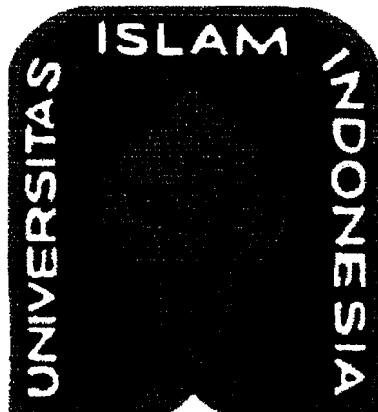


PERPUSTAKAAN FTSP UII  
 HADIAH/BELI  
 TGL. TERIMA : 16 Februari 2007  
 NO. JUDUL : 002224  
 NO. INV. : 512002224001  
 NO. INDUK : \_\_\_\_\_

TUGAS AKHIR

**PERILAKU RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR  
 DENGAN VARIASI JARAK BATANG VERTIKAL**

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



**ATIKA ULFAH JAMAL**

**02 511 096**

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

*• Baja - Struktur  
 • Baja - Rangka Batang  
 • Variasi Batang Vertikal*

*Judul*

*R.  
 623-7  
 Jam  
 P  
 1*

*XIX, 109 : 16 Feb 2007 : 28*

MILIK PERPUSTAKAAN  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
 PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

**TUGAS AKHIR**  
**PERILAKU RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR**  
**DENGAN VARIASI JARAK BATANG VERTIKAL**

**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* )

" Jadilah sabar dan sholat sebagai penolongmu, sesungguhnya  
Allah beserta orang-orang yang sabar ".

( *Q.S. Al Baqarah ayat 153* )

" 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 :*

*Ayahku Djamaluddin dan Bundaku Wafrotur Rohmah Tercinta,*

*Yang tiada hentinya memberikan Pengorbanan,*

*Kesabaran, dorongan, Semangat serta do'a*

*Semoga pahala yang berlipat dan ridho dari Allah mereka dapatkan karena ketidakmungkinanku membalas semua untuk selamanya.....*

*Kakak dan Adekku Tersayang*

*Mba' Uzie dan De' Zuluk*

*Yang telah memberi warna Keceriaan Hidup*

*Serta Dukungan dan do'a.*

*Sahabat semua yang menjadi alasanku memacu meraih asa*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillahirabbil 'alamin, segala puji kehadirat 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 JARAK BATANG VERTIKAL**“ 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, Yogyakarta. 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. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT selaku Dosen Pembimbing Akademik
4. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.

5. Bapak Dr.Ir.Ade Ilham, MT dan Ir. Helmy Akbar Bale, MT selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.
6. Tim TPSDP atas kepercayaannya dengan dipilihnya Tugas Akhir ini sebagai salah satu pemenang Student Grant.
7. Bapak dan Ibu serta kakak dan adikku tercinta atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doa-nya.
8. Arief Nur Fachrudin, atas kesabaran, do'a dan dukungannya
9. Staf karyawan laboratorium Mekanika Rekayasa (Mas Aris) dan Staf karyawan laboratorium Bahan Kontruksi Teknik (Pak Darussalan dan pak Warno) yang telah banyak membantu dalam pengujian.
10. Sahabat-sahabatku yang selalu memberikan dukungan dan semangat, Wien, Daniek, Widhid, Rio'04, Sulis, Azis, Sony, Dimas, Ade', Fajar, Sindhu, Anak-anak kontrakan Cilacap, Semua temen-temen *Civil class B'02*, Semua temen-temen *Civil'02*.
11. Semua pihak yang telah membantu didalam 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.

Yogyakarta, Agustus 2006

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xviii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Lokasi Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Kuda-kuda rangka batang.....	5
2.2 Stabilitas rangka batang.....	6
2.3 Penelitian sebelumnya.....	8
2.4 Keaslian Penelitian.....	10
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	11
3.1 Kuda-kuda rangka batang.....	11
3.1.1 Bentuk Umum Kuda-kuda Rangka Batang.....	11

3.1.1.1 Pratt Truss .....	11
3.1.1.2 Howe Truss .....	12
3.1.1.3 Fink Truss .....	12
3.1.2 Kuda-kuda Rangka Batang Tepi Sejajar .....	12
3.2 Analisis Gaya Batang .....	14
3.3 Profil Bentuk Dingin.....	17
3.3.1 Penampang lintang profil <i>Lipped Channel</i> .....	18
3.4 Batang tarik .....	19
3.5 Batang tekan.....	21
3.5.1 Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui.....	22
3.5.2 Keruntuhan Akibat Tekuk.....	23
3.5.2.1 Tekuk Total .....	23
a. Tekuk Elastis.....	23
b. Tekuk Inelastis .....	26
3.5.2.2 Tekuk Lokal Akibat Tekan .....	27
3.5.3 Perhitungan koefisien tekuk.....	30
3.5.4 Hubungan antara tekuk local dan tekuk keseluruhan.....	34
3.6 Tegangan Kritis Metode AISC.....	35
3.7 Pengaruh jarak batang vertical terhadap kestabilan rangka .....	38
3.6.1 Jarak batang vertical kuda-kuda $L_1 = 1000$ mm.....	39
3.6.2 Jarak batang vertical kuda-kuda $L_1 = 750$ mm.....	39
3.6.3 Jarak batang vertical kuda-kuda $L_1 = 600$ mm.....	40
3.6.4 Jarak batang vertical kuda-kuda $L_1 = 500$ mm.....	40
3.8 Hubungan Beban- Lendutan.....	40
3.9 Hubungan Momen Kelengkungan.....	44
3.10 Hipotesis.....	47
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>50</b>
4.1 Metodologi penelitian .....	50
4.2 Persiapan Bahan dan Alat.....	51
4.2.1 Persiapan Bahan .....	51
4.2.2 Peralatan Penelitian.....	51



	a. <i>Loading Frame</i> .....	51
	b. Dial Gauge .....	53
	c. Dukungan sendi dan rol.....	53
	d. <i>Hidraulic jack</i> .....	54
	e. Mesin Kuat Uji Tarik .....	54
4.3	Pembuatan benda uji .....	55
4.4	Pengujian sampel.....	58
4.4.1.	Pengujian kuat tarik baja .....	58
4.4.2.	Pengujian tekan baja .....	58
4.4.3	Pengujian kuat lentur.....	59
<b>BAB V</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	62
5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	62
5.2	Hasil Pengujian Kuat Desak Penampang Baja <i>Lipped Channal</i> ..	63
5.3	Hubungan Beban Lentutan Hasil Uji Lentur Kuda - Kuda	65
5.3.1	Kurva Beban - Lentutan Hasil Pengujian.....	65
5.3.2	Pengaruh Jarak Batang Vertical Terhadap Beban Lentutan Hasil Eksperimen .....	68
5.3.3	Kurva Beban - Lentutan Hasil Analisa SAP 2000.....	73
5.3.4	Pengaruh Jarak Batng Vertical Terhadap Beban Lentutan Hasil Analisis SAP 2000 .....	75
5.3.5	Grafik beban – lentutan hasil pengujian dan analisa SAP 2000.....	79
5.4	Hubungan Momen Kelengkungan.....	83
5.4.1	Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian.....	83
5.4.2	Pengaruh Jarak Batang Vertical Terhadap Momen Kelengkungan Hasil Eksperimen.....	86
5.4.3	Hubungan momen – kelengkungan hasil analisis SAP 2000.....	88
5.4.4	Analisa Faktor Kekakuan Rangka Batang Hasil Analisis SAP 2000.....	91
5.4.5	Grafik momen – kelengkungan hasil pengujian	

	Dan analisa SAP.....	93
5.5	Tinjauan Analitis.....	97
5.5.1	Nilai Koefisien Tekuk.....	98
5.6	Pembahasan.....	101
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>106</b>
6.1	KESIMPULAN.....	106
6.2	SARAN .....	107
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>108</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

		<b>Halaman</b>	
Gambar	3.1	Pratt Truss	11
Gambar	3.2	Howe Truss	12
Gambar	3.3	Fink Truss	12
Gambar	3.4	Kuda-kuda rangka batang tepi sejajar	13
Gambar	3.5	Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar	14
Gambar	3.6	Gaya batang pada joint A	15
Gambar	3.7	Gaya batang pada puncak rangka	16
Gambar	3.8	Profil bentukan dingin	17
Gambar	3.9	Profil lipped channel	18
Gambar	3.10	Garis Kemungkinan pola kerusakan elemen akibat gaya tarik	20
Gambar	3.11	Batang tertekan	24
Gambar	3.12	Grafik hubungan $KL/r$ dengan $F_a$ di beberapa negara	25
Gambar	3.13	Pelat yang tertekan	27
Gambar	3.14	Profil lipped channel	28
Gambar	3.15	Tekuk lokal pada lip	28
Gambar	3.16	Tekuk lokal pada sayap dan badan	29
Gambar	3.17	Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar	31
Gambar	3.18	Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang I	33
Gambar	3.19	Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang Kotak	33
Gambar	3.20	Kekuatan pelat untuk elemen yang tidak diperkuat dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas	37
Gambar	3.21	Jarak batang vertikal kuda-kuda $L_1 = 1$ m ( $L_1/L = 0,167$ )	39

Gambar	3.22	Jarak batang vertikal kuda-kuda $L_1 = 0,75$ m ( $L_1/L = 0,125$ )	39
Gambar	3.23	Jarak batang vertikal kuda-kuda $L_1 = 0,6$ m ( $L_1/L = 0,1$ )	40
Gambar	3.24	Jarak batang vertikal kuda-kuda $L_1 = 0,5$ m ( $L_1/L = 0,083$ )	40
Gambar	3.25	Kuda-kuda yang mengalami lendutan ( $y$ ) akibat beban aksial ( $P$ )	41
Gambar	3.26	Grafik hubungan beban ( $P$ )-lendutan ( $\Delta$ )	43
Gambar	3.27	Rangka kuda-kuda yang diberi beban aksial ( $P$ )	45
Gambar	3.28	Hubungan momen ( $M$ ) dan kelengkungan ( $\phi$ )	46
Gambar	3.29	Hubungan beban dan lendutan	47
Gambar	3.30	Hubungan momen ( $M$ ) – kelengkungan	48
Gambar	3.31	Hubungan kekakuan ( $k$ ) – $L_1/L$	48
Gambar	4.1	Bagan alir metode penelitian	50
Gambar	4.2	<i>Loading Frame</i>	52
Gambar	4.3	Dial Gauge	53
Gambar	4.4	Dukungan sendi dan rol	53
Gambar	4.5	<i>Hydraulic jack</i>	54
Gambar	4.6	<i>Universal Testing Machine Shimitsu UMH 30</i>	54
Gambar	4.7	Benda uji kuat tarik baja	55
Gambar	4.8	Benda uji kuat desak profil <i>lipped channel</i>	56
Gambar	4.9	Benda uji rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ )	57
Gambar	4.10.a	Perletakan dial gauge dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal $L_1 = 1000$ mm ( $L_1/L = 0,167$ )	60
Gambar	4.10.b	Perletakan dial gauge dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal $L_1 = 750$ mm ( $L_1/L = 0,125$ )	60
Gambar	4.10.c	Perletakan dial gauge dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal $L_1 = 600$ mm	

