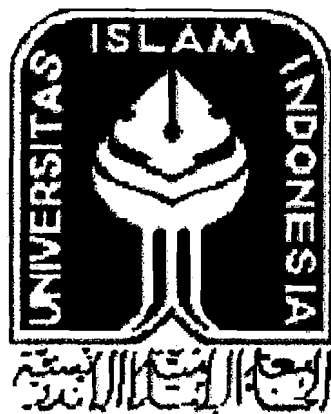


LAPORAN TUGAS AKHIR

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
MADIAN/ETSI	
TGL. TERIMA :	29 Mei 2004
NO. JUDUL :	001178
NO. DIV. :	5120001178001
NO. INDIK. :	

**PENGARUH JARAK DUKUNGAN LATERAL TERHADAP
KAPASITAS LENTUR BALOK VIERENDEEL**



R
693.54

Win

P

1

AA, 161 steel; 28. too

Disusun Oleh :

WIWIN WINDASARI

No. Mhs : 99511013

LYDIA DARMIYANTI

No. Mhs : 99511133

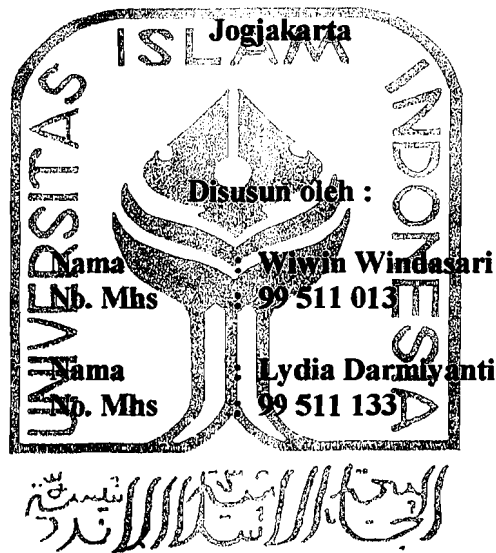
• Beton - balok vierendeel

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2004**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PENGARUH JARAK DUKUNGAN LATERAL TERHADAP
KAPASITAS LENTUR BALOK *VIERENDEEL***

**Diajukan sebagai Persyaratan Memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia**



Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Fatkhurrohman NS, MT
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 01-05-2004

Ir. Helmy Akbar Bale, MT
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 1/3 '04

HALAMAN MOTTO

*(Yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk
atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang
penciptaan langit dan bumi (seraya berkata):
Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia,
Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.
(Qs Ali Imran 3:191)*

*Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu
(Qs Al-Baqoroh 2:45)*

*Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan
(Qs Alam Nasyrah 94: 6)*

*Saat kau lelah tak berdaya karena usaha yang gagal,
Allah tau betapa gigih engkau berusaha
Saat tiba-tiba hidupmu lebih cerah dan kau telah temukan secercah
harapan, maka Allah telah berbisik kepadamu
(NN)*

(LD)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk:

Dzat yang Maha Sempurna, Allah Subhanallahu Wa Ta'alla

Rosul Mulia, Muhammad SAW

*Yang telah menjelaskan syariah indah dengan sebaik-baik penjelasan
sehingga memberi kita kebahagiaan yang menyejukkan hati*

*Anugrah terbesarku... Papa dan Mama tercinta
yang telah memberikan doa, dukungan dan kasih sayang
dengan penuh keikhlasan dan tiada habis-habisnya*

*Embah 'tung, Embah 'uti sayang, 'Le Djodi, 'Le toto, adik-adik sepupuku
Andri, dan Putri...Semoga menjadi anak yang sholeh dan sholeha*

*Abang 'ndut dan Ayang kuru' ku tersayang yang selalu ada untukku,
mendoakan dan mendukung dengan sepenuh hati*

Cintaku, makasih yaa...

(you're the best partner that i ever have)

*Saudari-ku Ai, Dina, Mba Yoli, Ofah, Merio dan teman-teman rahayu lainnya
terima kasih untuk semua bantuan, perhatian dan kasih sayangnya.*

*Teman-teman seperjuangan sipil 99 yang tidak dapat disebutkan satu persatu,
terima kasih untuk semuanya*

Seseorang yang selalu ada dihati

Semoga Allah selalu melindungi dan memberikan yang terbaik untukmu

(LD)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk :

Yang Maha Agung Allah SWT atas semua limpahan rahmat-Mu berupa nikmat Iman dan Islam. Kumohon kuatkan hamba selalu untuk menggapai cahaya kebenaran-Mu.

Sang pembawa risalah kebenaran, Rasulullah Muhammad SAW

- ① *Papa dan Mama tercinta pelita hidupku, terima kasih atas semua doa dan kasih sayang kalian. Kupersembahkan karya kecil ini, walaupun kutahu tak akan pernah bisa kubalas semua yang telah kalian berikan.*
- ① *Kakak-kakakku tersayang (Dhani, Yudi, Ade) atas doa dan semangatnya. Kepnakanaku Zidane, melihatmu membuatku lebih kuat dan berusaha meniberikan yang terbaik.*
- ① *Nenek lanang, nenek tino, mamang, bibi, sepupu, dan semua sanak saudara atas keyakinan kalian aku pasti bisa.*
- ① *Yayangku.....selesai juga ya lid!*
- ① *Sahabatku kekasihku Rheny, Lia ambo idak tau ndak ngecek apo. Emintut, akhirnyo ambo nyusul kau, mokasih doanyo. Bear, you raise me up too more that I can be.*
- ① *Ayah, Ibu, Rico, Rina, mokasih atas dukungan kalian, semoga Allah selalu menyertai kita.*
- ① *Teman-teman seperjuangan Sipil '99 yang tak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas semuanya.*
- ① *Anak-anak Wisma Sakinah, ayo kalian pasti juga bisa.*
- ① *Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan masukan bagi selesainya tugas akhir ini.*
- ① *Rendra Bangsawan.....the reasons for my smile, my spirit and my life. Semoga Tuhan memberikan kemudahan bagi kita, mewujudkan kasih sayang di antara kita, dan menjadikan masing-masing dari kita adalah belahan jiwa. Amin.*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Puji syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya kepada kami sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa sholawat serta salam kami panjatkan kehadiran Rasulullah SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir dengan judul **PENGARUH JARAK DUKUNGAN LATERAL TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK *VIERENDEEL*** ini diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari sumbangan pemikiran berbagai pihak yang sangat membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penyusunan hingga selesainya tugas akhir ini. Maka pada kesempatan ini dengan penuh hormat dan kerendahan hati penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu:

1. Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan juga selaku Kepala Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ide-ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya tugas akhir ini.
2. Ir. Helmy Akbar Bale, MT, selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
3. Dr. Ir. H. Luthfi Hasan, MS, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.
4. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
5. Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
6. Staf Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
7. Mama dan Papa tercinta yang telah membimbing sejak kecil hingga kini dan selalu memberi dorongan baik moral maupun material selama pelaksanaan pendidikan, penelitian dan penulisan tugas akhir ini.
8. Kakak-kakakku dan adikku tersayang, atas nasihat dan dukungan semangat serta doa kalian.
9. Teman-teman seperjuangan sipil angkatan '99 dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu kami dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan ilmu, kemampuan dan pengalaman kami dalam penelitian dan penulisan. Untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harapkan guna perbaikan dan pengembangan selanjutnya.

Tidak ada yang dapat kami berikan selain ucapan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan semoga dapat diterima sebagai amal baik disisi Allah SWT.

Akhir kata, penyusun berharap semoga tugas akhir ini bermanfaat dan memberikan tambahan ilmu bagi kita semua. Semoga Allah SWT meridhoi kita semua, amin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Jogjakarta, Januari 2004

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
ABSTRAKSI	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1 Pendahuluan.....	6
3.2 Batang Tekan.....	8
3.3 Batang Lentur.....	12

3.4 Tekuk Puntir lateral.....	14
3.5 Persyaratan Topangan Lateral dalam Rentang Tak Elastis.....	19
3.6 Sokongan Samping.....	20
3.7 Hubungan Momen dan Kelengkungan.....	21
3.8 Hubungan Beban dan Lendutan.....	23
3.9 Kekakuan.....	25
3.10 Alat Sambung Las.....	27
3.11 Hipotesis.....	30

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian.....	31
4.2 Bahan dan Alat yang Digunakan.....	32
4.2.1 Bahan	32
4.2.2 Peralatan.....	32
4.3 Model Benda Uji.....	36
4.4 Pelaksanaan Penelitian.....	38
4.4.1 Pembuatan Benda Uji.....	38
4.4.2 Pengujian Pendahuluan.....	39
4.4.3 Persiapan Peralatan.....	41
4.4.4 Pengujian Benda Uji Balok <i>Vierendeel</i>	42

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian.....	44
5.1.1 Hasil Uji Kuat Tarik Baja.....	44
5.1.2 Hasil Uji Kuat Geser Las.....	44

5.1.3 Hasil Uji Kuat Lentur Balok Vierendeel.....	45
1. Hubungan Beban dan Lendutan.....	45
2. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan.....	46
3. Analisa Data Hubungan Beban dan Lendutan.....	48
4. Hubungan Momen dan Kelengkungan.....	48
5. Grafik Hubungan Momen dan Kelengkungan.....	49
6. Analisa Data Hubungan Momen dan Kelengkungan.....	50
5.2 Pembahasan.....	51
5.2.1 Pembahasan Hasil Uji Kuat Tarik Baja.....	51
5.2.2 Pembahasan Hasil Uji Kuat Geser Las.....	51
5.2.3 Pembahasan Hasil Uji Kuat Lentur Balok Vierendeel.....	52
1. Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Beban dan Deformasi.....	52
2. Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Momen dan Kelengkungan.....	54
3. Hubungan Non Dimensional M_p/M_{cr} dan L_b/r_y	55
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan.....	57
6.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR SIMBOL

L_b	= Jarak pengaku lateral
d	= Tinggi keseluruhan penampang baja
E	= Modulus elastisitas tarik tekan
f_b	= Tegangan lentur beban layanan
f_c	= Tegangan tekan
F_{cr}	= Tegangan kritis
F_y	= Tegangan leleh
F_b	= Tegangan pada serat yang ditinjau
h	= Tinggi badan
I	= Momen inersia tampang
k	= Koefisien tekuk tekan plat
L	= panjang ; bentangan
M	= Momen lentur
M_{cr}	= Kekuatan momen tekuk puntir lateral elastis
M_n	= Kekuatan momen nominal
M_p	= Momen plastis
M_y	= Kekuatan momen nominal M_n bila serat terluar mencapai F_y
P	= Beban aksial layanan
P_y	= Beban leleh
r_y	= Radius girasi
S	= Modulus penampang elastis

S_x	= Modulus penampang elastis menurut sumbu x
t_f	= Tebal sayap
t_w	= Tebal badan
Y	= Jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral
y	= Defleksi pada suatu lokasi z sepanjang batang
z	= Modulus plastis
ϵ_f	= Regangan sayap
ρ	= Jari-jari kelengkungan
μ	= Rasio Poisson = 0,03 ; daktilitas
σ	= Tegangan
Δ	= Defleksi
Φ	= Kelengkungan
τ	= Tegangan geser
π	= 3,14
J	= Konstanta torsi mm^4
C_w	= Konstanta warping torsi mm^6
G	= Modulus geser
C_c	= Batas kelangsingan
I_y	= Momen inersia pada sumbu Y
t_e	= Dimensi leher
F_{exx}	= Kuat tarik material elektroda
t	= Tebal material dasar sepanjang las
F_u	= Kuat tarik maksimum logam dasar

ϕ = Faktor resistensi las sudut = 0,75
 F_u = Kuat tarik baja
 P = Beban aksial layanan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Daya Tahan Las Sudut yang Diijinkan	29
Tabel 4.1	Dimensional benda uji kuat tarik baja.....	40
Tabel 5.1	Hasil uji tarik baja.....	44
Tabel 5.2	Kekuatan maksimum balok <i>vierendeel</i> dengan variasi Lb/ry	45
Tabel 5.3	Analisa kekakuan $\left(\frac{P_y}{\Delta_y} \right)$ dari data hubungan beban lendutan.....	48
Tabel 5.4	Analisa kekakuan dari data hubungan momen kelengkungan.....	51

DAFTAR GAMBAR

	Hal
1. Gambar 3.1 Balok <i>vierendeel</i> dengan tumpuan sederhana.....	6
2. Gambar 3.2.a Peristiwa pembebanan pada balok <i>vierendeel</i>	7
3. Gambar 3.2.b Diagram momen.....	7
4. Gambar 3.2.c Diagram geser.....	7
5. Gambar 3.3 Momen kopel gaya.....	8
6. Gambar 3.4 Koefisien tekuk elastis untuk tekuk pada plat segi empat datar.....	12
7. Gambar 3.5 Distribusi tegangan lentur pada balok penampang I	13
8. Gambar 3.6 Balok lentur menerima beban.....	16
7. Gambar 3.7 Balok <i>vierendeel</i> dengan dukungan sederhana	17
8. Gambar 3.8 Grafik hubungan M_{cr}/M_p dan L_b/r_y	19
9. Gambar 3.9 Persyaratan deformasi untuk pembentukan kekuatan plastis	20
10. Gambar 3.10 Defleksi pada balok <i>vierendeel</i>	21
11. Gambar 3.11 Hubungan momen kelengkungan.....	23
12. Gambar 3.12 Balok <i>vierendeel</i>	23
13. Gambar 3.13 Hubungan beban lendutan	24
14. Gambar 3.14 Kekakuan dari grafik beban deformasi.....	25
15. Gambar 3.15 Kekakuan dari grafik momen kelengkungan.....	26
16. Gambar 3.16.a Ukuran las maksimum untuk $t < 1/4$	29

17. Gambar 3.16.a	Ukuran las maksimum untuk $t > 1/4$	29
18. Gambar 4.1	Flowchart metode penelitian.....	31
19. Gambar 4.2	Universal Testing Material (UTM).....	33
20. Gambar 4.3	<i>Loading Frame</i>	34
21. Gambar 4.4	Dukungan.....	35
22. Gambar 4.5	<i>Dial Gauge</i>	35
23. Gambar 4.6	<i>Hydraulic Jack</i>	36
24. Gambar 4.7	Benda uji 1.....	36
25. Gambar 4.8	Benda uji 2.....	37
26. Gambar 4.9	Benda uji 3.....	37
27. Gambar 4.10	Benda uji 4.....	37
28. Gambar 4.11	Benda uji 5.....	38
29. Gambar 4.12	Benda uji 6.....	38
30. Gambar 4.13	Benda uji untuk uji kuat tarik baja.....	40
31. Gambar 4.14	Benda uji untuk uji kuat geser las.....	41
32. Gambar 4.15	Perletakan benda uji.....	42
33. Gambar 5.1	Grafik Pembebanan dengan variasi L_b	46
34. Gambar 5.2	Grafik hubungan beban lendutan.....	47
35. Gambar 5.3	Grafik hubungan momen kelengkungan.....	50
34. Gambar 5.4	Potongan melintang balok <i>vierendeel</i>	55
34. Gambar 5.5	Grafik hubungan M_{cr}/M_p dan L_b/r_y	56

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Kartu Peserta Tugas Akhir
- Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja dan Geser Las
- Lampiran 3 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok *Vierendeel*
- Lampiran 4 Perhitungan Rencana
- Lampiran 5 Hasil Analisis SAP 2000
- Lampiran 6 Dokumentasi Pengujian Balok *Vierendeel*

ABSTRAKSI

Balok *vierendeel* adalah balok badan terbuka yang terdiri dari batang tepi atas dan batang tepi bawah yang dihubungkan secara kaku dengan batang transversal sehingga membentuk struktur dengan pola segi empat. Batang-batang pada balok *vierendeel* memikul kombinasi momen dan gaya aksial (tarik atau tekan). Karenanya kapasitas balok tersebut sering dibatasi oleh tekuk. Tekuk pada balok *vierendeel* dapat terjadi pada batang tepi, batang transversal dan tekuk puntir lateral. Jika tekuk pada batang dicegah maka kapasitas balok dipengaruhi oleh tekuk puntir yang memiliki variasi rasio panjang batang antara dua dukungan lateral terhadap jari-jari inersia minimum (Lb/ry).

Penelitian eksperimental balok *vierendeel* dengan variasi Lb/ry bertujuan untuk mendapatkan hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$), momen-kelengkungan ($M-\Phi$), kekakuan (k), faktor kekakuan (EI), dan membandingkan momen kritis terhadap momen plastis (Mcr/Mp).

Secara umum nilai Lb/ry berpengaruh terhadap kapasitas lentur, kekakuan, dan faktor kekakuan yaitu semakin jauh jarak dukungan lateral (Lb) nilai kekakuan (k) dan faktor kekakuan (EI) semakin kecil. Namun pengaruh (Lb/ry) relatif kecil pada hubungan momen kritis terhadap momen plastis (Mcr/Mp).

Kata kunci :

Vierendeel, kekakuan, jari-jari inersia minimum, dukungan lateral.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Balok *vierendeel* adalah balok badan terbuka yang terdiri dari batang tepi atas dan batang tepi bawah yang dihubungkan secara kaku dengan batang transversal sehingga membentuk struktur dengan pola segi empat. Balok *vierendeel* cukup populer digunakan di Eropa untuk desain jembatan, gedung bertingkat banyak, penopang struktur atas yang memerlukan pencahayaan, penopang kaku dinding yang berat, dan sistem kisi atau jaringan yang bermanfaat menambah nilai estetis. . Balok *vierendeel* digunakan apabila dikehendaki peniadaan batang diagonal, sehingga struktur nampak lebih bersih. . Selain dapat digunakan sebagai struktur balok *vierendeel* dapat juga digunakan sebagai eksterior dari suatu bangunan. Dalam penggunaannya balok *vierendeel* dapat dipasang kaca, material tembus cahaya, dan sebagai ventilasi udara.

Akibat beban eksternal, batang-batang pada balok *vierendeel* dukungan sederhana memikul kombinasi gaya aksial dengan momen. Batang tepi atas dan batang transversal memikul gaya tekan dengan momen, batang tepi bawah memikul gaya tarik dengan momen. Oleh karena itu kapasitas balok *vierendeel* sering dibatasi oleh tekuk seperti terjadi pada batang tepi atas, batang transversal, dan juga tekuk puntir lateral.

Jika peristiwa tekuk pada batang dicegah, maka kapasitas balok *vierendeel* dibatasi oleh masalah tekuk puntir lateral yang dipengaruhi oleh rasio panjang bentang tanpa penopang lateral, terhadap jari-jari inersia momen (L_b/ry). Semakin besar nilai (L_b/ry) kapasitas lentur semakin kecil. Pada berbagai literatur, pengaruh variasi rasio (L_b/ry) terhadap kapasitas lentur adalah untuk balok solid. Sedangkan pada balok *vierendeel* belum banyak dikemukakan, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian eksperimental.

1.1 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi tentang pengaruh jarak dukungan lateral terhadap kapasitas lentur balok *vierendeel* yaitu :

1. Mendapatkan kurva hubungan beban deformasi ($P-\Delta$), momen kelengkungan ($M-\Phi$), dan membandingkan kekakuan balok *vierendeel* dengan variasi rasio jarak dukungan lateral terhadap jari-jari inersia momen (L_b/ry).
2. Mengetahui momen maksimum yang dapat ditahan balok *vierendeel* dengan variasi rasio (L_b/ry).
3. Mengetahui hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen plastis teoritis dengan variasi rasio (L_b/ry).

1.1 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi variasi jarak dukungan lateral yang paling efisien agar dicapai momen maksimum pada perencanaan struktur rangka *vierendeel*. Selain itu untuk memberikan masukan kepada pembaca sebagai pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan struktur baja.

1.2 Batasan Masalah

Pada penelitian balok *vierendeel* masalah yang dibatasi adalah:

1. Balok *vierendeel* tumpuan sederhana (sendi-rol) menggunakan profil pipa kotak 30x30x2.
2. Rasio panjang bentang terhadap tinggi balok (L/h) konstan.
3. Balok *vierendeel* dengan rasio jarak batang horisontal terhadap tinggi $\left(\frac{a}{h}\right)$ konstan.
4. Panjang bentang tanpa dukungan lateral (L_b) bervariasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Rangka *vierendeel* merupakan konstruksi balok penopang struktur terbuka dengan join kaku yang terdiri dari sebuah penampang atas dan sebuah penampang bawah dengan bagian vertikal atau tegak hanya berada di antara lubangnya saja. (*Steel Designers' Manual*)

Kekuatan maksimum suatu balok akan berupa kekuatan momen plastisnya. Entah kekuatan momen plastis tersebut tercapai atau tidak, ada tiga kegagalan yang mungkin terjadi yaitu tekuk lokal sayap tekan, tekuk lokal badan balok dan tekuk puntir lateral. (*Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996*)

Tekuk puntir lateral adalah gejala tertekannya sayap profil secara mendadak terhadap sumbu kuatnya akibat beban luar sehingga menyebabkan sayap menekuk kearah samping (lateral) disertai puntir. (*Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996*)

Apabila stabilitas balok terhadap tekuk puntir lateral tidak terpenuhi, maka dukungan lateral dapat digunakan untuk menahan perpindahan lateral dan torsi balok. Agar dapat berfungsi efektif, penyokong harus memiliki kekakuan dan kekuatan yang memadai. (*Gideon Hadi Kusuma*).

Dukungan lateral dapat diidealisasikan sebagai sendi (pin) elastis linier yang menahan perpindahan lateral dan torsi balok di titik yang disokongnya. (*Winter*).

Balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga semakin besar. (*Lynn S. Beedle, 1958*)

Penerapan beban pada suatu bidang yang tidak melalui pusat geser akan menyebabkan batang tersebut terpuntir. Puntir dapat dikategorikan menjadi dua tipe yaitu puntir murni atau sering disebut sebagai puntir Saint-Venant, dan puntir lengkungan (*warping torsion*). Puntir murni mengasumsikan bahwa suatu bidang penampang lintang sebelum dikenai puntiran akan tetap berupa bidang dan bahwa hanya rotasi elemen saja yang terjadi selama puntiran berlangsung. Sedangkan puntir lengkungan adalah efek keluar bidang yang timbul bila sayap-sayap berpindah secara lateral selama terpuntir, yang analog dengan lentur akibat beban luar lateral.

(*Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996*)

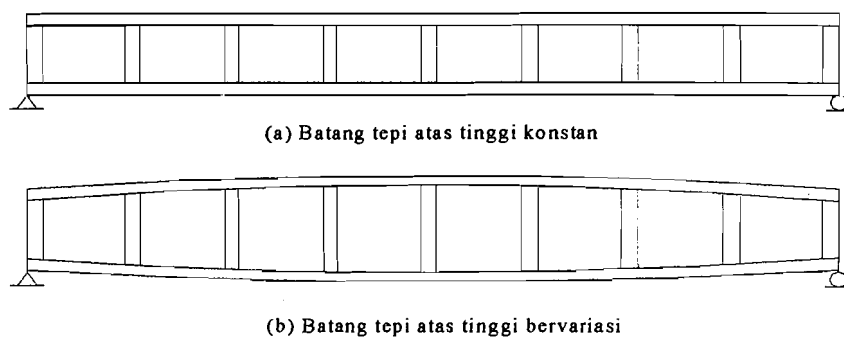
Nilai Modulus tangen akan berangsur-angsur turun minimum sampai 0,25E ketika beban leleh pertama dicapai. Besarnya modulus tangen dipengaruhi kelangsingan L/r untuk material yang bilinier. (*Chen dan Atsuta, 1976*)

BAB III

LANDASAN TEORI

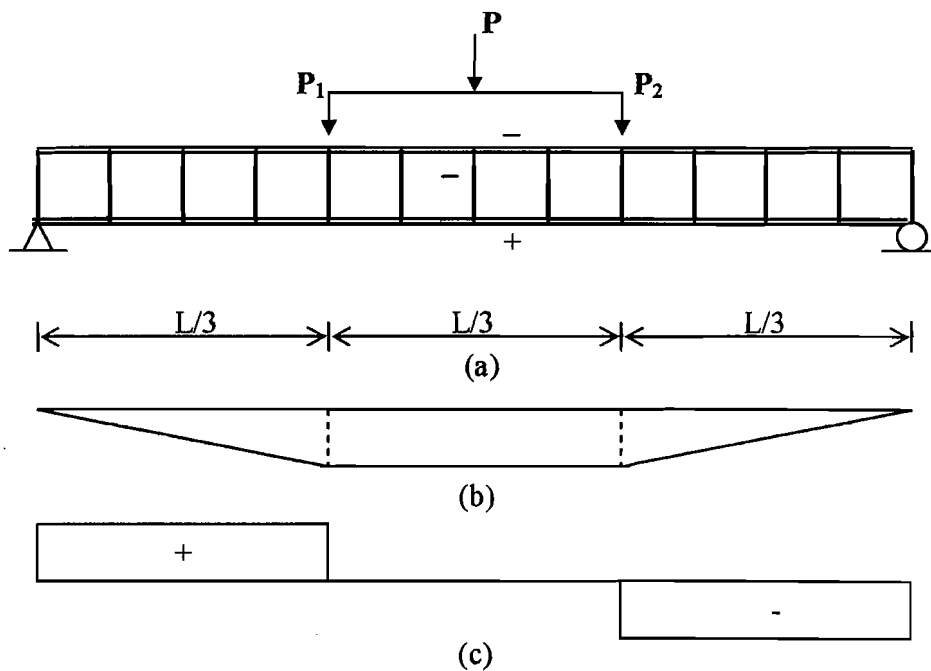
3.1 Pendahuluan

Balok *Vierendeel* adalah balok badan terbuka yang terdiri dari batang tepi atas dan batang tepi bawah yang dihubungkan secara kaku dengan batang transversal sehingga membentuk struktur dengan pola segi empat. Gambar 3.1 adalah contoh dari balok *vierendeel* sederhana. Gambar 3.1.a balok *vierendeel* dengan batang tepi atas tinggi konstan dan gambar 3.1.b balok *vierendeel* dengan batang tepi atas tinggi bervariasi.

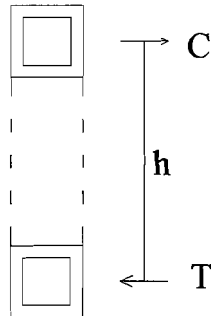


Gambar 3.1. Balok *Vierendeel* dengan tumpuan sederhana

Bila struktur tersebut menerima beban transversal yang tegak lurus dengan sumbu longitudinal (Gambar 3.2.a) maka dalam struktur akan terjadi aksi internal berupa momen (Gambar 3.2.b) dan gaya geser (Gambar 3.2.c), hal ini mengakibatkan terjadinya lentur pada balok. Sepertiga bentang tengah dimana tidak terjadi gaya geser akan menerima lentur murni sedangkan sepertiga bentang yang lain menerima lentur dan gaya geser. Pemberian beban lentur diatur sedemikian rupa sehingga beban lentur yang diterimanya adalah beban lentur searah (lentur yang terjadi pada satu bidang). Muatan biasanya dianggap bekerja pada *shear-centre* (titik pusat geser), sehingga torsi dapat diabaikan (Padosbajayo, 1994).



Gambar 3.2. (a). Peristiwa pembebanan pada balok *Vierendeel*
 (b). Diagram momen
 (c). Diagram geser



Gambar 3.3 Momen kopel gaya

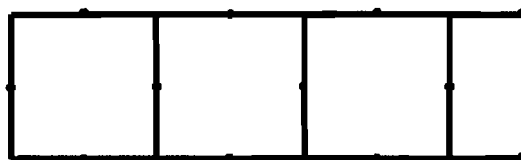
Mengacu pada Gambar (3.3), hubungan antara momen nominal balok *vierendeel* adalah persamaan (3.1):

$$M = C.h = T.h \quad (3.1)$$

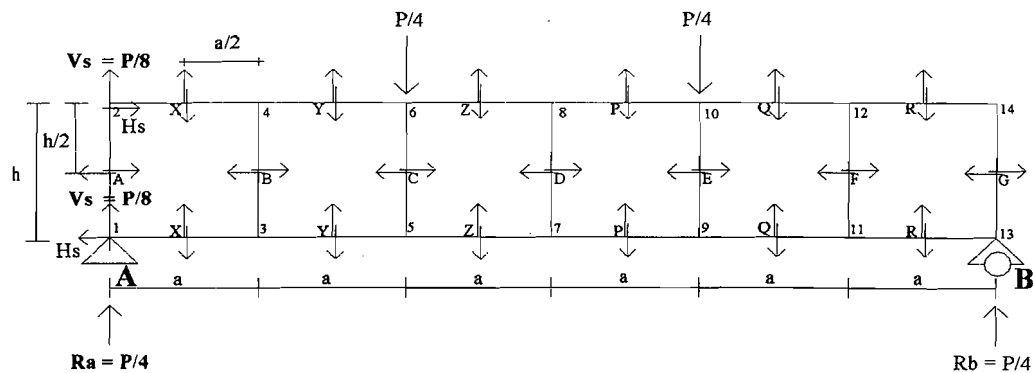
dari persamaan 3.1 tampak semakin tinggi batang transversal (h) maka gaya desak C semakin kecil.

3.2 Metode Analisis Balok *Vierendeel*

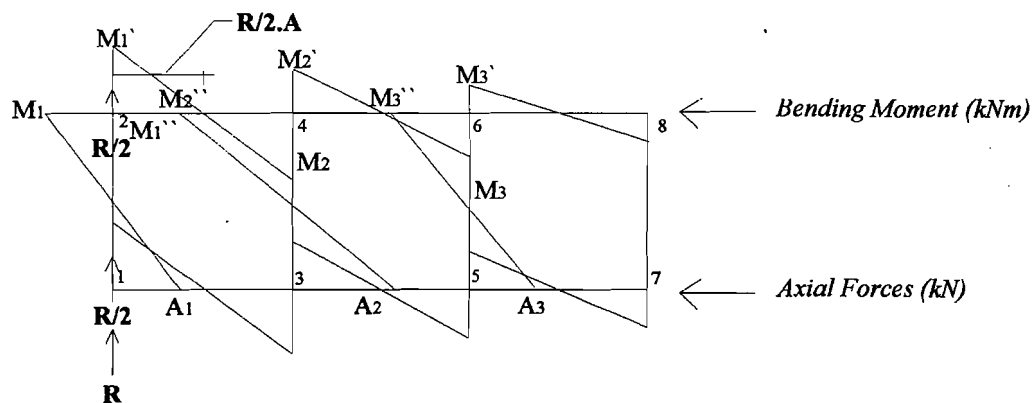
Analisis balok *vierendeel* dapat menggunakan metode portal seperti dikemukakan oleh *Wolfgang Schueller* yaitu dengan asumsi terbentuk sendi di tengah-tengah batang tepi dan batang transversal balok *vierendeel* seperti ditunjukkan Gambar 3.4.



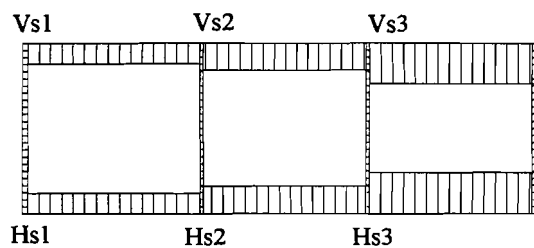
Gambar 3.4. Asumsi sendi pada tengah batang



Gambar 3.5. Analisis balok *vierendeel* dengan metode analisis statis



Gambar 3.6. Diagram momen lentur balok *vierendeel*



Gambar 3.7. Diagram gaya geser balok *vierendeel*

Analisis balok *vierendeel* dapat dilakukan dengan metode analisis statis. Karena balok simetris, maka perhitungan dilakukan hanya setengah bentang. Balok *vierendeel* seperti pada Gambar (3.5) dengan menggunakan persamaan kesetimbangan $\sum V = 0$ didapatkan reaksi R_A dan R_B . Besarnya gaya geser pada

potongan X-X adalah R_A . Nilai gaya geser ini dibagi sama rata pada batang atas dan batang bawah untuk mendapatkan gaya geser pada sendi X yaitu sebesar $\frac{R_A}{2}$. Kemudian dicari nilai gaya geser (V), gaya aksial (P), dan momen (M).

a. Menghitung Momen

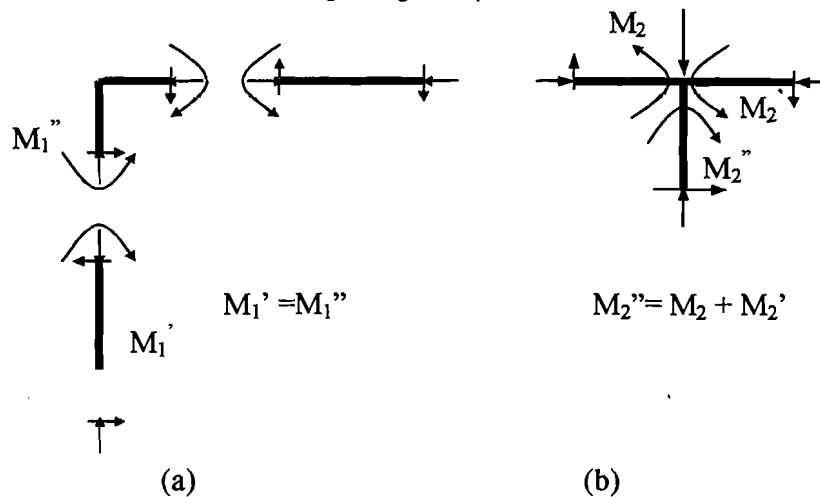
Perhatikan Gambar (3.6) besarnya momen horizontal didapat dengan mengalikan gaya geser pada masing-masing sendi dengan setengah kali panjang batang, yaitu:

$$M_1' = M_2 = V_s \times \frac{a}{2} = \frac{P}{4} \times \frac{a}{2} = \frac{Pa}{8} \quad (3.2)$$

$$M_2' = M_3 = V_s \times \frac{a}{2} = \frac{P}{4} \times \frac{a}{2} = \frac{Pa}{8} \quad (3.3)$$

Dengan kesetimbangan join dapat dicari besarnya momen pada batang vertikal (Gambar 3.8a dan 3.8b), yaitu:

$$M_2'' = M_2 + M_2' = \frac{Pa}{8} + \frac{Pa}{8} = \frac{Pa}{4} \quad (3.4)$$



Gambar 3.8. Momen pada perpotongan batang

b. Menghitung Gaya Geser

Perhatikan balok *viereendeel* pada Gambar (3.5) Dengan persamaan kesetimbangan $\sum V = 0$ didapat nilai reaksi $R_A = P/4$ dan $R_B = P/4$. Besarnya gaya geser vertikal (V_s) pada join 1 dan 2 adalah $V_{s1} = P/4$. Gaya geser horisontal (H_s) didapat dengan membagi momen vertikal pada join dengan setengah tingginya yaitu $\frac{h}{2}$. Pada setiap elemen batang anggap adanya sendi dengan jarak $\frac{a}{2}$ pada batang tepi atas dan $\frac{h}{2}$ pada batang transversal.

c. Menghitung Gaya Aksial

Gaya aksial pada balok *viereendeel* dapat dihitung dengan menjumlahkan gaya geser horisontal.

$$A_1 = H_{s1} \quad (3.5)$$

$$A_2 = H_{s1} + H_{s2} \quad (3.6)$$

$$A_3 = H_{s1} + H_{s2} + H_{s3} \quad (3.7)$$

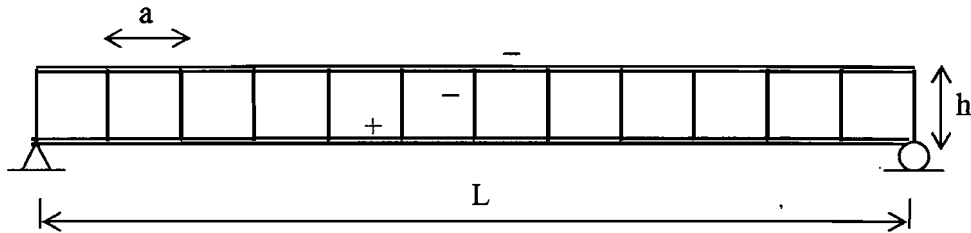
Dari analisa di atas dapat disimpulkan bahwa semakin panjang batang tepi atas (a) dan batang transversal (h), maka momen yang terjadi akan semakin besar.

3.3 Batang Tekan

Batang tekan adalah batang-batang struktural yang mengalami gaya tekan aksial. Pada balok *viereendeel*, batang yang mengalami gaya tekan adalah batang tepi atas dan batang transversal.

Menurut Persamaan Euler seperti yang dikemukakan oleh *Salmon dan Johnson* (1980), kekuatan batang tekan dinyatakan dengan Persamaan (3.8) :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (3.8)$$



Gambar 3.9 Balok *vierendeel*

Pada balok *vierendeel* (Gambar 3.9) nilai beban tekuk kritis elastis (P_{cr}) dipengaruhi panjang batang tepi atas (a) dan tinggi batang transversal (h), sehingga Persamaan (3.8) dapat dinyatakan sebagai :

a. Batang Tepi Atas

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{a^2} \quad (3.9)$$

b. Batang Transversal

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{h^2} \quad (3.10)$$

Tampak dari Persamaan (3.9) dan (3.10) semakin panjang batang tepi atas dan semakin tinggi batang transversal maka nilai P_{cr} akan semakin kecil.

bila dinyatakan dalam tegangan tekan rata-rata dengan Inersia, $I = A_g \cdot r^2$ diperoleh Persamaan (3.11).

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_g} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.11)$$

Pada batang tekan berlaku dua kondisi yaitu langsing dan tidak langsing (pendek), dimana kelangsingan merupakan rasio antara panjang batang dan jari-jari inersia tampang. Kelangsingan batas antara kolom langsing dan kolom pendek ditentukan berdasarkan asumsi bahwa, tegangan kritis maksimum untuk tekuk elastis adalah setengah kali tegangan leleh. (Padosbajayo, 1992)

Kelangsingan batas (C_c) menurut AISC ditentukan dengan Persamaan (3.12) :

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (3.12)$$

Batang langsing yang mengalami gaya tekan akan mengalami tekuk elastis, sedangkan pada batang pendek yang mengalami gaya tekan akan mengalami tekuk inelastis.

Untuk kondisi pada kolom langsing ($KL/r > C_c$), tegangan ijin yang berlaku masih sesuai dengan Persamaan Euler , yaitu Persamaan (3.13) :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.13)$$

Sedangkan untuk kolom pendek ($KL/r < C_c$), tegangan ijin menurut AISC adalah Persamaan (3.14) :

$$F_{cr} = F_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] \quad (3.14)$$

dengan :

KL/r = angka kelangsingan efektif

K = faktor panjang efektif

L = panjang kolom

C_c = rasio kelangsingan kolom (kondisi tekuk elastis dan tekuk inelastis)

F_y = tegangan leleh bahan

E = modulus elastisitas

Pada balok *vierendeel* panjang batang tepi atas (a) dan tinggi batang transversal (h) berbanding terbalik dengan nilai F_{cr} yaitu semakin panjang batang tepi atas dan semakin tinggi batang transversal maka nilai F_{cr} akan semakin kecil. Ketidakstabilan batang-batang yang mengalami lentur dibatasi oleh tekuk setempat pada sayap, tekuk setempat pada badan dan tekuk puntir lateral. Tegangan kritis gelagar plat dari baja merupakan fungsi dari Persamaan (3.15):

$$F_{cr} = f \left\{ \frac{b}{2t_f}, \frac{h}{t_w}, \frac{a}{h} \right\} \quad (3.15)$$

dengan : F_{cr} = tegangan kritis

f = tegangan yang terjadi

b = lebar sayap

t_f = tebal sayap

h = tinggi badan

t_w = tebal badan

a = jarak antar pengaku

Menurut *Salmon dan Johnson* (1996), tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritik plat yang tertekan dapat dinyatakan dengan Persamaan (3.16) :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.16)$$

dengan :

F_{cr} = tegangan kritis

k = koefisien tekuk

π = 3,14

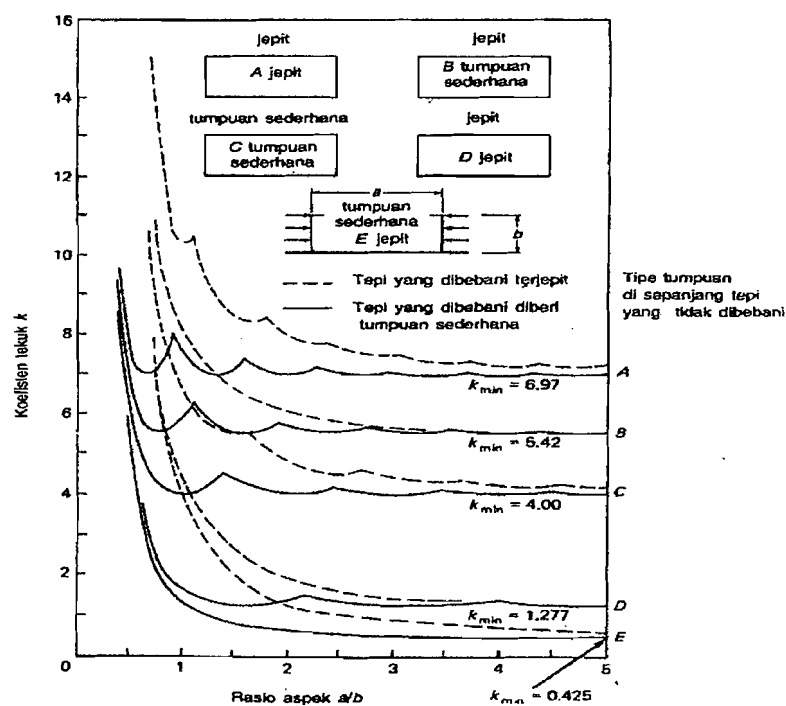
E = modulus elastis

μ = 0,30 (*rasio poisson*)

b = lebar sayap

t = tebal sayap

Nilai k tergantung pada tipe tegangan, kondisi tumpuan tepi, dan rasio panjang terhadap lebar (rasio aspek) dari plat yang bersangkutan. Gambar (3.10) menunjukkan variasi k terhadap rasio aspek a/b untuk berbagai kondisi tumpuan tepi ideal (Salmon dan. Johnson, 1996).

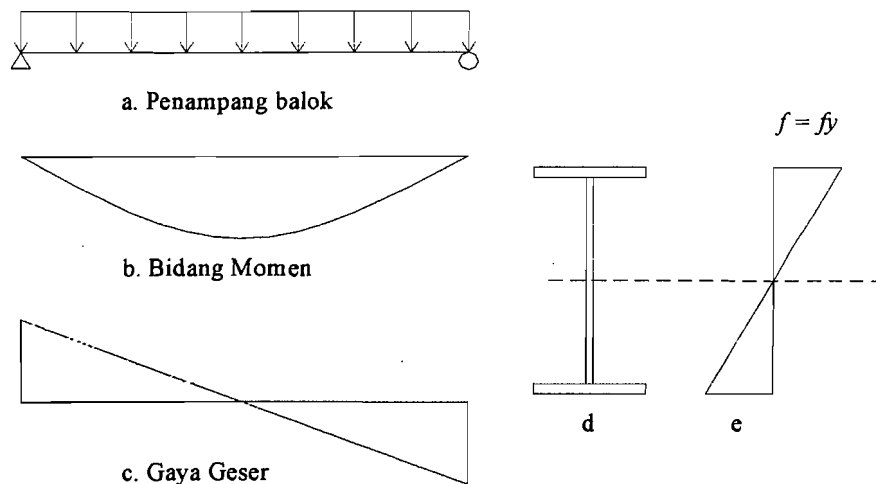


Gambar 3.10 Koefesien tekuk elastis untuk tekuk pada plat segi empat datar (Diambil dari George Gerard dan Herbert Becker, 1957)

3.4 Batang Lentur

Batang lentur sering didefinisikan sebagai balok, adalah elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Kekuatan lentur terhadap sumbu kuat bahan menjadi pokok perhatian yang penting, sehingga profil-profil yang dipilih umumnya adalah yang berbentuk I.

