

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERILAKU RANGKA VIERENDEEL
TERHADAP PEMBEBANAN STATIS**



Disusun Oleh :

Nama : ZHRUDIN
No. Mhs. : 99511094

Nama : WISNU ANDY NUGROHO
No. Mhs. : 99511136

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2003**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERILAKU RANGKA VIERENDEEL
TERHADAP PEMBEBANAN STATIS**

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

Disusun Oleh :

Nama : ZHRUDIN
No. Mhs. : 99511094

Nama : WISNU ANDY NUGROHO
No. Mhs. : 99511136

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2003**

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
PERILAKU RANGKA VIERENDEEL
TERHADAP PEMBEBANAN STATIS

Disusun Oleh :

Nama : ZAHRUDIN
No. Mhs. : 99511094

Nama : WISNU ANDY NUGROHO
No. Mhs. : 99511136

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. FATKHURROHMAN N., MT.

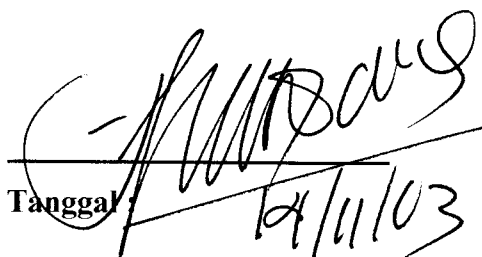
Dosen Pembimbing I



Tanggal :

Ir. H. SUHARYATMO, MT.

Dosen Pembimbing II



Tanggal :

4/11/03

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk:

Kepada yang Maha Agung, sebagai sarana untuk mencari keridhoan-Nya.

Kepada Khatamul Anbiya yang telah memberikan cahaya kemenangan, dengan harapan memperoleh syafaatnya dihari akhir kelak,

Kepada Bapak dan Emak tercinta atas Do'a dan kesabarannya dalam mendidik dan mengasuh Ananda hingga seperti sekarang ini.

Kakak-kakakku tersayang, dan keponakan tercinta, Ummi, Dewi, Irfan, semoga kelak mencapai apa yang dicita-citakan.

Partner kerjaku Andy, terima kasih atas diskusinya selama ini.

Anak-anak "Wiro Sablenk Crew", semoga kebersamaan kita menjadi modal untuk perjuangan yang akan datang, dan terima kasih atas ke'Jimmy'annya.

*Teman-teman seperjuangan sipil 99 dari A sampai Y, yang ga bisa disebutin one by one,
Thanks a lot for yours attention.*

*Seseorang yang selama ini menjadi 'Spirit' dalam menyusun tugas akhir ini,
You're My Inspiration.*

(ZAHRUDIN)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini Andy persembahkan untuk:

*Kepada Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang
Semua yang Ku lakukan hanya untuk menggapai ridho-Mu Wahai Yang Maha Sempurna*

*Kepada Rasulullah Muhammad SAW
Sang pembawa risalah kebenaran, yang telah menuntun kita dari kegelapan menuju cahaya
yang terang benderang,*

*Sepasang pelita hatiku, Bpk H Sumardjono BE dan Ibu Hj Purwanti atas do'a, kesabaran
dan kasih sayang yang tiada habis-habisnya. Inilah persembahan bakti ananda kepadamu*

*Kakak-kakakku tersayang, keponakanku Ninda, Raka, dan Si cantik nan Bandel Sheva,
semoga menjadi anak yang saleh*

Rekan TA-ku Jimmy, makasih Jim untuk semuanya

*Iktivan dan Aliwat di Masjid AT- TAQWA, yang telah membawaku ke dunia yang penuh
cahaya di jalan-Nya*

*Sobat-sobatku, Andy Sumarli yang membantuku selama aku sakit, Rizki, AA Nofan, Anggo,
dan anggota "Romantic Garden" lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, Gandok
Crew, ii's house Crew, terima kasih atas kasih sayang dan perhatiannya*

Teman-teman Sipil Angkatan 99, Thanks Friends

*Seseorang yang selalu menjadi bagian penting dari perjalanan hidupku, Thanks 4 all,
Tetaplah istiqomah dalam melangkah di Jalan-Nya*

(WISNU A.N)

HALAMAN MOTTO

Jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu

Qur'an Surat Al-Baqarah : 45

Ya Allah! Tak ada kemudahan melainkan apa-apa yang Engkau mudahkan,
Engkau menjadikan kesusahan dengan mudah Engkau kehendaki,

Doa menyelesaikan segala urusan

Hadits Riwayat Ibnu Hibban

Coming together is a beginning, staying together is a progress,
and working together is a success

NN

Sesuatu yang dicintai selalu indah

Peribahasa Norwegia

"Door het geven wordt men rijk"

Dengan memberi kita menjadi kaya

Prof. DR. Sardjito

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum, Wr. Wb.

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita, 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 hingga akhir hayat.

Tugas Akhir dalam bentuk penelitian laboratorium dengan judul “PERILAKU RANGKA *VIERENDEEL* TERHADAP PEMBEBANAN STATIS” ini kami ajukan sebagai syarat untuk memperoleh derajat strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan serta sumbangan pikiran berbagai pihak yang selalu memberikan motivasi dalam menghadapi hambatan yang terjadi pada saat pelaksanaan penelitian maupun penyusunan laporan. Untuk itu dengan segala keikhlasan hati, penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

2. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT, selaku Dosen Pembimbing 1 dan selaku Kepala Laboratorium Mekanika Teknik, yang dengan kesabarannya membimbing penyusun dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing 2, yang dengan ide-ide cemerlangnya membantu penyusun dalam mengatasi masalah-masalah yang terjadi dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Ir. HM. Samsudin, MT, selaku Dosen Tamu, yang dengan kerelaannya meluangkan waktu untuk menguji laporan tugas akhir ini.
6. Mas Aris, selaku Asisten Laboratorium Mekanika Teknik, yang telah membantu penyusun dalam melaksanakan percobaan di laboratorium.
7. Bapak dan Ibu tercinta di rumah, atas Do'a, kesabaran serta dorongan yang telah diberikan kepada ananda selama ini.
8. Kakak-kakakku tersayang, atas nasihat-nasihat yang menjadikan penyusun lebih percaya diri.
9. Teman-teman seperjuangan sipil angkatan 99, atas motivasinya selama ini.

Penyusun menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan. Untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif dalam pengembangan di masa yang akan datang. Penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa yang sedang melaksanakan Tugas Akhir dan pembaca pada umumnya.

Akhir kata semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua, sehingga kita sebagai hamba-Nya bisa mensyukuri nikmat yang telah diberikan-Nya. Menghadapi masa depan, kita dituntut harus dapat berkreasi untuk mencapai hal yang lebih baik dari apa yang telah kita peroleh sekarang. Amin

Wabillahittaufiq wal hidayah

Wassalamu'alaikum, Wr. Wb

Jogjakarta, Oktober 2003

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i	
HALAMAN PENGESAHAN	iii	
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv	
HALAMAN MOTTO.....	vi	
KATA PENGANTAR.....	vii	
DAFTAR ISI.....	x	
DAFTAR TABEL	xiii	
DAFTAR GAMBAR	xiv	
DAFTAR LAMPIRAN	xvii	
ABSTRAKSI	xviii	
BAB I PENDAHULUAN		
1.1 Latar Belakang	1	
1.2 Tujuan Penelitian.....	2	
1.3 Manfaat Penelitian.....	3	
1.4 Batasan Masalah	3	
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....		5
BAB III LANDASAN TEORI		
3.1 Pendahuluan	7	
3.2 Analisis Statis Tertentu	10	
3.3 Batang Tekan	12	
3.4 Batang Lentur	14	

3.5 Kombinasi Tarik-Lentur.....	15
3.6 Kombinasi Tekan-Lentur.....	16
3.7 Dukungan Lateral	18
3.8 Alat Sambung Las	19
3.9 Hubungan Momen dan Kelengkungan	22
3.10 Hubungan Beban-Deformasi	25
3.11 Kekakuan.....	26
3.12 Hipotesis	27

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian	28
4.2 Bahan dan Peralatan	29
4.2.1 Bahan	29
4.2.2 Peralatan	30
4.3 Model Benda Uji	34
4.4 Prosedur Penelitian	36
4.5 Pelaksanaan Penelitian	37
4.5.1 Pembuatan Benda Uji	37
4.5.2 Pengujian Pendahuluan	38
4.5.3 Persiapan Peralatan	39
4.5.4 Pengujian Benda Uji Struktur Rangka <i>Vierendeel</i>	42

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Uji Kuat Tarik Baja	43
5.2 Hasil Uji Kuat Geser Las	43

5.3 Hasil Uji Kuat Lentur Struktur Rangka <i>Vlerendeel</i>	44
5.3.1 Hubungan Beban-Deformasi	44
5.3.2 Grafik Hubungan Beban-Deformasi	47
5.3.3 Hubungan Momen-Kelengkungan.....	50
5.3.4 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan.....	53
5.4 Pembahasan Hasil Uji Kuat Tarik Baja	54
5.5 Pembahasan Hasil Uji Kuat Geser Las	55
5.6 Pembahasan Hasil Uji Kuat Lentur Rangka <i>Vierendeel</i>	55
5.6.1 Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Beban- Deformasi	55
5.6.2 Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Momen-Kelengkungan	57

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	62
6.2 Saran	63

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Daya Tahan Las Sudut yang Diijinkan	21
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	43
Tabel 5.2. Hubungan Beban-Deformasi Hasil Pengujian	44
Tabel 5.3 Hubungan Beban-Deformasi Hasil Pengujian	45
Tabel 5.4. Hubungan Beban-Deformasi Hasil Pengujian	45
Tabel 5.5 Hubungan Beban-Deformasi Hasil Pengujian	46
Tabel 5.6 Hubungan Momen-Kelengkungan	51
Tabel 5.7 Hubungan Momen-Kelengkungan	51
Tabel 5.8 Hubungan Momen-Kelengkungan	52
Tabel 5.9 Hubungan Momen-Kelengkungan	53
Tabel 5.10 Nilai Kekakuan ($\frac{P}{\Delta}$) keempat benda uji	56
Tabel 5.11 Nilai Faktor Kekakuan (EI) keempat benda uji	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.a. Peristiwa pembebanan pada rangka <i>Vierendeel</i>	7
Gambar 3.1 b. Diagram momen	7
Gambar 3.1 c. Diagram geser	7
Gambar 3.2.a. Gaya batang yang terjadi	9
Gambar 3.2.b. Potongan Melintang Rangka <i>Vierendeel</i>	9
Gambar 3.3. Free Body	11
Gambar 3.4. Momen pada perpotongan batang	12
Gambar 3.5. Distribusi Tegangan Lentur pada Balok Penampang I	14
Gambar 3.6.a Balok-Kolom	17
Gambar 3.6.b Distribusi Tegangan pada Penampang Balok-Kolom	17
Gambar 3.7.a Ukuran las maksimum untuk $t < 1/4''(6.4 \text{ mm})$	22
Gambar 3.7.b Ukuran las maksimum untuk $t > 1/4''(6.4 \text{ mm})$	22
Gambar 3.8 Momen yang terjadi pada struktur rangka <i>Vierendeel</i>	22
Gambar3.9.a.Diagram Hubungan Beban-Deformasi dan Momen-Kelengkngan..	23
Gambar 3.9.b. Grafik hubungan Momen-Kelengkungan ($M-\phi$)	23
Gambar 3.10 Grafik hubungan beban (P) – deformasi (Δ).....	25
Gambar 3.11 Kekakuan dari grafik beban-deformasi.....	26
Gambar 4.1. Flowchart metodologi penelitian	28
Gambar 4.2. Sketsa profil INP	29
Gambar 4.3 Sketsa profil UNP	29
Gambar 4.4 Universal Testing Material (UTM)	30

Gambar 5.6. Potongan Melintang Rangka Vierendeel	60
Gambar 5.7. Grafik Hubungan M_n/M_p dengan rasio a/h	60

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Kartu Peserta Tugas Akhir
- Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja dan Gesr Las
- Lampiran 3 Hasil Pengujian Kuat Lentur Rangka *Vierendeel*
- Lampiran 4 Perhitungan Rencana
- Lampiran 5 Hasil Analisis SAP 2000
- Lampiran 6 Foto-foto Pengujian Struktur Rangka *Vierendel*

ABSTRAKSI

Perencanaan struktur bangunan sipil perlu memperhatikan aspek estetika. Salah satu struktur rangka yang mempunyai nilai estetika dan menciptakan struktur fungsional adalah rangka *Vierendeel*. Rangka *Vierendeel* merupakan modifikasi dari balok badan terbuka tanpa batang diagonal, terdiri dari batang horizontal atas dan bawah yang dihubungkan oleh batang-batang transversal. Rangka *Vierendeel* digunakan apabila dikehendaki batang diagonal ditiadakan sehingga struktur nampak lebih bersih. Peniadaan batang diagonal dimaksudkan agar lubang antara batang-batang transversal dapat dimanfaatkan untuk pencahayaan dari samping atau ventilasi udara sehingga dapat menambah nilai estetika suatu bangunan. Berbeda dengan rangka pada umumnya yang mempunyai bentuk segitiga dengan joint fleksibel, rangka *Vierendeel* berbentuk segiempat, yang merupakan bentuk yang tidak stabil. Oleh karena itu sambungan pada pertemuan antara batang horizontal dan transversal harus kaku, karena pada joint akan bekerja gaya geser dan momen.

Uji eksperimental balok *Vierendeel* dilakukan guna menggali informasi tentang perilaku rangka *Vierendeel*, yaitu berupa hubungan beban (P)- deformasi (Δ), hubungan momen (M)-kelengkungan (Φ), kekakuan rangka dan memperoleh momen maksimum yang mampu dipikul oleh rangka dengan berbagai aspek rasio antara batang transversal dengan tingginya (a/h), sehingga diharapkan penggunaan rangka *Vierendeel* akan lebih populer. Benda uji menggunakan empat buah variasi rasio a/h yang antara lain besarnya 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2, dengan tinggi dan panjang bentang tetap. Pembebanan yang digunakan pada setiap sepertiga bentang adalah beban titik statis. Benda uji rangka *Vierendeel* menggunakan profil INP sebagai batang horizontal dan profil UNP sebagai batang transversal.