		( $L_1/L = 0,1$ )	61
Gambar	4.10.d	Perletakan dial gauge dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical $L_1 = 500$ mm	
		( $L_1/L = 0,083$ )	61
Gambar	5.1	Benda uji kuat tarik baja	63
Gambar	5.2	Benda uji kuat desak baja	64
Gambar	5.3	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1	65
Gambar	5.4	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2	66
Gambar	5.5	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 3	67
Gambar	5.6	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 4	67
Gambar	5.7	Hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) dengan beban maksimal	69
Gambar	5.8	Hubungan beban – lendutan keempat rangka setelah Diregresi	70
Gambar	5.9	Hubungan kekakuan – $L_1/L$ hasil pengujian	71
Gambar	5.10	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1 analisis SAP 2000	73
Gambar	5.11	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2 analisis SAP 2000	74
Gambar	5.12	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 3 analisis SAP 2000	74
Gambar	5.13	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 4 analisis SAP 2000	75
Gambar	5.14	Hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) hasil analisis SAP 2000 dengan beban maksimal	76
Gambar	5.15	Regresi Hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) hasil	

		analisis SAP 2000 dengan beban maksimal	77
Gambar	5.16	Hubungan kekakuan – $L_1/L$ hasil analisis SAP 2000	77
Gambar	5.17	Hubungan beban – lendutan $L_1/L = 0,167$ pengujian Dengan analisis SAP 2000	79
Gambar	5.18	Hubungan beban – lendutan $L_1/L = 0,125$ pengujian Dengan analisis SAP 2000	79
Gambar	5.19	Hubungan beban – lendutan $L_1/L = 0,1$ pengujian Dengan analisis SAP 2000	80
Gambar	5.20	Hubungan beban – lendutan $L_1/L = 0,083$ pengujian Dengan analisis SAP 2000	80
Gambar	5.21	Hubungan beban – lendutan hasil eksperimen dan Analisa SAP 2000	81
Gambar	5.22	Regresi Hubungan beban – lendutan hasil eksperimen dan Analisa SAP 2000	82
Gambar	5.23	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1	84
Gambar	5.24	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2	84
Gambar	5.25	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3	85
Gambar	5.26	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 4	85
Gambar	5.27	Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji pada momen maksimum	86
Gambar	5.28	Regresi Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji pada momen maksimum	87
Gambar	5.29	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1 Hasil analisis SAP 2000	89
Gambar	5.30	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2 Hasil analisis SAP 2000	89
Gambar	5.31	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3 Hasil analisis SAP 2000	90
Gambar	5.32	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 4	

		Hasil analisis SAP 2000	90
Gambar	5.33	Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji hasil analisis SAP 2000	91
Gambar	5.34	Hubungan momen - kelengkungan $L_1/L = 0,167$ pengujian dan $L_1/L = 0,167$ analisis SAP 2000	93
Gambar	5.35	Hubungan momen - kelengkungan $L_1/L = 0,125$ pengujian dan $L_1/L = 0,125$ analisis SAP 2000	93
Gambar	5.36	Hubungan momen - kelengkungan $L_1/L = 0,1$ pengujian dan $L_1/L = 0,1$ analisis SAP 2000	94
Gambar	5.37	Hubungan momen - kelengkungan $L_1/L = 0,083$ pengujian dan $L_1/L = 0,083$ analisis SAP 2000	94
Gambar	5.38	Hubungan momen – kelengkungan hasil pengujian dan analisis SAP 2000	95
Gambar	5.39	Regresi Hubungan momen – kelengkungan hasil pengujian dan analisis SAP 2000	96
Gambar	5.40	Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertikal $L_1 = 1000$ mm ( $L_1/L = 0,167$ )	99
Gambar	5.41	Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertikal $L_1 = 750$ mm ( $L_1/L = 0,125$ )	99
Gambar	5.42	Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar Pada jarak batang vertikal $L_1 = 600$ mm ( $L_1/L = 0,1$ )	100
Gambar	5.43	Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar Pada jarak batang vertikal $L_1 = 500$ mm ( $L_1/L = 0,083$ )	100
Gambar	5.44	Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I Pada kondisi tekan ( <i>Trahair dan Bradford 1988</i> )	103
Gambar	5.45	kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertikal $L_1 = 750$ mm ( $L_1/L = 0,125$ ) pada sudut ( $\alpha$ ) = $22^\circ$	104
Gambar	5.46	kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertikal $L_1 = 750$ mm ( $L_1/L = 0,125$ ) pada sudut ( $\alpha$ ) = $22,5^\circ$	104

## DAFTAR TABEL

			<b>Halaman</b>
Tabel	3.1	Angka kelangsingan maksimum untuk batang tarik	21
Tabel	5.1	Hasil uji kuat tarik baja	63
Tabel	5.2	Hasil uji kuat tekan profil baja untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan las	64
Tabel	5.3	Hasil uji kuat tekan profil baja untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan baut	64
Tabel	5.4	Nilai kekakuan hasil pengujian	72
Tabel	5.5	Nilai kekakuan hasil analisis menggunakan SAP 2000	78
Tabel	5.6	Rasio nilai kekakuan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000	83
Tabel	5.7	Rasio faktor kekakuan hasil pengujian	88
Tabel	5.8	Rasio faktor kekakuan hasil analisis SAP 2000	92
Tabel	5.9	Perbandingan hasil pengujian dengan analisis SAP 2000	97
Tabel	5.10	Koefisien tekuk uji desak profil untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan las	98
Tabel	5.11	Koefisien tekuk uji desak profil untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan baut	98
Tabel	5.12	Koefisien tekuk plat ( $k$ ) tiap benda uji	100
Tabel	5.12	Rasio kekakuan dan kekuatan pada rangka batang tepi sejajar $L_1/L = 0,125$ pada $\alpha = 22^\circ$ dan $\alpha = 22,5^\circ$	104
Tabel	5.13	Koefisien tekuk plat ( $k$ ) tiap benda uji pada $\alpha = 22^\circ$ dan $\alpha = 22,5^\circ$	105



## DAFTAR NOTASI

$A$	=	Luas penampang
$A_g$	=	Luas bpenampang <i>gross</i>
$A_n$	=	Luas penampang netto
$A_{ef}$	=	Luas efektif
$h$	=	Tinggi badan profil
$b$	=	Lebar sayap profil
$d$	=	Panjang bibir profil
$C_c$	=	Kelangsingan batas
$d$	=	Panjang bibir
$E$	=	Modulus elastis
$E_t$	=	Modulus Tangent
$F_{cr}$	=	Tegangan kritis
$F_y$	=	Tegangan leleh
$\sigma$	=	Tegangan yang terjadi
$I$	=	Inersia profil
$K$	=	Faktor panjang tekuk
$k$	=	Koefisien tekuk pelat
$L$	=	Panjang bentang
$L_k$	=	Panjang tekuk
$P$	=	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
$\lambda$	=	kelangsingan
$\mu$	=	Angka poison

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil uji bahan
- Lampiran 2 Hasil pembebanan benda uji struktur rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal
- 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

## ABSTRAKSI

*Kuda-kuda 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, jarak batang vertical berpengaruh terhadap panjang batang diagonal dan panjang batang tepi sejajar, terutama batang tepi yang memikul tekan yaitu batang tepi atas. Jika batang tekan terlalu panjang akan menyebabkan masalah tekuk. Perbedaan jarak batang vertical pada rangka batang tepi sejajar dapat mengakibatkan perbedaan sifat atau perilaku struktur yaitu, kekuatan (kapasitas) dan kekakuan (stiffnes). Karena itu hal ini menarik untuk diteliti.*

*Pada penelitian eksperimental ini menggunakan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ), dimana  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$  dan  $L_1/L = 0,083$ . Pada penelitian ini menggunakan profil Lipped channel 60 x 22 x 8 mm dan tebal profil 1,2 mm, bentang 6 m, sudut kemiringan ( $\alpha$ )  $22^\circ$  dan menerima beban terpusat pada puncak struktur. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan kekuatan dan kekakuan kuda-kuda rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) pada bentang ( $L$ ) dan sudut miring atap ( $\alpha$ ) yang sama, mengetahui pola kegagalan struktur rangka batang tepi sejajar dan nilai kritis batang tepi atas (batang tekan), mendapatkan nilai koefisien tekuk lokal ( $k$ ) profil Lipeed Channel dan membandingkan kekakuan rangka batang tepi sejajar hasil eksperimen dengan hasil analisis SAP 2000.*

*Hasil eksperimental menunjukkan bahwa terjadi tekuk lokal pada batang tepi atas rangka dan jarak batang vertical berpengaruh pada kestabilan struktur yaitu kekakuan dan kekuatannya. Semakin rapat penggunaan jarak batang vertical, maka kuda-kuda akan semakin stabil yang berakibat kuda-kuda semakin kuat dan kaku. Berdasarkan hasil penelitian rangka batang tepi sejajar memiliki kekakuan dan faktor kekakuan yang optimum pada rasio jarak batang vertical terhadap bentang ( $L_1/L$ ) = 0,1, karena untuk  $L_1/L$  lebih kecil dari 0,1 kekakuan yang terjadi cenderung stabil dan faktor kekakuan cenderung menurun.*

**Kata Kunci :** beban-Lendutan, koefisien tekuk, tegangan kritis, kekakuan, momen kelengkungan.

# 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 (*steel structure*) 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.

Pemakaian baja sebagai struktur pendukung atap (kuda-kuda) pada saat ini komponennya banyak terbuat dari profil baja bentukan dingin (*cold formed steel*) yaitu profil baja yang dibuat dari pelat baja tipis dibentuk menjadi profil pada temperatur atmosfer yang dirangkai dengan sambungan baut membentuk struktur rangka batang (*Truss*). Pemilihan profil baja bentukan dingin (*cold formed steel*) sebagai komponen rangka didasarkan atas pertimbangan ekonomi mengingat penampangannya yang relatif tipis dan ringan, sehingga cocok untuk rangka 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 rangka batang adalah rangka batang dengan batang tepi sejajar, yaitu merupakan modifikasi dari rangka *Pratt*, dengan batang pengisi berupa batang diagonal sebagai batang tarik dan batang vertical sebagai batang tekan. Kuda-kuda rangka batang tepi sejajar dapat digunakan

untuk memenuhi kebutuhan ruang yang relatif lebih tinggi, seperti pada bangunan gedung olah raga, industri dan perkantoran.

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 kuda-kuda dari profil baja ringan terhadap beban transversal dipengaruhi oleh banyak factor, antara lain: konfigurasi komponen, bentuk dan ukuran penampang, derajat pengekangan rotasi joint, kondisi tumpuan dan panjang bentang. Oleh karena itu batang vertikal yang merupakan salah satu komponen rangka dapat berpengaruh pada kekuatan dan kekakuan suatu struktur rangka.

Pada struktur rangka batang tepi sejajar, jarak batang vertical akan berpengaruh terhadap panjang batang diagonal dan panjang batang tepi sejajar, terutama batang tepi yang memikul tekan yaitu batang tepi atas. Jika batang tepi atas terlalu panjang maka dapat menyebabkan masalah *instabilitas* atau tekuk, yang dapat berupa tekuk lokal (*local buckling*) maupun tekuk menyeluruh (*overall buckling*). Tekuk lokal dan tekuk menyeluruh menyebabkan kegagalan dini (*premature collapse*) pada komponen batang tekan yaitu batang tepi atas dari kuda-kuda, sehingga hal itu perlu dipahami dan diwaspadai. 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.

Perbedaan jarak batang vertical pada rangka batang tepi sejajar dapat mengakibatkan perbedaan sifat atau perilaku struktur 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 Jarak Batang vertical* akan diteliti seberapa besar pengaruh jarak batang vertical terhadap 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 dari variasi jarak batang vertikal pada rangka batang tepi sejajar terhadap kekakuan dan kekuatan rangka.”

