

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADJAH/BELE	
TGL. TERIMA :	14 Februari 2007
NO. JUDUL :	002184
NO. INV. :	5120002184001
NO. INDUK. :	

TUGAS AKHIR

**PERILAKU RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR
DENGAN VARIASI TINGGI TERHADAP BENTANG**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Jogjakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil**

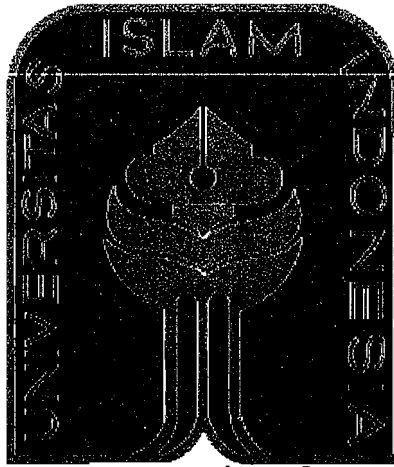
R.

6937

vin

P

A



الجامعة الإسلامية

1181 bibl. long 128



WINDARTI

02 511 063

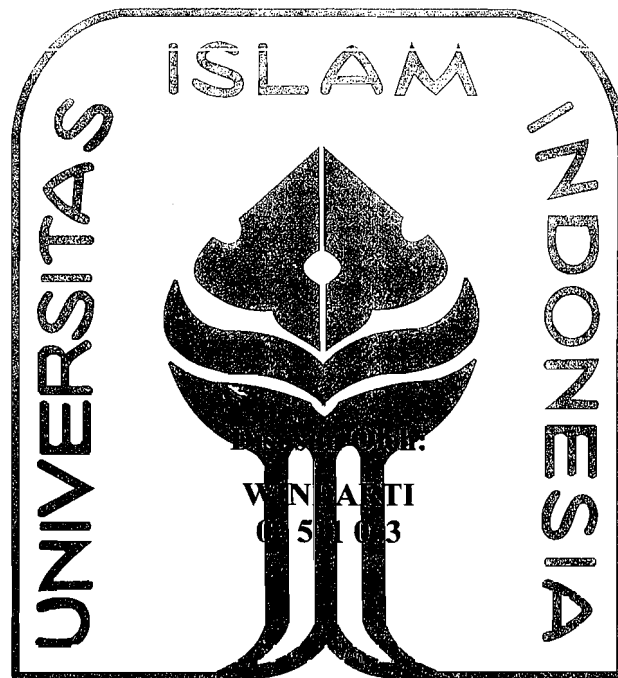
Bayu - Rangka Bkg
- Bayu - Mulu
- Mulu

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2006**

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

TUGAS AKHIR
PERILAKU RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR
DENGAN VARIASI TINGGI TERHADAP BENTANG

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Jogjakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil



الجامعة الإسلامية

Disetujui :

Pembimbing :

Ir. Fatkhurrohman N, MT

Tanggal: 6/9/2006

Motto

" Pelajarilah ilmu,
Barang siapa mempelajarinya karena Allah, itu taqwa
Menuntutnya, itu ibadah
Mengulang-ngulangnya, itu tasbih
Membahasnya, itu jihad
Mengajarkannya, itu sedekah
Memberikannya kepada ahlinya, itu mendekatkan diri kepada Allah. "

(*Abusy Syaikh Ibnu Hibban dan Ibnu Abdil Bair; Ifya Al-Ghozali, 1986*)

" Hidup tanpa kebebasan, seperti tubuh tanpa jiwa dan kebebasan tanpa akal seperti ruh yang kebingungan. Hidup, kebebasan dan akal adalah tiga dalam satu, abadi dan tidak pernah sirna. "

(*Kahlil Gibran*)

" Allah akan mengangkat orang-orang yang beriman diantara kalian dan orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat lebih tinggi "

(*Al Mujadillah ayat 11*)

Persembahan

Kupersembahkan Tugas Akhir ini Kepada :

Ayah dan Bundaku Tercinta,

*Yang tiada hentinya memberikan Pengorbanan,
Kesabaran, dorongan, Semangat serta do'a*

&

Almamaterku

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu 'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya kepada penyusun, sehingga berkat ridho-Nya Laporan Tugas Akhir yang berjudul “ **PERILAKU RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR DENGAN VARIASI TINGGI TERHADAP BENTANG (H/L)** “ dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun guna sebagai syarat menempuh jenjang pendidikan Strata Satu (S-1) pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta. Dalam menyusun laporan, sebelumnya penyusun telah melakukan pengujian di Laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta. Tugas Akhir merupakan sarana bagi mahasiswa untuk mengaplikasikan ilmu dan pengetahuan yang telah di dapat selama mengikuti perkuliahan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil UII untuk mendapatkan satu pengetahuan baru dari hasil penelitian yang dilakukan.

Untuk dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, tentunya tidak lepas dari segala hambatan dan rintangan, namun berkat bantuan moril maupun materiil dari berbagai pihak, akhirnya Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan baik.

Untuk itu tidak berlebihan kiranya jika dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. H. Ruzardi, Ms, Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Ir. H. Faisol A.M, Ms , Selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
3. Ir. Fatkhurrohman N, MT selaku Dosen Pembimbing.
4. Tim TPSDP atas kepercayaannya dengan dipilihnya Tugas Akhir ini sebagai salah satu pemenang *Student Grant*.
5. Bapak dan Ibu tercinta atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doa-nya.
6. Atika Ulfah Jamal, yang selalu setia sebagai tim penelitian ini.
7. Mas Aris, yang telah banyak membantu dalam pengujian laboratorium.
8. Sahabat-sahabatku yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir.

Penulis juga menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan.

Akhirnya penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua sebagai pertimbangan dalam perencanaan bangunan konstruksi baja.

Wassalamu 'alaikum Wr.Wb.

Jogjakarta, Agustus 2006

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTTO	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR NOTASI	xxi
INTISARI	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	3
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kuda --Kuda Rangka Batang	6
2.2 Stabilitas Kuda – Kuda Rangka Batang	7
2.3 Tinjauan Penelitian Terdahulu.....	10
2.4 Keaslian Penelitian.....	11
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Kuda-Kuda Rangka Batang.....	12
3.2 Analisis Sudut Batang.....	16
3.3 Profil Bentuk Dingin	18

3.4. Batang Tarik	20
3.5. Batang Tekan.....	23
3.5.1. Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui.....	24
3.5.2. Keruntuhan Akibat Tekuk.....	24
3.5.2.1. Tekuk Total.....	24
3.5.2.2. Tekuk Lokal Akibat Tekan.....	28
3.5.3. Nilai Koefisien Tekuk (k).....	31
3.5.4 Hubungan Tekuk Lokal dan Tekuk Keseluruhan.....	35
3.6 Tegangan Kritis Metode AISC.....	36
3.7 Pengaruh Sudut Miring Atap Terhadap Kestabilan Rangka.....	39
3.8 Hubungan Beban-Lendutan.....	41
3.9 Hubungan Momen-Kelengkungan.....	45
3.10 Hipotesis.....	48
BAB IV METODA PENELITIAN.....	51
4.1. Tahap-Tahap Penelitian.....	51
4.2 Bahan dan Alat Yang Digunakan.....	52
4.2.1. Bahan.....	52
4.2.2. Peralatan Penelitian.....	52
4.3 Pembuatan Benda Uji.....	56
4.4 Pengujian Sampel.....	59
4.4.1 Pengujian Kuat Tarik Baja.....	59
4.4.2 Pengujian Kuat Tekan Baja.....	59
4.4.3 Pengujian Kuat Lentur.....	60
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	63
5.1 Hasil Uji Tarik Profil <i>Lipped Channel</i>	63
5.2 Hasil Uji Desak Penampang <i>Lipped Channel</i>	64
5.3 Hubungan Beban-Lendutan Uji Lentur Kuda-Kuda.....	65
5.3.1 Kurva Beban-Lendutan Hasil Pengujian.....	65
5.3.2 Pengaruh Sudut Miring Atap Terhadap Beban-Lendutan Hasil Eksperimen.....	70
5.3.3 Kurva Hubungan Beban-Lendutan Analisis SAP 2000.....	74

5.3.4 Pengaruh Sudut Miring Atap Terhadap Beban-Lendutan Hasil Analisis SAP 2000.....	77
5.3.5 Grafik Beban-Lendutan Hasil Pengujian dan Analisis SAP 2000.....	81
5.4 Hubungan Momen-Kelengkungan.....	87
5.4.1 Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian.....	87
5.4.2 Pengaruh Sudut Miring Atap Terhadap Momen-Kelengkungan Hasil Eksperimen.....	89
5.4.3 Hubungan Momen-Kelengkungan Analisis SAP 2000.....	93
5.4.4 Analisa Kekakuan Rangka Atap Hasil Analisis SAP 2000	95
5.4.5 Grafik Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian dan Analisis SAP 2000.....	99
5.5 Tinjauan Analitis.....	105
5.5.1 Nilai Koefisien Tekuk.....	105
5.6 Pembahasan.....	111
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	117
6.1 Kesimpulan	117
6.2 Saran	118
DAFTAR PUSTAKA	xxiii
LAMPIRAN	xxiv

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Angka kelangsingan maksimum untuk batang tarik.....	22
Tabel 5.1 Hasil uji tarik baja.....	63
Tabel 5.2 Hasil uji tekan profil baja dengan alat sambung las.....	65
Tabel 5.3 Hasil uji tekan profil baja dengan alat sambung baut.....	65
Tabel 5.4 Nilai kekakuan hasil eksperimen.....	73
Tabel 5.5 Nilai kekakuan hasil analisis SAP 2000.....	80
Tabel 5.6 Rasio nilai kekakuan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000.....	86
Tabel 5.7 Rasio faktor kekakuan hasil eksperimen.....	90
Tabel 5.8 Rasio faktor kekakuan hasil analisis SAP 2000.....	98
Tabel 5.9 Perbandingan hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	104
Tabel 5.10 Koefisien tekuk pelat uji desak profil.....	105
Tabel 5.11 Koefisien tekuk pelat (k) tiap benda uji.....	108
Tabel 5.12 Rasio kekuatan dan kekakuan hasil eksperimen rangka sudut 22° dan sudut 22,5°.....	112
Tabel 5.13 Koefisien tekuk pelat (k) tiap benda uji rangka sudut 22° dan sudut 22,5°.....	113

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 3.1	<i>Howe Truss</i>	12
Gambar 3.2	<i>Fink Truss</i>	13
Gambar 3.3	<i>Pratt Truss</i>	13
Gambar 3.4	Kuda-kuda rangka batang tepi sejajar	14
Gambar 3.5	Notasi batang rangka batang tepi sejajar	16
Gambar 3.6	Gaya batang pada joint A	16
Gambar 3.7	Gaya batang pada puncak rangka.....	17
Gambar 3.8	Profil bentukan dingin.....	18
Gambar 3.9	Profil <i>Lipped Channel</i>	19
Gambar 3.13	Garis kemungkinan letak kerusakan elemen akibat gaya tarik.....	21
Gambar 3.14	Batang tertekan	26
Gambar 3.15	Pelat yang tertekan.....	30
Gambar 3.16	Grafik Hubungan KL/r Dengan F_a di beberapa Negara....	28
Gambar 3.17	Pelat yang tertekan.....	29
Gambar 3.18	Profil <i>Lipped Channel</i>	29
Gambar 3.19	Tekuk local pada lip.....	30
Gambar 3.20	Tekuk local pada sayap dan badan.....	30
Gambar 3.21	Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar.....	32
Gambar 3.22	Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang I....	34
Gambar 3.23	Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang kotak.....	35
Gambar 3.24	Kekuatan pelat untuk elemen tekan yang tidak diperkuat dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas.....	38
Gambar 3.25	Rangka dengan sudut miring atap 15°	40
Gambar 3.26	Rangka dengan sudut miring atap $17,5^\circ$	40
Gambar 3.27	Rangka dengan sudut miring atap 20°	41

Gambar 3.28	Rangka dengan sudut miring atap 22,5°.....	41
Gambar 3.29	Rangka yang mengaiami lendutan (y) akibat beban aksial (P).....	42
Gambar 3.30	Grafik hubungan beban (P)-lendutan (Δ).....	44
Gambar 3.31	Rangka yang mengalami lendutan (yi) akibat beban aksial (P).....	45
Gambar 3.32	Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ).....	47
Gambar 3.33	Grafik hubungan beban-lendutan.....	48
Gambar 3.34	Grafik hubungan momen-kelengkungan.....	49
Gambar 3.35	Grafik hubungan (H/L)-kekakuan.....	49
Gambar 4.1	Bagan alir metode penelitian.....	51
Gambar 4.2	Bentuk fisik Loading Frame.....	53
Gambar 4.3	<i>Dial Gauge</i>	54
Gambar 4.4	Dukungan sendi dan rol.....	54
Gambar 4.5	<i>Hdraulic Jack</i>	55
Gambar 4.6	<i>Universal Testing Shimatzu UMH30</i>	55
Gambar 4.7	Benda uji kuat tarik baja.....	61
Gambar 4.8	Benda uji kuat tekan profil baja untuk tekuk local.....	61
Gambar 4.9	Benda uji kuat tekan profil baja untuk tekuk keseluruhan.	62
Gambar 4.10.a	Benda uji kuat lentur rangka dengan sudut miring atap 15°.....	57
Gambar 4.10.b	Benda uji kuat lentur rangka dengan sudut miring atap 17,5°.....	58
Gambar 4.10.c	Benda uji kuat lentur rangka dengan sudut miring atap 20°.....	58
Gambar 4.10.d	Benda uji kuat lentur rangka dengan sudut miring atap 22,5°.....	58
Gambar 4.11.a	Perletakan dial gauge dan beban pada rangka sudut 15°...	60
Gambar 4.11.b	Perletakan dial gauge dan beban pada rangka sudut 17,5°	61
Gambar 4.11.c	Perletakan dial gauge dan beban pada rangka sudut 20°...	61

Gambar 4.11.d	Perletakan dial gauge dan beban pada rangka sudut $22,5^\circ$	61
Gambar 5.1	Perletakan dial gauge dan beban pada rangka batang tepi sejajar.....	62
Gambar 5.2	Benda uji kuat tarik baja.....	63
Gambar 5.3	Benda uji kuat tekan profil baja untuk tekuk local.....	64
Gambar 5.4	Grafik hubungan beban-lendutan benda uji I.....	66
Gambar 5.5	Grafik hubungan beban-lendutan benda uji II.....	67
Gambar 5.6	Grafik hubungan beban-lendutan benda uji III.....	68
Gambar 5.7	Grafik hubungan beban-lendutan benda uji IV.....	69
Gambar 5.8	Hubungan beban-lendutan keempat rangka hingga beban maksimal.....	70
Gambar 5.9	Regresi hubungan beban-lendutan keempat rangka.....	71
Gambar 5.10	Hubungan kekakuan dan sudut miring atap hasil pengujian.....	72
Gambar 5.11	Grafik hubungan beban-lendutan benda uji I analisis SAP 2000.....	74
Gambar 5.12	Grafik hubungan beban-lendutan benda uji II analisis SAP 2000.....	75
Gambar 5.13	Grafik hubungan beban-lendutan benda uji III analisis SAP 2000.....	76
Gambar 5.14	Grafik hubungan beban-lendutan benda uji IV analisis SAP 2000.....	76
Gambar 5.15	Hubungan beban lendutan keempat rangka hasil analisis SAP 2000 pada beban maksimum.....	77
Gambar 5.16	Regresi hubungan beban lendutan keempat rangka hasil analisis SAP 2000 pada beban maksimum.....	78
Gambar 5.17	Hubungan kekakuan dan sudut miring atap hasil analisis SAP 2000 hingga beban maksimum.....	79
Gambar 5.18	Hubungan beban-lendutan $\alpha=15^\circ$ hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	80
Gambar 5.19	Hubungan beban-lendutan $\alpha=17,5^\circ$ hasil pengujian dan	

	analisis SAP 2000.....	81
Gambar 5.20	Hubungan beban-lendutan $\alpha=20^\circ$ hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	82
Gambar 5.21	Hubungan beban-lendutan $\alpha=22,5^\circ$ hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	83
Gambar 5.22	Hubungan beban-lendutan keempat rangka hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	84
Gambar 5.23	Regresi hubungan beban-lendutan keempat rangka hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	85
Gambar 5.24	Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji I.....	87
Gambar 5.25	Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji II.....	88
Gambar 5.26	Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji III.....	88
Gambar 5.27	Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji IV.....	89
Gambar 5.28	Grafik hubungan momen-kelengkungan keempat benda uji hingga beban maksimum.....	91
Gambar 5.29	Regresi grafik hubungan momen-kelengkungan keempat benda uji hingga beban maksimum.....	92
Gambar 5.30	Regresi hubungan momen-kelengkungan keempat benda uji.....	92
Gambar 5.31	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji I analisis SAP 2000.....	93
Gambar 5.32	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji II analisis SAP 2000.....	94
Gambar 5.33	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji III analisis SAP 2000.....	94
Gambar 5.34	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji IV analisis SAP 2000.....	95
Gambar 5.35	Grafik hubungan momen - kelengkungan keempat benda analisis SAP 2000.....	96

Gambar 5.36	Regresi grafik hubungan momen – kelengkungan keempat benda analisis SAP 2000.....	97
Gambar 5.37	Grafik hubungan momen–kelengkungan rangka sudut 15° hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	99
Gambar 5.38	Grafik hubungan momen–kelengkungan rangka sudut 17,5° hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	100
Gambar 5.39	Grafik hubungan momen–kelengkungan rangka sudut 20° hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	100
Gambar 5.40	Grafik hubungan momen–kelengkungan rangka sudut 22,5° hasil pengujian dan analisis SAP 2000.....	101
Gambar 5.41	Grafik hubungan momen -- kelengkungan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000.....	102
Gambar 5.42	Regresi grafik hubungan momen – kelengkungan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000.....	103
Gambar 5.43	Notasi elemen batang rangka sudut 15°.....	106
Gambar 5.44	Notasi elemen batang rangka sudut 17,5°.....	106
Gambar 5.45	Notasi elemen batang rangka sudut 20°.....	107
Gambar 5.46	Notasi elemen batang rangka sudut 22,5°.....	107
Gambar 5.47	Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang I....	110
Gambar 5.48	Rangka batang tepi sejajar sudut 22°.....	111
Gambar 5.49	Rangka batang tepi sejajar sudut 22,5°.....	111

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil Uji Bahan
- Lampiran 2 Hasil pembebanan benda uji struktur rangka batang tepi sejajar
Dengan Variasi Tinggi Terhadap Bentang
- Lampiran 3 Data Gaya Batang (*Element Force*) Aksial (P) Analisis SAP 2000
- Lampiran 4 Perhitungan Batang Tekan *Light Lipped Channel*
- Lampiran 5 Perhitungan Beban Kritis Elemen Struktur Rangka
- Lampiran 6 Perhitungan Koefisien Tekuk Lokal
- Lampiran 7 Dokumentasi Pelaksanaan Pengujian

DAFTAR NOTASI

A	=	Luas penampang
A_g	=	Luas bruto
A_n	=	Luas penampang bersih
A_{ef}	=	Luas efektif
h	=	Tinggi badan profil
b	=	Lebar sayap profil
d	=	Panjang bibir profil
C_c	=	Kelangsingan batas
E	=	Modulus elastis
F_{cr}	=	Tegangan kritis
F_y	=	Tegangan leleh
I	=	Inersia profil
K	=	Faktor panjang tekuk
k	=	Koefisien tekuk pelat
L	=	Panjang bentang
L_k	=	Panjang tekuk
<hr/>		
P	=	Beban
P_{cr}	=	Beban kritis
Q	=	Faktor bentuk
Q_a	=	Faktor bentuk elemen tekan diperkuat
Q_s	=	Faktor bentuk elemen tekan tidak diperkuat
r	=	Jari-jari inersia
t	=	Tebal profil
λ	=	kelangsingan
μ	=	Angka poisson

ABSTRAKSI

Rangka batang (*truss*) adalah suatu struktur kerangka yang terdiri dari sejumlah tertentu batang-batang yang dihubungkan satu sama lain dengan perantara titik-titik simpul yang berupa sendi tanpa gesekan dimana gaya-gaya luar bekerja melalui titik-titik ini. Pada struktur rangka batang tepi sejajar, sudut miring atap berpengaruh terhadap tinggi rangka dan panjang batang tepi sejajar, terutama batang tepi yang memikul tekan yaitu batang tepi atas. Jika batang tekan terlalu panjang akan menyebabkan masalah tekuk. Variasi sudut miring atap pada rangka batang tepi sejajar dapat mengakibatkan perbedaan sifat atau perilaku struktur yaitu kekuatan (*kapasitas*) dan kekakuan (*stiffness*). Karena itu hal ini menarik untuk diteliti.

Pada penelitian eksperimental ini menggunakan rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap (α), dimana $\alpha = 15^\circ$, $\alpha = 17,5^\circ$, $\alpha = 20^\circ$ dan $\alpha = 22,5^\circ$. Profil yang digunakan adalah Lipped channel 60 x 22 x 8 mm dan tebal profil 1,2 mm, bentang 6000 mm, tinggi batang pengisi vertikal 500 mm dan menerima beban terpusat pada puncak struktur. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan kekuatan dan kekakuan keempat rangka, mengetahui kegagalan struktur rangka dan tegangan kritis (F_{cr}), mendapatkan nilai koefisien tekuk (k), membandingkan kekakuan rangka batang tepi sejajar hasil eksperimen dan analisis SAP 2000.

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan dapat diketahui rasio kekuatan benda uji $\alpha = 15^\circ$, $\alpha = 17,5^\circ$, $\alpha = 20^\circ$ dan $\alpha = 22,5^\circ$ adalah 1:1,163:1,469:1,745 dan rasio kekakuan yang didapat berturut-turut adalah 1:0,858:0,631:0,593. Pola kegagalan yang terjadi adalah tekuk lokal pada elemen tekan yang menahan beban terbesar diantara seluruh elemen tekan penyusun tampang. Besar tegangan kritis $\alpha = 15^\circ = 61,986 \text{ kN/mm}^2$, $\alpha = 17,5^\circ = 72,958 \text{ kN/mm}^2$, $\alpha = 20^\circ = 93,486 \text{ kN/mm}^2$ $\alpha = 22,5^\circ = 112,778 \text{ kN/mm}^2$. Koefisien tekuk plat profil Lipped Channel berkisar antara 0,115 sampai 0,209. Rangka hasil analisis SAP 2000 lebih kaku dibandingkan dengan rangka hasil eksperimen, hal itu dimungkinkan karena pada analisis SAP tidak mengakomodasi adanya peristiwa tekuk lokal.

Hasil eksperimental ini menunjukkan bahwa sudut miring atap berpengaruh pada kekuatan dan kekakuan struktur rangka. Semakin besar sudut miring atap mengakibatkan meningkatnya kekuatan rangka dan menurunnya kekakuan rangka.

Beban tekuk yang terjadi pada rangka relatif kecil, menyebabkan nilai koefisien tekuk (k) pelat menjadi sangat kecil. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya tegangan residu pada profil bentukan dingin.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Mengingat semakin terbatasnya pasokan kayu seiring dengan adanya kampanye dari sejumlah negara untuk melestarikan hutan, maka ada kecenderungan untuk bereksperimen dengan memakai struktur baja sebagai pengganti kayu pada bangunan. Hal ini dimungkinkan karena dibandingkan bahan-bahan yang lain, baja struktural mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan, antara lain kekuatan yang besar. Dengan kekuatan yang besar ini bahan yang digunakan tidak perlu terlalu banyak sehingga berat struktur menjadi ringan dan efisien. Salah satu pemakaian baja sebagai pengganti kayu pada bangunan yaitu dengan mulai berkembangnya baja struktural yang digunakan sebagai struktur pendukung atap.

Profil baja ringan yang dirangkai dengan sambungan baut membentuk struktur rangka batang (*truss*) saat ini banyak digunakan pada komponen struktur pendukung atap (kuda-kuda). Salah satu jenis profil baja yang banyak digunakan saat ini adalah baja bentukan dingin (*cold formed steel*) yaitu profil baja yang dibuat dari pelat baja tipis dibentuk menjadi profil pada temperatur atmosfer. Profil bentukan dingin merupakan elemen langsing sehingga kekuatannya sering dibatasi oleh masalah tekuk terutama tekuk lokal. Baja bentukan dingin banyak digunakan pada bangunan industri maupun perumahan sebagai komponen struktur rangka atap (kuda-kuda). Pemilihan profil baja ringan sebagai komponen kuda-kuda didasarkan atas pertimbangan ekonomi mengingat penampangannya yang relatif tipis dan ringan, sehingga cocok untuk kuda-kuda bentang pendek. Paling sedikit ada tiga bentuk dasar struktur rangka atap yang umum digunakan, yaitu : (a) rangka *Howe*, (b) rangka *Pratt*, dan (c) rangka *Fink*. Salah satu bentuk modifikasi dari bentuk dasar kuda-kuda

rangka batang adalah rangka batang tepi sejajar dengan batang pengisi berupa batang diagonal dan batang vertikal. Rangka batang tepi sejajar merupakan hasil modifikasi dari rangka *Pratt* dimana batang pengisi diagonal berupa batang tarik sedangkan batang pengisi vertikal merupakan batang tekan.

Penggunaan rangka batang sebagai bagian dari struktur bangunan memerlukan perhitungan yang tepat agar rangka batang mampu menahan beban yang bekerja pada bangunan, baik dari bahan yang digunakan maupun bentuk dari rangka batang. Kekuatan dan kekakuan profil baja ringan terhadap beban transversal dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain: konfigurasi komponen, bentuk dan ukuran penampang, derajat pengekangan rotasi joint, kondisi tumpuan dan panjang bentang. Oleh karena itu, sudut miring atap dapat berpengaruh pada kekuatan dan kekakuan struktur tersebut. Sudut miring atap berpengaruh langsung terhadap tinggi rangka dan panjang batang tepi sejajar terutama batang tepi yang mengalami tekan yaitu batang tepi bagian atas. Semakin besar sudut miring atap maka rangka semakin tinggi dan batang tepi sejajar semakin panjang.

Semakin tinggi suatu rangka maka rangka tersebut semakin kuat menahan beban. Pada rangka dengan sudut miring atap besar, batang tepi sejajar rangka bertambah panjang. Jika batang tepi sejajar bagian atas terlalu panjang maka dapat menyebabkan masalah *instabilitas* atau tekuk, yang dapat berupa tekuk lokal (*local buckling*) atau tekuk menyeluruh (*overall buckling*) yang berakibat kegagalan dini (*premature collapse*) pada komponen batang tekan rangka. Selain itu batang tepi sejajar yang terlalu panjang juga mengakibatkan struktur rangka yang dibebani mengalami lendutan yang relatif besar sehingga dapat berakibat menurunnya kestabilan struktur rangka.

Variasi sudut miring atap pada rangka kuda-kuda dengan batang tepi sejajar dapat mengakibatkan perbedaan sifat atau perilaku struktur rangka, yaitu kekuatan (*kapasitas*) dan kekakuan (*stiffnes*). Perbedaan sifat atau perilaku rangka tersebut menarik untuk diteliti, oleh karena itu melalui penelitian eksperimental *Perilaku Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Variasi Tinggi Terhadap Bentang (tinggi*

rangka bervariasi dengan bentang konstan, dengan sudut miring atap 15°, 17,5°, 20°, dan 22,5°) akan diteliti seberapa besar pengaruh sudut miring atap terhadap sifat dan perilaku struktur rangka dengan batang tepi sejajar.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Untuk menjaga supaya penelitian tidak meluas dan melebar dari masalah yang dihadapi diambil rumusan masalah, yaitu :

“Seberapa besar pengaruh variasi tinggi terhadap bentang pada rangka dengan batang tepi sejajar terhadap kekuatan dan kekakuan.”

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang hendak dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. Membandingkan kekuatan dan kekakuan rangka batang tepi sejajar dengan variasi tinggi terhadap bentang (tinggi rangka bervariasi dengan bentang konstan, sudut miring atap 15°, 17,5°, 20°, dan 22,5°).
2. Mengetahui pola kegagalan struktur rangka batang tepi sejajar dan nilai tegangan kritis batang tepi atas (batang tekan).
3. Mendapatkan nilai koefisien tekuk lokal (k) profil *Lipped Channel*.
4. Membandingkan kekakuan rangka batang tepi sejajar hasil eksperimen dengan hasil analisis SAP 2000.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat:

1. Sebagai alternatif desain dalam perancangan struktur rangka atap.
2. Sebagai data pelengkap terhadap model struktur rangka atap yang sudah ada, sehingga pemakaian sudut miring atap lebih diperhatikan penggunaannya di lapangan.
3. Memberikan masukan bagi pembaca sebagai pengetahuan pemanfaatan baja tipis profil *Lipped Channel* bentukan dingin yang digunakan sebagai rangka atap dan dapat digunakan dalam perencanaan bangunan konstruksi baja yang aman, murah dan ekonomis.

1.5 BATASAN MASALAH

Agar penelitian menjadi terarah maka dibatasi masalah berikut :

1. Bentuk struktur rangka merupakan modifikasi dengan batang tepi sejajar.
2. Bentang 6000 mm, dengan asumsi tumpuan sederhana (sendi-rol), bentang rangka dibagi menjadi 8 bagian yang sama besar oleh batang pengisi vertikal setinggi 500 mm, sudut miring atap bervariasi yaitu 15° , $17,5^\circ$, 20° dan $22,5^\circ$.
3. Rangka atap menerima beban statis terpusat pada puncak struktur.
4. Pengamatan di laboratorium terbatas pada beban dan lendutan.
5. Profil yang digunakan dalam penelitian adalah profil *Lipped Chanel* bentukan dingin $60 \times 22 \times 8$ dengan tebal 1,2 mm.

1.6 LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian dan pengujian sampel dilaksanakan di laboratorium Mekanika Rekayasa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KUDA - KUDA RANGKA BATANG

Suatu rangka (*truss*) adalah suatu struktur kerangka yang terdiri dari rangkaian batang-batang (*profil*) yang dihubungkan satu sama lain dengan perantara titik-titik simpul yang berupa sendi tanpa gesekan dimana gaya-gaya luar bekerja melalui titik-titik ini (*Wang, 1985*).

Elemen bentukan dingin adalah elemen yang dibentuk dalam keadaan dingin (tidak dalam keadaan panas). Struktur kuda-kuda bentukan dingin dapat disusun dalam berbagai macam variasi bentuk tampang, sesuai dengan fungsi tampang tersebut, dengan menggunakan alat sambung las, baut, dan alat sambung lainnya (*Tall, 1974*).

Batang tarik adalah batang yang mendukung tegangan tarik aksial yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya tarik aksial pada ujung-ujung batang (*Padosbajayo, 1992*). Pada batang tarik yang menggunakan sambungan baut akan terjadi pengurangan luas penampang akibat lubang baut, sehingga beban tarik yang diijinkan berkurang sesuai dengan ukuran dan letak lubang. Sedangkan batang tarik dengan sambungan las akan mempunyai kekuatan batas bila semua serat penampang batang meleleh (*Salmon and Johnson, 1994*).

Batang tekan didefinisikan sebagai batang struktural yang menerima gaya tekan aksial (*Padosbajayo, 1992*).

Pada analisis rangka batang dengan metode titik buhul (*joint*), rangka batang dianggap sebagai gabungan batang dan titik buhul. Gaya batang diperoleh dengan meninjau keseimbangan titik-titik buhul, dan titik buhul tersebut harus berada dalam

Analisis untuk kuat tekan batang secara sistematis dilakukan pertama kali oleh *Loenard Euler (1744)*, dimana Euler menyeiidiki tekuk kolom langsing dan menentukan beban kritisnya. Beban kritis (P_{cr}) adalah harga beban aksial yang dimana kolom dapat mengalami defleksi tanpa adanya perubahan gaya aksial. Dengan demikian, beban kritis menunjukkan batas antara kondisi stabil dan tidak stabil. Jika ($P < P_{cr}$) maka struktur stabil, dan jika ($P > P_{cr}$) maka struktur tidak stabil (*Gere dan Timoshenko, 2000*).

Keruntuhan batang tekan dapat diklasifikasikan menjadi (1) keruntuhan akibat tegangan leleh bahan dilampaui, terjadi pada batang tekan pendek (*stocky column*) dan (2) keruntuhan akibat tekuk, terjadi pada batang tekan langsing (*slender column*) (*Gideon Hadi Kusuma, 1983*).

Tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu element penyusun tampang suatu struktur. Tekuk terjadi akibat adanya gaya tekan yang terjadi pada truktur. Tekuk lokal menyebabkan element yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung penambahan beban, dengan kata lain efisiensi penampang berkurang. Keruntuhan akibat tekuk local ini terjadi pada batang yang langsing dimana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki oleh pelat jauh dibawah tegangan lelehnya (F_y) (*Tall, 1974*).

Beban kritis *Euler* kolom yang menyebabkan tekuk keseluruhan diturunkan dari persamaan pelenturan sebuah batang lurus yang semua seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi. Batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya (*Tall, 1974*).

Grafik hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan memiliki kesamaan bentuk terutama pada bagian tengah (*inelastic*) dan akhir grafik tersebut (*plastis*) (*Beedle, 1958*).

Kelengkungan adalah perubahan kemiringan per unit panjang balok dinyatakan dalam ϕ (*Padosbajayo, 1991*).

Kelangsingan batang adalah rasio antara panjang batang dan jari-jari inersia tampang, semakin kecil angka kelangsingan suatu batang akan semakin kaku batang tersebut sebaliknya semakin besar angka kelangsingan batang tersebut mudah melentur (*Padasbajayo, 1991*).

Kekuatan batang tekan dipengaruhi oleh factor tekuk (buckling) atau lenturan mendadak akibat ketidakstabilan, terjadi sebelum kekuatan batang sepenuhnya tercapai (*Salmon and Johnson, 1992*).

Peristiwa tekuk pada komponen struktur dari pelat baja dapat terjadi dalam bentuk keseluruhan dan tekuk local (*local buckling*). Tekuk keseluruhan merupakan fungsi dari kelangsingan (KL/r). Tekuk setempat dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen penyusun penampang sebelum tegangan kritis terlampaui (*Salmon dan Johnson, 1992*).

Variasi nilai koefisien tekuk k terhadap aspek rasio a/b dan kondisi tepi pelat pada berbagai jenis tumpuan pelat . Pada pelat dengan tumpuan jepit-jepit $k_{min} = 6,97$; untuk jepit-sendi $k_{min} = 5,42$; untuk sendi-sendi $k_{min} = 4,00$; untuk jepit-bebas $k_{min} = 1,277$; untuk sendi bebas $k_{min} = 0,425$ (*Salmon dan Johnson, 1992*)

Nilai k dipengaruhi oleh rasio a/b dan kondisi dari tepi-tepi pelat dimana semakin besar nilai a/b maka nilai k akan mendekati konstan. Tampak bila (b/t) kecil nilai k mendekati 0,425 untuk pelat yang tidak diperkuat, dalam hal ini nilai tersebut dimiliki oleh sayap dan nilai k untuk pelat yang diperkuat adalah 4, dalam hal ini dimiliki oleh badan. Dengan demikian tampak bahwa nilai untuk pelat yang diperkuat naik sepuluh kali lipat dari nilai k untuk pelat yang tidak diperkuat (*Salmon dan Johnson, 1992*)

2.3 PENELITIAN SEBELUMNYA

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai kuda-kuda rangka batang, antara lain :

1. *Pengaruh Besar Sudut Miring Terhadap Perilaku Lentur Kuda - Kuda Baja Ringan (Dana Bayu Kanetra dan Arief Fajar Hariyanto, 2005).*

Pengujian eksperimental menguji perilaku lentur kuda-kuda rangka batang bentuk *Howe* dengan variasi sudut miring. Profil yang digunakan adalah C70x40x10 dengan tebal profil 1,6 mm, bentang 8000 mm, dan variasi sudut miring atap 15°, 22° dan 25°. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan dapat diketahui kekakuan dan kekuatan struktur rangka. Dari hasil eksperimen tidak didapatkan rasio kekuatan karena pada waktu pengujian benda uji dengan sudut 22° dan sudut 25° roboh. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa variasi sudut miring berpengaruh pada kekakuan rangka batang, semakin besar sudut miring rangka maka kuda - kuda semakin kaku. Hal ini ditunjukkan dengan hasil eksperimen dimana *Howe* sampel 3 dengan sudut 25° lebih kaku dari sampel 2 sudut 22° dan sampel 1 sudut 15°.

2. *Perilaku Kuat Lentur Struktur Rangka Batang Tepi Sejajar Profil Bentuk Dingin (Supriono dan Radhatama Eka Chrismawan, 2006).*

Pengujian eksperimental perilaku lentur kuda-kuda rangka batang tepi sejajar dengan bentang 6000 mm, dan sudut miring atap 22° menggunakan profil bentukan dingin *Lipped Channel* 70x22x8 dan tebal profil 1,2 mm untuk semua elemen struktur. Dari pengujian eksperimen kuda-kuda rangka batang yang dibebani secara terpusat pada puncak struktur ini akan diketahui kekakuan dan kekuatan struktur rangka batang. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa kuda-kuda rangka batang tepi sejajar yang menerima beban terpusat pada puncak struktur memiliki kekakuan sebesar 0,44 kN/mm dengan faktor kekakuan 17,07 kN.m² dan mengalami tekuk lokal pada elemen tekan yang menahan beban terbesar diantara seluruh elemen tekan penyusun tampang dengan nilai koefisien tekuk profil *Lipped Channel* sebesar 0,14.

3. *Perilaku Lentur Kuda-Kuda Rangka Howe Dari Baja Ringan Profil Bentukan Dingin Dengan Variasi Jarak Pengekang Lateral (Agung Hartono, 2005).*

Pengujian eksperimental menguji perilaku lentur kuda-kuda rangka batang bentuk *Howe* dengan variasi jarak pengekang lateral, dimana pengekang lateral berfungsi sebagai gording, perilaku lentur meliputi hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) dan momen kelengkungan ($M-\phi$). Profil yang digunakan adalah C70x40x10 dengan tebal profil 1,6 mm, bentang 8000 mm dan sudut miring atap 22° . Berdasarkan eksperimen yang dilakukan dapat diketahui bahwa kekuatan benda uji (*Howe* variasi 1 = 16,50 kN, *Howe* variasi 2 = 18,50 kN, dan *Howe* variasi 3 = 20,50 kN). Hasil eksperimental menunjukkan bahwa variasi jarak pengekang lateral berpengaruh pada kekakuan dan kestabilan rangka batang. Semakin rapat penggunaan pengekang lateral, maka kuda-kuda akan semakin stabil yang berakibat kuda-kuda semakin kaku. Hal ini ditunjukkan dengan hasil pengujian dimana *Howe* sampel 3 lebih kuat dan stabil dari sampel 2 dan sampel 1.

Dari penelitian - penelitian diatas dapat disimpulkan belum adanya penelitian mengenai seberapa besar pengaruh variasi tinggi terhadap bentang pada stuktur rangka batang tepi sejajar dengan batang pengisi berupa batang diagonal dan batang vertikal.

2.4 KEASLIAN PENELITIAN

Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian *Perilaku Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Variasi Tinggi Terhadap Bentang* adalah *pertama* : bentuk rangka batang yang digunakan merupakan bentuk modifikasi dari bentuk dasar rangka *Pratt* yaitu rangka batang tepi sejajar, *kedua* : penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi tinggi terhadap bentang rangka batang tepi sejajar terhadap kekuatan dan kekakuan struktur rangka.

Dengan demikian hasil penelitian yang diusulkan dalam tugas akhir ini berbeda dengan penelitian sebelumnya. Penelitian ini akan menambah data terhadap pemakaian sudut miring atap pada model struktur rangka atap yang sudah ada, maka keaslian penelitian ini dapat dijaga.

BAB III

LANDASAN TEORI

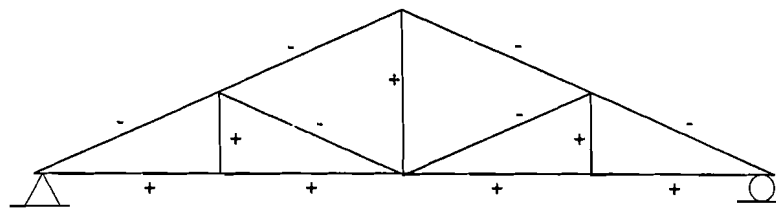
3.1 KUDA - KUDA RANGKA BATANG

Kuda-kuda rangka (*truss*) adalah suatu struktur kerangka yang terdiri dari rangkaian batang-batang (*profil*) yang dihubungkan satu sama lain dengan perantara titik-titik simpul yang berupa sendi tanpa gesekan dimana gaya-gaya luar bekerja melalui titik-titik ini (*Wang, 1985*).

Bentuk dasar kuda-kuda rangka batang yang umum dijumpai adalah rangka *Howe*, *Fink*, dan *Pratt* (*Hsieh, 1983*). Komponen rangka terdiri dari batang tepi atas, tepi bawah dan batang pengisi. Batang-batang tepi bawah pada struktur rangka batang umumnya merupakan batang tarik, dan batang pada tepi atas berfungsi sebagai batang tekan.

3.1.1 *Howe Truss*

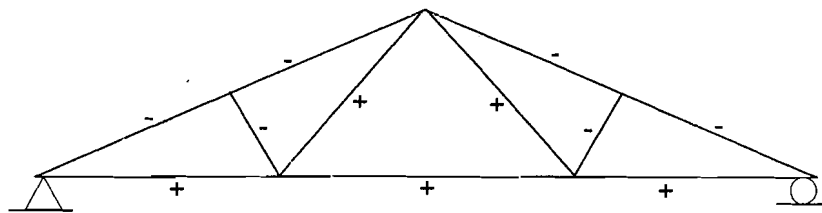
Batang pengisi pada rangka *Howe* berupa batang diagonal dan batang vertikal, batang diagonal umumnya merupakan batang tekan, sedangkan batang vertikal umumnya berupa batang tarik, (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 *Howe Truss*

3.1.2 *Fink Truss*

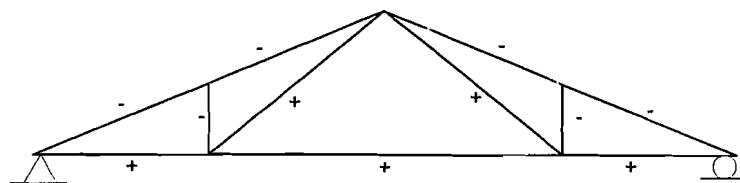
Pada rangka *Fink* batang pengisinya berupa batang diagonal, sebagian batang diagonal tegak lurus terhadap batang tepi atas. Sebagian batang pengisi merupakan batang tarik, sedangkan batang pengisi yang lain merupakan batang tekan. Panjang batang pengisi yang berfungsi sebagai batang tekan lebih pendek dibanding batang pengisi yang berfungsi sebagai batang tarik (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 *Fink Truss*

3.1.3 *Pratt Truss*

Pada rangka *Pratt* batang pengisi diagonal umumnya merupakan batang tarik sedangkan batang pengisi vertikal umumnya merupakan batang tekan (Gambar 3.3).

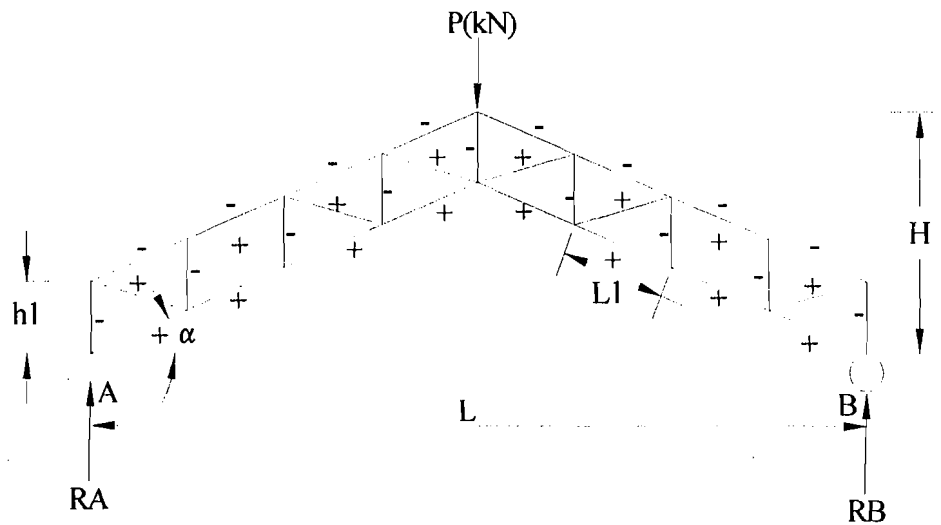


Gambar 3.3 *Pratt Truss*

Konfigurasi komponen dan panjang batang pengisi ketiga rangka tersebut di atas bervariasi sehingga mempengaruhi kekuatan (*kapasitas*) dan kekakuan (*stiffnes*) rangka.

3.1.4 Kuda-Kuda Rangka Batang Tepi Sejajar

Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan dan kekakuan struktur rangka batang adalah susunan komponen, selain itu juga ukuran penampang komponen. Terdapat beberapa bentuk modifikasi dari bentuk dasar kuda-kuda rangka batang salah satunya yang sering digunakan adalah kuda-kuda rangka batang tepi sejajar, dengan batang pengisi berupa batang diagonal dan batang vertikal. Rangka batang tepi sejajar Gambar 3.4 merupakan modifikasi dari bentuk dasar rangka *Pratt*.



Gambar 3. 4 Kuda-kuda rangka batang tepi sejajar

Pada Gambar 3.4 kuda-kuda rangka batang tepi sejajar joint-jointnya diasumsikan sebagai sendi. Berdasarkan asumsi tersebut komponen rangka hanya memikul gaya aksial tarik atau tekan saja. Pada kuda-kuda yang menerima gaya transversal sebesar P pada puncak maka pada batang tepi atasnya akan menerima gaya tekan (-) yang semakin besar dari tepi hingga bagian puncak, sedangkan batang tepi bawah mengalami gaya tarik (+) yang semakin besar menuju tengah struktur. Untuk batang diagonal akan mengalami gaya tarik yang semakin besar dari tepi hingga tengah, sebaliknya batang vertikal mengalami gaya tekan dengan bagian tepi memiliki gaya yang besar dan mengecil dari tepi hingga tengah struktur (*Schodek, 1991*).

Gaya luar P juga menimbulkan deformasi aksial pada setiap komponen rangka, dimana batang tekan mengalami perpendekan dan batang tarik mengalami perpanjangan. Menurut **Hooke** deformasi akibat gaya aksial ditunjukkan seperti pada persamaan 3.1.

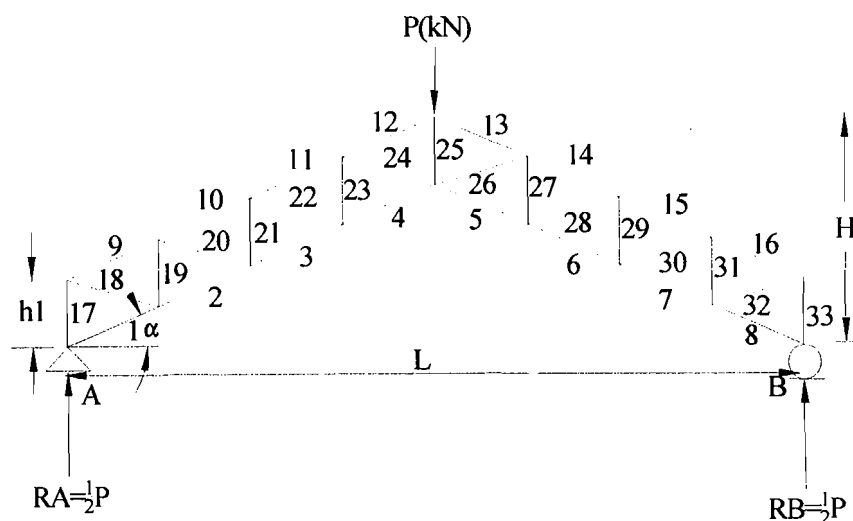
$$\Delta = \frac{P.L}{A.E} \quad (3.1)$$

dengan P = gaya aksial, L = panjang batang, A = luas penampang dan E = modulus elastis bahan.