Hasil eksperimental menunjukkan perbedaan struktur rangka *Vierendeel* dengan variasi rasio antara jarak batang transversal (a) dan tingginya (h). Kapasitas rangka *Vierendeel* akan semakin kecil apabila rasio a/h semakin besar, dan juga sebaliknya, tetapi pada rasio a/h tertentu kapasitas rangka *Vierendeel* akan tetap. Rangka *Vierendeel* dengan rasio $a/h = 2$ nilai kekakuannya jauh lebih kecil dengan rangka yang berasio $a/h = 0,5$. Secara umum dapat dinyatakan semakin pendek jarak antar batang transversal maka nilai kekakuan rangka *Vierendeel* semakin tinggi. Tekuk puntir pada rangka *Vierendeel* dapat dicegah dengan penambahan dukungan lateral pada batang tepi atas. Kerusakan rangka *Vierendeel* yang berupa tekuk lokal tidak ditemukan, karena dalam uji eksperimental ini pada rangka terjadi lentur murni. Perhitungan rencana dari struktur rangka *Vierendeel* secara teoritis akan lebih mudah dengan menggunakan pendekatan sebagai balok sederhana yang menerima beban desak dan momen.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagian negara-negara di Eropa sudah banyak yang menggunakan rangka *Vierendeel* sebagai komponen struktur bangunan bertingkat banyak, selain itu rangka ini juga digunakan untuk struktur jembatan. Rangka *Vierendeel* merupakan modifikasi dari balok badan terbuka yang terdiri dari batang tepi atas dan bawah yang dihubungkan dengan batang transversal tanpa batang diagonal dengan joint kaku. Rangka *Vierendeel* digunakan apabila dikehendaki peniadaan batang diagonal, sehingga struktur nampak lebih bersih. Penggunaan rangka *Vierendeel* yang lainnya adalah sebagai bagian dari struktur atas yang memerlukan pencahayaan dari samping. Keunikan dari rangka *Vierendeel* adalah tidak terdapat batang diagonal, sehingga berbentuk segiempat yang merupakan bentuk struktur yang tidak stabil. Berbeda dengan rangka batang pada umumnya yang mempunyai joint fleksibel yang hanya mampu menahan gaya geser, pada rangka *Vierendeel* joint harus kaku, sehingga mampu menahan gaya geser dan momen yang terjadi. Dalam penggunaannya, rangka *Vierendeel* dapat dipandang sebagai struktur balok terbuka, celah-celah yang ada dapat dipakai untuk ventilasi udara dan material tembus cahaya.

Kekakuan rangka *Vierendeel* akan tercipta apabila sambungan antara batang transversal dan batang horisontal kaku, sehingga pemilihan alat sambung yang tepat digunakan untuk rangka *Vierendeel* adalah sambungan las. Sambungan las dipilih karena dianggap tidak mengalami momen, rotasi dan pergeseran yang sangat berarti.

Penggunaan rangka *Vierendeel* masih belum populer, hal ini disebabkan karena besar kemungkinan belum banyak informasi tentang perilaku rangka *Vierendeel*, padahal rangka ini bisa digunakan sebagai struktur atas dari suatu bangunan yang mempunyai estetika cukup bagus, sehingga perlu diadakan percobaan eksperimental untuk mengetahui perilaku rangka *Vierendeel*. Pemilihan rangka *Vierendeel* ditinjau dari beberapa faktor diantaranya adalah faktor kekuatan bahan, kekakuan struktur, dan faktor ekonomis.

1.2 Tujuan Penelitian

Mempelajari perilaku rangka *Vierendeel* yang berupa rangkaian profil INP sebagai batang tepi horisontal dan profil UNP sebagai batang transversal dengan variasi jarak batang transversal, yaitu :

1. Memperoleh kurva hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$) dan momen kelengkungan ($M-\Phi$).
2. Membandingkan kekakuan rangka *Vierendeel* dengan jarak batang transversal bervariasi.
3. Memperoleh momen maksimum yang mampu dipikul oleh rangka *Vierendeel* dengan jarak batang transversal bervariasi.

4. Memperoleh duktilitas rangka *Vierendeel* dengan jarak batang transversal bervariasi.
5. Membandingkan metode pendekatan untuk menghitung beban yang mampu dipikul oleh rangka *Vierendeel* secara teoritis.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai salah satu pertimbangan dalam perencanaan struktur rangka *Vierendeel* menggunakan kombinasi profil INP dan UNP.
2. Mendapatkan data permodelan dan perencanaan yang lebih akurat pada perancangan struktur rangka *Vierendeel* menggunakan kombinasi profil INP dan profil UNP.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini yang diteliti adalah sambungan pada rangka *Vierendeel* dengan menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Struktur rangka *Vierendeel* disusun dari profil INP 100 x 50 sebagai batang tepi dan profil UNP 50 x 38 sebagai batang pengisi.
2. Rasio antara panjang bentang (L) dan tinggi (h) konstan.
3. Rasio jarak batang pengisi (a) dan tinggi (h) bervariasi.
4. Rangka *Vierendeel* ditumpu sendi dan rol dengan pembebanan dua titik pada setiap jarak sepertiga bentang yang diberi dukungan lateral agar tidak terjadi tekuk puntir.

5. Sambungan batang tepi dengan batang pengisi dengan menggunakan sambungan las.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Rangka *Vierendeel* merupakan modifikasi dari balok *girder* badan terbuka (*open web girder*) dengan join kaku (*rigid joints*). Terdiri dari sebuah gelagar (*chord*) atas dan sebuah gelagar bawah dengan gabungan batang vertikal diantara lubangnya (*booms*). (*Steel Designers' Manual*)

Rangka *Vierendeel* sebenarnya bukanlah rangka dalam pengertian umum dan membutuhkan penggunaan momen perlawanan pada *joint*. Beban didukung oleh rata-rata dari momen tekuk pada batang pendek yang berat. Meskipun analisis dan desain sungguh sulit, struktur ini merupakan struktur dengan efisiensi yang baik. (*Jack C. McCormac, 1981*)

Rangka *Vierendeel* adalah struktur statis tak tentu, tetapi dalam menganalisisnya dapat disederhanakan menjadi struktur statis tertentu jika ada beberapa pin yang dimasukkan di setiap panel dan karakteristik perilaku struktur dipelihara oleh penempatan pin pada pertengahan bentang dari gelagar horisontal dan pertengahan tinggi dari batang vertikal. (*Steel Designers' Manual*)

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

Kerangka kaku (*rigid frame*) adalah struktur kerangka dimana batang-batang komponen bertemu pada simpul yang kaku, seperti yang dilambangkan oleh simpul-simpul yang dilas pada baja structural atau simpul-simpul yang dicor secara monolit pada beton bertulang. (*Chu-Kia Wang, Ph.D, 1985*)

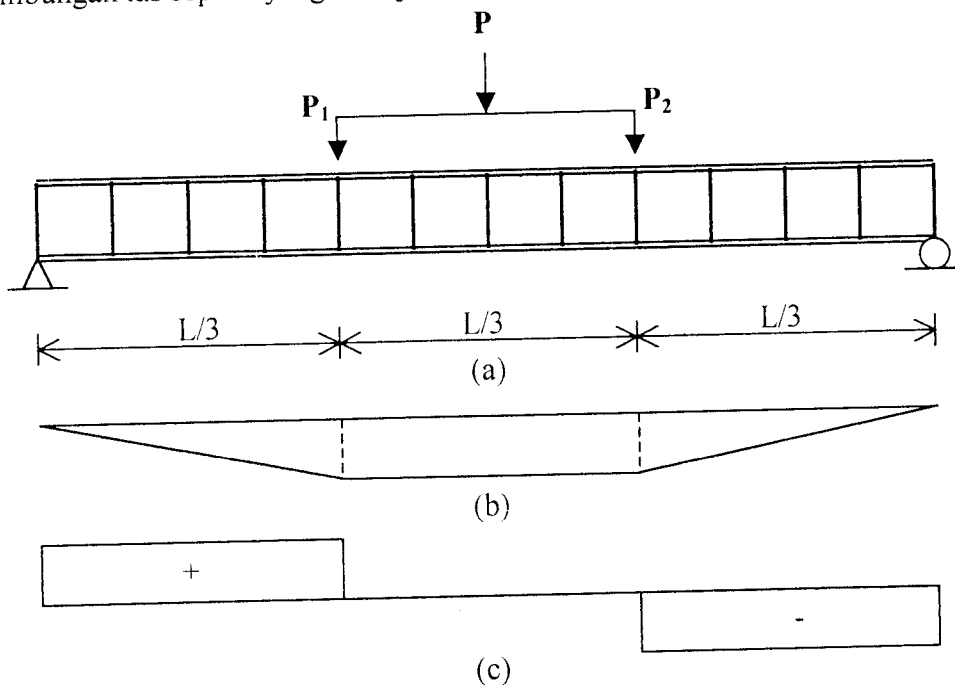
Dalam mendesain kerangka yang kaku, biasanya mengasumsikan bahwa; Balok dan kolom mengalami lendutan (defleksi), sedangkan sambungan akan mengalami rotasi, tetapi dalam sambungan tersebut, tidak terjadi pergeseran yang cukup signifikan. Tentunya sambungan mengalami beberapa pergeseran (tidak dipedulikan adanya rotasi). Bagaimanapun juga, pada jarak tertentu dimana pergeseran ini terjadi adalah kecil jika dibandingkan dengan panjang balok dan kolom. Maka dari itu pergeseran dalam join mempunyai pengaruh yang kecil pada distribusi momen akhir rangka. (*Ower W. Blodgett, 1966*)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pendahuluan

Rangka *Vierendeel* merupakan balok badan terbuka dengan joint kaku yaitu pada pertemuan batang transversal dan batang longitudinal tanpa batang diagonal. Rangka *Vierendeel* yang ditumpu sederhana atau sendi rol terdiri dari batang atas dan bawah yang dihubungkan dengan batang transversal menggunakan sambungan las seperti yang ditunjukkan pada Gambar (3.1.a)

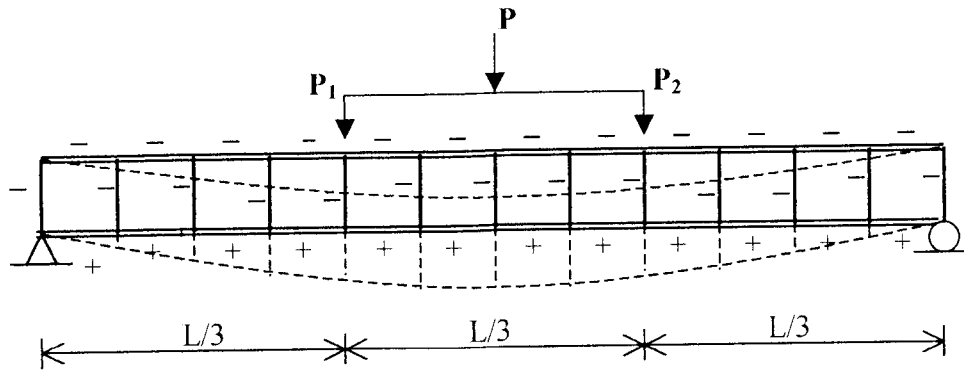


Gambar 3.1. (a). Peristiwa pembebanan pada rangka *Vierendeel*
(b). Diagram momen
(c). Diagram geser

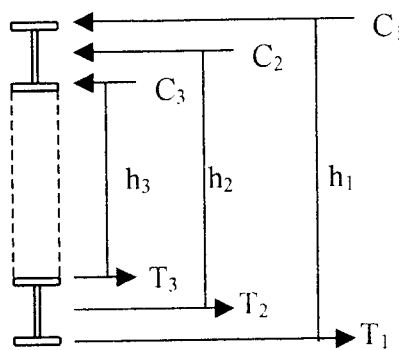
Bila struktur tersebut menerima beban transversal yang tegak lurus dengan sumbu longitudinal maka dalam struktur akan terjadi aksi internal berupa momen (3.1.b) dan gaya geser seperti pada gambar (3.1.c), hal ini mengakibatkan terjadinya lentur pada balok. Sepertiga bentang tengah dimana tidak terjadi gaya geser akan menerima lentur murni sedangkan sepertiga bentang yang lain menerima lentur dan gaya geser. Pemberian beban lentur diatur sedemikian rupa sehingga beban lentur yang diterimanya adalah beban lentur searah (lentur yang terjadi pada satu bidang). Muatan biasanya dianggap bekerja pada *shear-centre* (titik pusat geser), sehingga torsi dapat diabaikan (*Padosbajayo, 1994*).

Dalam proses analisis, yang perlu ditinjau adalah masalah momen. Nilai momen yang paling kritis akan sangat menentukan dalam perhitungan. Besar momen maksimum (M_{maks}) ini terjadi pada bagian elemen yang tidak mengalami gaya geser (V_0).

Jika ditinjau dari gaya-gaya yang bekerja, batang tepi atas pada struktur tersebut mengalami gaya tekan dan lentur, pada batang transversal akan mengalami gaya tekan, stabilitas struktur tekan perlu mendapat perhatian karena sangat peka terhadap faktor-faktor yang dapat mengakibatkan tekuk (buckling), sedangkan pada batang bawah mengalami gaya tarik dan lentur seperti gambar (3.2.a)



Gambar 3.2.a. Gaya batang yang terjadi



Gambar 3.2.b. Potongan Melintang Rangka *Vierendeel*

Mengacu pada gambar (3.2.b), hubungan antara momen nominal balok *Vierendeel* adalah :

$$M = C_1 \cdot h_1 + C_2 \cdot h_2 + C_3 \cdot h_3 \dots \dots \dots (3.1)$$

Yang dapat ditulis kembali dalam bentuk

$$M = Pcr \cdot h \dots \dots \dots (3.2)$$

Batang tekan dari profil direncanakan dengan prosedur yang terdapat pada syarat dasar AISC-1.9, menetapkan bahwa tegangan tekuk kritis tidak boleh lebih kecil dari tegangan leleh pada elemen plat. Dengan kata lain, tekuk dicegah sebelum tegangan rata-rata sebesar F_y tercapai dengan menerapkan batasan dasar; tekuk pada tegangan yang lebih rendah dapat ditinjau dengan menggunakan

lampiran C, AISC. Pada keadaan plastis nilai F_{cr} akan sama dengan nilai tegangan lelehnya (F_y).

