

PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
TOLONG KEMBALIKAN KE  
NO. JAW. :  
NO. BELAK. :

# PERILAKU LENTUR BALOK *VIERENDEEL* DENGAN VARIASI TINGGI DAN JARAK BATANG TRANSVERSAL

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia  
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh  
derajat Sarjana Teknik Sipil



Oleh :

Nama : NOVIANTI

No. Mhs. : 97 511 060

Nama : VITA NOVERITHA

No.Mhs. : 99 511 150

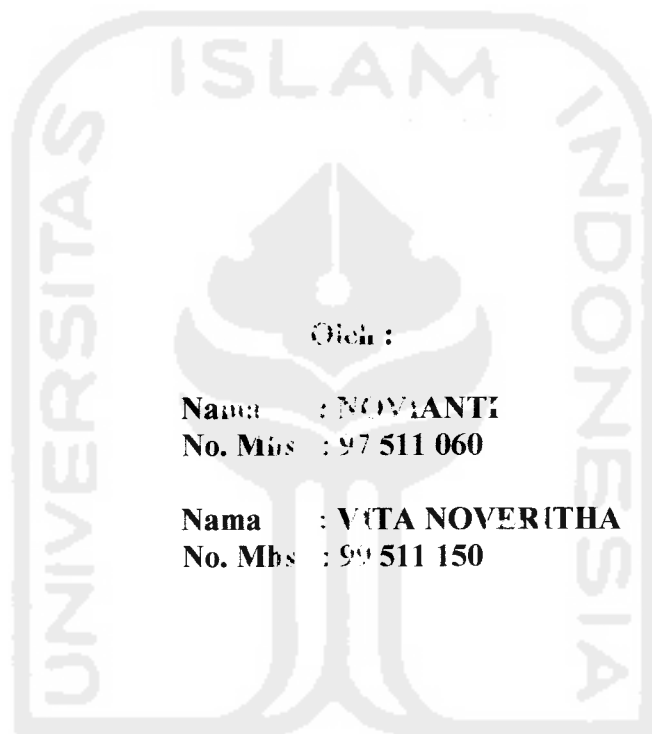
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2004

**HALAMAN PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**PERILAKU LENTUR BALOK *VIERENDEEL* DENGAN VARIASI**

**TINGGI DAN JARAK BATANG TRANSVERSAL**



Oleh :

Nama : **NOVIANTI**

No. Mhs : **97 511 060**

Nama : **VITA NOVERITHA**

No. Mhs : **99 511 150**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Ir. H. Much. SAMSUDIN, MT.**

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. FATKHURROHMAN N., MT.**

**Dosen Pembimbing II**

Tanggal : **01/4-09**

Tanggal : **09/9-2004**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Karya ini kami persembahkan kepada :*

*Allah SWT..... Sang  
Pencipta alam semesta pemilik semua ilmu  
pengetahuan sebagai tanda pengabdianku  
dalam mempelajari ayat-ayat-Mu.*

*Ayahnda, Ibunda, Kakak, dan  
Adik kami .....engkau telah  
memberikan cinta kasih, doa, bimbingan,  
dan harapan kepada adinda dalam  
melihat dan menghadapi dunia yang tak  
akan pernah habis sepanjang waktu.  
Sungguh dirimu telah memberikan arti  
dalam hidupku.*

## HALAMAN MOTTO

*“ .....Allah meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan, beberapa derajat lebih tinggi ( Q.S.Al-Mujaadilah :11)*

*“ Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan” (Q.P.:Al-Insyirah)*

*“ Barangsiapa menempuh jalan untuk menuntut ilmu maka Allah akan memudahkan baginya jalan ke surga” (Hadis Rasulullah P.M)*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu 'alaikum, Wa, Wa.*

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, karena dengan kasih sayang-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Shalawat dan salam semoga selalu terlimpah kepada Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat dan pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas Akhir dengan judul PERILAKU LENTUR BALOK *VIERENDEEL* DENGAN VARIASI TINGGI DAN JARAK BATANG TRANSVERSAL ini kami ajukan sebagai syarat untuk memperoleh derajat strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam menyelesaikan tugas Akhir, penyusun telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Maka dalam kesempatan ini dengan penuh hormat dan keikhlasan hati penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. H. Much. Samsudin, MT, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan selaku Kepala Laboratorium Mekanika Teknik, yang dengan

kesabarannya membimbing penyusun dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

3. Bapak DR.Ir. Ade Ilham, MT, selaku dosen penguji.
4. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Para Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
7. Bapak dan Ibu tercinta atas doa, kesabaran serta dorongan yang telah diberikan kepada ananda selama ini.
8. Kakak dan adik yang telah memberikan semangat.
9. Teman-teman yang telah banyak memberikan bantuan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penyusun menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan ilmu, kemampuan dan pengalaman kami dalam penelitian dan penulisan. Untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun 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 semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua, sehingga kita sebagai hamba-Nya bisa mensyukuri nikmat yang telah

diberikan-Nya. Semoga tugas akhir ini bermanfaat dan memberikan tambahan ilmu bagi kita semua. Amin.

*Habillahittauq wal hidayah*

*Wassalamu 'alaikum H. M.*

Yogyakarta, September 2004



Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
ABSTRAKSI	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
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	6
3.1 Pendahuluan	6
3.1.1 Distribusi Momen pada Batang Tepi	8
3.1.1 Distribusi Momen pada Batang Tepi	12



3.2 Analisis Balok <i>Vierendeel</i>	13
3.3 Batang Tarik pada Balok <i>Vierendeel</i>	18
3.4 Batang Tekan	19
3.5 Kombinasi Tarik dan Momen	23
3.6 Kombinasi Tekan dan Momen	23
3.7 Hubungan Beban-Deformasi	28
3.8 Hubungan Momen-Kelengkungan	30
3.9 Kekakuan	32
3.10 Alat Sambung Las	32
3.11 Hipotesis	35
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>	36
4.1 Metode Penelitian	36
4.2 Bahan dan Alat yang digunakan	37
4.2.1 Bahan Penelitian	37
4.2.2 Peralatan	37
4.3 Model Benda Uji	40
4.4 Pelaksanaan Penelitian	42
4.4.1 Pembuatan Benda Uji	42
4.4.2 Pengujian Pendahuluan	42
4.4.3 Persiapan Peralatan	44
4.4.4 Pengujian Benda Uji Balok <i>Vierendeel</i>	46
4.5 Rencana Jadwal Penelitian	46
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	48

5.1 Hasil Penelitian	48
5.1.1 Hasil Uji Kuat Tarik Baja	48
5.1.2 Hasil Uji Kuat Geser Las	48
5.1.3 Hasil Uji Kuat Lentur Balok <i>Vierendeel</i>	48
5.2 Hubungan Beban-Deformasi	49
5.2.1 Hubungan Beban-Deformasi Numeris SAP	49
5.2.2 Hubungan Beban-Deformasi Penelitian	51
5.2.3 Grafik Hubungan Beban-Deformasi	55
5.3 Hubungan Momen-Kelengkungan	59
5.3.1 Hubungan Momen-Kelengkungan Numeris SAP	59
5.3.2 Data Hubungan Momen-Kelengkungan Penelitian	62
5.3.3 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan	64
5.3.4 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan	67
5.3.5 Analisa Kerusakan Benda Uji	67
5.4 Pembahasan	67
5.4.1 Pembahasan Hasil Uji Kuat Tarik Baja	67
5.4.2 Pembahasan Hasil Uji Kuat Geser Las	68
5.4.3 Pembahasan Hasil Uji Kuat Lentur Balok <i>Vierendeel</i>	68
1. Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Beban-Deformasi	68
2. Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Momen- Kelengkungan	71
3. Hubungan $M_n$ - $M_p$	61
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	76

6.1 Kesimpulan

76

6.2 Saran

77

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN



## DAFTAR SIMBOL

$A$	luas penampang balok <i>vierendeel</i>
$a$	panjang batang tepi bawah balok <i>vierendeel</i>
$b$	panjang batang tepi atas balok <i>vierendeel</i>
$c$	jarak serat yang ditinjau terhadap sumbu netral
$C_m$	Gradien momen
$E$	modulus elastisitas baja
$EI$	kekakuan
$F_a$	Tegangan tekan ijin
$F_b$	Tegangan lentur ijin
$F_{cr}$	tegangan tekuk teoritik pelat
$F_{exx}$	kuat tarik material elektroda
$F_u$	tegangan tarik
$F_y$	tegangan leleh
$f_y$	tegangan lentur
$h$	tinggi batang transversal
$I$	momen inersia
$k$	faktor panjang tekuk, kekakuan
$L$	panjang bentang
$L_n$	panjang penampang balok <i>vierendeel</i>
$L/r$	kelangsingan
$M$	momen

$N$	gaya aksial
$n$	jumlah
$P$	beban aksial
$P_{cr}$	beban tekuk kritis
$R_a$	reaksi pada sendi
$R_b$	reaksi pada rol
$r$	jari-jari inersia, jarak
$S_a$	sumbu pada perpotongan batang tepi bawah dan momen
$S_b$	sumbu pada perpotongan batang tepi atas dan momen
$S_h$	sumbu pada perpotongan batang transversal dan momen
$T$	batang tarik balok <i>vierendeel</i>
$t$	tebal material dasar sepanjang las
$V$	gaya geser
$\alpha$	sudut kemiringan pada batang tepi atas balok <i>vierendeel</i> , derajat
$\pi$	konstanta phi
$\Delta$	deformasi
$\phi$	kelengkungan
$\Phi$	faktor resistensi las sudut = 0.75
$\epsilon$	regangan
$\lambda$	jarak
$\rho$	jari-jari kelengkungan
$\mu$	rasio poisson

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Rencana Kerja Penyusunan Tugas Akhir	47
Tabel 5.1 Data deformasi benda uji hasil numeris SAP (truss) pada dial dan dial 3	49
Tabel 5.2 Data deformasi benda uji hasil numeris SAP (truss) pada dial 2	50
Tabel 5.3 Data deformasi benda uji hasil numeris SAP (frame) dial 1 dan 3	50
Tabel 5.4 Data deformasi benda uji hasil numeris SAP (frame) pada dial 2	50
Tabel 5.5 Beban transversal maksimum balok vierendeel dengan variasi a/h	51
Tabel 5.6 Data deformasi benda uji hasil penelitian pada dial 1	52
Tabel 5.7 Data deformasi benda uji hasil penelitian pada dial 2	53
Tabel 5.8 Data deformasi benda uji hasil penelitian pada dial 3	53
Tabel 5.9 Analisa kekakuan dari data hubungan beban-deformasi	54
Tabel 5.10 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (truss) benda uji 1	59
Tabel 5.11 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (truss) benda uji 2	60
Tabel 5.12 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (truss) benda uji 3	60
Tabel 5.13 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (frame) benda uji 1	61
Tabel 5.14 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (frame) benda uji 2	61

Tabel 5.15 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (frame) benda uji 3	61
Tabel 5.16 Data hubungan momen-kelengkungan penelitian benda uji 1	63
Tabel 5.17 Data hubungan momen-kelengkungan penelitian benda uji 2	63
Tabel 5.18 Data hubungan momen-kelengkungan penelitian benda uji 3	63
Tabel 5.19 Analisa kekakuan dari data hubungan momen-kelengkungan	67
Tabel 5.20 Data hubungan momen nominal dan momen plastis penelitian	71



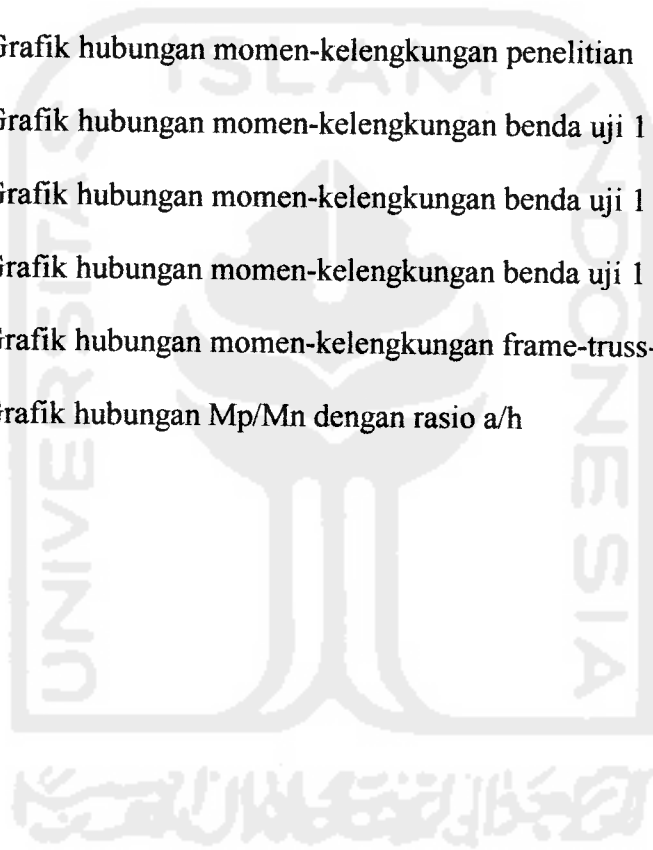
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.a Pembebanan transversal pada balok <i>vierendeel</i>	7
Gambar 3.1.b Diagram geser	7
Gambar 3.1.c Diagram momen	7
Gambar 3.2 Batang transversal pada setengah geometri balok <i>vierendeel</i>	8
Gambar 3.3 Distribusi momen batang tepi	9
Gambar 3.4 Diagram distribusi momen	11
Gambar 3.5 Momen dan gaya pada batang transversal	12
Gambar 3.6 Pembebanan pada balok <i>vierendeel</i>	13
Gambar 3.7 Asumsi sendi pada tengah-tengah bentang	14
Gambar 3.8 Momen dan gaya pada balok <i>vierendeel</i>	15
Gambar 3.9 Gaya dan momen pada perpotongan antara batang dan kolom	16
Gambar 3.10.a Diagram gaya aksial	17
Gambar 3.10.b Diagram gaya geser	17
Gambar 3.10.c Diagram momen	18
Gambar 3.11 Batang tarik	18
Gambar 3.12 Batang lurus menerima gaya tekan P	20
Gambar 3.13 Kombinasi batang tarik dan momen	23
Gambar 3.14 Balok-kolom	24
Gambar 3.15 Kopel gaya	24
Gambar 3.16 Kombinasi tekan dan momen	25
Gambar 3.17 Potongan melintang balok <i>vierendeel</i>	27
Gambar 3.18 Hubungan Momen dan $a/h$	27



Gambar 3.19 Hubungan beban-deformasi	29
Gambar 3.20 Pemebebana dan momen	29
Gambar 3.21 Hubungan inersia-kelengkungan	31
Gambar 3.22 Hubungan momen-kelengkungan	31
Gambar 3.23 Ukuran las maksimum	34
Gambar 4.1 <i>Flow-chart</i> metode penelitian	36
Gambar 4.2 <i>Universal Testing Machine</i> (UTM)	38
Gambar 4.3 Dukungan	38
Gambar 4.4 <i>Loading Frame</i>	39
Gambar 4.5 <i>Dial Gauge</i>	40
Gambar 4.6 <i>Hidraulic jack</i>	40
Gambar 4.7 Benda Uji 1	41
Gambar 4.8 Benda Uji 2	41
Gambar 4.9 Benda Uji 3	41
Gambar 4.10 Benda uji untuk kuat tarik baja	43
Gambar 4.11 Benda uji untuk uji kuat geser las	43
Gambar 4.12 Perletakan <i>dial gauge</i> pada benda uji 1	45
Gambar 4.13 Perletakan <i>dial gauge</i> pada benda uji 2	45
Gambar 4.14 Perletakan <i>dial gauge</i> pada benda uji 3	45
Gambar 5.1 Hubungan $a/h$ -beban maksimum	52
Gambar 5.2 Grafik Hubungan beban-deformasi penelitian pada dial 1	55
Gambar 5.3 Grafik Hubungan beban-deformasi penelitian pada dial 2	55
Gambar 5.4 Grafik Hubungan beban-deformasi penelitian pada dial 3	56

Gambar 5.5 Grafik hubungan beban-deformasi penelitian-numeris SAP B.U 1	56
Gambar 5.6 Grafik hubungan beban-deformasi penelitian-numeris SAP B.U 2	57
Gambar 5.7 Grafik hubungan beban-deformasi penelitian-numeris SAP B.U 3	57
Gambar 5.8 Grafik hubungan beban-deformasi frame-truss-penelitian dial 1	58
Gambar 5.9 Grafik hubungan beban-deformasi frame-truss-penelitian dial 2	58
Gambar 5.10 Grafik hubungan beban-deformasi frame-truss-penelitian dial 3	59
Gambar 5.11 Grafik hubungan momen-kelengkungan penelitian	64
Gambar 5.12 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 1	65
Gambar 5.13 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 1	65
Gambar 5.14 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 1	65
Gambar 5.15 Grafik hubungan momen-kelengkungan frame-truss-penelitian	65
Gambar 5.16 Grafik hubungan $M_p/M_n$ dengan rasio $a/h$	74



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kartu Peserta Tugas Akhir

Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja dan Geser Las

Lampiran 3 Perhitungan Rencana

Lampiran 4 Hasil Analisis SAP 2000

Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian Balok *Vierendeel*



## ABSTRAKSI

Balok *vierendeel* dari baja termasuk balok penampang terbuka, terdiri dari batang-batang tepi dan transversal yang dihubungkan pada pertemuan (join) secara kaku karenanya join mampu memikul momen. Beban transversal yang bekerja pada balok *vierendeel* tumpuan sederhana menimbulkan aksi berupa momen dan gaya geser. Jika batang tepi dibuat sejajar maka gaya aksial yang bekerja pada batang tepi semakin ke tengah semakin besar, dengan demikian luas penampang batang tepi semakin ke tengah semakin besar. Agar gaya aksial yang bekerja relatif sama maka dibuat balok *vierendeel* dengan tinggi bervariasi (*non prismatis*). Distribusi momen pada balok *vierendeel* tumpuan sederhana tidak merata karena pada umumnya momen semakin ke tengah bentang semakin besar. Penelitian eksperimental balok *vierendeel* dengan variasi tinggi dan jarak batang transversal bertujuan untuk mendapatkan kapasitas lentur, faktor kekakuan berdasarkan hubungan pembebanan-deformasi ( $P-\Delta$ ), faktor kekakuan berdasarkan hubungan momen-kelengkungan ( $M-\phi$ ). Sebelum pengujian sampel terlebih dahulu dilakukan uji pendahuluan yang meliputi pengujian kuat tarik baja dan kuat geser las. Setelah itu dilakukan pengujian balok *vierendeel*. Pembebanan ditempatkan pada tengah-tengah bentang sedangkan *dial gauge* pada tiap seperempat bentang. Dari hasil pengujian didapat data beban-deformasi, kemudian dibandingkan dengan analisis numeris SAP dan diambil kesimpulan. Hasil eksperimental menunjukkan semakin besar jarak batang transversal maka rasio  $a/h$  semakin besar sehingga kapasitas lentur pada balok *vierendeel* semakin kecil. Perbandingan kapasitas lentur maksimum benda uji 1 : benda uji 2 : benda uji 3 = 1 : 2,75 : 3,25. Balok *vierendeel* variasi tinggi dan jarak batang transversal dengan rasio  $a/h$  semakin besar berpengaruh terhadap kekakuan. Semakin besar  $a/h$  nilai kekakuan semakin kecil. Perbandingan kekakuan masing-masing benda uji 1 : benda uji 2 : benda uji 3 = 1 : 3,49 : 2,83. Hubungan momen-kelengkungan masing-masing benda uji tidak menunjukkan hubungan yang linier karena pada benda uji 2 terjadi kenaikan dan benda uji 3 terjadi penurunan.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Balok *vierendeel* dibentuk oleh batang-batang tepi dan batang-batang transversal yang dihubungkan pada pertemuan (join) secara kaku karenanya join mampu memikul momen. Beban transversal yang bekerja pada balok *vierendeel* tumpuan sederhana menimbulkan aksi berupa momen dan gaya geser. Karena batang-batang pada balok *vierendeel* dihubungkan secara kaku maka batang tepi atas dan batang transversal menerima tekan dan momen sedangkan batang tepi bawah menerima tarik dan momen. Jika batang tepi dibuat sejajar maka gaya aksial yang bekerja pada batang tepi semakin ke tengah semakin besar, dengan demikian luas penampang yang dibutuhkan batang tepi semakin ke tengah semakin besar. Agar gaya aksial yang bekerja relatif sama maka dibuat balok *vierendeel* dengan tinggi bervariasi (*non prismatic*).

Distribusi momen pada balok *vierendeel* tumpuan sederhana tidak merata karena pada umumnya momen semakin ke tengah bentang semakin besar. Jarak batang transversal berpengaruh terhadap momen dan jumlah batang transversal, sehingga semakin panjang jarak batang transversal momen yang bekerja semakin besar dan jumlah batang transversal semakin sedikit. Momen yang bekerja pada

ujung-ujung batang tepi merupakan fungsi dari gaya geser dan jarak antar batang transversal.

Batang tepi atas dan batang transversal perlu mendapat perhatian karena sangat peka terhadap faktor-faktor yang dapat mengakibatkan tekuk. Semakin panjang batang tersebut, potensi mengalami tekuk semakin besar karena beban yang dapat menimbulkan tekuk (beban tekuk kritis) semakin kecil. Perilaku balok *vierendeel* dengan tinggi bervariasi dan panjang batang tepi bervariasi menarik untuk diteliti untuk mengetahui kapasitas lentur maksimum. Informasi tentang perilaku balok *vierendeel* dengan tinggi bervariasi dan panjang batang tepi bervariasi masih sangat sedikit sehingga perlu diadakan penelitian eksperimental guna mengetahui perilaku balok *vierendeel* tersebut.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian perilaku balok *vierendeel* adalah untuk :

1. Menentukan kapasitas lentur balok *vierendeel* dengan variasi tinggi dan jarak batang transversal.
2. Mendapatkan hubungan pembebanan-deformasi ( $P-\Delta$ ) dan faktor kekakuan.
3. Mendapatkan hubungan momen-kelengkungan ( $M-\phi$ ) dan faktor kekakuan.
4. Mendapatkan perbandingan antara hasil penelitian dan numeris SAP dengan mengasumsikan balok *vierendeel* sebagai *truss* dan *frame*.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah untuk memperoleh gambaran tentang perilaku lentur balok *vierendeel* dan mendapatkan bentuk rangka yang paling efisien untuk perencanaan struktur balok *vierendeel*.

### 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai batasan antara lain :

1. Perilaku balok *vierendeel* meliputi kapasitas lentur, faktor kekakuan dari hubungan beban-deformasi dan faktor kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan.
2. Balok *vierendeel* dukungan sederhana terbuat dari pipa penampang kotak.
3. Benda uji terdiri dari balok *vierendeel* dengan kemiringan batang konstan dan rasio panjang bentang terhadap tinggi konstan.
4. Sambungan pada joint menggunakan las.
5. Pembebanan balok *vierendeel* terletak di tengah-tengah bentang.
6. Tiga buah dial gauge diletakkan pada setiap seperempat bentang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Struktur rangka kaku terbuat dari sejumlah komponen-komponen balok yang ujung-ujungnya disambung secara kaku. Kekakuan bangunan oleh batang-batang menerus diperlukan untuk menahan gaya-gaya lateral dan aksi gaya vertikal asimetris (Schueller, 1989).

Balok *vierendeel* merupakan struktur balok penampang terbuka dengan join kaku yang terdiri dari sejumlah batang atas dan batang bawah dengan batang vertikal diantara lubangnya (Construction Steel Research and Development, 1982).

Balok *vierendeel* mempunyai sudut-sudut yang kaku. Balok *vierendeel* merupakan statis tak tentu. Jumlah unsur yang tidak diketahui sama dengan derajat ketaktentuan dari struktur. Setiap segmen mempunyai statis tak tentu berderajat 3 (Soemono, 1980).

Rangka ruang (*space frame*) terdiri dari suatu susunan tiga dimensi dari batang-batang lurus. Batang-batang ini bisa kaku atau dihubungkan dengan sendi atau dapat pula berupa gabungan antara keduanya (Schueller, 1989).

Balok *vierendeel* yang memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan dan pada tepi bawah timbul gaya tarik. Apabila beban-beban tersebut bekerja langsung pada batang maka akan timbul tegangan lentur, selain itu



juga tegangan aksial tekan atau tarik yang umum terjadi pada rangka batang (Schodek, 1995).

Balok *vierendeel* tumpuan sederhana yang diberi beban transversal akan bekerja momen (lentur). Kapasitas momen balok (*bending capacity of beam*) adalah kemampuan balok untuk menahan momen. Akibat momen balok mengalami tegangan lentur (*bending stress*), akibat gaya geser balok mengalami tegangan geser (Tim Perencana Gedung Kuliah FTSP UII, 2000).

Batang tekan adalah batang yang mendukung gaya tekan aksial. Batang tarik adalah batang yang mendukung tegangan tarik aksial yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya tarik aksial pada ujung-ujung batang. Batang yang dibebani kombinasi gaya aksial dan momen lentur disebut batang tekan-lentur (*“beam column”*) (PADOSBAJAYO, 1994).

Batang tekan sangat rawan terhadap stabilitas tekuk (*buckling*). Tekuk adalah suatu ragam kegagalan yang diakibatkan oleh ketidakstabilan suatu elemen struktur yang dipengaruhi oleh aksi beban atau kapasitas pikul beban/kemampuan batang tekan menahan beban tekuk (Schodek, 1995).

Momen ( $M$ ) pada elemen struktur umumnya berubah-ubah di sepanjang elemen struktur sehingga jari-jari kelengkungan juga akan berubah-ubah yang berarti kelengkungan di sepanjang elemen struktur tersebut tidak seragam (Schodek, 1995).

## BAB III

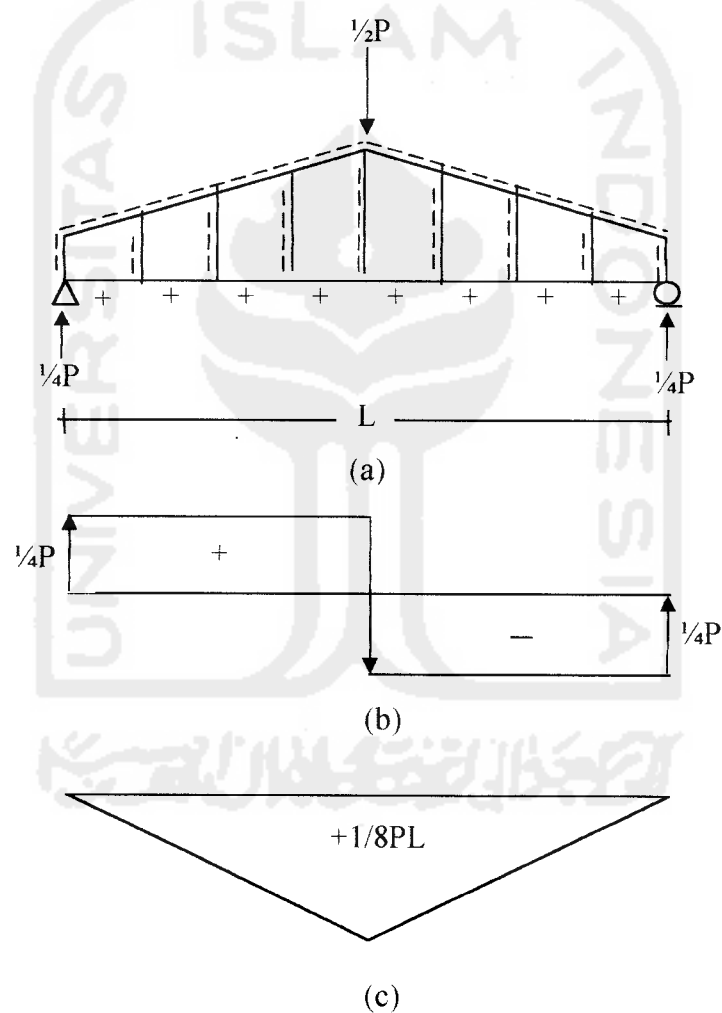
### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Pendahuluan

Balok *viereendeel* merupakan balok penampang terbuka dengan join kaku yang terdiri dari sejumlah batang atas dan batang bawah dengan batang vertikal di antara lubangnya (*Construction Steel Research and Development, 1982*). Balok *viereendeel* mempunyai sudut-sudut yang kaku sebagai pengganti batang-batang diagonal dan merupakan statis tak tentu. Jumlah unsur yang tidak diketahui sama dengan derajat ketaktentuan dari struktur tersebut. Setiap kotakan (segmen) mempunyai 3 derajat hiper statis sehingga apabila balok *viereendeel* mempunyai sejumlah  $n$  segmen maka balok tersebut merupakan statis tak tentu berderajat  $3n$  (*Soemono, 1980*). Balok *viereendeel* dukungan sederhana yang ditunjukkan pada Gambar 3.1a mempunyai 8 segmen, sehingga balok tersebut merupakan statis tak tentu berderajat 24. Apabila balok *viereendeel* dianggap tumpuan sederhana solid/penampang konstan maka pada balok yang menerima beban transversal sebesar  $\frac{1}{2}P$  yang bekerja pada join (Gambar 3.1a) akan timbul reaksi pada sendi dan rol sebesar  $\frac{1}{4}P$ , maka balok tersebut akan menerima momen sebesar  $\frac{1}{8}PL$  (Gambar 3.1c) dan gaya geser sebesar  $\frac{1}{4}P$  (Gambar 3.1c). Batang tepi atas menerima gaya tekan aksial dan batang tepi bawah menerima gaya tarik aksial (Gambar 3.1a). Distribusi momen dan gaya geser pada balok

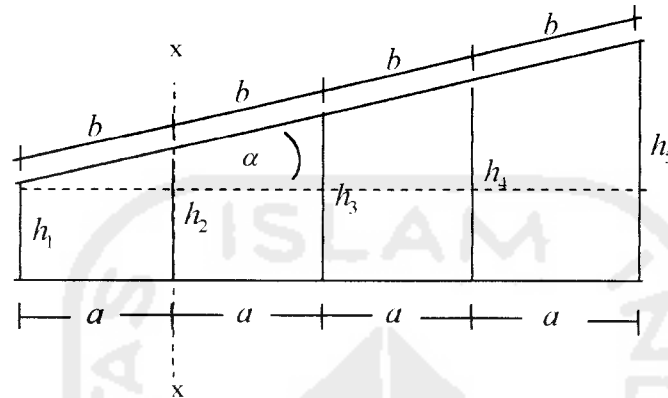
*vierendeel* tidak merata. Momen semakin ke tengah bentang semakin besar dan semakin ke tepi semakin kecil.

Balok *vierendeel* mempunyai geometri yang sama maka perhitungan dapat dilakukan setengah bentang. Apabila tinggi batang vertikal paling kiri diasumsikan  $h_1$ , batang tepi bawah  $a$ , batang tepi atas  $b$  dan sudut kemiringan  $\alpha$ , maka dapat dihitung tinggi batang vertikal (Gambar 3.2).



Gambar 3.1 Balok *vierendeel*, (a) Pembebanan transversal pada balok *vierendeel* tumpuan sederhana, (b) Diagram geser, (c) Diagram momen akibat pembebanan (Schodek, 1991)

Menghitung tinggi batang transversal dapat dilakukan dengan mengacu pada satu batang vertikal balok *vierendeel* paling tepi. Gambar 3.2 berikut merupakan setengah geometri balok *vierendeel*.



Gambar 3.2 Batang transversal pada setengah geometri balok *vierendeel* (Soemono, 1980)

Berdasarkan Gambar 3.2 dihitung tinggi batang vertikal ( $h$ ) sebagai berikut:

$$h_2 = h_1 + a \cdot \text{tg} \alpha \quad (3.1)$$

$$h_3 = h_1 + 2a \cdot \text{tg} \alpha \quad (3.2)$$

Batang tepi atas dan batang tepi bawah pada setiap segmen mempunyai panjang yang sama maka dapat dianggap  $a$  atau  $b$  saja. Secara umum dapat ditulis :

$$h_n = h_1 + (n-1)a \cdot \text{tg} \alpha \quad (3.3)$$

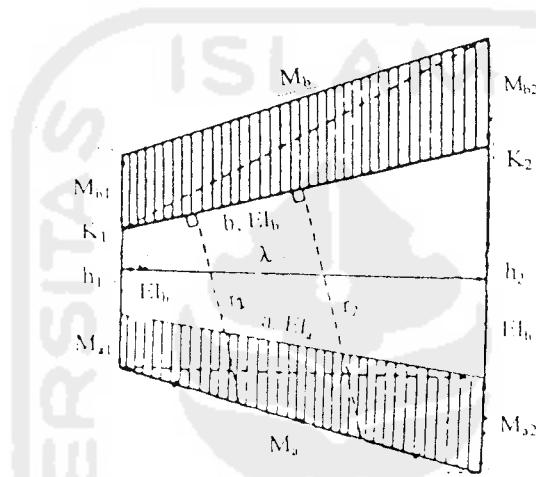
dengan :  $n$  = nomor batang

Jadi tinggi batang  $h_n$  dipengaruhi oleh tinggi batang  $h_1$  dan sudut kemiringan  $\alpha$ .

### 3.1.1 Distribusi Momen pada Batang Tepi

Distribusi momen balok *vierendeel* yang dikemukakan oleh Soemono (1980) menggunakan asumsi-asumsi yang mengacu pada Gambar 3.3. Momen yang bekerja

pada batang tepi atas dan tepi bawah diasumsikan sebagai lengkung tunggal (*single curvature*) dan  $EI_{h1}$  dan  $EI_{h2}$  dianggap kaku sekali. Gambar 3.3 merupakan distribusi momen batang tepi dengan mengambil satu segmen paling kiri atau potongan x-x pada Gambar 3.2 dengan mengasumsikan batang tepi atas dan bawah mempunyai panjang yang sama.



Gambar 3.3 Distribusi momen batang tepi (Soemono, 1980)

Jika ujung  $K_2$  dipotong, batang atas harus tetap melekat pada batang vertikal ( $h_2$ ). Keadaan ini dapat dicapai jika :

1. Momen batang tepi atas = momen batang tepi bawah, sehingga :

$$\text{Luas bidang } \left( \frac{M}{EI} \right)_{atas} = \left( \frac{M}{EI} \right)_{bawah}$$

$$\frac{1}{2EI_b} b(M_{b1} + M_{b2}) = \frac{1}{2EI_a} a(M_{a1} + M_{a2}) \quad (3.4)$$

Jika :  $\frac{b}{EI_b} = \omega_b$  dan  $\frac{a}{EI_a} = \omega_a$  maka :

$$\frac{1}{2} \omega_b (M_{b1} + M_{b2}) = \frac{1}{2} \omega_a (M_{a1} + M_{a2}) \quad (3.5)$$

dengan :

$M_{b1}$  = momen pada ujung kiri batang tepi atas

$M_{b2}$  = momen pada ujung kanan batang tepi atas

$M_{a1}$  = momen pada ujung kiri batang tepi bawah

$M_{a2}$  = momen pada ujung kanan batang tepi bawah

Momen pada batang vertikal ( $M_h$ ) diabaikan karena  $\frac{M_h}{EI_h} = \frac{M}{\infty} = 0$

2. Komponen perpindahan tempat pada ujung kanan batang atas terhadap ujung atas

batang transversal ( $h_2$ ) harus nol. Berarti momen statis luas bidang  $\frac{M}{EI_b}$  terhadap

$h_2 = \frac{M}{EI_a}$  terhadap  $h_1$ .

$$\frac{1}{EI_b} \left( \frac{1}{2} M_{b1} b \frac{2}{3} \lambda + \frac{1}{2} M_{b2} b \frac{1}{3} \lambda \right) = \frac{1}{EI_a} \left( \frac{1}{2} M_{a1} a \frac{2}{3} \lambda + \frac{1}{2} M_{a2} a \frac{1}{3} \lambda \right) \quad (3.6)$$

dengan :

$\lambda$  = jarak antara tengah-tengah panjang  $h_1$  dan  $h_2$

Persamaan (3.6) dapat disederhanakan menjadi :

$$\omega_b \left( \frac{1}{3} M_{b1} + \frac{1}{6} M_{b2} \right) = \omega_a \left( \frac{1}{3} M_{a1} + \frac{1}{6} M_{a2} \right) \quad (3.7)$$

Komponen perpindahan tempat menurut garis  $b = 0$  atau momen statis luas

bidang  $\frac{M_a}{EI_a}$  terhadap garis  $b = 0$ .

$$\frac{1}{EI_a} \left( \frac{1}{2} M_{a1} \cdot ar_1 + \frac{1}{2} M_{a2} \cdot ar_2 \right) = 0 \quad (3.8)$$

Persamaan (3.8) disederhanakan :

$$M_{a1}r_1 = M_{a2}r_2 \quad (3.9)$$

dengan :  $r_1, r_2$  = jarak antara titik berat segitiga pada luasan momen yang ditarik sehingga membentuk garis tegak lurus.

