

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAN/EEELI	
TGL. TERIMA :	11 Februari 2007
NO. JUDUL :	002154
NO. INV. :	520002194001
NO. INDUK :	

LAPORAN TUGAS AKHIR

PERILAKU LENTUR STRUKTUR RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR

PROFIL BENTUKAN DINGIN

PENELITIAN LABORATORIUM



Disusun oleh :

xvii, 72 : bibl. lamp : 28

SUPRIYONO

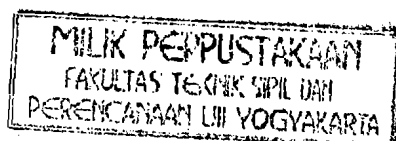
No. Mhs : 00 511 054

RADHIATAMA EKA CHRISMAWAN

No. Mhs : 00 511 056

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

• Baja - Struktur
 • Baja - Rangka Brg
 • Profil Bent. Mew
 • Chrismaawan, R.E
 Judul



LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENELITIAN LABORATORIUM

PERILAKU LENTUR STRUKTUR RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR

PROFIL BENTUKAN DINGIN

diajukan sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar

Sarjana Teknik Sipil

Pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,

Universitas Islam Indonesia



الجامعة الإسلامية
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Fatkhurrohman N, MT

Dosen Pembimbing I

Tanggal : *[Handwritten]* 05/07/2006

MOTTO

Kemenangan (keberhasilan) hanya dapat dicapai dengan kesabaran. (HR. Attirmidzi)

Tuntutlah ilmu, sesungguhnya menuntut ilmu adalah pendekatan diri kepada Allah swt dan mengajarkannya kepada orang yang tidak mengetahuinya adalah sodaqoh. (HR. Ar-rabii)

Tuntutlah Ilmu tetapi jangan melupakan ibadah, dan kerjakanlah ibadah tapi tidak boleh lupa pada ilmu. (Hasan Al-Basri)

Berbuatlah untuk duniamu seakan-akan kamu akan hidup selamanya dan beramallah untuk akhiratmu seakan-akan kamu akan mati besok. (HR. Thabrani)

HALAMAN PERSEMBAHAN



Puji syukur kupanjatkan pada Allah SWT atas semua yang telah diberikan. Sebuah karya kecil yang belum apa-apa ini saya persembahkan untuk:

Pa'e dan Ma'e yang telah memberikan segalanya baik lewat materi, do'a maupun dukungannya, yang tidak akan Upi lupakan.

Mak'Yu dan Mbok'e yang nggak pernah berhenti menyemangati dan memberikan apa yang Upi butuhin.....

Kakak2-ku dan Adikku terutama Ayu "my little angel" dan Mas Nur "Acong" makasih banget atas dukungannya.....

Endang S, S.Farm,. yang telah memberikan semangat dan pengorbanannya selama ini, semoga semangat itu nggak pernah hilang dari kita

Buat temen2 kos *DEMASDA* dari awal hingga akhir saya tinggal di sana, terima kasih atas kebersamaannya selama ini.....

Special Thank's to Radhiatama "*KOPRAL DITO*" EC. atas kerjasamanya selama TA,

"We are the good team bro"

SUPRIYONO

HALAMAN PERSEMBAHAN



Puji syukur kupanjatkan pada Allah SWT atas semua yang telah diberikan. Sebuah karya kecil yang belum apa-apa ini saya persembahkan untuk:

Pa'Sholeh dan Bu'Sri yang ngga' pernah berhenti kasih dukungan 'n do'a, dan semoga gak berhenti sampai selamanya, sampai meraih kemenangan.

Eyang Ruspitaningsih, perubahan ini meyakinkan aku bahwa tak ada yang abadi sejak kau putuskan untuk melepaskan hidup.

Nadia, Cepe', Adit "Tukul Arwana" makasih banget atas dukungannya.....shine on!shine on!!

Admin sales-marketing TPI, dlanes+mT3, thanks untuk the Big big support!!, semoga tak akan ada lagi perdebatan yang panjang!

Pak Soehono dan Bu'Kus, makasih buat perhatiannya selama ini..trims-trims!

Yang tak terlupakan..Supriyono "zbx_cvlr", the amazing people!, kemenangan hari ini bukanlah berarti kemenangan esok hari, kegagalan esok hari bukan berarti kegagalan esok nanti.oke?

Terakhir...,the smart girl..Tisara_Sita, thanks buat the big Big influence!

Radhiatama Eka Chrismawan

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya hingga penyusun dapat melaksanakan serta menyusun laporan Tugas Akhir ini dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat menempuh jenjang pendidikan Strata Satu (S-1) pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam menyusun laporan, sebelumnya penyusun telah melakukan pengujian pada Laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama melaksanakan dan menyusun laporan Tugas Akhir, penyusun mendapatkan banyak bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak DR. Ir. H. Ruzardi, MS., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Faisol AM, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3. Bapak Ir. H. Fatkhurrohman NS, MT., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Ayah dan Ibunda Tercinta, yang selalu berdoa untuk keberhasilan penyusun, hingga sampai pada penghujung studi ini, dan
5. Rekan-rekan yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan kepada penyusun, serta semua pihak yang telah banyak membantu terselesainya Tugas Akhir ini, yang tidak mungkin penyusun sebutkan satu persatu.

Atas segala budi dan amal baik yang telah diberikan, penyusun hanya dapat memanjatkan do'a, semoga segala amal dan kebajikannya mendapatkan imbalan yang setimpal dari Allah SWT, Amien.

Penyusun menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini belum dapat dikatakan sempurna karena masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penyusun mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Penyusun berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Juni 2006

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTO	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
INTISARI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB III LANDASAN TEORI	7
3.1 Profil Bentuk Dingin	7

3.2	Kuda – Kuda Rangka Batang	9
3.3	Batang Tarik	11
3.4	Batang Tekan.....	14
3.4.1	Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui...	15
3.4.2	Keruntuhan Akibat Tekuk	15
3.4.3	Nilai Koefisien Tekuk	22
3.5	Tegangan Kritis Metode AISC.....	27
3.6	Hubungan Beban - Lendutan.....	29
3.7	Hubungan Momen - Kelengkungan	32
3.8	Hipotesis	35
BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN	36
4.1	Metodologi Penelitian	36
4.2	Benda Uji.....	36
4.3	Bahan dan Alat yang digunakan.....	36
4.3.1	Bahan.....	37
4.3.2	Peralatan Penelitian	37
4.4	Pembuatan Benda Uji	41
4.5	Pengujian Sampel.....	43
4.5.1	Pengujian Kuat Tarik Baja	43
4.5.2	Pengujian Tekan Baja.....	43
4.5.3	Pengujian Kuat Lentur.....	44

BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	46
5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	46
5.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Baja	47
5.3	Hubungan Beban Lendutan Hasil Uji Lentur Kuda - Kuda	48
5.3.1	Kurva Beban - Lendutan Hasil Pengujian	48
5.3.2	Kurva Beban - Lendutan Hasil Analisa SAP 2000	53
5.3.3	Analisis Kekakuan Rangka Batang	55
5.4	Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian.....	58
5.4.1	Analisis Faktor Kekakuan Rangka Batang Hasil Pengujian	64
5.5	Tinjauan Analitis	65
5.5.1	Nilai Koefisien Tekuk	65
5.6	Pembahasan	67
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	70
6.1	Kesimpulan.....	70
6.2	Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA		72
PENUTUP		

DAFTAR TABEL

			Halaman
Tabel	3.1	Angka kelangsingan maksimum untuk batang tarik	14
Tabel	5.1	Hasil uji kuat tarik baja	47
Tabel	5.2	Hasil uji kuat tekan profil baja	47
Tabel	5.3	Hubungan beban – lendutan benda uji 1	48
Tabel	5.4	Hubungan beban – lendutan benda uji 2	50
Tabel	5.5	Hubungan beban – lendutan benda uji 3	52
Tabel	5.6	Hubungan beban – lendutan analisis SAP 2000	54
Tabel	5.7	Nilai kekakuan benda uji	57
Tabel	5.8	Hubungan momen – kelengkungan benda uji 1	58
Tabel	5.9	Hubungan momen – kelengkungan benda uji 2	60
Tabel	5.10	Hubungan momen – kelengkungan benda uji 3	61
Tabel	5.11	Hubungan momen – kelengkungan analisis SAP 2000	63
Tabel	5.12	Rasio faktor kekakuan rangka batang tepi sejajar	65
Tabel	5.13	Koefisien tekuk uji desak profil	66
Tabel	5.14	Koefisien tekuk tiap benda uji	67

DAFTAR GAMBAR

		Halaman	
Gambar	3.1	Profil bentukan dingin	8
Gambar	3.2	Profil lipped channel	8
Gambar	3.3	Kuda-kuda rangka batang tepi sejajar	10
Gambar	3.4	Elemen yang mengalami kerusakan akibat gaya tarik	12
Gambar	3.5	Batang tertekan	16
Gambar	3.6	Grafik hubungan KL/r dengan F_a di beberapa negara	18
Gambar	3.7	Pelat yang tertekan	19
Gambar	3.8	Profil lipped channel	20
Gambar	3.9	Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar	23
Gambar	3.10	Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang I	26
Gambar	3.11	Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang Kotak	27
Gambar	3.12	Kuda-kuda yang mengalami lendutan (y) akibat beban aksial (P)	30
Gambar	3.13	Grafik hubungan beban (P)-lendutan (Δ)	32
Gambar	3.14	Rangka kuda-kuda yang diberi beban aksial (P)	34
Gambar	3.15	Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ)	35

Gambar	4.1	Universal testing material shimatzu UMH 30	38
Gambar	4.2	Dukungan sendi dan rol	38
Gambar	4.3	Bentuk fisik loading Frame	39
Gambar	4.4	Dial gauge	40
Gambar	4.5	Hidrolik jack	40
Gambar	4.6	Benda uji kuat tarik baja	42
Gambar	4.7	Benda uji tekan profil lipped channel	42
Gambar	4.8	Benda uji kuda – kuda rangka batang	43
Gambar	4.9	Pengujian kuda – kuda dengan perletakan dial gauge dan beban	44
Gambar	5.1	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1	49
Gambar	5.2	Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 1	50
Gambar	5.3	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2	51
Gambar	5.4	Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 2	51
Gambar	5.5	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 3	52
Gambar	5.6	Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 3	53
Gambar	5.7	Grafik hubungan beban – lendutan analisis SAP 2000	54
Gambar	5.8	Regresi hubungan beban – lendutan analisis SAP 2000	55
Gambar	5.9	Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1, 2 dan 3	56
Gambar	5.10	Regresi hubungan beban – lendutan tiga benda uji	56
Gambar	5.11	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1	59
Gambar	5.12	Regresi hubungan momen - kelengkungan benda uji 1	59

Gambar	5.13	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2	60
Gambar	5.14	Regresi hubungan momen - kelengkungan benda uji 2	61
Gambar	5.15	Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2	62
Gambar	5.16	Regresi hubungan momen - kelengkungan benda uji 3	62
Gambar	5.17	Grafik hubungan momen - kelengkungan analisis SAP 2000	63
Gambar	5.18	Grafik hubungan momen - kelengkungan tiga benda uji	64
Gambar	5.19	Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar	66

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil uji bahan
- Lampiran 2 Hasil pengujian struktur rangka batang tepi sejajar
- 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
- Lampiran 7 Dokumentasi Pelaksanaan Pengujian
- Lampiran 8 Perhitungan P_{baut}
- Lampiran 9 Kartu peserta tugas akhir

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
d	=	Panjang bibir
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
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

INTISARI

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 berupa sendi tanpa gesekan dimana gaya-gaya luar bekerja melalui titik-titik ini. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mendapatkan diagram beban – deformasi ($P - \Delta$) dan kekakuan dari kuda-kuda batang tepi sejajar, (2) mendapatkan diagram momen – kelengkungan ($M - \phi$) dan faktor kekakuan dari kuda-kuda batang tepi sejajar, (3) mengetahui kegagalan struktur dari kuda-kuda rangka batang tepi sejajar, (4) mendapatkan nilai koefisien tekuk lokal profil lipped channel pada kuda-kuda batang tepi sejajar.

Pengujian eksperimental perilaku lentur kuda-kuda rangka batang tepi sejajar dengan bentang 6 m, dan sudut kemiringan 22° menggunakan profil bentukan dingin lipped channel 70x22x8 dan tebal profil 1,2 mm untuk semua elemen struktur. Dari pengujian kuda-kuda rangka batang tepi sejajar yang di bebani beban terpusat pada puncak struktur ini akan diketahui kekakuan struktur rangka batangnya.

Pembebanan sentris pada puncak kuda-kuda rangka batang tepi sejajar mengakibatkan sebagian komponen rangka memikul gaya tekan dan sebagian lagi memikul gaya tarik. Berdasarkan hasil pengujian batang tepi atas kuda-kuda mengalami gaya tekan yang semakin besar dari tepi hingga bagian puncak, sedangkan batang tepi mengalami gaya tarik yang semakin besar menuju tengah struktur. Untuk batang diagonal mengalami gaya tarik yang semakin besar dari tepi hingga tengah, sebaliknya batang vertikal mengalami gaya tekan dengan bagian tepi memiliki gaya yang paling besar dan mengecil dari tepi hingga tengah struktur. 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 sebesar 17,07 kN.m² dan mengalami tekuk lokal pada elemen tekan yang menahan beban terbesar diantara seluruh elemen tekan panyusun tampang dengan nilai koefisien tekuk profil lipped channel sebesar 0,140.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Baja banyak digunakan sebagai komponen bangunan sipil dengan pertimbangan material ini memiliki kekuatan tinggi dan cukup merata dibanding material jenis kayu atau beton. 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. Baja bentukan dingin banyak digunakan pada bangunan industri maupun perumahan sebagai komponen struktur rangka atap (kuda-kuda). Profil bentukan dingin merupakan elemen langsing sehingga kekuatannya sering dibatasi oleh masalah tekuk terutama tekuk lokal. Kekuatan, kekakuan dan perilaku struktur rangka batang profil bentukan dingin dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain geometri (bentuk) kuda-kuda, konfigurasi susunan batang, ukuran penampang batang, kekakuan jenis sambungan.

Struktur rangka batang (*truss*) adalah struktur yang terdiri dari atas kumpulan elemen batang yang disambung membentuk suatu geometri tertentu sedemikian sehingga apabila diberi beban pada titik buhul (titik pertemuan antar batang), maka struktur tersebut akan mendistribusikan beban melalui batang-

batangnya sebagai gaya aksial ke tumpuan struktur rangka batang. Struktur rangka batang yang berkembang saat ini paling tidak ada empat bentuk umum, yaitu : (a) rangka *Howe*, (b) rangka *Pratt*, (c) rangka *Fink*, dan (d) rangka batang tepi sejajar. Penggunaan rangka batang sebagai bagian dari struktur bangunan memerlukan perhitungan yang tepat, baik dari bahan yang digunakan maupun bentuk dari rangka batang agar rangka batang mampu menahan beban yang bekerja pada struktur.

Kekuatan dan kekakuan kuda-kuda bentukan dingin sering dibatasi oleh masalah instabilitas (tekuk) terutama tekuk lokal sehingga menarik untuk diteliti. Di Indonesia informasi mengenai perilaku kuda-kuda bentukan dingin belum banyak dikemukakan, guna mendapatkan informasi tersebut perlu dilakukan penelitian. Penelitian eksperimental struktur batang tepi sejajar dilakukan guna memperoleh informasi lanjutan tentang perilaku struktur rangka batang terhadap model struktur rangka batang bentuk *Howe*, *Pratt*, *Fink* yang meliputi kekuatan dan kekakuan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian perilaku lentur struktur rangka atap dengan batang tepi sejajar bentukan dingin adalah :

1. Mendapatkan kurva beban – deformasi ($P - \Delta$) dan kekakuan dari kuda-kuda batang tepi sejajar,
2. mendapatkan kurva momen – kelengkungan ($M - \phi$) dan faktor kekakuan dari kuda-kuda batang tepi sejajar,

3. mengetahui pola kegagalan struktur dari struktur rangka batang tepi sejajar dan tegangan kritis batang tepi atas,
4. mendapatkan nilai koefisien tekuk lokal profil C pada kuda-kuda batang tepi sejajar.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan manfaat :

1. Pengembangan ilmu pengetahuan yang telah ada,
2. Sebagai alternatif desain dalam perencanaan struktur kuda-kuda,
3. sebagai data pelengkap terhadap model struktur rangka atap yang sudah ada.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian kuda-kuda rangka batang profil bentukan dingin dibatasi oleh kondisi sebagai berikut :

1. Rangka batang tepi sejajar dari profil bentukan dingin dengan tumpuan sederhana,
2. panjang bentang 6,00 m, dengan kemiringan atap 22° ,
3. rangka atap menerima beban statis terpusat pada puncak struktur,
4. profil yang digunakan untuk seluruh elemen kuda-kuda batang tepi sejajar adalah profil *Lipped Channel* bentukan dingin $70 \times 22 \times 8$ mm dengan tebal 1,2 mm.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

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 (*Lambert Tall, 1974*).

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. (*Chu-Kia Wang, 1985*).

Batang tarik adalah batang yang mendukung tegangan tarik aksial yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya tarik aksial pada ujung-ujung batang (*Padosbajayo, 1991*). 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, 1994*).

Batang tekan merupakan elemen struktur (batang) yang mengalami gaya tekan aksial searah panjang batang yang arah bebannya berimpit dengan sumbu longitudinal elemen tersebut. Keruntuhan batang tekan dapat diklasifikasikan menjadi (1) keruntuhan akibat tegangan leleh bahan terlampaui, (2) keruntuhan akibat tekuk (*Gideon Hadi Kusuma, 1983*). Batang tekan yang panjang akan runtuh akibat tekuk elastis, dan batang tekan yang pendek dapat dibebani sampai bahan meleleh atau bahkan sampai daerah pengerasan regangan. Pada keadaan yang umum, kehancuran akibat tekuk terjadi setelah sebagian penampang lintang meleleh, keadaan ini disebut tekuk inelastis. Kekuatan batang tekan yang mengalami runtuh total berdasarkan rumus Euler berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan batang tekan tersebut (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Tegangan kritis pelat akibat tekuk lokal kekuatannya berbanding lurus dengan koefisien tekuk elemen pelat dan berbanding terbalik dengan kelangsingan elemen pelat.

Nilai koefisien panjang efektif dari suatu rangka batang hanya bisa ditinjau pada batang yang mengalami kerusakan akibat tekuk.

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 (*Timoshenko, 1987*).

Penampang lintang terbuka, dinding tipis, kolom baja bentukan dingin paling sedikit mempunyai tiga ragam gaya tekuk, tekuk lokal, distorsi, dan tekuk

Euler (lentur atau lentur-puntir). Prediksi tegangan tekuk pada bentuk tertutup untuk gaya lokal, mencakup interaksi unsur-unsur yang dihubungkan dan gaya distorsi, mencakup pertimbangan elastis dan geometri kekakuan pada badan maupun sayap, disajikan dan ditunjukkan dengan metode numerik. Analisa numerik dan eksperimen menunjukkan adanya kapasitas tekuk akhir di dalam gaya distorsi adalah lebih rendah dari gaya lokal. Eksperimen pada kanal bentukan dingin, z, dan kolom yang tersusun menunjukkan adanya inkonsistensi dan kesalahan sistematis didalam metode desain dan memberikan pengesahan untuk metoda alternatif (*Schafer, 1997*).

BAB III

LANDASAN TEORI

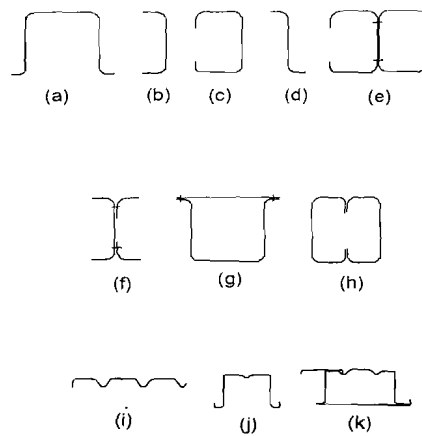
3.1 Profil Bentukan Dingin

Profil Baja bentukan dingin (*cold-formed members*) digunakan secara luas di dalam konstruksi. Suatu karakteristik yang baik dari baja bentukan dingin adalah dapat dibentuk kedalam suatu variasi penampang melintang yang dibentuk bersekat-sekat menggunakan peralatan sederhana.

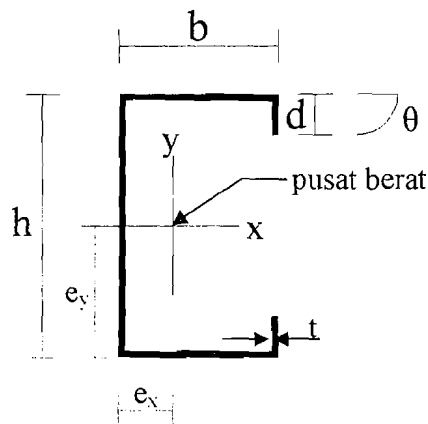
Gambar 3.1 menunjukkan beberapa profil bentukan dingin yang dibedakan menjadi tiga kelompok (*Lambert Tall, 1974*), yaitu :

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

Profil bentukan dingin yang umum digunakan sebagai elemen pembentuk kuda-kuda adalah profil *lipped channel*. Sifat penampang (*Section Properties*) profil *lipped channel* seperti terlihat pada Gambar 3.2, meliputi: (a) luas penampang, (b) momen inersia dan (c) jari-jari inersia, dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut ini.



Gambar 3. 1 Profil bentukan dingin



Gambar 3. 2 Profil *Lipped Channel*

sesuai dengan notasi yang digunakan dalam Gambar 3.2, luas penampang profil

(A) dapat dihitung menggunakan pendekatan Persamaan (3.1),

$$A = \{(h - 2t) + 2b + 2d - t\}t \quad (3.1)$$

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 berikut,

$$e_y = \frac{1}{2} \cdot h \quad (3.2)$$

$$e_x = \frac{b \cdot (b + 2 \cdot d)}{h + 2 \cdot b + 2 \cdot d} \quad (3.3)$$

momen inersia terhadap sumbu X dan sumbu Y didekati dengan Persamaan (3.4) dan Persamaan (3.5),

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot t \cdot h^3 + \frac{1}{2} \cdot b \cdot t \cdot h^2 + \frac{2}{3} \cdot d^3 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot d \cdot t \cdot h^2 - d^2 \cdot t \cdot h + \frac{1}{6} \cdot b \cdot t^3 \quad (3.4)$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot h \cdot t^3 + \frac{2}{3} \cdot t \cdot b^3 + \frac{1}{6} \cdot d \cdot t^3 + 2 \cdot d \cdot t \cdot b^2 - (h \cdot t + 2 \cdot b \cdot t + 2 \cdot d \cdot t) \cdot b^2 \cdot \frac{(b + 2 \cdot d)^2}{(h + 2 \cdot b + 2 \cdot d)^2} \quad (3.5)$$

jari-jari inersia terhadap sumbu X dan sumbu Y dihitung berdasarkan Persamaan (3.6) dan Persamaan (3.7) berikut,

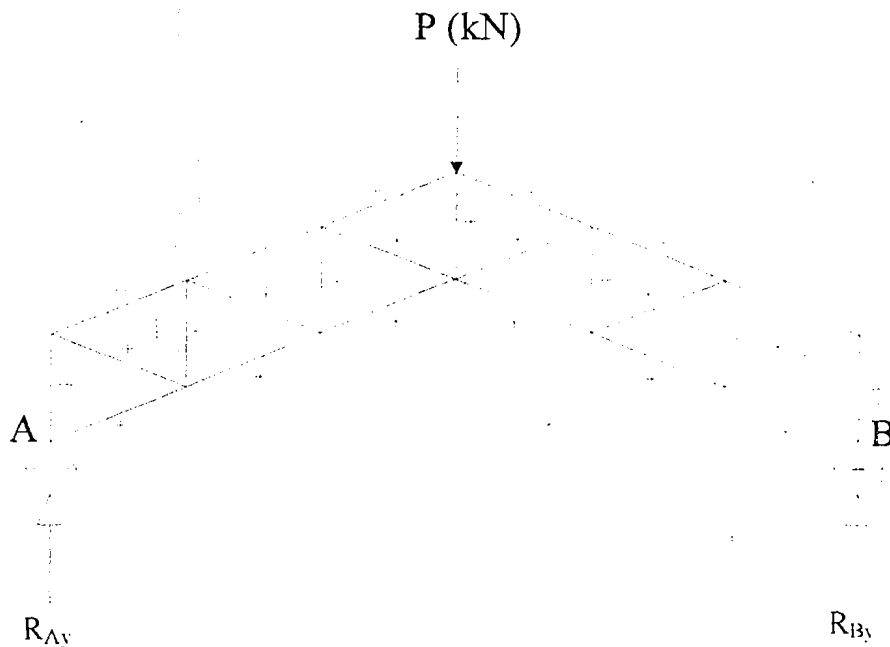
$$i_x = r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad (3.6)$$

$$i_y = r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (3.7)$$

3.2 Kuda-kuda Rangka Batang

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 (*Chu-Kia Wang, 1985*).

Struktur kuda-kuda dengan batang tepi sejajar merupakan salah satu bentuk umum yang sering digunakan, komponennya terdiri dari batang tepi atas yang sejajar dengan batang tepi bawah, batang vertikal dan batang diagonal, seperti terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Kuda-kuda Rangka Batang Tepi Sejajar

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{1}{2}P \quad (3.8)$$

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

Pembebanan sentris pada puncak rangka kuda-kuda batang tepi sejajar akan mengakibatkan sebagian komponen rangka memikul gaya tekan (-) dan sebagian lagi memikul gaya tarik (+) seperti terlihat pada Gambar 3.3. Beban sentris pada puncak rangka mengakibatkan batang tepi atas kuda-kuda akan mengalami 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.

3.3 Batang Tarik

Batang tarik adalah batang yang mendukung tegangan tarik aksial yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya tarik aksial pada ujung-ujung batang (*Padosbajayo, 1991*). Tegangan tarik yang terjadi pada batang seperti pada Gambar 3.3 tidak menimbulkan masalah stabilitas, karena tegangan tarik aksial yang bekerja pada sumbu longitudinal elemen cenderung menahan elemen pada garis longitudinal.

Kekuatan batang tarik yang mengalami kegagalan seperti terlihat pada Gambar 3.4a dan Gambar 3.4b akan mencapai kekuatan batas bila semua serat penampang melintang meleleh, sehingga kekuatan batang tarik bersifat merata pada seluruhampang dan kekuatannya dinyatakan oleh Persamaan (3.9) (*Salmon dan Johnson, 1994*).

$$P_u = A_g \cdot F_y \quad (3.9)$$

dengan: A_g = luas penampang bruto batang tarik, F_y = tegangan leleh baja.

