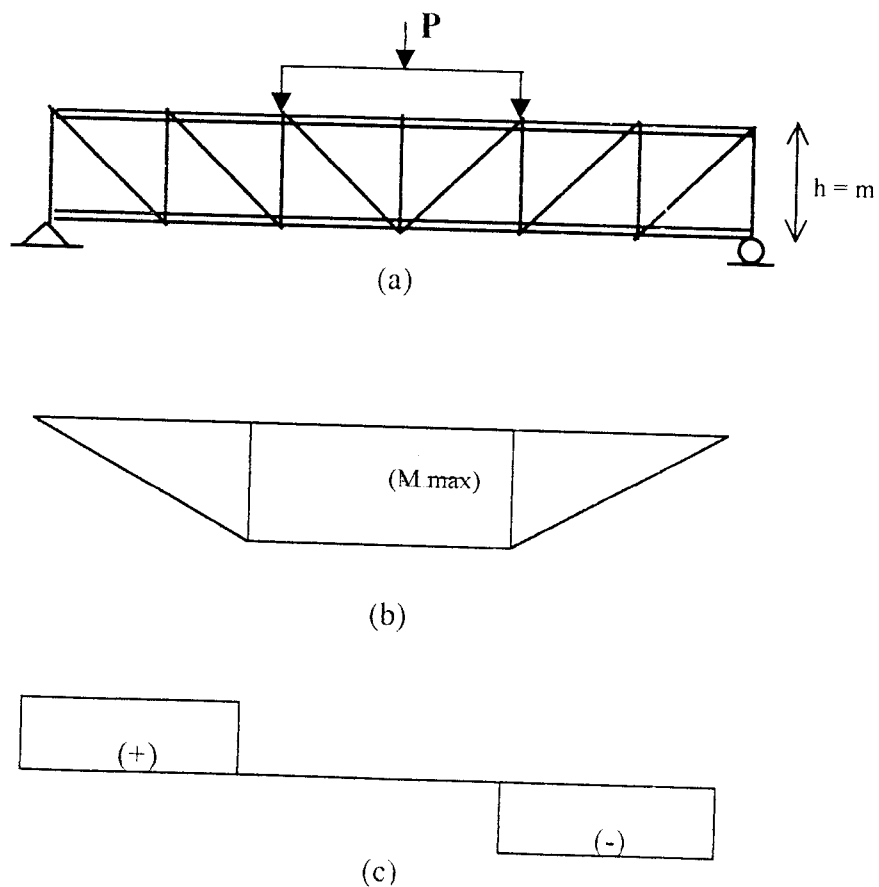
Sebuah balok dengan ketebalan menengah dapat leleh sebelum beban tekuk tercapai, hal ini terjadi akibat pengaruh kombinasi tegangan momen dan residu, dan leleh dapat terjadi setelah tekuk plastis tercapai (*Chen, W.F dan Atsuta, T, 1997*)

Balok yang mengalami ketidakstabilan biasanya dikenal sebagai masalah tekuk pada balok. Balok akan tetap stabil jika beban yang diterimanya relatif kecil, tetapi jika beban yang diterimanya terus menerus diperbesar maka akan terjadi ketidakstabilan. Jika keseimbangan netral dianggap sebagai suatu keadaan transisi antara stabil dan labil, maka beban yang menyebabkan terjadinya keseimbangan netral disebut dengan beban kritis. Untuk itu, dalam menentukan beban kritis yang dapat diterima oleh balok dapat menggunakan konsep keseimbangan.

Struktur balok badan terbuka (*open web*) dengan tumpuan sederhana dapat dipandang sebagai struktur rangka batang, tampak pada Gambar (3.1.a.). Bila struktur tersebut menerima beban transversal yang tegak lurus dengan dengan sumbu longitudinal, maka struktur akan mengalami deformasi dan menerima momen, hal ini mengakibatkan terjadinya lentur pada balok. Pemberian beban lentur diatur sedemikian rupa sehingga beban lentur yang diterimanya adalah beban lentur searah (lentur yang terjadi pada satu bidang). Muatan biasanya dianggap bekerja pada *shear-centre* (titik pusat geser), sehingga torsi dapat diabaikan (*Padosbajayo, 1994*).

Dalam proses analisis, yang perlu ditinjau adalah masalah momen. Nilai momen yang paling kritis akan sangat menentukan dalam perhitungan, seperti

pada Gambar (3.1.b.). Besar momen maksimum (M_{maks}) ini terjadi pada bagian elemen yang tidak mengalami gaya geser ($V=0$), seperti pada Gambar (3.1.c.). Untuk diagram momen dan geser yang terjadi tampak pada Gambar (3.1.b.) dan Gambar (3.1.c.) ini digambar dengan mengabaikan berat balok sendiri dan hanya meninjau kedua beban terpusat (P).

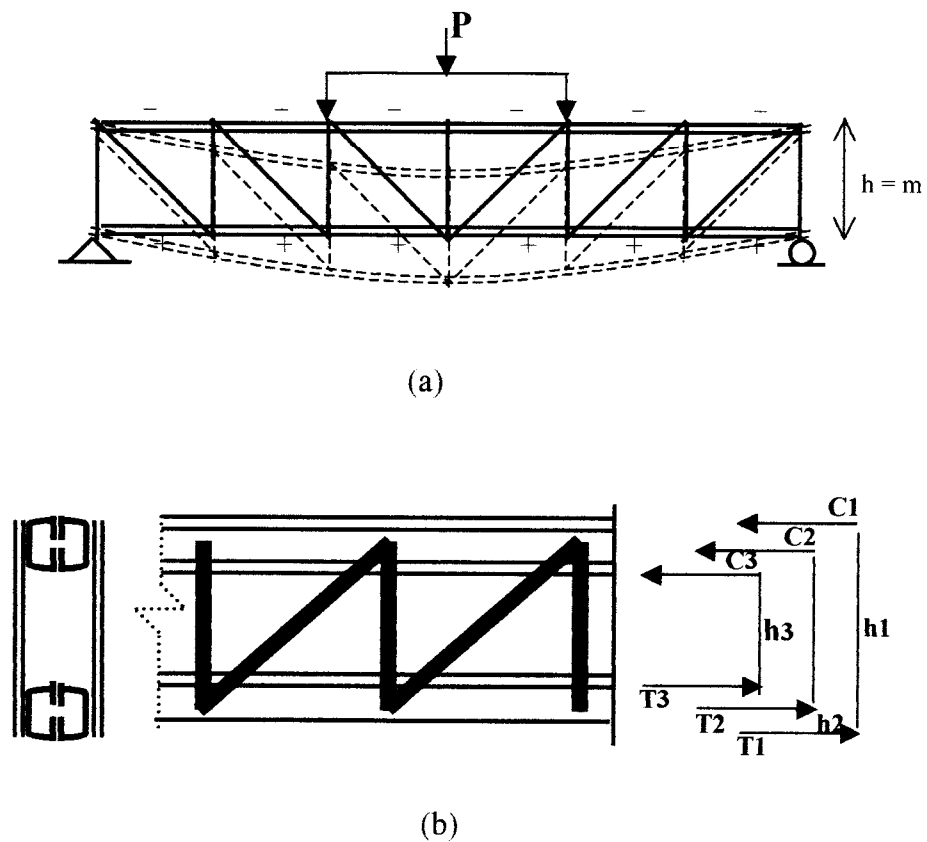


Gambar 3.1.(a). Peristiwa pembebanan dan lendutan.

(b). Diagram momen.

(c). Diagram gaya geser

Jika ditinjau dari gaya-gaya yang bekerja, batang tepi atas dan batang vertikal pada struktur tersebut mengalami gaya tekan, stabilitas struktur tekan perlu mendapat perhatian karena sangat peka terhadap faktor-faktor yang dapat mengakibatkan tekuk (*buckling*), sedangkan pada batang bagian bawah dan batang diagonal akan mengalami gaya tarik seperti Gambar (3.2.a).



Gambar 3.2 (a) Gaya batang yang terjadi

(b). Potongan melintang

Batang tekan dari profil harus diwaspadai, karena profil C canai dingin rawan terjadi tekuk (*buckling*). Gaya tekan $C = P_{cr}$ diperoleh berdasarkan tegangan kritis yang terjadi (P_{cr}) dikalikan dengan luas penampang (A), yaitu :

$$P_{cr} = F_{cr} \cdot A \quad (3.1)$$

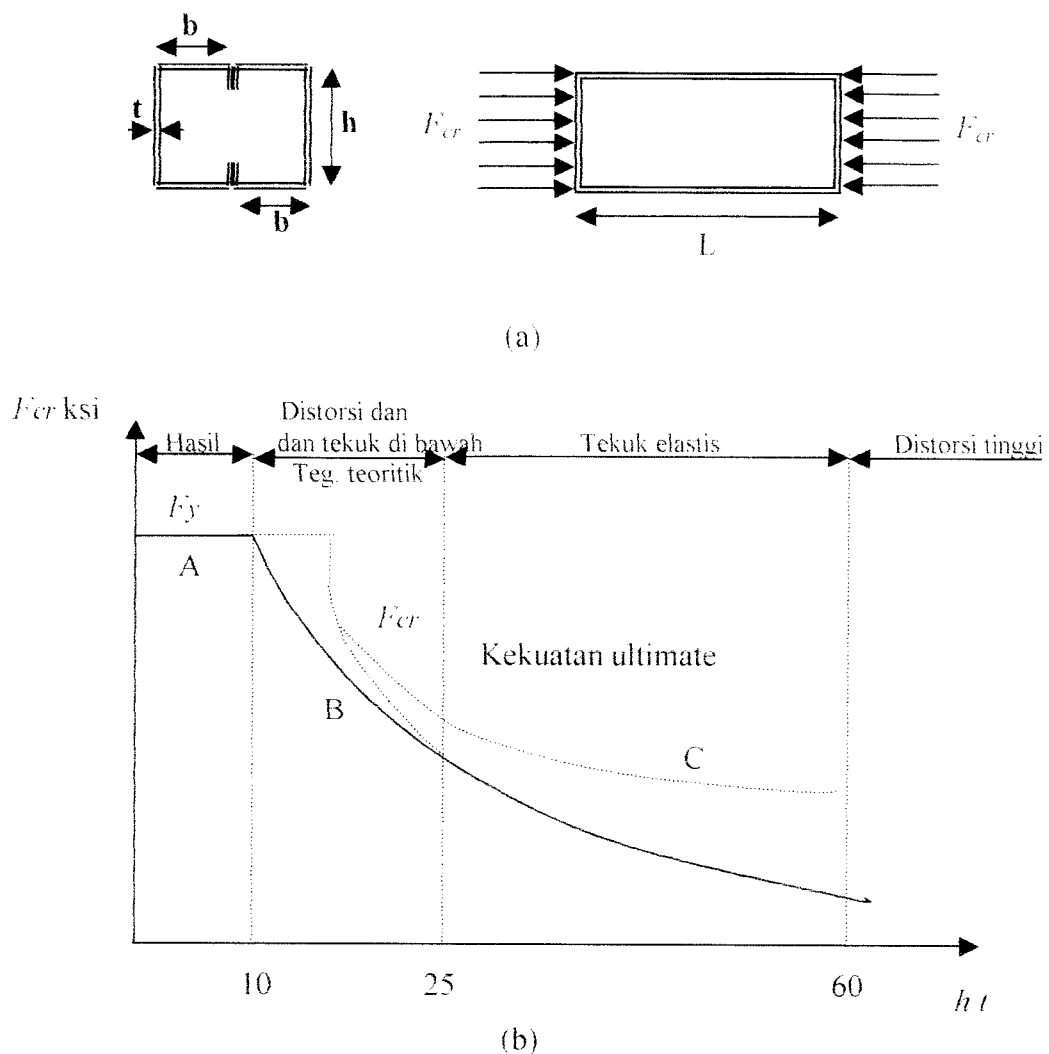
Mengacu pada Gambar (3.2.b), hubungan antara Momen Nominal dengan P_{cr} pada struktur rangka adalah :

$$M = P_{cr} \cdot h \quad (3.2)$$

$$M = C_1 \cdot h_1 + C_2 \cdot h_2 \quad (3.3)$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai h , maka momen nominalnya akan semakin besar, momen internal pada struktur rangka tersebut merupakan penjumlahan dari kopel gaya.

Tegangan kritis profil C canai dingin yang dianalisis berperilaku sebagai pelat dipengaruhi oleh rasio (h/t) pada badan dan nilai (b/t) pada sayap, semakin tinggi nilai perbandingan (h/t) atau (b/t), maka tegangan kritisnya semakin rendah dapat dilihat pada Gambar (3.3.b) (*Salmon dan Johnson, 1990*).



Gambar 3.3. (a) Perilaku Elemen Plat

(b) Grafik hubungan h/t dengan F_y

Sumber : *DESIGN OF STEEL STRUCTURES, 2* (Bresler, Boris, Lin, T.Y. dan Scalzi, J.B.)

Boris Bresler/T.Y. Lin/John B. Scalzi, mengemukakan elemen dengan harga (h/t) kurang dari 10, maka $F_{cr} = F_y$. Hubungan antara kuat tekan dan (h/t) tersebut ditunjukkan pada kurva A, pada Gambar (3.3.b).

Pada elemen dengan (h/t) lebih besar dari 10 kurang dari 25 tekuk lokal dapat terjadi pada tegangan di bawah tegangan tekuk teoritis. Tegangan kritis

untuk elemen tersebut mendekati I_y dan I_{cr} pada (b/t) sama dengan 25, ditunjukkan pada kurva B.

Pada elemen dengan (b/t) antara 25 dan 60 penyimpangan dapat terjadi pada tegangan sama dengan atau lebih besar dari tegangan tekuk teoritis I_{cr} , ditunjukkan pada kurva C.

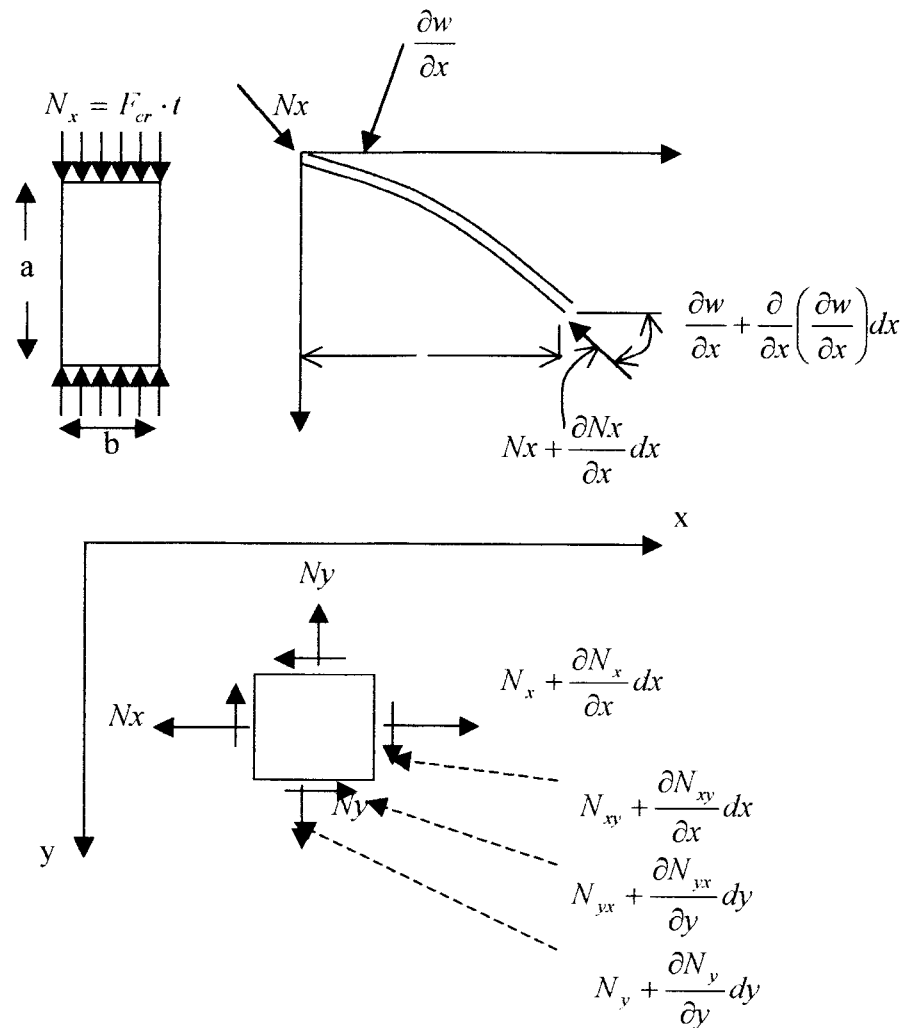
Pada elemen dengan (b/t) lebih besar dari 60 penyimpangan tegangan kritisnya sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa elemen-elemen tersebut tidak dapat digunakan untuk struktur.

Sebagian besar profil C canai dingin memiliki perbandingan (h/t) yang cukup besar di atas 10 sehingga tegangan kritis yang terjadi jauh di bawah tegangan lelehnya.

3.2. Tekuk Pelat yang Ditekan Secara Merata

Pada penampang profil C canai tersusun dari elemen-elemen pelat. Tinjauan kemungkinan tekuk batang tidak hanya berdasarkan angka kelangsingan untuk penampang lintang secara keseluruhan saja, melainkan juga perlu ditinjau kemungkinan adanya tekuk setempat (lokal), karena tekuk lokal dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen pelat pembentuk penampang. Tekuk setempat menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat memikul beban yang harus diterimanya, jika ada beban tambahan; dengan kata lain, efisiensi penampang lintang berkurang (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Tekuk Pelat perlu ditinjau terhadap komponen gaya tekan N_x bila pelat tersebut terdefleksi ke posisi sedikit tertekuk, dengan q yang menyatakan komponen beban transversal akibat lenturan pelat.



Gambar 3.4. a. Pelat yang mendapat tekan merata
 b. Elemen pelat dalam posisi lentur
 c. Pelat-pelat pada sumbu x dan y

(Sumber : Struktur Baja Jilid I, *Salmon and Johnson*, 1994)

Penjumlahan gaya-gaya dalam arah z pada elemen pelat dari Gambar (3.4),
 memberikan :

$$N_x \cdot dy \frac{\partial w}{\partial x} - \left(N_x + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \right) dy \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx \right) = q dx dy \quad (3.4)$$

$$-\left(Nx \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial Nx}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial Nx}{\partial x} dx \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) dy dx = q dy dx \quad (3.5)$$

yang dengan pengabaian suku kecil berordo tinggi memberikan :

$$q = -Nx \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.6)$$

Kemudian, persamaan diferensial untuk lentur pelat homogen :

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = q \quad (3.7)$$

Menjadi :

$$\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{Nx}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (3.8)$$

Yang merupakan persamaan *diferensial parsial* dimana w merupakan fungsi x dan y . Defleksi w dapat dinyatakan sebagai perkalian dalam fungsi x , (X), dan fungsi y , (Y). Lagi pula tekuk dapat diasumsikan memberikan variasi sinusoidal dalam arah x , dengan demikian :

$$w = X(x) Y(y) \quad (3.9)$$

Dengan memisalkan :

$$X(x) = \sin \frac{m\pi x}{a} \quad (3.10)$$

Dimana fungsi X memenuhi syarat defleksi nol dan momen nol dari tumpuan sederhana pada $x = 0$ dan $x = a$. Substitusi Persamaan (3.9) ke dalam Persamaan (3.8), setelah eliminasi suku $\sin \frac{m\pi x}{a}$, akan memberikan :

$$\left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 Y - 2 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \frac{d^2 Y}{dy^2} + \frac{d^4 Y}{dy^4} = + \frac{Nx}{D} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 Y$$

$$\left(\frac{d^4 Y}{dy^4}\right) - 2\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial y^2}\right) + \left[\left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 - \frac{Nx}{D}\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2\right] Y = 0 \quad (3.11)$$

Sebuah persamaan defferensial homogen biasa berpangkat empat.

Penyelesaiannya dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$Y = C_1 \sinh \alpha y + C_2 \cosh \alpha y + C_3 \sin \beta y + C_4 \cos \beta y \quad (3.12)$$

Dimana :

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\frac{Nx}{D}\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}} \quad \text{dan} \quad \beta = \sqrt{-\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\frac{Nx}{D}\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}}$$

Dengan demikian, persamaan defleksi pelat keseluruhan adalah :

$$w = \left(\sin \frac{m\pi x}{a}\right) (C_1 \sinh \alpha y + C_2 \cosh \alpha y + C_3 \sin \beta y + C_4 \cos \beta y) \quad (3.13)$$

Yang memenuhi syarat batas. Dengan mengasumsikan sumbu x sebagai sumbu simetri pelat, yaitu kondisi tumpuan sepanjang kedua tepi yang sejajar arah pembebanan, koefisien fungsi yang ganjil C_1 dan C_3 harus sama dengan nol.

Dengan demikian :

$$w = \left(\sin \frac{m\pi x}{a}\right) (C_2 \cosh \alpha y + C_4 \cos \beta y) \sin (m\pi x/a) \quad (3.14)$$

Dengan kondisi tumpuan sederhana di $y = b/2$ dan $y = -b/2$, syarat di $y = \pm b/2$ adalah :

$$w = 0 = \left(\sin \frac{m\pi x}{a}\right) \left(C_2 \cosh \alpha \frac{b}{2} + C_4 \cos \beta \frac{b}{2}\right)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 = \left(\sin \frac{m\pi x}{a}\right) \left(C_2 \alpha^2 \cosh \alpha \frac{b}{2} + C_4 \beta^2 \cos \beta \frac{b}{2}\right) \quad (3.15)$$

Untuk penyelesaian selain $C_2 = C_4 = 0$, determinan koefisien-koefisien lain harus sama dengan nol. Dengan demikian, maka :

$$(\alpha^2 + \beta^2) \cosh \alpha \frac{b}{2} \cos \beta \frac{b}{2} = 0 \quad (3.16)$$

Karena $\alpha^2 \neq -\beta^2$ kecuali bila $Nx = 0$ (penyelesaian *trivial*), dan karena $\cosh \alpha (b/2) > 1$ satu-satunya cara agar Persamaan (3.16) dapat dipenuhi dalam persoalan nyata adalah untuk :

$$\cos \beta \frac{b}{2} = 0$$

Maka dari itu :

$$\beta \frac{b}{2} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2} \text{ dan seterusnya.}$$

Dengan menggunakan harga terendah dari $\beta (b/2)$ dan mensubstitusikan ke dalam β seperti yang didefinisikan di bawah ini, Persamaan (3.12) memberikan :

$$\begin{aligned} \frac{b}{2} \sqrt{-\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\frac{Nx}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}} &= \frac{\pi}{2} \\ \frac{Nx}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 &= \left[\frac{\pi^2}{b^2} + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \right]^2 \\ Nx &= D \left[\frac{\pi^2 E}{b^2 m \pi} + \frac{m\pi}{a} \right]^2 \\ Nx &= \frac{D \pi^2}{b^2} \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \end{aligned} \quad (3.17)$$

Karena $Nx = I'_{cr} t$ dan $D = Et^3 / [12(1-\mu^2)]$, tegangan tekuk elastis dapat dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) (b/t)^2} \quad (3.18)$$

Dengan kasus khusus yang dibahas di sini :

$$k = \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.19)$$

Koefisien tekuk k merupakan fungsi dari jenis tegangan (dalam kasus ini tekanan merata pada dua tepi yang berlawanan) dan kondisi tumpuan tepi (dalam kasus ini, tumpuan sederhana pada keempat tepi), disamping resiko aspek a/b yang muncul secara langsung dalam persamaan tersebut.

Persamaan untuk tekuk pelat pada Persamaan (3.18), sepenuhnya bersifat umum dalam bentuk k dan penurunannya untuk kasus yang dibahas disini dapat dianggap sebagai ilustrasi prosedur bagi kasus lainnya. Bilangan bulat m menunjukkan banyaknya separuh gelombang yang terjadi dalam arah x pada saat tekuk. Gambar (3.7) menunjukkan bahwa ada harga k minimum untuk jumlah separuh gelombang tertentu, yakni kondisi terlemah. Perhatikan bahwa situasi terlemah ini terjadi pada saat panjang pelat merupakan kelipatan bulat dari lebarnya, dan bahwa kelipatan ini sama dengan banyaknya separuh gelombang.

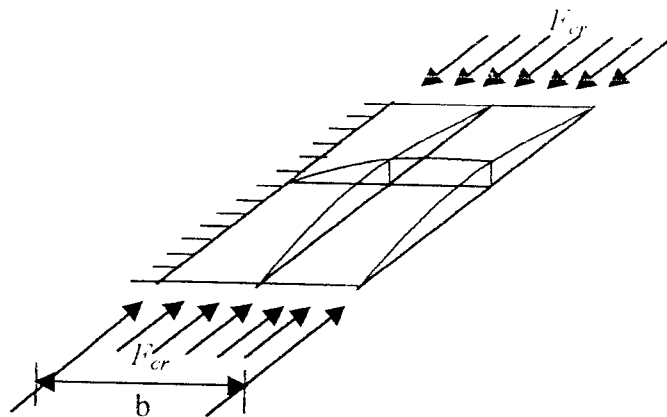
Jadi, dengan $a/b = m$ akan diperoleh $k = 4$. Selanjutnya, bila m bertambah besar, persamaan k menjadi makin datar dan mendekati harga konstan 4 untuk rasio a/b yang besar (*Salmon dan Johnson, 1994*).

3.2.1. Tekuk Lokal

Bila sebuah pelat dipengaruhi secara langsung oleh desakan, lenturan, atau tegangan geser atau oleh gabungan tegangan-tegangan tersebut, maka pelat akan mengalami tekukan secara setempat sebelum seluruh elemen mengalami

kegagalan. Tegangan yang berkompresi secara merata akan mencapai tegangan tekuk, dimana bila tegangan tekuk dicapai maka pelat akan melentur dengan membentuk gelombang yang dipengaruhi oleh syarat-syarat tepi (syarat-syarat batas) dan perbandingan panjang dan lebar (a/b) dengan pendistribusian kembali yang dihasilkan oleh tegangan desak dan penambahan beban, sampai keseluruhan pelat tersebut tertekuk (*Joseph E. Bowles, 1985*).

3.2.1.1. Tekuk Lokal pada Sayap



Gambar 3.5. Tekuk pada Sayap (jepit-bebas)

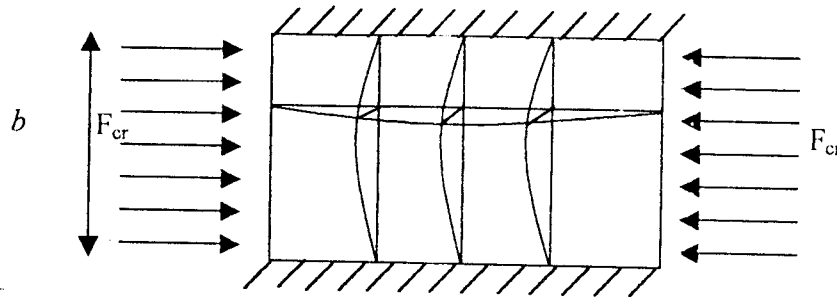
Stabilitas pada sayap dengan kondisi tumpuan tepi jepit-bebas seperti pada Gambar (3.5) sebelum mengalami tekuk diwakili oleh Persamaan (3.20) berikut ini :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.20)$$

Dengan : b adalah lebar sayap, E adalah modulus elastis = 2×10^5 Mpa, angka poisson μ diambil 0,3 (untuk baja dan rasio lebar dengan ketebalan (b/t)), nilai k untuk kondisi yang ditunjukkan pada Gambar (3.5) dan perbandingan L/b ,

seperti pada Gambar (3.7) diperoleh $k = 0.425$. Dari Persamaan (3.4) untuk $F_y = F_{cr} = 240$ Mpa, diperoleh $b/t = 17,882$.

3.2.1.2. Tekuk Lokal pada Badan



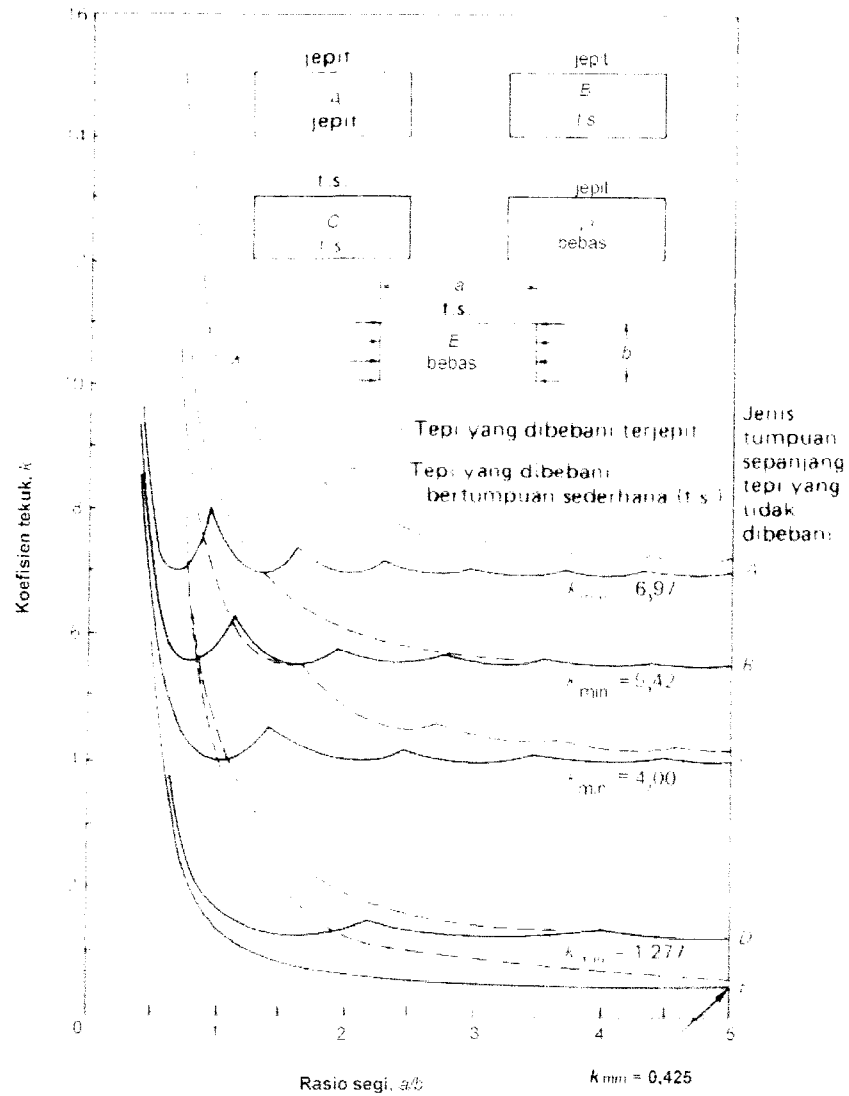
Gambar 3.6. Tekuk horizontal pada Badan (jepit-jepit)

Stabilitas pada badan dengan kondisi tumpuan tepi jepit-jepit sebelum mengalami tekuk seperti pada Gambar (3.6) diwakili oleh Persamaan (3.21) berikut ini:

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.21)$$

dengan nilai k untuk kondisi yang ditunjukkan pada Gambar (3.6) dan perbandingan rasio lebar terhadap tebal (b/t), seperti pada Gambar (3.7) diperoleh $k = 4$. Dari persamaan (3.20) untuk $F_y = F_{cr} = 240$ Mpa, diperoleh $h/t = 54,86$.

Dari persamaan tersebut dapat diambil kesimpulan, bahwa semakin besar b/t (pada sayap) atau h/t (pada badan) maka tegangan F_{cr} semakin rendah karena itu untuk meningkatkan nilai tegangan kritis dilakukan dengan cara menggabungkan 2 plat saling berhadapan antar sayapnya, sehingga akan merubah nilai k , misalnya dari kondisi jepit-jepit dengan k mendekati 6,97 diubah menjadi kondisi t.s-t.s dengan nilai k mendekati 4.