Persamaan (3.7) dikalikan 6 :

$$(2M_{b1} - M_{b2})\omega_b = (2M_{a1} - M_{a2})\omega_a \quad (3.10)$$

Persamaan (3.7) dikurangi persamaan (3.5) :

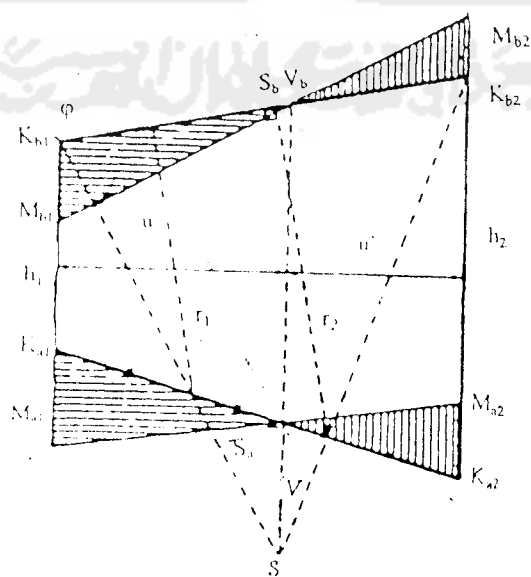
$$M_{b1}\omega_b - M_{a1}\omega_a \rightarrow M_{b1} : M_{a1} = \omega_a : \omega_b \quad (3.11)$$

Persamaan (3.5) dikali 2 dikurangi persamaan (3.7) :

$$M_{b2}\omega_b - M_{a2}\omega_a \rightarrow M_{b2} : M_{a2} = \omega_b : \omega_a \quad (3.12)$$

$$M_{b1} : M_{a1} = M_{b2} : M_{a2} \quad (3.13)$$

Berdasarkan persamaan (3.13) menunjukkan bahwa  $M_{a1}$  dan  $M_{a2}$  berlawanan tandanya, begitu juga dengan  $M_{b1}$  dan  $M_{b2}$  yang berarti distribusi momen menurut Gambar 3.3 dengan asumsi lengkung tunggal (*single curvature*) salah dan yang benar adalah distribusi momen pada Gambar 3.4 merupakan lengkung ganda (*double curvature*).



Gambar 3.4 Diagram Distribusi Momen (Soemano, 1980)

Garis-garis momen memotong sumbu-sumbu batang tepi atas ( $S_b$ ) dan batang tepi bawah ( $S_a$ ).

$$K_{a1}S_{a1} : S_{a1}K_{a2} = M_{a1} : M_{a2} = r_2 : r_1 = \left(\frac{1}{3}h_1 + \frac{2}{3}h_2\right) : \left(\frac{2}{3}h_1 + \frac{1}{3}h_2\right) \quad (3.14)$$

Berarti bahwa garis vertikal yang melalui  $S_a$  juga melalui titik berat trapesium yang membentuk kotakan  $K_{b1}K_{a1}K_{a2}K_{b2}$ . Sifat yang terdapat pada titik  $S_a$  terdapat pula pada titik  $S_b$ . Jadi di titik  $S_a$  dan  $S_b$  terdapat momen  $M_{S_a} = M_{S_b} = 0$  sehingga menunjukkan garis-garis momen pada batang tepi atas dan bawah mempunyai titik belok di titik  $S_a$  dan  $S_b$ .

$$V_b = V_a = 0 \quad (3.15)$$

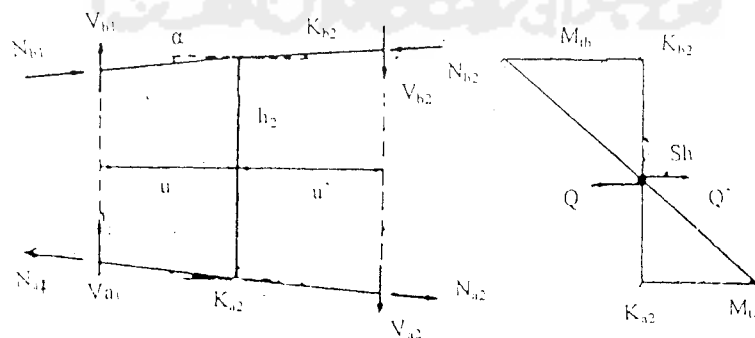
$$V_b = \frac{1}{u} M_{b1} \text{ dan } V_a = \frac{1}{u} M_{a1} \quad (3.16)$$

$V_b : V_a = M_{b1} : M_{a1} = \omega_a : \omega_{ab}$  (berbanding lurus dengan kekakuan batang).

$$M_{b1} = V_b u ; M_{b2} = -V_b u' = -V_b (z - u) \quad (3.17)$$

$$M_{a1} = V_a u ; M_{a2} = -V_a u' = -V_a (z - u) \quad (3.18)$$

### 3.1.2 Gaya-gaya yang Bekerja pada Batang Transversal



Gambar 3.5 Gaya pada batang transversal (Soemono, 1980)



Meninjau Gambar 3.5 tampak batang vertikal ( $h_2$ ) diapit oleh dua batang masing-masing setengah panjang batang atas dan setengah panjang batang tepi bawah (Gambar 3.5). Momen di titik  $S_h = 0$  sedangkan gaya lintang yang bekerja pada batang tersebut adalah :

$$Q' = N_{b1} \cos \varphi - N_{b2} \cos \varphi \quad (3.19)$$

Momen di ujung atas batang transversal :

$$M_{tb} = V_{b1} u - V_{b2} u' \quad (3.20)$$

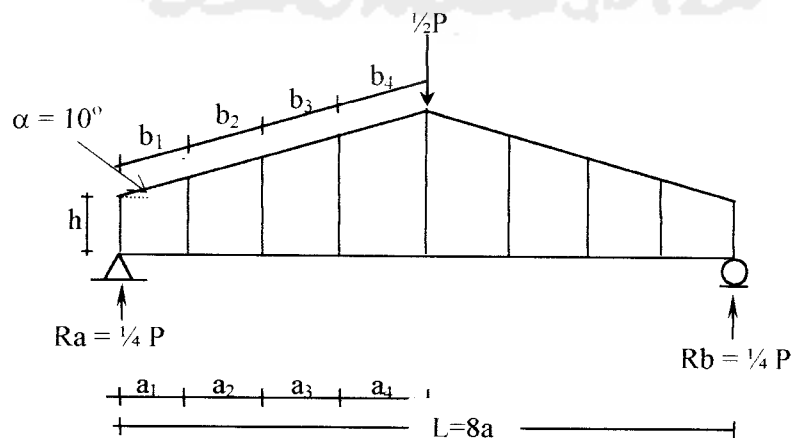
dan momen di ujung bawah :

$$M_{ta} = V_{a1} u + V_{a2} u' \quad (3.21)$$

$$N_{a1} - N_{a2} - V_{a1} - V = 0 \quad (3.22)$$

### 3.2 Analisis Balok *Vierendeel* dengan Metode Portal

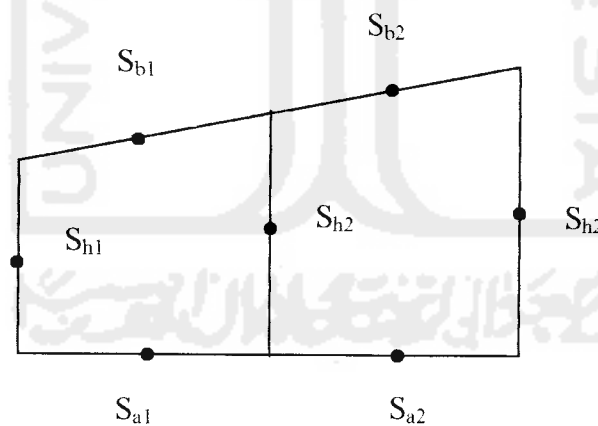
Apabila balok *vierendeel* di beri beban transversal (Gambar 3.6) maka pada balok akan bekerja gaya geser, gaya aksial dan lentur. Analisis balok *vierendeel* dapat dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan lokasi titik belok. Lokasi titik belok dapat digunakan untuk menentukan gaya geser, momen lentur dan gaya aksial pada setiap elemen struktur.



Gambar 3.6 Pembebanan pada balok *vierendeel*

Seperti yang dikemukakan oleh *Soemono* (1980) asumsi-asumsi yang sama juga dikemukakan oleh :

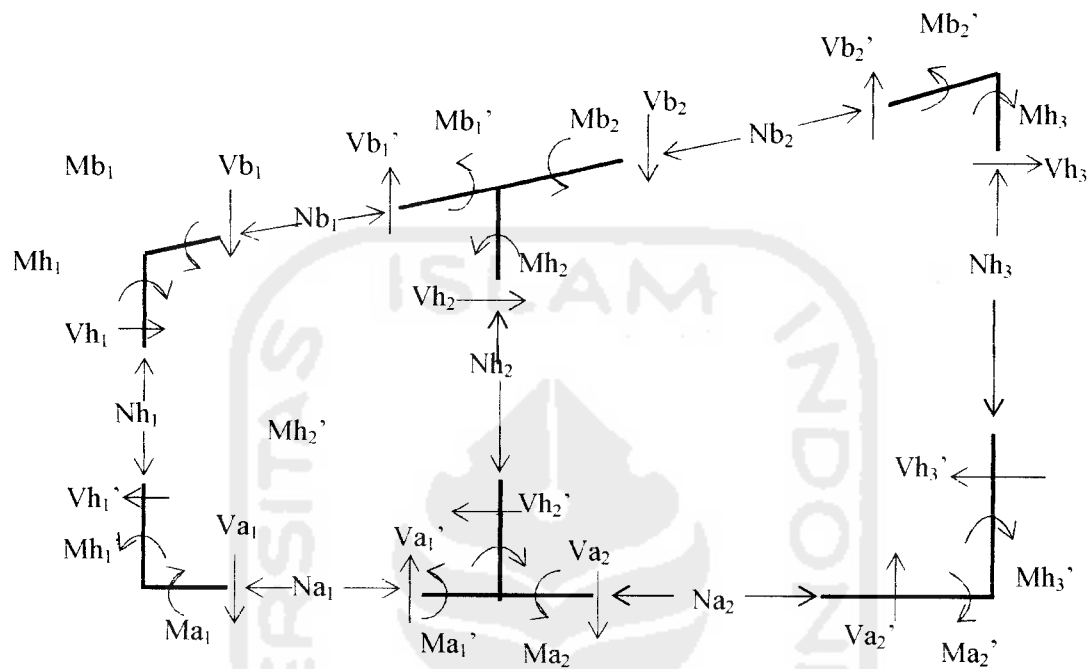
1. *Schueller* (2001) dengan menggunakan metode portal, titik-titik momen = 0 atau sendi dianggap berada di tengah-tengah kolom dan tengah-tengah bentangan *trave* seperti yang terlihat pada Gambar 3.7.
2. *Schodek* (1995) dengan menggunakan metode *kantilever*. Metode *kantilever* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1908. Umumnya asumsi pada metode *kantilever* adalah :
  - a. Ada titik belok di tengah bentang setiap balok atau batang tepi. Pada titik-titik ini dianggap seolah-olah terdapat sendi dimana momen = 0.
  - b. Ada titik belok di tengah tinggi setiap kolom atau batang transversal. Pada titik-titik ini juga dianggap seolah-olah terdapat sendi dimana momen = 0.



Gambar 3.7 Asumsi sendi pada tengah-tengah bentang (Sumber : *Schueller*, 1989)

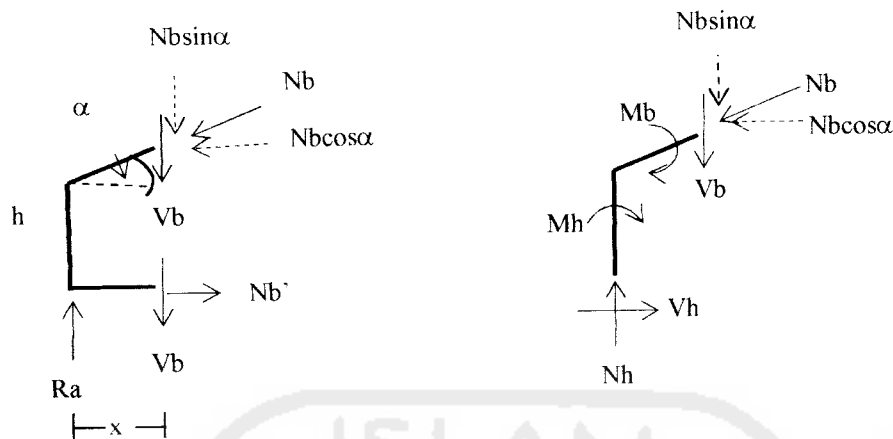
Mengacu pada Gambar 3.8, analisis balok *vierendeel* berikut menggunakan cara yang digunakan oleh *Wolfgang schueller* (2001). Karena pembebanan dan geometri

yang simetri pada balok *vierendeel*, maka dapat dilakukan hitungan dengan setengah bentang.



Gambar 3.8 Momen dan gaya pada balok *vierendeel* (Schueller, 1989)

Momen pada ujung-ujung batang diperoleh dengan mengalikan gaya geser dengan setengah panjang batang. Jadi momen merupakan fungsi dari gaya geser dan jarak. Semakin panjang jarak antar batang transversal, semakin panjang batang tepi sehingga momen yang bekerja juga semakin besar. Setiap join pada balok *vierendeel* jumlah momen-momen ujung batang tepi sama dengan momen ujung pada batang transversal ( $\sum M_{\text{join}} = 0$ ).



Gambar 3.9 Gaya dan momen ada perpotongan antara batang dan kolom (Schueller, 1989)

Berdasarkan Gambar 3.9 didapat persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\Sigma M_b = 0 \Rightarrow R_a \cdot x - N_b \cos \alpha \cdot (h + a \cdot \tan \alpha) = 0 \quad (3.23)$$

$$\Sigma V = 0 \Rightarrow R_a - 2V_b - N_b \cdot \sin \alpha = 0 \quad (3.24)$$

$$\Sigma H = 0 \Rightarrow N_b' - N_b \cos \alpha = 0 \quad (3.25)$$

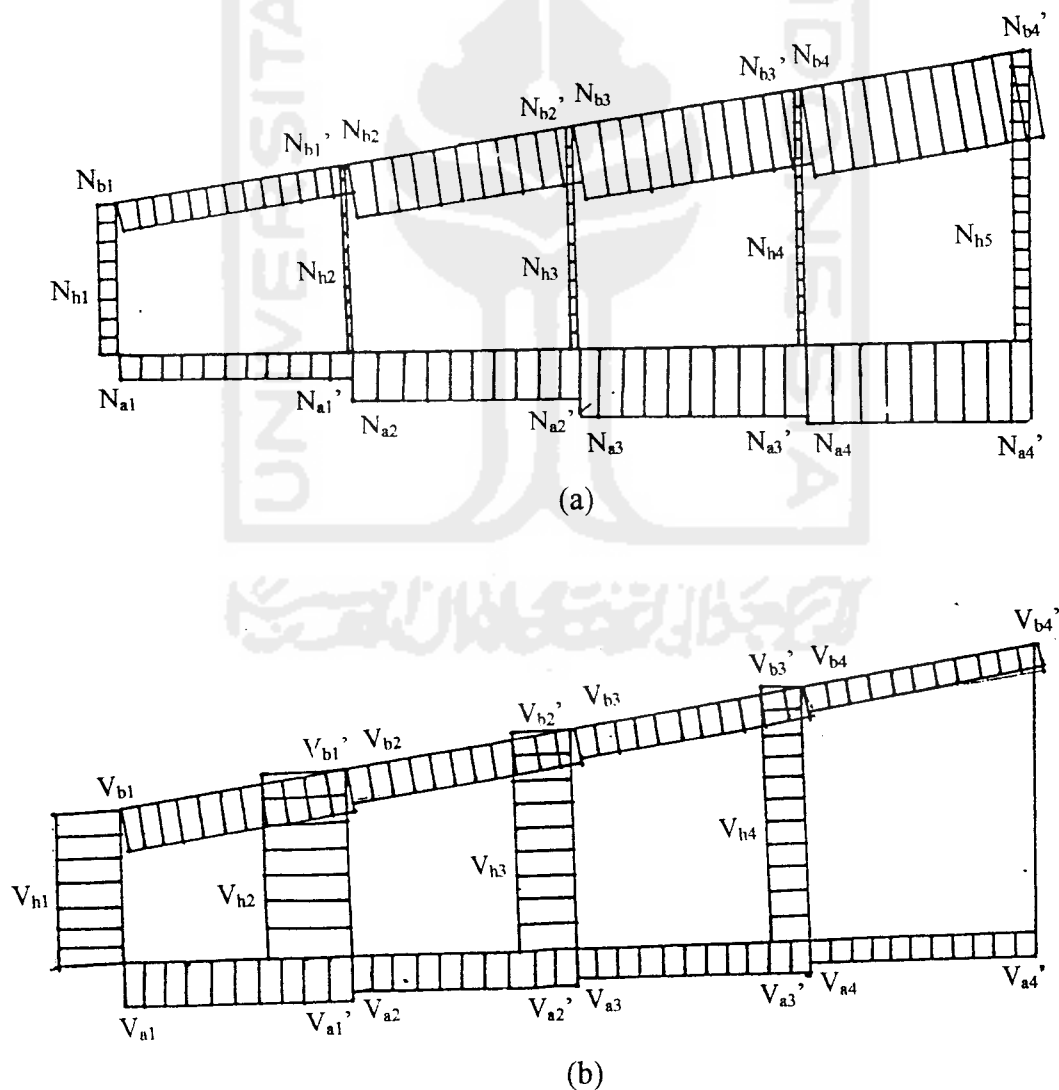
$$M_b = V_b \cdot 1/2a + N_b \sin \alpha \cdot 1/2a - N_b \cos \alpha \cdot (h + 1/2a \cdot \tan \alpha) \quad (3.26)$$

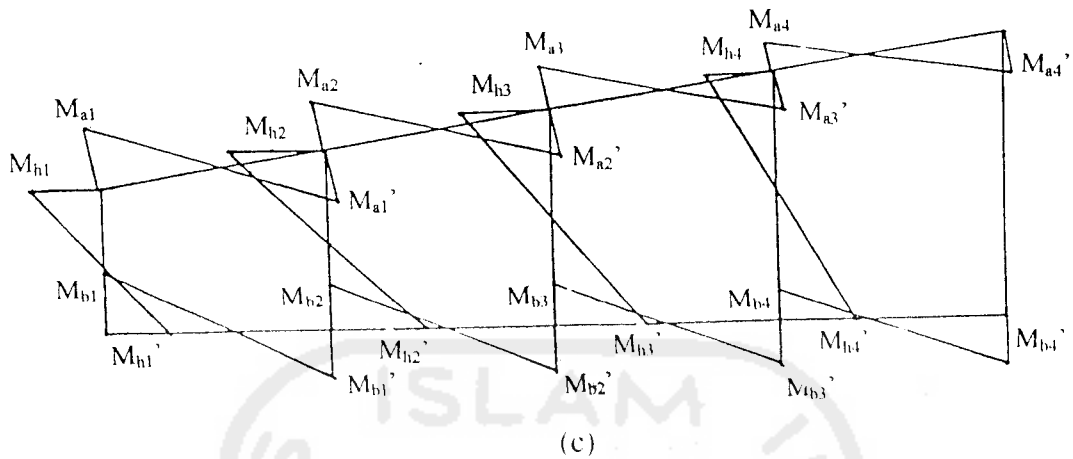
$$M_h = V_h \cdot 1/2h \quad (3.27)$$

Gaya-gaya dan momen yang bekerja pada batang-batang yang lain pada balok *vierendeel* dapat dihitung dengan menggunakan cara yang sama. Gaya geser pada batang diperoleh dengan menjumlahkan gaya-gaya vertikal pada setiap batang dan gaya aksial diperoleh dengan menjumlahkan gaya-gaya horisontal pada setiap batang.

Analisis dengan menggunakan asumsi-asumsi yang dikemukakan oleh *Soemomo* dan *Schueller* menghasilkan momen-momen ujung yang sama besarnya pada satu batang sehingga pada tengah-tengah tiap batang momen = 0. Berdasarkan analisis SAP 2000 akibat pembebanan transversal akan terjadi aksi-aksi internal yang dapat

dilihat pada Gambar 3.10, karena geometri yang sama maka diambil setengah bentang. Terlihat pada Gambar 3.10 bahwa gaya aksial pada batang tepi semakin ke tengah semakin besar (Gambar 3.10a), gaya geser semakin ke tengah semakin kecil dan momen semakin ke tepi semakin besar (Gambar 3.10b). Karena momen merupakan fungsi dari gaya geser dikalikan jarak maka dari Gambar 3.10 bahwa semakin besar gaya geser maka momen juga akan semakin besar (momen berbanding lurus dengan gaya geser).

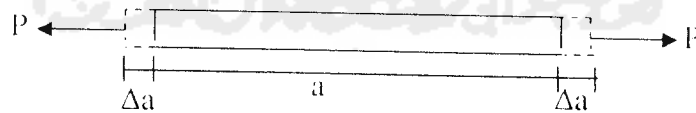




Gambar 3.10 Aksi-aksi internal pada balok *vierendeel*, (a) Diagram gaya aksial, (b) Diagram gaya geser, (c) Diagram momen (Analisis SAP, 2000)

### 3.3 Batang Tarik pada Balok *Vierendeel*

Batang tarik adalah batang yang mendukung gaya tarik aksial (Gambar 3.11). Batang tepi bawah pada balok *vierendeel* mengalami gaya tarik. Apabila suatu batang tarik baja dibebani gaya aksial maka batang tersebut akan mengalami defomasi/perpanjangan ( $\Delta a$ ) dan tegangan.



Gambar 3.11 Batang tarik (Schodek, 1991)

Deformasi yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan fakta bahwa untuk sembarang material elastis, perbandingan tegangan ( $f$ ) yang ada terhadap regangan  $\epsilon$  adalah konstanta (tegangan/regangan) sama dengan konstanta sama dengan modulus elastisitas ( $E$ ). Perpanjangan batang tarik sama dengan  $\epsilon = f/A$ . Deformasi total  $\Delta a =$

$\epsilon.a$  , dimana  $\epsilon$  adalah regangan. Untuk meninjau apakah batang mampu memikul beban tarik, maka dapat ditentukan taraf tegangan aktual di dalam batang tersebut sebesar :

$$f = \frac{P}{A} \quad (3.28)$$

dengan :

$f$  = tegangan (intensitas gaya)

$P$  = gaya aksial

$A$  = luas penampang melintang yang ditinjau

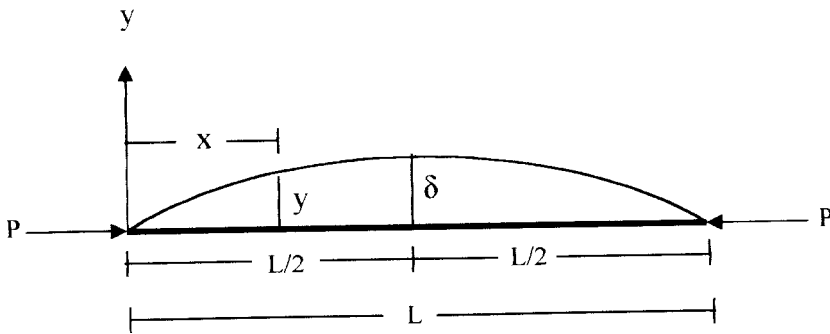
Jika batang dapat menahan intensitas tegangan tersebut maka batang dapat memikul beban yang bekerja atau taraf tegangan aktual < taraf tegangan gagal yang diperoleh dari eksperimen.

### 3.4 Batang Tekan Balok *Vierendeel*

Batang yang menerima beban tekan aksial disebut batang tekan. Gambar 3.12 menunjukkan sebuah batang lurus yang kedua ujungnya sendi menerima beban tekan aksial  $P$ . Akibat beban  $P$  batang yang semula lurus mengalami deformasi lateral (melengkung).

Perhatikan Gambar 3.12, pada potongan yang berjarak  $x$  dari ujung kiri batang mengalami deformasi lateral sejauh  $y$ . Akibat beban  $P$  dan perpindahan  $y$  pada potongan batang tersebut bekerja momen sebesar :

$$M = -P.y \quad (3.29)$$



Gambar 3.12 Batang lurus menerima gaya tekan P (Tim Perencana Gedung FTSP UII, 2000)

Menurut *Timoshenko dan Gere (1987)* hubungan momen ( $M$ ), faktor kekakuan ( $EI$ ) dan kelengkungan ( $d^2y/dx^2$ ) adalah :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.30)$$

Substitusi persamaan (3.29) ke persamaan (3.30) didapat :

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{P}{EI}y = 0 \quad (3.31)$$

apabila :

$$k^2 = \frac{P}{EI} \quad (3.32)$$

Substitusi persamaan (3.32) ke persamaan (3.31) didapat :

$$\frac{d^2y}{dx^2} + k^2y = 0 \quad (3.33)$$

Persamaan (3.33) dapat diselesaikan dengan menyatakan :

$$y = A \cdot \sin kx + B \cdot \cos kx \quad (3.34)$$

Konstanta A dan B bergantung pada ujung-ujung kolom. Pada  $x = 0$  perpindahan  $y = 0$  didapat  $B = 0$ . Pada  $x = L$  perpindahan  $y = 0$ , didapat :



$$A \cdot \sin kL = 0 \quad (3.35)$$

Karena nilai A tidak sama dengan nol, maka  $\sin kL = 0$ , dengan demikian nilai  $kL$  yang memenuhi  $\sin kL = 0$  adalah  $kL = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots, n\pi$ , jadi :

$$kL = n\pi \text{ atau } k^2 = \frac{n^2\pi^2}{L} \quad (3.36)$$

Substitusi persamaan (3.32) ke persamaan (3.36) didapat beban kritis ( $P_{cr}$ ) sebagai berikut :

$$P_{cr} = \frac{n^2\pi^2 EI}{L^2} \quad (3.37)$$

$n$  merupakan bilangan riil. Beban kritis terkecil didapat pada  $n=1$  yang sesuai dengan kolom yang ujung-ujungnya sendi, jadi :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (3.38)$$

Persamaan (3.38) disebut beban tekuk *Euler (Euler buckling load)*. Apabila ruas kiri dan kanan persamaan (3.38) dibagi dengan luas penampang ( $A$ ) didapat tegangan kritis :

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} \quad (3.39)$$

Karena  $(I/A) = r^2$ , maka persamaan dapat ditulis dalam bentuk :

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(L/r)^2} \quad (3.40)$$

dengan :

$r$  = jari-jari inersia

$L/r$  = kelangsingan

Batang yang mengalami gaya tekan pada balok *viereendeel* adalah batang tepi atas dan batang transversal. Beban tekuk kritis pada batang tepi atas ( $b$ ):

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{b^2} \quad (3.41)$$

Sedangkan besar beban tekuk pada batang transversal ( $h$ ):

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{h^2} \quad (3.42)$$

Persamaan (3.41) dan (3.42) menunjukkan bahwa apabila batang tepi atas ( $b$ ) dan batang transversal ( $h$ ) semakin panjang maka beban yang dapat menimbulkan tekuk atau kapasitas pikul beban semakin kecil sehingga potensi tekuk semakin besar. Sebaliknya apabila batang semakin pendek maka kapasitas pikul beban semakin besar sehingga potensi tekuk semakin kecil.

Batang yang panjangnya dua kali semula akan berkurang kapasitas pikul-bebannya menjadi seperempatnya sedangkan apabila panjangnya menjadi setengahnya maka kapasitas pikul-bebannya menjadi empat kali lipat. Jelas bahwa beban tekuk pada batang sangat peka terhadap panjang batang.

Menurut *Salmon dan Johnson* (1966), tegangan tekuk elastis teoritis untuk pelat dapat dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 EI}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.43)$$

dengan :

$k$  = konstanta yang tergantung pada tipe tegangan, kondisi tumpuan tepi, dan rasio panjang terhadap lebar dari pelat yang bersangkutan.

$E$  = modulus elastisitas

$\mu$  = rasio Poisson

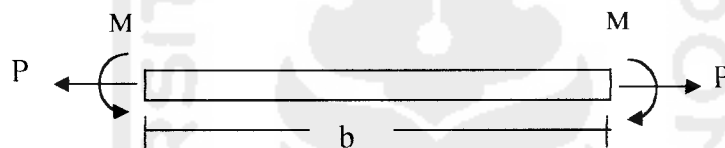
$b t$  = rasio lebar/tebal

Batasan dasar untuk mencegah tekuk adalah :  $F_{cr} \geq F_y$

### 3.5 Kombinasi Tarik dan Momen

Batang yang mendukung tegangan tarik aksial yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya tarik aksial pada ujung-ujung batang dan memikul beban transversal secara bersamaan disebut sebagai batang yang mengalami kombinasi tarik-lentur.

Pada balok *viereendeel* dijumpai pada batang tepi bawah (Gambar 3.13).



Gambar 3.13 Kombinasi batang tarik dan momen (Schodek, 1991)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan lentur adalah :

$$f_y = \pm \frac{M \cdot y}{I} \quad (3.44)$$

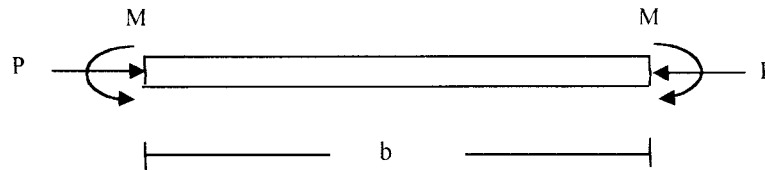
Dimana  $(I/y)$  disebut juga sebagai modulus potongan ( $S$ ), sehingga persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk (persamaan 3.45):

$$f_b = \pm \frac{M}{S} \quad (3.45)$$

### 3.6 Kombinasi Tekan dan Momen

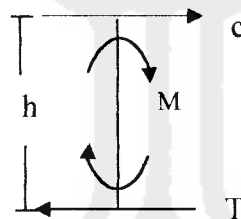
Batang yang menerima kombinasi tekan aksial dan momen disebut balok kolom (*beam column*) yang ditunjukkan pada Gambar 3.14. Balok kolom menerima gaya

tekan dan momen bersama-sama, karena itu semua faktor yang berhubungan dengan stabilitas seperti tekuk tetap berlaku.



Gambar 3.14 Balok-kolom (Schodek, 1991)

Momen internal ditimbulkan oleh kumpulan gaya internal untuk mengimbangi momen lentur akibat beban eksternal. Gambar 3.15 menunjukkan adanya gaya horizontal pada batang-batang tepi dan gaya batang vertikal memberikan kopel yang mengimbangi momen lentur. Persamaan yang didapat dari Gambar 3.15 adalah :



Gambar 3.15 Kopel gaya (Schodek, 1991)

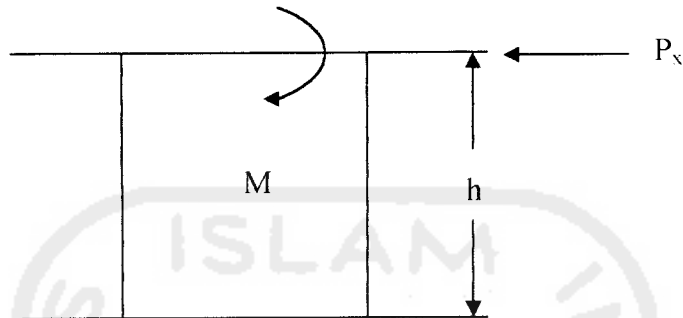
Mengacu pada Gambar 3.15 maka momen yang terjadi :

$$M = c.h \quad (3.46)$$

karena besar batang tekan ( $c$ ) =  $P_{cr}$ , maka

$$M = P_{cr}.h \quad (3.47)$$

Apabila pada balok *vierendeel* memikul momen dan gaya sebesar  $P_x$  (mengacu pada Gambar (3.16) maka menurut Salmon dan Johnson berlaku rumus sebagai berikut :



Gambar 3.16 Kombinasi tekan dan momen

$$\frac{P_x}{AF_a} + \frac{M}{F_b S} \left( \frac{C_m}{1 - f_a / F'_e} \right) = 1 \quad (3.48)$$

Pengalihan dengan  $AF_a$  menghasilkan :

$$P_x + M \left( \frac{A}{S} \right) \left( \frac{F_a}{F_b} \right) \left( \frac{C_m}{1 - f_a / F'_e} \right) = F_a A = P_{EQ} \quad (3.49)$$

dengan :

$$F'_e = \frac{\pi^2 EI}{AL^2 FS} = \frac{1027000}{(KL/r)^2} MPa \quad (3.50)$$

$$1 - \frac{f_a}{F'_e} = \frac{F'_e - f_a}{F'_e} = \frac{10,27 \cdot 10^5 Ar^2}{(KL)^2 \left( \frac{10,27 \cdot 10^5 r^2}{(KL)^2} - \frac{P}{A} \right)} = \frac{10,27 \cdot 10^5 Ar^2}{10,27 \cdot 10^5 Ar^2 - P(KL)^2} \quad (3.51)$$

apabila  $\frac{A}{S} = B$  dan  $10,27 \cdot 10^5 = n$  dan  $L = a$  maka persamaan (3.49) menjadi :

$$P_{EQ} = P_x + MB \left( \frac{F_a}{F_b} \right) \left( \frac{C_m n}{n - P(Ka)^2} \right) \quad (3.52)$$

Karena  $P_{EQ} = P_{cr}$  maka persamaan (3.52) dapat ditulis :

$$P_x = P_{cr} - MB \left( \frac{F_a}{F_b} \right) \left( \frac{C_m n}{n - P(Ka)^2} \right) \quad (3.53)$$

$$P_x = P_{cr} - \frac{Va}{2} B \left( \frac{F_a}{F_b} \right) \left( \frac{C_m n}{n - P(Ka)^2} \right) \quad (3.54)$$

Berdasarkan persamaan (3.53) dengan  $P_x = \frac{M}{h}$  dapat dicari persamaan dan grafik hubungan momen dan variasi jarak batang transversal.

$$M = \left[ P_{cr} - MB \left( \frac{F_a}{F_b} \right) \left( \frac{C_m n}{n - P(Ka)^2} \right) \right] h \quad (3.55)$$

$$M = \left[ \frac{\pi^2 EI}{a^2} - \left( \frac{va}{2} \right) B \left( \frac{F_a}{F_b} \right) \left( \frac{C_m n}{n - P(Ka)^2} \right) \right] h \quad (3.56)$$

$$M = \left[ \frac{\pi^2 EI}{a} - \left( \frac{va^2}{2} \right) B \left( \frac{F_a}{F_b} \right) \left( \frac{C_m n}{n - P(Ka)^2} \right) \right] \frac{h}{a} \quad (3.57)$$

dengan :

$C_m$  = gradien momen

$1 - f_a/F'_e$  = perbesaran momen oleh gaya aksial

$F_a$  = tegangan tekan ijin =  $0.6 F_y$

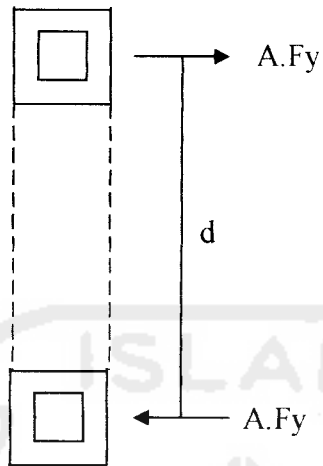
$F_b$  = tegangan lentur ijin =  $0.66 F_y$

$I$  = inersia

$S$  = modulus penampang

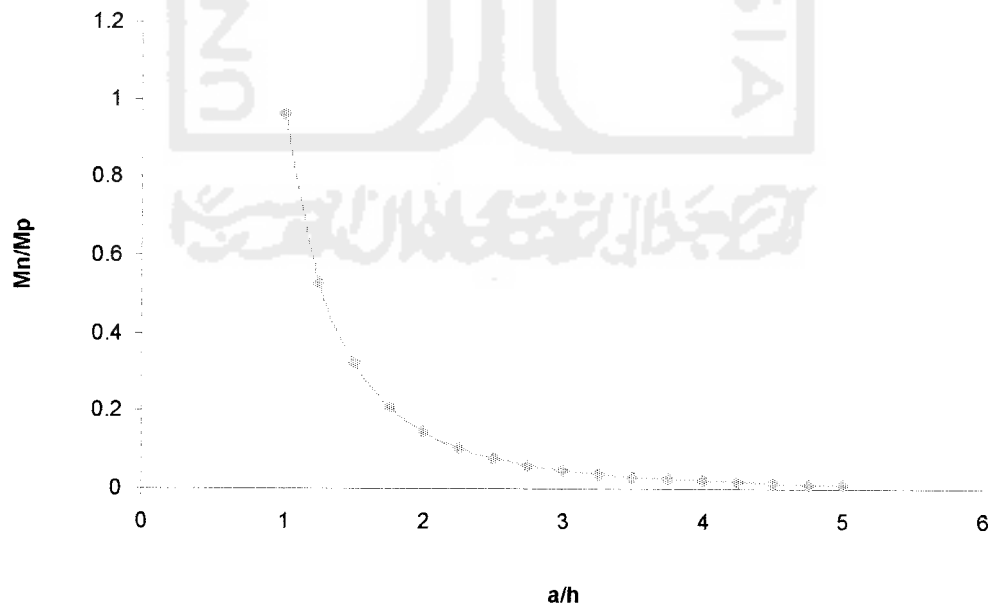
Momen plastis diperoleh dari perhitungan teoritis dengan menggunakan penjumlahan kopel gaya. Mengacu pada Gambar 3.17, momen plastis perpotongan dapat dihitung dengan persamaan (3.58) yaitu :

$$M_p = F_y \cdot A \cdot d \quad (3.58)$$



Gambar 3.17 Potongan melintang balok *vierendeel*

Hasil rasio antara  $M_n$  dengan  $M_p$  kemudian dibandingkan dengan rasio  $a/h$  untuk mengetahui perilaku secara umum yang dibuat dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Hubungan momen- $a/h$  (Berdasarkan persamaan 3.57)

### 3.7 Hubungan Beban – Deformasi

Menurut *Schodek* (1995) apabila kurva lendutan didefinisikan sebagai  $y = y(x)$ , maka dari kalkulus diketahui bahwa :

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

$dy/dx$  adalah kemiringan elemen struktur di suatu titik. Untuk lendutan kecil, kuadrat suku ini dapat diabaikan, maka :

$$\frac{1}{\rho} \approx \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.60)$$

sehingga :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \text{ atau } EI \frac{d^2y}{dx^2} = M \quad (3.61)$$

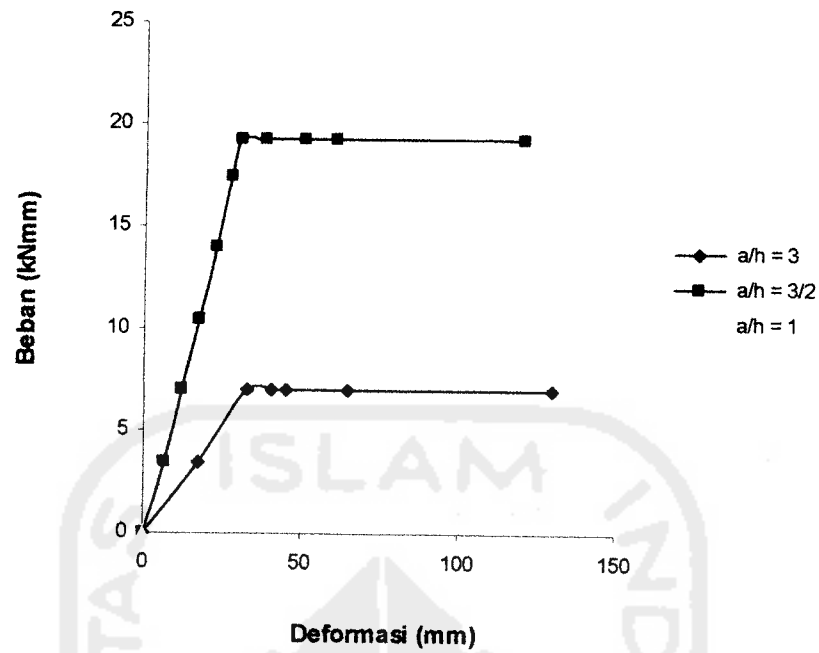
Persamaan (3.61) adalah persamaan dasar untuk kurva lendutan elemen struktur yang mengalami lentur.