Tampak bahwa deformasi batang berbanding lurus dengan panjang batang dan beban yang bekerja, berbanding terbalik dengan luas penampang dan modulus elastisitas. Deformasi aksial setiap komponen rangka menimbulkan lendutan arah transversal.

3.2 ANALISIS GAYA BATANG

Fakta bahwa setiap bagian pada stuktur harus berada dalam keadaan keseimbangan adalah dasar semua analisis rangka batang. Pada analisis rangka batang dengan metode titik buhul (*joint*), rangka batang dianggap sebagai gabungan batang dan titik buhul. Gaya batang diperoleh dengan meninjau keseimbangan titik-titik joint, dan titik joint tersebut harus berada dalam keseimbangan (*Schodek, 1991*).

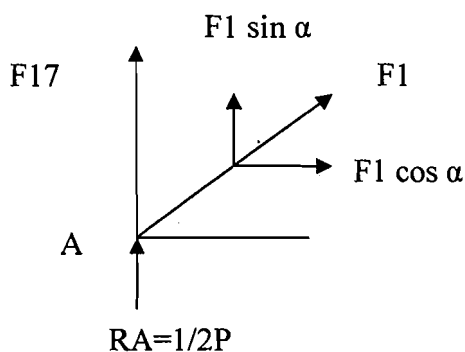


Gambar 3.5 Notasi batang rangka kuda-kuda batang tepi sejajar

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{1}{2}P \quad (3.2)$$

dengan: $R_{Ay} = R_{By}$ = reaksi tumpuan akibat beban pada struktur.

Analisis gaya batang pada rangka kuda-kuda batang tepi sejajar Gambar 3.5 dapat diselesaikan dengan metode keseimbangan titik buhul. Mula-mula dicari reaksi dukungan (R_A dan R_B). Analisis dimulai dengan memilih joint yang paling banyak memiliki dua gaya batang yang belum diketahui. Sebagai contoh dipilih keseimbangan pada joint A seperti terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Gaya batang pada joint A

Keseimbangan gaya-gaya vertikal dan horisontal pada joint A menghasilkan gaya pada batang F1 dan F17.

Jumlah gaya-gaya vertikal = 0

$$\Sigma F_y = 0$$

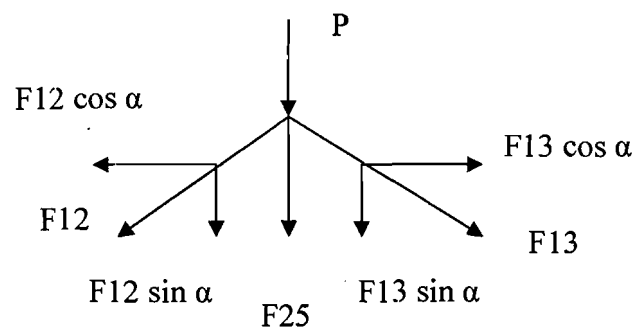
$$F_{17} + F_1 \sin \alpha + R_A = 0$$

Jumlah gaya-gaya horisontal = 0

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_1 \cos \alpha = 0$$

Puncak rangka merupakan joint yang memiliki gaya batang paling besar, yaitu batang F12 dan F13, analisis gaya batang pada puncak rangka dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Gaya batang pada puncak rangka

Jumlah gaya-gaya vertikal = 0

$$\Sigma F_y = 0$$

$$-P - F_{25} - F_{12} \sin \alpha - F_{13} \sin \alpha = 0$$

Jumlah gaya-gaya horisontal = 0

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{12} \cos \alpha - F_{13} \cos \alpha = 0$$

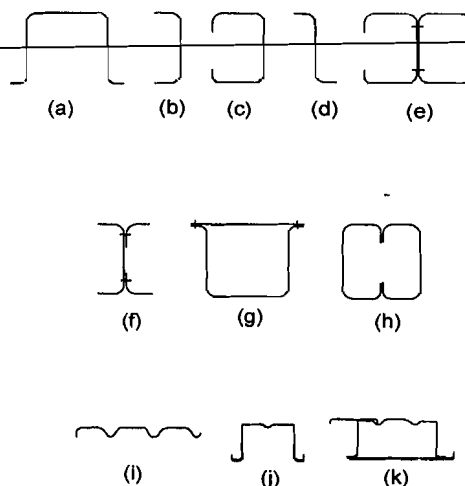
3.3 PROFIL BENTUKAN DINGIN

Penampang batang (*profil*) merupakan element struktur yang berpengaruh terhadap penempatan fungsi yang harus dipenuhi oleh struktur, agar sesuai dengan fungsi struktur maka pemilihan penampang harus didasari oleh fungsi struktur, dan beban yang harus dipikul.

Penampang batang yang terbuat dari potongan atau baja-pelat bentukan dingin (*cold formed members*) digunakan secara luas di dalam konstruksi. Salah satunya digunakan sebagai komponen penyusun rangka batang. Suatu karakteristik yang baik dari baja bentukan dingin adalah dapat dibentuk ke dalam suatu variasi melintang yang besar dibentuk bersekat-sekat menggunakan peralatan sederhana. Profil semacam ini dibentuk dari pelat-pelat yang sudah jadi, menjadi profil baja dalam temperatur atmosfer (dalam keadaan dingin). Profil macam ini ringan, sehingga efisien dalam penggunaannya.

Gambar 3.8 menunjukkan profil bentukan dingin ukuran ringan dapat dibedakan menjadi tiga kelompok (*Tall, 1974*), yaitu :

1. Bagian a sampai d, bentuk sederhana
2. Bagian e sampai h, bentuk penuh
3. Bagian i sampai k, bentuk panel atau dek.

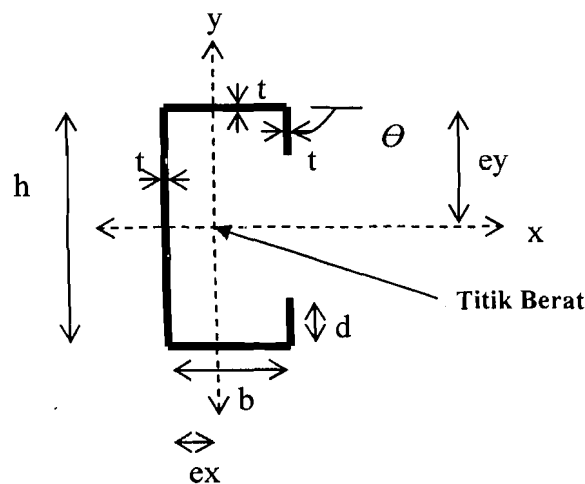


Gambar 3. 8 Profil bentukan dingin

Pada penelitian ini penampang yang digunakan adalah baja bentuk dingin dengan profil *Lipped channel* (Gambar c), karena profil inilah yang banyak digunakan pada struktur nyata.

3.3.1 Penampang Lintang Profil *Lipped Channel*

Sifat penampang (*Section Properties*) profil *Lipped Channel* seperti terlihat pada Gambar 3.9, meliputi: (a) luas penampang, (b) momen inersia dan (c) jari-jari inersia, dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut ini.



Gambar 3.9 Profil *Lipped Channel*

Sesuai dengan notasi yang digunakan dalam Gambar 3.9, luas penampang profil (A) dapat dihitung menggunakan pendekatan Persamaan (3.3),

$$A = t \times (h + 2b + 2d) \quad (3.3)$$

Profil *lipped channel* memiliki satu sumbu simetri yaitu sumbu kuat (sumbu x). Jarak pusat berat ke sisi kiri (e_x) dan jarak pusat berat ke sisi bawah (e_y) dapat dihitung menggunakan pendekatan seperti ditunjukkan dalam Persamaan 3.4 dan 3.5 berikut ini :

$$e_y = \frac{1}{2} \cdot h \quad (3.4)$$

$$e_x = \frac{b \cdot (b + 2 \cdot d)}{h + 2 \cdot b + 2 \cdot d} \quad (3.5)$$

Momen inersia profil *Lipped Channel* (I_x dan I_y) dihitung dengan Persamaan (3.6a) dan (3.6b) yaitu :

$$I_x = \int_0^A y^2 dA \quad (3.6a)$$

$$I_y = \int_0^A x^2 dA \quad (3.6b)$$

Momen inersia terhadap sumbu X dan sumbu Y didekati dengan Persamaan (3.7) dan Persamaan (3.8).

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot t \cdot h^3 + \frac{1}{2} \cdot b \cdot t \cdot h^2 + \frac{2}{3} \cdot d^3 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot d \cdot t \cdot h^2 - d^2 \cdot t \cdot h + \frac{1}{6} \cdot b \cdot t^3 \quad (3.7)$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot h \cdot t^3 + \frac{2}{3} \cdot t \cdot b^3 + \frac{1}{6} \cdot d \cdot t^3 + 2 \cdot d \cdot t \cdot b^2 - (h \cdot t + 2 \cdot b \cdot t + 2 \cdot d \cdot t) \cdot b^2 \cdot \frac{(b + 2 \cdot d)^2}{(h + 2 \cdot b + 2 \cdot d)^2} \quad (3.8)$$

Jari-jari inersia terhadap sumbu X ($i_x = r_x$) dan sumbu Y ($i_y = r_y$) dihitung berdasarkan Persamaan (3.9) dan Persamaan (3.10) berikut,

$$i_x = r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad (3.9)$$

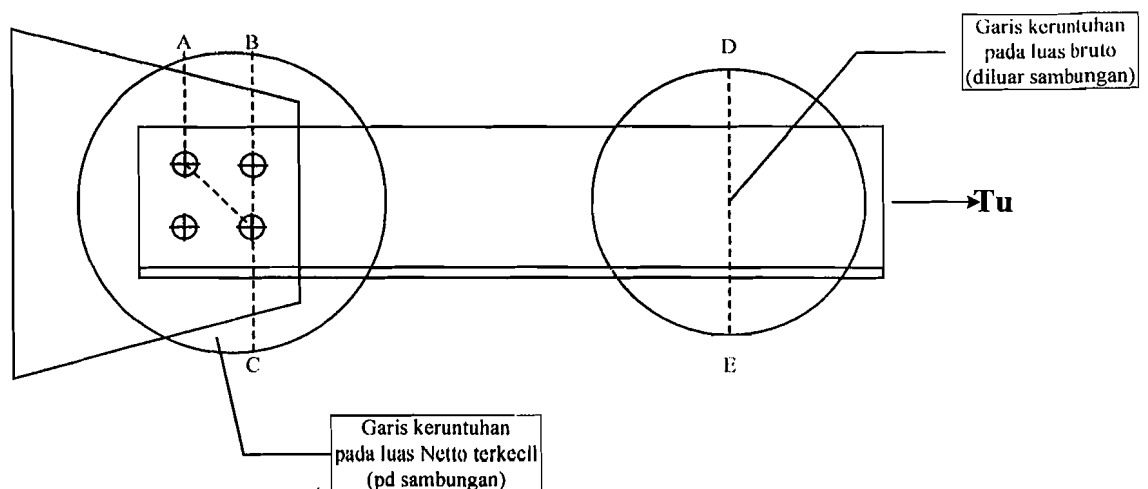
$$i_y = r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (3.10)$$

3.4 BATANG TARIK

Batang tarik adalah batang yang mendukung tegangan tarik aksial yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya tarik aksial pada ujung-ujung batang (*Padosbajayo, 1992*). Batang tarik mungkin merupakan batang paling efisien, karena gaya tarik biasanya menimbulkan tegangan merata lagi pula tidak menimbulkan tekuk (*buckling*), ini berarti kekuatan bahan dapat dimanfaatkan secara optimal. Perencanaan komponen tarik merupakan persoalan yang paling sederhana dibanding perencanaan struktur lain, karena masalah *instabilitas* bukan merupakan masalah utama (*Salmon dan Johnson, 1992*).

Perencanaan batang tarik pada hakekatnya menentukan luas penampang lintang batang yang cukup untuk menahan beban yang bekerja. Keruntuhan batang tarik dapat terjadi pada dua tempat yaitu :

1. Keruntuhan pada penampang bruto yang jauh dari titik sambungan (kriteria pelelehan) seperti terlihat pada Gambar 3.10 potongan D – E.
2. Keruntuhan pada daerah dengan luas netto terkecil (kerusakan fraktur), retakan dari luas bersih efektif (yakni melalui lobang-lobang) pada sambungan seperti terlihat pada Gambar 3.10 potongan A – C dan B – C.



Gambar 3.10 Garis kemungkinan letak kerusakan elemen akibat gaya tarik

Kekuatan pada kondisi batas pelelehan akan mencapai kekuatan batas bila semua serat penampang melintang meleleh, sehingga kekuatan batang tarik bersifat merata pada seluruh tampang dan kuat tarik nominalnya dinyatakan oleh persamaan 3.11 (*Salmon dan Johnson, 1992*).

$$T_u = A_g \cdot F_y \quad (3.11)$$

Dengan A_g = luas penampang lintang bruto dan F_y = tegangan leleh

Kegagalan pada kondisi batas fraktur dengan anggapan batang tarik yang patah telah melampaui tegangan tariknya sehingga kuat tarik nominal batang tarik dapat diketahui menggunakan Persamaan (3.12). Untuk batang tarik yang

berlubang dengan konsentrasi tegangan dan eksentrisitas pembebanan yang tidak diperhitungkan, kekuatan batang tarik dipengaruhi oleh pengurangan luas penampang akibat lubang alat sambung. Sehingga luas efektifnya dinyatakan dalam Persamaan (3.14). Sedangkan untuk batang tarik yang tidak berlubang atau dilas, luas penampangnya dihitung menurut Persamaan (3.13).

$$T_u = A_e \cdot F_u \quad (3.12)$$

dengan: A_e = luas penampang efektif, F_u = tegangan tarik ultimit

$$A_e = U \cdot A_g \quad (3.13)$$

$$A_e = U \cdot A_n \quad (3.14)$$

dengan: A_e = luas penampang efektif, U = faktor efisiensi, A_n = luas penampang netto, A_g = luas penampang bruto.

Batang tarik perlu dibatasi kelangsingannya untuk menghindari lendutan yang terlalu besar. Guna mencegah terjadinya lendutan yang cukup besar pada struktur tarik maka perlu kriteria kekakuan untuk membatasi kelangsingan batang tarik tersebut. Kriteria tersebut berdasarkan pada angka kelangsingan batang (KL/r), dengan K adalah faktor panjang efektif, L adalah panjang batang dan r adalah jari-jari inersia terkecil yang merupakan akar kuadrat dari inersia penampang melintang batang dibagi luas penampang melintang batang dibagi luas penampang ($r = \sqrt{I/A}$). Dalam menentukan angka kelangsingan, kedua ujung batang tarik dianggap sendi dengan faktor panjang efektifnya adalah satu ($K=1$), maka kelangsingan dapat dinyatakan sebagai panjang batang dibagi jari-jari inersia (L/r). Angka kelangsingan yang masih bisa digunakan menurut AISC dan AASHTO untuk berbagai jenis batang tarik terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Angka kelangsingan maksimum untuk batang tarik
(*Salmon dan Johnson, 1992*)

	AISC	AASHTO
Untuk batang utama	240	200
Untuk pengaku lateral dan batang sekunder lain	300	240
Untuk batang yang mengalami pembalikan tegangan	-	140

3.5 BATANG TEKAN

Batang tekan didefinisikan sebagai batang struktural yang menerima gaya tekan aksial. Pada struktur gedung, batang tekan sering dijumpai sebagai kolom, sedangkan pada struktur rangka batang (jembatan, kuda-kuda) dapat berupa batang tepi, batang diagonal, batang vertikal dan batang-batang pengekang (*bracing*) (*Padosbajayo, 1992*).

Masalah yang paling penting diperhatikan dalam perencanaan batang tekan adalah masalah stabilitas, karena elemen struktur tekan sangat peka terhadap faktor-faktor yang dapat menimbulkan peralihan lateral atau tekuk. Dalam praktek, *tekuk* diartikan sebagai batas antara lendutan stabil dan tak stabil pada suatu batang tekan (*Salmon Johnson, 1992*).

Keruntuhan batang tekan dapat diklasifikasikan menjadi 2 kategori, yaitu :

1. Keruntuhan yang diakibatkan tegangan lelehnya terlampaui. Hal semacam ini terjadi pada batang tekan yang pendek (*stocky column*) dan penampangnya kompak. Penampang kompak adalah penampang yang mempunyai rasio kelangsingan atau rasio lebar terhadap tebal (b/t) kecil sehingga penampang tersebut tidak mengalami tekuk setempat (*local buckling*).
2. Keruntuhan akibat tekuk (*buckling*). Hal semacam ini terjadi pada batang tekan yang langsing (*slender column*). Kegagalan tekuk dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu tekuk lokal dan tekuk total (*overall buckling*). Tekuk total (*overall buckling*), batang tekan mengalami tekuk total bila penampang batang kompak dan langsing (KL/r besar). Tekuk lokal (*local buckling*), batang yang mengalami tekuk lokal memiliki penampang yang tidak kompak dan elemen penampangnya langsing (rasio b/t besar) (*Kusuma, 1983*).

3.5.1 Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui

Batang tekan yang pendek dan mempunyai rasio kelangsingan atau rasio lebar terhadap tebal (b/t) kecil dapat dibebani sampai bahan meleleh atau bahkan mungkin hingga mencapai daerah pengerasan regangan (*Strain Hardening*). Pada kondisi ini tegangan kritis (F_{cr}) lebih besar dari tegangan leleh (F_y), sehingga tegangan tegangan kritis (F_{cr}) yang digunakan sama dengan tegangan leleh (F_y). Pada umumnya keruntuhan akibat tegangan leleh terlampaui dijumpai pada jenis batang dengan karakteristik tersebut.

Menurut *Salmon dan Johnson (1992)* salah satu faktor yang berpengaruh pada kegagalan ini adalah luas penampang dari batang tekan tersebut. Semakin besar luas penampang melintang batang maka kapasitas tekannya akan semakin meningkat, sehingga risiko untuk keruntuhan ini dapat diminimalisir dan sebaliknya. Kapasitas tekan ditentukan sebagai hasil kali tegangan leleh dan luas penampang seperti ditunjukkan oleh Persamaan (3.15).

$$P_u = A_g \times F_y \quad (3.15)$$

Dengan F_{cr} = tegangan kritis, F_y = tegangan leleh baja, P_u = kapasitas tekan dan , A_g = luas penampang *bruto*.

3.5.2 Keruntuhan Akibat Tekuk

3.5.2.1 Tekuk Total

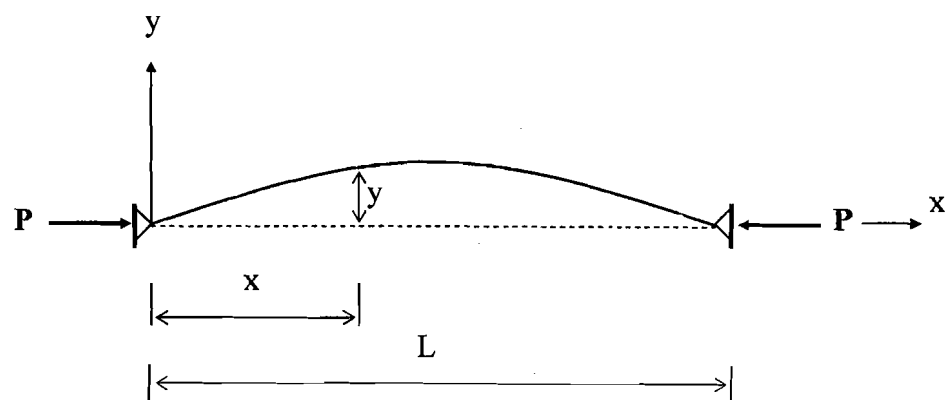
Pada keruntuhan akibat tekuk total dapat terjadi dalam keadaan elastis maupun inelastis.

a). Tekuk Elastis

Tekuk elastis terjadi pada kolom langsing. Kolom langsing adalah kolom yang memiliki kelangsingan lebih besar dari kelangsingan batas. Pada keruntuhan akibat tekuk elastis, tegangan yang terjadi pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis, sehingga biasa disebut tekuk elastis (*Padosbajayo,1991*).

Menurut persamaan *Euler* yang dikemukakan oleh *Salmon dan Johnson (1992)*, Beban kritis batang tekan diturunkan dari persamaan sebuah batang lurus yang semua seratnya tetap elastis sehingga batang tersebut tidak mampu lagi menahan penambahan beban, batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya dan diberi gaya aksial tekan sentris.

Kuat tekan kolom langsung dijabarkan secara matematis oleh *Euler*. Pada sebuah batang lurus yang ujung-ujungnya sendi dikerjakan gaya tekan P , akibatnya batang melengkung seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Batang tertekan

L = panjang bentang, y = lendutan

Di suatu titik sejarak x , momen lentur M_x (terhadap sumbu x) pada batang yang sedikit melengkung (batang tertekan) adalah

$$M_x = P \cdot y \quad (3.16a)$$

dalam keadaan kolom elastis dan deformasi yang terjadi kecil, hubungan momen (M), kelengkungan (d^2y / dx^2) dan factor kekakuan (EI) adalah

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M_x}{EI} \quad (3.16b)$$

Persamaan diferensialnya menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{P}{EI}y = 0 \quad (3.16c)$$

Penyelesaian Persamaan (3.16c) menghasilkan beban tekuk *Euler (Euler buckling load)*, yaitu

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (3.17)$$

Bila masing-masing Persamaan (3.17) dibagi dengan luas penampang batang A, maka

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AKL^2} \quad (3.18)$$

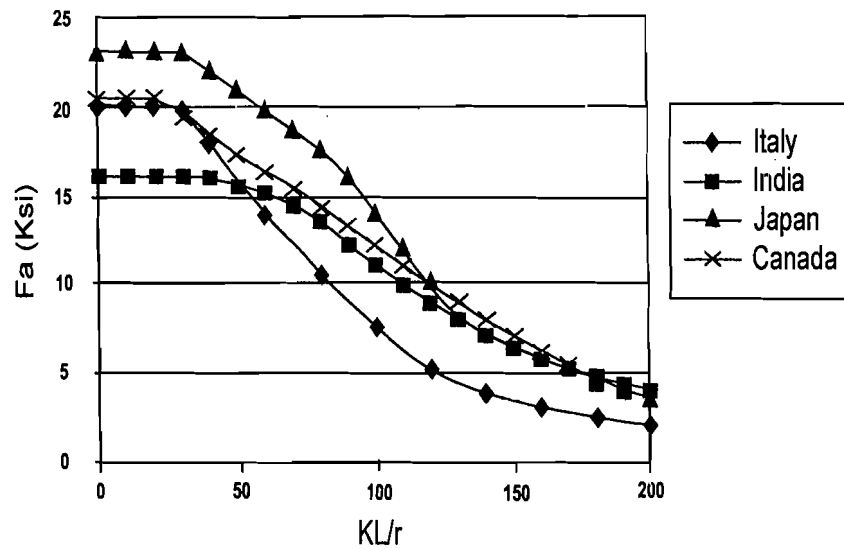
dimana I adalah inersia bahan, $I = A \cdot r^2$ atau $r^2 = I / A$, maka diperoleh tegangan tekan kritis Euler seperti terlihat pada Persamaan (3.19) berikut ini,

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.19)$$

dengan E = modulus elastisitas baja, r adalah jari-jari inersia minimum dan L = panjang tekuk.

Berdasarkan Persamaan (3.19) terlihat bahwa kekuatan batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan (KL/r). Semakin besar kelangsingan elemen tekan tegangan kritisnya akan semakin kecil, sehingga beban yang dapat mengakibatkan elemen tekan mengalami tekuk semakin kecil

Penelitian hubungan antara tegangan yang terjadi pada kolom (Γ_a) dengan kelangsingan (KL/r) yang pernah dilakukan di beberapa negara yaitu: Italia, India, Jepang dan Kanada memiliki bentuk grafik yang hampir sama. Penurunan tegangan kritis relatif kecil pada KL/r kecil (0 s/d ± 40), penurunan tegangan kritis terjadi besar seiring dengan pertambahan KL/r untuk KL/r = ± 40 sampai dengan ± 160 , dan kembali menjadi relatif datar untuk KL/r lebih dari ± 160 . Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Grafik hubungan KL/r dengan F_a di beberapa negara (*Tall, 1974*)

Tampak bahwa pada gambar diatas bahwa semakin kecil KL/r maka F_a akan meningkat.

b). Tekuk Inelastis

Dalam struktur nyata kolom-kolom biasanya mengalami tekuk dalam keadaan sebagian penampangnya elastis dan sebagian lagi tidak elastis, tekuk batang pada keadaan ini dinamakan tekuk tidak elastis (*inelastic buckling*). Banyak teori tekuk inelastis, salah satu diantaranya adalah *Tangen modulus theory* yang dikemukakan oleh *Engesser (Salmon dan Johnson, 1992)*. Berdasarkan teori ini tegangan kritis kolom dinyatakan dengan Persamaan 3.20.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{(KL/r)^2} \quad (3.20)$$

dengan E_t = modulus tangen yang nilainya berubah-ubah dan lebih kecil dari modulus elastis.

Karena $E_t < E$ maka tegangan kritis yang diperoleh berdasarkan Persamaan (3.20) selalu lebih kecil dibanding Persamaan (3.19). Persamaan (3.19) dan (3.20) menginformasikan tegangan kritis batang tekan berbanding terbalik

dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu batang tegangan kritis semakin kecil. Persamaan (3.19) dan (3.20) berlaku untuk batang tekan yang elemen-elemen penampangannya tidak mengalami tekuk lokal.

Menurut *Chen dan Atsuta (1936)*, rasio kelangsingan (l/r) pada setiap tegangan dapat dicari dengan Persamaan 3.21 di bawah ini :

$$l/r = \pi \sqrt{\frac{E_t}{\sigma}} \quad (3.21)$$

Sehingga modulus tangent (E_t) diperoleh dengan Persamaan 3.22.

$$E_t = \frac{(l/r)^2 \sigma}{\pi^2} \quad (3.22)$$

Dimana E_t = modulus tangent, σ = tegangan yang terjadi

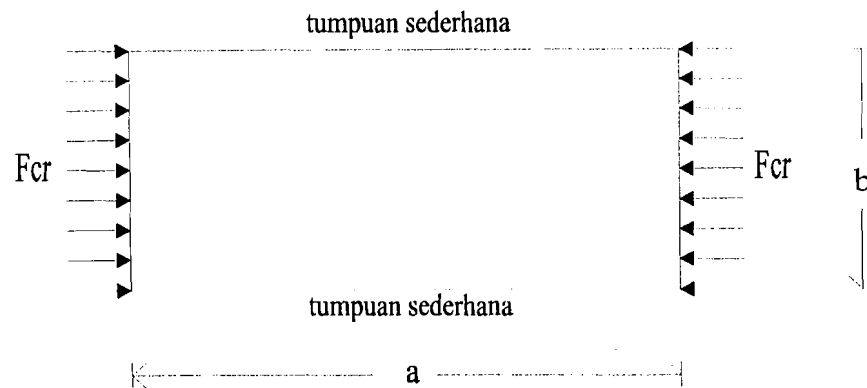
3.5.2.2 Tekuk Lokal Akibat Tekan

Menurut *Tall (1974)*, tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung penambahan beban dengan kata lain efisiensi penampang berkurang. Keruntuhan akibat tekuk lokal ini terjadi pada penampang yang langsing dimana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki oleh pelat jauh di bawah tegangan lelehnya (F_y).

Pendapat yang sama dikemukakan oleh *Salmon dan Johnson (1992)*, tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritis pelat yang tertekan dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan dapat dinyatakan seperti Persamaan 3.23 berikut :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.23)$$

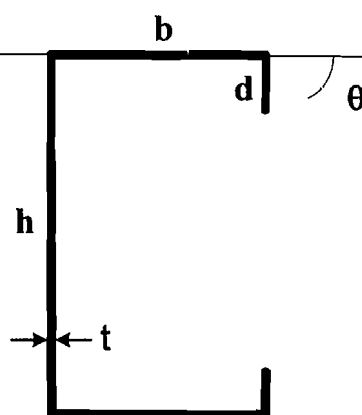
dengan : F_{cr} = tegangan kritis (Mpa), k adalah koefisien tekuk pelat, $\pi = 3,14$, E adalah modulus elastisitas baja (2.10^5 Mpa), μ adalah *rasio poisson* = 0,3, dan b/t adalah rasio lebar terhadap tebal pelat.



Gambar 3.13 Pelat yang tertekan

Dari persamaan (3.23) tampak bahwa nilai F_{cr} dipengaruhi oleh koefisien tekuk pelat (k), rasio lebar terhadap tebal (b/t) dan rasio panjang terhadap lebar pelat atau aspek rasio (a/b). Semakin besar rasio b/t dan rasio a/b maka semakin kecil kekuatan pelat, sehingga menyebabkan tekuk lokal baik pada sayap maupun badan. Kerusakan akibat tekuk dapat dicegah dengan cara memperkecil rasio lebar terhadap tebal (b/t) dan meningkatkan koefisien tekuk pelat (k).

Elemen plat penyusun rangka kuda-kuda yang memakai profil *Lipped Channel* bentukan dingin seperti Gambar 3.14 memiliki rasio b/t yang besar sehingga memungkinkan terjadinya tekuk lokal.



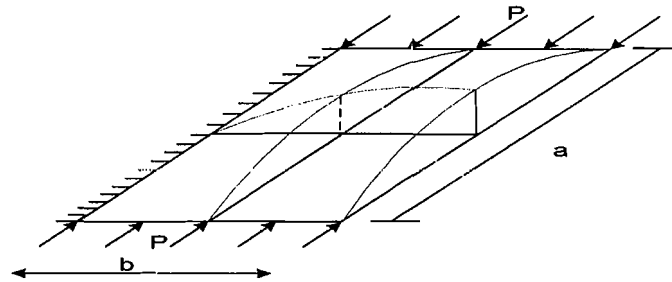
Gambar 3.14 Profil *Lipped Channel*

Dengan h adalah tinggi badan profil, b = lebar sayap, d = panjang lip, θ = sudut lip (*radians*), dan t = tebal.

Menurut *Schafer (1997)*, ada tiga ragam tekuk local elemen dengan anggapan masing-masing elemen diperlakukan secara terpisah, yaitu :

1. Tekuk Lokal Lip

Bibir profil *Lipped Channel* dianggap sebagai pelat yang salah satu sisinya bebas dan sisi lainnya dianggap sebagai dukungan sederhana dan menerima tekanan murni.



Gambar 3.15 Tekuk lokal pada lip

Nilai k untuk kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 3.15 diperoleh $k = 0,425$. Tegangan kritis bibir (*lip*) pada profil *Lipped Channel* adalah

$$F_{cr-lip} = k_{lip} \times \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \times \left(\frac{t}{d}\right)^2 \quad (3.24)$$

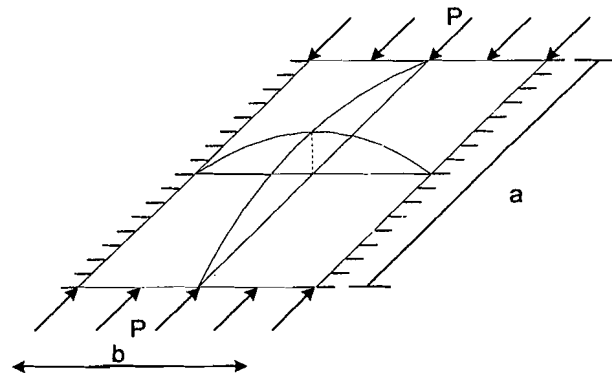
$$P_{cr-lip} = F_{cr-lip} \times A_{lip} \quad (3.25)$$

2. Tekuk Lokal Sayap

Tegangan kritis untuk sayap dengan asumsi kedua sisi pelat ditumpu sederhana seperti kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 3.16 , maka nilai koefisien tekuk pelat (k) = 4, jadi tegangan kritis sayap profil *Lipped Channel* adalah :

$$F_{cr-sayap} = k_{sayap} \times \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \times \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (3.26)$$

$$P_{cr-sayap} = F_{cr-sayap} \times A_{sayap} \quad (3.26)$$



Gambar 3.16 Tekuk lokal pada sayap dan badan

3. Tekuk Lokal Badan

Pelat badan dianggap sebagai pelat yang kedua sisinya ditumpu sederhana dan menerima tekanan murni, maka nilai koefisien tekuk pelat (k) untuk kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 3.16 diperoleh $k = 4$, jadi tegangan kritis pelat badan profil *Lipped Channel* adalah :

$$F_{cr-badan} = k_{badan} \times \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \times \left(\frac{t}{h}\right)^2 \quad (3.25)$$

$$P_{cr-badan} = F_{cr-badan} \times A_{badan} \quad (3.26)$$

3.5.3 Perhitungan Koefisien Tekuk Pelat (k)

Nilai koefisien tekuk pelat komponen rangka batang dapat diketahui hanya pada komponen yang mengalami kerusakan akibat tekuk (akibat tekuk local maupun tekuk menyeluruh). Pola kegagalan tekuk dapat diketahui dari hasil eksperimen.

Pada kondisi tekuk menyeluruh nilai koefisien tekuk (k) dipengaruhi oleh kelangsingan batang profil yang digunakan. Dari persamaan 3.19 nilai koefisien tekuk (K) untuk tekuk menyeluruh dapat ditulis:

$$K = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_{cr} (L/r)^2}} \quad (3.27)$$

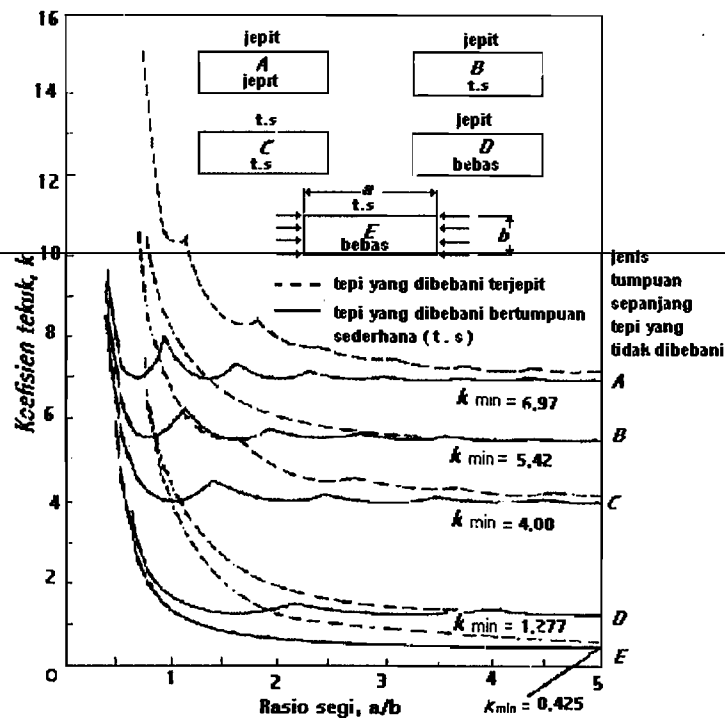
dimana F_{cr} adalah gaya batang dibagi luas profil (P_{cr} / A).

Pada kegagalan akibat tekuk lokal, nilai koefisien tekuk pelat (k) untuk elemen tekan dipengaruhi oleh kondisi tepi elemen pelat dan rasio panjang terhadap lebar pelat (a/b). Dari Persamaan 3.20 nilai koefisien tekuk (k) untuk tekuk lokal dapat ditulis menjadi :

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) (b/t)^2}{\pi^2 \cdot E} \quad (3.28)$$

Nilai koefisien tekuk (k) untuk pelat yang memikul tekanan merata dengan berbagai kondisi tumpuan elemen pelat (jepit, sendi dan bebas) ditunjukkan pada Gambar 3.17.

Untuk pelat yang kedua sisinya merupakan tumpuan jepit (A) nilai $k_{\min} = 6,97$, untuk pelat yang salah satu sisinya tumpuan sederhana dan sisi lainnya tumpuan jepit (B) nilai $k_{\min} = 5,42$. Sedangkan pelat yang kedua sisinya tumpuan sederhana (C) nilai $k_{\min} = 4$, untuk pelat yang salah satu sisinya tumpuan jepit dan sisi lainnya bebas (D) nilai $k_{\min} = 1,277$, serta untuk pelat yang salah satu sisinya tumpuan sederhana dan sisi lainnya bebas (E) nilai $k_{\min} = 0,425$.



Gambar 3. 17 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar (Salmon dan Johnson, 1992)

Nilai k untuk pelat yang salah satunya tidak diperkuat, dalam hal ini dimiliki oleh bibir (*Lip*) mendekati nilai 0,425 dan untuk pelat yang kedua sisinya ditumpu oleh tumpuan sederhana memiliki nilai $k = 4$, nilai $k = 4$ dimiliki oleh sayap dan badan. Dengan demikian tampak bahwa nilai k untuk bibir 1/10 dari nilai k yang dimiliki oleh sayap dan badan maka nilai k akan mendekati konstan.

Menurut *Schafer (1997)*, dengan adanya ragam interaksi tekuk lokal, nilai koefisien tekuk pelat untuk tekuk lokal dapat dicari dengan analisa potongan, terbatas pada sayap dan bibir (tepi).

1. Koefisien Tekuk Pelat Sayap Tepi

Nilai koefisien tekuk (k) untuk tekuk lokal sayap tepi untuk analisa potongan, terbatas pada sayap tepi (bibir).

$$k_{\text{sayap tepi}} = -11,07 \left(\frac{d}{b} \right)^2 + 3,95 \left(\frac{d}{b} \right) + 4 \quad (3.29)$$

2. Koefisien Tekuk Pelat Sayap Badan

Jika $h/b = 1$ maka nilai $k = 4$. Jika $h/b > 1$ maka nilai k kurang dari 4 dalam kaitannya dengan tekuk pada badan. Jika $h/b < 1$ maka nilai k lebih dari 4 dalam kaitannya dengan pengekangan oleh badan pada sayap. Nilai k untuk tekuk lokal sayap/badan yaitu seperti Persamaan 3.30 dan 3.31.

$$k_{\text{sayap badan}} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} \geq 1 \quad (3.30)$$

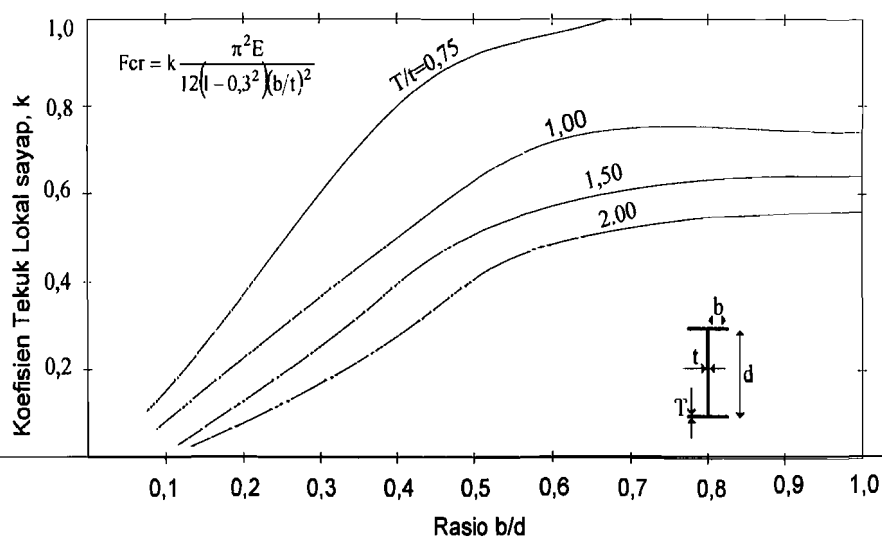
$$\left[\left[2 - \left(\frac{b}{h} \right)^{0.2} \right] \cdot 4 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} < 1 \quad (3.31)$$

Tegangan tekuk lokal sayap untuk batang diambil yang minimum dari $F_{cr \text{ sayap tepi}}$ dan $F_{cr \text{ sayap badan}}$. Ini memberikan perkiraan yang baik dari tegangan tekuk lokal batang aktual.

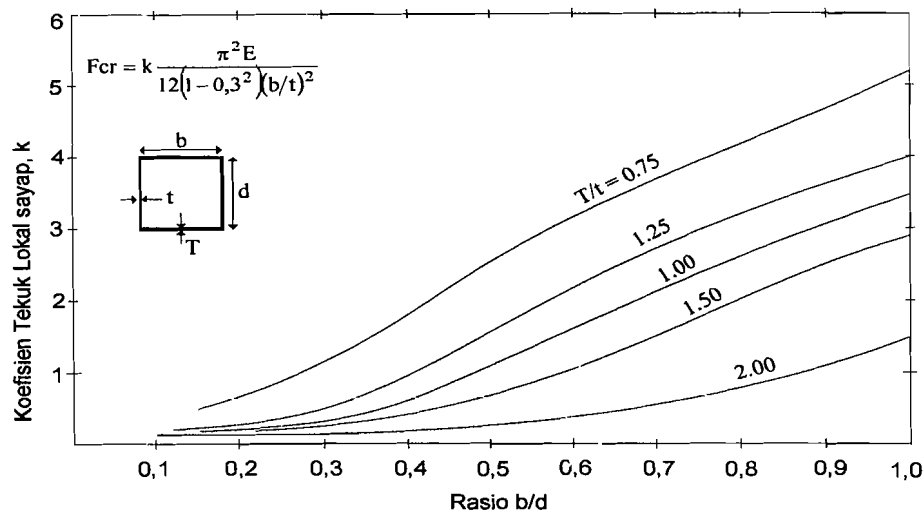
Persamaan diatas memperlihatkan variasi koefisien tekuk k dan nilai F_{cr} untuk kondisi tepi yang berbeda-beda pada profil *Light Lipped Channel*.

Koefisien tekuk pelat k dipengaruhi oleh jenis dukungan pada pelat tersebut. Secara umum, elemen tekuk pelat dibedakan menjadi 2 kategori yaitu, elemen yang diperkuat (elemen yang bertumpu pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan) dan elemen yang tidak diperkuat (elemen yang bertumpu pada satu tepi bebas dan satu tepi lainnya yang sejajar arah tegangan tekan).

Kerusakan akibat tekuk dapat dicegah dengan cara memperkecil rasio lebar terhadap tebal (b/t) sehingga meningkatkan koefisien tekuk (k). Nilai-nilai koefisien tekuk elastis k untuk penampang I dan penampang kotak pada tekanan yang sama ditunjukkan pada Gambar 3.18 dan gambar 3.19. Menurut **Trahair** dan **Bradford (1988)**, tegangan kritis dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.23 dengan mengganti tebal pelat sebagai tebal sayap t .



Gambar 3.18 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi tekan. (**Trahair dan Bradford 1988**)



Gambar 3.19 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak pada kondisi tekan. (Trahair dan Bradford, 1988)

Pada Gambar 3.18 dan Gambar 3.19 dapat dilihat nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis penampang I dan penampang kotak. Nilai koefisien tekuk pada pelat dipengaruhi oleh rasio lebar sayap terhadap tinggi badan (b/d) dan tebal sayap terhadap tebal badan (T/t). Dari kedua gambar diatas dapat dijelaskan bahwa untuk mendapatkan nilai koefisien tekuk yang besar diperlukan lebar sayap yang semakin panjang dan tebal sayap yang semakin besar sehingga akan tercapai nilai koefisien tekuk yang besar. Penggunaan pelat kotak lebih baik dibandingkan penggunaan pelat I sebab nilai koefisien tekuk pada pelat kotak lebih besar dibandingkan dengan pelat I.

3.5.4 Hubungan Antara Tekuk Local Dan Tekuk Keseluruhan

Panjang batang efektif yang dapat memikul tekan dapat dicari dengan persamaan Euler yaitu bila tekuk keseluruhan sama dengan tekuk lokal. Tekuk lokal dan tekuk keseluruhan dapat terjadi secara bersamaan apabila tegangan kritis batang sama dengan tegangan kritis rangka keseluruhan, namun demikian terjadinya tekuk lokal dan tekuk keseluruhan secara bersamaan sangat kecil kemungkinannya.

F_{cr} batang = F_{cr} keseluruhan (dalam satuan Mpa)

$$k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} = \frac{\pi^2 E}{(LK/r)^2} \quad (3.32)$$

$$\left(\frac{LK}{r}\right)^2 = \frac{12(1-\mu^2)(b/t)^2}{k} \quad (3.33)$$

$$L = \sqrt{\frac{r^2 \cdot [12(1-\mu^2)](b/t)^2}{k \cdot K^2}} \quad (3.34)$$

Dari persamaan di atas diperoleh nilai L , apabila $L_{pakai} > L_{rumus}$ maka mengalami tekuk menyeluruh, jika $L_{pakai} < L_{rumus}$ maka mengalami tekuk lokal.

Dengan asumsi tumpuan pada batang adalah sendi-rol maka $K = 1$, sehingga

$$\left(\frac{L}{r}\right) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_{crplat}}} \quad (3.35)$$

dengan memasukkan rumus F_{cr} ke Persamaan (3.35), maka

$$\left(\frac{L}{r}\right) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2}\right)}} \quad (3.36)$$

$$\left(\frac{L}{r}\right) = (b/t) \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k}} \quad (3.37)$$

Dengan μ baja 0,3 sehingga

$$\left(\frac{L}{r}\right) = \frac{3,3045(b/t)}{\sqrt{k}} \quad (3.38)$$

$$k = \left(\frac{3,3045(b/t)(r)}{L}\right)^2 \quad (3.39)$$

Dari persamaan tersebut di atas memperlihatkan bahwa nilai kekakuan suatu batang tekan selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang batang, sehingga pada profil baja yang sama semakin panjang batang tersebut maka nilai kekakuan dari batang tersebut akan semakin kecil.

Pada profil baja yang sama apabila semakin panjang batang tersebut maka KL/r akan semakin besar sehingga F_{cr} keseluruhan akan semakin kecil bahkan bisa

lebih kecil dari $F_{cr \text{ batang}}$ sehingga keruntuhan rangka diakibatkan oleh tekuk keseluruhan. Sebaliknya, pada profil baja yang sama apabila semakin pendek batang tersebut maka KL/r akan semakin kecil sehingga $F_{cr \text{ keseluruhan}}$ akan semakin besar bahkan bisa lebih besar dari $F_{cr \text{ batang}}$, sehingga keruntuhan rangka diakibatkan oleh tekuk lokal.