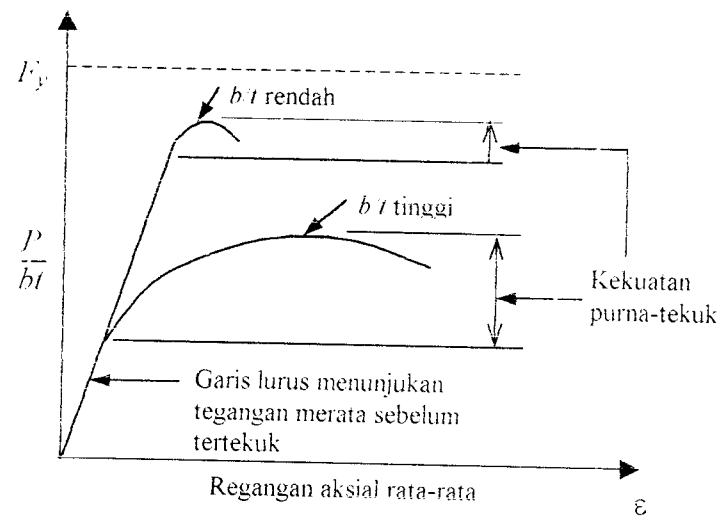
Gambar 3.7. Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar.

(Diambil dari Gerrard dan Becker [43])

Nilai k dipengaruhi oleh perbandingan dari (L/b) dan kondisi dari tepi-pelaplat dimana semakin besar nilai (L/b) maka nilai k akan semakin kecil, dengan demikian F_{cr} akan semakin kecil, nilai k mendekati 0,425, untuk

perbandingan $(l/b) \geq 5$ dan kondisi tepi-tepi pelat adalah tumpuan sederhana-bebas.

Charles G. Salmon dan John E. Johnson menyatakan bahwa pelat yang mempunyai (b/t) relatif besar (badan tidak kompak) kemungkinan mengalami tekuk setempat (*local buckling*) yang sangat besar akibat beban aksial, kemungkinan terjadi pelat akan akan leleh pada sekitar 40% dari kekuatan nominal yang disebut sebagai leleh *premature* seperti terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Kelakuan pelat yang mengalami tekan tepi

3.2.2. Tekuk Primer

Batang tekan (*compression member*) adalah elemen struktur yang mendukung gaya tekan aksial. Walaupun di dalam struktur sesungguhnya jarang dijumpai batang yang benar-benar hanya mendukung gaya tekan aksial. Umumnya pada batang tekan bekerja juga gaya-gaya lain, misalnya momen lentur, gaya lintang dan torsi. Dalam berbagai kasus sering dijumpai kombinasi

tekan lentur dengan momen kecil, sehingga dapat dipandang sebagai batang tekan saja.

Pada tampang batang tekan akan terjadi tegangan normal akibat gaya aksial, dan tegangan lentur akibat momen. Batang akan mengalami kegagalan akibat tekuk (*buckling*) jika kombinasi kedua tegangan ini mencapai tegangan leleh bahan. Batang yang gemuk akan mengalami kegagalan akibat tekuk dengan tegangan normal cukup besar, sedang tegangan lenturnya masih kecil. Sebaliknya, batang langsing akan mengalami kegagalan akibat tekuk dengan tegangan normal kecil, disertai tegangan lentur besar (*Padosbajayo, 1994*).

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, mengemukakan bahwa pada persamaan tekuk Euler jika pada sisi kiri dan kanan dibagi dengan A , dengan $A = I/r^2$ sehingga Persamaan (3.22) tersebut dapat ditulis sebagai berikut ini :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{(Lk/r)^2} \quad (3.22)$$

dengan r = jari-jari inersia dan (Lk/r) = kelangsingan. Dari persamaan tekuk tersebut dapat diketahui bahwa semakin langsing suatu batang kemungkinan terjadinya tekuk akan semakin tinggi dan kuat tekannya semakin kecil.

3.3. Batang tarik

Batang tarik adalah batang yang mengalami tegangan tarik aksial akibat beban kerja pada ujung-ujung batang. Desain komponen tarik merupakan persoalan yang paling sederhana dibandingkan perencanaan struktur yang lain.

Meskipun stabilitas bukan merupakan kriteria utama dalam desain batang tarik, namun batang tarik perlu dibatasi panjangnya untuk menjaga agar tidak

terlalu fleksibel. Batang tarik yang terlalu panjang akan mempunyai lendutan besar yang disebabkan oleh berat batang tarik itu sendiri. Apalagi batang akan bergetar bila menahan gaya-gaya angin atau alat-alat yang bergetar, seperti *fans* atau *compressors*. Ada kriteria kekakuan, berdasarkan kelangsingan (*slenderness ratio*) L/r dari batang, dimana L = panjang batang dan r = jari-jari inersia. Kelangsingan batang tarik menurut AISC ditunjuk pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Persyaratan Batang Tarik

Kelangsingan (L/r)	AISC	PPBBI
Untuk batang Utama	240	240
Untuk batang skunder	300	300

3.4. Batang Tekan

Secara garis besar ada 2 macam batang yang mengalami gaya tekan dalam suatu konstruksi, yaitu:

- Batang tekan yang merupakan batang dari suatu rangka batang. Batang ini mengalami gaya tekan aksial searah panjang batangnya. Umumnya dalam suatu rangka, batang tepi atas merupakan batang tekan, dan
- Kolom, merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok-balok loteng, rangka atap, lintasan *crane* dalam pabrik, dan sebagainya (*Oentoeng, 1999*).

Menurut Persamaan Euler kekuatan batang tekan dinyatakan dengan

rumus $P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada uraian berikut :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L/i)^2} \tag{3.25.b}$$

bila L pada Persamaan (3.25.b) diganti dengan panjang tekuk (Lk) diperoleh :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(Lk/i)^2} \tag{3.26}$$

dengan (Lk/i) adalah kelangsingan (λ), dimana harga k dicari dari Gambar 3.10.

Bentuk kolom yang tertekuk ditunjukkan oleh garis terputus	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Harga K teoretis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Harga perencanaan yang disarankan bila kondisi ideal hanya merupakan pendekatan	0,65	0,80	1,0	1,2	2,10	2,0
Tanda kondisi ujung	Rotasi tak mungkin, Translasi tak mungkin Rotasi bebas, Translasi tak mungkin Rotasi tak mungkin, Translasi bebas Rotasi bebas, Translasi bebas					

3.10. Gambar faktor panjang efektif (k) untuk kolom yang dibebani secara terpusat dengan berbagai kondisi ideal.

3.5. Alat Sambung Las

Pengelasan merupakan proses penyambungan dua batang atau lebih dengan pemanasan sampai keadaan plastis, dengan atau tanpa tekanan. Panas yang digunakan untuk mencairkan logam dasar dan bahan pengisi agar terjadi aliran bahan (atau terjadi peleburan) serta untuk menaikkan daktilitas sehingga aliran plastis dapat terjadi.

Pengelasan yang digunakan pada penelitian ini adalah proses pengelasan busur nyala logam terlindung atau SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Dimana pada proses ini merupakan proses yang paling sering digunakan untuk pengelasan baja struktural maupun non-struktural. Proses SMAW sering disebut proses elektroda tongkat manual. Pemanasan dilakukan dengan busur listrik menyala antara elektroda yang dilapis dengan bahan yang akan disambung. Logam elektroda (kawat las) akan habis karena dipindahkan ke beban dasar selama proses pengelasan, sedangkan lapisannya sebagian dikonversi menjadi gas pelindung, sebagian menjadi terak (*slag*) dan sebagian lagi diserap oleh logam las. Bahan pelapis elektroda adalah campuran seperti lempung yang terdiri dari pengikat silikat dan bahan bubuk, seperti flour, karbonat, oksida, paduan logam dan selulosa. Campuran ini ditekan dan dipanasi hingga diperoleh lapisan konsentris kering yang keras. Lapisan elektroda ini mempunyai fungsi :

- a. Menghasilkan gas pelindung untuk mencegah masuknya udara dan membuat busur stabil.
- b. Memberikan bahan lain, seperti unsur pengurai oksida, untuk memperhalus struktur butiran pada logam las.

- c. Menghasilkan lapisan terak di atas kolam yang cair dan memadatkan las untuk melindungi dari oksigen dan nitrogen dalam udara, serta memperlambat pendinginan.

Bahan elektroda ditentukan dan dispesifikasikan oleh *American Welding Society*. Identifikasi seperti E70XX menunjukkan kekuatan tarik 70 *ksi*. Huruf XX menyatakan faktor-faktor seperti posisi pengelasan, sumber listrik yang disarankan, jenis lapisan, dan jenis karakteristik busur nyala (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Salah satu las yang mendominasi aplikasi struktural adalah las sudut. Las sudut adalah las yang teoritis mempunyai penampang melintang segitiga, yang menggabungkan dua permukaan yang membentuk sudut. Dan kekuatan las tergantung pada arah beban yang bekerja, yang dapat sejajar atau tegak lurus terhadap sumbu las (*Spiegel dan Limbrunner, 1991*).

AISC menyatakan kriteria kekuatan las E70XX dalam desain untuk las sudut seperti pada tabel 3.2. berikut ini :

Tabel 3.2. Kekuatan las (kips per inci panjang)

Ukuran las (in)	E70XX SMAW	E70 SAW
1/16	0,925	1,31
1/8	1,85	2,63
3/16	2,78	3,94
1/4	3,70	5,25
5/16	4,63	6,56
3/8	5,55	7,88
7/16	6,48	8,81
1/2	7,40	9,73

- c. Menghasilkan lapisan terak di atas kolam yang cair dan memadatkan las untuk melindungi dari oksigen dan nitrogen dalam udara, serta memperlambat pendinginan.

Bahan elektroda ditentukan dan dispesifikasikan oleh *American Welding Society*. Identifikasi seperti E70XX menunjukkan kekuatan tarik 70 *ksi*. Huruf XX menyatakan faktor-faktor seperti posisi pengelasan, sumber listrik yang disarankan, jenis lapisan, dan jenis karakteristik busur nyala (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Salah satu las yang mendominasi aplikasi struktural adalah las sudut. Las sudut adalah las yang teoritis mempunyai penampang melintang segitiga, yang menggabungkan dua permukaan yang membentuk sudut. Dan kekuatan las tergantung pada arah beban yang bekerja, yang dapat sejajar atau tegak lurus terhadap sumbu las (*Spiegel dan Limbrunner, 1991*).

AISC menyatakan kriteria kekuatan las E70XX dalam desain untuk las sudut seperti pada tabel 3.2. berikut ini :

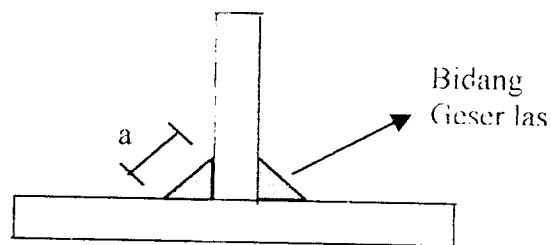
Tabel 3.2. Kekuatan las (kips per inci panjang)

Ukuran las (in)	E70XX SMAW	E70SAW
1/16	0,925	1,31
1/8	1,85	2,63
3/16	2,78	3,94
1/4	3,70	5,25
5/16	4,63	6,56
3/8	5,55	7,88
7/16	6,48	8,81
1/2	7,40	9,73

Lanjutan Tabel 3.2. Kekuatan las (kips per inci panjang)

Ukuran las (in)	E70XXSMAW	E70SAW
9/16	8,33	10,66
5/8	9,25	11,59
11/16	10,18	12,52
3/4	11,10	13,45
13/16	12,03	14,37
7/8	12,95	15,30

Perhitungan kekuatan las seperti berikut ini :



Gambar 3.11 Las Sudut

Luas penampang las,

$$A = Ln \cdot a \quad (3.27)$$

a = tebal rigi-rigi las

Ln = panjang bersih las = $Lbr - 3 \cdot a$

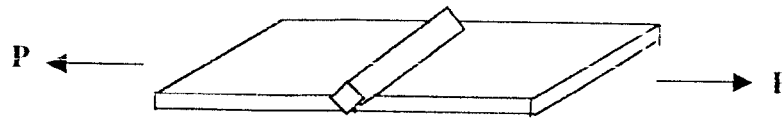
PPBBI menggunakan rumus *Huber Hencky* untuk menghitung kekuatan las, seperti berikut ini :

$$P = \frac{F_{ijm} \cdot A}{\sqrt{(\sin^2 \alpha + 3 \cdot \cos^2 \alpha)}} \quad (3.28)$$

Dengan, F_{ijm} = tegangan dasar ijin dari elektroda las, A = luas penampang las, dan α = sudut yang dibentuk oleh arah gaya dengan bidang geser las.

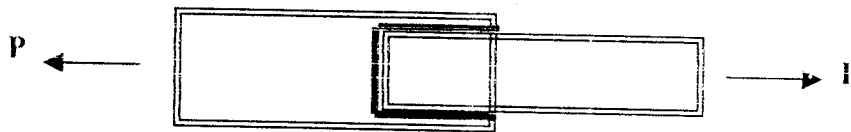
Penggunaan rumus di atas pada keadaan khusus :

1. $P_{ijin} = F_{ijin} \cdot A$; untuk $\alpha = 90^\circ$.



Gambar 3.12. Las sudut dengan sudut $\alpha = 90^\circ$.

2. $P_{ijin} = 0,58 \cdot F_{ijin} \cdot A$; untuk $\alpha = 0^\circ$.



Gambar 3.13. Las sudut dengan untuk $\alpha = 0^\circ$.

syarat tebal las : $a \leq \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot t$

syarat panjang las : $10 \cdot a \leq Ln \leq 40 \cdot a$

3.6. Tegangan Residu

Tegangan residu atau tegangan sisa (*residual stress*) adalah tegangan yang tetap tinggal di dalam batang setelah batang baja selesai dibentuk produk akhir. Tegangan residu ada, karena di dalam batang baja terdapat deformasi plastis atau deformasi permanen. Deformasi plastis terjadi kerana beberapa sebab antara lain :

1. Pendinginan yang tidak merata setelah proses *hot-rolling*.
2. *Cold-bending* selama pabrikan.
3. Pengelasan (*Salmon dan Johnson, 1994*).

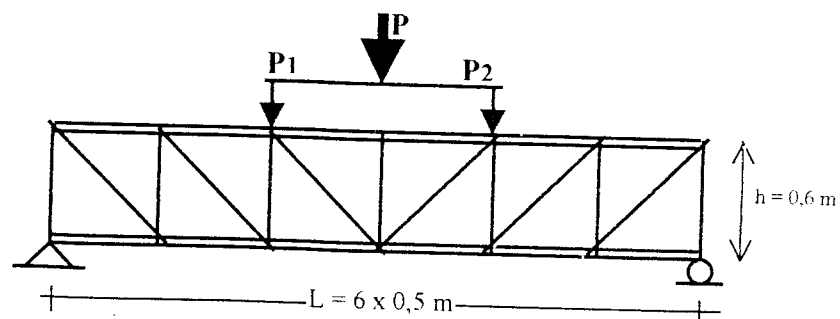
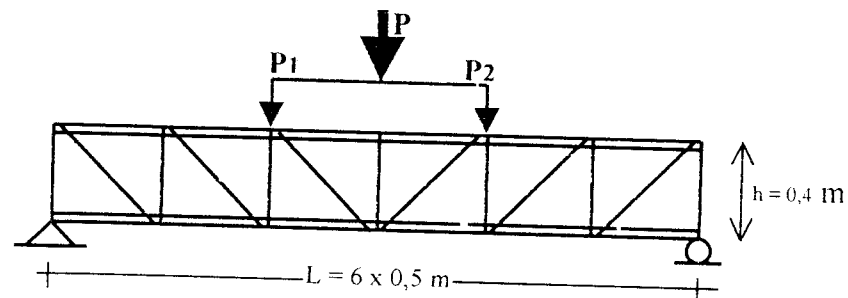
3.7. Hubungan Antara Ketinggian (h) dengan Batang Desak Horizontal Sisi Atas

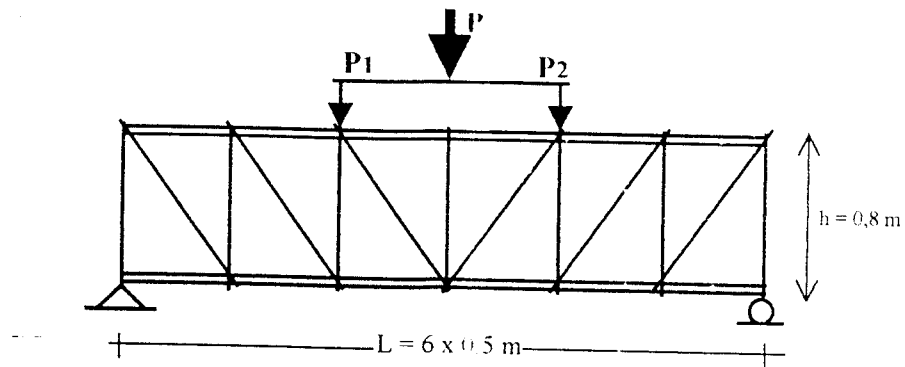
Ketinggian (h) akan berpengaruh pada besarnya pembebanan yang akan diterima oleh tiap benda uji, dengan perbedaan ketinggian (h) tiap benda uji maka tiap benda uji akan menerima beban yang berbeda pula. Seperti pada gambar 3.14 di bawah ini, dan dihubungkan dengan rumus momen, yaitu : $M_n = P_{cr} \times h$

dimana $P_{cr} = F_{cr} \times A$, dan $F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(kl/r)^2}$, dimana

$$M_n = \frac{2}{6} \cdot \frac{P}{2} L = \frac{1}{6} PL \dots, \text{ maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi (h)}$$

maka beban yang diterima akan semakin besar sehingga mengalami tekuk yang besar, demikian juga sebaliknya, sedangkan jarak pias tiap sampel sama. Hal itu dapat terjadi karena beban yang diterima akan semakin besar, sedangkan dimensi batang pengisi tiap sampel sama.





Gambar 3.14

Memperhatikan Gambar (3.14), maka dapat disimpulkan bahwa semakin rendah (h) akan mengakibatkan kelangsingannya semakin kecil, dan beban yang dapat diterimanya juga kecil. Sebaliknya, semakin tinggi (h) akan mengakibatkan kelangsingannya semakin besar sehingga menjadikan batang horizontal sisi atas tersebut akan mengalami tekuk, dan beban yang dapat diterimanya pula akan semakin besar. Tegangan kritis batang dengan kelangsingan semakin besar maka nilai F_{cr} akan semakin kecil dan sebaliknya jika suatu batang dengan kelangsingan semakin kecil maka nilai F_{cr} akan semakin besar.

Jika suatu batang desak harga $\frac{Lk}{r_{\min}} > Cc$, maka batang desak akan mengalami tekuk elastis, di mana tegangan kritisnya (F_{cr}) diwakili oleh Persamaan (3.31) berikut ini :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(Lk/r_{\min})^2} \quad (3.31)$$

Dan sebaliknya, jika harga $\frac{Lk}{r_{\min}} < Cc$, maka batang desak akan mengalami tekuk inelastis, dimana F_{cr} diwakili oleh Persamaan (3.32) berikut ini :

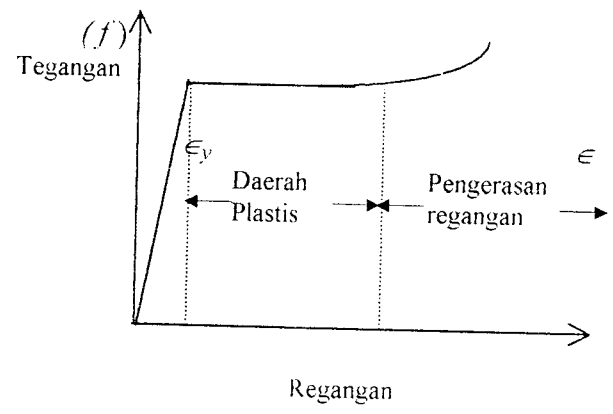
$$F_{cr} = Q \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2C^2} \right] F_y \tag{3.32}$$

Dimana nilai :

$Q = Q_s \cdot Q_a$, dan $F_y =$ Tegangan leleh baja, ksi.

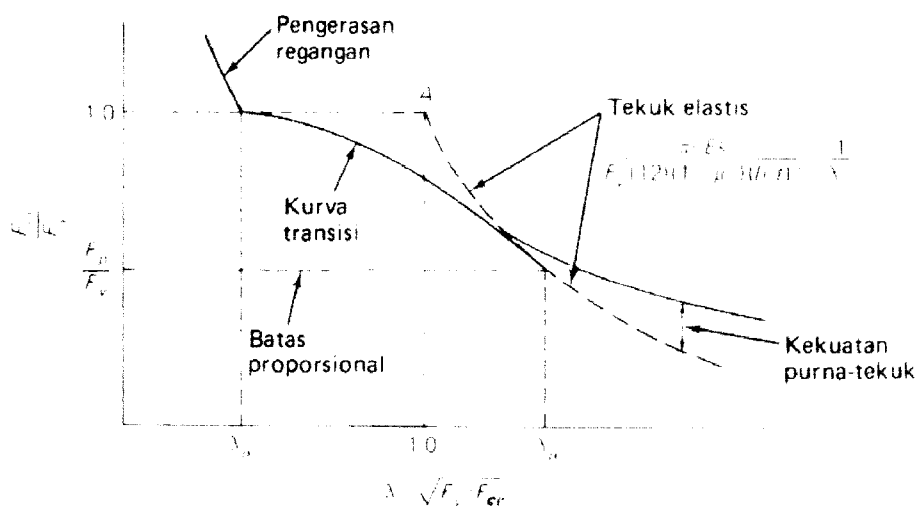
Nilai Q_s dan Q_a dapat dianggap sebagai faktor bentuk. Jika suatu batang tertekan yang terdiri dari elemen yang diperkuat dapat diperlakukan sebagai yang tidak diperkuat untuk menentukan tegangan ($F_{rata-rata}$).

Pada perencanaan elemen pelat dengan tekan tepi harus mampu mengalami regangan yang lebih besar dari regangan leleh pertama ϵ_y . Tekuk setempat harus tidak terjadi sebelum regangan tekan mencapai jauh ke dalam daerah plastis dan mendekati pengerasan regangan, seperti pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Daerah plastis dan pengerasan regangan pada hubungan tegangan-regangan untuk baja.

Untuk rasio lebar dengan ketebalan harus lebih kecil dari yang digunakan dalam metode tegangan kerja yang hanya mengharuskan pencapaian regangan, ϵ_y atau dengan kata lain λ harus lebih kecil dari λ_o , seperti pada Gambar 3.16. berikut ini :



Gambar 3.16. Grafik tak berdimensi untuk kekuatan pelat dengan tekanan tepi

(Sumber : Struktur Baja Jilid I, *Salmon and Johnson*, 1994)

Pada profil C canai dingin yang diasumsikan sebagai perlakuan pelat apabila diberikan beban secara merata pada ujung-ujungnya maka lendutan tekuk pelat akan dijumpai dalam dua kategori, yaitu :

- (1). Elemen pelat “yang tidak diperkuat”, yang memiliki satu tepi bebas yang sejajar pembebanan (Q_s sebagai faktor bentuk).

Untuk tegangan rencana, sifat penampang bruto dapat digunakan; jadi

$$\frac{P_{ult}}{A_{bruto}} = \frac{f_{avg}}{f_{maks}} \cdot (f_{maks}) \cdot \frac{A_{bruto}}{A_{bruto}} = Q_s \cdot f_{maks} \quad (3.33)$$

Dengan meninjau Gambar (3.17), harga Q_s yang lebih kecil dari 1,0 sama artinya dengan $\lambda > \lambda_s$. Oleh AISC disederhanakan menggunakan bentuk garis lurus seperti kurva (A) pada Gambar 3.16. Anggapan yang digunakan yaitu $\lambda = 0,7$ adalah harga maksimum, dimana $F_{cr} = F_y$ dan batas proporsional terjadi pada $\lambda_p = \sqrt{2}$, yang sama seperti untuk tekuk keseluruhan. Akan tetapi, karena adanya

kekuatan puna tekuk, kurva sejenis Euler dinaikkan ke atas kurva teoritis (kurva C) sehingga kurva perencanaan AISC (kurva B) memberikan $Q_s = F_{cr}/F_y = 0,65$ untuk $\lambda_p = \sqrt{2}$.

Walaupun dalam penurunannya Q_s didefinisikan sama dengan F_{cr}/F_y , tetapi tekuk pada batang keseluruhan terjadi (berdasarkan L_k/r) tegangan rata-rata $P/A = F_a$ selalu lebih kecil dari F_y . Hal ini berarti tekuk setempat elemen yang tidak diperkuat akan mengurangi efisiensi penampang lintang, bila F_{cr} untuk elemen pelat lebih kecil dari F_a .

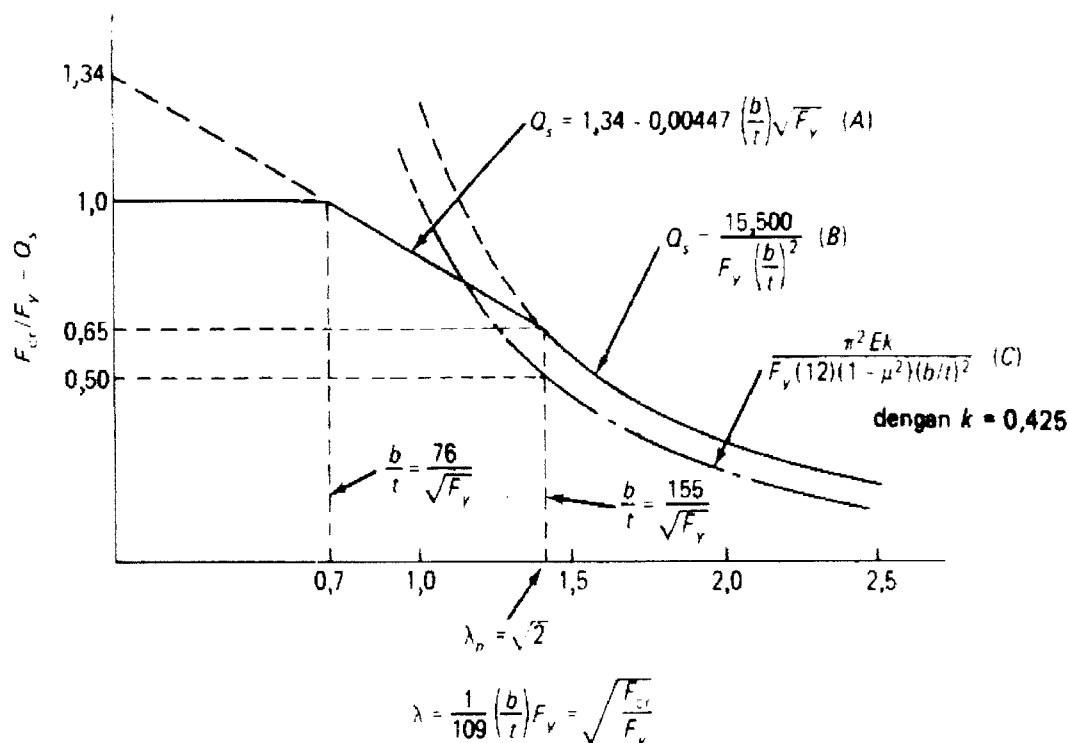
Dengan demikian secara umum untuk sayap tekan kolom :

$$Q_s = \frac{F_{cr}}{F_a} \geq \frac{F_{cr}}{F_y} \quad (3.34)$$

dan untuk sayap tekan pada balok,

$$Q_s = \frac{F_{cr}}{F_b} \geq \frac{F_{cr}}{F_y} \quad (3.35)$$

Pada lampiran C AISC memberikan persamaan reduksi tegangan untuk bagian sayap dan tangkai profil I . Persamaan reduksi ini didasarkan pada alasan yang sama seperti yang dijabarkan untuk profil siku tunggal, yang ditunjuk pada Gambar 3.17. berikut ini :



Gambar 3.17. Kekakuan pelat untuk elemen yang tidak diperkuat (siku tunggal) dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas.

(2) Elemen pelat “yang diperkuat”, yang bertumpu sepanjang dua tepi yang sejajar pembebanan (Qa sebagai faktor bentuk).

Untuk elemen pelat yang diperkuat sifat penampang bruto digunakan dalam menentukan tegangan rencana, dimana diwakili oleh Persamaan (3.36) berikut ini :

$$\frac{P_{ult}}{A_{bruto}} = \frac{A_{eff}}{A_{bruto}} \cdot f_{maks} = Qa \cdot f_{maks} \quad (3.36)$$

Pada elemen pelat yang diperkuat ini, karena penampang lintang pada profil dapat terdiri dari elemen yang tidak diperkuat yang menurut spesifikasi AISC direncanakan dengan memakai tegangan rata-rata yang direduksi dan tidak

menggunakan lebar efektif, maka tegangan yang diijinkan pada elemen yang tidak diperkuat digunakan sebagai tegangan maksimum yang dapat diberikan pada elemen yang diperkuat. Jadi tegangan beban kerja adalah :

$$f = F_{cr} \text{ berdasarkan elemen yang tidak diperkuat}$$

Selanjutnya, dengan menggunakan harga Q_s yang rasional dan lebih tinggi (Persamaan 3.34), maka :

$$Q_s = \frac{F_{cr}}{F_a}, \text{ dengan } f = Q_s \cdot F_a \quad (3.37)$$

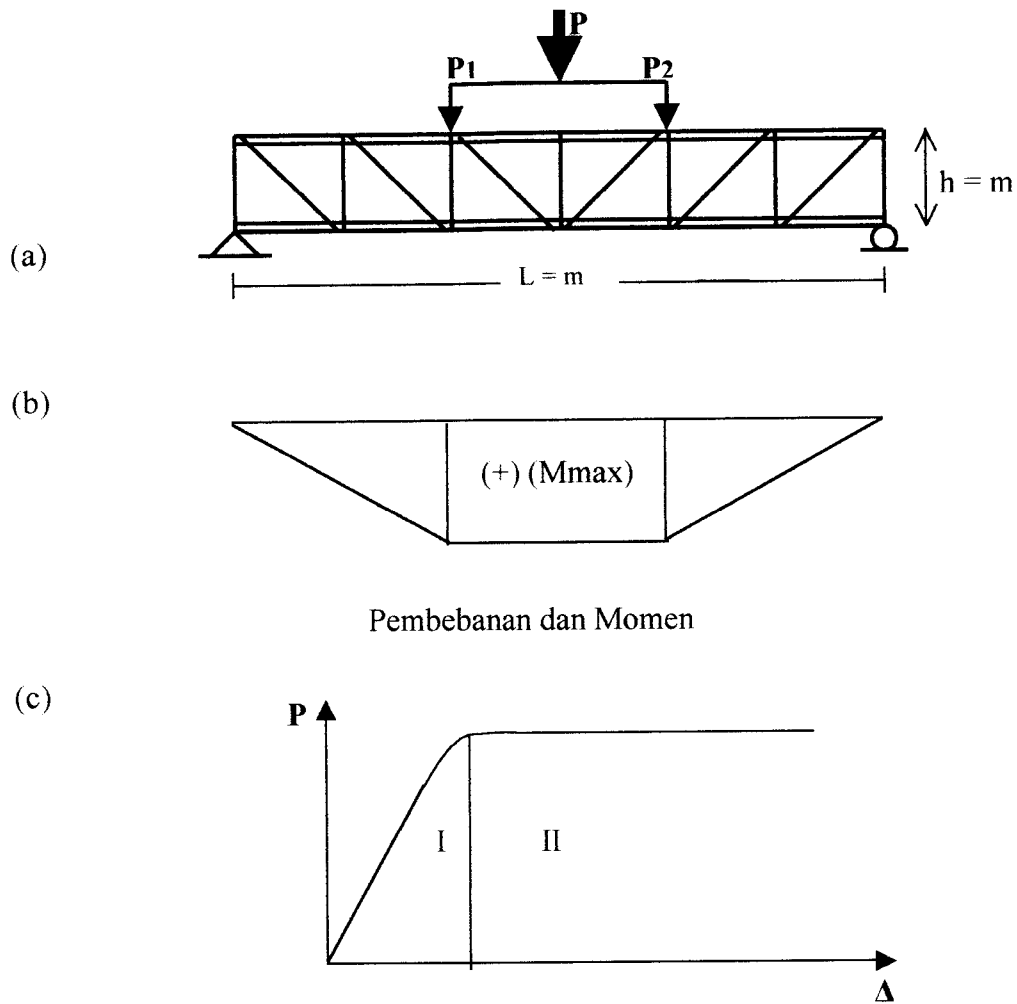
seperti yang ditetapkan oleh AISC-C3.