Penampang balok akibat momen akan mengalami lentur seperti yang ditunjukkan pada Gambar (3.11).



Gambar 3.11 Distribusi Tegangan Lentur pada Balok Penampang I

Dalam keadaan elastis distribusi tegangan lentur dinyatakan dengan Persamaan (3.17) :

$$\sigma = f_b = \pm \frac{M \cdot y}{I} \quad (3.17)$$

Dimana (I/y) disebut juga sebagai modulus potongang (S), sehingga Persamaan (3.17) menjadi Persamaan (3.18):

$$f_b = \pm \frac{M}{S} \quad (3.18)$$

dengan :

f_b = tegangan pada serat yang ditinjau

M = momen lentur

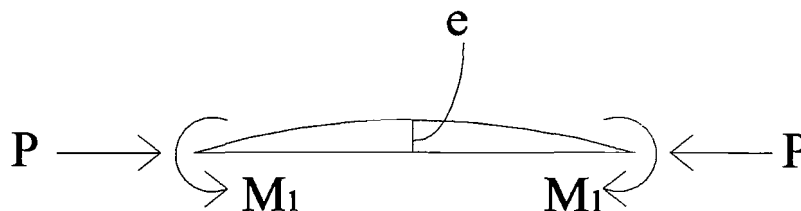
Y = jarak serat yang ditinjau ke garis netral

I = momen inersia dari penampang

Dengan memperbesar momen inersia penampang balok maka tegangan di serat terluar pada penampang balok (f_b) menjadi kecil.

3.5 Kombinasi Tekan Lentur

Suatu batang yang menderita beban tekan aksial dan momen lentur secara bersamaan dinamakan batang dengan kombinasi tekan-lentur. Akibat momen lentur batang tersebut berperilaku sebagai balok, dilain pihak akibat adanya desak aksial menjadikan batang tersebut berperilaku sebagai kolom (Padosbajayo, 1992), seperti yang ditunjukkan pada Gambar (3.12).



Gambar 3.12 Balok-kolom

Akibat gaya aksial (P) menyebabkan balok melentur sehingga timbul e dimana $P.e$ disebut juga sebagai momen sekunder (ΔM). Momen yang terjadi pada balok tersebut dapat dinyatakan sebagai :

$$M = M_1 + \Delta M \quad (3.19)$$

$$\Delta M = P.e \quad (3.20)$$

$$M_1 = \left(\frac{1}{1 - \frac{P}{P_e}} \right) \cdot M \quad (3.21)$$

dengan :

P = gaya aksial

M_1 = pembesaran momen (amplifikasi)

ΔM = momen sekunder

3.6 Tekuk Puntir Lateral

Kekuatan maksimum suatu balok akan mencapai kekuatan momen plastisnya. Entah kekuatan momen plastis tersebut tercapai atau tidak, ada tiga kegagalan yang mungkin terjadi yaitu tekuk lokal sayap tekan, tekuk lokal badan balok dan tekuk puntir lateral. Tekuk lokal sangat tergantung pada bentuk penampang.

a. Penampang Kompak

Kekuatan nominal M_n untuk penampang kompak yang secara lateral stabil dapat dinyatakan sebagai :

$$M_n = M_p$$

b. Penampang Non-kompak

Kekuatan nominal M_n untuk penampang non-kompak adalah kekuatan momen yang tersedia bila serat terluarnya berada pada tegangan leleh F_y . Karena adanya tegangan sisa, kekuatannya dapat dinyatakan sebagai :

$$M_n = M_r = (F_y - F_r)S$$

c. Penampang Ramping

$$M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2$$

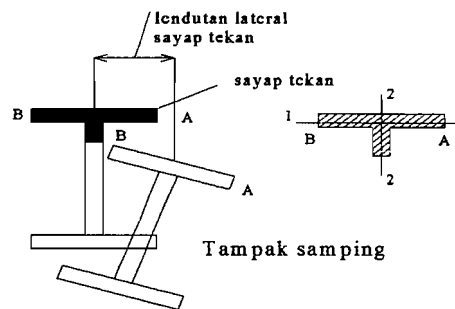
d. Penampang Semi Kompak

Kekuatan nominal penampang kompak sebagian diinterpolasi secara linear diantara M_p dan M_r dinyatakan sebagai :

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_r}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \leq M_p$$

Tekuk puntir lateral merupakan suatu keadaan batas yang mungkin dapat mengontrol kekuatan suatu balok. Untuk memahami tekuk puntir lateral dapat dilihat penjelasan berikut. Batang yang menerima beban merata akan melendut seperti Gambar (3.13). Seharusnya tegangan di A dan B sama besar tetapi karena batang-batang tidak begitu sempurna (misal tidak begitu lurus), maka tegangan

yang terjadi di A dan B berlainan. Dianggap sayap desak batang sebagai kolom dimana akibat lentur terhadap sumbu 1-1 akan menekuk terhadap sumbu lemah 1-1, tetapi badan balok memberikan dukungan untuk mencegah tekuk ini. Jika beban ditambah terus maka sayap desak balok akan menekuk terhadap sumbu kuat 2-2. Tekuk mendadak sayap terhadap sumbu kuatnya dalam arah lateral disebut "*lateral buckling*". Jadi tekuk puntir lateral atau Kip adalah gejala tertekannya sayap profil akibat beban luar sehingga menyebabkan sayap menekuk kearah samping (lateral) disertai puntir. (Padosbajayo, 1992).



Gambar 3.13 Balok lentur menerima beban

Kapasitas balok berdasarkan tekuk puntir lateral sebagaimana dikemukakan oleh *Salmon* adalah :

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_w I_y + E I_y G J} \quad (3.22)$$

Untuk menyesuaikan gradien momen, Persamaan (3.22) di atas dapat dikalikan dengan suatu faktor C_b . Dengan demikian, secara umum menjadi Persamaan (3.23):

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_w I_y + E I_y G J} \quad (3.23)$$

dimana :

C_w = konstanta warping torsi, mm^6

C_b = Efek gradien momen

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3 \quad (3.24)$$

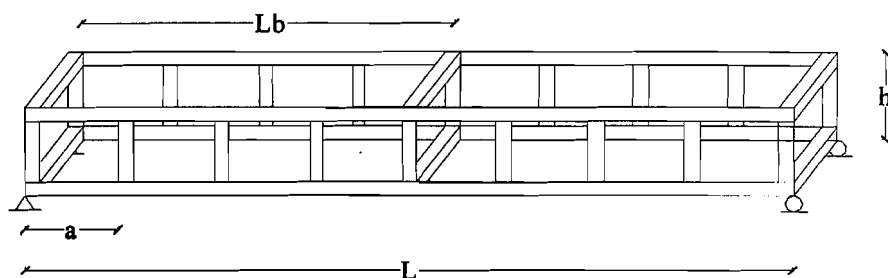
E = modulus elastisitas, MPa

G = modulus geser

J = konstanta torsi, mm^4

I_y = momen inersia terhadap sumbu y, mm^4

L_b = panjang tak berpenopang lateral, mm



Gambar 3.14 Balok *vierendeel* dengan dukungan lateral

Nilai M_{cr} dipengaruhi oleh C_w yaitu konstanta warping torsi yang dapat dinyatakan

dengan :

$$C_w = \frac{I_y h^2}{4} \quad (3.25)$$

dimana : I_y = momen inersia terhadap sumbu y, mm⁴

h = jarak antara pusat flens, mm

Untuk balok *vierendeel* nilai I_y kecil karena tidak bergantung pada tinggi batang vertikal balok *vierendeel* tersebut dan dinyatakan dengan $I_{y \text{ vierendeel}} = 2I_{y \text{ profil}}$. Semakin besar nilai I_y yang tergantung pada luas penampang, maka C_w pada Persamaan (3.25) akan semakin besar. Selanjutnya semakin besar nilai C_w maka nilai M_{cr} akan semakin besar juga. Nilai h pada Persamaan (3.25) dianggap konstan dan diasumsikan dengan $h = 2h_{\text{profil}}$.

Konstanta torsi (J) juga mempengaruhi besarnya nilai M_{cr} yaitu jika penampang balok tersusun dari pelat-pelat yang tipis, maka penampang ini memiliki kekakuan torsi yang kecil karena harga J dipengaruhi oleh t^3 yang dinyatakan sebagai :

$$J = \frac{1}{3} b t^3 \quad (3.26)$$

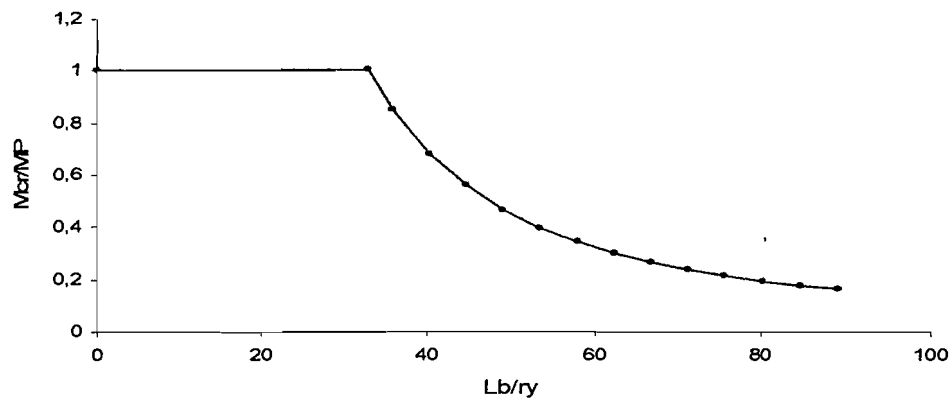
dimana b adalah dimensi panjang dan t adalah dimensi tebal. Untuk balok *vierendeel* yang komponen penyusunnya mempunyai dimensi panjang dan tebal berbeda, maka Persamaan (3.26) dapat ditulis sebagai :

$$J = \sum \frac{1}{3} b_i t_i^3 \quad (3.27)$$

dimana b_i dan t_i pada Persamaan (3.27) masing-masing adalah panjang dan tebal komponen penyusun balok *vierendeel* tersebut.

Besarnya momen kritis (M_{cr}) dari Persamaan (3.23) dipengaruhi oleh panjang tak berpenopang lateral (L_b) yaitu dengan semakin panjangnya (L_b), maka kapasitas lenturnya akan semakin kecil. Dengan mensubstitusikan nilai

$M_{cr}=M_p$ pada Persamaan (3.23) akan diperoleh jarak (L_b) dimana pada jarak tersebut terjadi momen plastis. Hal ini dapat dilihat pada grafik Gambar (3.15).



Gambar 3.15 Grafik hubungan M_{cr}/M_p dan L_b/ry .

3.7 Persyaratan Topangan Lateral dalam Rentang Tak Elastis

Jika kekakuan EI_y dan GJ ditentukan dengan memperhitungkan daerah inelastis dan daerah elastis, Persamaan keseimbangan tekuk puntir lateral untuk momen murni dapat dipakai untuk daerah plastis. Karena jarak antara titik sokongan samping pada balok yang direncanakan untuk mengembangkan momen plastis relatif dekat, suku yang melibatkan kekakuan puntir GJ dapat diabaikan. Dengan demikian Persamaan (3.23) menjadi:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 E}{L_b^2} \sqrt{C_w I_y} \quad (3.28)$$

Karena M_{cr} harus mencapai M_p , M_{cr} pada Persamaan (3.28) diganti dengan

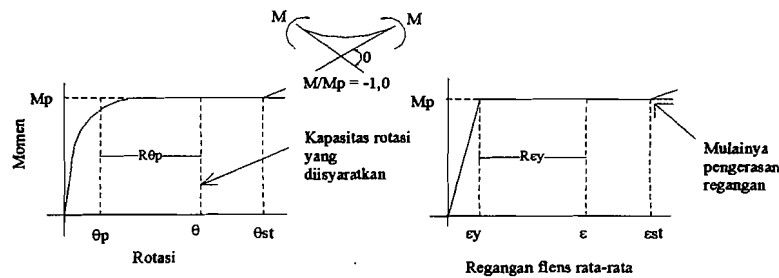
$M_p = Z_x F_y$. Juga $C_w = I_y h^2 / 4$ dan $I_y = A r_y^2$. Maka dihasilkan angka kelangsingan maksimum seperti pada Persamaan (3.29):

$$\frac{L}{r_y} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{L b^2} \left(\frac{h A}{Z} \right)} \quad (3.29)$$

yang akan berlaku untuk momen lentur seragam.

Pengujian pada *University of Texas* telah menetapkan batas dengan menggunakan provisi untuk gradien momen, sebagai Persamaan (3.30):

$$\frac{L_b}{r_y} = \frac{24800 + 15200 M_1 / M_p}{F_y, \text{MPa}} \quad (3.30)$$



Gambar 3.16 Persyaratan deformasi untuk pembentukan kekuatan plastis.

3.8 Sokongan Samping

Apabila stabilitas balok terhadap tekuk puntir lateral tidak terpenuhi, maka penyokong samping dapat digunakan untuk menahan perpindahan lateral dan torsi balok. Agar dapat berfungsi efektif, penyokong harus memiliki kekakuan dan kekuatan yang memadai. Dengan adanya penyokong samping maka panjang kritis balok menjadi lebih kecil sehingga daya dukungnya menjadi lebih besar.

Secara tradisional, dalam peraturan baja pada umumnya (AS 1250 – 1981, BS 449 – 1969) diisyaratkan bahwa penyokong samping dan sambungannya harus mampu memikul gaya tekan aksial yang besarnya :

$$F = 0,025.Fb / n \quad (3.31)$$

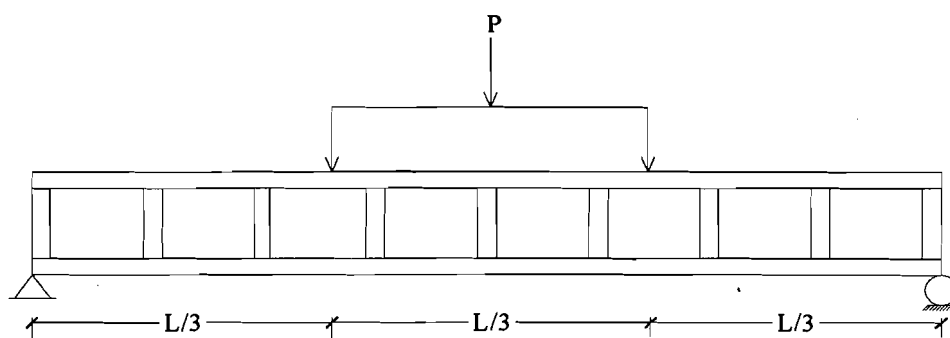
dimana Fb pada Persamaan (3.26) ialah gaya tekan maksimum pada sayap tekan kritis dan n adalah jumlah bentang balok.

3.9 Hubungan Beban-Lendutan

Lendutan terjadi apabila balok melentur akibat menahan beban. Untuk menghitung besarnya lendutan pada balok dapat menggunakan berbagai metode salah satunya adalah metode integrasi ganda. Metode integrasi ganda dapat dilihat pada Persamaan (3.32) berikut :

$$EIy = \iint M dx dx + c_1 x + c_2 \quad (3.32)$$

Sehingga untuk pembebanan seperti Gambar (3.17) dibawah ini besarnya lendutan dapat dihitung dengan Persamaan (3.33), Persamaan (3.34), dan Persamaan (3.35) adalah:



Gambar 3.17 Balok *vierendeel*

Untuk lendutan pada $1/3$ bentang : $\Delta_1 = \frac{5PL^3}{162EI}$ (3.33)

Untuk lendutan pada $1/2$ bentang : $\Delta_2 = \frac{23PL^3}{648EI}$ (3.34)

Untuk lendutan pada $2/3$ bentang : $\Delta_3 = \frac{5PL^3}{162EI}$ (3.35)

Dimana:

Δ = defleksi balok

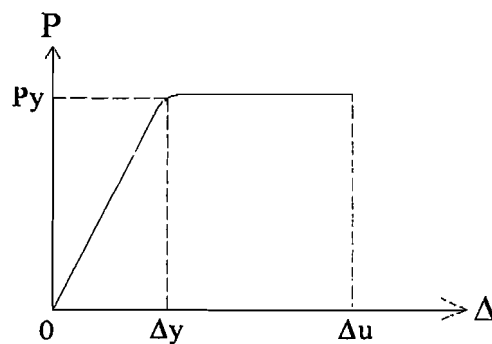
I = momen inersia penampang

P = beban

E = Modulus elastisitas

L = panjang bentang

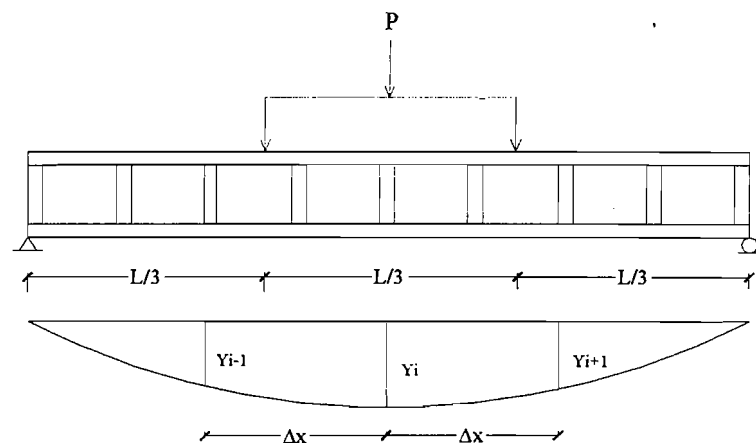
Hubungan beban lendutan pada balok yang menerima beban lentur dapat disederhanakan seperti pada Gambar (3.18)



Gambar 3.18 Hubungan beban-lendutan

3.10 Hubungan Momen-Kelengkungan

Balok adalah salah satu diantara elemen-elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Momen lentur timbul pada balok sebagai akibat adanya beban pada balok. Apabila balok *vierendeel* dengan tumpuan sederhana seperti terlihat pada Gambar (3.17) mengalami dua beban transversal terpusat simetris, balok itu akan melentur atau mengalami defleksi.



Gambar 3.19 Defleksi pada balok *vierendeel*

Dari pengujian kuat lentur balok badan terbuka, didapatkan defleksi pada titik $i = Y_i$, titik Y_{i+1} dan titik Y_{i-1} seperti pada Gambar (3.19). Pendekatan kemiringan menggunakan metode *central difference*.

Perhatikan Gambar (3.18) dy/dx didekati dengan Persamaan (3.36)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.36)$$

turunan kedua Persamaan (3.36) adalah:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.37)$$

karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka

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

sehingga Persamaan (3.37) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.38)$$

selanjutnya dari Persamaan (3.38) didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.39)$$

Persamaan (3.39) disederhanakan menjadi Persamaan (3.40) :

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

Persamaan diferensial untuk balok elastis adalah

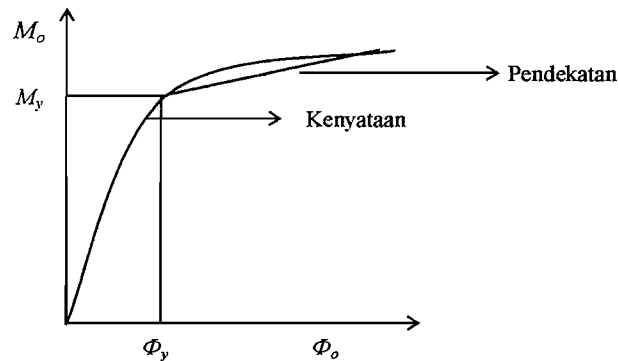
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI} \quad (3.41)$$

$$M = EI \cdot \phi$$

maka Persamaan (3.41) dapat ditulis menjadi Persamaan (3.42):

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

Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ) ditunjukkan pada Gambar (3.20)

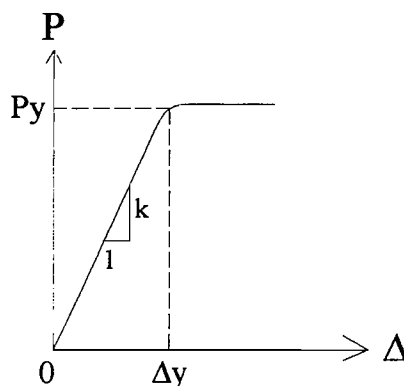


Gambar 3.20 Hubungan momen-kelengkungan

3.11 Kekakuan

Menurut *Gere dan Timoshenco* (1985), kekakuan (k) adalah gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu satuan deformasi. Seperti pada Gambar (3.21), dapat dilihat bahwa beban P yang bekerja pada struktur dapat menyebabkan terjadinya deformasi Δ . Kemiringan dari lengkung yang dihasilkan disebut sebagai kekakuan dirumuskan dengan Persamaan (3.44)

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (3.44)$$

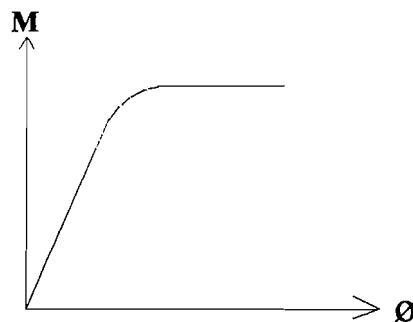


Gambar 3.21 Kekakuan dari grafik beban-deformasi

Sedangkan kekakuan lentur EI didefinisikan sebagai momen per satuan unit kelengkungan yang dirumuskan sebagai Persamaan (3.45):

$$EI = \frac{M}{\Phi} \quad (3.45)$$

Kekakuan lentur ini didapat dari grafik hubungan momen-kelengkungan yang ditunjukkan oleh Gambar (3.22).



Gambar 3.22 Kekakuan dari grafik momen-kelengkungan

3.12 Regresi

Pada penelitian sering didapat data hasil pengujian diberikan dalam nilai diskret atau Tabel. Ada dua hal yang diharapkan dari data diskret tersebut, yaitu :

1. Mendapatkan bentuk kurva yang dapat mewakili data diskret tersebut.
2. Mengestimasi nilai data pada titik-titik di antara nilai-nilai yang diketahui.

Kedua aplikasi tersebut dikenal sebagai *curve fitting*. Ada dua metode pendekatan di dalam *curve fitting* yang didasarkan pada jumlah kesalahan yang terjadi pada data, yaitu :

1. Regresi kuadrat terkecil.

Regresi kuadrat terkecil dilakukan apabila data menunjukkan adanya kesalahan cukup besar. Untuk itu dibuat kurva tunggal yang mempresentasikan *trend* secara umum data yang ada. Regresi kuadrat terkecil untuk kurva dengan garis lurus menggunakan metode regresi linier. Sedangkan untuk kurva lengkung menggunakan metode fungsi eksponensial, Persamaan berpangkat (transformasi *log* dan transformasi *ln*), dan regresi polinomial.

2. Interpolasi

Apabila data diketahui sangat benar maka pendekatan yang dilakukan adalah membuat kurva atau sejumlah kurva yang melalui setiap titik

Pada penelitian ini digunakan bentuk paling sederhana dari regresi kuadrat terkecil yaitu kurva yang mewakili titik-titik percobaan berupa garis lurus, yang disebut regresi linier.

3.13 Alat Sambung Las

Proses pengelasan adalah proses penyambungan bahan yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanaskannya hingga suhu yang tepat, dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi dengan pembangkit panas berupa : listrik, kimiawi, optis, mekanis dan semikonduktor. Proses pengelasan baja struktural biasanya menggunakan busur listrik (nyala).

Pada penelitian ini digunakan berbagai ketentuan mengenai pengelasan yang diuraikan sebagai berikut :

1. Pengelasan busur nyala logam terlindung.

Pengelasan busur nyala logam terlindung, SMAW (*shielded metal arc welding*) atau proses elektroda tongkat merupakan jenis pengelasan yang sederhana. Pemanasan dilakukan dengan busur listrik nyala antara elektroda yang dilapisi dan bahan yang akan disambung hingga elektroda yang dilapis habis karena logam pada elektroda dipindahkan ke bahan dasar selama pengelasan dan lapisannya sebagian dikonversi menjadi gas pelindung, sebagian menjadi terak (*slag*) dan sebagian lagi diserap oleh logam las.

Bahan pelapis elektroda adalah campuran seperti lempung yang terdiri dari pengikat silikat dan bahan bubuk, seperti senyawa flour, karbonat, oksida, paduan logam dan selulosa, yang berfungsi sebagai :

- a. menghasilkan gas pelindung untuk mencegah masuknya udara dan membuat busur stabil
- b. memberikan bahan lain, seperti unsure pengurai oksida, untuk memperhalus struktur butiran pada logam las,
- c. menghasilkan lapisan terak dan memadatkan las untuk melindungi dari oksigen dan nitrogen dalam udara serta memperlambat pendinginan.

Bahan elektroda ditentukan oleh berbagai spesifikasi American Welding Society dengan identifikasi seperti E60XX dan E70XX yang masing-masing menunjukkan kekuatan tariknya 60 dan 70 ksi. Huruf X menyatakan faktor-faktor seperti posisi pengelasan sumbur listrik yang disarankan jenis lapisan dan jenis karakteristik busur nyala.

Pada penelitian ini dipakai elektroda RD 460 dengan diameter 2.6 mm dan panjang 350 mm. RD 460 adalah jenis kawat las high titania oxide yang mempunyai percikan las yang kecil, terak mudah terlepas dan memberikan hasil finishing yang halus. Spesifikasinya adalah AWS A 5.1 E6013. untuk pemanasan elektroda ini menggunakan arus listrik AC-DC 70-110 A

2. Jenis las dan sambungan las

Pada penelitian ini dipergunakan jenis las sudut (*fillet weld*) karena ekonomis secara keseluruhan, mudah dibuat. Jenis las ini merupakan jenis las yang paling banyak dipakai dibandingkan jenis las dasar yang lain.

Jenis sambungan yang dipakai umum dan mempunyai keuntungan mudah disesuaikan, mudah disambung dan mudah digunakan untuk menyambung.

Kekuatan Nominal Las Sudut

Kekuatan desain per satuan panjang las sudut didasarkan resensi geser melalui leher las sebagai Persamaan (3.46) berikut,

$$\phi R_{nw} = 0.75 t_e (0.6 F_{EXX}) \quad \text{las sudut} \quad (3.46)$$

dan tidak boleh kurang dari kekuatan patahan (rapture) geser dan logam dasarnya Persamaan (3.47) :

$$\phi R_{nw} = 0.75 t_e (0.6 F_U) \quad \text{logam dasar} \quad (3.47)$$

dimana t_e adalah dimensi leher efektif yang ditunjukkan pada Gambar (3.23a) dan (3.23.b), untuk ukuran leher yang sama maka t_e dapat dihitung dengan Persamaan (3.48) :

$$t_e = 0.707a \quad (3.48)$$

untuk ukuran leher yang tidak sama maka t_e dapat dihitung dengan Persamaan (3.49) :

$$t_e = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3.49)$$

dimana: t_e = dimensi leher efektif

F_{EXX} = kuat tarik material elektroda

t = tebal material dasar di sepanjang las

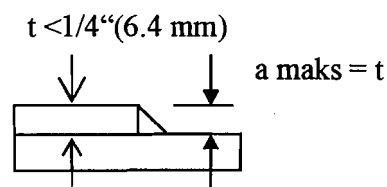
F_U = kuat tarik maksimum logam dasar

ϕ = 0.75 (faktor resistensi las sudut)

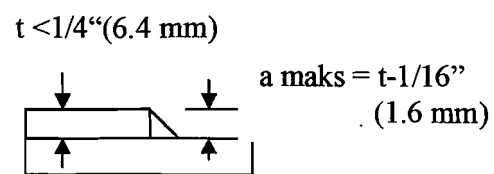
AISC menyatakan daya tahan las sudut yang diijinkan E60XX dalam desain untuk las sudut seperti pada Tabel (3.1) berikut ini.

Tabel 3.1 Daya Tahan Las Sudut yang Diijinkan (kip/inci)

Ukuran Las (inci)	E60XX SMAW (ksi)	E60 SAW (ksi)
1/16	1.59	2.25
1/8	2.38	3.37
3/16	3.18	4.50
1/4	3.98	5.62
5/16	4.77	6.75



Gambar 3.23.a Ukuran las maksimum untuk $t < 1/4"$ (6.4 mm)



Gambar 3.23.b Ukuran las maksimum untuk $t > 1/4"$ (6.4 mm)

3.14 Hipotesis

Dengan memperhatikan latar belakang, tujuan penelitian, tinjauan pustaka, dan landasan teori bahwa apabila suatu struktur balok badan terbuka dalam hal ini balok *vierendeel* diberi beban sentris (P) maka akan terjadi lendutan. Besarnya lendutan dipengaruhi oleh beban (P), panjang bentang (L), modulus elastisitas (E), dan momen inersia penampang (I).

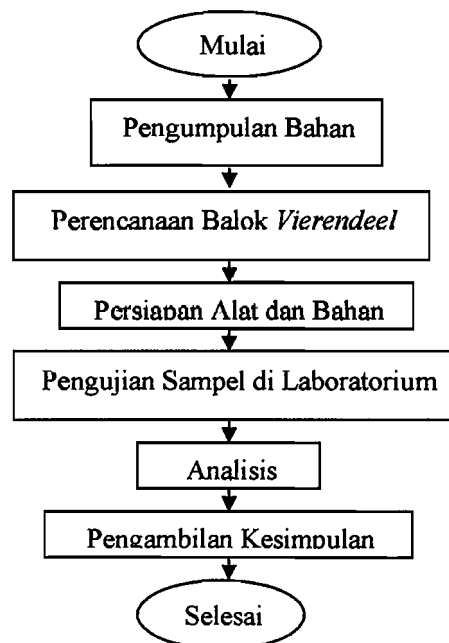
Pembebanan pada balok *vierendeel* juga dapat menyebabkan terjadinya tekuk, baik itu tekuk lokal maupun tekuk lateral disertai puntir. Dari grafik non dimensional hubungan (M_{cr}/M_p) dan (L_b/r_y) dapat diambil kesimpulan bahwa semakin panjang jarak tak berpenopang lateral (L_b), maka kapasitas lentur balok *vierendeel* akan semakin berkurang dan sebaliknya.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Prosedur penelitian dapat dilihat pada *flowchart* (Gambar 4.1)



Gambar 4.1 *Flowchart* metode penelitian

4.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

Agar penelitian dapat berjalan lancar diperlukan beberapa peralatan dan bahan yang digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Bahan dan alat yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

4.2.1 Bahan

a. Baja profil

Baja profil yang digunakan adalah baja pipa kotak 30x30x2.

b. Alat sambung

Alat sambung yang digunakan adalah sambungan las menggunakan

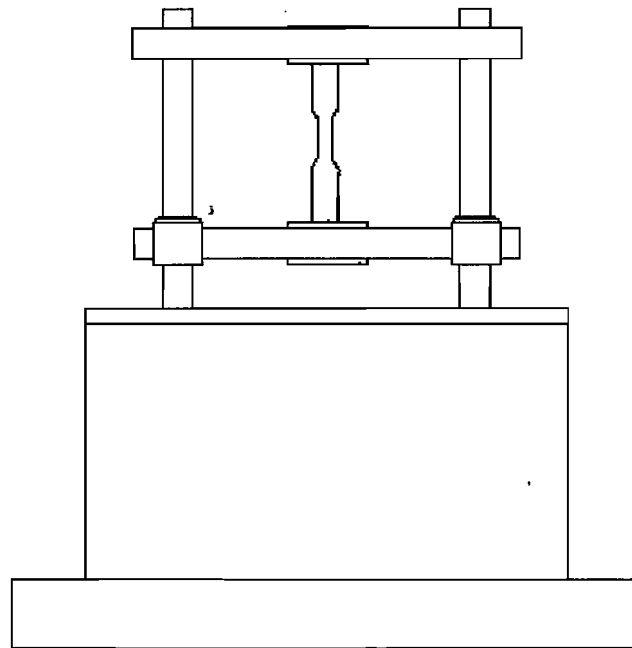
elektroda E70XX dengan kekuatan tarik maksimum $F_u = 70 \text{ Ksi} = 485 \text{ MPa}$.

4.2.2 Peralatan

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan sebagai sarana mencapai tujuan yang diinginkan. Adapun peralatan tersebut terdiri dari :

a. Mesin Uji Tarik Baja

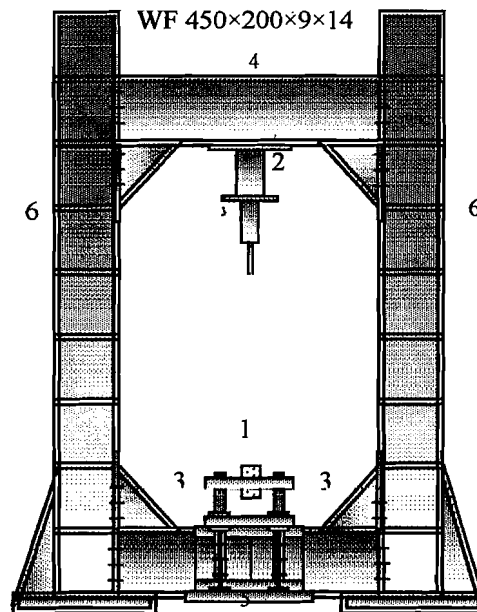
Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Pada penelitian ini menggunakan *UNIVERSAL TESTING MATERIAL* (UTM) Merk SHIMATSU *Type* UMH 30, kapasitas 30 Ton. Seperti pada Gambar (4.6) .



Gambar 4.2 *Universal Testing Material (UTM)*

b. *Loading Frame*

Loading frame digunakan untuk keperluan uji pembebanan, terbuat dari baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14. Bentuk dasar *loading frame* (Gambar 4.3) berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar alat ini tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14



Keterangan :

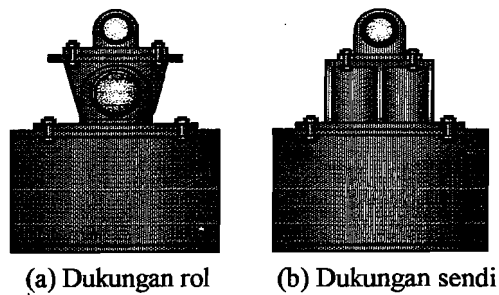
1. Model Balok
2. Hydraulic Jack
3. Dukungan
4. Balok Portal (bisa digeser)
5. Balok Lintang
6. Kolom

Gambar 4.3 *Loading frame*

c. Dukungan Sendi dan Rol

Dukungan sendi dan rol dipasang pada masing-masing ujung balok *vierendeel* agar model tersebut tetap berdiri tegak saat dilakukan pengujian.

Adapun gambar dukungan sendi dan rol dapat dilihat pada Gambar (4.4).



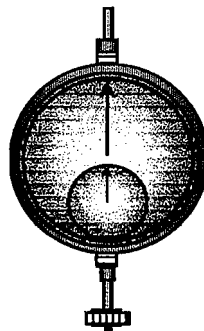
(a) Dukungan rol

(b) Dukungan sendi

Gambar 4.4 Dukungan

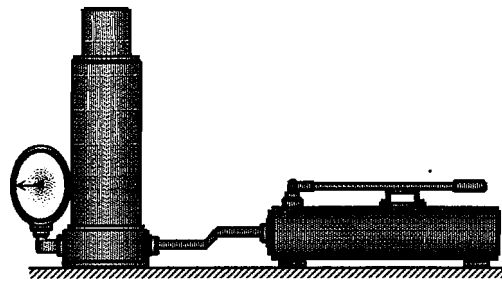
d. *Dial Gauge*

Dial gauge (Gambar 4.5) adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian pembacaan *dial* 0,01 mm.

Gambar 4.5 *Dial gauge*

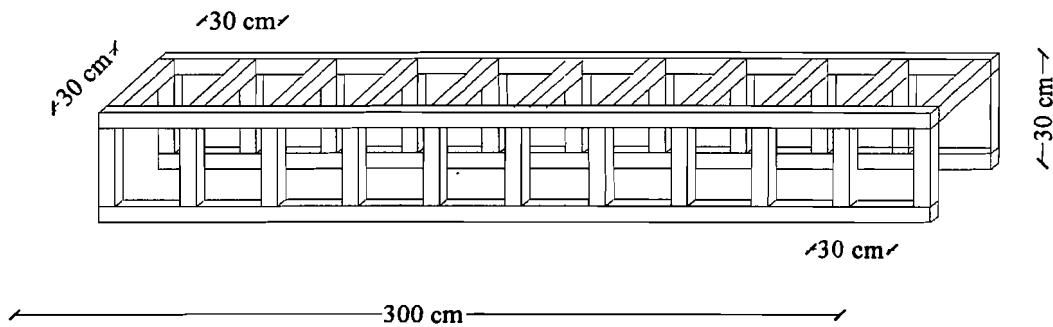
e. *Hidraulic Jack*

Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak balok *vierendeel* dengan beban terpusat (P) yang mempunyai kapasitas maksimum 30 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,25 ton. Alat tersebut dapat dilihat pada Gambar (4.6).

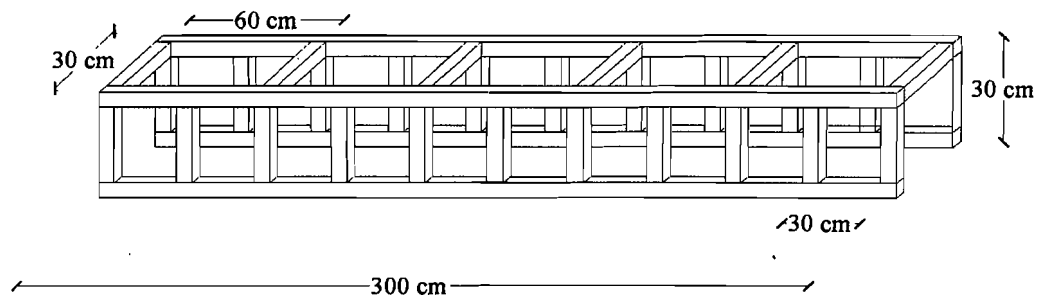
Gambar 4.6 *Hidraulic jack*

4.3 Model Benda Uji

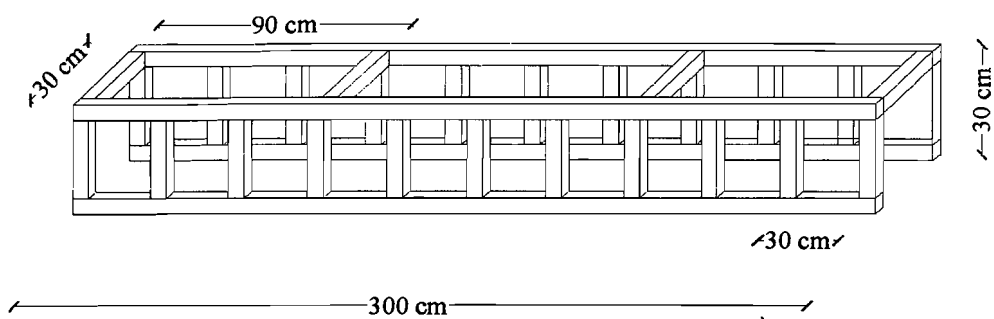
Model benda uji berupa balok *vierendeel* sebanyak 6 buah yang terdiri dari balok *vierendeel* dengan perbandingan $a/h = 1$ dengan masing-masing balok memiliki jarak dukungan lateral yang berbeda-beda.



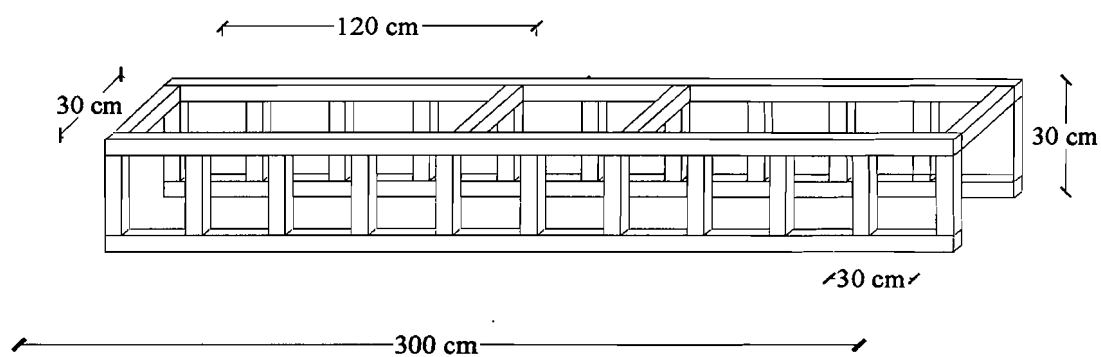
Gambar 4.7 Benda uji 1



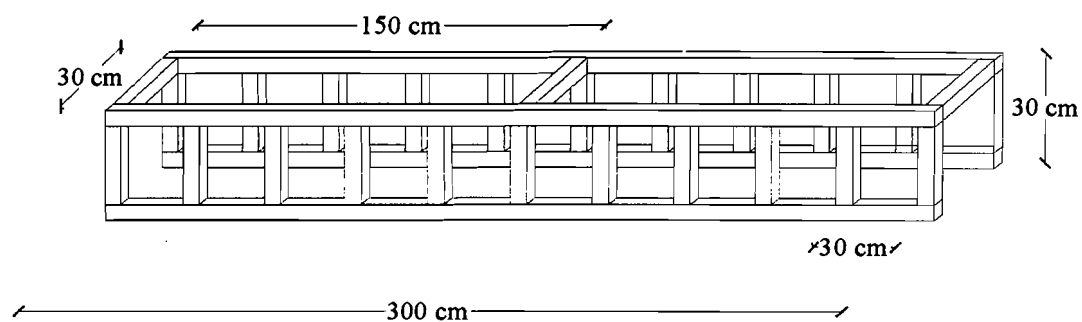
Gambar 4.8 Benda uji 2



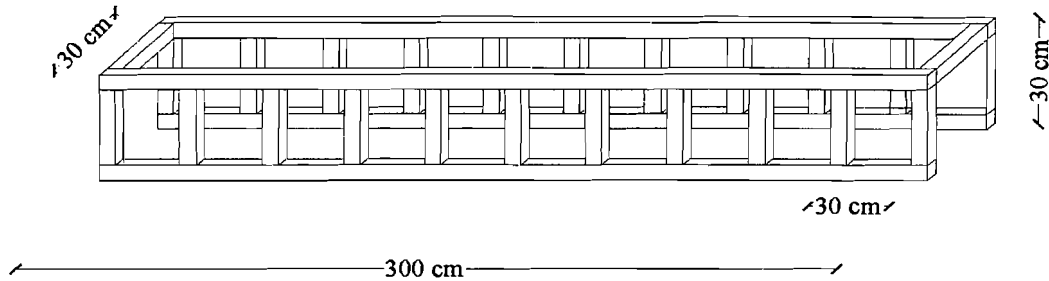
Gambar 4.9 Benda uji 3



Gambar 4.10 Benda uji 4



Gambar 4.11 Benda uji 5



Gambar 4.12 Benda uji 6

4.5 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian tugas akhir dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut :

4.5.1 Pembuatan benda uji

a. Pembuatan benda uji Kuat Tarik Baja

Baja pipa kotak 30x30x2 dipotong sepanjang 50 cm kemudian tengahnya dibuat luasan. Bentuknya dapat dilihat pada Gambar (4.13).

b. Pembuatan benda uji kuat geser las

Dua profil dipotong lalu di las seperti ditunjukkan pada Gambar (4.14).

c. Pembuatan benda uji balok *vierendeel*

Balok *Vierendeel* merupakan rangkaian baja pipa kotak 30x30x2 sebagai batang horizontal dan sebagai batang vertikal yang disambung dengan

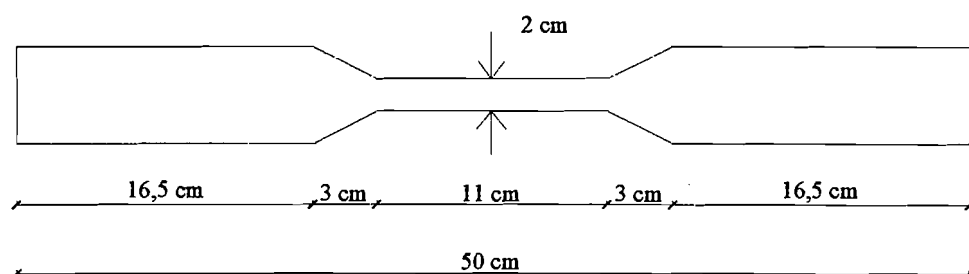
menggunakan sambungan las. Panjang struktur 3 m dengan tinggi 0.3 m dan jarak tak berpenopang lateral bervariasi.