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + c \quad (3.62)$$

$$EI y = \iint M dx + c_1 + c_2 \quad (3.63)$$

Persamaan (3.63) disebut dengan metode integrasi ganda. Berdasarkan analisis SAP 2000 didapat grafik hubungan beban-deformasi seperti terlihat pada Gambar 3.19. Balok *vierendeel* diberi beban vertikal, sehingga didapat deformasi maksimum pada tengah bentang.

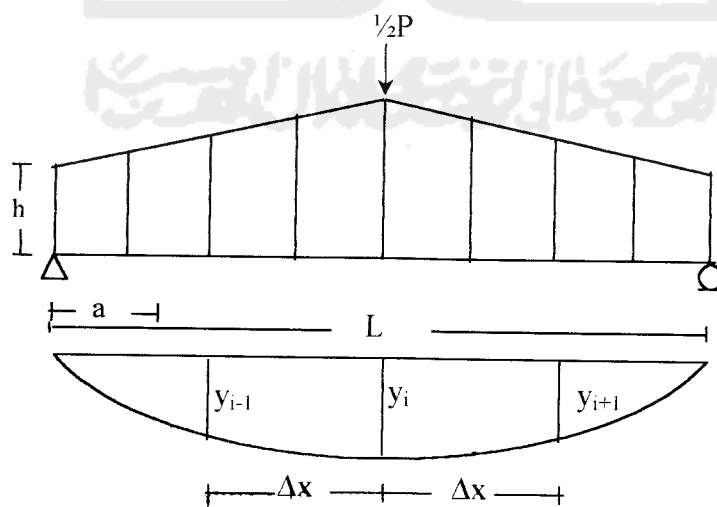




Gambar 3.19 Hubungan beban–deformasi (Analisis SAP 2000)

### 3.8 Hubungan Momen-Kelengkungan

Apabila balok *vierendeel* tumpuan sederhana menerima beban transversal terpusat maka balok akan melentur atau mengalami defleksi (Gambar 3.20).



Gambar 3.20 Pembebanan dan momen

Berdasarkan analisis SAP 2000, dari 3 model struktur balok *viereendeel* didapat hubungan momen-kelengkungan seperti Gambar 3.22. Deformasi yang digunakan untuk memperoleh grafik momen-kelengkungan diasumsikan pada  $\frac{1}{4}$  bentang ( $y_{i-1}$ ),  $\frac{1}{2}$  bentang ( $y_i$ ) dan  $\frac{3}{4}$  bentang ( $y_{i+1}$ ). Apabila deformasi pada balok *viereendeel* didapat maka kelengkungan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\phi = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{\Delta x^2} \quad (3.64)$$

Karena tinggi balok *viereendeel* bervariasi maka momen ( $M$ ) dan Inersia ( $I$ ) umumnya berubah-ubah sehingga kelengkungan juga akan berubah-ubah. Menurut *Timoshenko dan Gere* (1987), hubungan momen ( $M$ ), dan kelengkungan ( $d^2y/dx^2$ ) adalah :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (3.65)$$

Inersia pada tiap segmen adalah :

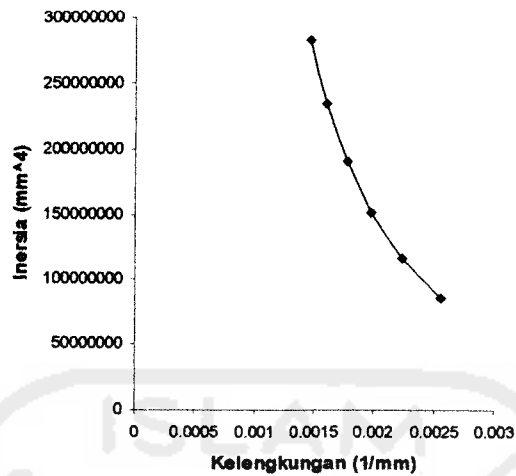
$$I_n = 2I + 2A \left( \frac{h_n'}{2} \right)^2 \quad (3.66)$$

dengan :

$h_n'$  = tinggi antara tengah-tengah batang tepi atas dan batang tepi bawah

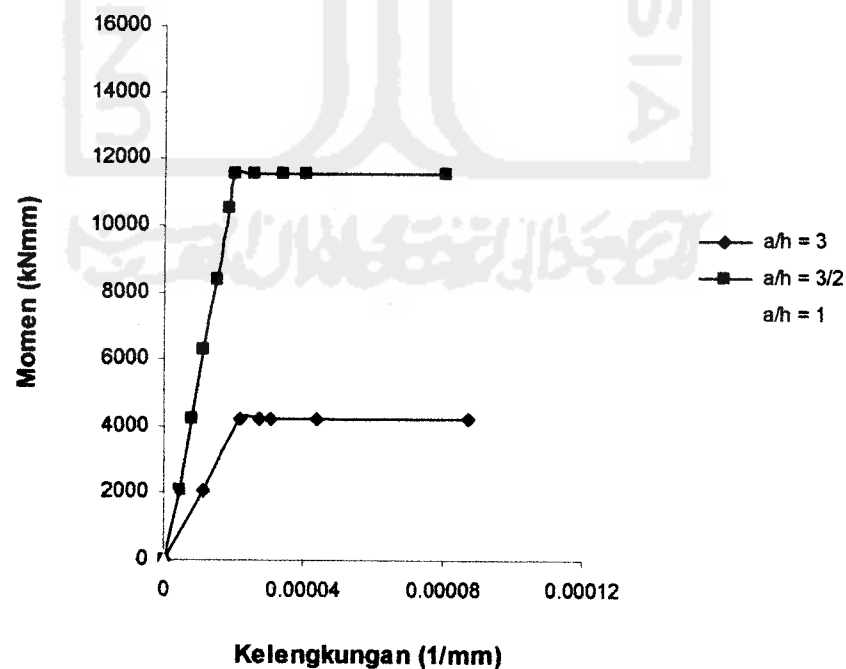
$A$  = luas penampang balok

Persamaan (3.66) dapat dibuat grafik seperti pada gambar 3.21.



Gambar 3.21 Hubungan kelengkungan-inersia (Berdasarkan persamaan 3.65 dan 3.66)

Gambar 3.21 menunjukkan bahwa balok *viereendeel* dengan tinggi bervariasi mempunyai inersia semakin ke tengah bentang semakin besar sehingga kelengkungannya semakin kecil sedangkan jari-jari kelengkungan semakin besar.



Gambar 3.22 Hubungan momen – kelengkungan (Analisis SAP 2000)

### 3.9 Kekakuan

Kekakuan balok *vierendeel* dapat dipelajari dengan meninjau deformasinya. Berdasarkan Gambar 3.22 dapat dilihat hubungan beban ( $P$ ) dan deformasi ( $\Delta$ ). Kemiringan dari lengkung yang dihasilkan disebut sebagai kekakuan yang dirumuskan dengan persamaan :

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (3.67)$$

Sedangkan  $EI$  merupakan kekakuan lentur yang diperoleh dari grafik hubungan momen dan kelengkungan (Gambar 3.21). Kekakuan lentur didefinisikan dengan momen per satuan kelengkungan yang dirumuskan dengan :

$$EI = \frac{M}{\phi} \quad (3.68)$$

Modulus elastisitas  $E$  merupakan ukuran kekakuan yang ditentukan oleh material yang digunakan. Semakin besar nilai  $E$  maka semakin kaku material tersebut. Momen inersia merupakan ukuran banyaknya serta distribusi material yang digunakan. Semakin besar nilai  $I$ , semakin kaku penampang itu.

### 3.10 Alat Sambung Las

Pengelasan adalah proses penggabungan material-material (biasanya logam) dengan pemanasan sampai ke temperatur yang sesuai sedemikian rupa sehingga bahan-bahan tersebut melebur menjadi satu material. Pada penelitian ini digunakan las sudut (*fillet weld*). Jenis las ini lebih hemat, mudah fabrikasi dan adaptasinya baik. Jenis las ini paling banyak digunakan.

Pada proses pengelasan mungkin saja timbul sejumlah cacat pada las. Beberapa cacat yang umum dijumpai adalah :

1. Leburan Tak-Sempurna

Leburan tak sempurna adalah kegagalan logam dasar dan logam las didekatnya untuk melebur bersama sepenuhnya. Hal ini mungkin terjadi bila permukaan-permukaan yang akan disambungkan tidak dibersihkan dengan baik dan diselimuti oleh terak, oksida atau bahan-bahan lain yang berukuran sangat kecil atau tidak tepatnya arus yang digunakan pada peralatan lasnya sehingga logam dasar tidak mencapai titik lebur.

2. Porositas

Porositas terjadi bila rongga atau kantung-kantung hawa terjebak selama proses pendinginan yang disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi atau panjang busur las berlebihan.

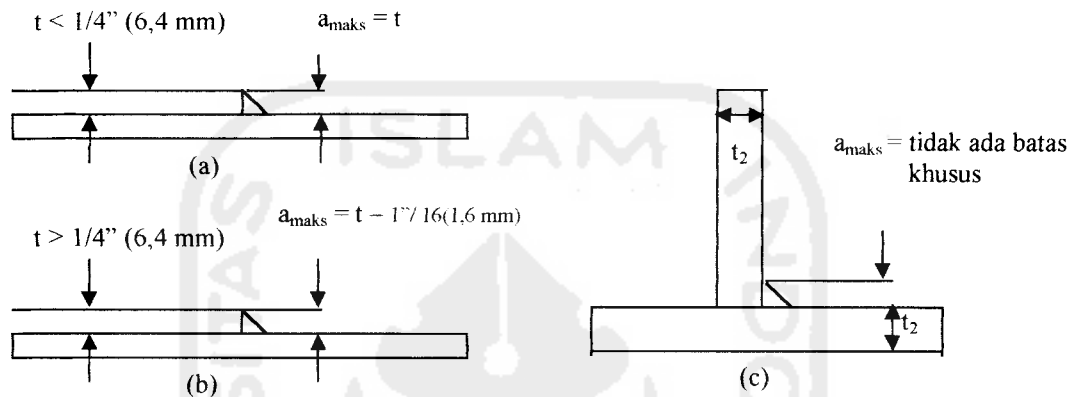
3. Inklusi Terak

Terak terbentuk selama proses pengelasan sebagai akibat dari reaksi-reaksi kimia lapisan elektroda yang meleleh dan terdiri dari oksida-oksida logam dan senyawa lainnya. Terak biasanya mengambang pada permukaan yang pada saat pendinginan mudah disingkirkan oleh pengelas. Meskipun demikian, pendinginan sambungan yang terlampau cepat mungkin dapat menjebak terak tersebut sebelum sempat naik ke atas.

4. Retak

Retak adalah pecahan pada logam las baik memanjang atau melintang terhadap garis las yang diakibatkan oleh tegangan internal.

Untuk membantu kepastian leburan dan meminimumkan distorsi, Spesifikasi AWS telah menyediakan ukuran las maksimum (Gambar 3.23) berdasarkan tebal yang akan disambungkan. Persyaratan las fillet berdasarkan dimensi kaki a pada fillet tersebut.



Gambar 3.23 Ukuran las maksimum (Salmon dan Johnson edisi kedua jilid 1, 1994)

Kekuatan R<sub>nw</sub> las fillet per inch panjang didasarkan atas asumsi bahwa kegagalan las sedemikian dikarenakan oleh geser terhadap luas efektif baik bila geser itu sejajar atau tegak lurus terhadap sumbu alur las fillet yang bersangkutan. Kekuatan las fillet nominal R<sub>nw</sub> per inch panjang las dapat diwujudkan sebagai :

$$R_{nw} = t_e(0.60F_{EXX}) \quad \text{logam las} \quad (3.69)$$

$$R_{nw} = t_e(0.60F_u) \quad \text{logam dasar} \quad (3.70)$$

Kekuatan desain per satuan panjang las fillet didasarkan atas resistansi geser melalui leher las sebagai berikut

$$\phi R_{nw} = 0.75t_e(0.60F_{EXX}) \quad \text{las fillet} \quad (3.71)$$

namun tidak kurang dari kekuatan patahan (*rapture*) geser dari logam dasar didekatnya.

$$\phi R_{nw} = 0.75t_e(0.60F_u) \quad \text{logam dasar} \quad (3.72)$$

dengan :

$t_e$  = dimensi leher efektif

$F_{EXX}$  = kekuatan tarik material elektroda

$t$  = tebal material dasar di sepanjang las

$F_u$  = kekuatan tarik logam dasar

### 3.10 HIPOTESIS

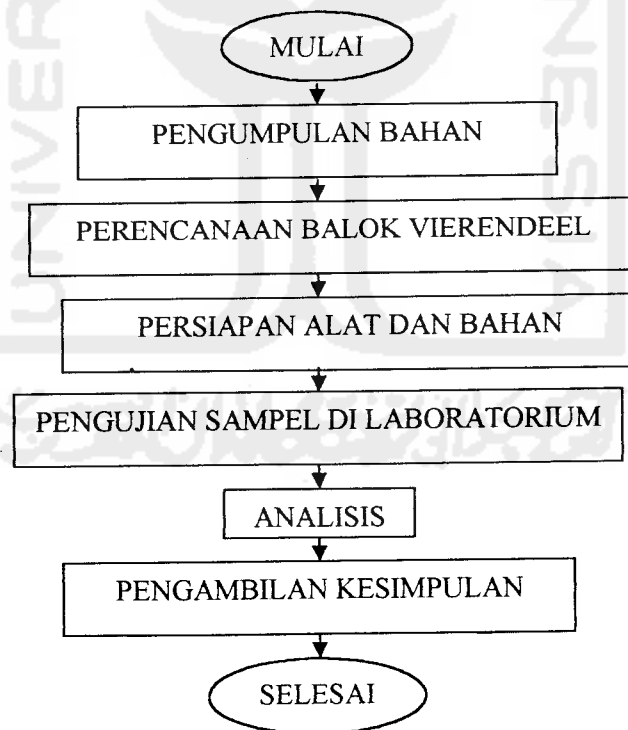
Berdasarkan tinjauan pustaka dan landasan teori maka :

1. Balok *vierendeel* dengan variasi tinggi ( $h$ ) dan jarak batang transversal ( $a$ ) berpengaruh terhadap momen (lentur). Semakin kecil rasio  $a/h$  kapasitas momen (lentur) semakin besar dan semakin besar rasio  $a/h$  kapasitas momen (lentur) semakin kecil.
2. Kelengkungan merupakan fungsi dari momen ( $M$ ) per satuan kekakuan ( $EI$ ). Pada batang tepi semakin ke tengah bentang momen semakin kecil dan inersia semakin besar dengan demikian kelengkungan menjadi semakin kecil sedangkan semakin ke tepi momen semakin besar dan inersia semakin kecil sehingga kelengkungan semakin besar.
3. Akibat pembebanan terpusat balok *vierendeel* akan mengalami deformasi. Besar deformasi dipengaruhi oleh beban ( $P$ ) dan panjang bentang ( $L$ ). Semakin besar  $P$  maka deformasi semakin besar sehingga semakin ke tengah bentang deformasinya semakin besar. Semakin jauh jarak batang transversal deformasinya juga semakin besar dan semakin rapat batang transversal deformasinya semakin kecil.

## 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 seperti pada *flowchart* (Gambar 4.1) di bawah ini :



Gambar 4.1 *Flowchart* metode penelitian



## 4.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

Sebelum melaksanakan penelitian perlu diadakan persiapan alat dan bahan yang digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Bahan dan alat yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

### 4.2.1 Bahan Penelitian

Bahan penelitian meliputi :

a. Baja profil

Baja profil yang digunakan adalah baja pipa kotak 30x30x2 (mm).

b. Alat sambung

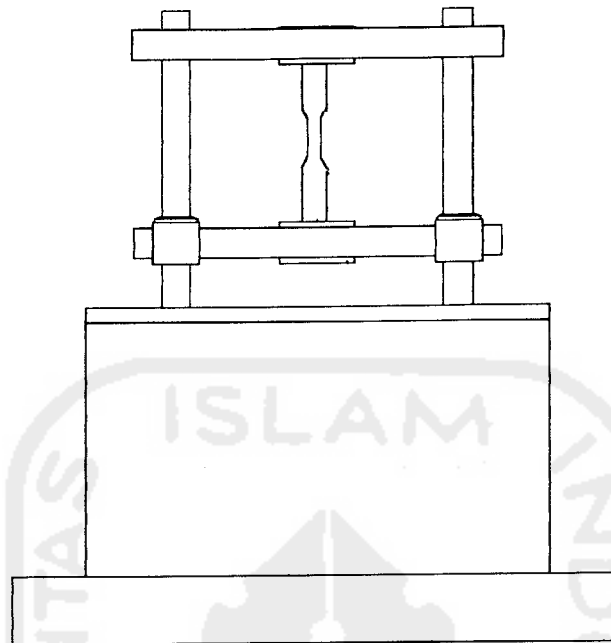
Alat sambung yang digunakan adalah sambungan las menggunakan elektroda E70XX dengan kekuatan tarik maksimum  $F_u = 70 \text{ Ksi} = 485 \text{ MPa}$ .

### 4.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

a. Mesin Uji Tarik Baja

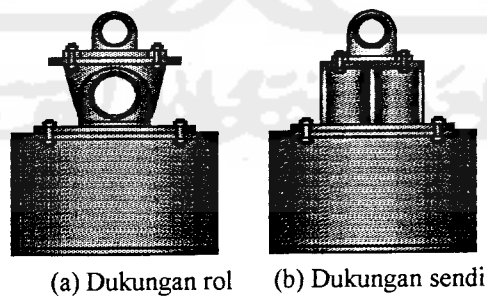
Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Pada penelitian ini menggunakan *UNIVERSAL TESTING MACHINE* (UTM) Merk SHIMATSU *Type* UMH 30, kapasitas 30 Ton. Seperti pada Gambar (4.2).



Gambar 4.2 *Universal Testing Machine* (UTM)

b. Dukungan Sendi dan Rol

Dukungan sendi dan rol dipasang agar model balok *vierendeel* tetap berdiri tegak saat dilakukan pengujian. Adapun gambar dukungan sendi dan rol dapat dilihat pada Gambar (4.3).



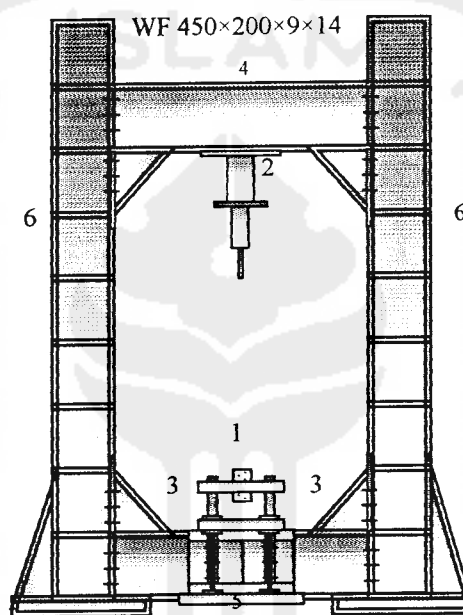
(a) Dukungan rol (b) Dukungan sendi

Gambar 4.3 Dukungan

c. *Loading Frame*

Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan, terbuat dari baja profil WF 450x200x9x14. Bentuk dasar *loading frame* (Gambar 4.4) 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. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model.



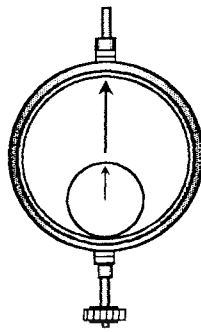
**Keterangan :**

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

Gambar 4.4 *Loading frame*

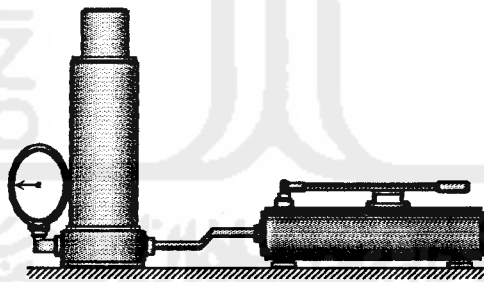
d. *Dial Gauge*

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian pembacaan *dial* 0,01 mm. Seperti pada Gambar (4.5)

Gambar 4.5 *Dial gauge*

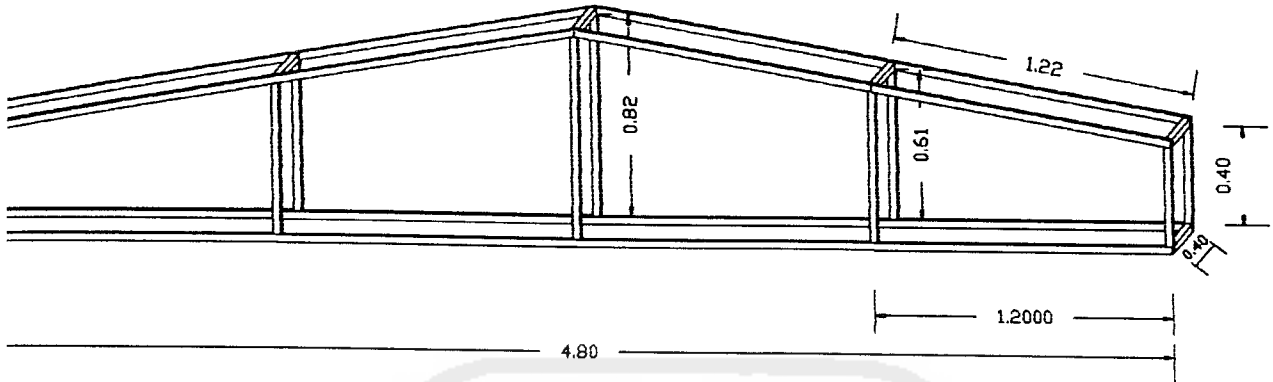
e. *Hidraulic Jack*

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).

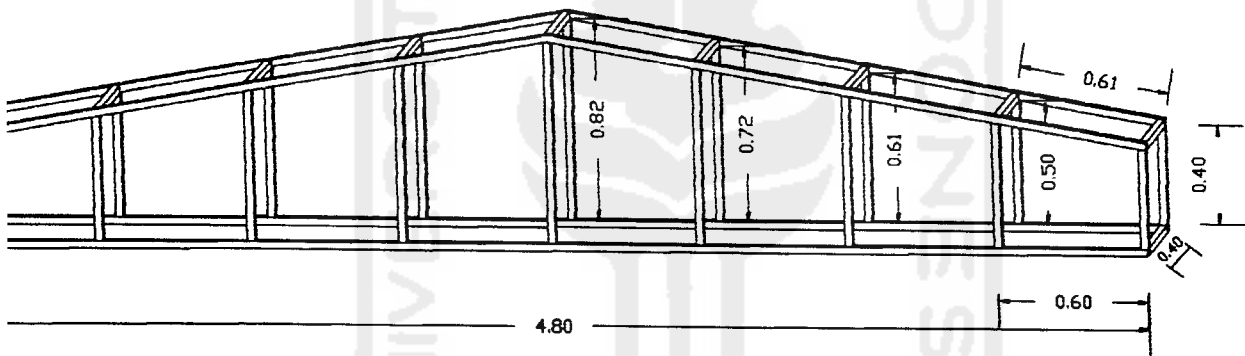
Gambar 4.6 *Hidraulic jack*

### 4.3 Model Benda Uji

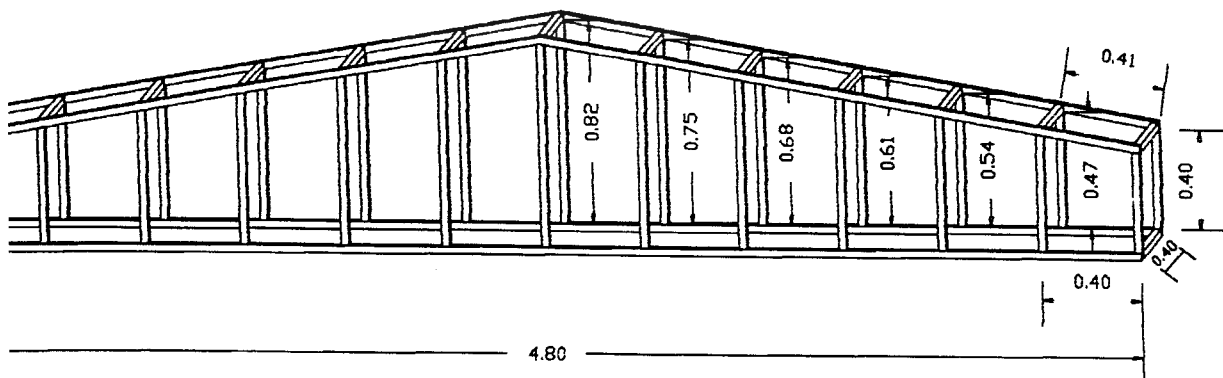
Model benda uji berupa balok *vierendeel* sebanyak 3 buah yang terdiri dari balok *vierendeel* dengan variasi  $a/h = 1$ ,  $a/h = 3/2$ ,  $a/h = 3$ . Adapun ukuran benda uji adalah :



Gambar 4.7 Benda Uji 1



Gambar 4.8 Benda Uji 2



Gambar 4.9 Benda Uji 3

#### 4.4 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut :

##### 4.4.1 Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji meliputi :

a. Pembuatan benda uji kuat tarik baja

Baja pipa kotak 30x30x2 (mm) dipotong sepanjang 50 cm kemudian tengahnya dibuat luasan. Bentuknya dapat dilihat pada Gambar (4.10).

b. Pembuatan benda uji kuat geser las

Dua profil dipotong lalu di las seperti ditunjukkan pada Gambar (4.11).

c. Pembuatan benda uji balok *vierendeel*

Balok *vierendeel* merupakan rangkaian baja pipa kotak 30x30x2 (mm) sebagai batang horizontal dan sebagai batang vertikal yang disambung dengan menggunakan sambungan las. Panjang struktur 4.8 m dengan tinggi bervariasi.

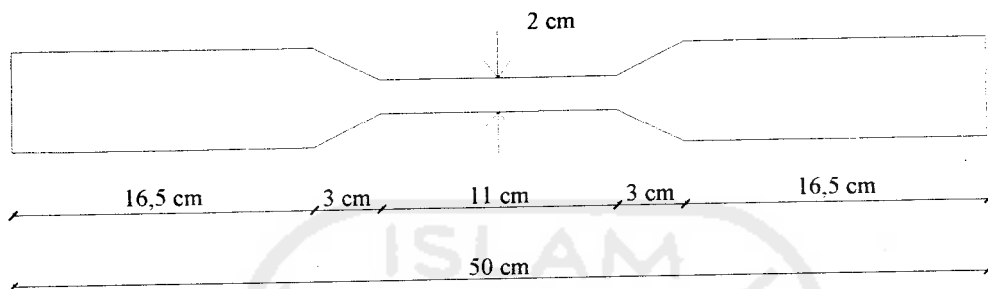
##### 4.4.2 Pengujian Pendahuluan

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

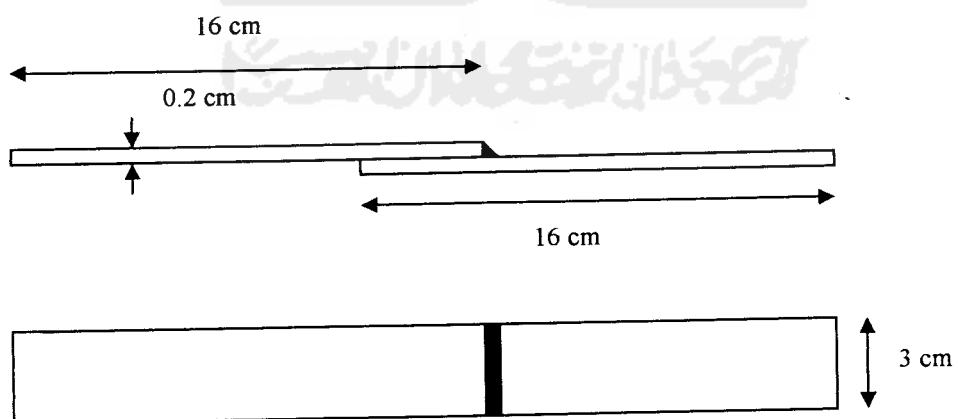
dengan luas rata-rata dari luasan benda uji. Benda uji untuk kuat tarik baja seperti pada Gambar (4.10).



Gambar 4.10 Benda uji untuk Uji Kuat Tarik Baja

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 (4.11).



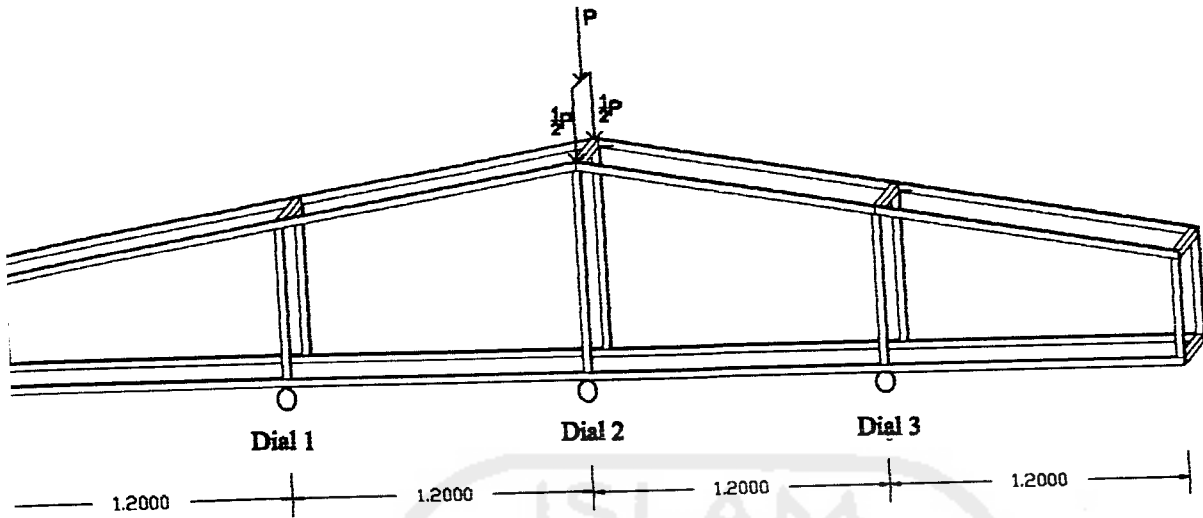
Gambar 4.11. Benda uji untuk Uji Kuat Geser Las

#### 4.4.3 Persiapan Peralatan

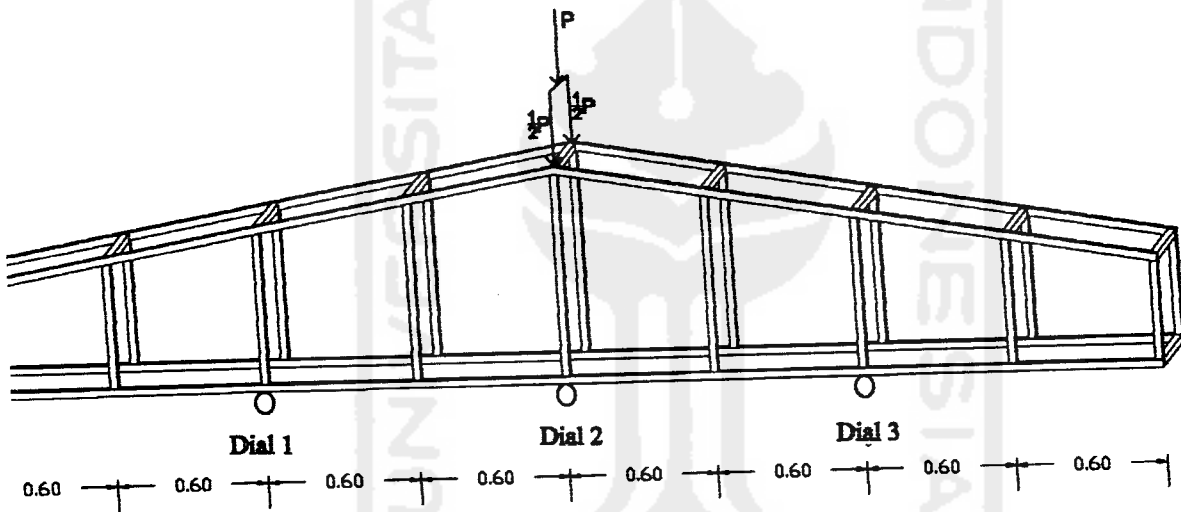
Tahap-tahap persiapan peralatan meliputi :

1. *Setting* terhadap peralatan yang akan dipergunakan.
2. Dukungan sendi-rol (Gambar 4.3a dan 4.3b) diletakkan pada *Loading Frame* (Gambar 4.4) yang digunakan untuk menumpu benda uji dengan panjang 4,8 m.
3. *Hydraulic Jack* (Gambar 4.6) diletakkan pada tumpuan yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang membebani benda uji.
4. *Dial gauge* (Gambar 4.5) diletakkan di bawah benda uji. *Dial gauge* yang digunakan dalam penelitian sebanyak 3 buah yang diletakkan pada setiap jarak 1,2 m.
5. Perletakan *dial gauge* dan beban pada setiap benda uji dapat dilihat pada gambar 4.12, gambar 4.13 dan gambar 4.14.