3.6 TEGANGAN KRITIS METODE AISC

American Institute Of Steel Construction (AISC) mengemukakan hitungan tegangan kritis yang mempertimbangkan tekuk lokal. Pengaruh tekuk lokal yang terjadi sebelum kekuatan kolom keseluruhan tercapai diperhitungkan dengan mengalikan tegangan maksimum yang dapat dicapai dengan faktor bentuk Q seperti Persamaan 3.40. Faktor bentuk dipengaruhi oleh bentuk penampang.

$$Q = Q_a \cdot Q_s \quad (3.40)$$

Faktor bentuk untuk elemen penampang yang tidak diperkuat adalah Q_s . Gambar 3.20 menunjukkan kekuatan pelat untuk elemen tekan yang tidak diperkuat dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas (*AISC-1978*). Faktor bentuk Q_s untuk sayap diperhitungkan apabila :

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{250}{\sqrt{F_y}}\right) \text{ MPa} \quad (3.41)$$

Besar Q_s menurut AISC adalah :

$$Q_s = 1,415 - 0,002694 \cdot \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{F_y} \text{ MPa} \quad (3.42)$$

Apabila semua elemen penampang diperkuat maka nilai $Q_s = 1,0$

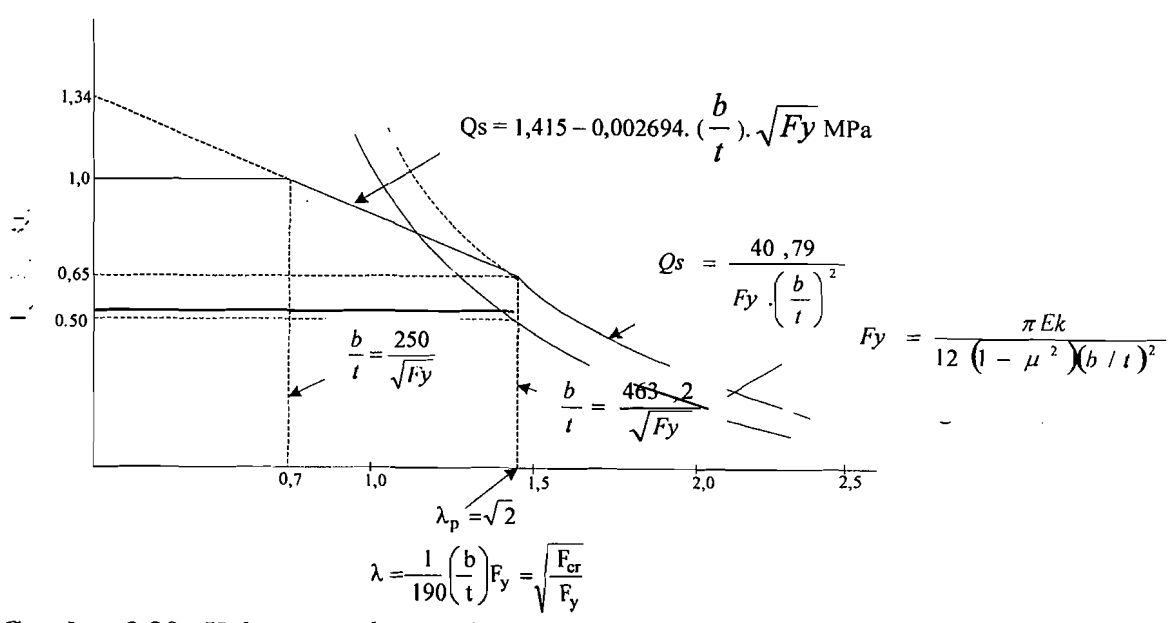
Faktor bentuk untuk elemen penampang yang diperkuat adalah Q_a . Besar Q_a menurut AISC adalah :

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_{bruto}} \quad (3.43)$$

Luas efektif diambil dari lebar efektif, besar lebar efektif menurut penelitian AISC yang dilakukan pada baja ringan adalah,

$$\frac{b_E}{t} = \frac{21}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{4,18}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \text{MPa} \tag{3.44}$$

Dengan f adalah tegangan yang bekerja pada elemen.



Gambar 3.20 Kekuatan pelat untuk elemen tekan yang tidak diperkuat dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas (AISC, 1978)

Besar tegangan kritis menurut AISC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan tegangan kritis kolom seperti pada persamaan dibawah ini.

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{QF_y}{4\pi E} \left(\frac{KL}{r} \right)^2 \right] \tag{3.45}$$

Apabila

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}} \tag{3.46}$$

Maka,

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2Cc^2} \right] \quad (3.47)$$

Apabila KL/r lebih dari Cc maka tegangan kritis yang terjadi :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.48)$$

3.7 PENGARUH SUDUT MIRING ATAP TERHADAP KESTABILAN RANGKA

Sebuah struktur rangka batang secara umum dapat dipandang terdiri atas bermacam-macam bagian, yaitu rangka utama (kuda-kuda) dan komponen pengekang (*bracing*). Persyaratan setiap komponen rangka harus cukup kuat dan kaku. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan dan kekakuan sebuah struktur rangka batang adalah sudut miring atap.

Sudut miring atap akan berpengaruh terhadap tinggi rangka dan panjang batang tepi pada rangka dengan batang tepi sejajar, terutama batang tepi yang memikul tekan yaitu batang tepi atas. Pada rangka yang menerima beban sebesar P pada puncaknya maka pada batang tepi atasnya akan menerima gaya tekan (-) dan hal ini berpengaruh terhadap panjang efektif (L_1) komponen tekan tersebut. Panjang batang tepi atas dapat berpengaruh terhadap masalah *instabilitas* atau tekuk yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan dini (*premateur collapse*) pada komponen tekan tersebut.

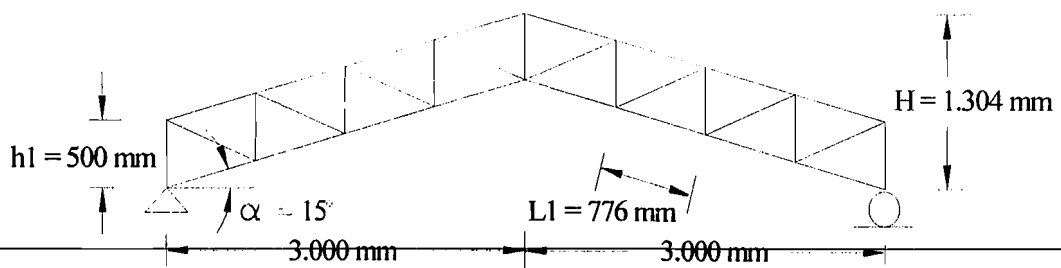
Gaya transversal P juga menimbulkan deformasi aksial pada setiap komponen rangka, dimana batang tekan mengalami perpendekan dan batang tarik mengalami perpanjangan. Deformasi aksial setiap komponen rangka menimbulkan lendutan arah transversal. Struktur cukup kaku bila lendutan pada struktur tersebut lebih kecil dari lendutan yang dipersyaratkan. Rangka dengan

sudut miring semakin besar akan mengakibatkan rangka bertambah tinggi dan batang tepi sejajar bertambah panjang.

Mengacu pada persamaan tegangan yang terjadi pada komponen tekan pada batang tepi atas rangka (Persamaan 3.19), bahwa kapasitas tekan dalam memikul gaya tekan selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang efektif batang. Rangka yang memiliki bentang efektif (L_1) pendek, bila diberi beban aksial cenderung akan mengakibatkan lendutan menjadi kecil sehingga kekuatan dan kekakuan struktur cenderung meningkat. Jika sudut miring atap besar, maka rangka semakin tinggi sehingga gaya aksial (P) yang dapat didukung struktur rangka relatif besar.

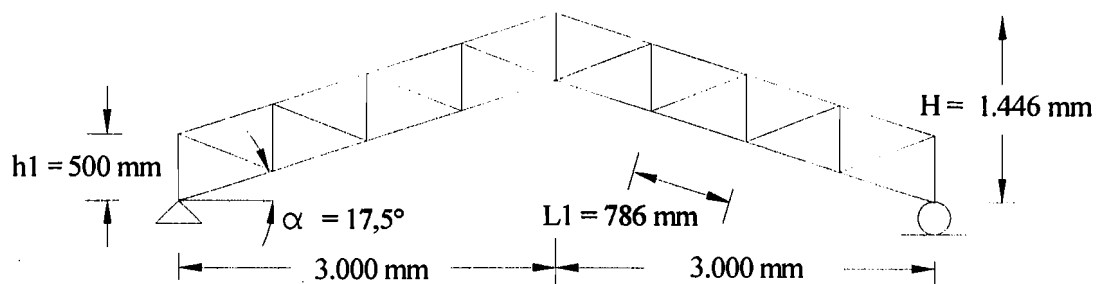
Pada penelitian ini dipakai variasi tinggi terhadap bentang pada rangka batang tepi sejajar (tinggi rangka bervariasi dengan panjang bentang konstan, sudut miring atap yang digunakan : 15° , $17,5^\circ$, 20° dan $22,5^\circ$ seperti terlihat pada Gambar 3.21, 3.22, 3.23, dan 3.24.

3.7.1 Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Sudut Miring Atap 15°



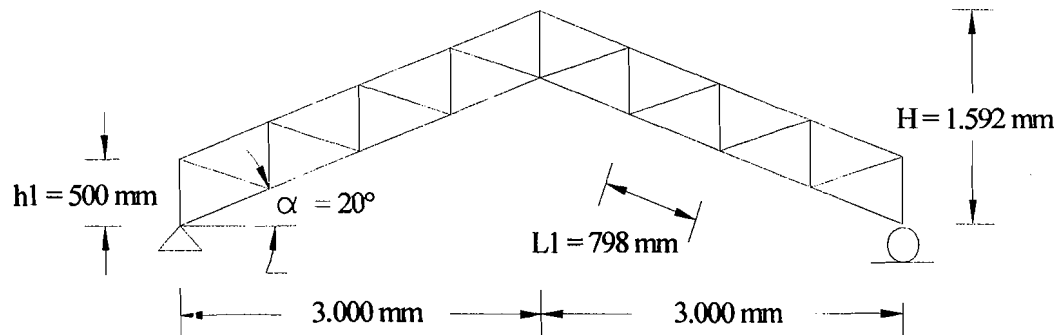
Gambar 3.21 Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15°

3.7.2 Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Sudut Miring Atap $17,5^\circ$



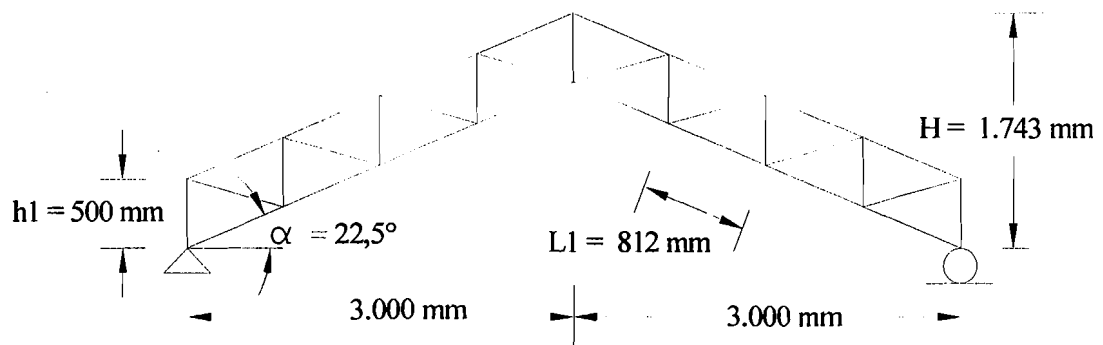
Gambar 3.22 Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap $17,5^\circ$

3.7.3 Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Sudut Miring Atap 20°



Gambar 3.23 Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 20°

3.7.4 Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Sudut Miring Atap 22,5°

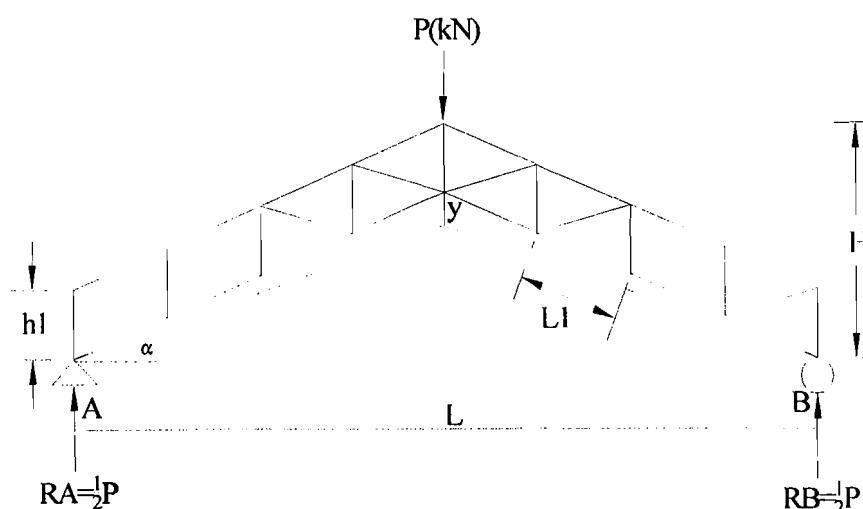


Gambar 3.24 Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 22,5°

3.8 HUBUNGAN BEBAN - LENDUTAN

Beban dapat menyebabkan timbulnya lentur, maka pada suatu rangka yang diberi beban pasti mengalami lendutan seperti terlihat pada Gambar 3.25. Rangka dengan batang tepi sejajar memiliki nilai modulus elastisitas dan inersia (EI) konstan sehingga untuk analisis lendutan, rangka diasumsikan sebagai balok yang mempunyai tumpuan sederhana. *Lynn S. Beedle (1958)* mengemukakan bahwa balok dengan dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Semakin besar beban yang diberikan semakin besar pula

momennya. Jika beban semakin besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksi yang terjadi juga semakin besar.



Gambar 3. 25 Rangka yang mengalami lendutan (y) akibat beban aksial (P)

Lendutan yang terjadi pada balok dapat dihitung dengan banyak cara, salah satu diantaranya adalah metode integrasi ganda terhadap persamaan kelengkungan, sebagaimana yang dikemukakan *Singer dan Pytel (1985)*. Besarnya lendutan pada struktur rangka dapat didekati dengan persamaan diferensial kurva elastis balok yang ditunjukkan pada Persamaan (3.49).

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.49)$$

karena nilai EI konstan, maka Persamaan (3.49) dapat diintegrasikan menjadi Persamaan (3.50) yang merupakan persamaan kemiringan kurva lendutan balok.

$$\frac{dy}{dx} = \int \frac{M}{EI} dx + C_1 \quad (3.50)$$

besarnya lendutan pada rangka dapat dihitung dengan mengintegrasikan persamaan kemiringan kurva lendutan seperti ditunjukkan pada Persamaan (3.51) menjadi Persamaan (3.52).

$$y = \int \int \frac{M}{EI} dx dx + \int C_1 dx + C_2 \quad (3.51)$$

$$y = \Delta = \int \int \frac{M}{EI} dx dx + \int C_1 dx + C_2 \quad (3.52)$$

Mengacu pada persamaan diferensial kurva elastis balok, lendutan (Δ) yang terjadi akibat beban terpusat di puncak struktur dapat didekati dengan Persamaan (3.53)

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1/2 Px - P(x - 1/2L)}{EI} \quad (3.53)$$

Integral Persamaan (3.53) adalah

$$y = \frac{\frac{1}{4} Px^2 - \frac{P}{2} \left(x - \frac{1}{2}L\right)^2 + C_1}{EI} \quad (3.54)$$

Integral Persamaan (3.54) adalah

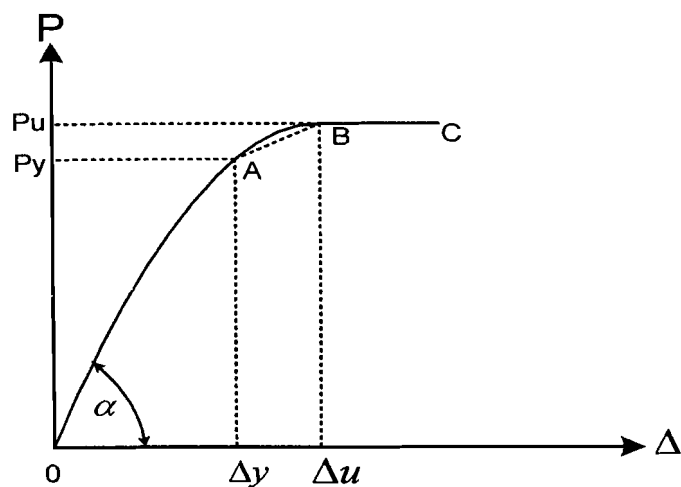
$$y = \frac{\frac{1}{12} Px^3 - \frac{P}{6} \left(x - \frac{1}{2}L\right)^3 + C_1 x + C_2}{EI} \quad (3.55)$$

Dari persamaan 3.55, maka lendutan (Δ) yang terjadi pada tengah bentang rangka ($x = \frac{1}{2}L$) dapat dihitung dengan Persamaan (3.56)

$$\Delta = \frac{P.L^3}{48 EI} \quad (3.56)$$

dengan : Δ = lendutan, P = beban, E = modulus elastis, L = panjang bentang kuda-kuda, I = momen inersia rangka.

Menurut *Timoshenko (1987)*, kekakuan (k) didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu satuan defleksi. Dimana kekakuan struktur adalah rasio beban terhadap lendutan yang terjadi. Pada Gambar 3.25 terlihat bahwa beban P yang bekerja pada struktur dapat menyebabkan terjadinya defleksi Δ . Besarnya lendutan sesuai dengan beban yang bekerja pada struktur. Kemiringan dari lengkung yang dihasilkan disebut sebagai kekakuan.



Gambar 3.26 Grafik hubungan beban (P) - lendutan(Δ)

Pada Gambar 3.26 terlihat bahwa kekakuan struktur nampak linier sampai pada beban P_u . Selanjutnya struktur hanya mampu menerima beban konstan. Sedangkan lendutan yang terjadi terus bertambah sampai struktur tersebut hancur. Dari hubungan beban (P) - lendutan (Δ) akan membentuk sudut sebesar α , dimana nilai kekakuan bisa diketahui menggunakan Persamaan (3.57).

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{P_y}{\Delta_y} \quad (3.57)$$

Dari hubungan persamaan kekakuan batang ($k = P_y/\Delta_y$) dapat diketahui bahwa semakin besar lendutan yang terjadi maka nilai kekakuan batang menjadi berkurang dengan demikian kekuatan batang dalam menerima beban juga semakin kecil. Persamaan (3.57) merupakan nilai kekakuan struktur berdasarkan uji lentur.

Menggunakan substitusi Persamaan (3.56) ke dalam Persamaan (3.57), nilai kekakuan struktur rangka batang tepi sejajar seperti pada Gambar 3.25 dapat didekati menggunakan Persamaan (3.58) di bawah ini:

$$k = \frac{c \cdot E I}{L^3} \quad (3.58)$$

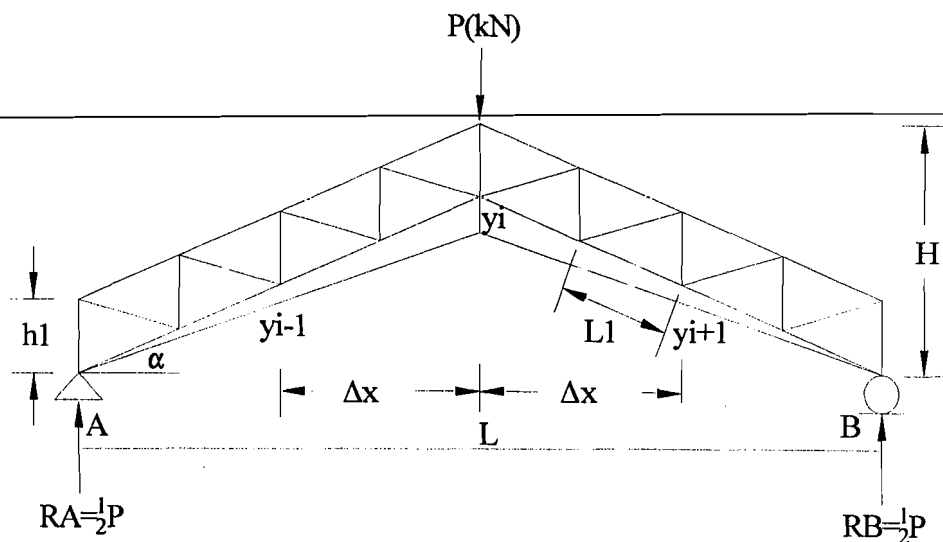
dengan: c = konstanta; I = Inersia bahan; E = modulus elastisitas; L = panjang bentang struktur rangka.



Menurut penelitian yang dilakukan oleh *American Society for testing and material* (ASTM) yang ditulis oleh *Timoshenko (1987)*, bahwa kekakuan rangka hingga beban patah dinyatakan oleh garis O – A pada diagram beban-lendutan dari Gambar 3.26 atau disebut juga dengan daerah elastis. Dengan penambahan beban pada rangka maka rangka akan menjadi plastis sebagian dimana ditunjukkan pada garis A – B, hingga pada akhirnya rangka menjadi plastis sempurna dimana ditunjukkan pada garis B-C, setelah itu rangka atau struktur tidak mampu lagi memikul tambahan beban.

3.9 HUBUNGAN MOMEN KELENGKUNGAN

Apabila suatu material diberi beban maka material itu secara langsung akan terdefleksi. Semakin besar beban yang diberikan pada suatu material semakin besar pula defleksi yang terjadi pada material tersebut seperti pada Gambar 3.27. Pemberian beban arah transversal terpusat (P) pada struktur rangka batang akan mengakibatkan terjadinya momen dan defleksi. Perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan.



Gambar 3. 27 Rangka yang diberi beban aksial (P)

Kelengkungan adalah kurva defleksi dari struktur yang diakibatkan oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut, seperti pada Gambar 3.27 struktur rangka mengalami lendutan sebesar Δ . Menurut *Singer dan Pytel (1985)*, kelengkungan yang terjadi pada struktur dapat didekati menggunakan Persamaan (3.59) berikut :

$$\kappa = \frac{d^2 y / dx^2}{(1 + (dy/dx)^2)^{3/2}} = \phi = \frac{M}{EI} \quad (3.59)$$

karena lendutan dianggap kecil, sehingga kurva elastis mendekati datar, harga dan kemiringan kurva (dy/dx) pada setiap titik sangat kecil sehingga Persamaan (3.59) dapat ditulis kembali menjadi Persamaan (3.60).

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.60)$$

Timoshenko (1987), mengemukakan bahwa faktor kekakuan (EI) didefinisikan sebagai rasio momen dan kelengkungan. Sehingga persamaan momen (M) menjadi :

$$M = EI \cdot \phi \quad (3.61)$$

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.62)$$

Persamaan untuk kekakuan lentur (EI) ditunjukkan,

$$EI = \frac{M}{(d^2 y / dx^2)} \quad (3.63)$$

Untuk menghitung nilai kekakuan lentur (EI) digunakan lendutan yang didapat dari hasil pengujian kuat lentur pada titik-titik pembebanan yang berurutan pada jarak (Δx) yang sama. dengan melalui pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Difference*, pada Gambar 3.27 dy/dx didekati dengan persamaan berikut :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.64)$$

turunan kedua Persamaan 3.64 adalah

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d/dx)(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1})(d/dx)(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.65)$$

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

$$\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0 \quad (3.66)$$

Sehingga Persamaan 3.67

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d/dx)(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.67)$$

Selanjutnya dari Persamaan 3.67 didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.68)$$

Kemudian Persamaan 3.68 disederhanakan menjadi

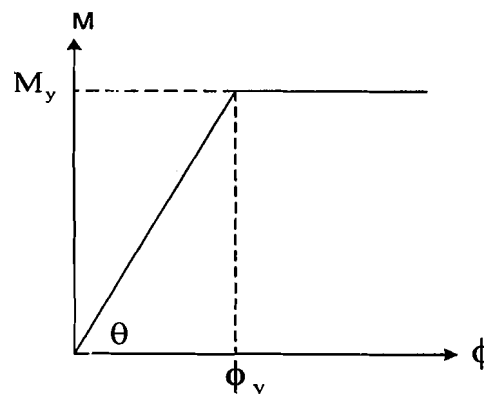
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \quad (3.69)$$

bila $\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi$, maka Persamaan (3.69) dapat ditulis kembali menjadi Persamaan (3.70) berikut ini:

$$\phi = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{(\Delta x)^2} \quad (3.70)$$

Persamaan (3.70) merupakan persamaan kelengkungan, dimana kelengkungan $(d^2 y / dx^2)$ pada suatu titik dapat diukur dengan lendutan yang terjadi pada 3 titik yang berurutan $(y_{i-1}; y_i; y_{i+1})$ yang masing-masing berjarak sama (Δx) .

Hubungan momen (M) dan kelengkungan (curvature)(ϕ) ditunjukkan pada Gambar 3. 28.



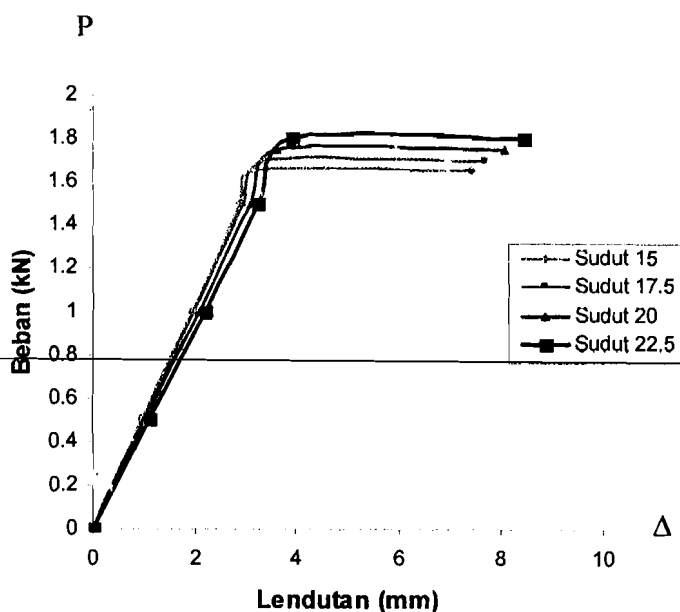
Gambar 3. 28 Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ)

Dari grafik hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan secara keseluruhan dapat dijelaskan bahwa rangka kuda-kuda akan mengalami degradasi kekuatan yang dipengaruhi oleh nilai kekakuan (k) atau faktor kekakuan (EI).

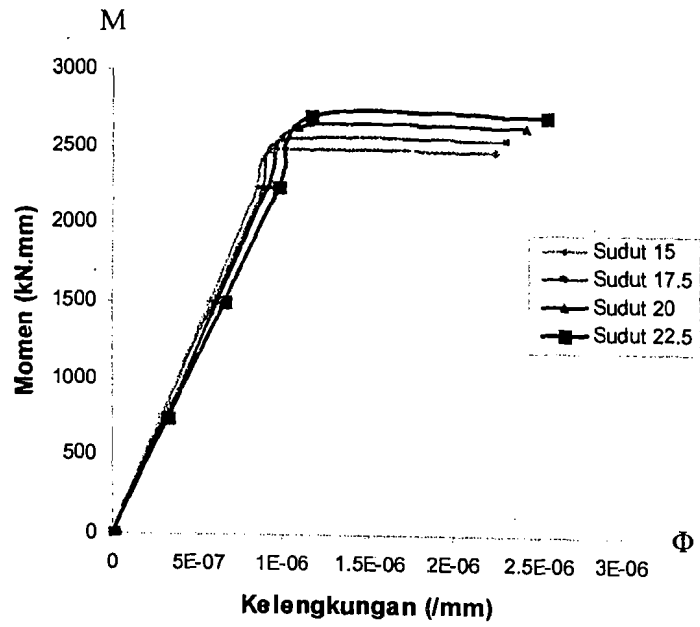
3.10 HIPOTESIS

Berdasarkan landasan teori diatas dapat diambil hipotesis sebagai berikut : *Kapasitas pikul* beban suatu batang tekan selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang batang, sebanding dengan modulus elastisitas dan momen inersia penampang. Apabila suatu struktur rangka atap dengan bentang dan jumlah batang pengisi vertikal tetap diberi beban terpusat (P), maka kemungkinan akan terjadi lendutan (Δ) yang besarnya dipengaruhi oleh sudut miring atap, sehingga dapat mempengaruhi kekakuan struktur rangka atap tersebut.

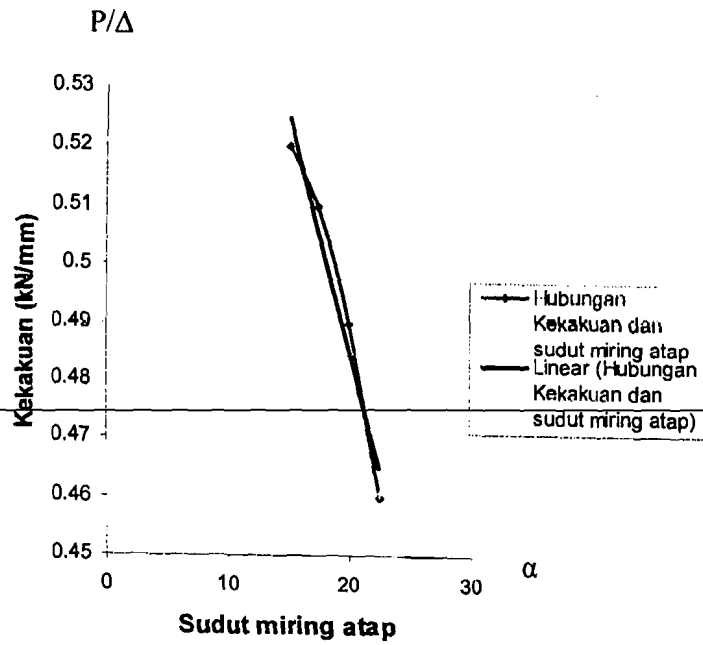
$$\operatorname{tg} \theta = k = \frac{P}{\Delta}$$



Gambar 3.29 Hubungan beban (P) dan lendutan (Δ)



Gambar 3.30 Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ)



Gambar 3.31 Hubungan kekakuan dan sudut miring atap

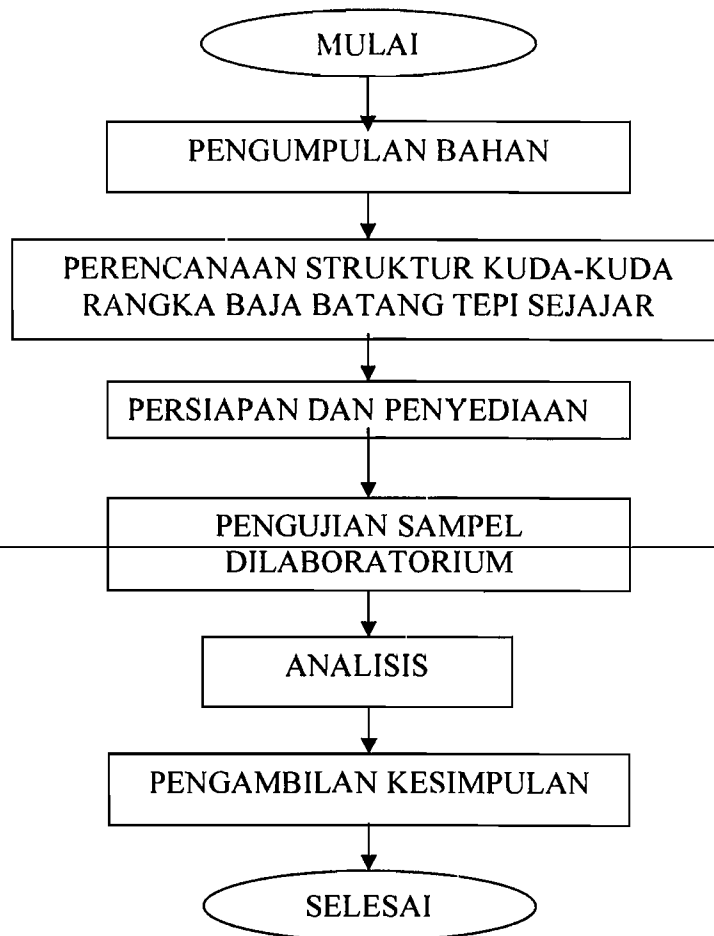
Dari Gambar 3.29, Gambar 3.30 dan Gambar 3.31 terlihat bahwa

1. Semakin besar beban yang dipikul oleh rangka, semakin besar lendutan yang terjadi.
2. Semakin besar sudut miring atap, beban yang dapat didukung oleh batang tekan semakin besar.
3. Semakin kecil sudut miring atap (bentang efektif rangka pendek), rangka semakin kaku.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian adalah suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang akan dilakukan. Jalannya penelitian dapat dilihat dari bagan alir pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagan alir metode penelitian

4.2 PERSIAPAN BAHAN DAN PERALATAN

Sebelum pelaksanaan penelitian dimulai maka diperlukan persiapan bahan dan peralatan sebagai sarana dan prasarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian. Persiapan-persiapan yang dilakukan antara lain :

4.2.1 Persiapan Bahan

Persiapan bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain :

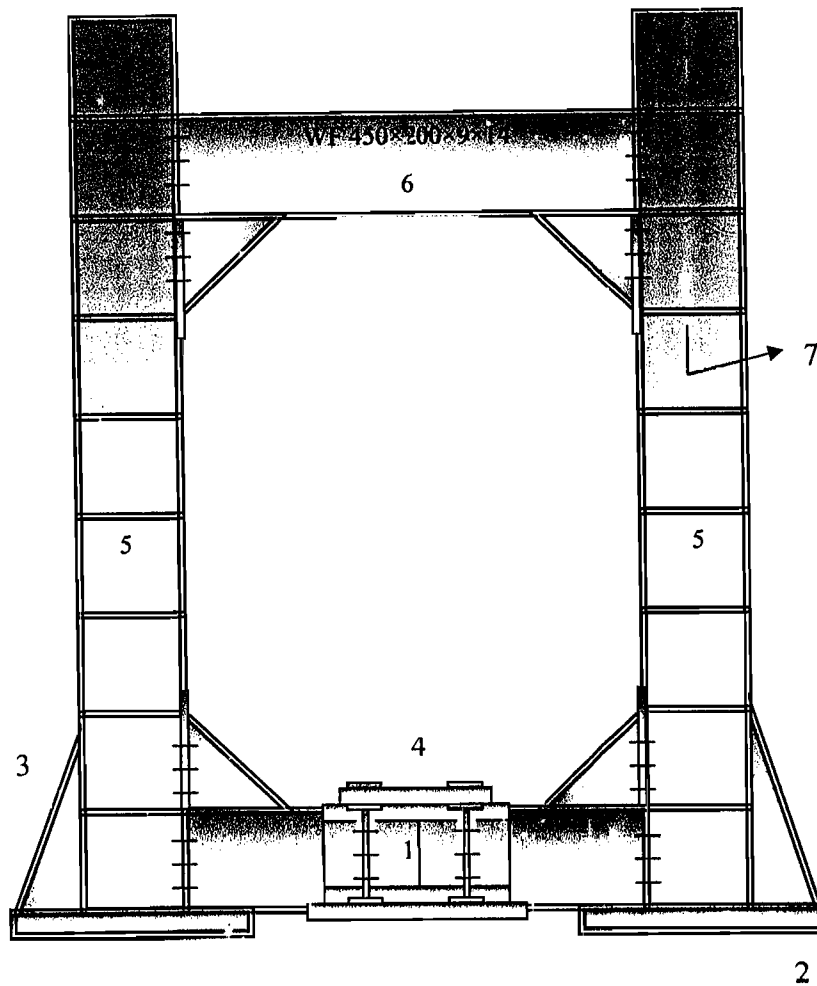
- a. Profil baja *Lipped Channel* 60x22x8 dengan ketebalan 1,2 mm.
- b. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung baut.

4.2.2 Persiapan Peralatan

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

- a. *Loading Frame*

Adalah alat yang terbuat dari baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm, dengan bentuk dasar berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar alat tersebut stabil, pelat dasar dibaut kelantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan di uji dengan cara melepas sambungan baut. Sketsa fisik *Loading Frame* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



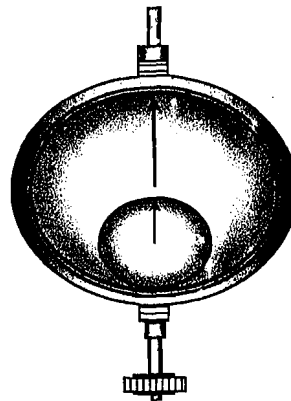
Keterangan :

1. Balok Lintang
2. Pelat Dasar
3. Angkur
4. Dukungan
5. Kolom
6. Balok Portal (Bisa Digeser)
7. Pengaku

Gambar 4.2 *Loading Frame*

b. *Dial Gauge*

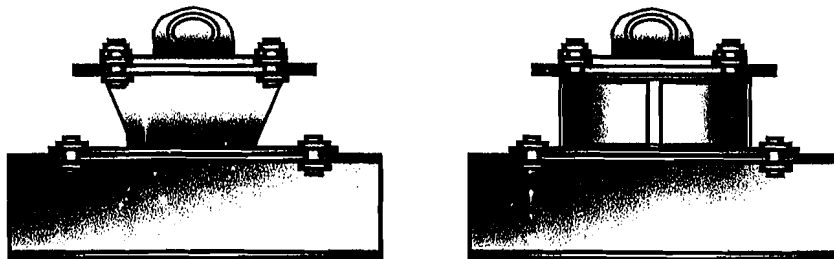
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm. Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak empat buah. Sketsa fisik *Dial Gauge* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Dial Gauge*

c. Dukungan Sendi dan Rol

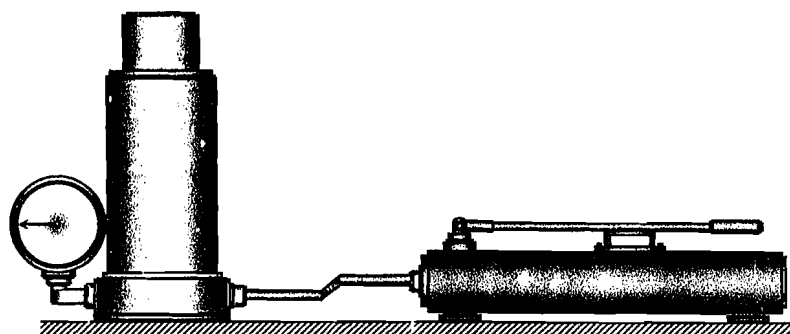
Dukungan sendi dipasang pada salah satu dukungan rangka dengan batang tepi sejajar dan dukungan rol dipasang pada dukungan lainnya, seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Dukungan sendi dan rol

d. *Hydraulic Jack*

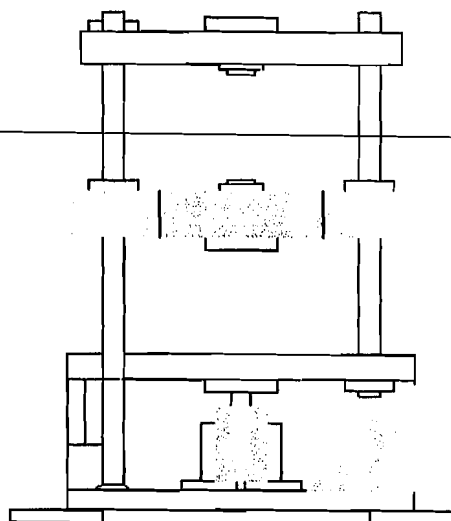
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur rangka kuda-kuda dengan batang tepi sejajar skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Hydraulic Jack*

e. Mesin Uji Kuat Tarik.

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu *Universal Testing Machine* (UTM) merk Shimitsu type UMH-330 dengan kapasitas 30 ton, seperti Gambar 4.6.

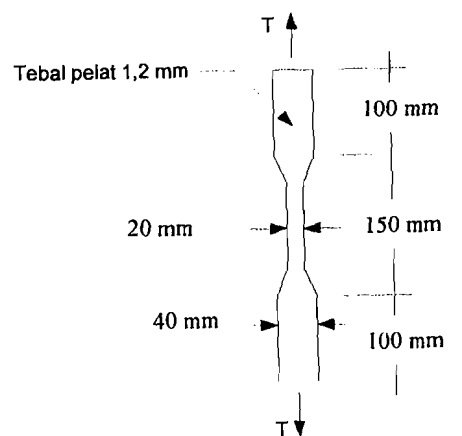


Gambar 4.6 *Universal Testing Machine Shimitsu UMH 30*

4.3 PEMBUATAN BENDA UJI

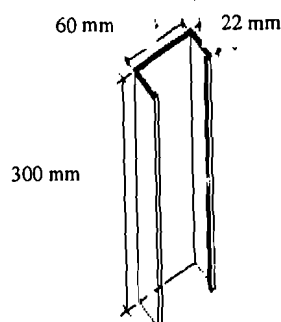
Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian dilakukan pengujian di laboratorium, benda uji tersebut berupa:

- a. Tiga benda uji tarik baja yang diambil dari profil dan dibentuk sesuai dengan benda uji seperti pada Gambar 4.7.



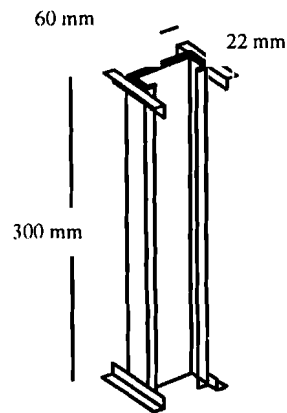
Gambar 4.7 Benda uji tarik baja

- b. Tiga benda uji desak untuk uji tekuk lokal yang diambil dari potongan bahan pembentuk rangka dengan profil *Lipped Channel* 60×22×8 tebal 1,2 mm, menggunakan alat sambung las dengan ukuran seperti pada Gambar 4.8.



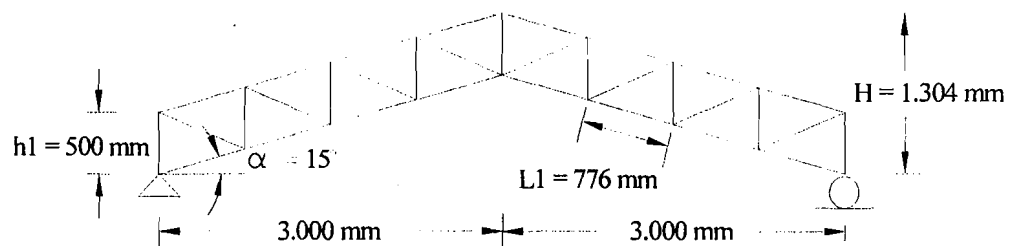
Gambar 4.8 Benda uji desak untuk tekuk lokal dengan alat sambung las

- c. Tiga benda uji desak untuk uji tekuk lokal yang diambil dari potongan bahan pembentuk rangka dengan profil *Lipped Channel* 60×22×8 tebal 1,2 mm, menggunakan alat sambung baut dengan ukuran seperti pada Gambar 4.9

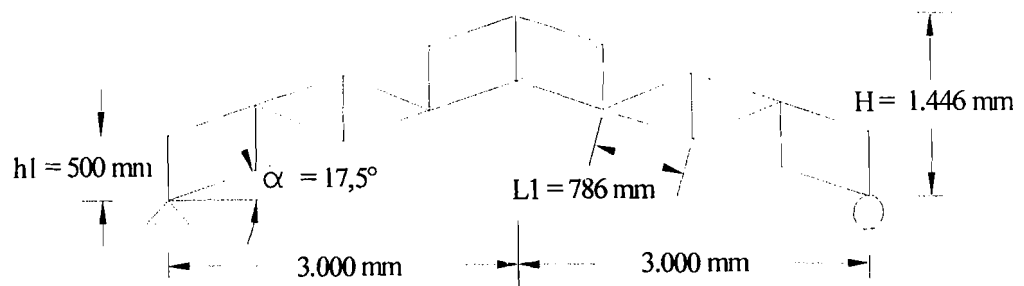


Gambar 4.9 Benda uji desak untuk tekuk lokal dengan alat sambung baut

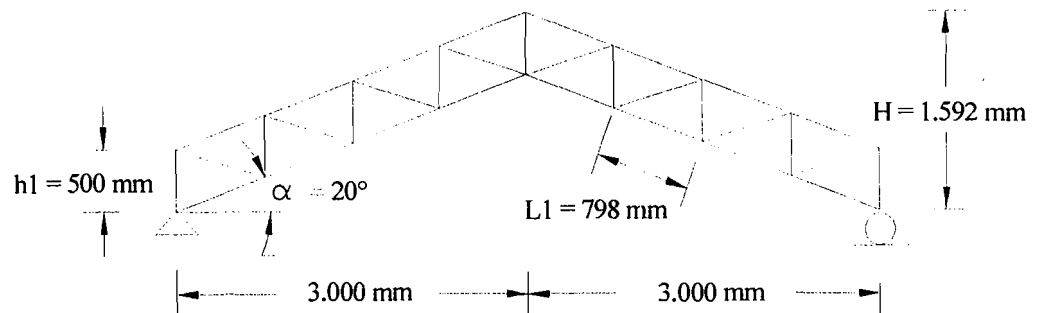
- d. Benda uji kuat lentur rangka dengan batang tepi sejajar menggunakan baja profil *Lipped Channel* bentukan dingin dengan variasi tinggi terhadap bentang (tinggi rangka bervariasi dengan panjang bentang konstan, sudut miring atap 15°, 17,5°, 20°, dan 22,5°) dengan ukuran seperti gambar 4.10.



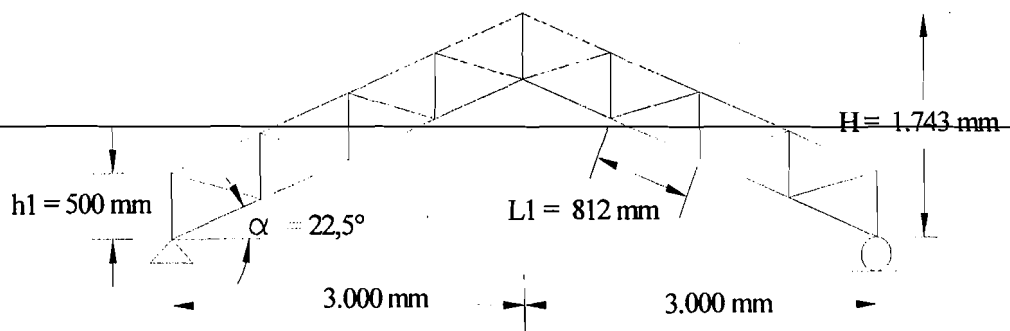
Gambar 4.10.a Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15°



Gambar 4.10.b Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap $17,5^\circ$



Gambar 4.10.c Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 20°



Gambar 4.10.d Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap $22,5^\circ$

Gambar 4.10 Benda uji lentur rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap

4.4 PENGUJIAN SAMPEL

4.4.1 Pengujian Tarik Baja

Pengujian tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian ini adalah beban leleh, beban maksimum, dan beban patah. Dalam pengujian ini benda uji yang digunakan sebanyak 3 buah. Dengan tahap pengujian sebagai berikut :

- a. Menentukan ukuran benda uji.
- b. Benda uji dipasang pada alat ukur tarik baja untuk dilaksanakan pengujian tarik baja.
- c. Dari *Ekstensometer* dicatat *Multiplication Ratio* kemudian diatur agar jarumnya menunjukkan pada angka nol. Kemudian dipasangkan pada mesin tarik.
- d. Mesin dinyalakan, pada saat beban mulai bekerja, *Stop Watch* dihidupkan, kecepatan mesin $\pm 419,6$ kg/menit atau 0,001 inchi/menit, dicatat beban leleh , kemudian mesin dihidupkan dan *Strainometer* dilepas.
- e. Mesin dijalankan secara kontinue, jika panjangnya bertambah 0,2 cm (dengan jangka) besarnya beban dicatat hingga baja tersebut putus.
- f. Setelah baja putus, benda uji dilepas dari *Grip*.