4.5.2 Pengujian Pendahuluan

Sebelum pengujian benda uji balok *vierendeel*, terlebih dahulu dilakukan uji pendahuluan pada bahan-bahan yang digunakan untuk membuat balok *vierendeel* yaitu meliputi pengujian kuat tarik baja dan pengujian kuat geser las.

a. Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Pada pengujian kuat tarik baja, tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari luasan benda uji. Benda uji untuk kuat tarik baja seperti pada Gambar (4.13).



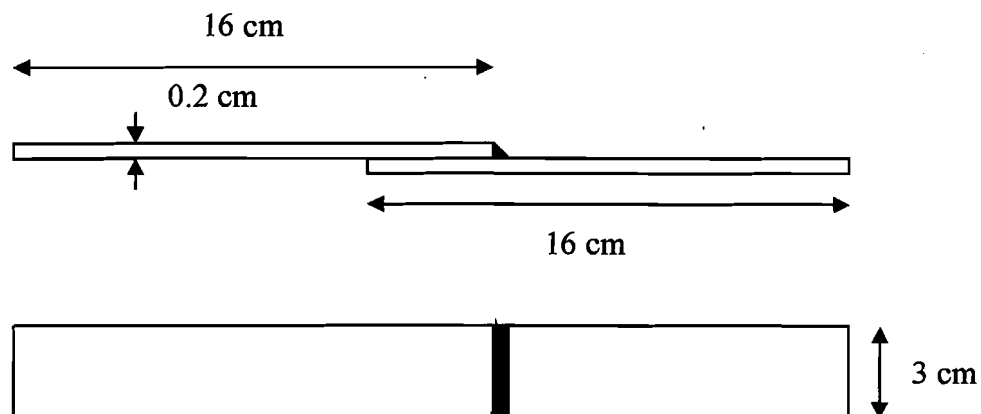
Gambar 4.13 Benda uji untuk Uji Kuat Tarik Baja

Tabel 4.1 Dimensional benda uji Kuat Tarik Baja

Benda Uji	Lebar (B = cm)	Tebal (t = cm)	Luas (A = cm ²)
1	2.00	0.2	0.4

b. Pengujian Kuat Geser Las

Pengujian Kuat Geser Las untuk mengetahui kuat ultimit las yang digunakan dalam pengelasan benda uji. Tegangan ultimit las dapat diketahui dengan membagi kuat tarik las dengan luas rata-rata dari luasan las benda uji. Benda uji untuk kuat geser las seperti pada Gambar (4.14).



Gambar 4.14. Benda uji untuk Uji Kuat Geser Las



4.5.3 Persiapan Peralatan

Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan *setting* terhadap peralatan yang akan dipergunakan.

Dukungan sendi dan rol (Gambar 4.4a dan 4.4b) diletakkan pada *Loading Frame* (Gambar 4.3) yang digunakan untuk menumpu benda uji dengan panjang 5.76 m

Hydraulic Jack (Gambar 4.6) diletakkan pada balok sepanjang 2 m yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang membebani benda uji

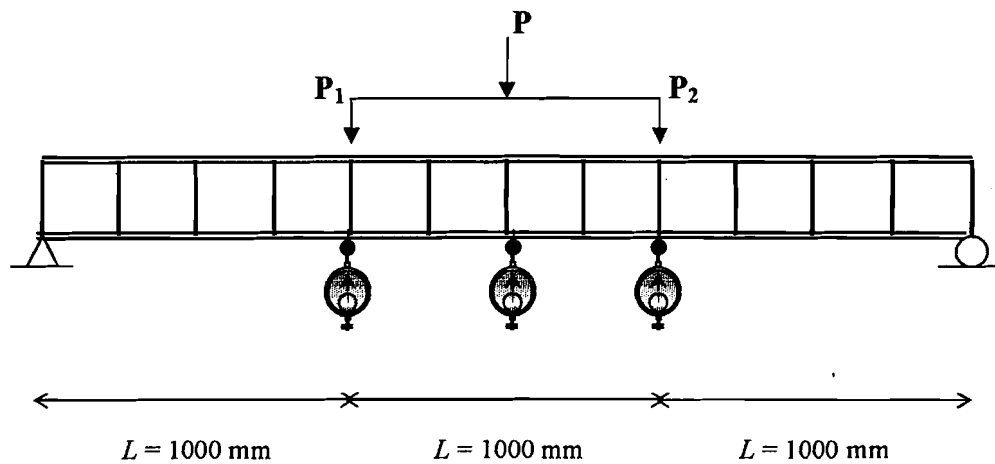
Dial Gauge (Gambar 4.5) diletakkan di bawah benda uji. *Dial Gauge* yang digunakan dalam penelitian ini tiga buah yang diletakkan pada setiap jarak 0.5 m.

4.5.4 Pengujian Benda Uji Balok *Vierendeel*

Pelaksanaan pengujian kuat lentur dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa dengan cara sebagai berikut :

1. Sebelum pengujian dilakukan, benda uji diberi tanda sebagai titik pembebanan yaitu pada jarak sepertiga panjang benda uji. Kemudian diletakkan pada tumpuan sesuai dengan tanda yang telah diberikan serta letak bebannya. Di bawah benda uji dipasang *dial* (alat pengukur lendutan) untuk mengetahui lendutan yang terjadi

pada waktu dilaksanakan pengujian kuat lentur, posisi benda uji dan letak *dial* terlihat pada Gambar (4.15)



Gambar 4.15 Perletakan benda uji

2. Benda uji yang sudah di *setting* siap diuji. *Hydraulic Jack* dipompa untuk mendapatkan beban yang bertahap yang dinaikkan secara berangsur-angsur dengan interval 3,5 kN, dimulai dari pembebanan 0 kN sampai beban maksimum.
3. Setiap pembebanan mencapai 3,5 kN, pemompaan *Hydraulic Jack* dihentikan dan ditahan kemudian pembacaan dan pencatatan *Dial Gauge*.
4. Proses dilakukan sampai pembebanan maksimum.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Untuk mengetahui kualitas baja yang dipakai sebagai benda uji, dilakukan uji tarik baja di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian kuat tarik baja untuk profil pipa disajikan dalam lampiran. Kuat tarik (F_u) dari sampel uji tarik baja adalah sebesar 430 MPa dan tegangan leleh (F_y) adalah 408 MPa.

5.1.2 Hasil Uji Kuat Geser Las

Pengujian geser las dilakukan untuk mengetahui kuat geser las, sehingga kekuatan sambungan dapat direncanakan. Uji geser las ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia. Kuat geser las yang digunakan ($\tau_{\text{geser las}}$) = 325,318 MPa.

5.1.3 Hasil Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

Pengujian kuat lentur balok *vierendeel* dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia. Pengujian kuat lentur ini menghasilkan data berupa beban dan lendutan. Selanjutnya data tersebut digunakan untuk membuat grafik hubungan antara beban dan lendutan.

A. Hubungan Beban-Deformasi

1. Hubungan Beban-Deformasi Teoritis

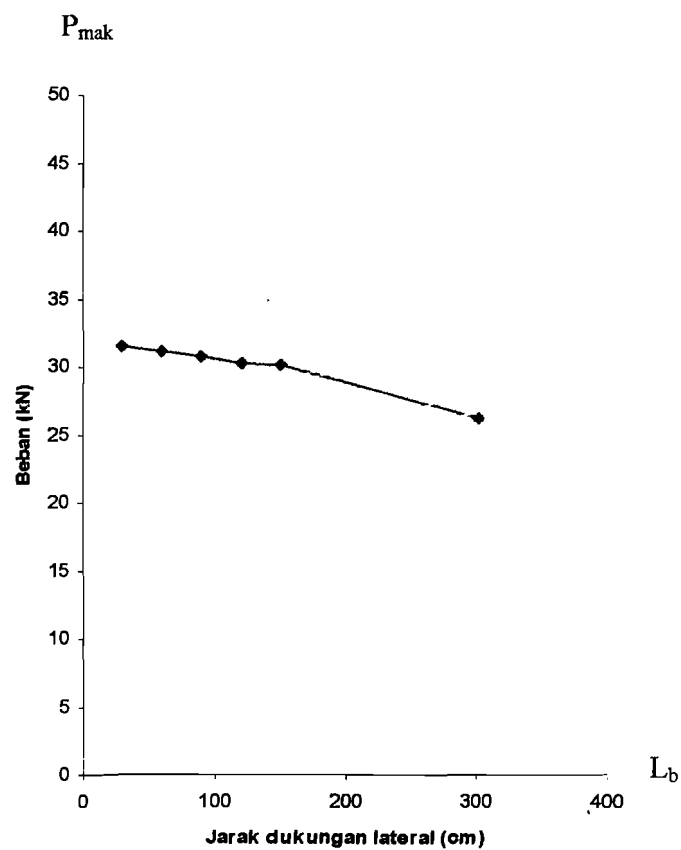
Nilai hasil perhitungan beban-deformasi secara teori ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik seperti pada lampiran. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian sedangkan besar deformasinya dihitung dengan SAP 2000.

2. Hubungan Beban-Deformasi Penelitian

Pada pengujian kuat lentur, benda uji balok *vierendeel* diberi beban setiap sepertiga bentang. Secara bertahap beban dinaikkan dengan interval sebesar 3,5 kN dan data deformasi yang terjadi dicatat. Data hasil pengujian kuat lentur disajikan selengkapnya pada lampiran. Selain itu diperoleh juga beban transversal maksimum yang dicapai oleh masing-masing benda uji dengan variasi jarak dukungan lateral seperti ditunjukkan pada Tabel (5.1) dan Gambar (5.1).

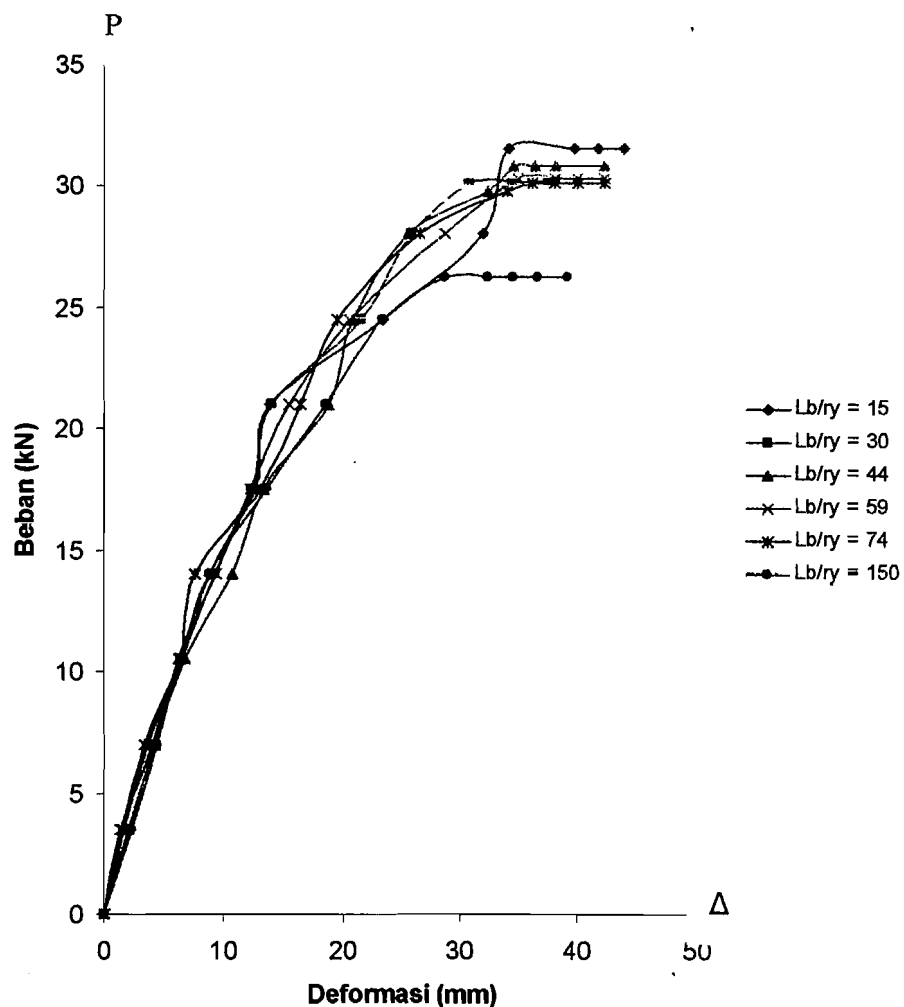
Tabel 5.1 Beban transversal maksimum balok *vierendeel* dengan variasi L_b/ry

No	Variasi Jarak dukungan Lateral (L_b) (cm)	L_b/ry	P max (kN)	P max (%)
1	30	14.6944	31,50	100
2	60	29.3887	31.15	98.89
3	90	44.0831	30,80	97.78
4	120	58.7774	30,275	96.11
5	150	73.4718	30,10	95.56
6	300	146.9436	26,25	83.33

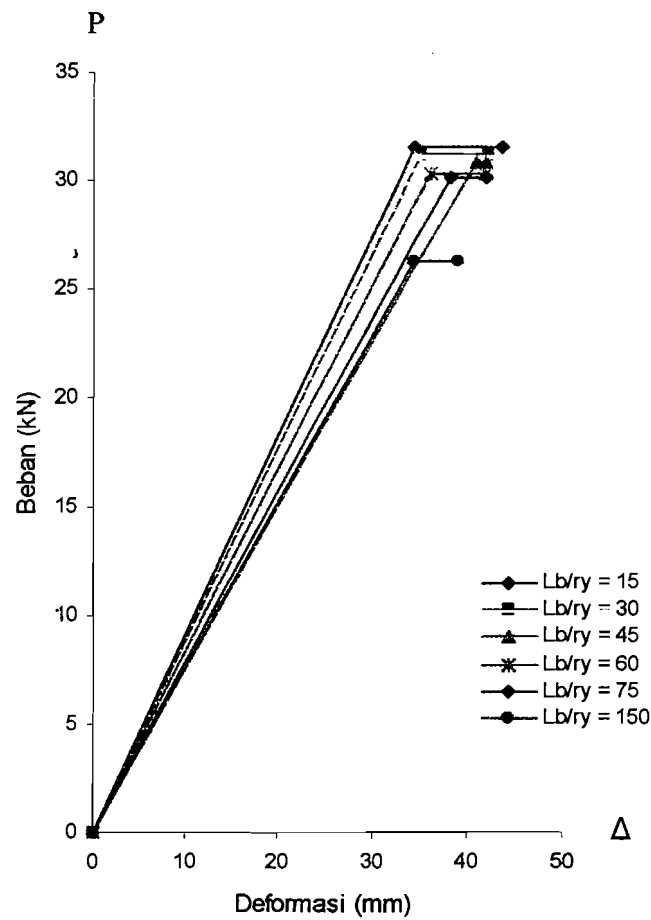
Gambar 5.1 Grafik pembebanan dengan variasi L_b

2. Grafik Hubungan Beban-Deformasi

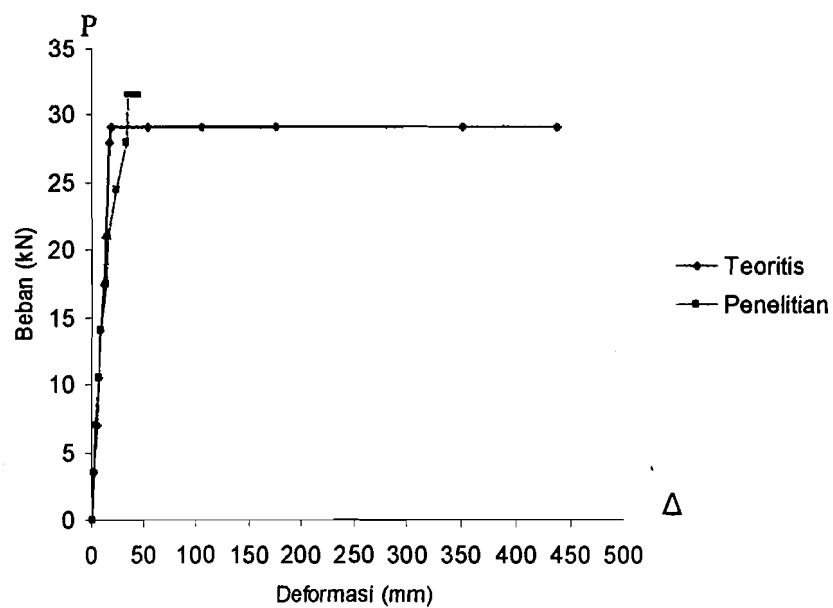
Dari hasil pengujian enam sampel balok *vierendeel* dengan variasi jarak dukungan lateral (L_b) dibuat grafik hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$). Data deformasi yang digunakan adalah pada *dial gauge* 2 yaitu data di tengah bentang yang menunjukkan deformasi maksimum. Grafik hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$) ditunjukkan oleh Gambar (5.2), Gambar (5.3) dan Gambar (5.4).



Gambar 5.2 Grafik hubungan beban-deformasi sebelum regresi



Gambar 5.3 Grafik hubungan beban-deformasi setelah regresi



Gambar 5.4. Grafik hubungan beban-deformasi teoritis dan penelitian

Dari grafik hubungan beban-deformasi hasil pengujian dan teoritis yang ditunjukkan pada Gambar (5.4) mulai titik awal pembebanan sampai terjadi kerusakan (tekuk), balok *vierendeel* berperilaku elastis dan berbentuk linear. Setelah mengalami sedikit kerusakan, benda uji memasuki fase inelastik dimana terjadi peningkatan deformasi yang cukup besar. Selain itu tampak dari kemiringan bahwa grafik secara teoritis lebih kaku dibandingkan penelitian tapi kekuatannya lebih kecil.

3. Analisa Data Hubungan Beban-Deformasi

Kekakuan adalah gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit deformasi, semakin kaku suatu elemen struktur maka semakin besar kemiringannya. Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-deformasi pada Gambar (5.3) dapat disimpulkan tentang kekakuan balok *vierendeel* pada beban ultimit disajikan dalam Tabel (5.2)

Tabel 5.2 Analisa kekakuan ($\frac{P_y}{\Delta_y}$) dari data hubungan beban-deformasi

Variasi Jarak dukungan Lateral (L_b) (cm)	L_b/r_y	P_y (KN)	Deformasi (Δ_y) (mm)	Kekakuan (P_y/Δ_y) (KN/mm)	Rasio Kekakuan (%)
30	14.6944	30.5	34.4956	0.913	100
60	29.3887	31.15	34.986	0.890	97.5
90	44.0831	30.8	40.797	0.754	82.6
120	58.7774	30.275	36.201	0.836	91.5
150	73.4718	30.1	35.870	0.789	86.4
300	146.9436	26.25	34.498	0.760	83.2

Dari Tabel (5.2) dapat diamati dan diteliti pengaruh rasio jarak dukungan lateral pada kekuatan lentur balok *viereendeel* dan perilaku deformasi yang terjadi pada benda uji.

B. Hubungan Momen-Kelengkungan

1. Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

Nilai hasil perhitungan momen-kelengkungan secara teori ditampilkan dalam Tabel (5.3) kemudian dibuat grafik seperti pada Gambar (5.6) Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian kemudian dihitung dengan SAP 2000.

Tabel 5.3. Data momen-kelengkungan teoritis

Beban (P) (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	M (kNmm)	Φ (mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	2,0554	2,1	2,0554	3500	3,568E-07
7	3,675	4,082	3,675	7000	3,256E-06
10,5	5,513	6,273	5,513	10500	0,00000608
14	7,351	8,364	7,351	14000	8,104E-06
17,5	9,1158	10,45	9,1158	17500	1,0674E-05
21	11,0259	12,546	11,0259	21000	1,2161E-05
28	14,6956	16,7235	14,6956	28000	1,6223E-05
29,2	15,323	17,44	15,323	29200	1,6936E-05
29,2	45,982	52,321	45,982	29200	5,0712E-05
29,2	91,964	104,642	91,964	29200	0,00010142
29,2	153,273	174,403	153,273	29200	0,00016904
29,2	306,546	348,805	306,546	29200	0,00033807
29,2	383,133	436,007	383,133	29200	0,00042299

2. Hubungan Beban Momen-Kelengkungan Penelitian

Hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) dapat dicari setelah data hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$) didapatkan dari hasil pengujian kuat lentur balok *viereendeel*. Peningkatan kelengkungan terjadi bila momen bertambah besar

atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur balok *vierendeel*. Kelengkungan balok *vierendeel* diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan *finite difference method*. Dari data pembacaan dial dapat dicari momen dan kelengkungan. Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat di lampiran.

Contoh perhitungan mencari momen dan kelengkungan :

Pembebanan 31.5 kN pada benda uji I. Deformasi pada dial gauge 1 (y_{i-1}) = 39.43 mm, *dial gauge* 2 (y_i) = 43.6 mm, dan *dial gauge* 3 (y_{i+1}) = 39.56 mm dengan jarak antar dial (Δx) = 500 mm. Dengan persamaan (3.24), maka besarnya kelengkungan dapat dihitung.

$$\Phi = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{\Delta x^2}$$

$$\Phi = \frac{39.43 - (2 \times 43.6) + 39.56}{500^2} \times (-1) = 3.2840 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{mm} \right)$$

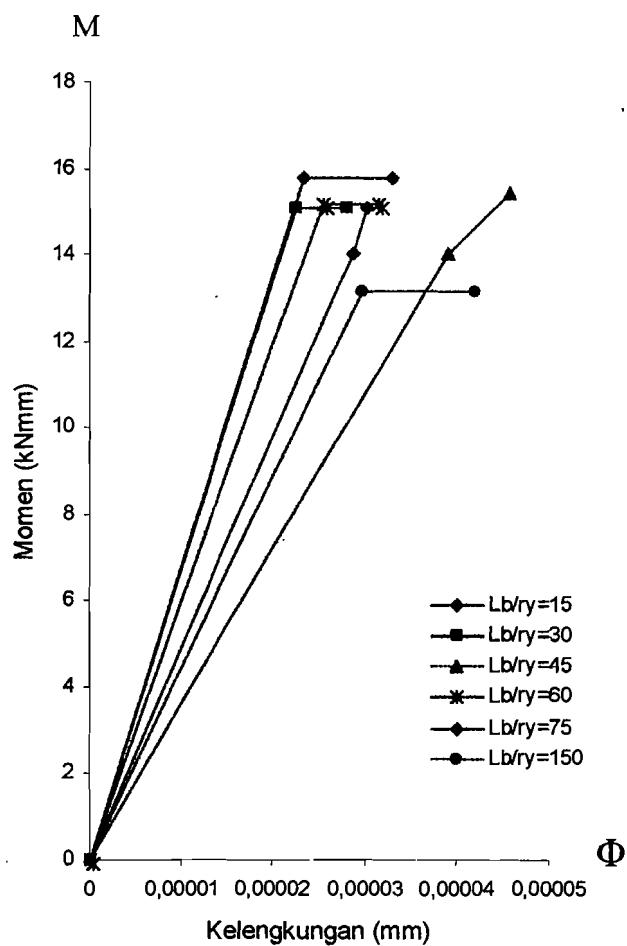
Momen dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$M = \frac{1}{6} x P x L$$

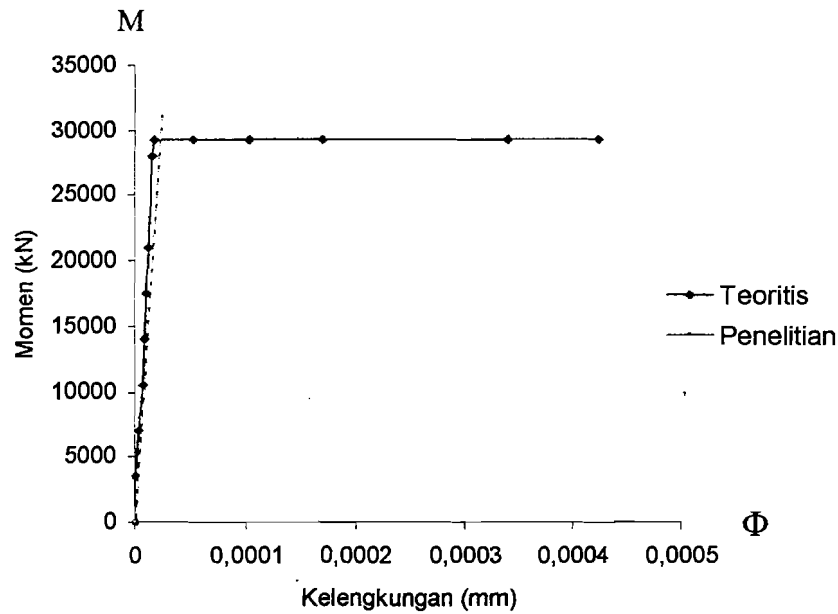
$$M = \frac{1}{6} x 31.5 x 3 = 15.75 \text{ kNm}$$

5. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan

Dari contoh perhitungan dapat diperlihatkan data hubungan momen dan kelengkungan yang selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan momen dan kelengkungan seperti pada Gambar (5.5) dan Gambar (5.6) Tampak bahwa secara teori kekuatannya lebih rendah namun lebih kaku.



Gambar 5.5 Grafik hubungan momen-kelengkungan



Gambar 5.6 Grafik hubungan momen-kelengkungan penelitian dan teoritis

6. Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Hubungan momen kelengkungan menunjukkan kekakuan. Dalam hal ini didapat dari M/Φ , faktor kekakuan pada balok *vierendeel* secara umum mempunyai perilaku yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik M/Φ yang diperoleh dari data laboratorium pada lampiran dan Tabel (5.4)

Tabel 5.4 Analisa kekakuan dari data hubungan momen-kelengkungan

Variasi Jarak dukungan Lateral (L_b) (cm)	L_b/r_y	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	Kekakuan EI ((kN.mm ²))	Rasio Momen (%)	Rasio EI (%)
30	14.6944	15,75	0.0000232143	678461,1209	100	100
60	29.3887	15,075	0.00002249	670297,9102	95,7	98,79
90	44.0831	14,00	0.0000389489	359445,3245	88,9	52,98
120	58.7774	15,1375	0.000025369	596058,4344	96,1	87,85
150	73.4718	14,00	0.0000286446	488748,3156	88,9	72,03
300	146.9436	13,125	0.00002962	443112,7616	83,33	65,31

C. Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

Kerusakan yang terjadi pada enam benda uji penelitian ini merupakan kerusakan akibat gaya tekan sebagai manifestasi momen yang diterima. Letak kerusakan pada sampel uji rata-rata terletak pada batang transversal dan yang mengalami kerusakan lebih dulu adalah batang transversal tiga dan sembilan (TK3 dan TK9) dapat dilihat pada tabel tegangan terlampir.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Pembahasan Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Pada umumnya besar tegangan leleh baja (F_y) adalah 60 % dari kuat tariknya (F_u). Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1983 dan hasil uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, mutu baja yang dipakai dalam penelitian ini termasuk dalam golongan :

1. Profil pipa kotak (30x30x2), kuat tarik $F_u = 430$ MPa dan tegangan $F_y = 408$ MPa termasuk mutu baja BJ 52.
2. Nilai F_y sebesar 408 MPa dari hasil penelitian adalah 95 % dari nilai F_u .
3. Tegangan leleh F_y yang digunakan pada penelitian adalah sebesar 240 MPa.

5.2.2 Pembahasan Hasil Uji Kuat Geser Las

Pada pengujian kuat geser las didapatkan ($\tau_{\text{geser las}} = 325,318$ MPa. Kuat geser las yang cukup tinggi diharapkan menjadikan struktur lebih kaku pada sambungannya, sehingga tujuan untuk membuat struktur yang lebih kaku akan tercapai.

5.1.3 Pembahasan Hasil Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

1. Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Beban-Deformasi

Dengan mengamati grafik hubungan beban-deformasi bahwa pada enam benda uji memiliki perilaku kuat lentur yang hampir sama, mulai dari titik pangkal sampai titik leleh. Pada pembebanan awal kurva masih tampak linier, tetapi setelah pembebanan maksimum kurva mulai tampak datar dengan beban tetap sedangkan Deformasinya mengalami peningkatan. Pada pembebanan awal sampai dengan beban P_y , kekakuan masing-masing benda uji tidak dipengaruhi oleh besarnya variasi jarak dukungan lateral (L_b), ini ditunjukkan dengan grafik yang hampir saling berhimpit. Setelah melewati beban P_y variasi jarak dukungan

lateral (L_b) mulai mempengaruhi kekakuan struktur, dimana kekakuannya menurun sampai batas beban maksimal.

Grafik hubungan beban-deformasi yang diplotkan pada Gambar (5.2), yaitu pada *dial gauge* dua, dimana *dial gauge dua* merupakan deformasi terbesar yang berada di tengah bentang balok *vierendeel*. Perhitungan beban maksimum yang mampu didukung oleh struktur secara teoritis akan lebih mendekati kenyataan bila dihitung dengan perilaku struktur balok kolom (*beam-column*)

Dari data tabel hubungan beban-deformasi dapat dipakai untuk mencari kekakuan ($k = \frac{P}{\Delta}$), sehingga akan diketahui nilai kekakuan masing-masing benda uji I sampai VI yang ditunjukkan pada Tabel (5.2).

Berdasarkan Tabel (5.2) hubungan beban-deformasi dapat diketahui bahwa beban pada benda uji I dengan $L_b = 30$ cm adalah 31,5 kN, untuk benda uji II dengan $L_b = 60$ cm didapatkan beban sebesar 31,15 kN, untuk benda uji III dengan $L_b = 90$ cm sebesar 30,80 kN, benda uji IV dengan $L_b = 120$ cm sebesar 30,275 kN, benda uji V dengan $L_b = 150$ cm sebesar 30,1 kN dan benda uji VI dengan $L_b = 300$ cm sebesar 26,25 kN. Beban yang digunakan untuk menghitung kekakuan adalah beban pada F_y , dimana baja yang dibebani mulai mengalami kondisi plastis. Semakin panjang jarak tak berpenopang lateral, maka beban yang mampu ditahan oleh balok *vierendeel* akan semakin kecil. Balok *vierendeel* dengan jarak tak berpenopang lateral yang semakin kecil secara umum akan menimbulkan kekakuan struktur yang lebih besar. Dari Tabel (5.3) yaitu untuk benda uji I dengan $L_b = 30$ cm didapat nilai kekakuan sebesar 0.913 sedangkan untuk benda uji II dengan $L_b = 60$ cm didapat nilai kekakuan 0.890, untuk benda

uji III, IV, V, dan VI dengan jarak dukungan lateral lebih besar didapat nilai kekakuan yang lebih kecil yaitu masing-masing 0.754, 0.836, 0.789, 0.760. Sebagai pembanding atau standar kekakuan balok *vierendeel* dipakai benda uji I dengan menganggap besar faktor kekakuannya sebesar 100 % dan besarnya momen maksimum pertama sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh besarnya kenaikan atau penurunan nilai faktor kekakuan atau besarnya momen dari balok *vierendeel* lainnya. Pada benda uji II sampai benda uji VI dengan jarak dukungan lateral semakin besar terjadi penurunan kekakuan dibanding benda uji I. Namun kekakuan pada benda uji III lebih kecil dibandingkan benda uji IV, V, dan VI. Hal ini mungkin disebabkan adanya kesalahan pembacaan *dial* pada saat pengujian.

2. Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Momen - Kelengkungan

Hubungan momen-kelengkungan didapat dari hasil perhitungan tiga titik diskrit pada data hubungan beban dan deformasi. Berdasarkan hasil hubungan beban-deformasi yang terjadi, maka dapat dicari faktor kekakuan (EI) dengan menggunakan hubungan momen (M) dan kelengkungan (Φ) berdasarkan Persamaan (3.35) yaitu $EI = \frac{M}{\Phi}$. Besarnya faktor kekakuan (EI) masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel (5.3).

Dari Tabel (5.3) dapat diketahui bahwa momen pada benda uji I dengan $L_b = 30$ cm sebesar 15,75 kN-m, sedangkan pada benda uji II sampai dengan benda

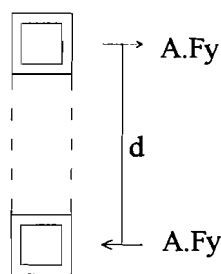
uji VI dengan jarak tak berpenopang lateral semakin besar momen yang mampu didukung oleh balok *vierendeel* mengalami penurunan.

Secara teoritis balok dengan penampang sama dan momen inersia sama akan menghasilkan faktor kekakuan EI yang sama pula. Namun pada penelitian ini didapat EI yang berbeda pada masing-masing benda uji. Hal ini terjadi karena variasi rasio L_b/r_y mempengaruhi kelengkungan dan momen maksimum yang mampu dipikul oleh balok *vierendeel*.

3. Hubungan Non Dimensional M_p/M_{cr} dan L_b/r_y

Benda uji yang dibebani akan mengalami momen. Momen pada kondisi plastis disebut momen plastis (M_p). Momen plastis diperoleh dari perhitungan teoritis dengan menggunakan penjumlahan dari kopel gaya. Mengacu pada Gambar 5.4, momen plastis perpotongan dapat dihitung dengan Persamaan (5.1) yaitu:

$$M_p = F_y \cdot A \cdot d \quad (5.1)$$

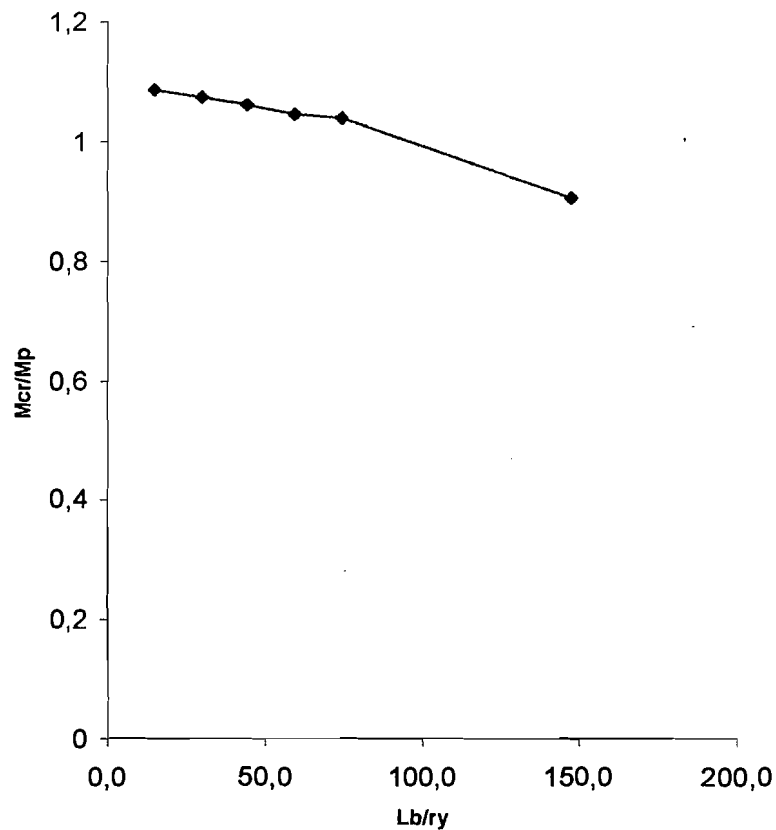


Gambar 5.5 Potongan melintang balok *Vierendeel*

Kekuatan nominal untuk penampang kompak yang secara lateral stabil yaitu profil yang memiliki rasio kerampingan cukup rendah tercapainya momen plastis M_p tergantung pada panjang tak berpenopang lateral L_b . Jarak dukungan

lateral yang besar akan menunjukkan kekuatan momen kritis M_{cr} yang dikontrol oleh tekuk puntir lateral elastis.

Dari hasil rasio antara M_p dengan M_{cr} kemudian dibandingkan dengan rasio L_b/r_y untuk mengetahui perilaku secara umum pengaruh jarak dukungan lateral pada balok *vierendeel* dapat dilihat pada Gambar (5.5).



Gambar 5.6 Grafik hubungan M_{cr}/M_p dan L_b/r_y

Dari hasil penelitian didapat bahwa dari enam variasi benda uji secara umum momen kapasitas yang mampu didukung oleh struktur semakin menurun untuk nilai L_b/r_y yang semakin besar.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan kurva hubungan beban deformasi dan momen kelengkungan, secara umum L_b/ry berpengaruh terhadap kekakuan balok *vierendeel*. Semakin jauh jarak dukungan lateral (L_b) nilai kekakuan (k) dan faktor kekakuan (EI) semakin kecil. Rasio kekakuan pada L_b/ry 150 adalah 87,5% dibandingkan L_b/ry 15.
2. Balok *vierendeel* dengan rasio L_b/ry yang semakin besar dapat memikul momen yang semakin kecil.
3. Grafik hubungan non dimensional antara M_p/M_{cr} dengan L_b/ry menunjukkan bahwa semakin besar nilai L_b/ry maka nilai M_p/M_{cr} semakin kecil dengan penurunan yang tidak signifikan. Jadi jarak dukungan lateral (L_b) tidak terlalu mempengaruhi kapasitas lentur dari balok *vierendeel*.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian ulang untuk rasio L_b/ry antara 75 sampai 150 dengan interval 10.
2. Perlu dilakukan penelitian untuk L_b/ry lebih besar dari 150.

3. Perlu dilakukan penelitian balok *vierendeel* dengan variasi batang transversal (h) dan geometri batang yang berbeda.
4. Perlu dilakukan penelitian balok *vierendeel* dengan menggunakan profil yang berbeda.
5. Perlu dilakukan penelitian balok *vierendeel* dengan membandingkan kekakuan *truss* dan *frame*.

DAFTAR PUSTAKA

Construction Steel Research and Development, 1982, **STEEL DESIGNER'S MANUAL**, Crosby Lockwood Staples London.

Chen dan Atsuta, T., 1976, **THEORY OF BEAM COLUMN**, Mc. Graw-Hill Company Inc.

Gere, James M., 1962, **DISTRIBUTION MOMENT**, Penerbit D. Vannostrand Company Inc.

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

Laboratorium Mekanika Struktur ITB, 2000, **TATA CARA PERENCANAAN STRUKTUR BAJA UNTUK BANGUNAN GEDUNG**, Kursus Singkat Perencanaan Struktur Baja, Bandung.

McCormac, Jack, 1975, **STRUCTURAL ANALYSIS**, Harper and Row Publisher, London.

PADOSBAJAYO, 1992, **PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA**, Jogjakarta.

Salmon, Charles G. dan Johnson, John E, 1994, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU** Edisi Kedua Jilid, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Taranath, Bungale S., 1988, **STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN OF TALL BUILDINGS INTERNATIONAL EDITION**, Mc. Graw-Hill Book Company.

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

LAMPIRAN 1

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID. STUDI
1	Wiwian Windasan	09 511 013	Teknik Sipil
2	Lydia Darmayanti	99 511 133	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR:

Pengaruh Jarak Pengaku Lateral Terhadap Batok Vierendeel

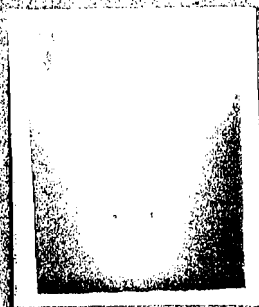
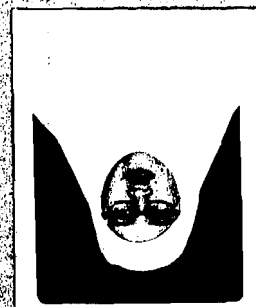
PERIODE 1 : SEPTEMBER - FEBRUARI

TAHUN : 2003 - 2004

No.	Kegiatan	Sep.	Ok.	Nov.	Des.	Jan.	Feb.
1.	Pendahuluan						
2.	Pembuatan Dosen Pembimbing						
3.	Pembuatan Proposal						
4.	Seminar Proposal						
5.	Konsultasi Penyusunan TA						
6.	Sidang Sidang						
7.	Pendahuluan						

DOSEN PEMBIMBING I
Falkhuurrohmah N. I. M.
DOSEN PEMBIMBING II
Rahmy Akbar Hala I. M.

Yogyakarta, 09-Sep-03
a.n. Dekan
I. H. Muntadhi M.T.



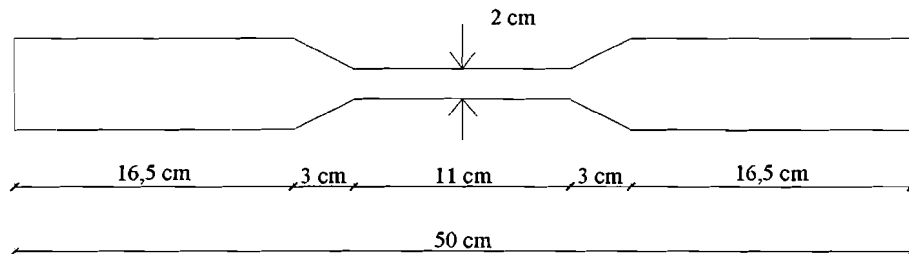
Catatan:
Seminar
Sidang
Pendahuluan

LAMPIRAN 2
HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA
DAN GESER LAS

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA DAN GESER LAS

1. Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia ini merupakan pengujian terhadap kuat tarik baja dari profil kotak 30x30x2. Adapun ukuran dari benda uji kuat tarik ini adalah sebagai berikut.