Kegagalan batang tarik yang perlu diperhitungkan adalah patahnya elemen tarik seperti terlihat pada Gambar 3.4c, dengan anggapan batang tarik yang patah telah melampaui tegangan tariknya sehingga kekuatan batang tarik dapat diketahui menggunakan Persamaan (3.10). 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 (3.12). Sedangkan untuk batang tarik yang tidak berlubang atau dilas, luas penampangnya dihitung menurut Persamaan (3.11).

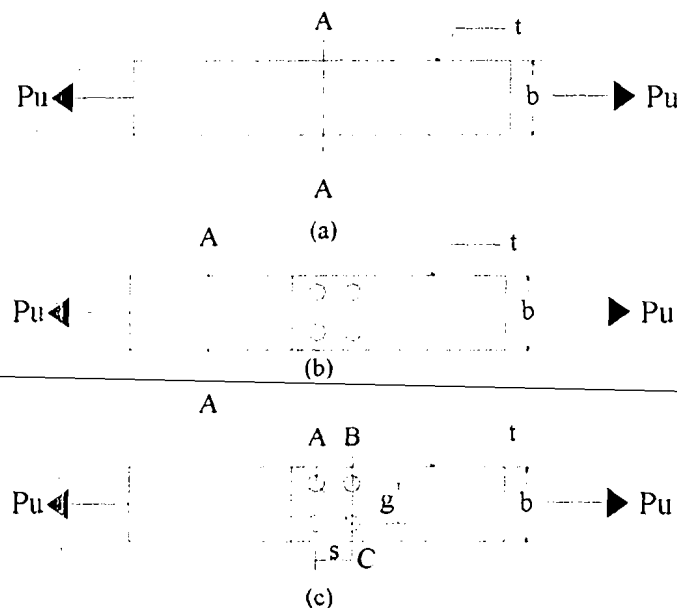
$$P_u = A_e \cdot F_u \quad (3.10)$$

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

$$A_e = U \cdot A_g \quad (3.11)$$

$$A_e = U \cdot A_n \quad (3.12)$$

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



Gambar 3. 4 Elemen yang mengalami kerusakan akibat gaya tarik

Pada Gambar 3.4c yang memperlihatkan dua baris lubang, garis keruntuhan dapat melalui garis lurus (B-C) atau dapat mengikuti garis diagonal (A-C). Luas penampang netto untuk kedua kondisi keruntuhan tersebut berturut-turut dapat dinyatakan dalam Persamaan (3.12a) dan Persamaan (3.12b), dengan s adalah jarak

seling sejajar (yaitu jarak lubang bersebelahan yang sejajar arah pembebanan) dan g adalah jarak tegak (yaitu jarak lubang yang tegak lurus arah pembebanan).

$$A_n = b.t - n.d.t \quad (3.12a)$$

$$A_n = b.t - n.d.t + \frac{s^2}{4.g} \quad (3.12b)$$

dengan : b = lebar penampang batang tarik, n = jumlah baut yang berada pada garis keruntuhan, d = diameter baut, t = tebal pelat.

Batang yang mengalami tegangan tarik tidak memiliki masalah dalam stabilitas, namun 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
(dikutip dari Struktur Baja Disain Dan Perilaku Jilid 1, Salmon dan Johnson)

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

3.4 Batang Tekan

Batang tekan merupakan elemen struktur (batang) yang mengalami gaya tekan aksial searah panjang batang yang arah bebannya berimpit dengan sumbu longitudinal elemen tersebut. Pada kenyataannya hal tersebut amat jarang terjadi sekalipun eksentrisitas yang ada kecil namun cukup berpengaruh terhadap stabilitas elemen tersebut. 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. Kapasitas pikul beban pada elemen struktur tekan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti eksentrisitas beban, ketidaksempurnaan material, dan profil penampang.

Keruntuhan batang tekan dapat dibedakan menjadi 2 kategori, kedua macam keruntuhan tersebut adalah:

1. Keruntuhan yang diakibatkan tegangan lelehnya terlampaui, keruntuhan semacam ini terjadi pada batang tekan yang pendek (*stocky column*) dan penampangnya kompak.
2. Keruntuhan yang diakibatkan oleh tekuk, keruntuhan yang diakibatkan oleh tekuk terdiri dari dua macam, yaitu : (1) tekuk total (*overall buckling*), batang

tekan mengalami tekuk total bila penampang batang kompak dan langsing (KL/r besar); (2) tekuk lokal (*local buckling*), batang yang mengalami tekuk lokal memiliki penampang yang tidak kompak dan elemen penampangnya langsing (rasio b/t besar).

3.4.1 Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui

Pada keadaan yang umum batang tekan yang pendek dan mempunyai rasio lebar terhadap tebal (b/t) kecil dapat dibebani sampai bahan meleleh atau bahkan sampai daerah pengerasan regangan (*Strain Hardening*). Oleh karena itu keruntuhan akibat tegangan lelehnya terlampaui biasanya dijumpai pada jenis batang dengan karakteristik tersebut. Kapasitas tekan ditentukan sebagai hasil kali tegangan leleh dan luas penampang seperti ditunjukkan oleh Persamaan (3.6). Menurut *Charles G. Salmon dan Johnson (1994)* 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. Biasanya pada kondisi ini $F_{cr} \geq F_y$, sehingga $F_{cr} = F_y$.

$$P_u = A_g \times F_y \quad (3.13)$$

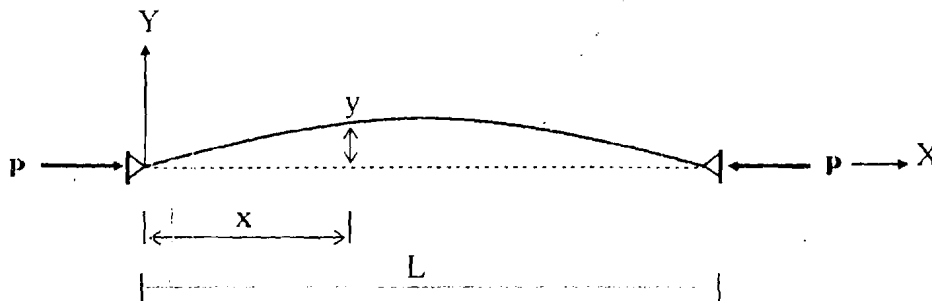
dengan: A_g = luas penampang batang tarik, F_y = tegangan leleh baja.

3.4.2 Keruntuhan Akibat Tekuk

Keruntuhan akibat tekuk terdiri dari 2 macam, yaitu :

a. **Tekuk Total**

Pada keruntuhan akibat tekuk ini, tegangan yang terjadi pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis, sehingga biasa disebut tekuk elastis.



Gambar 3.5 Batang tertekan

L = panjang batang, Δ = lendutan

Berdasarkan Gambar 3.5, batang tekan yang ditinjau pada titik sejauh x mengalami deformasi lateral sebesar y dapat dihitung menggunakan pendekatan seperti pada Persamaan (3.14a) yaitu persamaan diferensial kurva elastis berikut.

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -M \quad (3.14a)$$

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -P \cdot y \quad (3.14b)$$

Persamaan (3.14b) dapat ditulis kembali menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{P}{EI} y = 0 \quad (3.14c)$$

Penyelesaian Persamaan (3.14c) menghasilkan beban tekuk Euler (*Euler buckling load*), yaitu

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (3.15)$$

jika ruas kiri dan kanan Persamaan (3.15) dibagi dengan luas penampang (A), maka akan diperoleh tegangan tekan kritis Euler seperti terlihat pada Persamaan (3.16) berikut ini,

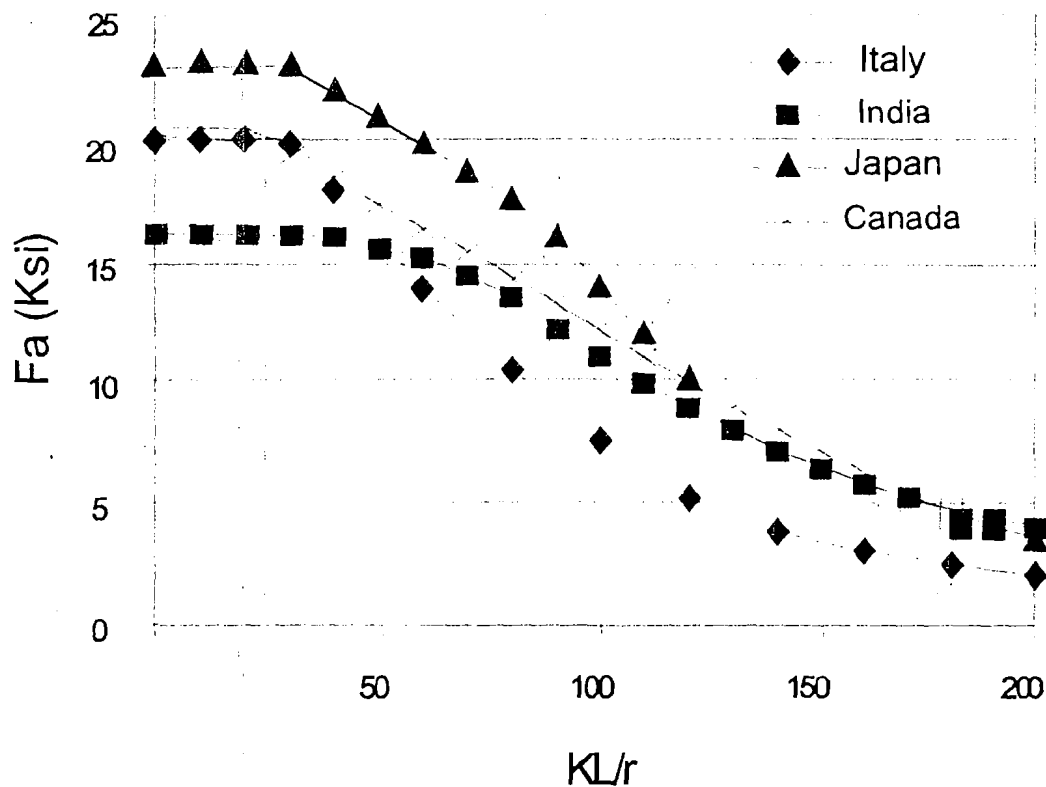
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.16)$$

dengan: E = modulus elastisitas baja, L = panjang tekuk, dan r = jari-jari inersia

minimum = $\sqrt{\frac{I}{A}}$, I = inersia bahan. Berdasarkan Persamaan (3.16) terlihat bahwa

tegangan kritis batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan (KL/r), sehingga semakin langsing batang tekan tegangan kritisnya akan semakin kecil.

Kurva tegangan ijin (F_a) fungsi kelangsingan (KL/r) pada kolom di beberapa negara yaitu: Italia, India, Jepang dan Kanada menunjukkan grafik hubungan yang hampir sama seperti terlihat pada Gambar 3.4. Penurunan tegangan ijin batang relatif kecil pada KL/r kecil (0 s/d ± 40), penurunan tegangan ijin batang terjadi besar seiring dengan penambahan KL/r untuk $KL/r = \pm 40$ sampai dengan ± 160 , dan menjadi relatif datar untuk KL/r lebih dari ± 160 .



Gambar 3. 6 Grafik Hubungan KL/r Dengan F_a Di Beberapa Negara
(Lambert Tall, 1974)

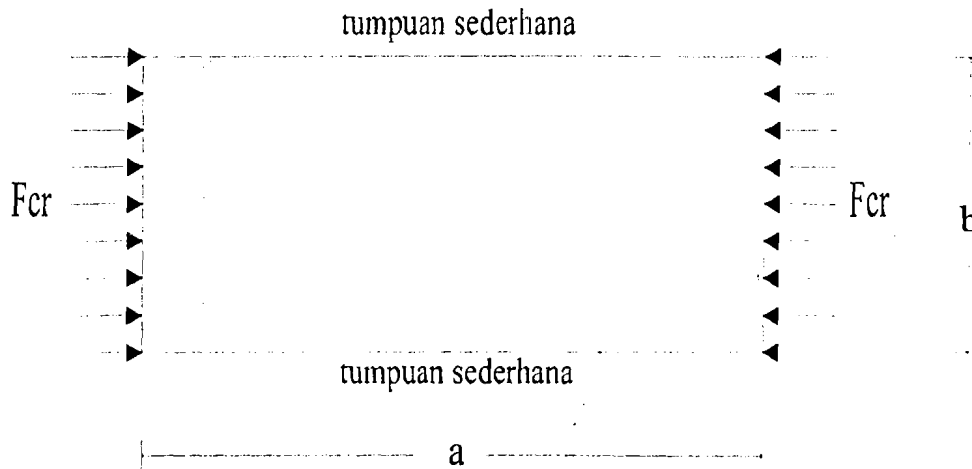
b. Tekuk Lokal

Lambert Tall (1974) mengemukakan tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur yang 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 juga dikemukakan oleh *Charles G. Salmon dan Johnson (1994)*, tegangan tekuk elastik teoritik atau

tegangan kritis pelat yang tertekan terlihat pada Gambar 3.7 dan dapat dinyatakan dengan Persamaan (3.17).

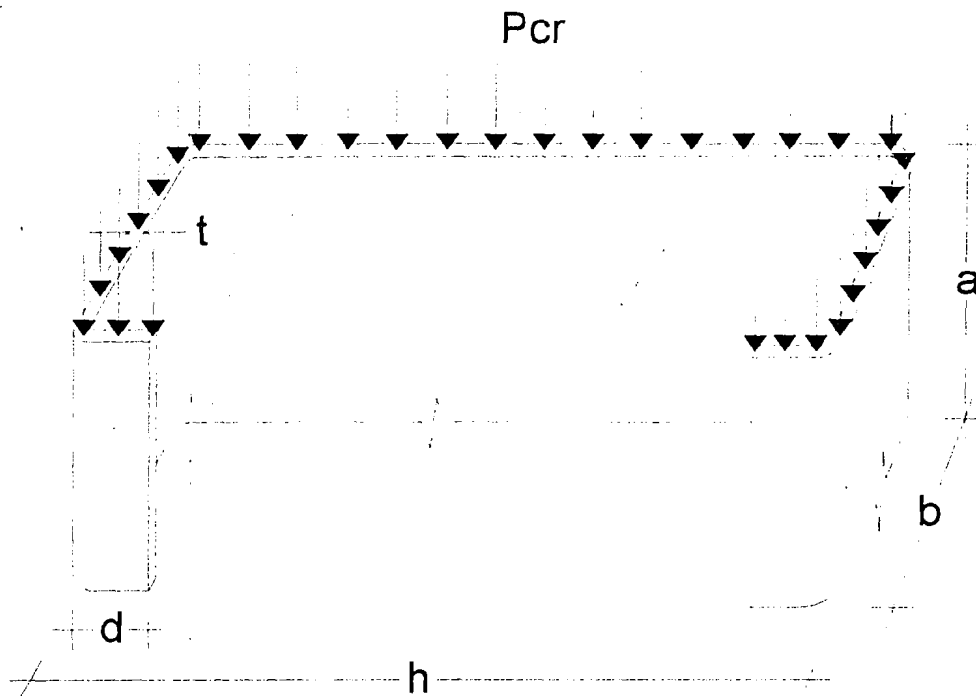
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.17)$$

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



Gambar 3. 7 Pelat yang tertekan

Berdasarkan Persamaan (3.17) tegangan kritis elemen tekan dipengaruhi koefisien tekuk (k) dan rasio lebar terhadap tebal pelat (b/t). Tegangan kritis juga dipengaruhi aspek rasio yaitu rasio panjang terhadap lebar pelat (a/b). Semakin besar aspek rasio dan rasio lebar terhadap tebal pelat (b/t), koefisien tekuk semakin kecil sehingga menyebabkan terjadinya tekuk lokal pada penampang profil di bagian sayap maupun di bagian badan. Gambar 3.8 menunjukkan penampang profil *Lipped Channel* bentukan dingin.



Gambar 3.8 Profil *Lipped Channel*

dengan: h = tinggi badan, b = lebar sayap, d = panjang lip, t = tebal profil, E = modulus elastis ($2 \cdot 10^5$ Mpa), μ = rasio poisson (0,3)

Ragam interaksi tekuk lokal, antara lain:

1) Tekuk Lokal Lip

Bibir profil *lipped channel* dianggap sebagai pelat yang salah satu sisinya bebas dan sisi lainnya dianggap sebagai dukungan sederhana. Sesuai dengan notasi pada Gambar 3.8, tegangan kritis bibir dinyatakan dalam Persamaan (3.18). Nilai rasio panjang terhadap lebar pelat (a/b) yang besar dan pelat memikul tekanan murni maka nilai koefisien tekuk (k) untuk bibir profil, $k = 0,425$.

$$F_{cr\text{lip}} = k_{\text{lip}} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{d}{t} \right)^2} \quad (3.18)$$

Tegangan kritis pada bibir didapat dengan mensubstitusikan nilai k pada Persamaan (3.18) adalah:

$$F_{cr\text{lip}} = 76.823,84 \times \left(\frac{t}{d}\right)^2 \text{ (Mpa)}$$

2) Tekuk Lokal Sayap

Sesuai dengan notasi pada Gambar 3.8, perhitungan tegangan kritis untuk sayap dengan menganggap kedua sisinya sebagai tumpuan sederhana, ditunjukkan oleh Persamaan (3.19) sebagai berikut :

$$F_{cr\text{sayap}} = k_{\text{sayap}} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (3.19)$$

Untuk rasio panjang terhadap lebar pelat (a/b) yang besar dan pelat mendapat tekanan murni, maka koefisien tekuk pelat (k) = 4. Sehingga tegangan kritis pada sayap didapat dengan mensubstitusikan nilai k pada persamaan Persamaan (3.19).

$$F_{cr\text{sayap}} = 723.047,94 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \text{ (Mpa)} \quad (3.20)$$

3) Tekuk Lokal Badan

Tegangan kritis untuk pelat badan yang kedua sisinya dianggap sebagai tumpuan sederhana serta rasio panjang terhadap lebar pelat (a/b) besar dan menerima tekanan murni, koefisien tekuk pelat (k) = 4, ditunjukkan pada Persamaan (3.21) berikut :

$$F_{cr \text{ badan}} = k_{\text{badan}} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t} \right)^2} \quad (3.21)$$

Nilai koefisien tekuk pelat (k) pada badan, $k = 4$, maka Persamaan (3.20) dapat digunakan untuk mencari tegangan kritis badan dengan mengganti nilai b dengan nilai h sesuai notasi pada Gambar 3.6.

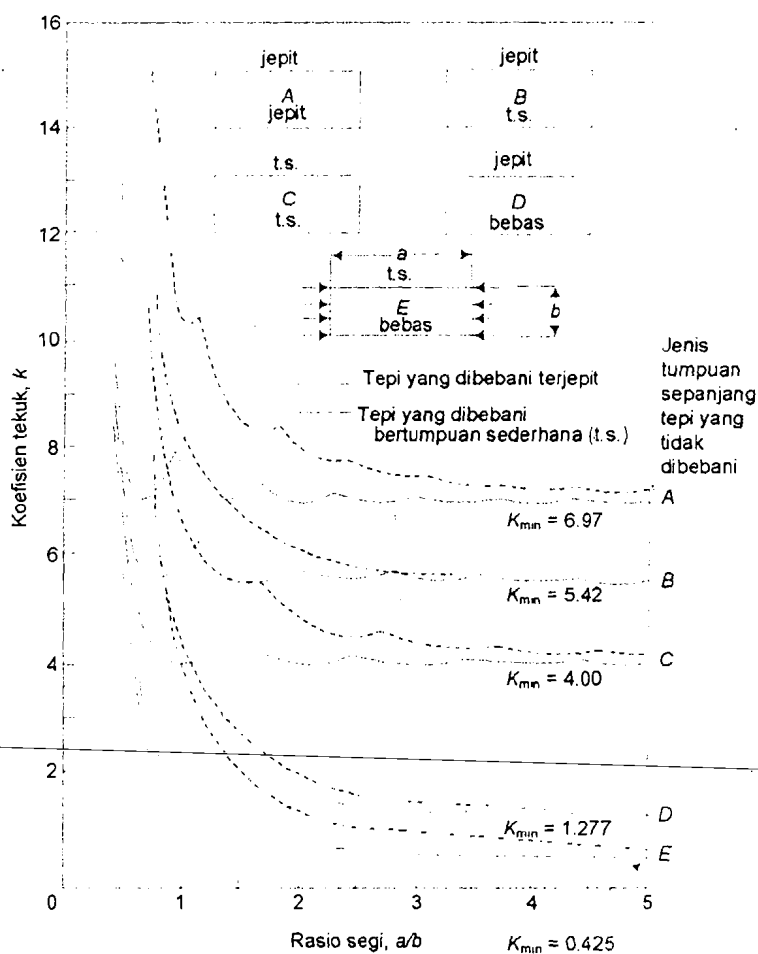
3.4.3 Nilai Koefisien Tekuk (k)

Nilai koefisien tekuk dari suatu rangka batang hanya bisa ditinjau pada batang yang mengalami kerusakan akibat tekuk, baik akibat tekuk menyeluruh maupun akibat tekuk lokal

Pada kondisi tekuk menyeluruh nilai koefisien tekuk (k) dipengaruhi oleh kelangsingan dari batang profil yang dapat diketahui menggunakan Persamaan (3.9), dimana F_{cr} dinyatakan sebagai 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) seperti terlihat pada Gambar 3.7. Nilai koefisien tekuk (k) untuk berbagai kondisi tumpuan elemen pelat diberikan pada Gambar 3.9.

Berdasarkan Gambar 3.7 dan Gambar 3.9, nilai rasio panjang terhadap lebar pelat (a/b) yang lebih besar dari lima untuk setiap kondisi tumpuan elemen pelat, memiliki nilai koefisien tekuk (k) yang hampir konstan dan nilai koefisien tekuk (k) yang digunakan adalah k_{minimum} (k_{min}). Untuk pelat yang kedua sisinya merupakan tumpuan jepit (A) nilai $k_{\text{min}} = 6,97$, 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. 9 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar (dikutip dari Struktur Baja Disain Dan Perilaku Jilid 1, Salmon dan Johnson)

Nilai koefisien tekuk (k) mendekati nilai 0,425 untuk pelat yang salah satu sisinya tidak diperkuat, seperti yang dimiliki oleh bibir (*lips*) dan untuk pelat yang kedua sisinya ditumpu oleh tumpuan sederhana memiliki nilai $k = 4$ dimiliki oleh

badan. Tampak bahwa nilai k untuk bibir mendekati $1/10$ dari nilai k yang dimiliki oleh badan.

Schafer (1997) mengemukakan nilai koefisien tekuk (k) untuk tekuk lokal dapat diketahui dengan analisa potongan, terbatas pada sayap tepi dan sayap badan. Sesuai dengan notasi yang digunakan dalam Gambar 3.8 nilai koefisien tekuk (k) dipengaruhi oleh rasio tinggi terhadap lebar profil (d/b). Nilai koefisien tekuk (k) diambil dari nilai koefisien tekuk (k) terkecil hasil perhitungan Persamaan (3.22), Persamaan (3.23), dan Persamaan (3.24), sehingga kekuatan pelat akibat tekuk lokal dapat diketahui menggunakan Persamaan (3.19).

a. Koefisien tekuk Sayap Tepi

Sesuai dengan notasi Gambar 3.8 nilai koefisien tekuk (k) untuk tekuk lokal sayap tepi dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.21) seperti yang dikemukakan oleh *Schafer (1997)* berikut,

$$k_{\text{sayap tepi}} = -11,07 \left(\frac{d}{b} \right)^2 + 3,95 \left(\frac{d}{b} \right) + 4 \quad (3.22)$$

nilai d dan b untuk profil *lipped channel* 70x22x8 yaitu: nilai $d = 8$ dan nilai $b = 22$ disubstitusikan ke dalam Persamaan (3.22) sehingga didapat nilai koefisien tekuk (k) sebagai berikut.

$$k_{\text{sayap tepi}} = -11,07 \left(\frac{8}{22} \right)^2 + 3,95 \left(\frac{8}{22} \right) + 4 = 3,97$$

Berdasarkan Gambar 3.9, nilai $k = 3,97$ untuk potongan elemen pelat di atas mendekati nilai k_{min} untuk elemen dengan tumpuan sederhana pada kedua sisinya.

b. Koefisien tekuk Sayap Badan

Nilai koefisien tekuk (k) untuk tekuk lokal sayap badan menurut *Schafer (1997)* dinyatakan dalam Persamaan (3.23) dan Persamaan (3.24). Dari persamaan-persamaan tersebut jika rasio tinggi badan terhadap lebar sayap ($h/b \geq 1$) maka nilai koefisien tekuk ($k \leq 4$). Berdasarkan Gambar 3.9 untuk nilai $k = 4$ potongan elemen ini dianggap kedua sisinya sebagai tumpuan sendi. Jika $h/b < 1$ maka nilai k lebih dari 4.

$$k_{\text{sayap badan}} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} \geq 1 \quad (3.23)$$

$$\left[\left[2 - \left(\frac{h}{b} \right)^{0.2} \right] \cdot 4 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} < 1 \quad (3.24)$$

Nilai yang sesuai dengan notasi pada Gambar 3.8 untuk profil *Lipped Channel* 70x22x8 adalah: nilai $h = 70$ dan nilai $b = 22$. Nilai $\frac{h}{b} = 3,182 > 1$, maka koefisien tekuk (k) untuk tekuk lokal sayap badan dihitung dengan mensubstitusikan nilai h dan b pada Persamaan (3.23).

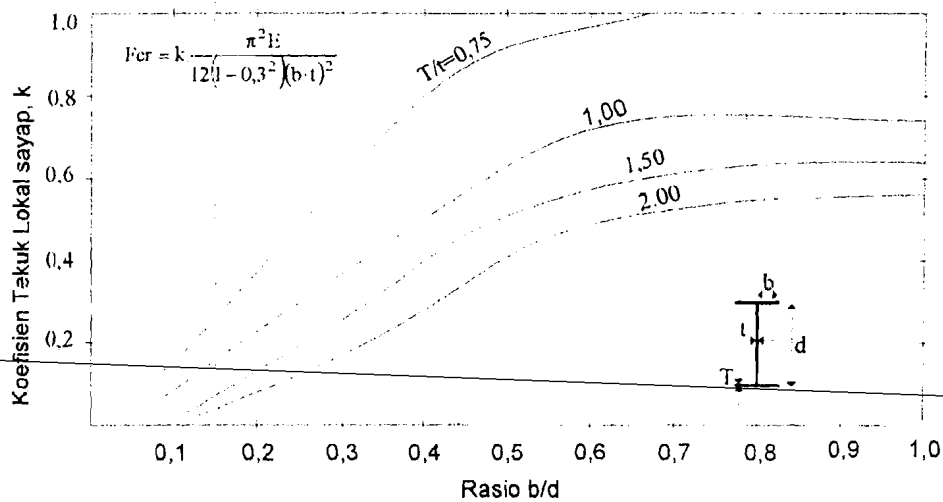
$$k_{\text{sayap badan}} = \left[\left[2 - \left(\frac{22}{70} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{22}{70} \right)^2 \right] = 0,542$$

berdasarkan gambar 3.9 nilai $k = 0,542$ mendekati nilai k_{min} untuk elemen plat dengan salah satu sisinya merupakan tumpuan sederhana dan sisi lainnya bebas.