Akhirnya, menurut persamaan 3.36, Q_a adalah :

$$Q_a = \frac{(\text{lebar.efektif}) \cdot t}{\text{luas.yang.sebenarnya}} = \frac{A_{eff}}{A_{bruto}} \quad (3.38)$$

dengan $A_{eff} = A_{bruto} - \Sigma (b-b_f) \cdot t$

3.8. Hubungan Momen dengan Kelengkungan



Pembebanan dan Momen

Gambar 3.18. Hubungan antara beban (P) dan Lendutan (Δ)

Pada saat pembebanan telah mencapai P_{max} dan terjadi momen batas yang menimbulkan mekanisme keruntuhan maka penampang ini akan terus berdeformasi tanpa menghasilkan gaya tahan tambahan. Sudut regangan θ akan elastis seluruhnya setelah itu keadaan tidak stabil dan lendutan tidak terkendali, Gambar 3.18 (b). Hubungan beban-lendutan ditunjukkan:

$$\Delta = \frac{23P.L^3}{648EI} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dengan: Δ = defleksi balok, P = beban balok, E = modulus elastis bahan, L = panjang bentang balok, I = momen inersia penampang.

Pada daerah I yaitu daerah pratekuk, balok masih bersifat elastis penuh, tegangan tarik maksimal yang terjadi pada baja masih lebih kecil dari kuat tarik lentur baja, kekuatan lentur EI balok masih mengikuti modulus elastisitas baja dan momen inersia penampang balok baja.

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

Dari pengujian kuat lentur dapat defleksi pada titik-titik distrik, misalnya y_{i-1} , y_i dan y_{i+1} , kemiringan garis lengkung didekati dengan menggunakan metode *Central Difference*. Mengacu pada Gambar (3.18.a) maka pendekatan dy/dx adalah :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.39)$$

Turunan keduanya menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx} (2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.40)$$

Karena $(2\Delta x)$ adalah konstanta maka

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

Sehingga Persamaan (3.40) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.41)$$

Selanjutnya didapatkan

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}))}{(2\Delta x)^2} \quad (3.42)$$

Jadi :

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

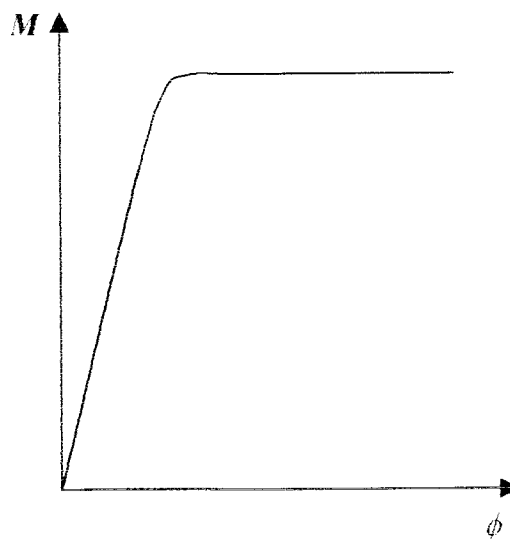
$$\frac{d^2y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI}$$

$$M = EI \cdot \phi$$

$$M = EI \cdot \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.43)$$

Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (curvatur) (ϕ) ditunjuk pada Gambar

(3.19)



Gambar 3.19. Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (ϕ)

Sumber : *DUCTILE DESIGN OF STEEL STRUCTURE* (M. Bruneau, Chia-Ming Uang, Andrew Wittaker)

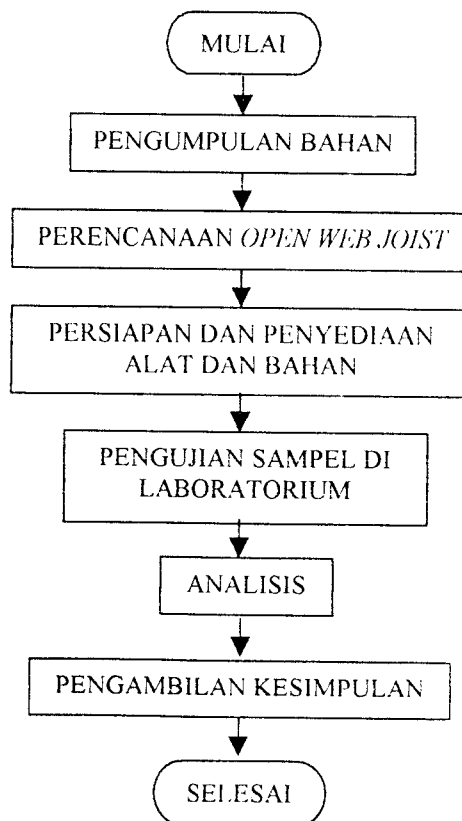
Pada saat pembebanan telah tercapai pada P_{max} (Gambar 3.18.b) dan terjadi momen batas yang menimbulkan mekanisme keruntuhan maka penampang ini akan terus berdeformasi tanpa menghasilkan gaya tahan tambahan. Sudut regangan ϕ akan elastis seluruhnya setelah itu keadaan tidak stabil dan lendutan tidak terkendali. Karena profil C canai dingin mempunyai tegangan kritis yang jauh dibawah tegangan lelehnya ($F_{cr} < F_y$) maka $M_n = M_y$, dimana :

$$M_n = F_{cr} x A x L = M_y = F_y x A x L \quad (3.44)$$

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Metodologi Penelitian

Metode penelitian adalah urutan pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Prosedur dari penelitian seperti pada flowchart Gambar 4.1. di bawah ini :



Gambar 4.1. Flowchart metodologi penelitian

4.2. Bahan dan Peralatan

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan dan bahan yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun bahan dan alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

4.2.1. Bahan

a. Baja Profil

Baja profil yang digunakan adalah baja profil C canai dingin C100x50x20x2 sebagai batang horizontal..

b. Las

Sambungan las menggunakan Elektroda E70XX dengan kekuatan tarik maksimum, $F_u = 70 \text{ Ksi} = 485 \text{ Mpa}$.

c. Bracing .

Bracing (batang pengisi) menggunakan baja tulangan polos (BjTp) \emptyset 13, 16, 19 mm.

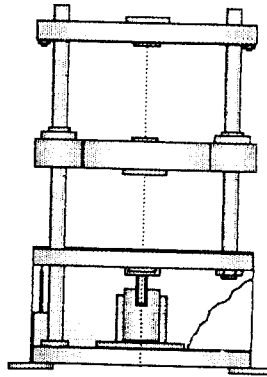
4.2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Mesin Uji Kuat Tarik

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Pada penelitian ini digunakan UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM) merk SHIMATSU type UMH 30, kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar 4.2 berikut :

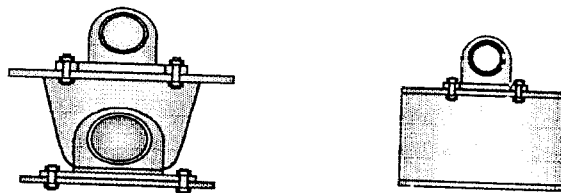




Gambar 4.2. Universal Testing Material Shimadzu UMH30

b. Dukungan Sendi dan Rol

Untuk membuat model rangka *pratt* dapat berdiri tegak sebagai sampel uji, maka sebagai tumpuan dipasang dukungan berupa sendi dan rol, seperti pada Gambar 4.3 berikut :



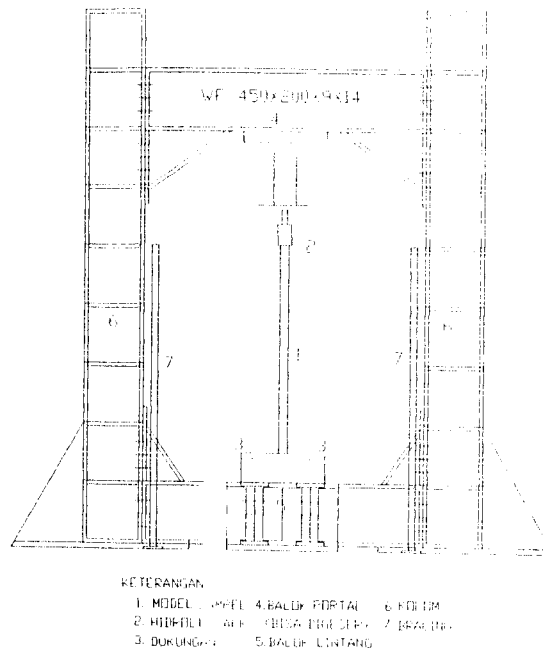
(a). Dukungan Rol

(b). Dukungan Sendi

Gambar 4.3. Dukungan Rol dan Sendi

c. Loading Frame

Untuk menempatkan benda uji, pada penelitian ini digunakan Loading frame dari bahan baja profil WF 450x200x9x14, seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. *Loading Frame*

Bentuk dasar Loading Frame berupa rangkaian profil WF yang didesain sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk meletakkan sampel uji dan alat pembebanan dengan baik.

d. *Dial Gauge*

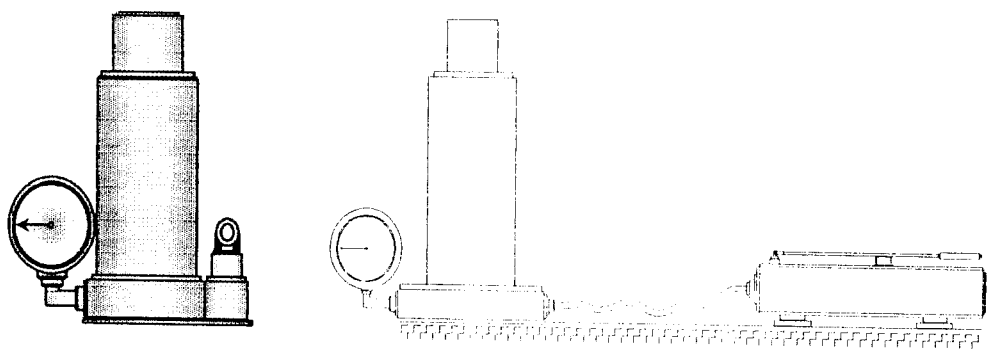
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm, Gambar 4.5. Pada pengujian ini dipakai *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm dan pada penelitian ini digunakan *dial gauge* sebanyak 3 buah.



Gambar 4.5 *Dial Gauge*

e. *Hydraulic Jack*

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak rangka *pratt* balok badan terbuka (*open web joist*) dengan beban P sentris yang mempunyai kapasitas maksimum 25 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,25 ton, seperti pada Gambar 4.6.a (tampak depan) dan 4.6.b (tampak samping).



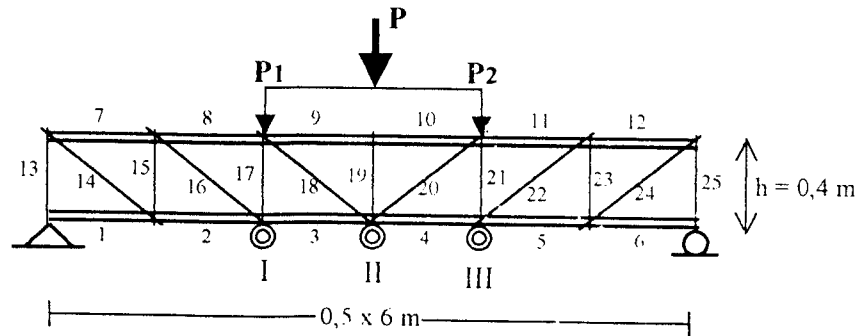
(a). Tampak Depan

(b). Tampak Samping

Gambar 4.6. *Hydraulic jack*

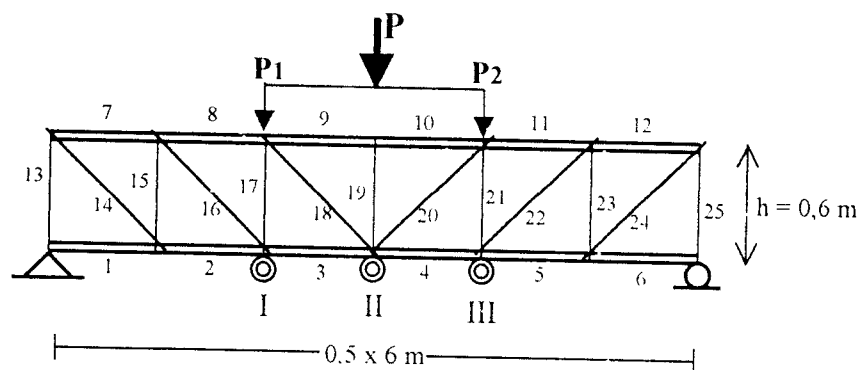
4.3. Model Benda Uji

Model benda uji berupa rangka *pratt* profil balok badan terbuka dengan merangkaikan profil C100x50x20x2 canai dingin sebagai batang horizontal dengan posisi atas-bawah yang saling berhadapan, dengan batang pengisi tulangan polos yang dipasang pada posisi vertikal dan diagonal, pada Gambar 4.7. berikut :



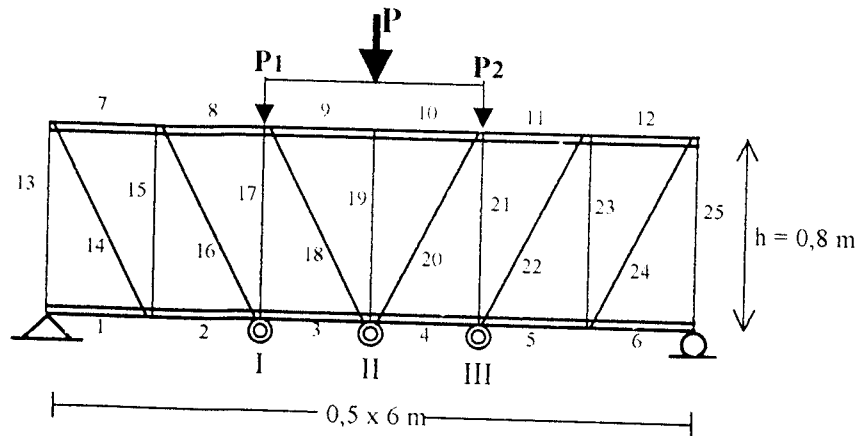
Gambar 4.7.a. Model benda uji I dengan 3 buah *dial gauge*.

- * Batang 1 - 6 = batang tarik profil C100x50x20x2.
- * Batang 7 - 12 = batang desak profil C100x50x20x2.
- * Batang 13,15,17 dan 21,23,25 = batang desak BjTp Ø 19 mm.
- * Batang 19 = batang desak BjTp Ø 13 mm.
- * Batang 14,16,18 dan 20,22,24 = batang tarik BjTp Ø 16 mm.



Gambar 4.7.b. Model benda uji II dengan 3 buah *dial gauge*

- * Batang 1 - 6 = batang tarik profil C100x50x20x2.
- * Batang 7 - 12 = batang desak profil C100x50x20x2.
- * Batang 13,15,17 dan 21,23,25 = batang desak BjTp Ø 19 mm.
- * Batang 19 = batang desak BjTp Ø 13 mm.
- * Batang 14,16,18 dan 20,22,24 = batang tarik BjTp Ø 16 mm.



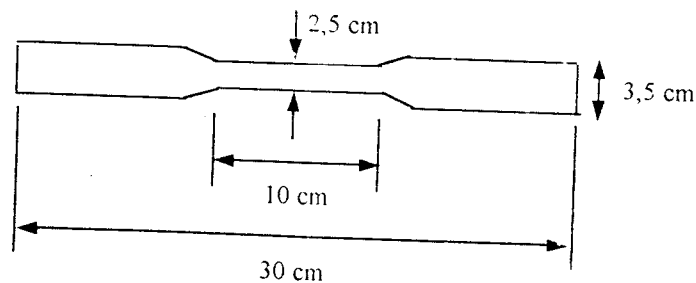
Gambar 4.7.c. Model benda uji III dengan 3 buah *dial gauge*

- * Batang 1 - 6 = batang tarik profil C100x50x20x2.
- * Batang 7 - 12 = batang desak profil C100x50x20x2.
- * Batang 13,15,17 dan 21,23,25 = batang desak BjTp \varnothing 19 mm.
- * Batang 19 = batang desak BjTp \varnothing 13 mm.
- * Batang 14,16,18 dan 20,22,24 = batang tarik BjTp \varnothing 16 mm.

Untuk mengetahui kekuatan bahan dilakukan pengujian yang meliputi uji tarik pelat dan baja tulangan \varnothing 16 serta kuat geser las.

› Uji tarik pelat

Benda uji dibuat dari sayap profil C canai dengan panjang 30 cm dengan ketebalan 0,2 cm seperti pada Gambar 4.8.



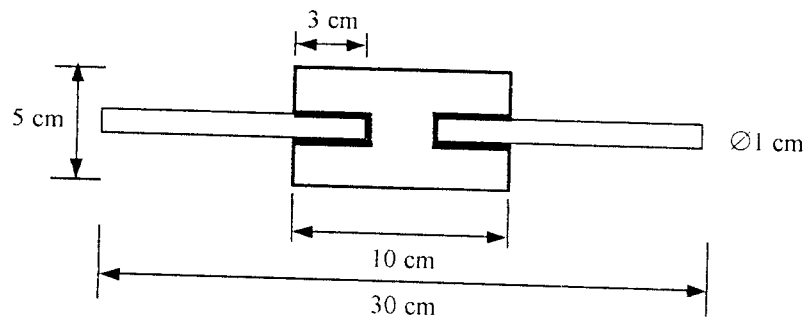
Gambar 4.8. Benda uji tarik profil C canai

› Uji tarik baja tulangan

Benda uji berupa baja tulangan polos (BjTp) \varnothing 16 dengan panjang 30 cm

› Uji Kuat geser las

Benda uji kuat geser las dari baja tulangan polos (BjTp) \varnothing 16 dan pelat dengan ketebalan 1 cm yang disambung dengan las elektroda E70XX, seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Benda uji kuat geser las

4.4. Prosedur penelitian

Prosedur dari penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, terdiri dari :

1. Tahap perumusan masalah.

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan, serta pembatasan masalah.

2. Tahap perumusan teori.

Pada tahap ini dilakukan pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian ini.

3. Tahap pelaksanaan penelitian, terdiri dari :

a. Pengumpulan bahan

- Menentukan ukuran profil balok badan terbuka dan *bracing*.

- Pencarian bahan.

b. Pengujian pendahuluan

Pengujian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kekuatan profil yang digunakan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik profil C, kuat tarik tulangan \varnothing 16 mm dan pengujian kekuatan geser las.

c. Pembuatan benda uji

Balok badan terbuka yang merupakan rangkaian profil C canai dingin dengan panjang bentang 3 m disusun atas-bawah saling berhadapan sayapnya dan dirangkaikan terhadap batang pengisi yang berdiameter 13, 16, 19 mm yang disambungkan dengan menggunakan las. Pada penelitian ini digunakan 3 buah model benda uji dengan tiga jenis variasi tinggi batang pengisi, yaitu masing-masing model dengan tinggi 0,4 m, 0,6m dan 0,8 m.

d. Persiapan peralatan

Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan persiapan alat yang akan digunakan, yaitu sebagai berikut :

Dukungan sendi dan rol (Gambar 4.3) diletakkan pada *loading frame* (Gambar (4.4) pada posisi 1,0 meter dari pusat *loading frame* yang dipergunakan untuk tumpuan benda uji dengan panjang 3 meter. Kemudian ditempatkan penyangga pada sisi kiri dan kanan benda uji untuk menahan benda uji agar tidak tergelincir ke samping kiri atau kanan dan tetap dalam posisi stabil.

Selanjutnya *hidarulic jack* (Gambar 4.6) diletakkan di atas balok sepanjang 2 meter yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua

pusat beban yang membebani benda uji dan tiga buah *dial gauge* (Gambar 4.5) dipasangkan di bawah benda uji seperti (Gambar 4.7.)

e. Pengujian benda uji *dial gauge*.

Pengujian dengan menggunakan *dial gauge* dilakukan untuk mendapatkan lendutan yang terjadi. Proses pelaksanaan pengujian ini adalah *hidraulic jack* ditekan/dipompa untuk mendapatkan beban bertahap, yaitu kelipatan dari 3,0 *kN*. Pada saat setiap kelipatan beban 3,0 *kN*, pemompaan *hidraulic jack* dihentikan untuk dilanjutkan pembacaan dan pencatatan *dial gauge*. Proses ini dilakukan hingga benda uji mengalami kerusakan teknik.

f. Tahap analisis dan pembahasan

Analisis dilakukan dengan mencatat hasil uji laboratorium berupa lendutan yang terjadi dan melakukan pengolahan data yang ada dengan menggunakan aplikasi SAP 90.

g. Tahap penarikan kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan yang digunakan untuk memberikan jawaban terhadap permasalahan.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Uji Pendahuluan Kuat Tarik Baja dan Geser Las

Pelaksanaan pengujian kuat tarik baja dan kuat geser las dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian bahan ini dapat diketahui kapasitas beban maksimum yang dapat ditahan Dan setelah dihitung (Lampiran 5) didapat hasil pada Tabel 5.1. sebagai berikut :

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja dan Kuat Geser Las

No	Jenis Pengujian	F_y (Mpa)
1.	Kuat tarik Pelat	308,49
2.	Kuat tarik baja tulangan \varnothing 16 mm	582,751
3.	Kuat Geser Las	136,161

5.2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Baja *Open Web Joist*.

Pelaksanaan pengujian kuat lentur baja, dilakukan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian meninjau perilaku lentur murni dan mencegah terjadinya puntir lateral dengan memberikan penyangga tiap 1 meter pada sisi kanan dan kiri benda uji.

Pada pengujian ini, *Open Web Joist* diberikan beban sentris yang diletakkan pada perletakan tertentu dengan dua titik yang panjangnya untuk masing-masing benda uji adalah 1,00 m. Secara bertahap *Open Web Joist* diberi

beban dengan kenaikan sebesar 300 kg (3,0 kN), kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya lendutan yang terjadi dicatat.

5.2.1. Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian

Dari pembebanan dan lendutan yang terjadi hasilnya disajikan pada Tabel 5.2, Tabel 5.3, dan Tabel 5.4.

a. Benda Uji I (*Open Web Joist* profil C canai dingin dengan ketinggian (h) 0,4 m)

Dari hasil pengujian perilaku benda uji (*Open Web Joist* yang menggunakan profil C canai dingin dengan ketinggian (h) 0,4 m) didapat data pada Tabel 5.2 sebagai berikut :

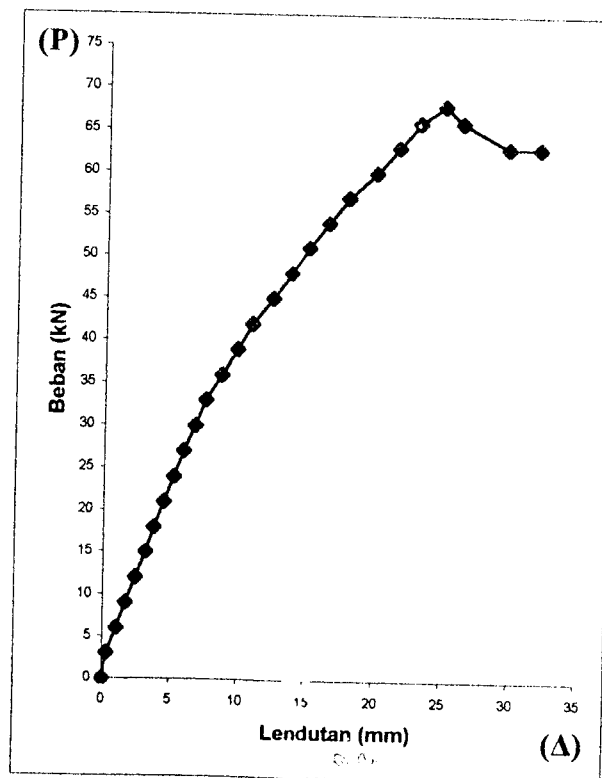
Tabel 5.2. Hubungan Beban dan Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji I

No	Beban (kN)	Lendutan			Lendutan Rata-rata (mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3,00	0,31	0,34	0,31	0,32
2	6,00	1,00	1,14	0,95	1,03
3	9,00	1,72	1,85	1,56	1,71
4	12,00	2,47	2,65	2,17	2,43
5	15,00	3,19	3,48	2,80	3,16
6	18,00	3,64	4,17	3,45	3,75
7	21,00	4,34	4,97	4,07	4,46
8	24,00	4,90	5,74	4,91	5,18
9	27,00	5,49	6,49	5,64	5,87
10	30,00	6,34	7,48	6,40	6,74
11	33,00	7,03	8,33	7,11	7,49
12	36,00	8,12	9,56	8,34	8,67
13	39,00	9,21	10,77	9,45	9,81
14	42,00	10,12	11,91	10,65	10,89
15	45,00	11,65	13,45	12,02	12,37
16	48,00	13,22	14,98	13,05	13,75
17	51,00	14,50	16,38	14,26	15,05
18	54,00	15,88	18,01	15,47	16,45
19	57,00	17,01	19,54	17,12	17,89
20	60,00	18,94	21,77	19,00	19,90

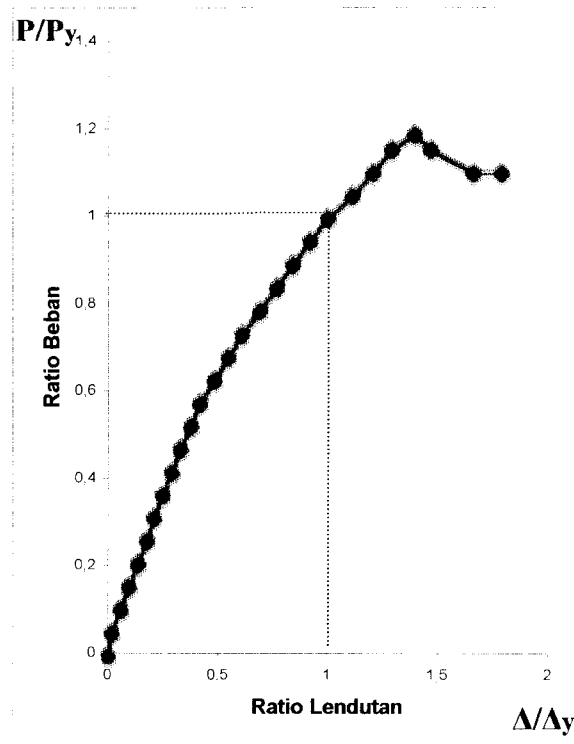
Lanjutan hubungan Beban dan Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji I

No	Beban (kN)	Lendutan			Lendutan
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)
21	63,00	20,33	23,51	20,78	21,54
22	66,00	21,94	25,22	22,07	23,08
23	68,00	24,51	27,14	23,12	24,92
24	66,00	25,77	28,86	24,15	26,26
25	63,00	29,00	32,50	27,50	29,67
26	63,00	31,00	35,00	30,00	32,00

Dari data pada tabel hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar (5.1.) dan Gambar (5.2.)



Gambar 5.1. Grafik beban lendutan benda uji I



Gambar 5.2. Grafik dimensional hubungan beban lendutan benda uji I

b. Benda Uji II (*Open Web Joist* profil C canai dingin dengan ketinggian (h) 0,6 m)

Dari hasil pengujian perilaku benda uji (*Open Web Joist* yang menggunakan profil C canai dingin dengan ketinggian (h) 0,6 m) didapat data pada Tabel 5.3 berikut :

Tabel 5.3. Hubungan Beban dan Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji II

No	Beban (kN)	Lendutan			Lendutan Rata-rata (mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3,00	0,14	0,15	0,13	0,14
2	6,00	0,59	0,62	0,57	0,59
3	9,00	1,47	1,52	1,33	1,44
4	12,00	2,11	2,20	1,92	2,08
5	15,00	2,51	2,74	2,21	2,49

Lanjutan Tabel 5.3

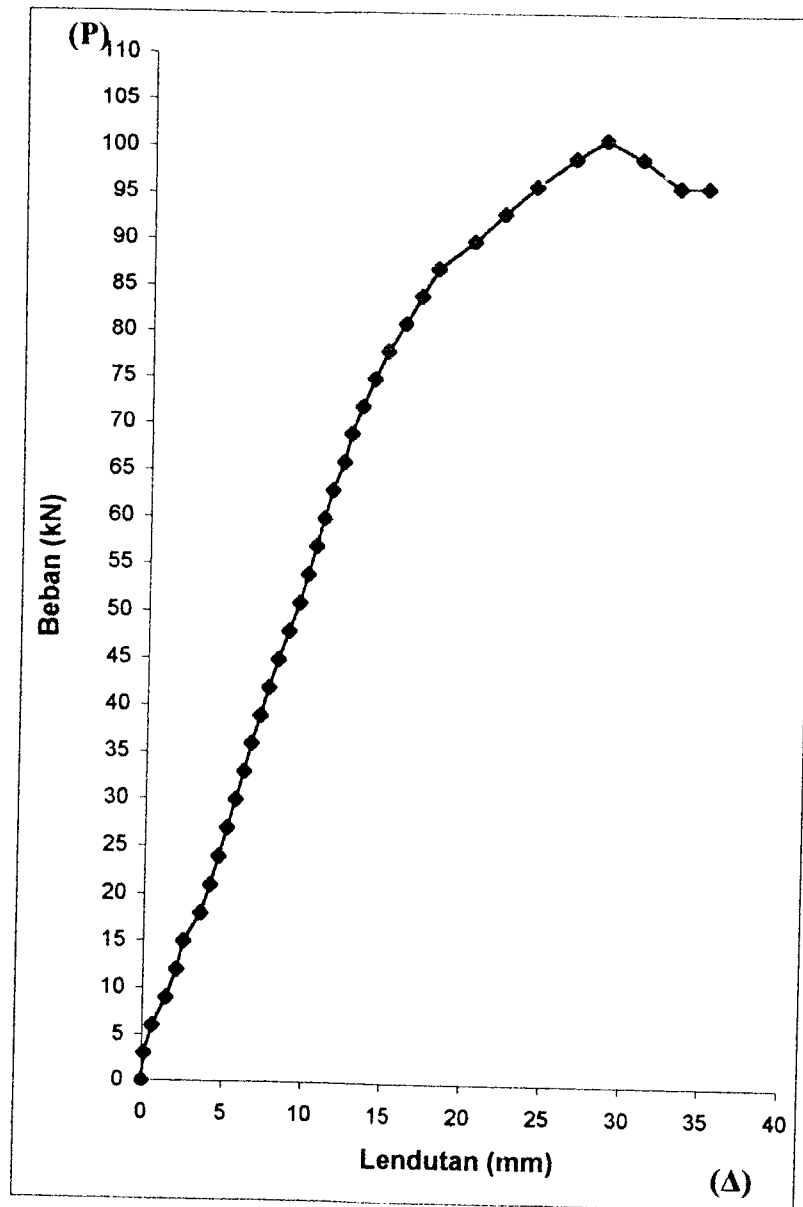
No	Beban (kN)	Lendutan			Lendutan Rata-rata (mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	
6	18,00	3,44	3,87	3,25	3,52
7	21,00	4,05	4,61	3,60	4,09
8	24,00	4,51	5,25	4,04	4,60
9	27,00	4,91	5,89	4,50	5,10
10	30,00	5,36	6,48	5,00	5,61
11	33,00	5,85	7,04	5,47	6,12
12	36,00	6,24	7,53	5,86	6,54
13	39,00	6,74	8,16	6,34	7,08
14	42,00	7,28	8,72	6,78	7,59
15	45,00	7,85	9,36	7,27	8,16
16	48,00	8,49	10,08	7,89	8,82
17	51,00	9,13	10,77	8,45	9,45
18	54,00	9,59	11,36	8,90	9,95
19	57,00	10,08	11,91	9,35	10,45
20	60,00	10,54	12,47	9,79	10,93
21	63,00	11,14	13,05	10,14	11,44
22	66,00	11,70	13,78	10,90	12,13
23	69,00	12,14	14,26	11,30	12,57
24	72,00	12,80	14,99	11,92	13,24
25	75,00	13,55	15,84	12,60	14,00
26	78,00	14,43	16,77	13,27	14,82
27	81,00	15,52	17,89	14,31	15,91
28	84,00	16,48	18,95	15,25	16,89
29	87,00	17,54	20,04	16,16	17,91
30	90,00	19,87	22,36	18,23	20,15
31	93,00	21,79	24,27	20,07	22,04
32	96,00	23,54	26,32	22,23	24,03
33	99,00	25,78	28,88	24,76	26,47
34	101,00	28,14	30,87	26,17	28,39
35	99,00	30,55	33,29	28,16	30,67
36	96,00	32,44	35,78	30,88	33,03
37	96,00	34,50	38,00	32,00	34,83

Keterangan :

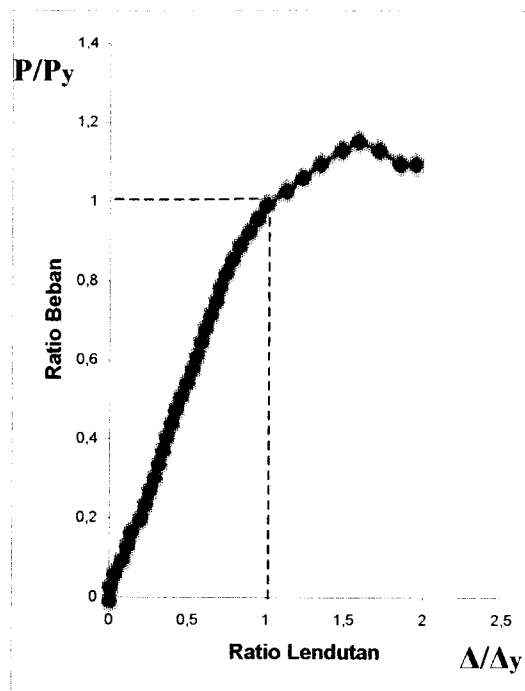
Pembacaan dial I, II, III pada benda uji I, II, III dihentikan karena :

1. Benda uji I, II, III sudah mengalami tekuk (*cracking*).
2. Pembacaan dial I, II, III sudah maksimal.

Dari data pada tabel hubungan beban dan lendutan diatas didapatkan grafik-grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar (5.3.) dan Gambar (5.4.)