Benda Uji	P _{luluh} (kg)	P _{maks} (kg)	$F_y = \frac{\text{Beban Luluh}}{A}$ (kg/cm ²)	$F_u = \frac{\text{Beban Maksimum}}{A}$ (kg/cm ²)
1	1630	1720	4075	4300

2. Kuat Geser Las

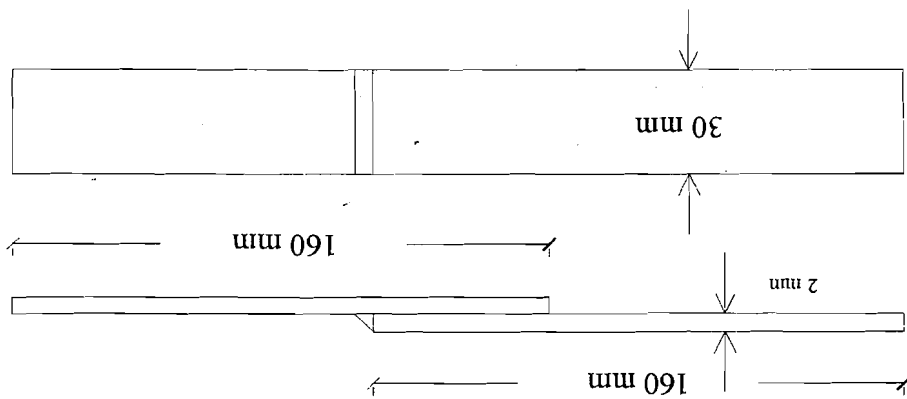
Pengujian kuat geser las dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia Jogjakarta. Hasil uji pendahuluan kuat geser las adalah sebagai berikut

L2.2

$$\sigma_{\text{residual}} = \frac{P}{Ln \times 0.707 \times a} = \frac{13800}{30 \times 0.707 \times 2} = 325,318 \text{ MPa}$$

$a = 2 \text{ mm}$

$Ln = 30 \text{ mm}$

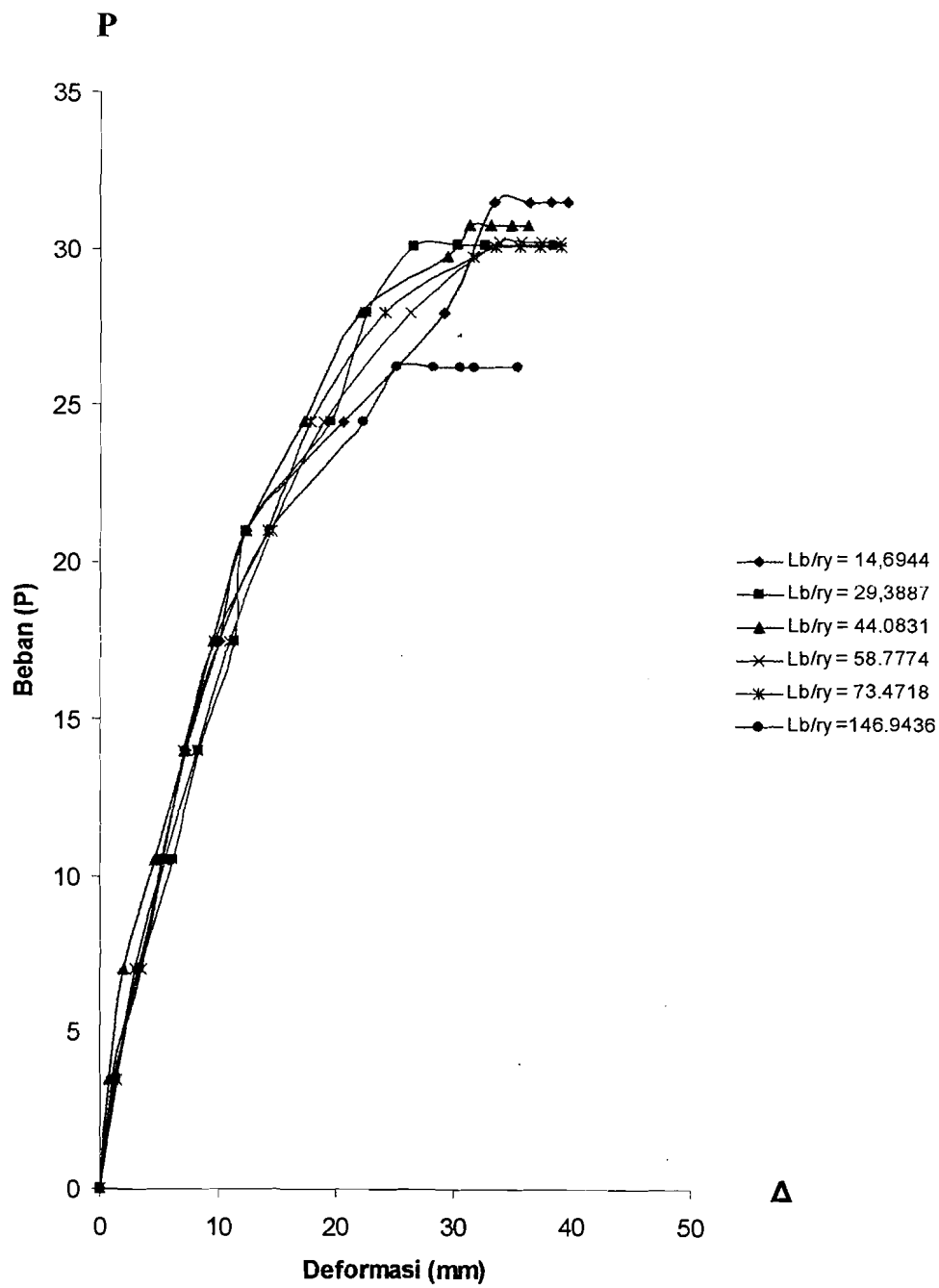


LAMPIRAN 3
HASIL PENGUJIAN KUAT LENTUR
BALOK *VERENDEEL*

Kurva Hubungan Beban Deformasi Benda Uji pada *Dial 1*

BENDA UJI 1		BENDA UJI 2		BENDA UJI 3	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	1,050	3,5	1,350	3,5	0,710
7	3,270	7	3,340	7	2,020
10,5	5,420	10,5	6,290	10,5	4,690
14	7,190	14	8,380	14	7,180
17,5	10,050	17,5	11,350	17,5	9,560
21	12,340	21	12,310	21	12,340
24,5	20,500	24,5	19,360	24,5	17,120
28	29,100	28	22,590	28	21,930
31,5	33,114	30,1	26,510	29,75	29,320
31,5	36,140	30,15	30,220	30,8	31,200
31,5	38,010	30,15	32,420	30,8	32,930
31,5	39,430	30,15	38,050	30,8	34,610
				30,8	35,998

BENDA UJI 4		BENDA UJI 5		BENDA UJI 6	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0,000	0	0,000	0	0,000
3,5	1,090	3,5	1,380	3,5	1,310
7	3,540	7	2,920	7	3,340
10,5	5,590	10,5	5,400	10,5	5,270
14	8,200	14	7,030	14	7,280
17,5	10,860	17,5	9,660	17,5	10,025
21	14,430	21	14,190	21	14,350
24,5	18,820	24,5	17,680	24,5	22,240
28	26,160	28	24,090	26,25	25,125
30,275	33,610	29,75	31,490	26,25	28,150
30,275	35,400	30,1	33,230	26,25	30,460
30,275	37,150	30,1	35,330	26,25	31,525
30,275	38,820	30,1	37,030	26,25	35,125
		30,1	38,830		

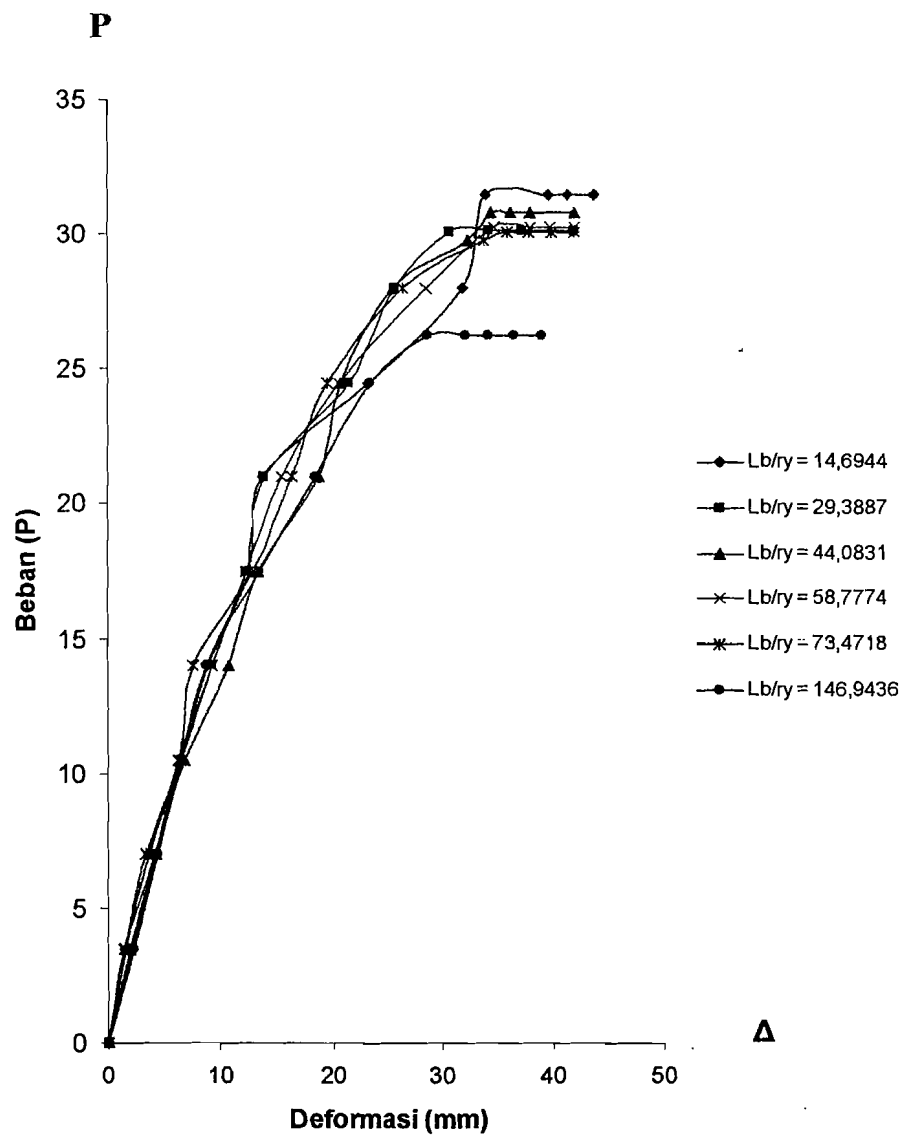


Gambar 6.1 Grafik hubungan beban deformasi *dial* 1

Kurva Hubungan Beban Deformasi Benda Uji pada *Dial 2*

BENDA UJI 1		BENDA UJI 2		BENDA UJI 3	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	1,560	3,5	2,150	3,5	2,000
7	3,625	7	4,200	7	4,250
10,5	6,520	10,5	6,510	10,5	6,735
14	8,720	14	9,150	14	10,670
17,5	12,530	17,5	12,230	17,5	13,225
21	13,680	21	13,887	21	18,650
24,5	23,210	24,5	21,380	24,5	20,680
28	31,720	28	25,665	28	25,380
31,5	33,850	30,1	30,552	29,75	32,160
31,5	39,560	30,15	34,125	30,8	34,280
31,5	41,350	30,15	37,240	30,8	36,100
31,5	43,600	30,15	42,080	30,8	37,890
				30,8	41,954

BENDA UJI 4		BENDA UJI 5		BENDA UJI 6	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0,000	0	0,000	0	0,000
3,5	1,400	3,5	1,510	3,5	2,310
7	4,090	7	3,330	7	4,380
10,5	6,230	10,5	6,250	10,5	6,510
14	9,260	14	7,530	14	8,740
17,5	12,130	17,5	12,850	17,5	13,478
21	15,350	21	16,310	21	18,388
24,5	20,490	24,5	19,420	24,5	23,280
28	28,522	28	26,390	26,25	28,556
30,275	34,655	29,75	33,788	26,25	32,128
30,275	37,940	30,1	35,870	26,25	34,225
30,275	39,780	30,1	37,800	26,25	36,450
30,275	41,965	30,1	39,840	26,25	38,960
		30,1	41,985		

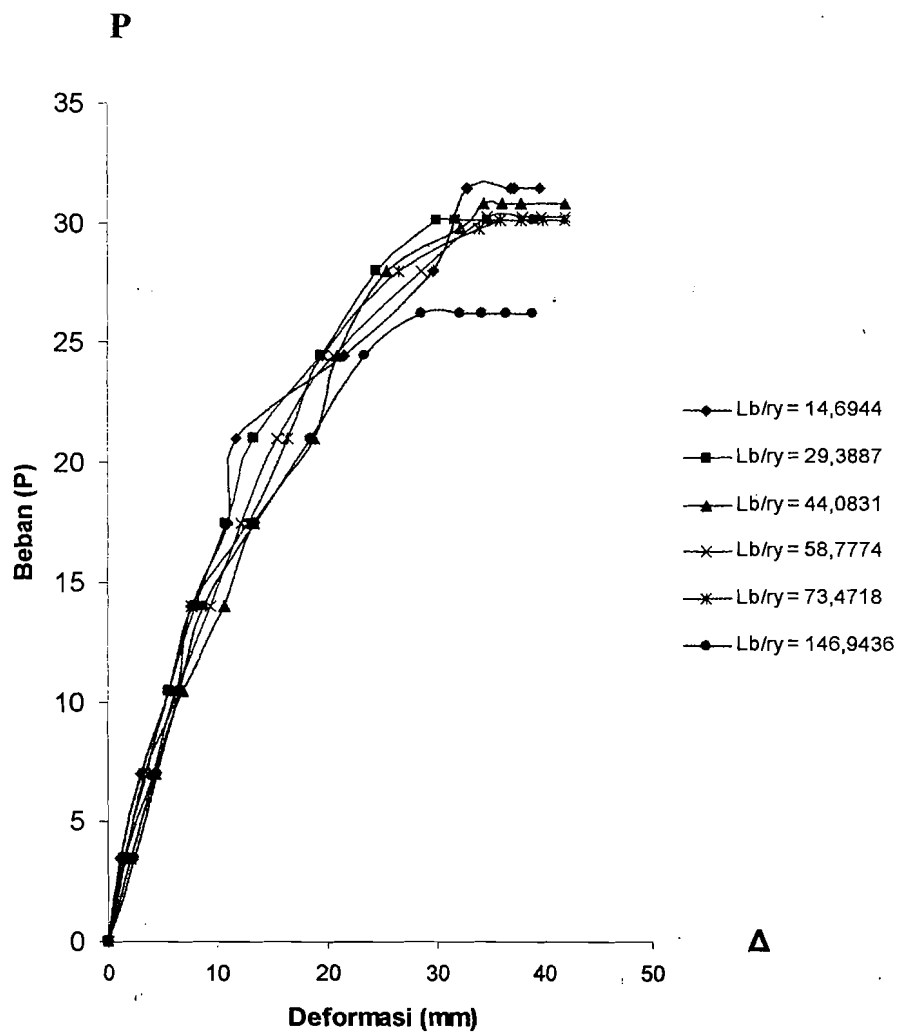


Gambar 6.2 Grafik hubungan beban deformasi *dial 2*

Kurva Hubungan Beban-Deformasi Benda Uji pada *Dial 3*

BENDA UJI 1		BENDA UJI 2		BENDA UJI 3	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	1,110	3,5	1,495	3,5	0,550
7	2,940	7	3,415	7	1,670
10,5	5,510	10,5	5,477	10,5	4,680
14	7,635	14	7,920	14	7,650
17,5	10,900	17,5	10,760	17,5	9,800
21	11,690	21	13,320	21	11,690
24,5	21,300	24,5	19,350	24,5	15,800
28	29,650	28	24,300	28	19,970
31,5	32,775	30,1	29,965	29,75	26,550
31,5	36,900	30,15	31,648	30,8	27,800
31,5	37,255	30,15	34,600	30,8	29,870
31,5	39,560	30,15	39,150	30,8	30,800
				30,8	36,500

BENDA UJI 4		BENDA UJI 5		BENDA UJI 6	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0,000	0	0,000	0	0,000
3,5	0,820	3,5	1,210	3,5	2,160
7	3,820	7	2,810	7	4,110
10,5	5,710	10,5	5,380	10,5	6,040
14	7,780	14	6,040	14	8,030
17,5	10,720	17,5	9,630	17,5	10,742
21	13,256	21	14,590	21	14,250
24,5	17,750	24,5	17,640	24,5	21,215
28	24,750	28	24,040	26,25	24,225
30,275	31,190	29,75	31,360	26,25	26,500
30,275	33,100	30,1	32,140	26,25	29,350
30,275	35,150	30,1	35,210	26,25	32,125
30,275	37,280	30,1	36,940	26,25	32,335
		30,1	37,650		

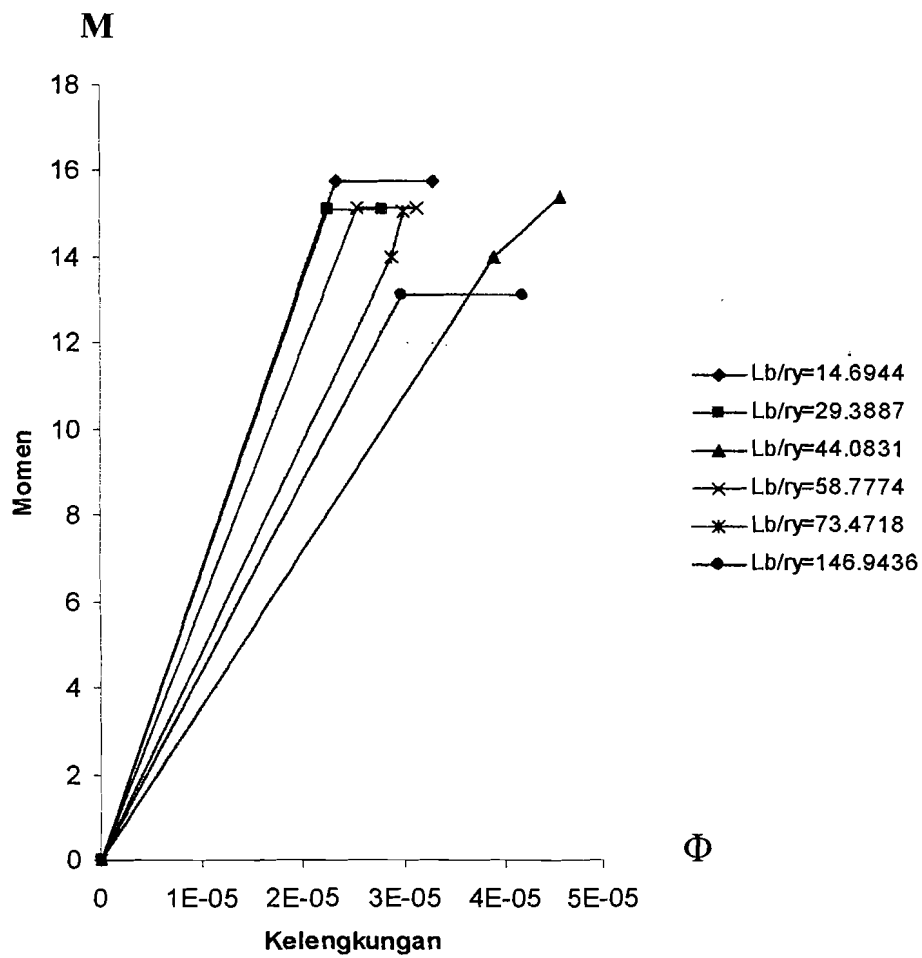


Gambar 6.3 Grafik hubungan beban deformasi *dial 3*

Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji

BENDA UJI 1		BENDA UJI 2		BENDA UJI 3	
MOMEN (kNm)	KELENGKUNGAN (1/mm)	MOMEN (kNm)	KELENGKUNGAN (1/mm)	MOMEN (kNm)	KELENGKUNGAN (1/mm)
0	0	0	0	0	0
1,75	0,00000384	1,75	0,00000582	1,75	0,00001096
3,5	0,00000416	3,5	0,00000658	3,5	0,00001924
5,25	0,00000844	5,25	0,000005012	5,25	0,0000164
7	0,00001046	7	0,000008	7	0,00002604
8,75	0,00001644	8,75	0,0000094	8,75	0,00002836
10,5	0,00001332	10,5	0,000008576	10,5	0,00005308
12,25	0,00001848	12,25	0,0000162	12,25	0,00003376
14	0,00001876	14	0,00001776	14	0,00003544
15,75	7,244E-06	15,05	0,000018516	14,875	0,0000338
15,75	0,00002432	15,075	0,000025528	15,4	0,00003824
15,75	0,00002974	15,075	0,00002984	15,4	0,0000376
15,75	0,00003284	15,075	0,00002784	15,4	0,00004148
				15,4	0,00004564

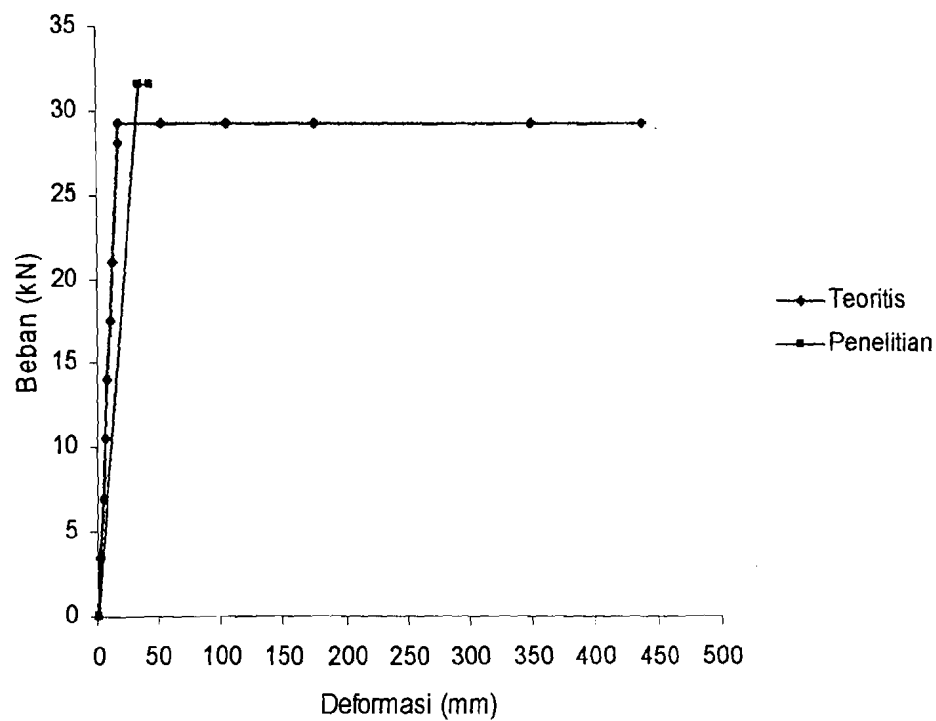
BENDA UJI 4		BENDA UJI 5		BENDA UJI 6	
MOMEN (kNm)	KELENGKUNGAN (1/mm)	MOMEN (kNm)	KELENGKUNGAN (1/mm)	MOMEN (kNm)	KELENGKUNGAN (1/mm)
0	0	0	0	0	0
1,75	0,00000356	1,75	0,00000172	1,75	0,0000046
3,5	0,00000328	3,5	0,00000372	3,5	0,00000524
5,25	0,00000464	5,25	0,00000688	5,25	0,00000684
7	0,00001016	7	7,96E-06	7	0,00000868
8,75	0,00001072	8,75	0,00002564	8,75	0,000024756
10,5	0,000012056	10,5	0,00001536	10,5	0,000032704
12,25	0,00001764	12,25	0,00001408	12,25	0,00001242
14	0,000024536	14	0,0000186	13,125	0,000031048
15,1375	0,00001804	14,875	0,000018904	13,125	0,000038424
15,1375	0,00002952	15,05	0,00002548	13,125	0,00003456
15,1375	0,00002904	15,05	0,00002024	13,125	0,000037
15,1375	0,00003132	15,05	0,00002284	13,125	0,00004184
		15,05	0,00002996		

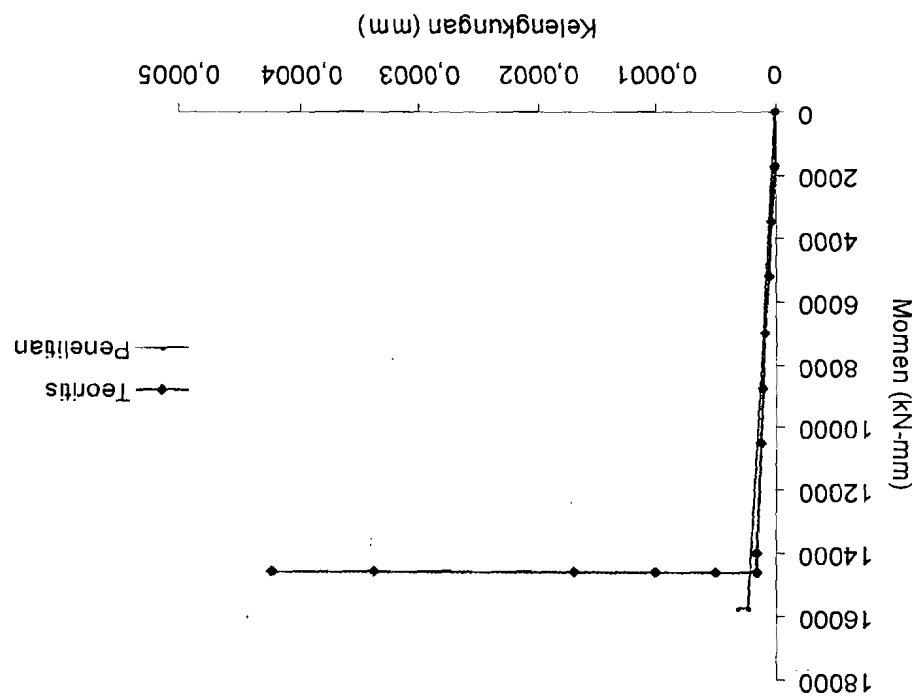


Gambar 6.4 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan

Grafik Hubungan Beban-Deformasi dan Momen-Kelengkungan
Teoritis-Penelitian Balok *Vierendeel* 1 ($L_b/r_y = 15$)

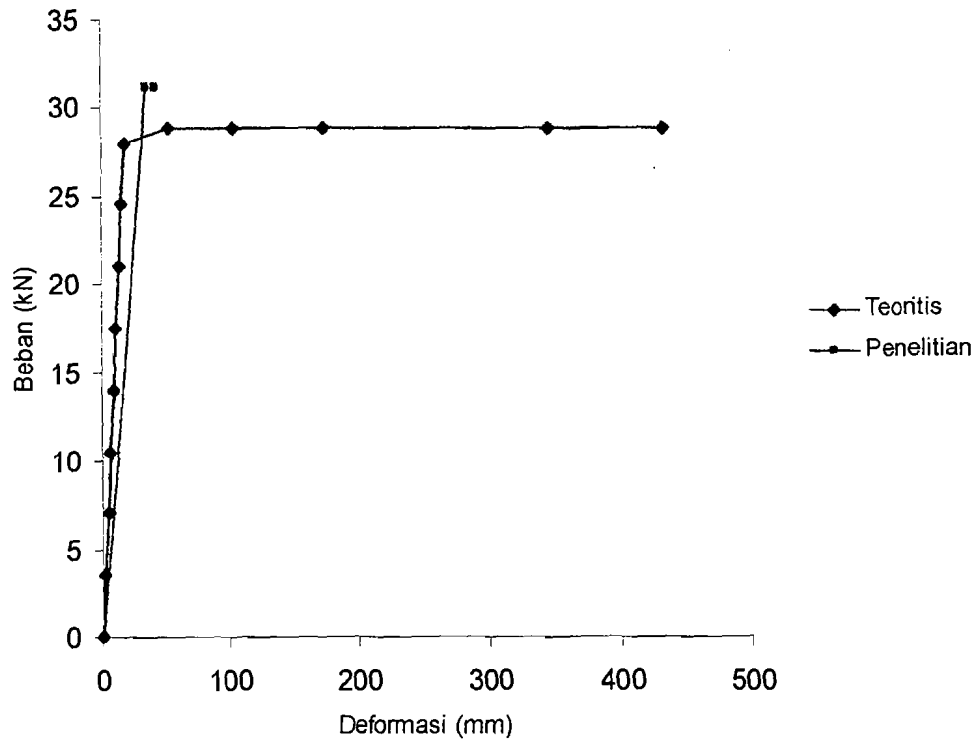
P	Dial 1	Dial 2	Dial 3	M	Φ
0	0	0	0	0	0
3,5	2,0554	2,1	2,0554	1750	3,568E-07
7	3,675	4,082	3,675	3500	3,256E-06
10,5	5,513	6,273	5,513	5250	0,00000608
14	7,351	8,364	7,351	7000	8,104E-06
17,5	9,1158	10,45	9,1158	8750	1,0674E-05
21	11,0259	12,546	11,0259	10500	1,2161E-05
28	14,6956	16,7235	14,6956	14000	1,6223E-05
29,2	15,323	17,44	15,323	14600	1,6936E-05
29,2	45,982	52,321	45,982	14600	5,0712E-05
29,2	91,964	104,642	91,964	14600	0,00010142
29,2	153,273	174,403	153,273	14600	0,00016904
29,2	306,546	348,805	306,546	14600	0,00033807
29,2	383,133	436,007	383,133	14600	0,00042299

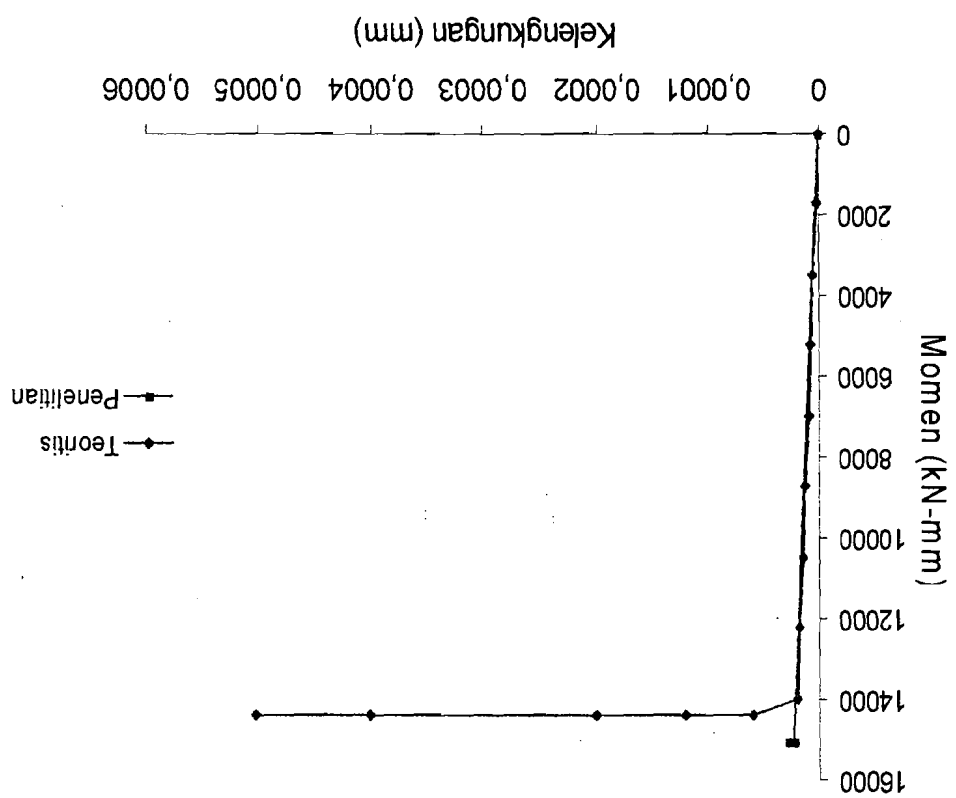




Grafik Hubungan Beban-Deformasi dan Momen-Kelengkungan
Teoritis-Penelitian Balok *Vierendeel* II ($L_b/r_y = 30$)

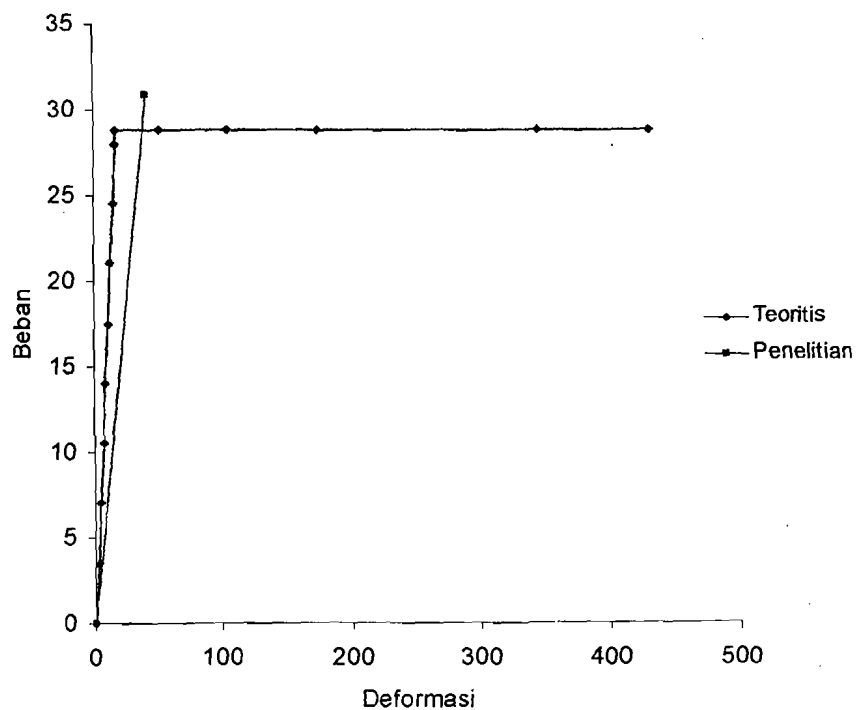
P	Dial 1	Dial 2	Dial 3	M	Φ
0	0	0	0	0	0
3,5	1,79	2,1	1,79	1750	2,48E-06
7	3,573	4,18	3,573	3500	4,86E-06
10,5	5,359	6,27	5,359	5250	7,29E-06
14	7,146	8,362	7,146	7000	9,73E-06
17,5	8,93	10,45	8,93	8750	1,22E-05
21	10,72	12,54	10,72	10500	1,46E-05
24,5	12,505	14,63	12,505	12250	0,000017
28	14,29	16,72	14,29	14000	1,94E-05
28,8	44,1	51,6	44,1	14400	0,00006
28,8	88,2	103,21	88,2	14400	0,00012
28,8	147,005	172,01	147,005	14400	0,0002
28,8	294,01	344,03	294,01	14400	0,0004
28,8	367,51	430,03	367,51	14400	0,0005

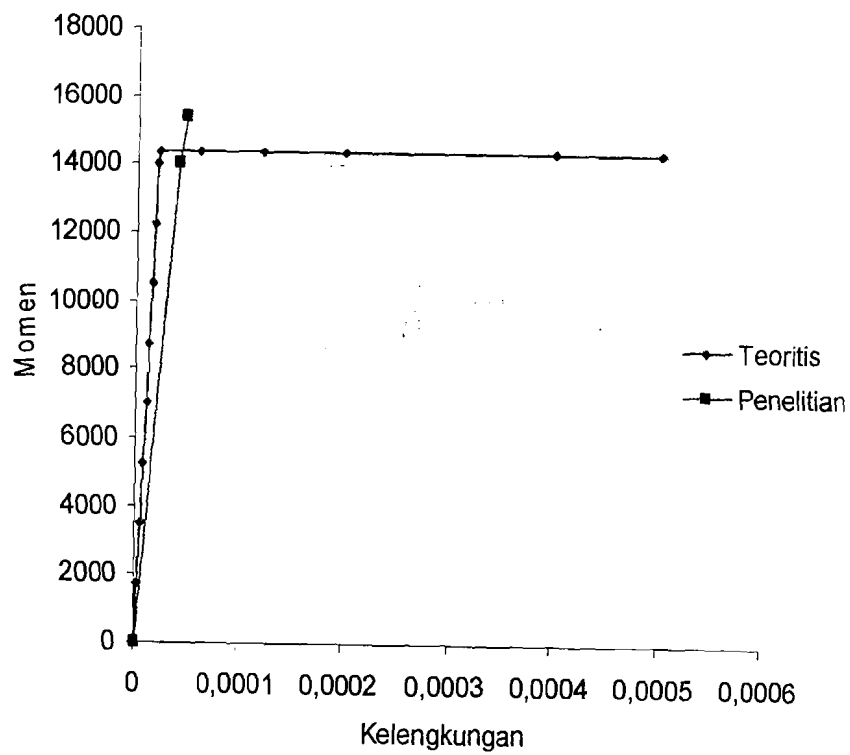




Grafik Hubungan Beban-Deformasi dan Momen-Kelengkungan
Teoritis-Penelitian Balok *Vierendeel* III ($L_b/r_y = 44$)

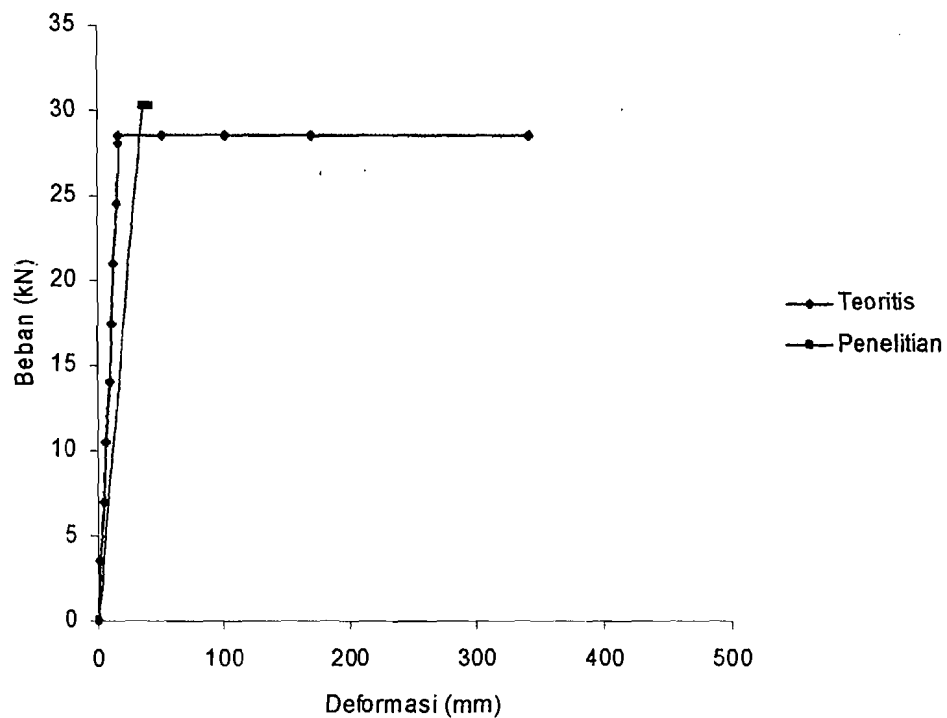
P	Dial 1	Dial 2	Dial 3	M	Φ
0	0	0	0	0	0
3,5	1,79	2,1	1,79	1750	2,48E-06
7	3,574	4,18	3,574	3500	4,85E-06
10,5	5,36	6,273	5,36	5250	7,3E-06
14	7,148	8,364	7,148	7000	9,73E-06
17,5	8,935	10,455	8,935	8750	1,22E-05
21	10,72	12,55	10,72	10500	1,46E-05
24,5	12,51	14,64	12,51	12250	1,7E-05
28	14,296	16,73	14,296	14000	1,95E-05
28,8	14,7	17,2	14,7	14400	0,00002
28,8	44,1	51,6	44,1	14400	0,00006
28,8	88,2	103,21	88,2	14400	0,00012
28,8	147,005	172,01	147,005	14400	0,0002
28,8	294,01	344,03	294,01	14400	0,0004
28,8	367,51	430,03	367,51	14400	0,0005

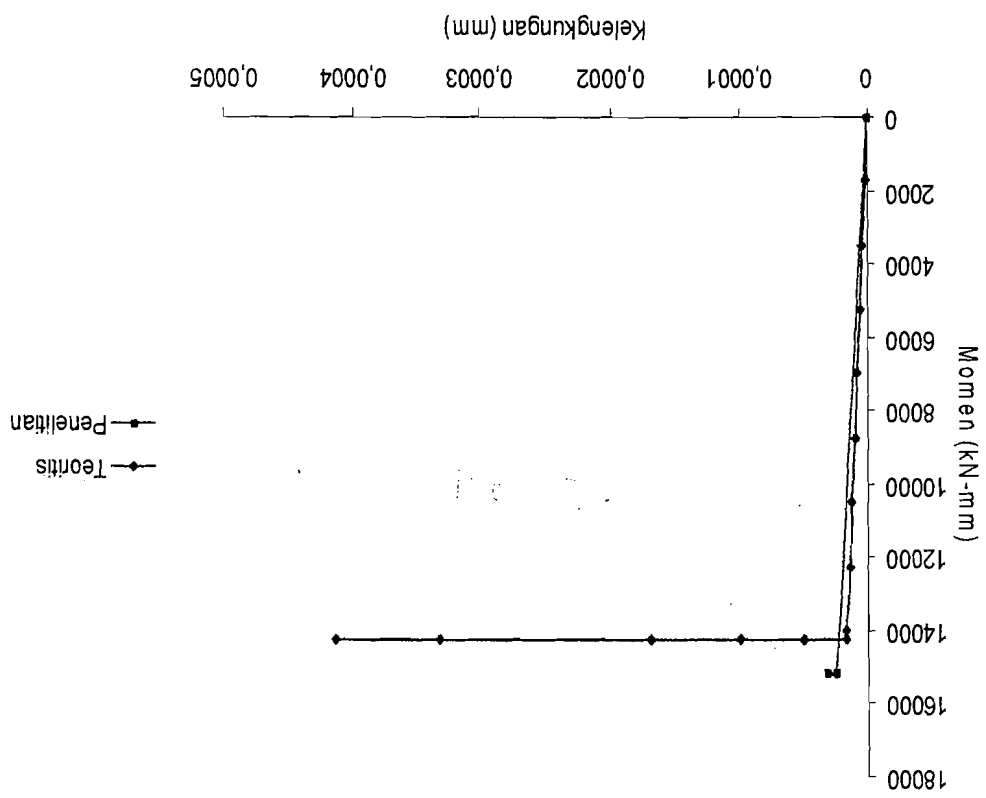




Grafik Hubungan Beban-Deformasi dan Momen-Kelengkungan
Teoritis-Penelitian Balok *Vierendeel* IV ($L_b/r_y = 59$)