Tegangan kritis pelat dapat diketahui dengan memasukkan nilai k terkecil dari sayap badan dan koefisien tekuk sayap tepi pada Persamaan (3.19).

$$F_{\text{ersayap}} = 0,542 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{22}{1,2} \right)^2} = 291,49 \text{ Mpa}$$

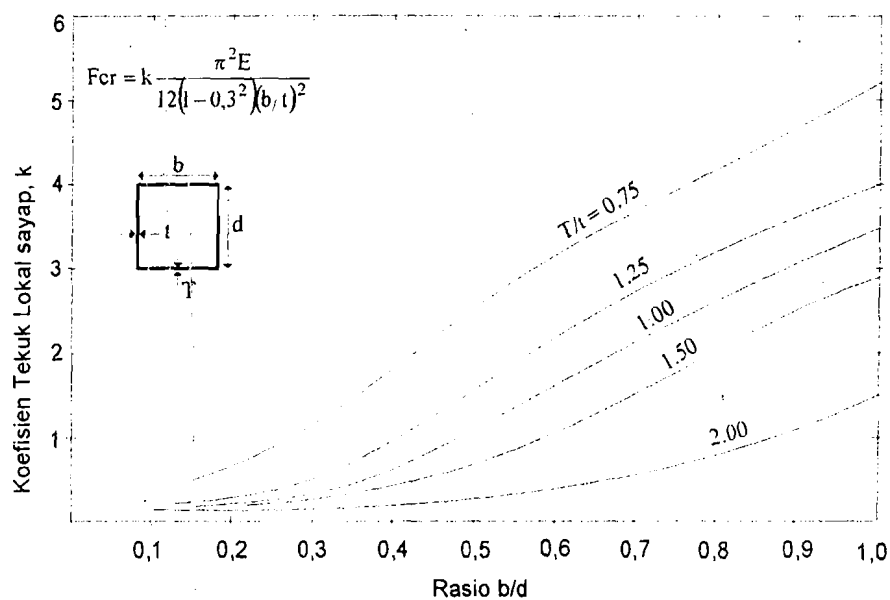
Kerusakan akibat tekuk dapat dicegah dengan memperkecil rasio lebar terhadap tebal pelat (b/t) sehingga meningkatkan koefisien tekuk (k). Nilai-nilai koefisien tekuk elastis k untuk penampang I pada tekanan yang sama ditunjukkan pada Gambar 3.10, dan untuk penampang kotak ditunjukkan pada Gambar 3.11. Menurut *N.S Trahair* dan *M.A Bradford (1988)*, tegangan tekuk dapat diketahui menggunakan Persamaan (3.17) dengan mengganti tebal pelat sebagai tebal sayap T .



Gambar 3. 10 Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang I (N.S Trahair dan M.A. Bradford, 1988)

Tampak pada Gambar 3.10 bahwa untuk batang tekan penampang I, selain dipengaruhi oleh rasio lebar sayap terhadap tinggi profil (b/d), nilai koefisien tekuk (k) juga dipengaruhi oleh rasio tebal sayap terhadap tebal badan (T/t). Semakin besar rasio lebar sayap terhadap tinggi profil (b/d) nilai k semakin besar dengan nilai $k_{\text{maks}} = 1$, sehingga kekuatan batang akan meningkat.

Berdasarkan Gambar 3.11 nilai koefisien tekuk (k) untuk penampang tertutup atau persegi dipengaruhi oleh rasio lebar badan terhadap tinggi penampang (b/d), selain itu juga dipengaruhi rasio tebal profil. Untuk penampang persegi semakin kecil rasio lebar badan terhadap tinggi penampang (b/d) nilai koefisien tekuk mendekati nilai minimum, sedangkan semakin besar rasio b/d nilai koefisien tekuk (k) mendekati nilai maksimum.



Gambar 3. 11 Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang kotak
(N.S Trahair dan M.A. Bradford, 1988)

3.5 Tegangan kritis metode AISC

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). Faktor bentuk dipengaruhi oleh bentuk

penampang. Faktor bentuk dapat dinyatakan dalam Persamaan (3.25) sebagai berikut :

$$Q = Q_a \cdot Q_s \quad (3.25)$$

dengan : Q_a = Faktor bentuk untuk elemen penampang yang diperkuat, Q_s = Faktor bentuk untuk elemen penampang yang tidak diperkuat.

Faktor bentuk Q_s diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{250}{\sqrt{F_y}}\right) \text{ MPa} \quad (3.26)$$

Besar Q_s menurut AISC dinyatakan dalam Persamaan (3.27),

$$Q_s = 1,415 - 0,002694 \cdot \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{F_y} \text{ MPa} \quad (3.27)$$

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

Besar nilai Q_a menurut AISC ditunjukkan oleh Persamaan (3.28) berikut ini,

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_{bruto}} \quad (3.28)$$

dengan : A_{ef} = luas efektif, A_{bruto} = luas bruto

Luas efektif diambil dari lebar efektif, besar lebar efektif menurut penelitian AISC yang dilakukan pada baja ringan dapat dihitung dengan Persamaan (3.29) di bawah ini,

$$\frac{b_E}{t} = \frac{21}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{4,18}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \text{ MPa} \quad (3.29)$$

dengan f = tegangan yang bekerja pada elemen.

Besar tegangan kritis menurut AISC dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (3.30) di bawah ini.

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{QF_y}{4\pi^2 E} \left(\frac{KL}{r} \right)^2 \right] \quad (3.30)$$

Apabila nilai KL/r maksimum yang diberi notasi C_c seperti ditunjukkan pada Persamaan (3.31),

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}} \quad (3.31)$$

maka Persamaan (3.30) dapat ditulis kembali menjadi Persamaan (3.32)

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] \quad (3.32)$$

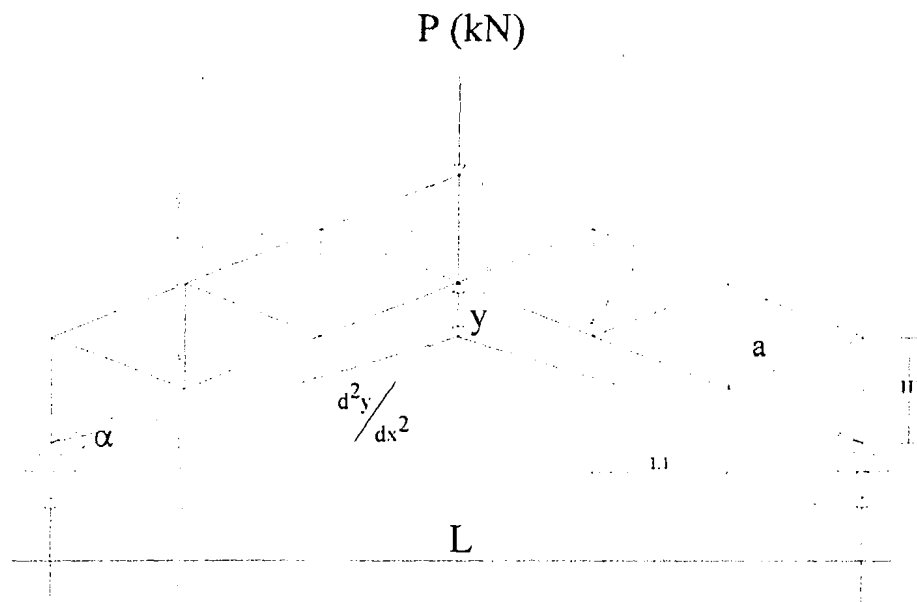
apabila nilai KL/r lebih dari nilai C_c maka tegangan kritis yang terjadi adalah,

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.33)$$

3.6 Hubungan Beban – Lendutan

Beban titik pada puncak struktur kuda-kuda menyebabkan timbulnya lentur, sehingga struktur tersebut mengalami lendutan seperti terlihat pada Gambar 3.12.

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. Balok dengan tumpuan sederhana yang diberi beban transversal memiliki momen maksimum, semakin besar beban yang diberikan, makin besar pula momen dan lendutannya pada titik tersebut (*Ferdinand. L Singer dan Andrew Pytel, 1985*). Besarnya lendutan pada struktur rangka dapat didekati dengan persamaan diferensial kurva elastis balok yang ditunjukkan pada Persamaan (3.34).



Gambar 3. 12 Kuda-kuda yang mengalami lendutan (y) akibat beban aksial (P)

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.34)$$

karena nilai EI konstan, maka Persamaan (3.34) dapat diintegrasikan menjadi Persamaan (3.35) yang merupakan persamaan kemiringan kurva lendutan balok.

$$\frac{dy}{dx} = \int \frac{M}{EI} dx + C_1 \quad (3.35)$$

besarnya lendutan pada rangka dapat dihitung dengan mengintegrasikan persamaan kemiringan kurva lendutan seperti ditunjukkan pada Persamaan (3.35) menjadi Persamaan (3.36).

$$y = \iint \frac{M}{EI} dx dx + \int C_1 dx + C_2 \quad (3.36)$$

$$y = \Delta = \iint \frac{M}{EI} dx dx + \int C_1 dx + C_2 \quad (3.37)$$

Beban terpusat di puncak struktur menimbulkan lendutan (Δ) yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.37) yang didekati dengan Persamaan (3.38) di bawah ini:

$$\Delta = \frac{P.L^3}{48 EI} \quad (3.38)$$

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

Kekakuan struktur adalah rasio beban terhadap lendutan yang terjadi, seperti terlihat pada Gambar 3.13 nilai kekakuan bisa diketahui menggunakan Persamaan (3.39).

$$k = \text{tg}\alpha = \frac{P_y}{\Delta_y} \quad (3.39)$$

Persamaan (3.39) merupakan nilai kekakuan struktur berdasarkan uji lentur. Menggunakan substitusi Persamaan (3.38) ke dalam Persamaan (3.39), nilai kekakuan struktur kuda-kuda batang tepi sejajar seperti pada Gambar 3.12 dapat didekati menggunakan Persamaan (3.40) di bawah ini:

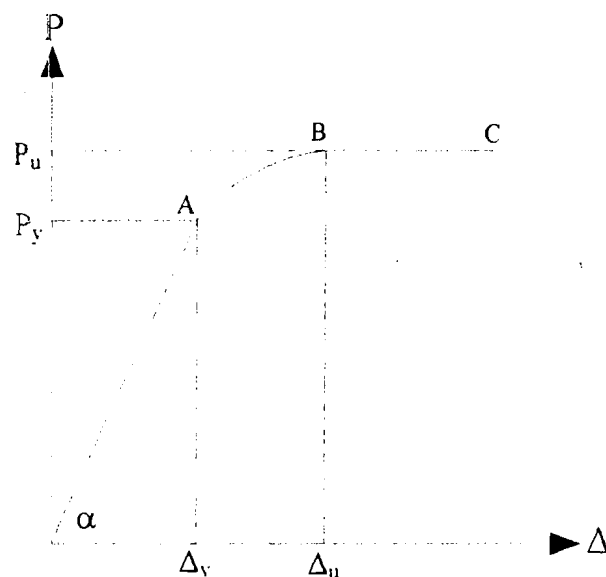
$$k = \frac{c.EI}{L^3} \quad (3.40)$$

dengan: c = konstanta; $I = (A \times a^2)$; E = modulus elastisitas; L = panjang bentang struktur kuda-kuda; A = luas penampang batang tepi; a = jarak antar batang tepi ($H1 \cdot \cos\alpha$), maka Persamaan (3.40) menjadi:

$$k = \frac{c.E.A.a^2}{L^3} \quad (3.41)$$

Berdasarkan Persamaan (3.40) terlihat bahwa jika semakin besar jarak antar batang tepi (a) dengan asumsi panjang bentang struktur kuda-kuda tetap, kekakuan struktur akan semakin meningkat.

Gambar 3.13 menunjukkan bahwa kekakuan struktur sampai dengan titik A bersifat elastis, terlihat dari garis hubungan beban – lendutan yang linier. Pada titik B kekakuan struktur sudah mencapai maksimum karena sudah bersifat inelastis dan beban tersebut struktur sudah tidak mampu lagi menahan penambahan beban namun deformasi yang terjadi terus bertambah sampai dengan titik C.



Gambar 3. 13 Grafik Hubungan Beban (P)-Lendutan (Δ)

3.7 Hubungan Momen dengan Kelengkungan

Apabila suatu material diberi beban maka material tersebut secara langsung akan terdefleksi. Semakin besar beban yang diberikan pada suatu material semakin besar pula lendutan yang terjadi pada material tersebut seperti pada Gambar 3.13.

Kelengkungan adalah kurva defleksi dari struktur yang diakibatkan oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut, seperti pada Gambar 3.12 struktur kuda-

kuda mengalami lendutan sebesar Δ . Menurut *Ferdinand L. Singer* dan *Andrew Pytel (1985)*, kelengkungan yang terjadi pada struktur dapat didekati menggunakan Persamaan (3.41) berikut :

$$\kappa = \frac{d^2y/dx^2}{(1+(dy/dx)^2)^{3/2}} = \frac{M}{EI} \quad (3.41)$$

karena lendutan dianggap kecil, sehingga kurva elastis mendekati datar, harga dan kemiringan kurva (dy/dx) pada setiap titik sangat kecil sehingga Persamaan (3.41) dapat ditulis kembali menjadi Persamaan (3.42).

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.42)$$

Mengacu pada metode *Central Difference*, yaitu metode yang menggunakan tiga titik tinjau yang saling berurutan dan jarak antar titik sebesar Δx , berdasarkan Gambar 3.14 dan Persamaan (3.42), dy/dx didekati dengan Persamaan berikut :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.43)$$

turunan Persamaan (3.43) adalah

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d/dx)(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1})(d/dx)(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.44)$$

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

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

Sehingga Persamaan (3.44) menjadi

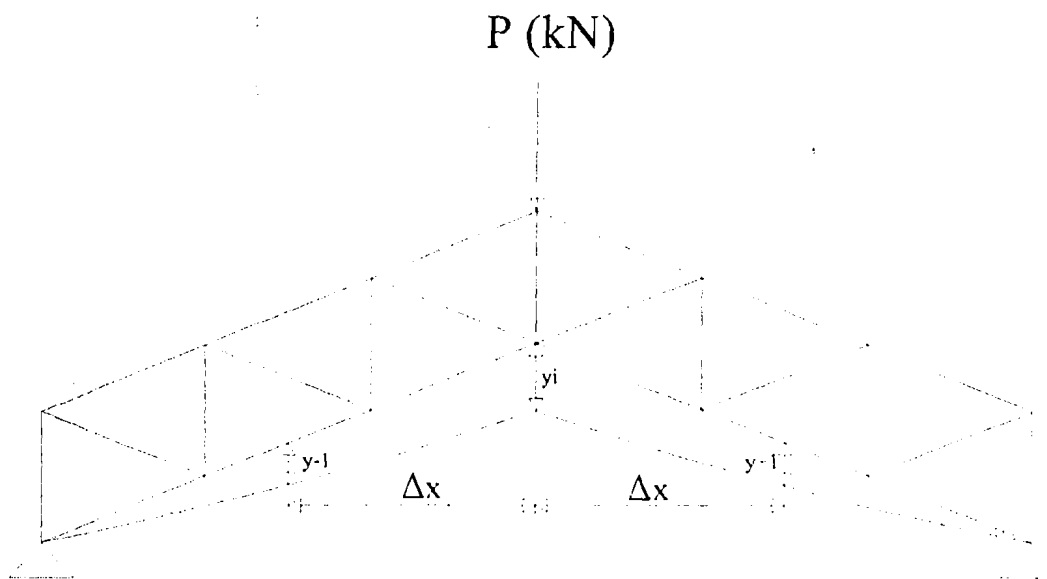
$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x)(d \cdot dx)(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.45)$$

selanjutnya dari Persamaan (3.45) didapatkan

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.46)$$

Persamaan (3.46) disederhanakan menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{(\Delta x)^2} \quad (3.47)$$



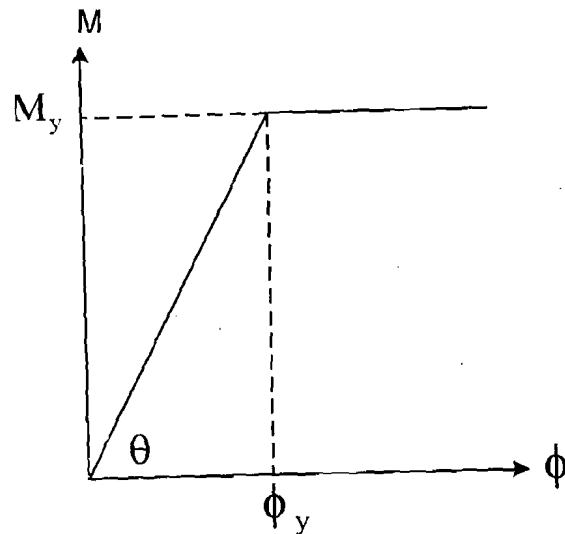
Gambar 3. 14 Rangka kuda-kuda yang diberi beban aksial (P)

bila $\frac{d^2y}{dx^2} = \phi$, maka Persamaan (3.47) dapat ditulis kembali menjadi Persamaan

(3.48) berikut ini:

$$\phi = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{(\Delta x)^2} \quad (3.48)$$

Jadi kelengkungan dapat dihitung dengan bantuan lendutan di tiga titik yang berurutan dengan jarak tiap titik adalah Δx . Hubungan momen (M) dan kelengkungan (curvature)(ϕ) ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3. 15 Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ)

3.8 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka dan landasan teori, dapat diambil hipotesis sebagai berikut: terjadi tekuk lokal pada elemen tekan penyusun tampang.

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 diajukan dalam penulisan tugas akhir.

4.2 Benda Uji

Benda uji yang akan digunakan pada penelitian ini terdiri dari: benda uji kuat tarik baja, benda uji kuat tekan baja dan kuda-kuda batang tepi sejajar.

4.3 Bahan dan Alat yang digunakan

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

4.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah baja profil *Lipped Channel* bentukan dingin sebagai elemen pembentuk kuda-kuda dengan batang tepi sejajar.

4.3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan-peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Alat Pengukur

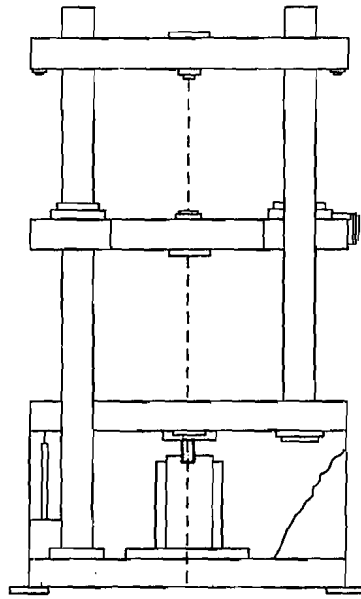
Alat ukur digunakan untuk mengukur dimensi kuda-kuda benda uji.

b. Mesin Uji Tarik

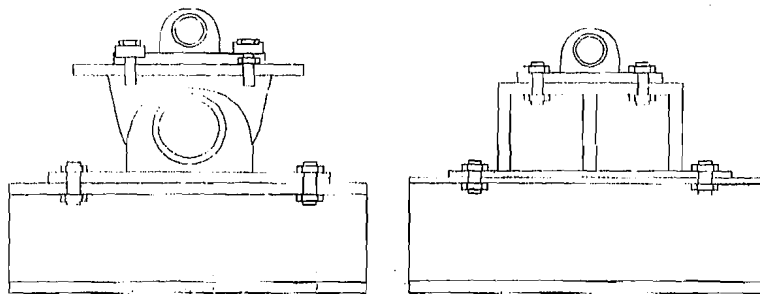
Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Pada penelitian ini digunakan *UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM)* merk *SHIMATZU* type *UMH 30*, kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar 4.1.

c. Dukungan Sendi dan Rol

Untuk membuat model kuda-kuda atap sederhana sesuai dengan di lapangan, maka pada dukungan dipasang dudukan sendi dan rol seperti pada Gambar 4.2.



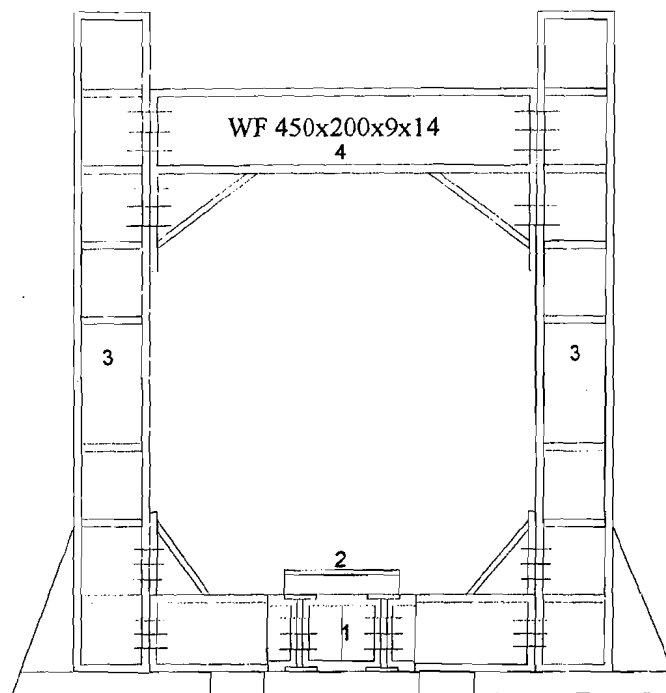
Gambar 4. 1 *Universal Testing Material Shimatzu UMH30*



Gambar 4. 2 *Dukungan Sendi Dan Rol*

d. Loading Frame

Untuk menèmpatkan benda uji pada penelitian ini digunakan Loading Frame dari bahan profil WF 450x200x9x14. Seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Bentuk Fisik *Loading Frame*

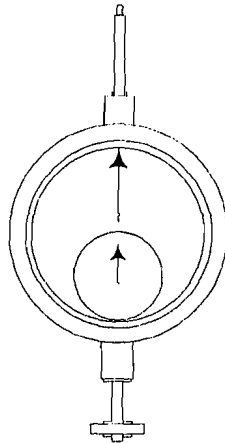
Keterangan:

1. Balok lintang
2. Dukungan
3. Kolom
4. Balok portal (bisa digeser)

Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

e. Dial Gauge

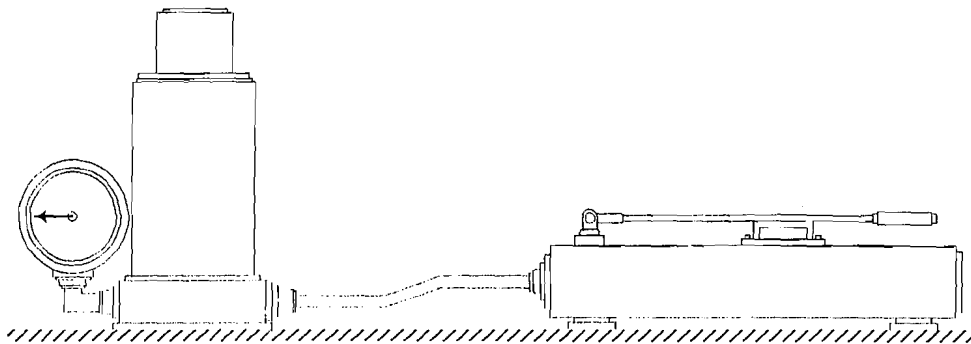
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi pada benda uji saat pelaksanaan pengujian. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm



Gambar 4. 4 *Dial Gauge*

f. Hidraulic Jack

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur kuda-kuda baja bentukan dingin dengan batang tepi sejajar, dengan kapasitas maksimum 30 ton.



Gambar 4. 5 *Hidraulic Jack*

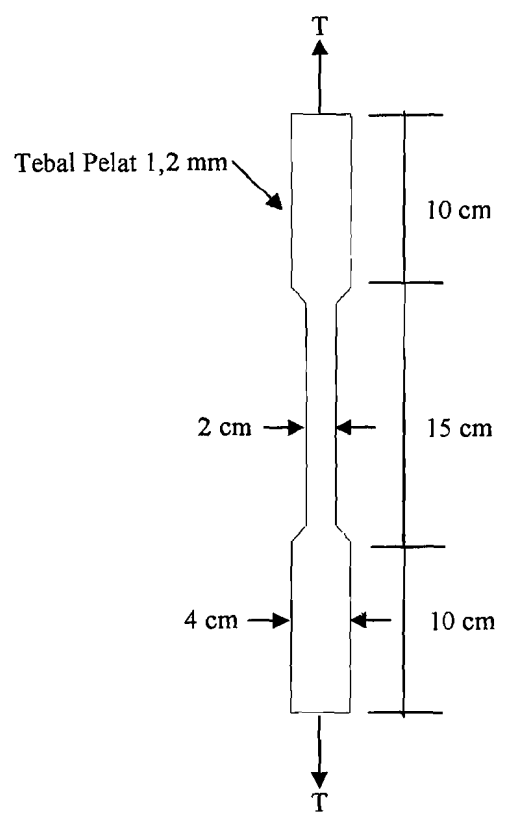
g. Penahan *Lateral Buckling*

Alat ini dibuat untuk pengaman pada saat terjadinya *lateral buckling* pada benda uji.