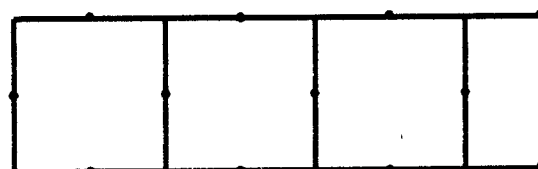
Gaya tekan $C > P_{cr}$ diperoleh berdasarkan tegangan kritis yang terjadi (F_y) dikalikan dengan luas penampang (A), yaitu :

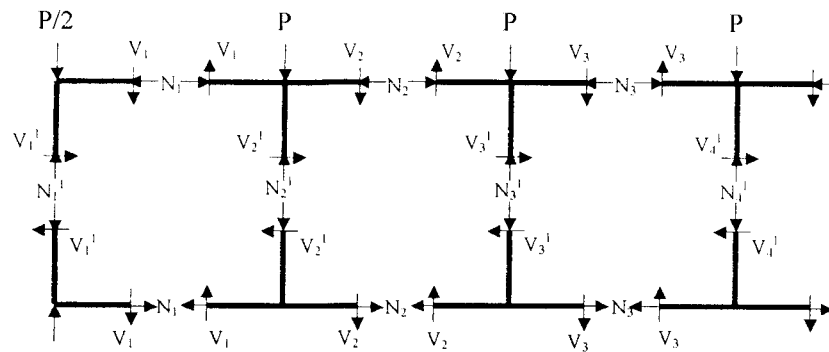
$$P_{cr} = F_y \cdot A \dots\dots\dots(3.3)$$

Dari persamaan (3.2) dapat diketahui bahwa semakin besar nilai h, maka momen nominalnya akan semakin besar, momen internal pada struktur rangka batang tersebut merupakan penjumlahan dari kopel gaya.

3.2 Analisis Statis Tertentu

Pada rangka yang simetris, perhitungan analisis dapat dilakukan hanya untuk setengah bentang. Cara menganalisisnya dengan mengasumsikan adanya titik belok (*point of contrafracture*) pada pertengahan batang transversal dan batang horizontal. Rangka dibagi menjadi *free body* seperti gambar (3.3) untuk memperoleh gaya-gaya dalam yang tidak diketahui. Gaya-gaya dalam yang tidak diketahui, diperlihatkan pada *free body*, dipecahkan dengan menggunakan gaya-gaya batang internal yang telah diketahui sebelumnya. (*Wolfgang Schueller,1989*)





Gambar 3.3. Free Body

Free Body ditentukan dengan memotong rangka ditengah-tengah batang sehingga hanya terdapat gaya-gaya geser dan aksial. Kesetimbangan rotasi disekitar simpul menghasilkan gaya batang aksial :

$$\sum M = 0 \dots\dots\dots(3.4)$$

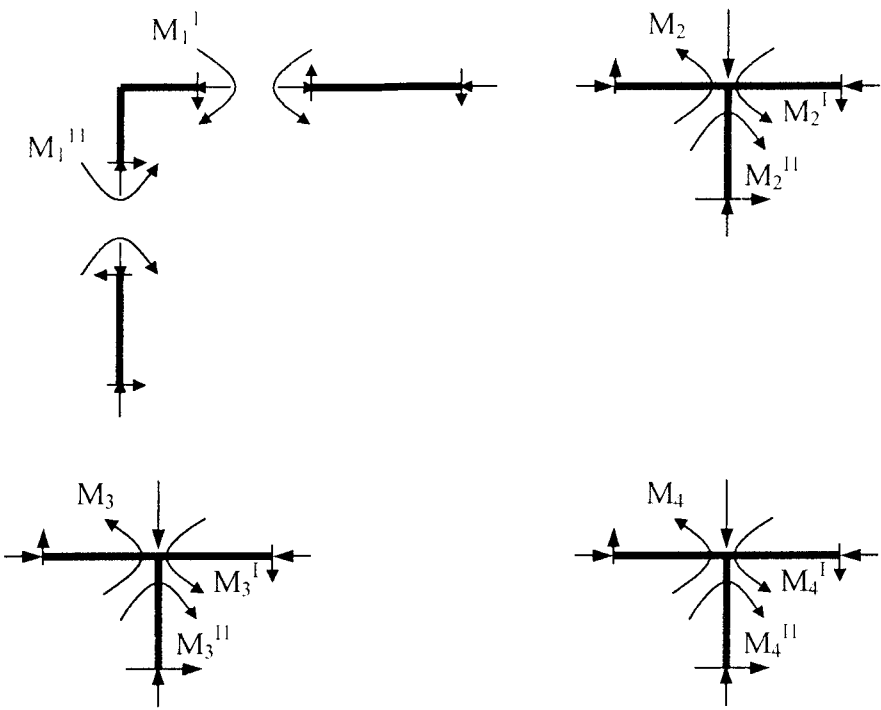
Kesetimbangan horizontal menghasilkan gaya aksial di dalam batang bawah dan geser kolom :

$$\sum H = 0 \dots\dots\dots(3.5)$$

Kesetimbangan vertikal menghasilkan gaya geser batang dan gaya aksial kolom :

$$\sum V = 0 \dots\dots\dots(3.6)$$

Momen maksimum pada perpotongan antara batang dan kolom dapat diketahui dengan kesetimbangan rotasi pada titik tersebut yang ditunjukkan pada gambar (3.4).



Gambar 3.4. Momen pada perpotongan batang

3.3 Batang Tekan

Batang tekan adalah batang-batang struktural yang mengalami gaya tekan aksial. Pada rangka *Vierendeel*, batang yang mengalami gaya tekan adalah batang tepi atas dan batang pengisi.

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

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \dots\dots\dots(3.7)$$

bila dinyatakan dalam tegangan tekan rata-rata dengan Inersia, $I = A_g r^2$ diperoleh

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_g} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \dots\dots\dots(3.8)$$

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

Kelangsingan batas (C_c) menurut AISC ditentukan dengan persamaan :

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \dots\dots\dots(3.9)$$

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

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

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \dots\dots\dots(3.10)$$

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

$$F_{cr} = F_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan

KL/r = angka kelangsingan efektif

K = faktor panjang efektif

L = panjang kolom

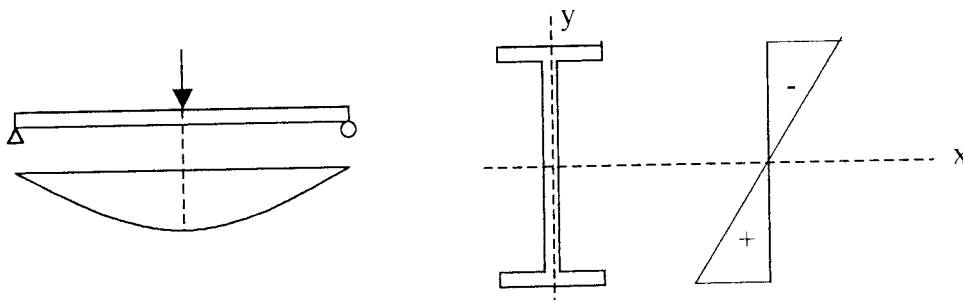
C_c = rasio kelangsingan kolom untuk kondisi tekuk elastis dan tekuk inelastis

F_y = tegangan leleh bahan

E = modulus elastisitas

3.4 Batang Lentur

Batang lentur sering didefinisikan sebagai balok, adalah elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Kekuatan lentur terhadap sumbu kuat bahan menjadi pokok perhatian yang penting, sehingga profil-profil yang dipilih umumnya adalah yang berbentuk I. Penampang balok akibat momen akan mengalami lentur seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Distribusi Tegangan Lentur pada Balok Penampang I

Dalam keadaan elastis distribusi tegangan lentur dinyatakan

$$\sigma = f_b = \pm \frac{M \cdot y}{I} \dots \dots \dots (3.12)$$

Dimana (I/y) disebut juga sebagai modulus potongan (S), sehingga persamaan

3.12 menjadi

$$f_b = \pm \frac{M}{S} \dots \dots \dots (3.13)$$

dengan :

f_b = tegangan pada serat yang ditinjau

M = momen lentur

Y = jarak serat yang ditinjau ke garis netral

I = momen inersia dari penampang

Pada balok selain mengalami momen lentur juga akan mengalami gaya geser. Dari ilmu kekuatan bahan, tegangan geser yang ada pada balok dapat ditentukan dari rumus geser umum :

$$f_v = \frac{VQ}{It} \dots\dots\dots(3.14)$$

dengan :

V = gaya geser vertikal pada satu penampang

Q = statis momen dari suatu segmen penampang terhadap garis netral

t = lebar dari penampang dari yang sedang diperiksa tegangan gesernya

3.5 Kombinasi Tarik-Lentur

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. Batang tarik merupakan batang yang bersifat efisien karena tidak menyebabkan tekuk dan tegangannya bersifat merata. Untuk menghindari bahaya yang timbul akibat batang yang terlalu langsing maka batang harus didesain cukup kaku, dengan memperlihatkan ketentuan mengenai kelangsingan batang, maka rasio kerampingannya :

$$\frac{L}{r} \leq 300 \dots\dots\dots(3.15)$$

dengan :

L = panjang batang

r = radius girasi terkecil ($r = \sqrt{I/A}$)

Kekuatan desain ϕT_n yang berdasarkan LRFD pada kriteria leleh (pelelehan pada penampang bruto) adalah

$$\phi T_n = \phi F_y A_g = 0.9 F_y A_g \quad \dots\dots\dots(3.16)$$

Kriteria retakan dari luas bersih efektif adalah

$$\phi T_n = \phi F_u A_g = 0.75 F_u A_g \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

dengan :

ϕ_t = factor resistensi tarik

T_n = kekuatan nominal batang tarik

F_y = tegangan leleh

F_u = tegangan tarik batas

A_g = luas penampang bruto

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan lentur pada balok :

$$\sigma = f_b = \pm \frac{M.y}{I} \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana (I/y) disebut juga sebagai modulus potongan (S), sehingga persamaan

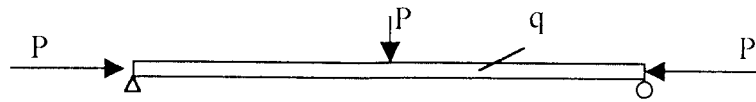
3.18 dapat ditulis dalam bentuk :

$$f_b = \pm \frac{M}{S} \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

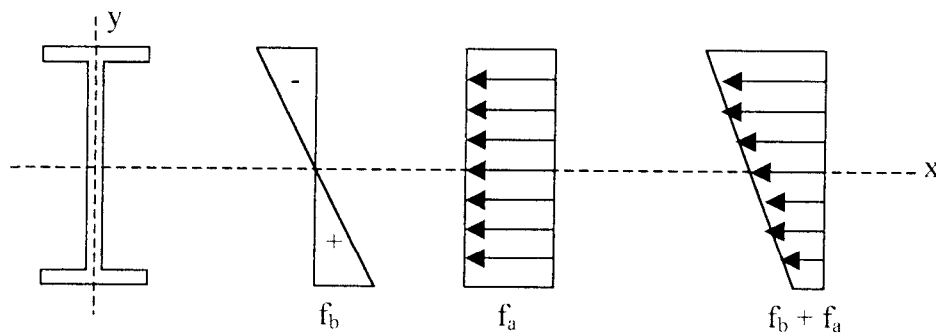
3.6 Kombinasi Tekan-Lentur

Suatu batang yang menderita beban tekan aksial dan momen lentur secara bersamaan dinamakan batang dengan kombinasi tekan-Lentur. Akibat momen lentur batang tersebut berperilaku sebagai balok, dilain pihak akibat adanya desak

aksial menjadikan batang tersebut berperilaku sebagai kolom (Padosbajayo, 1992), seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6.a



Gambar 3.6.a Balok-Kolom



Gambar 3.6.b Distribusi Tegangan pada Penampang Balok-Kolom

Mengacu gambar 3.6.b, distribusi tegangan akibat momen lentur dan gaya aksial menyebabkan tegangan pada penampang yang besarnya

- akibat momen lentur

$$f_b = \frac{M \cdot y}{I} \dots\dots\dots(3.20)$$

- akibat gaya aksial

$$f_a = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.21)$$

Gabungan dari kedua tegangan tersebut disyaratkan tidak boleh lebih dari tegangan ijin profil.

$$F_a + f_b \leq \text{tegangan ijin}$$

Dalam persamaan lain dapat dituliskan sebagai

$$\frac{f_a}{I'_a} + \frac{f_{bx}}{I'_{bx}} \leq 1,00 \dots\dots\dots(3.22)$$

Persamaan 3.22 menginformasikan bahwa momen lentur dipandang satu arah yaitu hanya pada arah x, karena momen lateral arah y tidak diperhitungkan sehingga diperlukan dukungan lateral pada batang yang menerima gaya tekan.

3.7 Dukungan Lateral

Pada desain struktur, momen puntir (torsion) kadangkala menjadi gaya yang signifikan, oleh sebab itu, harus dibuat provisi bagi momen ini. Puntiran merupakan efek sekunder-kendati tidak mesti kecil-yang harus diperhitungkan dalam kombinasi dengan berbagai tipe perilaku lainnya. (*Charles G. Salmon & John E. Johnson*)

Besarnya jarak antara pengaku lateral agar tidak terjadi puntir dihitung berdasarkan persamaan (3.23)

$$Lb < Lp$$

$$Lb = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(3.23)$$

dengan :

Lb = jarak antara pengaku lateral

Lp = jarak ijin antara pengaku lateral

r_y = jari-jari girasi

E = modulus elastisitas penampang

F_y = kuat leleh baja

Jarak antara dukungan lateral (Lp) pada persamaan diatas merupakan syarat sehingga pada pelaksanaannya telah diperhitungkan dengan angka aman.

3.8 Alat Sambung Las

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

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

1. Pengelasan busur nyala logam terlindung.

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

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

- a. menghasilkan gas pelindung untuk mencegah masuknya udara dan membuat busur stabil
- b. memberikan bahan lain, seperti unsure pengurai oksida, untuk memperhalus struktur butiran pada logam las,

- c. menghasilkan lapisan terak dan memadatkan las untuk melindungi dari oksigen dan nitrogen dalam udara serta memperlambat pendinginan.