4.4.2 Pengujian Tekan Baja

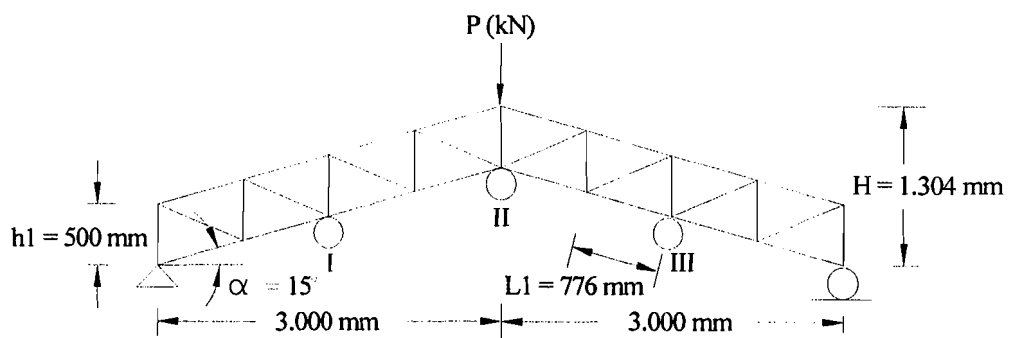
Pengujian tekan baja ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil adalah beban maksimum. Dengan tahap pengujian sebagai berikut :

1. Menentukan ukuran benda uji.
2. Benda uji dipasang pada alat ukur tarik baja untuk dilaksanakan pengujian tarik baja.

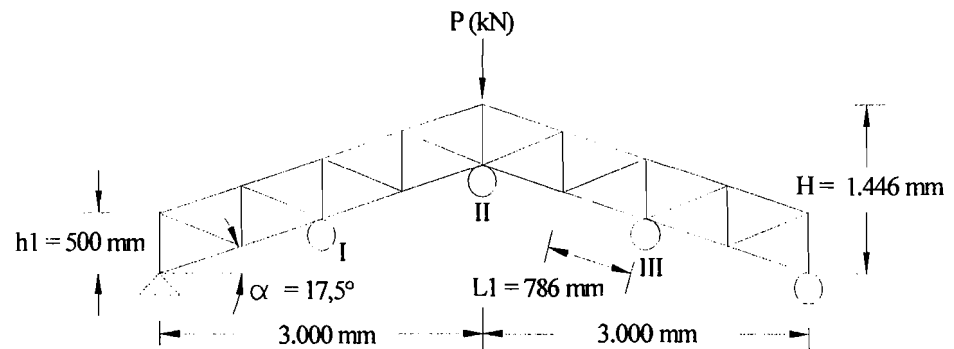
4.4.3 Pengujian Lentur

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah:

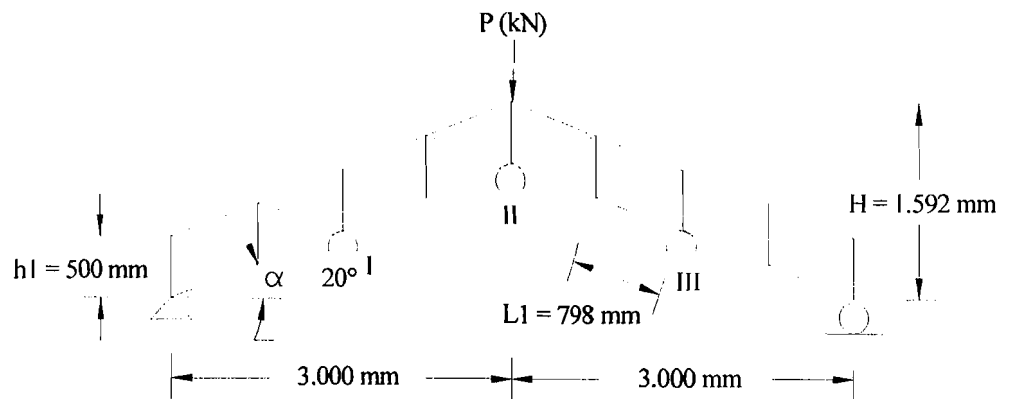
1. Memasang dukungan pada setiap ujung rangka, dalam hal ini dilakukan pemasangan sendi-rol.
2. Benda uji siap dilakukan pengujian.
3. Pada benda uji rangka batang tepi sejajar dipasang 3 (tiga) *Dial Gauge* pada arah transversal dan pada tengah bentang dipasang 1 (satu) *Dial Gauge* pada arah lateral. Perletakan *Dial Gauge* dan beban dapat dilihat pada gambar 4.11.
4. *Hydraulic Jack* dipasang dipuncak diatas bagian tengah (*top cord*), kemudian di bawahnya dipasang alat *Load Cell*, setelah itu *Hydraulic* dipompa untuk melakukan pembebanan secara perlahan-lahan.
5. Pengujian struktur rangka dilakukan dengan pemberian beban aksial pada puncak rangka yang dinaikan bertahap dari nol sampai terjadi kerusakan dengan pertambahan beban 0,5 kN. Beban ditingkatkan berdasarkan kondisi sampel menggunakan alat *Load Cell* dengan tujuan mengetahui besar lendutan yang terjadi pada rangka batang tepi sejajar.



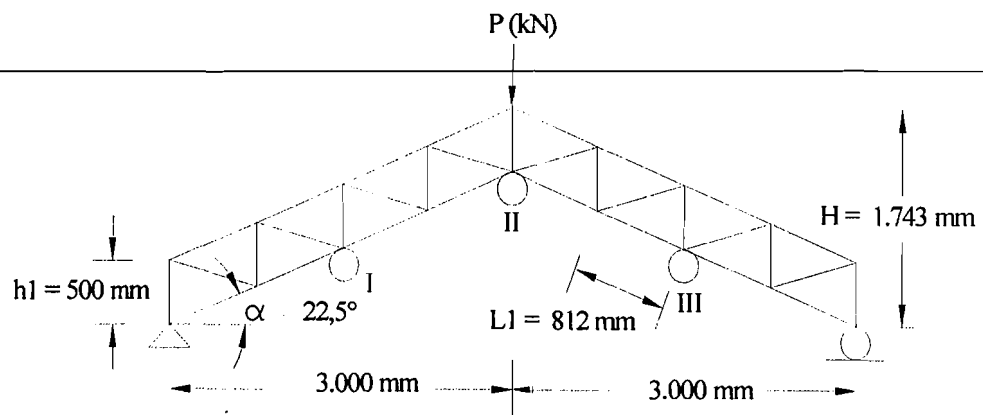
Gambar 4.11.a Perletakan *Dial Gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 15°



Gambar 4.11.b Perletakan *Dial Gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap $17,5^\circ$



Gambar 4.11.c Perletakan *Dial Gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 20°



Gambar 4.11.a Perletakan *Dial Gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap $22,5^\circ$

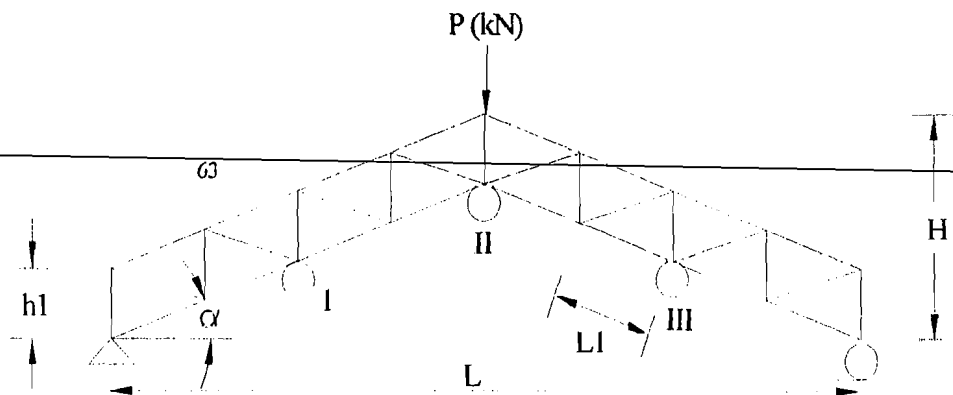
Gambar 4. 11 Perletakan *Dial Gauge* dan Beban

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Uji pendahuluan yang meliputi uji tarik dan uji desak dilakukan guna mengetahui tegangan leleh material dan tegangan desak kritis penampang profil yang digunakan sebagai elemen struktur rangka. Kekuatan (*strength*) dan kekakuan struktur rangka batang diketahui berdasarkan uji lentur. Semua pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

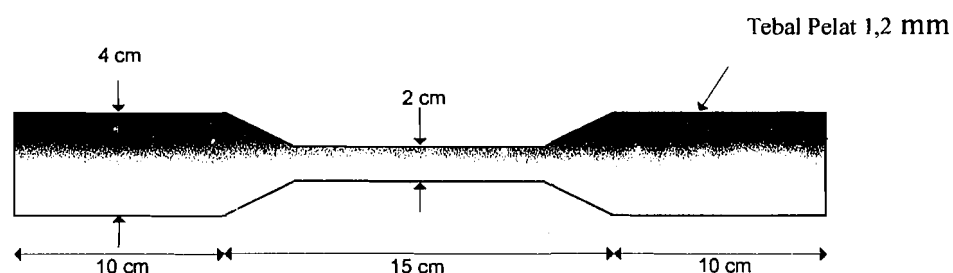
Uji lentur dilakukan dengan memberikan beban terpusat pada puncak rangka secara bertahap dengan kenaikan beban sebesar 0,5 kN. Setiap kenaikan beban dilakukan pencatatan lendutan pada tiga titik yang telah ditentukan seperti pada Gambar 5.1 guna mengetahui kekakuan dari struktur rangka batang. Hasil penelitian yang disertai pembahasannya akan disajikan sebagaimana berikut.



Gambar 5.1 Perletakan *Dial Gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar

5.1 HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

Benda uji tarik baja menggunakan profil *Lipped Channel* 60×22×8 dengan tebal 1,2 mm yang dibentuk sesuai dengan Gambar 5.2 sebanyak tiga (3) benda uji. Pelaksanaan pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* Merk *Shimatzu Type UMH-30* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian diperoleh data beban leleh (P_y) dan beban maksimum (P_u) dari benda uji pada Lampiran 1 dan hasil perhitungan didapat tegangan leleh (F_y) dan tegangan ultimit (F_u) benda uji seperti Tabel 5.1.



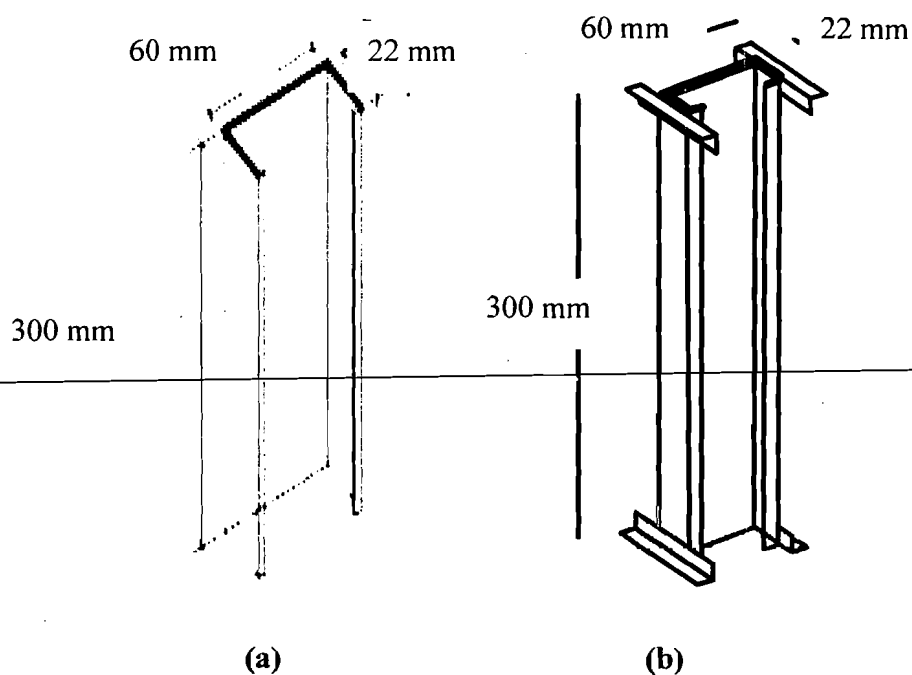
Gambar 5.2 Benda uji kuat tarik baja

Tabel 5.1 Hasil uji kuat tarik baja

Nilai hasil uji	Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3
Beban leleh (P_y) (kg)	240	287,5	227,5
Beban maksimum (P_u) (kg)	385	385	360
Tegangan leleh (F_y) (MPa)	100	118,899	92,933
Tegangan maksimum (F_u) (MPa)	160,417	157,155	147,059
F_y rata-rata (MPa)	103,944		
F_u rata-rata (MPa)	154,877		

5.2 HASIL UJI DESAK PENAMPANG *LIPPED CHANNEL*

Benda uji desak baja dari profil *lipped channel* 60×22×8 tebal 1,2 mm sebanyak tiga benda uji desak menggunakan alat sambung las dan tiga benda uji desak dengan menggunakan alat sambung baut dengan ukuran sesuai Gambar 5.3. Pelaksanaan pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* Merk *Shimatzu Type UMH-30* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian didapat nilai beban maksimum, data hasil pengujian pada Lampiran 1 dan hasil perhitungan kuat desak benda uji seperti pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 di bawah ini.



Gambar 5.3a Benda uji desak profil baja dengan alat sambung las
Gambar 5.3b Benda uji desak profil baja dengan alat sambung baut

Gambar 5.3 Benda uji desak profil baja

Tabel 5. 2 Hasil uji desak profil baja dengan alat sambung las

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (panjang 300 mm)	Benda uji 2 (panjang 300 mm)	Benda uji 3 (panjang 300 mm)
Beban maksimum (kN)	11,60	13,35	13,90
Kuat desak (MPa)	80,556	92,708	96,528
Kuat desak rata-rata (MPa)	89,931		

Tabel 5. 3 Hasil uji desak profil baja dengan alat sambung baut

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (panjang 300 mm)	Benda uji 2 (panjang 300 mm)	Benda uji 3 (panjang 300 mm)
Beban maksimum (kN)	10,50	10,70	9,10
Kuat desak (Mpa)	79,861	74,306	63,194
Kuat desak rata-rata (Mpa)	72,120		

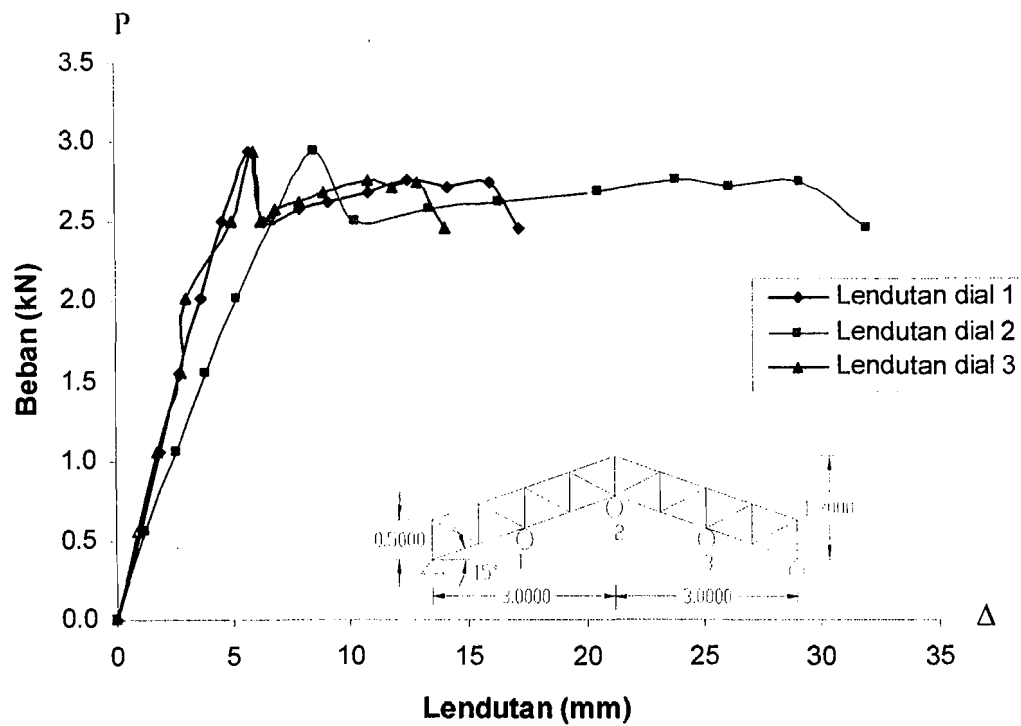
5.3 HUBUNGAN BEBAN – LENDUTAN UJI LENTUR RANGKA

5.3.1 Grafik Hubungan Beban - Lendutan Hasil Eksperimen

Pelaksanaan uji lentur keempat benda uji dilakukan dengan pemberian beban statis pada puncak struktur dengan kenaikan beban sebesar 0,5 kN hingga benda uji mengalami kerusakan. Pencatatan lendutan dilakukan pada 3 titik yang telah ditentukan pada setiap kenaikan beban.

1) **Benda Uji 1 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 15°)**

Data - data berupa hasil pembacaan lendutan disajikan pada Lampiran 2 Tabel L2.1. Dari pengujian benda uji 1 didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut:

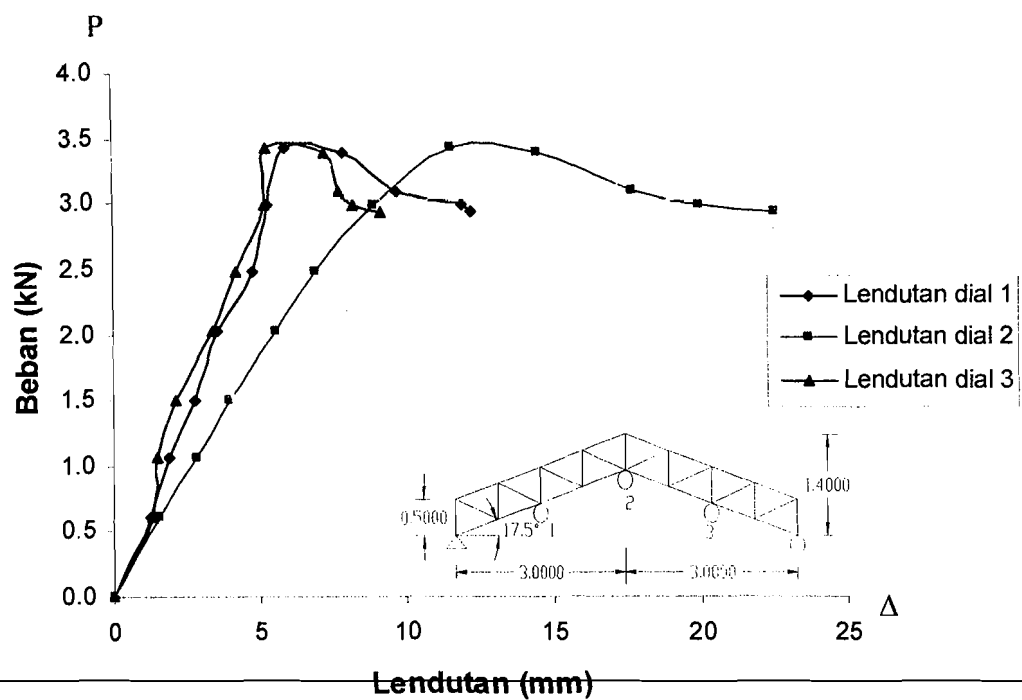


Gambar 5.4 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1

Dari Gambar 5.4 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 1 sebesar 2,94 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 5,71 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 8,55 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 5,94 mm.

2) Benda Uji 2 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 17,5°)

Untuk benda uji 2 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.2. Dari pengujian benda uji 2 didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :

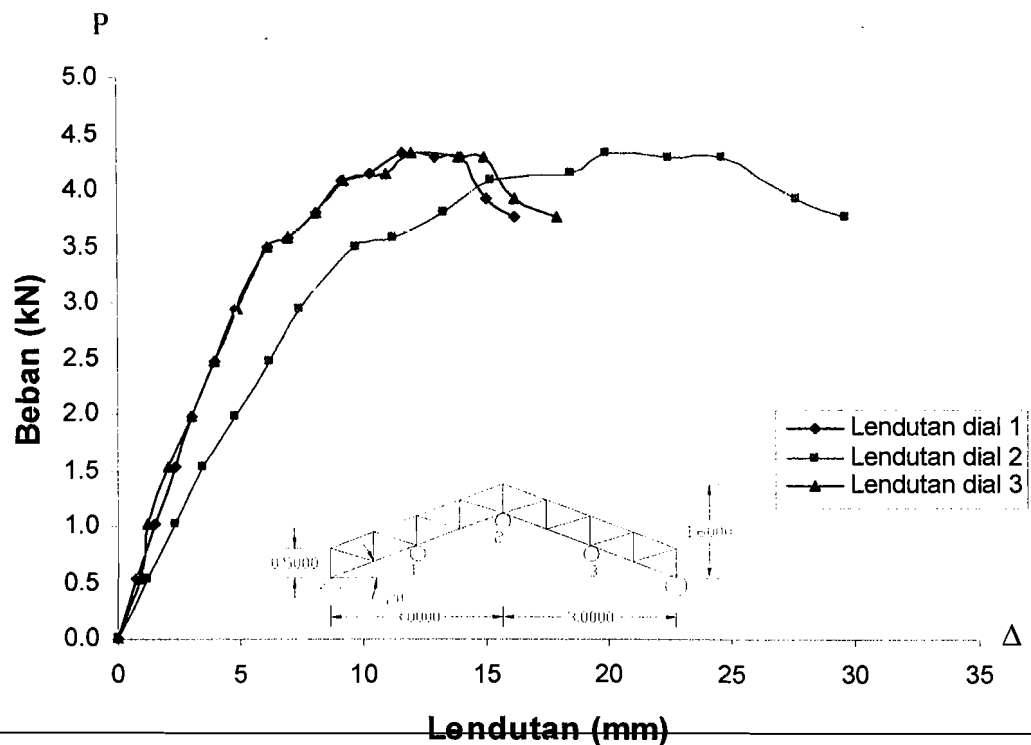


Gambar 5. 5 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2

Dari Gambar 5.5 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 2 sebesar 3,42 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 5,85 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 11,59 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 5,20 mm.

3) Benda Uji 3 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atas 20°)

Untuk benda uji 3 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.3. Dari pengujian benda uji 3 didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :

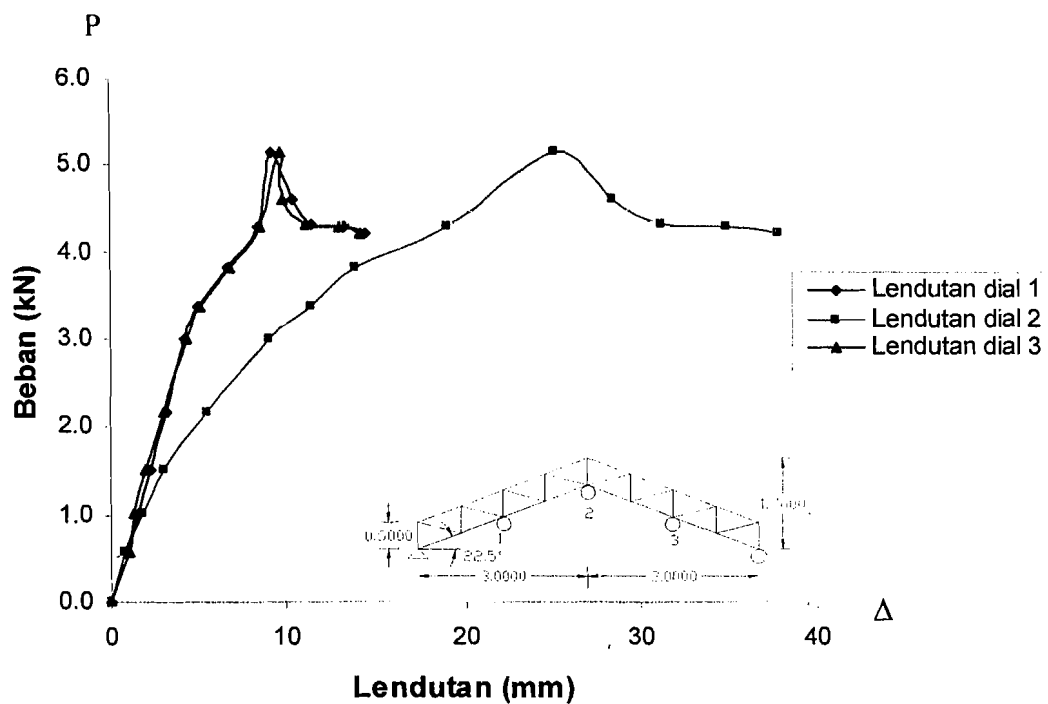


Gambar 5. 6 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 3

Dari Gambar 5.6 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 3 sebesar 4,32 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 11,67 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 19,88 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 12,05 mm.

4) Benda Uji 4 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 22,5°)

Untuk benda uji 4 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L.2.4. Dari pengujian benda uji 4 didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Gambar 5.7 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 4

Dari Gambar 5.7 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 4 sebesar 5,13 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 9,18 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 25,20 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 9,70 mm.

Tampak bahwa pada Gambar 5.4 Gambar 5.5 Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 pembacaan lendutan pada dial 2 yang terletak ditengah bentang mempunyai lendutan yang lebih besar dari pembacaan lendutan pada dial 1 dan 3 yang terletak pada seperempat bentang, jadi lendutan maksimumnya berada ditengah bentang. Secara

umum juga dapat dilihat dari grafik hubungan beban-lendutan bahwa grafik pada dial 2 memiliki daktilitas lebih besar dibandingkan dial 1 dan dial 3.

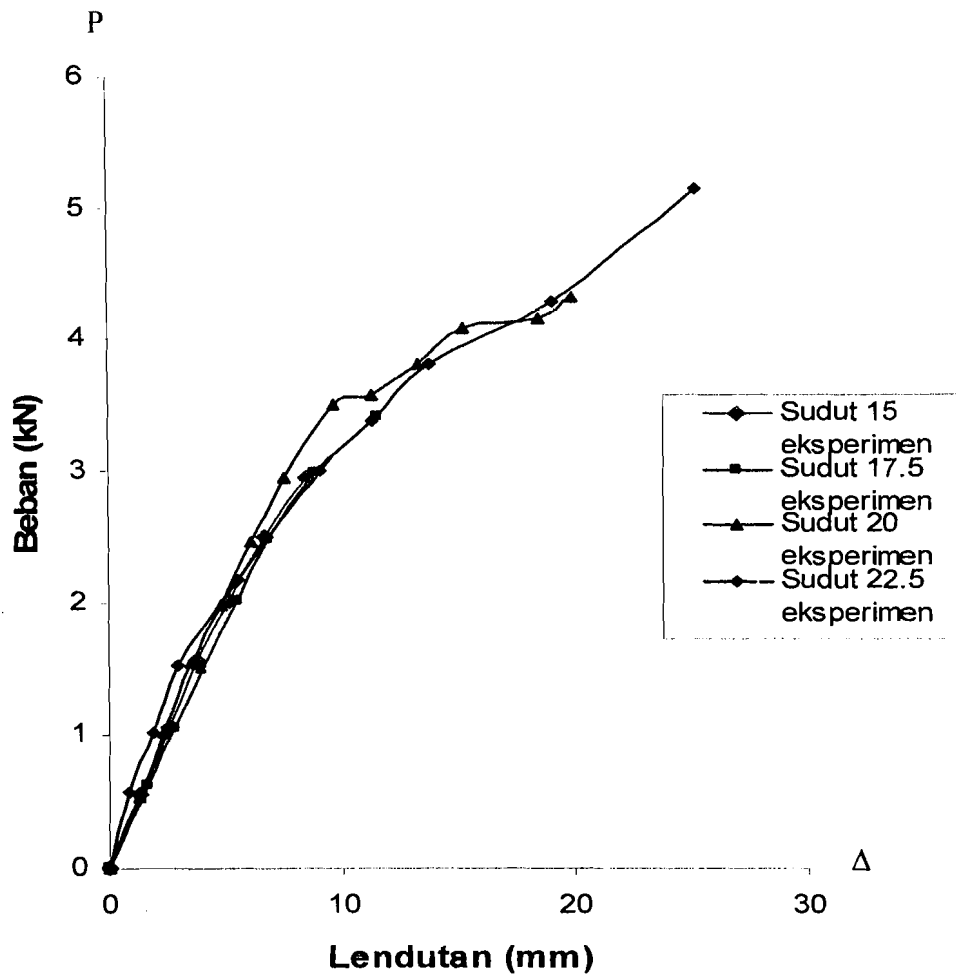
5.3.2 Pengaruh Variasi Sudut Miring Atap Terhadap Beban - Lendutan Hasil Eksperimen

Variasi sudut miring atap pada rangka batang tepi sejajar akan berpengaruh terhadap besarnya beban dan lendutan yang terjadi. Dengan bertambah besarnya sudut miring atap maka akan berpengaruh langsung terhadap tinggi rangka dan panjang batang tepi sejajar. Rangka yang tinggi mampu menahan beban yang lebih besar dan semakin panjang batang tepi sejajar pada rangka dalam eksperimen ini akan berakibat bentang efektif (L_1) bertambah panjang sehingga lendutan yang terjadi besar.

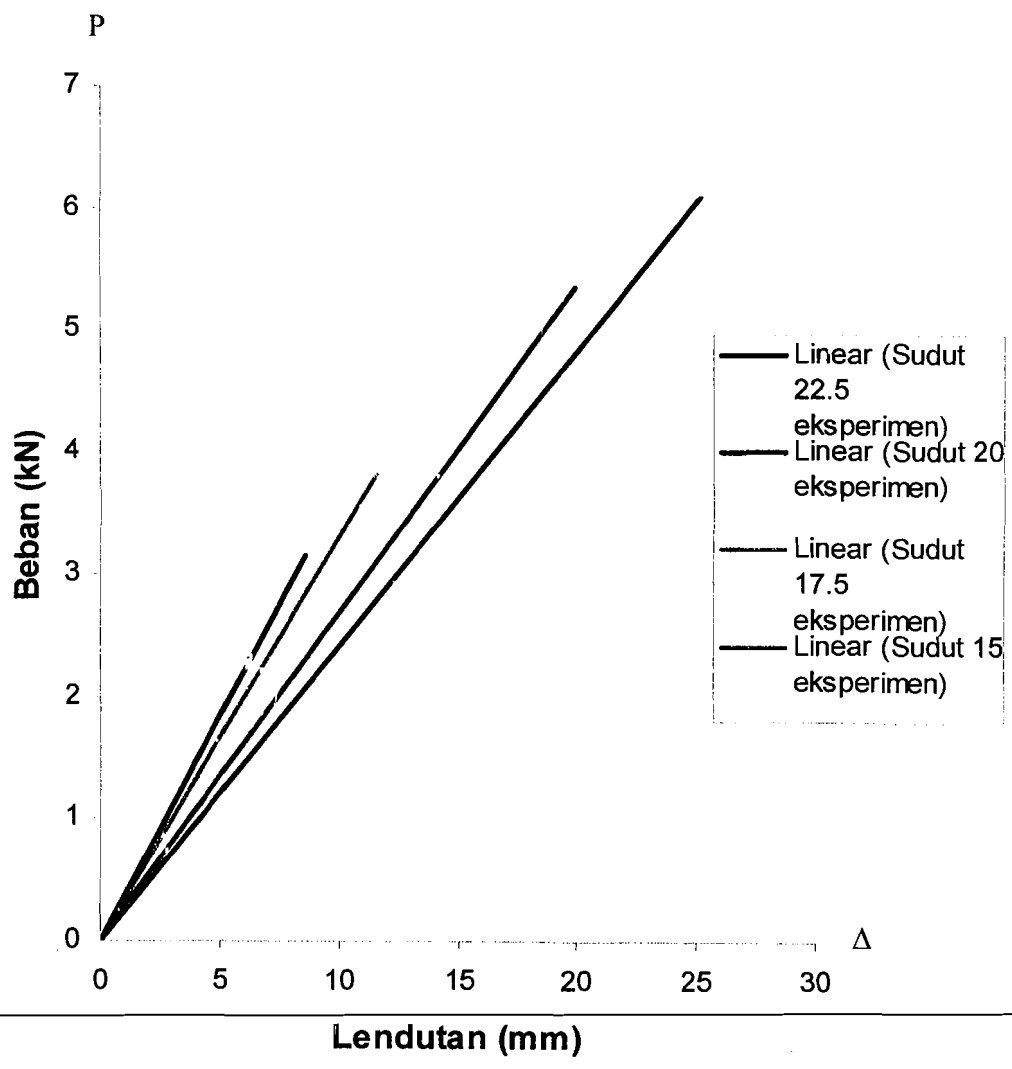
Dari persamaan $k = tg\alpha = \frac{Py}{\Delta y}$ juga terlihat bahwa semakin besar lendutan

yang terjadi maka kekakuan rangka batang akan semakin kecil.

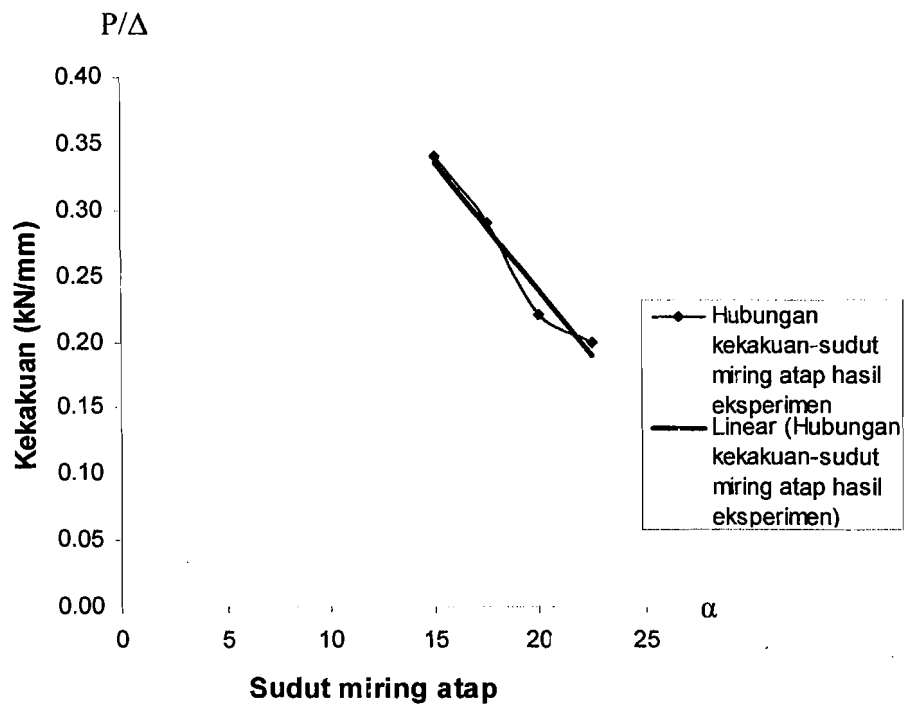
Hubungan beban – lendutan keempat rangka hingga beban maksimal pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 15° , $17,5^\circ$, 20° , dan $22,5^\circ$ ditunjukkan pada Gambar 5.8 di bawah ini.



Gambar 5.8 Hubungan beban – lendutan keempat rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hingga beban maksimum



Gambar 5.9 Hubungan beban – lendutan keempat rangka setelah diregresi



Gambar 5.10 Hubungan kekakuan – sudut miring atap hasil pengujian

Dari gambar 5.9 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan rangka batang tepi sejajar yang mempunyai sudut miring atap $17,5^\circ$, 20° dan $22,5^\circ$. Kekakuan rangka batang tepi sejajar dipengaruhi oleh faktor beban dan lendutan yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.57). Dari persamaan tersebut nilai kekakuan (k) seperti pada Tabel 5.8. Dengan anggapan bahwa kekakuan dan kekuatan pada sudut miring atap 15° sama dengan 1, maka rasio kekakuan dan rasio kekuatan ketiga benda uji lainnya terhadap sudut miring atap 15° seperti pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Nilai kekakuan hasil eksperimen

Sudut rangka batang tepi sejajar	Beban maks (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	Kekakuan (k) (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
15°	2,940	8,550	0,344	1	1
17,5°	3,420	11,590	0,295	0,858	1,163
20°	4,320	19,880	0,217	0,631	1,469
22,5°	5,130	25,200	0,203	0,593	1,745

Dari tabel 5.4. dapat dilihat nilai kekuatan dan kekakuan rangka batang tepi sejajar. Rangka dengan sudut miring atap 15° mempunyai nilai $k = 0,344$ kN/mm, sudut 17,5° mempunyai nilai $k = 0,295$ kN/mm, sudut 20° mempunyai nilai $k = 0,217$ kN/mm, dan sudut 22,5° mempunyai nilai $k = 0,203$ kN/mm. Terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 22,5° memiliki nilai kekakuan paling kecil dibanding rangka dengan variasi sudut miring atap 17,5°, 20° dan 22,5°, hal ini dimungkinkan karena rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 22,5° memiliki bentang efektif (L_1) yang lebih panjang dibanding benda uji lainnya sehingga lendutan yang terjadi menjadi besar. Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai kekakuan 1,17 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 17,5°, 1,58 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 20° dan 1,69 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 22,5°.

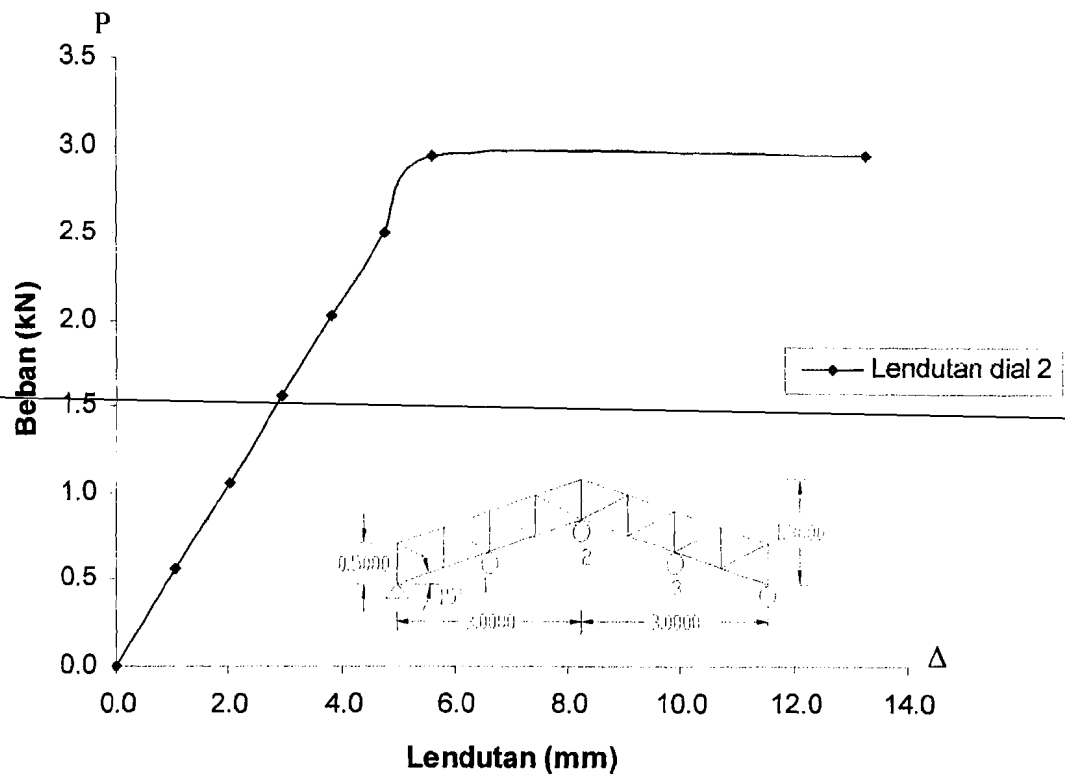
Dari tabel 5.4 juga dapat dilihat bahwa rangka dengan sudut miring atap 22,5° mampu menahan beban yang lebih besar dibanding benda uji lain, hal ini dimungkinkan karena rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 22,5° relatif lebih tinggi dibanding rangka dengan sudut miring atap 15°, 17,5°, dan 20°. Perhitungan nilai kekakuan dapat dilihat pada lampiran 2.

5.3.3 Grafik Hubungan Beban - Lendutan Analisis SAP 2000

Rangka dianalisis dengan menggunakan program SAP 2000 dengan pembebanan dan perletakan *Dial Gauge* disesuaikan pada waktu pengujian, yang kemudian ditampilkan dalam Tabel pada Lampiran 2 dan grafik beban - lendutan seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

1) Benda Uji 1 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 15°)

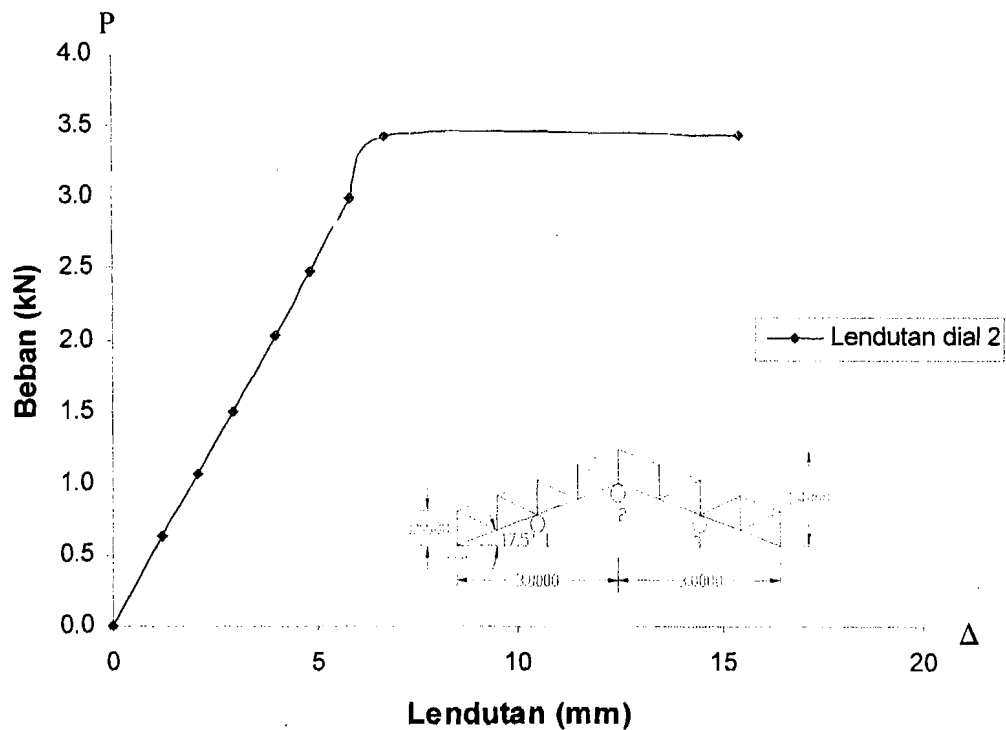
Data-data berupa hasil pembacaan dial disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.6. Dari data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Gambar 5. 11 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1 analisis SAP 2000

2) **Benda Uji 2 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 17,5°)**

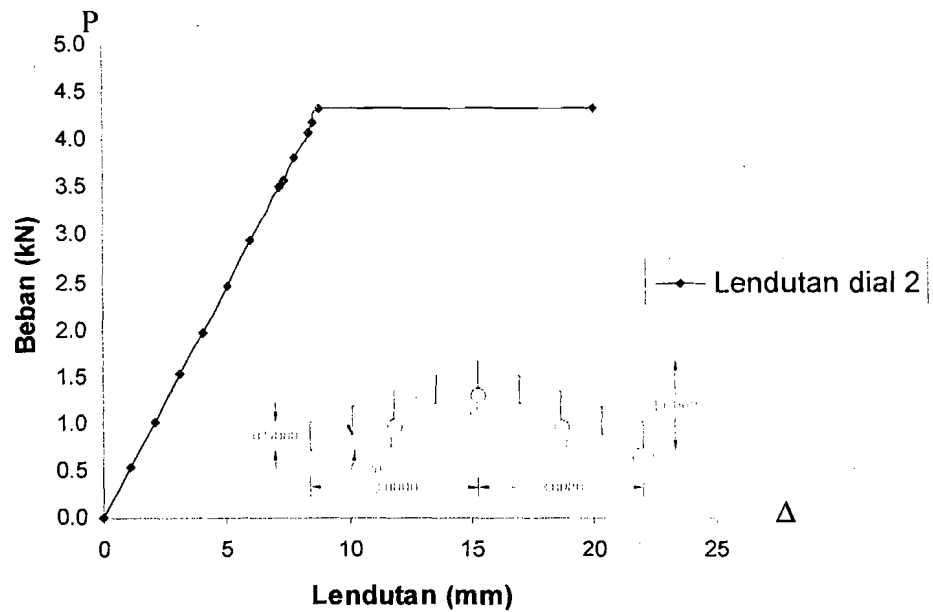
Untuk benda uji 2 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.7 dan grafik hubungan beban - lendutan ditampilkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2 analisis SAP 2000

3) **Benda Uji 3 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 20°)**

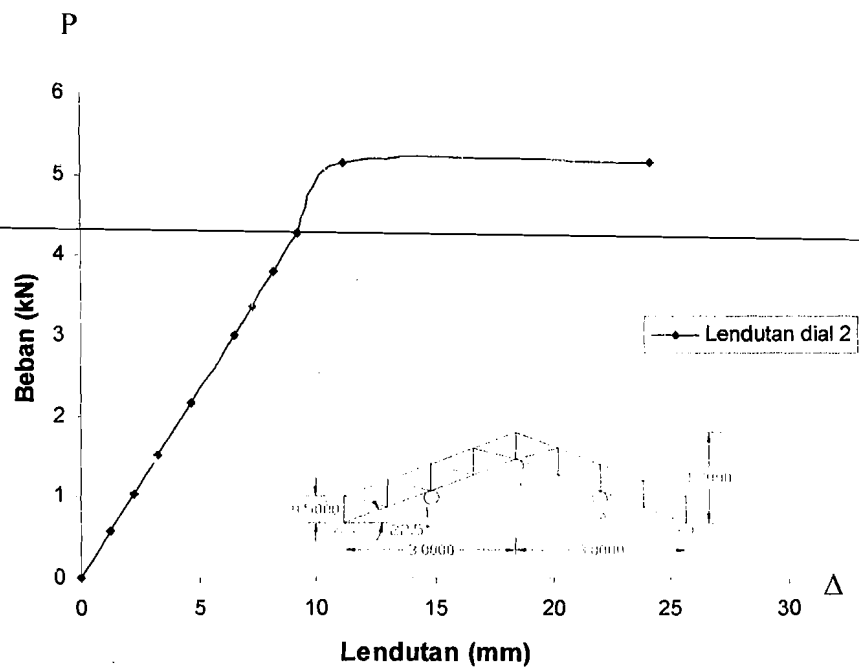
Untuk benda uji 3 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.8 dan grafik hubungan beban - lendutan ditampilkan pada Gambar 5.13.



Gambar 5. 13 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 3 analisis SAP 2000

4) **Benda Uji 4 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 22,5°)**

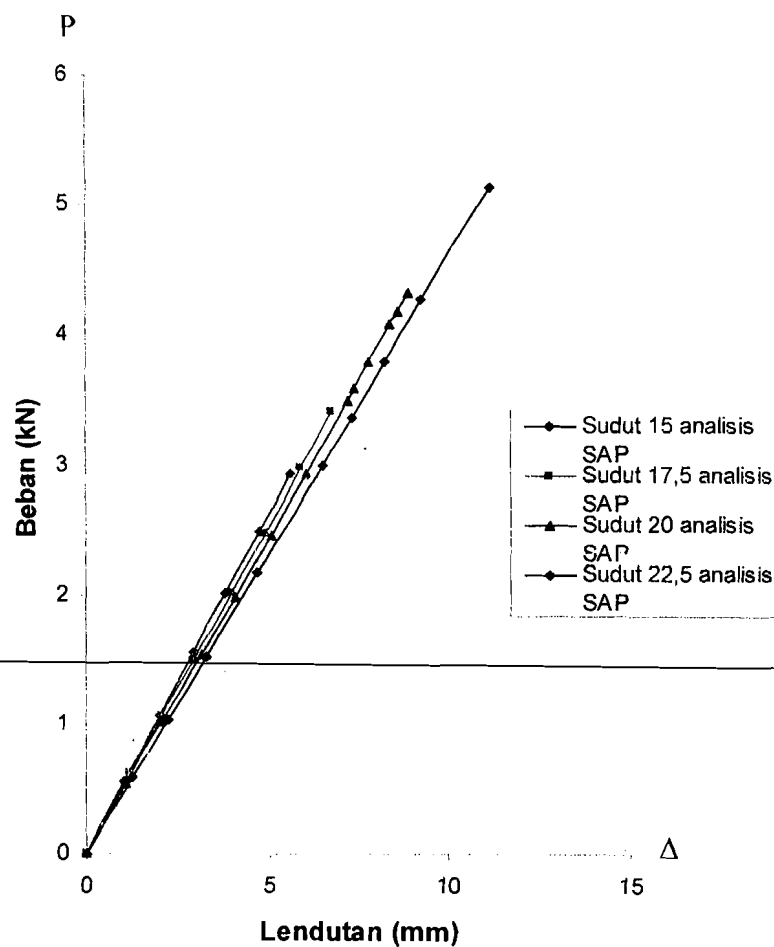
Untuk benda uji 4 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.9 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada Gambar 5.15.