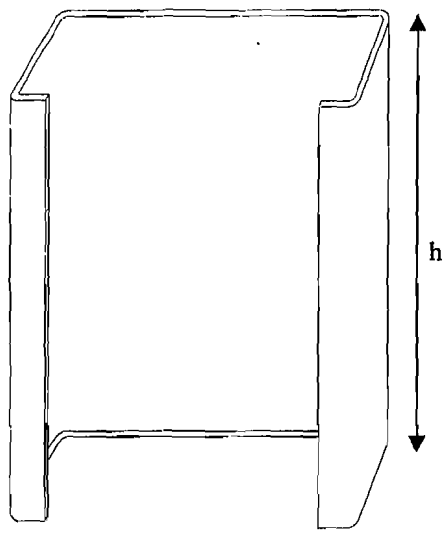
4.3 Pembuatan Benda Uji

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

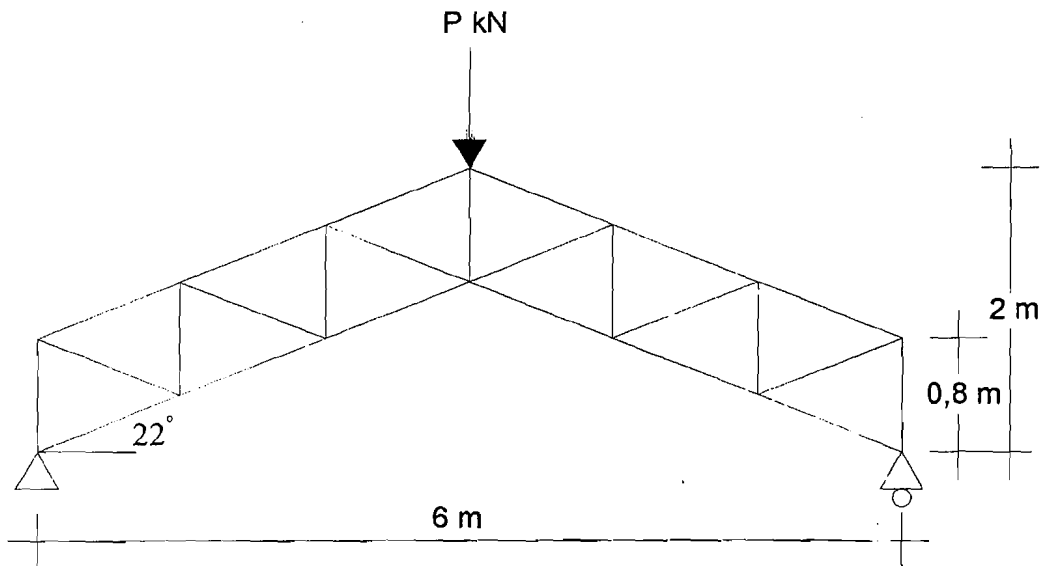
- a. Tiga benda uji kuat tarik baja yang diambil dari profil dan dibentuk sesuai dengan benda uji seperti pada Gambar 4.6.
- b. Lima benda uji kuat tekan yang diambil dari potongan bahan pembentuk kuda-kuda profil $70 \times 22 \times 8$ tebal 1,2 mm dengan panjang benda uji 50 cm sebanyak 3 buah, panjang 40 cm dan 30 cm masing-masing 1 buah benda uji, seperti pada Gambar 4.7.
- c. Tiga benda uji kuat lentur kuda-kuda dengan batang tepi sejajar seperti pada Gambar 4.8 menggunakan baja profil *lipped channel* bentukan dingin. Seluruh elemen kuda-kuda menggunakan profil C $70 \times 22 \times 8$ dengan tebal 1,2 mm.



Gambar 4. 6 Benda Uji Kuat Tarik Baja



Gambar 4. 7 Benda uji tekan profil lipped channel



Gambar 4. 8 Benda uji kuda-kuda rangka batang

4.4 Pengujian Sampel

4.4.1 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat 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 dan beban maksimum. Data hasil pengujian pada Lampiran 1.

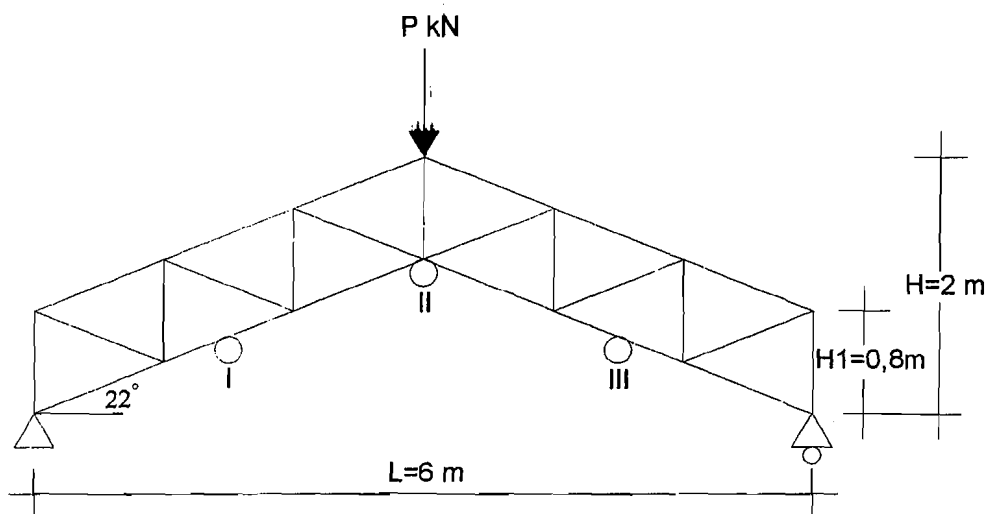
4.4.2 Pengujian Tekan Baja

Pengujian kuat tekan baja ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil adalah beban maksimum. Data hasil pengujian pada Lampiran 1.

4.4.3 Pengujian Kuat 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 kuda-kuda, dalam hal ini dilakukan pemasangan sendi-rol.
2. Kuda-kuda diletakkan di atas dukungan.
3. Benda uji siap dilakukan pengujian. *Hydraulic Jack* dipasang di puncak bagian tengah (*top cord*), setelah itu Hydraulic dipompa untuk melakukan pembebanan secara perlahan-lahan. Pengujian struktur kuda-kuda dengan beban aksial yang dinaikan bertahap dari nol sampai terjadi kerusakan dengan pertambahan beban 0,875 kN. Beban ditingkatkan bertahap untuk mengetahui besar lendutan yang terjadi pada kuda-kuda dengan batang tepi sejajar. Pencatatan lendutan pada titik dial seperti pada Gambar 4.9, data hasil pengamatan uji lentur kuda-kuda batang tepi sejajar pada Lampiran 2.



Gambar 4.9 Pengujian Kuda-kuda dengan perletakan dial gauge dan beban

Keterangan : h = tinggi batang vertikal

H = tinggi total kuda-kuda

L = panjang kuda-kuda

α = sudut kemiringan kuda-kuda



BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kekakuan struktur rangka batang diketahui berdasarkan uji lentur yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Uji lentur dilakukan dengan memberikan beban pada puncak struktur secara bertahap dengan kenaikan beban sebesar 0,875 kN. Setiap kenaikan beban dilakukan pencatatan lendutan pada tiga titik yang telah ditentukan guna mengetahui kekakuan dari struktur rangka batang. Uji pendahuluan yang meliputi uji tarik dan uji tekan dari profil yang digunakan sebagai elemen struktur kuda-kuda. Hasil penelitian yang disertai pembahasannya akan disajikan sebagaimana berikut.

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Benda uji kuat tarik baja menggunakan profil *lipped channel* 70×22×8 tebal 1,2 mm yang dibentuk sesuai dengan bentuk benda uji sebanyak dua 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.

Hasil pengujian didapat data beban leleh dan beban maksimum dari benda uji pada Lampiran 1 dan hasil perhitungan tegangan leleh dan tegangan tarik benda uji seperti Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Hasil uji kuat tarik baja

Nilai hasil uji	Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3
Beban leleh (kg)	372,5	325	327,5
Beban maksimum (kg)	457,5	420	377,5
Tegangan leleh (F_y)	153,292 Mpa	128,053 Mpa	129,96 Mpa
Tegangan maksimum (F_u)	188,272 Mpa	165,485 Mpa	149,802 Mpa
F_y rata-rata (Mpa)	137,102		
F_u rata-rata (Mpa)	166,853		

5.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Baja

Benda kuat tekan baja dari profil *lipped channel* 70×22×8 tebal 1,2 mm sebanyak lima 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. Hasil pengujian didapat nilai beban maksimum, data hasil pengujian pada Lampiran 1 dan hasil perhitungan kuat desak benda uji seperti pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Hasil uji kuat tekan profil baja

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (50 cm)	Benda uji 2 (50 cm)	Benda uji 3 (50 cm)
Beban maksimum (kg)	1320	1315	1465
F_{cr} (Mpa)	84,615	84,295	93,91
F_{cr} rata-rata (Mpa)	87,607		

Nilai hasil uji	Benda uji 4 (40 cm)	Benda uji 5 (30 cm)
Beban maksimum (kg)	1470	1600
F_{cr} (Mpa)	94,231	102,564

5.3 Hubungan Beban – Lendutan Uji Lentur Kuda-kuda

5.3.1 Kurva Beban – Lendutan Hasil Pengujian

Pelaksanaan uji lentur dari tiga benda uji dilakukan dengan pemberian beban pada puncak struktur dengan kenaikan beban sebesar 0,875 kN hingga benda uji mengalami kerusakan. Pencatatan lendutan / penurunan dilakukan pada 3 titik yang telah ditentukan setiap kenaikan beban.

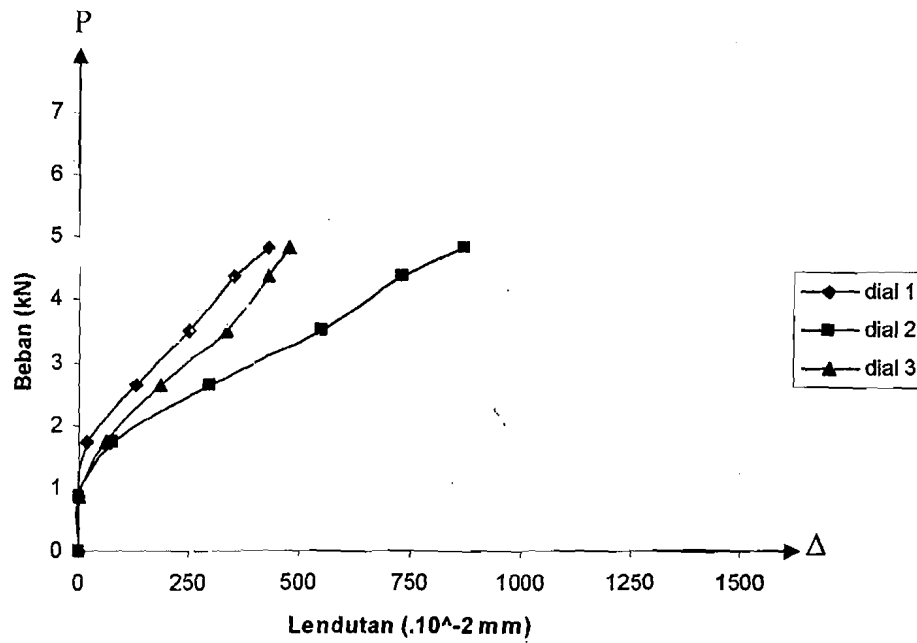
1) Benda Uji 1

Data-data berupa hasil pembacaan dial disajikan pada Tabel 5.3, dan untuk lebih memperjelas disajikan grafik hubungan beban - lendutan (tiga buah dial yang telah ditempatkan pada titik 1/3 bentang).

Tabel 5.3 Hubungan beban dan lendutan benda uji 1

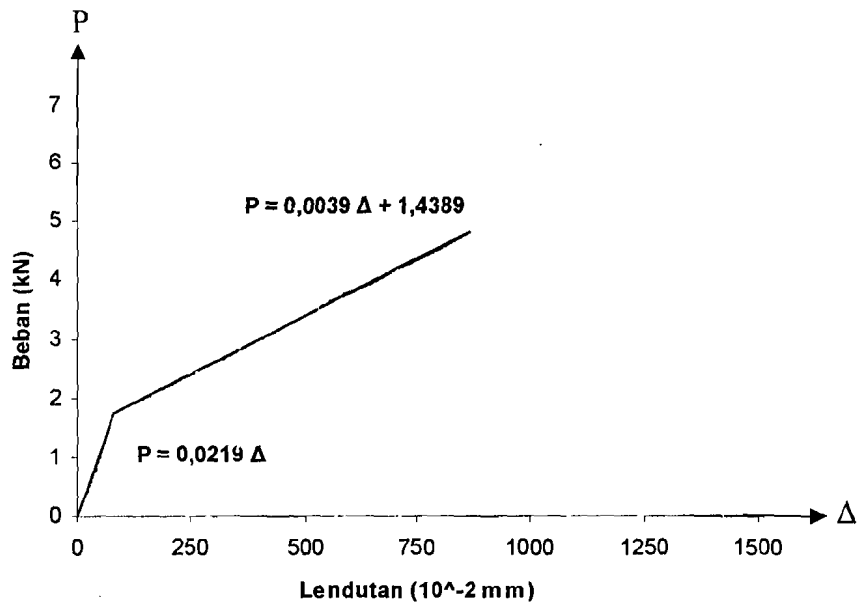
Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	0,000	0,000	0,000
1,750	19,000	80,000	61,500
2,625	130,000	295,000	186,000
3,500	251,000	550,000	335,000
4,375	351,000	730,000	432,000
4,813	432,000	870,000	475,000

Berdasarkan data di atas dibuat grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1 seperti pada Gambar 5.1



Gambar 5. 1 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1

berdasarkan Gambar 5.1, dibuat regresi data dial 2 yang ditunjukkan pada Gambar 5.2



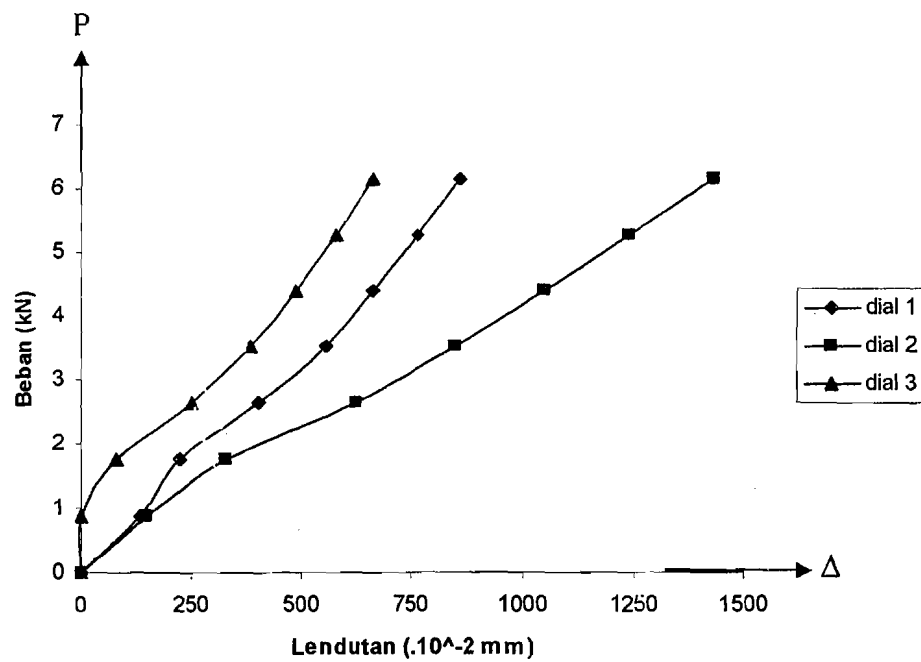
Gambar 5. 2 Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 1

2) Benda Uji 2

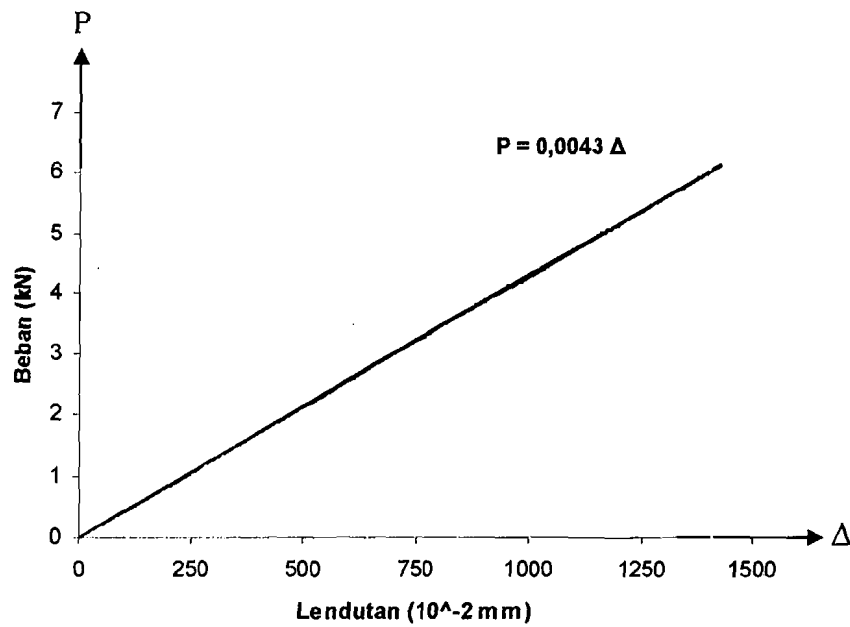
Untuk benda uji 2 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.4 dan grafik hubungan beban - lendutan ditampilkan pada Gambar 5.3 dan hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.4.

Tabel 5. 4 Hubungan beban dan lendutan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	133,000	150,000	0,000
1,750	220,000	327,000	81,000
2,625	402,000	627,000	250,000
3,500	556,000	848,000	386,000
4,375	662,000	1045,000	487,000
5,250	764,000	1237,000	580,000
6,125	855,000	1430,000	660,000



Gambar 5. 3 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2



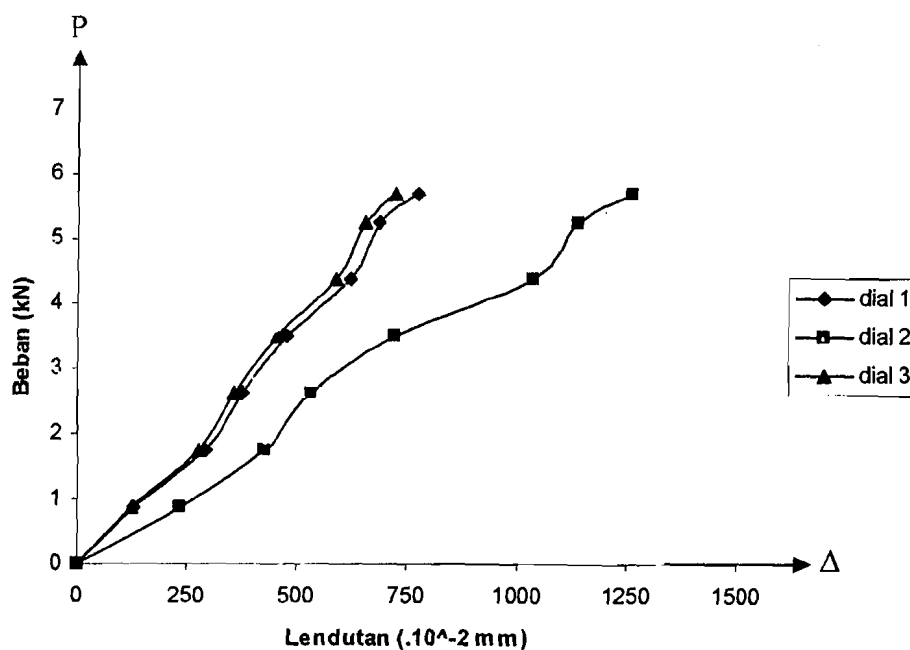
Gambar 5. 4 Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 2

3) Benda Uji 3

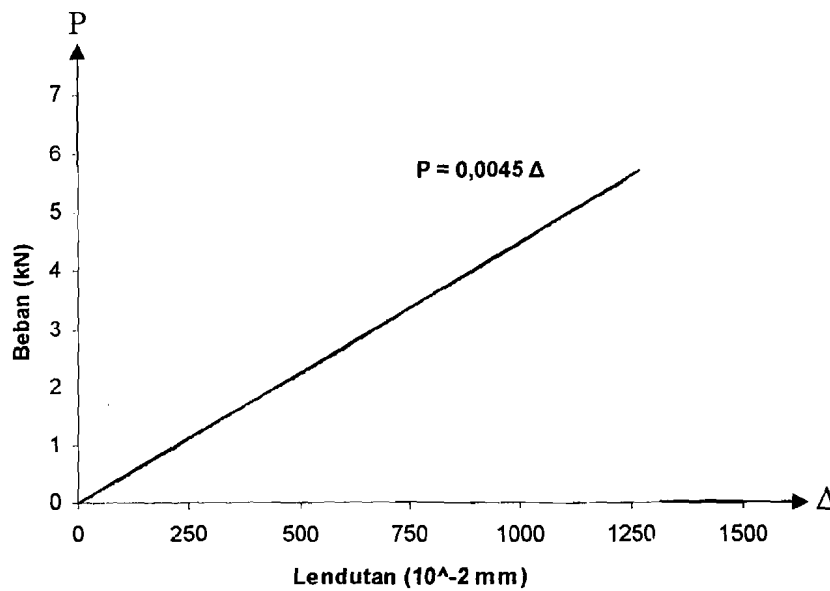
Untuk benda uji 3 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.5 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada Gambar 5.5 dan hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.6.

Tabel 5. 5 Hubungan beban dan lendutan benda uji 3

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	129,000	237,000	123,000
1,750	290,000	424,000	277,000
2,625	377,000	532,000	355,000
3,500	477,000	720,000	453,000
4,375	619,000	1033,000	590,000
5,250	685,000	1134,000	652,000
5,688	773,000	1260,000	724,000



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



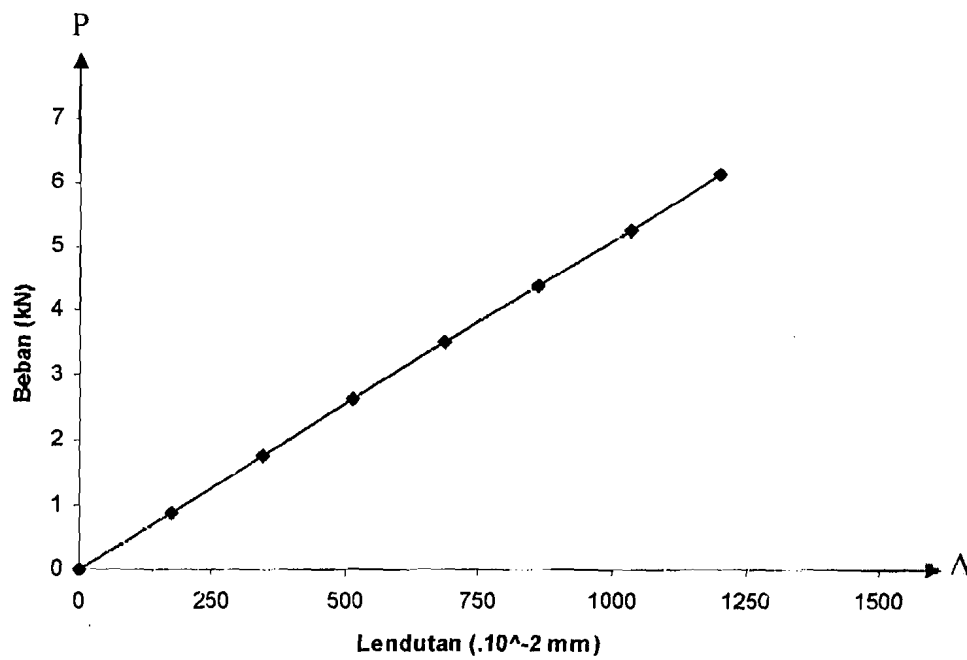
Gambar 5. 6 Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 3

5.3.2 Kurva Hubungan Beban - Lendutan Analisis SAP 2000

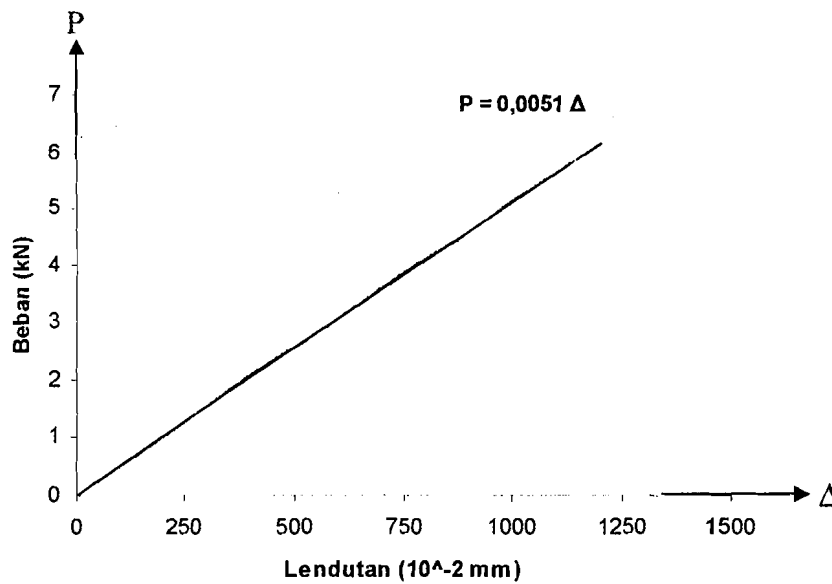
Hubungan beban - lendutan yang didapat dari SAP 2000 berdasarkan data uji laboratorium pada benda uji 2, karena benda uji 2 memiliki beban maksimal yang paling besar diantara benda uji lainnya. Lendutan yang diukur pada titik yang sama pada pelaksanaan pengujian laboratorium, untuk hasil lendutan yang terjadi pada analisis SAP disajikan pada Tabel 5.7 dan grafik hubungan beban - lendutan dan hasil regresi dari data tersebut seperti pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8.