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Membandingkan kekuatan dan kekakuan kuda-kuda rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) pada bentang ( $L$ ) dan sudut miring atap ( $\alpha$ ) yang sama,
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 dari penelitian ini diharapkan memberikan manfaat :

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

## 1.5 BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini menjadi terarah maka dibatasi pada masalah berikut :

1. Bentuk struktur rangka merupakan modifikasi dari rangka bentuk *pratt* yaitu rangka dengan batang tepi sejajar,
2. bentang ( $L$ ) 6000 mm, dengan asumsi tumpuan sederhana (sendi-rol), tinggi batang vertikal 500 mm, kemiringan atap ( $\alpha$ )  $22^\circ$ , dengan jarak batang vertikal ( $L_1$ ) bervariasi yaitu  $L_1 = 1000$  mm ( $L_1/L = 0,167$ ),  $L_1 = 750$  mm ( $L_1/L = 0,125$ ),  $L_1 = 600$  mm ( $L_1/L = 0,1$ ) dan  $L_1 = 500$  mm ( $L_1/L = 0,083$ ),
3. rangka atap menerima beban terpusat pada puncak struktur,
4. pengamatan di laboratorium terbatas pada beban dan lendutan,
5. profil yang digunakan dalam penelitian ini 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 dilakukan dilaboratorium 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*).

Konstruksi rangka didefinisikan sebagai sebuah struktur datar yang terdiri dari sejumlah batang-batang yang disambung-sambung satu dengan yang lain pada ujung-ujungnya dengan pen-*pen* licin sehingga membentuk suatu rangka kokoh, gaya-gaya luar serta reaksi-reaksinya dianggap terletak di dalam bidang yang sama dan hanya bekerja pada tempat-tempat pen. (*Hsieh, 1983*)

Konstruksi rangka gabungan adalah jika dua atau lebih konstruksi rangka sederhana dihubungkan satu dengan yang lainnya untuk membentuk satu konstruksi rangka kokoh. (*Hsieh, 1983*)

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*).

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 keseimbangan. Sistem gaya titik buhul bekerja pada titik yang sama, sehingga keseimbangan rotasi tidak perlu ditinjau. (*Schodek, 1991*).

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 dan Johnson, 1992*).

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

## 2.2 STABILITAS KUDA-KUDA RANGKA BATANG

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*). (*Kusuma, 1983*).

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

Analisis untuk kuat tekan batang secara sistematis dilakukan pertama kali oleh *Loenard Euler (1744)*, dimana Euler menyelidiki 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*).

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*).

Tekuk local adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Elemen plat penyusun batang tekan bentukan dingin memiliki rasio  $b/t$  yang besar sehingga memungkinkan terjadinya tekuk local.

Tekuk local menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menerima penambahan beban, dengan kata lain efisiensi penampang menjadi berkurang. Keruntuhan akibat tekuk local ini terjadi pada batang 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).

Salmon and Johnson (1992), mengemukakan bahwa terdapat 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 (grafik A)  $k_{min} = 6,97$ ; untuk jepit-sendi (grafik B)  $k_{min} = 5,42$ ; untuk sendi-sendi (grafik C)  $k_{min} = 4,00$ ; untuk jepit- bebas (grafik D)  $k_{min} = 1,277$ ; untuk sendi bebas (grafik E)  $k_{min} = 0,425$ .

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  $k$  untuk pelat yang diperkuat naik sepuluh kali lipat dari nilai  $k$  untuk pelat yang tidak diperkuat. (Salmon and Johnson, 1992)

Suatu metode alternatif desain batang tekan diusulkan untuk menyertakan ragam gaya tekuk pada penampang lintang terbuka berdinding tipis dengan kolom baja bentukan dingin yaitu tekuk local, distorsi, dan tekuk Euler. Analisa yang masuk akal sebagai prediksi tekuk elastis ke dalam perancangna kolom dinding tipis (*thin-walled coloumn*) dari profil kanal. (Schafer, 1997).

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, 1992).

Kekakuan dari sebuah batang yang dibebani secara aksial didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan satuan. Kekakuan merupakan rasio antara beban dan defleksi yang terjadi (*Gere dan Timoshenko, 1987*).

Kekakuan rangka hingga beban patah terjadi pada daerah elastis, dengan penambahan beban pada rangka maka rangka akan menjadi plastis sebagian hingga pada akhirnya rangka menjadi plastis sempurna. Setelah itu rangka atau struktur tidak mampu lagi memikul tambahan beban (*Gere dan Timoshenko, 1987*).

Kelengkungan adalah perubahan kemiringan per unit panjang balok dinyatakan dalam  $\phi$ . (*Padosbajayo, 1992*).

*Timoshenko (1987)*, mengemukakan bahwa hubungan momen dan kelengkungan (*moment-curvature relationship*) dalam bentuk kurva bilinear.

Hubungan momen (M) dengan factor kekakuan (EI) dalam persamaan  $\phi = \frac{M}{EI}$ .

Kelengkungan berbanding lurus dengan (M) dan berbanding terbalik dengan EI.

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

### 2.3 PENELITIAN SEBELUMNYA

Beberapa penelitian yang telah dilakukan yang berkaitan dengan rangka batang, antara lain :

1. *Perilaku Kuda-kuda Rangka Batang Profil Lipped Channel Bentukkan Dingin* (**Muslihudin dan Ibnu Hajar, 2005**)

Penelitian ini membahas mengenai perilaku lentur kuda-kuda rangka batang dengan bentuk *Howe*, *Pratt*, dan *Fink* dengan menggunakan profil 76×44×11 dengan tebal profil 1mm, bentang 6m dan sudut kemiringan 22°. Pelaksanaan pembebanan penelitian ini dilakukan dengan memberikan beban titik pada puncak rangka atap. Dari ketiga benda uji bentuk *Howe Truss* memiliki

kekakuan paling besar dan bentuk *Fink Truss* mempunyai kekuatan yang paling besar. Elemen tekan penyusun tampang suatu struktur tidak terjadi tekuk lokal.

2. *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 dengan bentuk Howe dengan variasi jarak pengekang lateral, dimana pengekang lateral berfungsi sebagai gording, yaitu hubungan beban- lendutan ( $P-\Delta$ ) dan Momen Kelengkungan ( $M-\phi$ ). Dari pengujian ini akan diketahui kekakuan struktur rangka batangnya. Pada penelitian eksperimental ini menggunakan variasi jarak pengekang lateral, dimana pengekang lateral berfungsi sebagai gording, rangka batang menggunakan profil yang sama yaitu 70x40x10 dan tebal profil 1,6 mm, bentang 8 m, dan sudut kemiringan  $22^\circ$ . Berdasarkan eksperimen yang dilakukan dapat diketahui bahwa kekuatan benda uji (Howe sample 1=16,5 KN, Howe sample 2=18,5 KN, Howe sample 3=20,5 KN). Hasil eksperimental menunjukkan bahwa variasi jarak pengekang lateral berpengaruh pada kekakuan dan kestabilan rangka batang. Semakin rapat penggunaan pengekang lateralnya, maka kuda-kuda akan semakin stabil yang berakibat kuda-kuda semakin kaku. Hal ini ditunjukkan dengan hasil pengujian dimana Howe sample 3 lebih kuat dan stabil dari sample 2 dan sample 1.

3. *Perilaku Lentur Kuda-kuda dengan Batang Tepi Sejajar Profil Bentukan Dingin (Supriono dan Radhatama Eka Chrismawan, 2006)*

Pengujian eksperimental perilaku lentur kuda-kuda rangka batag tepi sejajar dengan bentang 6m, dan sudut kemiringan  $22^\circ$  menggunakan profilbentukan dingin *lipped channel* 70x22x8 dan tebal profil 1,2 mm untuk semua elemen struktur. Dari pengujian kuda-kuda rangka batang yang dibebani secara terpusat pada puncak stuktur ini akan diketahui kekakuan struktur rangka batangnya. 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.m<sup>2</sup> 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.

Dari penelitian-penelitian di atas dapat disimpulkan belum adanya penelitian mengenai perilaku pengaruh pemakaian jarak batang vertical terhadap kestabilan suatu struktur.

## 2.4 KEASLIAN PENELITIAN

Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian sekarang adalah : *pertama*, bentuk rangka batang yang digunakan merupakan bentuk modifikasi dari rangka bentuk *pratt* yaitu rangka batang dengan batang tepi sejajar, *kedua*, penelitian yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui perilaku pengaruh pemakaian jarak batang vertical terhadap kestabilan suatu struktur yang meliputi hubungan beban-lendutan dan momen kelengkungan sebagai akibat dari pemberian beban puncak pada suatu struktur, sehingga dapat diketahui kekuatan dan kekakuan struktur rangka tersebut.

Dengan demikian hasil penelitian yang diusulkan dalam tugas akhir ini juga berbeda dengan penelitian sebelumnya. Penelitian ini akan menambah data terhadap pemakaian jarak batang vertical 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*)

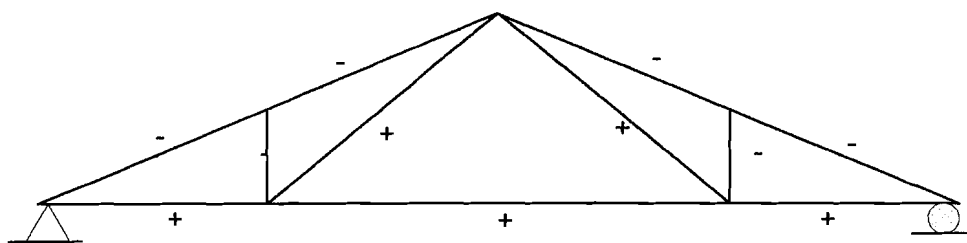
##### 3.1.1 Bentuk Umum Kuda – Kuda Rangka Batang

Bentuk kuda-kuda rangka batang yang umum dipakai adalah rangka Howe, Fink, dan pratt (*Hsieh, 1983*).

Ketiga rangka batang itu mempunyai batang tarik pada tepi bawah dan batang tekan pada tepi atas. Sedangkan pada batang pengisinya yang berupa batang vertikal dan batang diagonal mempunyai gaya batang yang bervariasi.

##### 3.1.1.1 Pratt Truss

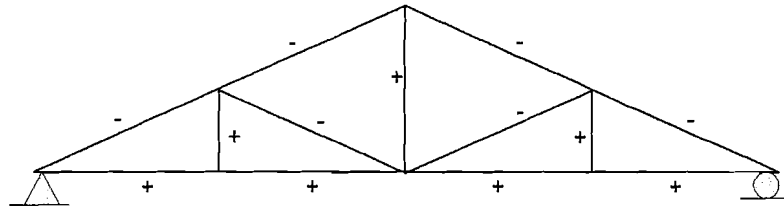
Pratt Truss, yaitu batang diagonal dan batang bawah merupakan batang tarik, batang atas dan batang vertikal merupakan batang desak.



**Gambar 3.1** Pratt Truss

### 3.1.1.2 Howe Truss

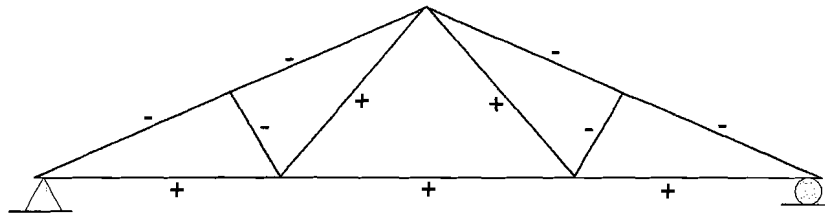
Howe Truss, yaitu batang vertikal dan batang bawah merupakan batang tarik, batang atas dan batang diagonal merupakan batang desak.