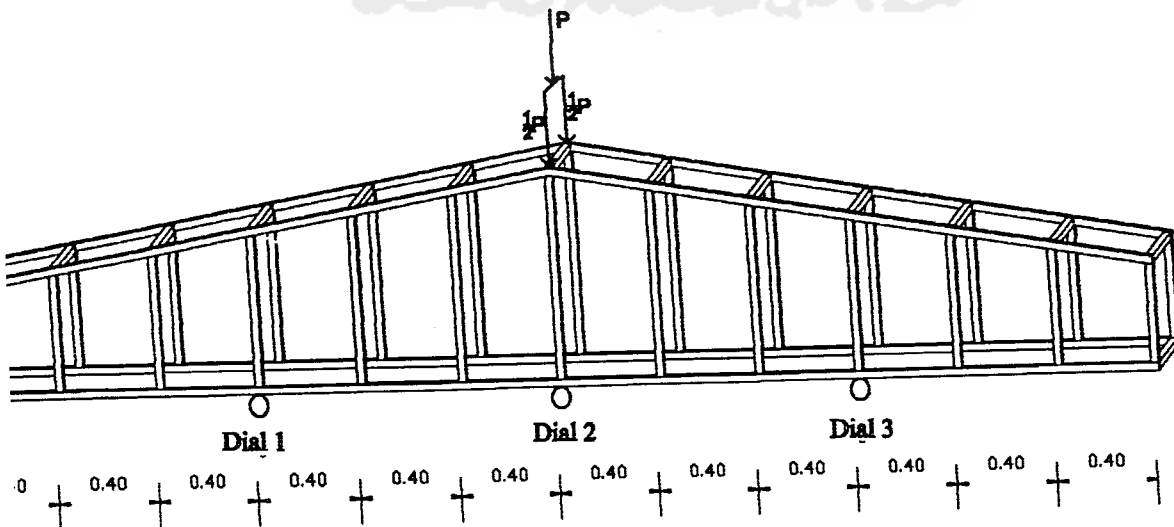




Gambar 4.12 Perletakkan dial gauge pada Benda Uji 1



Gambar 4.13 Perletakkan dial gauge pada Benda Uji 2



#### 4.4.4 Pengujian Benda Uji Balok *Vierendeel*

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

1. 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.
2. Setiap pembebanan mencapai 3.5 kN, pemompaan *Hydraulic Jack* dihentikan dan ditahan kemudian pembacaan dan pencatatan *Dial Gauge*.
3. Proses dilakukan sampai pembebanan maksimum.

#### 4.5 Rencana Jadwal Penelitian

Rencana jadwal untuk melaksanakan program kerja penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Persiapan, meliputi pengumpulan data, penyusunan proposal dan seminar tugas akhir.
2. Pelaksanaan penelitian laboratorium.
3. Penyusunan laporan hasil penelitian, meliputi penyusunan dan konsultasi tugas akhir dengan dosen pembimbing.



## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Hasil Penelitian**

##### **5.1.1 Hasil Uji Kuat Tarik Baja**

Pelaksanaan pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengetahui mutu dari bahan atau profil yang digunakan dalam penelitian. Kuat tarik ( $F_u$ ) dari sampel uji tarik baja adalah sebesar 356 MPa dan tegangan leleh ( $F_y$ ) adalah 325 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 dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia. Kuat geser las ( $\tau_{\text{geser las}}$ ) yang diperoleh = 413,92 MPa.

##### **5.1.3 Hasil Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel***

Pengujian kuat lentur balok *vierendeel* dilakukan di laboratorium Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia. Pengujian kuat lentur menghasilkan data berupa beban dan deformasi. Selanjutnya data tersebut digunakan untuk membuat grafik hubungan beban-deformasi.

## 5.2 Hubungan Beban-Deformasi

### 5.2.1 Analisis Data Beban-Deformasi Numeris SAP

Data beban-deformasi berdasarkan hasil numeris SAP 2000 disajikan pada Tabel 5.1 sampai dengan Tabel 5.4. Input beban yang digunakan disesuaikan dengan beban pada saat pengujian dengan interval (kenaikan beban) yang sama sedangkan deformasinya berdasarkan hasil SAP 2000. Tegangan leleh ( $f_y$ ) pada analisis SAP 2000 sebesar 325 MPa yang merupakan tegangan leleh hasil penelitian, sedangkan modulus elastisitas sebesar  $2,1 \cdot 10^5$  MPa. Nilai modulus elastisitas akan semakin menurun setelah mencapai beban maksimum. Data beban-deformasi pada dial 1 dan dial 3 dari analisis SAP mempunyai nilai yang sama karena balok *viereendeel* mempunyai geometri sama dan penempatan dial 1 dan 3 juga sama yaitu  $\frac{1}{4}$  bentang dari masing-masing perletakan (sendi-rol).

Tabel 5.1 Data deformasi benda uji hasil numeris SAP 2000 (truss) dial 1 dan 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
3.50	9.03	3.50	3.45	3.50	1.52
7.00	16.74	7.00	6.15	7.00	2.84
7.00	20.93	10.50	8.85	10.50	4.15
7.00	23.25	14.00	11.55	14.00	5.47
7.00	33.49	17.50	14.25	17.50	6.79
7.00	66.97	19.25	15.60	21.00	8.11
		19.25	19.50	22.75	8.77
		19.25	26.00	22.75	10.96
		19.25	31.20	22.75	14.62
		19.25	62.41	22.75	17.54
				22.75	35.09

Tabel 5.2 Data deformasi benda uji hasil numeris SAP 2000 (*truss*) 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
3.50	17.15	3.50	6.49	3.50	2.84
7.00	32.44	7.00	11.74	7.00	5.42
7.00	40.55	10.50	16.99	10.50	8.00
7.00	45.05	14.00	22.24	14.00	10.59
7.00	64.88	17.50	27.49	17.50	13.17
7.00	129.75	19.25	30.12	21.00	15.75
		19.25	37.65	22.75	17.04
		19.25	50.20	22.75	21.30
		19.25	60.25	22.75	28.40
		19.25	120.47	22.75	34.08
				22.75	68.16

Tabel 5.3 Data deformasi benda uji hasil numeris SAP 2000 (*frame*) dial 1 dan 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
3.50	11.14	3.50	5.11	3.50	2.92
7.00	20.72	7.00	9.06	7.00	5.42
7.00	25.90	10.50	13.01	10.50	7.91
7.00	34.54	14.00	16.96	14.00	10.40
7.00	41.44	17.50	20.91	17.50	12.89
7.00	82.89	19.25	22.89	21.00	15.38
		19.25	28.61	22.75	16.63
		19.25	38.15	22.75	20.78
		19.25	45.78	22.75	27.71
		19.25	91.56	22.75	33.26
				22.75	66.51

Tabel 5.4 Data deformasi benda uji hasil numeris SAP 2000 (*frame*) 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
3.50	21.95	3.50	10.06	3.50	5.70

tabel lanjutan

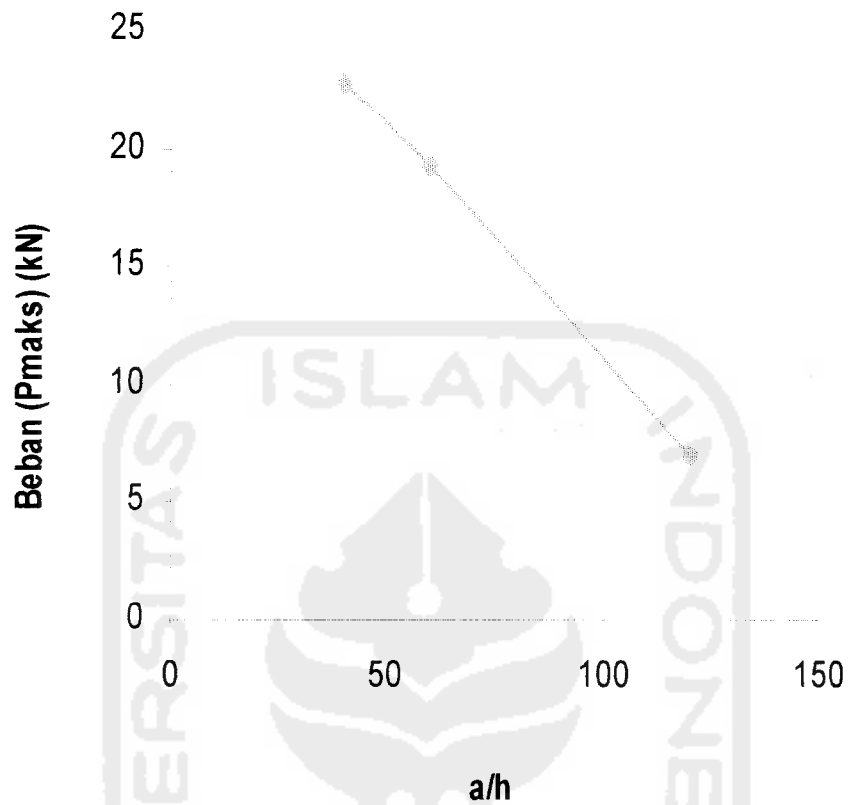
7.00	41.54	7.00	18.21	7.00	10.94
7.00	51.93	10.50	26.37	10.50	16.10
7.00	69.24	14.00	34.53	14.00	21.30
7.00	83.09	17.50	42.69	17.50	26.50
7.00	166.18	19.25	46.76	21.00	31.70
		19.25	58.46	22.75	34.30
		19.25	77.94	22.75	42.87
		19.25	93.53	22.75	57.16
		19.25	187.06	22.75	68.60
				22.75	137.19

### 5.2.2 Analisis Data Beban-Deformasi Penelitian

Pada pengujian kuat lentur, beban kerja balok *vierendeel* ditempatkan pada tengah-tengah bentang. Secara bertahap beban dinaikkan dengan interval sebesar 3,5 kN kemudian besar deformasi yang dihasilkan pada setiap kenaikan beban 3,5 kN tersebut dicatat. Data deformasi hasil penelitian disajikan pada Tabel 5.6, Tabel 5.7 dan Tabel 5.8. Selain itu diperoleh juga beban maksimum yang dicapai oleh masing-masing benda uji dengan variasi jarak batang transversal seperti ditunjukkan pada Tabel 5.5. Semakin kecil rasio jarak terhadap tinggi batang transversal beban transversal maksimum yang dicapai semakin besar. Grafik hubungan beban transversal maksimum dan variasi rasio jarak terhadap tinggi batang transversal ditunjukkan pada Gambar 5.1.

Tabel 5.5 Beban transversal maksimum balok *vierendeel* dengan variasi  $a/h$

No	Variasi jarak antar batang transversal (a) (cm)	a/h	Pmax (kN)	Pmax (%)
1	120	3	7.00	30.70
2	60	3/2	19.25	84.62
3	40	1	22.75	100.00



Gambar 5.1 Hubungan a/h-beban maksimum

Tabel 5.6 Data deformasi benda uji hasil penelitian pada dial 1

Benda uji 1		Benda uji 2		Benda uji 3	
Beban (P) (kN)	Deformasi (mm)	Beban (P) (kN)	Deformasi (mm)	Beban (P) (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3.50	4.38	3.50	3.45	3.50	3.14
7.00	13.92	7.00	8.33	7.00	5.32
7.00	15.74	10.50	13.84	10.50	8.30
7.00	17.90	14.00	31.70	14.00	12.04
7.00	21.22	17.50	46.70	17.50	18.42
7.00	23.09	19.25	49.70	21.00	30.79
7.00	36.00	19.25	54.70	22.75	40.80
		19.25	57.70	22.75	51.00
		19.25	60.70	22.75	54.00



Tabel 5.7 Data deformasi benda uji hasil penelitian pada dial 2

Benda uji 1		Benda uji 2		Benda uji 3	
Beban (P) (kN)	Deformasi (mm)	Beban (P) (kN)	Deformasi (mm)	Beban (P) (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3.50	8.62	3.50	6.69	3.50	6.05
7.00	27.00	7.00	15.97	7.00	10.30
7.00	31.60	10.50	25.71	10.50	16.06
7.00	39.50	14.00	50.00	14.00	22.95
7.00	47.00	17.50	75.00	17.50	33.00
7.00	56.50	19.25	78.00	21.00	53.00
7.00	71.50	19.25	86.00	22.75	68.00
		19.25	91.00	22.75	85.00
		19.25	94.00	22.75	96.00

Tabel 5.8 Data deformasi benda uji hasil penelitian pada dial 3

Benda uji 1		Benda uji 2		Benda uji 3	
Beban (P) (kN)	Deformasi (mm)	Beban (P) (kN)	Deformasi (mm)	Beban (P) (kN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0
3.50	4.40	3.50	3.34	3.50	3.16
7.00	13.97	7.00	8.05	7.00	5.43
7.00	15.82	10.50	14.30	10.50	8.60
7.00	17.95	14.00	30.91	14.00	12.55
7.00	21.18	17.50	46.90	17.50	19.50
7.00	23.05	19.25	49.90	21.00	29.43
7.00	34.70	19.25	52.90	22.75	41.00
		19.25	55.90	22.75	52.00
		19.25	57.90	22.75	55.00

### 5.2.3 Grafik Hubungan Beban-Deformasi

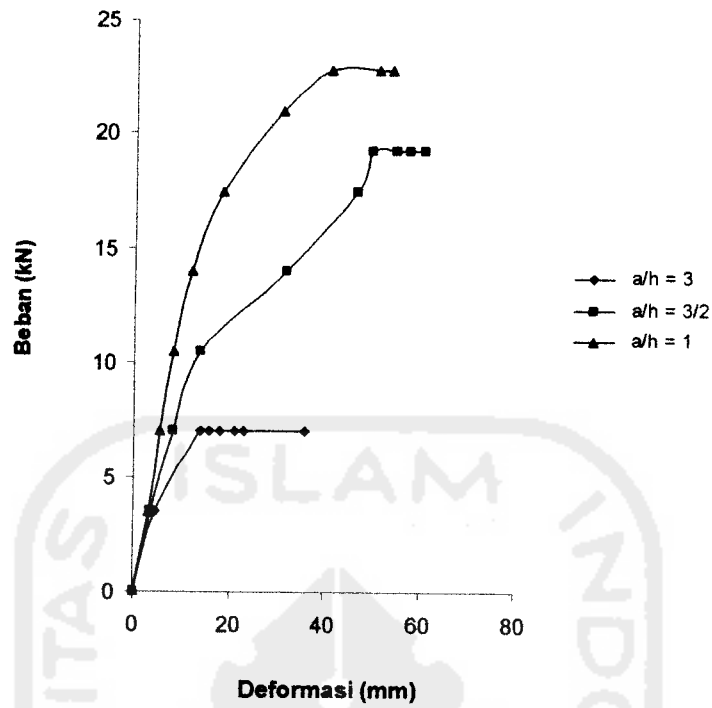
Berdasarkan data hasil pengujian balok *vierendeel* dibuat grafik hubungan beban-deformasi ( $P-\Delta$ ). Data deformasi yang digunakan adalah pada *dial gauge* 2 atau tengah bentang yang merupakan deformasi maksimum. Grafik hubungan beban-deformasi ( $P-\Delta$ ) hasil penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.2, Gambar 5.3 dan

Gambar 5.4. Sedangkan grafik perbandingan hubungan beban-deformasi penelitian dan hasil numeris SAP dilihat pada Gambar 5.5 sampai dengan Gambar 5.10.

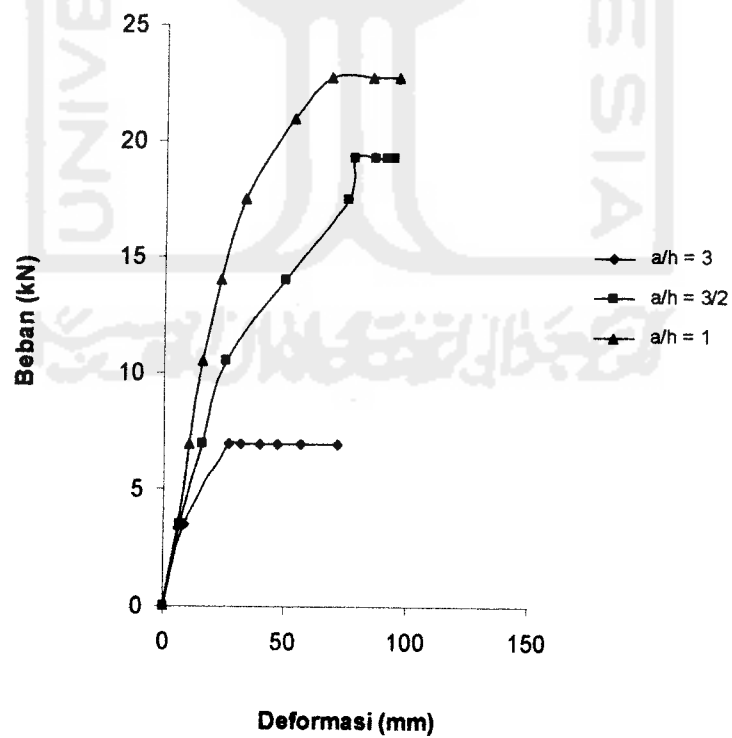
Berdasarkan grafik hubungan beban-deformasi hasil penelitian dan numeris SAP dari titik awal pembebanan sampai mencapai beban maksimum balok *vierendeel* berperilaku elastis dan berbentuk linier. Tampak dari kemiringan grafik secara numeris SAP balok *vierendeel* lebih kaku dibandingkan dari hasil penelitian. Data dan grafik hubungan beban-deformasi ketiga benda uji hasil penelitian dapat digunakan untuk menghitung kekakuan balok *vierendeel* yaitu pada beban ultimit yang disajikan dalam tabel 5.9.

Tabel 5.9 Analisa kekakuan ( $\frac{P_y}{\Delta_y}$ ) dari data hubungan beban-deformasi

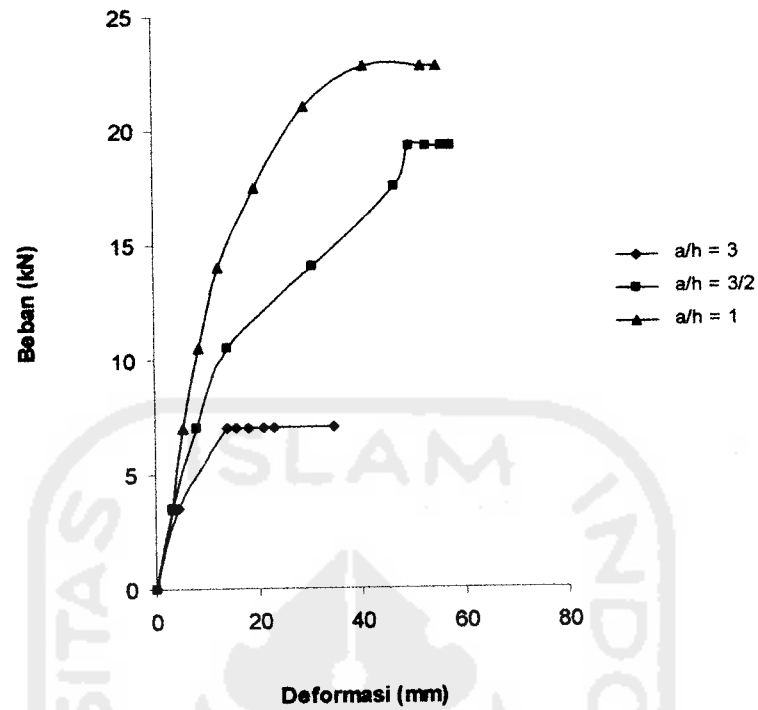
Jarak batang transversal (a) (cm)	a/h	$P_y$ (kN)	Deformasi ( $\Delta_y$ ) (mm)	Kekakuan ( $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ )	Rasio kekakuan (%)
120	3	7.00	27	0.260	77.61
60	3/2	19.25	78	0.247	73.73
40	1	22.75	68	0.335	100.00



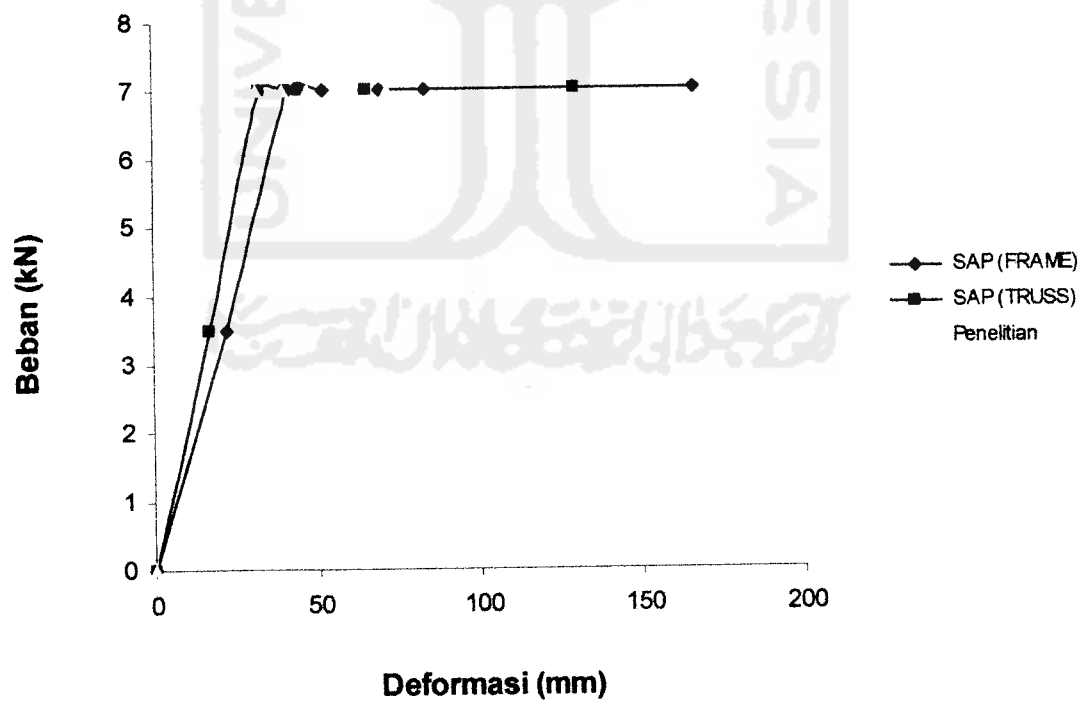
Gambar 5.2 Grafik hubungan beban-deformasi penelitian pada dial 1



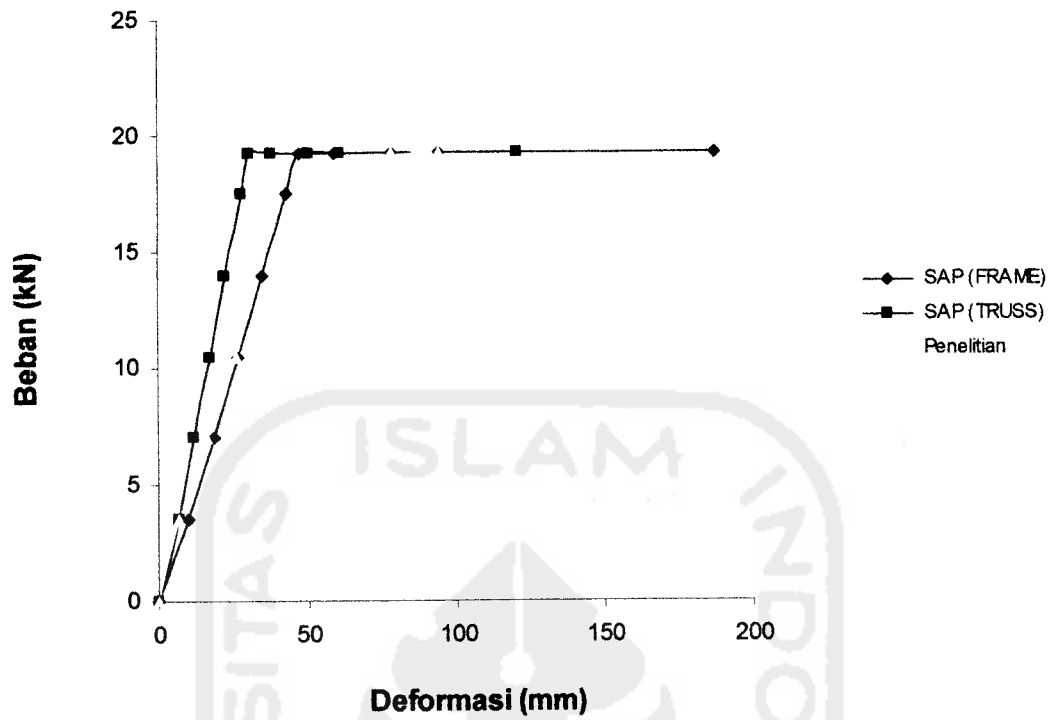
Gambar 5.3 Grafik hubungan beban-deformasi penelitian pada dial 2



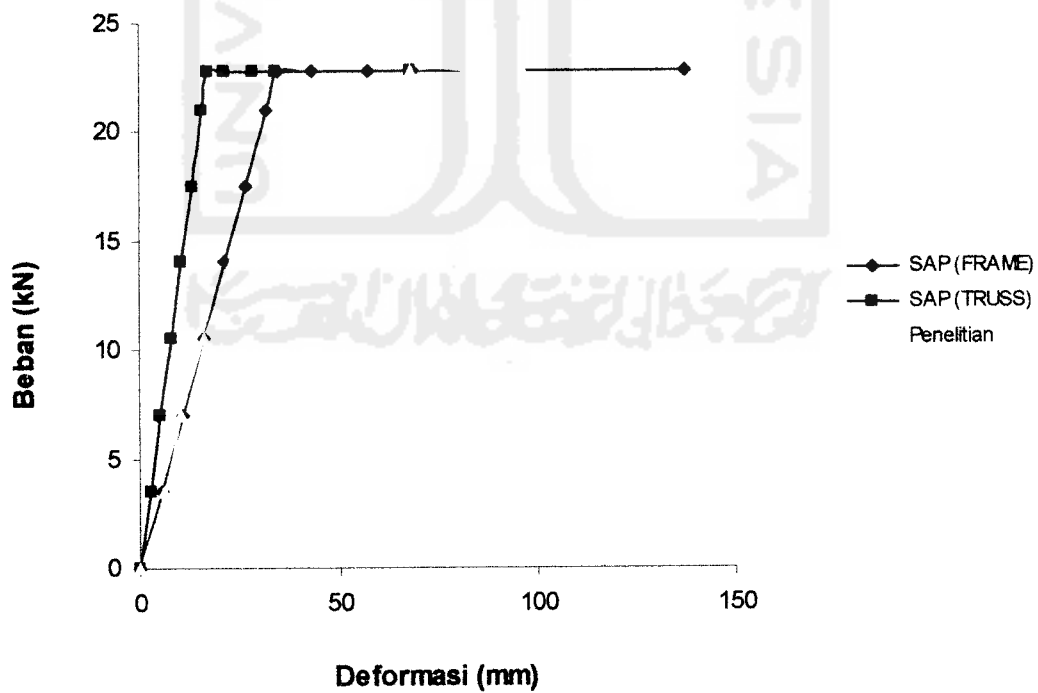
Gambar 5.4 Grafik hubungan beban-deformasi penelitian pada dial 3



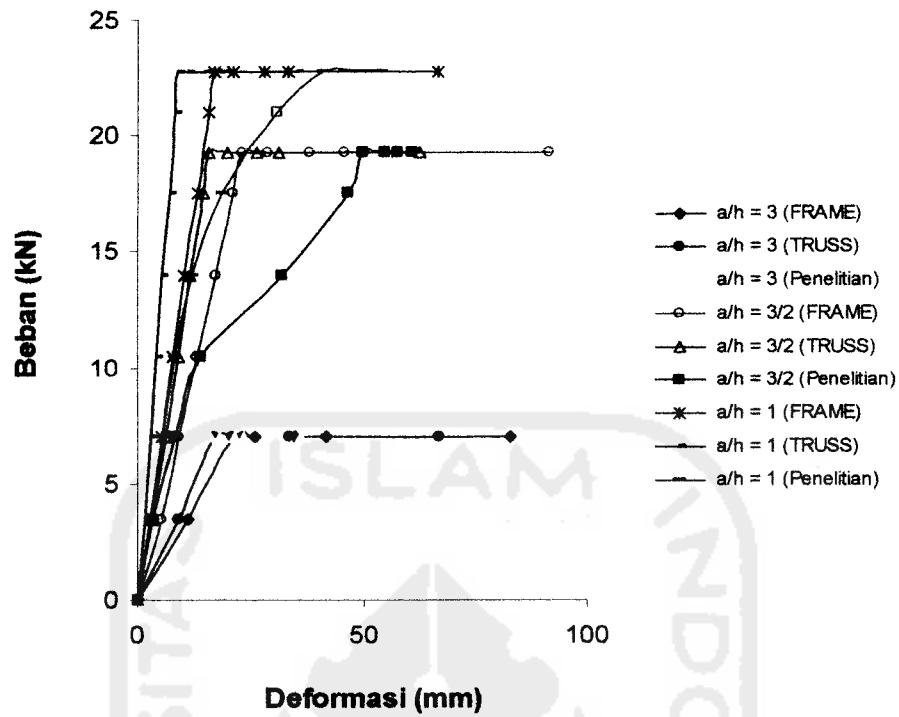
Gambar 5.5 Grafik hubungan beban-deformasi penelitian-SAP B.uji 1



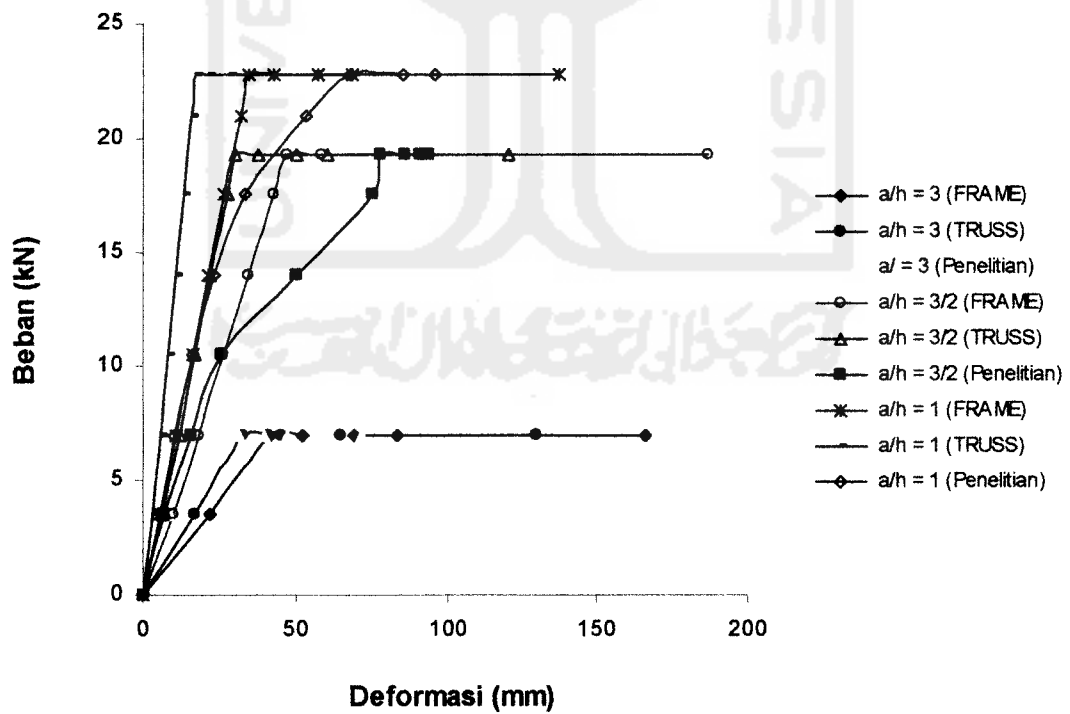
Gambar 5.6 Grafik hubungan beban-deformasi penelitian-SAP B.uji 2



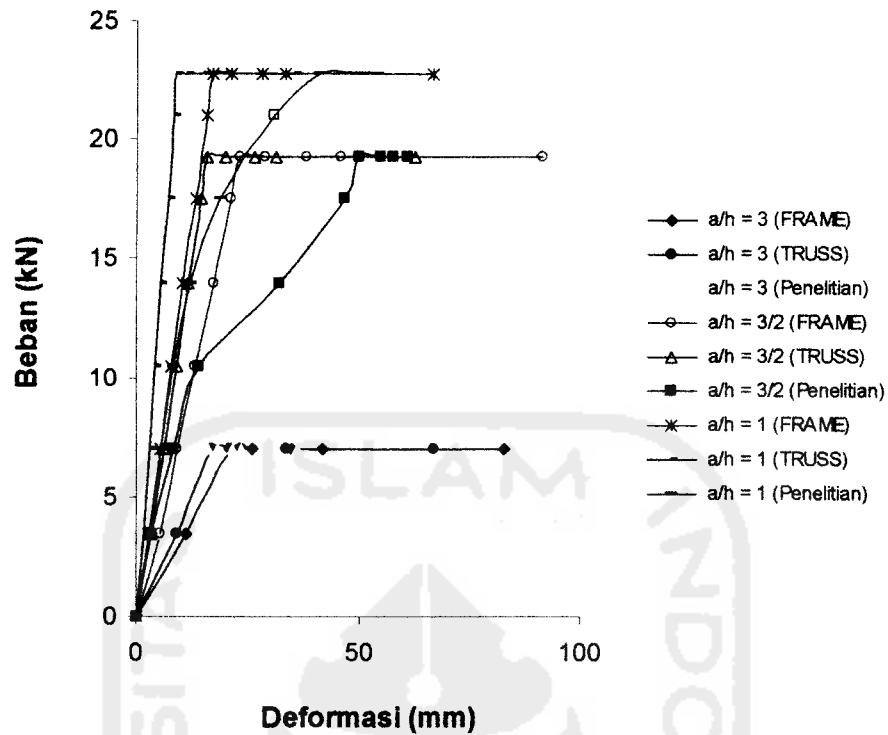
Gambar 5.7 Grafik hubungan beban-deformasi penelitian-SAP B.uji 3



Gambar 5.8 Grafik hubungan beban-deformasi frame-truss-penelitian dial 1



Gambar 5.9 Grafik hubungan beban-deformasi frame-truss-penelitian dial 2



Gambar 5.10 Grafik hubungan beban-deformasi frame-truss-penelitian dial 3

### 5.3. Hubungan Momen-Kelengkungan

#### 5.3.1 Data Momen-Kelengkungan Numeris SAP 2000

Nilai hasil perhitungan momen-kelengkungan numeris SAP disajikan pada Tabel 5.10 sampai dengan Tabel 5.15. Input beban yang digunakan berdasarkan pada hasil pengujian sedangkan kelengkungan dihitung dengan menggunakan persamaan (3.57).