Tabel 5. 6 Hubungan beban - lendutan analisis SAP 2000

Beban (KN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	109,666	171,313	109,666
1,750	219,332	342,625	219,332
2,625	328,997	513,938	328,997
3,500	438,663	685,250	438,663
4,375	548,329	856,563	548,329
5,250	657,995	1027,875	657,995
6,125	767,661	1199,188	767,661



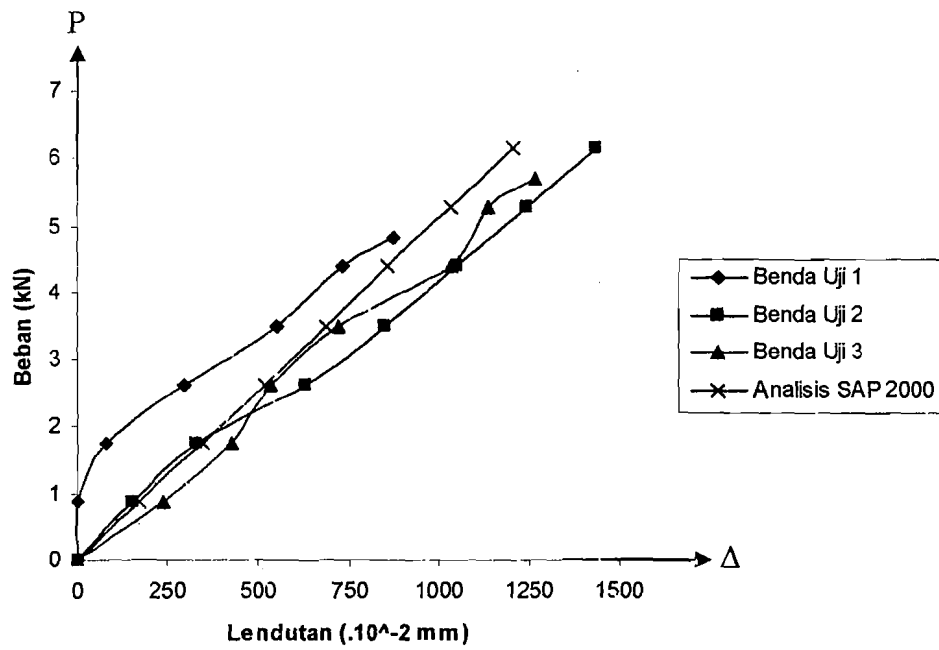
Gambar 5. 7 Grafik hubungan beban – lendutan analisis SAP 2000



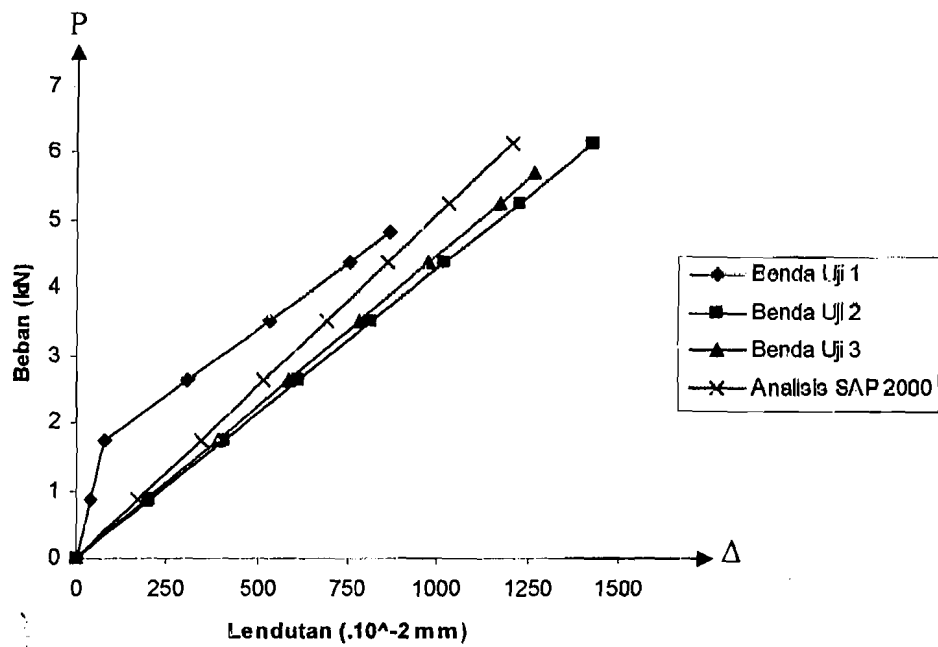
Gambar 5. 8 Regresi hubungan beban - lendutan analisis SAP 2000

5.3.3 Analisis Kekakuan Rangka Batang

Grafik hubungan beban - lendutan tiap benda uji dan analisis SAP 2000 pada beban maksimum dibandingkan seperti pada Gambar 5.9, kemiringan grafik hubungan beban - lendutan merupakan kekakuan struktur yang terlihat pada Gambar 5.10. Terlihat bahwa semakin besar lendutan yang terjadi maka kekakuan rangka batang akan semakin kecil.



Gambar 5. 9 Grafik beban - lendutan benda uji 1, 2 dan 3.



Gambar 5. 10 Regresi hubungan beban - lendutan tiga benda uji

Gambar 5.10 menunjukkan pada benda uji 1 terdapat dua nilai kekakuan,

kekakuan benda uji 1 mulai menurun pada saat $\frac{P}{P_{maks}} = 0,365$.

Tiga benda uji rangka batang tepi sejajar dengan bentuk dan konfigurasi batang penyusun yang sama terdapat perbedaan lendutan dari masing-masing

benda uji, menggunakan Persamaan (3.39) $k = \frac{P_y}{\Delta_y}$, nilai kekakuan untuk

masing-masing benda uji pada Lampiran 2, hasil kekakuan benda uji terlihat pada

Tabel 5.7 di bawah ini:

Tabel 5. 7 Nilai kekakuan benda uji

Benda uji	Beban maks (kN)	Beban ambil (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	Kekakuan (k) (kN/mm)	Kekakuan rata-rata (kN/mm)	Kekuatan rata-rata (kN)
1	4,813	-	-	-	0,44	5,91
2	6,125	4,813	11,1930	0,43		
3	5,688	4,813	10,6956	0,45		
Analisis SAP 2000	6,125	4,813	9,4373	0,51	0,51	6,125

Berdasarkan Gambar 5.10 dan perhitungan kekakuan pada Lampiran 3, benda uji 1 memiliki dua nilai kekakuan sebesar 2,19 kN/mm, kekakuan benda uji

1 mengalami penurunan saat $\frac{P}{P_{maks}} = 0,365$ dengan nilai kekakuan menjadi 0,39

kN/mm. Benda uji 2 memiliki kekakuan sebesar 0,43 kN/mm, sedangkan benda uji 3 nilai kekakuannya 0,45 kN/mm. Berdasarkan nilai kekakuan masing-masing

benda uji, maka nilai kekakuan untuk rangka batang tepi sejajar sebesar 0,44 kN.

Kekakuan rangka batang tepi sejajar berdasarkan analisis SAP 2000 adalah 0,51 kN/mm.

5.4 Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

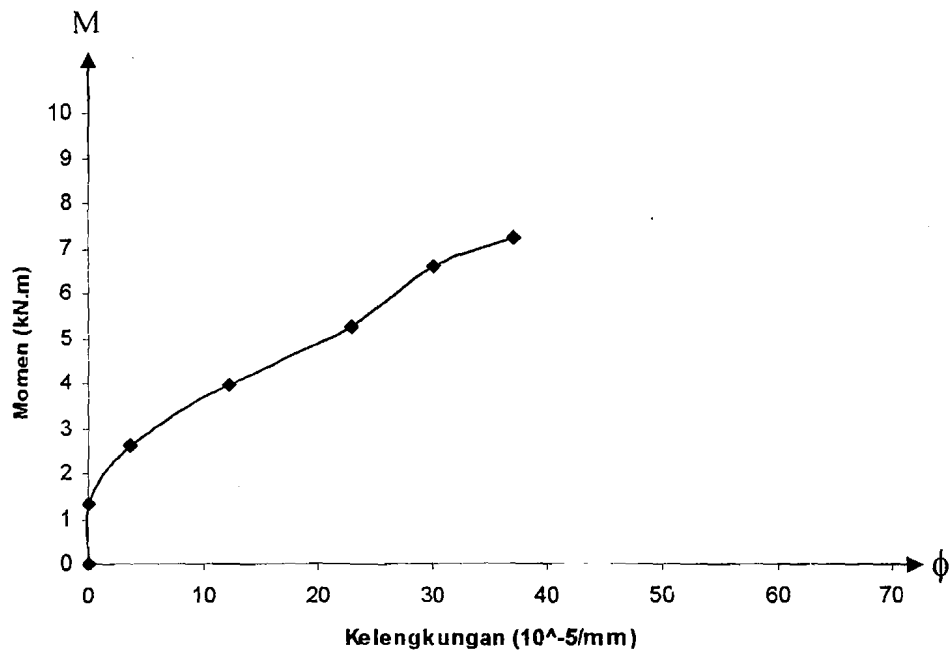
Dari hasil penelitian didapatkan data beban (P) - lendutan (Δ), sehingga dapat dicari momen (M) - kelengkungan (ϕ), rumus yang dipakai dalam perhitungan ini adalah :

$$\text{Kelengkungan (Pers. 3.48): } \phi = \frac{\Delta_1 - 2\Delta_2 + \Delta_3}{\Delta x^2}$$

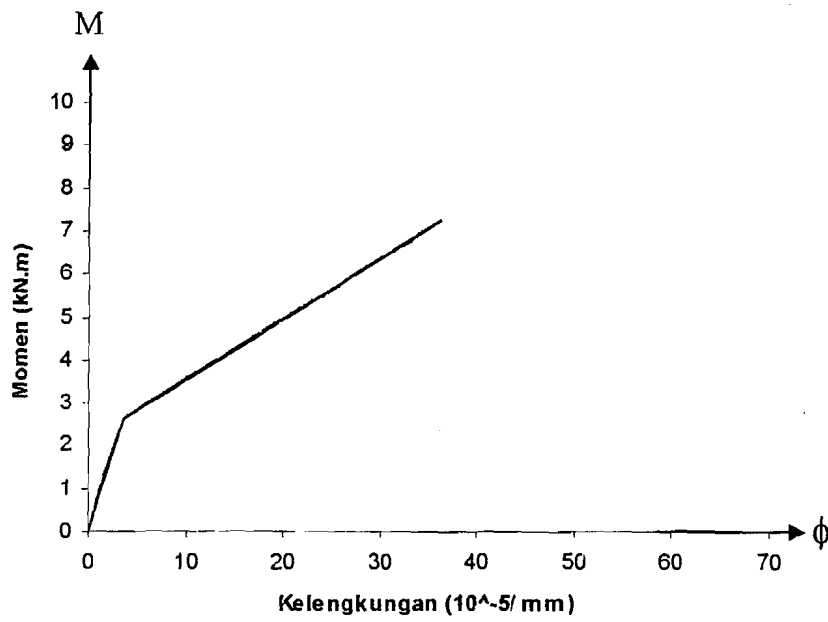
$$\text{Momen} = \frac{1}{4} \times P \times L$$

Tabel 5. 8 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^2$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}$ /mm)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	0,000	0,000	0,000	1,313	0,000
1,750	19,000	80,000	61,500	2,625	3,533
2,625	130,000	295,000	186,000	3,938	12,178
3,500	251,000	550,000	335,000	5,250	22,844
4,375	351,000	730,000	432,000	6,563	30,089
4,813	432,000	870,000	475,000	7,219	37,022



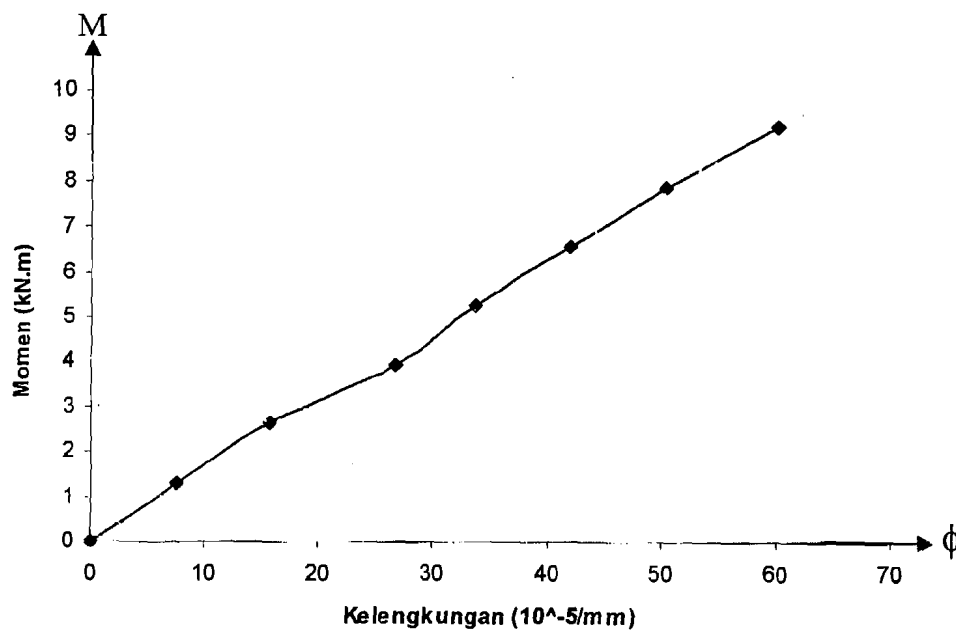
Gambar 5. 11 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

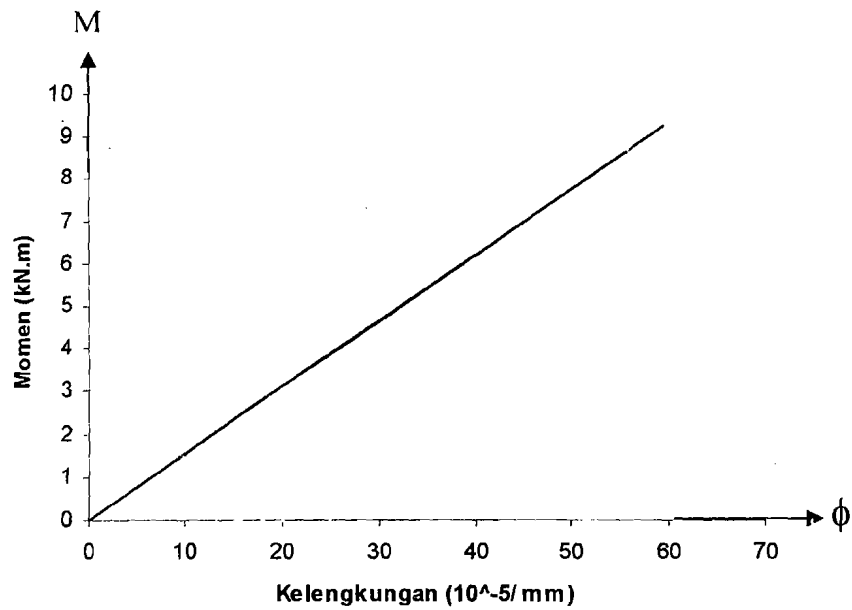


Gambar 5. 12 Regresi hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

Tabel 5. 9 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}$ /mm)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	133,000	150,000	0,000	1,313	7,422
1,750	220,000	327,000	81,000	2,625	15,689
2,625	402,000	627,000	250,000	3,938	26,756
3,500	556,000	848,000	386,000	5,250	33,511
4,375	662,000	1045,000	487,000	6,563	41,822
5,250	764,000	1237,000	580,000	7,875	50,222
6,125	855,000	1430,000	660,000	9,188	59,778

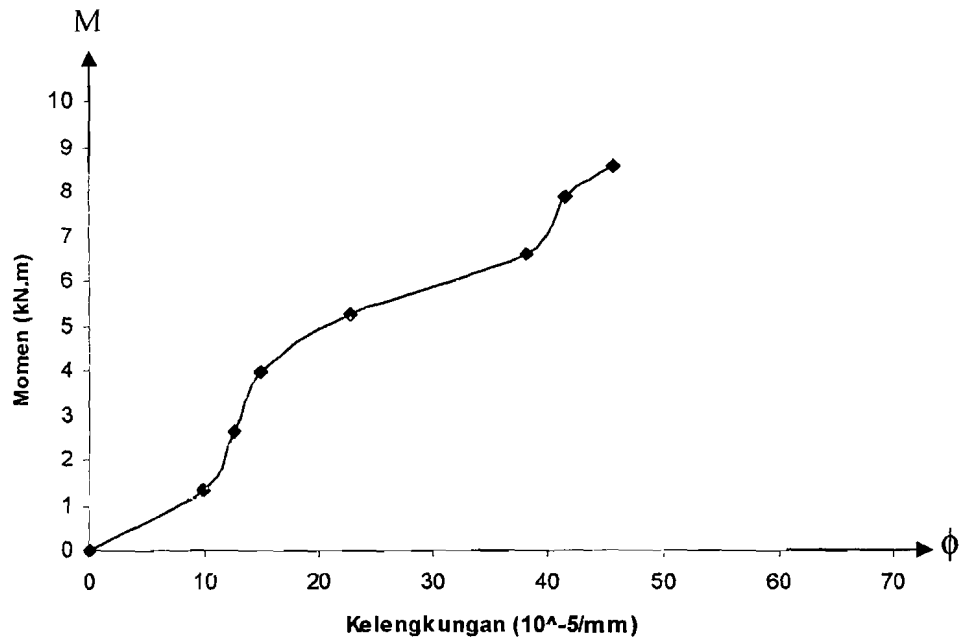
**Gambar 5. 13** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2



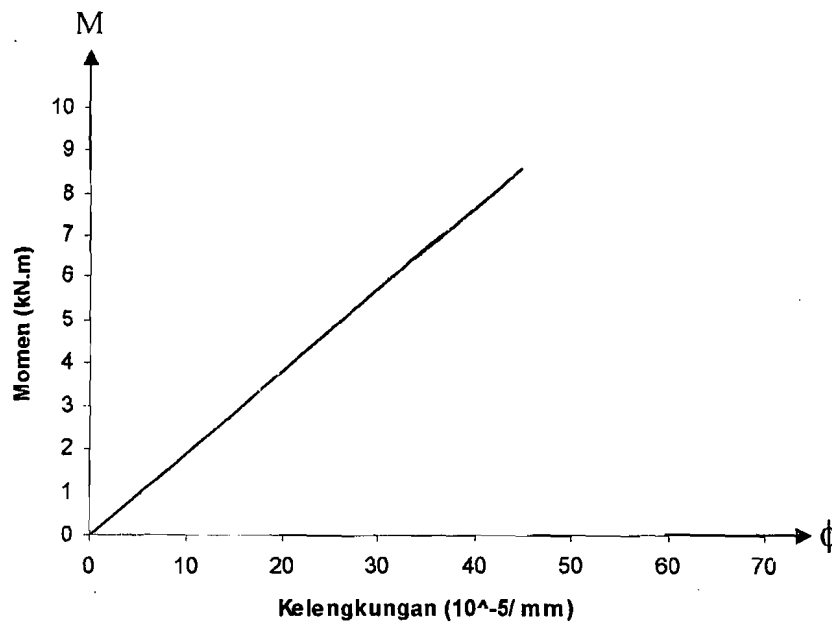
Gambar 5. 14 Regresi hubungan momen - kelengkungan benda uji 2

Tabel 5. 10 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}/\text{mm}$)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	129,000	237,000	123,000	1,313	9,867
1,750	290,000	424,000	277,000	2,625	12,489
2,625	377,000	532,000	355,000	3,938	14,756
3,500	477,000	720,000	453,000	5,250	22,667
4,375	619,000	1033,000	590,000	6,563	38,089
5,250	685,000	1134,000	652,000	7,875	41,378
5,688	773,000	1260,000	724,000	8,531	45,467



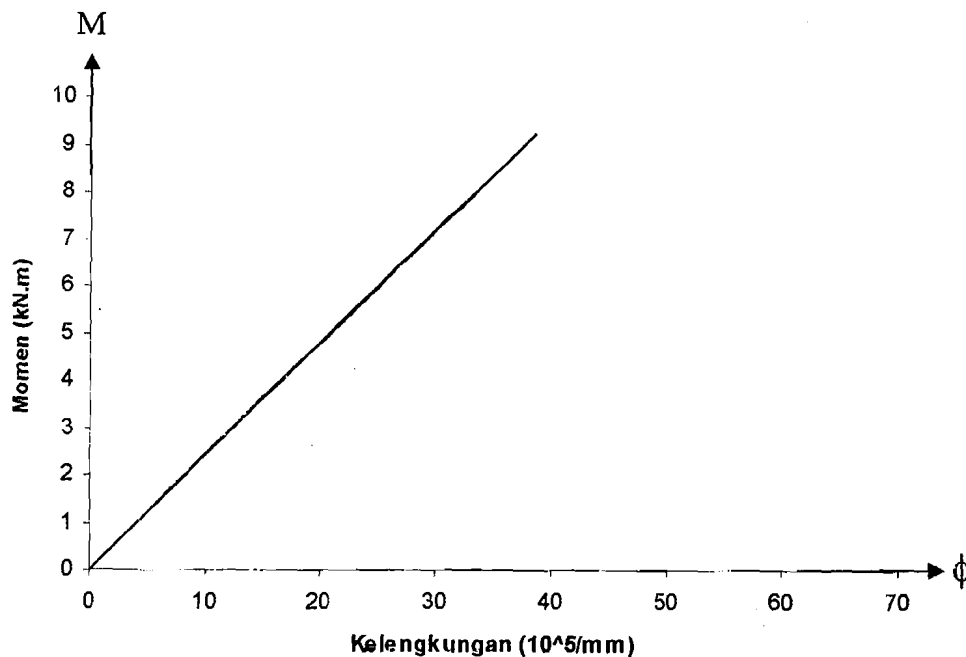
Gambar 5. 15 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3



Gambar 5. 16 Regresi hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

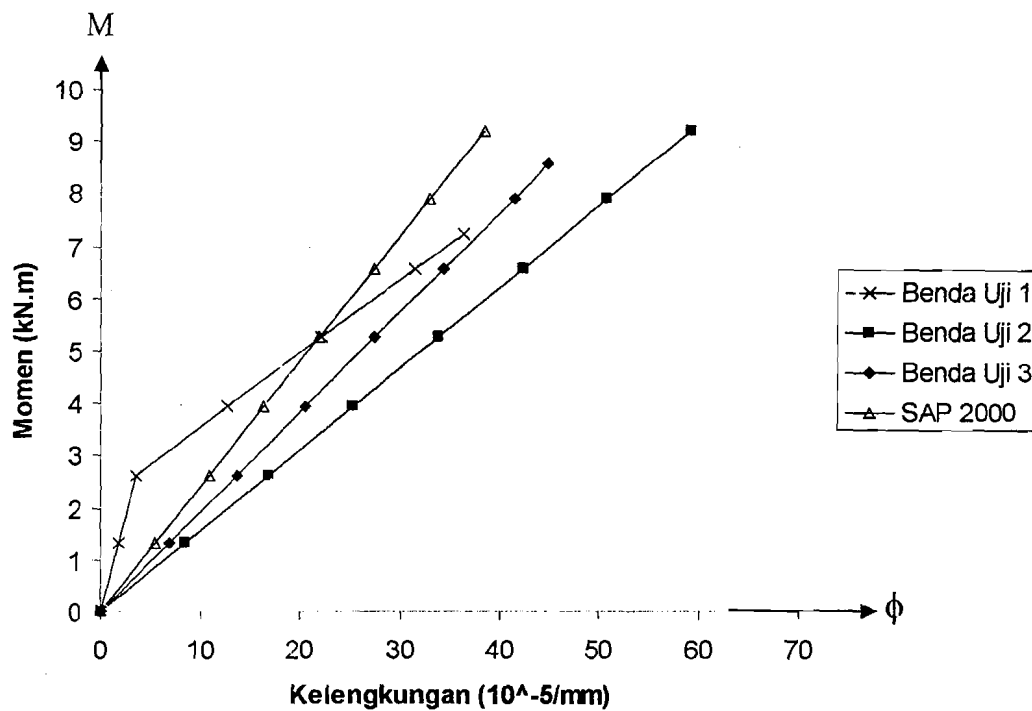
Tabel 5. 11 Hubungan momen - kelengkungan analisis SAP 2000

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}$ /mm)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	109,666	171,313	109,666	1,313	5,480
1,750	219,332	342,625	219,332	2,625	10,959
2,625	328,997	513,938	328,997	3,938	16,439
3,500	438,663	685,250	438,663	5,250	21,919
4,375	548,329	856,563	548,329	6,563	27,399
5,250	657,995	1027,875	657,995	7,875	32,878
6,125	767,661	1199,188	767,661	9,188	38,358

**Gambar 5. 17** Grafik hubungan momen - kelengkungan analisis SAP 2000

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

akan semakin kecil. Gambar 5.18 menunjukkan analisis rangka batang dari 3 benda uji dengan bentuk yang sama.



Gambar 5. 18 Grafik hubungan momen - kelengkungan tiga benda uji

5.4.1 Analisis Faktor Kekakuan Rangka Batang Hasil Pengujian

Seperti halnya yang terjadi pada grafik beban dan lendutan, pada grafik momen dan kelengkungan menunjukkan bahwa rangka batang (*truss*) memiliki faktor kekakuan seperti pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5. 12 Faktor kekakuan rangka batang tepi sejajar

Benda Uji	Momen Maksimum (kN.mm)	ϕ ($10^{-5}/\text{mm}$)	Faktor Kekakuan (kN.mm ²)	Faktor Kekakuan Rata-rata
1	7219	37,022	-	17066631
2	9188	59,778	15370203,08	
3	8531	45,467	18763058,92	
Analisis SAP	9188	38,358	23953282,24	23953282,24

5.5 Tinjauan Analitis

Uji lentur kuda-kuda batang tepi sejajar yang dilakukan di Laboratorium menghasilkan beban maksimum yang dapat dipikul oleh kuda-kuda. Gaya batang masing-masing elemen kuda-kuda didapat berdasarkan analisis SAP 2000 dengan menggunakan beban maksimum ($P_{\text{eksperimen}}$). Gaya batang analisis SAP 2000 untuk tiap elemen terdapat pada Lampiran 3.

5.5.1 Nilai Koefisien Tekuk

a. Koefisien Tekuk Uji Desak

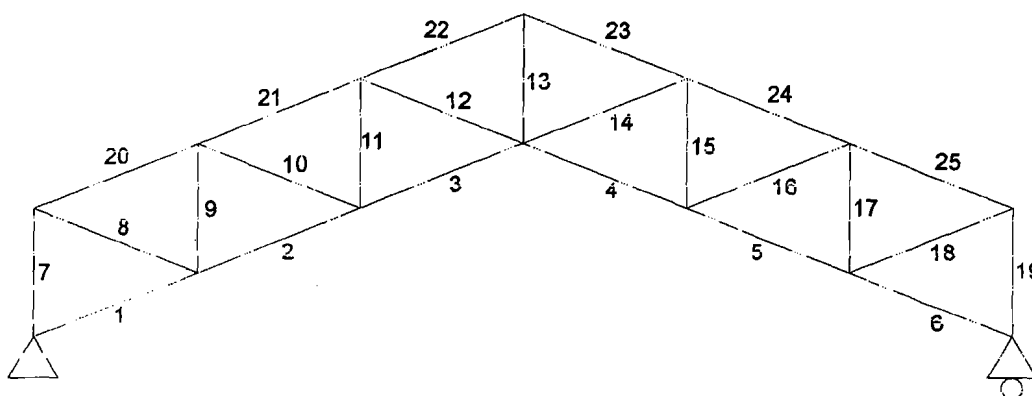
Berdasarkan uji desak lima benda uji profil *lipped channel* 70×22×8 tebal 1,2 mm, didapat nilai F_{cr} untuk masing-masing benda uji. F_{cr} digunakan untuk mencari nilai koefisien tekuk menggunakan Persamaan (3.17) seperti pada Lampiran 6. Hasil perhitungan seperti pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5. 13 Koefisien tekuk uji desak profil

Benda uji	F_{cr} (MPa)	π	A (mm)	b/t	μ	Koefisien tekuk (k)
Uji desak 50 cm	87,607	3,14	156	18,333	0,3	0,163
Uji desak 40 cm	94,231	3,14	156	18,333	0,3	0,175
Uji desak 30 cm	102,564	3,14	156	18,333	0,3	0,191

b. Koefisien Tekuk Uji Lentur

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 (k) pelat menggunakan Persamaan (3.17). Koefisien tekuk (k) hanya dapat diperoleh dari batang yang rusak akibat tekuk seperti terlihat pada Gambar 5.19 dibawah ini.