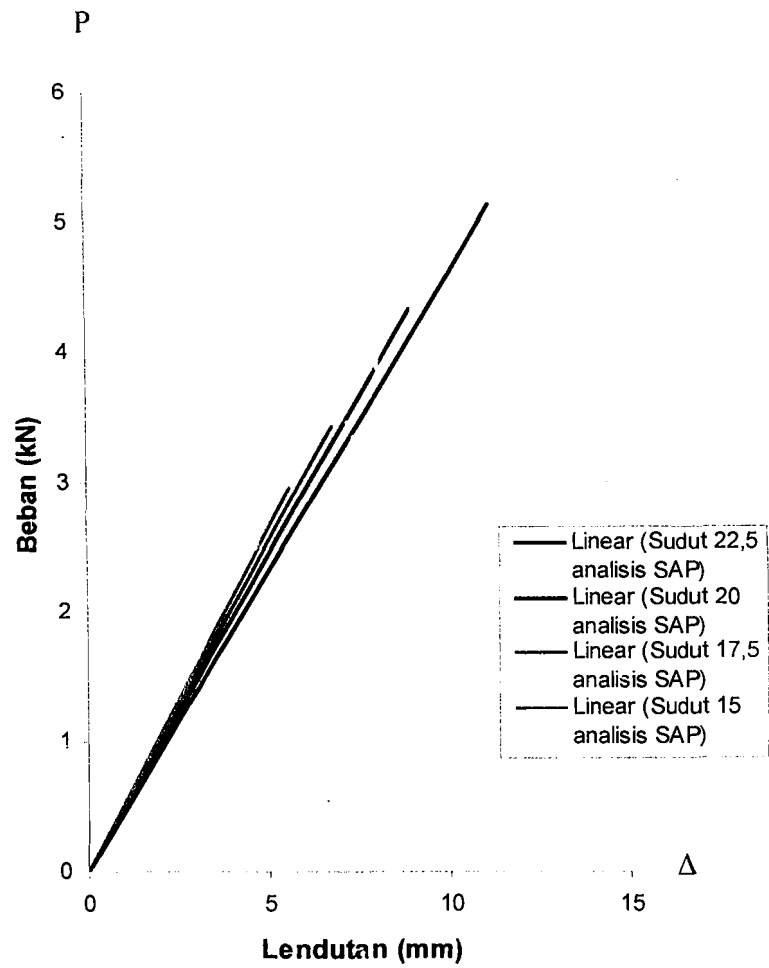
Gambar 5. 14 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 4 analisis SAP 2000

5.3.4 Pengaruh Sudut miring Atap Terhadap Beban - Lendutan Hasil Analisis SAP 2000

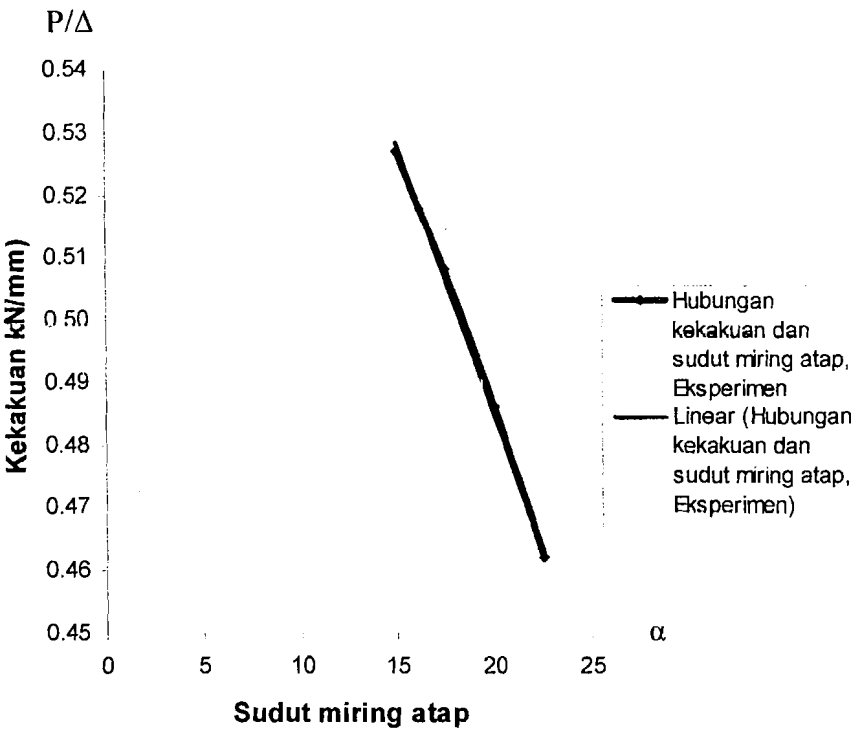
Hubungan beban – lendutan hasil analisis SAP 2000 pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 15°, 17,5°, 20°, dan 22,5° ditunjukkan pada Gambar 5.15 di bawah ini :



Gambar 5.15 Hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hasil analisis SAP 2000



Gambar 5.16 Regresi hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hasil analisis SAP 2000 hingga beban maksimum



Hubungan kekakuan dan sudut miring atap hasil analisis SAP 2000

Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar miring atap 15° mempunyai lendutan yang lebih kecil dibandingkan sudut miring atap $17,5^\circ$, 20° , dan $22,5^\circ$. Kekakuan rangka batang tepi variasi sudut miring atap dalam eksperimen ini dapat dicari dengan persamaan (3.57). Dengan anggapan bahwa kekakuan dan kekuatan miring atap 15° sama dengan 1, maka rasio kekakuan dan rasio kekuatan lainnya terhadap sudut miring atap 15° seperti pada Tabel 5.4 di

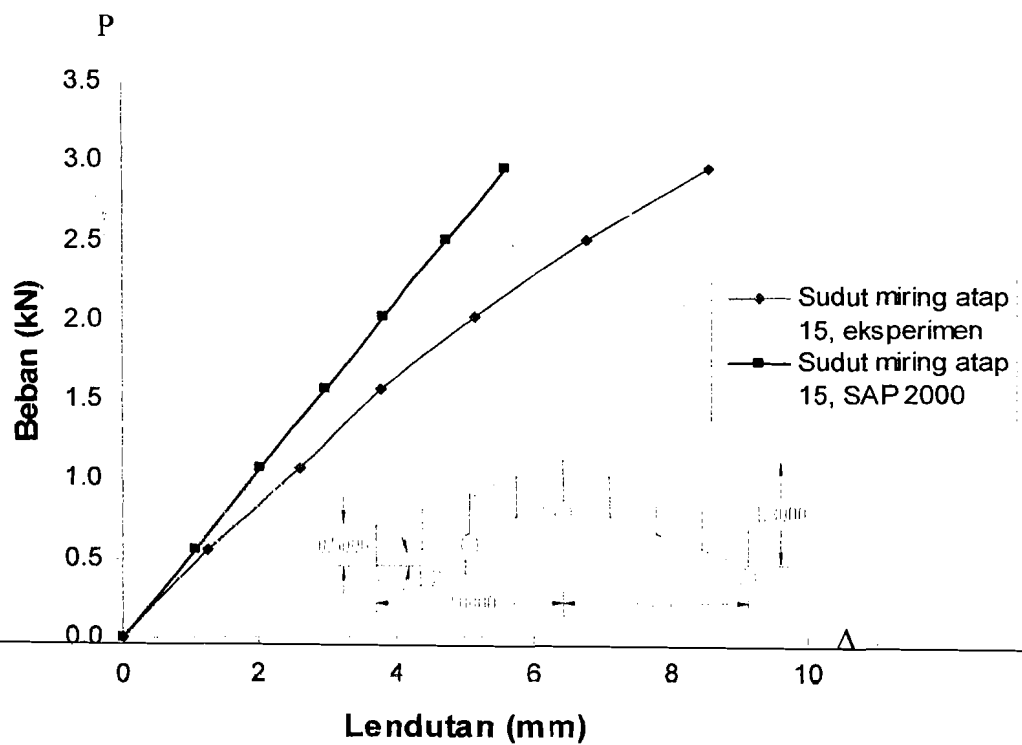
Tabel 5.5 Nilai kekakuan hasil analisis menggunakan SAP 2000

Sudut Rangka batang tepi sejajar	Beban maks (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	Kekakuan (k) (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
15°	2,940	5,570	0,528	1	1
17,5°	3,420	6,730	0,508	0,962	1,163
20°	4,320	8,880	0,486	0,920	1,469
22,5°	5,130	11,110	0,462	0,875	1,745

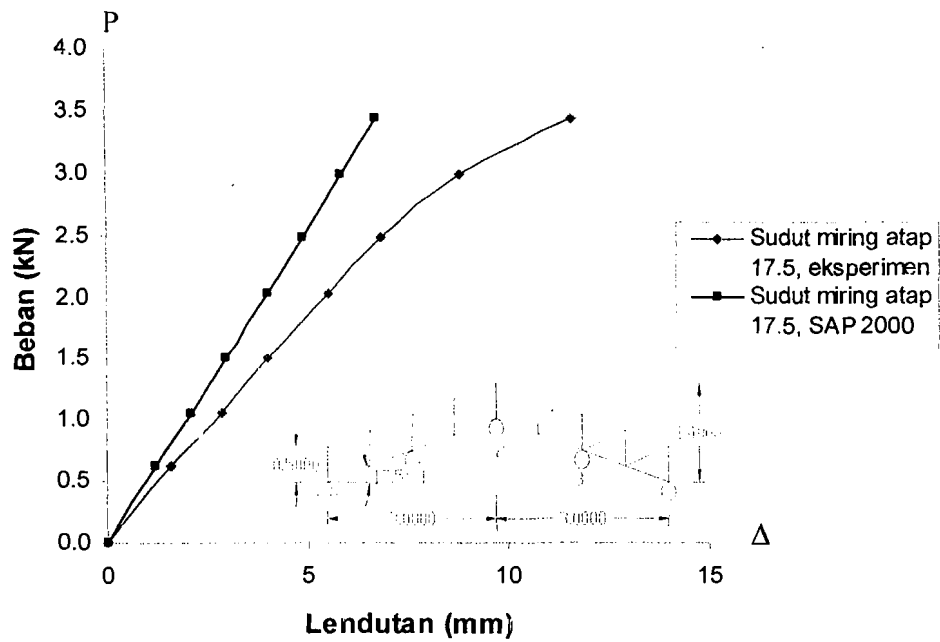
Dari Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° memiliki nilai $k = 0,528$ kN/mm, rangka sudut 17,5° memiliki nilai $k = 0,508$ kN/mm, rangka sudut 20° memiliki nilai $k = 0,486$ kN/mm dan rangka dengan sudut miring atap 22,5° memiliki nilai $k = 0,462$ kN/mm. Jadi rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai kekakuan paling besar dibandingkan rangka dengan sudut miring 17,5°, 20°, dan 22,5°. Rangka dengan sudut 15° memiliki kekakuan 1,039 kali lebih besar dari rangka sudut 17,5°, 1,086 kali lebih besar dari rangka sudut 20° dan 1,142 kali lebih besar dari rangka sudut 22,5°. Rangka dengan sudut miring atap 15° memiliki kekakuan paling besar dibanding sampel rangka yang lain, namun demikian penurunan kekakuan pada keempat rangka kurang signifikan, hal ini dimungkinkan karena bentang efektif (L_1) dari keempat rangka relatif sama. Perubahan kekakuan yang paling signifikan dapat dilihat antara kekakuan rangka sudut 15° dan rangka sudut 22,5°. Dari tabel 5.4 juga terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai kekuatan paling kecil dibanding rangka sudut 17,5°, 20°, dan 22,5°, hal ini dimungkinkan karena tinggi rangka sudut 15° lebih pendek dibanding sampel rangka lainnya.

5.3.5 Grafik Hubungan Beban - Lendutan Hasil Eksperimen dan Analisa SAP 2000

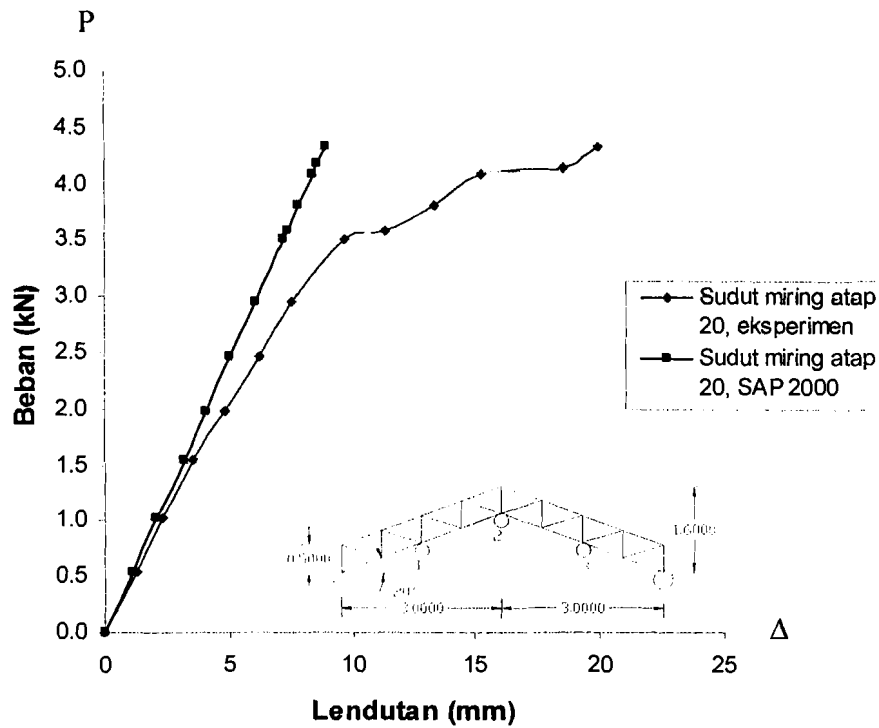
Gabungan grafik hasil eksperimen dan analisis menggunakan SAP 2000 didapat hubungan beban – lendutan seperti pada Gambar 5.18, 5.18, 5.20, dan 5.21 dibawah ini.



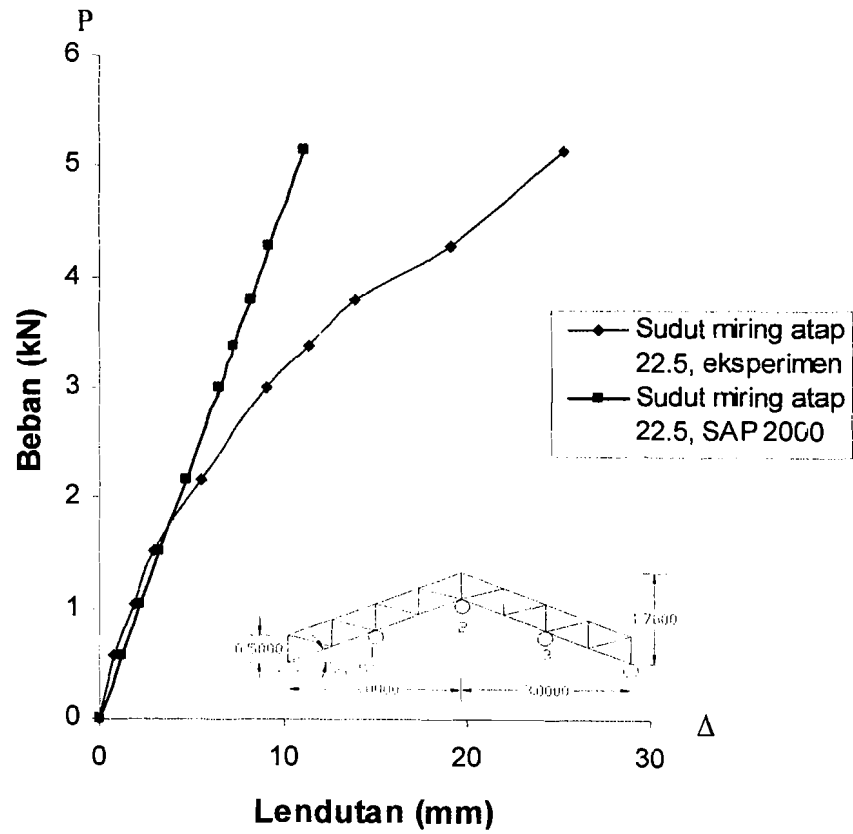
Gambar 5.18 Hubungan beban – lendutan sudut miring atap 15° hasil eksperimen dan analisis SAP 2000



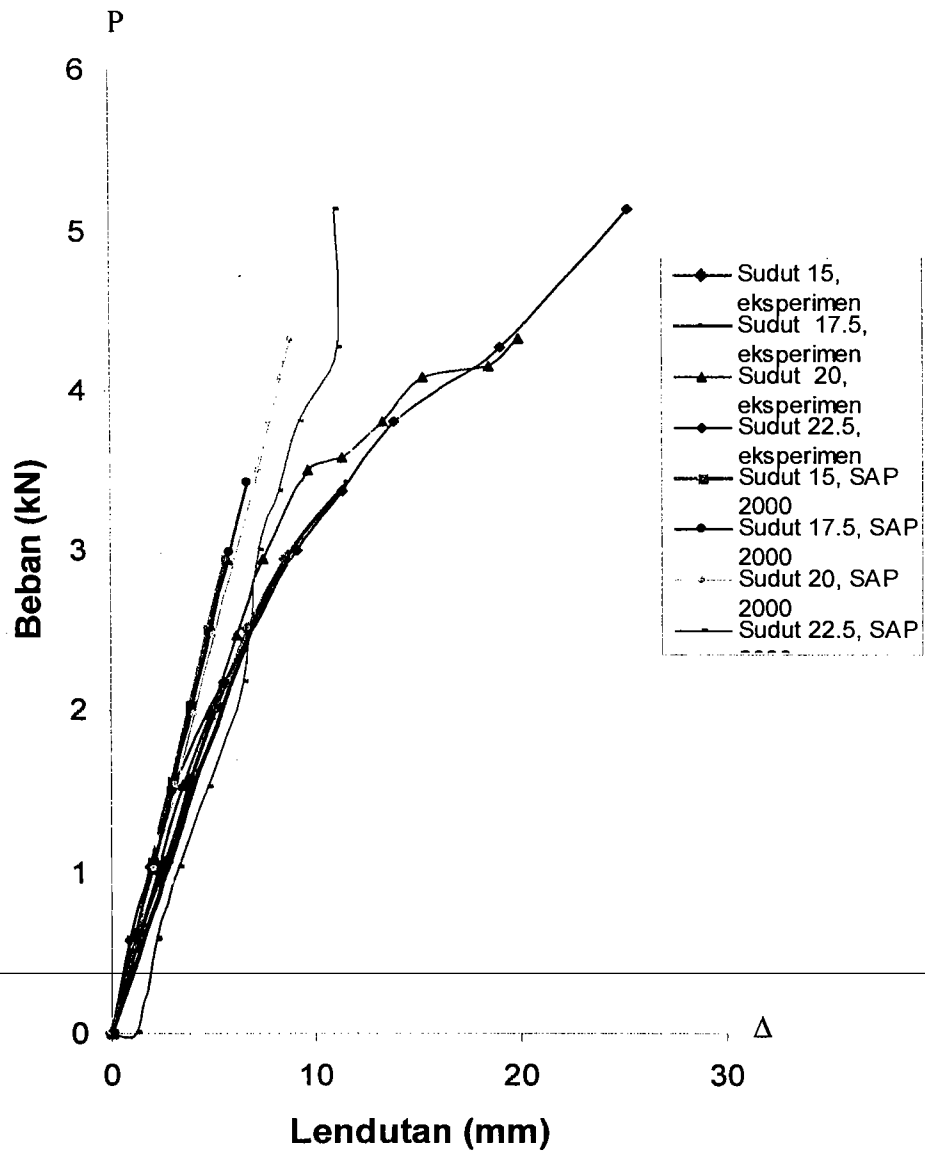
Gambar 5.19 Hubungan beban – lendutan sudut miring atap 17,5° hasil eksperimen dan analisis SAP 2000



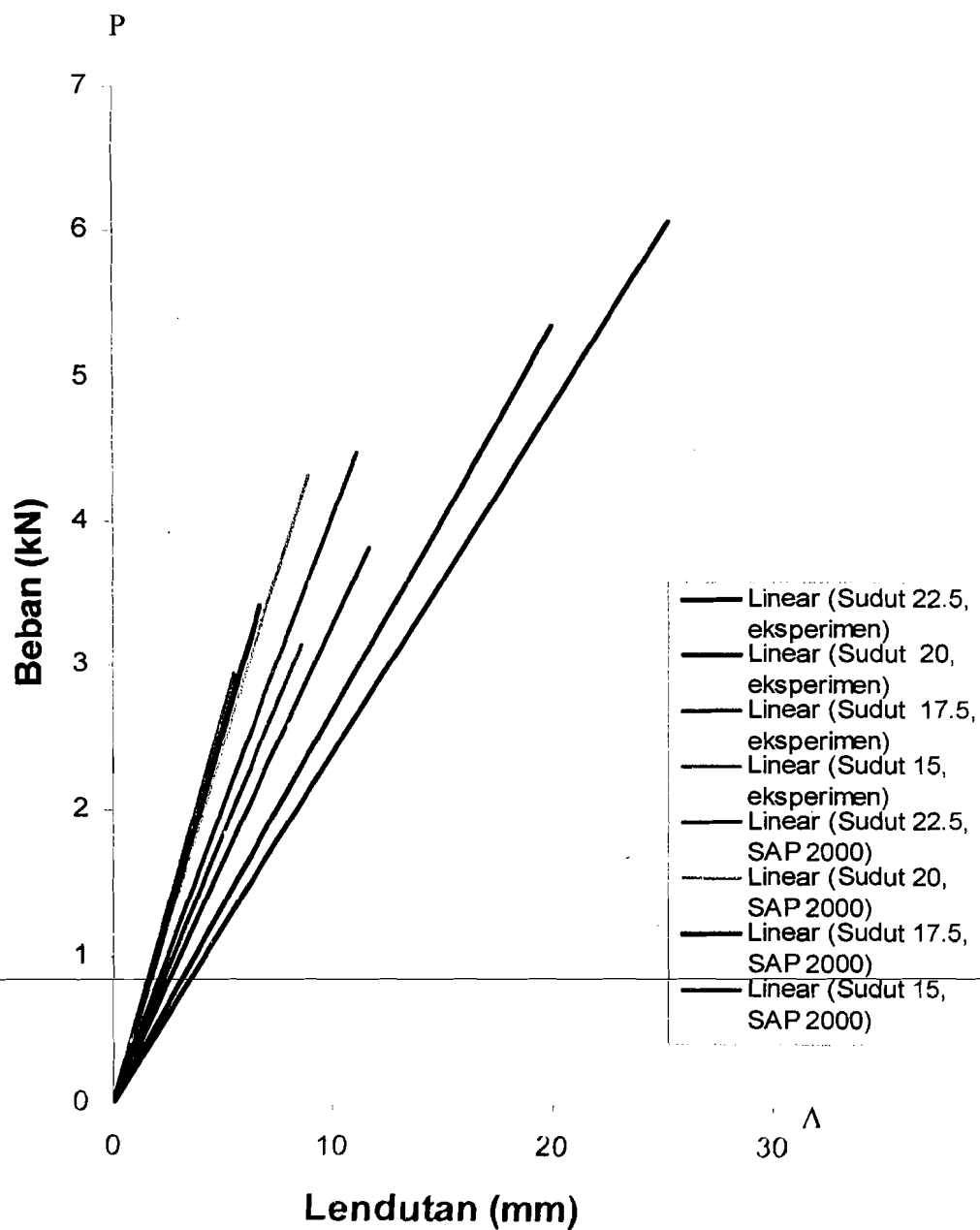
Gambar 5.20 Hubungan beban – lendutan sudut miring atap 20° hasil pengujian dan analisis SAP 2000



Gambar 5.21 Hubungan beban – lendutan sudut miring atap 22,5° hasil eksperimen dan analisis SAP 2000



Gambar 5.22 Hubungan beban - lendutan hasil eksperimen dan analisa SAP 2000



Gambar 5.23 Regresi hubungan beban – lendutan keempat rangka hasil eksperimen dan analisa SAP 2000

Tabel 5.6 Rasio nilai kekakuan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000

Sudut rangka batang tepi sejajar	Beban Maksimum (kN)	Eksperimen		Analisis menggunakan SAP 2000	
		Kekakuan (kN/mm)	Rasio Kekakuan	Kekakuan (kN/mm)	Rasio Kekakuan
15°	2,940	0,344	1	0,528	1
17,5°	3,420	0,295	0,858	0,508	0,962
20°	4,320	0,217	0,631	0,486	0,920
22,5°	5,130	0,204	0,593	0,462	0,875

Pada Gambar 5.20 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hasil analisis SAP 2000 mempunyai kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen. Pada analisis menggunakan SAP 2000 untuk rangka sudut miring atap 15° mempunyai kekakuan 1,535 lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut miring atap 15° hasil eksperimen, rangka sudut miring atap 17,5° mempunyai kekakuan 1,722 lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut miring atap 17,5° hasil eksperimen, rangka sudut miring atap 20° mempunyai kekakuan 2,239 lebih besar dibandingkan rangka sudut miring atap 20° hasil eksperimen, sedangkan rangka dengan sudut miring atap 22,5° mempunyai kekakuan 2,265 lebih besar dibandingkan dengan rangka dengan sudut miring atap 22,5° hasil eksperimen. Hal ini dimungkinkan karena pada analisis menggunakan SAP tidak mengakomodasi adanya peristiwa tekuk.

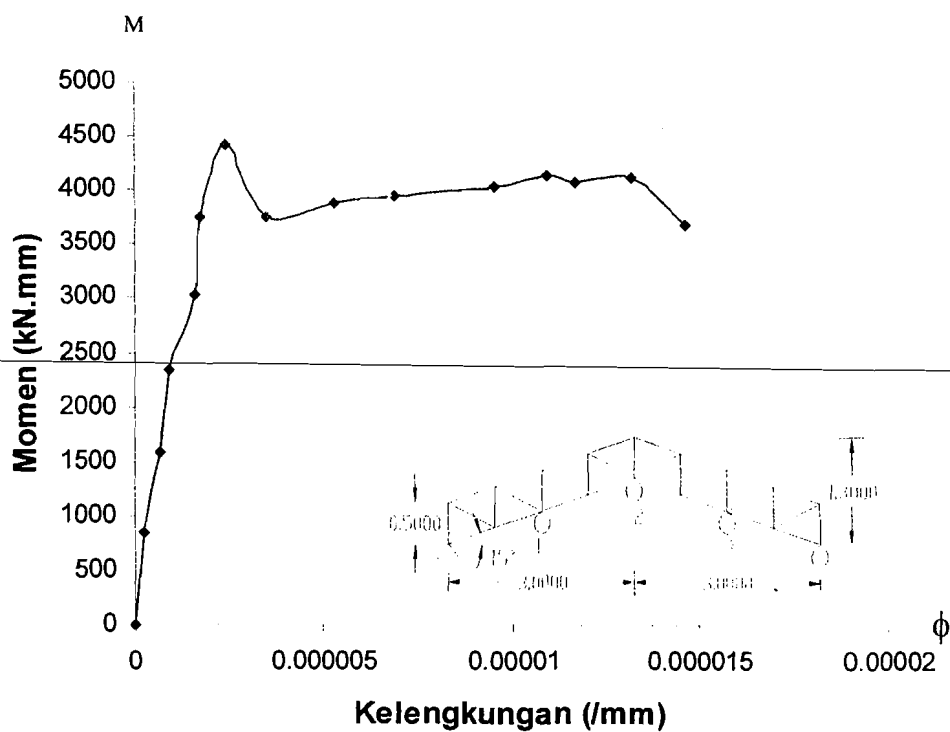
5.4 HUBUNGAN MOMEN - KELENGKUNGAN

5.4.1 Grafik Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Eksperimen

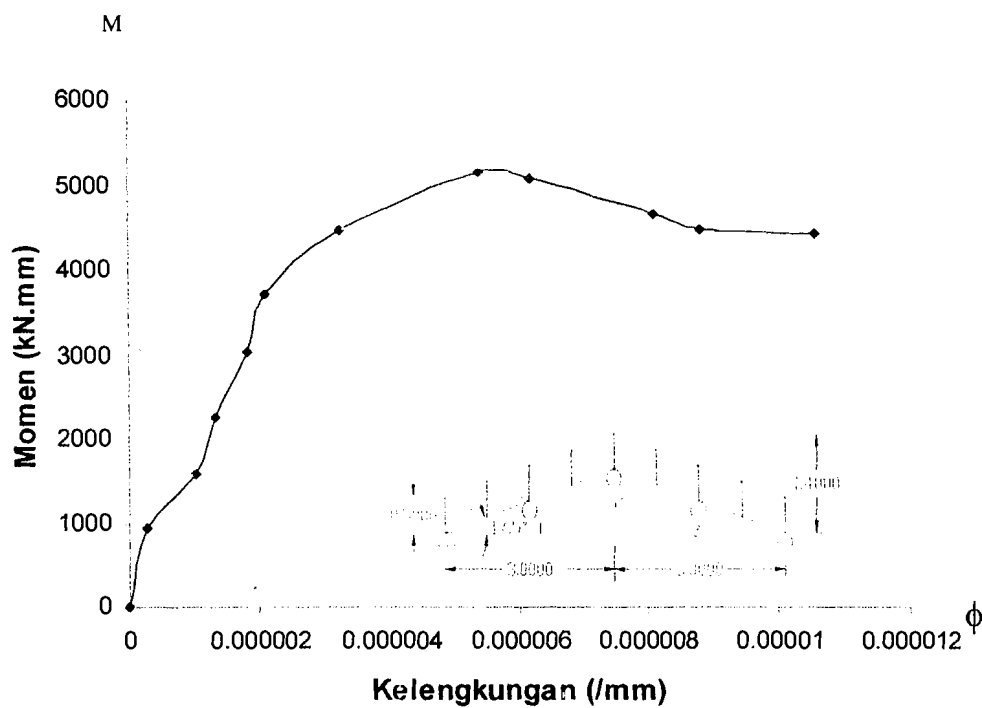
Dari hasil eksperimen didapatkan data beban - lendutan (P - Δ), sehingga dapat dicari momen - kelengkungan (M - ϕ). Rumus yang dipakai dalam perhitungan ini adalah :

$$\text{Kelengkungan (Pers. 3.70): } \phi = \frac{\Delta_1 - 2\Delta_2 + \Delta_3}{\Delta x^2}$$

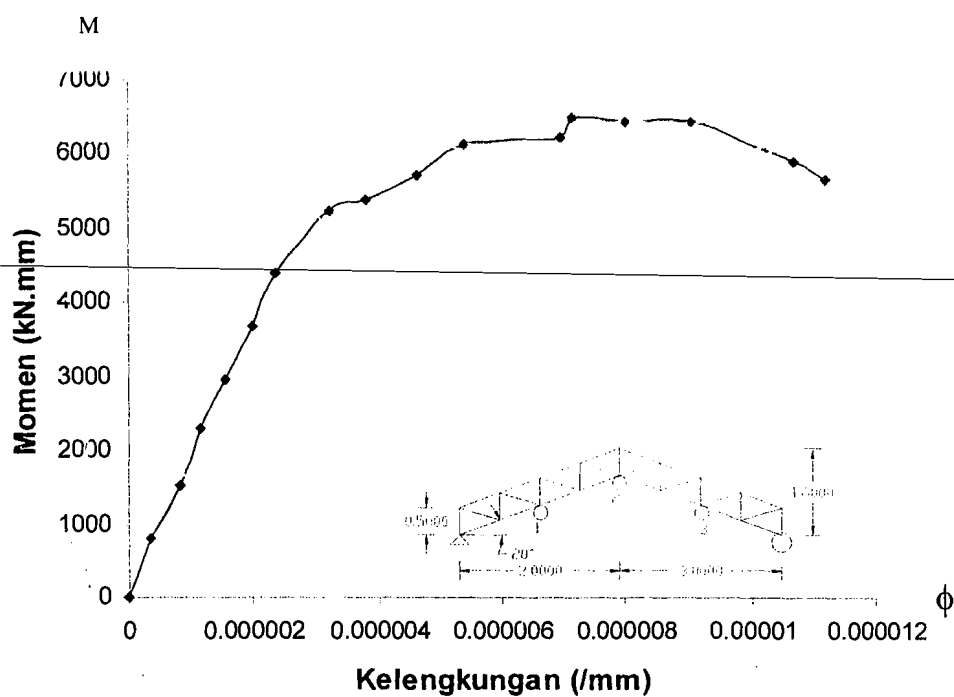
$$\text{Momen} = \frac{1}{4} \times P \times L$$



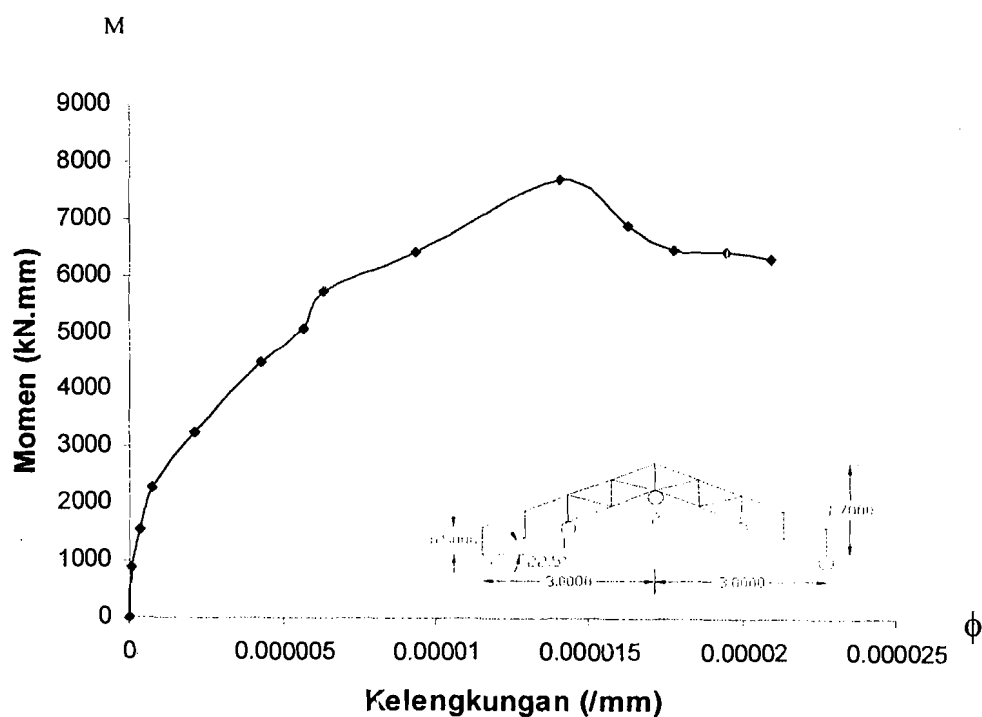
Gambar 5.24 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1



Gambar 5.25 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2



Gambar 5.26 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

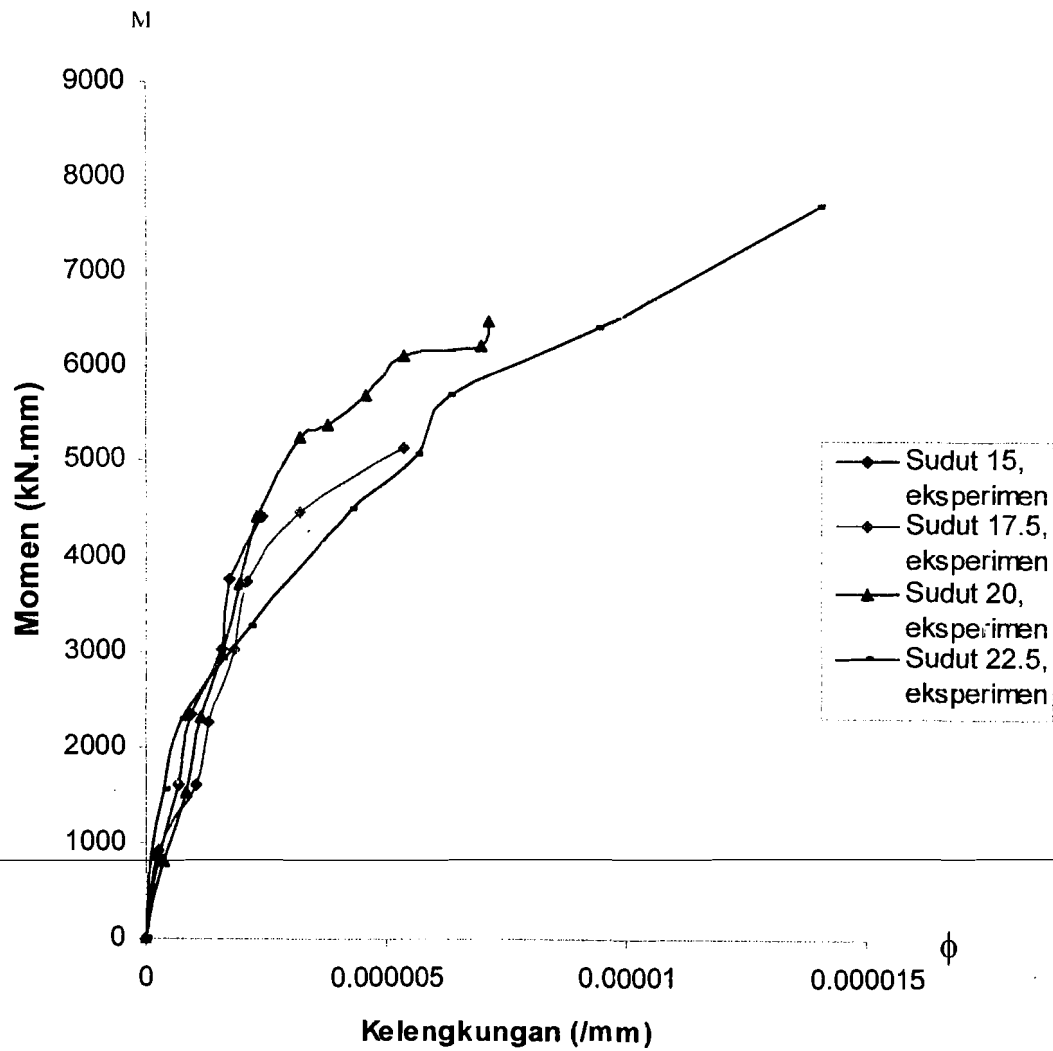


Gambar 5. 27 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 4

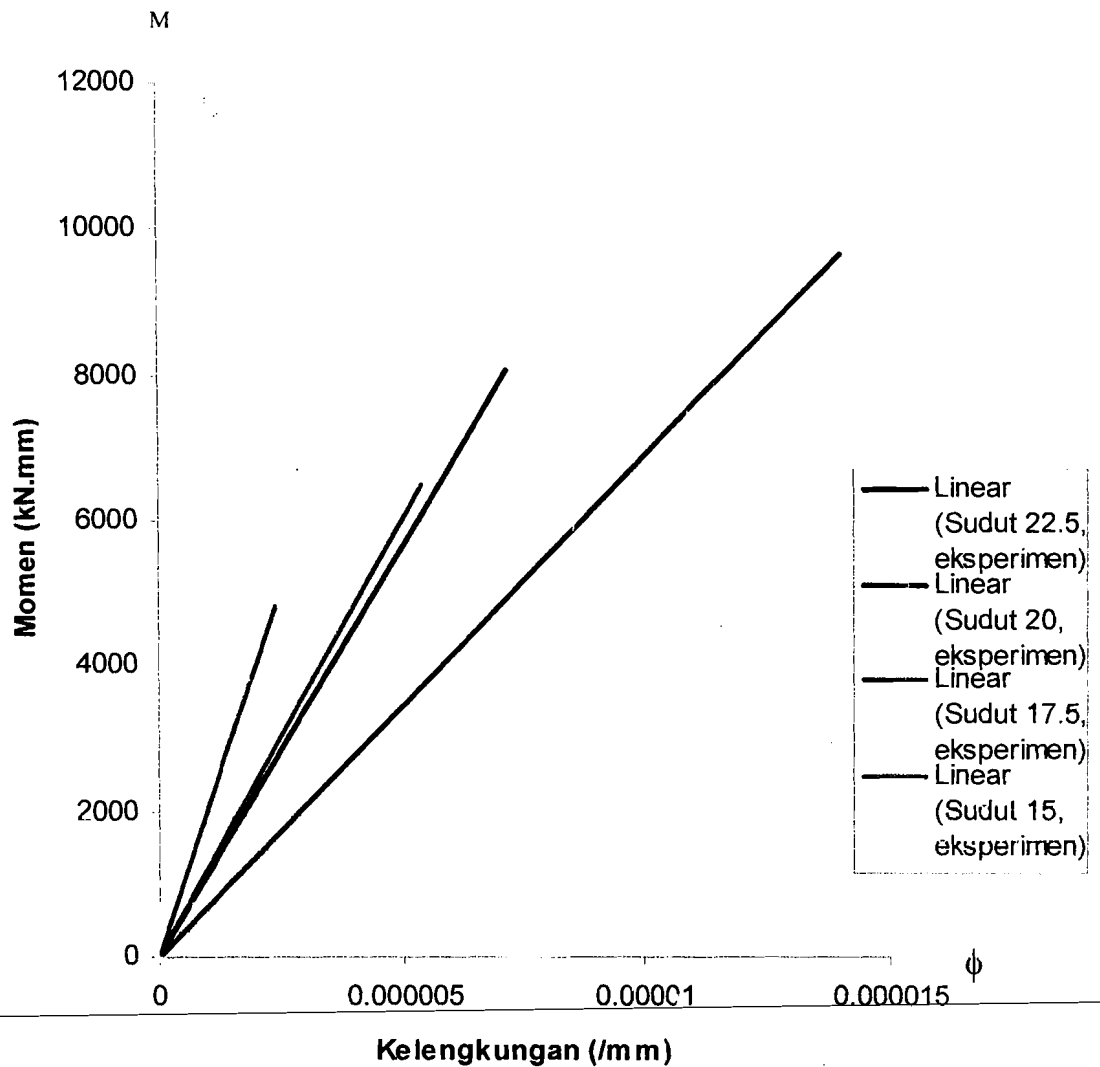
5.4.2 Pengaruh Sudut Miring Atap Rangka Batang Tepi Sejajar Terhadap Momen - Kelengkungan Hasil Eksperimen

Grafik hubungan momen - kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan rangka batang, dimana $EI = \frac{M}{\phi}$ yang berarti semakin besar kelengkungan yang terjadi maka faktor kekakuan rangka batang tersebut akan semakin kecil.

Hubungan momen – kelengkungan keempat rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 15°, 17,5°, 20°, dan 22,5° ditunjukkan pada Gambar 5.28.



Gambar 5. 28 Grafik hubungan momen - kelengkungan keempat benda uji sampai beban maksimum



Gambar 5. 29 Regresi Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji sampai momen maksimum

Pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° memiliki kelengkungan yang lebih kecil dibandingkan dengan kelengkungan rangka sudut $17,5^\circ$, 20° , dan $22,5^\circ$. Sehingga semakin besar kelengkungan yang terjadi maka semakin kecil faktor kekakuan dapat

dilihat pada lampiran 2. Untuk mencari faktor kekakuan rangka dapat dicari dengan persamaan menggunakan persamaan (3.70). Dari persamaan tersebut diperoleh faktor kekakuan seperti pada Tabel 5.7. Dengan anggapan bahwa faktor kekakuan pada rangka sudut 15° sama dengan 1, maka rasio faktor kekakuan ketiga benda uji lainnya terhadap rangka sudut 15° seperti pada Tabel 5.6 dibawah ini.

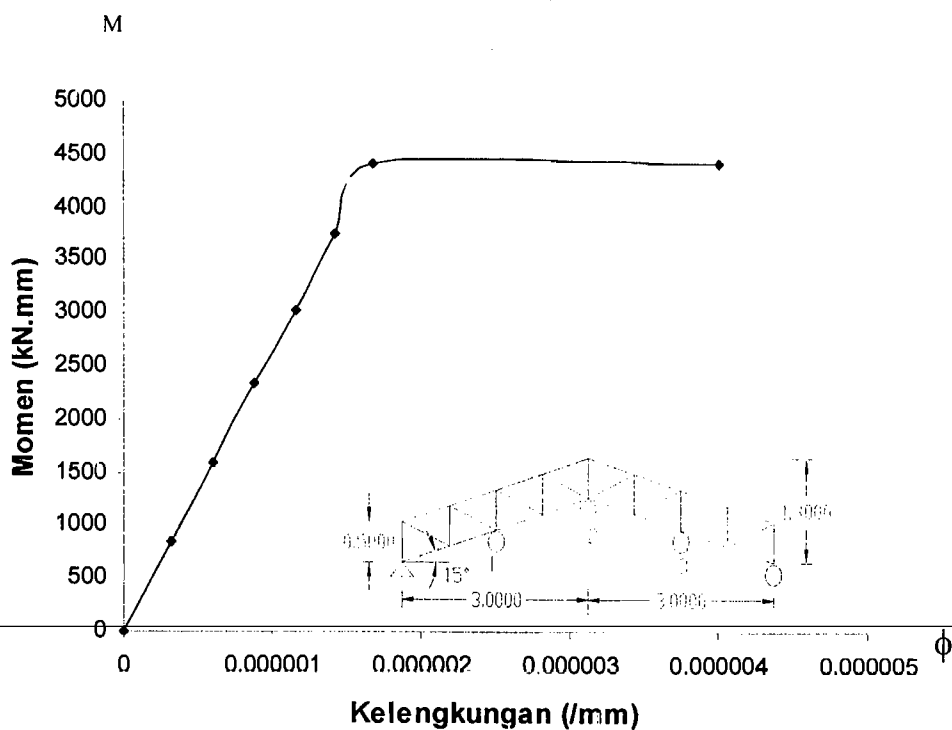
Tabel 5.7 Rasio faktor kekakuan hasil eksperimen

Sudut rangka batang tepi sejajar	Momen maksimum (kN.mm)	ϕ (/mm)	Faktor kekakuan (kN.mm²)	Rasio faktor kekakuan
15°	4410	0,0000024	1837500000	1
17,5°	5130	0,0000054	950000000	0,517
20°	6480	0,0000071	912676056,3	0,497
22,5°	7695	0,0000140	549642857,1	0,299

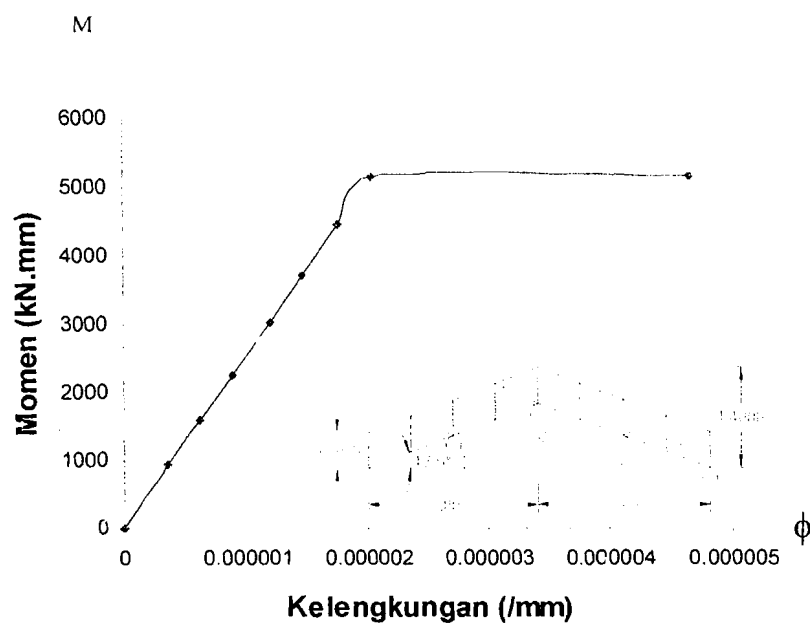
Dari Tabel 5.7 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai faktor kekakuan 1,934 kali lebih besar dibanding rangka sudut $17,5^\circ$, 2,013 kali lebih besar dari faktor kekakuan rangka sudut 20° dan mempunyai faktor kekakuan 3,343 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap $22,5^\circ$. Rangka dengan sudut miring atap 15° memiliki faktor kekakuan paling besar dibanding sampel rangka dengan sudut lain, hal itu dimungkinkan karena faktor kekakuan (EI) berbanding terbalik dengan panjang bentang (L), sehingga rangka dengan sudut miring atap 15° yang memiliki bentang efektif (L_e) paling pendek dibanding sampel rangka lainnya mempunyai faktor kekakuan paling besar.