Tabel 5.10 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (truss) benda uji 1

Beban (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	M (kNmm)	Kelengkungan 1/mm
0	0	0	0	0	0
3.5	9.03	17.15	9.03	2100	0.00001128
7	16.74	32.44	16.74	4200	0.00002181

tabel lanjutan

7.00	20.93	40.55	20.93	4200	0.00002725
7.00	23.25	45.05	23.25	4200	0.00003028
7.00	33.49	64.88	33.49	4200	0.00004360
7.00	66.97	129.75	66.97	4200	0.00008719

Tabel 5.11 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (*truss*) benda uji 2

Beban (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	M (kNmm)	Kelengkungan 1/mm
0	0	0	0	0	0
3.50	3.45	6.49	3.45	2100	0.00000422
7.00	6.15	11.74	6.15	4200	0.00000776
10.50	8.85	16.99	8.85	6300	0.00001131
14.00	11.55	22.24	11.55	8400	0.00001485
17.50	14.25	27.49	14.25	10500	0.00001839
19.25	15.60	30.12	15.60	11550	0.00002017
19.25	19.50	37.65	19.50	11550	0.00002521
19.25	26.00	50.20	26.00	11550	0.00003361
19.25	31.20	60.25	31.20	11550	0.00004035
19.25	62.41	120.47	62.41	11550	0.00008064

Tabel 5.12 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (*truss*) benda uji 3

Beban (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	M (kNmm)	Kelengkungan 1/mm
0	0	0	0	0	0
3.50	1.52	2.84	1.52	2100	0.00000183
7.00	2.84	5.42	2.84	4200	0.00000358
10.50	4.15	8.00	4.15	6300	0.00000535
14.00	5.47	10.59	5.47	8400	0.00000711
17.50	6.79	13.17	6.79	10500	0.00000886
21.00	8.11	15.75	8.11	12600	0.00001061
22.75	8.77	17.04	8.77	13650	0.00001149
22.75	10.96	21.30	10.96	13650	0.00001436
22.75	14.62	28.40	14.62	13650	0.00001914
22.75	17.54	34.08	17.54	13650	0.00002297
22.75	35.09	68.16	35.09	13650	0.00004593



Tabel 5.13 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (*frame*) benda uji 1

Beban (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	M (kNmm)	Kelengkungan 1/mm
0	0	0	0	0	0
3.50	11.14	21.95	11.14	2100	0.00001501
7.00	20.72	41.54	20.72	4200	0.00002892
7.00	25.90	51.93	25.90	4200	0.00003615
7.00	34.54	69.24	34.54	4200	0.00004819
7.00	41.44	83.09	41.44	4200	0.00005785
7.00	82.89	166.18	82.89	4200	0.00011568

Tabel 5.14 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (*frame*) benda uji 2

Beban (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	M (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
3.50	5.11	10.06	5.11	2100	0.00000688
7.00	9.06	18.21	9.06	4200	0.00001271
10.50	13.01	26.37	13.01	6300	0.00001856
14.00	16.96	34.53	16.96	8400	0.00002440
17.50	20.91	42.69	20.91	10500	0.00003025
19.25	22.89	46.76	22.89	11550	0.00003315
19.25	28.61	58.46	28.61	11550	0.00004146
19.25	38.15	77.94	38.15	11550	0.00005526
19.25	45.78	93.53	45.78	11550	0.00006632
19.25	91.56	187.06	91.56	11550	0.00013264

Tabel 5.15 Data hubungan momen-kelengkungan numeris SAP (*frame*) benda uji 3

Beban (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	M (kNmm)	Kelengkungan 1/mm
0	0	0	0	0	0
3.50	2.92	5.70	2.92	2100	0.00000386
7.00	5.42	10.94	5.42	4200	0.00000767
10.50	7.91	16.1	7.91	6300	0.00001138
14.00	10.4	21.30	10.40	8400	0.00001514
17.50	12.89	26.50	12.89	10500	0.00001890
21.00	15.38	31.70	15.38	12600	0.00002267
22.75	16.63	34.30	16.63	13650	0.00002454
22.75	20.78	42.87	20.78	13650	0.00003068
22.75	27.71	57.16	27.71	13650	0.00004090
22.75	33.26	68.6	33.26	13650	0.00004908
22.75	66.51	137.19	66.51	13650	0.00009817

### 5.3.2 Data Hubungan Momen-Kelengkungan Penelitian

Hubungan momen-kelengkungan ( $M-\phi$ ) dapat dicari setelah data hubungan beban-deformasi ( $P-\Delta$ ) diperoleh yaitu dari hasil pengujian kuat lentur balok *vierendeel*. Data hubungan momen-kelengkungan penelitian disajikan pada Tabel 5.16, Tabel 5.17 dan Tabel 5.18. 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 deformasi, kemudian dari data pembacaan dial dapat dicari hubungan momen-kelengkungan.

Contoh perhitungan momen dan kelengkungan :

Pembebanan 7 kN pada benda uji I, deformasi pada dial gauge 1 ( $y_{i-1}$ ) = 36 mm, *dial gauge* 2 ( $y_i$ ) = 71,5 mm, dan *dial gauge* 3 ( $y_{i+1}$ ) = 34,7 mm dengan jarak antar dial ( $\Delta x$ ) = 1200 mm. Dengan menggunakan persamaan (3.59), maka besarnya kelengkungan dapat dihitung.

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

$$\phi = \frac{36 - (2 \times 71,5) + 34,7}{1200^2} \cdot (-1) = 5,0208 \cdot 10^{-5} \left( \frac{1}{mm} \right)$$

Momen dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$M = \frac{1}{8} PL$$

$$M = \frac{1}{8} \times 7 \times 4,8 = 4,2 \text{ kNm}$$

Tabel 5.16 Data hubungan momen-kelengkungan penelitian benda uji 1

Beban (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (kNmm)	Kelengkungan ( $\text{mm}^{-1}$ )
0	0	0	0	0	0
3.50	4.38	8.62	4.40	2100	0.000005875
7.00	13.92	27.00	13.97	4200	0.00001814
7.00	15.74	31.60	15.82	4200	0.00002197
7.00	17.90	39.50	17.95	4200	0.00002997
7.00	21.22	47.00	21.18	4200	0.00003583
7.00	23.09	56.50	23.05	4200	0.00004643
7.00	36.00	71.50	34.70	4200	0.00005021

Tabel 5.17 Data hubungan momen-kelengkungan penelitian benda uji 2

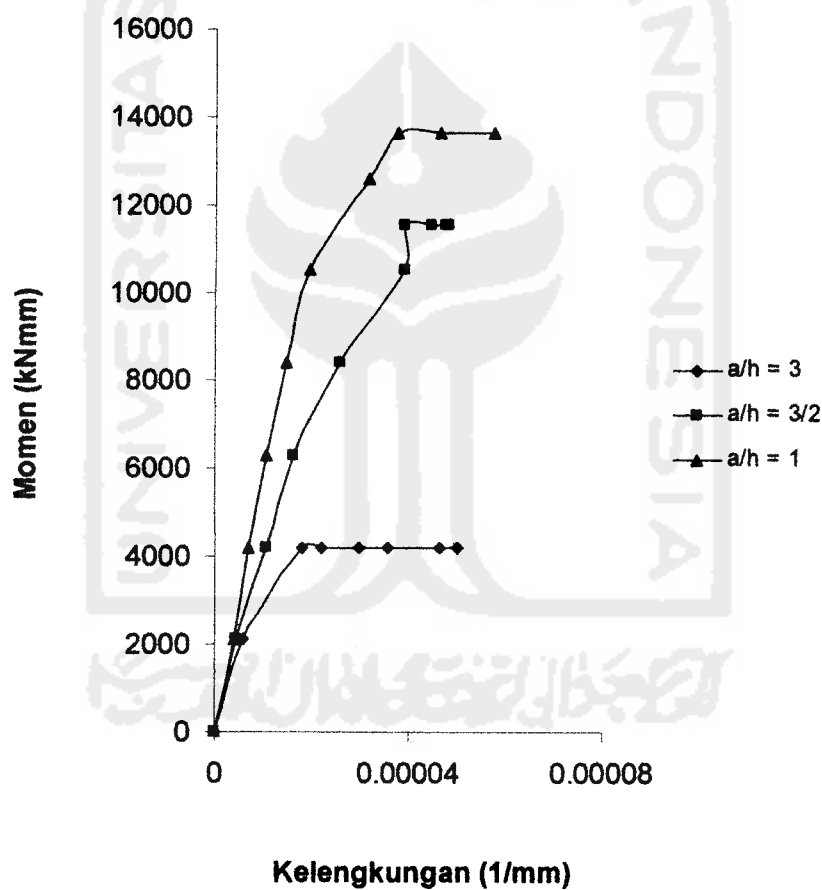
Beban (kN)	Dial (mm)	Dial (mm)	Dial (mm)	Momen (kNmm)	Kelengkungan ( $\text{mm}^{-1}$ )
0	0	0	0	0	0
3.50	3.45	6.69	3.34	2100	0.00000458
7.00	8.33	15.97	8.05	4200	0.00001081
10.50	13.84	25.71	14.30	6300	0.00001617
14.00	31.70	50.00	30.90	8400	0.00002597
17.50	46.70	75.00	46.90	10500	0.00003917
19.25	49.70	78.00	49.90	11550	0.00003917
19.25	54.70	86.00	52.90	11550	0.00004472
19.25	57.70	91.00	55.90	11550	0.00004750
19.25	60.70	94.00	57.90	11550	0.00004819

Tabel 5.18 Data hubungan momen-kelengkungan penelitian benda uji 3

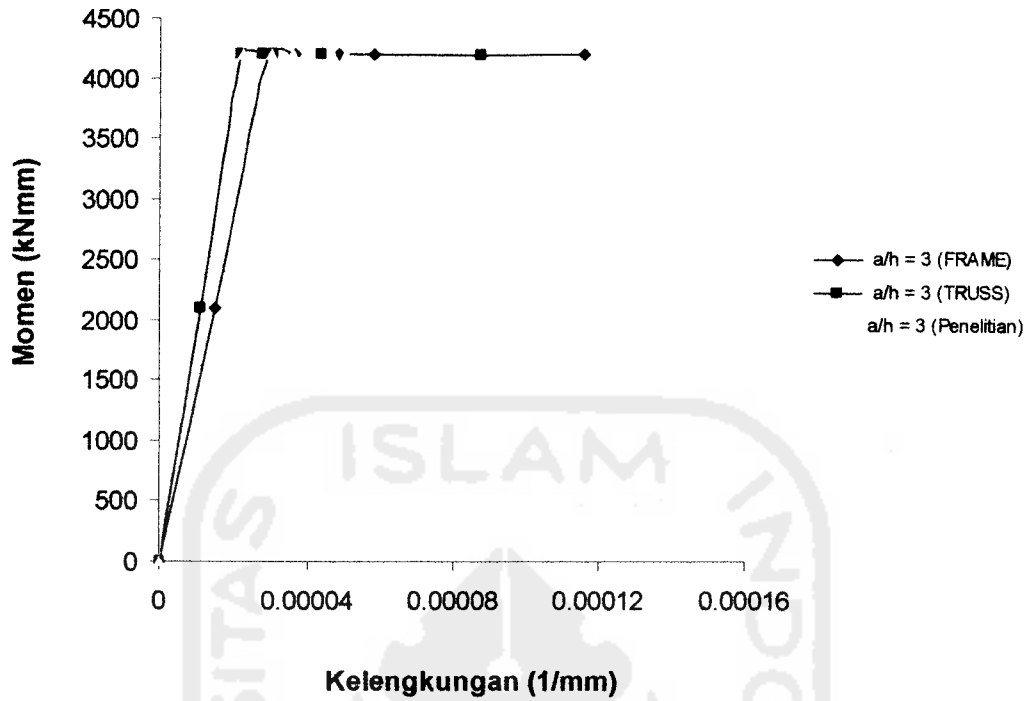
Beban (kN)	Dial (mm)	Dial (mm)	Dial (mm)	Momen (kNmm)	Kelengkungan ( $\text{mm}^{-1}$ )
0	0	0	0	0	0
3.50	3.14	6.05	3.16	2100	0.00000403
7.00	5.32	10.30	5.43	4200	0.00000684
10.50	8.30	16.06	8.60	6300	0.00001057
14.00	12.04	22.95	12.55	8400	0.00001480
17.50	18.42	33.00	19.50	10500	0.00001950
21.00	30.79	53.00	29.43	12600	0.00003179
22.75	40.80	68.00	41.00	13650	0.00003764
22.75	51.00	85.00	52.00	13650	0.00004653
22.75	54.00	96.00	55.00	13650	0.00005764

### 5.3.3 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan

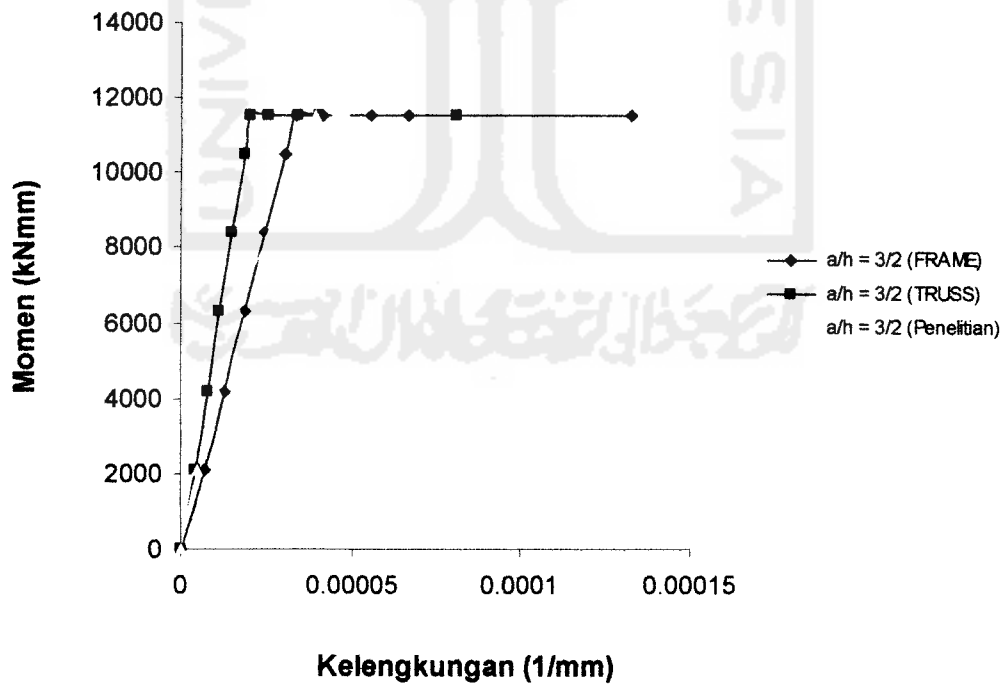
Dengan menggunakan cara yang sama dengan contoh perhitungan maka diperoleh data momen-kelengkungan yang selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan momen-kelengkungan. Grafik hubungan momen-kelengkungan penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.11. Sedangkan grafik hubungan momen-kelengkungan penelitian-numeris SAP dan  $a/h$  ditunjukkan pada Gambar 5.12 sampai dengan Gambar 5.15.



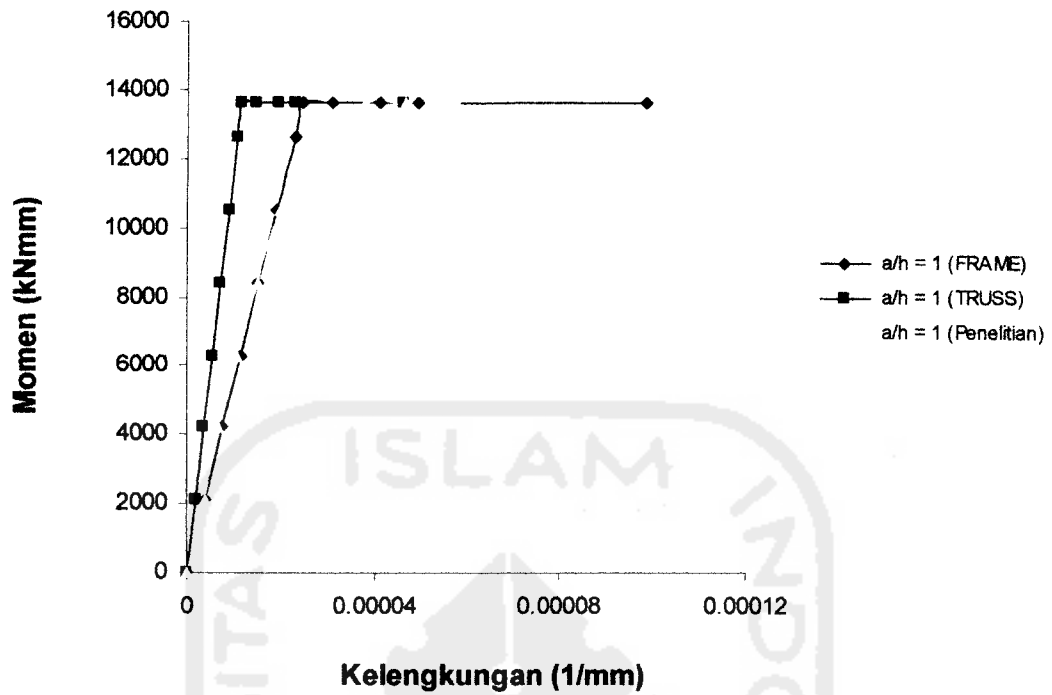
Gambar 5.11 Grafik hubungan momen-kelengkungan penelitian



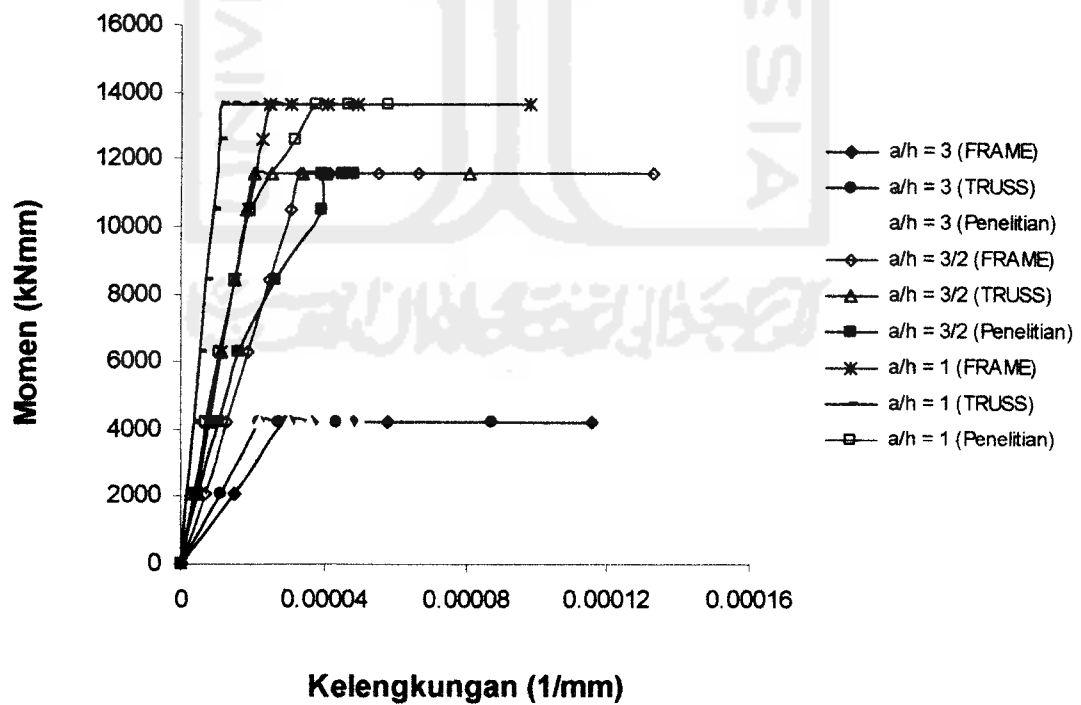
Gambar 5.12 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 1



Gambar 5.13 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 2



Gambar 5.14 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 3



Gambar 5.15 Grafik hub. momen-kelengkungan frame-truss-penelitian

### 5.3.4 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

$M \phi$  atau faktor kekakuan pada balok *viereendeel* secara umum mempunyai perilaku yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik  $M \phi$  yang diperoleh dari data laboratorium pada Gambar 5.11 dan Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Analisa Kekakuan dari Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Variasi Jarak batang transversal (h) (cm)	$a/h$	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	Kekakuan EI ((kN.mm <sup>2</sup> ))	Rasio Momen (%)	Rasio EI (%)
120	3	4200	0.00005021	83648675.56	30.78	34.9
60	3/2	11550	0.00004819	239676281.4	84.62	100
40	1	13650	0.00005764	236814712	100	98.8

### 5.4 Analisa Kerusakan Benda Uji

Berdasarkan hasil penelitian dari ketiga balok *viereendeel* tidak menunjukkan adanya kerusakan/cacat yang berarti. Setelah dilakukan pembebanan sampai dengan beban maksimum balok *viereendeel* mengalami perubahan deformasi/lendutan.

### 5.4 Pembahasan

#### 5.4.1 Hasil Uji Kuat Tarik Baja

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 penampang kotak (30x30x2) mm, kuat tarik  $F_u = 356$  MPa dan tegangan  $F_y = 325$  MPa termasuk mutu baja BJ 52.
2. Nilai  $F_y$  sebesar 325 MPa dari hasil penelitian adalah 91 % dari nilai  $F_u$ .
3. Tegangan leleh  $F_y$  yang digunakan pada penelitian dan analisis numeris SAP adalah 325 MPa.

#### 5.4.2 Hasil Uji Kuat Geser Las

Pada pengujian kuat geser las didapatkan ( $\tau_{\text{geser las}} = 413,92$  MPa. Kuat geser las yang cukup tinggi menunjukkan struktur lebih kaku pada joint (sambungan), sehingga tujuan untuk membuat struktur yang lebih kaku akan tercapai.

#### 5.4.3 Hasil Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

##### 1. Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Beban-Deformasi

Dengan mengamati grafik hubungan beban-deformasi bahwa pada tiga benda uji memiliki perilaku lentur yang hampir sama, mulai dari titik pangkal sampai titik leleh. Berdasarkan grafik hubungan beban-deformasi hasil penelitian dan numeris SAP dari titik awal pembebanan sampai mencapai beban maksimum balok *vierendeel* berperilaku elastis dan berbentuk linier. Semakin tegak garis linier maka balok *vierendeel* semakin kaku yang menunjukkan balok semakin kuat. Setelah mencapai beban maksimum balok *vierendeel* memasuki fase inelastis dan berbentuk garis lurus mendatar dimana terjadi peningkatan deformasi yang cukup besar dan nilai tegangan leleh akan semakin menurun. Pada kondisi ini menunjukkan kekakuan balok semakin menurun sehingga kekuatannya juga semakin kecil dan defleksi/lendutan semakin besar. Pada pembebanan awal sampai dengan beban  $P_y$ , kekakuan masing-masing



benda uji tidak dipengaruhi oleh besarnya rasio jarak terhadap tinggi batang transversal, hal ini ditunjukkan dengan grafik yang hampir saling berhimpit. Setelah melewati beban  $P_y$  variasi tinggi mulai mempengaruhi kekakuan struktur, dimana kekakuannya menurun sampai batas beban maksimal.

Berdasarkan grafik beban-deformasi hasil penelitian antara benda uji 1 dengan rasio  $a/h = 3$  : benda uji 2 dengan rasio  $a/h = 3/2$  dan benda uji 3 dengan rasio  $a/h = 1$  menunjukkan kenaikan volume bahan tidak linier dengan kenaikan kapasitas/kekakuan benda uji. Sedangkan kekakuan truss > kekakuan.

Grafik hubungan beban-deformasi yang diplotkan pada Gambar 5.2, yaitu pada *dial gauge* dua, dimana *dial gauge* dua merupakan lendutan terbesar yang berada di tengah bentang balok *vierendeel*, dan dari data tabel hubungan beban-deformasi dapat dipakai untuk mencari kekakuan ( $k = \frac{P}{\Delta}$ ), sehingga dari persamaan tersebut akan diketahui nilai kekakuan masing-masing benda uji yang ditunjukkan pada Tabel 5.9.

Berdasarkan tabel data hubungan beban-deformasi dapat diketahui bahwa beban pada benda uji I dengan rasio  $a/h = 3$  adalah 7 kN, benda uji II dengan rasio  $a/h = 3/2$  didapatkan beban sebesar 19,25 kN dan benda uji III dengan rasio  $a/h = 1$  beban sebesar 22,75 kN. Beban yang digunakan untuk menghitung kekakuan adalah beban pada  $F_y$ , dimana baja yang dibebani mulai mengalami kondisi plastis. Balok *vierendeel* dengan rasio  $a/h$  yang semakin kecil secara umum akan menimbulkan kekakuan struktur yang lebih besar. Berdasarkan Tabel 5.7 yaitu benda uji I dengan rasio  $a/h = 3$  didapat nilai kekakuan sebesar 0,26 kN-mm sedangkan untuk benda uji

II dengan rasio  $a/h = 3/2$  didapat nilai kekakuan 0,25 kN-mm, dan benda uji III dengan rasio  $a/h = 1$  didapat nilai kekakuan 0,35 kN-mm. Sebagai pembanding atau standar kekakuan balok *viereendeel* dipakai benda uji 3 dengan menganggap besar faktor kekakuannya sebesar 100 % dan besarnya momen maksimum sebesar 100 % kemudian dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh besarnya kenaikan atau penurunan nilai faktor kekakuan dan besarnya momen dari balok *viereendeel* lainnya. Pada benda uji II dan benda uji III dengan rasio  $a/h$  semakin kecil terjadi kenaikan kekakuan dibanding benda uji I. Tetapi pada saat mencapai beban maksimum pada benda uji II nilai kekakuannya lebih kecil dibanding benda uji I. Hal ini dimungkinkan karena pada benda uji II dengan jarak batang transversal relatif lebih rapat maka beban maksimum ( $P_y$ ) jauh lebih besar dan dengan beban yang semakin besar maka pada saat mencapai  $F_y$ , deformasinya juga semakin besar.

## **2. 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 ( $\phi$ ) berdasarkan Persamaan  $EI = M \phi$ . Besarnya faktor kekakuan ( $EI$ ) masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Berdasarkan Tabel 5.19 dapat diketahui bahwa momen pada benda uji I dengan rasio  $a/h = 3$  sebesar 4200 kN-mm, sedangkan pada benda uji II dan benda uji III besar momen yang mampu didukung oleh balok *viereendeel* mengalami kenaikan yaitu sebesar 11550 kN-mm dan 13650 kN-mm. 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 tinggi mempengaruhi kelengkungan dan momen maksimum yang mampu dipikul oleh balok *viereendeel*.

Nilai kekakuan berdasarkan hubungan momen-kelengkungan tidak menunjukkan hubungan yang linier. Pada benda uji I, rasio  $a/h = 3$  nilai kekakuan sebesar  $83648675,56 \text{ kNmm}^2$ , pada benda uji II mengalami kenaikan sebesar  $239676281,4 \text{ kNmm}^2$  tetapi pada benda uji III mengalami sedikit penurunan yaitu sebesar  $236814712 \text{ kNmm}^2$ . Hal ini dimungkinkan karena posisi benda uji pada saat pengujian tidak dalam kondisi datar sehingga pada benda uji II dan benda uji III antara dial 1, 2 dan 3 terjadi deformasi yang naik turun.

### 3. Hubungan $M_n/M_p$ dengan Rasio $a/h$

Momen nominal ( $M_n$ ) diperoleh dari momen maksimum untuk masing-masing benda uji, sedangkan momen pada kondisi plastis disebut momen plastis ( $M_p$ ). Momen plastis diperoleh dari perhitungan teoritis dengan menggunakan penjumlahan kopel gaya. Mengacu pada Bab III pada persamaan (3.58) momen plastis perpotongan dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_p = F_y \cdot A \cdot d$$

Tabel 5.20 Data hubungan momen nominal dan momen plastis penelitian

P	L	$M_n$	$M_p$	$M_n/M_p$	a/h
7000	4800	4200000	19891200	0.21115	3
19250	4800	11550000	19891200	0.58066	1.5
22750	4800	13650000	19891200	0.68623	1

$$M = \left[ \frac{\pi^2 EI}{a} - \left( \frac{Pa^2}{4} \right) B \left( \frac{F_a}{F_h} \right) \left( \frac{C_m n}{n - P(Ka)^2} \right) \right] \frac{h}{a}$$

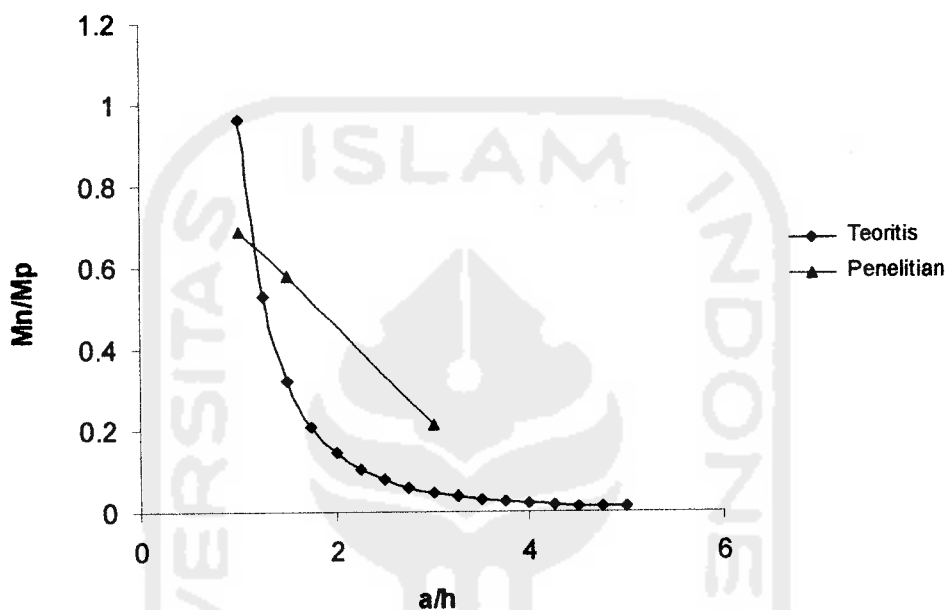
$$P_{EQ} = P + MB \left( \frac{F_a}{F_h} \right) \left( \frac{C_m n}{n - P(KL)^2} \right)$$

$$P_{EQ} = P + \frac{Pa^2}{4} B \left( \frac{F_a}{F_h} \right) \left( \frac{C_m n}{n - P(Ka)^2} \right)$$

$\pi$	E	I	a	A	S	AIS	Fa	Fb	Fa/Fb	Cm	r	n=1027000*A*r^2	L
3.14286	210000	29417.667	400	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	400
3.14286	210000	29417.667	400	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	400
3.14286	210000	29417.667	400	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	400
3.14286	210000	29417.667	400	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	400
3.14286	210000	29417.667	400	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	400
3.14286	210000	29417.667	500	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	500
3.14286	210000	29417.667	600	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	600
3.14286	210000	29417.667	700	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	700
3.14286	210000	29417.667	800	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	800
3.14286	210000	29417.667	900	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	900
3.14286	210000	29417.667	1000	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1000
3.14286	210000	29417.667	1100	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1100
3.14286	210000	29417.667	1200	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1200
3.14286	210000	29417.667	1300	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1300
3.14286	210000	29417.667	1400	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1400
3.14286	210000	29417.667	1500	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1500
3.14286	210000	29417.667	1600	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1600
3.14286	210000	29417.667	1700	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1700
3.14286	210000	29417.667	1800	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1800
3.14286	210000	29417.667	1900	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	1900
3.14286	210000	29417.667	2000	224	1961.1778	0.11421708	144	158.4	0.9091	1	11.45988	30211944009	2000

P	$Z=Cm*n/(n-P(KL)^2)$	$\pi^2EI/\alpha^2$	$P+(P.a(8)^*B*(Fa/Fb)^*Z)$	$\pi^2EI/a$	h	h/a	Fy	H	Mn	Mp
47926	1.340145204	381379.7335	381376.5275	152551893.4	400	1	240	370	19171682.39	19891200
47926.3105	1.340148157	381379.7335	381379.7331	152551893.4	400	1	240	370	19170524.32	19891200
47926.31055	1.340148157	381379.7335	381379.7337	152551893.4	400	1	240	370	19170524.13	19891200
47926.31054	1.340148157	381379.7335	381379.7336	152551893.4	400	1	240	370	19170524.17	19891200
47926.31053	1.340148157	381379.7335	381379.7335	152551893.4	400	1	240	370	19170524.21	19891200
26268.08964	1.277735005	244083.0294	244083.0294	122041514.7	400	0.8	240	370	10507235.86	19891200
15965.08916	1.234929359	169502.1038	169502.1038	101701262.3	400	0.66666667	240	370	6386035.66	19891200
10433.33303	1.203681771	124532.1579	124532.1579	87172510.5	400	0.57142857	240	370	4173333.216	19891200
7195.463595	1.179838488	95344.93336	95344.93336	76275946.69	400	0.5	240	370	2878185.441	19891200
5173.221521	1.161031753	75334.26834	75334.26834	67800841.5	400	0.44444444	240	370	2069288.608	19891200
3844.622909	1.145810145	61020.75735	61020.75735	61020757.35	400	0.4	240	370	1537849.166	19891200
2935.527849	1.133233108	50430.37798	50430.37798	55473415.77	400	0.36363636	240	370	1174211.137	19891200
2292.359367	1.122663745	42375.52594	42375.52594	50850631.13	400	0.33333333	240	370	916943.7463	19891200
1824.442674	1.113655111	36106.95701	36106.95701	46939044.12	400	0.30769231	240	370	729777.0698	19891200
1475.855603	1.105884136	31133.03947	31133.03947	43586255.25	400	0.28571429	240	370	590342.2388	19891200
1210.815677	1.099111396	27120.3366	27120.3366	40680504.9	400	0.26666667	240	370	484326.2693	19891200
1005.693902	1.09315563	23836.23334	23836.23334	38137973.35	400	0.25	240	370	402277.5624	19891200
844.4549831	1.087877054	21114.44891	21114.44891	35894563.15	400	0.23529412	240	370	337781.9946	19891200
715.9538584	1.08316612	18833.56708	18833.56708	33900420.75	400	0.22222222	240	370	286381.5439	19891200
612.2793134	1.078935742	16903.25688	16903.25688	32116188.08	400	0.21052632	240	370	244911.7286	19891200
527.709383	1.075115816	15255.18934	15255.18934	30510378.68	400	0.2	240	370	211083.754	19891200

Momen nominal teoritis dihitung berdasarkan persamaan (3.57). Data hasil perhitungan momen nominal secara teoritis dapat dilihat pada table 5.20. Kemudian dibuat grafik hubungan  $M_n/M_p$  dan  $a/h$  penelitian dengan teoritis seperti terlihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Grafik Hubungan  $M_n/M_p$  dengan rasio  $a/h$

Berdasarkan Gambar 5.16 bahwa secara umum kapasitas momen yang mampu didukung oleh balok *vierendeel* dengan rasio  $a/h$  yang semakin kecil akan lebih besar dibandingkan dengan balok *vierendeel* dengan rasio  $a/h$  yang besar. Hal ini disebabkan pada balok *vierendeel* dengan rasio  $a/h$  yang semakin besar maka batang transversal semakin rapat sehingga beban yang mampu dipikul akan semakin besar dengan demikian kapasitas momennya juga semakin besar. Pada gambar 5.7 grafik  $M_n/M_p$  penelitian tidak menunjukkan adanya kesamaan dengan grafik  $M_n/M_p$  teoritis.

Hal ini disebabkan sampel benda uji yang terbatas (hanya 3 sampel) sehingga sulit untuk mendapatkan grafik yang optimal.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin besar jarak batang transversal maka rasio  $a/h$  semakin besar sehingga kapasitas lentur pada balok *vierendeel* semakin kecil. Perbandingan kapasitas lentur masing-masing benda uji adalah : Benda uji 1 : benda uji 2 : benda uji 3 = 1 : 2.75 : 3.25.
2. Balok *vierendeel* tinggi bervariasi dengan rasio  $a/h$  semakin besar berpengaruh terhadap kekakuan. Semakin besar  $a/h$  nilai kekakuan ( $k$ ) semakin kecil. Perbandingan kekakuan masing-masing benda uji adalah: Benda uji 1 : benda uji 2 : benda uji 3 = 1 : 3.49 : 2.83. Semakin tegak garis linier menunjukkan balok *vierendeel* semakin kaku sehingga kekuatan balok semakin tinggi dan pada daerah garis lurus mendatar menunjukkan kekakuan semakin menurun sehingga kekuatan balok *vierendeel* juga semakin kecil.
3. Secara umum perbandingan kekakuan antara penelitian : truss : frame adalah penelitian < frame < truss.
4. Berdasarkan hasil penelitian masing-masing benda uji bahwa hubungan momen-kelengkungan masing-masing benda uji tidak menunjukkan hubungan yang *linier*



karena pada benda uji 2 terjadi kenaikan sedangkan pada benda uji 3 terjadi penurunan. Nilai masing-masing benda uji adalah = benda uji 1 : benda uji 2 : benda uji 3, perbandingan momen = 1 : 2.75 : 3.25, sedangkan kelengkungannya = 1 : 2.87 : 2.83.