Gambar 5. 19 Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar

Tiga benda uji kuda-kuda batang tepi sejajar mengalami tekuk pada batang tekan, yaitu batang 23 pada Gambar 5.19.

nilai koefisien tekuk pelat berdasarkan uji lentur ditunjukkan pada Tabel 5.14 di bawah ini.

Tabel 5. 14 Koefisien tekuk tiap benda uji

Benda uji	Batang	P_{cr} (kN)	π	A (mm)	F_{cr} (MPa)	b/t	μ	Koefesien tekuk (k)	Koefisien tekuk rata-rata
1	23	9,577	3,14	156	61,391	18,333	0,3	0,114	0,14
2	23	12,187	3,14	156	78,122	18,333	0,3	0,145	
3	23	11,318	3,14	156	72,551	18,333	0,3	0,135	

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

5.6 Pembahasan

Uji lentur kuda-kuda batang tepi sejajar menghasilkan hubungan beban (P) dan lendutan (Δ). Berdasarkan grafik hubungan beban-lendutan, dapat diketahui kekakuan dan kekuatan dari struktur kuda-kuda. Hal ini dapat diketahui berdasarkan Tabel 5.7. Pada Gambar 5.10 benda uji 1 terjadi penurunan kekakuan, hal ini disebabkan terjadi kesalahan pada saat pembuatan benda uji, oleh karena itu benda uji 1 dianggap gagal, sedangkan untuk benda uji 2 dan benda uji 3 memiliki nilai kekakuan yang relatif sama. Kekakuan rangka batang analisis SAP 2000 memiliki nilai yang lebih besar dari kekakuan hasil penelitian, hal ini disebabkan pada analisis SAP tidak dimungkinkan terjadi tekuk lokal pada struktur rangka batang.

Beban maksimum pada pengujian lentur kuda-kuda digunakan untuk mencari tegangan kritis (F_{cr}) profil, kekuatan benda uji lentur seperti pada Tabel 5.7. Benda uji 1 memiliki beban maksimum terkecil yang mampu ditahan struktur sebelum terjadi tekuk, sebab pada benda uji 1 pengekang lateral bagian puncak tidak terpasang, untuk benda uji 2 dan benda uji 3 telah dilakukan pemasangan pengekang lateral pada puncak struktur, sehingga kekuatan struktur batang tepi sejajar mengalami peningkatan beban maksimum yang mampu ditahan sebelum terjadinya tekuk. Berdasarkan Gambar 5.10 kekuatan benda uji 2 dan benda uji 3 relatif sama, sehingga kekuatan struktur rangka batang tepi sejajar hasil pengujian sekitar 5,91 kN. 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 yang relatif kecil yaitu 137,102 Mpa.

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. Terlihat bahwa koefisien tekuk pelat berdasarkan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian didapat nilai yang relatif kecil, $k = 0,14$, nilai koefisien tekuk tersebut relatif kecil. Berdasarkan rasio lebar sayap terhadap tinggi badan profil benda uji ($b/h = 0,31$), nilai koefisien tekuk hasil pengujian sangat jauh berbeda dengan nilai koefisien tekuk untuk penampang I dengan rasio lebar sayap terhadap tinggi badan (b/d) yang sama seperti dikemukakan oleh *N.S Trahair* dan *M.A Bradford (1988)* $k = 0,37$ begitu juga dengan koefisien tekuk untuk pelat pada Gambar 3.9 memiliki

nilai koefisien tekuk minimal pelat, $k = 0,425$ maupun nilai koefisien tekuk menurut *Schafer (1997)*, yaitu $k = 0,542$.

Beban tekuk yang terjadi pada rangka relatif kecil, menyebabkan nilai koefisien tekuk (k) pelat menjadi sangat kecil. Hal ini bisa 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.

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, kuda-kuda rangka dengan batang tepi sejajar profil *Lipped Channel* bentukan dingin adalah meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Dari hubungan beban-lendutan, kuda-kuda rangka batang tepi sejajar memiliki kekakuan sebesar 0,44 kN/mm.
2. Berdasarkan grafik hubungan momen (M) - kelengkungan (ϕ), struktur rangka batang tepi sejajar memiliki faktor kekakuan sebesar 17,07 kN.m².
3. Terjadi tekuk lokal pada elemen tekan yang menahan beban terbesar diantara seluruh elemen tekan panyusun tampang dan tegangan kritis pada elemen yang mengalami tekuk sama dengan 78,122 kN/mm² dan 72,551 kN/mm².
4. Nilai koefisien tekuk profil *lipped channel* hasil uji lentur, $k = 0,14$.

6.2 Saran

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

1. Sistem pengamanan yang cukup agar pada saat pengujian terjadi kerusakan pada benda uji tidak membahayakan bagi peneliti yang berada di dekat benda uji.
2. Karena benda uji dibuat tukang, maka pada saat pembuatan sebaiknya diawasi dengan baik sehingga tidak terjadi kesalahan dan sesuai dengan perencanaan.
3. Pemasangan *hidraulic jack* harus benar-benar pada posisi tengah, karena akan berpengaruh terhadap perilaku dan kekuatan dari benda uji.
4. Pada saat pengujian perlu diperhatikan kecermatan dan ketelitian dalam pembacaan dial. (kuda-kuda pada posisi tidak bergerak).
5. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat dibandingkan hal-hal sebagai berikut:
 - a) Pengaruh rasio jarak antar batang tepi terhadap panjang bentang kuda-kuda baja ringan ($H1/L$).
 - b) Pengaruh variasi jarak pengekang lateral terhadap kekuatan kuda-kuda batang tepi sejajar.
 - c) Pengaruh variasi sudut batang tepi rangka batang.

DAFTAR PUSTAKA

Gere, James. M dan Stephen. P Timoshenko, 1987, **MEKANIKA BAHAN**, Edisi Kedua Versi SI, Jilid I , Erlangga, Jakarta.

Kusuma, Gideon Hadi, 1983, **PERENCANAAN BANGUNAN BAJA**, Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Lambert Tall, 1974, **STRUKTUR STEEL DESIGN**, 2nd Edition, The Ronald Press Company, New York.

Trahair, N.S and M.A. Bradford, 1988, **THE BEHAVIOUR AND DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, 2nd Edition, Chapman and Hall, New York.

Padosbajayo, 1991, **BAHAN KULIAH PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA**, Nafiri, Yogyakarta.

Salmon, C.G dan J.E. Johnson, 1994, **STRUKTUR BAJA DISAIN DAN PERILAKU**, Edisi kedua, Jilid I, Erlangga, Jakarta.

Schafer, B.W, 2000, **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.

Singer, Ferdinand L dan Andrew Pytel, 1985, **KEKUATAN BAHAN**, Edisi Ketiga, diterjemahkan oleh Darwin Sebayang, Erlangga, Jakarta.

Wang, Chu-Kia, 1985, **PENGANTAR ANALISIS STRUKTUR DENGAN CARA MATRIKS**, Erlangga, Jakarta.

PENUTUP

Alhamdulillah penyusun panjatkan kehadiran Allas SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir dengan judul PERILAKU STRUKTUR RANGKA BATANG TEPI SEJAJAR PROFIL BENTUKAN DINGIN dapat diselesaikan dengan baik.

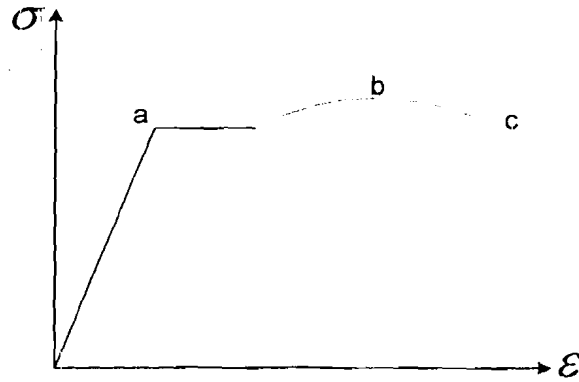
Tak ada yang sempurna di dunia ini melainkan Allah SWT. Penyusun menyadari bahwa laporan tugas akhir ini tidak dapat dikatakan sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan waktu dan kemampuan yang dimiliki penyusun. Harapan penyusun semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat, menambah dan memperluas cakrawala berfikir bagi kita semua, khususnya bagi penyusun sendiri.

Akhir kata penyusun mengucapkan terima kasih sekali lagi kepada semua pihak yang telah membantu penyusun dalam melaksanakan dan menyusun laporan tugas akhir baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga amal kebaikan kita mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT.

LAMPIRAN 1

Hasil Uji Bahan

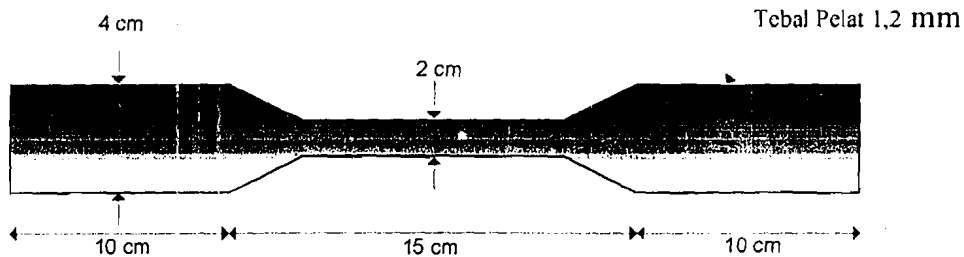
Pengujian ini merupakan uji terhadap kekuatan tarik bahan profil Lipped Channel 70×22×0,8 dengan tebal 1,2 mm yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 2 Pebruari 2006. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :



Beban Leleh (a)

Beban Maksimum (b)

Beban Patah (c)



1. Hasil pengujian kuat tarik profil Lipped Channel 70x22x8x1,2

a. Sampel I

Beban leleh = 372,5 kg

Beban maksimum = 457,5 kg

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2,025 \text{ cm}$$

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

$$A_o = l \times t = 0,243 \text{ cm}^2$$

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

$$= \frac{372,5}{0,243}$$

$$= 1532,92 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 153,292 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat tarik (Fu)} = \frac{P_u}{A_o}$$

$$= \frac{457,5}{0,243}$$

$$= 1882,72 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 188,272 \text{ Mpa}$$

b. Sampel II

$$\text{Beban leleh} = 325 \text{ kg}$$

$$\text{Beban maksimum} = 420 \text{ kg}$$

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2,115 \text{ cm}$$

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

$$A_o = l \times t = 0,2538 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat leleh (Fy)} &= \frac{Py}{Ao} \\ &= \frac{325}{0,2538} \\ &= 1280,53 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 128,053 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik (Fu)} &= \frac{Pu}{Ao} \\ &= \frac{420}{0,2538} \\ &= 1654,85 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 165,485 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

c. Sampel III

$$\text{Beban leleh} = 327,5 \text{ kg}$$

$$\text{Beban maksimum} = 377,5 \text{ kg}$$

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2,10 \text{ cm}$$

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

$$Ao = l \times t = 0,2520 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat leleh (Fy)} &= \frac{Py}{Ao} \\ &= \frac{327,5}{0,2520} \end{aligned}$$



$$= 1299,60 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 129,960 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat tarik (Fu)} = \frac{Pu}{Ao}$$

$$= \frac{377,5}{0,2520}$$

$$= 1498,02 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 149,802 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat leleh rata-rata} = \frac{153,292 + 128,053 + 129,960}{3}$$

$$= 137,102 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat tarik rata-rata} = \frac{188,272 + 165,485 + 149,802}{3}$$

$$= 167,853 \text{ Mpa}$$

Tabel L1. 1 Hasil uji kuat tarik baja

Nilai hasil uji	Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3
Beban leleh (kg)	372,5	325	327,5
Beban maksimum (kg)	457,5	420	377,5
Tegangan leleh (F_y)	153,292 Mpa	128,053 Mpa	129,96 Mpa
Tegangan maksimum (F_u)	188,272 Mpa	165,485 Mpa	149,802 Mpa
F_y rata-rata (Mpa)	137,102		
F_u rata-rata (Mpa)	166,853		

2. Hasil pengujian kuat tekan profil Lipped Channel 70x22x8x1,2**a. Sampel 1 (50 cm)**

$$\text{Beban maksimum} = 1320 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Desak (sampel 1)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{1320 \text{ kg}}{156 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 846,15 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 84,615 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

b. Sampel 2 (50 cm)

$$\text{Beban maksimum} = 1315 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Desak (sampel 2)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{1315 \text{ kg}}{156 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 842,95 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 84,295 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

c. Sampel 3 (50 cm)

$$\text{Beban maksimum} = 1465 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Desak (sampel 2)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{1465 \text{ kg}}{156 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2} \end{aligned}$$

$$= 939,10 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 89,910 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat Desak Rata-rata} = \frac{84,615 + 84,295 + 89,910}{3} = 87,607 \text{ Mpa}$$

Tabel L1. 1 Hasil uji kuat tekan profil baja

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (50 cm)	Benda uji 2 (50 cm)	Benda uji 3 (50 cm)
Beban maksimum (kg)	1320	1315	1465
F_{cr} (Mpa)	84,615	84,295	93,91
F_{cr} rata-rata (Mpa)	87,607		

d. Sampel 4 (40 cm)

$$\text{Beban maksimum} = 1470 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat Desak (sampel 2)} = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}}$$

$$= \frac{1470 \text{ kg}}{156.10^{-2} \text{ cm}^2}$$

$$= 942,31 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 94,231 \text{ Mpa}$$

e. Sampel 5 (30 cm)

$$\text{Beban maksimum} = 1600 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat Desak (sampel 2)} = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1600 \text{ kg}}{156.10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 1025,64 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 102,564 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tabel L1. 2 Hasil uji kuat tekan profil baja

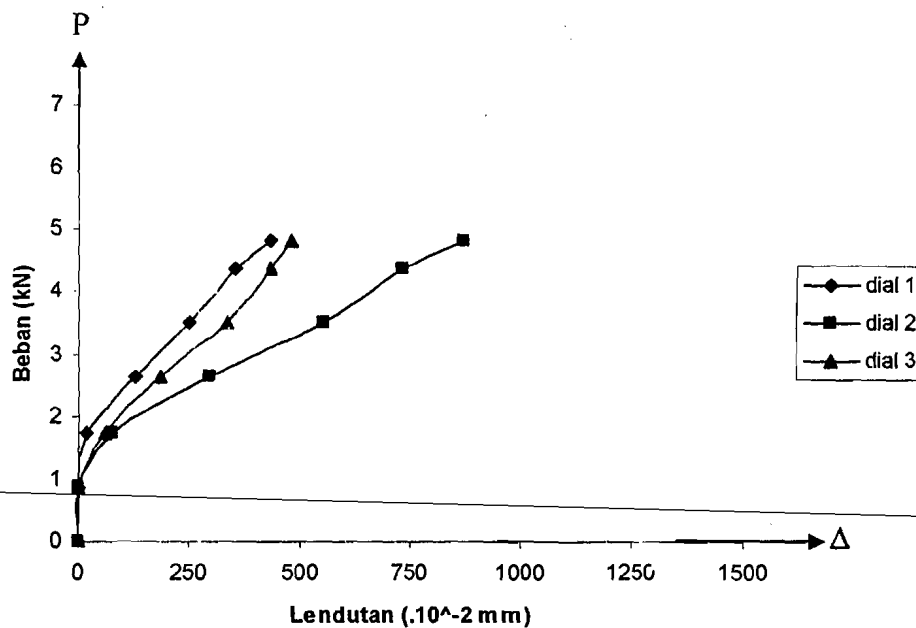
Nilai hasil uji	Benda uji 4 (40 cm)	Benda uji 5 (30 cm)
Beban maksimum (kg)	1470	1600
F_{cr} (Mpa)	94,231	102,564

LAMPIRAN 2

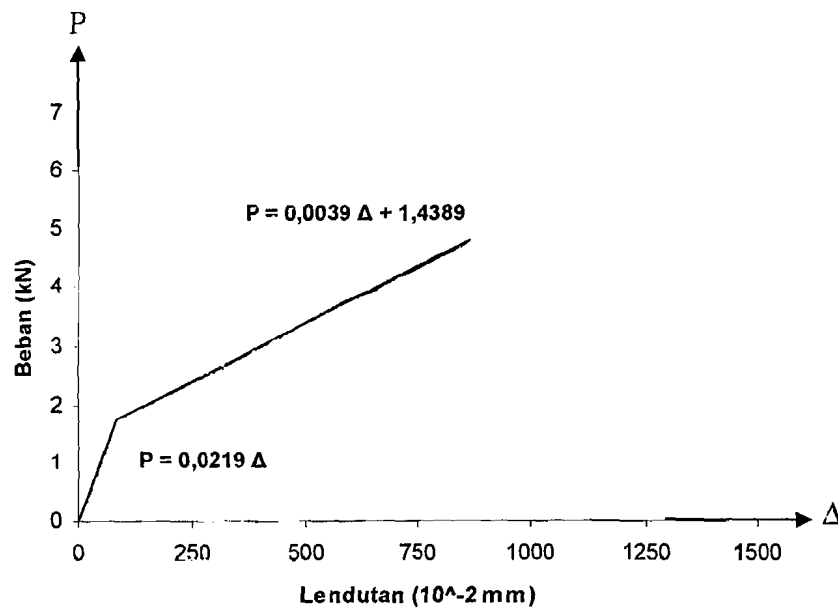
Hasil Pengujian Struktur Rangka Batang Tepi Sejajar

Tabel L2. 1 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 1

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^2$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	0,000	0,000	0,000
1,750	19,000	80,000	61,500
2,625	130,000	295,000	186,000
3,500	251,000	550,000	335,000
4,375	351,000	730,000	432,000
4,813	432,000	870,000	475,000



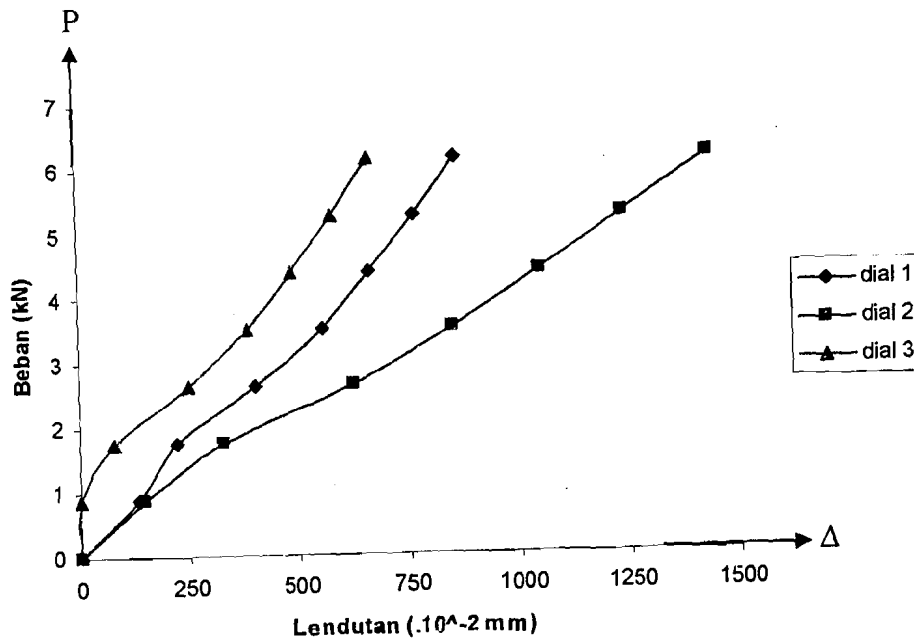
Gambar L2. 1 Grafik hubungan beban - lendutan benda uji 1



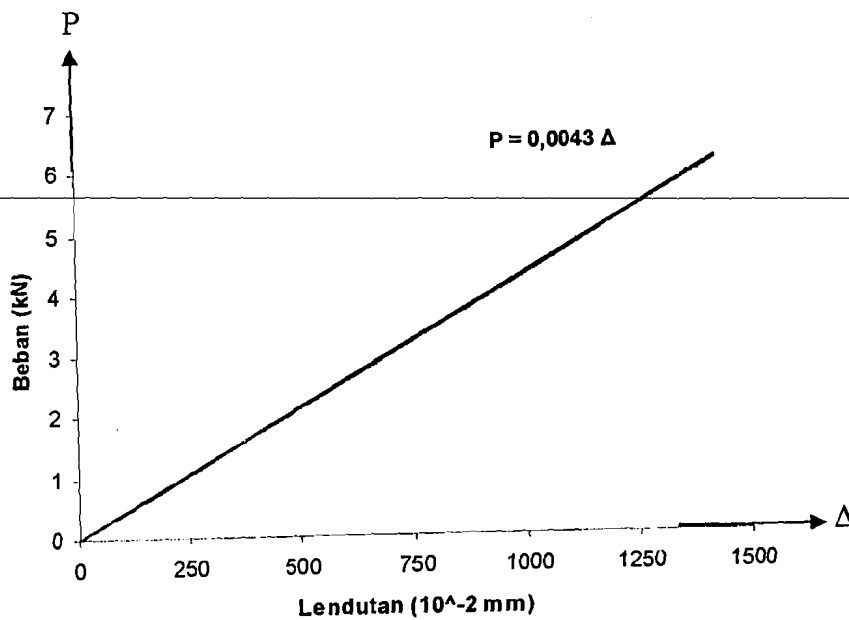
Gambar L2. 2 Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 1

Tabel L2. 2 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 2

Beban (KN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^2$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	133,000	150,000	0,000
1,750	220,000	327,000	81,000
2,625	402,000	627,000	250,000
3,500	556,000	848,000	386,000
4,375	662,000	1045,000	487,000
5,250	764,000	1237,000	580,000
6,125	855,000	1430,000	660,000



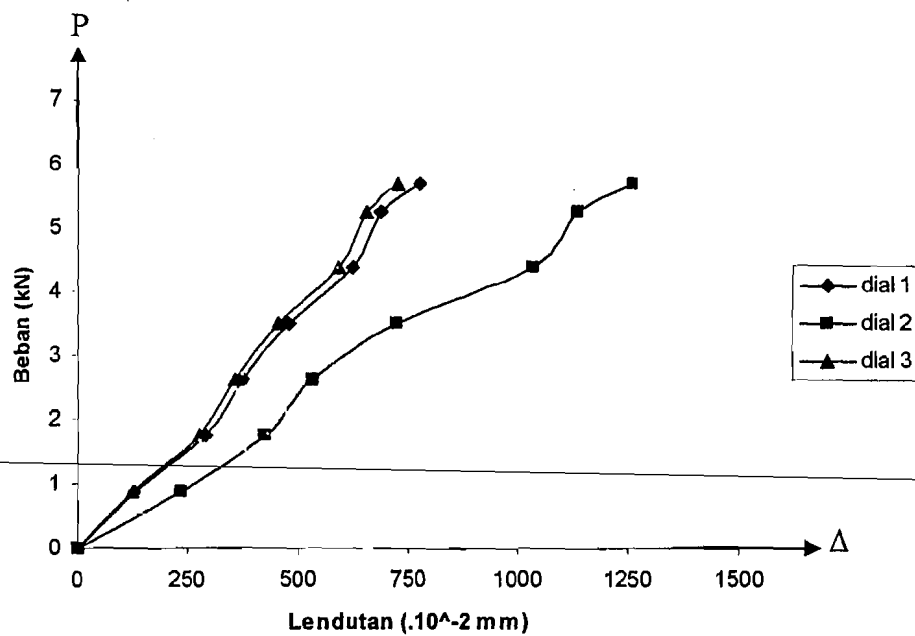
Gambar L2. 3 Grafik Hubungan Beban – Lendutan Benda Uji 2



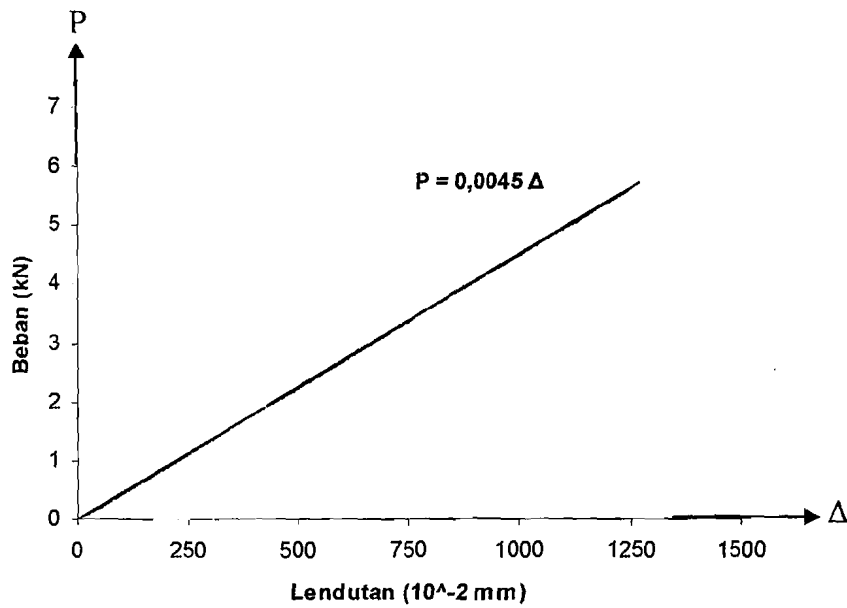
Gambar L2. 4 Regresi hubungan beban - lendutan benda uji 2

Tabel L2. 3 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 3

Beban (KN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	129,000	237,000	123,000
1,750	290,000	424,000	277,000
2,625	377,000	532,000	355,000
3,500	477,000	720,000	453,000
4,375	619,000	1033,000	590,000
5,250	685,000	1134,000	652,000
5,688	773,000	1260,000	724,000