Gambar 5.3. Grafik beban lendutan benda uji II



Gambar 5.4. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji II

c. Benda Uji III (*Open Web Joist* profil C canai dingin dengan ketinggian (h) 0,8 m)

Dari hasil pengujian perilaku benda uji (*Open Web Joist* yang menggunakan profil C canai dingin dengan ketinggian (h) 0,8 m) didapat data pada Tabel 5.4 sebagai berikut :

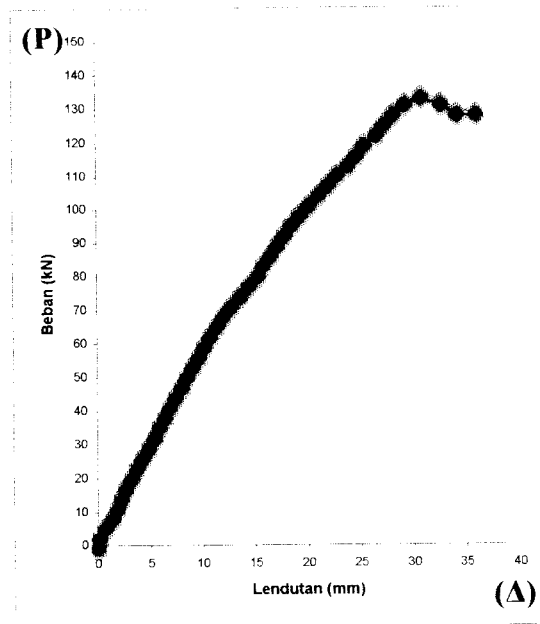
Tabel 5.4. Hubungan Beban dan Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji III

No	Beban (kN)	Lendutan			Lendutan Rata-rata (mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	
0	0	0	0	0	0
1	3	0,12	0,12	0,11	0,12
2	6	0,75	0,71	0,59	0,68
3	9	1,43	1,41	1,23	1,36
4	12	1,88	1,94	1,7	1,84
5	15	2,27	2,36	2,08	2,24
6	18	2,67	2,84	2,44	2,65
7	21	3,21	3,46	2,89	3,19
8	24	3,75	4,01	3,35	3,7

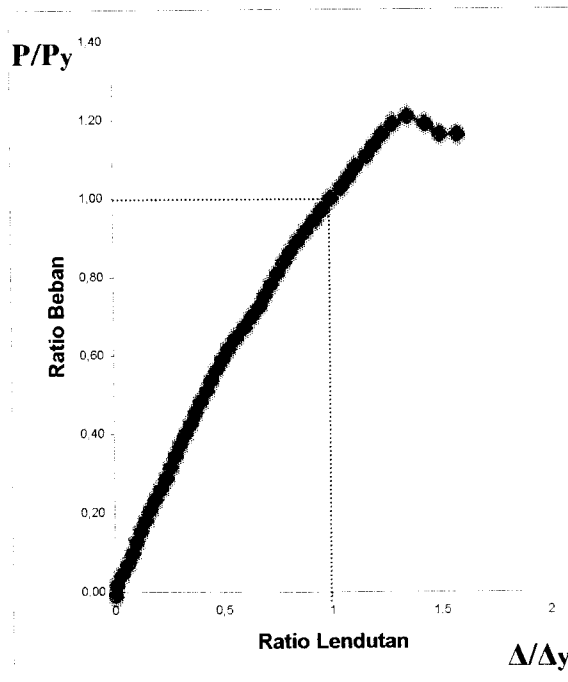
Lanjutan Tabel 5.4.

No	Beban (kN)	Lendutan			Lendutan Rata-rata (mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	
9	27	4,34	4,59	3,85	4,26
10	30	4,94	5,28	4,4	4,87
11	33	5,42	5,87	4,95	5,41
12	36	5,97	6,35	5,24	5,85
13	39	6,38	6,94	5,78	6,37
14	42	6,84	7,47	6,23	6,85
15	45	7,31	8,12	6,79	7,41
16	48	7,78	8,78	7,52	8,03
17	51	8,18	9,27	7,94	8,46
18	54	8,78	9,89	8,42	9,03
19	57	9,25	10,56	9,11	9,64
20	60	9,78	11,17	9,54	10,16
21	63	10,28	11,76	10,04	10,69
22	66	10,98	12,48	10,68	11,38
23	69	11,24	13,16	11,55	11,98
24	72	12,07	13,98	12,32	12,79
25	75	12,79	14,86	13,27	13,64
26	78	13,65	15,76	13,98	14,46
27	81	14,44	16,65	14,78	15,29
28	84	14,92	17,27	15,28	15,82
29	87	15,59	17,98	16	16,52
30	90	15,96	18,72	16,89	17,19
31	93	16,55	19,44	17,56	17,85
32	96	17,11	20,14	18,22	18,49
33	99	17,95	21,04	18,96	19,32
34	102	18,46	21,94	20,14	20,18
35	105	18,9	22,94	21,47	21,1
36	108	19,57	23,9	22,34	21,94
37	111	20,33	24,87	23,22	22,81
38	114	21,54	25,96	24,08	23,86
39	117	22,56	26,82	24,72	24,7
40	120	23,1	27,67	25,49	25,42
41	123	24,44	28,98	26,24	26,55
42	126	25	29,87	27,14	27,34
43	129	26,04	30,76	27,82	28,21
44	132	27,2	31,94	28,64	29,26
45	134	28,64	33,55	30,1	30,76
46	132	30,14	35,66	32,21	32,67
47	129	31,5	37,5	33,5	34,17
48	129	33	40	35	36

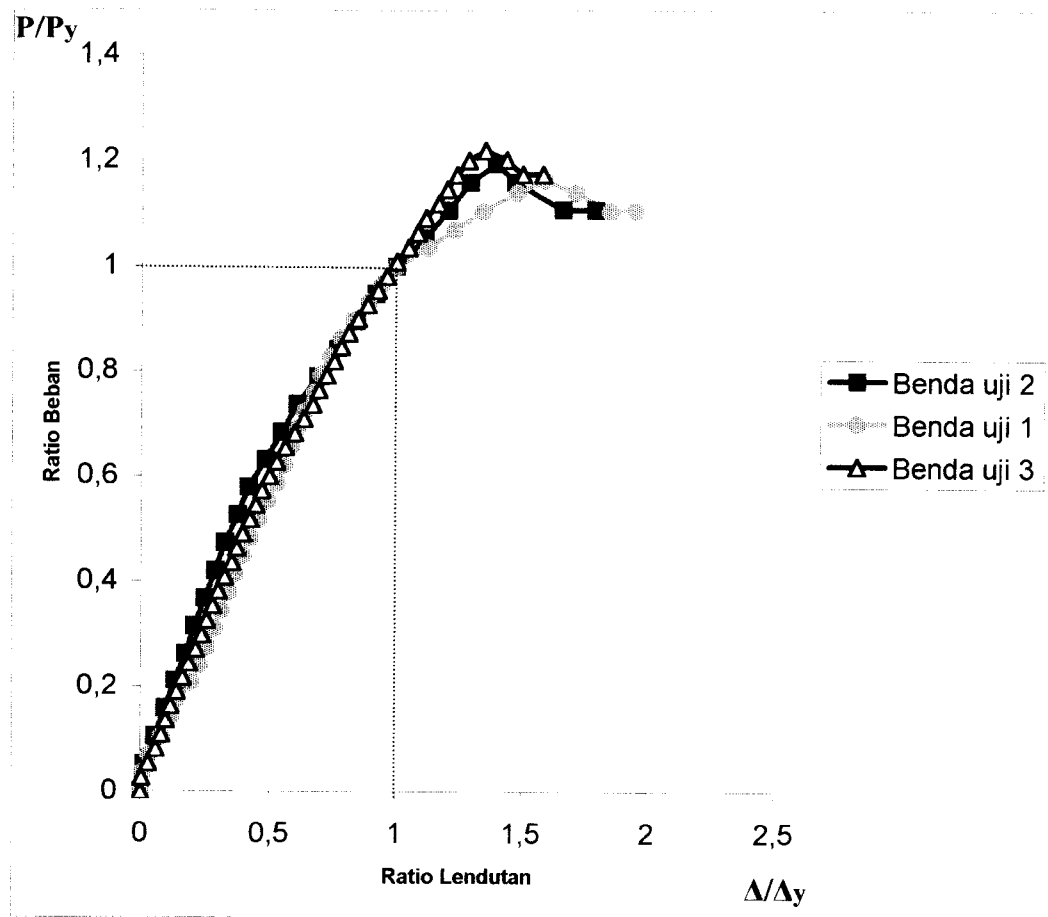
Dari data pada Tabel 5.4. hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar (5.5.) dan Gambar (5.6.)



Gambar 5.5. Grafik Beban-Lendutan Benda Uji III



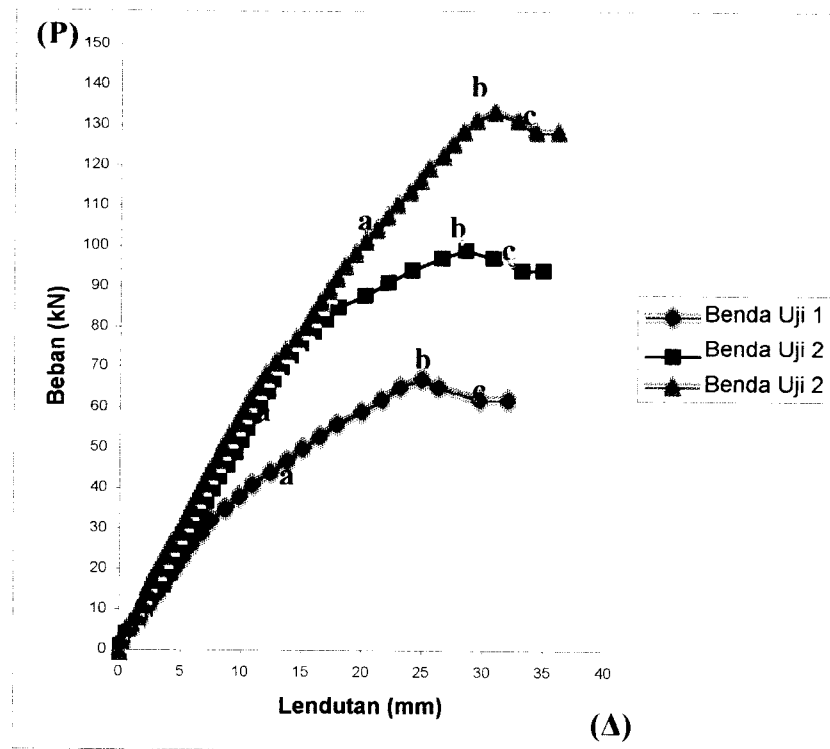
Gambar 5.6. Grafik dimensional hubungan beban-lendutan benda uji III



Gambar 5.7. Grafik perbandingan hubungan dimensional beban-lendutan benda uji I, II dan III

Keterangan :

Grafik tersebut digunakan sebagai pembandingan untuk mengetahui ductilitas tiap benda uji. Dari grafik tersebut diatas dapat diketahui bahwa benda uji III mempunyai ductilitas yang lebih tinggi dari benda uji II maupun I. Garis putus-putus merupakan batas daerah antara elastis dan plastis, sedangkan maksud dari dimensional adalah sebagai patokan kekuatan elastis dari dimensi balok badan terbuka.



Gambar 5.8. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan benda uji I, II dan III

Dari Grafik beban-lendutan hasil pengujian dapat diketahui bahwa dengan pembebanan bertahap struktur balok badan terbuka mengalami 3 fase perilaku, yaitu :

1. Fase elastis, ditunjukkan dengan kurva a,
2. Fase elastis-plastis, ditunjukkan dengan kurva b,
3. Fase plastis, ditunjukkan dengan kurva c.

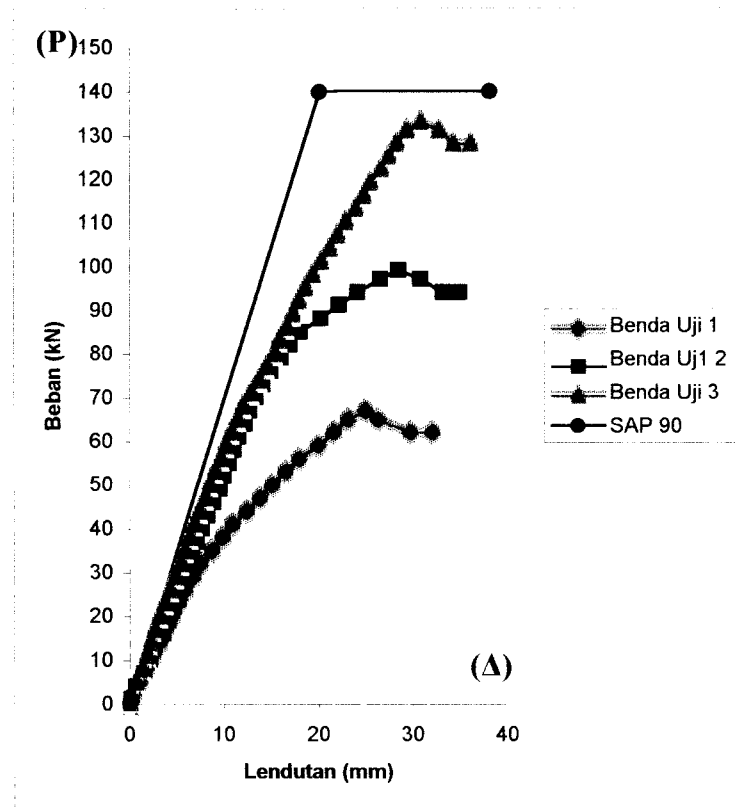
Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh *Stuart Moy dan W.F. Chen, dkk.*

Keterangan :

Pembacaan dial I, II, III pada benda uji I, II, III dihentikan karena :

1. Benda uji I, II, III sudah mengalami tekuk (*cracking*).
2. Pembacaan dial I, II, III sudah maksimal.

d. Grafik Hubungan Beban-Lendutan (P- Δ) Hasil Pengujian dengan Hasil Perhitungan Numeris SAP 90.



Gambar 5.9. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan dengan hasil perhitungan Numeris SAP 90 Benda Uji I, II dan III

Dari Gambar 5.8. di atas dapat diketahui bahwa beban yang terjadi pada *Open Web Joist* hasil dari analisis numeris SAP 90 (penyesuaian daerah plastis dari perilaku baja teoritis) menunjukkan bahwa kapasitas balok lebih besar dibandingkan hasil uji laboratorium. Di samping itu, perilaku *Open Web Joist* hasil pengujian menunjukkan perilaku bertahap dari kondisi plastis, elastis-plastis dan plastis.

5.2.2. Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

Dari hasil data penelitian diperoleh grafik hubungan beban dan lendutan (P- Δ) sehingga dapat dicari momen (M) dan kelengkungan (ϕ). Hubungan grafik M - ϕ dapat untuk mencari nilai faktor kekakuan.

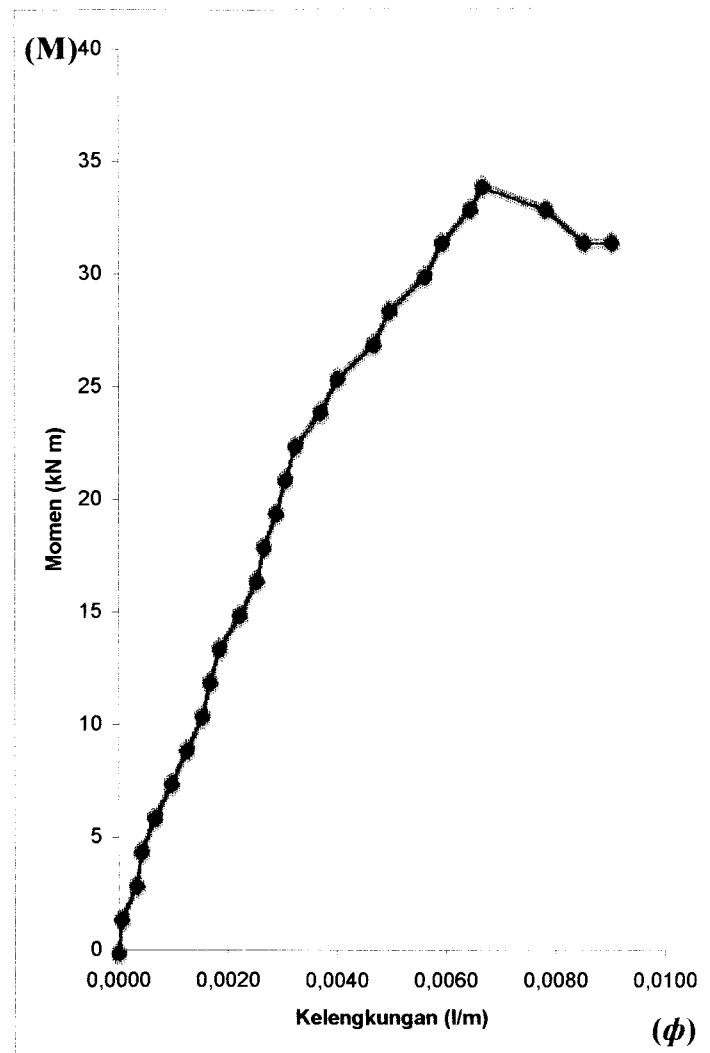
a. Benda Uji I dengan ketinggian (h) 0,4 m

Dari hasil pengujian perilaku benda uji I didapat data momen-kelengkungan pada Tabel 5.5 berikut ini :

Tabel 5.5. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji I

No	Beban (kN)	Lendutan			Momen (kN.m)	Kelengkungan (m) $\phi=(d1-2d2+d3)/\Delta x^2$
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0000
1	3,00	0,31	0,34	0,31	1,5	0,0001
2	6,00	1,00	1,14	0,95	3	0,0003
3	9,00	1,72	1,85	1,56	4,5	0,0004
4	12,00	2,47	2,65	2,17	6	0,0007
5	15,00	3,19	3,48	2,80	7,5	0,0010
6	18,00	3,64	4,17	3,45	9	0,0013
7	21,00	4,34	4,97	4,07	10,5	0,0015
8	24,00	4,90	5,74	4,91	12	0,0017
9	27,00	5,49	6,49	5,64	13,5	0,0019
10	30,00	6,34	7,48	6,40	15	0,0022
11	33,00	7,03	8,33	7,11	16,5	0,0025
12	36,00	8,12	9,56	8,34	18	0,0027
13	39,00	9,21	10,77	9,45	19,5	0,0029
14	42,00	10,12	11,91	10,65	21	0,0031
15	45,00	11,65	13,45	12,02	22,5	0,0032
16	48,00	13,22	14,98	13,05	24	0,0037
17	51,00	14,50	16,38	14,26	25,5	0,0040
18	54,00	15,88	18,01	15,47	27	0,0047
19	57,00	17,01	19,54	17,12	28,5	0,0050
20	60,00	18,94	21,77	19,00	30	0,0056
21	63,00	20,33	23,51	20,78	31,5	0,0059
22	66,00	21,94	25,22	22,07	33	0,0064
23	68,00	24,51	27,14	23,12	34	0,0067
24	66,00	25,77	28,86	24,15	33	0,0078
25	63,00	29,00	32,50	27,50	31,5	0,0085
26	63,00	31,00	35,00	30,00	31,5	0,0090

Dari data pada tabel hubungan momen dan kelengkungan di atas didapatkan grafik hubungan momen-kelengkungan pada Gambar (5.9.).



Gambar 5.10. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji I

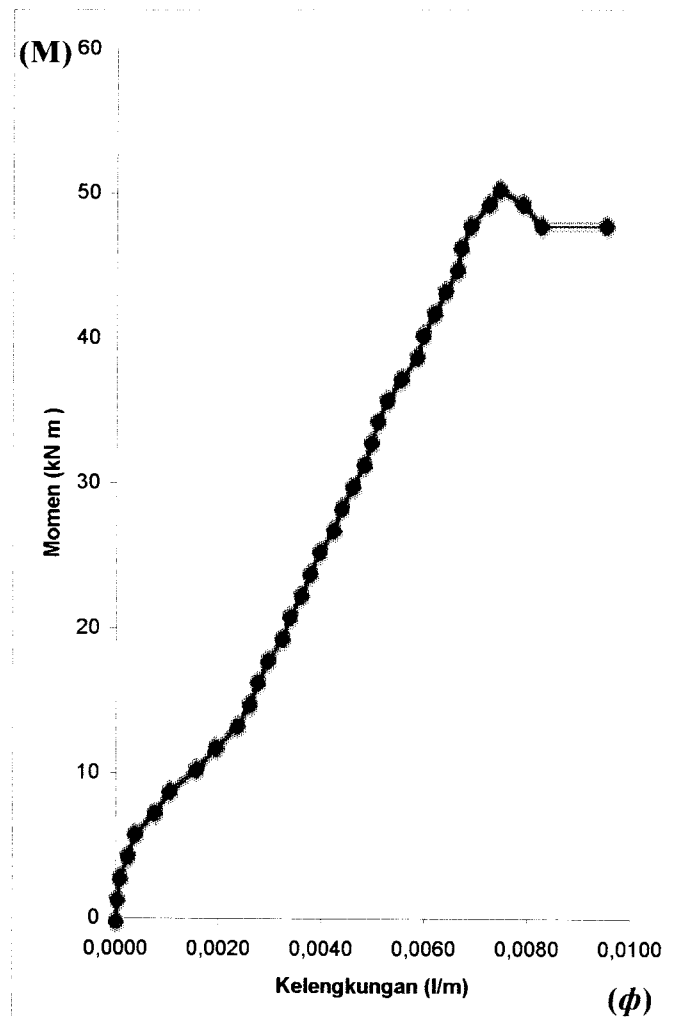
b. Benda Uji II dengan ketinggian (h) 0,6 m

Dari hasil pengujian perilaku benda uji II didapat data momen-kelengkungan pada Tabel 5.6 berikut ini :

Tabel 5.6. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji II

No	Beban (kN)	Lendutan			Momen (kN.m)	Kelengkungan (m) $\phi=(d1-2d2+d3)/\Delta x^2$
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0000
1	3,00	0,14	0,15	0,13	1,5	0,0000
2	6,00	0,59	0,62	0,57	3	0,0001
3	9,00	1,47	1,52	1,33	4,5	0,0002
4	12,00	2,11	2,20	1,92	6	0,0004
5	15,00	2,51	2,74	2,21	7,5	0,0008
6	18,00	3,44	3,87	3,25	9	0,0011
7	21,00	4,05	4,61	3,60	10,5	0,0016
8	24,00	4,51	5,25	4,04	12	0,0020
9	27,00	4,91	5,89	4,50	13,5	0,0024
10	30,00	5,36	6,48	5,00	15	0,0026
11	33,00	5,85	7,04	5,47	16,5	0,0028
12	36,00	6,24	7,53	5,86	18	0,0030
13	39,00	6,74	8,16	6,34	19,5	0,0032
14	42,00	7,28	8,72	6,78	21	0,0034
15	45,00	7,85	9,36	7,27	22,5	0,0036
16	48,00	8,49	10,08	7,89	24	0,0038
17	51,00	9,13	10,77	8,45	25,5	0,0040
18	54,00	9,59	11,36	8,90	27	0,0042
19	57,00	10,08	11,91	9,35	28,5	0,0044
20	60,00	10,54	12,47	9,79	30	0,0046
21	63,00	11,14	13,05	10,14	31,5	0,0048
22	66,00	11,70	13,78	10,90	33	0,0050
23	69,00	12,14	14,26	11,30	34,5	0,0051
24	72,00	12,80	14,99	11,92	36	0,0053
25	75,00	13,55	15,84	12,60	37,5	0,0055
26	78,00	14,43	16,77	13,27	39	0,0058
27	81,00	15,52	17,89	14,31	40,5	0,0060
28	84,00	16,48	18,95	15,25	42	0,0062
29	87,00	17,54	20,04	16,16	43,5	0,0064
30	90,00	19,87	22,36	18,23	45	0,0066
31	93,00	21,79	24,27	20,07	46,5	0,0067
32	96,00	23,54	26,32	22,23	48	0,0069
33	99,00	25,78	28,88	24,76	49,5	0,0072
34	101,00	28,14	30,87	26,17	50,5	0,0074
35	99,00	30,55	33,29	28,16	49,50	0,0079
36	96,00	32,44	35,78	30,88	48,00	0,0082
37	96,00	34,50	38,00	32,00	48,00	0,0095

Dari data pada tabel hubungan momen dan kelengkungan di atas didapatkan grafik hubungan momen-kelengkungan pada Gambar (5.10.).



Gambar 5.11. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji II

c. Benda Uji III dengan ketinggian (h) 0,8 m

Dari hasil pengujian perilaku benda uji III didapat data momen-kelengkungan pada Tabel 5.7 berikut ini :

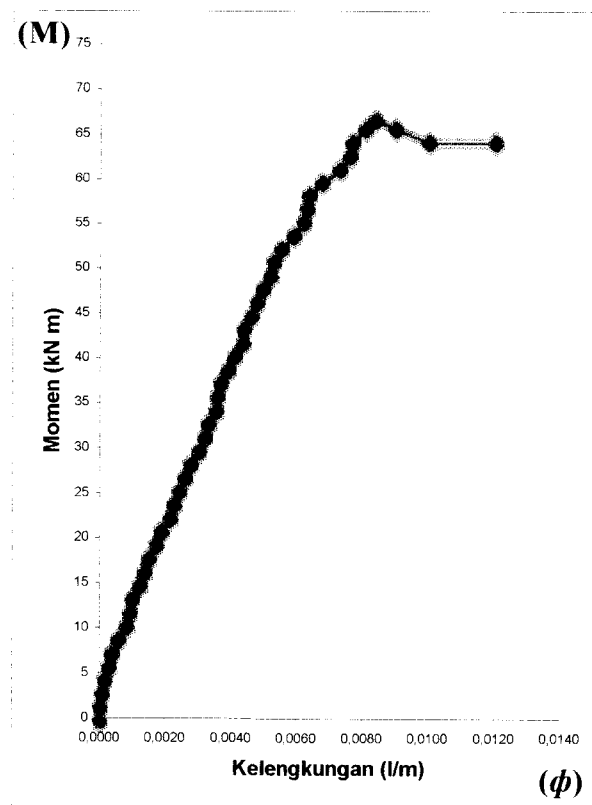
Tabel 5.7. Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji III

No	Beban (kN)	Lendutan			Momen (kN.m)	Kelengkungan (m) $\phi=(d1-2d2+d3)/\Delta x^2$
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
0	0	0	0	0	0	0
1	3	0,12	0,12	0,11	1,5	0
2	6	0,75	0,71	0,59	3	0,0001
3	9	1,43	1,41	1,23	4,5	0,0002
4	12	1,88	1,94	1,7	6	0,0003
5	15	2,27	2,36	2,08	7,5	0,0004
6	18	2,67	2,84	2,44	9	0,0006
7	21	3,21	3,46	2,89	10,5	0,0008
8	24	3,75	4,01	3,35	12	0,0009
9	27	4,34	4,59	3,85	13,5	0,001
10	30	4,94	5,28	4,4	15	0,0012
11	33	5,42	5,87	4,95	16,5	0,0014
12	36	5,97	6,35	5,24	18	0,0015
13	39	6,38	6,94	5,78	19,5	0,0017
14	42	6,84	7,47	6,23	21	0,0019
15	45	7,31	8,12	6,79	22,5	0,0021
16	48	7,78	8,78	7,52	24	0,0023
17	51	8,18	9,27	7,94	25,5	0,0024
18	54	8,78	9,89	8,42	27	0,0026
19	57	9,25	10,56	9,11	28,5	0,0028
20	60	9,78	11,17	9,54	30	0,003
21	63	10,28	11,76	10,04	31,5	0,0032
22	66	10,98	12,48	10,68	33	0,0033
23	69	11,24	13,16	11,55	34,5	0,0035
24	72	12,07	13,98	12,32	36	0,0036
25	75	12,79	14,86	13,27	37,5	0,0037
26	78	13,65	15,76	13,98	39	0,0039
27	81	14,44	16,65	14,78	40,5	0,0041
28	84	14,92	17,27	15,28	42	0,0043
29	87	15,59	17,98	16	43,5	0,0044
30	90	15,96	18,72	16,89	45	0,0046
31	93	16,55	19,44	17,56	46,5	0,0048
32	96	17,11	20,14	18,22	48	0,005
33	99	17,95	21,04	18,96	49,5	0,0052
34	102	18,46	21,94	20,14	51	0,0053
35	105	18,9	22,94	21,47	52,5	0,0055
36	108	19,57	23,9	22,34	54	0,0059
37	111	20,33	24,87	23,22	55,5	0,0062
38	114	21,54	25,96	24,08	57	0,0063

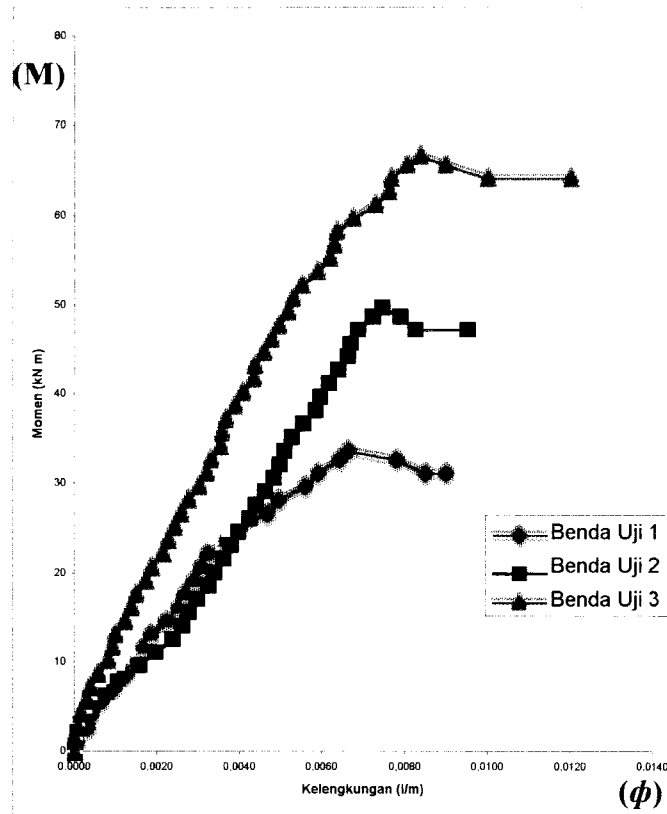
Lanjutan Tabel 5.7 Hubungan Momen-Kelengkungan benda uji III

No	Beban (kN)	Lendutan			Momen (kN.m)	Kelengkungan (m) $\phi=(d1-2d2+d3)/\Delta x^2$
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
39	117	22,56	26,82	24,72	58,5	0,0064
40	120	23,1	27,67	25,49	60	0,0068
41	123	24,44	28,98	26,24	61,5	0,0073
42	126	25	29,87	27,14	63	0,0076
43	129	26,04	30,76	27,82	64,5	0,0077
44	132	27,2	31,94	28,64	66	0,008
45	134	28,64	33,55	30,1	67	0,0084
46	132	30,14	35,66	32,21	66	0,009
47	129	31,5	37,5	33,5	64,5	0,01
48	129	33	40	35	64,5	0,012

Dari data pada tabel hubungan momen dan kelengkungan di atas didapatkan grafik hubungan momen kelengkungan pada Gambar (5.11.).