## 6.2 Saran

1. Perlu diperhatikan proses penyetingan alat, guna mendapatkan hasil penelitian yang maksimal.
2. Perlu ketelitian saat pembacaan *dial gauge* agar data deformasi yang didapat lebih akurat.
3. Perlu dilakukan penelitian balok *vierendeel* dengan menggunakan profil yang berbeda.
4. Perlu dilakukan penelitian balok *vierendeel* dengan membandingkan kekakuan *truss* dan balok *vierendeel*.
5. Perlu diadakan penelitian balok *vierendeel* dengan rasio  $a/h < 1$  dan  $a/h > 3$  agar didapatkan grafik yang optimum.

## DAFTAR PUSTAKA

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

Gere, J.M. dan Timoshenko, Stephen P., 1987, **MEKANIKA BAHAN Edisi Kedua Versi S1 Jilid 1**, Penerbit Erlangga, Jakarta.

PADOSBAJAYO, 1992, **BAHAN KULIAH PENGETAHUAN STRUKTUR BAJA**, Yogyakarta.

Salmon, Charles G. dan Johnson, John E., 1994, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU Edisi Kedua Jilid 1**, Penerbit Erlangga, Jakarta.

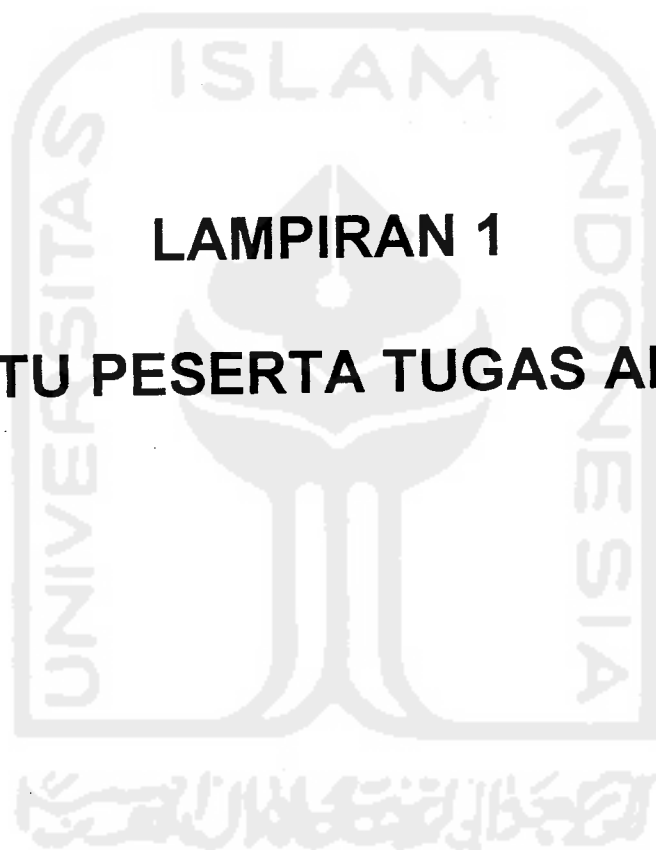
Salmon, Charles G. dan Johnson, John E., 1994, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU Edisi Kedua Jilid 2**, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Schueler, W., 1989, **STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI**, Penerbit Eresco, Bandung.

Schodek. D.L., 1991, **STRUKTUR**, Penerbit Eresco, Bandung

Soemono, 1980, **ILMU GAYA**, Penerbit Djambatan, Jakarta.

Tim Perencana, 2000, **HITUNGAN STRUKTUR GEDUNG KULIAH FTSP UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**, Yogyakarta.



**LAMPIRAN 1**  
**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

FM-UII-AA-FPU-09

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	Novianti	97 511 060	Teknik Sipil
2	Vita Noveritha	99 511 150	Teknik Sipil

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

.....Perilaku Balok Vierendeel dengan variasi ratio a/h.....  
 .....  
 .....

**PERIODE II : DESEMBER - MEI**

**TAHUN : 2003- 2004**

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

DOSEN PEMBIMBING I : Muh.Samsudin,Ir.H.MT.  
 DOSEN PEMBIMBING II : Fatkhurrahman.N,Jr.MT.



Yogyakarta, 19 Desember 2003  
 a.n. Dekan,  
  
 { Ir. H. Munadhir, MT }

Catatan.  
 Seminar : 3 Maret 2004.....  
 Sidang : .....  
 Pendadaran : .....

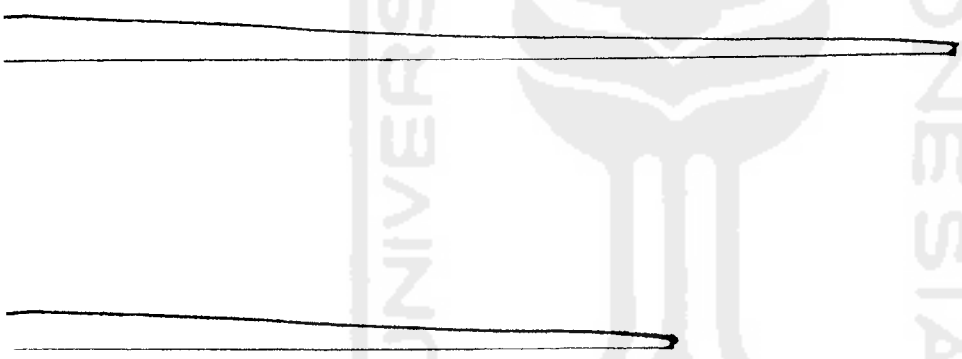
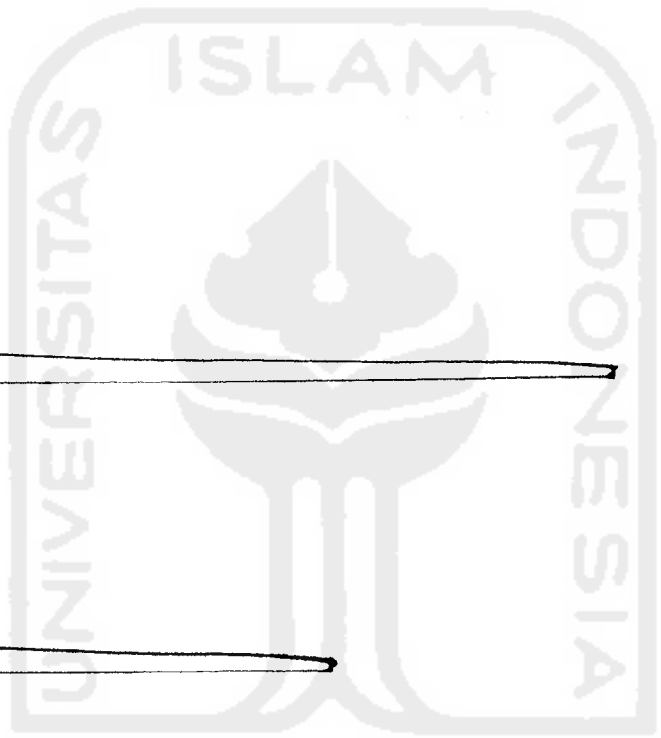
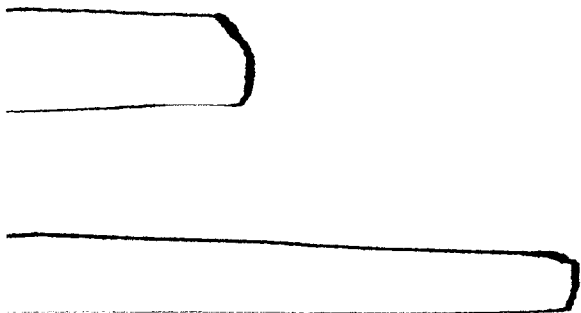


**LAMPIRAN 2**

**HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA**

**DAN GESER LAS**

Contoh Hasil Uji Kuat Tumpu Baja  
Grafik Hasil Uji Kuat Geser Baja



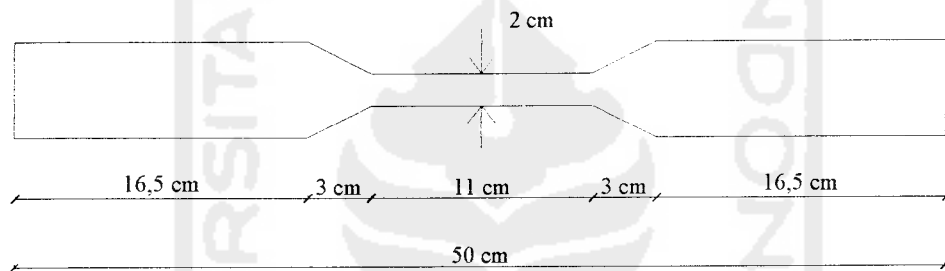
LABORATORIUM  
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK UII

LABORATORIUM  
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK UII

## 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) mm. Adapun ukuran dari benda uji kuat tarik ini adalah sebagai berikut.



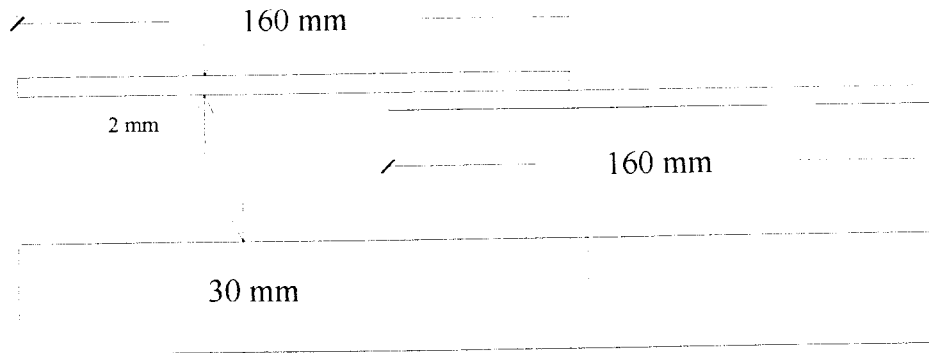
Benda Uji	$P_{luluh}$ (kg)	$P_{maks}$ (kg)	$F_y = \frac{\text{Beban Luluh}}{A}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$F_u = \frac{\text{Beban Maksimum}}{A}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1260	1317.5	3150	3428.5
2	1475	1475	3350	3687.5

$$\text{Rerat } F_y = (3150 + 3350) / 2 = 3250 \text{ kg/cm}^2 = 325 \text{ MPa}$$

$$F_u = (3428.5 + 3687.5) / 2 = 3560 \text{ kg/cm}^2 = 356 \text{ MPa}$$

### 2. Kuat Geser Las

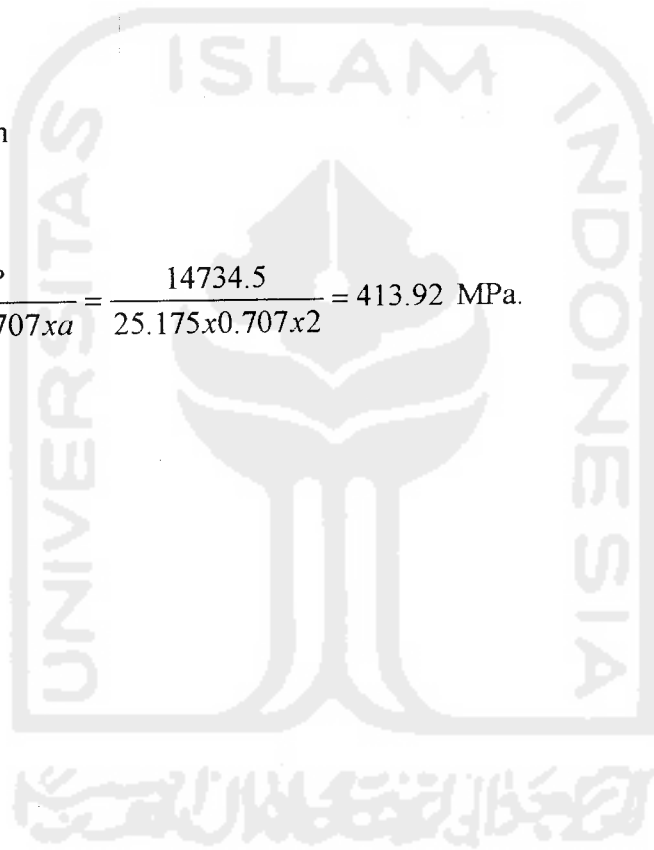
Pengujian kuat geser las dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Hasil uji pendahuluan kuat geser las adalah sebagai berikut :



$$L_n = 25.175 \text{ mm}$$

$$a = 2 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{eser las}} = \frac{P}{L_n \times 0.707 \times a} = \frac{14734.5}{25.175 \times 0.707 \times 2} = 413.92 \text{ MPa.}$$





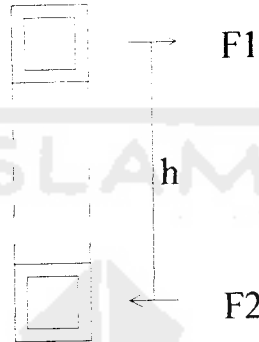


### **LAMPIRAN 3**

## **PERHITUNGAN RENCANA**

## PERHITUNGAN RENCANA

### 1. Tegangan Bahan Profil kotak (30x30x2) mm



$$F_{cr1} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{b}{t_f}\right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 4 \text{ pada sayap}$$
$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2) \left(\frac{30}{2}\right)^2}$$

$$= 3210,3 \text{ Mpa} > F_y = 325 \text{ Mpa (dipakai } F_{cr} = 325 \text{ Mpa)}$$

$$F_{cr2} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{h}{t_w}\right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 4 \text{ pada badan}$$
$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2) \left(\frac{30}{2}\right)^2}$$

$$= 3210,3 \text{ Mpa} > F_y = 325 \text{ Mpa (dipakai } F_{cr} = 325 \text{ Mpa)}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cr} &= F_{cr} \times A \\
 &= 325 \times 224 \\
 &= 72800 \text{ N} = 72,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= P_{cr} \cdot h \\
 &= 72800 \cdot (0,3) \\
 &= 21,84 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$M = 1/8 P \cdot L$$

$$P = \frac{8M}{L} = \frac{8 \times 21,84}{3} = 58,24 \text{ kN} \cong 58 \text{ kN}$$

$$P_1 = P_2 = \frac{58}{2} = 29 \text{ kN}$$

## 2. Kapasitas Penampang

### 2.1 Kapasitas Batang Tekan Profil

Batang Tekan AISC

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

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

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

Keterangan :  $\lambda$  = kelangsingan batang

$L$  = panjang batang

$k$  = faktor panjang efektif dengan kondisi tumpuan

$r_{\min}$  = jari-jari girasi minimum

Syarat kelangsingan :

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

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

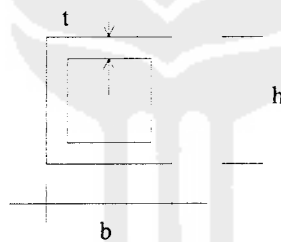
Kelangsingan kritis dengan pengaku =  $C_c'$

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

Kekuatan desak kritis profil

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

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

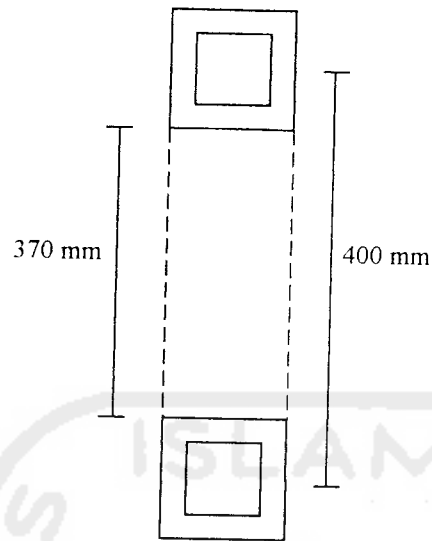


Keterangan :

b = lebar mm = 30 mm

h = tinggi mm = 30 mm

t = tebal mm = 2 mm



$$A = (30 \times 30) - (26 \times 26)$$

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

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

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

$$= 29418,7$$

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

$$= (2 \times 29418,7) + (2 \times 224 \times 185^2)$$

$$= 15391637,4 \text{ mm}^4$$

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

$$= 26282,7 \text{ mm}^4$$

$$I_y(\text{vierendeel}) = 2 \cdot I_x = 2 \cdot 26282,7 = 52565,4 \text{ mm}^4$$

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{52565,4}{224}} = 15,32 \text{ mm}$$

$$\frac{kL}{r} = \frac{0,5 \times 400}{15,32} = 13,055$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2,1 \cdot 10^5}{325}} = 110,2$$

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

termasuk kolom pendek, sehingga

$$\sigma_{cr} = F_y \left[ 1 - \frac{(kL/r)^2}{2Cc^2} \right] = 325 \left[ 1 - \frac{13,055^2}{2 \times 110,2^2} \right] = 322,72 \text{ MPa}$$

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A = 322,72 \times 224 = 72289,28 \text{ N} = 72,3 \text{ kN}$$

## 2.2 Kapasitas Batang Tarik Profil kotak (30x30x2) mm

$$F_y = 325 \text{ Mpa} = 325 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 356 \text{ Mpa} = 356 \text{ kg/cm}^2$$

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

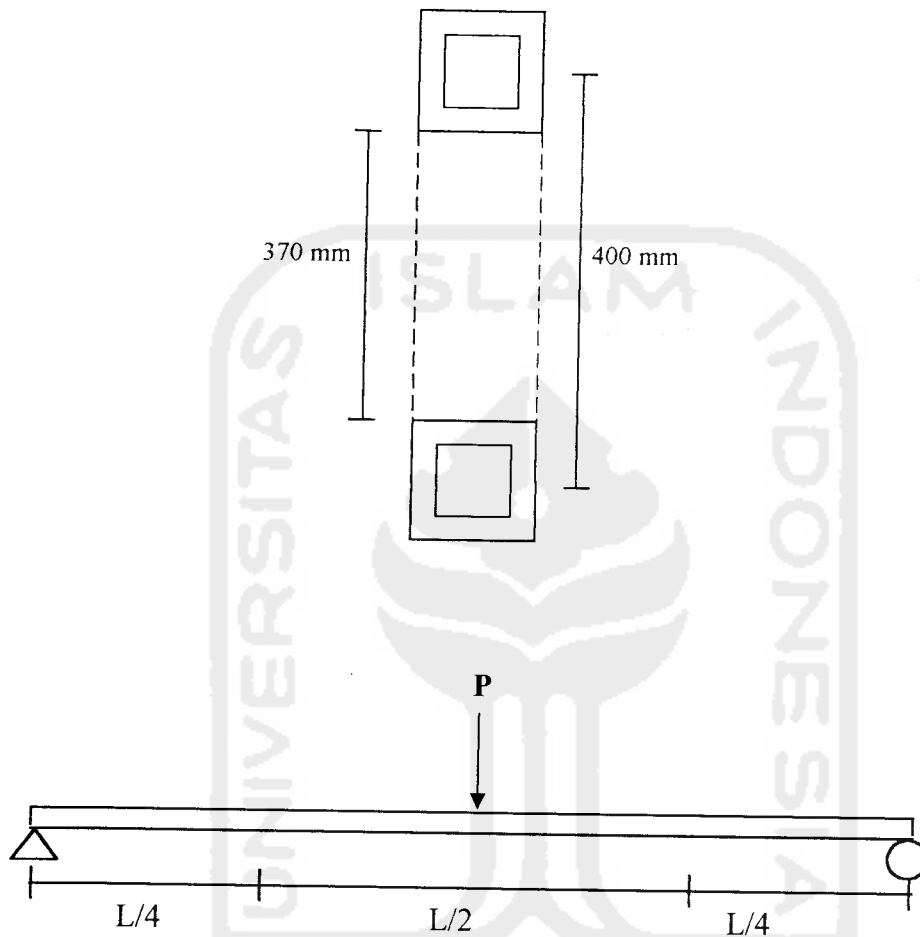
$$T = 0,9 F_y A_g = 0,9 \cdot 325 \cdot 2,24 = 655,2 \text{ kg} = 0,655 \text{ ton}$$

$$T = 0,75 F_u A_e = 0,75 \cdot 356 \cdot 2,24 = 598,08 \text{ kg} = 0,6 \text{ ton}$$

Jadi kapasitas batang tarik profil kotak (30x30x2) mm adalah 600 kg (yang terkecil)

### 3. Menghitung Lendutan Benda Uji Dipandang Sebagai Balok Sederhana

Dimensi profil : kotak (30x30x2) mm



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

$$P = 7 \text{ KN}$$

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{PL^3}{48EI} = \frac{7 \cdot 10^3 \cdot (4000)^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 52565,4} = 845,51 \text{ mm}$$

The logo of Universitas Islam Indonesia is a large, light gray watermark in the background. It features a stylized flower or flame-like symbol in the center, with the words "UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA" written around it. Below the main logo is a line of Arabic calligraphy.

**LAMPIRAN 4**  
**HASIL ANALISIS SAP 2000**



**Gaya Batang Setiap Elemen Benda Uji 1 (a/h = 3)  
Hasil Numeris SAP 2000 dengan Beban 7 kN**

FRAME	STATION	Gaya Aksial	Gaya Geser	Momen
KI1	0	-1.408567	-3.067512	-0.6157182
KI1	0.2	-1.404437	-3.067512	-2.215911E-03
KI1	0.4	-1.400307	-3.067512	0.6112865
KI2	0	-0.1829009	-2.655804	-0.7982683
KI2	0.3	-0.1767062	-2.655804	-1.527018E-03
KI2	0.6	-0.1705115	-2.655804	0.7952142
KI3	0	-1.315471	2.531975E-13	9.986387E-14
KI3	0.39	-1.307418	2.531975E-13	1.116857E-15
KI3	0.78	-1.299365	2.531975E-13	-9.763016E-14
KI4	0	-0.1829009	2.655804	0.7982683
KI4	0.3	-0.1767062	2.655804	1.527018E-03
KI4	0.6	-0.1705115	2.655804	-0.7952142
KI5	0	-1.408567	3.067512	0.6157182
KI5	0.2	-1.404437	3.067512	2.215911E-03
KI5	0.4	-1.400307	3.067512	-0.6112865
KK1	0	-1.408567	-3.067512	-0.6157182
KK1	0.2	-1.404437	-3.067512	-2.215911E-03
KK1	0.4	-1.400307	-3.067512	0.6112865
KK2	0	-0.1829009	-2.655804	-0.7982683
KK2	0.3	-0.1767062	-2.655804	-1.527018E-03
KK2	0.6	-0.1705115	-2.655804	0.7952142
KK3	0	-1.315471	1.564623E-13	6.015813E-14
KK3	0.39	-1.307418	1.564623E-13	-8.621853E-16
KK3	0.78	-1.299365	1.564623E-13	-6.18825E-14
KK4	0	-0.1829009	2.655804	0.7982683
KK4	0.3	-0.1767062	2.655804	1.527018E-03
KK4	0.6	-0.1705115	2.655804	-0.7952142
KK5	0	-1.408567	3.067512	0.6157182
KK5	0.2	-1.404437	3.067512	2.215911E-03
KK5	0.4	-1.400307	3.067512	-0.6112865
BIA1	0	-3.255305	-0.8728853	-0.6112865
BIA1	0.6082762	-3.25324	-0.8604959	-8.409914E-02
BIA1	1.216552	-3.251175	-0.8481063	0.4355519
BIA2	0	-5.888059	-0.6714296	-0.3596623
BIA2	0.6067125	-5.886201	-0.6590402	4.394402E-02
BIA2	1.213425	-5.884343	-0.6466507	0.4400335
BIA3	0	-5.884343	0.6466507	0.4400335
BIA3	0.6067125	-5.886201	0.6590402	4.394402E-02
BIA3	1.213425	-5.888059	0.6714296	-0.3596623
BIA4	0	-3.251175	0.8481063	0.4355519
BIA4	0.6082762	-3.25324	0.8604959	-8.409914E-02

tabel lanjutan

BIA4	1.216552	-3.255305	0.8728853	-0.6112865
BIB1	0	3.067512	-0.8901944	-0.6157182
BIB1	0.6	3.067512	-0.8778049	-8.531847E-02
BIB1	1.2	3.067512	-0.8654155	0.4376476
BIB2	0	5.723316	-0.6825145	-0.3606206
BIB2	0.6	5.723316	-0.6701251	4.517128E-02
BIB2	1.2	5.723316	-0.6577356	0.4435295
BIB3	0	5.723316	0.6577356	0.4435295
BIB3	0.6	5.723316	0.6701251	4.517128E-02
BIB3	1.2	5.723316	0.6825145	-0.3606206
BIB4	0	3.067512	0.8654155	0.4376476
BIB4	0.6	3.067512	0.8778049	-8.531847E-02
BIB4	1.2	3.067512	0.8901944	-0.6157182
BKA1	0	-3.255305	-0.8728853	-0.6112865
BKA1	0.6082762	-3.25324	-0.8604959	-8.409914E-02
BKA1	1.216552	-3.251175	-0.8481063	0.4355519
BKA2	0	-5.888059	-0.6714296	-0.3596623
BKA2	0.6067125	-5.886201	-0.6590402	4.394402E-02
BKA2	1.213425	-5.884343	-0.6466507	0.4400335
BKA3	0	-5.884343	0.6466507	0.4400335
BKA3	0.6067125	-5.886201	0.6590402	4.394402E-02
BKA3	1.213425	-5.888059	0.6714296	-0.3596623
BKA4	0	-3.251175	0.8481063	0.4355519
BKA4	0.6082762	-3.25324	0.8604959	-8.409914E-02
BKA4	1.216552	-3.255305	0.8728853	-0.6112865
BKB1	0	3.067512	-0.8901944	-0.6157182
BKB1	0.6	3.067512	-0.8778049	-8.531847E-02
BKB1	1.2	3.067512	-0.8654155	0.4376476
BKB2	0	5.723316	-0.6825145	-0.3606206
BKB2	0.6	5.723316	-0.6701251	4.517128E-02
BKB2	1.2	5.723316	-0.6577356	0.4435295
BKB3	0	5.723316	0.6577356	0.4435295
BKB3	0.6	5.723316	0.6701251	4.517128E-02
BKB3	1.2	5.723316	0.6825145	-0.3606206
BKB4	0	3.067512	0.8654155	0.4376476
BKB4	0.6	3.067512	0.8778049	-8.531847E-02
BKB4	1.2	3.067512	0.8901944	-0.6157182
BTA1	0	-1.604931E-03	-4.129816E-03	-1.823221E-04
BTA1	0.2	-1.604931E-03	1.593039E-13	2.306595E-04
BTA1	0.4	-1.604931E-03	4.129816E-03	-1.823221E-04
BTA2	0	1.717727E-03	-4.129816E-03	8.238789E-04
BTA2	0.2	1.717727E-03	-3.563815E-13	1.23686E-03
BTA2	0.4	1.717727E-03	4.129816E-03	8.238789E-04
BTA3	0	-3.219305E-03	-0.1241298	-2.699537E-03

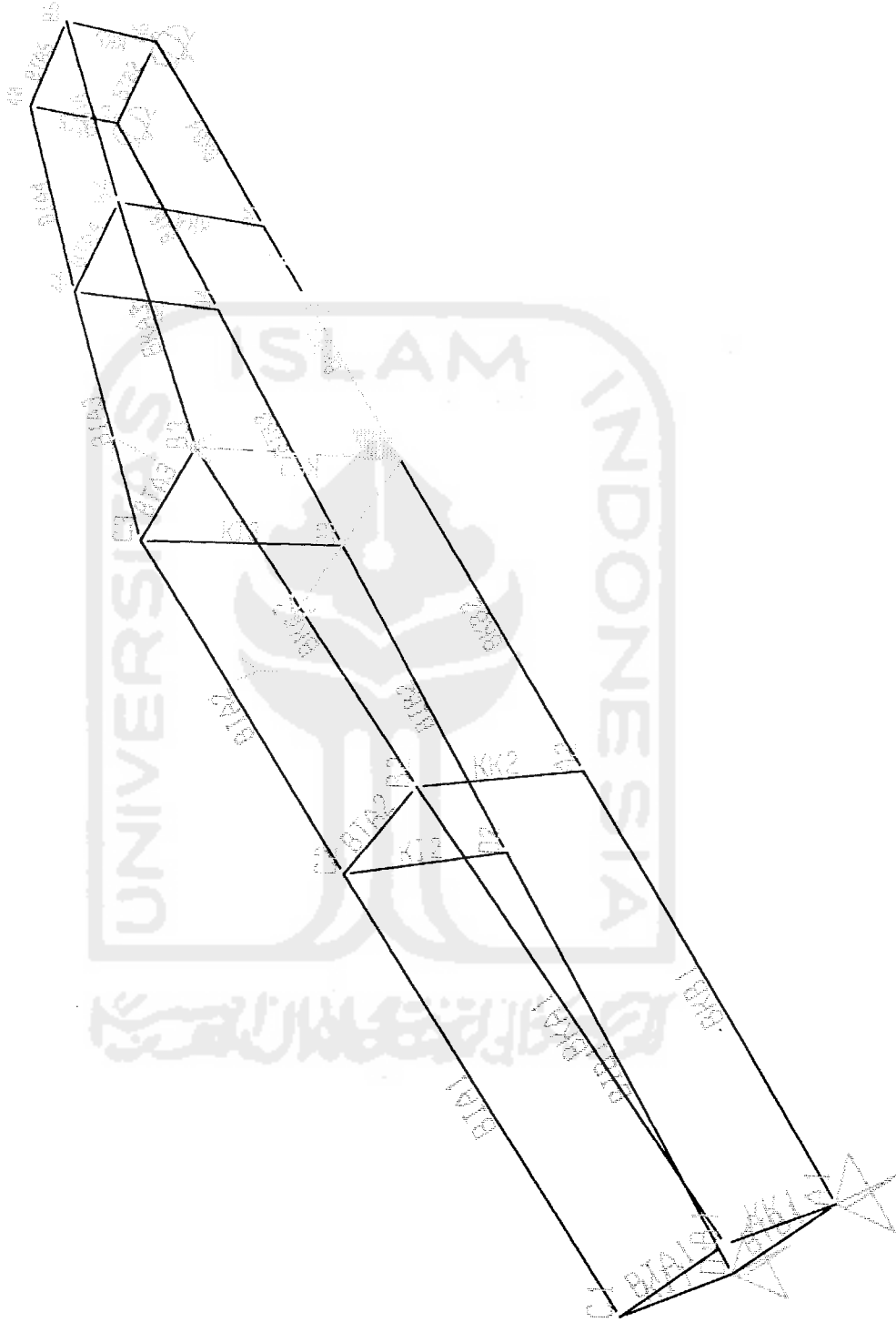
tabel lanjutan

BTA3	0.2	-3.219305E-03	-7.244194E-14	9.713445E-03
BTA3	0.4	-3.219305E-03	0.1241298	-2.699537E-03
BTA4	0	1.717766E-03	-4.129816E-03	8.239462E-04
BTA4	0.2	1.717766E-03	7.420742E-14	1.236928E-03
BTA4	0.4	1.717766E-03	4.129816E-03	8.239462E-04
BTA5	0	-1.602979E-03	-4.129816E-03	-1.819684E-04
BTA5	0.2	-1.602979E-03	3.113354E-14	2.310133E-04
BTA5	0.4	-1.602979E-03	4.129816E-03	-1.819684E-04
BTB1	0	0	-4.129816E-03	-1.586414E-04
BTB1	0.2	0	1.172927E-13	2.543402E-04
BTB1	0.4	0	4.129816E-03	-1.586414E-04
BTB2	0	1.494871E-03	-4.129816E-03	-1.582819E-04
BTB2	0.2	1.494871E-03	3.566638E-14	2.546998E-04
BTB2	0.4	1.494871E-03	4.129816E-03	-1.582819E-04