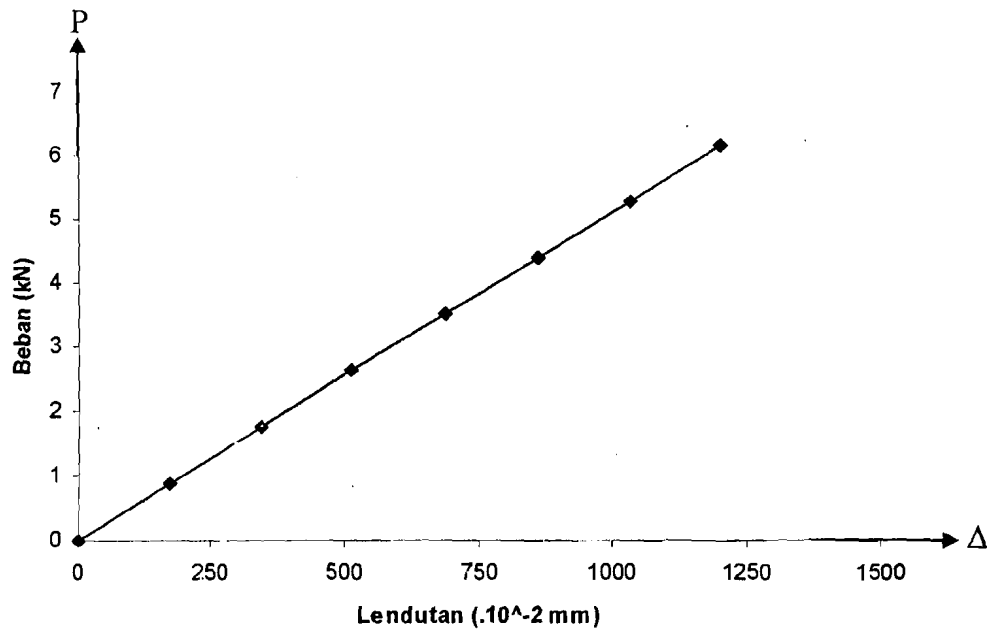
Gambar L2. 5 Grafik hubungan beban - lendutan benda uji 3



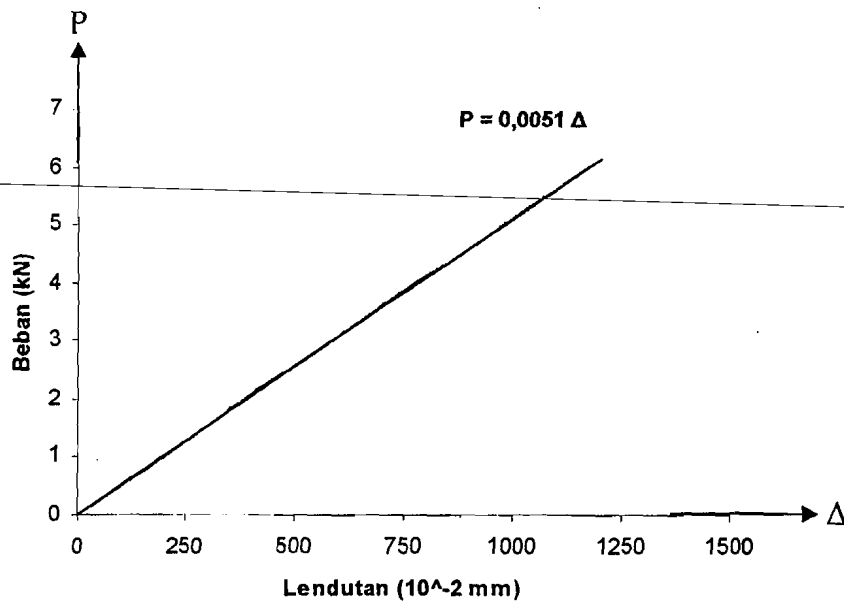
Gambar L2. 6 Regresi hubungan beban - lendutan benda uji 3

Tabel L2. 4 Hubungan beban - lendutan analisis SAP 2000

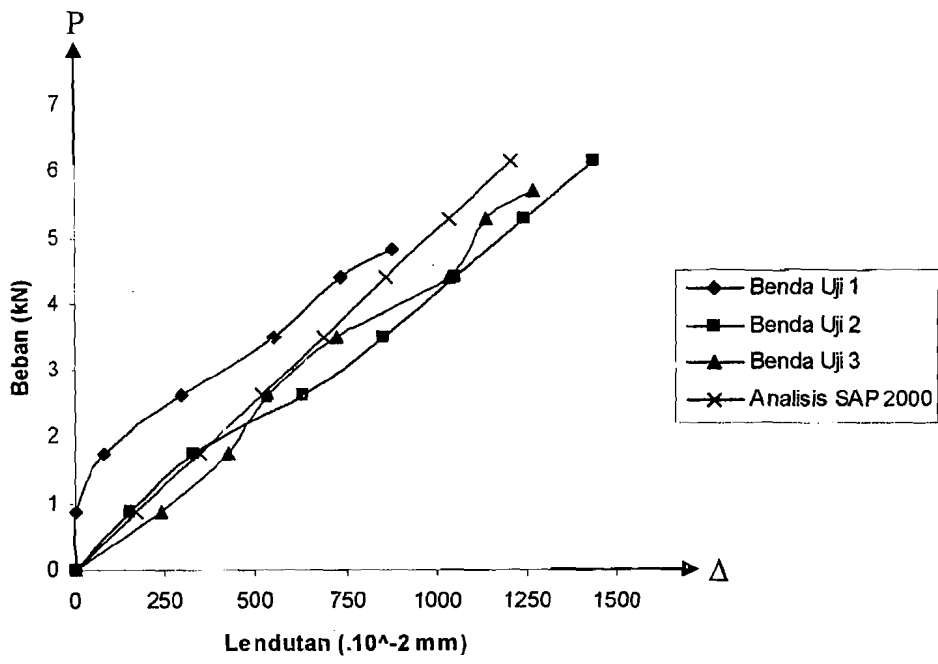
Beban (KN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	109,666	171,313	109,666
1,750	219,332	342,625	219,332
2,625	328,997	513,938	328,997
3,500	438,663	685,250	438,663
4,375	548,329	856,563	548,329
5,250	657,995	1027,875	657,995
6,125	767,661	1199,188	767,661



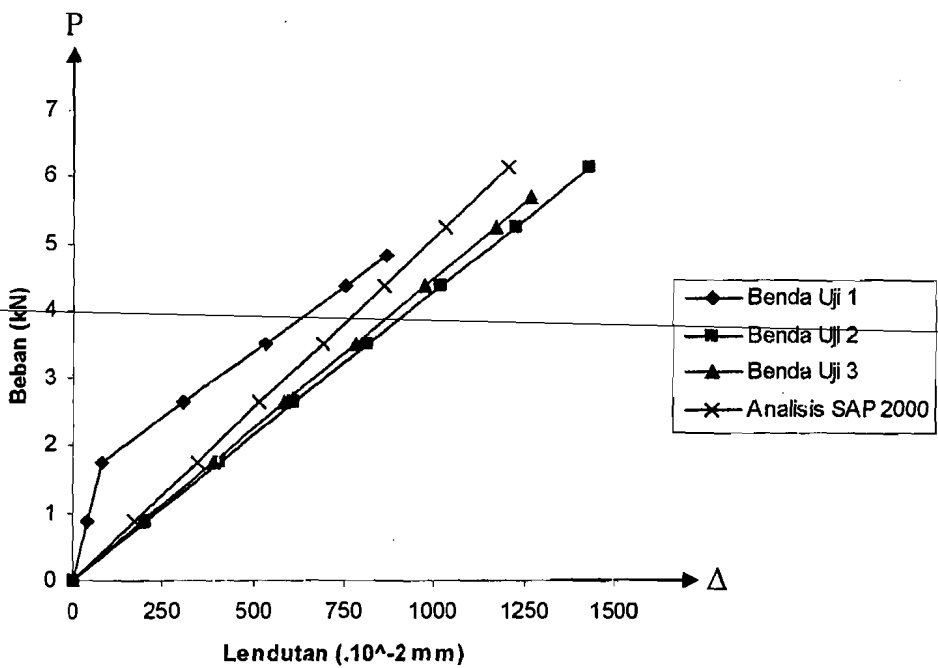
Gambar L2. 7 Grafik hubungan beban – lendutan analisis SAP 2000



Gambar L2. 8 Regresi hubungan beban - lendutan analisis SAP 2000



Gambar L2. 9 Beban – lendutan tiap benda uji 1, 2, 3 dan SAP 2000



Gambar L2. 10 Regresi hubungan beban -- lendutan tiga benda uji

Perhitungan kekakuan benda uji

a. Benda Uji 1

$$\phi = P/\Delta = 0,0219 \text{ maka jika :}$$

$$P = 1,75 \text{ kN}; \Delta = 0,7991 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k_1 = \frac{1,75}{0,7991} = 2,19 \text{ kN/mm}$$

$$\phi = P/\Delta; P = 0,0039\Delta + 1,3489 \text{ maka jika :}$$

$$P = 4,813 \text{ kN}; \Delta = 8,8823 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k_2 = \frac{4,813 - 1,3489}{8,88231} = 0,39 \text{ kN/mm}$$

b. Benda Uji 2

$$\phi = P/\Delta = 0,0043 \text{ maka jika :}$$

$$P = 4,813 \text{ kN}; \Delta = 11,1930 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k = \frac{4,813}{11,1930} = 0,4300 \text{ kN/mm}$$

c. Benda Uji 3

$$\phi = P/\Delta = 0,0045 \text{ maka jika :}$$

$$P = 4,813 \text{ kN} ; \Delta = 10,6956 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k = \frac{4,813}{10,6956} = 0,4500 \text{ kN/mm}$$

d. Analisis SAP

$\phi = P/\Delta = 0,0051$ maka jika :

$$P = 4,813 \text{ kN} ; \Delta = 9,4373 \text{ mm}$$

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

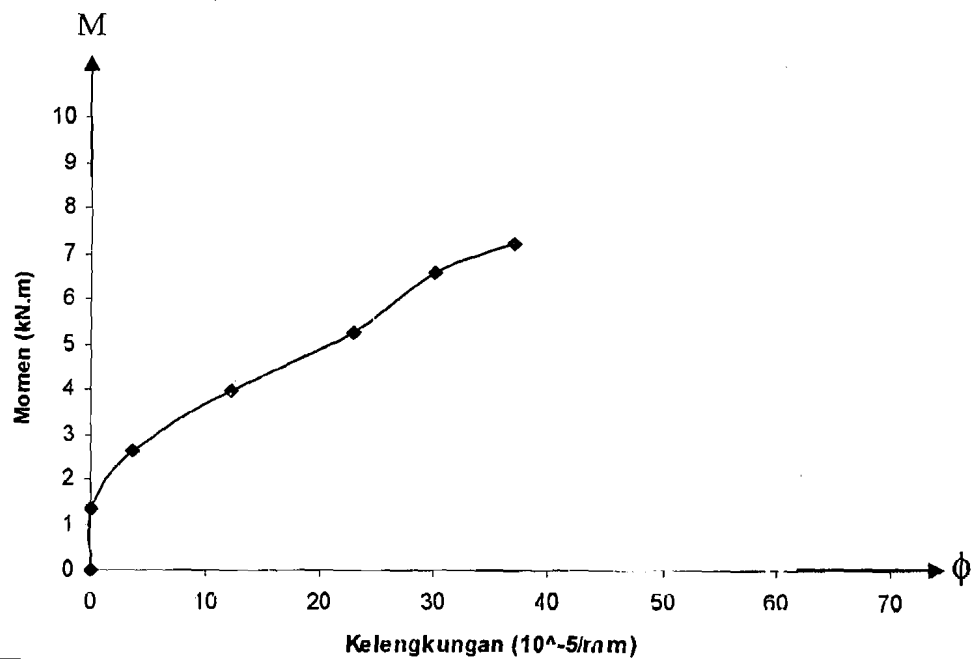
$$\text{tg}\theta = k = \frac{4,813}{9,4373} = 0,51 \text{ kN/mm}$$

Tabel L2. 5 Nilai kekakuan benda uji

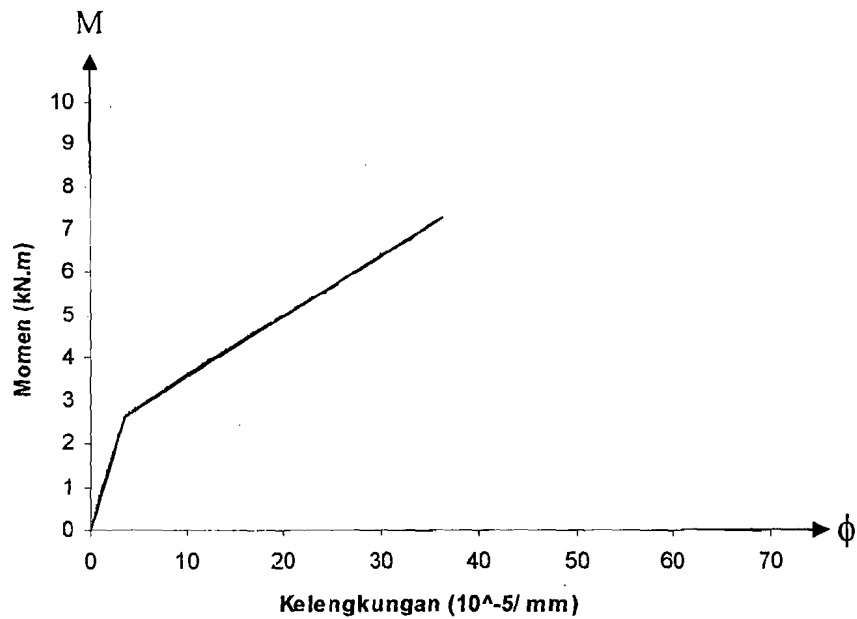
Benda uji	Beban maks (kN)	Beban ambil (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	Kekakuan (k) (kN/mm)	Kekakuan rata-rata (kN/mm)	Kekuatan rata-rata (kN)
1	4,813	-	-	-	0,44	5,91
2	6,125	4,813	11,1930	0,43		
3	5,688	4,813	10,6956	0,45		
Analisis SAP 2000	6,125	4,813	9,4373	0,51	0,51	6,125

Tabel L2. 6 Hubungan momen – kelengkungan benda uji 1

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}$ /mm)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	0,000	0,000	0,000	1,313	0,000
1,750	19,000	80,000	61,500	2,625	3,533
2,625	130,000	295,000	186,000	3,938	12,178
3,500	251,000	550,000	335,000	5,250	22,844
4,375	351,000	730,000	432,000	6,563	30,089
4,813	432,000	870,000	475,000	7,219	37,022



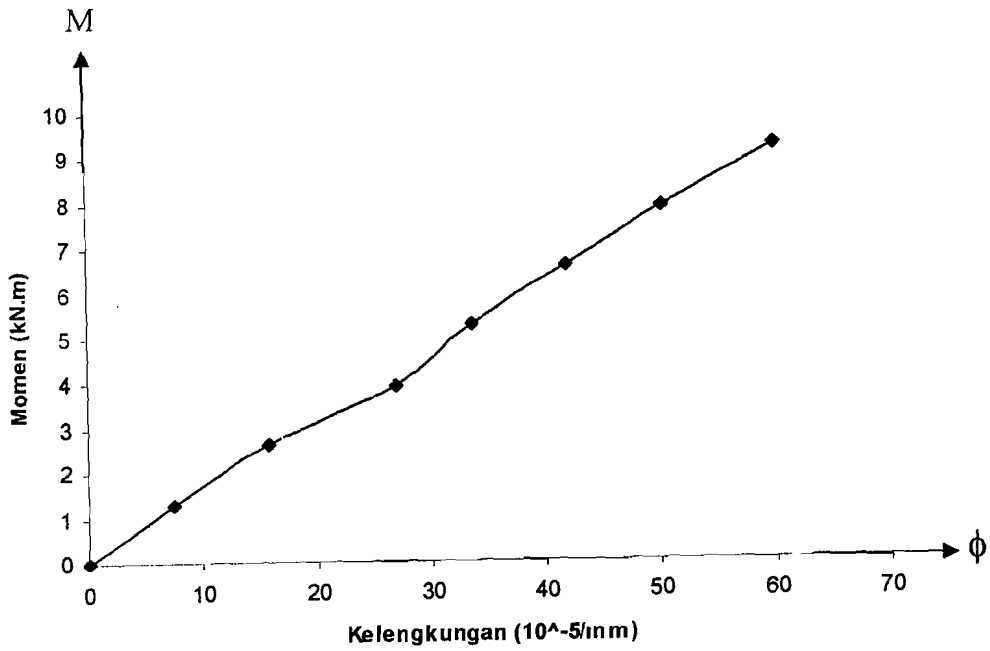
Gambar L2. 11 Grafik hubungan momen – kelengkungan benda uji 1



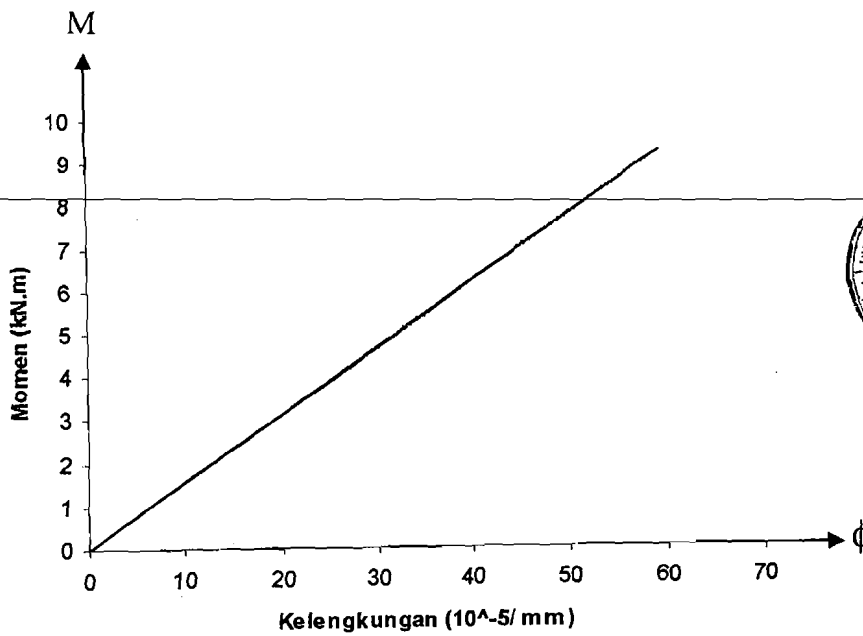
Gambar L2. 12 Regresi hubungan momen – kelengkungan benda uji 1

Tabel L2. 7 Hubungan momen – kelengkungan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}/\text{mm}$)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	133,000	150,000	0,000	1,313	7,422
1,750	220,000	327,000	81,000	2,625	15,689
2,625	402,000	627,000	250,000	3,938	26,756
3,500	556,000	848,000	386,000	5,250	33,511
4,375	662,000	1045,000	487,000	6,563	41,822
5,250	764,000	1237,000	580,000	7,875	50,222
6,125	855,000	1430,000	660,000	9,188	59,778



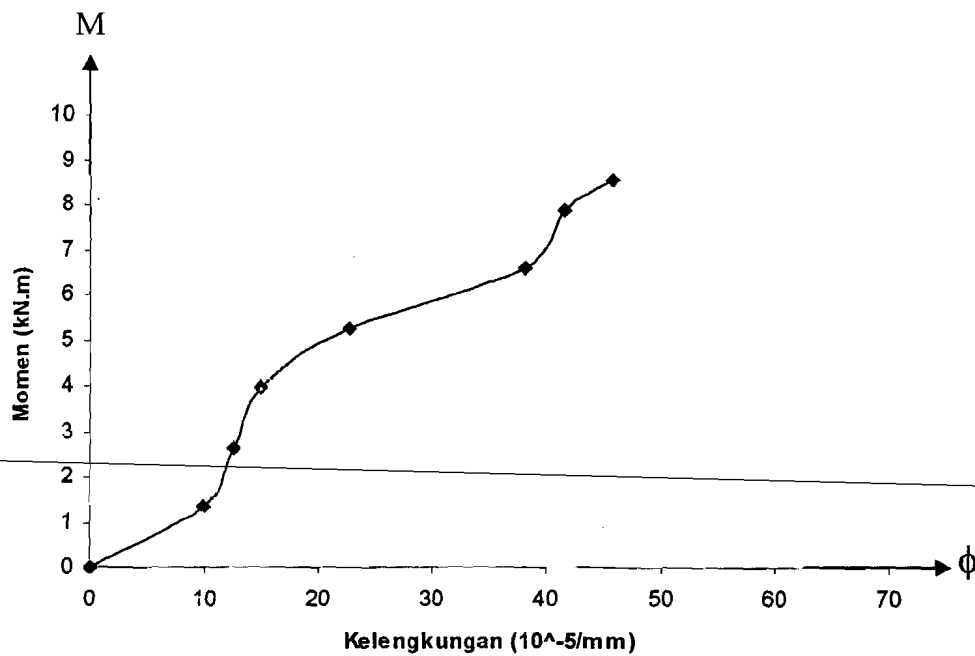
Gambar L2. 13 Grafik hubungan momen – kelengkungan benda uji 2



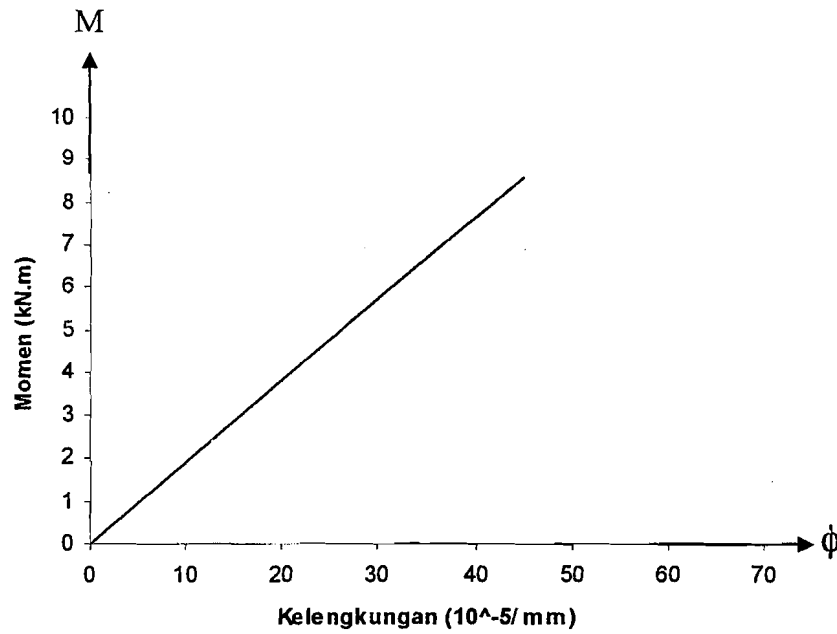
Gambar L2. 14 Regresi hubungan momen – kelengkungan benda uji 2

Tabel L2. 8 Hubungan momen – kelengkungan benda uji 3

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}$ /mm)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	129,000	237,000	123,000	1,313	9,867
1,750	290,000	424,000	277,000	2,625	12,489
2,625	377,000	532,000	355,000	3,938	14,756
3,500	477,000	720,000	453,000	5,250	22,667
4,375	619,000	1033,000	590,000	6,563	38,089
5,250	685,000	1134,000	652,000	7,875	41,378
5,688	773,000	1260,000	724,000	8,531	45,467



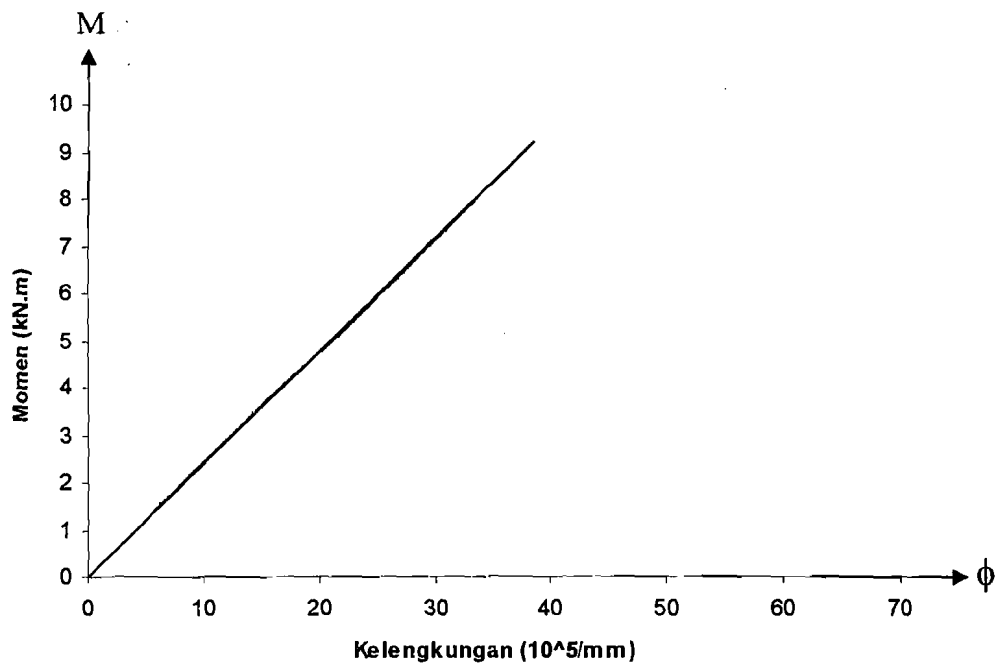
Gambar L2. 15 Grafik hubungan momen – kelengkungan benda uji 3



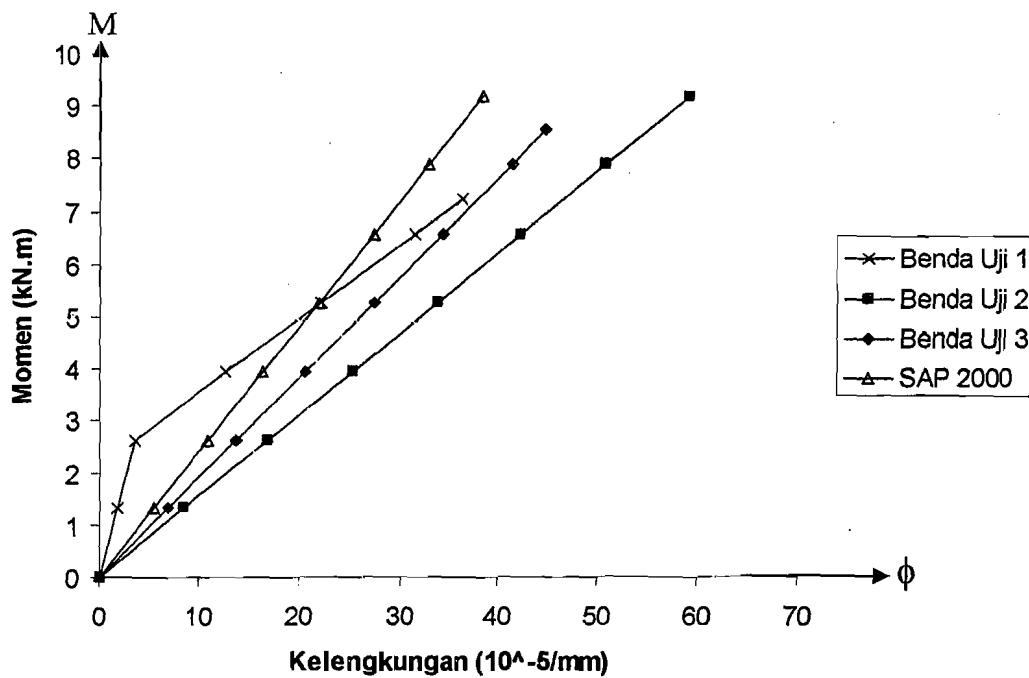
Gambar L2. 16 Regresi hubungan momen – kelengkungan benda uji 3