5.4.3 Hubungan Momen – Kelengkungan Hasil Analisis SAP 2000

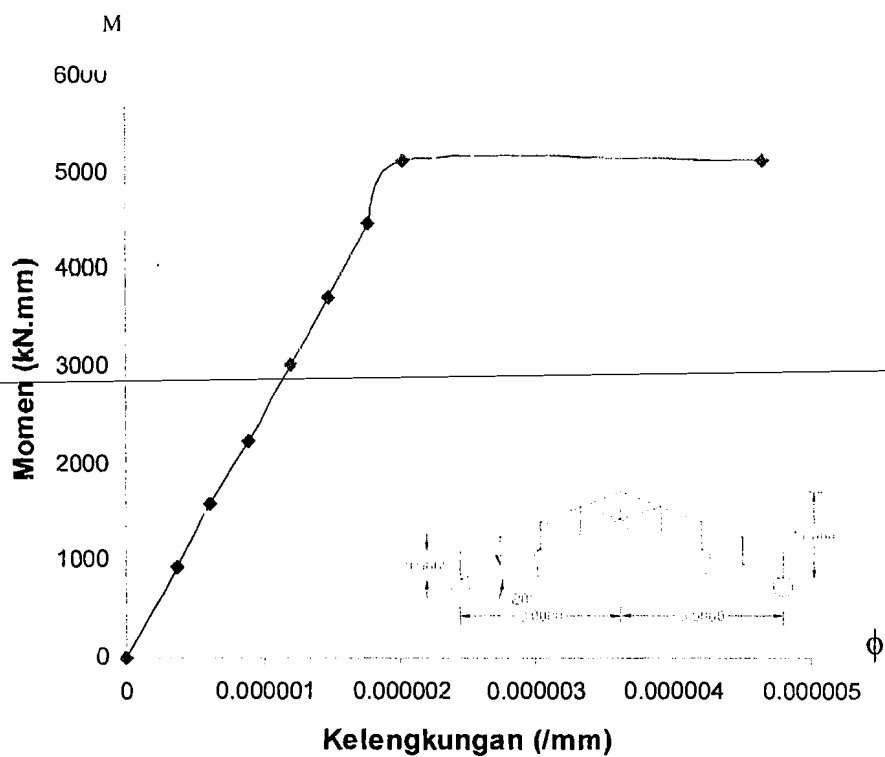
Dari hasil penelitian didapatkan data beban – lendutan ($P - \Delta$), sehingga dapat dicari momen – kelengkungan ($M - \phi$), untuk mencari kelengkungan dari rangka batang tepi sejajar dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.61) Hasil perhitungan kelengkungan dapat dilihat pada lampiran 2 dan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 5.30, 5.31, 5.32, dan 5.33 dibawah ini.



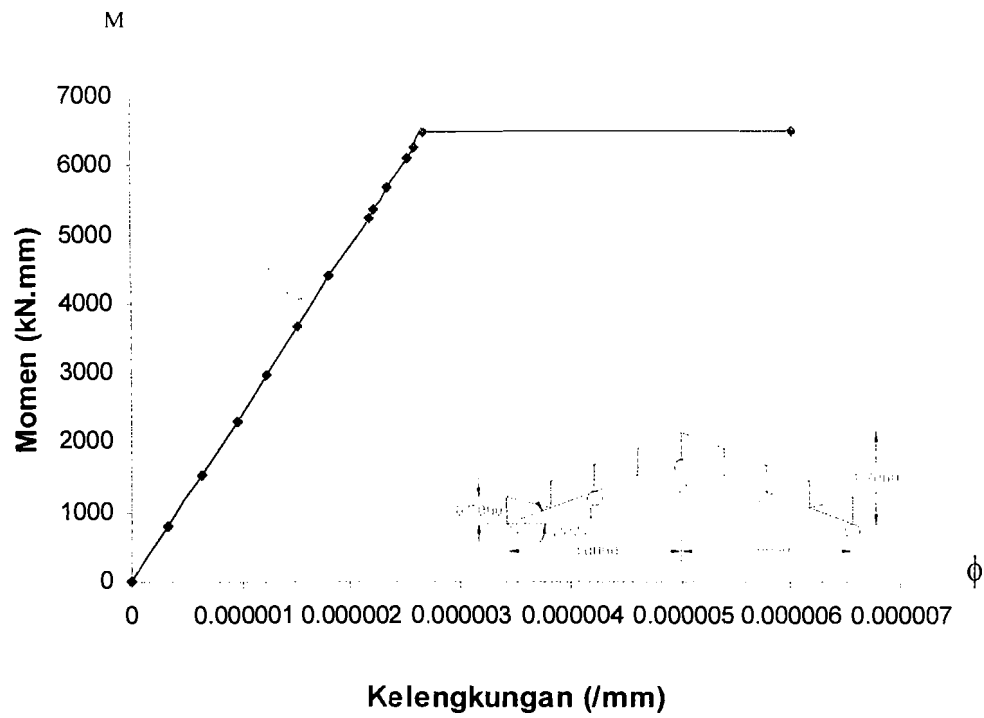
Gambar 5.30 Grafik hubungan momen -kelengkungan benda uji 1 analisis SAP 2000



Gambar 5.31 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 2 analisis SAP 2000



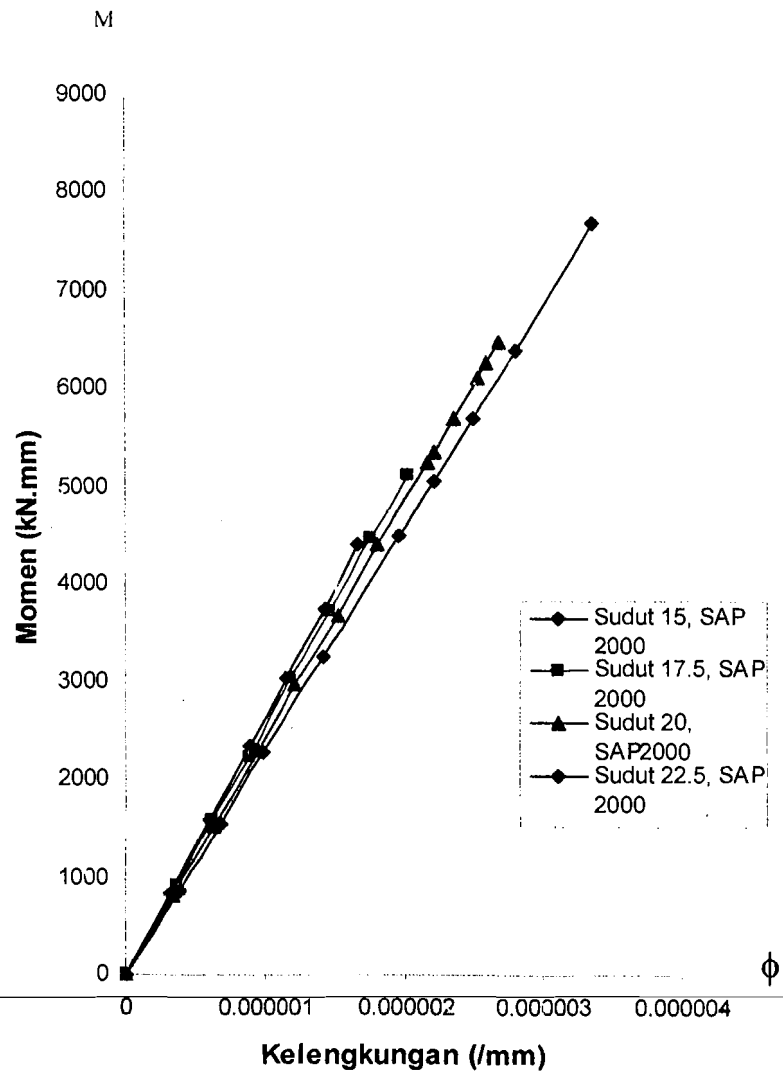
Gambar 5.32 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 3 analisis SAP 2000



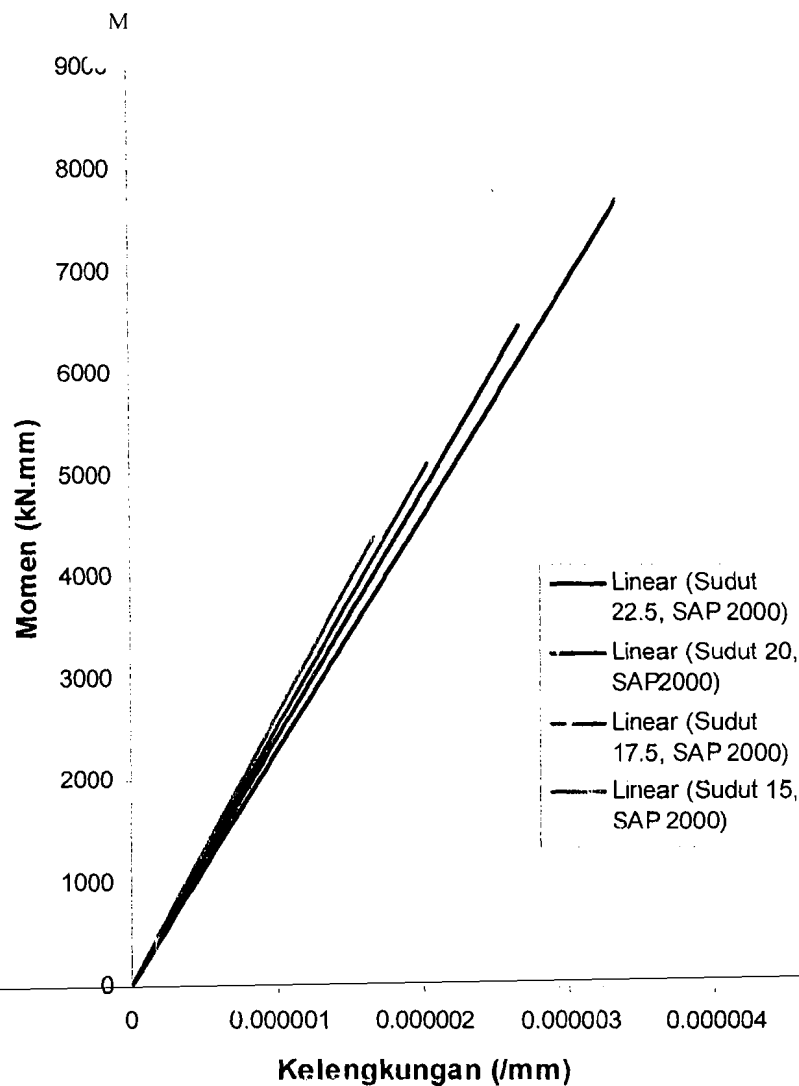
Gambar 5.33 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 4 analisis SAP 2000

5.4.4 Analisis Faktor Kekakuan Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Variasi Sudut Kemiringan Atap Hasil analisis SAP 2000

Hubungan momen - kelengkungan hasil analisis SAP 2000 keempat rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hingga beban maksimum, ditunjukkan pada Gambar 5.34 dibawah ini.



Gambar 5. 34 Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji hasil analisis SAP 2000



Gambar 5. 35 Regresi grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji hasil analisis SAP 2000

Pada Gambar 5.34 dan Gambar 5.35 terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° memiliki kelengkungan yang lebih kecil dibanding dengan rangka dengan sudut $17,5^\circ$, 20° dan $22,5^\circ$. Sehingga semakin besar kelengkungan yang terjadi maka semakin kecil faktor kekakuan dapat dilihat pada

lampiran 2. Untuk mencari faktor kekakuan rangka dapat dicari dengan persamaan (3.61). Dari persamaan tersebut diperoleh faktor kekakuan seperti pada Tabel 5.8. Dengan anggapan bahwa faktor kekakuan rangka sudut 15° sama dengan 1, maka rasio faktor kekakuan ketiga benda uji lainnya terhadap rangka sudut 15° seperti pada Tabel 5.8 dibawah ini.

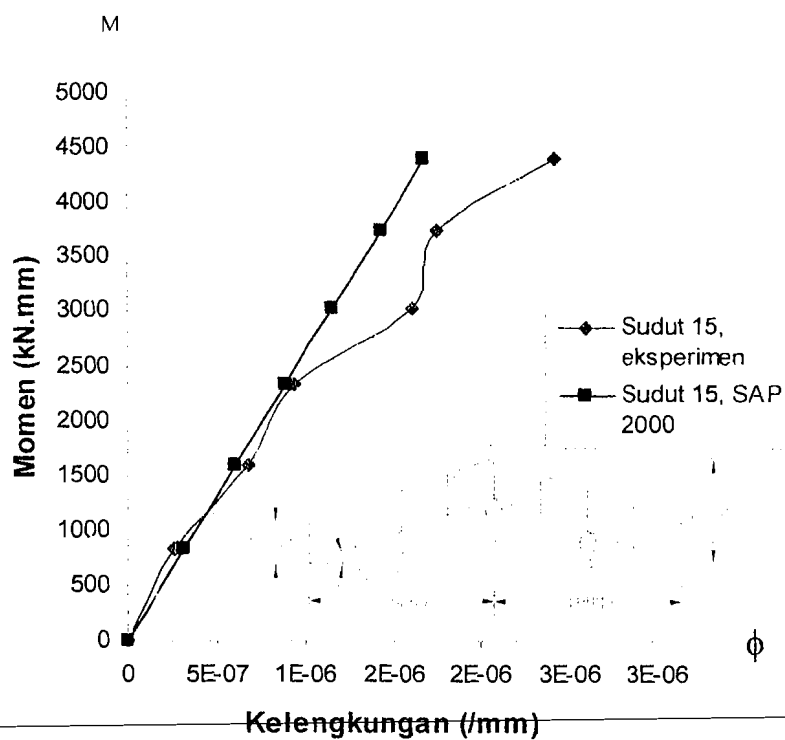
Tabel 5.8 Rasio faktor kekakuan hasil analisis SAP 2000

Sudut rangka batang tepi sejajar	Momen Maks (kN.mm)	ϕ (/mm)	Faktor kekakuan (kN.mm ²)	Rasio faktor kekakuan
15°	4410	0,0000017	2504117647	1
$17,5^\circ$	5130	0,0000020	2565000000	0,989
20°	6480	0,0000027	2400000000	0,975
$22,5^\circ$	7695	0,0000034	2263235294	0,872

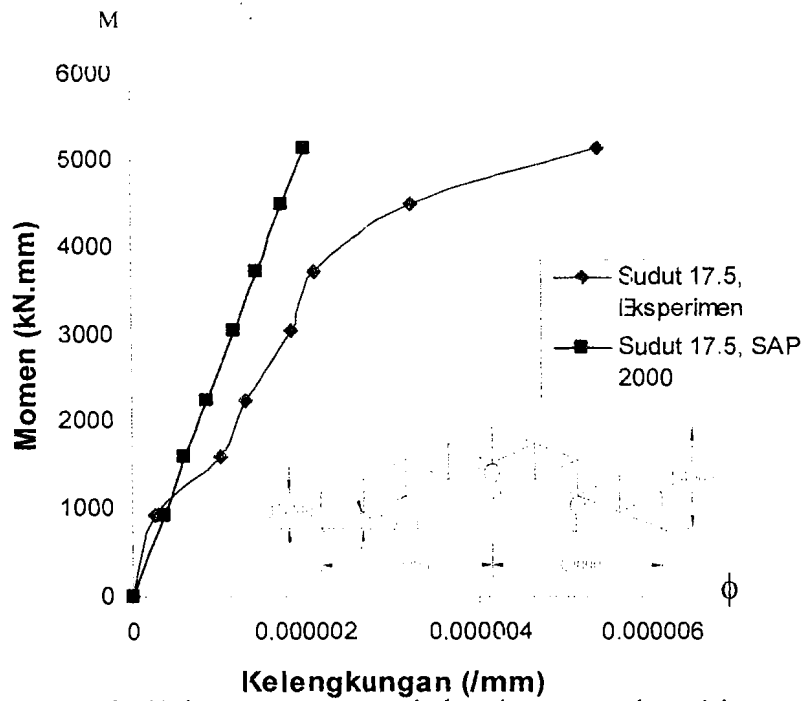
Dari Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai faktor kekakuan 1,011 kali lebih besar dibanding rangka sudut $17,5^\circ$, 1,081 kali lebih besar dari faktor kekakuan rangka sudut 20° dan mempunyai faktor kekakuan 1,146 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap $22,5^\circ$. Rangka dengan sudut miring atap 15° memiliki faktor kekakuan paling besar dibanding sampel rangka dengan sudut lain, hal itu dimungkinkan karena rangka sudut 15° memiliki lentang efektif (I_e) paling pendek dibanding sampel rangka lainnya.

5.4.5 Grafik Momen – Kelengkungan Hasil Eksperimen Dan Analisa SAP 2000

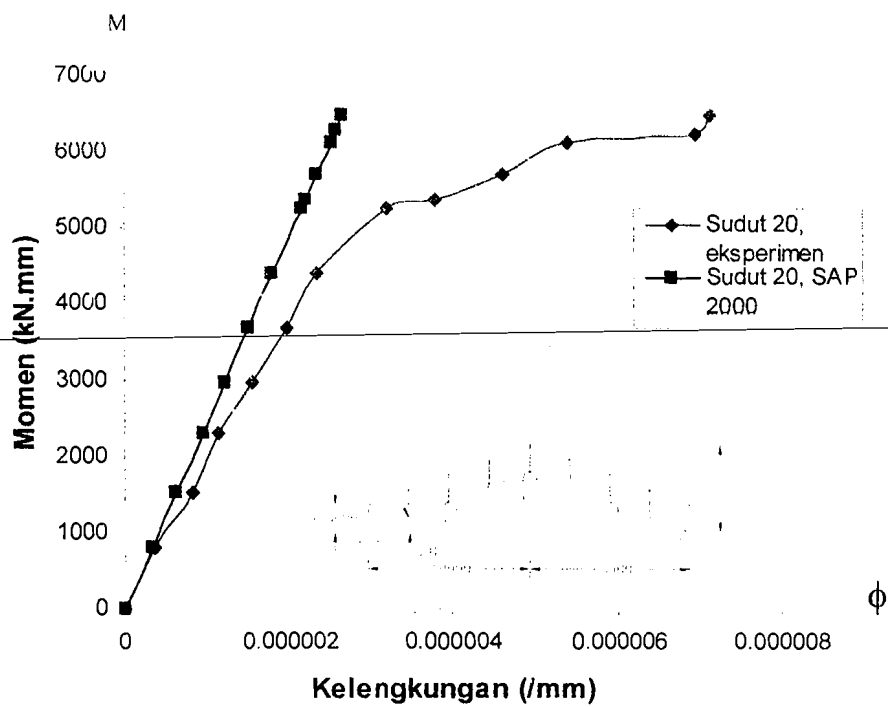
Dari gabungan grafik hasil eksperimen dan analisis menggunakan SAP 2000 didapat hubungan momen - kelengkungan seperti pada Gambar 5.36, 5.37, 5.38, dan 5.39 dibawah ini.



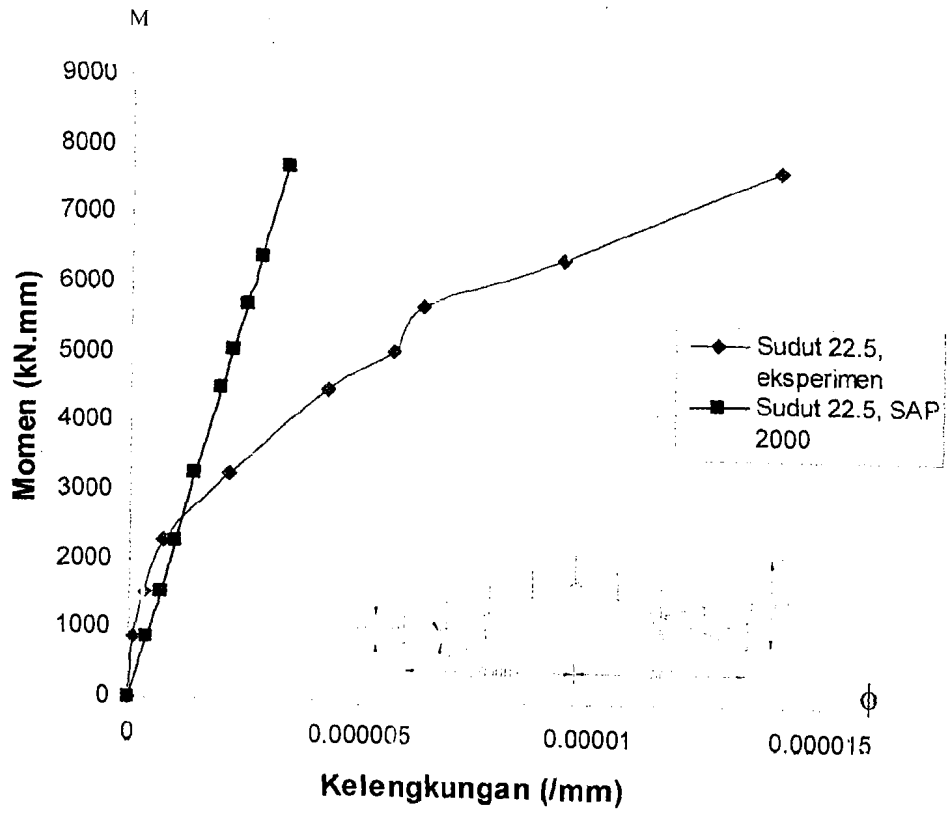
Gambar 5.36 Hubungan momen – kelengkungan sudut miring atap 15° hasil eksperimen dan analisis SAP 2000



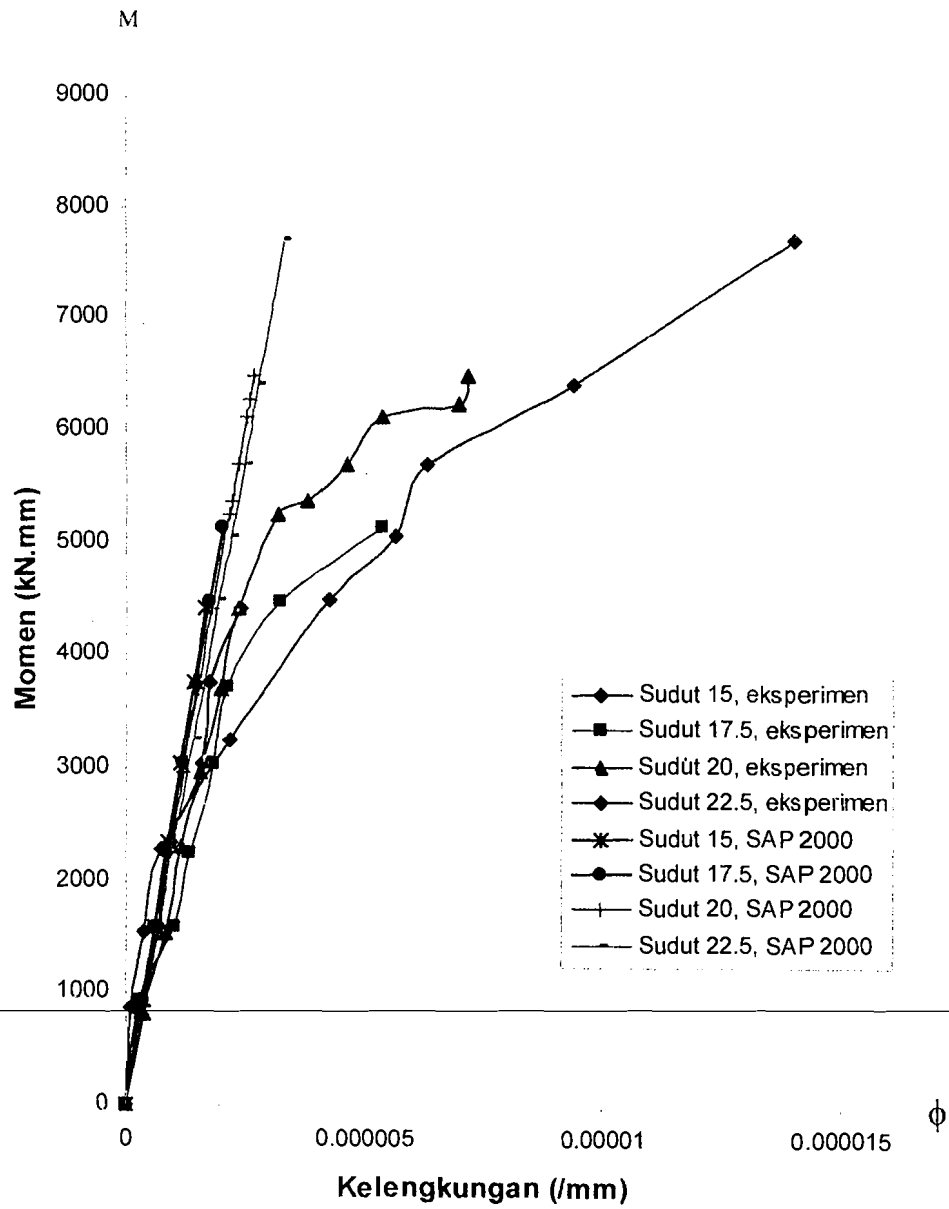
Gambar 5.37 Hubungan momen – kelengkungan sudut miring atap 17,5° hasil pengujian dan analisis SAP 2000



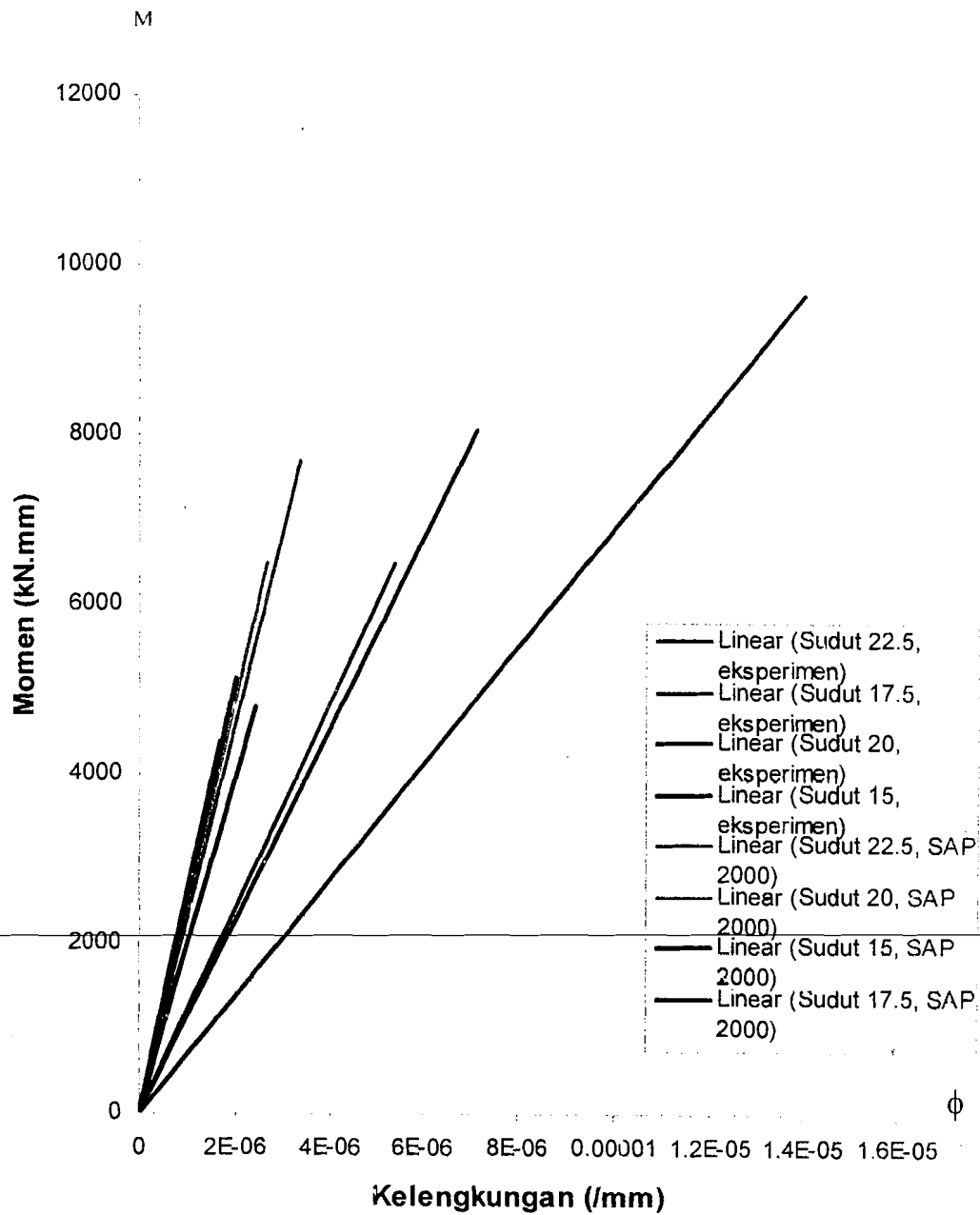
Gambar 5.38 Hubungan momen – kelengkungan sudut miring atap 20° hasil pengujian dan analisis SAP 2000



Gambar 5.39 Hubungan momen – kelengkungan sudut miring atap 22,5° hasil pengujian dan analisis SAP 2000



Gambar 5.40 Hubungan momen – kelengkungan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000



Gambar 5.41 Regresi Hubungan momen – kelengkungan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000

Tabel 5.9 Perbandingan hasil eksperimen dengan analisis SAP 2000

Sudut rangka batang tepi sejajar	Beban maksimum (kN)	Pengujian		Analisis menggunakan SAP	
		Faktor kekakuan (kN.mm ²)	Rasio faktor kekakuan	Faktor kekakuan (kN.mm ²)	Rasio faktor kekakuan
15°	2,940	1837500000	1	2594117647	1
17,5°	3,420	950000000	0,517	2565000000	0,989
20°	4,320	912676056,3	0,497	2400000000	0,925
22,5°	5,130	549642857,1	0,299	2263235294	0,872

Pada Tabel 5.9 terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hasil eksperimen mempunyai faktor kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan analisis menggunakan SAP 2000. Hal itu dimungkinkan karena pada analisis menggunakan SAP tidak mengakomodasi adanya peristiwa tekuk lokal.

Pada analisis menggunakan SAP 2000 untuk rangka sudut 15° mempunyai faktor kekakuan 1,412 kali lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut 15° hasil eksperimen, rangka sudut 17,5° mempunyai faktor kekakuan 2,7 kali lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut 17,5° hasil eksperimen, rangka sudut 20° hasil analisis SAP 2000 mempunyai faktor kekakuan 2,629 kali lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut 20° hasil eksperimen, sedangkan untuk rangka sudut 22,5° hasil analisis SAP 2000 mempunyai faktor kekakuan 4,118 kali lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut 22,5° hasil eksperimen.

5.5 TINJAUAN ANALITIS

Uji lentur rangka batang tepi sejajar yang dilakukan di laboratorium menghasilkan beban maksimum yang dapat dipikul oleh rangka. Beban maksimum ($P_{\text{eksperimen}}$) hasil eksperimen kemudian digunakan untuk memperoleh gaya aksial terbesar pada komponen tekan (P_{cr}) dengan menggunakan SAP 2000 seperti terdapat pada Lampiran 3.

5.5.1 Nilai Koefisien Tekuk

a. Koefisien Tekuk Pelat Hasil Uji Pendahuluan

Berdasarkan uji desak tiga benda uji profil *lipped channel* 60×22×8 tebal 1,2 mm, dengan tinggi masing-masing sampel 300 mm didapat nilai F_{cr} rata-rata = 89,931 Mpa. Nilai koefisien tekuk pelat untuk batang tekan ini dapat dicari menggunakan Persamaan (3.28) yang ditulis kembali di bawah ini. Hasil perhitungan seperti pada Lampiran 6 dan tabel 5.10.

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

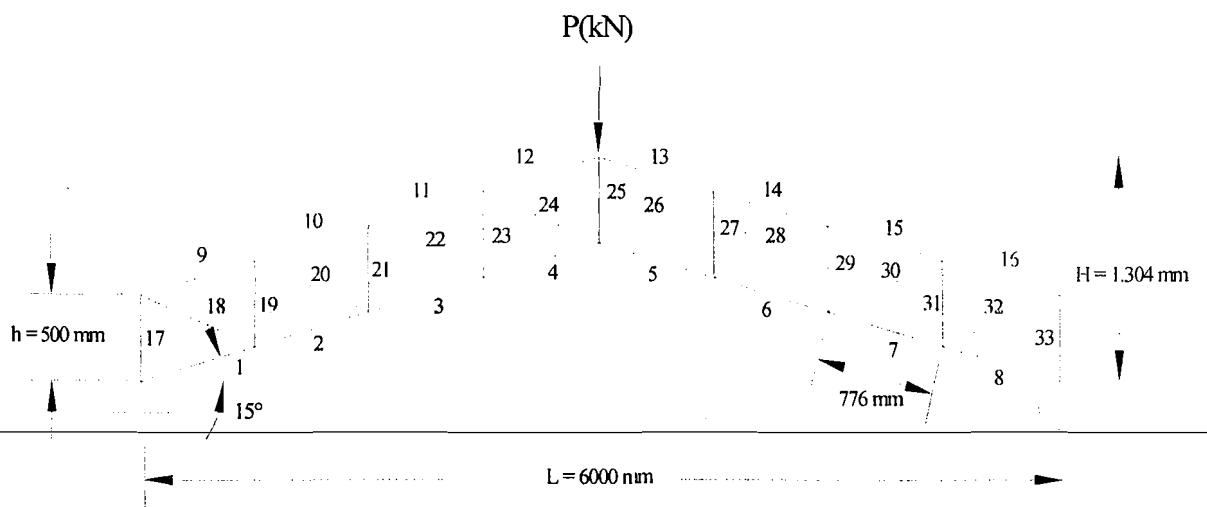
Tabel 5. 10 Koefisien tekuk pelat uji desak profil

Benda uji	F_{cr} (MPa)	π	A (mm)	b/t	μ	Koefisien Tekuk pelat (k)
Uji desak	89,931	3,14	144	18,333	0,3	0,167

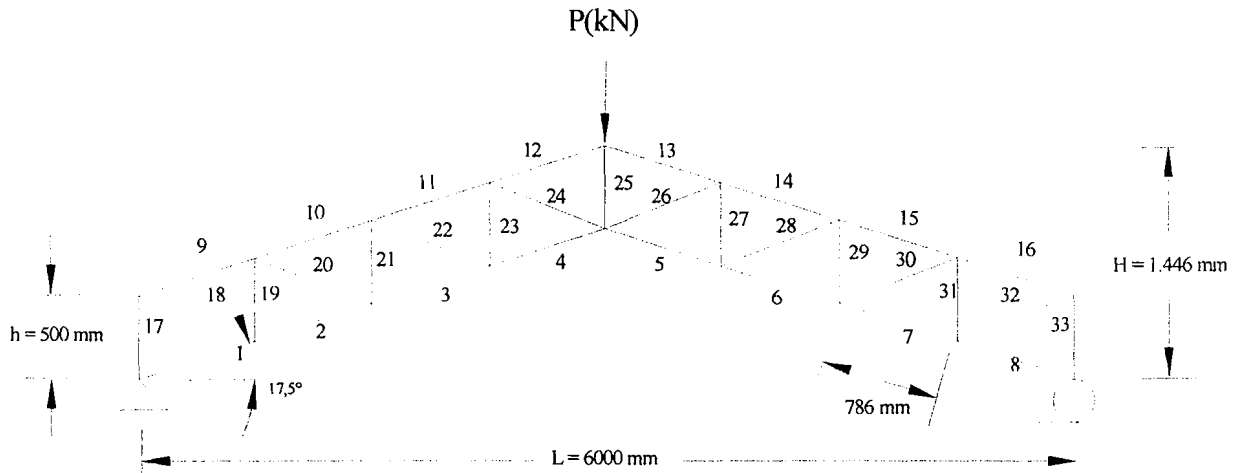
b. Analisis Numerik

Dari hasil analisis SAP 2000 diperoleh *element forces* (P) sehingga dapat dicari nilai F_{cr} seperti yang terdapat pada lampiran 5, dan dapat dicari pula koefisien tekuk pelat (k) menggunakan Persamaan (3.28). Koefisien tekuk pelat (k) hanya dapat diperoleh dari batang yang rusak akibat tekuk.

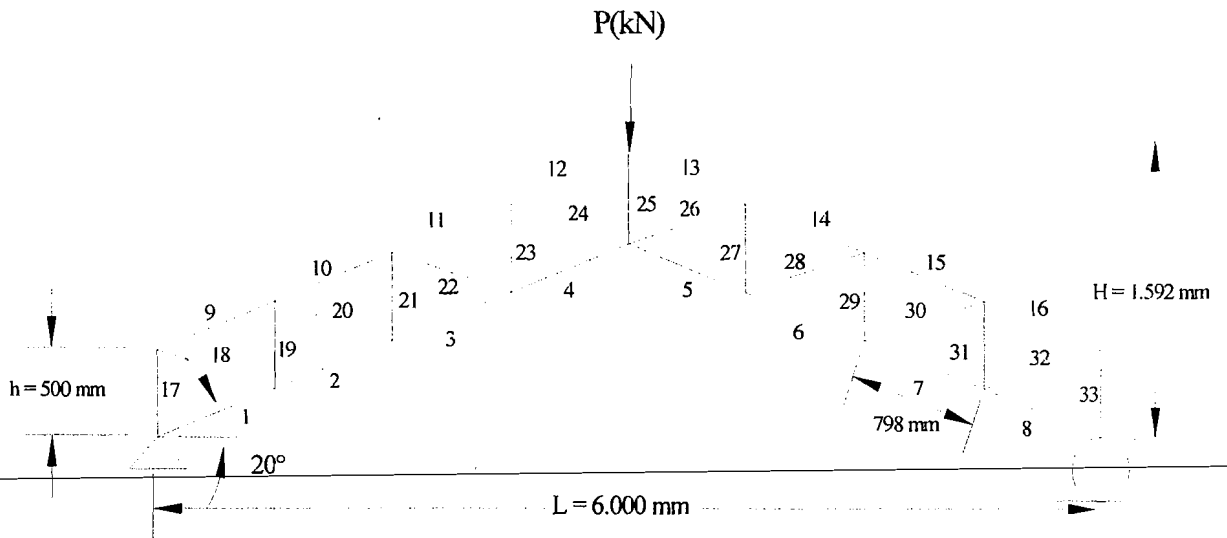
Empat benda uji rangka batang tepi sejajar mengalami tekuk pada batang tekan, yaitu masing masing terjadi pada batang 12 seperti Gambar 5.42, 5.43, 5.44, 5.45 da bawah ini:



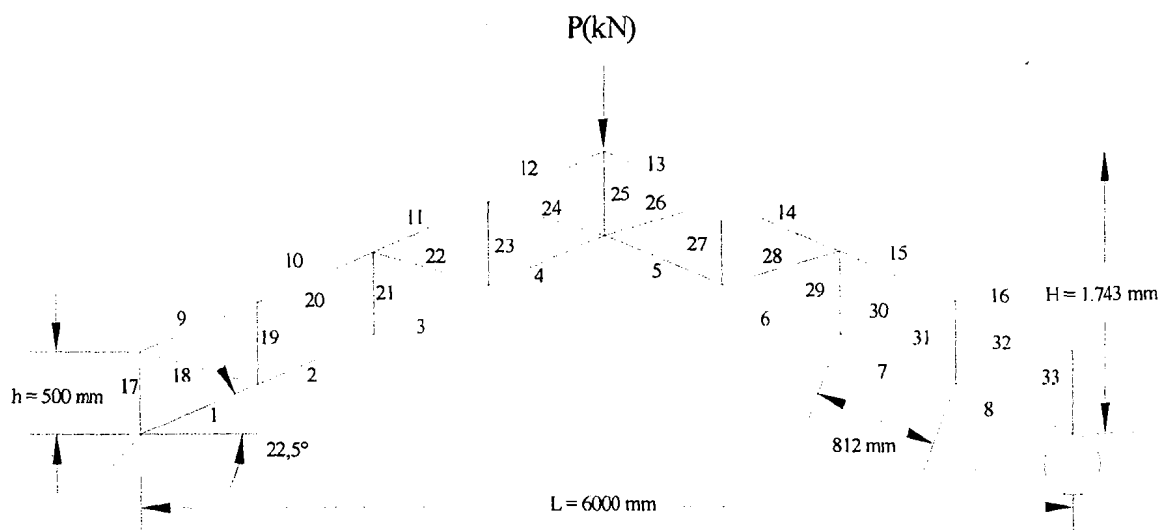
Gambar 5.42 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut 15°



Gambar 5.43 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut $17,5^\circ$



Gambar 5.44 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut 20°



Gambar 5.45 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut $22,5^\circ$.

Pada keempat model benda uji, tekuk yang terjadi adalah *local buckling*. Nilai koefisien tekuk untuk empat benda uji ditunjukkan pada Tabel 5.11 di bawah ini.

Tabel 5.11 Koefisien tekuk plat (k) tiap benda uji

Benda uji	Batang	P_{cr} (kN)	π	A (mm)	F_{cr} (MPa)	b/t	μ	Koefisien tekuk (k)
1	12	8,926	3,14	144	61,986	18,333	0,3	0,115
2	12	10,506	3,14	144	72,958	18,333	0,3	0,136
3	12	13,462	3,14	144	93,486	18,333	0,3	0,174
4	12	16,240	3,14	144	112,778	18,333	0,3	0,209

dengan : P_{cr} = beban tekuk; A = luas penampang melintang; F_{cr} = tegangan kritis,

5.6 PEMBAHASAN

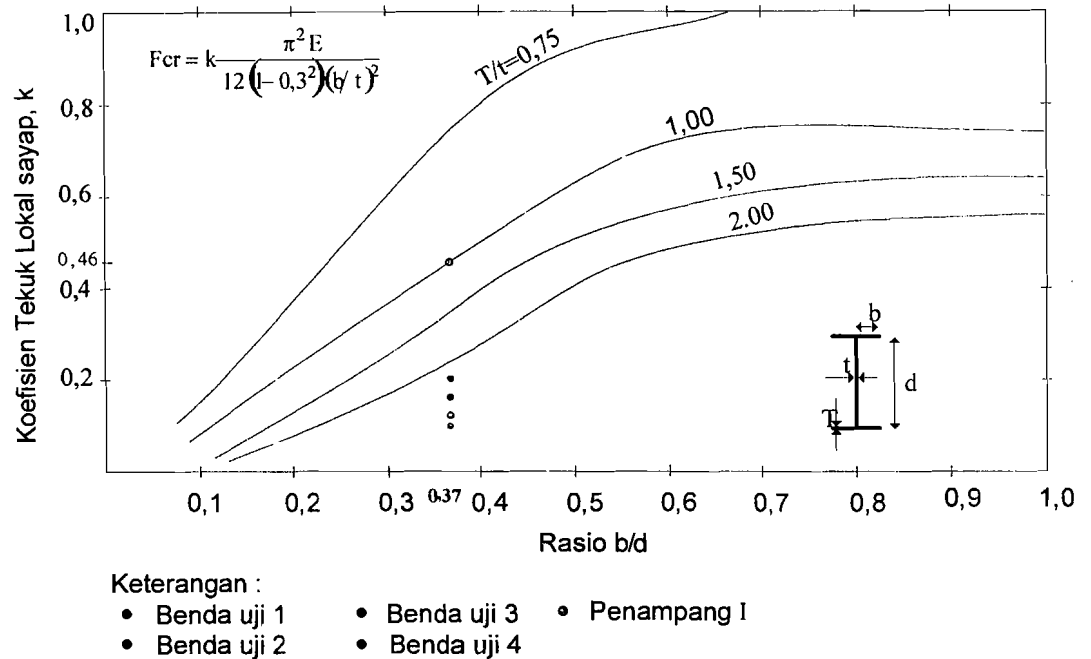
Dari penelitian uji lentur rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap didapatkan hubungan beban (P) dan lendutan (Δ), yang menghasilkan nilai kekakuan. Berdasarkan grafik hubungan beban - lendutan, dapat diketahui kekakuan dan kekuatan setiap struktur rangka batang. Hal ini dapat diketahui berdasarkan Gambar 5.8 dan Tabel 5.4, beban maksimal yang dapat dipikul rangka batang berkisar antar 2,9 kN sampai 5,13 kN, sedangkan lendutan yang terjadi berkisar antara 8,55 mm sampai 25,2 mm. Beban maksimum tersebut relatif kecil, hal ini bisa disebabkan oleh kualitas bahan yang digunakan. Pada penelitian ini baja profil yang digunakan memiliki nilai tegangan leleh (F_y) yang relatif kecil yaitu 103,944 Mpa.

Dalam penelitian ini berdasarkan Gambar 5.8 dan Tabel 5.4 dapat disimpulkan bahwa, dari keempat model benda uji dapat dilihat bahwa semakin besar sudut miring atap maka beban maksimum yang dapat ditahan rangka sebelum terjadinya tekuk semakin besar. Hal itu dimungkinkan karena pengaruh langsung sudut miring atap terhadap tinggi rangka batang tepi sejajar, jadi bertambah besarnya sudut miring atap akan mengakibatkan meningkatnya kekuatan rangka. Besar lendutan bertambah pada setiap kenaikan sudut miring atap, hal ini dimungkinkan karena pengaruh sudut miring atap terhadap panjang bentang efektif rangka (L_1). Semakin besar sudut miring atap akan berakibat bertambah panjangnya batang sisi sejajar rangka sehingga bentang efektif rangka juga bertambah panjang. Bertambah panjangnya bentang efektif pada setiap kenaikan sudut miring atap berakibat semakin besarnya lendutan dan menurunnya faktor kekakuan rangka.

Rangka batang hasil analisis menggunakan SAP 2000 memiliki nilai kekakuan yang lebih besar dari rangka batang hasil penelitian, hal ini disebabkan pada analisis SAP 2000 tidak mengakomodasi adanya peristiwa tekuk lokal, maka pada analisis SAP rangka batang cenderung memiliki kekakuan yang lebih besar.

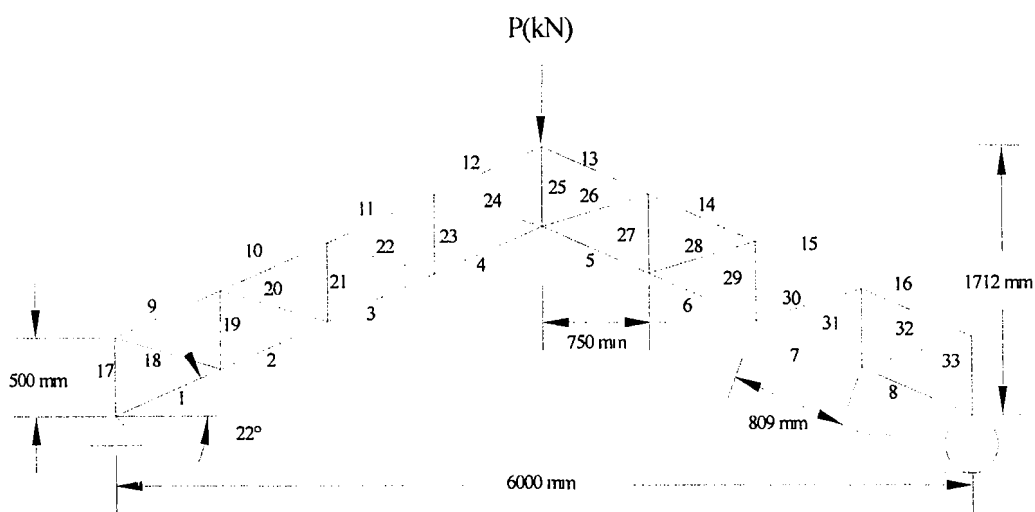
Rangka batang tepi sejajar mengalami tekuk lokal pada batang tepi atas yang mengalami beban paling besar. Nilai koefisien tekuk elemen penampang didapat berdasarkan tegangan kritis (F_{cr}) batang yang mengalami tekuk. Tegangan kritis (F_{cr}) profil dicari berdasarkan beban maksimum yang dapat dipikul oleh rangka pada pengujian lentur rangka. Kerusakan yang dialami oleh rangka pada pengujian dan pada analisis SAP terletak pada tempat yang sama yaitu pada batang tepi atas yang mengalami beban paling besar yakni batang pada bagian puncak rangka.