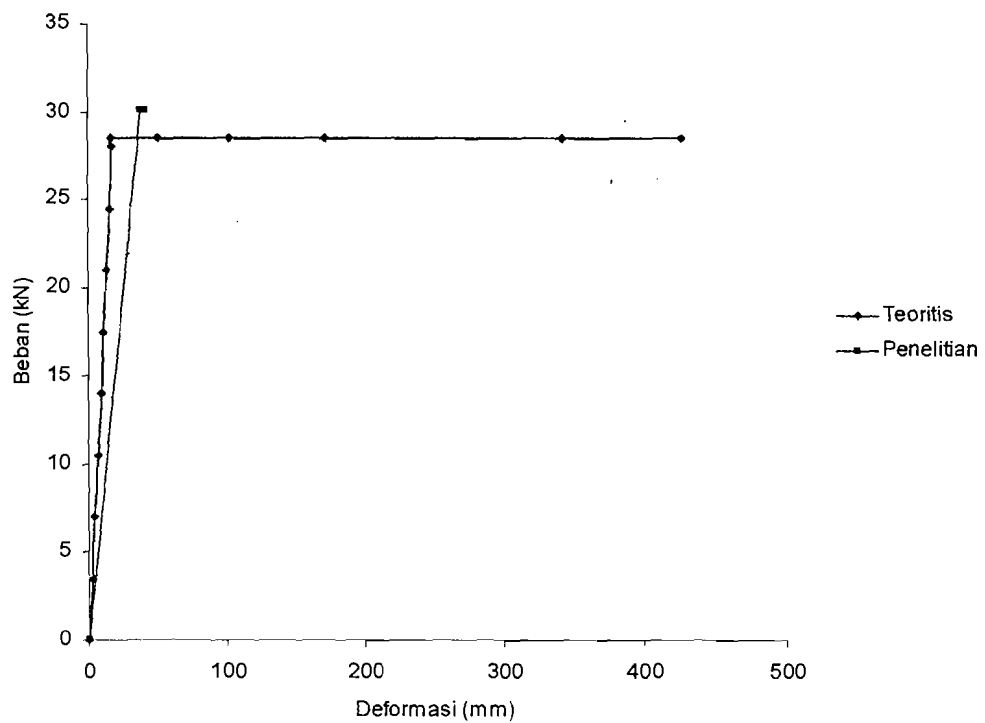
P	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3	M	Φ
0	0	0	0	0	0
3,5	1,8372	2,0904	1,8372	1750	2,03E-06
7	3,674	4,181	3,674	3500	4,06E-06
10,5	5,512	6,271	5,512	5250	6,07E-06
14	7,348	8,3618	7,348	7000	8,11E-06
17,5	9,186	10,452	9,186	8750	1,01E-05
21	11,023	12,5427	11,023	10500	1,22E-05
24,5	12,8603	14,633	12,8603	12250	1,42E-05
28	14,697	16,7235	14,697	14000	1,62E-05
28,5	14,9599	17,0222	14,9599	14250	1,65E-05
28,5	44,8796	51,0665	44,8796	14250	4,95E-05
28,5	89,7593	102,1332	89,7593	14250	9,9E-05
28,5	149,1987	170,2217	149,1987	14250	0,000168
28,5	299,1973	340,4435	299,1973	14250	0,00033
28,5	373,996	425,5544	373,996	14250	0,000412

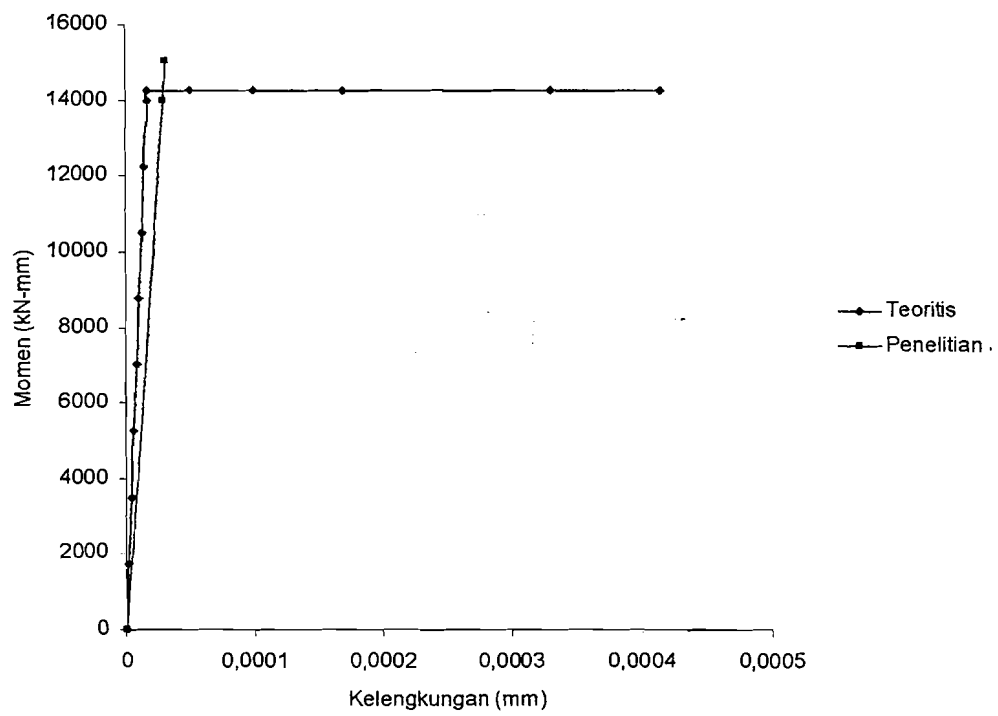




Grafik Hubungan Beban-Deformasi dan Momen-Kelengkungan
Teoritis-Penelitian Balok *Vierendeel* V ($L_b/r_y = 74$)

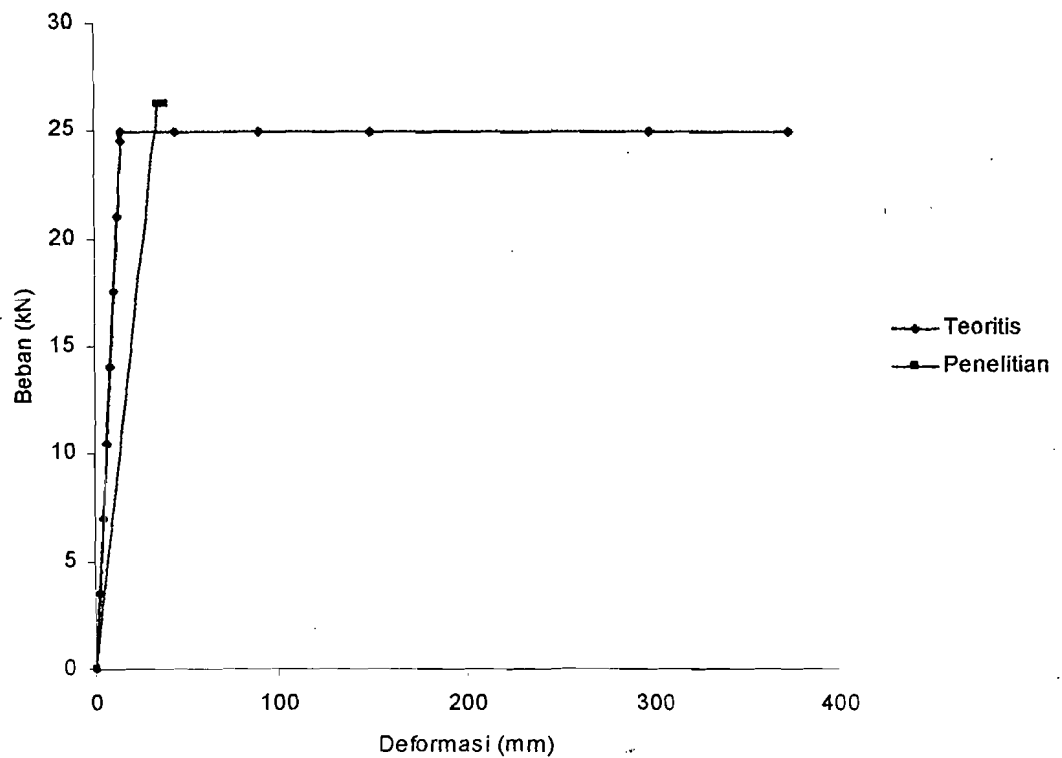
P	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3	M	Φ
0	0	0	0	0	0
3,5	1,8372	2,0904	1,8372	1750	2,03E-06
7	3,674	4,181	3,674	3500	4,06E-06
10,5	5,512	6,271	5,512	5250	6,07E-06
14	7,348	8,3618	7,348	7000	8,11E-06
17,5	9,186	10,452	9,186	8750	1,01E-05
21	11,023	12,5427	11,023	10500	1,22E-05
24,5	12,8603	14,633	12,8603	12250	1,42E-05
28	14,697	16,7235	14,697	14000	1,62E-05
28,5	14,9599	17,0222	14,9599	14250	1,65E-05
28,5	44,8796	51,0665	44,8796	14250	4,95E-05
28,5	89,7593	102,1332	89,7593	14250	9,9E-05
28,5	149,1987	170,2217	149,1987	14250	0,000168
28,5	299,1973	340,4435	299,1973	14250	0,00033
28,5	373,996	425,5544	373,996	14250	0,000412

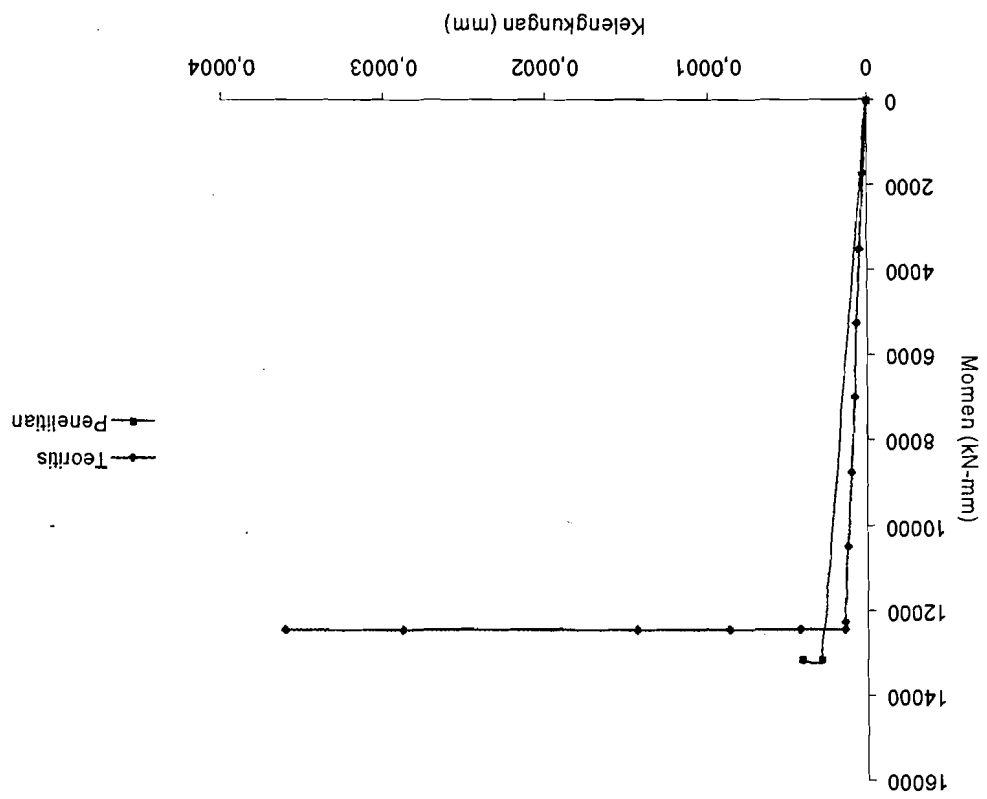




Grafik Hubungan Beban-Deformasi dan Momen-Kelengkungan
Teoritis-Penelitian Balok *Vierendeel* VI ($L_b/r_y = 150$)

P	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3	M	Φ
0	0	0	0	0	0
3,5	1,8377	2,091	1,8377	1750	2,0264E-06
7	3,6753	4,182	3,6753	3500	4,0536E-06
10,5	5,513	6,273	5,513	5250	0,00000608
14	7,35065	8,3639	7,35065	7000	8,106E-06
17,5	9,1882	10,4549	9,1882	8750	1,01336E-05
21	11,0259	12,5459	11,0259	10500	0,00001216
24,5	12,8636	14,6369	12,8636	12250	1,41864E-05
24,9	13,0736	14,8759	13,0736	12450	1,44184E-05
24,9	39,2106	44,616	39,2106	12450	4,32432E-05
24,9	78,4213	89,2321	78,4213	12450	8,64864E-05
24,9	130,7022	148,7201	130,7022	12450	0,000144143
24,9	261,404	297,4401	261,404	12450	0,000288289
24,9	326,755	371,8002	326,755	12450	0,000360362





HASIL PENGUJIAN BALOK VIERENDEEL DIAL GAUGE 1

BENDA UJI 1		BENDA UJI 2		BENDA UJI 3	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	1,050	3,5	1,350	3,5	0,710
7	3,270	7	3,340	7	2,020
10,5	5,420	10,5	6,290	10,5	4,690
14	7,190	14	8,380	14	7,180
17,5	10,050	17,5	11,350	17,5	9,560
21	12,340	21	12,310	21	12,340
24,5	20,500	24,5	19,360	24,5	17,120
28	29,100	28	22,590	28	21,930
31,5	33,114	30,1	26,510	29,75	29,320
31,5	36,140	30,15	30,220	30,8	31,200
31,5	38,010	30,15	32,420	30,8	32,930
31,5	39,430	30,15	38,050	30,8	34,610
				30,8	35,998

BENDA UJI 4		BENDA UJI 5		BENDA UJI 6	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	1,090	3,5	1,380	3,5	1,310
7	3,540	7	2,920	7	3,340
10,5	5,590	10,5	5,400	10,5	5,270
14	8,200	14	7,030	14	7,280
17,5	10,860	17,5	9,660	17,5	10,075
21	14,430	21	14,190	21	14,350
24,5	18,820	24,5	17,680	24,5	22,240
28	26,160	28	24,090	26,25	25,125
30,275	33,610	29,75	31,490	26,25	28,150
30,275	35,400	30,1	33,230	26,25	30,460
30,275	37,150	30,1	35,330	26,25	31,525
30,275	38,820	30,1	37,030	26,25	35,125
		30,1	38,820		

Jogjakarta,

Kepala Lab. Struktur

(Ir. Fatkhurrohman N.MT)

Mengetahui
Laboran

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK

(Aris Sunanto)

HASIL PENGUJIAN BALOK VIERENDEEL DIAL GAUGE 2

BENDA UJI 1		BENDA UJI 2		BENDA UJI 3	
Beban	Deformasi	Beban	Deformasi	Beban	Deformasi
(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	1,560	3,5	2,150	3,5	2,00
7	3,625	7	4,200	7	4,250
10,5	6,520	10,5	6,510	10,5	6,735
14	8,720	14	9,150	14	10,670
17,5	12,530	17,5	12,230	17,5	13,225
21	13,680	21	13,887	21	18,650
24,5	23,210	24,8	21,380	24,5	20,680
28	31,720	28	25,665	28	25,380
31,5	33,850	30,1	30,552	29,75	32,160
31,5	39,560	30,15	34,125	30,8	34,280
31,5	41,350	30,15	37,240	30,8	36,100
31,5	43,600	30,15	42,080	30,8	37,890
				30,8	41,954

BENDA UJI 4		BENDA UJI 5		BENDA UJI 6	
Beban	Deformasi	Beban	Deformasi	Beban	Deformasi
(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	1,400	3,5	1,510	3,5	2,310
7	4,090	7	3,330	7	4,380
10,5	6,230	10,5	6,250	10,5	6,6510
14,5	9,260	14	7,530	14	8,740
17,5	12,130	17,5	12,850	17,5	13,478
21	15,350	21	16,310	21	18,388
24,5	20,490	24,5	19,420	24,5	23,280
28	28,552	28	26,390	28,25	28,556
30,235	34,655	29,75	33,788	26,25	32,128
30,275	37,940	30,1	35,820	26,25	34,225
30,275	39,780	30,1	37,600	26,25	36,450
30,275	41,965	30,1	39,840	26,25	38,960
		30,1	41,985		

Jogjakarta,

Kepala Lab.Struktur

(Ir. Fatkhurrohman N.MT)

Mengetahui
Laboran

**LABORATORIUM
BINA KONSISTENSI TEKNIK
FACULTAS TEKNIK**

[Signature]

(Aris Sunanto)

HASIL PENGUJIAN BALOK VIERENDEEL DIAL GAUGE 3

BENDA UJI 1		BENDA UJI 2		BENDA UJI 3	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	1,110	3,5	1,495	3,5	0,500
7	2,940	7	3,415	7	1,670
10,5	5,510	10,5	5,477	10,5	4,680
14	7,635	14	7,920	14	7,650
17,5	10,900	17,5	10,760	17,5	9,800
21	11,690	21	13,320	21	11,690
24,5	21,300	24,5	19,350	24,5	15,800
28	29,650	28	24,300	28	19,970
31,5	32,775	30,1	29,965	29,75	26,550
31,5	36,900	30,15	31,648	30,8	27,800
31,5	37,255	30,15	34,600	30,8	29,270
31,5	39,560	30,15	39,150	30,8	30,800
				30,8	36,500

BENDA UJI 4		BENDA UJI 5		BENDA UJI 6	
Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)	Beban (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	0,820	3,5	1,210	3,5	2,160
7	3,820	7	2,810	7	4,110
10,5	5,710	10,5	5,380	10,5	6,040
14	7,780	14	6,040	14	8,030
17,5	10,720	17,5	9,630	17,5	10,742
21	13,256	21	14,590	21	14,250
24,5	17,750	24,5	17,640	24,5	21,215
28	24,750	28	24,040	26,25	24,225
30,275	31,190	29,75	31,360	26,25	26,500
30,275	33,100	30,1	32,140	26,25	29,350
30,275	35,150	30,1	35,210	26,25	32,125
30,275	37,280	30,1	36,940	26,25	32,335
		30,1	37,650		

Jogjakarta,

Kepala Lab.Struktur

(Ir. Fatkhurrohman N.MT)

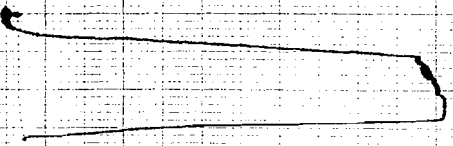
Mengetahui

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK

(Aris Sunanto)

Grafik Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Tarik Baja



LABORATORIUM

BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

FAKULTAS TEKNIK

Grafik Hasil Uji Kuat Geser Las

Uj. Las

LABORATORIUM

REKONSTRUKSI TEKNIK

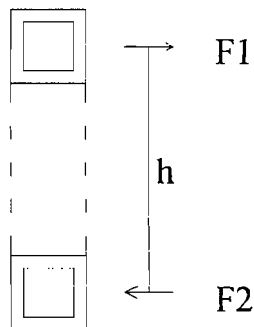
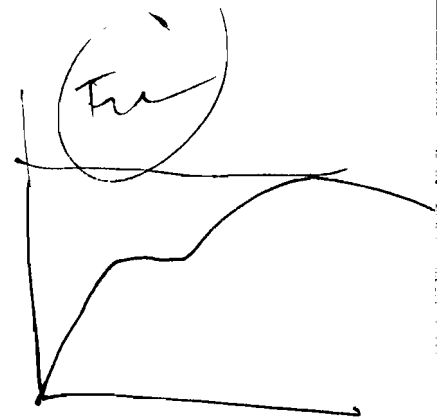
FAKULTAS TEKNIK ISI

PERHITUNGAN RENCANA

LAMPIRAN 4

PERHITUNGAN RENCANA

1. Tegangan Bahan Profil kotak (30x30x2)



$$F_{cr1} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2) \left(\frac{b}{t_f} \right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 4 \text{ pada sayap}$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{30}{2} \right)^2}$$

$$= 3210,3 \text{ Mpa} > F_y = 240 \text{ Mpa (dipakai } F_{cr} = 240 \text{ Mpa)}$$

$$F_{cr2} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2) \left(\frac{h}{t_w} \right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 4 \text{ pada badan}$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{12(1-0,3^2) \left(\frac{30}{2} \right)^2}$$

$$= 3210,3 \text{ Mpa} > F_y = 240 \text{ Mpa (dipakai } F_{cr} = 240 \text{ Mpa)}$$

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

$$= 240 \times 224$$

$$= 53760 \text{ N} = 53.760 \text{ kN}$$

$$M_n = P_{cr} \cdot h$$

$$= 53.760 \cdot (0.3)$$

$$= 16.128 \text{ kNm}$$

$$M = 1/6 P \cdot L$$

$$P = \frac{6M}{L} = \frac{6 \times 16.128}{3} = 32.256 \text{ kN} \approx 32 \text{ kN}$$

$$P_1 = P_2 = \frac{32}{2} = 16 \text{ kN}$$

2. Kapasitas Penampang

2.1 Kapasitas Batang Tekan Profil

Batang Tekan AISC

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

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

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

Keterangan : λ = kelangsingan batang

l = panjang batang

k = faktor panjang efektif dengan kondisi tumpuan

r_{min} = jari-jari girasi minimum

Syarat kelangsingan :

$$\frac{kL}{r} > C_c, \text{ terjadi tekuk elastis } \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(kL/r)^2}$$

$$\frac{kL}{r} < C_c, \text{ terjadi tekuk inelastic } \sigma_{cr} = F_y \left[1 - \frac{(kL/r)^2}{2C_c^2} \right] < 0,6F_y$$

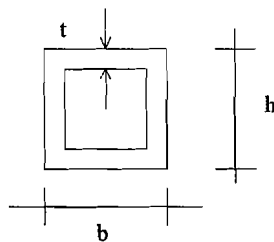
Kelangsingan kritis dengan pengaku = C_c

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

Kekuatan desak kritis profil

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A$$

Baja profil yang digunakan adalah baja profil kotak (30x30x2)

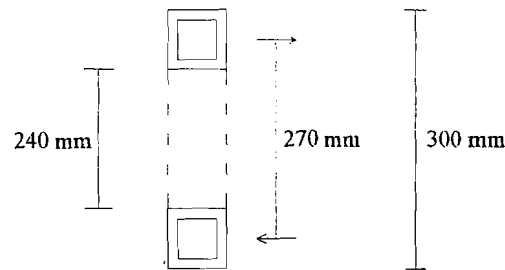


Keterangan :

b = lebar mm = 30 mm

h = tinggi mm = 30 mm

t = tebal mm = 2 mm



$$A = 2((30 \times 2) + (26 \times 2))$$

$$= 224 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 + A d^2$$

$$I_x = 2 \left(\left(\frac{1}{12} \times 30 \times 2^3 + 60 \times 14^2 \right) + \left(\frac{1}{12} \times 2 \times 26^3 + 52 \times 0^2 \right) \right)$$

$$= 29418,667$$

$$I_x(\text{vierendeel}) = 2 \cdot I_x + A \cdot d^2$$

$$= 2 \cdot 29418,667 + 224 \cdot 135^2$$

$$= 4141237,334 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 2 \left(\left(\frac{1}{12} \times 30 \times 2^3 + 60 \times 0^2 \right) + \left(\frac{1}{12} \times 2 \times 26^3 + 52 \times 14^2 \right) \right)$$

$$= 26282,667 \text{ mm}^4$$

$$I_y(\text{vierendeel}) - 2 \cdot I_x = 2 \cdot 26282,667 = 52565,333 \text{ mm}^4$$

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{52565,332}{224}} = 11,46$$

$$\frac{kL}{r} = \frac{0,5 \times 300}{11,46} = 13,089$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2 \times 10^5}{240}} = 128.2$$

$$\frac{kL}{r} < C_c$$

termasuk kolom pendek, sehingga

$$\sigma_{cr} = F_y \left[1 - \frac{(kL/r)^2}{2C_c^2} \right] = 240 \left[1 - \frac{13,089^2}{2 \times 128.2^2} \right] = 238,749 \text{ MPa}$$

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A = 238,749 \times 224 = 53.479,776 \text{ N} = 53,479 \text{ kN}$$

2.2 Kapasitas Batang Tarik Profil kotak (30x30x2)

$$F_y = 240 \text{ Mpa} = 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 430 \text{ Mpa} = 430 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_e = C_t \cdot A_n = 1 \cdot 2,24 = 2,24 \text{ cm}^2$$

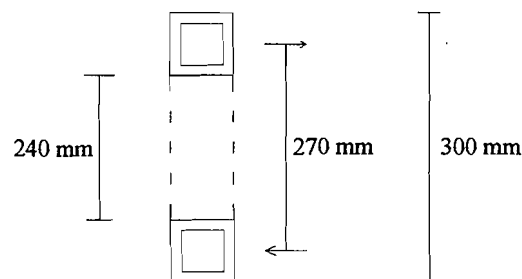
$$T = 0.9 F_y \cdot A_g = 0.9 \cdot 240 \cdot 2,24 = 483,84 \text{ kg} = 0,484 \text{ ton}$$

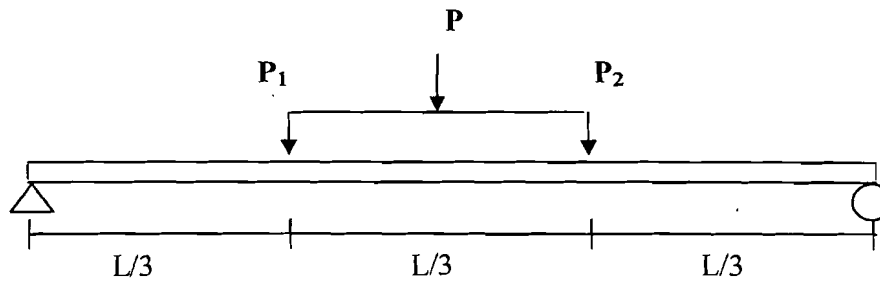
$$T = 0.75 F_u \cdot A_e = 0.75 \cdot 430 \cdot 2,24 = 722,4 \text{ kg} = 0,722 \text{ ton}$$

Jadi kapasitas batang tarik profil kotak(30x30x2) adalah 484 kg (yang terkecil)

4. Menghitung Lendutan Benda Uji Dipandang Sebagai Balok Sederhana

Dimensi profil : kotak (30x30x2)





$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$P = 16 \text{ KN}$$

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\max} &= \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{648 \cdot E \cdot I} \\ &= \frac{23 \cdot 16 \cdot 10^3 \cdot (3000)^3}{648 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 4234725,334} \\ &= 17.242 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. Menghitung M_{cr}

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 C_w I_y + E I_y G J}$$

dimana : C_w = konstanta warping torsi, mm^6

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$$

E = modulus elastisitas, MPa

G = modulus geser

J = konstanta torsi, mm^4

I_y = momen inersia terhadap sumbu y, mm⁴

L_b = panjang tak berpenopang lateral, mm

$$C_w = \frac{I_y h^2}{4} \quad \text{dimana} \quad I_y = \text{momen inersia terhadap sumbu y, mm}^4$$

$$I_y = A r_y^2$$

h = jarak antara pusat flens, mm

$$C_w = \frac{52565,332 \cdot 270^2}{4} = 958003175,7 \text{ mm}^6$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t_i^3$$

$$J = \frac{1}{3} ((30 \cdot 2^3) + (26 \cdot 2^3)) 4 = 597,333$$

$$Mp = A \cdot F_y \cdot d$$

$$Mp = 224 \cdot 240 \cdot 270 = 14515200$$

a. Untuk $L_b = 30 \text{ cm}$

$$M_{cr} = 1 \frac{3.14}{300} \sqrt{\left(\frac{3.14 \times 2.1 \times 10^5}{300} \right)^2 (958003175,7 \times 105130,664) + (2.1 \times 10^5 \times 105130,664 \times 80769 \times 597,333)}$$
$$= 163434632.5920$$

b. Untuk $L_b = 60 \text{ cm}$

$$M_{cr} = 1 \frac{3.14}{300} \sqrt{\left(\frac{3.14 \times 2.1 \times 10^5}{600} \right)^2 (958003175,7 \times 105130,664) + (2.1 \times 10^5 \times 105130,664 \times 80769 \times 597,333)}$$
$$= 40992309,7473$$

c. Untuk Lb = 90 cm

$$M_{cr} = 1 \frac{3.14}{300} \sqrt{\left(\frac{3.14 \times 2.1 \times 10^5}{900} \right)^2 (958003175,7 \times 105130,664) + (2.1 \times 10^5 \times 105130,664 \times 80769 \times 597,333)}$$
$$= 18317377,4591$$

d. Untuk Lb = 120 cm

$$M_{cr} = 1 \frac{3.14}{300} \sqrt{\left(\frac{3.14 \times 2.1 \times 10^5}{1200} \right)^2 (958003175,7 \times 105130,664) + (2.1 \times 10^5 \times 105130,664 \times 80769 \times 597,333)}$$
$$= 10380653,6087$$

e. Untuk Lb = 150 cm

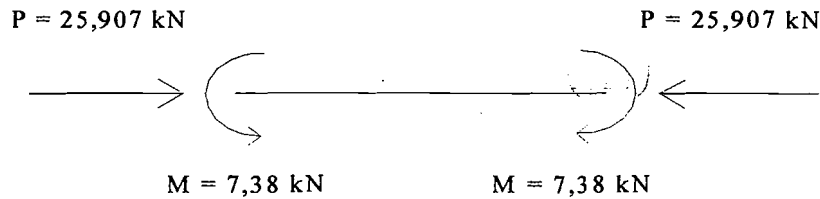
$$M_{cr} = 1 \frac{3.14}{300} \sqrt{\left(\frac{3.14 \times 2.1 \times 10^5}{1500} \right)^2 (958003175,7 \times 105130,664) + (2.1 \times 10^5 \times 105130,664 \times 80769 \times 597,333)}$$
$$= 6706550,4414$$

e. Untuk Lb = 300 cm

$$M_{cr} = 1 \frac{3.14}{300} \sqrt{\left(\frac{3.14 \times 2.1 \times 10^5}{3000} \right)^2 (958003175,7 \times 105130,664) + (2.1 \times 10^5 \times 105130,664 \times 80769 \times 597,333)}$$
$$= 1802413,4340$$

7. Perhitungan Balok-Kolom

Benda Uji 1 Lb/ry = 15



☛ Tegangan yang terjadi

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{25,907 \cdot 10^3}{224} = 115.656 \text{ Mpa}$$

$$f_{b_x} = \frac{M_x}{S_x} = \frac{7,38 \cdot 10^3}{1961} = 3,76 \text{ Mpa}$$

☛ Tegangan ijin desak aksial (F_a)

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,69 \cdot 300}{11,46} = 18,06 < C_c = \frac{1986}{\sqrt{F_y}} = 128,26$$

$$F_S = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^3$$

$$F_S = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{18,06}{128,26} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{18,06}{128,26} \right)^3 = 1,72$$

$$F_a = \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}{2C_c^2} \right] \frac{F_y}{F_S} = \left[1 - \frac{18,06^2}{2 \cdot 128,26^2} \right] \frac{240}{1,72} = 139,458 \text{ Mpa}$$

⚙ Tegangan Lentur ijin (F_b)

$$\frac{200bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{200.300}{\sqrt{240}} = 3872,98 \text{ mm} \rightarrow L_u$$

$$\frac{132000}{\left(\frac{d}{A_f}\right)^{F_y}} = \frac{132000}{\left(\frac{300}{120}\right)^{240}} = 220 \text{ mm} \rightarrow L_c$$

$$L_b = 300 \text{ mm} \quad L_c < L_b < L_u \quad F_{b_x} = 0,6F_y = 0,6.240 = 144 \text{ Mpa}$$

$$F_{b_y} = 0,75F_y = 0,75.240 = 180 \text{ Mpa}$$

⚙ Rumus Interaksi Balok-Kolom

$$\frac{fa}{Fa} = \frac{115.656}{139.458} = 0,829 > 0,15$$

$$Fe'_x = \frac{12}{23} \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{12}{23} \frac{3,14^2 \cdot 200000}{18,06^2} = 3154,33$$

$$\frac{fa}{Fe'_x} = \frac{115,656}{3154,33} = 0,0366$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 \quad C_m = 0,6 - 0,4 \frac{7,38}{7,38} = 0,2 < 0,4$$

$$C_m = 0,4$$

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{C_{m_x} \cdot f_{b_x}}{\left(1 - \frac{fa}{Fe'_x}\right) F_{b_x}} + \frac{C_{m_y} \cdot f_{b_y}}{\left(1 - \frac{fa}{Fe'_y}\right) F_{b_y}} \leq 1,0$$

$$0,829 + \frac{0,4 \cdot 3,76}{(1 - 0,0366) 144} \leq 1,0$$

$$= 0,8398 < 1,0 \rightarrow \text{Aman}$$

Tabel Perhitungan Balok-Kolom Balok *Vierendeel* I ($L_b/r_y = 15$)

Frame	My	Mx	P	fa	fbx	fby	k	FS	Fa	Fbx	Fby	Fe'x	Interaksi
AKA1	66,35369	66,35369	4,435556	19,80159	33,83666	33,83665987	0,73	1,722126	137,81577	144	180	2817,239	0,314062
AKA2	60,99379	60,99379	11,76855	52,53817	31,10341	31,10341152	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,538254
AKA3	58,76385	58,76385	19,23837	85,88558	29,96627	29,96626721	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,77539
AKA4	31,17723	31,17723	24,84547	110,9173	15,89864	15,89863845	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,884853
AKA5	7,38048	7,38048	25,90685	115,6556	3,763631	3,763630801	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,856277
BAK1	66,713	66,713	4,435556	19,80159	34,01989	34,01988781	0,8	1,727353	137,08879	144	180	2345,792	0,315991
BAK2	58,44974	58,44974	11,76855	52,53817	29,80609	29,80608873	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,531658
BAK3	72,83513	72,83513	19,23837	85,88558	37,14183	37,1418307	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,812272
BAK4	28,88941	28,88941	24,84547	110,9173	14,73198	14,73197858	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,878807
BAK5	10,17458	10,17458	25,90685	115,6556	5,188465	5,188465069	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,863673
TKA1	66,35369	66,35369	3,917528	17,48896	33,83666	33,83665987	0,8	1,727353	137,08879	144	180	2345,792	0,298028
TKA2	110,0551	110,0551	7,84E-02	0,349837	56,12193	56,12192759	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,283172
TKA3	112,7794	112,7794	0,3597169	1,605879	57,51117	57,51116777	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,299321
TKA4	88,40592	88,40592	3,043446	13,58681	45,08206	45,08206017	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,324683
TKA5	18,71483	18,71483	1,437398	6,416955	9,543514	9,543513514	0,69	1,719129	138,2212	144	180	3153,343	0,09424

HASIL ANALISIS SAP 2000

LAMPIRAN 5

**Gaya Batang Setiap Elemen Benda Uji I (Lb/ry = 14,6944)
Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban P = 31,50 kN**

FRAME	STATION	P	V2	M3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TA1	0	4,459748E-16	-1,564027E-14	-2,350342E-13
TA1	15	4,459748E-16	-1,564027E-14	-4,302114E-16
TA1	30	4,459748E-16	-1,564027E-14	2,341738E-13
TA2	0	-4,102998E-16	-1,776357E-15	-5,684342E-14
TA2	15	-4,102998E-16	-1,776357E-15	-3,019807E-14
TA2	30	-4,102998E-16	-1,776357E-15	-3,552714E-15
TA3	0	-1,1001E-15	0	0
TA3	15	-1,1001E-15	0	0
TA3	30	-1,1001E-15	0	0
TA4	0	-5,154719E-16	-2,842171E-14	-4,547474E-13
TA4	15	-5,154719E-16	-2,842171E-14	-2,842171E-14
TA4	30	-5,154719E-16	-2,842171E-14	3,979039E-13
TA5	0	2,924326E-16	-1,136868E-13	-1,705303E-12
TA5	15	2,924326E-16	-1,136868E-13	0
TA5	30	2,924326E-16	-1,136868E-13	1,705303E-12
TA6	0	-3,825335E-17	5,684342E-14	9,094947E-13
TA6	15	-3,825335E-17	5,684342E-14	5,684342E-14
TA6	30	-3,825335E-17	5,684342E-14	-7,958079E-13
TA7	0	4,993485E-16	9,947598E-14	1,477929E-12
TA7	15	4,993485E-16	9,947598E-14	-1,421085E-14
TA7	30	4,993485E-16	9,947598E-14	-1,506351E-12
TA8	0	-3,445963E-16	1,421085E-13	2,16005E-12
TA8	15	-3,445963E-16	1,421085E-13	2,842171E-14
TA8	30	-3,445963E-16	1,421085E-13	-2,103206E-12
TA9	0	-3,050784E-16	-7,105427E-14	-1,080025E-12
TA9	15	-3,050784E-16	-7,105427E-14	-1,421085E-14
TA9	30	-3,050784E-16	-7,105427E-14	1,051603E-12
AKA1	0	-4,435556	-3,917528	-66,35369
AKA1	15	-4,435556	-3,917528	-7,590775
AKA1	30	-4,435556	-3,917528	51,17215
AKA2	0	-11,76855	-3,995891	-58,88295
AKA2	15	-11,76855	-3,995891	1,05542
AKA2	30	-11,76855	-3,995891	60,99379
AKA3	0	-19,23837	-3,636174	-50,32138
AKA3	15	-19,23837	-3,636174	4,221233
AKA3	30	-19,23837	-3,636174	58,76385
AKA4	0	-24,84547	-6,679621	-29,64207
AKA4	15	-24,84547	1,195379	31,17723
AKA4	30	-24,84547	1,195379	13,24654
AKA5	0	-25,90685	-0,2420186	0,119921
AKA5	15	-25,90685	-0,2420186	3,750201
AKA5	30	-25,90685	-0,2420186	7,38048
AKA6	0	-25,90685	0,2420186	7,38048
AKA6	15	-25,90685	0,2420186	3,750201
AKA6	30	-25,90685	0,2420186	0,119921
AKA7	0	-24,84547	-1,195379	13,24654
AKA7	15	-24,84547	-1,195379	31,17723

Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AKA7	30	-24,84547	6,679621	-29,64207
AKA8	0	-19,23837	3,636174	58,76385
AKA8	15	-19,23837	3,636174	4,221233
AKA8	30	-19,23837	3,636174	-50,32138
AKA9	0	-11,76855	3,995891	60,99379
AKA9	15	-11,76855	3,995891	1,05542
AKA9	30	-11,76855	3,995891	-58,88295
AKI1	0	-4,435556	-3,917528	-66,35369
AKI1	15	-4,435556	-3,917528	-7,590775
AKI1	30	-4,435556	-3,917528	51,17215
AKI2	0	-11,76855	-3,995891	-58,88295
AKI2	15	-11,76855	-3,995891	1,05542
AKI2	30	-11,76855	-3,995891	60,99379
AKI3	0	-19,23837	-3,636174	-50,32138
AKI3	15	-19,23837	-3,636174	4,221233
AKI3	30	-19,23837	-3,636174	58,76385
AKI4	0	-24,84547	-6,679621	-29,64207
AKI4	15	-24,84547	1,195379	31,17723
AKI4	30	-24,84547	1,195379	13,24654
AKI5	0	-25,90685	-0,2420186	0,119921
AKI5	15	-25,90685	-0,2420186	3,750201
AKI5	30	-25,90685	-0,2420186	7,38048
AKI6	0	-25,90685	0,2420186	7,38048
AKI6	15	-25,90685	0,2420186	3,750201
AKI6	30	-25,90685	0,2420186	0,119921
AKI7	0	-24,84547	-1,195379	13,24654
AKI7	15	-24,84547	-1,195379	31,17723
AKI7	30	-24,84547	6,679621	-29,64207
AKI8	0	-19,23837	3,636174	58,76385
AKI8	15	-19,23837	3,636174	4,221233
AKI8	30	-19,23837	3,636174	-50,32138
AKI9	0	-11,76855	3,995891	60,99379
AKI9	15	-11,76855	3,995891	1,05542
AKI9	30	-11,76855	3,995891	-58,88295
BAKA1	0	4,435556	3,957472	52,01117
BAKA1	15	4,435556	3,957472	-7,350916
BAKA1	30	4,435556	3,957472	-66,713
BAKA2	0	11,76855	3,879109	58,44974
BAKA2	15	11,76855	3,879109	0,2631121
BAKA2	30	11,76855	3,879109	-57,92352
BAKA3	0	19,23837	4,238825	72,83513
BAKA3	15	19,23837	4,238825	9,252745
BAKA3	30	19,23837	4,238825	-54,32964
BAKA4	0	24,84547	1,195379	28,88941
BAKA4	15	24,84547	1,195379	10,95872
BAKA4	30	24,84547	1,195379	-6,971971
BAKA5	0	25,90685	-0,2420186	2,914025
BAKA5	15	25,90685	-0,2420186	6,544304
BAKA5	30	25,90685	-0,2420186	10,17458
BAKA6	0	25,90685	0,2420186	10,17458
BAKA6	15	25,90685	0,2420186	6,544304