**Gambar 3.2** Howe Truss

### 3.1.1.3 Fink Truss

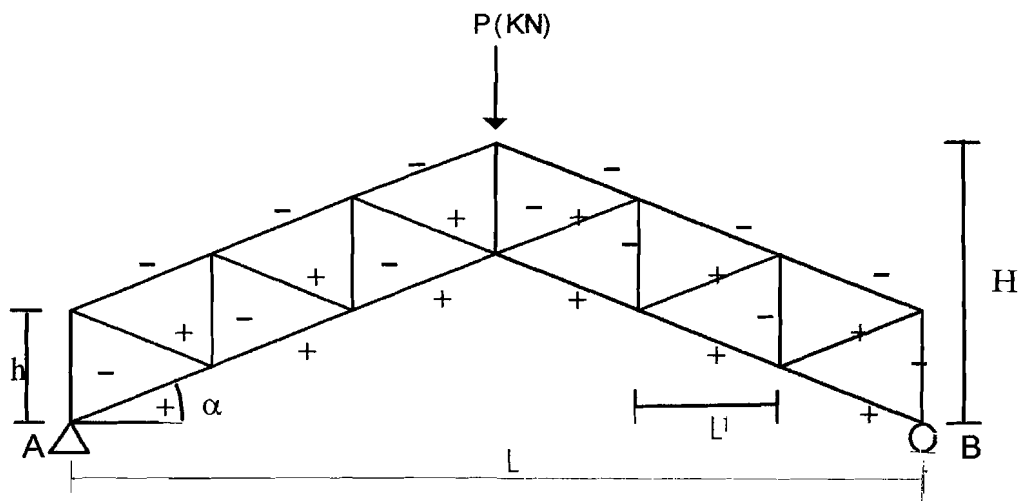
Fink Truss, ciri khas fink truss adalah batang tekannya pendek.



**Gambar 3.3** Fink Truss

## 3.1.2 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 dengan batang tepi sejajar, yang merupakan modifikasi dari rangka *Pratt* dengan batang pengisi berupa batang diagonal dan batang vertikal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3. 4** Kuda-kuda rangka dengan 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.

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

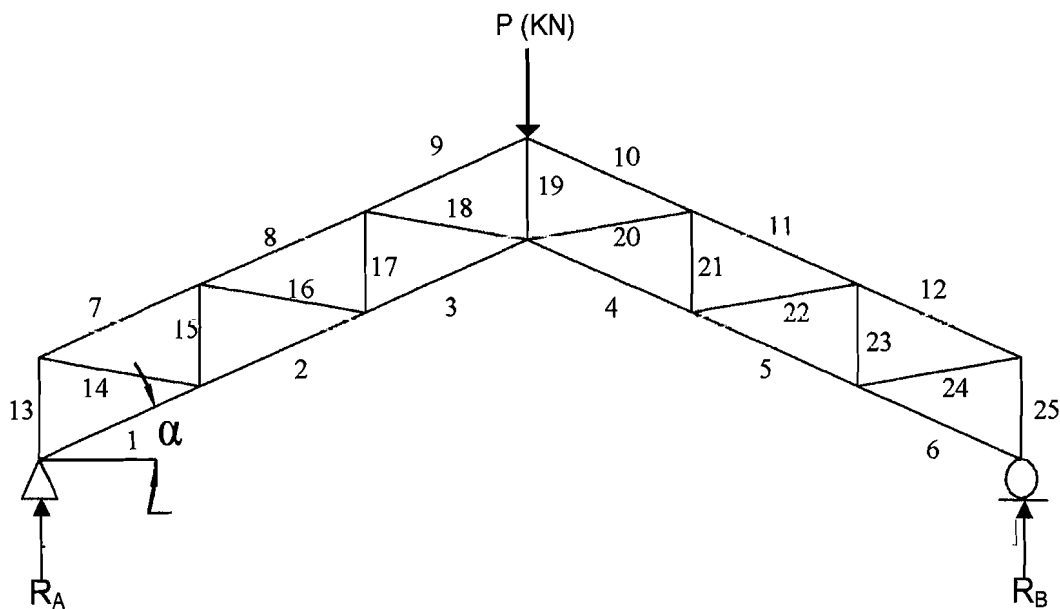
dengan  $P$  = gaya aksial,  $L$  = panjang batang,  $A$  = luas penampang dan  $E$  = modulus elastis bahan. Tampak bahwa deformasi batang berbanding lurus dengan panjang batang dan beban yang bekerja, berbanding terbalik dengan luas



penampang dan modulus elastisitas. Deformasi aksial setiap komponen rangka menimbulkan lendutan arah transversal.

### 3.2 ANALISIS GAYA BATANG

Fakta bahwa setiap bagian pada struktur 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*).

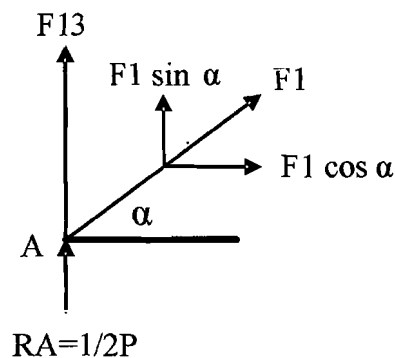


**Gambar 3.5** Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar

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

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  $F_1$  dan  $F_{13}$ .

Jumlah gaya-gaya vertikal = 0

$$\sum F_y = 0$$

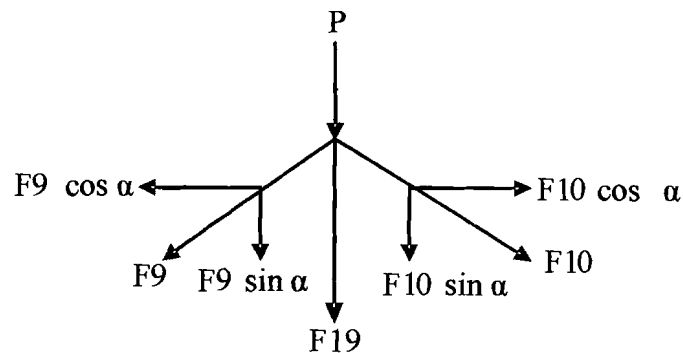
$$F_{13} + F_1 \sin \alpha + R_A = 0$$

Jumlah gaya-gaya horisontal = 0

$$\sum F_x = 0$$

$$F_1 \cos \alpha = 0$$

Puncak rangka merupakan joint yang memiliki gaya batang paling besar, yaitu batang  $F_9$  dan  $F_{10}$ , 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

$$\sum F_y = 0$$

$$-P - F19 - F9 \sin \alpha - F10 \sin \alpha = 0$$

Jumlah gaya-gaya horisontal = 0

$$\sum F_x = 0$$

$$F9 \cos \alpha - F10 \cos \alpha = 0$$

### 3.3 PROFIL BENTUKAN DINGIN

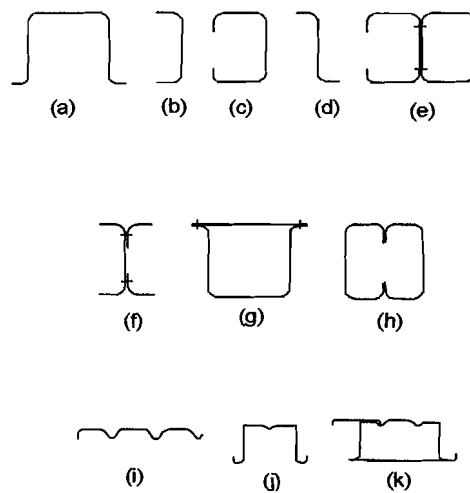
Penampang batang (profil) merupakan element struktur yang berpengaruh terhadap penempatan fungsi yang harus dipenuhi oleh struktur, agar sesuai dengan fungsi struktur maka pemilihan penampang harus didasari oleh fungsi struktur, dan beban yang harus dipikul.

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.

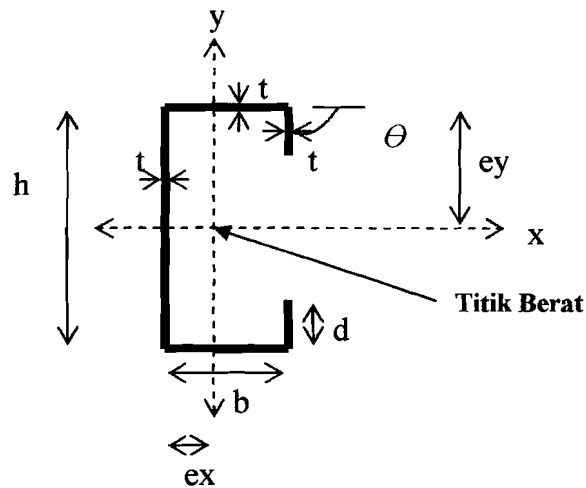


**Gambar 3. 8** Profil bentukan dingin

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

### 3.3.1 Penampang Lintang Profil *Lipped Channal*

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-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,

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

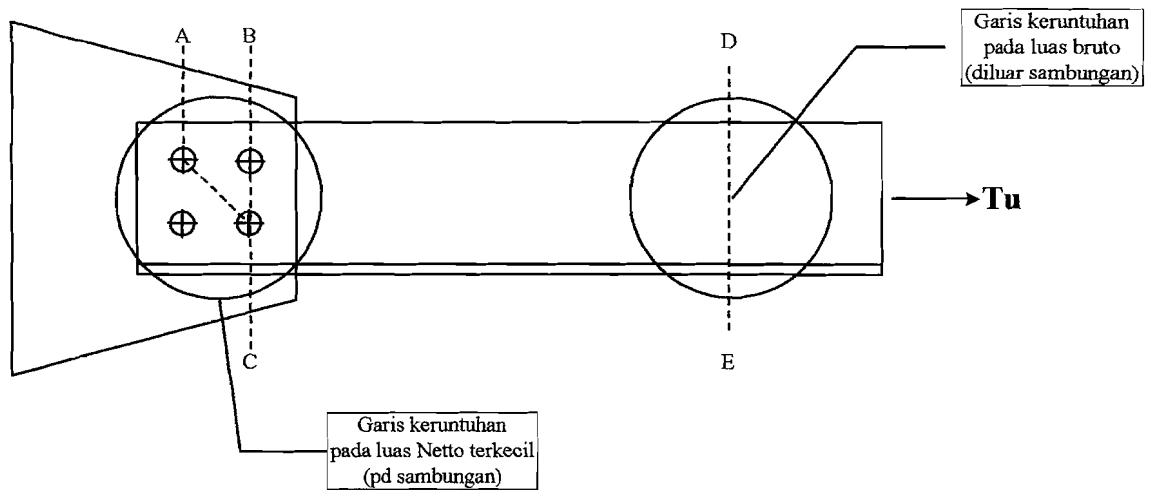
$$i_y = r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (3.10)$$

### 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 garis 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 garis A – C dan B – C.



**Gambar 3.10** Garis Kemungkinan pola 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 *gross* 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 *gross*.

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 *Charles G. 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 *gross*.