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

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

2. Jenis las dan sambungan las

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

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

Kekuatan Nominal Las Sudut

Kekuatan desain per satuan panjang las sudut didasarkan rensi geser melalui leher las sebagai berikut,

$$\phi R_{nw} = 0.75 t_e (0.6 F_{EXX}) \quad \text{las sudut} \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

dan tidak boleh kurang dari kekuatan patahan (rupture) geser dan logam dasarnya

$$\phi R_{mn} = 0.75 t_e (0.6 F_U) \quad \text{logam dasar} \quad \dots\dots\dots(3.25)$$

dimana t_e adalah dimensi leher efektif yang ditunjukkan pada gambar 3.7a dan 3.7.b,

untuk ukuran leher yang sama maka :

$$t_e = 0.707a \quad \dots\dots\dots(3.26)$$

untuk ukuran leher yang tidak sama maka

$$t_e = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad \dots\dots\dots(3.27)$$

dimana t_e = dimensi leher efektif

F_{EXX} = kuat tarik material elektroda

t = tebal material dasar di sepanjang las

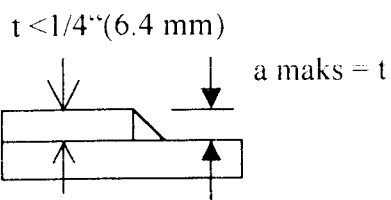
F_U = kuat tarik maksimum logam dasar

ϕ = factor resistensi las sudut = 0.75

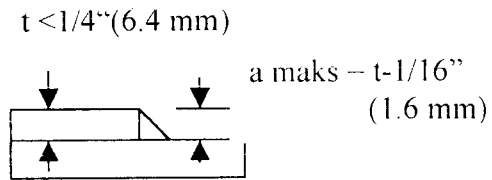
AISC menyatakan daya tahan las sudut yang diijinkan E60XX dalam desain untuk las sudut seperti pada tabel berikut ini

Tabel 3.1 Daya Tahan Las Sudut yang Diijinkan, kip/inci

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



Gambar 3.7.a Ukuran las maksimum untuk $t < 1/4'' (6.4 \text{ mm})$

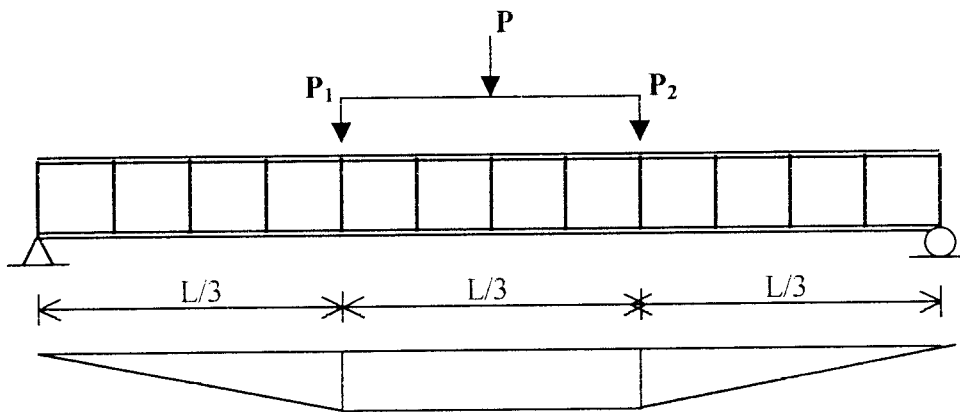


Gambar 3.7.b Ukuran las maksimum untuk $t > 1/4'' (6.4 \text{ mm})$

3.9 Hubungan Momen dan Kelengkungan

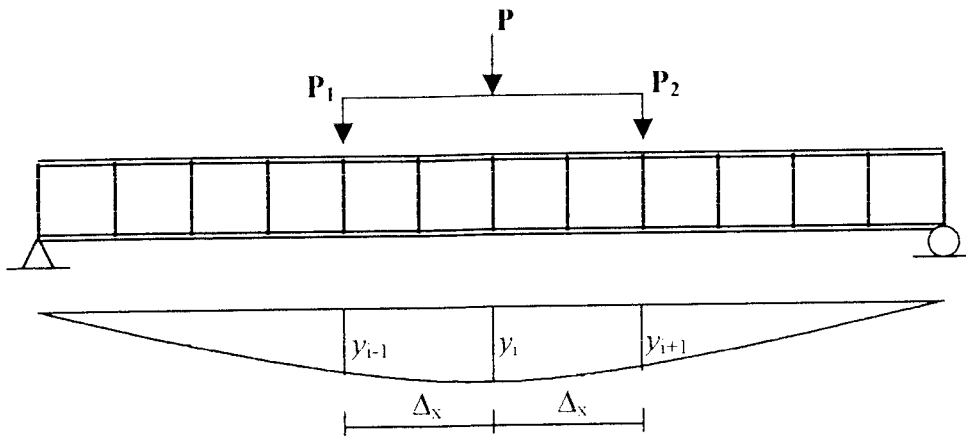
Pemberian beban arah transversal terpusat (P) pada struktur rangka *Vierendeel* seperti terlihat pada gambar 3.8 akan mengakibatkan terjadinya momen maksimum sebesar.

$$M = \frac{1}{6} PL \dots\dots\dots(3.28)$$

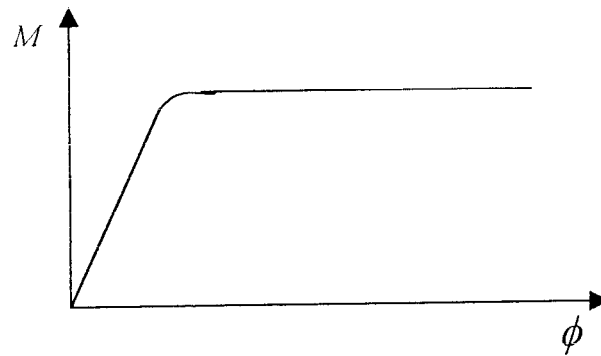


Gambar 3.8 Momen yang terjadi pada struktur rangka *Vierendeel*

Berdasarkan beban tersebut akan diperoleh momen yang merupakan hubungan antara beban dan jaraknya juga kelengkungan yang akan dijelaskan berdasarkan diagram hubungan beban-deformasi dan momen-kelengkungan.



Gambar 3.9.a. Diagram hubungan beban-deformasi dan momem-kelengkungan



Gambar 3.9.b. Grafik hubungan Momen-Kelengkungan ($M - \phi$)

Menurut *Fatkhurrahman N* (1999), dari pengujian kuat lentur diperoleh defleksi pada titik-titik diskrit. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Difference* dengan memanfaatkan tiga titik diskrit yang berurutan. Mengacu pada Gambar (3.9.a), dy/dx didekati dengan persamaan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i-1} - y_{i+1}}{2\Delta_x} \dots\dots\dots (3.29)$$

Turunan kedua persamaan 3.29 adalah

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots (3.30)$$

Karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka nilai dari

$$\frac{d}{dx}(2\Delta_x) = 0 \dots\dots\dots(3.31)$$

Sehingga persamaan 3.29 menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx} \left(\frac{y_{i+2} - y_i}{(2\Delta_x)} - \frac{y_i - y_{i-2}}{(2\Delta_x)} \right)}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.32)$$

Selanjutnya dari persamaan 3.32 diperoleh

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.33)$$

Kemudian persamaan 3.33 disederhanakan, menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.34)$$

persamaan 3.34 menunjukkan bahwa kelengkungan dapat dicari dengan pendekatan tiga titik yang berurutan.

Dimana nilai $\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI}$

Sehingga persamaan kelengkungan dapat dicari dengan rumus :

$$\phi = \frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots(3.35)$$

Karena $\frac{dy}{dx}$ kecil maka dengan pendekatan metode *central difference* $\frac{dy}{dx}$

didekatkan dengan nol, sehingga didapat kelengkungan dengan rumus

$$\phi = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots(3.36)$$

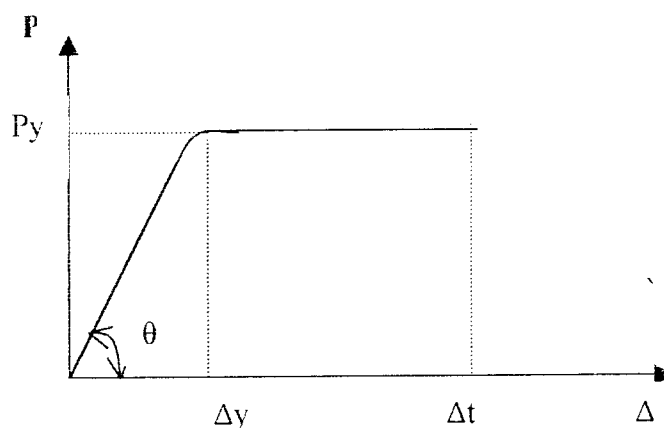
Dari persamaan 3.36, maka dapat dicari faktor kekakuan (I/I) setelah momen (M) dan kelengkungan (ϕ) diketahui.

3.10 Hubungan Beban-Deformasi

Schodeck (1991), mengemukakan bahwa kekakuan suatu struktur (k) didefinisikan sebagai rasio beban dan deformasi, yang dinyatakan dengan :

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(3.37)$$

Tampak bahwa kekakuan berbanding terbalik dengan lendutan (Δ). Apabila suatu struktur diberi beban aksial (P), maka akan diketahui lendutan (Δ) yang terjadi, sehingga kekakuan (k) dapat dicari. Hubungan beban dan deformasi untuk berbagai macam struktur ditunjukkan oleh Gambar 3.8.



Gambar 3.10. Grafik hubungan beban (P) – deformasi (Δ)

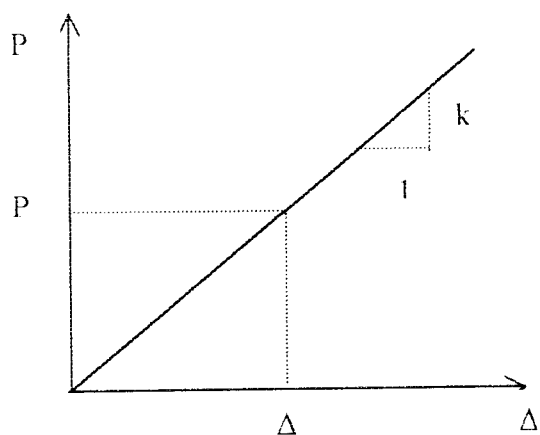
Pada Gambar 3.10 terlihat bahwa kekakuan struktur nampak linier sampai pada beban (P_y). Selanjutnya struktur hanya mampu menerima beban konstan sedangkan lendutan yang terjadi terus bertambah sampai struktur tersebut hancur. Dari grafik hubungan beban dan lendutan akan membentuk sudut sebesar θ , dimana :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(3.38)$$

3.11 Kekakuan

Menurut *Gere dan Timoshenco*, 1985, kekakuan (k) didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu satuan deformasi. Dengan memperlihatkan gambar, dapat dilihat bahwa beban P yang bekerja pada struktur dapat menyebabkan terjadinya deformasi Δ . Kemiringan dari lengkung yang dihasilkan tersebut sebagai kekakuan yang dirumuskan

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(3.39)$$

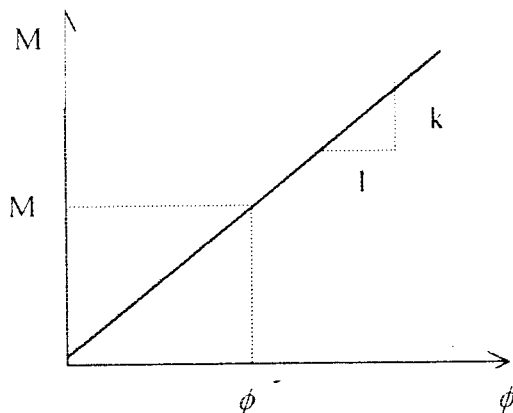


Gambar 3.11 Kekakuan dari grafik beban-deformasi

Sedangkan kekakuan lentur EI didefinisikan sebagai momen per satuan unit kelengkungan yang dirumuskan sebagai

$$EI = \frac{M}{\Phi} \dots\dots\dots(3.40)$$

Kekakuan lentur ini didapat dari grafik hubungan momen-kelengkungan yang ditunjukkan oleh gambar 3.10



Gambar 3.10 Kekakuan dari grafik momen-kelengkungan

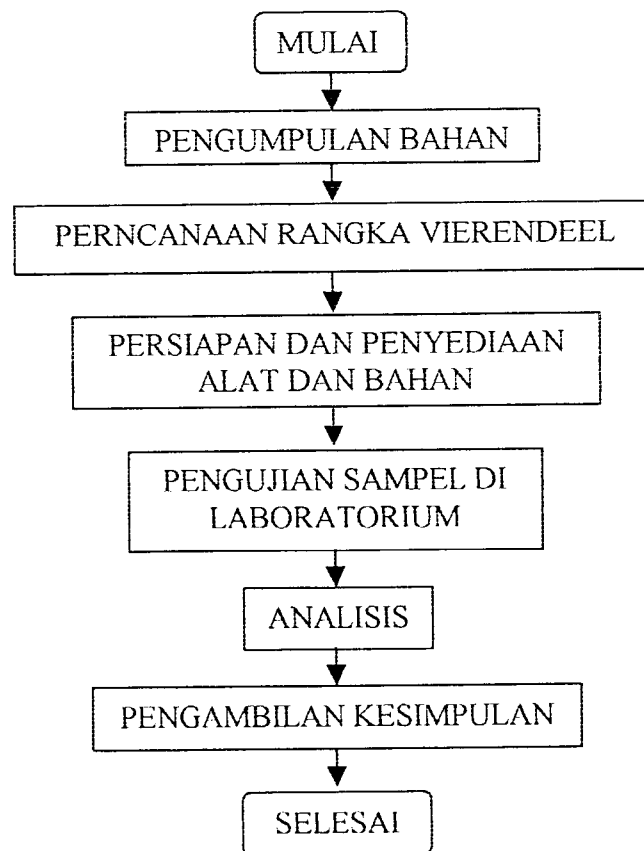
3.12 Hipotesis

Hipotesis yang dapat diambil dari uraian landasan teori, bahwa aspek rasio a/h yang semakin kecil, kekuatan rangka *Vierendeel* akan semakin besar dan kekakuannya akan semakin tinggi, sehingga gaya-gaya luar yang mampu dipikul oleh struktur akan semakin besar. Jarak batang transversal yang semakin rapat akan mengakibatkan struktur mempunyai berat sendiri yang besar, sehingga lendutan yang terjadi besarnya tidak jauh berbeda dengan struktur dengan jarak pengaku yang besar, tetapi struktur akan lebih kaku dan momen yang mampu didukung akan semakin besar.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah urutan pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Prosedur penelitian seperti pada flowchart gambar 4.1. dibawah ini :