Tabel Lanjutan

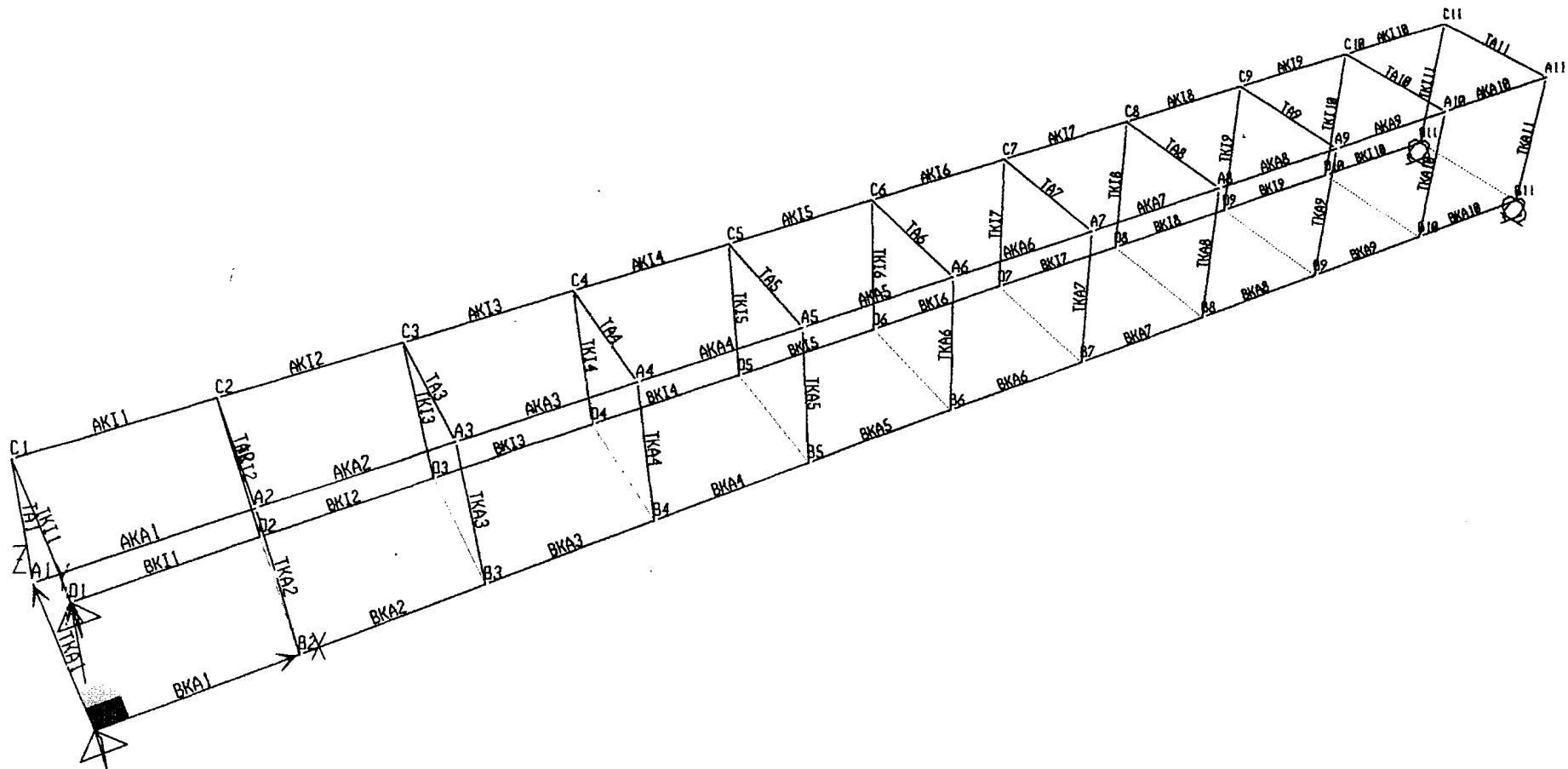
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
BKA6	30	25,90685	0,2420186	2,914025
BKA7	0	24,84547	-1,195379	-6,971971
BKA7	15	24,84547	-1,195379	10,95872
BKA7	30	24,84547	-1,195379	28,88941
BKA8	0	19,23837	-4,238825	-54,32964
BKA8	15	19,23837	-4,238825	9,252745
BKA8	30	19,23837	-4,238825	72,83513
BKA9	0	11,76855	-3,879109	-57,92352
BKA9	15	11,76855	-3,879109	0,2631121
BKA9	30	11,76855	-3,879109	58,44974
BKI1	0	4,435556	3,957472	52,01117
BKI1	15	4,435556	3,957472	-7,350916
BKI1	30	4,435556	3,957472	-66,713
BKI2	0	11,76855	3,879109	58,44974
BKI2	15	11,76855	3,879109	0,2631121
BKI2	30	11,76855	3,879109	-57,92352
BKI3	0	19,23837	4,238825	72,83513
BKI3	15	19,23837	4,238825	9,252745
BKI3	30	19,23837	4,238825	-54,32964
BKI4	0	24,84547	1,195379	28,88941
BKI4	15	24,84547	1,195379	10,95872
BKI4	30	24,84547	1,195379	-6,971971
BKI5	0	25,90685	-0,2420186	2,914025
BKI5	15	25,90685	-0,2420186	6,544304
BKI5	30	25,90685	-0,2420186	10,17458
BKI6	0	25,90685	0,2420186	10,17458
BKI6	15	25,90685	0,2420186	6,544304
BKI6	30	25,90685	0,2420186	2,914025
BKI7	0	24,84547	-1,195379	-6,971971
BKI7	15	24,84547	-1,195379	10,95872
BKI7	30	24,84547	-1,195379	28,88941
BKI8	0	19,23837	-4,238825	-54,32964
BKI8	15	19,23837	-4,238825	9,252745
BKI8	30	19,23837	-4,238825	72,83513
BKI9	0	11,76855	-3,879109	-57,92352
BKI9	15	11,76855	-3,879109	0,2631121
BKI9	30	11,76855	-3,879109	58,44974
TA10	0	1,975106E-16	-1,953993E-14	-2,842171E-13
TA10	15	1,975106E-16	-1,953993E-14	8,881784E-15
TA10	30	1,975106E-16	-1,953993E-14	3,019807E-13
TA11	0	5,450078E-18	1,027928E-13	1,538103E-12
TA11	15	5,450078E-18	1,027928E-13	-3,788636E-15
TA11	30	5,450078E-18	1,027928E-13	-1,54568E-12
TKA1	0	-3,917528	-4,435556	-66,713
TKA1	15	-3,917528	-4,435556	-0,179652
TKA1	30	-3,917528	-4,435556	66,35369
TKA2	0	-7,836345E-02	7,332993	110,0551
TKA2	15	-7,836345E-02	7,332993	6,020629E-02
TKA2	30	-7,836345E-02	7,332993	-109,9347
TKA3	0	0,3597169	-7,469819	-112,7794
TKA3	15	0,3597169	-7,469819	-0,7321016

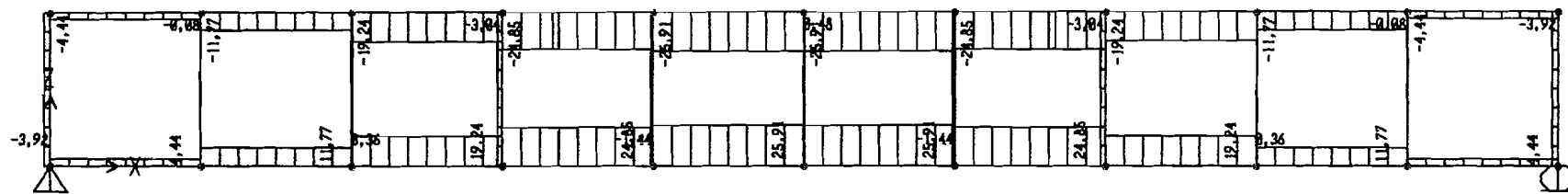
Tabel Lanjutan

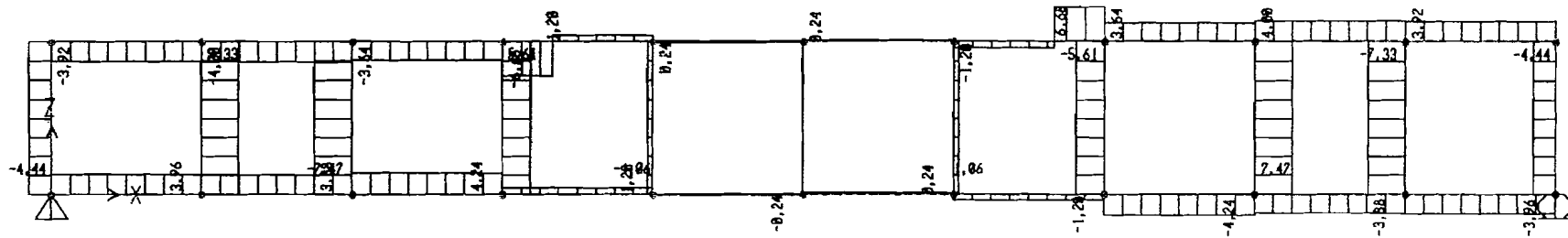
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TKA3	30	0,3597169	-7,469819	111,3152
TKA4	0	-3,043446	5,6071	88,40592
TKA4	15	-3,043446	5,6071	4,29941
TKA4	30	-3,043446	5,6071	-79,8071
TKA5	0	-1,437398	-1,061382	-18,71483
TKA5	15	-1,437398	-1,061382	-2,794104
TKA5	30	-1,437398	-1,061382	13,12662
TKA6	0	0,4840373	1,074696E-13	1,648459E-12
TKA6	15	0,4840373	1,074696E-13	3,641532E-14
TKA6	30	0,4840373	1,074696E-13	-1,575629E-12
TKA7	0	-1,437398	1,061382	18,71483
TKA7	15	-1,437398	1,061382	2,794104
TKA7	30	-1,437398	1,061382	-13,12662
TKA8	0	-3,043446	-5,6071	-88,40592
TKA8	15	-3,043446	-5,6071	-4,29941
TKA8	30	-3,043446	-5,6071	79,8071
TKA9	0	0,3597169	7,469819	112,7794
TKA9	15	0,3597169	7,469819	0,7321016
TKA9	30	0,3597169	7,469819	-111,3152
TKI1	0	-3,917528	-4,435556	-66,713
TKI1	15	-3,917528	-4,435556	-0,179652
TKI1	30	-3,917528	-4,435556	66,35369
TKI2	0	-7,836345E-02	7,332993	110,0551
TKI2	15	-7,836345E-02	7,332993	6,020629E-02
TKI2	30	-7,836345E-02	7,332993	-109,9347
TKI3	0	0,3597169	-7,469819	-112,7794
TKI3	15	0,3597169	-7,469819	-0,7321016
TKI3	30	0,3597169	-7,469819	111,3152
TKI4	0	-3,043446	5,6071	88,40592
TKI4	15	-3,043446	5,6071	4,29941
TKI4	30	-3,043446	5,6071	-79,8071
TKI5	0	-1,437398	-1,061382	-18,71483
TKI5	15	-1,437398	-1,061382	-2,794104
TKI5	30	-1,437398	-1,061382	13,12662
TKI6	0	0,4840373	5,22693E-13	7,773338E-12
TKI6	15	0,4840373	5,22693E-13	-6,705747E-14
TKI6	30	0,4840373	5,22693E-13	-7,907452E-12
TKI7	0	-1,437398	1,061382	18,71483
TKI7	15	-1,437398	1,061382	2,794104
TKI7	30	-1,437398	1,061382	-13,12662
TKI8	0	-3,043446	-5,6071	-88,40592
TKI8	15	-3,043446	-5,6071	-4,29941
TKI8	30	-3,043446	-5,6071	79,8071
TKI9	0	0,3597169	7,469819	112,7794
TKI9	15	0,3597169	7,469819	0,7321016
TKI9	30	0,3597169	7,469819	-111,3152
AKA10	0	-4,435556	3,917528	51,17215
AKA10	15	-4,435556	3,917528	-7,590775
AKA10	30	-4,435556	3,917528	-66,35369
AKI10	0	-4,435556	3,917528	51,17215
AKI10	15	-4,435556	3,917528	-7,590775

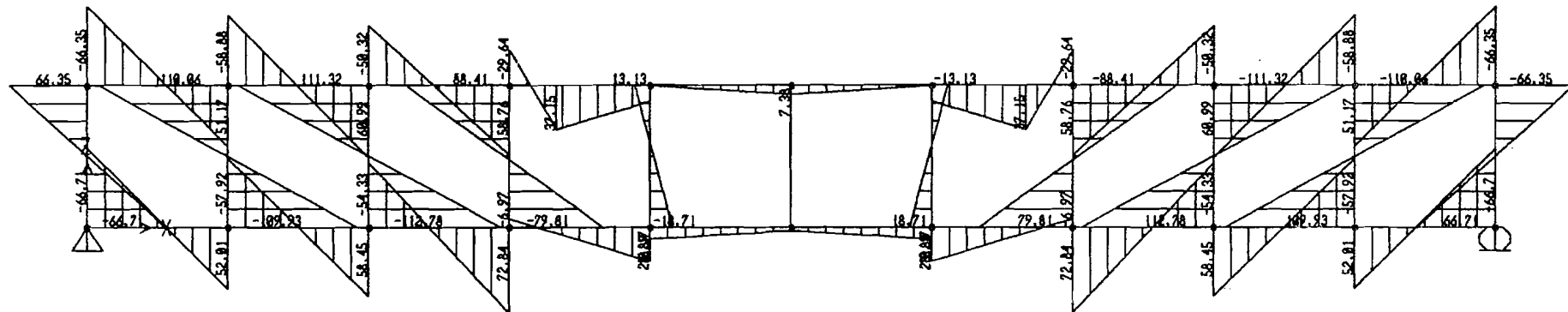
Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AKI10	30	-4,435556	3,917528	-66,35369
BKA10	0	4,435556	-3,957472	-66,713
BKA10	15	4,435556	-3,957472	-7,350916
BKA10	30	4,435556	-3,957472	52,01117
BKI10	0	4,435556	-3,957472	-66,713
BKI10	15	4,435556	-3,957472	-7,350916
BKI10	30	4,435556	-3,957472	52,01117
TKA10	0	-7,836345E-02	-7,332993	-110,0551
TKA10	15	-7,836345E-02	-7,332993	-6,020629E-02
TKA10	30	-7,836345E-02	-7,332993	109,9347
TKA11	0	-3,917528	-4,435556	-66,35369
TKA11	15	-3,917528	-4,435556	0,179652
TKA11	30	-3,917528	-4,435556	66,713
TKI10	0	-7,836345E-02	-7,332993	-110,0551
TKI10	15	-7,836345E-02	-7,332993	-6,020629E-02
TKI10	30	-7,836345E-02	-7,332993	109,9347
TKI11	0	-3,917528	-4,435556	-66,35369
TKI11	15	-3,917528	-4,435556	0,179652
TKI11	30	-3,917528	-4,435556	66,713









**Gaya Batang Setiap Elemen Benda Uji II (Lb/ry = 29,3887)
Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban P = 31,15 kN**

FRAME	STATION	P	V2	M3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TA1	0	-5,66413E-17	1,751793E-13	2,627232E-12
TA1	15	-5,66413E-17	1,751793E-13	-4,57967E-16
TA1	30	-5,66413E-17	1,751793E-13	-2,628148E-12
TA2	0	1,147615E-15	-4,618528E-14	-7,958079E-13
TA2	15	1,147615E-15	-4,618528E-14	-1,030287E-13
TA2	30	1,147615E-15	-4,618528E-14	5,897505E-13
TA3	0	-7,257072E-16	-1,065814E-13	-1,705303E-12
TA3	15	-7,257072E-16	-1,065814E-13	-1,065814E-13
TA3	30	-7,257072E-16	-1,065814E-13	1,49214E-12
TA4	0	-7,392619E-16	-9,947598E-14	-1,477929E-12
TA4	15	-7,392619E-16	-9,947598E-14	1,421085E-14
TA4	30	-7,392619E-16	-9,947598E-14	1,506351E-12
TA5	0	4,018183E-16	-6,750156E-14	-1,023182E-12
TA5	15	4,018183E-16	-6,750156E-14	-1,065814E-14
TA5	30	4,018183E-16	-6,750156E-14	1,001865E-12
TA6	0	7,322332E-17	1,79648E-13	2,688405E-12
TA6	15	7,322332E-17	1,79648E-13	-6,314393E-15
TA6	30	7,322332E-17	1,79648E-13	-2,701034E-12
AKA1	0	-4,386272	-3,874	-65,61643
AKA1	15	-4,386272	-3,874	-7,506433
AKA1	30	-4,386272	-3,874	50,60357
AKA2	0	-11,63779	-3,951493	-58,22869
AKA2	15	-11,63779	-3,951493	1,043693
AKA2	30	-11,63779	-3,951493	60,31608
AKA3	0	-19,02461	-3,595773	-49,76226
AKA3	15	-19,02461	-3,595773	4,17433
AKA3	30	-19,02461	-3,595773	58,11092
AKA4	0	-24,56941	-6,605402	-29,31271
AKA4	15	-24,56941	1,182097	30,83082
AKA4	30	-24,56941	1,182097	13,09936
AKA5	0	-25,619	-0,2393295	0,1185885
AKA5	15	-25,619	-0,2393295	3,708532
AKA5	30	-25,619	-0,2393295	7,298475
AKA6	0	-25,619	0,2393295	7,298475
AKA6	15	-25,619	0,2393295	3,708532
AKA6	30	-25,619	0,2393295	0,1185885
AKA7	0	-24,56941	-1,182097	13,09936
AKA7	15	-24,56941	-1,182097	30,83082
AKA7	30	-24,56941	6,605402	-29,31271
AKA8	0	-19,02461	3,595773	58,11092
AKA8	15	-19,02461	3,595773	4,17433
AKA8	30	-19,02461	3,595773	-49,76226
AKA9	0	-11,63779	3,951493	60,31608
AKA9	15	-11,63779	3,951493	1,043693
AKA9	30	-11,63779	3,951493	-58,22869
AKI1	0	-4,386272	-3,874	-65,61643
AKI1	15	-4,386272	-3,874	-7,506433

Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AKI1	30	-4,386272	-3,874	50,60357
AKI2	0	-11,63779	-3,951493	-58,22869
AKI2	15	-11,63779	-3,951493	1,043693
AKI2	30	-11,63779	-3,951493	60,31608
AKI3	0	-19,02461	-3,595773	-49,76226
AKI3	15	-19,02461	-3,595773	4,17433
AKI3	30	-19,02461	-3,595773	58,11092
AKI4	0	-24,56941	-6,605402	-29,31271
AKI4	15	-24,56941	1,182097	30,83082
AKI4	30	-24,56941	1,182097	13,09936
AKI5	0	-25,619	-0,2393295	0,1185885
AKI5	15	-25,619	-0,2393295	3,708532
AKI5	30	-25,619	-0,2393295	-7,298475
AKI6	0	-25,619	0,2393295	7,298475
AKI6	15	-25,619	0,2393295	3,708532
AKI6	30	-25,619	0,2393295	0,1185885
AKI7	0	-24,56941	-1,182097	13,09936
AKI7	15	-24,56941	-1,182097	30,83082
AKI7	30	-24,56941	6,605402	-29,31271
AKI8	0	-19,02461	3,595773	58,11092
AKI8	15	-19,02461	3,595773	4,17433
AKI8	30	-19,02461	3,595773	-49,76226
AKI9	0	-11,63779	3,951493	60,31608
AKI9	15	-11,63779	3,951493	1,043693
AKI9	30	-11,63779	3,951493	-58,22869
BKA1	0	4,386272	3,9135	51,43326
BKA1	15	4,386272	3,9135	-7,26924
BKA1	30	4,386272	3,9135	-65,97174
BKA2	0	11,63779	3,836007	57,8003
BKA2	15	11,63779	3,836007	0,2601886
BKA2	30	11,63779	3,836007	-57,27992
BKA3	0	19,02461	4,191728	72,02585
BKA3	15	19,02461	4,191728	9,149937
BKA3	30	19,02461	4,191728	-53,72598
BKA4	0	24,56941	1,182097	28,56842
BKA4	15	24,56941	1,182097	10,83696
BKA4	30	24,56941	1,182097	-6,894505
BKA5	0	25,619	-0,2393295	2,881647
BKA5	15	25,619	-0,2393295	6,47159
BKA5	30	25,619	-0,2393295	10,06153
BKA6	0	25,619	0,2393295	10,06153
BKA6	15	25,619	0,2393295	6,47159
BKA6	30	25,619	0,2393295	2,881647
BKA7	0	24,56941	-1,182097	-6,894505
BKA7	15	24,56941	-1,182097	10,83696
BKA7	30	24,56941	-1,182097	28,56842
BKA8	0	19,02461	-4,191728	-53,72598
BKA8	15	19,02461	-4,191728	9,149937
BKA8	30	19,02461	-4,191728	72,02585
BKA9	0	11,63779	-3,836007	-57,27992
BKA9	15	11,63779	-3,836007	0,2601886

Tabel Lanjutan

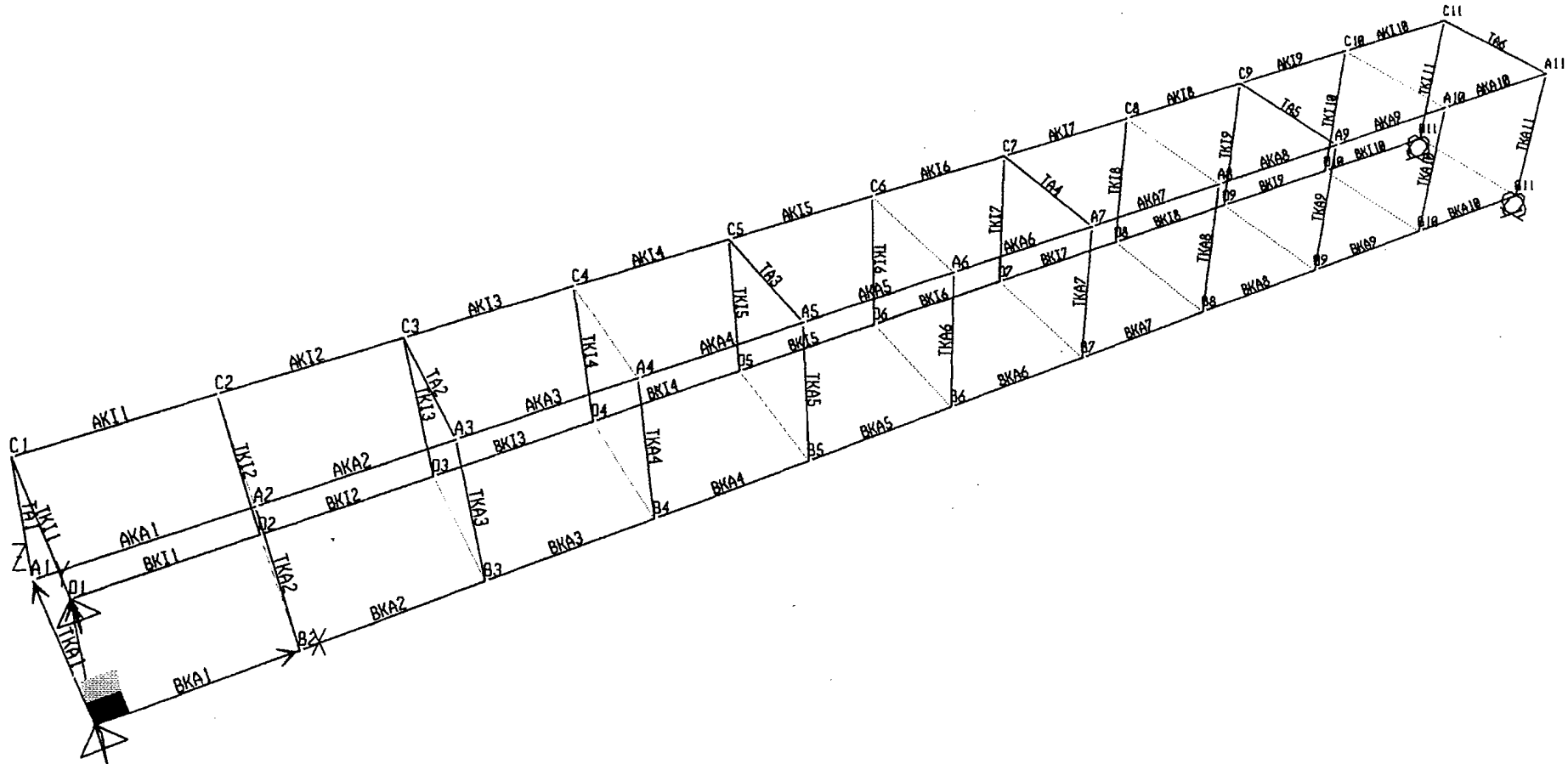
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
BKA9	30	11,63779	-3,836007	57,8003
BKI1	0	4,386272	3,9135	51,43326
BKI1	15	4,386272	3,9135	-7,26924
BKI1	30	4,386272	3,9135	-65,97174
BKI2	0	11,63779	3,836007	57,8003
BKI2	15	11,63779	3,836007	0,2601886
BKI2	30	11,63779	3,836007	-57,27992
BKI3	0	19,02461	4,191728	72,02585
BKI3	15	19,02461	4,191728	9,149937
BKI3	30	19,02461	4,191728	-53,72598
BKI4	0	24,56941	1,182097	28,56842
BKI4	15	24,56941	1,182097	10,83696
BKI4	30	24,56941	1,182097	-6,894505
BKI5	0	25,619	-0,2393295	2,881647
BKI5	15	25,619	-0,2393295	6,47159
BKI5	30	25,619	-0,2393295	10,06153
BKI6	0	25,619	0,2393295	10,06153
BKI6	15	25,619	0,2393295	6,47159
BKI6	30	25,619	0,2393295	2,881647
BKI7	0	24,56941	1,182097	-6,894505
BKI7	15	24,56941	-1,182097	10,83696
BKI7	30	24,56941	-1,182097	28,56842
BKI8	0	19,02461	-4,191728	-53,72598
BKI8	15	19,02461	-4,191728	9,149937
BKI8	30	19,02461	-4,191728	72,02585
BKI9	0	11,63779	-3,836007	-57,27992
BKI9	15	11,63779	-3,836007	0,2601886
BKI9	30	11,63779	-3,836007	57,8003
TKA1	0	-3,874	-4,386272	-65,97174
TKA1	15	-3,874	-4,386272	-0,1776559
TKA1	30	-3,874	-4,386272	65,61643
TKA2	0	-7,749274E-02	7,251515	108,8323
TKA2	15	-7,749274E-02	7,251515	5,953734E-02
TKA2	30	-7,749274E-02	7,251515	-108,7132
TKA3	0	0,35572	-7,38682	-111,5263
TKA3	15	0,35572	-7,38682	-0,7239671
TKA3	30	0,35572	-7,38682	110,0783
TKA4	0	-3,00963	5,544799	87,42363
TKA4	15	-3,00963	5,544799	4,251639
TKA4	30	-3,00963	5,544799	-78,92036
TKA5	0	-1,421427	-1,049588	-18,50689
TKA5	15	-1,421427	-1,049588	-2,763058
TKA5	30	-1,421427	-1,049588	12,98077
TKA6	0	0,4786591	-3,175238E-13	-4,753531E-12
TKA6	15	0,4786591	-3,175238E-13	9,325873E-15
TKA6	30	0,4786591	-3,175238E-13	4,772183E-12
TKA7	0	-1,421427	1,049588	18,50689
TKA7	15	-1,421427	1,049588	2,763058
TKA7	30	-1,421427	1,049588	-12,98077
TKA8	0	-3,00963	-5,544799	-87,42363
TKA8	15	-3,00963	-5,544799	-4,251639

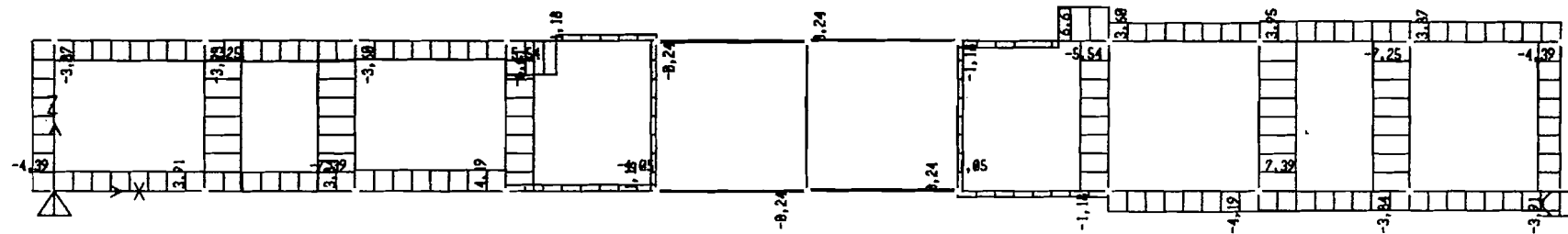
Tabel Lanjutan

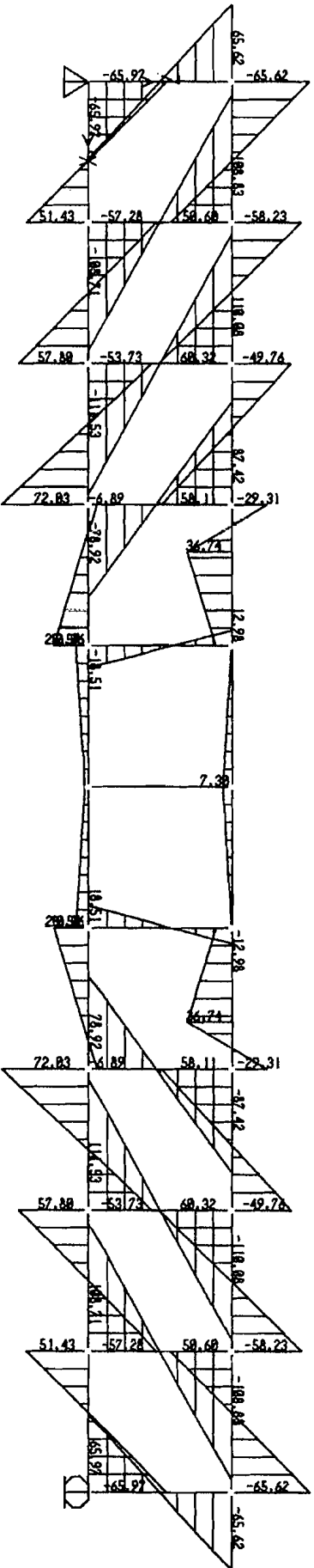
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TKA8	30	-3,00963	-5,544799	78,92036
TKA9	0	0,35572	7,38682	111,5263
TKA9	15	0,35572	7,38682	0,7239671
TKA9	30	0,35572	7,38682	-110,0783
TKI1	0	-3,874	-4,386272	-65,97174
TKI1	15	-3,874	-4,386272	-0,1776559
TKI1	30	-3,874	-4,386272	65,61643
TKI2	0	-7,749274E-02	7,251515	108,8323
TKI2	15	-7,749274E-02	7,251515	5,953734E-02
TKI2	30	-7,749274E-02	7,251515	-108,7132
TKI3	0	0,35572	-7,38682	-111,5263
TKI3	15	0,35572	-7,38682	-0,7239671
TKI3	30	0,35572	-7,38682	110,0783
TKI4	0	-3,00963	5,544799	87,42363
TKI4	15	-3,00963	5,544799	4,251639
TKI4	30	-3,00963	5,544799	-78,92036
TKI5	0	-1,421427	-1,049588	-18,50689
TKI5	15	-1,421427	-1,049588	-2,763058
TKI5	30	-1,421427	-1,049588	12,98077
TKI6	0	0,4786591	3,13527E-13	-4,703793E-12
TKI6	15	0,4786591	-3,13527E-13	-8,881784E-16
TKI6	30	0,4786591	-3,13527E-13	4,702017E-12
TKI7	0	-1,421427	1,049588	18,50689
TKI7	15	-1,421427	1,049588	2,763058
TKI7	30	-1,421427	1,049588	-12,98077
TKI8	0	-3,00963	-5,544799	-87,42363
TKI8	15	-3,00963	-5,544799	-4,251639
TKI8	30	-3,00963	-5,544799	78,92036
TKI9	0	0,35572	7,38682	111,5263
TKI9	15	0,35572	7,38682	0,7239671
TKI9	30	0,35572	7,38682	-110,0783
AKA10	0	-4,386272	3,874	50,60357
AKA10	15	-4,386272	3,874	-7,506433
AKA10	30	-4,386272	3,874	-65,61643
AKI10	0	-4,386272	3,874	50,60357
AKI10	15	-4,386272	3,874	-7,506433
AKI10	30	-4,386272	3,874	-65,61643
BKA10	0	4,386272	-3,9135	-65,97174
BKA10	15	4,386272	-3,9135	-7,26924
BKA10	30	4,386272	-3,9135	51,43326
BKI10	0	4,386272	-3,9135	-65,97174
BKI10	15	4,386272	-3,9135	-7,26924
BKI10	30	4,386272	-3,9135	51,43326
TKA10	0	-7,749274E-02	-7,251515	-108,8323
TKA10	15	-7,749274E-02	-7,251515	-5,953734E-02
TKA10	30	-7,749274E-02	-7,251515	108,7132
TKA11	0	-3,874	-4,386272	-65,61643
TKA11	15	-3,874	-4,386272	0,1776559
TKA11	30	-3,874	-4,386272	65,97174
TKI10	0	-7,749274E-02	-7,251515	-108,8323
TKI10	15	-7,749274E-02	-7,251515	-5,953734E-02

Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TKI10	30	-7,749274E-02	-7,251515	108,7132
TKI11	0	-3,874	-4,386272	-65,61643
TKI11	15	-3,874	-4,386272	0,1776559
TKI11	30	-3,874	-4,386272	65,97174







**Gaya Batang Setiap Elemen Benda Uji III (Lb/ry = 44,0831)
Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban P = 30,08 kN**

FRAME	STATION	P	V2	M3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TA1	0	4,035181E-16	-2,70603E-13	-4,05953E-12
TA1	15	4,035181E-16	-2,70603E-13	-4,857226E-16
TA1	30	4,035181E-16	-2,70603E-13	4,058559E-12
TA2	0	2,795992E-16	-2,913225E-13	-4,3201E-12
TA2	15	2,795992E-16	-2,913225E-13	4,973799E-14
TA2	30	2,795992E-16	-2,913225E-13	4,419576E-12
TA3	0	-2,611641E-17	-2,202682E-13	-3,296918E-12
TA3	15	-2,611641E-17	-2,202682E-13	7,105427E-15
TA3	30	-2,611641E-17	-2,202682E-13	3,311129E-12
TA4	0	-2,937708E-17	-2,496059E-13	-3,746781E-12
TA4	15	-2,937708E-17	-2,496059E-13	-2,692291E-15
TA4	30	-2,937708E-17	-2,496059E-13	3,741396E-12
AKA1	0	-4,336988	-3,830472	-64,87917
AKA1	15	-4,336988	-3,830472	-7,422091
AKA1	30	-4,336988	-3,830472	50,03498
AKA2	0	-11,50703	-3,907094	-57,57444
AKA2	15	-11,50703	-3,907094	1,031966
AKA2	30	-11,50703	-3,907094	59,63837
AKA3	0	-18,81085	-3,555371	-49,20313
AKA3	15	-18,81085	-3,555371	4,127428
AKA3	30	-18,81085	-3,555371	57,45799
AKA4	0	-24,29335	-6,531185	-28,98336
AKA4	15	-24,29335	1,168815	30,4844
AKA4	30	-24,29335	1,168815	12,95217
AKA5	0	-25,33114	-0,2366405	0,1172561
AKA5	15	-25,33114	-0,2366405	3,666863
AKA5	30	-25,33114	-0,2366405	7,21647
AKA6	0	-25,33114	0,2366405	7,21647
AKA6	15	-25,33114	0,2366405	3,666863
AKA6	30	-25,33114	0,2366405	0,1172561
AKA7	0	-24,29335	-1,168815	12,95217
AKA7	15	-24,29335	-1,168815	30,4844
AKA7	30	-24,29335	6,531185	-28,98336
AKA8	0	-18,81085	3,555371	57,45799
AKA8	15	-18,81085	3,555371	4,127428
AKA8	30	-18,81085	3,555371	-49,20313
AKA9	0	-11,50703	3,907094	59,63837
AKA9	15	-11,50703	3,907094	1,031966
AKA9	30	-11,50703	3,907094	-57,57444
AKI1	0	-4,336988	-3,830472	-64,87917
AKI1	15	-4,336988	-3,830472	-7,422091
AKI1	30	-4,336988	-3,830472	50,03498
AKI2	0	-11,50703	-3,907094	-57,57444
AKI2	15	-11,50703	-3,907094	1,031966
AKI2	30	-11,50703	-3,907094	59,63837
AKI3	0	-18,81085	-3,555371	-49,20313
AKI3	15	-18,81085	-3,555371	4,127428

Tabel Lanjutan

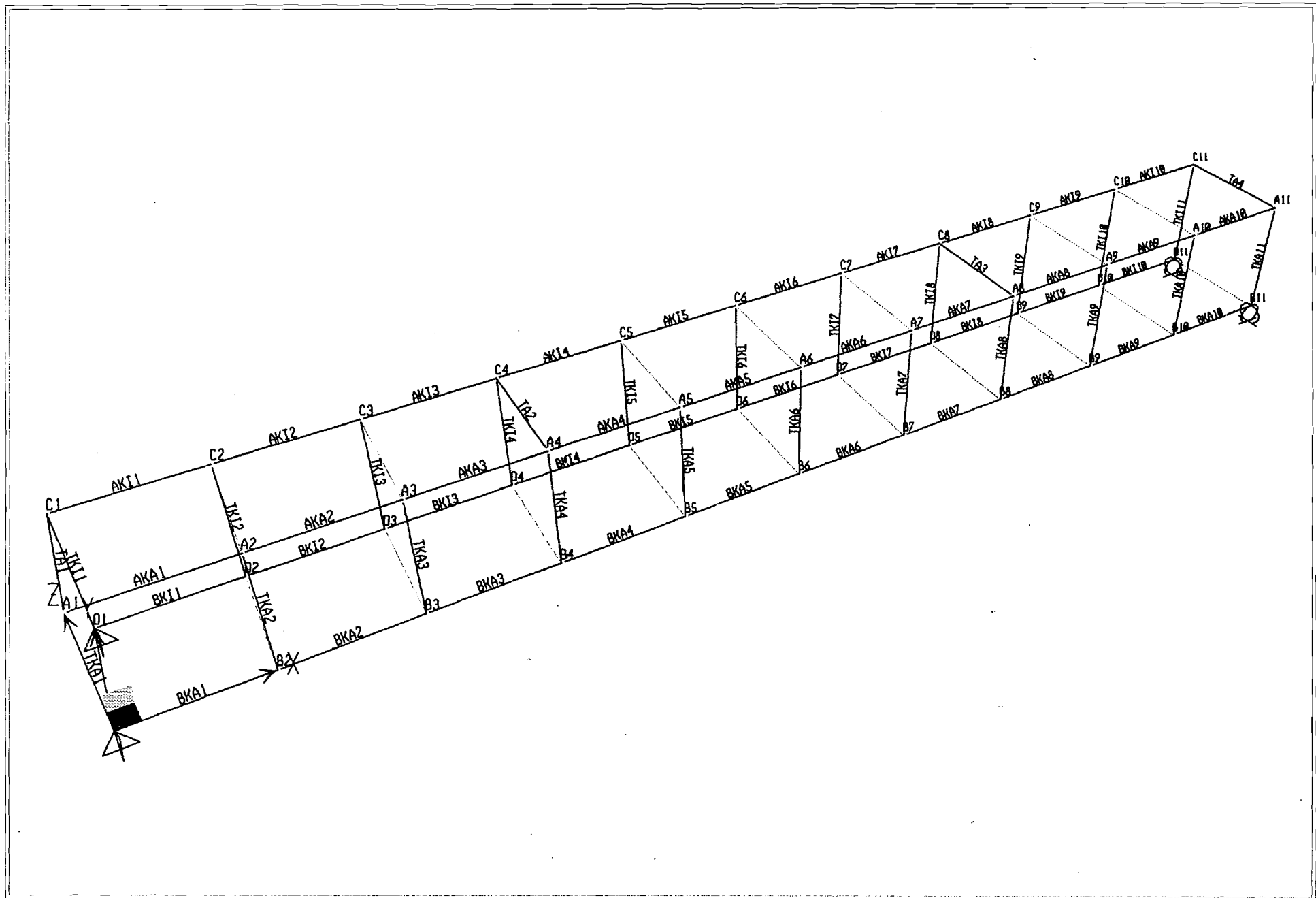
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AKI3	30	-18,81085	-3,555371	57,45799
AKI4	0	-24,29335	-6,531185	-28,98336
AKI4	15	-24,29335	1,168815	30,4844
AKI4	30	-24,29335	1,168815	12,95217
AKI5	0	-25,33114	-0,2366405	0,1172561
AKI5	15	-25,33114	-0,2366405	3,666863
AKI5	30	-25,33114	-0,2366405	7,21647
AKI6	0	-25,33114	0,2366405	7,21647
AKI6	15	-25,33114	0,2366405	3,666863
AKI6	30	-25,33114	0,2366405	0,1172561
AKI7	0	-24,29335	-1,168815	12,95217
AKI7	15	-24,29335	-1,168815	30,4844
AKI7	30	-24,29335	6,531185	-28,98336
AKI8	0	-18,81085	3,555371	57,45799
AKI8	15	-18,81085	3,555371	4,127428
AKI8	30	-18,81085	3,555371	-49,20313
AKI9	0	-11,50703	3,907094	59,63837
AKI9	15	-11,50703	3,907094	1,031966
AKI9	30	-11,50703	3,907094	-57,57444
BKA1	0	4,336988	3,869528	50,85536
BKA1	15	4,336988	3,869528	-7,187563
BKA1	30	4,336988	3,869528	-65,23048
BKA2	0	11,50703	3,792906	57,15086
BKA2	15	11,50703	3,792906	0,2572651
BKA2	30	11,50703	3,792906	-56,63633
BKA3	0	18,81085	4,144629	71,21657
BKA3	15	18,81085	4,144629	9,047129
BKA3	30	18,81085	4,144629	-53,12231
BKA4	0	24,29335	1,168815	28,24743
BKA4	15	24,29335	1,168815	10,71519
BKA4	30	24,29335	1,168815	-6,817039
BKA5	0	25,33114	-0,2366405	2,849269
BKA5	15	25,33114	-0,2366405	6,398876
BKA5	30	25,33114	-0,2366405	9,948483
BKA6	0	25,33114	0,2366405	9,948483
BKA6	15	25,33114	0,2366405	6,398876
BKA6	30	25,33114	0,2366405	2,849269
BKA7	0	24,29335	-1,168815	-6,817039
BKA7	15	24,29335	-1,168815	10,71519
BKA7	30	24,29335	-1,168815	28,24743
BKA8	0	18,81085	-4,144629	-53,12231
BKA8	15	18,81085	-4,144629	9,047129
BKA8	30	18,81085	-4,144629	71,21657
BKA9	0	11,50703	-3,792906	-56,63633
BKA9	15	11,50703	-3,792906	0,2572651
BKA9	30	11,50703	-3,792906	57,15086
BKI1	0	4,336988	3,869528	50,85536
BKI1	15	4,336988	3,869528	-7,187563
BKI1	30	4,336988	3,869528	-65,23048
BKI2	0	11,50703	3,792906	57,15086
BKI2	15	11,50703	3,792906	0,2572651