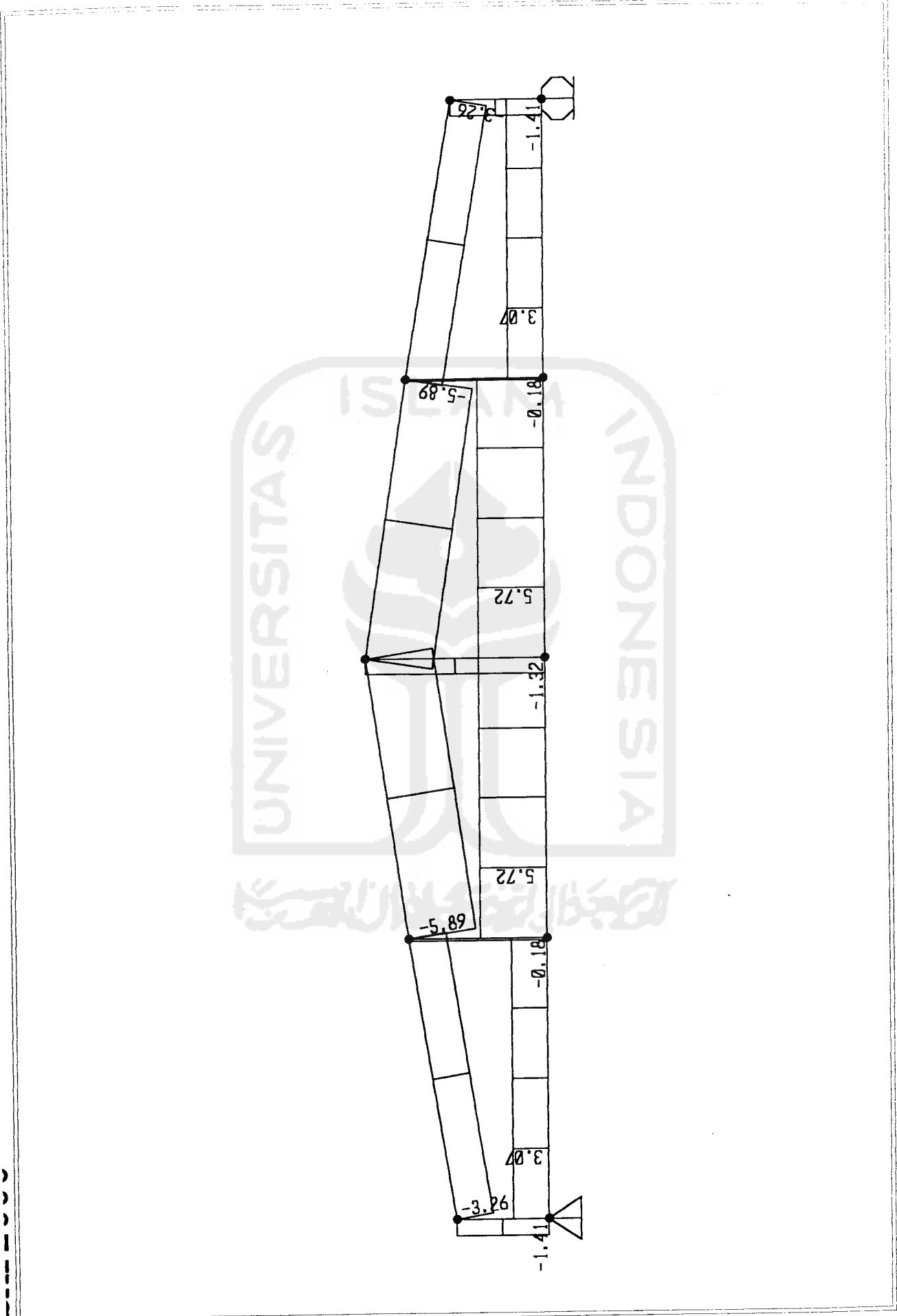


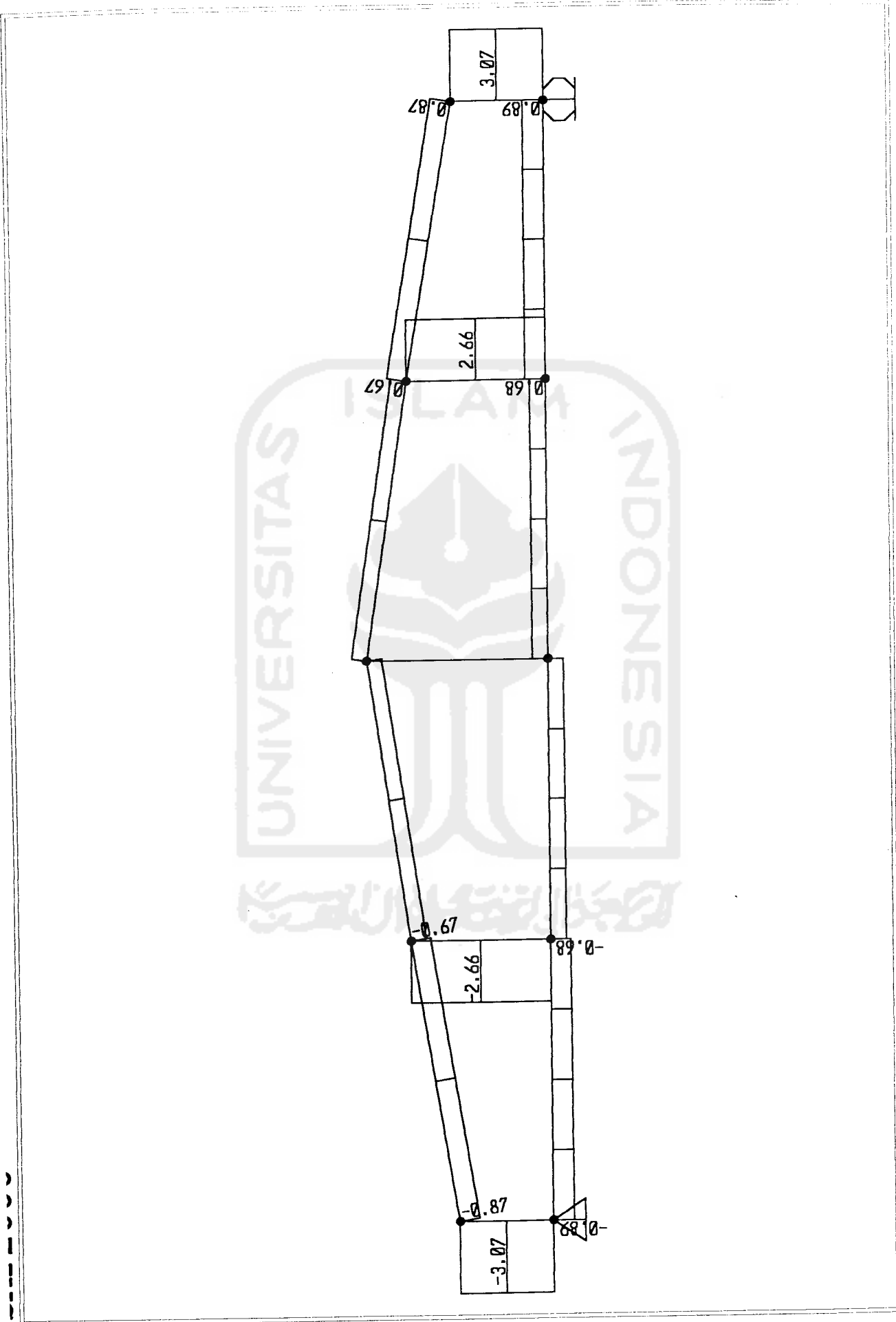
UUUUUUUU

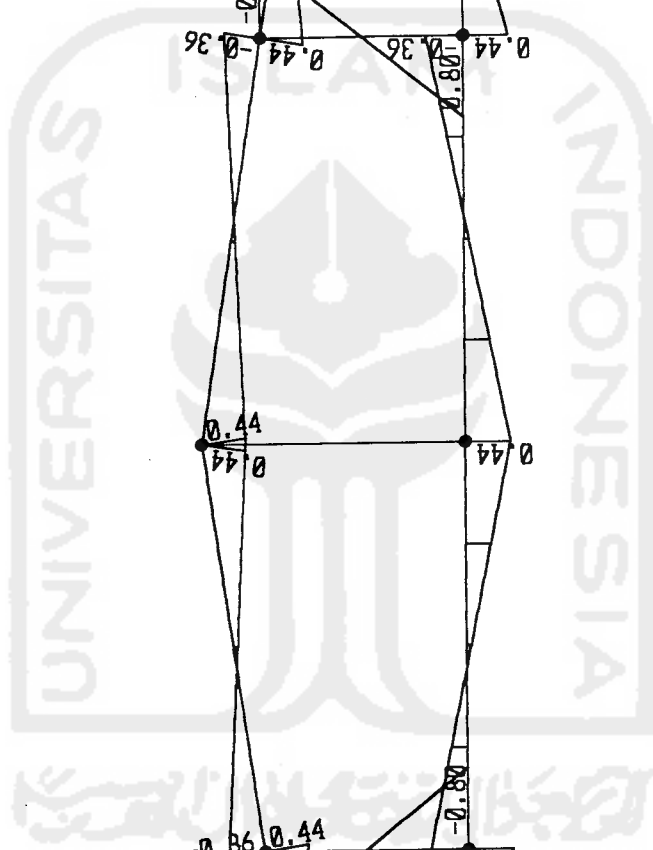
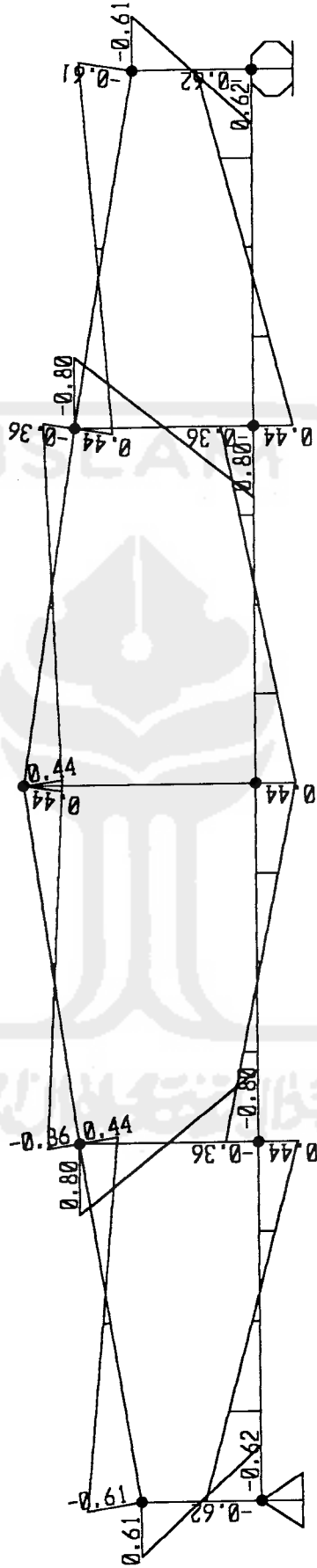
7/14/04 10:17:32



L4.4







**Gaya Batang Setiap Elemen Benda Uji 2 ( $a/h = 3/2$ )**  
**Hasil Numeris SAP 2000 dengan Beban 19.25 kN**

FRAME	STATION	Gaya Aksial	Gaya Geser	Momen
KI1	0	-3.426821	-4.715871	-0.9457277
KI1	0.2	-3.422691	-4.715871	-2.553403E-03
KI1	0.4	-3.418561	-4.715871	0.9406209
KI2	0	-0.4499715	-5.545601	-1.374413
KI2	0.2475	-0.4448609	-5.545601	-1.876961E-03
KI2	0.495	-0.4397503	-5.545601	1.370659
KI3	0	-0.3230474	-4.005636	-1.183159
KI3	0.295	-0.3169559	-4.005636	-1.496653E-03
KI3	0.59	-0.3108644	-4.005636	1.180166
KI4	0	-0.2168214	-2.596929	-0.8902792
KI4	0.3425	-0.2097491	-2.596929	-8.312708E-04
KI4	0.685	-0.2026768	-2.596929	0.8886167
KI5	0	-3.279919	2.526233E-13	1.000809E-13
KI5	0.39	-3.271866	2.526233E-13	1.557806E-15
KI5	0.78	-3.263813	2.526233E-13	-9.696527E-14
KI6	0	-0.2168214	2.596929	0.8902792
KI6	0.3425	-0.2097491	2.596929	8.312708E-04
KI6	0.685	-0.2026768	2.596929	-0.8886167
KI7	0	-0.3230474	4.005636	1.183159
KI7	0.295	-0.3169559	4.005636	1.496653E-03
KI7	0.59	-0.3108644	4.005636	-1.180166
KI8	0	-0.4499715	5.545601	1.374413
KI8	0.2475	-0.4448609	5.545601	1.876961E-03
KI8	0.495	-0.4397503	5.545601	-1.370659
KI9	0	-3.426821	4.715871	0.9457277
KI9	0.2	-3.422691	4.715871	2.553403E-03
KI9	0.4	-3.418561	4.715871	-0.9406209
KK1	0	-3.426821	-4.715871	-0.9457277
KK1	0.2	-3.422691	-4.715871	-2.553403E-03
KK1	0.4	-3.418561	-4.715871	0.9406209
KK2	0	-0.4499715	-5.545601	-1.374413
KK2	0.2475	-0.4448609	-5.545601	-1.876961E-03
KK2	0.495	-0.4397503	-5.545601	1.370659
KK3	0	-0.3230474	-4.005636	-1.183159
KK3	0.295	-0.3169559	-4.005636	-1.496653E-03
KK3	0.59	-0.3108644	-4.005636	1.180166
KK4	0	-0.2168214	-2.596929	-0.8902792
KK4	0.3425	-0.2097491	-2.596929	-8.312708E-04
KK4	0.685	-0.2026768	-2.596929	0.8886167
KK5	0	-3.279919	-2.996874E-14	-1.300435E-14
KK5	0.39	-3.271866	-2.996874E-14	-1.316548E-15



tabel lanjutan

KK5	0.78	-3.263813	-2.996874E-14	1.037126E-14
KK6	0	-0.2168214	2.596929	0.8902792
KK6	0.3425	-0.2097491	2.596929	8.312708E-04
KK6	0.685	-0.2026768	2.596929	-0.8886167
KK7	0	-0.3230474	4.005636	1.183159
KK7	0.295	-0.3169559	4.005636	1.496653E-03
KK7	0.59	-0.3108644	4.005636	-1.180166
KK8	0	-0.4499715	5.545601	1.374413
KK8	0.2475	-0.4448609	5.545601	1.876961E-03
KK8	0.495	-0.4397503	5.545601	-1.370659
KK9	0	-3.426821	4.715871	0.9457277
KK9	0.2	-3.422691	4.715871	2.553403E-03
KK9	0.4	-3.418561	4.715871	-0.9406209
BAI1	0	-5.191814	-2.634928	-0.9406209
BAI1	0.3037371	-5.190834	-2.628733	-0.1412362
BAI1	0.6074743	-5.189853	-2.622539	0.656267
BAI2	0	-10.73535	-2.185549	-0.7143924
BAI2	0.3037371	-10.73437	-2.179354	-5.150077E-02
BAI2	0.6074743	-10.73339	-2.17316	0.6095093
BAI3	0	-14.73771	-1.849698	-0.5706568
BAI3	0.3037371	-14.73672	-1.843503	-9.775576E-03
BAI3	0.6074743	-14.73574	-1.837309	0.5492241
BAI4	0	-17.33177	-1.627291	-0.3393927
BAI4	0.3037371	-17.33079	-1.621097	0.1539354
BAI4	0.6074743	-17.32981	-1.614902	0.6453819
BAI5	0	-17.32981	1.614902	0.6453819
BAI5	0.3037371	-17.33079	1.621097	0.1539354
BAI5	0.6074743	-17.33177	1.627291	-0.3393927
BAI6	0	-14.73574	1.837309	0.5492241
BAI6	0.3037371	-14.73672	1.843503	-9.775576E-03
BAI6	0.6074743	-14.73771	1.849698	-0.5706568
BAI7	0	-10.73339	2.17316	0.6095093
BAI7	0.3037371	-10.73437	2.179354	-5.150077E-02
BAI7	0.6074743	-10.73535	2.185549	-0.7143924
BAI8	0	-5.189853	2.622539	0.656267
BAI8	0.3037371	-5.190834	2.628733	-0.1412362
BAI8	0.6074743	-5.191814	2.634928	-0.9406209
BIB1	0	4.715871	-2.679358	-0.9457277
BIB1	0.3	4.715871	-2.673163	-0.1428495
BIB1	0.6	4.715871	-2.666969	0.6581702
BIB2	0	10.26147	-2.216997	-0.7162431
BIB2	0.3	10.26147	-2.210802	-5.207331E-02
BIB2	0.6	10.26147	-2.204607	0.6102381
BIB3	0	14.26711	-1.88156	-0.5729213

tabel lanjutan

BIB3	0.3	14.26711	-1.875365	-9.382443E-03
BIB3	0.6	14.26711	-1.869171	0.5522979
BIB4	0	16.86404	-1.652349	-0.3379813
BIB4	0.3	16.86404	-1.646154	0.1567942
BIB4	0.6	16.86404	-1.63996	0.6497114
BIB5	0	16.86404	1.63996	0.6497114
BIB5	0.3	16.86404	1.646154	0.1567942
BIB5	0.6	16.86404	1.652349	-0.3379813
BIB6	0	14.26711	1.869171	0.5522979
BIB6	0.3	14.26711	1.875365	-9.382443E-03
BIB6	0.6	14.26711	1.88156	-0.5729213
BIB7	0	10.26147	2.204607	0.6102381
BIB7	0.3	10.26147	2.210802	-5.207331E-02
BIB7	0.6	10.26147	2.216997	-0.7162431
BIB8	0	4.715871	2.666969	0.6581702
BIB8	0.3	4.715871	2.673163	-0.1428495
BIB8	0.6	4.715871	2.679358	-0.9457277
BKA1	0	-5.191814	-2.634928	-0.9406209
BKA1	0.3037371	-5.190834	-2.628733	-0.1412362
BKA1	0.6074743	-5.189853	-2.622539	0.656267
BKA2	0	-10.73535	-2.185549	-0.7143924
BKA2	0.3037371	-10.73437	-2.179354	-5.150077E-02
BKA2	0.6074743	-10.73339	-2.17316	0.6095093
BKA3	0	-14.73771	-1.849698	-0.5706568
BKA3	0.3037371	-14.73672	-1.843503	-9.775576E-03
BKA3	0.6074743	-14.73574	-1.837309	0.5492241
BKA4	0	-17.33177	-1.627291	-0.3393927
BKA4	0.3037371	-17.33079	-1.621097	0.1539354
BKA4	0.6074743	-17.32981	-1.614902	0.6453819
BKA5	0	-17.32981	1.614902	0.6453819
BKA5	0.3037371	-17.33079	1.621097	0.1539354
BKA5	0.6074743	-17.33177	1.627291	-0.3393927
BKA6	0	-14.73574	1.837309	0.5492241
BKA6	0.3037371	-14.73672	1.843503	-9.775576E-03
BKA6	0.6074743	-14.73771	1.849698	-0.5706568
BKA7	0	-10.73339	2.17316	0.6095093
BKA7	0.3037371	-10.73437	2.179354	-5.150077E-02
BKA7	0.6074743	-10.73535	2.185549	-0.7143924
BKA8	0	-5.189853	2.622539	0.656267
BKA8	0.3037371	-5.190834	2.628733	-0.1412362
BKA8	0.6074743	-5.191814	2.634928	-0.9406209
BKB1	0	4.715871	-2.679358	-0.9457277
BKB1	0.3	4.715871	-2.673163	-0.1428495
BKB1	0.6	4.715871	-2.666969	0.6581702

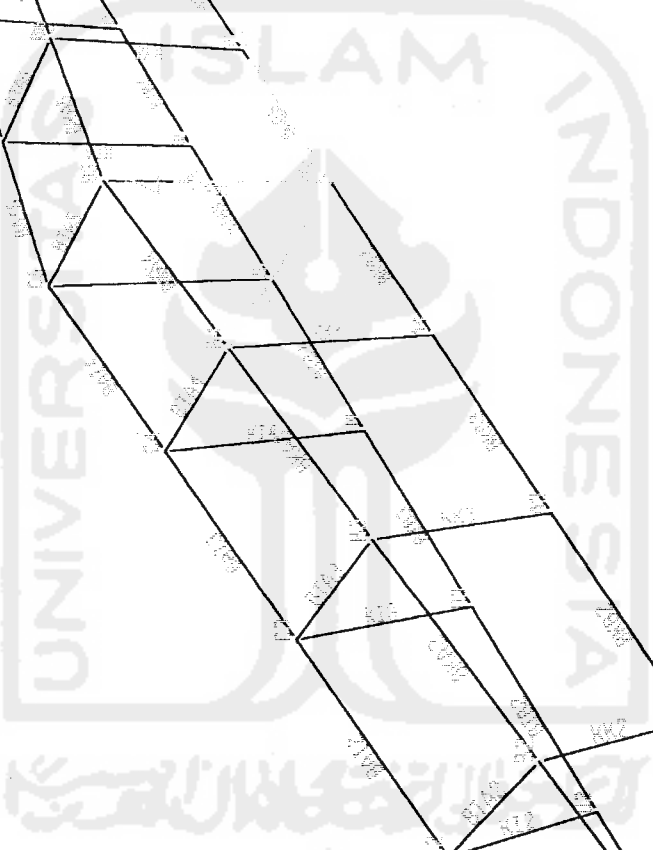
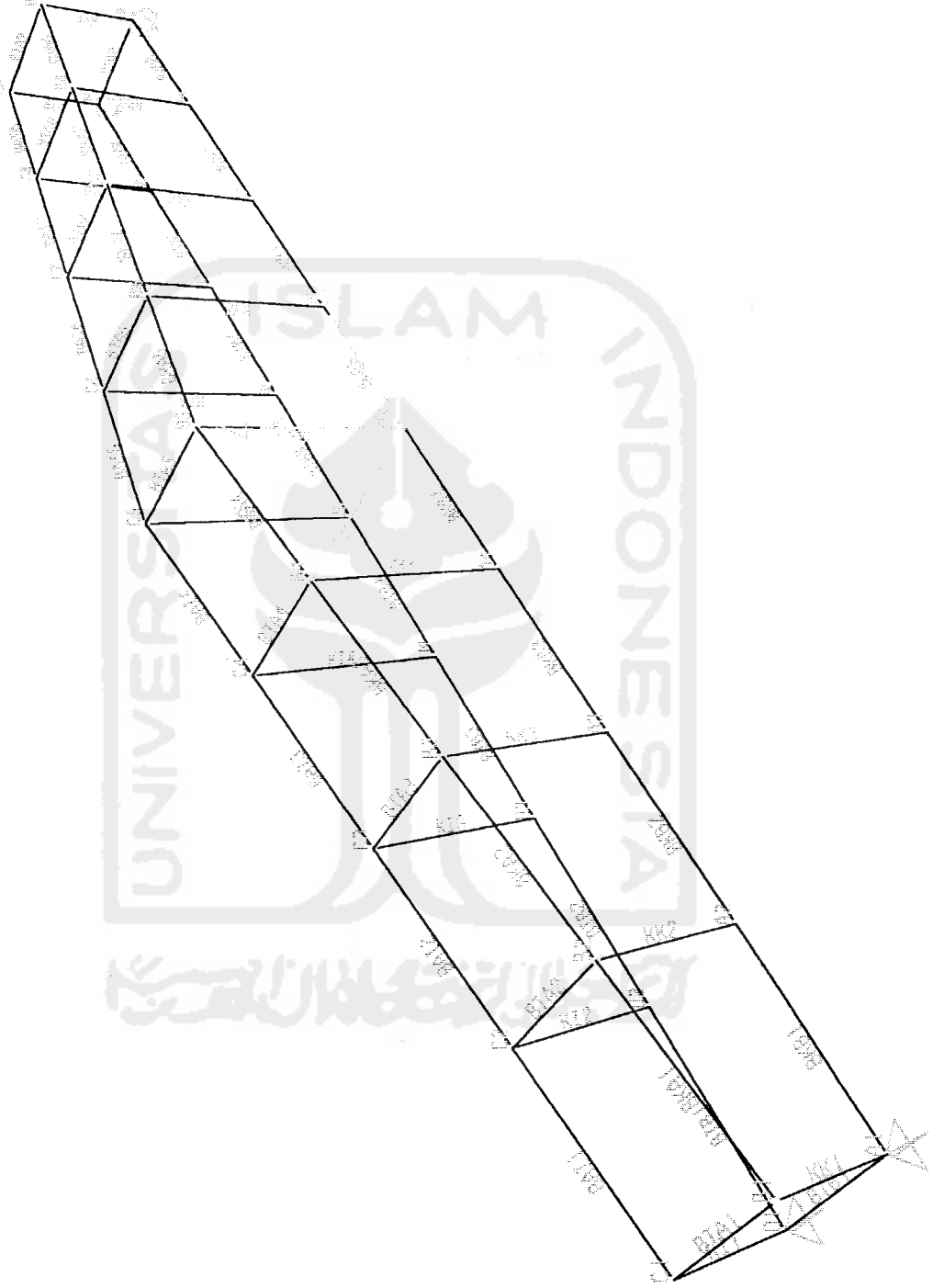
tabel lanjutan

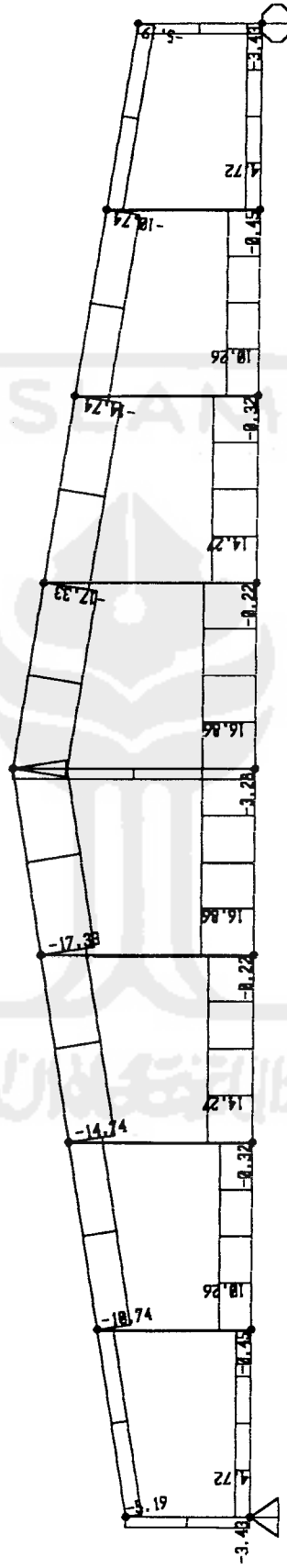
BKB2	0	10.26147	-2.216997	-0.7162431
BKB2	0.15	10.26147	-2.2139	-0.3839259
BKB2	0.3	10.26147	-2.210802	-5.207331E-02
BKB2	0.45	10.26147	-2.207705	0.2793147
BKB2	0.6	10.26147	-2.204607	0.6102381
BKB3	0	14.26711	-1.88156	-0.5729213
BKB3	0.3	14.26711	-1.875365	-9.382443E-03
BKB3	0.6	14.26711	-1.869171	0.5522979
BKB4	0	16.86404	-1.652349	-0.3379813
BKB4	0.3	16.86404	-1.646154	0.1567942
BKB4	0.6	16.86404	-1.63996	0.6497114
BKB5	0	16.86404	1.63996	0.6497114
BKB5	0.3	16.86404	1.646154	0.1567942
BKB5	0.6	16.86404	1.652349	-0.3379813
BKB6	0	14.26711	1.869171	0.5522979
BKB6	0.3	14.26711	1.875365	-9.382443E-03
BKB6	0.6	14.26711	1.88156	-0.5729213
BKB7	0	10.26147	2.204607	0.6102381
BKB7	0.3	10.26147	2.210802	-5.207331E-02
BKB7	0.6	10.26147	2.216997	-0.7162431
BKB8	0	4.715871	2.666969	0.6581702
BKB8	0.3	4.715871	2.673163	-0.1428495
BKB8	0.6	4.715871	2.679358	-0.9457277
BTA1	0	-1.076167E-03	-4.129816E-03	-1.965638E-04
BTA1	0.2	-1.076167E-03	6.607937E-14	2.164178E-04
BTA1	0.4	-1.076167E-03	4.129816E-03	-1.965638E-04
BTA2	0	-1.2031E-04	-4.129816E-03	-8.08704E-05
BTA2	0.2	-1.2031E-04	-9.232604E-14	3.321112E-04
BTA2	0.4	-1.2031E-04	4.129816E-03	-8.08704E-05
BTA3	0	-9.093364E-06	-4.129816E-03	-2.849781E-05
BTA3	0.2	-9.093364E-06	-2.653432E-13	3.844838E-04
BTA3	0.4	-9.093364E-06	4.129816E-03	-2.849781E-05
BTA4	0	1.032917E-04	-4.129816E-03	-1.610274E-05
BTA4	0.2	1.032917E-04	-1.250998E-13	3.968789E-04
BTA4	0.4	1.032917E-04	4.129816E-03	-1.610274E-05
BTA5	0	-2.876699E-04	-4.129816E-03	-2.361222E-05
BTA5	0.2	-2.876699E-04	-1.141298E-14	3.893694E-04
BTA5	0.4	-2.876699E-04	4.129816E-03	-2.361222E-05
BTA6	0	1.032829E-04	-4.129816E-03	-1.609482E-05
BTA6	0.2	1.032829E-04	4.005242E-13	3.968868E-04
BTA6	0.4	1.032829E-04	4.129816E-03	-1.609482E-05
BTA7	0	-9.092966E-06	-4.129816E-03	-2.846616E-05
BTA7	0.2	-9.092966E-06	3.56737E-13	3.845155E-04
BTA7	0.4	-9.092966E-06	4.129816E-03	-2.846616E-05

tabel lanjutan

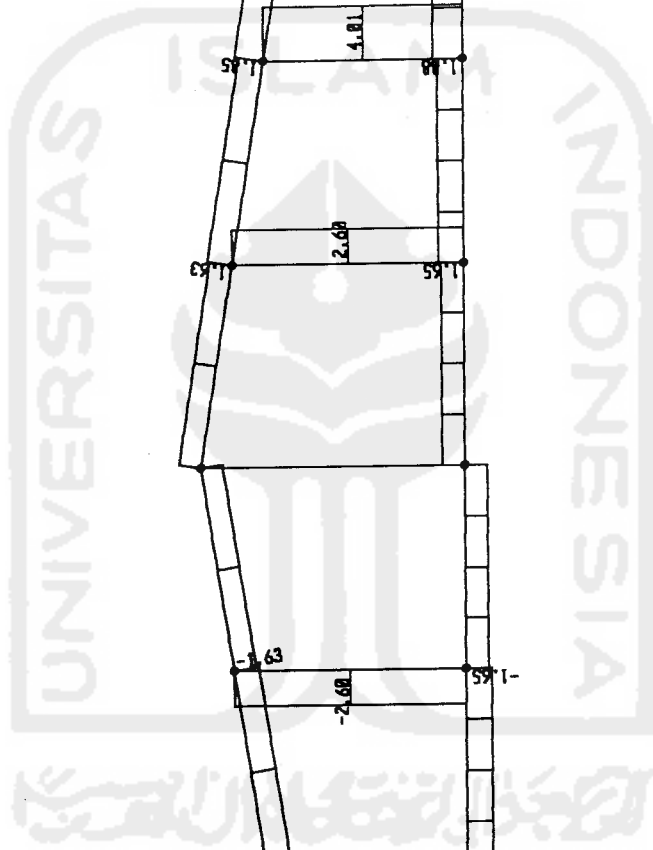
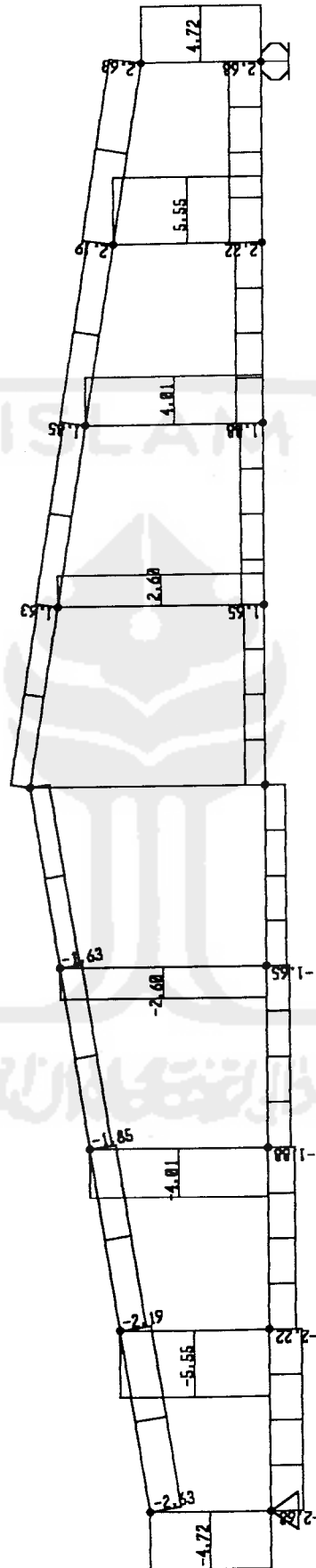
BTA8	0	-1.201918E-04	-4.129816E-03	-8.07634E-05
BTA8	0.2	-1.201918E-04	6.297197E-14	3.322182E-04
BTA8	0.4	-1.201918E-04	4.129816E-03	-8.07634E-05
BTA9	0	-1.074434E-03	-4.129816E-03	-1.962747E-04
BTA9	0.2	-1.074434E-03	-2.417286E-13	2.167069E-04
BTA9	0.4	-1.074434E-03	4.129816E-03	-1.962747E-04
BTB1	0	0	-4.129816E-03	-2.029761E-04
BTB1	0.2	0	4.108626E-14	2.100055E-04
BTB1	0.4	0	4.129816E-03	-2.029761E-04
BTB2	0	1.244275E-03	-4.129816E-03	-2.026752E-04
BTB2	0.2	1.244275E-03	-2.077795E-13	2.103064E-04
BTB2	0.4	1.244275E-03	4.129816E-03	-2.026752E-04

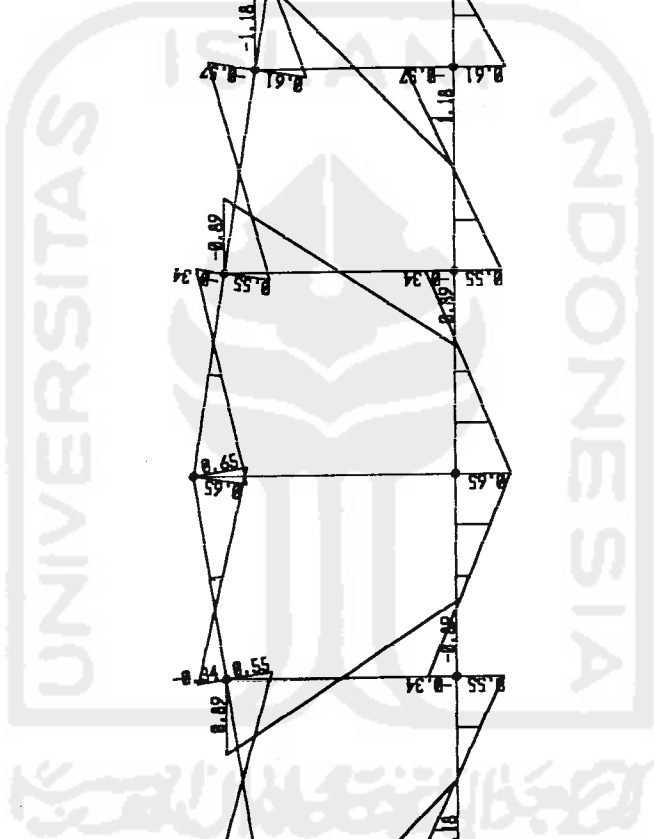
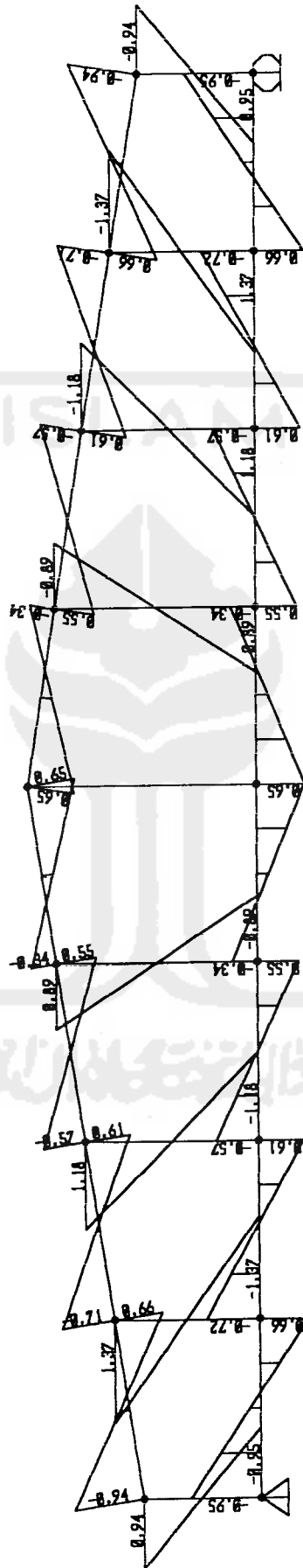