Gambar 5.12. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji III



Gambar 5.13. Grafik Perbandingan Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji I, II dan III.

Dari Grafik 5.12. dapat diketahui bahwa semakin tinggi (h) semakin besar momen maksimal yang terjadi, tetapi kelengkungannya semakin kecil. Hal di atas dapat dijadikan acuan untuk mengetahui besarnya nilai kekakuan.

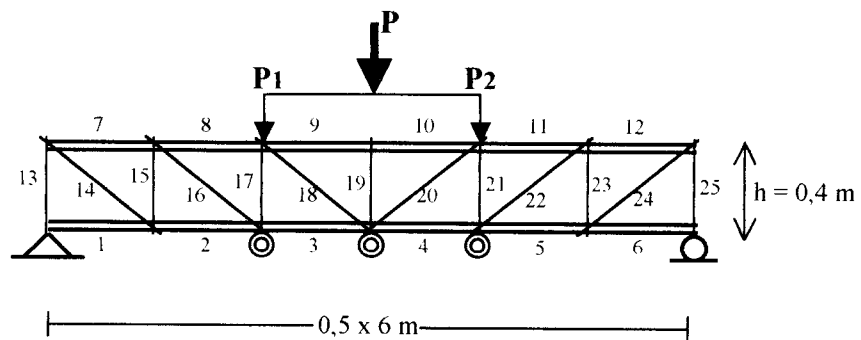
5.3. Pembahasan

5.3.1. Perilaku elemen *Open Web Joist*.

Pada penelitian ini, struktur rangka *Open Web Joist* diberi pembebanan secara sentris dengan beban P_{eks} untuk benda uji I, II, dan III secara berurutan 57,6 kN, 96kN, dan 134,4 kN. Dimana pembebanan ini mengakibatkan batang-

batang mengalami perubahan tegangan normal, baik tegangan desak ataupun tegangan tarik pada tiap elemen. Tegangan yang terjadi pada tiap elemen perlu dicek terhadap kapasitas bahan elemen tiap benda uji (Lampiran 3 dan 4), hasilnya seperti pada Tabel 5.8, 5.9, 5.10 berikut ini :

1.



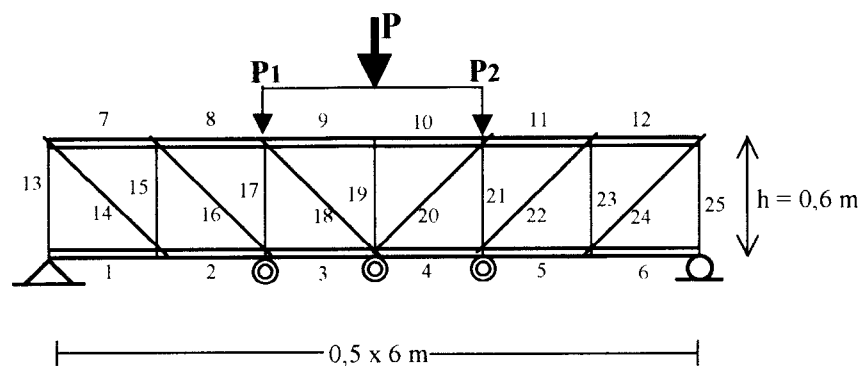
Tabel 5.8. Kapasitas elemen benda uji I

No	Batang (Elemen)	P_{eks} (kN)	Kapasitas (kN)	Keterangan
1	1	1,913	286,279	Aman
2	2	34,372	286,279	Aman
3	3	61,154	286,279	Aman
4	4	61,154	286,279	Aman
5	5	34,372	286,279	Aman
6	6	1,913	286,279	Aman
7	7	-32,554	-64,639	Aman
8	8	-60,139	-64,639	Aman
9	9	-65,808	-64,639	Tekuk
10	10	-65,808	-64,639	Tekuk
11	11	-60,139	-64,639	Aman
12	12	-32,554	-64,639	Aman
13	13	-27,179	-34,454	Aman
14	14	39,224	75	Aman
15	15	-22,900	-34,453	Aman
16	16	32,988	75	Aman
17	17	-26,244	-13,464	Aman
18	18	5,952	75	Aman
19	19	-4,943	-34,453	Aman

Lanjutan Tabel 5.8. Kapasitas elemen benda uji I

No	Batang (Elemen)	P_{eks} (kN)	Kapasitas (kN)	Keterangan
20	20	5,952	75	Aman
21	21	-26,244	-34,453	Aman
22	22	32,988	75	Aman
23	23	-22,900	-34,453	Aman
24	24	39,224	75	Aman
25	25	-27,179	-34,453	Aman

2.



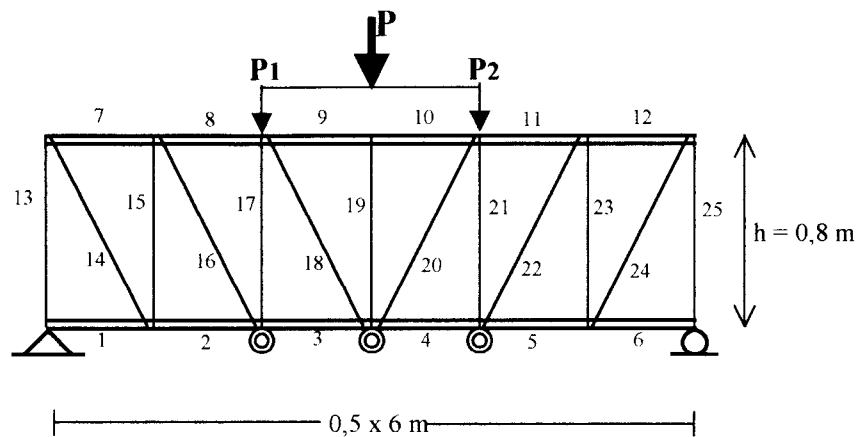
Tabel 5.9. Kapasitas elemen benda uji II

No	Batang (Elemen)	P_{eks} (kN)	Kapasitas (kN)	Keterangan
1	1	1,366	286,279	Aman
2	2	38,989	286,279	Aman
3	3	70,388	286,279	Aman
4	4	70,388	286,279	Aman
5	5	34,372	286,279	Aman
6	6	1,336	286,279	Aman
7	7	-32,554	-64,639	Aman
8	8	-69,629	-64,639	Tekuk
9	9	-75,200	-64,639	Tekuk
10	10	-75,200	-64,639	Tekuk
11	11	-69,629	-64,639	Tekuk
12	12	-37,727	-64,639	Aman
13	13	-46,696	-56,953	Aman
14	14	56,802	75	Aman
15	15	-40,925	-56,953	Aman
16	16	47,830	75	Aman
17	17	-44,124	-56,953	Aman
18	18	7,579	75	Aman
19	19	-8,819	-8,83	Aman

Lanjutan Tabel 5.9. Kapasitas elemen benda uji II

No	Batang (Elemen)	P_{eks} (kN)	Kapasitas (kN)	Keterangan
20	20	7,579	75	Aman
21	21	-44,124	-56,953	Aman
22	22	47,830	75	Aman
23	23	-40,925	-56,953	Aman
24	24	56,802	75	Aman
25	25	-46,696	-56,953	Aman

3.



Tabel 5.10. Kapasitas elemen benda uji III

No	Batang (Elemen)	P_{eks} (kN)	Kapasitas (kN)	Keterangan
1	1	1,117	286,279	Aman
2	2	40,946	286,279	Aman
3	3	73,979	286,279	Aman
4	4	73,979	286,279	Aman
5	5	40,946	286,279	Aman
6	6	1,117	286,279	Aman
7	7	-39,896	-64,639	Aman
8	8	-73,384	-64,639	Tekuk
9	9	-78,896	-64,639	Tekuk
10	10	-78,896	-64,639	Tekuk
11	11	-73,384	-64,639	Tekuk
12	12	-39,896	-64,639	Aman
13	13	-65,809	-65,92	Aman
14	14	73,094	75	Aman
15	15	-58,181	-65,92	Aman
16	16	61,152	75	Aman
17	17	-61,047	-65,92	Aman
18	18	9,257	75	Aman
19	19	-13,217	6,61	Aman

Lanjutan Tabel 5.10. Kapasitas elemen benda uji III.

No	Batang (Elemen)	P_{eks} (kN)	Kapasitas (kN)	Keterangan
20	20	9,257	75	Aman
21	21	-61,047	-65,92	Aman
22	22	61,152	75	Aman
23	23	-58,181	-65,92	Aman
24	24	73,099	75	Aman
25	25	-65,809	-65,92	Aman

Dari Tabel 5.8, 5.9, 5.10 dapat diketahui bahwa elemen batang pengisi *Open Web Joist* mempunyai kapasitas bahan yang lebih besar dari beban yang terjadi sehingga tidak terjadi bahaya *buckling*, dan pada profil C canai horizontal sisi atas mengalami gaya tekan dengan kapasitas bahannya (P_{cr}) lebih kecil dari gaya batang yang terjadi sehingga menimbulkan perilaku *buckling*

5.3.2. Tekuk lentur *Open Web Joist* ditinjau dari hubungan Momen-Kelengkungan

Elemen penyusun *Open Web Joist* dihubungkan dengan menggunakan las, maka joint-joint dianggap kaku, yaitu sudut antara batang-batangya tidak mengalami perubahan. Batang-batang yang cenderung berputar terhadap jointnya senantiasa akan mengalami tahanan pada joint-joint yang rigid sehingga struktur balok *Open Web Joist* tersebut akan melentur dan mengalami lendutan.

Adanya perbedaan ketinggian (h) akan mengakibatkan sudut batang pengisi diagonal tiap benda uji semakin kecil, dimana semakin kecil sudut batang pengisi diagonal akan mengakibatkan struktur balok semakin kaku.

Untuk mengetahui kekakuan *Open Web Joist* dapat ditinjau dari hubungan beban dan lendutan, hal ini dikarenakan jarak antara titik beban dengan tumpuan tiap benda uji sama yaitu 1,00 m, seperti pada tabel 5.11 berikut :

Tabel 5.11. Nilai Kekakuan Benda Uji I, II dan III dengan $L = 6,00$ m

Kekakuan pada $P = 45$ kN

Benda Uji	Beban P (kN)	Lendutan Δ (m)	Kekakuan P/Δ (kN/m)
Benda Uji 1 (L=0,4 m)	45	0,01237	3637,833468
Benda Uji 2 (L=0,6 m)	45	0,00816	5514,705882
Benda Uji 3 (L=0,8 m)	45	0,00741	6072,874494

Kekakuan pada $P = 60$ kN

Benda Uji	Beban P (kN)	Lendutan Δ (m)	Kekakuan P/Δ (kN/m)
Benda Uji 1 (L=0,4 m)	60	0,01900	3157,894737
Benda Uji 2 (L=0,6 m)	60	0,01093	5489,4785
Benda Uji 3 (L=0,8 m)	60	0,01016	5905,511811

Dari grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian tekuk lentur *Open Web Joist* dapat dilihat bahwa tekuk lentur *Open Web Joist* dengan batang horizontal profil C canai dingin dengan $(b/t) \geq 25$ mengalami $F_{cr} < F_y$ (tegangan kritis yang terjadi jauh di bawah tegangan lelehnya), sehingga terjadinya *buckling* diawali pada sayap kemudian diikuti *buckling* pada badan. Perilaku ini dinamakan tekuk setempat, dimana elemen pelat dapat mengakibatkan kehancuran penampang keseluruhan terlalu dini, atau paling sedikit menyebabkan tegangan menjadi tidak merata dan dapat mengurangi kekuatan keseluruhan (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Tekuk lokal yang dialami profil C canai juga disebabkan adanya faktor k (kondisi ujung-ujung elemen). Dimana pada kondisi ideal sayap pelat tumpuan diasumsikan tumpuan sederhana dan tumpuan sederhana dengan nilai $k = 4$ dan pada badan kedua tumpuan diasumsikan tumpuan sederhana maka nilai k sebesar 4. Jika dibandingkan kekuatan bahan ketika diuji di laboratorium dan analisis numeris, maka akan terdapat perbedaan kekuatan. Dimana secara analisis numeris kekuatan bahan akan lebih besar dibandingkan pada waktu pengujian. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh tegangan residu, dimana tegangan residu hanya dapat diketahui dengan membandingkan diagram tegangan-tegangan hasil uji tekan dua benda uji. Satu diantaranya tanpa tegangan residu dan yang lain dengan tegangan residu (*Padosbajayo, 1992*).

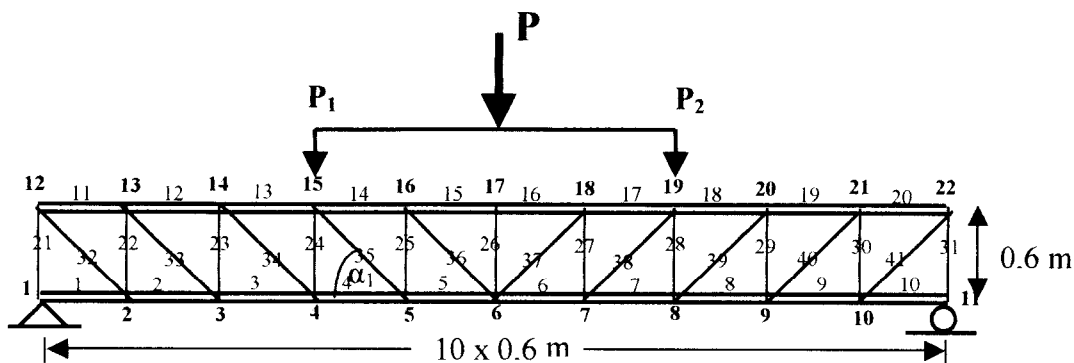
5.3.3. Perbandingan Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian Sekarang

5.3.3.a. Penelitian Sebelumnya.

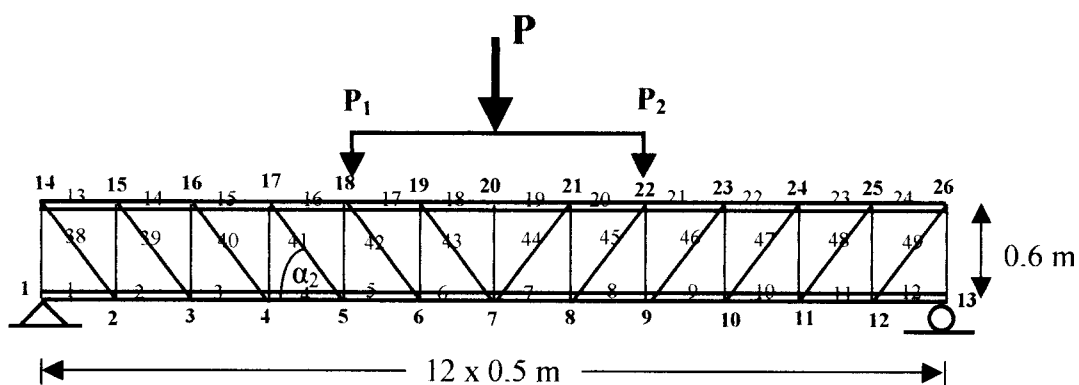
Penelitian ini dilakukan oleh :

1. M. Yudha Anrofa 96 310 054
2. M. Busron Hanafi 96 310 094

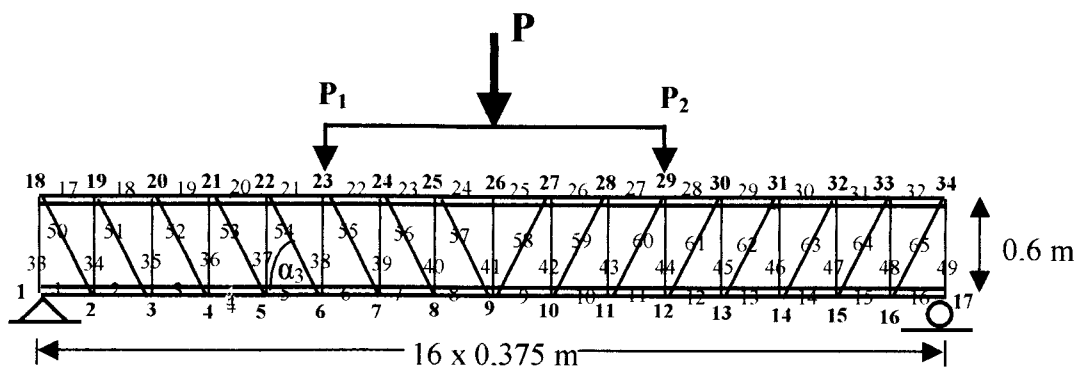
Benda Uji I ($\alpha_1 = 45^\circ$).



Benda Uji II ($\alpha_2 = 50^\circ$).

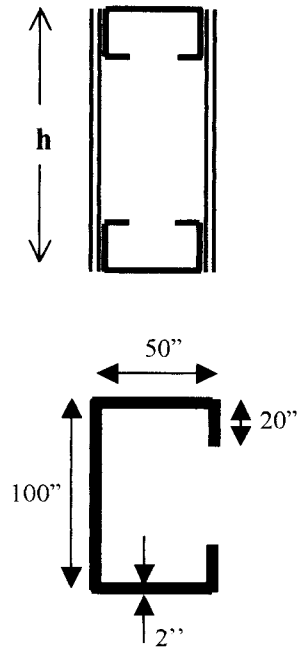


Benda Uji III ($\alpha_3 = 60^\circ$).

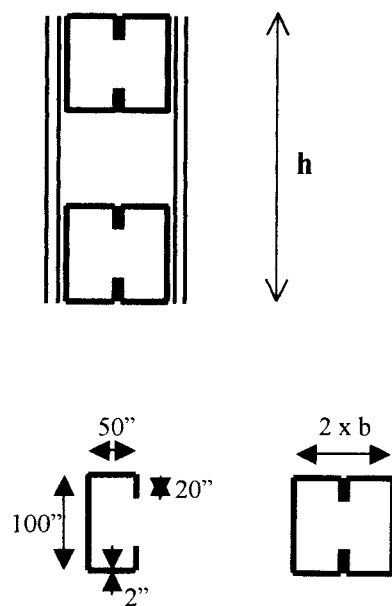


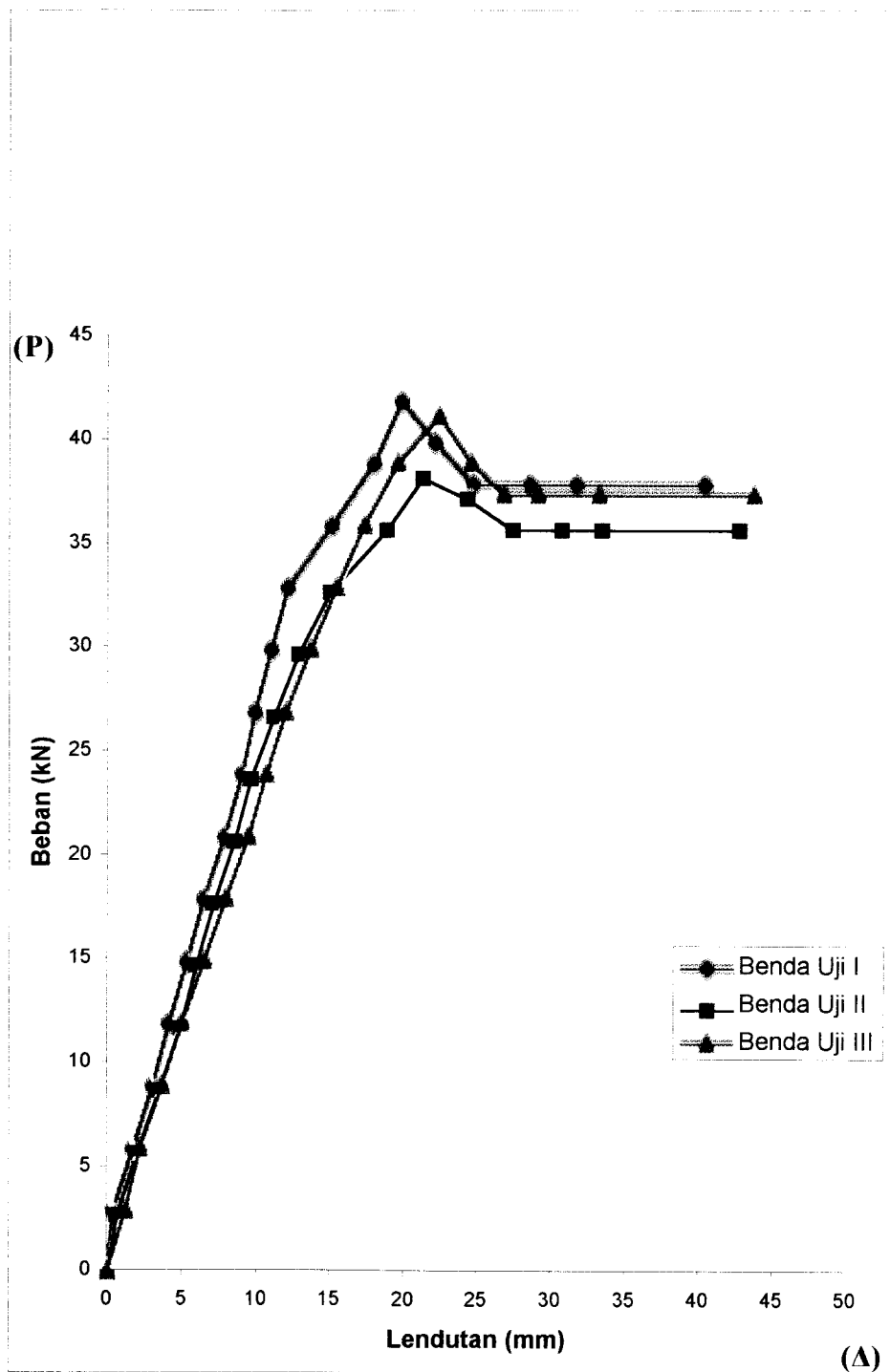
❖ **Bentuk Profil**

a. Penelitian sebelumnya

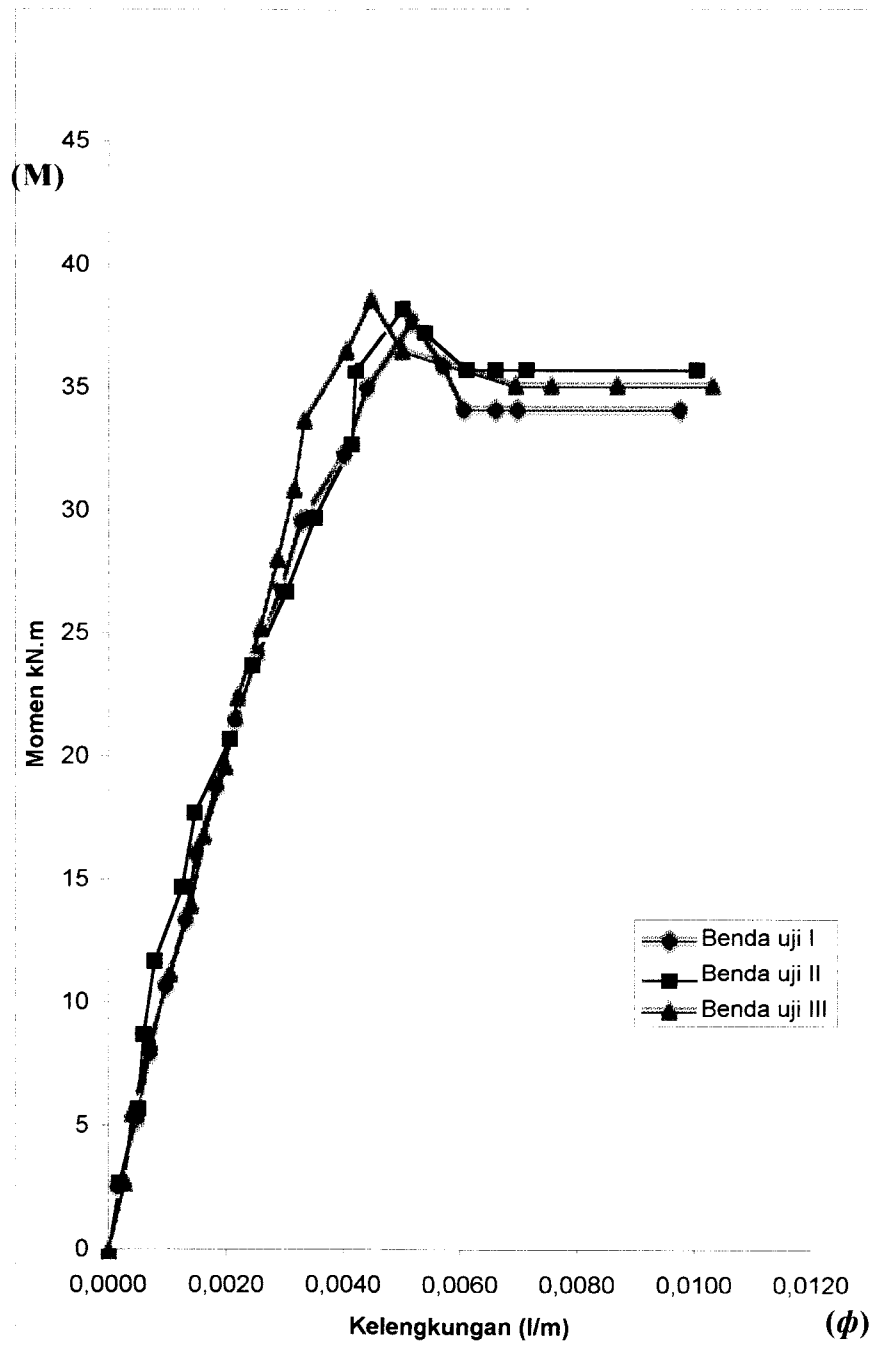


b. Penelitian sekarang





Gambar 5.14. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan benda uji I, II, III (Hasil penelitian sebelumnya oleh M. Yudha Anrofa dan M. Busron Hanafi).

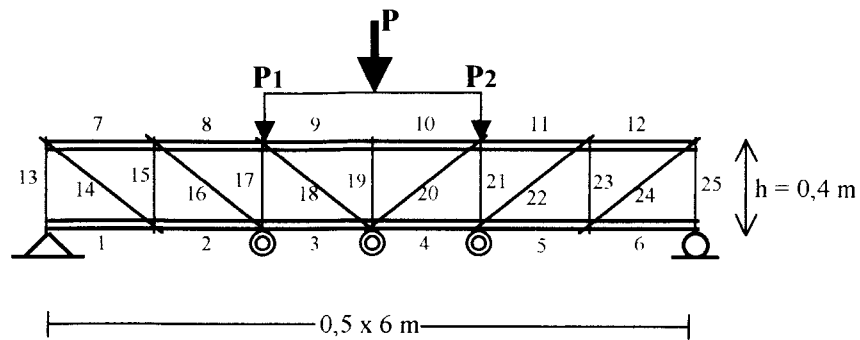


Gambar 5.15. Grafik Perbandingan Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji I, II dan III.

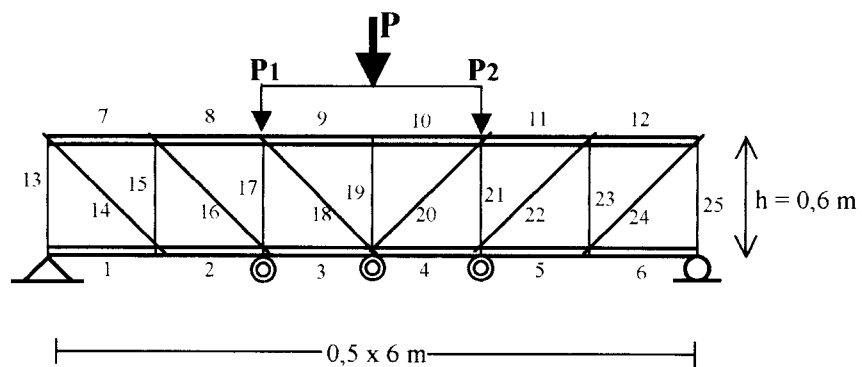
(Hasil penelitian sebelumnya oleh M. Yudha Anrofa dan M. Busron Hanafi).

5.3.3.b. Penelitian Sekarang

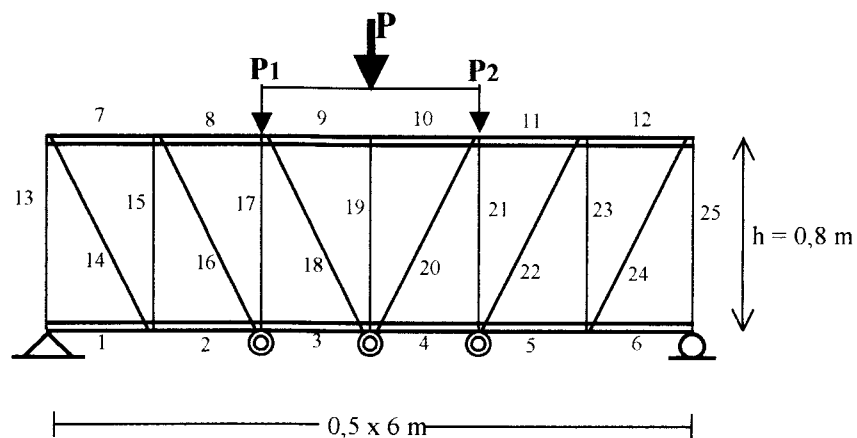
Benda Uji I (h= 0,4 m).

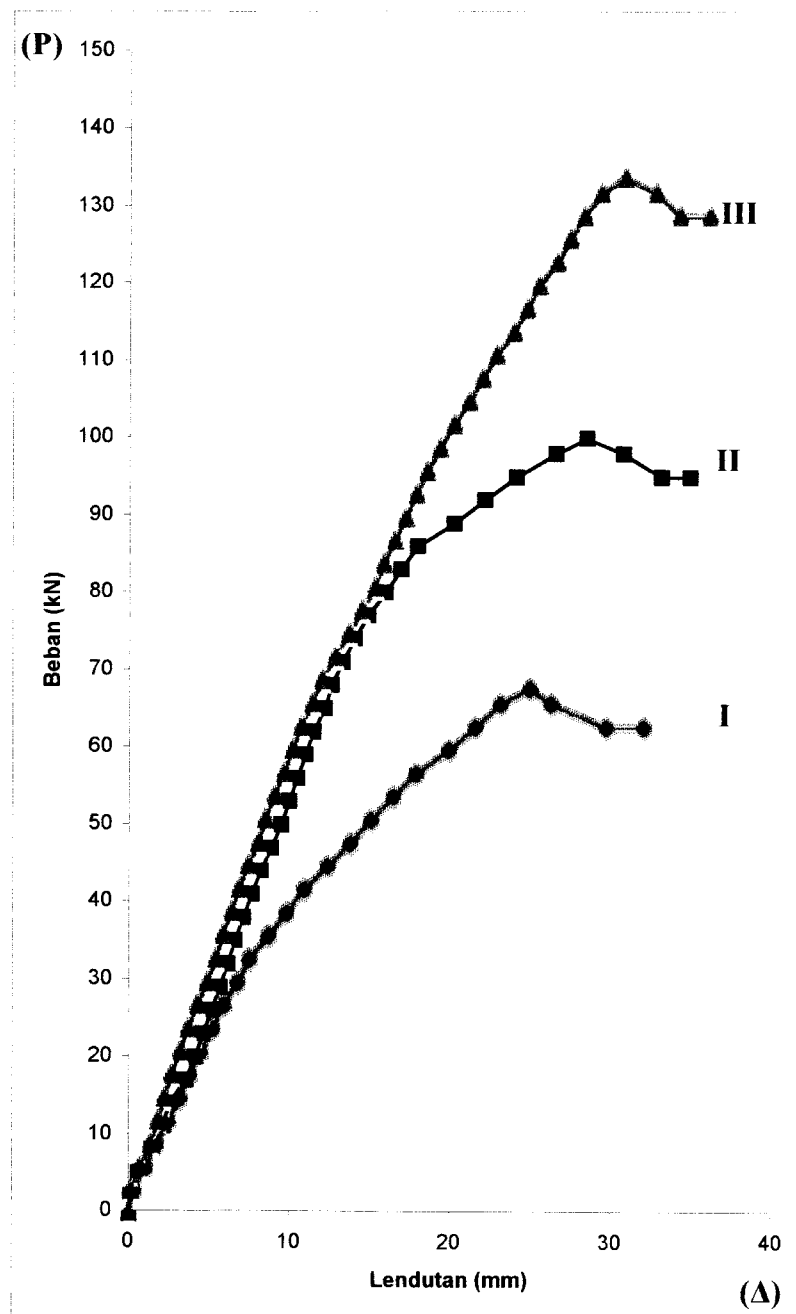


Benda Uji I (h= 0,6 m).