Dari Tabel 5.11 terlihat bahwa koefisien tekuk pelat berdasarkan tegangan kritis (F_{cr}) hasil uji lentur didapat nilai yang relatif kecil, yaitu untuk sudut miring atap 15° mempunyai $k = 0,115$, sudut miring atap $17,5^\circ$ mempunyai $k = 0,136$, sudut miring atap 20° mempunyai $k = 0,174$, sedangkan untuk sudut miring atap $22,5^\circ$ memiliki $k = 0,209$. Berdasarkan rasio lebar sayap terhadap tinggi badan profil benda uji ($b/h = 0,37$), nilai koefisien tekuk hasil pengujian sangat jauh berbeda dengan nilai koefisien tekuk untuk panampang I dengan rasio lebar sayap terhadap tinggi badan (b/d) yang sama dan rasio tebal plat sayap terhadap badan (T/t) = 1 seperti dikemukakan oleh *Trahair* dan *Bradford (1988)* pada Gambar 5.46 yaitu $k = 0,46$, begitu juga dengan koefisien tekuk untuk pelat pada Gambar 3.11 memiliki nilai koefisien tekuk pelat minimal, $k = 0,425$ maupun nilai koefisien tekuk menurut *Schafer (1997)*, yaitu $k = 0,72$.

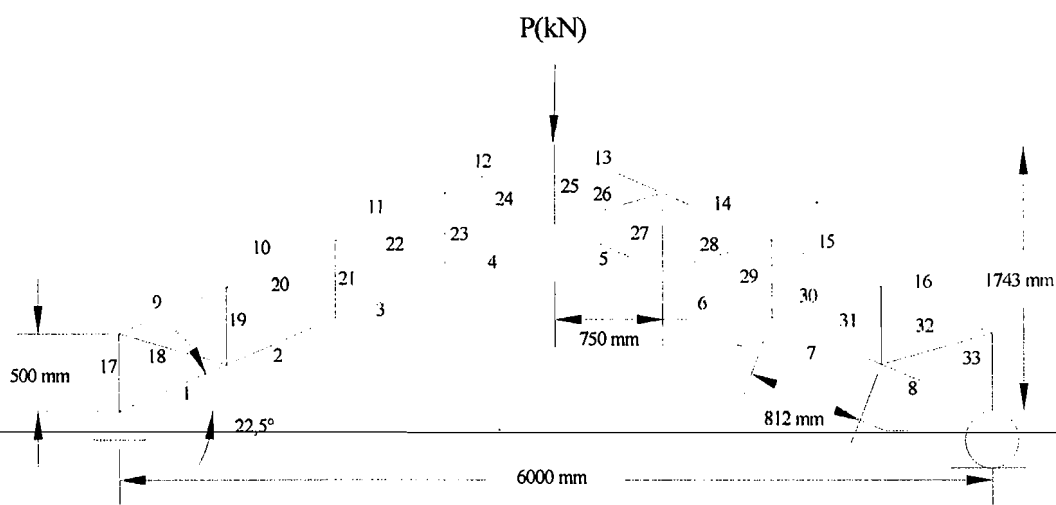


Gambar 5.46 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi tekan. (Trahair dan Bradford 1988)

Pada pembahasan ini juga dibandingkan kekakuan, kekuatan dan koefisien tekuk (k) benda uji ke-4 yaitu rangka dengan sudut miring atap $22,5^\circ$ benda uji pada penelitian "Perilaku Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Variasi Tinggi Terhadap Bentang" dan rangka dengan sudut miring atap yang hampir sama yaitu sudut 22° seperti pada penelitian "Perilaku Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Variasi Jarak Batang Vertikal" seperti Gambar 5.47 dan Gambar 5.48. Beban maksimal yang dapat dipikul rangka serta lendutan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.12.



Gambar 5. 47 Rangka batang tepi sejajar sudut 22°



Gambar 5. 48 Rangka batang tepi sejajar sudut $22,5^\circ$

Tabel 5.12 Rasio Kekakuan dan kekuatan rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal 0,125 pada rangka sudut 22° dan rangka sudut 22,5°

Sudut (α°)	Rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang pengisi vertikal 0,125				
	Beban maks (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
22	3,66	10,020	0,370	1	1
22,5	5,13	25,200	0,209	0,565	1,402

Terlihat pada Tabel 5.12 bahwa pada rangka batang tepi sejajar pada sudut miring atap 22° memiliki kekakuan 1,77 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 22,5°. Tetapi pada rangka dengan sudut 22,5° memiliki kekuatan 1,402 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 22°. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak batang pengisi vertikal yang sama dengan sudut miring atap yang semakin besar memiliki kekakuan yang lebih kecil dibanding dengan sudut miring atap yang lebih kecil. Hal ini dapat dikarenakan pada sudut miring atap yang lebih kecil memiliki panjang efektif (L_1) batang tekan yang lebih pendek sehingga lendutan yang terjadi kecil maka struktur cenderung lebih kaku. Sudut miring atap yang besar memiliki kekuatan yang lebih besar dibanding rangka dengan sudut yang lebih kecil, sehingga beban maksimum yang dapat ditahan rangka sebelum terjadinya tekuk semakin besar, hal ini dapat dimungkinkan karena pada rangka dengan sudut miring atap kecil memiliki tinggi rangka yang relatif pendek.

Rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang pengisi vertikal 0,125 pada rangka sudut 22° dan sudut 22,5° mengalami tekuk lokal pada batang tepi atas yaitu batang tekan yang mengalami beban terbesar.

Tabel 5.13 Koefisien tekuk plat (k) tiap benda uji pada $\alpha = 22^\circ$ dan $\alpha = 22,5^\circ$

Benda uji Sudut (α°)	Batang	P (kN)	π	A (mm)	F_{cr} (MPa)	b/t	μ	Koefisien tekuk plat (k)
22	12	11,543	3,14	144	80,201	18,333	0,3	0,149
22,5	12	16,240	3,14	144	112,778	18,333	0,3	0,209

Terlihat pada Tabel 5.13 bahwa koefisien tekuk plat (k) relatif kecil, koefisien tekuk plat (k) untuk $\alpha = 22,5^\circ$ lebih besar dari koefisien tekuk plat (k) untuk $\alpha = 22^\circ$. Hal ini karena tegangan kritis (F_{cr}) batang yang mengalami tekuk untuk $\alpha = 22,5^\circ$ juga lebih besar dari tegangan kritis (F_{cr}) pada $\alpha = 22^\circ$.

Beban tekuk yang terjadi pada rangka relatif kecil, menyebabkan nilai koefisien tekuk (k) pelat menjadi sangat kecil. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya tegangan residu pada profil bentukan dingin, karena profil dibentuk dari lembaran pelat yang tipis. Pembentukan profil pada keadaan dingin menyebabkan pelat telah mengalami pelelehan pada saat fabrikasi. Pada elemen struktur tekan, tegangan residu ini dapat mengakibatkan *pre-mature buckling*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penjelasan serta uraian dalam pembahasan Tugas Akhir ini, kesimpulan dan saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

6.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini, rangka batang tepi sejajar profil *Lipped Channel* bentukan dingin dengan sudut miring atap (α) yaitu pada $\alpha = 15^\circ$, $\alpha = 17,5^\circ$, $\alpha = 20^\circ$ dan $\alpha = 22,5^\circ$ adalah sebagai berikut:

1. Rasio kekuatan rangka pada $\alpha = 15^\circ$, $\alpha = 17,5^\circ$, $\alpha = 20^\circ$ dan $\alpha = 22,5^\circ$ adalah 1: 1,163 : 1,469 : 1,745 dan rasio kekakuan rangka pada $\alpha = 15^\circ$, $\alpha = 17,5^\circ$, $\alpha = 20^\circ$ dan $\alpha = 22,5^\circ$ adalah 1: 0,858 : 0,631 : 0,593.
2. Pola kegagalan yang terjadi adalah tekuk lokal pada elemen tekan yang menahan beban terbesar diantara seluruh elemen tekan panyusun tampang. Besarnya tegangan kritis pada elemen yang mengalami tekuk relatif kecil yaitu 61,986 kN/mm² untuk $\alpha = 15^\circ$; 72,958 kN/mm² untuk $\alpha = 17,5^\circ$; 93,486 kN/mm² untuk $\alpha = 20^\circ$ dan 112,778 kN/mm² untuk $\alpha = 22,5^\circ$.
3. Nilai koefisien tekuk plat profil *lipped channel* hasil uji lentur, berkisar antara $k = 0,115$ sampai $k = 0,209$.
4. Rangka hasil analisis SAP lebih kaku dibandingkan dengan rangka hasil eksperimen, hal itu dimungkinkan karena pada analisis SAP tidak mengakomodasi adanya peristiwa tekuk lokal.

Dari perilaku yang ditunjukkan oleh keempat rangka pada eksperimen ini, maka setiap kenaikan sudut miring atap akan berakibat naiknya kekuatan dan menurunnya kekakuan rangka.

6.2 SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan beserta kesimpulan sebelumnya, maka disarankan :

1. Untuk penelitian selanjutnya :
 - a) Pengaruh variasi sudut miring atap pada rangka batang tepi sejajar dengan panjang bentang efektif konstan.
 - b) Pengaruh variasi tinggi batang pengisi vertikal terhadap bentang pada rangka batang tepi sejajar (H_1/L).

 2. Untuk aplikasi lapangan :
 - a) Disarankan dalam penggunaan sudut miring untuk struktur atap dipilih sudut miring yang menghasilkan rangka paling efisien dengan kekuatan dan kekakuan optimum.
-

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Hartono, 2005, *Perilaku Lentur Kuda-kuda Rangka Howe dari Baja Ringan Profil Bentuk Dingin dengan Variasi Jarak Pengekang Lateral*, Tugas akhir jurusan teknik sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Dana Bayu Kanetra dan Arief Fajar Hariyanto, 2005, *Perilaku Lentur Kuda-kuda Baja Ringan*, Tugas akhir jurusan teknik sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- AISC, 1973, *Manual of Steel Construction*, Seventh Edition, American Institute of Steel Construction Inc, New York
- Beedle, Lynn S, 1958, *Plastis Design of Steel Frames*, John Willey & Sons, Inc, The United States of America.
- Ferdinand L. Singer, Darwin Sebayang. Ir, 1985, *Kekuatan Bahan (Teori kokoh, Strength of Materials)*, edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Gere dan Timoshenko, 1987, *Mekanika Bahan*, Jilid I, Airlangga, Jakarta.
- , 2000, *Mekanika Bahan*, Jilid II, Edisi keempat, Airlangga, Jakarta.
- Gideon Hadi Kusuma, 1983, *Perencanaan Bangunan Baja*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Hsieh, Yuan-Yu, 1983, *Teori Dasar Struktur*, Edisi Kedua, diterjemahkan oleh Suryadi, Erlangga, Jakarta.
- Lambert Tall, 1974, *Struktur Steel Design*, 2nd Edition, The Ronald Press Company, New York.
- N.S Trahair and M.A. Bradford, 1988, *The Behaviour and Design of Steel Structures*, 2nd Edition, Chapman and Hall, New York.
- Padosbajayo, 1992, *Pengétahuan Dasar Struktur Baja*, Paguyuban Dosen Baja Yogyakarta, Yogyakarta.
- Salmon, C.G dan J.E. Johnson, 1992, *Struktur Baja Disain dan Perilaku*, Edisi kedua, Jilid I, Erlangga, Jakarta.

Schafer,B.W,1997,*Thin-Walled Column Design Considering Local, Distortional and Euler Buckling, Journal of Structural Engineering,* www.ce.jhu.edu/bschafer/dist_columns/paper.pdf/March ,289-290.

Supriono dan Radhiatama Eka Chrismawan, 2006, *Perilaku Lentur Kuda-kuda dengan Batang Tepi Sejajar Profil Bentukan Dingin,* Tugas akhir jurusan teknik sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Wang, Chu-Kia, 1985, *Pengantar Analisis Struktur Dengan Cara Matrik,* Erlangga, Jakarta.

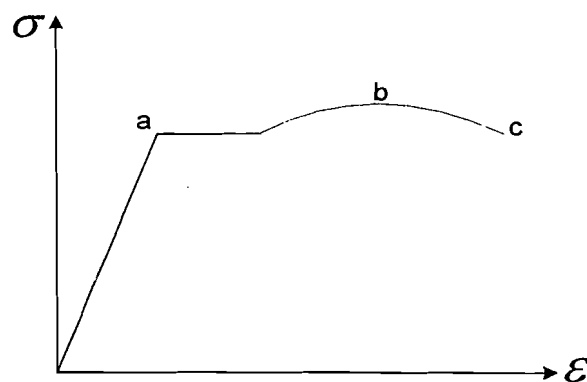
Schodek, 1995, *Struktur,* PT Eresco, Bandung.

LAMPIRAN 1

HASIL UJI BAHAN

I. UJI TARIK BAJA

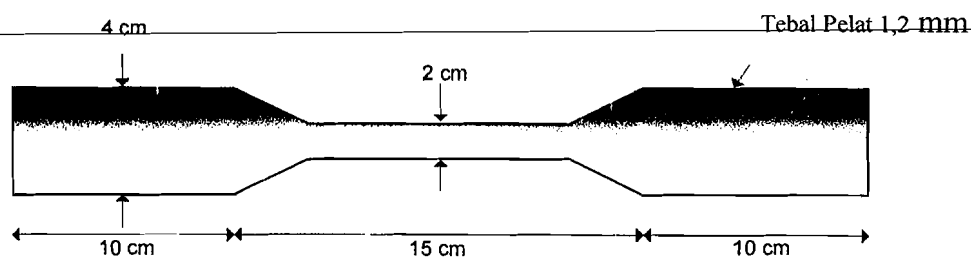
Pengujian ini merupakan uji terhadap kekuatan tarik bahan profil *Lipped Channel* 60×22×0,8 dengan tebal 1,2 mm yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 23 Mei 2006. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :



Beban Leleh (a)

Beban Maksimum (b)

Beban Patah (c)



Gambar L1.1 Benda uji tarik baja

Hasil Pengujian Tarik Profil *Lipped Channel* 60x22x8x1,2

a. Sampel I

Beban leleh = 240 kg

Beban maksimum = 385 kg

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 0,12 \text{ cm}$$

$$A_o = l \times t = 0,24 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kuat leleh } (F_y) = \frac{P_y}{A_o}$$

$$= \frac{240}{0,24}$$

$$= 1000 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 100 \text{ Mpa}$$

Kuat tarik (F_u)

$$= \frac{P_u}{A_o}$$

$$= \frac{385}{0,24}$$

$$= 1604,17 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 160,417 \text{ Mpa}$$

b. Sampel II

$$\text{Beban leleh} = 287,5 \text{ kg}$$

$$\text{Beban maksimum} = 380 \text{ kg}$$

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2,015 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 0,12 \text{ cm}$$

$$A_o = l \times t = 0,2418 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kuat leleh } (F_y) = \frac{P_y}{A_o}$$

$$= \frac{287,5}{0,2418}$$

$$= 1188,99 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 118,899 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tarik } (F_u) &= \frac{P_u}{A_o} \\
 &= \frac{380}{0,2418} \\
 &= 1571,55 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 157,155 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

c. Sampel III

$$\text{Beban leleh} = 227,5 \text{ kg}$$

$$\text{Beban maksimum} = 360 \text{ kg}$$

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2,04 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 0,12 \text{ cm}$$

$$A_o = l \times t = 0,2448 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat leleh } (F_y) &= \frac{P_y}{A_o} \\
 &= \frac{227,5}{0,2448} \\
 &= 929,33 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 92,933 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tarik } (F_u) &= \frac{P_u}{A_o} \\
 &= \frac{360}{0,2448} \\
 &= 1470,59 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 147,059 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat leleh rata-rata} &= \frac{100 + 118,899 + 92,933}{3} \\
 &= 103,944 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

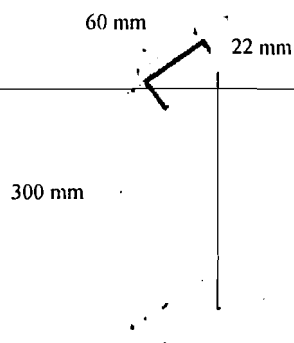
$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tarik rata-rata} &= \frac{160,417 + 157,155 + 147,059}{3} \\
 &= 154,877 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tabel L1. 1 Hasil uji tarik baja

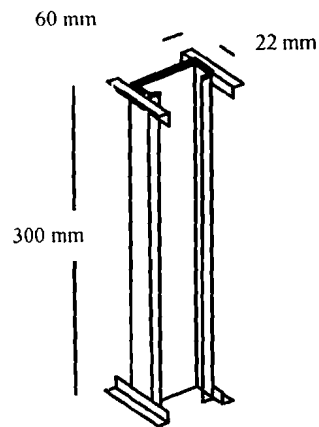
Nilai hasil uji	Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3
Beban leleh (kg)	240	287,5	227,5
Beban maksimum (kg)	385	385	360
Tegangan leleh (F_y)	100	118,899	92,933
Tegangan maksimum (F_u)	160,417	157,155	147,059
F_y rata-rata (Mpa)	103,944		
F_u rata-rata (Mpa)	154,877		

II. UJI DESAK BAJA

Pengujian ini merupakan uji terhadap kuat desak bahan profil *Lipped Channel* 60×22×0,8 dengan tebal 1,2 mm yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 23 Mei 2006. Pengujian menggunakan dua macam benda uji yaitu untuk uji tekuk lokal menggunakan alat sambung las dan baut.



(a) Benda uji tekuk lokal dengan alat sambung las



(b) Benda uji tekuk lokal dengan alat sambung baut

Gambar L1.2 Benda uji desak baja

1. Hasil Uji Desak Profil *Lipped Channel* 60x22x8x1,2 Untuk Tekuk Lokal Dengan Alat Sambung Las

a. Sampel I

$$\text{Beban maksimum} = 1160 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat desak (sampel 1)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{1160 \text{ kg}}{144.10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 805,56 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 80,556 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

b. Sampel II

$$\text{Beban maksimum} = 1335 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat desak (sampel 2)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{1335 \text{ kg}}{144.10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 927,08 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 92,708 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

c. Sampel III

$$\text{Beban maksimum} = 1390 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat desak (sampel 3)} = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}}$$

$$= \frac{1390 \text{ kg}}{144.10^{-2} \text{ cm}^2}$$

$$= 965,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 96,528 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat desak data-rata} = \frac{80,556 + 92,708 + 96,528}{3} = 89,931 \text{ Mpa}$$

Tabel L1. 2 Hasil uji desak baja untuk tekuk lokal dengan alat sambung las

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (30 cm)	Benda uji 2 (30 cm)	Benda uji 3 (30 cm)
Beban maksimum (kg)	1160	1335	1390
Kuat desak (Mpa)	80,556	92,708	96,528
Kuat desak rata-rata (Mpa)	89,931		

2. Hasil Uji Desak Profil Lipped Channel 60x22x8x1,2 Untuk tekuk Lokal Dengan Alat Sambung Baut

a. Sampel I

$$\text{Beban maksimum} = 1150 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat desak (sampel 1)} = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}}$$

$$= \frac{1150 \text{ kg}}{144.10^{-2} \text{ cm}^2}$$

$$= 798,61 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 79,861 \text{ Mpa}$$

b. Sampel II

$$\text{Beban maksimum} = 1070 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat desak (sampel 2)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{1070 \text{ kg}}{144.10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 743,06 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 74,306 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

c. Sampel III

$$\text{Beban maksimum} = 910 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat desak (sampel 3)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{910 \text{ kg}}{144.10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 631,94 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 63,194 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Kuat desak rata-rata} = \frac{78,861 + 74,306 + 63,194}{3} = 72,120 \text{ Mpa}$$

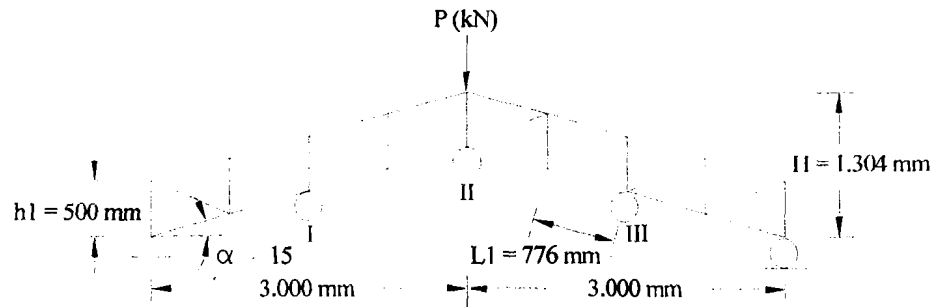
Tabel L1. 3 Hasil uji desak baja untuk tekuk lokal dengan alat sambung baut

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (30 cm)	Benda uji 2 (30 cm)	Benda uji 3 (30 cm)
Beban maksimum (kg)	1050	1070	910
Kuat desak (Mpa)	79,861	74,306	63,194
Kuat desak rata-rata (Mpa)	72,120		

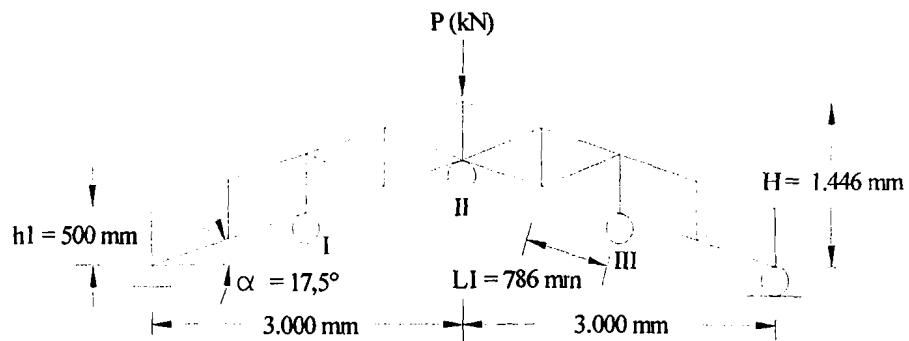
LAMPIRAN 2

HASIL PEMBEBANAN BENDA UJI STRUKTUR RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR DENGAN VARIASI TINGGI TERHADAP BENTANG

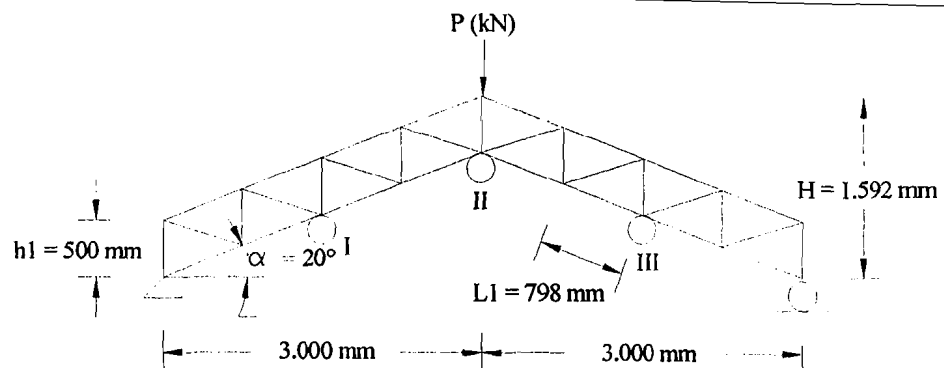
1. RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR DENGAN PERLETAKAN *DIAL GAUGE* DAN BEBAN



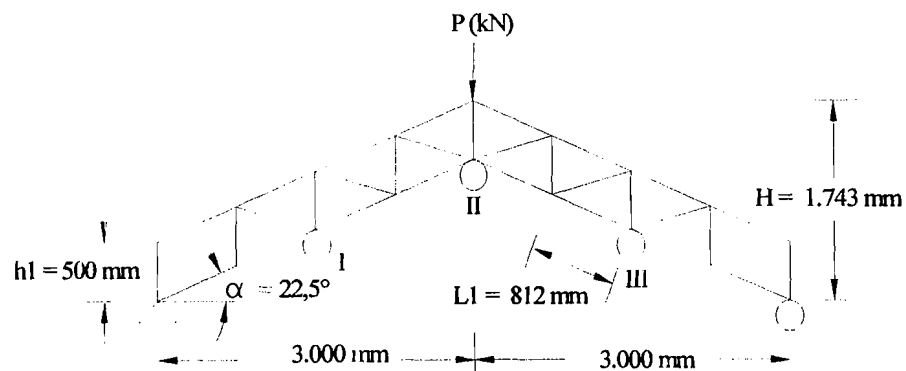
Gambar L2.1 Perletakan *Dial Gauge* dan beban rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 15°



Gambar L2.2 Perletakan *Dial Gauge* dan beban rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap $17,5^\circ$



Gambar L2.3 Perletakan *Dial Gauge* dan beban rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 20°



Gambar L2.4 Perletakan *Dial Gauge* dan beban rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 22,5°

2. HUBUNGAN BEBAN - LENDUTAN HASIL UJI EKSPERIMEN

2.1 Benda Uji 1 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 15°)

Tabel L2. 1 Hubungan beban dan lendutan benda uji 1

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,560	0,990	1,260	0,930
1,060	1,840	2,600	1,810
1,560	2,690	3,800	2,790
2,020	3,650	5,150	3,040
2,500	4,600	6,750	4,960
2,940	5,710	8,550	5,940
2,500	6,310	10,250	6,250
2,580	7,850	13,350	6,830
2,620	9,130	16,280	7,880
2,680	10,830	20,600	8,980
2,760	12,460	23,880	10,800
2,720	14,160	26,130	11,860
2,740	15,890	29,200	12,910
2,460	17,150	32,020	14,060

2.2 Benda Uji 2 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 17,5°)

Tabel L2. 2 Hubungan beban dan lendutan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,620	1,300	1,610	1,310
1,060	1,880	2,850	1,500
1,500	2,780	3,970	2,150
2,020	3,530	5,540	3,390
2,480	4,740	6,850	4,200
2,980	5,220	8,840	5,170
3,420	5,850	11,590	5,200
3,380	7,850	14,490	7,190
3,100	9,620	17,740	7,680
2,980	11,890	19,970	8,180
2,940	12,150	22,50	9,100

2.3 Benda Uji 3 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 20°)

Tabel L2. 3 Hubungan beban dan lendutan benda uji 3

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,540	0,760	1,260	0,940
1,020	1,510	2,320	1,225
1,540	2,380	3,530	2,080
1,980	3,070	4,820	3,045
2,460	3,950	6,200	4,000
2,940	4,780	7,500	4,945
3,500	6,120	9,720	6,110
3,580	7,000	11,290	7,040
3,800	8,120	13,300	8,100
4,080	9,150	15,240	9,225
4,150	10,320	18,480	10,990

Lanjutan Tabel L2.3

4,320	11,670	19,880	12,050
4,280	12,960	22,440	13,940
4,280	13,970	24,610	14,935
3,920	15,050	27,590	16,155
3,760	16,170	29,630	17,920

2.4 Benda Uji 4 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 22,5°)

Tabel L2. 4 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 4

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,580	0,830	0,840	1,030
1,030	1,560	1,870	1,370
1,520	2,270	3,000	2,030
2,170	3,170	5,510	2,990
3,000	4,210	9,070	4,330
3,370	4,940	11,360	5,110
3,800	6,630	13,860	6,880
4,270	8,420	19,000	8,570
5,130	9,180	25,200	9,700
4,580	10,320	28,420	9,890
4,300	11,450	31,260	11,120
4,280	13,230	34,950	13,000
4,200	14,420	37,800	14,200

Perhitungan kekakuan benda uji

a. Benda Uji 1

$$P = 2,940 \text{ kN} ; \Delta = 8,550 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{2,940}{8,550} = 0,344 \text{ kN/mm}$$

b. Benda Uji 2

$$P = 3,420 \text{ kN} ; \Delta = 11,590 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{3,420}{11,590} = 0,295 \text{ kN/mm}$$

c. Benda Uji 3

$$P = 4,320 \text{ kN} ; \Delta = 19,880 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{4,320}{19,880} = 0,217 \text{ kN/mm}$$

d. Benda Uji 4

$$P = 5,130 \text{ kN} ; \Delta = 25,200 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{5,130}{25,200} = 0,203 \text{ kN/mm}$$

Tabel L2.5 Nilai kekakuan hasil pengujian

Sudut rangka batang tepi sejajar	Beban maks (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	Kekakuan (k) (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
15°	2,940	8,550	0,344	1	1
17,5°	3,420	11,590	0,295	0,858	1,163
20°	4,320	19,880	0,217	0,631	1,469
22,5°	5,130	25,200	0,203	0,593	1,745

3. HUBUNGAN BEBAN – LENDUTAN HASIL ANALISIS SAP 2000

3.1 Benda Uji 1 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 15°)

Tabel L2. 6 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 1

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,560	0,702	1,060	0,702
1,060	1,330	2,010	1,330
1,560	1,960	2,960	1,960
2,020	2,530	3,830	2,530
2,500	3,130	4,740	3,130
2,940	3,690	5,570	3,690
2,940	8,770	13,270	8,770

3.2 Benda Uji 2 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 17,5°)

Tabel L2. 7 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 2

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,620	0,807	1,220	0,807
1,060	1,380	2,080	1,380
1,500	1,950	2,950	1,950
2,020	2,630	3,970	2,630
2,480	3,230	4,880	3,230
2,980	3,880	5,860	3,880
3,420	4,450	6,730	4,450
3,420	10,230	15,460	10,230

3.3 Benda Uji 3 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 20°)

Tabel L2. 8 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 3

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,540	0,734	1,110	0,734
1,020	1,390	2,100	1,390
1,540	2,090	3,170	2,090
1,980	2,690	4,070	2,690
2,460	3,340	5,060	3,340
2,940	4,000	6,040	4,000
3,500	4,760	7,200	4,760
3,580	4,870	7,360	4,870
3,800	5,170	7,810	5,170
4,080	5,550	8,390	5,550
4,180	5,680	8,590	5,680
4,320	5,870	8,880	5,870
4,320	13,200	19,960	13,200

3.4 Benda Uji 4 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 22,5°)

Tabel L2. 9 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 4

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,580	0,830	1,260	0,830
1,030	1,470	2,230	1,470
1,520	2,180	3,290	2,180
2,170	3,110	4,700	3,110
3,000	4,290	6,500	4,290
3,370	4,820	7,300	4,820
3,800	5,440	8,230	5,440
4,270	6,110	9,250	6,110
5,130	7,340	11,110	7,340
5,130	15,960	24,150	15,960

Perhitungan kekakuan benda uji

a. Benda Uji 1

$$P = 2,940 \text{ kN} ; \Delta = 5,570 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k_1 = \frac{2,940}{5,570} = 0,528 \text{ kN/mm}$$

b. Benda Uji 2

$$P = 3,420 \text{ kN} ; \Delta = 6,730 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{3,420}{6,730} = 0,508 \text{ kN/mm}$$

c. Benda Uji 3

$$P = 4,320 \text{ kN} ; \Delta = 8,880 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{4,320}{8,880} = 0,486 \text{ kN/mm}$$

d. Benda Uji 4

$$P = 5,130 \text{ kN} ; \Delta = 11,110 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{5,130}{11,110} = 0,462 \text{ kN/mm}$$

Tabel L2.10 Nilai kekakuan hasil analisis SAP 2000

Sudut Rangka batang tepi sejajar	Beban maks (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	Kekakuan (k) (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
15°	2,940	5,570	0,528	1	1
17,5°	3,420	6,730	0,508	0,962	1,163
20°	4,320	8,880	0,486	0,920	1,469
22,5°	5,130	11,110	0,462	0,875	1,745

4. HUBUNGAN MOMEN - KELENGKUNGAN HASIL UJI EKSPERIMEN

4.1 Benda Uji 1 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 15°)

Tabel L2.11 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)			Momen (kN.mm)	Kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000000
0,560	0,990	1,260	0,930	840,000	0,0000003
1,060	1,840	2,600	1,810	1590,000	0,0000007
1,560	2,690	3,800	2,790	2340,000	0,0000009
2,020	3,650	5,150	3,040	3030,000	0,0000016
2,500	4,600	6,750	4,960	3750,000	0,0000018
2,940	5,710	8,550	5,940	4410,000	0,0000024
2,500	6,310	10,250	6,250	3750,000	0,0000035
2,580	7,850	13,350	6,830	3870,000	0,0000053
2,620	9,130	16,280	7,880	3930,000	0,0000069
2,680	10,830	20,600	8,980	4020,000	0,0000095
2,760	12,460	23,880	10,800	4140,000	0,0000109
2,720	14,160	26,130	11,860	4080,000	0,0000117
2,740	15,890	29,200	12,910	4110,000	0,0000132
2,460	17,150	32,020	14,060	3690,000	0,0000146

4.2 Benda Uji 2 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 17,5°)

Tabel L2.12 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)			Momen (kN.mm)	Kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000000
0,620	1,300	1,610	1,310	930,000	0,0000003
1,060	1,880	2,850	1,500	1590,000	0,0000010
1,500	2,780	3,970	2,150	2250,000	0,0000013
2,020	3,530	5,540	3,390	3030,000	0,0000018
2,480	4,740	6,850	4,200	3720,000	0,0000021
2,980	5,220	8,840	5,170	4470,000	0,0000032
3,420	5,850	11,590	5,200	5130,000	0,0000054
3,380	7,850	14,490	7,190	5070,000	0,0000062
3,100	9,620	17,740	7,680	4650,000	0,0000081
2,980	11,890	19,970	8,180	4470,000	0,0000088
2,940	12,150	22,500	9,100	4410,000	0,0000106

4.3 Benda Uji 3 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 20°)

Tabel L2.13 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)			Momen (kN.mm)	Kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000000
0,540	0,760	1,260	0,940	810,000	0,0000004
1,020	1,510	2,320	1,225	1530,000	0,0000008
1,540	2,380	3,530	2,080	2310,000	0,0000012
1,980	3,070	4,820	3,045	2970,000	0,0000016
2,460	3,950	6,200	4,000	3690,000	0,0000020
2,940	4,780	7,500	4,945	4410,000	0,0000023
3,500	6,120	9,720	6,110	5250,000	0,0000032
3,580	7,000	11,290	7,040	5370,000	0,0000038
3,800	8,120	13,300	8,100	5700,000	0,0000046
4,080	9,150	15,240	9,225	6120,000	0,0000054
4,150	10,320	18,480	10,990	6225,000	0,0000070

Lanjutan Tabel L2.13

4,320	11,670	19,880	12,050	6480,000	0,0000071
4,280	12,960	22,440	13,940	6420,000	0,0000080
4,280	13,970	24,610	14,935	6420,000	0,0000090
3,920	15,050	27,590	16,155	5880,000	0,0000107
3,760	16,170	29,630	17,920	5640,000	0,0000112

4.3 Benda Uji 4 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 22,5°)

Tabel L2.14 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 4

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)			Momen (kN.mm)	Kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000000
0,580	0,830	0,840	1,030	870,000	0,0000001
1,030	1,560	1,870	1,370	1545,000	0,0000004
1,520	2,270	3,000	2,030	2280,000	0,0000008
2,170	3,170	5,510	2,990	3255,000	0,0000022
3,000	4,210	9,070	4,330	4500,000	0,0000043
3,370	4,940	11,360	5,110	5055,000	0,0000056
3,800	6,630	13,860	6,880	5700,000	0,0000063
4,270	8,420	19,000	8,570	6405,000	0,0000093
5,130	9,180	25,200	9,700	7695,000	0,0000140
4,580	10,320	28,420	9,890	6870,000	0,0000163
4,300	11,450	31,260	11,120	6450,000	0,0000178
4,280	13,230	34,950	13,000	6420,000	0,0000194
4,200	14,420	37,800	14,200	6300,000	0,0000209

Perhitungan faktor kekakuan berdasarkan hubungan momen - kelengkungan

a. Benda Uji 1

M maksimal = 4410 kNm ; $\phi = 0,0000024/\text{mm}$

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

$$EI = \frac{4410}{0,0000024} = 1837500000 \text{ kNmm}^2$$

b. Benda Uji 2

M maksimal = 5130 kNm ; $\phi = 0,0000054/\text{mm}$

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

$$EI = \frac{5130}{0,0000054} = 9500000000 \text{ kNmm}^2$$

c. Benda uji 3

M maksimal = 6480 kNm ; $\phi = 0,0000071/\text{mm}$

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

$$EI = \frac{6480}{0,0000071} = 912676056,3 \text{ kNmm}^2$$

d. Benda uji 4

M maksimal = 7695 kNm ; $\phi = 0,0000140/\text{mm}$

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

$$EI = \frac{7695}{0,0000140} = 549642857,1 \text{ kNmm}^2$$

Tabel I.2.15 Rasio faktor kekakuan hasil pengujian

Sudut rangka batang tepi sejajar	Momen maksimum (kN.mm)	ϕ (/mm)	Faktor kekakuan (kN.mm ²)	Rasio faktor kekakuan
15°	4410	0,0000024	1837500000	1
17,5°	5130	0,0000054	950000000	0,517
20°	6480	0,0000071	912676056,3	0,497
22,5°	7695	0,0000140	549642857,1	0,299

5. HUBUNGAN MOMEN – KELENGKUNGAN HASIL ANALISIS SAP 2000

5.1 Benda Uji 1 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 15°)

Tabel L2.16 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)			Momen (kN.mm)	Kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000000
0,560	0,702	1,060	0,702	840,000	0,0000003
1,060	1,330	2,010	1,330	1590,000	0,0000006
1,560	1,960	2,960	1,960	2340,000	0,0000009
2,020	2,530	3,830	2,530	3030,000	0,0000012
2,500	3,130	4,740	3,130	3750,000	0,0000014
2,940	3,690	5,570	3,690	4410,000	0,0000017
2,940	8,770	13,270	8,770	4410,000	0,0000040

5.2 Benda Uji 2 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 17,5°)

Tabel L2.17 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)			Momen (kN.mm)	Kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000000
0,620	0,807	1,220	0,807	930,000	0,0000004
1,060	1,380	2,080	1,380	1590,000	0,0000006
1,500	1,950	2,950	1,950	2250,000	0,0000009
2,020	2,630	3,970	2,630	3030,000	0,0000012
2,480	3,230	4,880	3,230	3720,000	0,0000015
2,980	3,880	5,860	3,880	4470,000	0,0000018
3,420	4,450	6,730	4,450	5130,000	0,0000020
3,420	10,230	15,460	10,230	5130,000	0,0000046

5.3 Benda Uji 3 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 20°)

Tabel L2.18 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)			Momen (kN.mm)	Kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000000
0,540	0,734	1,110	0,734	810,000	3,3404E-07
1,020	1,390	2,100	1,390	1530,000	6,3111E-07
1,540	2,090	3,170	2,090	2310,000	0,00000096
1,980	2,690	4,070	2,690	2970,000	1,2266E-06
2,460	3,340	5,060	3,340	3690,000	1,5288E-06
2,940	4,000	6,040	4,000	4410,000	1,8133E-06
3,500	4,760	7,200	4,760	5250,000	2,1688E-06
3,580	4,870	7,360	4,870	5370,000	2,2133E-06
3,800	5,170	7,810	5,170	5700,000	2,3466E-06
4,080	5,550	8,390	5,550	6120,000	2,5244E-06
4,180	5,680	8,590	5,680	6270,000	2,5866E-06
4,320	5,870	8,880	5,870	6480,000	2,6755E-06
4,320	13,200	19,960	13,200	6480,000	6,0088E-06

5.4 Benda Uji 4 (Rangka Dengan Variasi Sudut Miring Atap 22,5°)

Tabel L2.19 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 4

Beban (kN)	Pembacaan lendutan pada dial 2 (mm)			Momen (kN.mm)	Kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000000
0,580	0,830	1,260	0,830	870,000	0,00000004
1,030	1,470	2,230	1,470	1545,000	0,00000007
1,520	2,180	3,290	2,180	2280,000	0,00000010
2,170	3,110	4,700	3,110	3255,000	0,00000014
3,000	4,290	6,500	4,290	4500,000	0,00000020
3,370	4,820	7,300	4,820	5055,000	0,00000022
3,800	5,440	8,230	5,440	5700,000	0,00000025
4,270	6,110	9,250	6,110	6405,000	0,00000028
5,130	7,340	11,110	7,340	7695,000	0,00000034
5,130	15,960	24,150	15,960	7695,000	0,00000073

Perhitungan faktor kekakuan berdasarkan hubungan momen - kelengkungan

a. Benda Uji 1

M maksimal = 4410 kNm ; $\phi = 0,0000017/\text{mm}$

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

$$EI = \frac{4410}{0,0000017} = 2594117647 \text{ kNmm}^2$$

b. Benda Uji 2

M maksimal = 5130 kNm ; $\phi = 0,0000020/\text{mm}$

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

$$EI = \frac{5130}{0,0000020} = 2565000000 \text{ kNmm}^2$$

c. Benda uji 3

M maksimal = 6480 kNm ; $\phi = 2,67556\text{E}-06/\text{mm}$

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

$$EI = \frac{6480}{2,6755\text{E}-06} = 2421977201 \text{ kNmm}^2$$

d. Benda uji 4

M maksimal = 7695 kNm ; $\phi = 0,0000034/\text{mm}$

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

$$EI = \frac{7695}{0,0000034} = 2263235294 \text{ kNmm}^2$$

Tabel L2.20 Rasio faktor kekakuan hasil analisis SAP 2000

Sudut rangka batang tepi sejajar	Momen Maks (kN.mm)	ϕ (/mm)	Faktor kekakuan (kN.mm ²)	Rasio faktor kekakuan
15°	4410	0,0000017	2594117647	1
17,5°	5130	0,0000020	2565000000	0,989
20°	6480	0,0000027	2421977201	0,934
22,5°	7695	0,0000034	2263235294	0,872

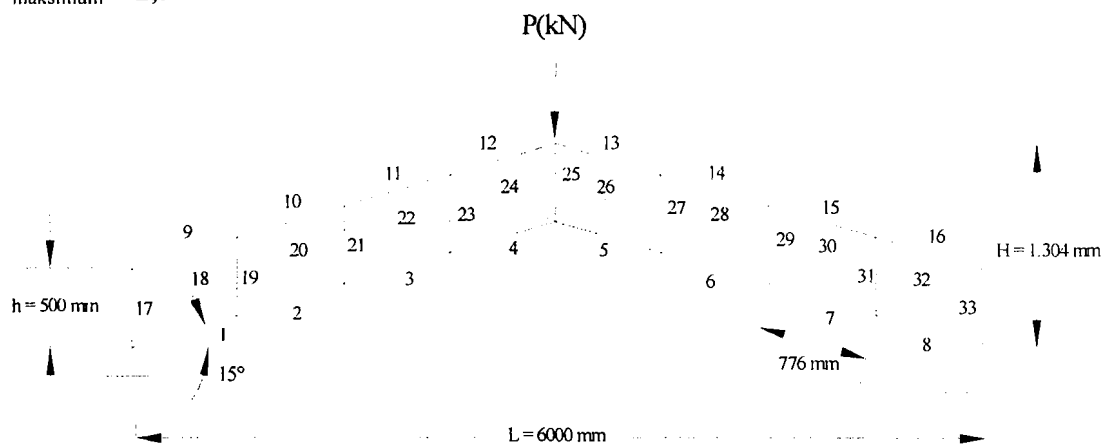
LAMPIRAN 3

DATA GAYA BATANG (*ELEMENT FORCE*) AKSIAL (P) ANALISIS SAP 2000

Beban maksimal (P_{maksimum}) hasil pengujian digunakan untuk mencari gaya batang elemen rangka, data gaya batang (P) hasil analisis SAP 2000 diberikan pada Tabel di bawah ini.