Tabel L3. 9 Hubungan momen – kelengkungan analisis SAP 2000

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}$ /mm)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	109,666	171,313	109,666	1,313	5,480
1,750	219,332	342,625	219,332	2,625	10,959
2,625	328,997	513,938	328,997	3,938	16,439
3,500	438,663	685,250	438,663	5,250	21,919
4,375	548,329	856,563	548,329	6,563	27,399
5,250	657,995	1027,875	657,995	7,875	32,878
6,125	767,661	1199,188	767,661	9,188	38,358



Gambar L2. 17 Grafik hubungan momen – kelengkungan analisis SAP 2000



Gambar L2. 18 Grafik hubungan momen - kelengkungan tiga benda uji

Perhitungan faktor kekakuan berdasarkan hubungan momen - kelengkungan

a. Benda Uji 2

$$M \text{ maksimal} = 9,188 \text{ kNm} ; \phi = 59,778.10^{-5}/\text{mm}$$

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

$$EI = \frac{9188}{59,778.10^{-5}} = 15370203,08 \text{ kNmm}^2$$

b. Benda Uji 3

$$M \text{ maksimal} = 8,531 \text{ kNm} ; \phi = 45,467.10^{-5}/\text{mm}$$

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

$$EI = \frac{8531}{45,467.10^{-5}} = 18763058,92 \text{ kNmm}^2$$

c. Analisis SAP 2000

$$M \text{ maksimal} = 9,188 \text{ kNm} ; \phi = 38,358.10^{-5}/\text{mm}$$

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

$$EI = \frac{9188}{38,358.10^{-5}} = 23953282,24 \text{ kNmm}^2$$

Tabel L2. 10 Rasio faktor kekakuan kuda-kuda

Benda Uji	Momen Maksimum (kN.mm)	ϕ ($10^{-5}/\text{mm}$)	Faktor Kekakuan (kN.mm ²)	Faktor Kekakuan Rata-rata
1	7219	37,022	-	17066631
2	9188	59,778	15370203,08	
3	8531	45,467	18763058,92	
Analisis SAP	9188	38,358	23953282,24	

LAMPIRAN 3

Data Gaya Batang (*element force*) aksial (P) Analisis SAP 2000

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

1. Benda uji 1

$$P_{\text{maksimum}} = 4,813 \text{ kN}$$

Tabel L 3. 1 Gaya Batang Benda Uji 1

Batang	Station	P (kN)
1	0,000	0,025
1	1,077	0,025
2	0,000	3,232
2	1,077	3,232
3	0,000	6,453
3	1,077	6,453
4	0,000	6,453
4	1,077	6,453
5	0,000	3,232
5	1,077	3,232
6	0,000	0,025
6	1,077	0,025
7	0,000	-2,390
7	0,800	-2,390
8	0,000	3,153
8	1,077	3,153
9	0,000	-2,375
9	0,800	-2,375
10	0,000	3,176
10	1,077	3,176
11	0,000	-2,342
11	0,800	-2,342
12	0,000	3,116
12	1,077	3,116

Lanjutan Tabel L3.1

13	0,000	2,311
13	0,800	2,311
14	0,000	3,116
14	1,077	3,116
15	0,000	-2,342
15	0,800	-2,342
16	0,000	3,176
16	1,077	3,176
17	0,000	-2,375
17	0,800	-2,375
18	0,000	3,153
18	1,077	3,153
19	0,000	-2,390
19	0,800	-2,390
20	0,000	-3,199
20	1,077	-3,199
21	0,000	-6,427
21	1,077	-6,427
22	0,000	-9,577
22	1,077	-9,577
23	0,000	-9,577
23	1,077	-9,577
24	0,000	-6,427
24	1,077	-6,427
25	0,000	-3,199
25	1,077	-3,199

2. Benda uji 2

$$P_{\text{maksimum}} = 6,125 \text{ kN}$$

Tabel L 3. 2 Gaya Batang Benda Uji 2

Frame	Station	P (kN)
1	0,000	0,032
1	1,077	0,032
2	0,000	4,113

Lanjutan Tabel L3.2

2	1,077	4,113
3	0,000	8,212
3	1,077	8,212
4	0,000	8,212
4	1,077	8,212
5	0,000	4,113
5	1,077	4,113
6	0,000	0,032
6	1,077	0,032
7	0,000	-3,042
7	0,800	-3,042
8	0,000	4,012
8	1,077	4,012
9	0,000	-3,022
9	0,800	-3,022
10	0,000	4,042
10	1,077	4,042
11	0,000	-2,980
11	0,800	-2,980
12	0,000	3,965
12	1,077	3,965
13	0,000	2,941
13	0,800	2,941
14	0,000	3,965
14	1,077	3,965
15	0,000	-2,980
15	0,800	-2,980
16	0,000	4,042
16	1,077	4,042
17	0,000	-3,022
17	0,800	-3,022
18	0,000	4,012
18	1,077	4,012
19	0,000	-3,042
19	0,800	-3,042
20	0,000	-4,071
20	1,077	-4,071
21	0,000	-8,179

Lanjutan Tabel L3.2

21	1,077	-8,179
22	0,000	-12,187
22	1,077	-12,187
23	0,000	-12,187
23	1,077	-12,187
24	0,000	-8,179
24	1,077	-8,179
25	0,000	-4,071
25	1,077	-4,071

3. Benda uji 3

$$P_{\text{maksimum}} = 5,688 \text{ kN}$$

Tabel L 3. 3 Gaya Batang Benda Uji 3

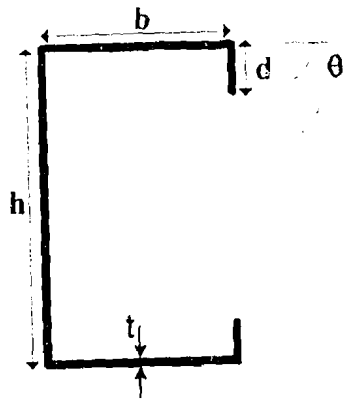
Frame	Station	P (kN)
1	0,000	0,030
1	1,077	0,030
2	0,000	3,820
2	1,077	3,820
3	0,000	7,626
3	1,077	7,626
4	0,000	7,626
4	1,077	7,626
5	0,000	3,820
5	1,077	3,820
6	0,000	0,030
6	1,077	0,030
7	0,000	-2,825
7	0,800	-2,825
8	0,000	3,726
8	1,077	3,726
9	0,000	-2,806
9	0,800	-2,806
10	0,000	3,753
10	1,077	3,753

Lanjutan Tabel L3.3

11	0,000	-2,767
11	0,800	-2,767
12	0,000	3,682
12	1,077	3,682
13	0,000	2,732
13	0,800	2,732
14	0,000	3,682
14	1,077	3,682
15	0,000	-2,767
15	0,800	-2,767
16	0,000	3,753
16	1,077	3,753
17	0,000	-2,806
17	0,800	-2,806
18	0,000	3,726
18	1,077	3,726
19	0,000	-2,825
19	0,800	-2,825
20	0,000	-3,781
20	1,077	-3,781
21	0,000	-7,596
21	1,077	-7,596
22	0,000	-11,318
22	1,077	-11,318
23	0,000	-11,318
23	1,077	-11,318
24	0,000	-7,596
24	1,077	-7,596
25	0,000	-3,781
25	1,077	-3,781

LAMPIRAN 4

Perhitungan Batang Tekan *Light Lipped Channel*



Gambar L4.1 Profil Lipped Channel

$$h = 70 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$= 1,2 \cdot (70 + (2 \cdot 22) + (2 \cdot 8))$$

$$= 156 \text{ mm}^2$$

$$e_y = 35 \text{ mm}$$

$$e_x = 6,514 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{1}{12} \cdot 1,2 \cdot 70^3 + \frac{1}{2} \cdot 22 \cdot 1,2 \cdot 70^2 + \frac{2}{3} \cdot 1,2 \cdot 8^3 + \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 70^2 - 8^2 \cdot 1,2 \cdot 70 + \frac{1}{6} \cdot 22 \cdot 1,2^3$$

$$= 0,0097 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

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

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 70 \cdot 1,2^3 + \frac{2}{3} \cdot 1,2 \cdot 22^3 + \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 1,2^3 + 2 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 22^2 - (70 \cdot 1,2 + 2 \cdot 22 \cdot 1,2 + 2 \cdot 8 \cdot 1,2) \cdot 22^2 \cdot \frac{(22 + 2 \cdot 8)^2}{(70 + 2 \cdot 22 + 2 \cdot 8)^2}$$

$$= 0,00114 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

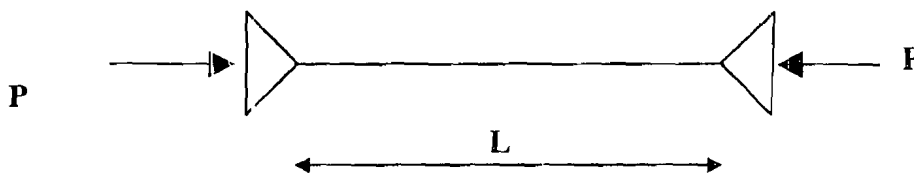
$$F_y = 140,673 \text{ Mpa}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 26,56 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 8,71 \text{ mm}$$

$$L_y = L_x = 1077,033 \text{ mm}$$

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.

1. Perhitungan F_{cr} Metode AISC

a. Elemen yang tidak diperkuat :

$$\left[\frac{b}{t} = \frac{22}{1,2} = 18,43 \right] < \left[\frac{250}{\sqrt{F_y}} = 21,08 \right] \text{ maka tekuk setempat tidak mengurangi}$$

efisiensi ; $Q_s = 1,0$

b. Elemen yang diperkuat :

$$\begin{aligned} f &= F_y \cdot Q_s \\ &= 140,673 \times 1 \\ &= 140,673 \end{aligned}$$

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

$$\frac{b_E}{t} = \frac{21}{\sqrt{140,673}} \left[1 - \frac{4,18}{(58,33)\sqrt{140,673}} \right] = 1,76$$

$$\begin{aligned} A_{\text{effek}} &= A_{\text{brutto}} - \left[\frac{b}{t} - \frac{b_E}{t} \right] \cdot t^2 \\ &= 156 - [58,33 - 1,76] \cdot 1,2^2 \\ &= 74,54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_A &= \frac{A_{\text{eff}}}{A_{\text{brutto}}} \\ &= \frac{74,54}{156} \\ &= 0,48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_A \cdot Q_s \\
 &= 0,48 \cdot 1 \\
 &= 0,48
 \end{aligned}$$

Asumsi $K = 1$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 1077,033}{8,16} = 131,9$$

$$\begin{aligned}
 C_c &= \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}} \\
 &= \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2 \cdot 10^5}{0,48 \times 140,673}} \\
 &= 241,799
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= Q \cdot F_y \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}{2 C_c^2} \right] \\
 &= 0,48 \times 140,673 \times \left[1 - \frac{131,9^2}{2 \times 241,799^2} \right] \\
 &= 57,48 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cr} &= F_{cr} \times A \\
 &= 57,48 \cdot 10^{-3} \times 156 \\
 &= 8,967 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{maksimum}} = 12,187 \text{ kN}$$

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

2. Perhitungan F_{cr} Menurut Salmon dan Johnson (1994)

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

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

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

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

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

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

$$\text{Pada badan } \left(\frac{h}{t}\right) = \left(\frac{70}{1,2}\right) = 58,33 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} F_{cr, badan} &= 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,2}{70}\right)^2 \\ &= 212,49 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = F_{cr \text{ badan}} = 212,49 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \cdot A \\ &= 212,49 \cdot 10^{-3} \times 156 \\ &= 33,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Perhitungan F_{cr} Menurut Schafer (1997)

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

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

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

Sehingga

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

Pada sayap dan badan

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

$$k_{sayap \text{ badan}} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h}\right)^{0,4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2 \right] \text{ jika } \frac{h}{b} \geq 1$$

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

$$\frac{h}{b} = \frac{70}{22} = 3,18 > 1, \text{ sehingga nilai } k_{\text{sayap_badan}} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right]$$

$$\begin{aligned} k_{\text{sayap_badan}} &= \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right] \\ &= \left[\left[2 - \left(\frac{22}{70} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{22}{70} \right)^2 \right] \\ &= 0,54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{cr_sayap}} &= k_{\text{sayap}} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^2 \\ &= 0,54 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,2}{22} \right)^2 \\ &= 290,41 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$F_{\text{cr}} = F_{\text{cr_sayap}} = 290,41 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{cr}} &= F_{\text{cr}} \cdot A \\ &= 290,41 \cdot 10^{-3} \times 156 \\ &= 45,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

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
7	2,39	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
9	2,38	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
11	2,34	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
15	2,34	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
17	2,38	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
19	2,39	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
20	3,20	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr
21	6,43	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr
22	9,58	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks > Pcr
23	9,58	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks > Pcr
24	6,43	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr
25	3,20	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr

Tabel L5. 2 Kekuatan batang tarik benda uji 1

Batang	P_{eks} (kN)	P_{cr} (kN)	Keterangan
1	0,025	21,94	Peks < Pcr
2	3,232	21,94	Peks < Pcr
3	6,453	21,94	Peks < Pcr
4	6,453	21,94	Peks < Pcr
5	3,232	21,94	Peks < Pcr
6	0,025	21,94	Peks < Pcr
8	3,153	21,94	Peks < Pcr
10	3,176	21,94	Peks < Pcr
12	3,116	21,94	Peks < Pcr
13	2,311	21,94	Peks < Pcr
14	3,116	21,94	Peks < Pcr
16	3,176	21,94	Peks < Pcr
18	3,153	21,94	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
7	3,04	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
9	3,02	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
11	2,98	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
15	2,98	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
17	3,02	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
19	3,04	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
20	4,07	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr
21	8,18	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr
22	12,19	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks > Pcr
23	12,19	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks > Pcr
24	8,18	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks > Pcr
25	4,07	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks > Pcr

Tabel L5. 4 Kekuatan batang tarik benda uji 2

Batang	P_{eks} (kN)	P_{cr} (kN)	Keterangan
1	0,032	21,94	Peks < Pcr
2	4,113	21,94	Peks < Pcr
3	8,212	21,94	Peks < Pcr
4	8,212	21,94	Peks < Pcr
5	4,113	21,94	Peks < Pcr
6	0,032	21,94	Peks < Pcr
8	4,012	21,94	Peks < Pcr
10	4,042	21,94	Peks < Pcr
12	3,965	21,94	Peks < Pcr
13	2,941	21,94	Peks < Pcr
14	3,965	21,94	Peks < Pcr
16	4,042	21,94	Peks < Pcr
18	4,012	21,94	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
7	2,83	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
9	2,81	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
11	2,77	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
15	2,77	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
17	2,81	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
19	2,83	800,000	98,04	61,973	9,668	Peks < Pcr
20	3,78	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr
21	7,60	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr
22	11,32	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks > Pcr
23	11,32	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks > Pcr
24	7,60	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr
25	3,78	1077,033	131,99	57,463	8,964	Peks < Pcr

Tabel L5. 6 Kekuatan batang tarik benda uji 3

Batang	P_{eks} (kN)	P_{cr} (kN)	Keterangan
1	0,030	21,94	Peks < Pcr
2	3,820	21,94	Peks < Pcr
3	7,626	21,94	Peks < Pcr
4	7,626	21,94	Peks < Pcr
5	3,820	21,94	Peks < Pcr
6	0,030	21,94	Peks < Pcr
8	3,726	21,94	Peks < Pcr
10	3,753	21,94	Peks < Pcr
12	3,682	21,94	Peks < Pcr
13	2,732	21,94	Peks < Pcr
14	3,682	21,94	Peks < Pcr
16	3,753	21,94	Peks < Pcr
18	3,726	21,94	Peks < Pcr

LAMPIRAN 6

Perhitungan Koefisien Tekuk

1. Koefisien Tekuk Uji Desak

a) Benda uji 50 cm

$$F_{cr} = 87,607 \text{ Mpa}$$

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

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

$$E = 2.10^5$$

$$\mu = 0,3$$

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

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

$$k = \frac{87,607 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2} \right)^2}{3,14^2 \times 2.10^5} = 0,163$$

b) Benda uji 40 cm

$$F_{cr} = 94,231 \text{ Mpa}$$

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

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

$$E = 2.10^5$$

$$\mu = 0,3$$

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

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

$$k = \frac{94,231 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,175$$

c) **Benda uji 30 cm**

$$F_{cr} = 102,564 \text{ Mpa}$$

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

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

$$E = 2 \cdot 10^5$$

$$\mu = 0,3$$

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

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

$$k = \frac{102,564 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,191$$

Tabel L6. 1 Koefisien tekuk uji desak profil

Benda uji	F _{cr} (MPa)	π	A (mm)	b/t	μ	Koefisien tekuk (k)
Uji desak 50 cm	87,607	3,14	156	18,333	0,3	0,163
Uji desak 40 cm	94,231	3,14	156	18,333	0,3	0,175
Uji desak 30 cm	102,564	3,14	156	18,333	0,3	0,191

2. Koefisien tekuk Hasil Pengujian

a) Benda Uji 1

$$P_{cr} = 9,577 \text{ kN}$$

$$A = 156 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

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

$$= \frac{9,577}{156} \times 1000$$

$$= 61,391 \text{ kN/mm}^2$$

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

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

$$k = \frac{61,391 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2} \right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,114$$

b) Benda Uji 2

$$P_{cr} = 12,187 \text{ kN}$$

$$A = 156 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

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

$$= \frac{12,187}{156} \times 1000$$

$$= 78,122 \text{ kN/mm}^2$$

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

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

$$k = \frac{78,122 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,145$$

c) Benda Uji 3

$$P_{cr} = 11,318 \text{ kN}$$

$$A = 156 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

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

$$= \frac{11,318}{156} \times 1000$$

$$= 72,551 \text{ kN/mm}^2$$

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

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

$$k = \frac{72,551 \times 12 \times (1-0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,135$$

Tabel L6. 2 Koefisien tekuk tiap benda uji

Benda uji	Batang	P (kN)	π	A (mm)	Fcr (MPa)	b/t	μ	Koefisien tekuk (k)
1	23	9,577	3,14	156	61,391	18,333	0,3	0,114
2	23	12,187	3,14	156	78,122	18,333	0,3	0,145
3	23	11,318	3,14	156	72,551	18,333	0,3	0,135

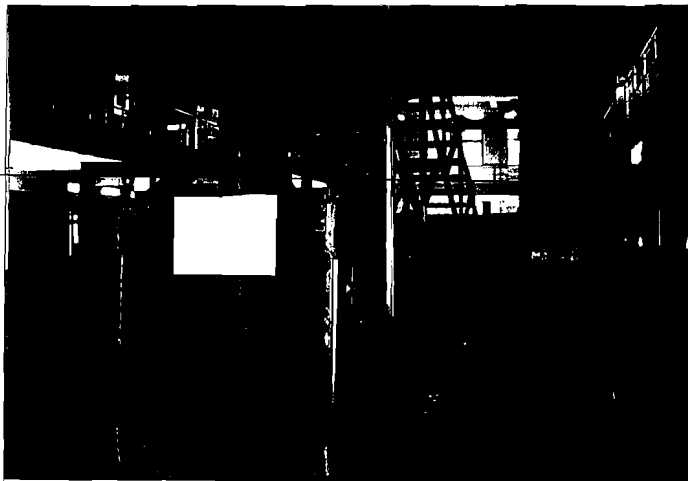
dengan : P_{cr} = beban tekuk; A = luas penampang melintang; Fcr = tegangan kritis,

LAMPIRAN 7

Dokumentasi Pelaksanaan Pengujian



Gambar L7. 1 Benda uji 1 sebelum pengujian



Gambar L7. 2 Benda uji 2 sebelum pengujian



Gambar L7. 3 Benda uji 1 setelah pengujian

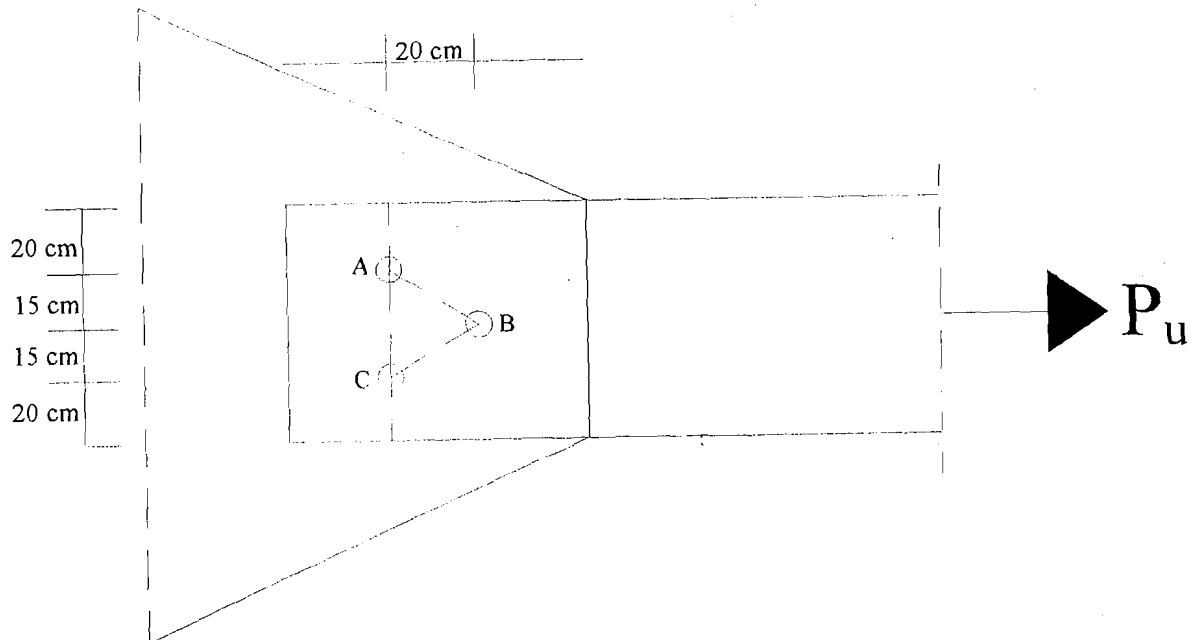


Gambar L7. 4 Benda uji 2 setelah pengujian



Gambar L7. 5 Benda uji 3 setelah pengujian

LAMPIRAN 8

Perhitungan P_{baut} 

$$A_g = 84 \text{ mm}^2$$

$$t_{\text{pelat}} = 1,2 \text{ mm}$$

$$F_{u \text{ pelat}} = 166,853 \text{ Mpa}$$

Perhitungan

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t + \sum \frac{s^2}{4g} \cdot t$$

Jejak A-C

$$A_n = 84 - (2.5 \cdot 1,2)$$

$$= 84 - 12$$

$$= 72 \text{ mm}^2$$

Jejak A-B-C

$$\begin{aligned} A_n &= 84 - 3.5.1,2 + 2 \cdot \frac{20^2}{4.15} \\ &= 84 - 18 + 16 \\ &= 82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_n \text{ pakai} = 72 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_u &= A_n \cdot F_u \\ &= U \cdot A_n \cdot F_u \\ &= 0,85 \cdot (72) \cdot (166,853) \cdot 10^{-3} \\ &= 10,21 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_{\text{gaya batang}} = 8,212 \text{ kN}$$

$P_u > P_{\text{gaya batang}}$, maka batang aman.

Perhitungan kekuatan baut

$$d_{\text{baut}} = 5 \text{ mm}$$

$$F_v \text{ baut} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{satu baut}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5^2 = 19,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= n \cdot A_{\text{satu baut}} \cdot F_v \text{ baut} \\ &= 3 \cdot (19,63) \cdot (240) \cdot 10^{-3} \\ &= 14,13 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_{\text{gaya batang}} = 8,212 \text{ kN}$$

$P_{\text{total}} > P_{\text{gaya batang}}$, maka batang aman

LAMPIRAN 9



UNTUK MAHASISWA

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	SUPRIYONO	00 511 054	Teknik Sipil
2.	RADHIATAMA EKA CHRISMAWAN	00 511 056	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR

Perilaku Lentur Kuda - Kuda Dengan ~~Batas~~ Tepi Sejajar Bentukan Dingin
Batang

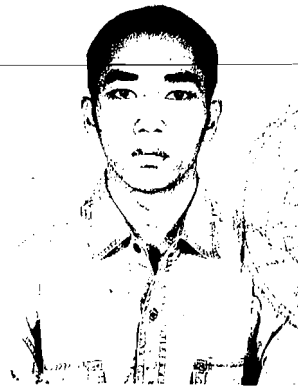
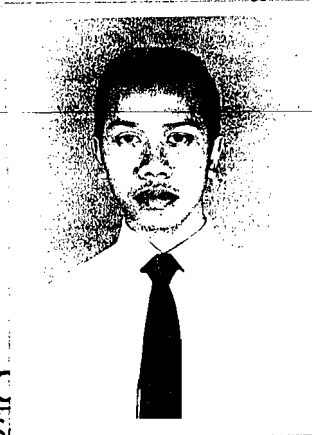
PERIODE KE : II (Des 05 - Mei 06)
 TAHUN : 2005 - 2006

Berlaku Sampai Akhir Mei 2006

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

Dosen Pembimbing I : Fatkhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Fatkhurrohman N.Ir.MT



Jogjakarta ,5-Dec-05
 a.n. Dekan

[Signature]
 Ir.H/Munadhir, MS

Sidang : _____

Pendadaran : _____

NO | TANGGAL

CATAIAN KONSULTASI

TANGGAL

Diagram 2 - Internal

Naka way 2 part

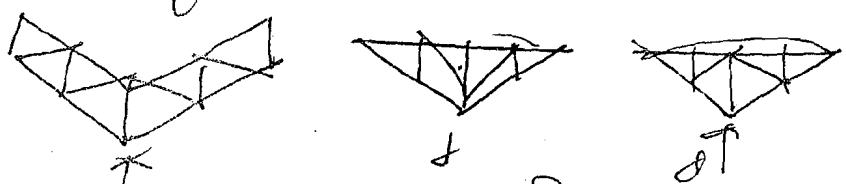


Diagram 2 - part 2

- loadings ?
Preferable average to make ad hoc

Part 1 - part 2

Part I

Part 1 - part 2

Part 1 - part 2

Part 1 - part 2

Part 1 - part 2

Part 1 - part 2

Part 1 - part 2

Part 1 - part 2

Part 1 - part 2

25/03-21

Part 1 - part 2

Part 1 - part 2