### 3.5.2 Keruntuhan Akibat Tekuk

#### 3.5.2.1 Tekuk Total

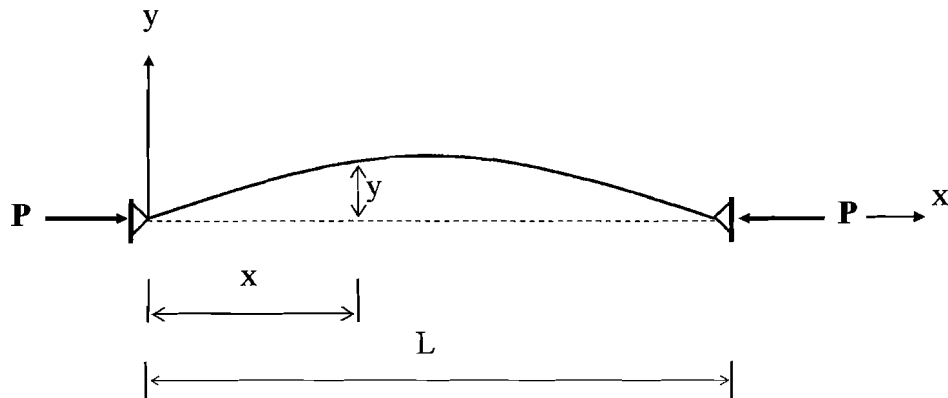
Pada keruntuhan akibat tekuk total dapat terjadi dalam keadaan elastis maupun inelastis.

##### 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. (*Padoshajayo, 1992*).

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 sentries.

Kuat tekan kolom langsing 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

$$M_x = P.Y \quad (3.16a)$$

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

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

Persamaan diferensialnya menjadi

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

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

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

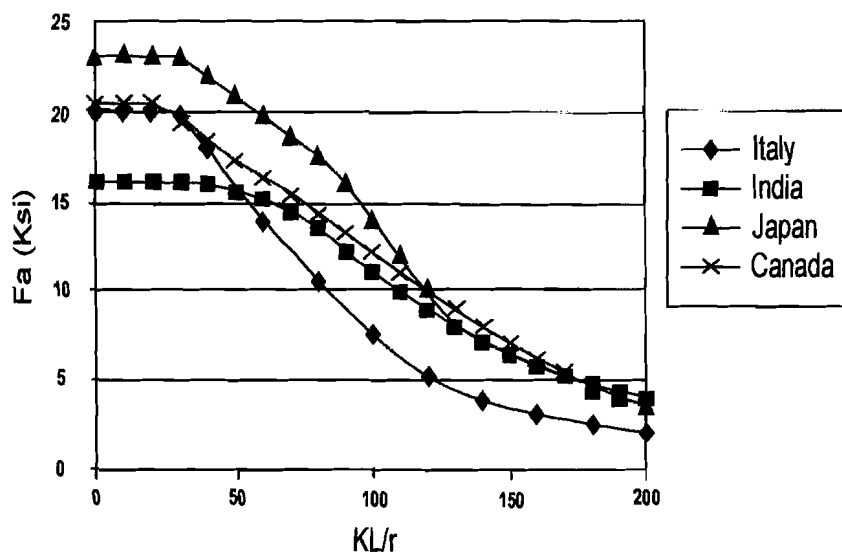
dimana  $I$  adalah inersia bahan,  $I = A.r^2$  atau  $r^2 = I / A$ , maka diperoleh tegangan tekan kritis Euler seperti terlihat pada Persamaan (3.19) berikut ini,

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

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 ( $F_a$ ) 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  $\pm 40$ ), penurunan tegangan kritis terjadi besar seiring dengan penambahan  $KL/r$  untuk  $KL/r = \pm 40$  sampai dengan  $\pm 160$ , dan kembali menjadi relatif datar untuk  $KL/r$  lebih dari  $\pm 160$ . 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 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 tangent 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 kritisnya semakin kecil. Persamaan (3.19) dan (3.20) berlaku untuk batang tekan yang elemen-elemen penampangnya 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,  $\sigma$  = tegangan yang terjadi

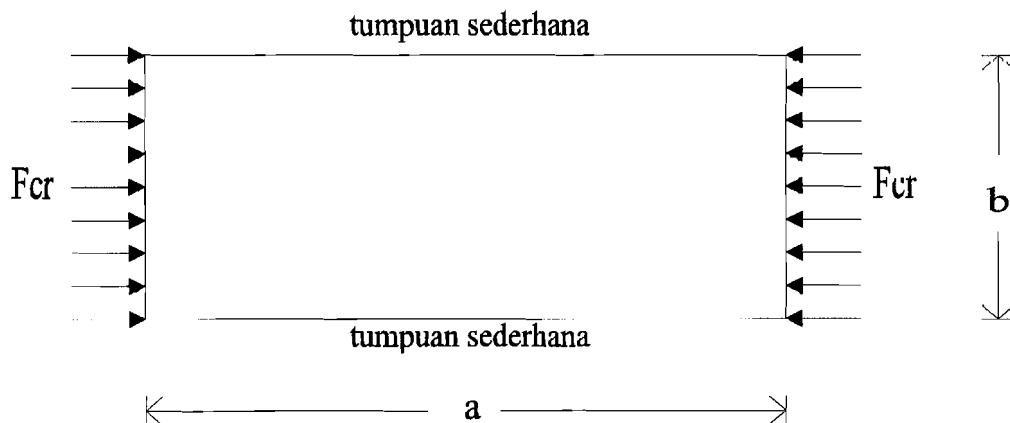
### 3.5.2.2 Tekuk Lokal Akibat Tekan

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 terlihat pada Gambar 3.13 dan dapat dinyatakan sebagai:

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

dengan :  $F_{cr}$  = tegangan kritis (Mpa),  $k$  adalah koefisien tekuk,  $\pi = 3,14$ ,  $E$  adalah modulus elastisitas baja ( $2 \cdot 10^5$  Mpa),  $\mu$  adalah rasio poisson = 0,3, dan  $b/t$  adalah rasio lebar terhadap tebal pelat.

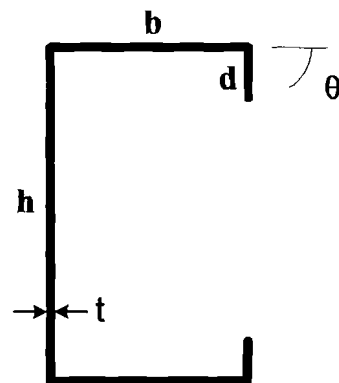


**Gambar 3.13** Pelat yang tertekan

Dari persamaan (3.23) tampak bahwa nilai  $F_{cr}$  dipengaruhi oleh koefisien tekuk ( $k$ ), 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 ( $k$ ).

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.



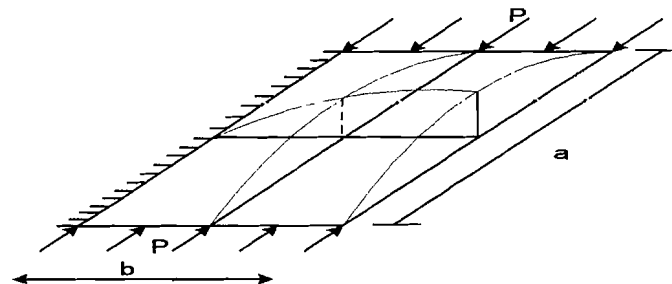
Gambar 3.14 Profil *Lipped Channel*

dengan  $h$  adalah tinggi badan,  $b$  = lebar sayap,  $d$  = panjang lip,  $\theta$  = sudut lip (radians),  $t$  = tebal.

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

#### 1. Tekuk Local 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 :

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

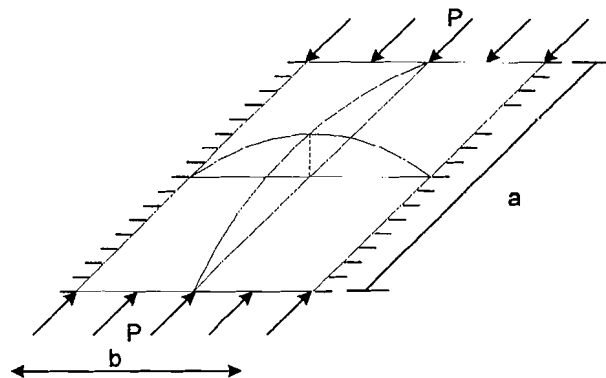
$$P_{cr-lip} = F_{cr-lip} \times A_{lip} \quad (3.25)$$

## 2. Tekuk Local 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 ( $k$ )

Nilai koefisien tekuk komponen rangka batang dapat diketahui hanya pada komponen yang mengalami kerusakan akibat tekuk (akibat tekuk lokal 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:

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

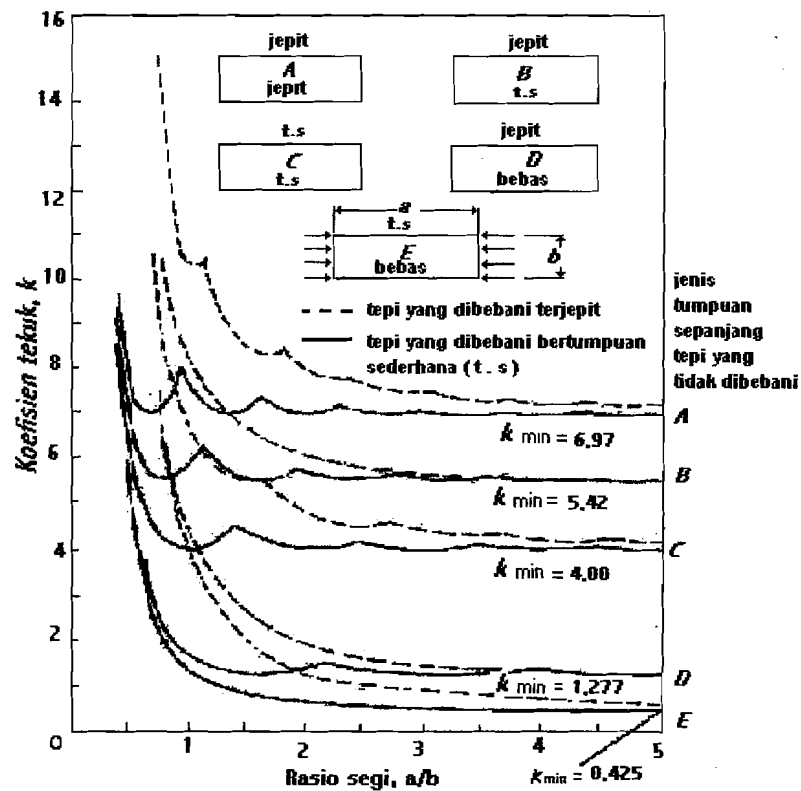
dimana  $F_{cr}$  adalah gaya batang dibagi luas profil ( $P_{cr}/A$ ).

Pada kegagalan akibat tekuk lokal, nilai koefisien tekuk ( $k$ ) untuk elemen tekan pelat 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

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

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 local, nilai koefisien tekuk untuk tekuk local 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.