Gambar 4.1. Flowchart metodologi penelitian

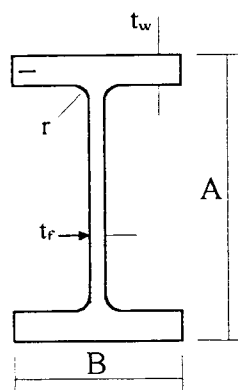
4.2 Bahan dan Peralatan

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

4.2.1 Bahan

a. Baja Profil

Baja profil yang digunakan adalah baja profil INP 100x50 mm dan profil UNP 50x38 mm



Keterangan :

$$A = 100 \text{ mm}$$

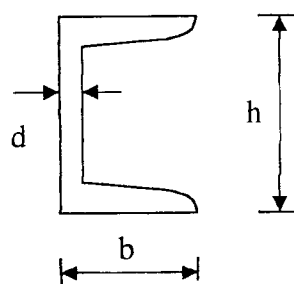
$$B = 50 \text{ mm}$$

$$t_w = 4.5 \text{ mm}$$

$$t_f = 6.8 \text{ mm}$$

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

Gambar 4.2. Sketsa profil INP



$$b = 38 \text{ mm}$$

$$h = 50 \text{ mm}$$

$$d = 5 \text{ mm}$$

Gambar 4.3 Sketsa profil UNP

b. Las

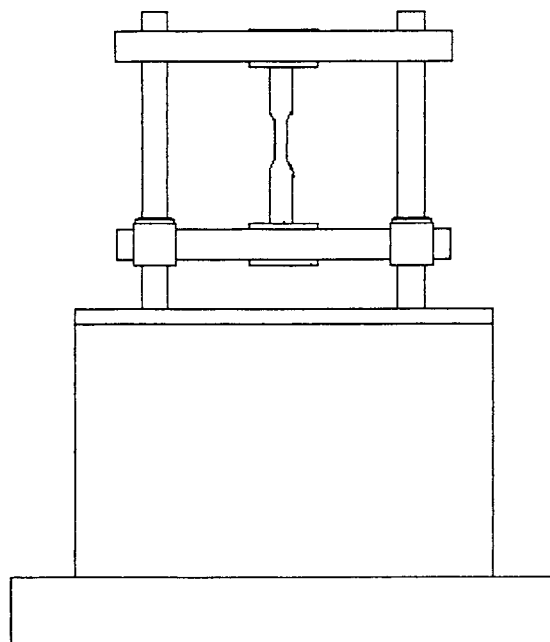
Sambungan las menggunakan Elektroda E70XX dengan kekuatan tarik maksimum $F_u = 70 \text{ Ksi} = 485 \text{ Mpa}$

4.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

a. Mesin Uji Tarik Baja

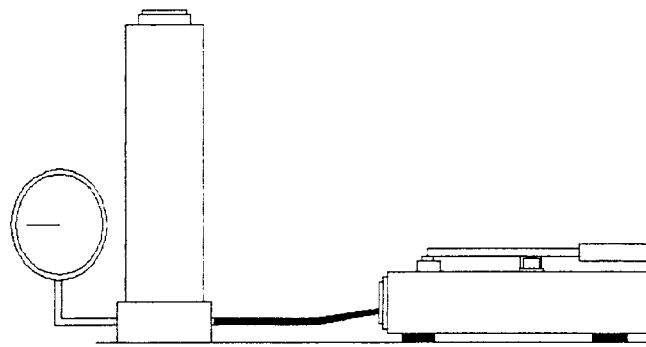
Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Pada penelitian ini menggunakan UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM) Merk SHIMATSU Type UMH 30, kapasitas 30 Ton. Seperti pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Universal Testing Material (UTM)

b. Hydraulic Jack

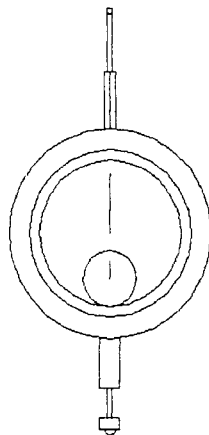
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak rangka Vierendeel dengan beban P sentris yang mempunyai kapasitas maksimum 25 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0.25 ton. Bentuk fisik Hydraulic Jack dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Hydraulic Jack

c. Dial Gauge

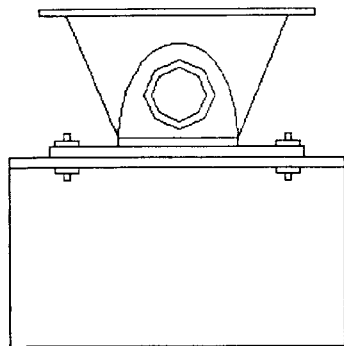
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian pembacaan dial 0,01 mm. Bentuk fisik Hydraulic Jack dapat dilihat pada Gambar 4.6



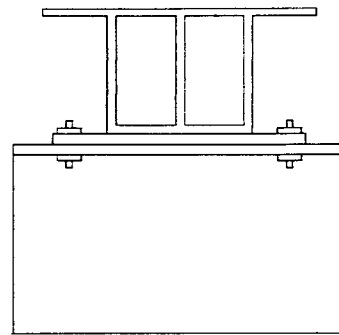
Gambar 4.6 Dial Gauge

d. Dukungan Sendi dan Rol

Untuk membuat model rangka Viereendeel dapat berdiri tegak sebagai sample uji, maka sebagai tumpuan dipasang dukungan berupa sendi dan rol.



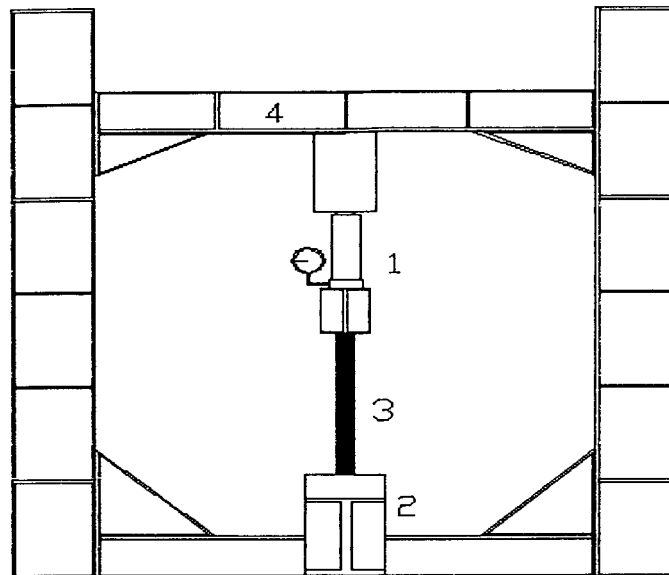
Gambar 4.7.a Dukungan Rol



Gambar 4.7.b Dukungan Sendi

e. Loading Frame

Untuk menempatkan benda uji, pada penelitian ini digunakan Loading Frame dari bahan baja profil WF 450x200x9x14. Seperti pada Gambar 4.8. Bentuk dasar Loading Frame berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar Loading Frame tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 150x200x9x14. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji



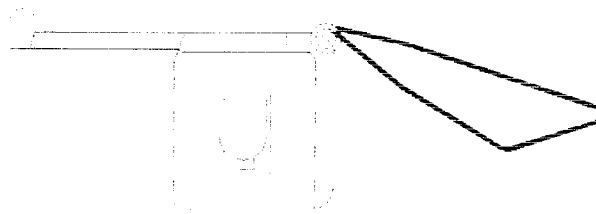
Gambar 4.8 Loading Frame

Keterangan

1. Hydraulic Jack
2. Dukungan
3. Benda uji
4. Baja WF 450 x 200 x 14

f. Alat Ukur

Alat ini digunakan untuk mengukur panjang Struktur Rangka Baja dan mengukur panjang dukungan sendi dan rol serta untuk mengukur posisi pembebanan. Alat ini digunakan untuk mengatur posisi benda uji pada *Loading Frame*.

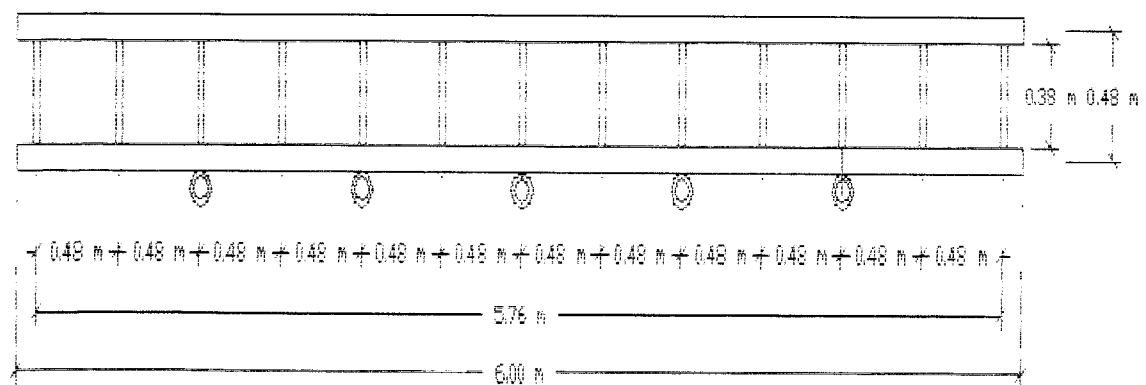


Gambar 4.9 alat ukur

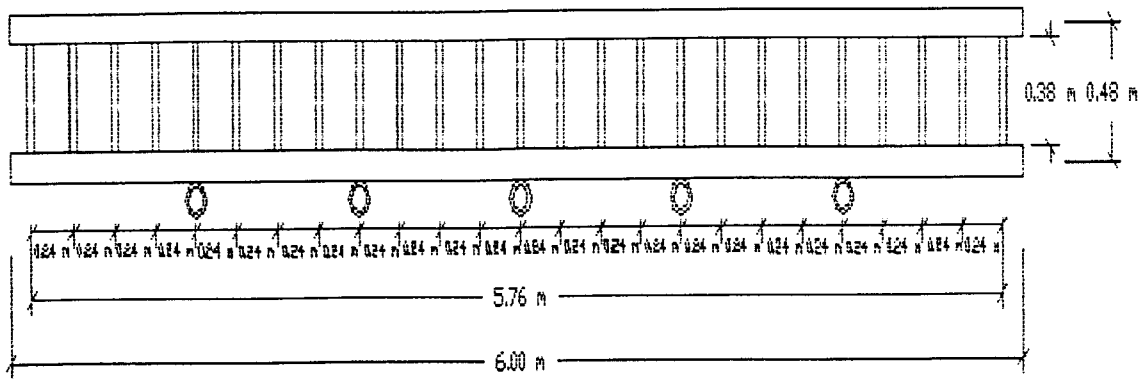
4.3 Model Benda Uji

Model benda uji berupa rangka *Vierendeel* sebanyak empat buah yang terdiri dari :

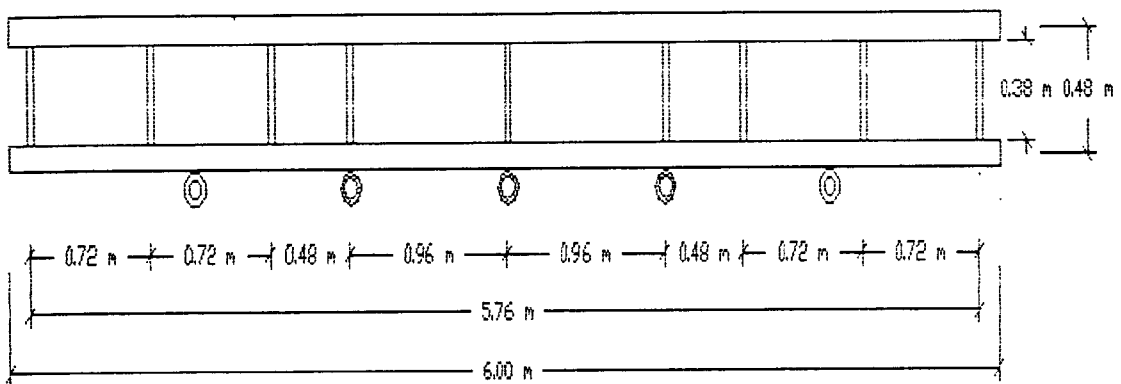
- model I berupa rangka *Vierendeel* dengan perbandingan $a/h = 1$
- model II berupa rangka *Vierendeel* dengan perbandingan $a/h = 0,5$
- model III berupa rangka *Vierendeel* dengan perbandingan $a/h = 1,5$
- model IV berupa rangka *Vierendeel* dengan perbandingan $a/h = 2$



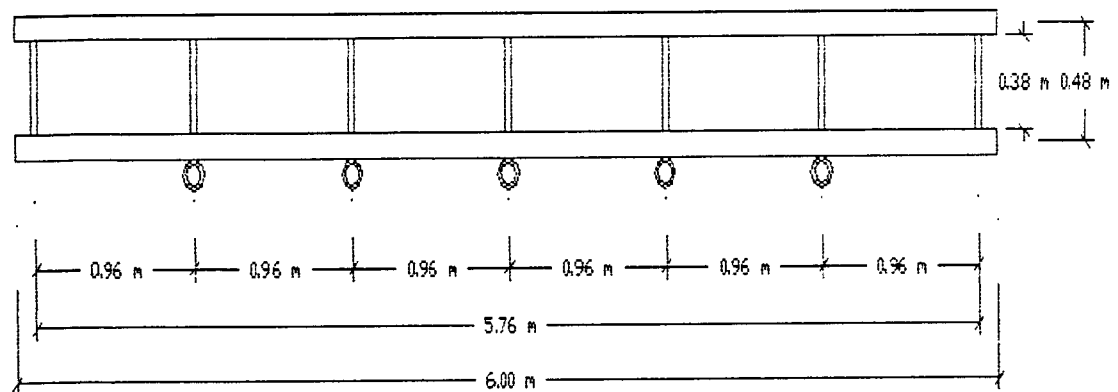
Gambar 4.10a. Model benda uji I dengan dial gauge



Gambar 4.10b. Model benda uji II dengan dial gauge

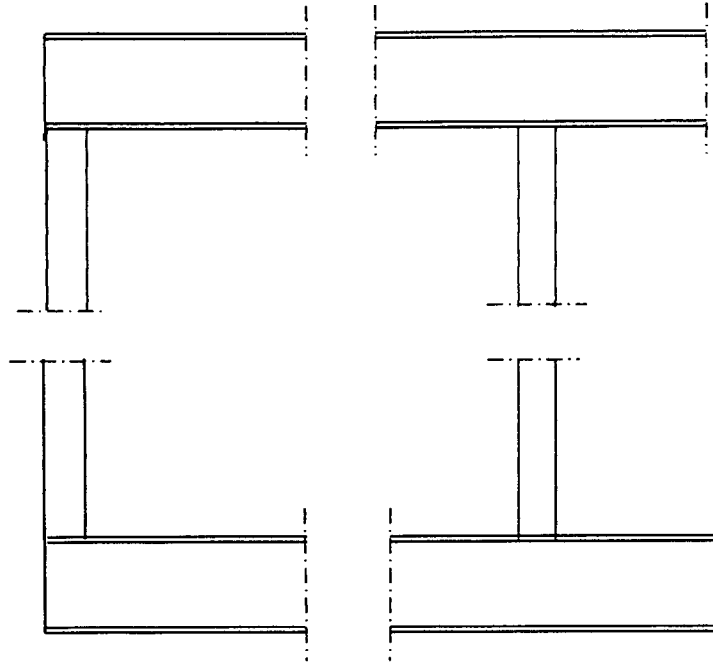


Gambar 4.10c. Model benda uji III dengan dial gauge



Gambar 4.10d. Model benda uji IV dengan dial gauge

Benda uji menggunakan tipe sambungan tanpa pengaku seperti yang ditunjukkan pada gambar (4.11.) berikut.