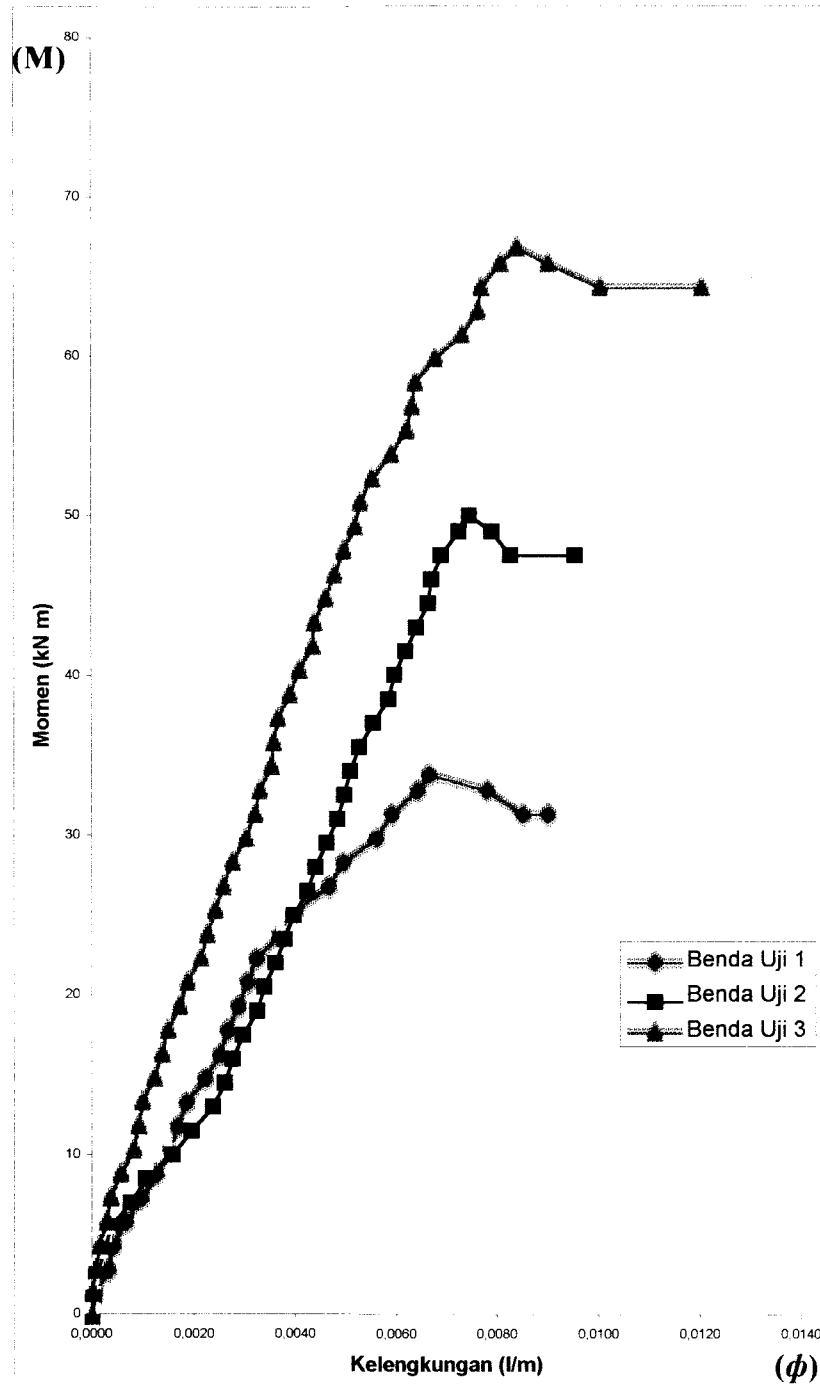


Benda Uji I (h= 0,8 m).





Gambar 5.16. Grafik perbandingan hubungan beban-lendutan benda uji I, II, III (Hasil penelitian sekarang).



Gambar 5.17. Grafik Perbandingan Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji I, II dan III.

(Hasil penelitian sekarang).

Pada penelitian sebelumnya, *Open Web Joist* dengan menggunakan variasi sudut didapat hasil :

1. Elemen batang pengisi *Open Web Joist* mempunyai kapasitas bahan yang lebih besar dari beban yang terjadi sehingga tidak terjadi bahaya *buckling*, pada profil C canai horisontal sisi atas mengalami gaya tekan dengan kapasitas bahannya (P_{cr}) lebih kecil dari gaya batang yang terjadi sehingga menimbulkan perilaku *buckling*.
2. Adanya perbedaan besar sudut batang pengisi diagonal tiap benda uji mengakibatkan panjang efektif (L_k) berbeda, dimana semakin pendek L_k maka jumlah batang pengisi vertikal akan semakin banyak (panjang batang $L = \text{konstan}$) dan mengakibatkan struktur balok semakin kaku.
3. Semakin besar sudut, maka kekakuan *Open Web Joist* akan semakin besar. Beban yang diterima akan semakin besar pula .

Pada penelitian sekarang *open web joist* dengan menggunakan variasi tinggi didapat hasil :

1. Elemen batang pengisi *Open Web Joist* mempunyai kapasitas bahan yang lebih besar dari beban yang terjadi sehingga tidak terjadi bahaya *buckling*, dan pada profil C canai horisontal sisi atas mengalami gaya tekan dengan kapasitas bahannya (P_{cr}) lebih kecil dari gaya batang yang terjadi sehingga menimbulkan perilaku *buckling*.
2. Kekakuan *Open Web Joist* dapat ditinjau dari hubungan beban dan lendutan, semakin tinggi h , lendutan akan semakin kecil sehingga

kekakuan akan semakin besar, tetapi h tersebut mempunyai batasan. Dalam penelitian ini batasan tersebut belum tercapai.

3. Semakin tinggi h beban yang akan diterima oleh open web joist akan semakin besar, karena momen (Mn) yang terjadi juga semakin besar, tetapi h tersebut mempunyai batasan. Dalam penelitian ini batasan tersebut belum tercapai.
4. Pada pengujian lentur *Open Web Joist* rawan terjadi puntir, untuk mencegah terjadinya puntir (*torsi*), benda uji dengan batang horisontal berupa profil C canai dingin pada batang pengisi horisontal bagian sisi-sisi dan tengah perlu ditambahkan pengaku atau memperbesar dimensi batang pengisi vertikal., karena dengan variasi ketinggian h batang pengisinya yang akan mengalami tekuk. Semakin tinggi balok badan terbuka, semakin langsing pula balok badan terbuka tersebut, dan semakin besar pula beban yang diterimanya. Tetapi ketinggian h tersebut mempunyai batasan. Dalam penelitian ini batasan tersebut belum tercapai.
5. Tekuk lentur terjadi tekuk lokal pada sayap batang desak horizontal sisi atas. Hal ini disebabkan profil C canai dingin terbuat dari pelat tipis dengan perbandingan $(b/t) \geq 25$, dimana tegangan kritisnya jauh di bawah tegangan lelehnya ($F_{cr} < F_y$).
6. *Open Web Joist* tidak mempunyai daktilitas yang baik, karena pengaruh tekuk lokal pada profil C.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

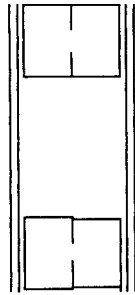
Hasil pengujian perilaku balok badan terbuka canai dingin menunjukkan bahwa :

1. Ketinggian (h) balok berpengaruh pada beban yang diterima oleh balok profil C tersebut, semakin tinggi (h), maka kapasitas balok tersebut semakin besar, tetapi ketinggian h tersebut ada batasnya, dan dalam penelitian kami batasan tersebut belum tercapai.
2. Dari hubungan lendutan dan momen kelengkungan didapat, semakin tinggi h maka lendutan yang terjadi akan semakin kecil, dan kekakuan balok menjadi semakin besar. Dengan begitu semakin tinggi h maka kekakuan balok badan terbuka akan semakin baik, tetapi ketinggian h tersebut ada batasnya, dan dalam penelitian kami batasan tersebut belum tercapai

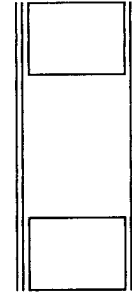
6.2. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut tentang analisis perbandingan *Open Web Joist* yang menggunakan batang horizontal profil C canai dingin yang terbuat dari pelat tipis dengan perbandingan $(b/t) \geq 25$ perlu adanya pertimbangan hal-hal sebagai berikut :

1. Untuk profil C canai dingin gabungan yang dipasang berhadapan diganti dengan profil box, karena factor pengelasan berpengaruh pada kekuatan profil tersebut.

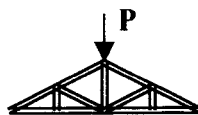


Profil C canai dingin gabungan



Profil box

2. Karena dengan menggunakan baja biaya nya agak tinggi, dicoba cara alternatif, yaitu dengan menggunakan kayu yang dirangkai dengan pipa besi yang disambung dengan menggunakan baut.
3. Pemakaian profil C canai dingin gabungan untuk rangka atap perlu diteliti.



DAFTAR PUSTAKA

- Boldgett, Omer, W., *DESIGN OF WELDED STRUCTURES*, The James F. Lincolnd Arc welding Foundation, 1996.
- Bowles, Joseph, E., *DESAIN BAJA KONSTRUKSI*, P.T. Erlangga, Jakarta, 1985.
- Bresler, Boris, Lin, T.Y dan Scalzi, J.B., *DESIGN OF STEEL STRUCTURES, 2nd ed.*, John Wiley and Sons, New York, 1957.
- Charles G. Salmon, John E. Johnson, *STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU*, Jilid1- Edisi Kedua, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1990.
- Kuzmanovic, Bogdan O. dan Willems, N., *STEEL DESIGN FOR STRUCTURAL ENGINEERS*, Prentice-Hall, inc-Englewood Chiff, New Jersey, 1977.
- M Yudha Anrofa dan M. Busron Hanafi *PERILAKU BALOK BADAN TERBUKA DENGAN VARIASI SUDUT BATANG DIAGONAL*, Skripsi, UII, Yogyakarta, 2002.
- Michael Bruneau, Chia-Ming Uang, Andrew Wittaker, *DUCTILE DESIGN OF STEEL STRUCTURE*, McGraw-Hill, 1998.
- Padosbajayo, *PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA*, Edisi Ketiga, Yogyakarta, 1994.
- Richard M. Barker, Jay A. Puckett, *DESIGN OF HIGHWAY BRIDGES BASED ON AASHTO LRFD, BRIDGES DESIGN SPECIFICATION*, John Wiley and Sons, New York, 1997.
- Spiegel, Leonard dan Limbrunner, George. *DESAIN BAJA STRUKTURAL TERAPAN*. P.T. Eresco, 1991.
- Szilard, Rudolf, *TEORI DAN ANALISIS PELAT*, P.T. Erlangga, Jakarta, 1989.
- Tall, Lambert, *STRUCTURAL STEEL DESIGN*, The Ronald Press Company, New York, 1974.

LAMPIRAN

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	Eko Subandriyo	94310220	Struktur
2	Andri Resmana	96310170	Struktur

JUDUL TUGAS AKHIR :

.....
Stabilitas Balok Badan Terbuka (open Web Joist) Gabungan Profil C Canal Dengan dengan..
Variasi Tinggi (h).

PERIODE III : MARET - AGUSTUS

TAHUN : 2001 / 2002

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Mar.	Apr.	Mei.	Jun.	Jul.	Aug.
1.	Pendaftaran	■					
2.	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3.	Pembuatan Proposal		■				
4.	Seminar Proposal		■	■			
5.	Konsultasi Penyusunan TA.			■	■	■	
6.	Sidang-Sidang					■	■
7.	Pendadaran.						■

DOSEN PEMBIMBING I
 DOSEN PEMBIMBING II

Ir. H.M. Samsudin, MT.
 Ir. H. Suharyatmo, MT.



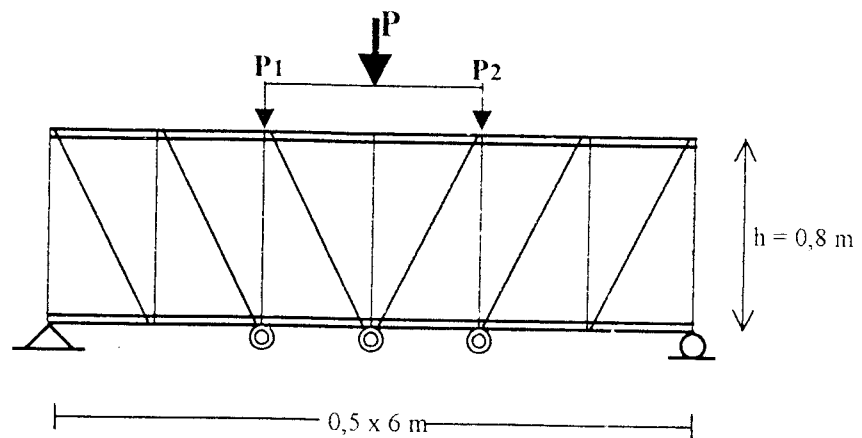
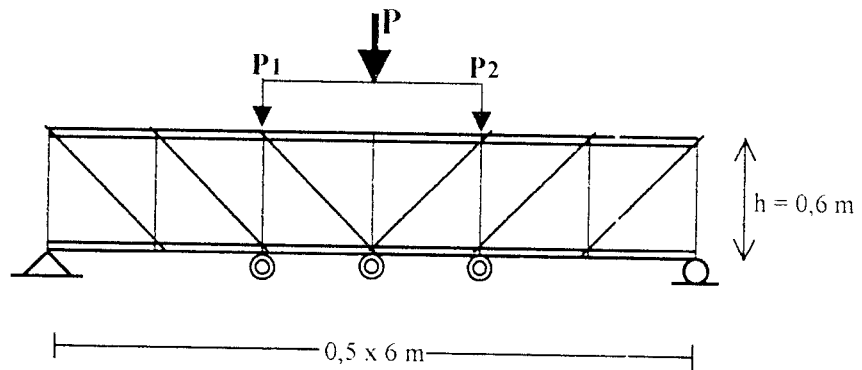
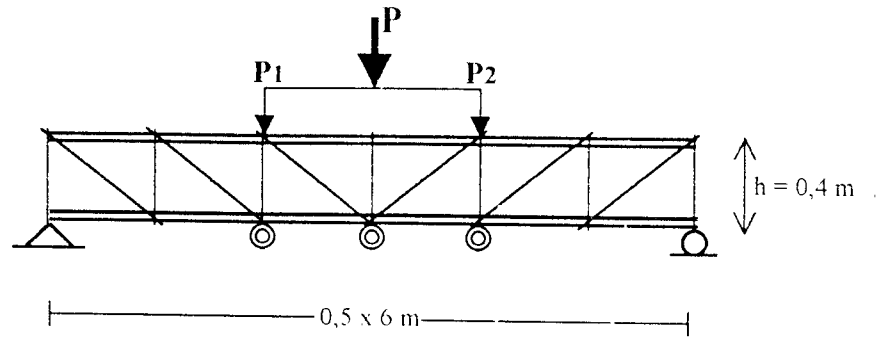
Yogyakarta, 19 Maret 2002
 a.n. Dekan,

(Signature)
 Ir.H. Munadhir, MS.

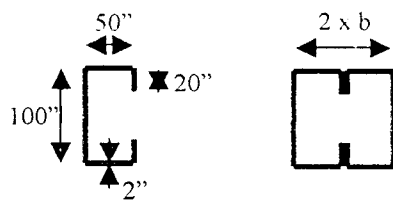
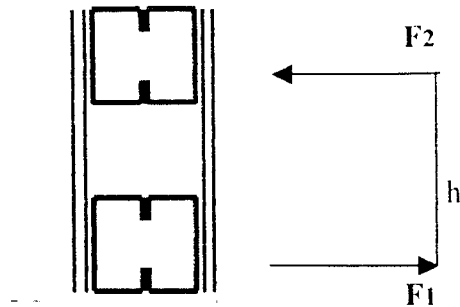
Catatan.

Seminar :
 Sidang :
 Pendadaran :

**STABILITAS BALOK BADAN TERBUKA (*OPEN WEB JOIST*)
GABUNGAN PROFIL C CANAI DINGIN DENGAN VARIASI
TINGGI (*h*)**



1. Tegangan Bahan Profil C Canai Dingin



Profil Canal Light : C100x50x20x2

$$- \text{ Sayap } \left(\frac{b}{t} \right) = \frac{2 \times 50}{2} = 50$$

$$- \text{ Badan } \left(\frac{h}{t} \right) = \frac{100}{2} = 50$$

$$\diamond F_{cr1} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E I}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t} \right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 4 \text{ pada sayap, asumsi t. s - t. s}$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(50)^2}$$

$$= 289,219 \text{ Mpa} > F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$\diamond F_{cr2} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E I}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t} \right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 4 \text{ pada badan, asumsi t. s - t. s}$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(50)^2}$$

$$= 289,219 \text{ Mpa} > F_y = 240 \text{ Mpa}$$

- $P_1 = F_{cr} \times A_{\text{Sayap}}$

$$= 240 \text{ N/mm}^2 \times (50 \cdot 2) \times 4$$

$$= 96.000 \text{ N} = 96 \text{ KN}$$
- $P_2 = F_{cr} \times A_{\text{Badan}}$

$$= 240 \text{ N/mm}^2 \times (100 \cdot 2) \times 2$$

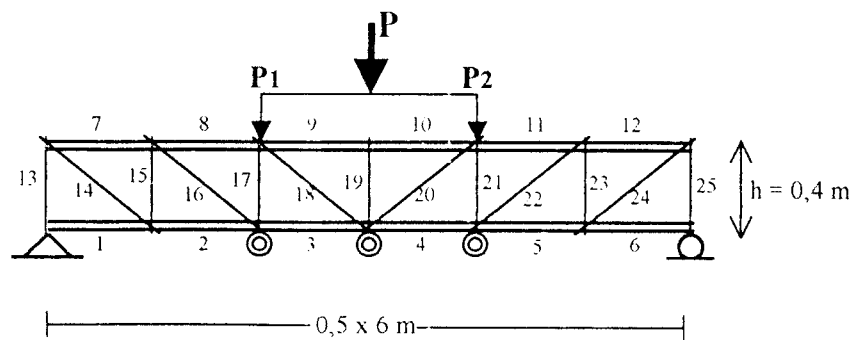
$$= 96.000 \text{ N/mm}^2 = 96 \text{ KN}$$

$$\sum P = 96 + 96 = 192 \text{ KN}$$

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{192}{2} = 96 \text{ KN}$$

2. Dimensi Batang

a.. Untuk h (0,4 m)



$$\begin{aligned}
 \blacklozenge \mathbf{Mn} &= \mathbf{P_{rt} \cdot h} \\
 &= 96 \cdot 0,3 \\
 &= 28,8 \text{ KNm.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \blacklozenge \mathbf{Mn} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2} \cdot L \\
 &= \frac{1}{6} PL
 \end{aligned}$$

$$P = \frac{Mn \cdot 6}{L} = \frac{28,8 \cdot 6}{3} = 57,6 \text{ KN} = 5,76 \text{ ton} \approx 6 \text{ ton}$$

◆ Gaya Batang Vertikal (Desak)

$$\text{Batang 13} = 27,179 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 15} = 22,900 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 17} = 26,244 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 19} = 4,943 \text{ KN}$$

◆ Gaya Batang Diagonal (Tarik)

$$\text{Batang 14} = 39,224 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 16} = 32,988 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 18} = 5,952 \text{ KN}$$

- ◆ Fcr Untuk Batang Vertikal 13, 15, 17 = 27, 179 KN (desak)

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(kl/r)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(0,7 \cdot 400 / 4,75)^2} = 568,0687 \text{ Mpa} > F_y = 240$$

Mpa

$$A = \frac{P_{cr}}{\sigma_{cr}} = \frac{13589,5}{240} = 56,62291667 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 56,62291667}{\pi}} = 8,4908501 \text{ mm} \approx 19 \text{ mm}$$

- ◆ Fcr Untuk Batang Vertikal 19 = 4,943 KN (desak)

$$F_{cr} = 240 \text{ Mpa}$$

$$A = \frac{P_{cr}}{\sigma_{cr}} = \frac{2471,5}{240} = 10,29791667 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 10,29791667}{\pi}} = 3,62110181 \text{ mm} \approx 13 \text{ mm}$$

- ◆ Fcr Untuk Batang Diagonal 14, 16 18 = 39,224 KN (tarik)

$$F_{cr} = 240 \text{ Mpa} = F_y$$

$$A = \frac{P_{cr}}{\sigma_{cr}} = \frac{19612}{240} = 81,71667 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 81,71667}{\pi}} = 10,239787 \text{ mm} \approx 16 \text{ mm}$$

Jadi :

- Untuk batang desak vertikal 13, 15, 17, 21, 23, 25

Menggunakan baja dengan diameter $\Phi = 19 \text{ mm}$

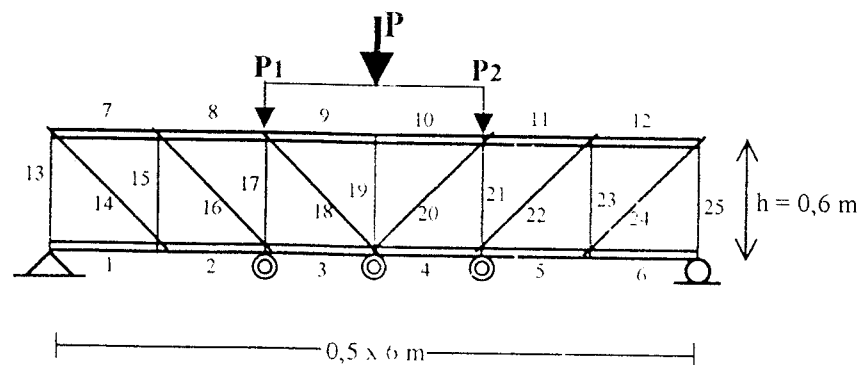
- Untuk batang desak vertikal 19

Menggunakan baja dengan diameter $\Phi = 13 \text{ mm}$

- Untuk batang tarik diagonal 14, 16, 18, 20, 22, 24

Menggunakan baja dengan diameter $\Phi = 16 \text{ mm}$

b.. Untuk h (0,6 m)



$$\begin{aligned}
 \diamond \mathbf{Mn} &= \mathbf{P_{rt} \cdot h} \\
 &= 96 \cdot 0,5 \\
 &= 48 \text{ KNm.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \diamond \mathbf{Mn} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2} \cdot L \\
 &= \frac{1}{6} PL \\
 P &= \frac{Mn \cdot 6}{L} = \frac{48 \cdot 6}{3} = 96 \text{ KN} = 9,6 \text{ ton} \approx 10 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

◆ Gaya Batang Vertikal (Desak)

$$\text{Batang 13} = 46,696 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 15} = 40,295 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 17} = 44,124 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 19} = 8,819 \text{ KN}$$

◆ Gaya Batang Diagonal (Tarik)

$$\text{Batang 14} = 56,802 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 16} = 47,830 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 18} = 7,579 \text{ KN}$$

◆ Fcr Untuk Batang Vertikal 13, 15, 17 = 46,696 KN (desak)

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(kl/r)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(0,7 \cdot 600 / 4,75)^2} = 252,475 \text{ Mpa} > F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$A = \frac{P_{cr}}{\sigma_{cr}} = \frac{23348}{240} = 97,2833 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 97,2833}{\pi}} = 11,12946 \text{ mm} \approx 19 \text{ mm}$$

- ◆ Fcr Untuk Batang Vertikal 19 = 8,819 KN (desak)

$$F_{cr} = 240 \text{ Mpa} = F_y$$

$$A = \frac{P_{cr}}{\sigma_{cr}} = \frac{4409,5}{240} = 18,37292 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 18,37292}{\pi}} = 4,8366 \text{ mm} \approx 13 \text{ mm}$$

- ◆ Fcr Untuk Batang Diagonal 14, 16 18 = 56,802 KN (tarik)

$$F_{cr} = 240 \text{ Mpa} = F_y$$

$$A = \frac{P_{cr}}{\sigma_{cr}} = \frac{28401}{240} = 118,3375 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4.118,3375}{\pi}} = 12,274 \text{ mm} \approx 16 \text{ mm}$$

Jadi :

- Untuk batang desak vertikal 13, 15, 17, 21, 23, 25

Menggunakan baja dengan diameter $\Phi = 19 \text{ mm}$

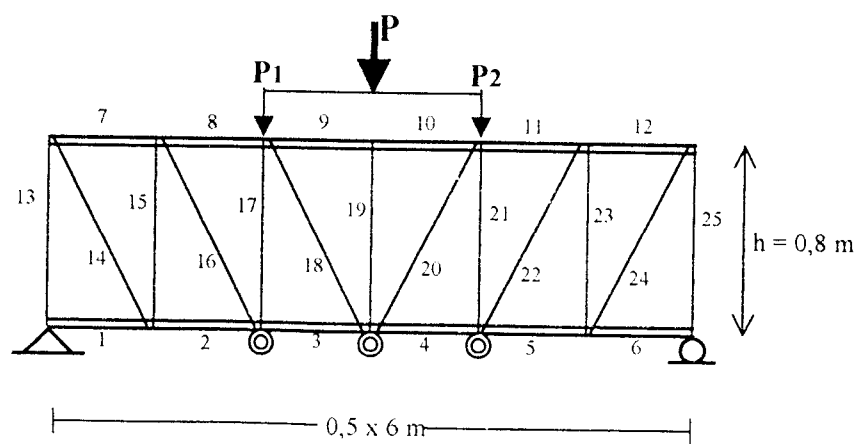
- Untuk batang desak vertikal 19

Menggunakan baja dengan diameter $\Phi = 13 \text{ mm}$

- Untuk batang tarik diagonal 14, 16, 18, 20, 22, 24

Menggunakan baja dengan diameter $\Phi = 16 \text{ mm}$

c. Untuk h (0,8 m)



$$\blacklozenge \mathbf{Mn} = \mathbf{P_{rt}.h}$$

$$= 96 \cdot 0,7$$

$$= 67,2 \text{ KNm.}$$

$$\blacklozenge \mathbf{Mn} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2} \cdot L$$

$$= \frac{1}{6} PL$$

$$P = \frac{Mn \cdot 6}{L} = \frac{67,2 \cdot 6}{3} = 134,4 \text{ KN} = 13,44 \text{ ton} \approx 14 \text{ ton}$$

◆ Gaya Batang Vertikal (Desak)

$$\text{Batang 13} = 65,809 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 15} = 58,181 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 17} = 61,047 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 19} = 13,217 \text{ KN}$$

◆ Gaya Batang Diagonal (Tarik)

$$\text{Batang 14} = 73,099 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 16} = 61,152 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 18} = 9,257 \text{ KN}$$

- ◆ Fcr Untuk Batang Vertikal 13, 15, 17 = 65,809 KN (desak)

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kl/r)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(0,7 \cdot 800 / 4,75)^2} = 142,017 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$A = \frac{P_{cr}}{\sigma_{cr}} = \frac{32904,5}{142,017} = 231,694 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 231,694}{\pi}} = 17,1756 \text{ mm} \approx 19 \text{ mm}$$

- ◆ Fcr Untuk Batang Horizontal 19 = 13,217 KN (desak)

$$F_{cr} = 231,694 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{P_{cr}}{\sigma_{cr}} = \frac{6608,5}{142,017} = 46,5331 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 46,5331}{\pi}} = 7,6973 \text{ mm} \approx 13 \text{ mm}$$

- ◆ Fcr Untuk Batang Diagonal 14, 16 18 = 73,099 KN (tarik)

$$F_{cr} = 240 \text{ Mpa} = F_y$$

$$A = \frac{P_{cr}}{\sigma_{cr}} = \frac{36549,5}{240} = 152,289 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4.152,289}{\pi}} = 13,9248 \approx 16 \text{ mm}$$

Jadi :

- Untuk batang desak vertikal 13, 15, 17, 21 23, 25

Menggunakan baja dengan diameter $\Phi = 19 \text{ mm}$

- Untuk batang desak vertical 19

Menggunakan baja dengan diameter $\Phi = 13 \text{ mm}$

- Untuk batang tarik diagonal 14, 16, 18, 20, 22, 24

Menggunakan baja dengan diameter $\Phi = 16 \text{ mm}$

3. KONTROL PERHITUNGAN RENCANA BATANG PENGISI :

3.1. BATANG TEKAN (vertikal).

Menurut AISC, ada 2 batang tekan yaitu :

1. Batang tekuk elastis
2. Batang tekuk in-elastis .

3.1.1.a. Batang Tekan Φ_{19} (L = 0,4 m)

Dari baja tulangan $\Phi 19$ didapat :

$$A = 1/4. \pi. d^2 = 2,8353 \text{ cm}^2 .$$

$$I = \frac{1}{64} \pi \cdot d^4 = 0,6397 \text{ cm}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 0,475 \text{ cm}$$

* Hasil dari aplikasi program SAP 90 diambil gaya terbesar sebagai berikut :

$$P_{\text{yang terjadi}} = 2719 \text{ kg}$$

$$L = 40 \text{ cm}$$

$$r = 0,475 \text{ cm}$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{1359}{2,8353} = 479,3144 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{f_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{240}} = 128,255$$

$$\frac{Lk}{r} = \frac{40 \times 0,7}{0,475} = 58,9474 < 200$$

$$\frac{Lk}{r} < C_c \Rightarrow \text{Keruntuhan in-elastis}$$

Maka tegangan yang terjadi adalah :

$$F_a = \frac{f_y}{FS} \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2C_c^2} \right]$$

$$\begin{aligned} FS &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(Lk/r)}{C_c} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(Lk/r)^3}{C_c^3} \\ &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(58,9474)}{128,255} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(58,9474)^3}{128,255^3} \\ &= 1,8269 \end{aligned}$$

$$F_a = \frac{36}{1,8269} \left[1 - \frac{(58,9474)^2}{2 \times 128,255^2} \right]$$

$$= 17,6242 \text{ ksi.}$$

$$fa = 1215,1891 \text{ kg/cm}^2 > fu = 479,3144 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

$$P_{ijin} = Fa \times A$$

$$= 1215,1891 \times 2,8353$$

$$= 3445,4257 \text{ kg} > P_{yang\ terjadi} = 1359 \text{ kg}$$

$$= 34,4543 \text{ kN} > P_{yang\ terjadi} = 13,59 \text{ kN} \quad (\text{Aman})$$

3.1.1.b. Batang Tekan \varnothing_{19} (L = 0,6 m)

Dari baja tulangan $\varnothing 19$ didapat :

$$A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 2,8353 \text{ cm}^2.$$

$$I = \frac{1}{64} \pi \cdot d^4 = 0,6397 \text{ cm}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 0,475 \text{ cm.}$$

* Hasil dari aplikasi program SAP 90 diambil gaya terbesar sebagai berikut :

$$P_{yang\ terjadi} = 4669 \text{ kg.}$$

$$L = 60 \text{ cm.}$$

$$r = 0,475 \text{ cm.}$$

$$fa = \frac{P}{A} = \frac{2334,5}{2,8353} = 823,3697 \text{ kg/cm}^2$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{fy}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{240}} = 128,255.$$

$$\frac{Lk}{r} = \frac{60 \times 0,7}{0,475} = 88,4211 < 200.$$

$$\frac{Lk}{r} < Cc \Rightarrow \text{Keruntuhan in-elastis.}$$

Maka tegangan yang terjadi adalah :

$$F_a = \frac{F_y}{FS} \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2Cc^2} \right]$$

$$\begin{aligned} FS &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(Lk/r)}{Cc} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(Lk/r)^3}{Cc^3} \\ &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(88,4211)}{128,255} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(88,4211)^3}{128,255^3} \\ &= 1,8842 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_a &= \frac{36}{1,8842} \left[1 - \frac{(88,4211)^2}{2 \times 128,255^2} \right] \\ &= 14,5665 \text{ ksi.} \end{aligned}$$

$$F_a = 1004,3606 \text{ kg/cm}^2 > f_a = 823,3697 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

$$P_{ijm} = F_a \times A$$

$$= 1004,3606 \text{ kg} \times 2,8353$$

$$= 2847,6636 \text{ kg} > P_{\text{yang terjadi}} = 2334,5 \text{ kg}$$

$$= 28,4766 \text{ kN} > P_{\text{yang terjadi}} = 23,34 \text{ kN} \quad (\text{Aman})$$

3.1.1.c. Batang Tekan \varnothing_{19} (L = 0,8 m)

Dari baja tulangan $\varnothing 19$ didapat :

$$A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 2,8353 \text{ cm}^2.$$

$$I = \frac{1}{64} \pi \cdot d^4 = 0,6397 \text{ cm}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 0,475 \text{ cm.}$$

* Hasil dari aplikasi program SAP 90 diambil gaya terbesar sebagai berikut :

$$P_{\text{yang terjadi}} = 6581 \text{ kg.}$$

$$L = 80 \text{ cm.}$$

$$r = 0,475 \text{ cm.}$$

$$fa = \frac{P}{A} = \frac{3290,5}{2,8353} = 1160,5474 \text{ kg/cm}^2.$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{fy}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{231,7}} = 130,532.$$

$$\frac{Lk}{r} = \frac{80 \times 0,7}{0,475} = 117,8947 < 200.$$

$$\frac{Lk}{r} < Cc \Rightarrow \text{Keruntuhan in-elastis.}$$

Maka tegangan yang terjadi adalah :

$$Fa = \frac{fy}{FS} \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2Cc^2} \right]$$

$$\begin{aligned} FS &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(Lk/r)}{Cc} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(Lk/r)^3}{Cc^3} \\ &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(117,8947)}{130,532} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(117,8947)^3}{130,532^3} \\ &= 1,8932 \end{aligned}$$

$$Fa = \frac{36}{1,8932} \left[1 - \frac{(117,8947)^2}{2 \times 130,532^2} \right]$$

$$= 16,8607 \text{ ksi.}$$

$$f_a = 1162,5453 \text{ kg/cm}^2 > f_a = 823,3697 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

$$P_{ijin} = f_a \times A$$

$$= 1162,5453 \times 2,8353$$

$$= 3296,1647 \text{ kg} > P_{yang\ terjadi} = 3290,5 \text{ kg}$$

$$= 32,9616 \text{ kN} > P_{yang\ terjadi} = 32,90 \text{ kN} \quad (\text{Aman})$$

3.1.2.a. Batang Tekan \varnothing_{13} ($L = 0,4 \text{ m}$).