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

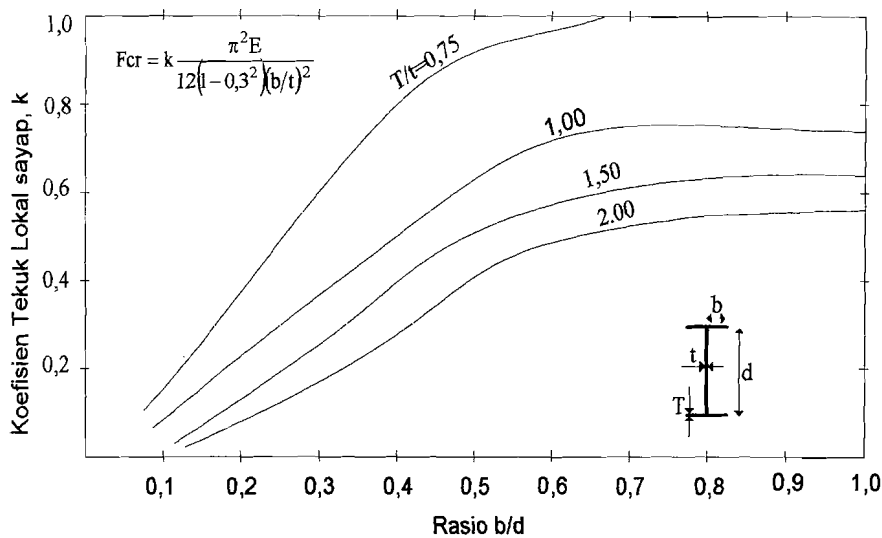
$$\left[ \left[ 2 - \left( \frac{b}{h} \right)^{0.2} \right] \cdot 4 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} < 1 \quad (3.31)$$

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

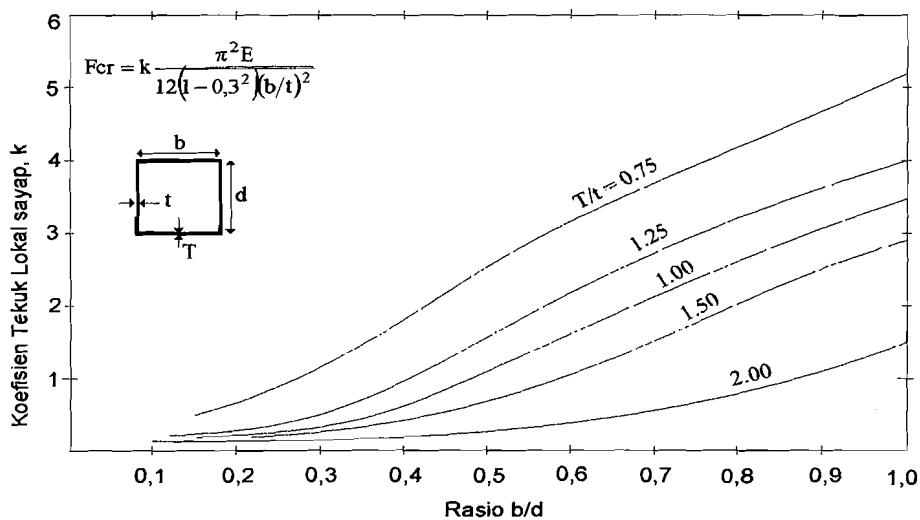
Persamaan diatas memperlihatkan variasi koefisien tekuk  $k$  dan nilai  $F_{\text{cr}}$  untuk kondisi tepi yang berbeda-beda pada profil *Light Lipped Channel*.

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 local dan tekuk keseluruhan dapat terjadi secara bersamaan apabila tegangan kritis batang sama dengan tegangan kritis rangka kuda-kuda keseluruhan, seperti pada persamaan 3.32

$F_{cr}$  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 local.

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

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

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

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

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

Dengan  $\mu$  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  $F_{cr \text{ keseluruhan}}$  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 3.17 menunjukkan kekuatan pelat untuk elemen tekan yang tidak diperkuat dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas (*AISC-1973*). 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  $Q_s = 1,0$

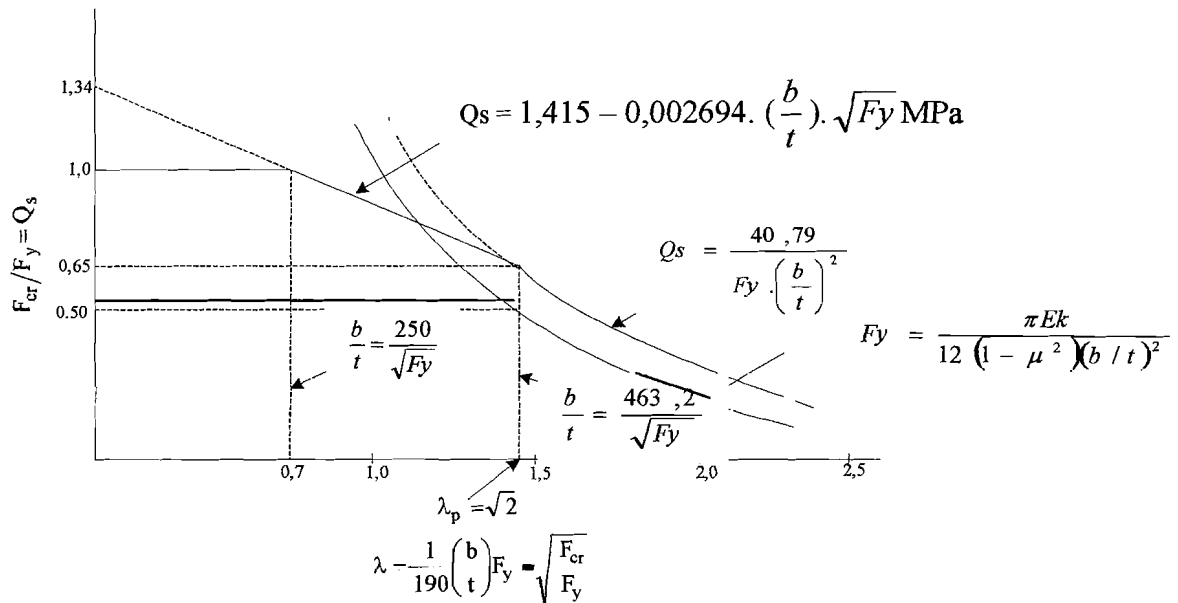
Faktor bentuk untuk elemen penampang yang diperkuat adalah  $Q_a$ . Besar  $Q_a$  menurut AISC adalah,

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

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

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

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, 1973)

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

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

Apabila

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}} \quad (3.46)$$

Maka

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

Apabila  $KL/r$  lebih dari  $C_c$  maka tegangan kritis yang terjadi

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



### 3.7 PENGARUH JARAK BATANG VERTIKAL TERHADAP KESTABILAN RANGKA

Sebuah struktur kuda-kuda rangka batang yang 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. Oleh karena itu, jarak batang vertikal dapat berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan sebuah struktur rangka batang.

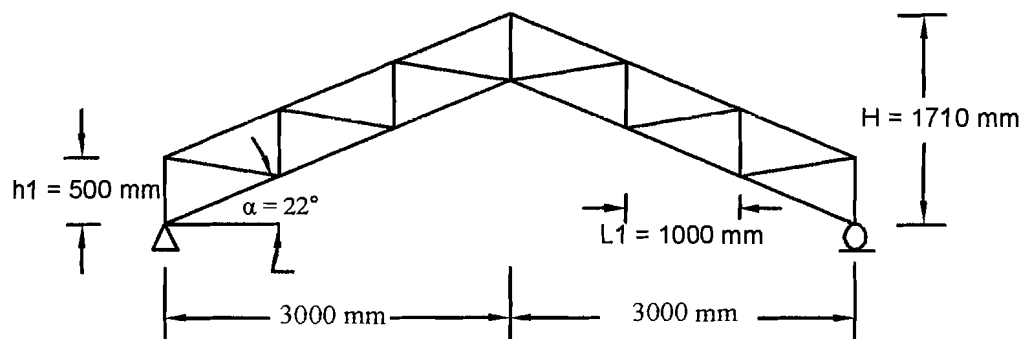
Jarak batang vertical akan berpengaruh terhadap panjang batang diagonal dan panjang efektif batang tepi sejajar, terutama batang tepi yang memikul tekan yaitu batang tepi atas. Pada kuda-kuda yang menerima beban sebesar  $P$  pada puncaknya maka pada batang tepi atasnya akan menerima gaya tekan (-) dan hal ini berpengaruh terhadap panjang efektif 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 yang memiliki bentang efektif lebih pendek, bila diberi beban aksial cenderung akan mengakibatkan lendutan menjadi kecil sehingga kekuatan dan kekakuan struktur cenderung meningkat.

Mengacu pada persamaan tegangan yang terjadi pada komponen tekan pada batang tepi atas rangka kuda-kuda (Persamaan 3.19), bahwa kapasitas tekan dalam memikul gaya tekan selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang efektif batang. Jika jarak batang vertical ( $L_1$ ) semakin pendek, maka panjang batang tepi atas menjadi pendek dan gaya aksial ( $P$ ) yang dapat didukung struktur relatif besar sehingga kemungkinan rangka mengalami tekuk kecil.

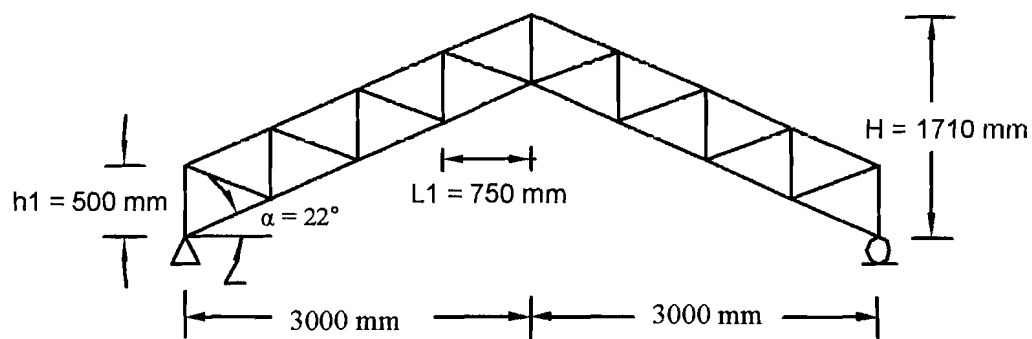
Pada penelitian ini dipakai variasi jarak batang vertikal  $L_1 = 1000$  mm ( $L_1/L = 0,167$ );  $L_1 = 750$  mm ( $L_1/L = 0,125$ );  $L_1 = 600$  mm ( $L_1/L = 0,1$ ) dan  $L_1 = 500$  mm ( $L_1/L = 0,083$ ) seperti yang ditunjukkan pada (**Gambar 3.21, 3.22, 3.23, dan 3.24**).