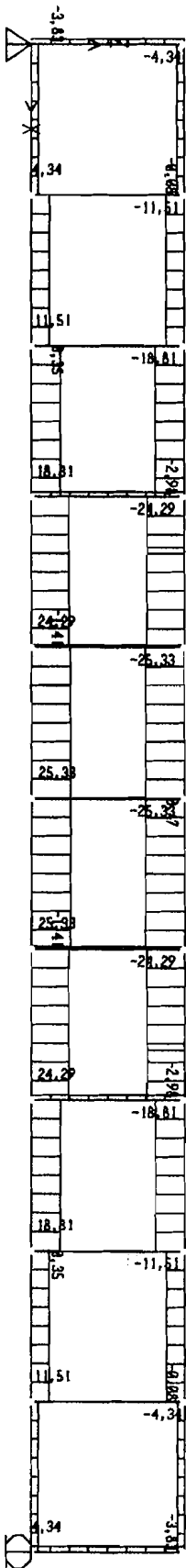
Tabel Lanjutan

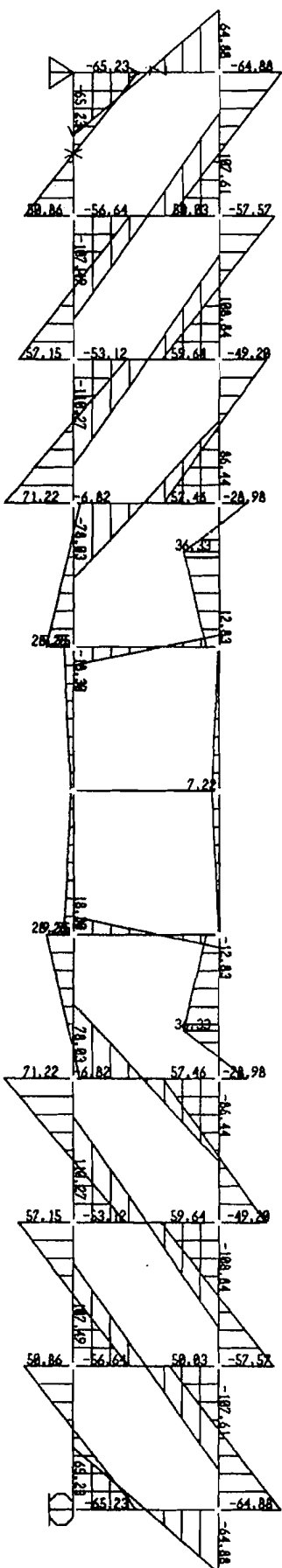
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
BKI2	30	11,50703	3,792906	-56,63633
BKI3	0	18,81085	4,144629	71,21657
BKI3	15	18,81085	4,144629	9,047129
BKI3	30	18,81085	4,144629	-53,12231
BKI4	0	24,29335	1,168815	28,24743
BKI4	15	24,29335	1,168815	10,71519
BKI4	30	24,29335	1,168815	-6,817039
BKI5	0	25,33114	-0,2366405	2,849269
BKI5	15	25,33114	-0,2366405	6,398876
BKI5	30	25,33114	-0,2366405	9,948483
BKI6	0	25,33114	0,2366405	9,948483
BKI6	15	25,33114	0,2366405	6,398876
BKI6	30	25,33114	0,2366405	2,849269
BKI7	0	24,29335	-1,168815	-6,817039
BKI7	15	24,29335	-1,168815	10,71519
BKI7	30	24,29335	-1,168815	28,24743
BKI8	0	18,81085	-4,144629	-53,12231
BKI8	15	18,81085	-4,144629	9,047129
BKI8	30	18,81085	-4,144629	71,21657
BKI9	0	11,50703	-3,792906	-56,63633
BKI9	15	11,50703	-3,792906	0,2572651
BKI9	30	11,50703	-3,792906	57,15086
TKA1	0	-3,830472	-4,336988	-65,23048
TKA1	15	-3,830472	-4,336988	-0,1756597
TKA1	30	-3,830472	-4,336988	64,87917
TKA2	0	-7,662204E-02	7,170037	107,6094
TKA2	15	-7,662204E-02	7,170037	5,886838E-02
TKA2	30	-7,662204E-02	7,170037	-107,4917
TKA3	0	0,3517231	-7,303823	-110,2732
TKA3	15	0,3517231	-7,303823	-0,7158327
TKA3	30	0,3517231	-7,303823	108,8415
TKA4	0	-2,975814	5,482498	86,44135
TKA4	15	-2,975814	5,482498	4,203868
TKA4	30	-2,975814	5,482498	-78,03361
TKA5	0	-1,405456	-1,037795	-18,29894
TKA5	15	-1,405456	-1,037795	-2,732013
TKA5	30	-1,405456	-1,037795	12,83492
TKA6	0	0,4732809	-2,229328E-13	-3,332445E-12
TKA6	15	0,4732809	-2,229328E-13	1,154632E-14
TKA6	30	0,4732809	-2,229328E-13	3,355538E-12
TKA7	0	-1,405456	1,037795	18,29894
TKA7	15	-1,405456	1,037795	2,732013
TKA7	30	-1,405456	1,037795	-12,83492
TKA8	0	-2,975814	-5,482498	-86,44135
TKA8	15	-2,975814	-5,482498	-4,203868
TKA8	30	-2,975814	-5,482498	78,03361
TKA9	0	0,3517231	7,303823	110,2732
TKA9	15	0,3517231	7,303823	0,7158327
TKA9	30	0,3517231	7,303823	-108,8415
TKI1	0	-3,830472	-4,336988	-65,23048
TKI1	15	-3,830472	-4,336988	-0,1756597

Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TKI1	30	-3,830472	-4,336988	64,87917
TKI2	0	-7,662204E-02	7,170037	107,6094
TKI2	15	-7,662204E-02	7,170037	5,886838E-02
TKI2	30	-7,662204E-02	7,170037	-107,4917
TKI3	0	0,3517231	-7,303823	-110,2732
TKI3	15	0,3517231	-7,303823	-0,7158327
TKI3	30	0,3517231	-7,303823	108,8415
TKI4	0	-2,975814	5,482498	86,44135
TKI4	15	-2,975814	5,482498	4,203868
TKI4	30	-2,975814	5,482498	-78,03361
TKI5	0	-1,405456	-1,037795	-18,29894
TKI5	15	-1,405456	-1,037795	-2,732013
TKI5	30	-1,405456	-1,037795	12,83492
TKI6	0	0,4732809	-1,656453E-13	-2,490452E-12
TKI6	15	0,4732809	-1,656453E-13	-5,77316E-15
TKI6	30	0,4732809	-1,656453E-13	2,478906E-12
TKI7	0	-1,405456	1,037795	18,29894
TKI7	15	-1,405456	1,037795	2,732013
TKI7	30	-1,405456	1,037795	-12,83492
TKI8	0	-2,975814	-5,482498	-86,44135
TKI8	15	-2,975814	-5,482498	-4,203868
TKI8	30	-2,975814	-5,482498	78,03361
TKI9	0	0,3517231	7,303823	110,2732
TKI9	15	0,3517231	7,303823	0,7158327
TKI9	30	0,3517231	7,303823	-108,8415
AKA10	0	-4,336988	3,830472	50,03498
AKA10	15	-4,336988	3,830472	-7,422091
AKA10	30	-4,336988	3,830472	-64,87917
AKI10	0	-4,336988	3,830472	50,03498
AKI10	15	-4,336988	3,830472	-7,422091
AKI10	30	-4,336988	3,830472	-64,87917
BKA10	0	4,336988	-3,869528	-65,23048
BKA10	15	4,336988	-3,869528	-7,187563
BKA10	30	4,336988	-3,869528	50,85536
BKI10	0	4,336988	-3,869528	-65,23048
BKI10	15	4,336988	-3,869528	-7,187563
BKI10	30	4,336988	-3,869528	50,85536
TKA10	0	-7,662204E-02	-7,170037	-107,6094
TKA10	15	-7,662204E-02	-7,170037	-5,886838E-02
TKA10	30	-7,662204E-02	-7,170037	107,4917
TKA11	0	-3,830472	-4,336988	-64,87917
TKA11	15	-3,830472	-4,336988	0,1756597
TKA11	30	-3,830472	-4,336988	65,23048
TKI10	0	-7,662204E-02	-7,170037	-107,6094
TKI10	15	-7,662204E-02	-7,170037	-5,886838E-02
TKI10	30	-7,662204E-02	-7,170037	107,4917
TKI11	0	-3,830472	-4,336988	-64,87917
TKI11	15	-3,830472	-4,336988	0,1756597
TKI11	30	-3,830472	-4,336988	65,23048







**Gaya Batang Setiap Elemen Benda Uji IV (Lb/ry = 58,7774)
Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban P = 30.275 kN**

FRAME	STATION	P	V2	M3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TA1	0	-1,061765E-16	-4,967554E-14	-7,451817E-13
TA1	15	-1,061765E-16	-4,967554E-14	-4,857226E-17
TA1	30	-1,061765E-16	-4,967554E-14	7,450845E-13
TA2	0	2,166966E-16	-1,278977E-13	-1,932676E-12
TA2	15	2,166966E-16	-1,278977E-13	-1,421085E-14
TA2	30	2,166966E-16	-1,278977E-13	1,904255E-12
TA3	0	1,017982E-16	6,394885E-14	9,094947E-13
TA3	15	1,017982E-16	6,394885E-14	-4,973799E-14
TA3	30	1,017982E-16	6,394885E-14	-1,008971E-12
TA4	0	-7,806951E-18	-1,144224E-14	-1,755263E-13
TA4	15	-7,806951E-18	-1,144224E-14	-3,892719E-15
TA4	30	-7,806951E-18	-1,144224E-14	1,677408E-13
AKA1	0	-4,263062	-3,76518	-63,77327
AKA1	15	-4,263062	-3,76518	-7,295578
AKA1	30	-4,263062	-3,76518	49,18212
AKA2	0	-11,31088	-3,840496	-56,59306
AKA2	15	-11,31088	-3,840496	1,014376
AKA2	30	-11,31088	-3,840496	58,62181
AKA3	0	-18,49021	-3,494768	-48,36444
AKA3	15	-18,49021	-3,494768	4,057074
AKA3	30	-18,49021	-3,494768	56,47859
AKA4	0	-23,87926	-6,419858	-28,48932
AKA4	15	-23,87926	1,148892	29,96478
AKA4	30	-23,87926	1,148892	12,7314
AKA5	0	-24,89936	-0,2326068	0,1152574
AKA5	15	-24,89936	-0,2326068	3,604359
AKA5	30	-24,89936	-0,2326068	7,093462
AKA6	0	-24,89936	0,2326068	7,093462
AKA6	15	-24,89936	0,2326068	3,604359
AKA6	30	-24,89936	0,2326068	0,1152574
AKA7	0	-23,87926	-1,148892	12,7314
AKA7	15	-23,87926	-1,148892	29,96478
AKA7	30	-23,87926	6,419858	-28,48932
AKA8	0	-18,49021	3,494768	56,47859
AKA8	15	-18,49021	3,494768	4,057074
AKA8	30	-18,49021	3,494768	-48,36444
AKA9	0	-11,31088	3,840496	58,62181
AKA9	15	-11,31088	3,840496	1,014376
AKA9	30	-11,31088	3,840496	-56,59306
AKI1	0	-4,263062	-3,76518	-63,77327
AKI1	15	-4,263062	-3,76518	-7,295578
AKI1	30	-4,263062	-3,76518	49,18212
AKI2	0	-11,31088	-3,840496	-56,59306
AKI2	15	-11,31088	-3,840496	1,014376
AKI2	30	-11,31088	-3,840496	58,62181
AKI3	0	-18,49021	-3,494768	-48,36444
AKI3	15	-18,49021	-3,494768	4,057074

Tabel Lanjutan

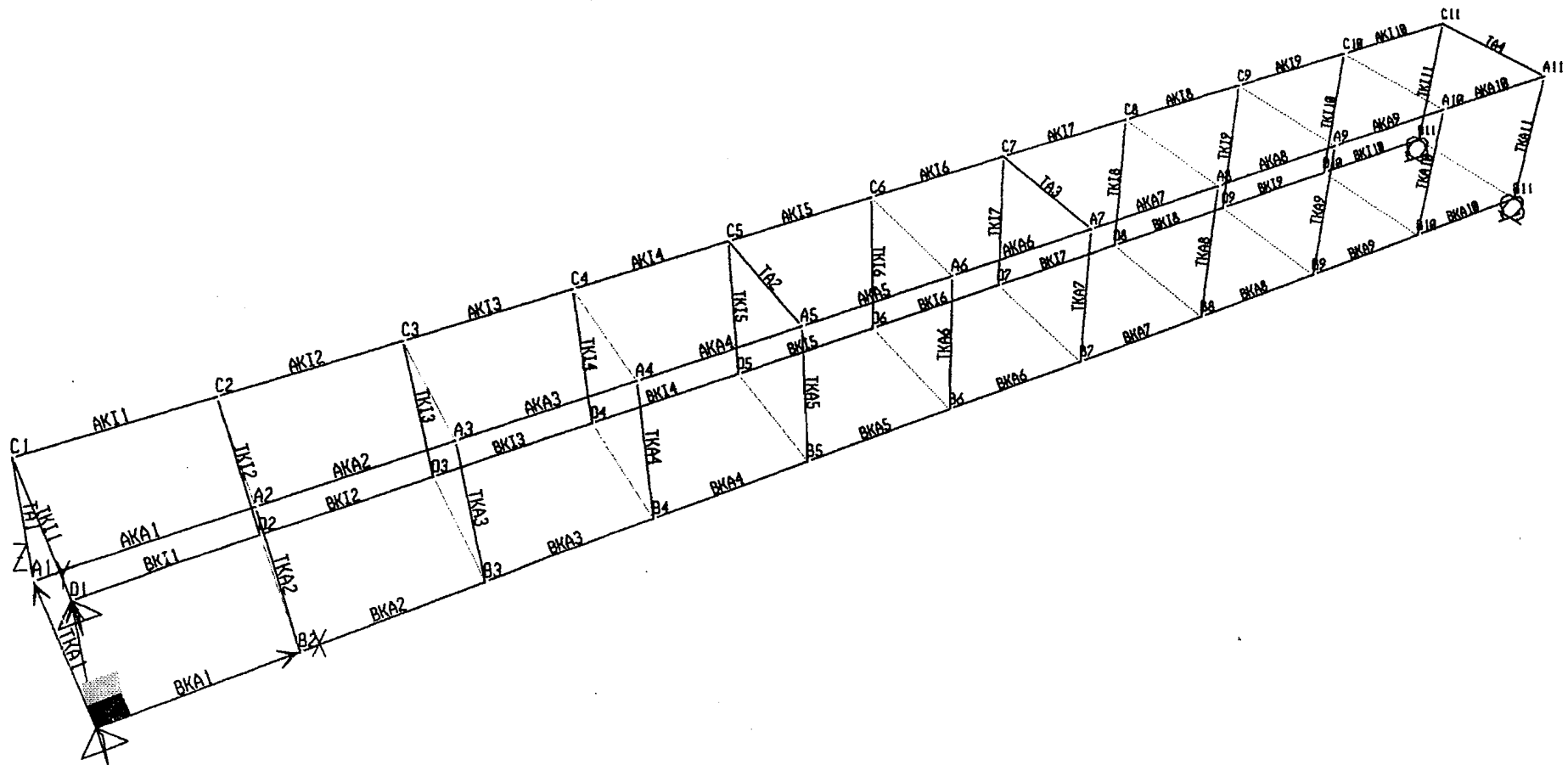
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AKI3	30	-18,49021	-3,494768	56,47859
AKI4	0	-23,87926	-6,419858	-28,48932
AKI4	15	-23,87926	1,148892	29,96478
AKI4	30	-23,87926	1,148892	12,7314
AKI5	0	-24,89936	-0,2326068	0,1152574
AKI5	15	-24,89936	-0,2326068	3,604359
AKI5	30	-24,89936	-0,2326068	7,093462
AKI6	0	-24,89936	0,2326068	7,093462
AKI6	15	-24,89936	0,2326068	3,604359
AKI6	30	-24,89936	0,2326068	0,1152574
AKI7	0	-23,87926	-1,148892	12,7314
AKI7	15	-23,87926	-1,148892	29,96478
AKI7	30	-23,87926	6,419858	-28,48932
AKI8	0	-18,49021	3,494768	56,47859
AKI8	15	-18,49021	3,494768	4,057074
AKI8	30	-18,49021	3,494768	-48,36444
AKI9	0	-11,31088	3,840496	58,62181
AKI9	15	-11,31088	3,840496	1,014376
AKI9	30	-11,31088	3,840496	-56,59306
BKA1	0	4,263062	3,80357	49,98851
BKA1	15	4,263062	3,80357	-7,065048
BKA1	30	4,263062	3,80357	-64,11861
BKA2	0	11,31088	3,728254	56,1767
BKA2	15	11,31088	3,728254	0,2528799
BKA2	30	11,31088	3,728254	-55,67094
BKA3	0	18,49021	4,073982	70,00265
BKA3	15	18,49021	4,073982	8,892916
BKA3	30	18,49021	4,073982	-52,21682
BKA4	0	23,87926	1,148892	27,76593
BKA4	15	23,87926	1,148892	10,53255
BKA4	30	23,87926	1,148892	-6,700839
BKA5	0	24,89936	-0,2326068	2,800702
BKA5	15	24,89936	-0,2326068	6,289804
BKA5	30	24,89936	-0,2326068	9,778906
BKA6	0	24,89936	0,2326068	9,778906
BKA6	15	24,89936	0,2326068	6,289804
BKA6	30	24,89936	0,2326068	2,800702
BKA7	0	23,87926	-1,148892	-6,700839
BKA7	15	23,87926	-1,148892	10,53255
BKA7	30	23,87926	-1,148892	27,76593
BKA8	0	18,49021	-4,073982	-52,21682
BKA8	15	18,49021	-4,073982	8,892916
BKA8	30	18,49021	-4,073982	70,00265
BKA9	0	11,31088	-3,728254	-55,67094
BKA9	15	11,31088	-3,728254	0,2528799
BKA9	30	11,31088	-3,728254	56,1767
BKI1	0	4,263062	3,80357	49,98851
BKI1	15	4,263062	3,80357	-7,065048
BKI1	30	4,263062	3,80357	-64,11861
BKI2	0	11,31088	3,728254	56,1767
BKI2	15	11,31088	3,728254	0,2528799

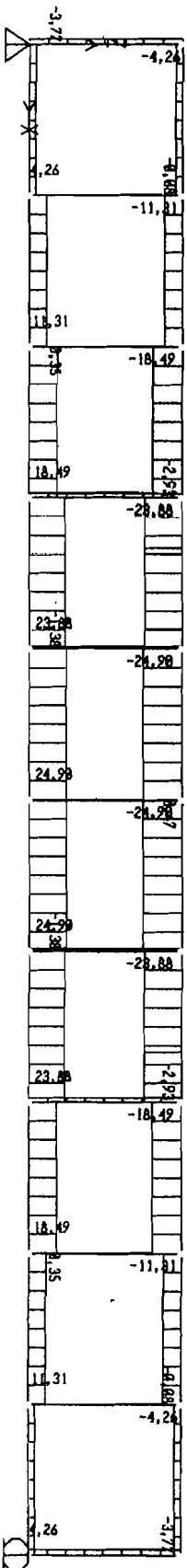
Tabel Lanjutan

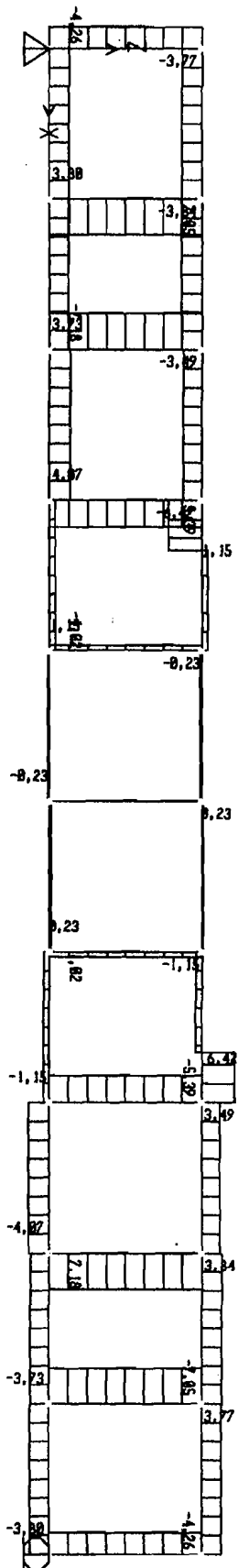
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
BKI2	30	11,31088	3,728254	-55,67094
BKI3	0	18,49021	4,073982	70,00265
BKI3	15	18,49021	4,073982	8,892916
BKI3	30	18,49021	4,073982	-52,21682
BKI4	0	23,87926	1,148892	27,76593
BKI4	15	23,87926	1,148892	10,53255
BKI4	30	23,87926	1,148892	-6,700839
BKI5	0	24,89936	-0,2326068	2,800702
BKI5	15	24,89936	-0,2326068	6,289804
BKI5	30	24,89936	-0,2326068	9,778906
BKI6	0	24,89936	0,2326068	9,778906
BKI6	15	24,89936	0,2326068	6,289804
BKI6	30	24,89936	0,2326068	2,800702
BKI7	0	23,87926	-1,148892	-6,700839
BKI7	15	23,87926	-1,148892	10,53255
BKI7	30	23,87926	-1,148892	27,76593
BKI8	0	18,49021	-4,073982	-52,21682
BKI8	15	18,49021	-4,073982	8,892916
BKI8	30	18,49021	-4,073982	70,00265
BKI9	0	11,31088	-3,728254	-55,67094
BKI9	15	11,31088	-3,728254	0,2528799
BKI9	30	11,31088	-3,728254	56,1767
TKA1	0	-3,76518	-4,263062	-64,11861
TKA1	15	-3,76518	-4,263062	-0,1726656
TKA1	30	-3,76518	-4,263062	63,77327
TKA2	0	-7,531598E-02	7,047821	105,7752
TKA2	15	-7,531598E-02	7,047821	5,786494E-02
TKA2	30	-7,531598E-02	7,047821	-105,6594
TKA3	0	0,3457279	-7,179326	-108,3935
TKA3	15	0,3457279	-7,179326	-0,703631
TKA3	30	0,3457279	-7,179326	106,9863
TKA4	0	-2,92509	5,389047	84,96791
TKA4	15	-2,92509	5,389047	4,132211
TKA4	30	-2,92509	5,389047	-76,70349
TKA5	0	-1,381499	-1,020106	-17,98703
TKA5	15	-1,381499	-1,020106	-2,685444
TKA5	30	-1,381499	-1,020106	12,61614
TKA6	0	0,4652136	-8,468781E-13	-1,271516E-11
TKA6	15	0,4652136	-8,468781E-13	-1,199041E-14
TKA6	30	0,4652136	-8,468781E-13	1,269118E-11
TKA7	0	-1,381499	1,020106	17,98703
TKA7	15	-1,381499	1,020106	2,685444
TKA7	30	-1,381499	1,020106	-12,61614
TKA8	0	-2,92509	-5,389047	-84,96791
TKA8	15	-2,92509	-5,389047	-4,132211
TKA8	30	-2,92509	-5,389047	76,70349
TKA9	0	0,3457279	7,179326	108,3935
TKA9	15	0,3457279	7,179326	0,703631
TKA9	30	0,3457279	7,179326	-106,9863
TKI1	0	-3,76518	-4,263062	-64,11861
TKI1	15	-3,76518	-4,263062	-0,1726656

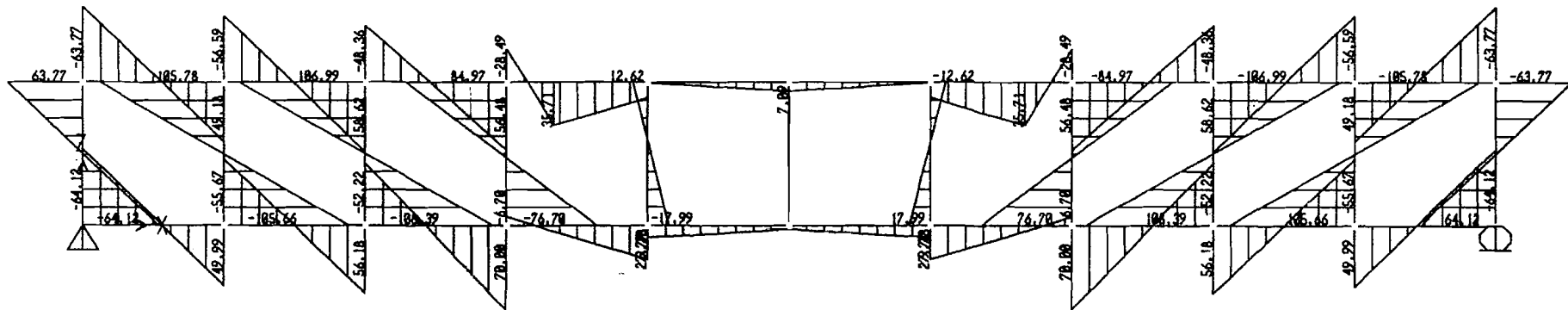
Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TKI1	30	-3,76518	-4,263062	63,77327
TKI2	0	-7,531598E-02	7,047821	105,7752
TKI2	15	-7,531598E-02	7,047821	5,786494E-02
TKI2	30	-7,531598E-02	7,047821	-105,6594
TKI3	0	0,3457279	-7,179326	-108,3935
TKI3	15	0,3457279	-7,179326	-0,703631
TKI3	30	0,3457279	-7,179326	106,9863
TKI4	0	-2,92509	5,389047	84,96791
TKI4	15	-2,92509	5,389047	4,132211
TKI4	30	-2,92509	5,389047	-76,70349
TKI5	0	-1,381499	-1,020106	-17,98703
TKI5	15	-1,381499	-1,020106	-2,685444
TKI5	30	-1,381499	-1,020106	12,61614
TKI6	0	0,4652136	-5,282441E-13	-7,918999E-12
TKI6	15	0,4652136	-5,282441E-13	4,662937E-15
TKI6	30	0,4652136	-5,282441E-13	7,928325E-12
TKI7	0	-1,381499	1,020106	17,98703
TKI7	15	-1,381499	1,020106	2,685444
TKI7	30	-1,381499	1,020106	-12,61614
TKI8	0	-2,92509	-5,389047	-84,96791
TKI8	15	-2,92509	-5,389047	-4,132211
TKI8	30	-2,92509	-5,389047	76,70349
TKI9	0	0,3457279	7,179326	108,3935
TKI9	15	0,3457279	7,179326	0,703631
TKI9	30	0,3457279	7,179326	-106,9863
AKA10	0	-4,263062	3,76518	49,18212
AKA10	15	-4,263062	3,76518	-7,295578
AKA10	30	-4,263062	3,76518	-63,77327
AKI10	0	-4,263062	3,76518	49,18212
AKI10	15	-4,263062	3,76518	-7,295578
AKI10	30	-4,263062	3,76518	-63,77327
BKA10	0	4,263062	-3,80357	-64,11861
BKA10	15	4,263062	-3,80357	-7,065048
BKA10	30	4,263062	-3,80357	49,90051
BKI10	0	4,263062	-3,80357	-64,11861
BKI10	15	4,263062	-3,80357	-7,065048
BKI10	30	4,263062	-3,80357	49,98851
TKA10	0	-7,531598E-02	-7,047821	-105,7752
TKA10	15	-7,531598E-02	-7,047821	-5,786494E-02
TKA10	30	-7,531598E-02	-7,047821	105,6594
TKA11	0	-3,76518	-4,263062	-63,77327
TKA11	15	-3,76518	-4,263062	0,1726656
TKA11	30	-3,76518	-4,263062	64,11861
TKI10	0	-7,531598E-02	-7,047821	-105,7752
TKI10	15	-7,531598E-02	-7,047821	-5,786494E-02
TKI10	30	-7,531598E-02	-7,047821	105,6594
TKI11	0	-3,76518	-4,263062	-63,77327
TKI11	15	-3,76518	-4,263062	0,1726656
TKI11	30	-3,76518	-4,263062	64,11861









**Gaya Batang Setiap Elemen Benda Uji V (Lb/ry = 73,4718)
Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban P = 30.10 kN**

FRAME	STATION	P	V2	M3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TA1	0	-7,003409E-17	-7,003079E-13	-1,050426E-11
TA1	15	-7,003409E-17	-7,003079E-13	3,538836E-16
TA1	30	-7,003409E-17	-7,003079E-13	1,050497E-11
TA2	0	5,918995E-16	1,399769E-12	2,103206E-11
TA2	15	5,918995E-16	1,399769E-12	3,552714E-14
TA2	30	5,918995E-16	1,399769E-12	-2,096101E-11
TA3	0	-1,690855E-16	-7,004883E-13	-1,050626E-11
TA3	15	-1,690855E-16	-7,004883E-13	1,061651E-15
TA3	30	-1,690855E-16	-7,004883E-13	1,050839E-11
TK1	0	-3,743416	-4,23842	-63,74797
TK1	15	-3,743416	-4,23842	-0,1716675
TK1	30	-3,743416	-4,23842	63,40464
TK2	0	-7,488063E-02	7,007082	105,1638
TK2	15	-7,488063E-02	7,007082	5,753046E-02
TK2	30	-7,488063E-02	7,007082	-105,0487
TK3	0	0,3437294	-7,137826	-107,767
TK3	15	0,3437294	-7,137826	-0,6995637
TK3	30	0,3437294	-7,137826	106,3678
TK4	0	-2,908182	5,357896	84,47677
TK4	15	-2,908182	5,357896	4,108325
TK4	30	-2,908182	5,357896	-76,26012
TK5	0	-1,373514	-1,014209	-17,88306
TK5	15	-1,373514	-1,014209	-2,669921
TK5	30	-1,373514	-1,014209	12,54321
TK6	0	0,4625245	6,017409E-14	8,029133E-13
TK6	15	0,4625245	6,017409E-14	-9,969803E-14
TK6	30	0,4625245	6,017409E-14	-1,002309E-12
TK7	0	-1,373514	1,014209	17,88306
TK7	15	-1,373514	1,014209	2,669921
TK7	30	-1,373514	1,014209	-12,54321
TK8	0	-2,908182	-5,357896	-84,47677
TK8	15	-2,908182	-5,357896	-4,108325
TK8	30	-2,908182	-5,357896	76,26012
TK9	0	0,3437294	7,137826	107,767
TK9	15	0,3437294	7,137826	0,6995637
TK9	30	0,3437294	7,137826	-106,3678
AKA1	0	-4,23842	-3,743416	-63,40464
AKA1	15	-4,23842	-3,743416	-7,253407
AKA1	30	-4,23842	-3,743416	48,89783
AKA2	0	-11,2455	-3,818296	-56,26593
AKA2	15	-11,2455	-3,818296	1,008512
AKA2	30	-11,2455	-3,818296	58,28296
AKA3	0	-18,38333	-3,474567	-48,08488
AKA3	15	-18,38333	-3,474567	4,033623
AKA3	30	-18,38333	-3,474567	56,15212
AKA4	0	-23,74122	-6,382749	-28,32464
AKA4	15	-23,74122	1,142251	29,79158

Tabel Lanjutan

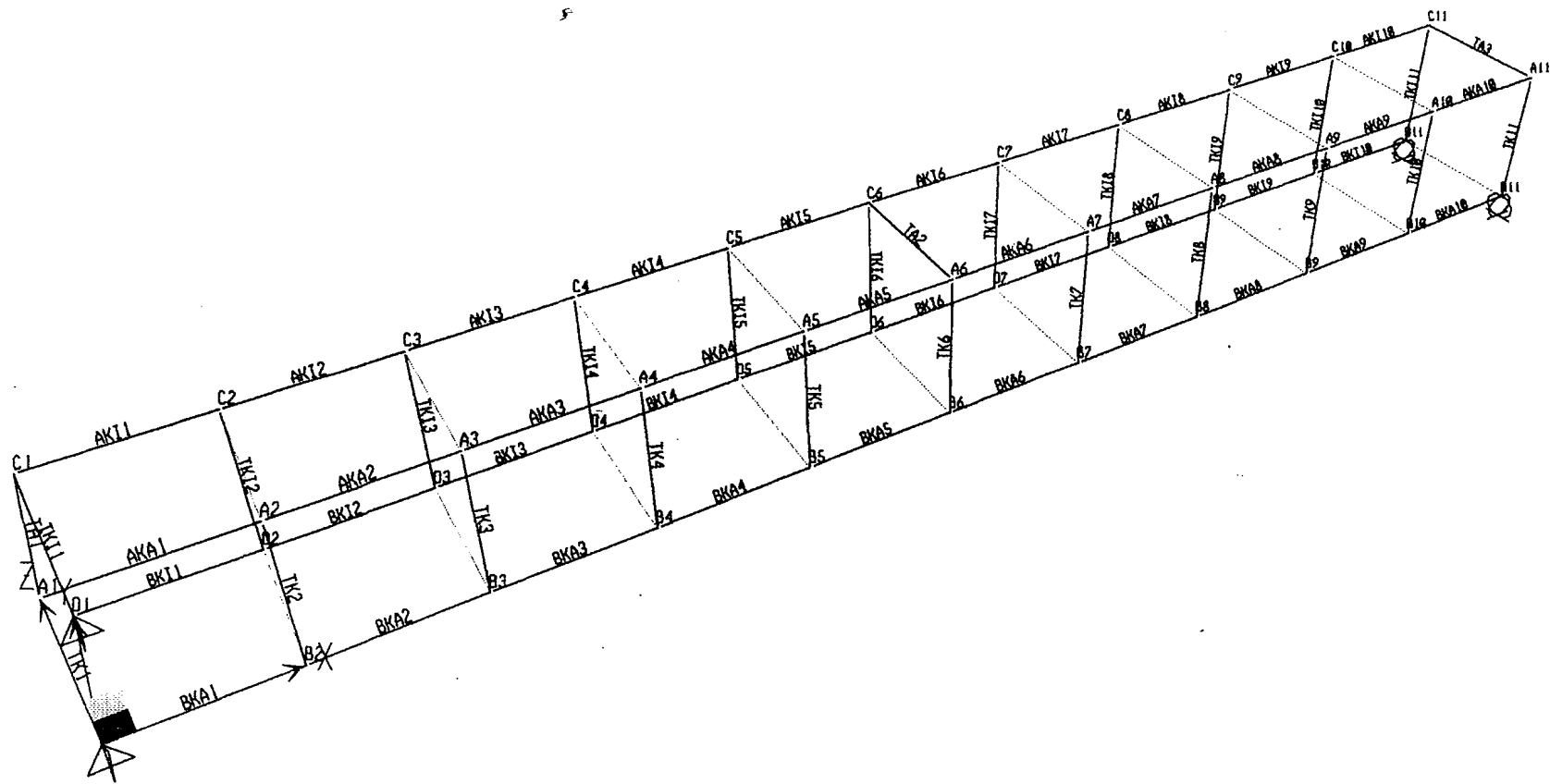
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AKA4	30	-23,74122	1,142251	12,65781
AKA5	0	-24,75543	-0,2312623	0,1145912
AKA5	15	-24,75543	-0,2312623	3,583525
AKA5	30	-24,75543	-0,2312623	7,052459
AKA6	0	-24,75543	0,2312623	7,052459
AKA6	15	-24,75543	0,2312623	3,583525
AKA6	30	-24,75543	0,2312623	0,1145912
AKA7	0	-23,74122	-1,142251	12,65781
AKA7	15	-23,74122	-1,142251	29,79158
AKA7	30	-23,74122	6,382749	-28,32464
AKA8	0	-18,38333	3,474567	56,15212
AKA8	15	-18,38333	3,474567	4,033623
AKA8	30	-18,38333	3,474567	-48,08488
AKA9	0	-11,2455	3,818296	58,28296
AKA9	15	-11,2455	3,818296	1,008512
AKA9	30	-11,2455	3,818296	-56,26593
AKI1	0	-4,23842	-3,743416	-63,40464
AKI1	15	-4,23842	-3,743416	-7,253407
AKI1	30	-4,23842	-3,743416	48,89783
AKI2	0	-11,2455	-3,818296	-56,26593
AKI2	15	-11,2455	-3,818296	1,008512
AKI2	30	-11,2455	-3,818296	58,28296
AKI3	0	-18,38333	-3,474567	-48,08488
AKI3	15	-18,38333	-3,474567	4,033623
AKI3	30	-18,38333	-3,474567	56,15212
AKI4	0	-23,74122	-6,382749	-28,32464
AKI4	15	-23,74122	1,142251	29,79158
AKI4	30	-23,74122	1,142251	12,65781
AKI5	0	-24,75543	-0,2312623	0,1145912
AKI5	15	-24,75543	-0,2312623	3,583525
AKI5	30	-24,75543	-0,2312623	7,052459
AKI6	0	-24,75543	0,2312623	7,052459
AKI6	15	-24,75543	0,2312623	3,583525
AKI6	30	-24,75543	0,2312623	0,1145912
AKI7	0	-23,74122	-1,142251	12,65781
AKI7	15	-23,74122	-1,142251	29,79158
AKI7	30	-23,74122	6,382749	-28,32464
AKI8	0	-18,38333	3,474567	56,15212
AKI8	15	-18,38333	3,474567	4,033623
AKI8	30	-18,38333	3,474567	-48,08488
AKI9	0	-11,2455	3,818296	58,28296
AKI9	15	-11,2455	3,818296	1,008512
AKI9	30	-11,2455	3,818296	-56,26593
BAKA1	0	4,23842	3,781585	49,69956
BAKA1	15	4,23842	3,781585	-7,024209
BAKA1	30	4,23842	3,781585	-63,74797
BAKA2	0	11,2455	3,706704	55,85197
BAKA2	15	11,2455	3,706704	0,2514182
BAKA2	30	11,2455	3,706704	-55,34914
BAKA3	0	18,38333	4,050433	69,59801
BAKA3	15	18,38333	4,050433	8,841512

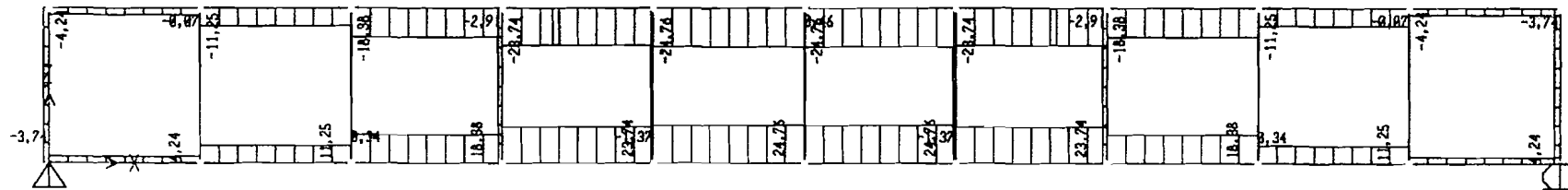
Tabel Lanjutan

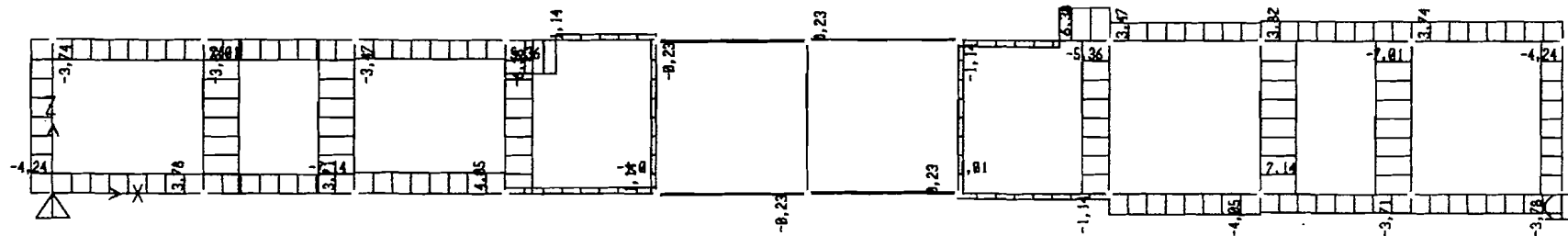
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
BAK3	30	18,38333	4,050433	-51,91499
BAK4	0	23,74122	1,142251	27,60544
BAK4	15	23,74122	1,142251	10,47167
BAK4	30	23,74122	1,142251	-6,662106
BAK5	0	24,75543	-0,2312623	2,784513
BAK5	15	24,75543	-0,2312623	6,253447
BAK5	30	24,75543	-0,2312623	9,722381
BAK6	0	24,75543	0,2312623	9,722381
BAK6	15	24,75543	0,2312623	6,253447
BAK6	30	24,75543	0,2312623	2,784513
BAK7	0	23,74122	-1,142251	-6,662106
BAK7	15	23,74122	-1,142251	10,47167
BAK7	30	23,74122	-1,142251	27,60544
BAK8	0	18,38333	-4,050433	-51,91499
BAK8	15	18,38333	-4,050433	8,841512
BAK8	30	18,38333	-4,050433	69,59801
BAK9	0	11,2455	-3,706704	-55,34914
BAK9	15	11,2455	-3,706704	0,2514182
BAK9	30	11,2455	-3,706704	55,85197
BKI1	0	4,23842	3,781585	49,69956
BKI1	15	4,23842	3,781585	-7,024209
BKI1	30	4,23842	3,781585	-63,74797
BKI2	0	11,2455	3,706704	55,85197
BKI2	15	11,2455	3,706704	0,2514182
BKI2	30	11,2455	3,706704	-55,34914
BKI3	0	18,38333	4,050433	69,59801
BKI3	15	18,38333	4,050433	8,841512
BKI3	30	18,38333	4,050433	-51,91499
BKI4	0	23,74122	1,142251	27,60544
BKI4	15	23,74122	1,142251	10,47167
BKI4	30	23,74122	1,142251	-6,662106
BKI5	0	24,75543	-0,2312623	2,784513
BKI5	15	24,75543	-0,2312623	6,253447
BKI5	30	24,75543	-0,2312623	9,722381
BKI6	0	24,75543	0,2312623	9,722381
BKI6	15	24,75543	0,2312623	6,253447
BKI6	30	24,75543	0,2312623	2,784513
BKI7	0	23,74122	-1,142251	-6,662106
BKI7	15	23,74122	-1,142251	10,47167
BKI7	30	23,74122	-1,142251	27,60544
BKI8	0	18,38333	-4,050433	-51,91499
BKI8	15	18,38333	-4,050433	8,841512
BKI8	30	18,38333	-4,050433	69,59801
BKI9	0	11,2455	-3,706704	-55,34914
BKI9	15	11,2455	-3,706704	0,2514182
BKI9	30	11,2455	-3,706704	55,85197
TK10	0	-7,488063E-02	-7,007082	-105,1638
TK10	15	-7,488063E-02	-7,007082	-5,753046E-02
TK10	30	-7,488063E-02	-7,007082	105,0487
TK11	0	-3,743416	-4,23842	-63,40464
TK11	15	-3,743416	-4,23842	0,1716675

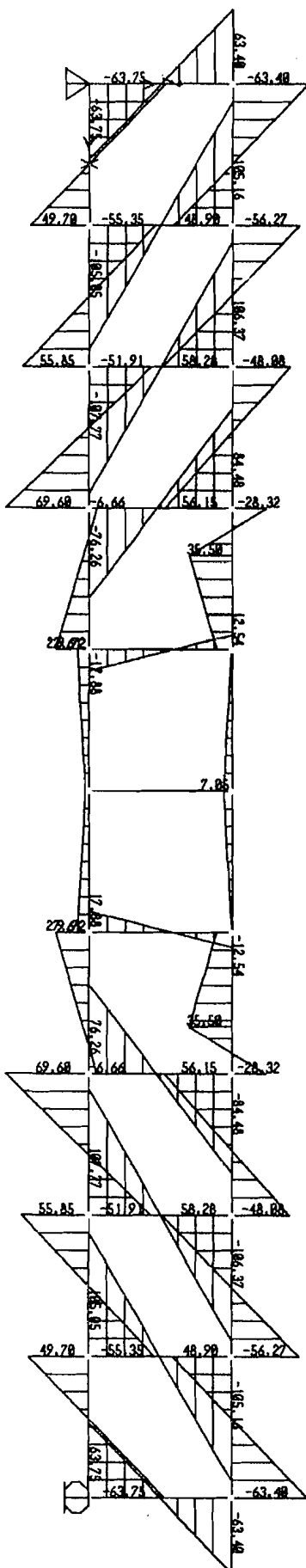
Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TKI1	30	-3,743416	-4,23842	63,74797
TKI1	0	-3,743416	-4,23842	-63,74797
TKI1	15	-3,743416	-4,23842	-0,1716675
TKI1	30	-3,743416	-4,23842	63,40464
TKI2	0	-7,488063E-02	7,007082	105,1638
TKI2	15	-7,488063E-02	7,007082	5,753046E-02
TKI2	30	-7,488063E-02	7,007082	-105,0487
TKI3	0	0,3437294	-7,137826	-107,767
TKI3	15	0,3437294	-7,137826	-0,6995637
TKI3	30	0,3437294	-7,137826	106,3678
TKI4	0	-2,908182	5,357896	84,47677
TKI4	15	-2,908182	5,357896	4,108325
TKI4	30	-2,908182	5,357896	-76,26012
TKI5	0	-1,373514	-1,014209	-17,88306
TKI5	15	-1,373514	-1,014209	-2,669921
TKI5	30	-1,373514	-1,014209	12,54321
TKI6	0	0,4625245	-3,104184E-13	-4,586553E-12
TKI6	15	0,4625245	-3,104184E-13	6,972201E-14
TKI6	30	0,4625245	-3,104184E-13	4,725997E-12
TKI7	0	-1,373514	1,014209	17,88306
TKI7	15	-1,373514	1,014209	2,669921
TKI7	30	-1,373514	1,014209	-12,54321
TKI8	0	-2,908182	-5,357896	-84,47677
TKI8	15	-2,908182	-5,357896	-4,108325
TKI8	30	-2,908182	-5,357896	76,26012
TKI9	0	0,3437294	7,137826	107,767
TKI9	15	0,3437294	7,137826	0,6995637
TKI9	30	0,3437294	7,137826	-106,3678
AKA10	0	-4,23842	3,743416	48,89783
AKA10	15	-4,23842	3,743416	-7,253407
AKA10	30	-4,23842	3,743416	-63,40464
AKI10	0	-4,23842	3,743416	48,89783
AKI10	15	-4,23842	3,743416	-7,253407
AKI10	30	-4,23842	3,743416	-63,40464
BAK10	0	4,23842	-3,781585	-63,74797
BAK10	15	4,23842	-3,781585	-7,024209
BAK10	30	4,23842	-3,781585	49,69956
BKI10	0	4,23842	-3,781585	-63,74797
BKI10	15	4,23842	-3,781585	-7,024209
BKI10	30	4,23842	-3,781585	49,69956
TKI10	0	-7,488063E-02	-7,007082	-105,1638
TKI10	15	-7,488063E-02	-7,007082	-5,753046E-02
TKI10	30	-7,488063E-02	-7,007082	105,0487
TKI11	0	-3,743416	-4,23842	-63,40464
TKI11	15	-3,743416	-4,23842	0,1716675
TKI11	30	-3,743416	-4,23842	63,74797