Dari baja tulangan \varnothing_{12} didapat :

$$A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1,3273 \text{ cm}^2.$$

$$I = \frac{1}{64} \pi \cdot d^4 = 0,1401 \text{ cm}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 0,325 \text{ cm}.$$

* Hasil dari aplikasi program SAP 90 diambil gaya terbesar sebagai berikut :

$$P_{yang\ terjadi} = 494 \text{ kg}.$$

$$L = 40 \text{ cm}.$$

$$r = 0,325 \text{ cm}.$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{247}{1,3273} = 186,092 \text{ kg/cm}^2.$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{240}} = 128,255.$$

$$\frac{Lk}{r} = \frac{40 \times 0,7}{0,325} = 86,1538 < 200.$$

$$\frac{Lk}{r} < Cc \Rightarrow \text{Keruntuhan elastis.}$$

Maka tegangan yang terjadi adalah :

$$Fa = \frac{Fy}{FS} \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2Cc^2} \right]$$

$$\begin{aligned} FS &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(Lk/r)}{Cc} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(Lk/r)^3}{Cc^3} \\ &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(86,1538)}{128,255} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(86,1538)^3}{128,255^3} \\ &= 1,881 \end{aligned}$$

$$Fa = \frac{36}{1,881} \left[1 - \frac{(86,1538)^2}{2 \times 128,255^2} \right]$$

$$= 14,8207 \text{ ksi.}$$

$$Fa = 1021,8869 \text{ kg/c} > fa = 186,0921 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

$$P_{ijin} = Fa \times A$$

$$= 1021,8869 \times 1,3273$$

$$= 1346,35041 \text{ kg} > P_{yang terjadi} = 494 \text{ kg}$$

$$= 13,4635 \text{ kN} > P_{yang terjadi} = 0,494 \text{ kN.}$$

(Aman)

3.1.2.b. Batang Tekan \varnothing_{13} (L = 0,6 m).

Dari baja tulangan \varnothing_{16} didapat :

$$A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1,3273 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{1}{64} \pi \cdot d^4 = 0,1401 \text{ cm}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 0,325 \text{ cm.}$$

* Hasil dari aplikasi program SAP 90 diambil gaya terbesar sebagai berikut :

$$P_{\text{yang terjadi}} = 881 \text{ kg.}$$

$$L = 60 \text{ cm.}$$

$$r = 0,325 \text{ cm.}$$

$$fa = \frac{P}{A} = \frac{440,5}{1,3273} = 331,8767 \text{ kg/cm}^2.$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{Fy}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{240}} = 128,255.$$

$$\frac{Lk}{r} = \frac{60 \times 0,7}{0,325} = 129,2307 < 200.$$

$$\frac{Lk}{r} < Cc \Rightarrow \text{Keruntuhan elastis.}$$

Maka tegangan yang terjadi adalah :

$$Fa = \frac{Fy}{FS} \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2Cc^2} \right]$$

$$\begin{aligned} FS &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(Lk/r)}{Cc} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(Lk/r)^3}{Cc^3} \\ &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(129,2307)}{128,255} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(129,2307)^3}{128,255^3} \\ &= 1,9166 \end{aligned}$$

$$Fa = \frac{36}{1,9166} \left[1 - \frac{(129,2307)^2}{2 \times 128,255^2} \right]$$

$$= 9,6482 \text{ ksi.}$$

$$F_a = 637,6631 \text{ kg/cm}^2 > f_a = 331,8767 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

$$P_{ijm} = F_a \times A$$

$$= 665,24339 \times 1,3273$$

$$= 882,978 \text{ kg} > P_{\text{yang terjadi}} = 881 \text{ kg}$$

$$= 8,83 \text{ kN} > P_{\text{yang terjadi}} = 8.81 \text{ kN.} \quad (\text{Aman})$$

3.1.2.c. Batang Tekan \emptyset_{13} (L = 0,8 m).

Dari baja tulangan \emptyset_{13} didapat :

$$A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1,3273 \text{ cm}^2.$$

$$I = \frac{1}{64} \pi \cdot d^4 = 0,1401 \text{ cm}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 0,325 \text{ cm.}$$

* Hasil dari aplikasi program SAP 90 diambil gaya terbesar sebagai berikut :

$$P_{\text{yang terjadi}} = 1321 \text{ kg.}$$

$$L = 80 \text{ cm.}$$

$$r = 0,325 \text{ cm.}$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{660,5}{1,3273} = 497,6268 \text{ kg/cm}^2.$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{240}} = 128.255.$$

$$\frac{Lk}{r} = \frac{80 \times 0,7}{0,325} = 172,3076 < 200.$$

$$\frac{Lk}{r} < Cc \Rightarrow \text{Keruntuhan elastis.}$$

Maka tegangan yang terjadi adalah :

$$Fa = \frac{Fy}{FS} \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2Cc^2} \right]$$

$$\begin{aligned} FS &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(Lk/r)}{Cc} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(Lk/r)^3}{Cc^3} \\ &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(172,3076)}{128,255} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(172,3076)^3}{128,255^3} \\ &= 1,8674 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fa &= \frac{36}{1,8674} \left[1 - \frac{(172,3076)^2}{2 \times 128,255^2} \right] \\ &= 1,8801 \text{ ksi.} \end{aligned}$$

$$Fa = 129,633 \text{ kg/cm}^2 < fu = 497,6268 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

$$P_{ijin} = Fa \times A$$

$$= 497,6268 \times 1,3273$$

$$= 660,5 \text{ kg} < P_{yang\ terjadi} = 1321 \text{ kg}$$

$$= 6,61 \text{ kN} < P_{yang\ terjadi} = 13,21 \text{ kN.}$$

(Aman)

3.2. BATANG TARIK (diagonal)

- * Hasil dari aplikasi program SAP90 diambil gaya terbesar = $7309 \text{ kg} = 73,09 \text{ kN}$.
- * Hasil uji tarik tulangan $\varnothing 16 \text{ mm}$ di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII Yogyakarta, didapat data sebagai berikut :
 - Beban Maksimum = $7500 \text{ kg} = 75 \text{ kN}$.
 - Beban patah = $6920 \text{ kg} = 69,2 \text{ kN}$.
 - Beban luluh = $6085 \text{ kg} = 60,85 \text{ kN}$.
 - Kuat tarik = $5827,5058 \text{ kg/cm}^2 = 582,751 \text{ Mpa}$

Jadi, $P_{ijin} = 7500 \text{ kg} = 75 \text{ kN} > P_{tarik maks yang terjadi} = 7309 \text{ kg} = 73,09 \text{ kN}$.

(Tulangan $\varnothing 16$ dapat digunakan untuk batang tarik \rightarrow tinjauan aman).

4. CEK BATANG TEKAN PROFIL C

Batang Tekan AISC :

Syarat : 1. $\sigma_{\text{yang terjadi}} \leq \sigma_{\text{ijin}}$

2. $\lambda_{\text{batang}} \leq 200$.

$$\text{Dengan, } \lambda = \frac{Lk}{r_{\min}} \text{ dan } r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}$$

Keterangan : λ = kelangsingan batang, L = panjang batang, k = faktor panjang efektif dengan kondisi tumpuan dan r_{\min} = radius gyration minimum.

* Syarat Kelangsingan :

$$\frac{Lk}{r} > Cc \Rightarrow \text{Terjadi tekuk Elastis, } \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(Lk/r)^2}$$

$$\frac{Lk}{r} < Cc \Rightarrow \text{Terjadi tekuk in-Elastis, } \sigma_{cr} = Q \cdot F_y \cdot \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2Cc^2} \right] < 0,6 F_y$$

* Kelangsingan kritik dengan pengaku = Cc' .

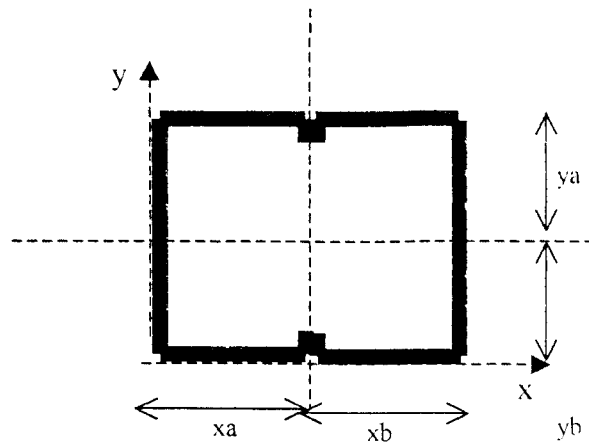
$$Cc' = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{Q \cdot F_y}}$$

dengan Q adalah faktor bentuk elemen, dimana $Q = Q_a \cdot Q_s$

Q_s = faktor bentuk elemen yang tidak diperkuat.

Q_a = faktor bentuk elemen yang diperkuat.

◆ Inersia Profil C 100x50x20x2



• $A = 928 \text{ mm}^2$.

• Letak sumbu x :

Statis momen luas terhadap SISI BAWAH =

$$y_b = 50 \text{ mm}$$

• Letak sumbu y :

Statis momen luas terhadap SISI KIRI =

$$x_a = 50 \text{ mm}$$

$$I_x = (1/12 \cdot 100 \cdot 2^3 + (100 \cdot 2) \cdot 49^2) \cdot 2$$

$$(1/12 \cdot 2 \cdot 96 + 2 \cdot 96 \cdot 0^2) \cdot 2$$

$$(1/12 \cdot 4 \cdot 18^3 + (4 \cdot 18) \cdot 39^2) \cdot 2$$

$$10123157,333 \text{ mm}^4$$

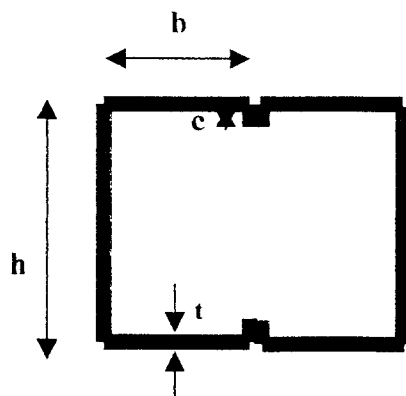
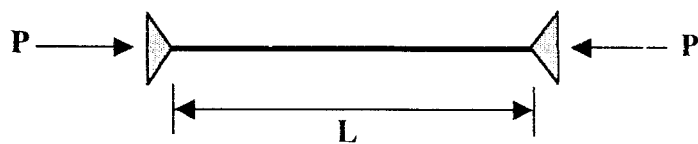
$$I_y = \frac{(1/12 \cdot 96 \cdot 2^2 + (96 \cdot 2) \cdot 49^2) \cdot 2}{1255637,333 \text{ mm}^4}$$

$$+ \frac{(1/12 \cdot 2 \cdot 100^3 + (2 \cdot 100) \cdot 0^2) \cdot 2}{1255637,333 \text{ mm}^4}$$

$$+ \frac{(1/12 \cdot 18 \cdot 4^3 + (18 \cdot 4) \cdot 0^2) \cdot 2}{1255637,333 \text{ mm}^4}$$

- $r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{10123157,333}{928}} = 104,44 \text{ mm}$
- $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1255637,333}{928}} = 36,7839 \text{ mm.}$

Gambar pembebanan batang tekan profil C :



$$h = 100 \text{ mm} = 3,937 \text{ in.}$$

$$b = 50 \text{ mm} = 1,969 \text{ in.}$$

$$t = 2 \text{ mm} = 0,079 \text{ in.}$$

$$c = 20 \text{ mm} = 0,787 \text{ in.}$$

Badan = elemen yang “tidak diperkuat”.

Sayap = elemen yang “diperkuat”.

Pada tekanan aksial, penampang yang diperkuat (badan) dan elemen yang diperkuat (sayap). Elemen yang tidak diperkuat harus ditinjau lebih dahulu untuk menentukan tingkat tegangan efektif.

(a). Sifat penampang bruto.

$$\begin{aligned} I_y &= (\text{sayap}) \text{ yang dapat diabaikan} + 2 \cdot (1/12) \cdot b \cdot h^3 \\ &= 2 \cdot (1/12) \cdot (1,969) \cdot (3,937)^3 \\ &= 20,016 \text{ in}^4. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= 2(h \cdot t) + 2(b \cdot t) + 2(c \cdot t) \\ &= 2(3,937 \cdot 0,079) + 2(1,969 \cdot 0,079) + 2(0,787 \cdot 0,079) \\ &= 1,0575 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_y &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{20,016}{1,0575}} = 4,351 \text{ in.} \end{aligned}$$

(b). Elemen yang tidak diperkuat, AISC-1.9.1.2 :

$$\left[\frac{h}{t} = \frac{3,937}{0,079} = 49,835 \right] > \left[\frac{95}{\sqrt{F_y}} = 16,10 \right]$$

Jadi tekuk setempat mengurangi efisiensi; $Q_s < 1,0$:

$$Q_s = 1,34 - 0,0047 (b/t) \cdot \sqrt{F_y}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,34 - 0,0047 \cdot (24,924) \cdot \sqrt{(240 \cdot 0,145)} \\
 &= 0,649.
 \end{aligned}$$

(c). Elemen yang diperkuat, AISC-1.9.1.2 :

$$\left[\frac{b}{t} = \frac{1,969}{0,079} = 24,924 \right] < \left[\frac{253}{\sqrt{F_y}} = 42,887 \right]$$

Jadi $Q_a > 1,0$, Tegangan yang diperkirakan bekerja pada elemen yang diperkuat tidak ditentukan oleh tegangan elemen yang tidak diperkuat;

Coba batas atas sebesar $0,60 F_y$,

$$\begin{aligned}
 f &= 0,60 \cdot F_y \cdot Q_s \\
 &= 0,60 \cdot 34,8 \cdot 0,649 = 13,551 \text{ ksi.}
 \end{aligned}$$

Rasio lebar efektif dengan ketebalan adalah :

$$\begin{aligned}
 \frac{bE}{t} &= \frac{253}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{50,3}{(b/t) \cdot \sqrt{f}} \right] \\
 &= \frac{253}{\sqrt{13,551}} \left[1 - \frac{50,3}{(24,924) \cdot \sqrt{13,551}} \right] \\
 &= 31,045
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= A_{bruto} - \left(\frac{b}{t} - \frac{bE}{t} \right) \cdot t^2 \\
 &= 1,0575 - (24,924 - 31,045) \cdot 0,079^2 \\
 &= 1,096 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

$$Q_a = \frac{A_{efektif}}{A_{bruto}} = \frac{1,096}{1,0575} = 1,036.$$

$$Q = Q_s \cdot Q_a = 0,649 \times 1,036 = 0,673.$$

$$Cc' = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{Q \cdot I_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{0,673 \times 240}} = 156,339$$

2. Benda Uji I = II = III $\rightarrow L = 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm}$.

$$\lambda_y = \frac{Lk}{r_y} = \frac{500 \times 1}{36,7839} = 13,591 \text{ (menentukan)}$$

$$\lambda_x = \frac{Lk}{r_x} = \frac{500 \times 1}{104,44} = 4,787$$

$\Rightarrow \lambda < Cc$ (Tekuk in-elastis)

* Profil C mengalami tekuk in-Elastis, dimana $\sigma_{ijin} = Q \cdot \frac{I_y}{FS} \left[1 - \frac{(Lk/r)^2}{2 \cdot Cc^2} \right]$

$$\begin{aligned} FS &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(Lk/r)}{Cc} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(Lk/r)^3}{Cc^3} \\ &= \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{(13,591)}{128,255} - \frac{1}{8} \cdot \frac{(13,591)^3}{128,255^3} \\ &= 1,706. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \diamond \sigma_{ijin} \text{ Benda Uji I = II = III} &= \frac{0,673 \times 240}{1,706} \cdot \left[1 - \frac{(13,591)^2}{2 \cdot (156,339)^2} \right] \\ &= 69,655 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$P = 69,655 \times 928 = 64639,84 \text{ N} = 64,639 \text{ kN} < P \text{ I yang terjadi} = 65,808 \text{ kN.}$$

terjadi *Buckling*

$$< P \text{ II yang terjadi} = 75,200 \text{ kN.}$$

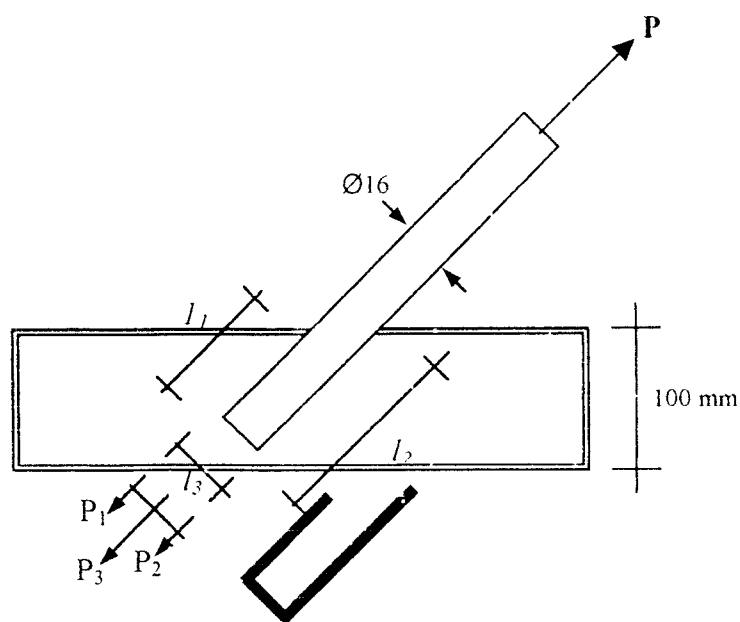
terjadi *Buckling*

$$< P \text{ III yang terjadi} = 78,896 \text{ kN.}$$

terjadi *Buckling*

5. KONTROL PERHITUNGAN LAS

PPBBI dengan rumus Huber Henry :



(Gambar Sambungan las pada pelat)

Data :

- Kuat tarik pelat = 308,49 *Mpa*.

- Kuat tarik tulangan $\varnothing 16 = 582,751 \text{ Mpa}$.

- Diameter tulangan = 16 mm

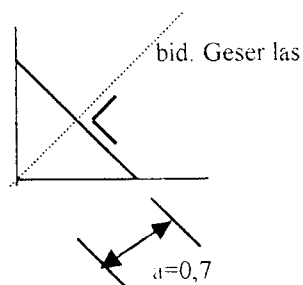
* Tegangan luluh las = 1361,607 kg/cm^2 .

* Beban P yang terjadi (diambil beban terbesar) = 78,89 *kN* = 7889 kg

* Panjang las (L_n) = $l_1 + l_2 + l_3$.

$$= 12,9 + 10,62 + 1,3 = 24,82 \text{ cm}$$

* Arah gaya sejajar bidang geser las, dengan $\alpha = 0^\circ$.



(Gambar. Bidang geser las)

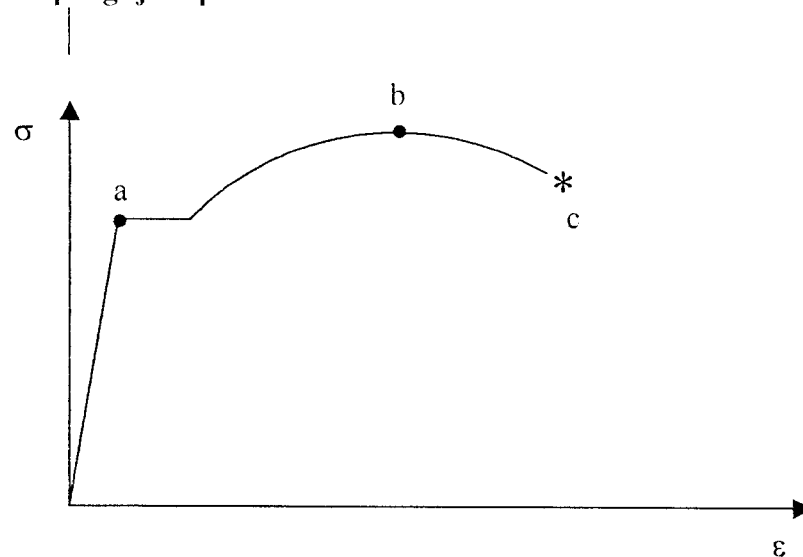
* $A =$ Luas penampang las = $L_n \times a$

$$= 24,82 \times 0,7 = 17,374 \text{ cm}^2$$

HASIL UJI PENDAHULUAN

Pengujian ini merupakan uji terhadap kekuatan tarik bahan profil C100x50x20x2 dan kekuatan tarik tulangan $\varnothing 16$ mm serta pengujian terhadap kekuatan geser las. Pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 02 Maret 2002. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengujian profil C100x50x20x2.



- Beban luluh (a) = 860 kg.
- Beban maksimum (b) = 1130 kg.
- Beban patah (c) = 870 kg.

Perhitungan :

Lebar (l) = 1,85 cm.

Tebal (t) = 0,198 cm

$$A_o = l \times t = 0,3663 \text{ cm}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{*) Kuat tarik baja} &= \frac{\text{BebanMaksimum}}{A_o} \\ &= \frac{1130}{0,3663} \\ &= 3084,903 \text{ kg/cm}^2 = 308,49 \text{ Mpa}. \end{aligned}$$

Kapasitas tarik profil C 100x50x2 dengan A = 9,28 cm² adalah :

$$\begin{aligned} P_{ijm} &= 3084,903 \times 9,28 \\ &= 28627,89984 \text{ kg} \\ &= 286,279 \text{ kN}. \end{aligned}$$

2. Hasil pengujian tulangan Ø16.

- Beban luluh (a) = 6085 kg.
- Beban maksimum (b) = 7500 kg.
- Beban patah (c) = 6920 kg.

Perhitungan :

$$\text{Diameter (d)} = 1,28 \text{ cm}.$$

$$A_o = 1/4 \times \pi \times d^2 = 1,287 \text{ cm}^2.$$

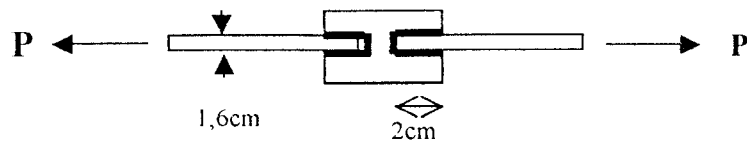
$$\begin{aligned} \text{*) Kuat tarik baja} &= \frac{\text{BebanMaksimum}}{A_o} \\ &= \frac{7500}{1,287} \\ &= 5827,5058 \text{ kg/cm}^2 = 582,75 \text{ Mpa}. \end{aligned}$$

Kapasitas tarik tulangan $\varnothing 13$

$$P_{ijm} = 5827,5058 \times 1,287 = 7499,99 \text{ Kg} \quad 74,99 \text{ Kn}$$

3. Hasil pengujian geser las

Hasil laboratorium menunjukkan kekuatan geser las untuk beban maksimum = 3050 kg.



Kekuatan las :

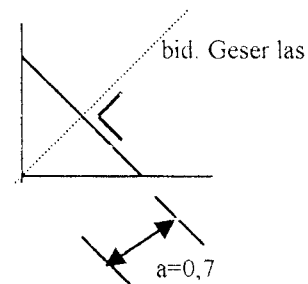
$$Ln = 2,2 + 2,2 + 0,4 = 4,8 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ijm \text{ las}} &= \frac{P}{Ln \times a} \\ &= \frac{3050}{4,8 \times 0,7} \end{aligned}$$

$$= 907,738 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma_{luluh \text{ las}} = 907,738 \times 1,5$$

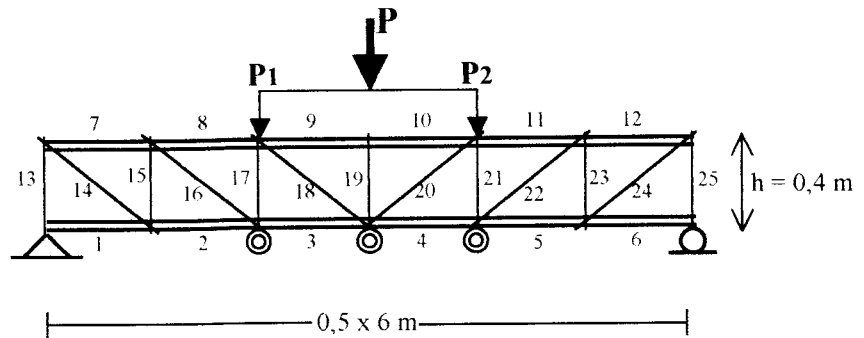
$$= 1361,607 \text{ kg/cm}^2 = 136,161 \text{ Mpa.}$$



Gb. Bidang geser las

Kapasitas Batang

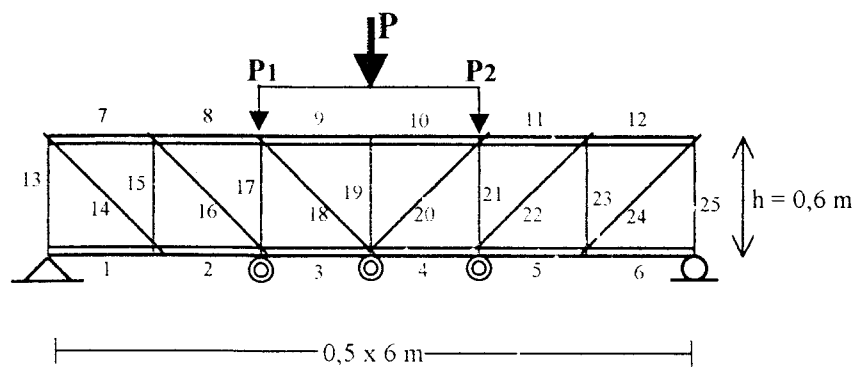
- $h = 0,4 \text{ m}$



BATANG	GAYA BATANG (KN)	KAPASITAS (KN)
1	1,913	286,279 (aman)
2	34,372	286,279 (aman)
3	61,154	286,279 (aman)
4	61,154	286,279 (aman)
5	34,372	286,279 (aman)
6	1,913	286,279 (aman)
7	-32,554	-64,639 (aman)
8	-60,139	-64,639 (aman)
9	-65,808	-64,639 (tekuk)
10	-65,808	-64,639 (tekuk)
11	-60,139	-64,639 (aman)
12	-32,554	-64,639 (aman)
13	-27,179	-34,4543 (aman)

14	39,224	75	(aman)
15	-22,900	-34,453	(aman)
16	32,988	75	(aman)
17	-26,244	-13,4635	(aman)
18	5,952	75	(aman)
19	-4,943	-34,453	(aman)
20	5,952	75	(aman)
21	-26,244	-34,453	(aman)
22	32,988	75	(aman)
23	-22,900	-34,453	(aman)
24	39,224	75	(aman)
25	-27,179	-34,453	(aman)

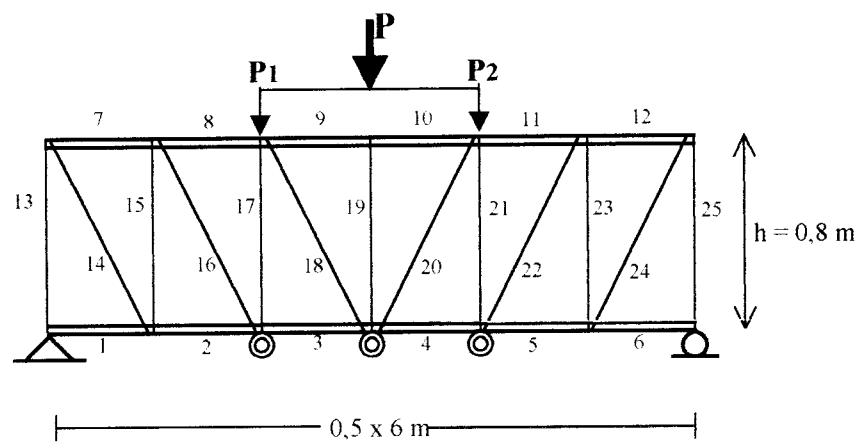
- $h = 0,6 \text{ m}$



BATANG	GAYA BATANG	KAPASITAS	
	(KN)	(KN)	
1	1,366	286,279	(aman)
2	38,989	286,279	(aman)
3	70,388	286,279	(aman)
4	70,388	286,279	(aman)
5	34,372	286,279	(aman)
6	1,336	286,279	(aman)
7	-32,554	-64,639	(aman)
8	-69,629	-64,639	(tekuk)
9	-75,200	-64,639	(tekuk)
10	-75,200	-64,639	(tekuk)
11	-69,629	-64,639	(tekuk)
12	-37,727	-64,639	(aman)
13	-46,696	-56,9532	(aman)
14	56,802	75	(aman)
15	-40,925	-56,9532	(aman)
16	47,830	75	(aman)
17	-44,124	-56,9532	(aman)
18	7,579	75	(aman)
19	-8,819	-8,83	(aman)
20	7,579	75	(aman)

21	-44,124	-56,9532 (aman)
22	47,830	75 (aman)
23	-40,925	-56,9532 (aman)
24	56,802	75 (aman)
25	-46,696	-56,9532 (aman)

- $h = 0,8 \text{ m}$



BATANG	GAYA BATANG (KN)	KAPASITAS (KN)
1	1,117	286,279 (aman)
2	40,946	286,279 (aman)
3	73,979	286,279 (aman)
4	73,979	286,279 (aman)
5	40,946	286,279 (aman)