### 3.7.1 Jarak batang vertikal kuda-kuda $L_1 = 1000$ mm ( $L_1/L = 0,167$ )



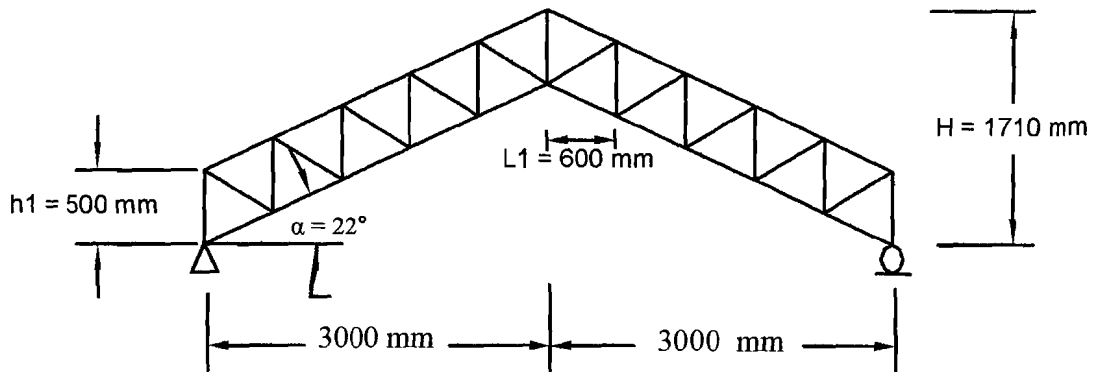
**Gambar 3.21** Jarak batang vertikal kuda-kuda  $L_1 = 1000$  mm ( $L_1/L = 0,167$ )

### 3.7.2 Jarak batang vertikal kuda-kuda $L_1 = 750$ mm ( $L_1/L = 0,125$ )



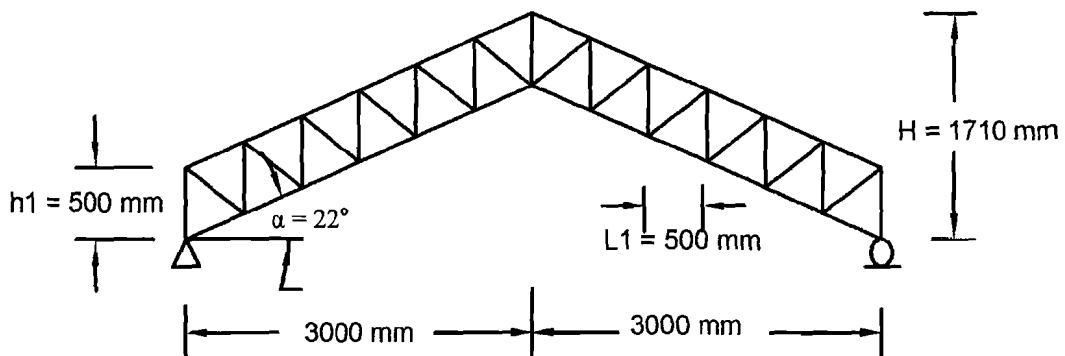
**Gambar 3.22** Jarak batang vertikal kuda-kuda  $L_1 = 750$  mm ( $L_1/L = 0,125$ )

### 3.7.3 Jarak batang vertikal kuda-kuda $L_1 = 600 \text{ mm}$ ( $L_1/L = 0,1$ )



Gambar 3.23 Jarak batang vertikal kuda-kuda  $L_1 = 600 \text{ mm}$  ( $L_1/L = 0,1$ )

### 3.7.4 Jarak batang vertikal kuda-kuda $L_1 = 500 \text{ mm}$ ( $L_1/L = 0,083$ )

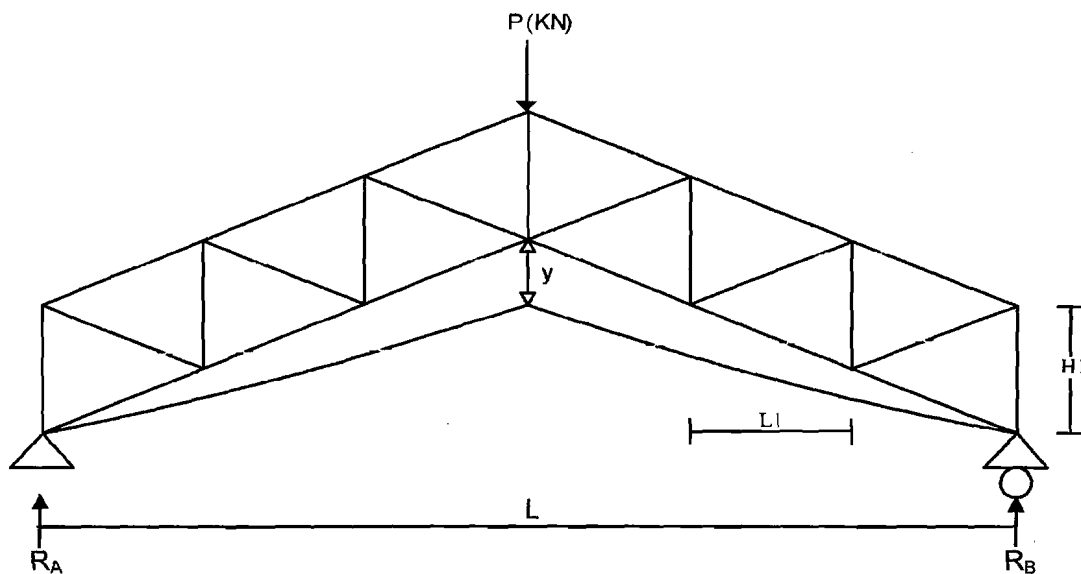


Gambar 3.24 Jarak batang vertikal kuda-kuda  $L_1 = 500 \text{ mm}$  ( $L_1/L = 0,083$ )

## 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. Kuda-kuda dengan batang tepi sejajar memiliki nilai modulus elastisitas dan inersia ( $EI$ ) konstan, sehingga untuk analisis lendutan, kuda-kuda 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. Makin 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** Kuda-kuda 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 *F.L Singer dan A.Pytel (1985)*. Besarnya lendutan pada struktur rangka dapat didekati dengan persamaan diferensial kurva elastis balok yang ditunjukkan pada Persamaan (3.49).

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

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).

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

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

Mengacu pada persamaan diferensial kurva elastis balok, lendutan ( $\Delta$ ) 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

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

Integral Persamaan (3.54) adalah

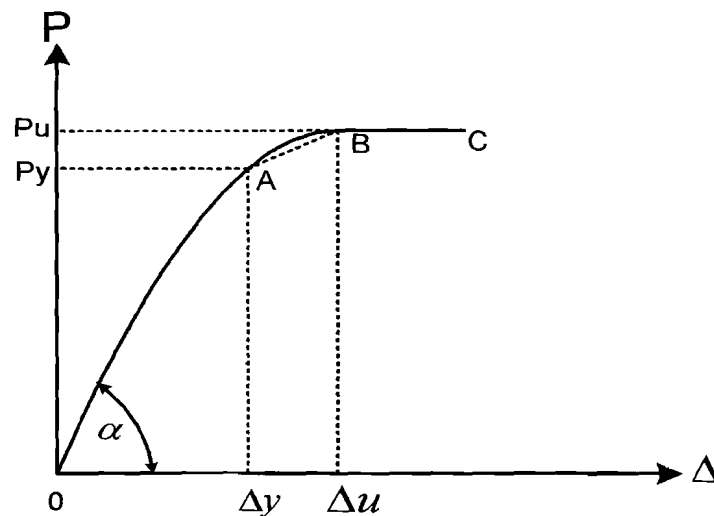
$$y = \frac{1/12 Px^3 - \frac{P}{6} \left(x - \frac{1}{2}L\right)^3 + C_1 x + C_2}{EI} \quad (3.55)$$

Dari persamaan 355, maka lendutan ( $\Delta$ ) 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 :  $\Delta$  = 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 3.26 terlihat bahwa beban  $P$  yang bekerja pada struktur dapat menyebabkan terjadinya defleksi  $\Delta$ . 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(  $\Delta$  )

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 ( $\Delta$ ) akan membentuk sudut sebesar  $\alpha$ , 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 ( $k = P/\Delta$ ) 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:

$$k = \frac{c.EI}{L^3} \quad (3.58)$$

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

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 3.26. 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.

Kelengkungan adalah kurva defleksi dari struktur yang diakibatkan oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut, seperti pada Gambar 3.25 struktur kuda-kuda mengalami lendutan sebesar  $\Delta$ . Menurut *Singer dan Pytel (1985)*, kelengkungan yang terjadi pada struktur dapat didekati menggunakan Persamaan (3.59) berikut :

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

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).

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

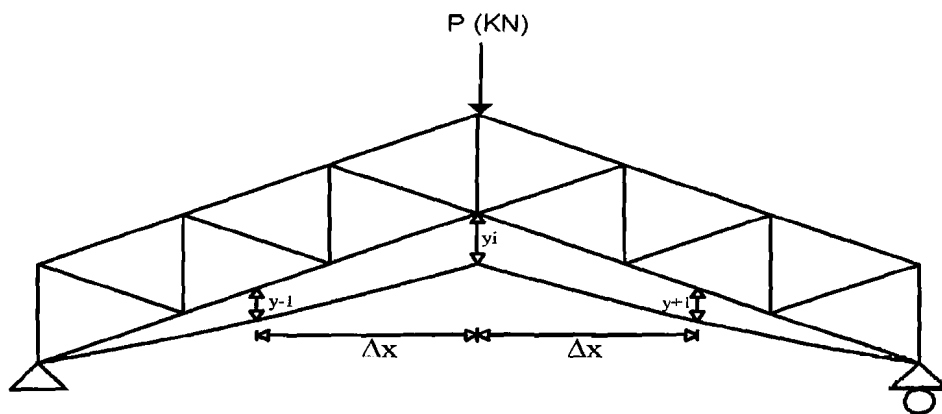
Timoshenko (1987), mengemukakan bahwa faktor kekakuan ( $EI$ ) didefinisikan sebagai rasio momen dan kelengkungan. Sehingga persamaan momen ( $M$ ) menjadi,

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

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

Persamaan untuk kekakuan lentur ( $EI$ ) ditunjukkan,

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



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

Untuk menghitung nilai kekakuan lentur ( $EI$ ) digunakan lendutan yang didapat dari hasil pengujian kuat lentur pada titik-titik pembebanan yang berurutan pada jarak ( $\Delta x$ ) 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

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

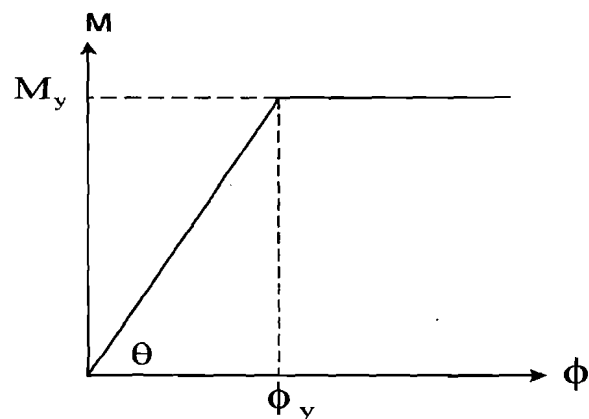
bila  $\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi$ , maka Persamaan (3.69) dapat ditulis kembali menjadi Persamaan

(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 ( $\Delta x$ ).

Hubungan momen ( $M$ ) dan kelengkungan (curvature)( $\phi$ ) ditunjukkan pada Gambar 3. 28.



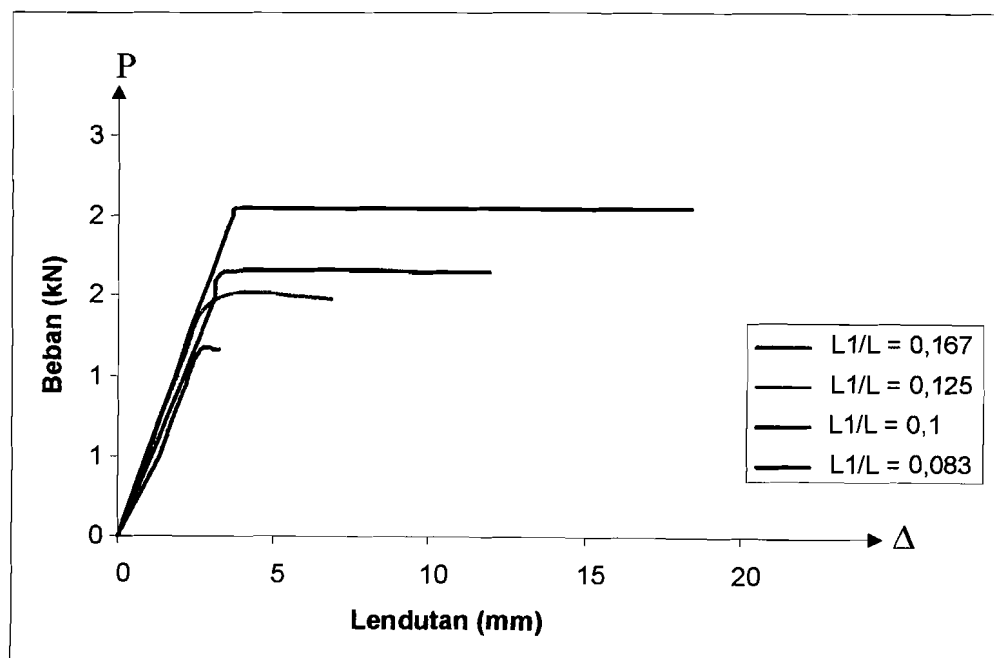
**Gambar 3. 28** Hubungan momen ( $M$ ) dan kelengkungan ( $\phi$ )

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 ( $EI$ ).