SAP2000 v7.42 - File:MODEL a=0.6m - Axial Force Diagram (COMB1) - KN-m Units







**Gaya Batang Setiap Elemen Benda Uji 3 (a/h = 1)  
Hasil Numeris SAP 2000 dengan Beban 22.75 kN**

FRAME	STATION	Gaya Aksial	Gaya Geser	Momen
KI1	0	-3.316346	-3.844636	-0.7711847
KI1	0.2	-3.812216	-3.844636	-2.257466E-03
KI1	0.4	-3.808086	-3.844636	0.7666698
KI2	0	-0.3969159	-4.828562	-1.120103
KI2	0.2316667	-0.3921322	-4.828562	-1.486266E-03
KI2	0.4633333	-0.3873485	-4.828562	1.11713
KI3	0	-0.3165062	-3.937348	-1.037867
KI3	0.2633333	-0.3110687	-3.937348	-1.031957E-03
KI3	0.5266666	-0.3056311	-3.937348	1.035803
KI4	0	-0.2586679	-3.132491	-0.9250877
KI4	0.295	-0.2525764	-3.132491	-1.00295E-03
KI4	0.59	-0.2464849	-3.132491	0.9230818
KI5	0	-0.1949917	-2.468025	-0.8073484
KI5	0.3266667	-0.1882463	-2.468025	-1.127041E-03
KI5	0.6533333	-0.1815009	-2.468025	0.8050944
KI6	0	-0.1631179	-1.704525	-0.6109235
KI6	0.3583333	-0.1557187	-1.704525	-1.356339E-04
KI6	0.7166666	-0.1483194	-1.704525	0.6106522
KI7	0	-3.665402	2.090328E-13	8.231749E-14
KI7	0.39	-3.657349	2.090328E-13	7.946976E-16
KI7	0.78	-3.649296	2.090328E-13	-8.072809E-14
KI8	0	-0.1631179	1.704525	0.6109235
KI8	0.3583333	-0.1557187	1.704525	1.356339E-04
KI8	0.7166666	-0.1483194	1.704525	-0.6106522
KI9	0	-0.1949917	2.468025	0.8073484
KI9	0.3266667	-0.1882463	2.468025	1.127041E-03
KI9	0.6533333	-0.1815009	2.468025	-0.8050944
KK1	0	-3.816346	-3.844636	-0.7711847
KK1	0.2	-3.812216	-3.844636	-2.257466E-03
KK1	0.4	-3.808086	-3.844636	0.7666698
KK2	0	-0.3969159	-4.828562	-1.120103
KK2	0.2316667	-0.3921322	-4.828562	-1.486266E-03
KK2	0.4633333	-0.3873485	-4.828562	1.11713
KK3	0	-0.3165062	-3.937348	-1.037867
KK3	0.2633333	-0.3110687	-3.937348	-1.031957E-03
KK3	0.5266666	-0.3056311	-3.937348	1.035803
KK4	0	-0.2586679	-3.132491	-0.9250877
KK4	0.295	-0.2525764	-3.132491	-1.00295E-03
KK4	0.59	-0.2464849	-3.132491	0.9230818
KK5	0	-0.1949917	-2.468025	-0.8073484
KK5	0.3266667	-0.1882463	-2.468025	-1.127041E-03

tabel lanjutan

KK5	0.6533333	-0.1815009	-2.468025	0.8050944
KK6	0	-0.1631179	-1.704525	-0.6109235
KK6	0.3583333	-0.1557187	-1.704525	-1.356339E-04
KK6	0.7166666	-0.1483194	-1.704525	0.6106522
KK7	0	-3.665402	-2.83773E-14	-1.164069E-14
KK7	0.39	-3.657349	-2.83773E-14	-5.735412E-16
KK7	0.78	-3.649296	-2.83773E-14	1.049361E-14
KK8	0	-0.1631179	1.704525	0.6109235
KK8	0.3583333	-0.1557187	1.704525	1.356339E-04
KK8	0.7166666	-0.1483194	1.704525	-0.6106522
KK9	0	-0.1949917	2.468025	0.8073484
KK9	0.3266667	-0.1882463	2.468025	1.127041E-03
KK9	0.6533333	-0.1815009	2.468025	-0.8050944
BIA1	0	-4.392214	-3.155909	-0.7666698
BIA1	0.2024914	-4.391561	-3.151779	-0.1280433
BIA1	0.4049829	-4.390907	-3.147649	0.5097468
BIA2	0	-9.219988	-2.771038	-0.6073835
BIA2	0.2024914	-9.219334	-2.766908	-4.669026E-02
BIA2	0.4049829	-9.21868	-2.762778	0.5131668
BIA3	0	-13.15473	-2.444824	-0.5226362
BIA3	0.2024914	-13.15408	-2.440694	-2.799839E-02
BIA3	0.4049829	-13.15343	-2.436564	0.4658031
BIA4	0	-16.28528	-2.186066	-0.4572786
BIA4	0.2024914	-16.28462	-2.181936	-0.0150372
BIA4	0.4049829	-16.28397	-2.177806	0.426368
BIA5	0	-18.74936	-1.967032	-0.3787264
BIA5	0.2024914	-18.74871	-1.962903	1.916268E-02
BIA5	0.4049829	-18.74806	-1.958773	0.4162155
BIA6	0	-20.45416	-1.834621	-0.1944368
BIA6	0.2024914	-20.45351	-1.830491	0.1766401
BIA6	0.4049829	-20.45285	-1.826361	0.5468808
BIA7	0	-20.45285	1.826361	0.5468808
BIA7	0.2024914	-20.45351	1.830491	0.1766401
BIA7	0.4049829	-20.45416	1.834621	-0.1944368
BIA8	0	-18.74806	1.958773	0.4162155
BIA8	0.2024914	-18.74871	1.962903	1.916268E-02
BIA8	0.4049829	-18.74936	1.967032	-0.3787264
BIA9	0	-16.28397	2.177806	0.426368
BIA9	0.2024914	-16.28462	2.181936	-0.0150372
BIA9	0.4049829	-16.28528	2.186066	-0.4572786
BIB1	0	3.844636	-3.212458	-0.7711847
BIB1	0.2	3.844636	-3.208328	-0.129106
BIB1	0.4	3.844636	-3.204199	0.5121468
BIB2	0	8.673198	-2.807283	-0.6079561

tabel lanjutan

BIB2	0.2	8.673198	-2.803153	-4.691248E-02
BIB2	0.4	8.673198	-2.799023	0.5133052
BIB3	0	12.61055	-2.482517	-0.5245616
BIB3	0.2	12.61055	-2.478387	-2.847123E-02
BIB3	0.4	12.61055	-2.474257	0.4667932
BIB4	0	15.74304	-2.21559	-0.4582944
BIB4	0.2	15.74304	-2.21146	-1.558945E-02
BIB4	0.4	15.74304	-2.20733	0.4262895
BIB5	0	18.21106	-2.012338	-0.3810589
BIB5	0.2	18.21106	-2.008209	2.099577E-02
BIB5	0.4	18.21106	-2.004079	0.4222245
BIB6	0	19.91558	-1.840961	-0.1886991
BIB6	0.2	19.91558	-1.836831	0.1790801
BIB6	0.4	19.91558	-1.832701	0.5460333
BIB7	0	19.91558	1.832701	0.5460333
BIB7	0.2	19.91558	1.836831	0.1790801
BIB7	0.4	19.91558	1.840961	-0.1886991
BIB8	0	18.21106	2.004079	0.4222245
BIB8	0.2	18.21106	2.008209	2.099577E-02
BIB8	0.4	18.21106	2.012338	-0.3810589
BIB9	0	15.74304	2.20733	0.4262895
BIB9	0.2	15.74304	2.21146	-1.558945E-02
BIB9	0.4	15.74304	2.21559	-0.4582944
BKA1	0	-4.392214	-3.155909	-0.7666698
BKA1	0.2024914	-4.391561	-3.151779	-0.1280433
BKA1	0.4049829	-4.390907	-3.147649	0.5097468
BKA2	0	-9.219988	-2.771038	-0.6073835
BKA2	0.2024914	-9.219334	-2.766908	-4.669026E-02
BKA2	0.4049829	-9.21868	-2.762778	0.5131668
BKA3	0	-13.15473	-2.444824	-0.5226362
BKA3	0.2024914	-13.15408	-2.440694	-2.799839E-02
BKA3	0.4049829	-13.15343	-2.436564	0.4658031
BKA4	0	-16.28528	-2.186066	-0.4572786
BKA4	0.2024914	-16.28462	-2.181936	-0.0150372
BKA4	0.4049829	-16.28397	-2.177806	0.426368
BKA5	0	-18.74936	-1.967032	-0.3787264
BKA5	0.2024914	-18.74871	-1.962903	1.916268E-02
BKA5	0.4049829	-18.74806	-1.958773	0.4162155
BKA6	0	-20.45416	-1.834621	-0.1944368
BKA6	0.2024914	-20.45351	-1.830491	0.1766401
BKA6	0.4049829	-20.45285	-1.826361	0.5468808
BKA7	0	-20.45285	1.826361	0.5468808
BKA7	0.2024914	-20.45351	1.830491	0.1766401
BKA7	0.4049829	-20.45416	1.834621	-0.1944368

tabel lanjutan

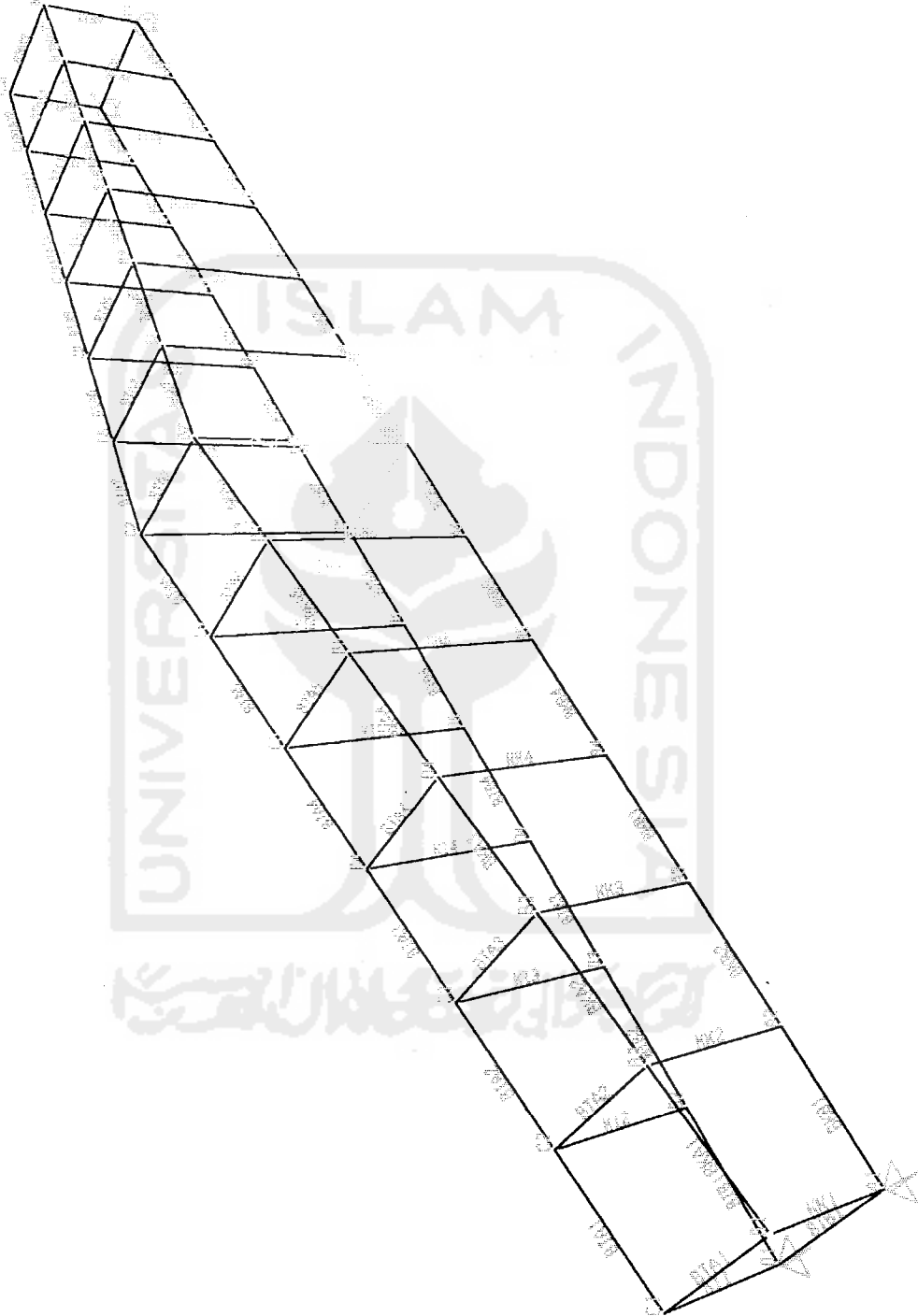
BKA8	0	-18.74806	1.958773	0.4162155
BKA8	0.2024914	-18.74871	1.962903	1.916268E-02
BKA8	0.4049829	-18.74936	1.967032	-0.3787264
BKA9	0	-16.28397	2.177806	0.426368
BKA9	0.2024914	-16.28462	2.181936	-0.0150372
BKA9	0.4049829	-16.28528	2.186066	-0.4572786
BKB1	0	3.844636	-3.212458	-0.7711847
BKB1	0.2	3.844636	-3.208328	-0.129106
BKB1	0.4	3.844636	-3.204199	0.5121468
BKB2	0	8.673198	-2.807283	-0.6079561
BKB2	0.2	8.673198	-2.803153	-4.691248E-02
BKB2	0.4	8.673198	-2.799023	0.5133052
BKB3	0	12.61055	-2.482517	-0.5245616
BKB3	0.2	12.61055	-2.478387	-2.847123E-02
BKB3	0.4	12.61055	-2.474257	0.4667932
BKB4	0	15.74304	-2.21559	-0.4582944
BKB4	0.2	15.74304	-2.21146	-1.558945E-02
BKB4	0.4	15.74304	-2.20733	0.4262895
BKB5	0	18.21106	-2.012338	-0.3810589
BKB5	0.2	18.21106	-2.008209	2.099577E-02
BKB5	0.4	18.21106	-2.004079	0.4222245
BKB6	0	19.91558	-1.840961	-0.1886991
BKB6	0.2	19.91558	-1.836831	0.1790801
BKB6	0.4	19.91558	-1.832701	0.5460333
BKB7	0	19.91558	1.832701	0.5460333
BKB7	0.2	19.91558	1.836831	0.1790801
BKB7	0.4	19.91558	1.840961	-0.1886991
BKB8	0	18.21106	2.004079	0.4222245
BKB8	0.2	18.21106	2.008209	2.099577E-02
BKB8	0.4	18.21106	2.012338	-0.3810589
BKB9	0	15.74304	2.20733	0.4262895
BKB9	0.2	15.74304	2.21146	-1.558945E-02
BKB9	0.4	15.74304	2.21559	-0.4582944
BTA1	0	-1.095893E-03	-4.129816E-03	-1.94235E-04
BTA1	0.2	-1.095893E-03	2.127476E-14	2.187466E-04
BTA1	0.4	-1.095893E-03	4.129816E-03	-1.94235E-04
BTA2	0	-1.911922E-04	-4.129816E-03	-1.015688E-04
BTA2	0.2	-1.911922E-04	-3.130817E-14	3.114128E-04
BTA2	0.4	-1.911922E-04	4.129816E-03	-1.015688E-04
BTA3	0	-1.901246E-05	-4.129816E-03	-4.674679E-05
BTA3	0.2	-1.901246E-05	-4.516376E-14	3.662349E-04
BTA3	0.4	-1.901246E-05	4.129816E-03	-4.674679E-05
BTA4	0	1.591529E-05	-4.129816E-03	-2.203631E-05
BTA4	0.2	1.591529E-05	-8.353307E-14	3.909453E-04

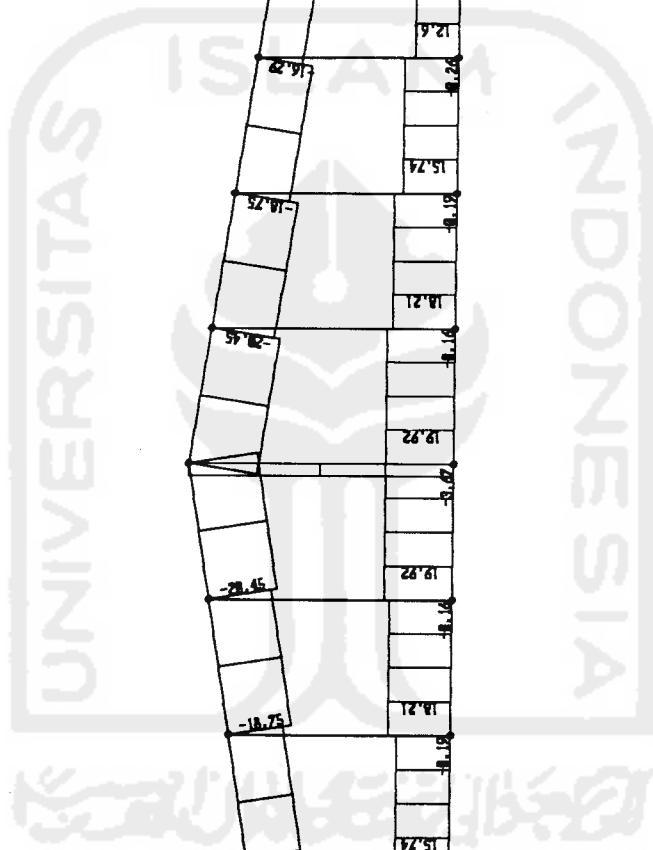
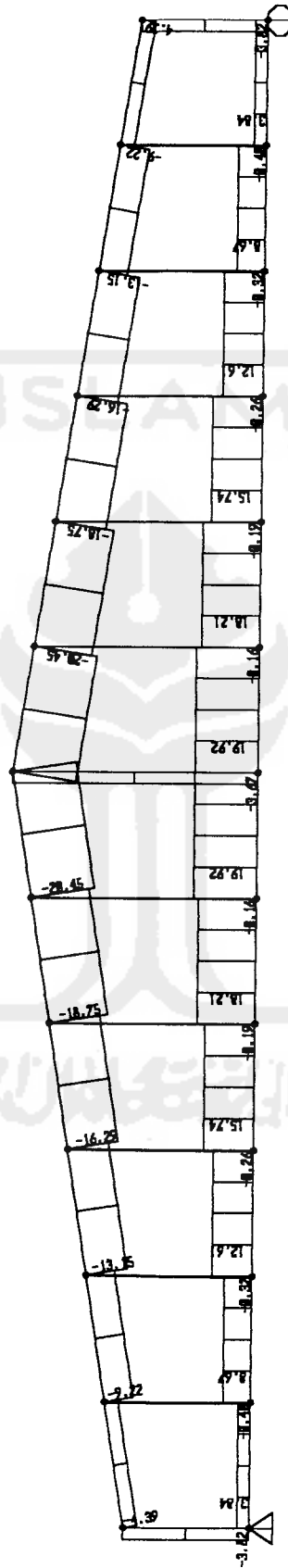
tabel lanjutan

BTA4	0.4	1.591529E-05	4.129816E-03	-2.203631E-05
BTA5	0	-2.95588E-05	-4.129816E-03	-1.277574E-05
BTA5	0.2	-2.95588E-05	-1.261656E-13	4.002059E-04
BTA5	0.4	-2.95588E-05	4.129816E-03	-1.277574E-05
BTA6	0	2.221298E-04	-4.129816E-03	-1.408727E-05
BTA6	0.2	2.221298E-04	-7.500656E-14	3.988944E-04
BTA6	0.4	2.221298E-04	4.129816E-03	-1.408727E-05
BTA7	0	-5.650212E-04	-4.129816E-03	-2.327843E-05
BTA7	0.2	-5.650212E-04	-1.532096E-14	3.897032E-04
BTA7	0.4	-5.650212E-04	4.129816E-03	-2.327843E-05
BTA8	0	2.221245E-04	-4.129816E-03	-1.408442E-05
BTA8	0.2	2.221245E-04	2.575275E-13	3.988972E-04
BTA8	0.4	2.221245E-04	4.129816E-03	-1.408442E-05
BTA9	0	-2.956764E-05	-4.129816E-03	-1.276649E-05
BTA9	0.2	-2.956764E-05	3.044233E-13	4.002151E-04
BTA9	0.4	-2.956764E-05	4.129816E-03	-1.276649E-05
BTB1	0	0	-4.129816E-03	-2.049508E-04
BTB1	0.2	0	-1.126483E-14	2.080309E-04
BTB1	0.4	0	4.129816E-03	-2.049508E-04
BTB2	0	1.37787E-03	-4.129816E-03	-2.046145E-04
BTB2	0.2	1.37787E-03	1.340746E-13	2.083671E-04
BTB2	0.4	1.37787E-03	4.129816E-03	-2.046145E-04
KI10	0	-0.2586679	3.132491	0.9250877
KI10	0.295	-0.2525764	3.132491	1.00295E-03
KI10	0.59	-0.2464849	3.132491	-0.9230818
KI11	0	-0.3165062	3.937348	1.037867
KI11	0.2633333	-0.3110687	3.937348	1.031957E-03
KI11	0.5266666	-0.3056311	3.937348	-1.035803
KI12	0	-0.3969159	4.828562	1.120103
KI12	0.2316667	-0.3921322	4.828562	1.486266E-03
KI12	0.4633333	-0.3873485	4.828562	-1.11713
KI13	0	-3.816346	3.844636	0.7711847
KI13	0.2	-3.812216	3.844636	2.257466E-03
KI13	0.4	-3.808086	3.844636	-0.7666698
KK10	0	-0.2586679	3.132491	0.9250877
KK10	0.295	-0.2525764	3.132491	1.00295E-03
KK10	0.59	-0.2464849	3.132491	-0.9230818
KK11	0	-0.3165062	3.937348	1.037867
KK11	0.2633333	-0.3110687	3.937348	1.031957E-03
KK11	0.5266666	-0.3056311	3.937348	-1.035803
KK12	0	-0.3969159	4.828562	1.120103
KK12	0.2316667	-0.3921322	4.828562	1.486266E-03
KK12	0.4633333	-0.3873485	4.828562	-1.11713

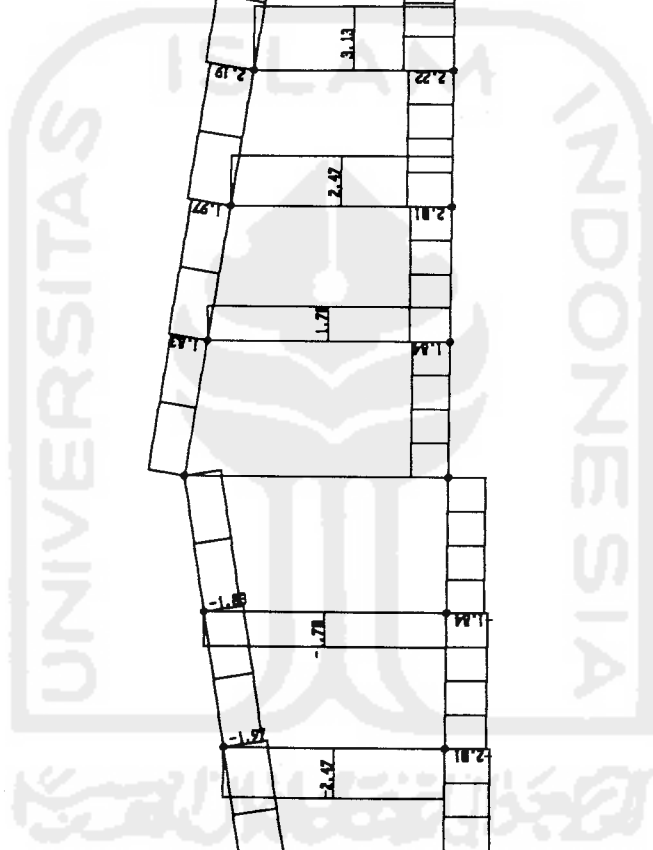
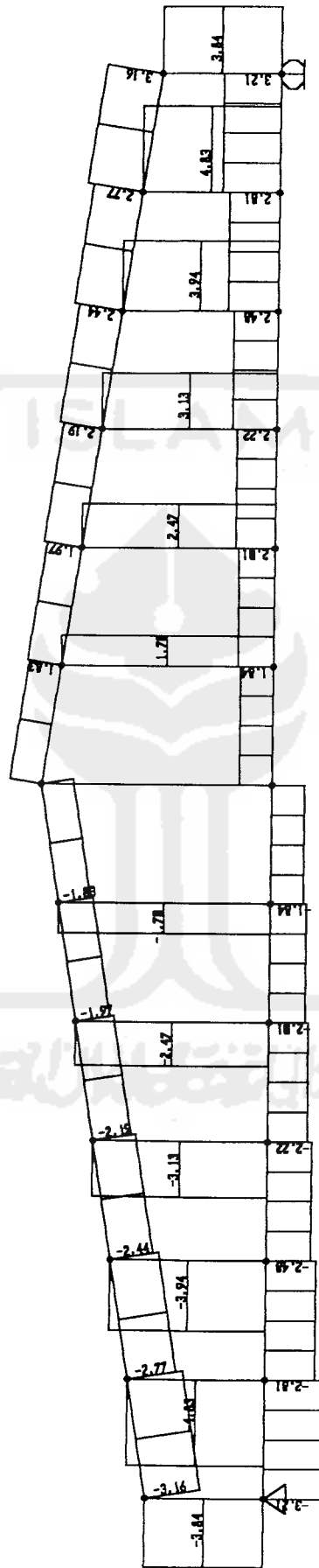
tabel lanjutan

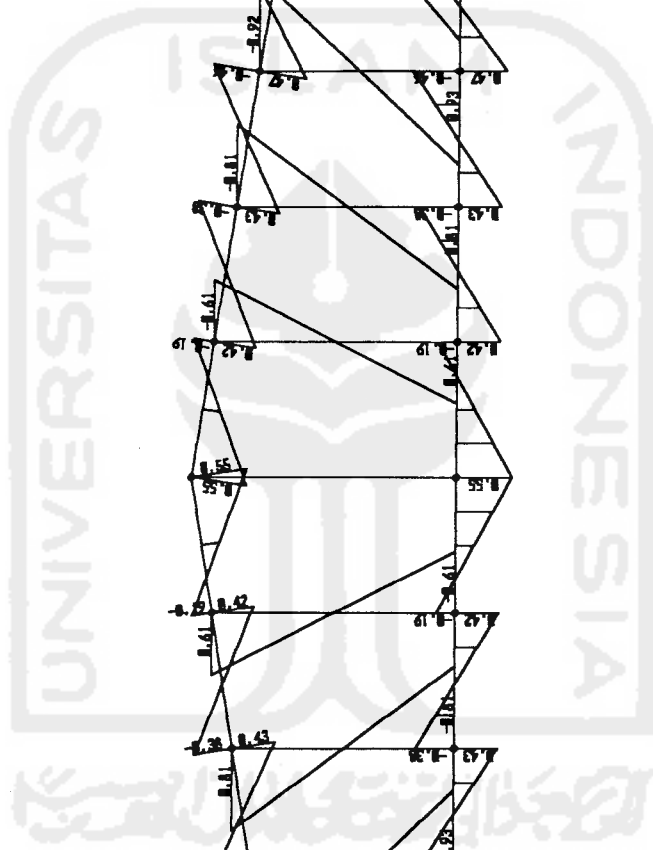
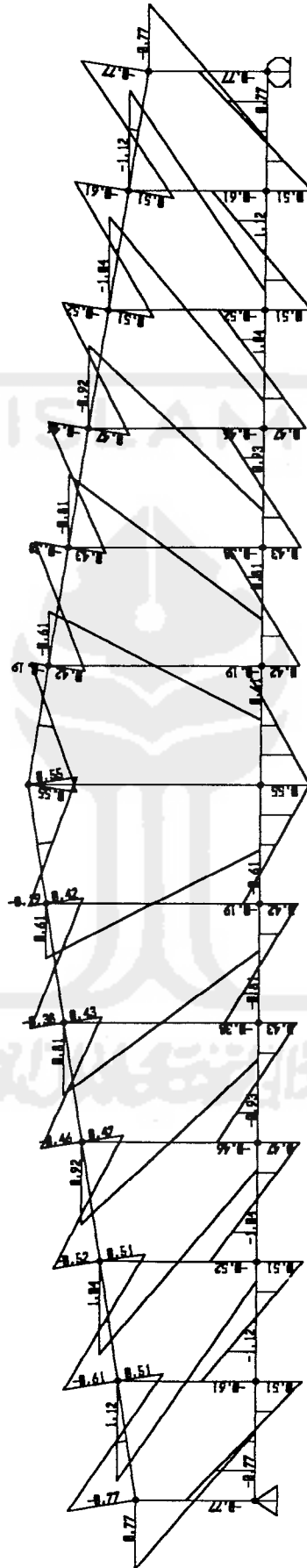
KK13	0	-3.816346	3.844636	0.7711847
KK13	0.2	-3.812216	3.844636	2.257466E-03
KK13	0.4	-3.808086	3.844636	-0.7666698
BIA10	0	-13.15343	2.436564	0.4658031
BIA10	0.2024914	-13.15408	2.440694	-2.799839E-02
BIA10	0.4049829	-13.15473	2.444824	-0.5226362
BIA11	0	-9.21868	2.762778	0.5131668
BIA11	0.2024914	-9.219334	2.766908	-4.669026E-02
BIA11	0.4049829	-9.219988	2.771038	-0.6073835
BIA12	0	-4.390907	3.147649	0.5097468
BIA12	0.2024914	-4.391561	3.151779	-0.1280433
BIA12	0.4049829	-4.392214	3.155909	-0.7666698
BIB10	0	12.61055	2.474257	0.4667932
BIB10	0.1	12.61055	2.476322	0.2192643
BIB10	0.2	12.61055	2.478387	-2.847123E-02
BIB10	0.3	12.61055	2.480452	-0.2764132
BIB10	0.4	12.61055	2.482517	-0.5245616
BIB11	0	8.673198	2.799023	0.5133052
BIB11	0.2	8.673198	2.803153	-4.691248E-02
BIB11	0.4	8.673198	2.807283	-0.6079561
BIB12	0	3.844636	3.204199	0.5121468
BIB12	0.2	3.844636	3.208328	-0.129106
BIB12	0.4	3.844636	3.212458	-0.7711847
BKA10	0	-13.15343	2.436564	0.4658031
BKA10	0.2024914	-13.15408	2.440694	-2.799839E-02
BKA10	0.4049829	-13.15473	2.444824	-0.5226362
BKA11	0	-9.21868	2.762778	0.5131668
BKA11	0.2024914	-9.219334	2.766908	-4.669026E-02
BKA11	0.4049829	-9.219988	2.771038	-0.6073835
BKA12	0	-4.390907	3.147649	0.5097468
BKA12	0.2024914	-4.391561	3.151779	-0.1280433
BKA12	0.4049829	-4.392214	3.155909	-0.7666698
BKB10	0	12.61055	2.474257	0.4667932
BKB10	0.2	12.61055	2.478387	-2.847123E-02
BKB10	0.4	12.61055	2.482517	-0.5245616
BKB11	0	8.673198	2.799023	0.5133052
BKB11	0.2	8.673198	2.803153	-4.691248E-02
BKB11	0.4	8.673198	2.807283	-0.6079561
BKB12	0	3.844636	3.204199	0.5121468
BKB12	0.2	3.844636	3.208328	-0.129106
BKB12	0.4	3.844636	3.212458	-0.7711847
BTA10	0	1.590237E-05	-4.129816E-03	-2.201111E-05
BTA10	0.2	1.590237E-05	9.765533E-14	3.909705E-04














**LAMPIRAN 5**

**DOKUMENTASI PENGUJIAN BALOK**

***VIERENDEEL***

OK VIERENDEEL



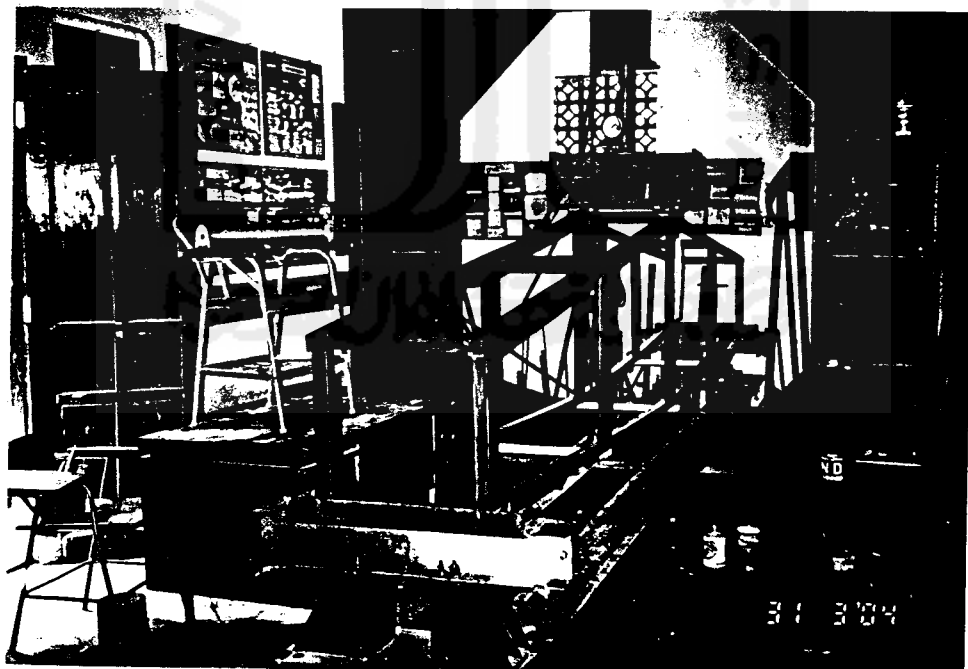
• engujian

• engujian

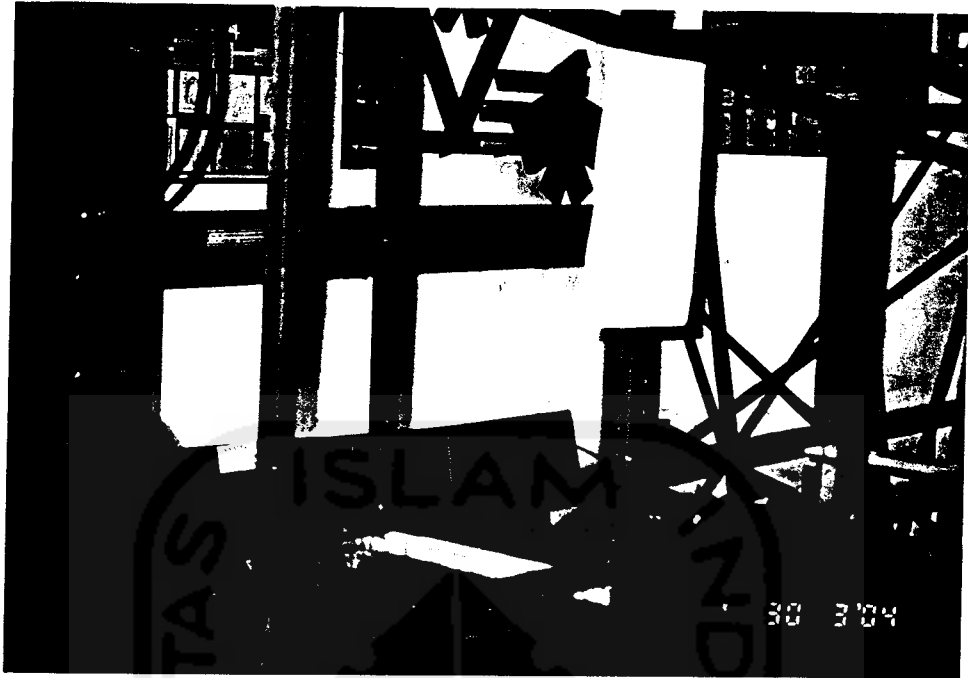
**DOKUMENTASI UJI LENTUR BALOK *VIERENDEEL***



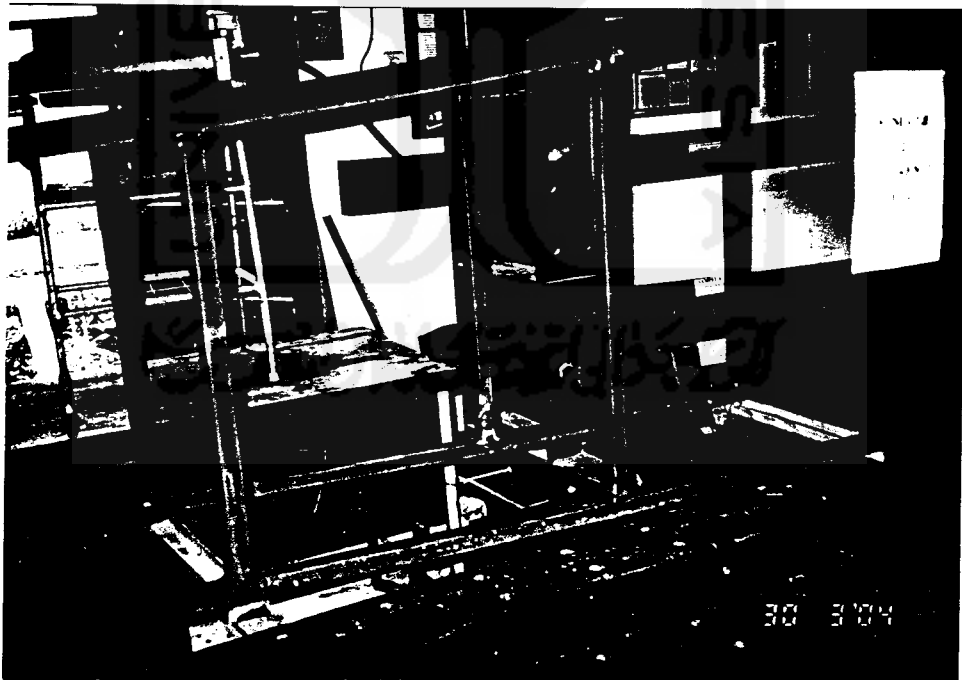
Gambar L6.1 Benda Uji 1 Sebelum Pengujian



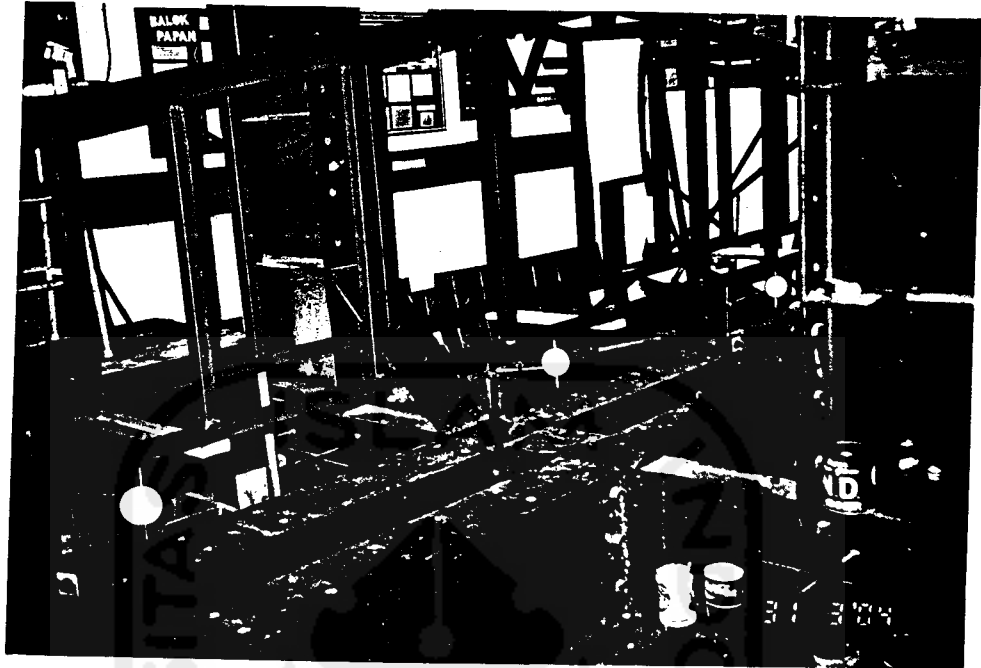
Gambar L6.2 Benda Uji 1 Setelah pengujian



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