Gambar 4.11. Tipe Sambungan Tanpa Pengaku

4.4 Prosedur Penelitian

Tahap-tahap prosedur penelitian adalah sebagai berikut :

1. Tahap perumusan masalah

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan, dan pembatasan masalah.

2. Tahap perumusan teori

Tahap ini merupakan tahap pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian.

3. Tahap pelaksanaan penelitian,

- a. Pengumpulan bahan
- b. Pembuatan benda uji
- c. Pengujian pendahuluan
- d. Persiapam peralatan
- e. Pengujian benda uji

4. Tahap Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan dengan mencatat hasil uji berupa lendutan yang terjadi dan melakukan pengolahan data yang ada dengan menggunakan SAP2000

5. Tahap Pengambilan Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan berdasarkan teori yang digunakan untuk memberikan jawaban terhadap permasalahan

4.5 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian tugas akhir dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut :

4.5.1 Pembuatan benda uji

- a. Pembuatan benda uji Kuat Tarik Baja

Profil INP dan UNP dipotong menjadi 3 bagian yaitu 1 badan dan 2 sayap sepanjang 50 cm kemudian tengahnya dibuat luasan.

- b. Pembuatan benda uji Kuat Geser Las

- c. Pembuatan benda uji Struktur Rangka Vierendeel

Struktur Rangka *Vierendeel* merupakan rangkaian baja profil INP sebagai batang horizontal dan baja profil UNP sebagai batang vertical

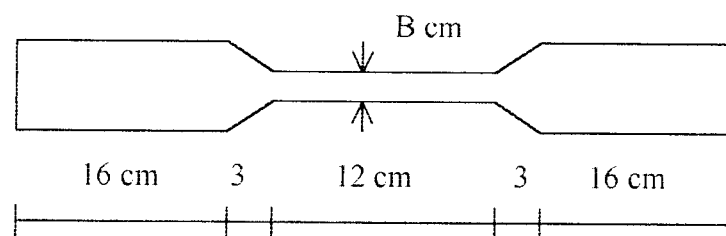
yang disambung dengan menggunakan sambungan las. Panjang struktur 5.76 m dengan tinggi 0.48 m.

4.5.2 Pengujian Pendahuluan

Sebelum pengujian benda uji struktur rangka *Vierendeel*, terlebih dahulu dilakukan uji pendahuluan pada bahan-bahan yang digunakan untuk membuat struktur rangka *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 4.12.

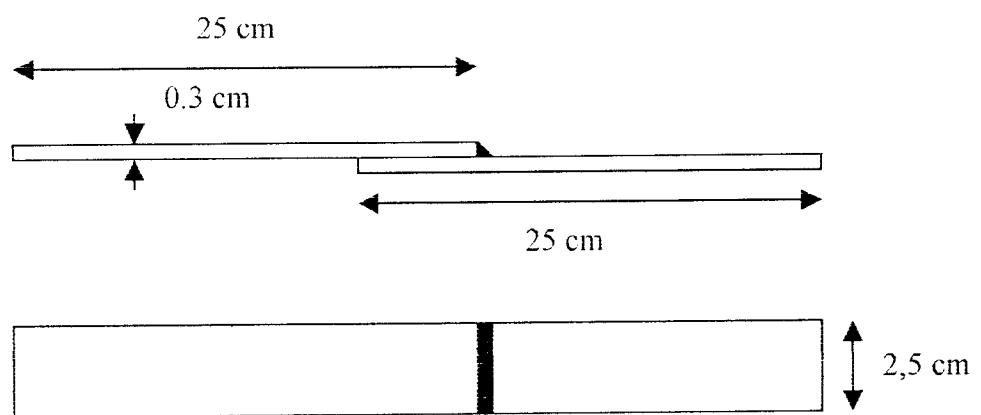


Gambar 4.12 Benda Uji untuk Kuat Tarik Baja

Benda	Lebar (B = cm)	Tebal (t = cm)	Luas ($\Lambda = \text{cm}^2$)	Keterangan
Uji				
1	2.082	0.788	1.64	Sayap INP
2	2.158	0.769	1.66	Sayap INP
3	2.167	0.45	0.975	Badan INP
4	1.42	0.4	0.568	Sayap UNP
5	1.257	0.43	0.541	Sayap UNP
6	2.083	0.4	0.833	Badan UNP

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 4.13



Gambar 4.13. Benda uji untuk uji Kuat Geser Las

4.5.3 Persiapan Peralatan

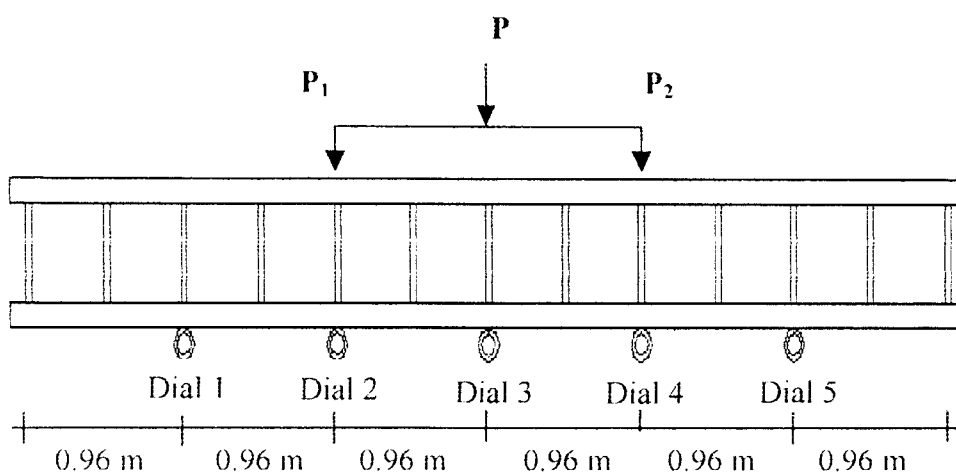
Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan *setting* terhadap peralatan yang akan dipergunakan.

Dukungan sendi dan rol (Gambar 4.7a dan 4.7b) diletakkan pada *Loading Frame* (Gambar 4.8) yang digunakan untuk menumpu benda uji dengan panjang 5.76 m

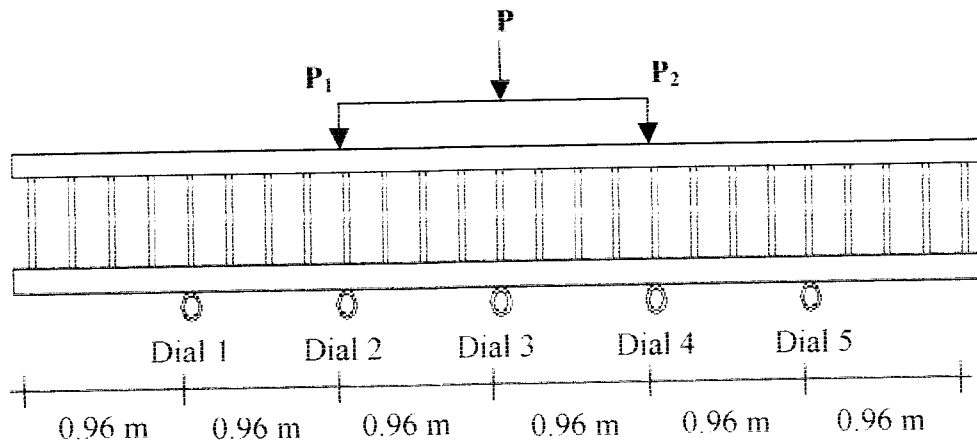
Hydraulic Jack (Gambar 4.5) diletakkan pada balok sepanjang 2 m yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang membebani benda uji

Dial Gauge (Gambar 4.6) diletakkan di bawah benda uji. *Dial Gauge* yang digunakan dalam penelitian ini lima buah yang diletakkan pada setiap jarak 0.96 m.

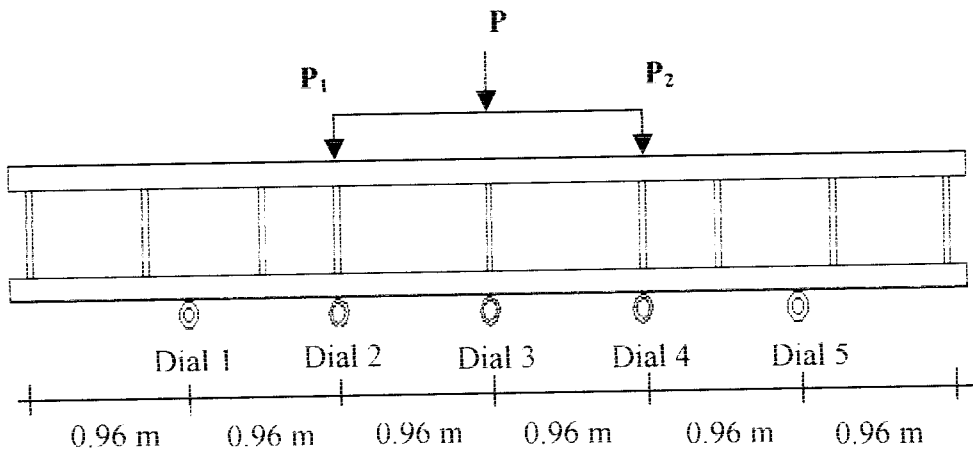
Perletakkan *dial gauge* dan beban pada setiap benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.14, Gambar 4.15, Gambar 4.16, dan Gambar 4.17.



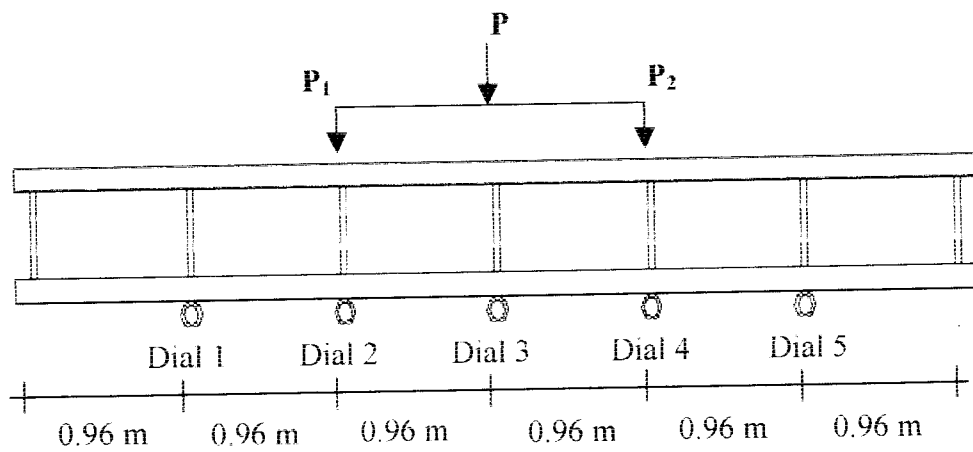
Gambar 4.14 Perletakkan *dial gauge* pada Benda Uji I



Gambar 4.15 Perletakkan *dial gauge* pada Benda Uji II



Gambar 4.16 Perletakkan *dial gauge* pada Benda Uji III



Gambar 4.17 Perletakkan *dial gauge* pada Benda Uji IV

4.5.4 Pengujian Benda Uji Struktur Rangka *Vierendeel*

Pelaksanaan pengujian dilakukan 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.

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Pelaksanaan pengujian kuat tarik baja dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui mutu dari bahan atau profil yang digunakan dalam penelitian. Hasil pengujian kuat tarik baja ditunjukkan pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Pengujian kuat tarik baja

Benda Uji	Fy (Mpa)	Fy rata-rata (Mpa)	Fu (Mpa)	Fu rata-rata (Mpa)	Keterangan
1	317	359.533	489.7	475.533	Sayap INP
2	346.3		451.8		Sayap INP
3	415.3		487.1		Badan INP
4	368	376.167	412	418.933	Sayap UNP
5	375.2		410.3		Sayap UNP
6	385.3		434.5		Badan UNP

Profil INP diambil $F_y = 360$ Mpa dan $F_u = 480$ Mpa

Profil UNP diambil $F_y = 380$ Mpa dan $F_u = 420$ Mpa

5.2 Hasil Uji Kuat Geser Las

Pelaksanaan Pengujian kuat geser las dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Pengujian geser las dilakukan

untuk mengetahui kuat geser las, sehingga kekuatan sambungan dapat direncanakan. Kuat geser las ($\tau_{\text{geser las}}$) = 401,6973 MPa

5.3 Hasil Uji Kuat Lentur Struktur Rangka *Vierendeel*

Pelaksanaan pengujian kuat lentur Struktur Rangka *Vierendeel* dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian kuat lentur didapat data beban dan lendutan. Data tersebut dipergunakan untuk membuat grafik hubungan beban-deformasi yang diolah untuk memperoleh grafik hubungan momen-kelengkungan.