**Gaya Batang Setiap Elemen Benda Uji VI (Lb/ry = 146,9436)
Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban P = 26,25 kN**

FRAME	STATION	P	V2	M3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TA1	0	-4,305587E-17	-1,484923E-15	-3,941292E-14
TA1	15	-4,305587E-17	-1,484923E-15	-1,713907E-14
TA1	30	-4,305587E-17	-1,484923E-15	5,134781E-15
TA2	0	4,877903E-15	1,058875E-14	1,402212E-13
TA2	15	4,877903E-15	1,058875E-14	-1,861011E-14
TA2	30	4,877903E-15	1,058875E-14	-1,774414E-13
AKA1	0	-3,696297	3,264607	42,64345
AKA1	15	-3,696297	3,264607	-6,325646
AKA1	30	-3,696297	3,264607	-55,29475
AKA2	0	-9,807124	3,32991	50,82816
AKA2	15	-9,807124	3,32991	0,8795167
AKA2	30	-9,807124	3,32991	-49,06913
AKA3	0	-16,03197	3,030145	48,96988
AKA3	15	-16,03197	3,030145	3,517694
AKA3	30	-16,03197	3,030145	-41,93449
AKA4	0	-20,70456	-0,9961495	11,03878
AKA4	15	-20,70456	-0,9961495	25,98103
AKA4	30	-20,70456	5,56635	-24,70173
AKA5	0	-21,58904	0,2016822	6,1504
AKA5	15	-21,58904	0,2016822	3,125167
AKA5	30	-21,58904	0,2016822	9,993414E-02
AKA6	0	-21,58904	-0,2016822	9,993414E-02
AKA6	15	-21,58904	-0,2016822	3,125167
AKA6	30	-21,58904	-0,2016822	6,1504
AKA7	0	-20,70456	-5,56635	-24,70173
AKA7	15	-20,70456	0,9961495	25,98103
AKA7	30	-20,70456	0,9961495	11,03878
AKA8	0	-16,03197	-3,030145	-41,93449
AKA8	15	-16,03197	-3,030145	3,517694
AKA8	30	-16,03197	-3,030145	48,96988
AKA9	0	-9,807124	-3,32991	-49,06913
AKA9	15	-9,807124	-3,32991	0,8795167
AKA9	30	-9,807124	-3,32991	50,82816
AKI1	0	-3,696297	-3,264607	-55,29475
AKI1	15	-3,696297	-3,264607	-6,325646
AKI1	30	-3,696297	-3,264607	42,64345
AKI2	0	-9,807124	-3,32991	-49,06913
AKI2	15	-9,807124	-3,32991	0,8795167
AKI2	30	-9,807124	-3,32991	50,82816
AKI3	0	-16,03197	-3,030145	-41,93449
AKI3	15	-16,03197	-3,030145	3,517694
AKI3	30	-16,03197	-3,030145	48,96988
AKI4	0	-20,70456	-5,56635	-24,70173
AKI4	15	-20,70456	0,9961495	25,98103
AKI4	30	-20,70456	0,9961495	11,03878
AKI5	0	-21,58904	-0,2016822	9,993414E-02
AKI5	15	-21,58904	-0,2016822	3,125167

Tabel Lanjutan

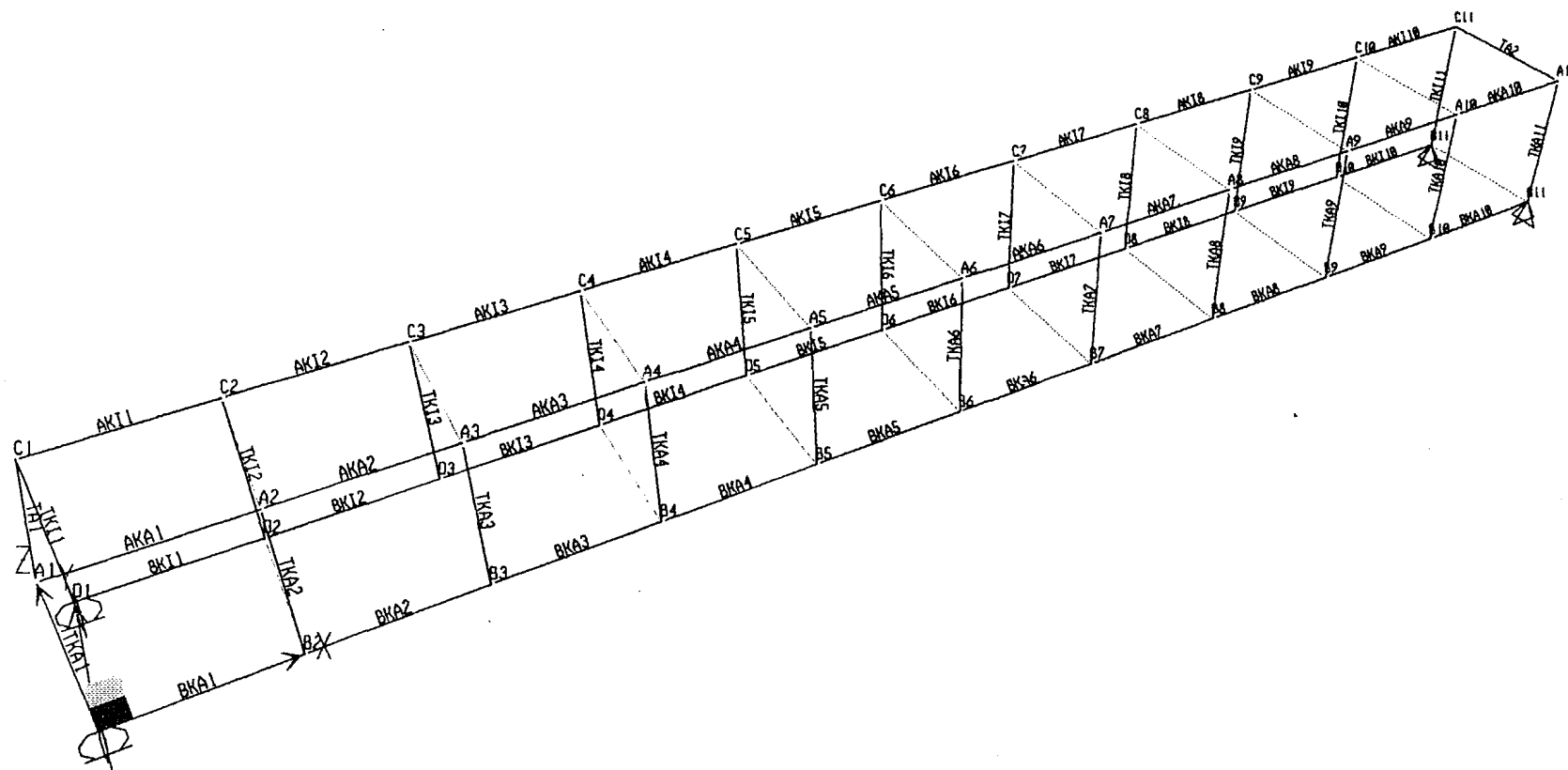
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AKI5	30	-21,58904	-0,2016822	6,1504
AKI6	0	-21,58904	0,2016822	6,1504
AKI6	15	-21,58904	0,2016822	3,125167
AKI6	30	-21,58904	0,2016822	9,993414E-02
AKI7	0	-20,70456	-0,9961495	11,03878
AKI7	15	-20,70456	-0,9961495	25,98103
AKI7	30	-20,70456	5,56635	-24,70173
AKI8	0	-16,03197	3,030145	48,96988
AKI8	15	-16,03197	3,030145	3,517694
AKI8	30	-16,03197	3,030145	-41,93449
AKI9	0	-9,807124	3,32991	50,82816
AKI9	15	-9,807124	3,32991	0,8795167
AKI9	30	-9,807124	3,32991	-49,06913
BKA1	0	3,696297	3,297893	43,34264
BKA1	15	3,696297	3,297893	-6,125764
BKA1	30	3,696297	3,297893	-55,59417
BKA2	0	9,807124	3,23259	48,70812
BKA2	15	9,807124	3,23259	0,2192601
BKA2	30	9,807124	3,23259	-48,2696
BKA3	0	16,03197	3,532355	60,69594
BKA3	15	16,03197	3,532355	7,710621
BKA3	30	16,03197	3,532355	-45,2747
BKA4	0	20,70456	0,9961495	24,07451
BKA4	15	20,70456	0,9961495	9,132267
BKA4	30	20,70456	0,9961495	-5,809976
BKA5	0	21,58904	-0,2016822	2,428354
BKA5	15	21,58904	-0,2016822	5,453587
BKA5	30	21,58904	-0,2016822	8,47882
BKA6	0	21,58904	0,2016822	8,47882
BKA6	15	21,58904	0,2016822	5,453587
BKA6	30	21,58904	0,2016822	2,428354
BKA7	0	20,70456	-0,9961495	-5,809976
BKA7	15	20,70456	-0,9961495	0,132267
BKA7	30	20,70456	-0,9961495	24,07451
BKA8	0	16,03197	-3,532355	-45,2747
BKA8	15	16,03197	-3,532355	7,710621
BKA8	30	16,03197	-3,532355	60,69594
BKA9	0	9,807124	-3,23259	-48,2696
BKA9	15	9,807124	-3,23259	0,2192601
BKA9	30	9,807124	-3,23259	48,70812
BKI1	0	3,696297	-3,297893	-55,59417
BKI1	15	3,696297	-3,297893	-6,125764
BKI1	30	3,696297	-3,297893	43,34264
BKI2	0	9,807124	-3,23259	-48,2696
BKI2	15	9,807124	-3,23259	0,2192601
BKI2	30	9,807124	-3,23259	48,70812
BKI3	0	16,03197	-3,532355	-45,2747
BKI3	15	16,03197	-3,532355	7,710621
BKI3	30	16,03197	-3,532355	60,69594
BKI4	0	20,70456	-0,9961495	-5,809976
BKI4	15	20,70456	-0,9961495	9,132267

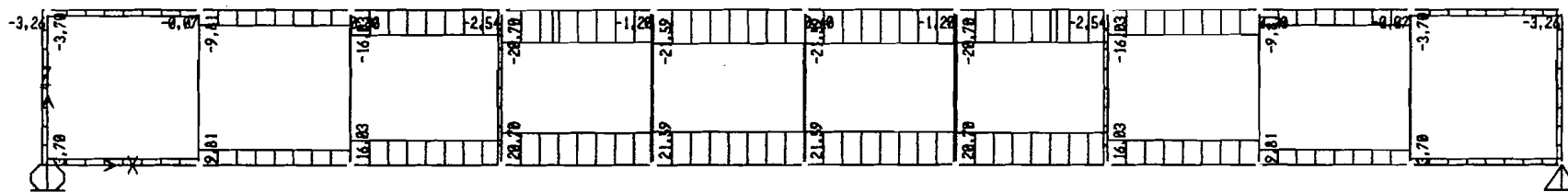
Tabel Lanjutan

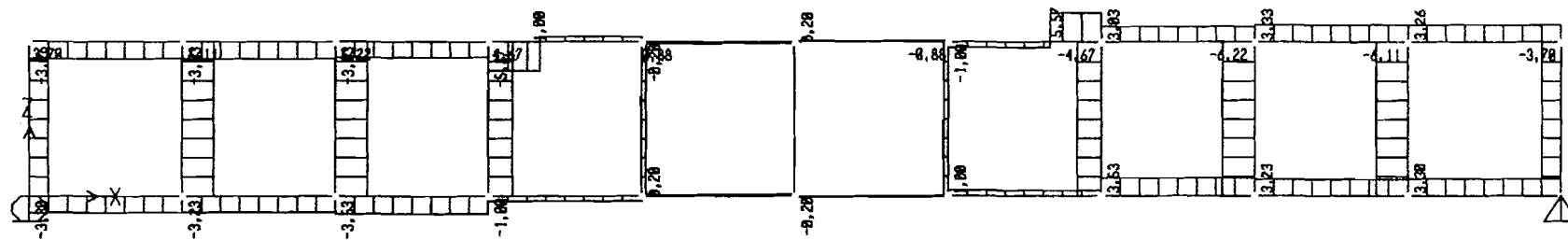
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
BKI4	30	20,70456	-0,9961495	24,07451
BKI5	0	21,58904	0,2016822	8,47882
BKI5	15	21,58904	0,2016822	5,453587
BKI5	30	21,58904	0,2016822	2,428354
BKI6	0	21,58904	-0,2016822	2,428354
BKI6	15	21,58904	-0,2016822	5,453587
BKI6	30	21,58904	-0,2016822	8,47882
BKI7	0	20,70456	0,9961495	24,07451
BKI7	15	20,70456	0,9961495	9,132267
BKI7	30	20,70456	0,9961495	-5,809976
BKI8	0	16,03197	3,532355	60,69594
BKI8	15	16,03197	3,532355	7,710621
BKI8	30	16,03197	3,532355	-45,2747
BKI9	0	9,807124	3,23259	48,70812
BKI9	15	9,807124	3,23259	0,2192601
BKI9	30	9,807124	3,23259	-48,2696
TKA1	0	-3,264607	3,696297	55,29475
TKA1	15	-3,264607	3,696297	-0,14971
TKA1	30	-3,264607	3,696297	-55,59417
TKA2	0	-6,530287E-02	6,110827	91,71258
TKA2	15	-6,530287E-02	6,110827	5,017191E-02
TKA2	30	-6,530287E-02	6,110827	-91,61224
TKA3	0	0,299764	6,224849	92,76265
TKA3	15	0,299764	6,224849	-0,6100847
TKA3	30	0,299764	6,224849	-93,98282
TKA4	0	-2,536205	4,672584	73,6716
TKA4	15	-2,536205	4,672584	3,582842
TKA4	30	-2,536205	4,672584	-66,50591
TKA5	0	-1,197832	0,8844846	10,93885
TKA5	15	-1,197832	0,8844846	-2,32842
TKA5	30	-1,197832	0,8844846	-15,59569
TKA6	0	0,4033644	-1,738609E-13	-2,629008E-12
TKA6	15	0,4033644	-1,738609E-13	-2,109421E-14
TKA6	30	0,4033644	-1,738609E-13	2,58682E-12
TKA7	0	-1,197832	-0,8844846	-10,93885
TKA7	15	-1,197832	-0,8844846	2,32842
TKA7	30	-1,197832	-0,8844846	15,59569
TKA8	0	-2,536205	-4,672584	-73,6716
TKA8	15	-2,536205	-4,672584	-3,582842
TKA8	30	-2,536205	-4,672584	66,50591
TKA9	0	0,299764	-6,224849	-92,76265
TKA9	15	0,299764	-6,224849	0,6100847
TKA9	30	0,299764	-6,224849	93,98282
TKI1	0	-3,264607	3,696297	55,29475
TKI1	15	-3,264607	3,696297	-0,14971
TKI1	30	-3,264607	3,696297	-55,59417
TKI2	0	-6,530287E-02	6,110827	91,71258
TKI2	15	-6,530287E-02	6,110827	5,017191E-02
TKI2	30	-6,530287E-02	6,110827	-91,61224
TKI3	0	0,299764	6,224849	92,76265
TKI3	15	0,299764	6,224849	-0,6100847

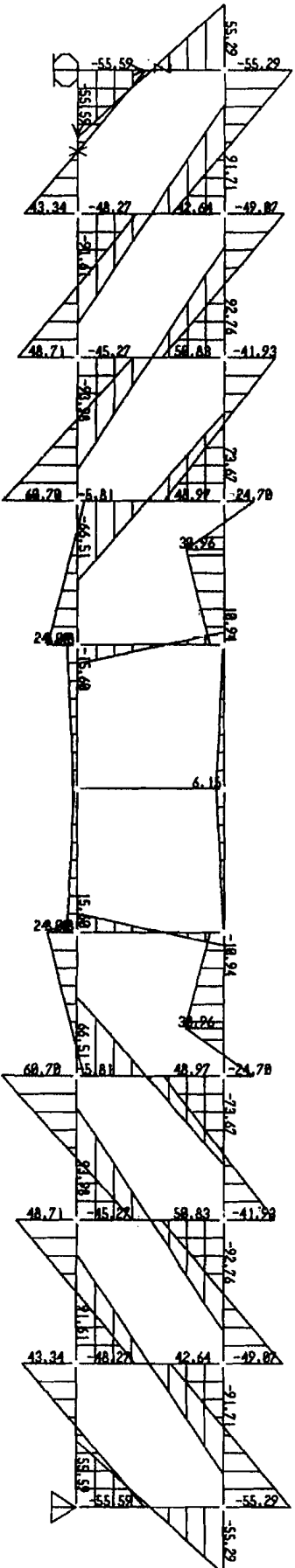
Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TKI3	30	0,299764	6,224849	-93,98282
TKI4	0	-2,536205	4,672584	73,67116
TKI4	15	-2,536205	4,672584	3,582842
TKI4	30	-2,536205	4,672584	-66,50591
TKI5	0	-1,197832	0,8844846	10,93885
TKI5	15	-1,197832	0,8844846	-2,32842
TKI5	30	-1,197832	0,8844846	-15,59569
TKI6	0	0,4033644	1,032507E-13	1,534772E-12
TKI6	15	0,4033644	1,032507E-13	-1,398881E-14
TKI6	30	0,4033644	1,032507E-13	-1,56275E-12
TKI7	0	-1,197832	-0,8844846	-10,93885
TKI7	15	-1,197832	-0,8844846	2,32842
TKI7	30	-1,197832	-0,8844846	15,59569
TKI8	0	-2,536205	-4,672584	-73,67116
TKI8	15	-2,536205	-4,672584	-3,582842
TKI8	30	-2,536205	-4,672584	66,50591
TKI9	0	0,299764	-6,224849	-92,76265
TKI9	15	0,299764	-6,224849	0,6100847
TKI9	30	0,299764	-6,224849	93,98282
AKA10	0	-3,696297	-3,264607	-55,29475
AKA10	15	-3,696297	-3,264607	-6,325646
AKA10	30	-3,696297	-3,264607	42,64345
AKI10	0	-3,696297	3,264607	42,64345
AKI10	15	-3,696297	3,264607	-6,325646
AKI10	30	-3,696297	3,264607	-55,29475
BKA10	0	3,696297	-3,297893	-55,59417
BKA10	15	3,696297	-3,297893	-6,125764
BKA10	30	3,696297	-3,297893	43,34264
BKI10	0	3,696297	3,297893	43,34264
BKI10	15	3,696297	3,297893	-6,125764
BKI10	30	3,696297	3,297893	-55,59417
TKA10	0	-6,530287E-02	-6,110827	-91,71258
TKA10	15	-6,530287E-02	-6,110827	-5,017191E-02
TKA10	30	-6,530287E-02	-6,110827	91,61224
TKA11	0	-3,264607	-3,696297	-55,29475
TKA11	15	-3,264607	-3,696297	0,14971
TKA11	30	-3,264607	3,696297	55,59417
TKI10	0	-6,530287E-02	-6,110827	-91,71258
TKI10	15	-6,530287E-02	-6,110827	-5,017191E-02
TKI10	30	-6,530287E-02	-6,110827	91,61224
TKI11	0	-3,264607	-3,696297	-55,29475
TKI11	15	-3,264607	-3,696297	0,14971
TKI11	30	-3,264607	-3,696297	55,59417







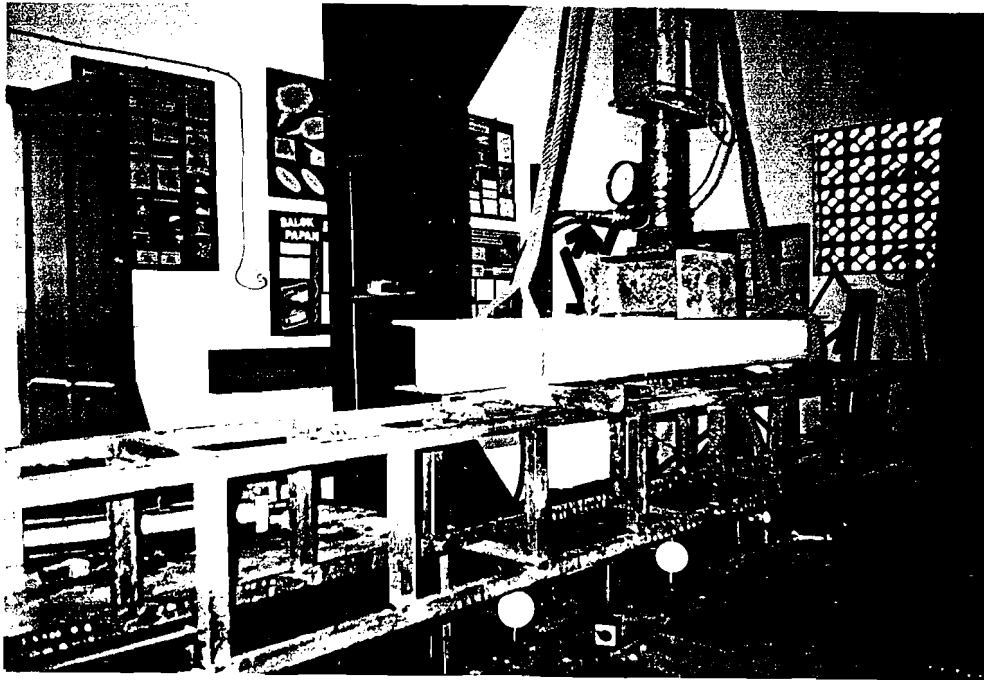


PENGUJIAN BALOK VIERENDEEL

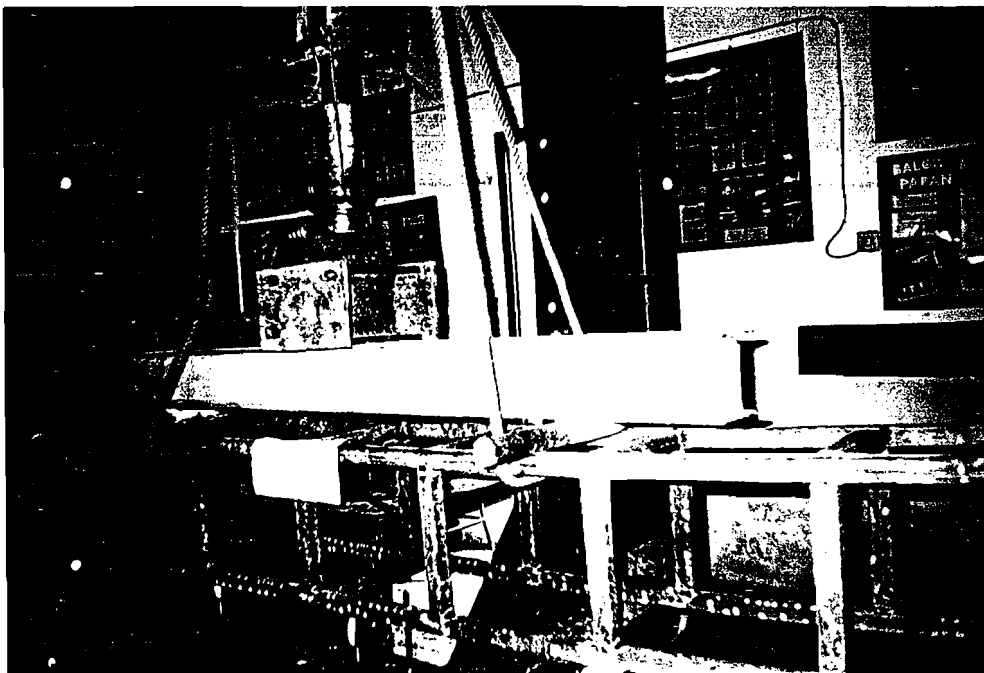
DOKUMENTASI

LAMPIRAN 6

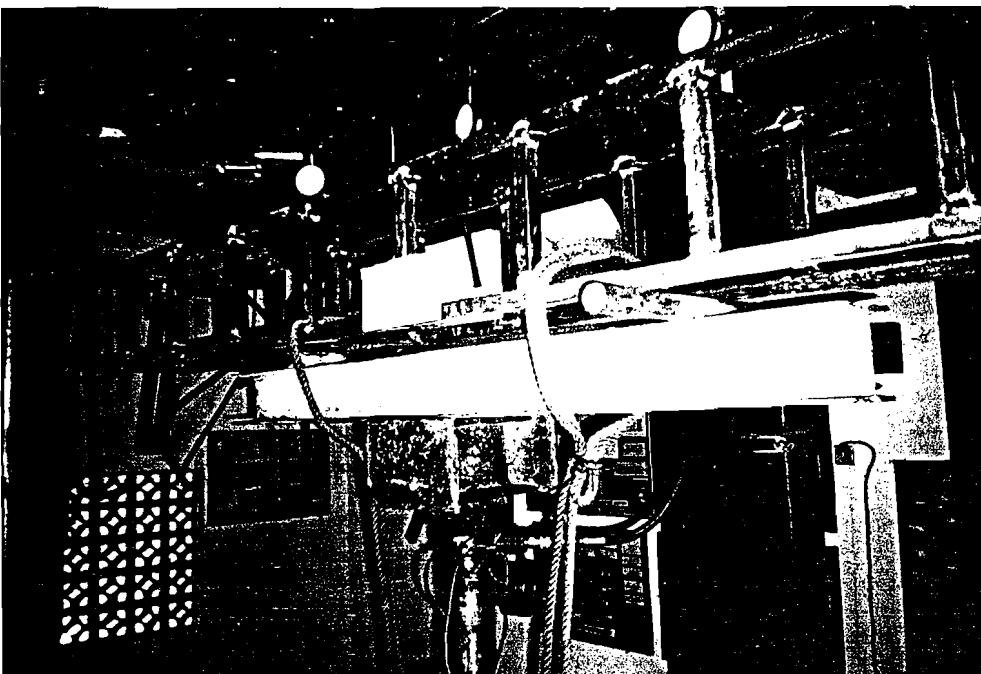
DOKUMENTASI UJI LENTUR BALOK *VIERENDEEL*



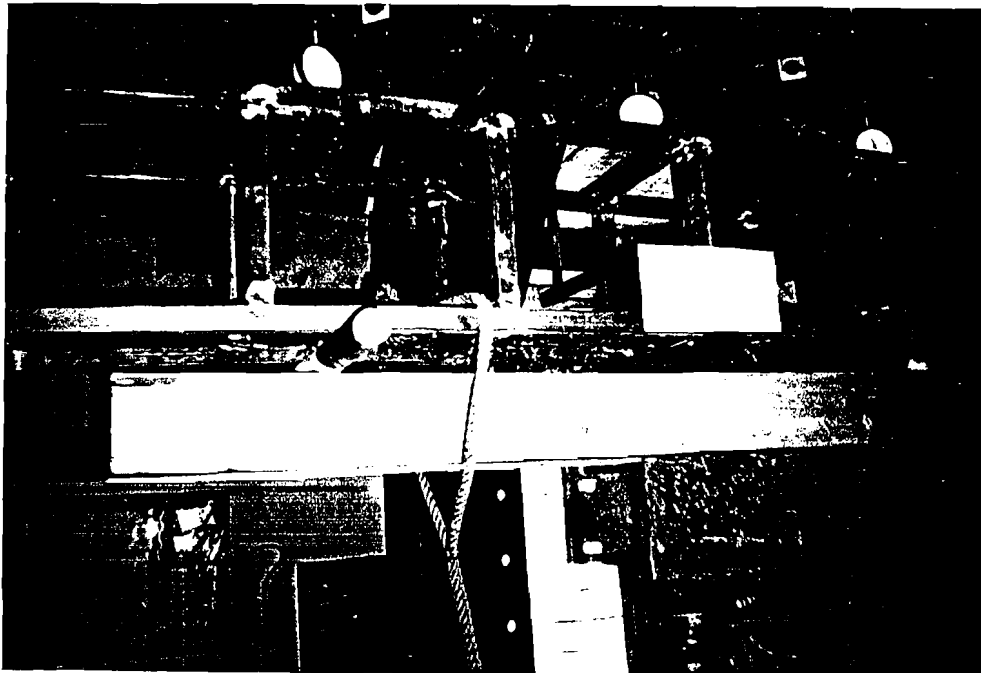
Gambar L6.1 Benda Uji 1 Sebelum Pengujian



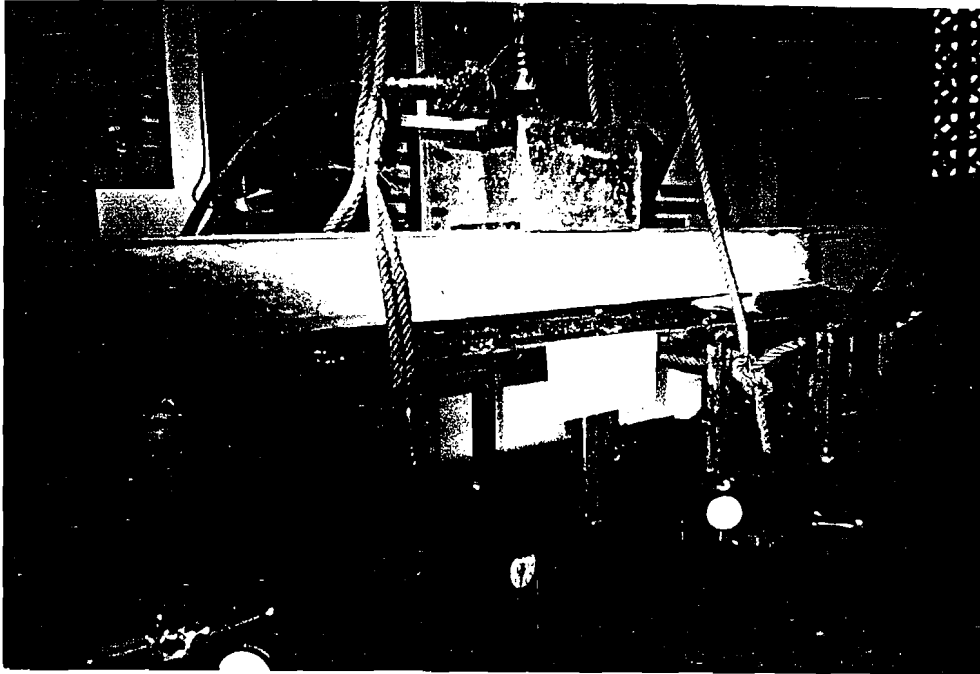
Gambar L6.2 Benda Uji 1 Setelah Pengujian



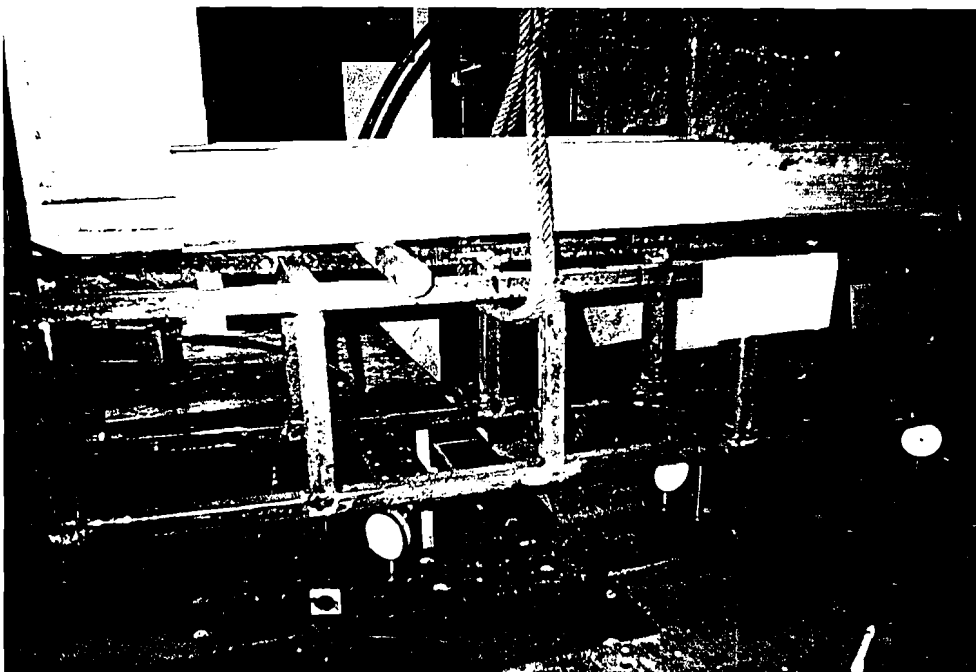
Gambar L6.3 Benda Uji 2 Sebelum Pengujian



Gambar L6.4 Benda Uji 2 Setelah Pengujian



Gambar L6.5 Benda Uji 3 Sebelum Pengujian

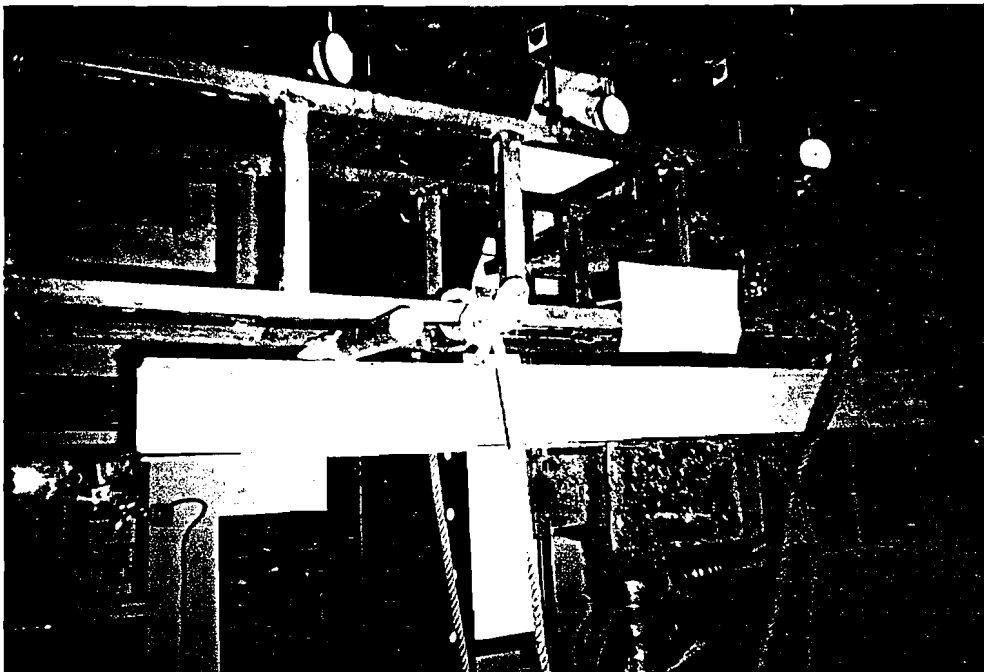


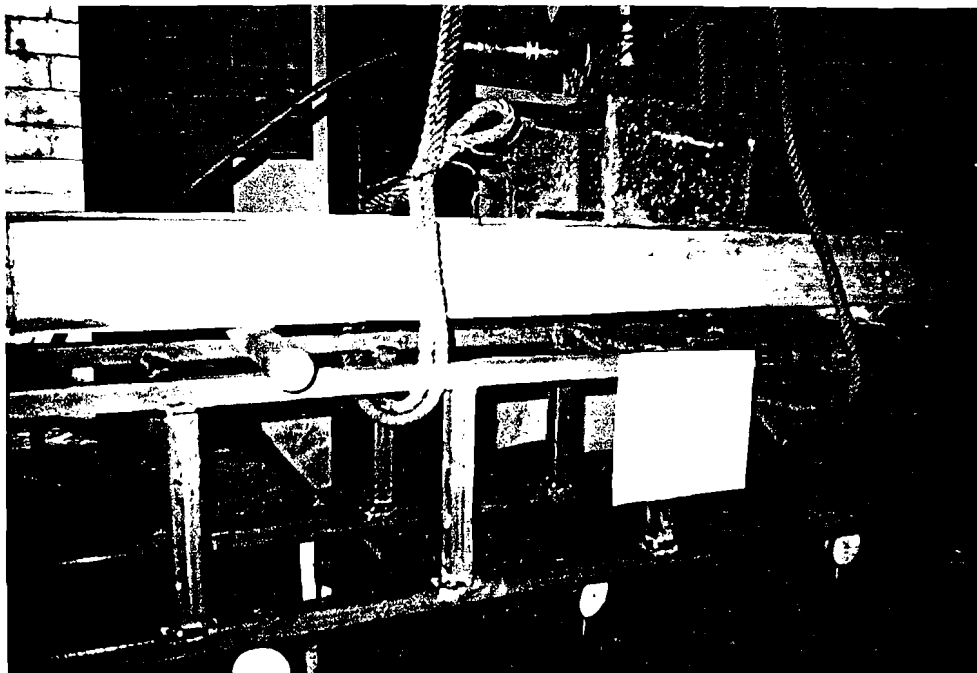
Gambar L6.6 Benda Uji 3 Setelah Pengujian

Gambar L6.8 Benda Uji 4 Setelah Pengujian

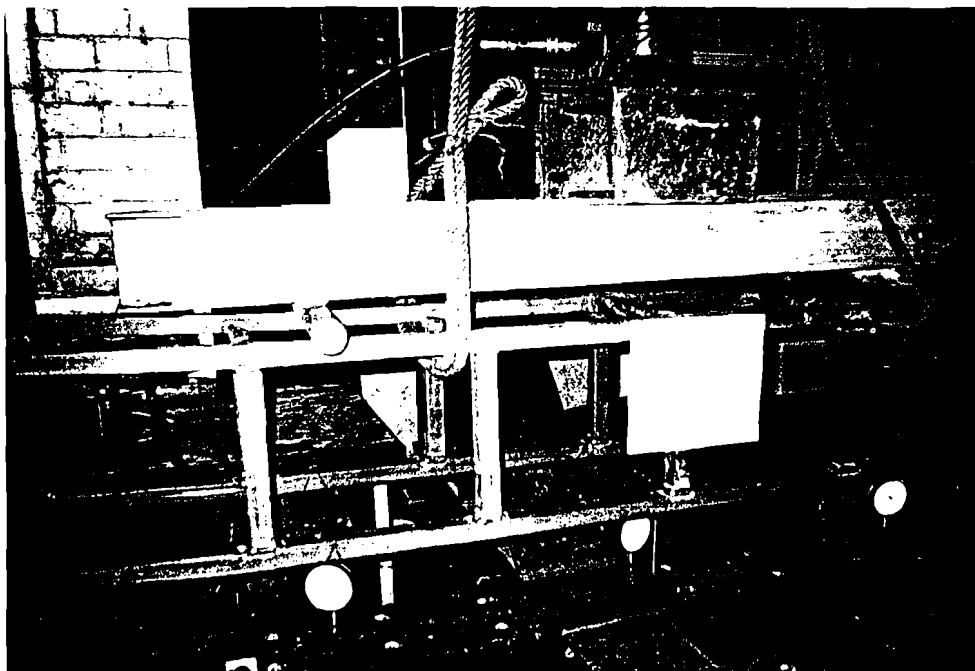


Gambar L6.7 Benda Uji 4 Sebelum Pengujian



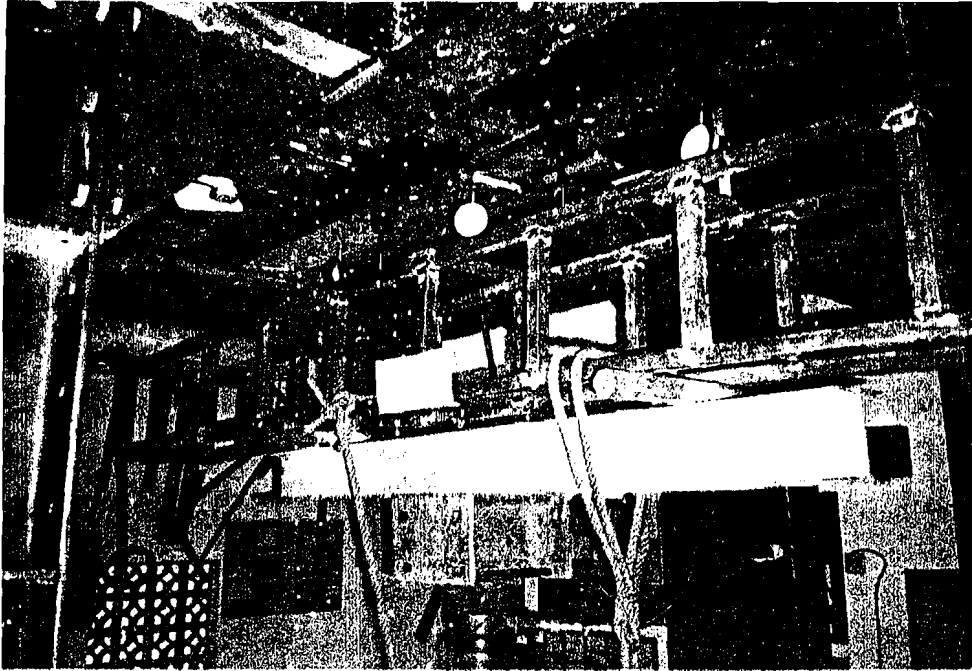


Gambar L6.9 Benda Uji 5 Sebelum Pengujian



Gambar L6.10 Benda Uji 5 Setelah Pengujian

(gambar 1.6.11 Benda Uji 6 Setelah Pengujian)



(gambar 1.6.11 Benda Uji 6 Sebelum Pengujian)