1. BENDA UJI 1

maksimum = 2,940 kN



Gambar L3.1 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut miring
atap 15°

Tabel L3. 1 Gaya batang benda uji 1

Frame	Station mm	P kN
1	0,000	0,042
1	388,000	0,042
1	776,000	0,042
2	0,000	2,285
2	388,000	2,285
2	776,000	2,285
3	0,000	4,540
3	388,000	4,540
3	776,000	4,540

Lanjutan Tabel L3.1

4	0,000	6,804
4	388,000	6,804
4	776,000	6,804
5	0,000	6,804
5	388,000	6,804
5	776,000	6,804
6	0,000	4,540
6	388,000	4,540
6	776,000	4,540
7	0,000	2,285
7	388,000	2,285
7	776,000	2,285
8	0,000	0,042
8	388,000	0,042
8	776,000	0,042
9	0,000	-2,222
9	388,000	-2,222
9	776,000	-2,222
10	0,000	-4,480
10	388,000	-4,480
10	776,000	-4,480
11	0,000	-6,743
11	388,000	-6,743
11	776,000	-6,743
12	0,000	-8,926
12	388,000	-8,926
12	776,000	-8,926
13	0,000	-8,926
13	388,000	-8,926
13	776,000	-8,926
14	0,000	-6,743
14	388,000	-6,743
14	776,000	-6,743
15	0,000	-4,480
15	388,000	-4,480
15	776,000	-4,480
16	0,000	-2,222
16	388,000	-2,222

Lanjutan Tabel L3.1

16	776,000	-2,222
17	0,000	-1,450
17	250,000	-1,450
17	500,000	-1,450
18	0,000	2,253
18	404,000	2,253
18	807,000	2,253
19	0,000	-1,432
19	250,000	-1,432
19	500,000	-1,432
20	0,000	2,270
20	404,000	2,270
20	807,000	2,270
21	0,000	-1,436
21	250,000	-1,436
21	500,000	-1,436
22	0,000	2,278
22	404,000	2,278
22	807,000	2,278
23	0,000	-1,403
23	250,000	-1,403
23	500,000	-1,403
24	0,000	2,204
24	404,000	2,204
24	807,000	2,204
25	0,000	1,714
25	250,000	1,714
25	500,000	1,714
26	0,000	2,204
26	404,000	2,204
26	807,000	2,204
27	0,000	-1,403
27	250,000	-1,403
27	500,000	-1,403
28	0,000	2,278
28	404,000	2,278
28	807,000	2,278
29	0,000	-1,436

Tabel L3. 2 Gaya batang benda uji 2

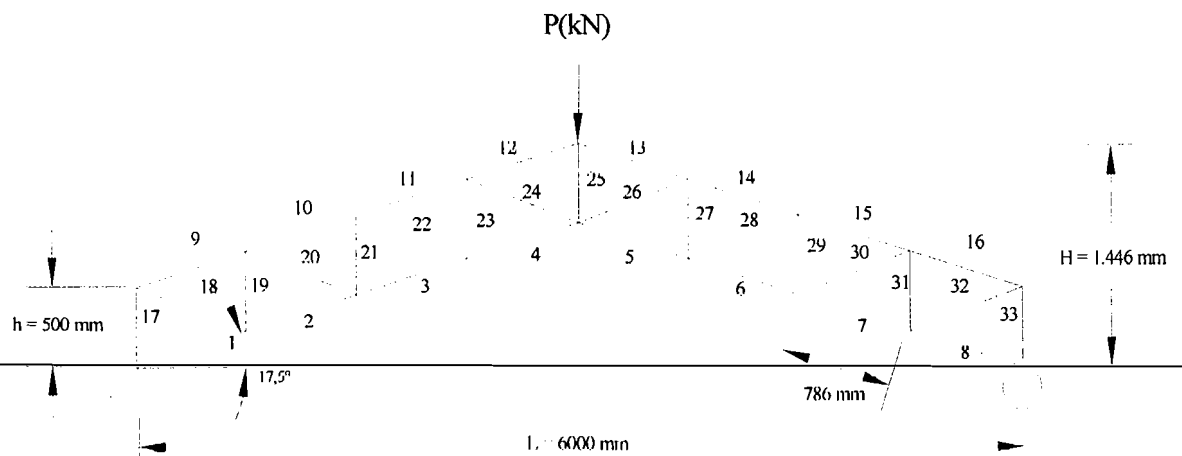
Frame	Station mm	P kN
1	0,000	0,046
1	393,000	0,046
1	786,000	0,046
2	0,000	2,688
2	393,000	2,688
2	786,000	2,688
3	0,000	5,343
3	393,000	5,343
3	786,000	5,343
4	0,000	8,006
4	393,000	8,006
4	786,000	8,006
5	0,000	8,006
5	393,000	8,006
5	786,000	8,006
6	0,000	5,343
6	393,000	5,343
6	786,000	5,343
7	0,000	2,688
7	393,000	2,688
7	786,000	2,688
8	0,000	0,046
8	393,000	0,046
8	786,000	0,046
9	0,000	-2,619
9	393,000	-2,619
9	786,000	-2,619
10	0,000	-5,277
10	393,000	-5,277
10	786,000	-5,277
11	0,000	-7,943
11	393,000	-7,943
11	786,000	-7,943
12	0,000	-10,506
12	393,000	-10,506

Lanjutan Tabel L3.1

29	250,000	-1,436
29	500,000	-1,436
30	0,000	2,270
30	404,000	2,270
30	807,000	2,270
31	0,000	-1,432
31	250,000	-1,432
31	500,000	-1,432
32	0,000	2,253
32	404,000	2,253
32	807,000	2,253
33	0,000	-1,450
33	250,000	-1,450
33	500,000	-1,450

2. BENDA UJI 2

$$P_{\text{maksimum}} = 3,420 \text{ kN}$$



Gambar L3.2 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut miring atap $17,5^\circ$

Lanjutan Tabel L3.2

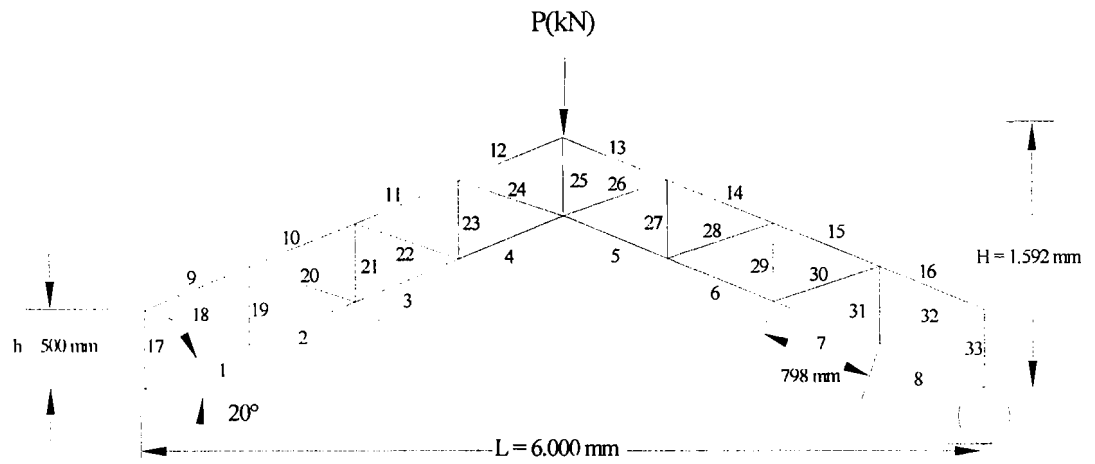
12	786,000	-10,506
13	0,000	-10,506
13	393,000	-10,506
13	786,000	-10,506
14	0,000	-7,943
14	393,000	-7,943
14	786,000	-7,943
15	0,000	-5,277
15	393,000	-5,277
15	786,000	-5,277
16	0,000	-2,619
16	393,000	-2,619
16	786,000	-2,619
17	0,000	-1,690
17	250,000	-1,690
17	500,000	-1,690
18	0,000	2,582
18	397,000	2,582
18	794,000	2,582
19	0,000	-1,670
19	250,000	-1,670
19	500,000	-1,670
20	0,000	2,601
20	397,000	2,601
20	794,000	2,601
21	0,000	-1,676
21	250,000	-1,676
21	500,000	-1,676
22	0,000	2,611
22	397,000	2,611
22	794,000	2,611
23	0,000	-1,632
23	250,000	-1,632
23	500,000	-1,632
24	0,000	2,522
24	397,000	2,522
24	794,000	2,522
25	0,000	2,922

Lanjutan Tabel L3.2

25	250,000	2,922
25	500,000	2,922
26	0,000	2,522
26	397,000	2,522
26	794,000	2,522
27	0,000	-1,632
27	250,000	-1,632
27	500,000	-1,632
28	0,000	2,611
28	397,000	2,611
28	794,000	2,611
29	0,000	-1,676
29	250,000	-1,676
29	500,000	-1,676
30	0,000	2,601
30	397,000	2,601
30	794,000	2,601
31	0,000	-1,670
31	250,000	-1,670
31	500,000	-1,670
32	0,000	2,582
32	397,000	2,582
32	794,000	2,582
33	0,000	-1,690
33	250,000	-1,690
33	500,000	-1,690

3. BENDA UJI 3

$$P_{\text{maksimum}} = 4,320 \text{ kN}$$



Gambar L3.3 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut miring atap 20°

Tabel L 3. 3 Gaya batang benda uji 3

Frame	Station mm	P kN
1	0,000	0,054
1	399,000	0,054
1	798,000	0,054
2	0,000	3,442
2	399,000	3,442
2	798,000	3,442
3	0,000	6,845
3	399,000	6,845
3	798,000	6,845
4	0,000	10,257
4	399,000	10,257
4	798,000	10,257
5	0,000	10,257
5	399,000	10,257
5	798,000	10,257
6	0,000	6,845
6	399,000	6,845
6	798,000	6,845

Lanjutan Tabel L3.3

7	0,000	3,442
7	399,000	3,442
7	798,000	3,442
8	0,000	0,054
8	399,000	0,054
8	798,000	0,054
9	0,000	-3,361
9	399,000	-3,361
9	798,000	-3,361
10	0,000	-6,769
10	399,000	-6,769
10	798,000	-6,769
11	0,000	-10,187
11	399,000	-10,187
11	798,000	-10,187
12	0,000	-13,462
12	399,000	-13,462
12	798,000	-13,462
13	0,000	-13,462
13	399,000	-13,462
13	798,000	-13,462
14	0,000	-10,187
14	399,000	-10,187
14	798,000	-10,187
15	0,000	-6,769
15	399,000	-6,769
15	798,000	-6,769
16	0,000	-3,361
16	399,000	-3,361
16	798,000	-3,361
17	0,000	-2,139
17	250,000	-2,139
17	500,000	-2,139
18	0,000	3,221
18	391,000	3,221
18	783,000	3,221
19	0,000	-2,117
19	250,000	-2,117

Lanjutan Tabel L3.3

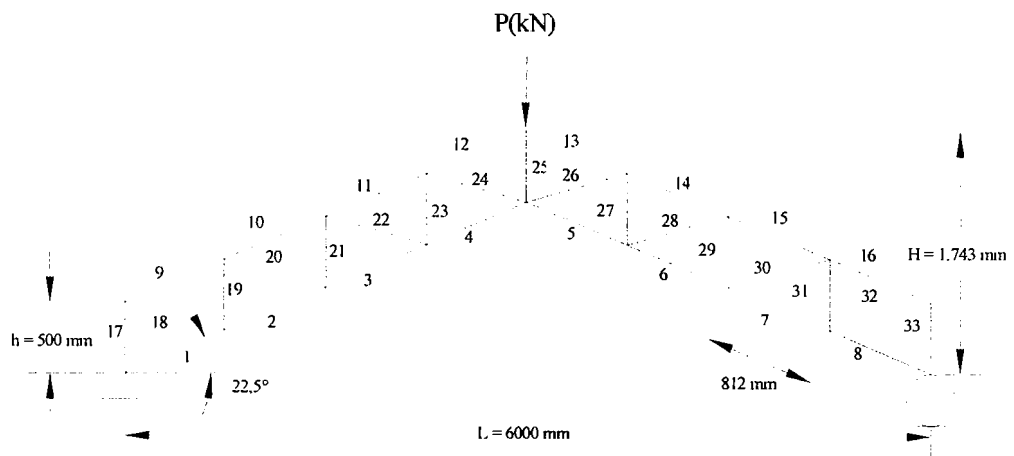
19	500,000	-2,117
20	0,000	3,244
20	391,000	3,244
20	783,000	3,244
21	0,000	-2,124
21	250,000	-2,124
21	500,000	-2,124
22	0,000	3,257
22	391,000	3,257
22	783,000	3,257
23	0,000	-2,065
23	250,000	-2,065
23	500,000	-2,065
24	0,000	3,140
24	391,000	3,140
24	783,000	3,140
25	0,000	4,900
25	250,000	4,900
25	500,000	4,900
26	0,000	3,140
26	391,000	3,140
26	783,000	3,140
27	0,000	-2,065
27	250,000	-2,065
27	500,000	-2,065
28	0,000	3,257
28	391,000	3,257
28	783,000	3,257
29	0,000	-2,124
29	250,000	-2,124
29	500,000	-2,124
30	0,000	3,244
30	391,000	3,244
30	783,000	3,244
31	0,000	-2,117
31	250,000	-2,117
31	500,000	-2,117
32	0,000	3,221

Lanjutan Tabel L3.3

32	391,000	3,221
32	783,000	3,221
33	0,000	-2,139
33	250,000	-2,139
33	500,000	-2,139

4. BENDA UJI 4

$$P_{\text{maksimum}} = 5,130 \text{ kN}$$

**Gambar L3.4** Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut miring atap 22,5°**Tabel L 3. 4** Gaya batang benda uji 4

Frame Text	Station mm	P kN
1	0,000	0,061
1	406,000	0,061
1	812,000	0,061
2	0,000	4,152
2	406,000	4,152
2	812,000	4,152
3	0,000	8,260
3	406,000	8,260
3	812,000	8,260
4	0,000	12,376
4	406,000	12,376
4	812,000	12,376

Lanjutan Tabel L3.4

5	0,000	12,376
5	406,000	12,376
5	812,000	12,376
6	0,000	8,260
6	406,000	8,260
6	812,000	8,260
7	0,000	4,152
7	406,000	4,152
7	812,000	4,152
8	0,000	0,061
8	406,00	0,061
8	812,000	0,061
9	0,000	-4,062
9	406,000	-4,062
9	812,000	-4,062
10	0,000	-8,175
10	406,000	-8,175
10	812,000	-8,175
11	0,000	-12,303
11	406,000	-12,303
11	812,000	-12,303
12	0,000	-16,240
12	406,000	-16,240
12	812,000	-16,240
13	0,000	-16,240
13	406,000	-16,240
13	812,000	-16,240
14	0,000	-12,303
14	406,000	-12,303
14	812,000	-12,303
15	0,000	-8,175
15	406,000	-8,175
15	812,000	-8,175
16	0,000	-4,062
16	406,000	-4,062
16	812,000	-4,062
17	0,000	-2,544
17	250,000	-2,544

Lanjutan Tabel L3.4

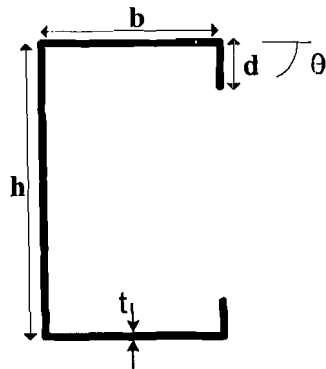
17	500,000	-2,544
18	0,000	3,780
18	386,000	3,780
18	773,000	3,780
19	0,000	-2,522
19	250,000	-2,522
19	500,000	-2,522
20	0,000	3,805
20	386,000	3,805
20	773,000	3,805
21	0,000	-2,530
21	250,000	-2,530
21	500,000	-2,530
22	0,000	3,823
22	386,000	3,823
22	773,000	3,823
23	0,000	-2,454
23	250,000	-2,454
23	500,000	-2,454
24	0,000	3,671
24	386,000	3,671
24	773,000	3,671
25	0,000	7,293
25	250,000	7,293
25	500,000	7,293
26	0,000	3,671
26	386,000	3,671
26	773,000	3,671
27	0,000	-2,454
27	250,000	-2,454
27	500,000	-2,454
28	0,000	3,823
28	386,000	3,823
28	773,000	3,823
29	0,000	-2,530
29	250,000	-2,530
29	500,000	-2,530
30	0,000	3,805

Lanjutan Tabel L3.4

30	386,000	3,805
30	773,000	3,805
31	0,000	-2,522
31	250,000	-2,522
31	500,000	-2,522
32	0,000	3,780
32	386,000	3,780
32	773,000	3,780
33	0,000	-2,544
33	250,000	-2,544
33	500,000	-2,544

LAMPIRAN 4

PERHITUNGAN BATANG TEKAN *LIGHT LIPPED CHANNEL*



Gambar L4.1. Profil *Lipped Channel*

$$h = 60 \text{ mm}$$

$$b = 22 \text{ mm}$$

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$t = 1,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A &= t \times (b + 2h + 2d) \\ &= 1,2 \cdot (60 + (2 \cdot 22) + (2 \cdot 8)) \\ &= 144 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$e_y = 30 \text{ mm}$$

$$e_x = 6,9667 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{1}{12} \cdot t \cdot h^3 + \frac{1}{2} \cdot b \cdot t \cdot h^2 + \frac{2}{3} \cdot t \cdot d^3 + \frac{1}{2} \cdot d \cdot t \cdot h^2 - d^2 \cdot t \cdot h + \frac{1}{6} \cdot b \cdot t^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 1,2 \cdot 60^3 + \frac{1}{2} \cdot 22 \cdot 1,2 \cdot 60^2 + \frac{2}{3} \cdot 1,2 \cdot 8^3 + \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 60^2 - 8^2 \cdot 1,2 \cdot 60 + \frac{1}{6} \cdot 22 \cdot 1,2^3 \\ &= 0,0082 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot h \cdot t^3 + \frac{2}{3} \cdot t \cdot b^3 + \frac{1}{6} \cdot d \cdot t^3 + 2 \cdot d \cdot t \cdot b^2 - (h \cdot t + 2 \cdot b \cdot t + 2 \cdot d \cdot t) \cdot b^2 \cdot \frac{(b + 2 \cdot d)^2}{(h + 2 \cdot b + 2 \cdot d)^2}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 60 \cdot 1,2^3 + \frac{2}{3} \cdot 1,2 \cdot 22^3 + \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 1,2^3 + 2 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 22^2$$

$$-(60 \cdot 1,2 + 2 \cdot 22 \cdot 1,2 + 2 \cdot 8 \cdot 1,2) \cdot 22^2 \cdot \frac{(22 + 2 \cdot 8)^2}{(60 + 2 \cdot 22 + 2 \cdot 8)^2}$$

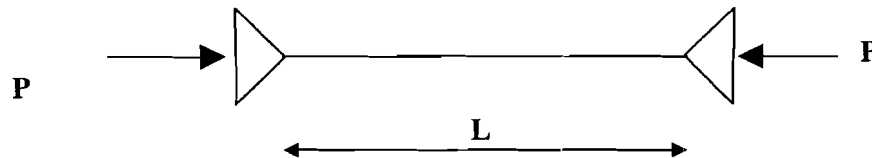
$$= 0,00108 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$F_y = 103,944 \text{ Mpa}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 23,89 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 8,67 \text{ mm}$$

Gambar pembebanan batang tekan profil C



Pada tekanan aksial, penampang ini memiliki elemen yang diperkuat yaitu badan sedangkan elemen yang tidak diperkuat adalah sayap. Elemen yang tidak diperkuat harus ditinjau dahulu untuk menentukan tingkat tegangan efektif.

I. PERHITUNGAN F_{cr} METODE AISC

a. Elemen Yang Tidak Diperkuat :

$$\left[\frac{b}{t} = \frac{22}{1,2} = 18,43 \right] < \left[\frac{250}{\sqrt{F_y}} = 24,52 \right] \text{ maka tekuk setempat tidak mengurangi}$$

efisiensi ; $Q_s = 1,0$

b. Elemen Yang Diperkuat :

$$\begin{aligned} f &= F_y \cdot Q_s \\ &= 103,944 \times 1 \end{aligned}$$

$$= 103,944$$

$$\frac{b_E}{t} = \frac{21}{f} \left[1 - \frac{4,18}{(b/t) \cdot \sqrt{f}} \right]$$

$$\frac{b_E}{t} = \frac{21}{\sqrt{103,944}} \left[1 - \frac{4,18}{(50) \cdot \sqrt{103,944}} \right] = 2,04$$

$$\begin{aligned} A_{\text{effek}} &= A_{\text{brutto}} - \left[\frac{b}{t} - \frac{b_E}{t} \right] t^2 \\ &= 144 - [50 - 2,01] \cdot 1,2^2 \\ &= 74,94 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_A &= \frac{A_{\text{eff}}}{A_{\text{bruto}}} \\ &= \frac{74,94}{144} \\ &= 0,52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= Q_A \cdot Q_S \\ &= 0,52 \cdot 1 \\ &= 0,52 \end{aligned}$$

I.1 Rangka Dengan Sudut Miring Atap 15°

$$L_y = L_x = 776 \text{ mm}$$

Asumsi $K = 1$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 776}{8,67} = 89,504$$

$$\begin{aligned} C_c &= \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2 \cdot 10^5}{0,52 \times 103,944}} \\ &= 270,121 \end{aligned}$$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} < C_c$$

$$F_{cr} = Q \cdot F_y \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}{2 C_c^2} \right]$$

$$= 0,52 \times 103,944 \times \left[1 - \frac{89,504^2}{2 \times 270,121^2} \right]$$

$$= 51,084 \text{ Mpa}$$

$$P_{cr} = F_{cr} \times A$$

$$= 51,084 \cdot 10^{-3} \times 144$$

$$= 7,356 \text{ kN}$$

$$P_{maksimum} = 8,926 \text{ kN}$$

$P_{maksimum} > P_{cr}$ maka batang rusak

I.2 Rangka Dengan Sudut Miring Atap 17,5°

$$L_y = L_x = 786 \text{ mm}$$

$$\text{Asumsi } K = 1$$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 786}{8,67} = 90,657$$

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

$$= \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2 \cdot 10^5}{0,52 \times 103,944}}$$

$$= 270,121$$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} < C_c$$

$$F_{cr} = Q \cdot F_y \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}{2 C_c^2} \right]$$

$$= 0,52 \times 103,944 \times \left[1 - \frac{90,657^2}{2 \times 270,121^2} \right]$$

$$= 51,007 \text{ Mpa}$$

$$P_{cr} = F_{cr} \times A$$

$$= 51,007 \cdot 10^{-3} \times 144$$

$$= 7,345 \text{ kN}$$

$$P_{maksimum} = 10,506 \text{ kN}$$

$P_{maksimum} > P_{cr}$ maka batang rusak

I.3 Rangka Dengan Sudut Miring Atap 20°

$$L_y = L_x = 798 \text{ mm}$$

Asumsi $K = 1$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 798}{8,67} = 92,041$$

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

$$= \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2 \cdot 10^5}{0,52 \times 103,944}}$$

$$= 270,121$$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} < C_c$$

$$F_{cr} = Q \cdot F_y \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}{2 C_c^2} \right]$$

$$= 0,52 \times 103,944 \times \left[1 - \frac{92,041^2}{2 \times 270,121^2} \right]$$

$$= 50,913 \text{ Mpa}$$

$$P_{cr} = F_{cr} \times A$$

$$= 50,913 \cdot 10^{-3} \times 144$$

$$= 7,331 \text{ kN}$$

$$P_{\text{maksimum}} = 13,462 \text{ kN}$$

$P_{\text{maksimum}} > P_{\text{cr}}$ maka batang rusak

I.4 Rangka Dengan Sudut Miring Atap 22,5°

$$L_y = L_x = 812 \text{ mm}$$

Asumsi $K = 1$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 812}{8,67} = 93,656$$

$$\begin{aligned} C_c &= \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2 \cdot 10^5}{0,52 \times 103,944}} \\ &= 270,121 \end{aligned}$$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} < C_c$$

$$\begin{aligned} F_{\text{cr}} &= Q \cdot F_y \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2 C_c^2} \right] \\ &= 0,52 \times 103,944 \times \left[1 - \frac{93,656^2}{2 \times 270,121^2} \right] \end{aligned}$$

$$= 50,802 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{cr}} &= F_{\text{cr}} \times A \\ &= 50,802 \cdot 10^{-3} \times 144 \\ &= 7,315 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_{\text{maksimum}} = 16,24 \text{ kN}$$

$P_{\text{maksimum}} > P_{\text{cr}}$ maka batang rusak

II. PERHITUNGAN F_{cr} MENURUT SALMON DAN JOHNSON (1990)

Pada lip $\left(\frac{d}{t}\right) = \left(\frac{8}{1,2}\right) = 6,67$

$$F_{cr_lip} = k_{lip} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{d}\right)^2, \text{ dengan nilai } k \text{ pada lip} = 0,425$$

$$\begin{aligned} F_{cr_lip} &= 0,425 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \left(\frac{1,2}{8}\right)^2 \\ &= 1728,54 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Pada sayap $\left(\frac{b}{t}\right) = \left(\frac{22}{1,2}\right) = 18,33 \text{ mm}$

$$F_{cr_sayap} = k_{sayap} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2, \text{ dengan nilai } k \text{ pada sayap} = 4$$

$$\begin{aligned} F_{cr_sayap} &= 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \left(\frac{1,2}{22}\right)^2 \\ &= 2151,22 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Pada badan $\left(\frac{h}{t}\right) = \left(\frac{60}{1,2}\right) = 50 \text{ mm}$

$$F_{cr_badan} = k_{badan} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{h}\right)^2, \text{ dengan nilai } k \text{ pada badan} = 4$$

$$\begin{aligned} F_{cr_badan} &= 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \left(\frac{1,2}{60}\right)^2 \\ &= 289,222 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = F_{cr_badan} = 289,222 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \cdot A \\ &= 289,222 \cdot 10^{-3} \times 144 \\ &= 41,65 \text{ Kn} \end{aligned}$$

III. PERHITUNGAN F_{cr} MENURUT SCHAFFER (1997)

Pada sayap tepi/lip $\left(\frac{d}{t}\right) = \left(\frac{8}{1,2}\right) = 6,67$

$$F_{cr_lip} = k_{lip} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{d}\right)^2, \text{ dengan nilai k, yaitu}$$

$$\begin{aligned} k_{lip} &= -11,07 \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 3,95 \left(\frac{d}{b}\right) + 4 \\ &= -11,07 \left(\frac{8}{22}\right)^2 + 3,95 \left(\frac{8}{22}\right) + 4 \\ &= 3,97 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} F_{cr_lip} &= 3,97 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,2}{8}\right)^2 \\ &= 16146,56 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Pada sayap dan badan

$$F_{cr_sayap_badan} = k_{sayap_badan} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \text{ dengan nilai k, yaitu :}$$

$$k_{sayap_badan} = \begin{cases} \left[2 - \left(\frac{b}{h}\right)^{0,4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2 & \text{jika } \frac{h}{b} \geq 1 \\ \left[2 - \left(\frac{h}{b}\right)^{0,2} \right] \cdot 4 & \text{jika } \frac{h}{b} < 1 \end{cases}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{60}{22} = 2,73 > 1, \text{ sehingga nilai } k_{sayap_badan} = \left[2 - \left(\frac{b}{h}\right)^{0,4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2$$

$$\begin{aligned} k_{sayap_badan} &= \left[2 - \left(\frac{b}{h}\right)^{0,4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2 \\ &= \left[2 - \left(\frac{22}{60}\right)^{0,4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{22}{60}\right)^2 \end{aligned}$$

$$= 0,72$$

$$\begin{aligned} F_{cr_sayap} &= k_{sayap} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \\ &= 0,72 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,2}{22}\right)^2 \\ &= 387,213 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = F_{cr_sayap} = 387,213 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \cdot A \\ &= 387,213 \cdot 10^{-3} \times 144 \\ &= 55,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

LAMPIRAN 5

PERHITUNGAN BEBAN KRITIS ELEMEN STRUKTUR RANGKA

Tabel L5. 1 Kekuatan batang tekan benda uji 1

Batang	P_{eks} (kN)	L (mm)	KL/r	F_{cr} (Mpa)	P_{cr} (kN)	Keterangan
9	-2,222	776,000	89,504	51,084	7,356	Peks < Pcr
10	-4,480	776,000	89,504	51,084	7,356	Peks < Pcr
11	-6,743	776,000	89,504	51,084	7,356	Peks < Pcr
12	-8,926	776,000	89,504	51,084	7,356	Peks > Pcr
13	-8,926	776,000	89,504	51,084	7,356	Peks > Pcr
14	-6,743	776,000	89,504	51,084	7,356	Peks < Pcr
15	-4,480	776,000	89,504	51,084	7,356	Peks < Pcr
16	-2,222	776,000	89,504	51,084	7,356	Peks < Pcr
17	-1,450	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
19	-1,432	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
21	-1,436	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
23	-1,403	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
27	-1,403	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
29	-1,436	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
31	-1,432	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
33	-1,450	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr

Tabel L5. 2 Kekuatan batang tarik benda uji 1

Batang	P_{eks} (kN)	P_{cr} (kN)	Keterangan
1	0,042	14,968	Peks < Pcr
2	2,285	14,968	Peks < Pcr
3	4,540	14,968	Peks < Pcr
4	6,804	14,968	Peks < Pcr
5	6,804	14,968	Peks < Pcr
6	4,540	14,968	Peks < Pcr
7	2,285	14,968	Peks < Pcr
8	0,042	14,968	Peks < Pcr
18	2,253	14,968	Peks < Pcr
20	2,270	14,968	Peks < Pcr
22	2,278	14,968	Peks < Pcr
24	2,204	14,968	Peks < Pcr
25	1,714	14,968	Peks < Pcr

Lanjutan Tabel L5.2

26	2,204	14,968	Peks < Pcr
28	2,278	14,968	Peks < Pcr
30	2,270	14,968	Peks < Pcr
32	2,253	14,968	Peks < Pcr

Tabel L5. 3 Kekuatan batang tekan benda uji 2

Batang	P _{eks} (kN)	L (mm)	KL/r	F _{cr} (Mpa)	P _{cr} (kN)	Keterangan
9	-2,619	786,000	90,657	51,007	7,345	Peks < Pcr
10	-5,277	786,000	90,657	51,007	7,345	Peks < Pcr
11	-7,943	786,000	90,657	51,007	7,345	Peks > Pcr
12	-10,506	786,000	90,657	51,007	7,345	Peks > Pcr
13	-10,506	786,000	90,657	51,007	7,345	Peks > Pcr
14	-7,943	786,000	90,657	51,007	7,345	Peks > Pcr
15	-5,277	786,000	90,657	51,007	7,345	Peks < Pcr
16	-2,619	786,000	90,657	51,007	7,345	Peks < Pcr
17	-1,690	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
19	-1,670	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
21	-1,676	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
23	-1,632	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
27	-1,632	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
29	-1,676	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
31	-1,670	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
33	-1,690	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr

Tabel L5. 4 Kekuatan batang tarik benda uji 2

Batang	P _{eks} (kN)	P _{cr} (kN)	Keterangan
1	0,046	14,968	Peks < Pcr
2	2,688	14,968	Peks < Pcr
3	5,343	14,968	Peks < Pcr
4	8,006	14,968	Peks < Pcr
5	8,006	14,968	Peks < Pcr
6	5,343	14,968	Peks < Pcr
7	2,688	14,968	Peks < Pcr
8	0,046	14,968	Peks < Pcr
18	2,582	14,968	Peks < Pcr
20	2,601	14,968	Peks < Pcr
22	2,611	14,968	Peks < Pcr

Lanjutan Tabel L5.4

24	2,522	14,968	Peks < Pcr
25	2,922	14,968	Peks < Pcr
26	2,522	14,968	Peks < Pcr
28	2,611	14,968	Peks < Pcr
30	2,601	14,968	Peks < Pcr
32	2,582	14,968	Peks < Pcr

Tabel L5. 5 Kekuatan batang tekan benda uji 3

Batang	P _{eks} (kN)	L (mm)	KL/r	F _{cr} (Mpa)	P _{cr} (kN)	Keterangan
9	-3,361	798,000	92,041	50,913	7,331	Peks < Pcr
10	-6,769	798,000	92,041	50,913	7,331	Peks < Pcr
11	-10,187	798,000	92,041	50,913	7,331	Peks > Pcr
12	-13,462	798,000	92,041	50,913	7,331	Peks > Pcr
13	-13,462	798,000	92,041	50,913	7,331	Peks > Pcr
14	-10,187	798,000	92,041	50,913	7,331	Peks > Pcr
15	-6,769	798,000	92,041	50,913	7,331	Peks < Pcr
16	-3,361	798,000	92,041	50,913	7,331	Peks < Pcr
17	-2,139	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
19	-2,117	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
21	-2,124	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
23	-2,065	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
27	-2,065	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
29	-2,124	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
31	-2,117	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
33	-2,139	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr

Tabel L5. 6 Kekuatan batang tarik benda uji 3

Batang	P _{eks} (kN)	P _{cr} (kN)	Keterangan
1	0,054	14,968	Peks < Pcr
2	3,442	14,968	Peks < Pcr
3	6,845	14,968	Peks < Pcr
4	10,257	14,968	Peks < Pcr
5	10,257	14,968	Peks < Pcr
6	6,845	14,968	Peks < Pcr
7	3,442	14,968	Peks < Pcr
8	0,054	14,968	Peks < Pcr

Lanjutan Tabel L5.6

18	3,221	14,968	Peks < Pcr
20	3,244	14,968	Peks < Pcr
22	3,257	14,968	Peks < Pcr
24	3,140	14,968	Peks < Pcr
25	4,900	14,968	Peks < Pcr
26	3,140	14,968	Peks < Pcr
28	3,257	14,968	Peks < Pcr
30	3,244	14,968	Peks < Pcr
32	3,221	14,968	Peks < Pcr

Tabel L5. 7 Kekuatan batang tekan benda uji 4

Batang	P _{eks} (kN)	L (mm)	KL/r	F _{cr} (Mpa)	P _{cr} (kN)	Keterangan
9	-4,062	812,000	93,656	50,802	7,315	Peks < Pcr
10	-8,175	812,000	93,656	50,802	7,315	Peks > Pcr
11	-12,303	812,000	93,656	50,802	7,315	Peks > Pcr
12	-16,240	812,000	93,656	50,802	7,315	Peks > Pcr
13	-16,240	812,000	93,656	50,802	7,315	Peks > Pcr
14	-12,303	812,000	93,656	50,802	7,315	Peks > Pcr
15	-8,175	812,000	93,656	50,802	7,315	Peks > Pcr
16	-4,062	812,000	93,656	50,802	7,315	Peks < Pcr
17	-2,544	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
19	-2,522	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
21	-2,530	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
23	-2,454	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
27	-2,454	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
29	-2,530	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
31	-2,522	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr
33	-2,544	500,000	57,670	52,819	7,606	Peks < Pcr

Tabel L5. 8 Kekuatan batang tarik benda uji 4

Batang	P _{eks} (kN)	P _{cr} (kN)	Keterangan
1	0,061	14,968	Peks < Pcr
2	4,152	14,968	Peks < Pcr
3	8,260	14,968	Peks < Pcr
4	12,376	14,968	Peks < Pcr

Lanjutan Tabel L5.8

5	12,376	14,968	Peks < Pcr
6	8,260	14,968	Peks < Pcr
7	4,152	14,968	Peks < Pcr
8	0,061	14,968	Peks < Pcr
18	3,780	14,968	Peks < Pcr
20	3,805	14,968	Peks < Pcr
22	3,823	14,968	Peks < Pcr
24	3,671	14,968	Peks < Pcr
25	7,293	14,968	Peks < Pcr
26	3,671	14,968	Peks < Pcr
28	3,823	14,968	Peks < Pcr
30	3,805	14,968	Peks < Pcr
32	3,780	14,968	Peks < Pcr

LAMPIRAN 6

PERHITUNGAN KOEFISIEN TEKUK LOKAL

a. Koefisien Tekuk Lokal Uji Desak

$$F_{cr} = 89,931 \text{ Mpa}$$

$$b = 22 \text{ mm}$$

$$t = 1,2 \text{ mm}$$

$$E = 2.10^5$$

$$\mu = 0,3$$

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

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

$$k = \frac{89,931 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2.10^5} = 0,167$$

Tabel L6. 1 Koefisien tekuk uji desak profil

Benda uji	F _{cr} (MPa)	π	A (mm)	b/t	μ	Koefisien tekuk (k)
Uji desak	89,931	3,14	144	18,333	0,3	0,167

b. Koefisien Tekuk Lokal Hasil Uji Lentur

1) Benda Uji 1

Benda Uji 1 (Batang 12)

$$P_{cr} = 8,926 \text{ kN}$$

$$A = 144 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{P_{cr}}{A} \\ &= \frac{8,926}{144} \times 1000 \\ &= 61,986 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

$$k = \frac{61,986 \times 12 \times (1-0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,15$$

2) Benda Uji 2

Benda uji 3 (Batang 12)

$$P_{cr} = 10,506 \text{ kN}$$

$$A = 144 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$$

$$= \frac{10,506}{144} \times 1000$$

$$= 72,958 \text{ kN/mm}^2$$

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

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

$$k = \frac{72,958 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2.10^5} = 0,136$$

3) Benda Uji 3

Benda Uji 2 (Batang 12)

$$P_{cr} = 13,462 \text{ kN}$$

$$A = 144 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{P_{cr}}{A} \\ &= \frac{13,462}{144} \times 1000 \\ &= 93,486 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

$$k = \frac{93,486 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2.10^5} = 0,171$$

4) Benda Uji 4

Benda uji 4 (Batang 12)

$$P_{cr} = 16,24 \text{ kN}$$

$$A = 144 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$$

$$= \frac{16,24}{144} \times 1000$$

$$= 112,778 \text{ kN/mm}^2$$

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

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

$$k = \frac{112,778 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,209$$

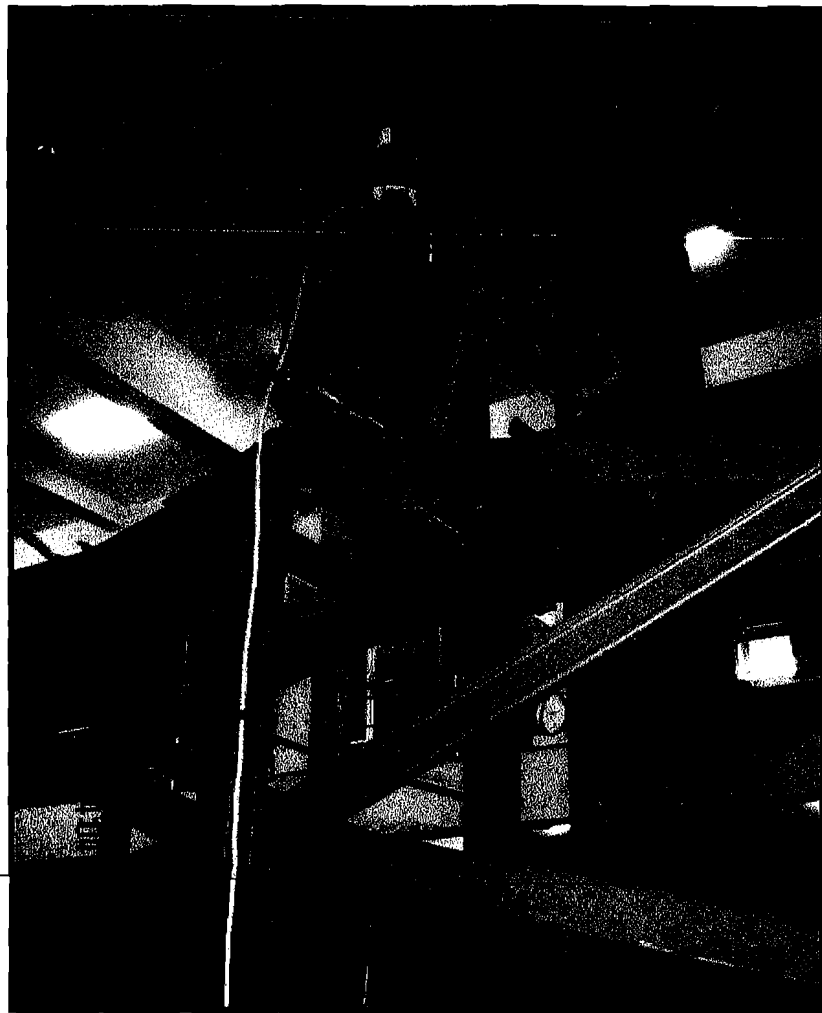
Tabel L6. 2 Koefisien tekuk pelat tiap benda uji

Benda uji	Batang	P (kN)	π	A (mm)	Fcr (MPa)	b/t	μ	Koefisien tekuk (k)
1	12	8,926	3,14	144	61,986	18,333	0,3	0,115
2	12	10,506	3,14	144	72,958	18,333	0,3	0,136
3	12	13,462	3,14	144	93,486	18,333	0,3	0,174
4	12	16,179	3,14	144	112,778	18,333	0,3	0,209

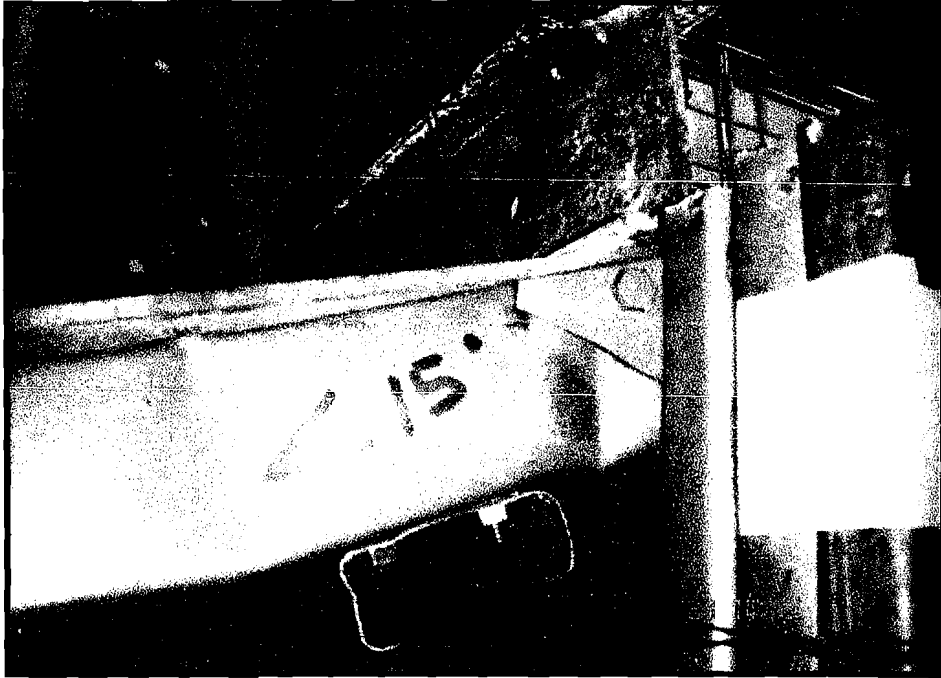
dengan : P_{cr} = beban tekuk; A = luas penampang melintang; Fcr = tegangan kritis,

LAMPIRAN 7

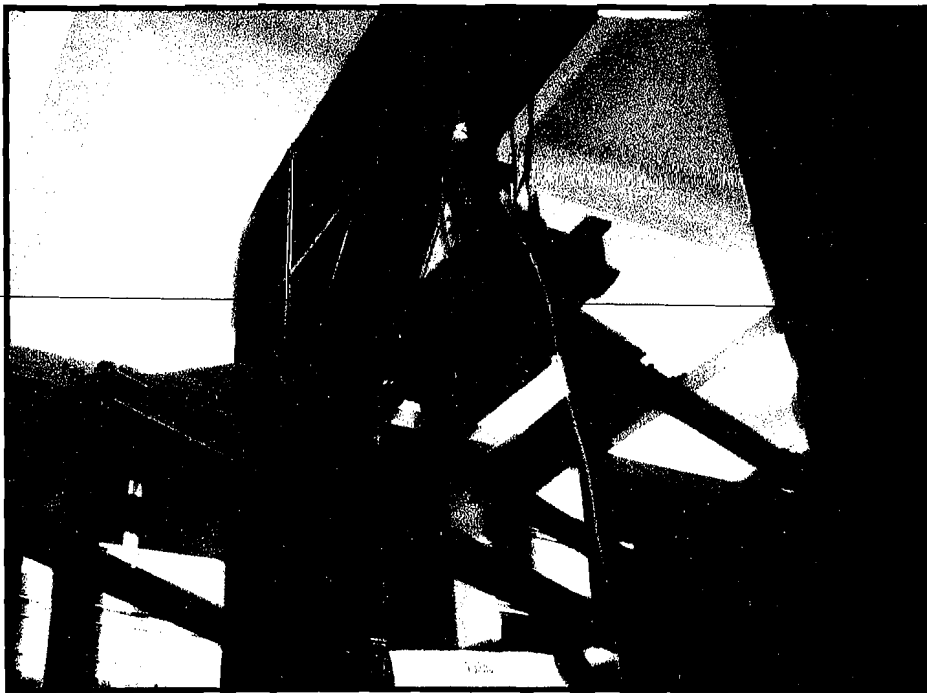
DOKUMENTASI PELAKSANAAN PENGUJIAN



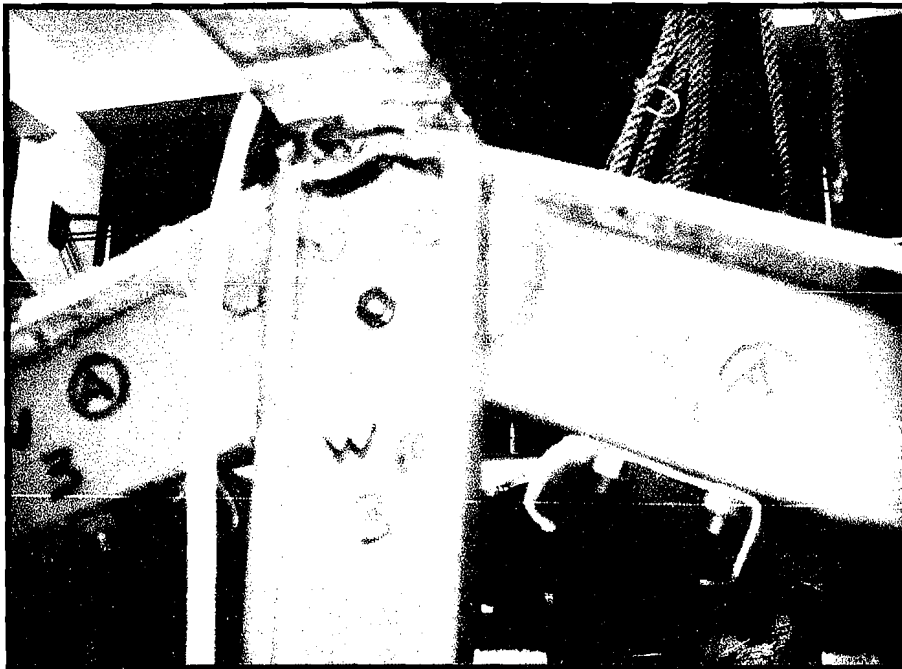
Gambar L7. 1 Benda uji 1 sebelum pengujian



Gambar L7. 2 Benda uji 1 setelah pengujian



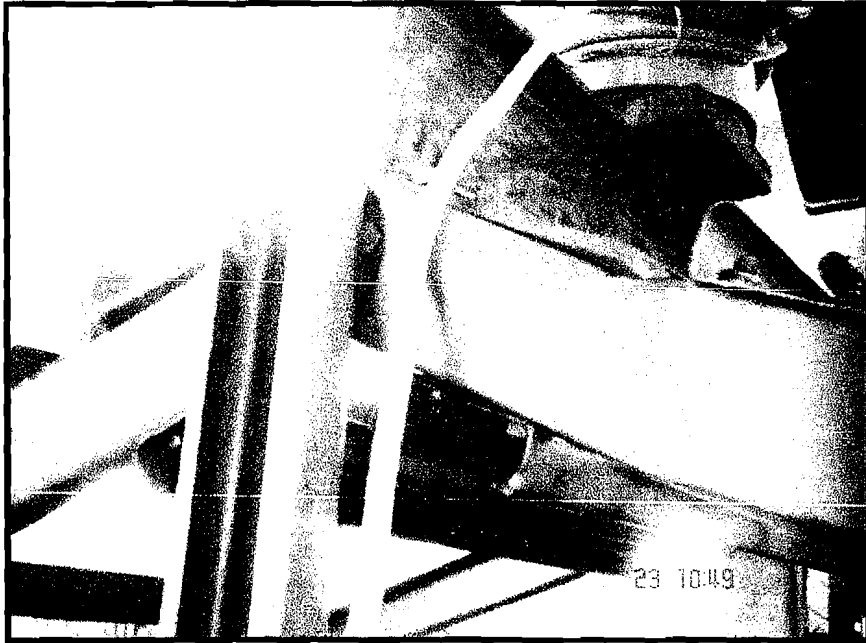
Gambar L7. 3 Benda uji 2 sebelum pengujian



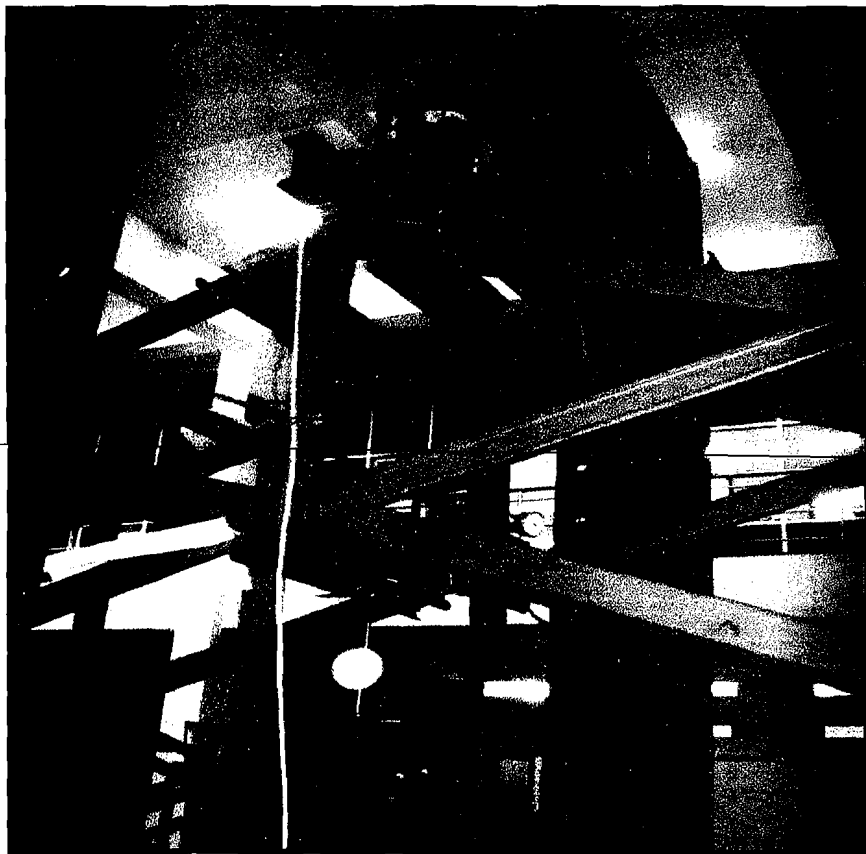
Gambar L7. 4 Benda uji 2 setelah pengujian



Gambar L7.5 Benda uji 3 sebelum pengujian



Gambar L7.6 Benda uji 3 setelah pengujian



Gambar L7.7 Benda uji 4 sebelum pengujian

Gambar L.7.8 Benda uji 4 setelah pengujian