5.3.1 Hubungan Beban-Deformasi

a. Benda Uji I

Data hubungan beban-deformasi yang terjadi dari hasil pengujian kuat lentur dibuat dalam bentuk Tabel 5.2

Tabel 5.2. Hubungan Beban-Deformasi Hasil Pengujian

No	BEBAN (kN)	Deformasi				
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Dial 4 (mm)	Dial 5 (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0	0	0	0	0
2	3.5	0.9	1.6	1.62	1.43	0.32
3	7	3.6	6.4	7.31	6.65	3.29
4	10.5	5.36	9.5	10.97	9.94	5.24
5	14	7.1	12.51	14.47	13	7.16
6	17.5	8.9	15.78	18.28	16.33	9.14
7	21	10.21	18.1	21.15	19.02	11.11
8	24.5	11.83	21.93	24.58	22.2	12.97
9	28	21.71	37.12	38.08	35.4	20.16
10	31.5	24.06	41.63	43.98	40.4	23.09
11	35	28.1	48.59	51.88	47.32	27.06
12	38.5	32.6	57.09	60.29	54.2	31.11

Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
13	42	36.81	65.02	67.83	60.4	35.4
14	45.5	40.05	69.66	73.68	64.34	38.22
15	49	43.31	74.79	79.04	69.67	40.15
16	48.3	48.7	83.14	94.4	77.44	48.4

b. Benda Uji II

Data hubungan beban-deformasi dibuat dalam bentuk Tabel 5.3

Tabel 5.3 Hubungan Beban-Deformasi Hasil Pengujian

No	BEBAN (kN)	Deformasi				
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Dial 4 (mm)	Dial 5 (mm)
1	0	0	0	0	0	0
2	3.5	0.8	1.45	1.65	1.14	0.86
3	7	2.55	4.36	5.08	4.13	2.82
4	10.5	4.09	6.9	8.08	7.3	4.42
5	14	5.39	9.43	10.82	9.16	5.85
6	17.5	5.74	11.56	13.45	11.3	7.16
7	21	8.21	14.06	16.21	14.17	8.55
8	24.5	9.72	16.7	19	16.4	10.06
9	28	11.19	19.47	21.84	19.2	11.55
10	31.5	12.72	22	24.86	22.1	13.02
11	35	14.15	24.64	27.84	24.29	14.48
12	38.5	15.77	27.7	31.32	27.31	16.18
13	42	18.34	32.15	36.46	32.12	18.88
14	45.5	20.23	35.23	40.4	36	21.03
15	49	22.4	39.17	44.88	40.03	23.4
16	52.5	25.01	44.75	50.11	45.1	26.24
17	56	26.9	48.06	54.34	48.65	29.41
18	59.5	37.37	65.93	73.67	65.63	38.08
19	63	41.8	73.72	81.97	73.85	42.36
20	65.8	44.42	78.1	87.55	79.72	44.35



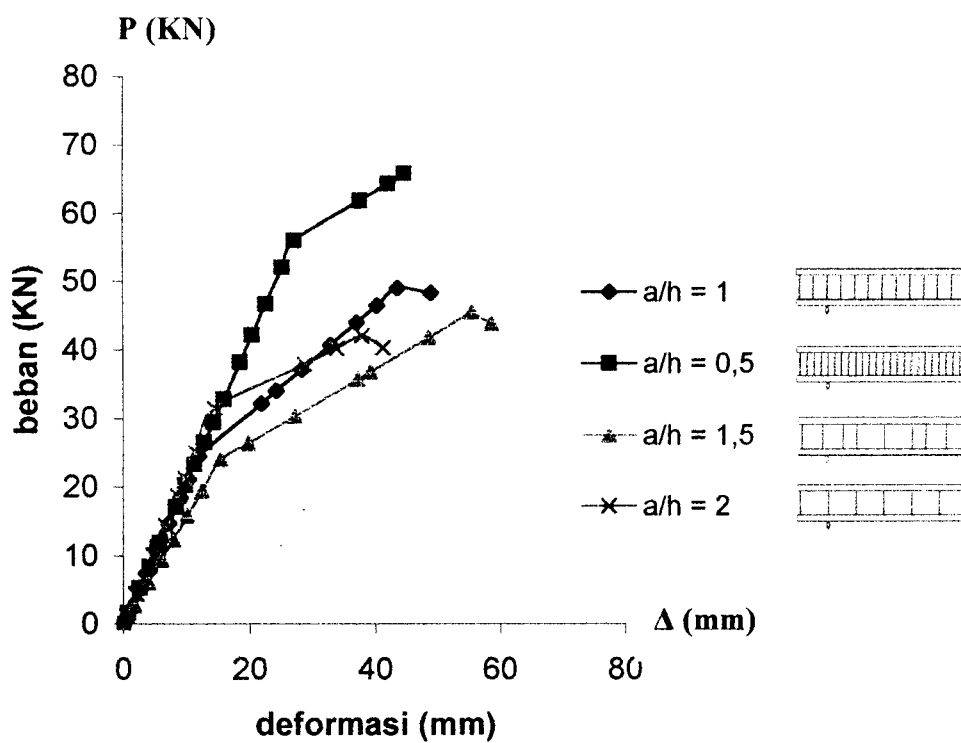
Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
9	28	11.43	22.51	28.02	26.14	15.98
10	31.5	14.35	27.34	33.14	31.61	18.98
11	35	28.495	52.46	61.48	39.41	32.23
12	38.5	33.68	62.36	72.42	48.22	37.72
13	42	37.645	68.86	81.39	57.02	43.68
14	40.25	41.05	73.26	85.58	60.98	45.51

5.3.2 Grafik Hubungan Beban-Deformasi

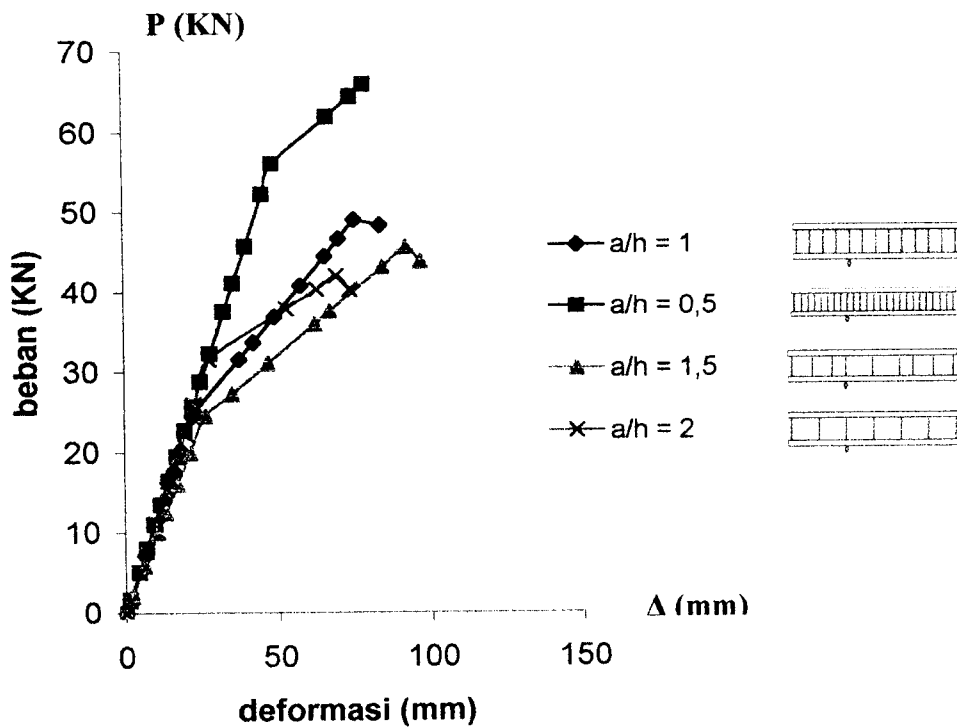
Data hubungan beban dan deformasi yang terjadi pada hasil pengujian kuat lentur seperti pada Tabel 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 dibuat grafik hubungan beban-deformasi seperti pada gambar di bawah ini.

a. Dial Gauge 1 Benda Uji I, II, III, IV



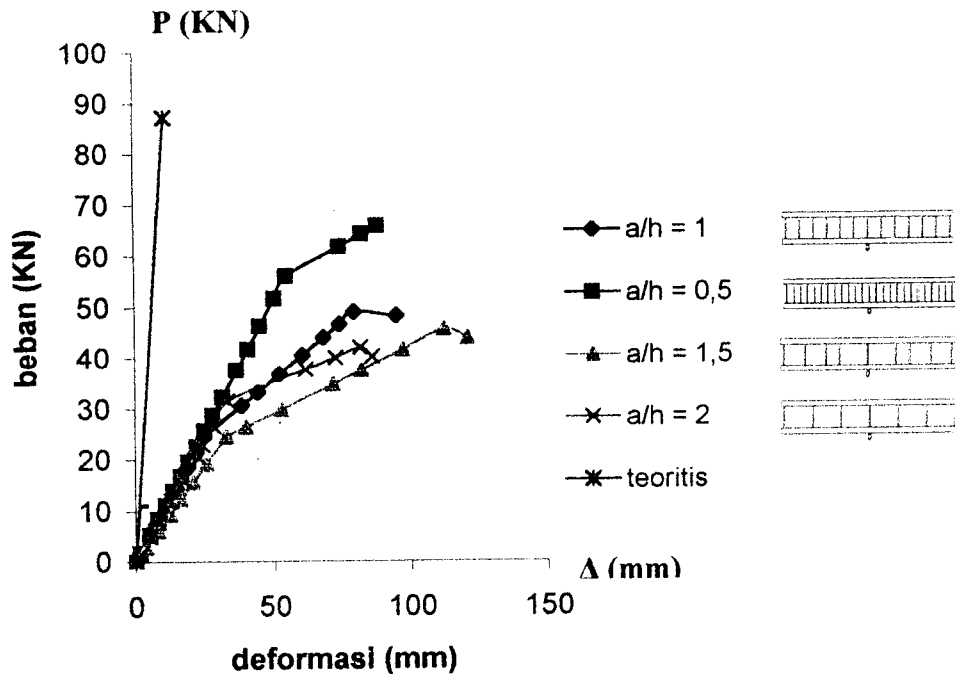
Gambar 5.1. Grafik Hubungan Beban-Deformasi pada Dial Gauge 1

b. Dial Gauge 2 pada Benda Uji I, II, III, IV



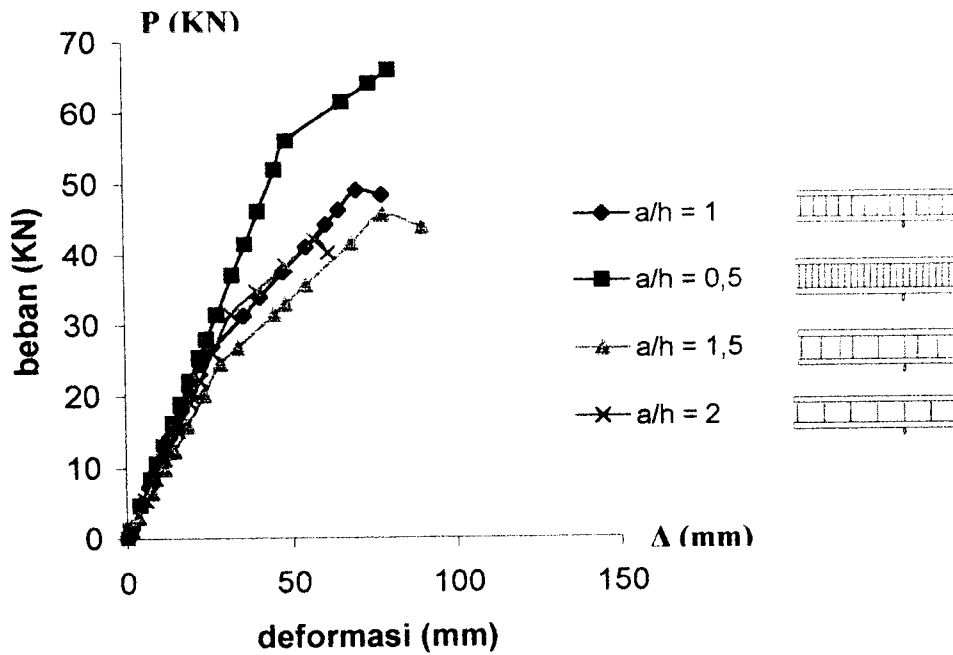
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Beban-Deformasi pada Dial Gauge 2

c. Dial Gauge 3 pada Benda Uji I, II, III, IV



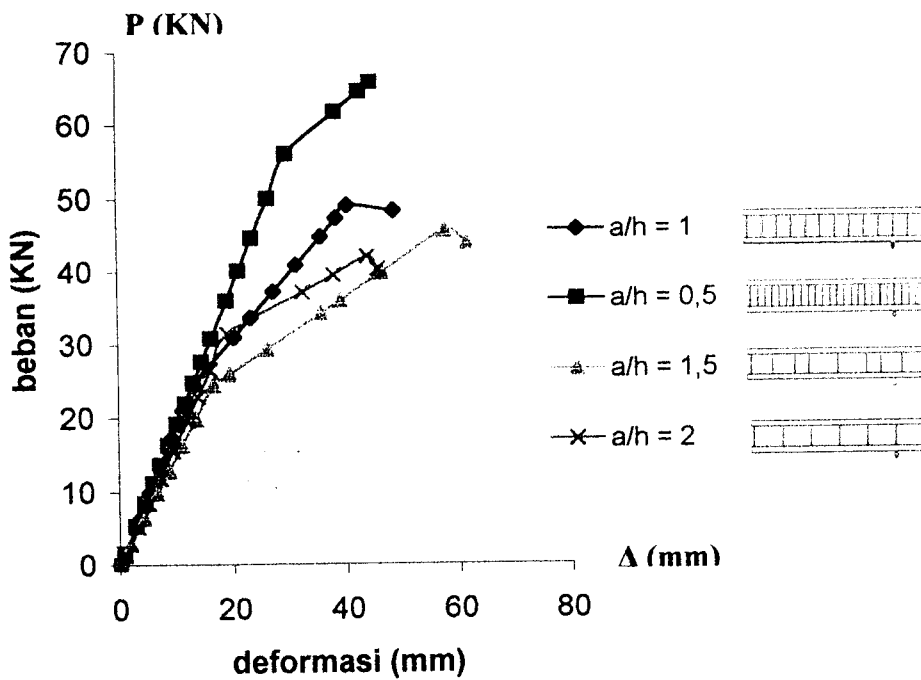
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Beban-Deformasi pada Dial Gauge 3

d. Dial Gauge 4 pada Benda Uji I, II, III, IV



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Beban-Deformasi pada Dial Gauge 4

e. Dial Gauge 5 pada Benda Uji I, II, III, IV



Gambar 5.5 Grafik Hubungan Beban-Deformasi pada Dial Gauge 5

5.3.3 Hubungan Momen-Kelengkungan

Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (Φ) dapat dicari setelah data hubungan Beban (P) dan Deformasi (Δ) didapatkan dari hasil pengujian kuat lentur Struktur Rangka *Vierendeel*.