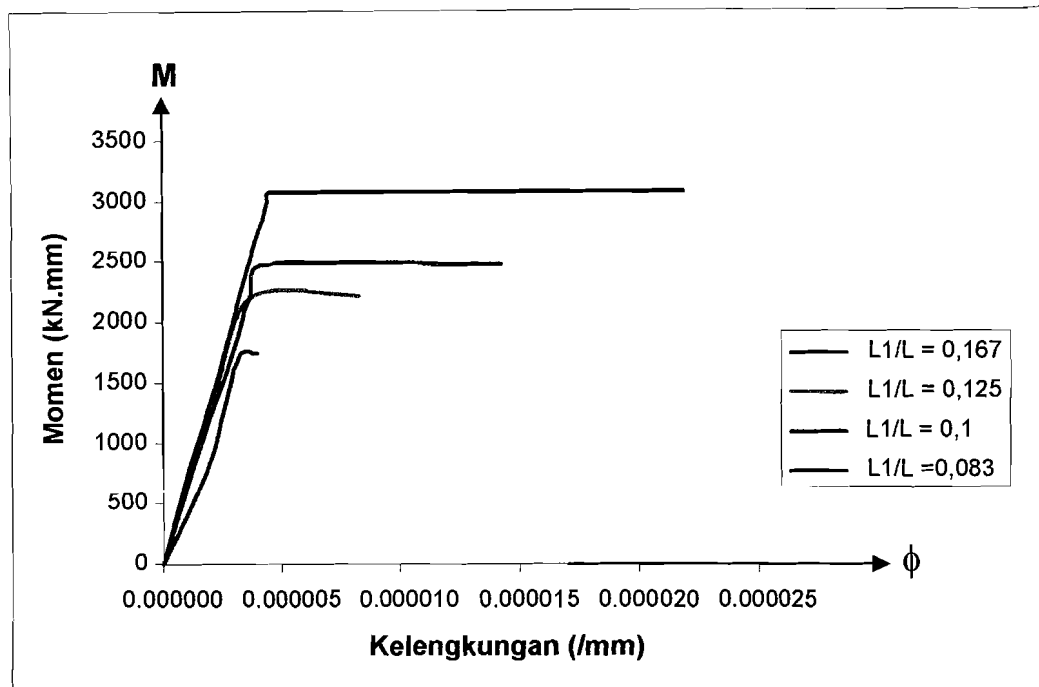
### 3.10 HIPOTESIS

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 sudut tetap diberi beban terpusat ( $P$ ), maka kemungkinan akan terjadi lendutan ( $\Delta$ ) yang besarnya dipengaruhi jarak batang vertical sehingga dapat mempengaruhi kekakuan struktur rangka atap tersebut.

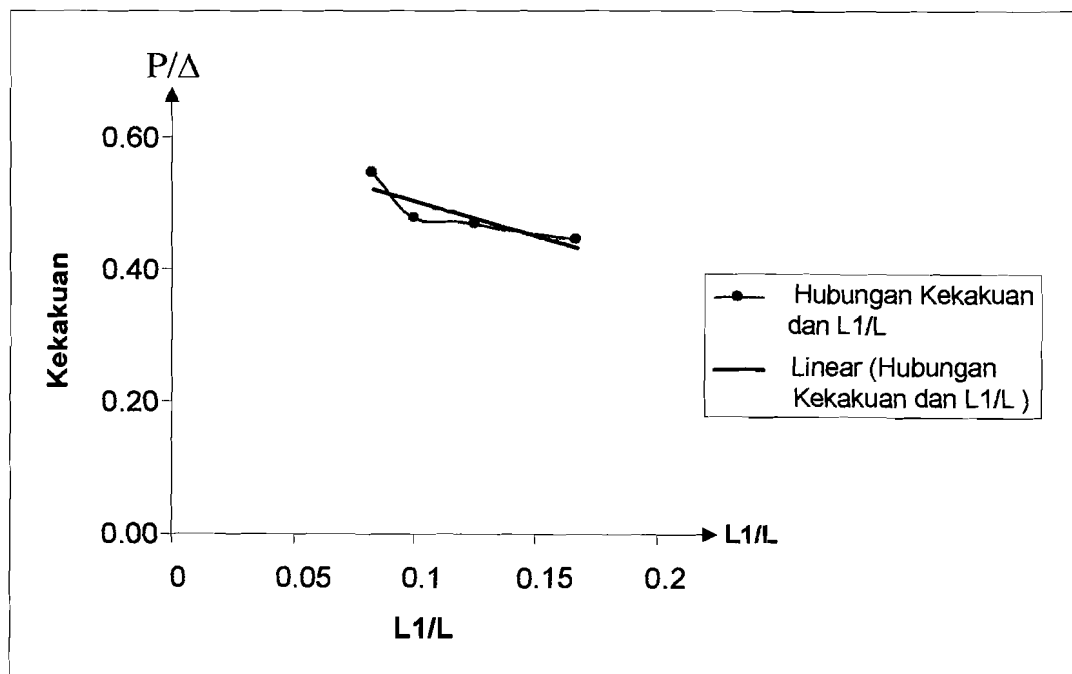
$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$



**Gambar 3.29** Hubungan Beban dan Lendutan



Gambar 3.30 Hubungan Momen ( $M$ ) – kelengkungan ( $\phi$ )



Gambar 3.31 Hubungan kekakuan ( $k$ ) –  $L_1/L$

Dari Gambar 3.29, Gambar 3.30 dan Gambar 3.31 terlihat bahwa

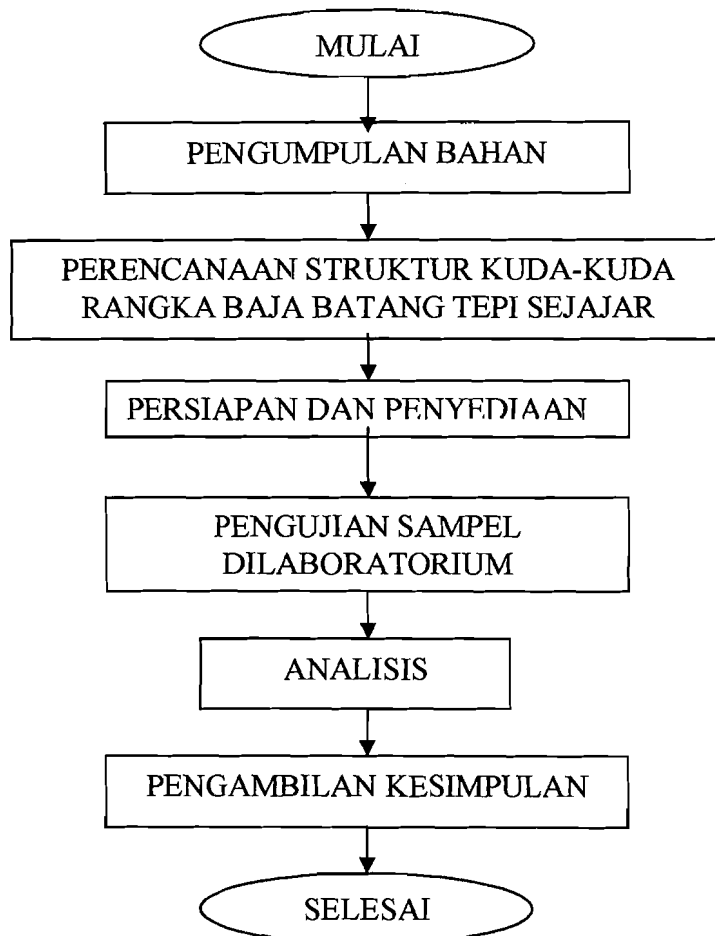
1. semakin besar beban yang dipikul oleh rangka, semakin besar lendutan yang terjadi,
2. semakin pendek jarak batang vertical ( $L_1$ ) beban yang dapat didukung oleh batang tekan semakin besar,
3. semakin pendek jarak batang vertical ( $L_1$ ), batang tekan semakin kaku.

Jika batang tekan yang merupakan salah satu komponen struktur rangka batang semakin pendek, maka struktur tersebut semakin kuat dan kaku sehingga kemungkinan rangka mengalami tekuk kecil.

## 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 :

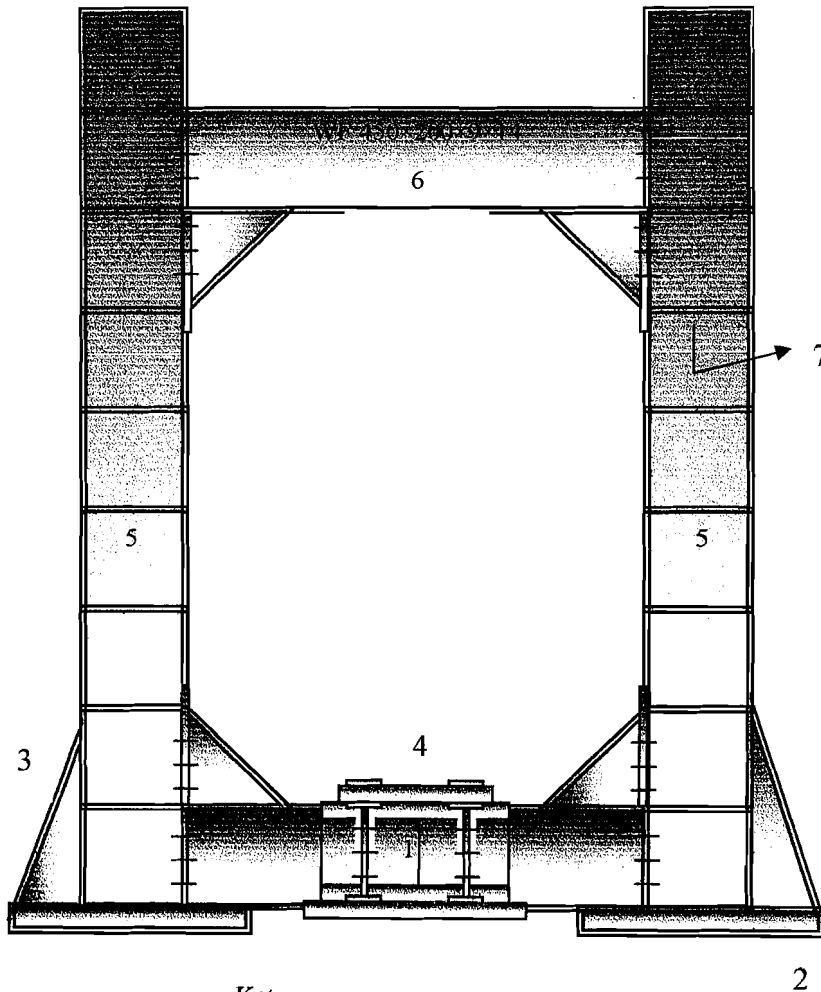
- a. Profil baja *Lipped Channel* 60x22x8 dengan ketebalan 1,2 mm.
- b. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung baut.

### 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*