6	1,117	286,279	(aman)
7	-39,896	-64,639	(aman)
8	-73,384	-64,639	(tekuk)
9	-78,896	-64,639	(tekuk)
10	-78,896	-64,639	(tekuk)
11	-73,384	-64,639	(tekuk)
12	-39,896	-64,639	(aman)
13	-65,809	-65,92	(aman)
14	73,094	75	(aman)
15	-58,181	-65,92	(aman)
16	61,152	75	(aman)
17	-61,047	-65,92	(aman)
18	9,257	75	(aman)
19	-13,217	6,61	(aman)
20	9,257	75	(aman)
21	-61,047	-65,92	(aman)
22	61,152	75	(aman)
23	-58,181	-65,92	(aman)
24	73,099	75	(aman)
25	-65,809	-65,92	(aman)

\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$
\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$
\$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$
\$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$
\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$ \$
\$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$
\$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$
\$\$\$\$\$\$\$\$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$
\$\$\$\$\$\$\$\$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION P5.40

Copyright (C) 1978-1992
EDWARD L. WILSON
All rights reserved

STRUKTUR CANAI

C 0.4_6

SYSTEM

L=1

JOINT

1	X=0	Y=0	Z=0	
7	X=3	Y=0	Z=0	G=1,7,1
8	X=0	Y=0	Z=0.4	
14	X=3	Y=0	Z=0.4	G=8,14,1

RESTRAINTS

1,14,1	R=0,1,0,1,0,1
1	R=1,1,1,1,0,1
7	R=0,1,1,1,0,1

FRAME

NM=3

C MATERIAL OF PROPERTI

1	SH=B	T=0.1,0.1,0.02,0.002	E=2E8
2	SH=P	T=0.038,0	
3	SH=P	T=0.020,0	

C ELEMENT

1,1,2	M=1	G=5,1,1,1	LP=-2,0
7,8,9	M=1	G=5,1,1,1	
13,1,8	M=2	G=6,2,1,1	
14,2,8	M=3	G=2,2,1,1	
20,4,12	M=3	G=2,2,1,1	

LOADS

10	F=0,0,-30
12	F=0,0,-30

PROGRAM: SAP90/FILE: ANDRI_5.F3F
STRUKTUR CANAI

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELEMENT ID	LOAD COND	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE
			SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR
10	1	0.000	-2.471	2.879	-65.808	
		0.500	-2.471	1.643		
		0.500				
		0.500				
11	1	0.000			-65.808	
		0.000	2.471	1.643		
		0.500	2.471	2.879		
		0.500				
12	1	0.000			-60.139	
		0.000	-4.995	3.086		
		0.500	-4.995	0.588		
		0.500				
13	1	0.000			-60.139	
		0.000	-2.692	0.958		
		0.500	-2.692	-0.389		
		0.500				
14	1	0.000			-32.554	
		0.000	-1.913	0.383		
		0.400	-1.913	-0.382		
		0.400				
15	1	0.000			-27.179	
		0.000	-0.021	0.006		
		0.640	-0.021	-0.007		
		0.640				
16	1	0.000			39.224	
		0.000	-1.818	0.364		
		0.400	-1.818	-0.363		
		0.400				
17	1	0.000			-22.900	
		0.000	-0.013	0.003		
		0.640	-0.013	-0.006		
		0.640				
18	1	0.000			32.988	
		0.000	-1.015	0.205		
		0.400	-1.015	-0.201		
		0.400				

PROGRAM: SAP90/FILE: ANDRI_5.F3F
STRUKTUR CANAI

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT LOAD		DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE
AXIAL	ID COND	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR
MOMENT	TORQ					

	18					
	1	0.000			5.952	
		0.000	-0.010	0.001		
		0.640	-0.010	-0.005		
		0.640			5.952	

	19					
	1	0.000			-4.943	
		0.000	0.000	0.000		
		0.400	0.000	0.000		
		0.400			-4.943	

	20					
	1	0.000			5.952	
		0.000	0.010	-0.001		
		0.640	0.010	0.005		
		0.640			5.952	

	21					
	1	0.000			-26.244	
		0.000	1.015	-0.205		
		0.400	1.015	0.201		
		0.400			-26.244	

	22					
	1	0.000			32.988	
		0.000	0.013	-0.003		
		0.640	0.013	0.006		
		0.640			32.988	

	23					
	1	0.000			-22.900	
		0.000	1.818	-0.364		
		0.400	1.818	0.363		
		0.400			-22.900	

	24					
	1	0.000			39.224	
		0.000	0.021	-0.006		
		0.640	0.021	0.007		
		0.640			39.224	

	25					
	1	0.000			-27.179	
		0.000	1.913	-0.383		
		0.400	1.913	0.382		
		0.400			-27.179	

```

          $$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$
        $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$
      $$          $$  $$  $$  $$  $$  $$  $$  $$  $$  $$
    $$$$         $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$
  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$$$$$$$$  $$$  $$$
    $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$
  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$
$$$$$$$$$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$
$$$$$$$$$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$  $$$

```

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION P5.40

Copyright (C) 1978-1992
 EDWARD L. WILSON
 All rights reserved

STRUKTUR CANAI

C 0.6_10

SYSTEM

L=1

JOINT

1	X=0	Y=0	Z=0	
7	X=3	Y=0	Z=0	G=1,7,1
8	X=0	Y=0	Z=0.6	
14	X=3	Y=0	Z=0.6	G=8,14,1

RESTRAINTS

1,14,1	R=0,1,0,1,0,1
1	R=1,1,1,1,0,1
7	R=0,1,1,1,0,1

FRAME

NM=3

C MATERIAL OF PROPERTI

1	SH=B	T=0.1,0.1,0.02,0.002	E=2E8
2	SH=P	T=0.038,0	
3	SH=P	T=0.020,0	

C ELEMENT

1,1,2	M=1	G=5,1,1,1	LP=-2,0
7,8,9	M=1	G=5,1,1,1	
13,1,8	M=2	G=6,2,1,1	
14,2,8	M=3	G=2,2,1,1	
20,4,12	M=3	G=2,2,1,1	

LOADS

10	F=0,0,-50
12	F=0,0,-50

PROGRAM:SAP90/FILE:ANDRI_6.F3F
 STRUKTUR CANAI

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT AXIAL MOMENT	LOAD ID COND	DIST ENDI TORQ	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE
			SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR
1	1	0.000			1.336	
		0.000	3.304	-0.402		
		0.500	3.304	1.250		
		0.500			1.336	
2	1	0.000			38.989	
		0.000	5.992	0.857		
		0.500	5.992	3.854		
		0.500			38.989	
3	1	0.000			70.338	
		0.000	-1.405	3.630		
		0.500	-1.405	2.927		
		0.500			70.338	
4	1	0.000			70.338	
		0.000	1.405	2.927		
		0.500	1.405	3.630		
		0.500			70.338	
5	1	0.000			38.989	
		0.000	-5.992	3.854		
		0.500	-5.992	0.857		
		0.500			38.989	
6	1	0.000			1.336	
		0.000	-3.304	1.250		
		0.500	-3.304	-0.402		
		0.500			1.336	
7	1	0.000			-37.727	
		0.000	3.083	-0.414		
		0.500	3.083	1.127		
		0.500			-37.727	
8	1	0.000			-69.629	
		0.000	7.281	0.737		
		0.500	7.281	4.377		
		0.500			-69.629	
9	1	0.000			-75.200	

PROGRAM:SAP90/FILE:ANDRI_6.F3F
 STRUKTUR CANAI

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE		
AXIAL	ID	COND	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	
MOMENT	TORQ							
			0.000	-4.410	4.160			
			0.500	-4.410	1.955			
			0.500			-75.200		
10			-----					
	1	0.000				-75.200		
		0.000	4.410		1.955			
		0.500	4.410		4.160			
		0.500				-75.200		
11			-----					
	1	0.000				-69.629		
		0.000	-7.281		4.377			
		0.500	-7.281		0.737			
		0.500				-69.629		
12			-----					
	1	0.000				-37.727		
		0.000	-3.083		1.127			
		0.500	-3.083		-0.414			
		0.500				-37.727		
13			-----					
	1	0.000				-46.696		
		0.000	-1.336		0.402			
		0.600	-1.336		-0.400			
		0.600				-46.696		
14			-----					
	1	0.000				56.802		
		0.000	-0.036		0.014			
		0.781	-0.036		-0.014			
		0.781				56.802		
15			-----					
	1	0.000				-40.925		
		0.000	-1.262		0.379			
		0.600	-1.262		-0.378			
		0.600				-40.925		
16			-----					
	1	0.000				47.830		
		0.000	-0.026		0.008			
		0.781	-0.026		-0.012			
		0.781				47.830		
17			-----					
	1	0.000				-44.124		
		0.000	-0.710		0.216			
		0.600	-0.710		-0.210			
		0.600				-44.124		

PROGRAM:SAP90/FILE:ANDRI_6.F3F
 STRUKTUR CANAI

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT LOAD		DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE
AXIAL	ID COND	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR
MOMENT	TORQ					
18	1	0.000			7.579	
		0.000	-0.012	0.003		
		0.781	-0.012	-0.007		
		0.781			7.579	
19	1	0.000			-8.819	
		0.000	0.000	0.000		
		0.600	0.000	0.000		
		0.600			-8.819	
20	1	0.000			7.579	
		0.000	0.012	-0.003		
		0.781	0.012	0.007		
		0.781			7.579	
21	1	0.000			-44.124	
		0.000	0.710	-0.216		
		0.600	0.710	0.210		
		0.600			-44.124	
22	1	0.000			47.830	
		0.000	0.026	-0.008		
		0.781	0.026	0.012		
		0.781			47.830	
23	1	0.000			-40.925	
		0.000	1.262	-0.379		
		0.600	1.262	0.378		
		0.600			-40.925	
24	1	0.000			56.802	
		0.000	0.036	-0.014		
		0.781	0.036	0.014		
		0.781			56.802	
25	1	0.000			-46.696	
		0.000	1.336	-0.402		
		0.600	1.336	0.400		
		0.600			-46.696	

\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$
\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$
\$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$
\$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$
\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$
\$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$
\$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$
\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$
\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION P5.40

Copyright (C) 1978-1992
EDWARD L. WILSON
All rights reserved

STRUKTUR CANAI
SYSTEM
L=1

JOINT

1	X=0	Y=0	Z=0	
7	X=3	Y=0	Z=0	G=1,7,1
8	X=0	Y=0	Z=0.8	
14	X=3	Y=0	Z=0.8	G=8,14,1

RESTRAINTS

1,14,1	R=0,1,0,1,0,1
1	R=1,1,1,1,0,1
7	R=0,1,1,1,0,1

FRAME

NM=3

C MATERIAL OF PROPERTI

1	SH=B	T=0.1,0.1,0.02,0.002	E=2E8
2	SH=P	T=0.038,0	
3	SH=P	T=0.020,0	

C ELEMENT

1,1,2	M=1	G=5,1,1,1	LP=-2,0
7,8,9	M=1	G=5,1,1,1	
13,1,8	M=2	G=6,2,1,1	
14,2,8	M=3	G=2,2,1,1	
20,4,12	M=3	G=2,2,1,1	

LOADS

10	F=0,0,-70
12	F=0,0,-70

PROGRAM:SAP90/FILE:ANDRI_7.F3F
STRUKTUR CANAI

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT	LOAD	DIST	1- PLANE	AXIAL	1-3 PLANE		
AXIAL	ID	COND	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR
MOMENT	TORQ						
1	1	0.000				1.117	
		0.000	4.191	-0.448			
		0.500	4.191	1.647			
		0.500				1.117	
2	1	0.000				40.946	
		0.000	7.974	1.207			
		0.500	7.974	5.193			
		0.500				40.946	
3	1	0.000				73.979	
		0.000	-1.234	4.938			
		0.500	-1.234	4.321			
		0.500				73.979	
4	1	0.000				73.979	
		0.000	1.234	4.321			
		0.500	1.234	4.938			
		0.500				73.979	
5	1	0.000				40.946	
		0.000	-7.974	5.193			
		0.500	-7.974	1.207			
		0.500				40.946	
6	1	0.000				1.117	
		0.000	-4.191	1.647			
		0.500	-4.191	-0.448			
		0.500				1.117	
7	1	0.000				-39.896	
		0.000	3.845	-0.466			
		0.500	3.845	1.456			
		0.500				-39.896	
8	1	0.000				-73.384	
		0.000	10.187	1.019			
		0.500	10.187	6.113			
		0.500				-73.384	
9	1	0.000				-78.896	

PROGRAM:SAP90/FILE:ANDRI_7.F3F
STRUKTUR CANAI

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE
AXIAL					
ID COND	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR
MOMENT	TORQ				
	0.000	-6.609	5.870		
	0.500	-6.609	2.566		
	0.500			-78.396	
10	-----				
1	0.000			-78.896	
	0.000	6.609	2.566		
	0.500	6.609	5.870		
	0.500			-78.896	
11	-----				
1	0.000			-73.384	
	0.000	-10.187	6.113		
	0.500	-10.187	1.019		
	0.500			-73.384	
12	-----				
1	0.000			-39.896	
	0.000	-3.845	1.456		
	0.500	-3.845	-0.466		
	0.500			-39.896	
13	-----				
1	0.000			-65.809	
	0.000	-1.117	0.448		
	0.800	-1.117	-0.445		
	0.800			-65.809	
14	-----				
1	0.000			73.099	
	0.000	-0.044	0.021		
	0.943	-0.044	-0.021		
	0.943			73.099	
15	-----				
1	0.000			-58.181	
	0.000	-1.049	0.420		
	0.800	-1.049	-0.419		
	0.800			-58.181	
16	-----				
1	0.000			61.152	
	0.000	-0.033	0.014		
	0.943	-0.033	-0.018		
	0.943			61.152	
17	-----				
1	0.000			-61.047	
	0.000	-0.594	0.242		
	0.800	-0.594	-0.234		
	0.800			-61.047	

PROGRAM:SAP90/FILE:ANDRI_7.F3F
 STRUKTUR CANAI

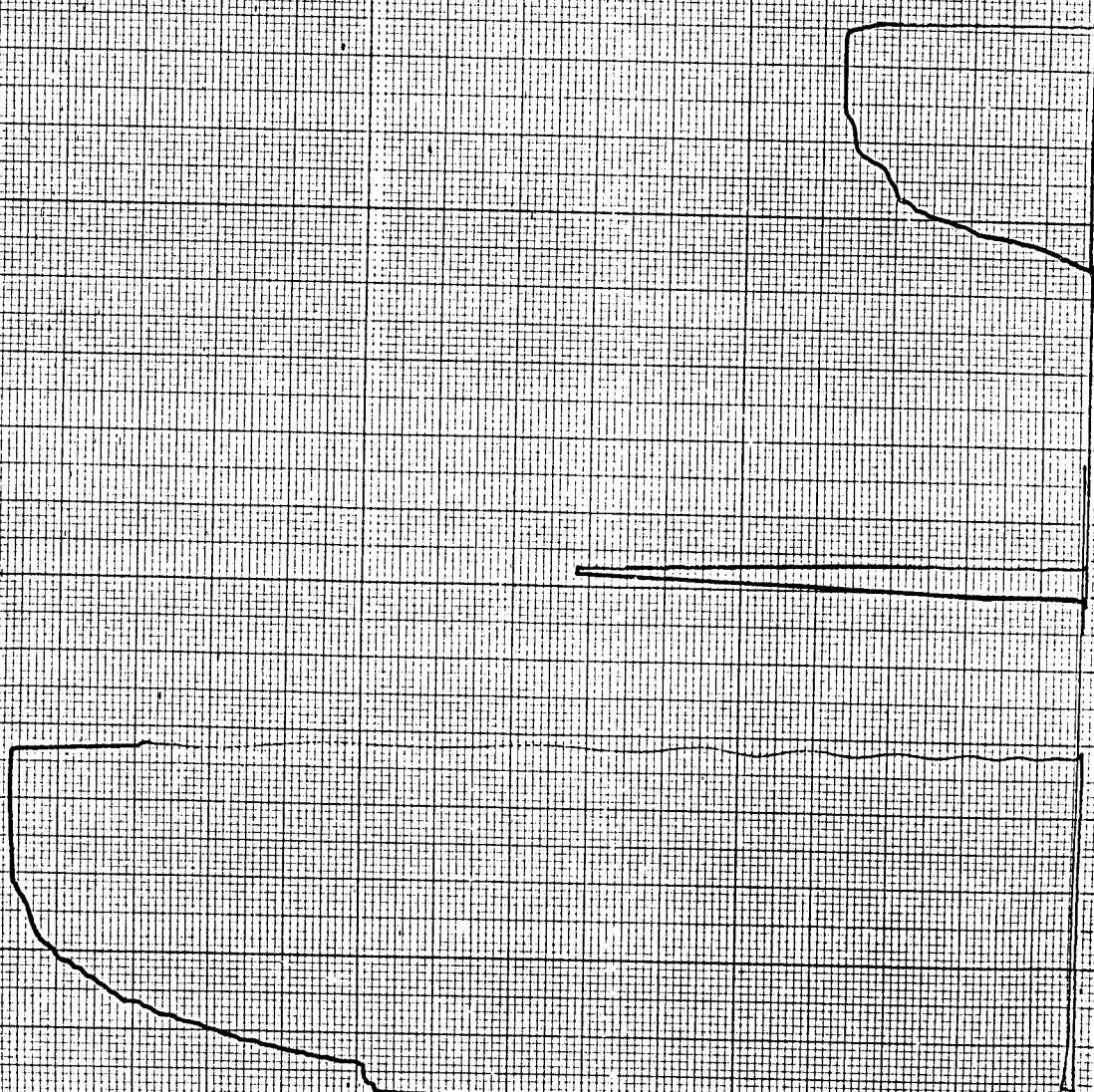
F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT LOAD		DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE
AXIAL	ID COND	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR
MOMENT	TORQ					
18 -----						
	1	0.000			9.257	
		0.000	-0.014	0.004		
		0.943	-0.014	-0.009		
		0.943			9.257	
19 -----						
	1	0.000			-13.217	
		0.000	0.000	0.000		
		0.800	0.000	0.000		
		0.800			-13.217	
20 -----						
	1	0.000			9.257	
		0.000	0.014	-0.004		
		0.943	0.014	0.009		
		0.943			9.257	
21 -----						
	1	0.000			-61.047	
		0.000	0.594	-0.242		
		0.800	0.594	0.234		
		0.800			-61.047	
22 -----						
	1	0.000			61.152	
		0.000	0.033	-0.014		
		0.943	0.033	0.018		
		0.943			61.152	
23 -----						
	1	0.000			-58.181	
		0.000	1.049	-0.420		
		0.800	1.049	0.419		
		0.800			-58.181	
24 -----						
	1	0.000			73.099	
		0.000	0.044	-0.021		
		0.943	0.044	0.021		
		0.943			73.099	
25 -----						
	1	0.000			-65.809	
		0.000	1.117	-0.448		
		0.800	1.117	0.445		
		0.800			-65.809	

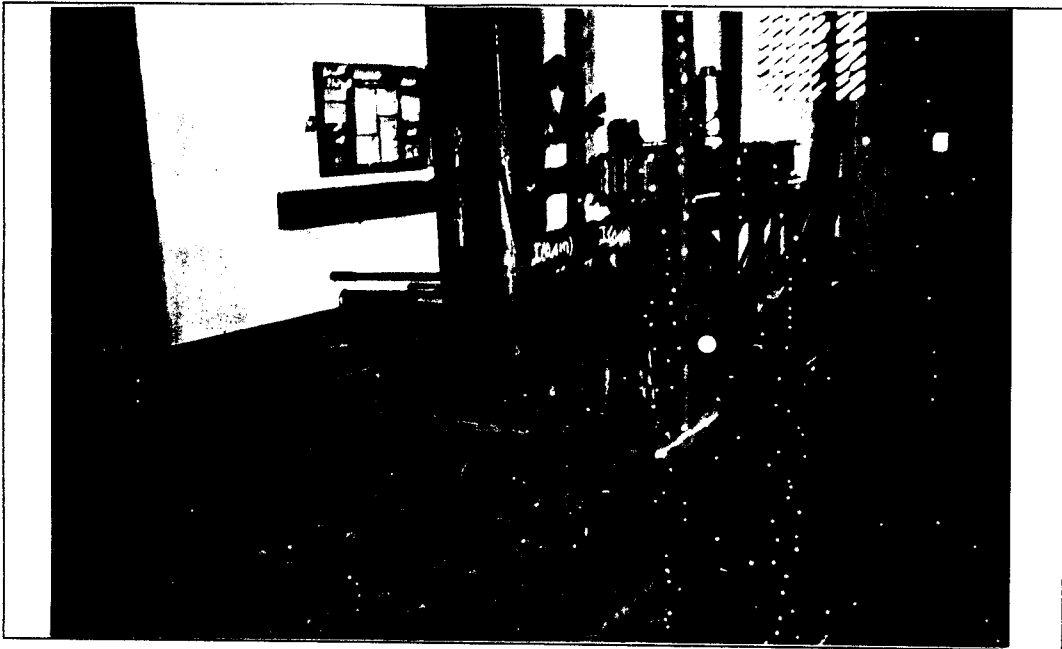
LABORATORIUM
BENANGKONSTRUKSI TEKNIK 01/04
FAKULTAS TEKNIK-ILMU

01

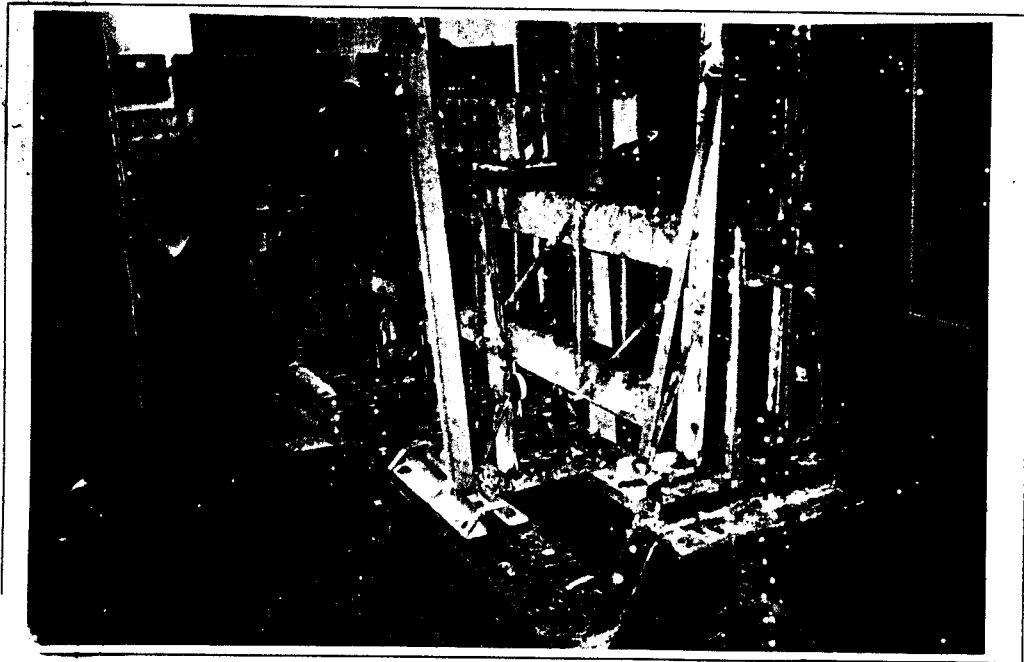
01/04



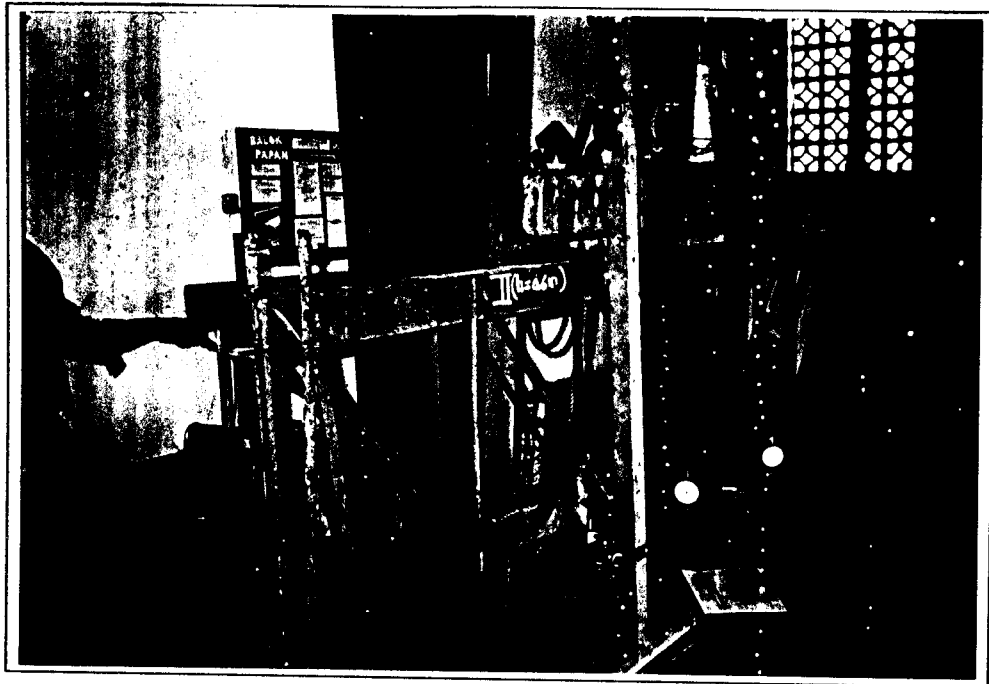
7. DOKUMENTASI PELAKSANAAN PENELITIAN LABORATORIUM



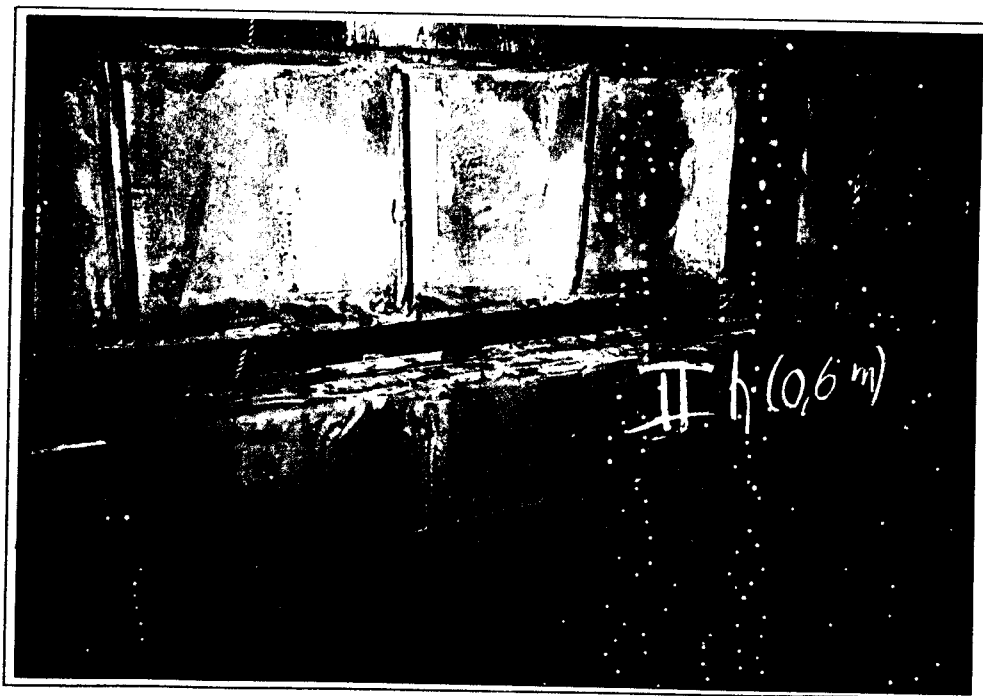
Gambar 7.1.a. Site Lab Benda Uji I



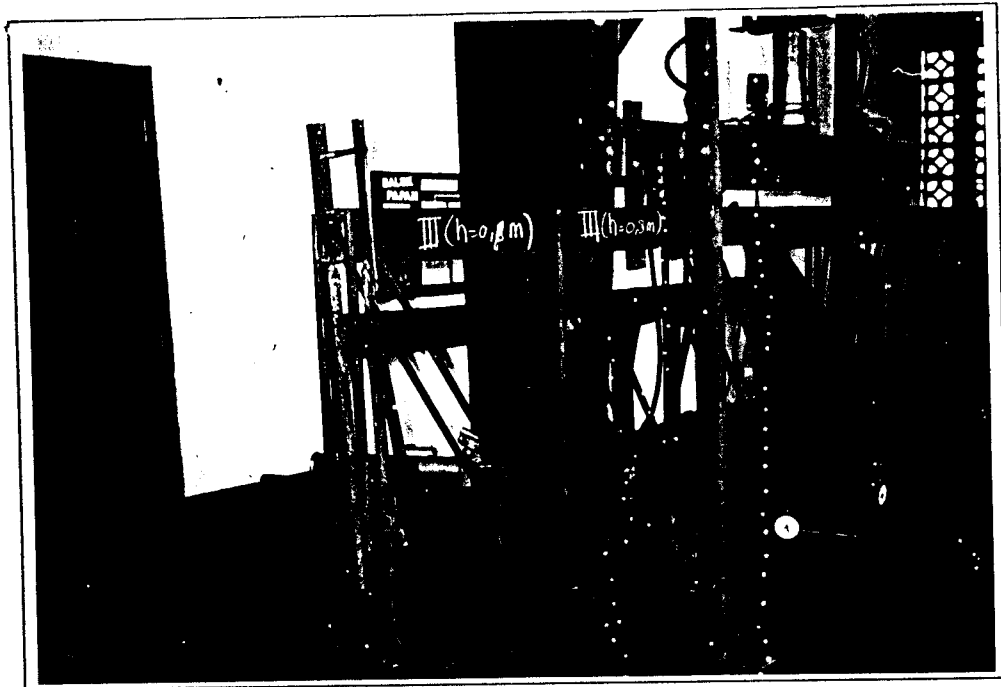
Gambar 7.1.b. Local Buckling Hasil Pengujian Benda Uji I



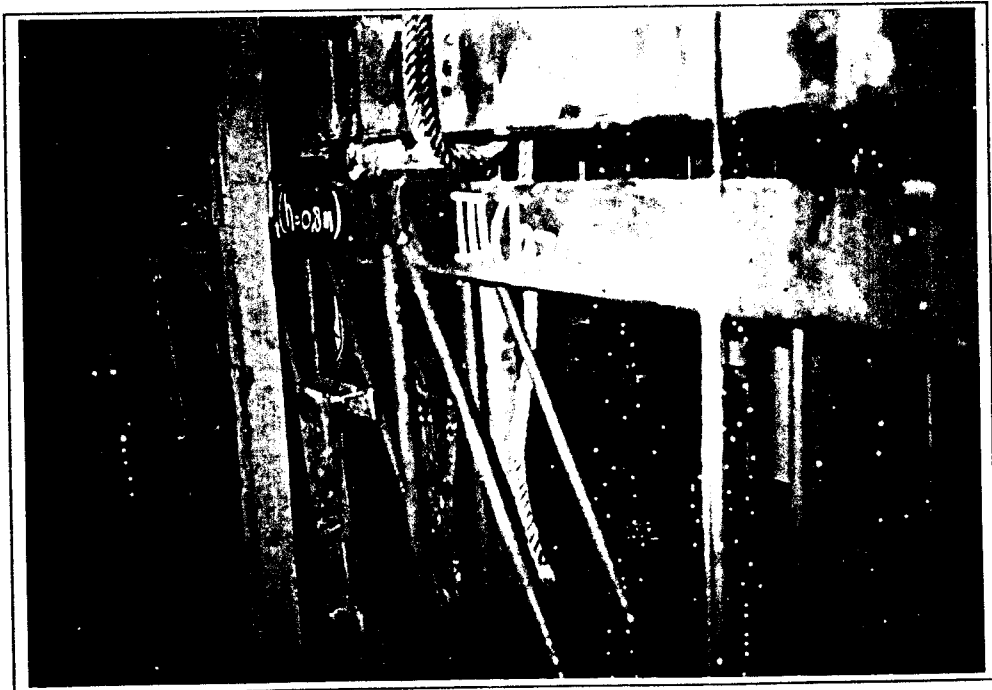
Gambar 7.2.a. *Site Lab Benda Uji II*



Gambar 7.2.b. *Local Buckling Hasil Pengujian Benda Uji II*



Gambar 7.3.a. Site Lab Benda Uji III



Gambar 7.3.b. Local Buckling Hasil Pengujian Benda Uji III