Contoh perhitungan mencari momen dan kelengkungan :

Pembebanan 49 KN pada benda uji I. Deformasi pada dial gauge 2 (y_{i-1}) = 74.79 mm, dial gauge 3 (y_i) = 79.04 mm, dan dial gauge 4 (y_{i+1}) = 69.67 mm dengan jarak antardial (Δx) = 960 mm. Dengan persamaan (3.26), maka besarnya kelengkungan dapat dihitung.

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

$$\Phi = \frac{74.79 - (2 \times 79.04) - 69.67}{960^2} = 0.014779 \left(\frac{1}{m} \right)$$

Momen dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.20)

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

$$M = \frac{1}{6} x 49 x 5.76 = 47.04 \text{ kNm}$$

Dari contoh perhitungan dapat diperlihatkan data hubungan momen dan kelengkungan seperti pada Tabel 5.6, 5.7, 5.8, 5.9

a. Benda Uji I

Tabel 5.6 Hubungan Momen-Kelengkungan

BEBAN (kN)	Deformasi			Momen (KNm)	Kelengkungan (1/m)
	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Dial 4 (mm)		
0	0	0	0	0	0
3.5	1.6	1.62	1.43	3.36	0.000228
7	6.4	7.31	6.65	6.72	0.001704
10.5	9.5	10.97	9.94	10.08	0.002713
14	12.51	14.47	13	13.44	0.003722
17.5	15.78	18.28	16.33	16.8	0.004829
21	18.1	21.15	19.02	20.16	0.005621
24.5	21.93	24.58	22.2	23.52	0.005458
28	37.12	38.08	35.4	26.88	0.003950
31.5	41.63	43.98	40.4	30.24	0.006434
35	48.59	51.88	47.32	33.6	0.008518
38.5	57.09	60.29	54.2	36.96	0.010080
42	65.02	67.83	60.4	40.32	0.011111
45.5	69.66	73.68	64.34	43.68	0.014497
49	74.79	79.04	69.67	47.04	0.014779
48.3	83.14	94.4	77.44	46.368	0.030621

b. Benda Uji II

Tabel 5.7 Hubungan Momen-Kelengkungan

BEBAN (kN)	Deformasi			Momen (KNm)	Kelengkungan (1/m)
	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Dial 4 (mm)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
0	0	0	0	0	0
3.5	1.45	1.65	1.14	3.36	0.000770
7	4.36	5.08	4.13	6.72	0.001812
10.5	6.9	8.08	7.3	10.08	0.002127
14	9.43	10.82	9.16	13.44	0.003309
17.5	11.56	13.45	11.3	16.8	0.004384
21	14.06	16.21	14.17	20.16	0.004546
24.5	16.7	19	16.4	23.52	0.005317

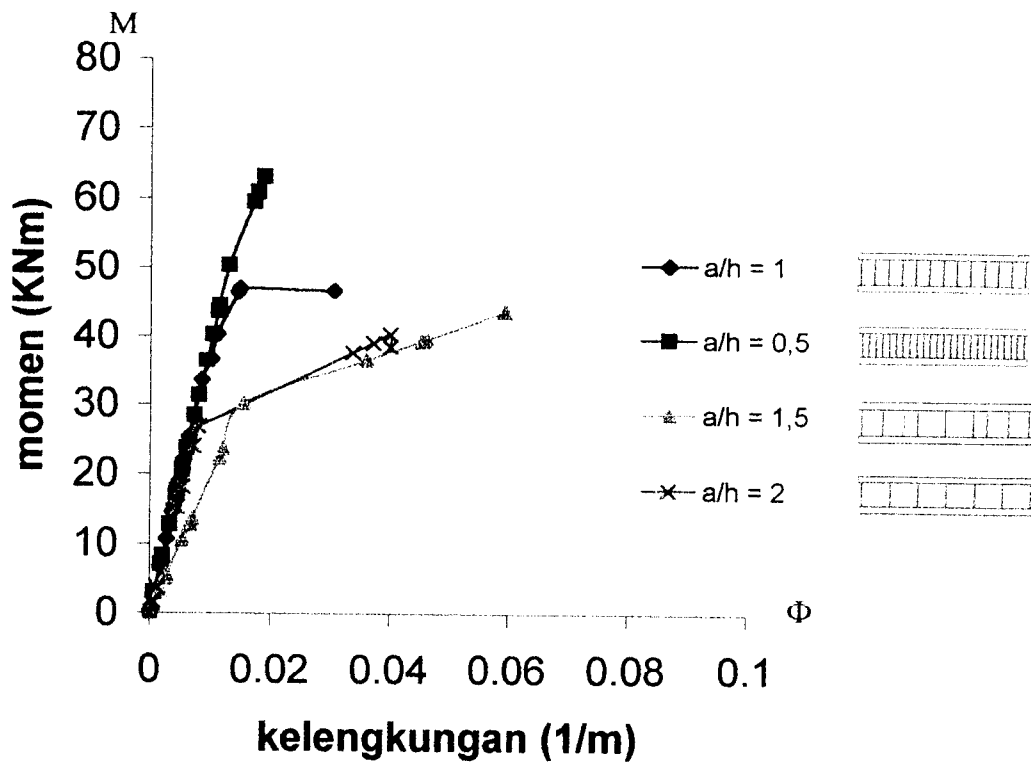
Tabel Lanjutan

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
28	19.47	21.84	19.2	26.88	0.005436
31.5	22	24.86	22.1	30.24	0.006098
35	24.64	27.84	24.29	33.6	0.007324
38.5	27.7	31.32	27.31	36.96	0.008279
42	32.15	36.46	32.12	40.32	0.009386
45.5	35.23	40.4	36	43.68	0.010384
49	39.17	44.88	40.03	47.04	0.011458
52.5	44.75	50.11	45.1	50.4	0.011252
56	48.06	54.34	48.65	53.76	0.012988
59.5	65.93	73.67	65.63	57.12	0.017122
63	73.72	77.67	81.97	60.48	0.017763
65.8	78.1	86.13	87.55	63.168	0.018750

c. Benda Uji III

Tabel 5.8 Hubungan Momen-Kelengkungan

BEBAN (kN)	Deformasi			Momen (KNm)	Kelengkungan (1/m)
	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Dial 4 (mm)		
0	0	0	0	0	0
3.5	2.2	3.63	3.51	3.36	0.001682
7	6.23	8.06	7.47	6.72	0.002626
10.5	10.65	12.32	11.39	10.08	0.002821
14	13.26	16.25	14.265	13.44	0.005398
17.5	17.12	20.75	18.34	16.8	0.006554
21	21.23	25.5	23.34	20.16	0.006977
24.5	26.23	32.57	28.36	23.52	0.011447
28	34.73	39.75	33.63	26.88	0.012088
31.5	46.39	52.58	44.55	30.24	0.015430
35	61.65	71.46	47.99	33.6	0.036111
38.5	66.68	81.72	54.17	36.96	0.046213
42	83.84	96.85	68.09	40.32	0.045323
45.5	91.5	111.85	77.505	43.68	0.059348
43.75	96.54	120.5	89.68	42	0.059440



Gambar 5.5 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan

5.4 Pembahasan 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 INP , kuat tarik rata-rata (F_y rata-rata) = 359.533 MPa termasuk mutu baja BJ 52.
2. Profil UNP, kuat tarik rata-rata (F_y rata-rata) = 376.167 MPa termasuk mutu baja BJ 52.

5.5 Pembahasan Hasil Uji Kuat Geser Las

Pada pengujian kuat geser las didapatkan ($\tau_{\text{geser las}}$) = 401,6973 Mpa. Kuat geser las yang cukup tinggi diharapkan menjadikan struktur lebih kaku pada sambungannya, sehingga tujuan untuk membuat struktur yang lebih kaku akan tercapai.

5.6 Pembahasan Hasil Uji Kuat Lentur Rangka *Vierendeel*

5.6.1 Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Beban-Deformasi

Dengan mengamati grafik hubungan beban-deformasi bahwa pada keempat benda uji memiliki perilaku kuat lentur yang hampir sama, mulai dari titik pangkal sampai titik leleh. Pada pembebanan awal kurva masih tampak linier, tetapi setelah pembebanan maksimum kurva mulai tampak datar dengan beban tetap sedangkan lendutannya mengalami peningkatan. Pada pembebanan awal sampai dengan beban P_y , kekakuan masing-masing benda uji tidak dipengaruhi oleh besarnya variasi rasio a/h , ini ditunjukkan dengan grafik yang hampir saling berhimpit. Setelah melewati beban P_y variasi rasio a/h mulai mempengaruhi kekakuan struktur, dimana kekakuannya menurun sampai batas beban maksimal.

Grafik hubungan beban-deformasi teoritis diplotkan pada gambar 5.3, yaitu pada dial gauge tiga, dimana dial gauge tiga merupakan lendutan terbesar yang berada di tengah bentang struktur rangka *Vierendeel*. Perhitungan beban maksimum yang mampu didukung oleh struktur secara teoritis akan lebih mendekati kenyataan bila dihitung dengan perilaku struktur balok kolom (*beam-column*)

Dari data tabel hubungan beban-deformasi dapat dipakai untuk mencari kekakuan dengan persamaan 3.31 ($k = \frac{P}{\Delta}$), sehingga dari persamaan tersebut akan diketahui nilai kekakuan masing-masing benda uji I sampai IV yang ditunjukkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Nilai Kekakuan ($\frac{P}{\Delta}$) keempat benda uji

Benda Uji	Beban (P_y) KN	Deformasi (Δ_y) (mm)	Kekakuan ($k = \frac{P_y}{\Delta_y}$) KN/mm	$\frac{k}{k_1}$	Keterangan
Benda Uji I	24.5	24.58	0,997	1	a/h= 1
Benda Uji II	56	54,34	1,031	1,034	a/h= 0,5
Benda Uji III	24,5	32,57	0,752	0,755	a/h= 1,5
Benda Uji IV	31,5	33,14	0,951	0,954	a/h= 2

Berdasarkan Tabel hubungan beban-deformasi dapat diketahui bahwa beban pada benda uji I dengan rasio $a/h = 1$ adalah 24,5 kN, untuk benda uji II dengan rasio a/h lebih kecil didapatkan beban yang lebih besar yaitu 56 kN, sedangkan untuk benda uji III dan IV dengan rasio a/h lebih besar beban yang mampu ditumpu lebih kecil yaitu 24,5 kN dan 31,5 kN. Beban yang digunakan untuk menghitung kekakuan adalah beban pada F_y , dimana baja yang dibebani mulai mengalami kondisi plastis.

Rangka *Vierendeel* dengan rasio a/h yang semakin kecil secara umum akan menimbulkan kekakuan struktur yang lebih besar. Bisa dilihat pada Tabel 5.10 yaitu untuk benda uji I dengan rasio $a/h = 1$ didapat nilai kekakuan sebesar 0,997 sedangkan untuk benda uji II dengan rasio $a/h = 0,5$ didapat nilai kekakuan 1,031 dan untuk benda uji III dan IV dengan rasio a/h lebih besar didapat nilai kekakuan yang lebih kecil yaitu masing-masing 0,752 dan 0,951. Benda uji III mempunyai kekakuan yang lebih kecil dibandingkan benda uji IV, Hal ini disebabkan pada benda uji III jarak batang transversal tidak seluruhnya mempunyai rasio $a/h=1,5$ di sepanjang bentang.

Nilai kekakuan akan lebih mudah dipahami jika disajikan dengan besaran nondimensional. Bila pada Benda uji I dengan rasio $a/h = 1$ dianggap sebagai kondisi yang ideal dengan nilai kekakuan 1, maka dapat dilihat penurunan dan peningkatan kekakuan untuk benda uji yang lain. Pada benda uji II dengan rasio a/h setengah dari benda uji I didapat peningkatan kekakuan sebesar 1,034 kali, sedangkan untuk benda uji IV dengan rasio a/h dua kali benda uji I mengalami penurunan kekakuan, besarnya kekakuan 0,954 kali dari benda uji dengan rasio $a/h = 1$.

5.6.2 Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Momen-Kelengkungan

Hubungan momen dan kelengkungan didapat dari hasil perhitungan tiga titik diskrit pada data hubungan beban dan lendutan. Berdasarkan hasil hubungan beban lendutan yang terjadi, maka dapat dicari factor kekakuan (EI) dengan menggunakan hubungan momen (M) dan kelengkungan (Φ) berdasarkan

persamaan 3.39 yaitu $EI = \frac{M}{\Phi}$. Besarnya faktor kekakuan (EI) pada masing-masing benda uji dapat diperlihatkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Nilai Faktor Kekakuan (EI) keempat benda uji

Benda Uji	Momen (M_y) kN-m	Kelengkungan (Φ_y) 1/m	Faktor Kekakuan ($k=EI$)KN-mm ²	$\frac{k}{k_1}$	Ket.
Benda Uji I	33,6	0,00851	3944,588	1	a/h= 1
Benda Uji II	50,4	0,012988	4180,59	1,0598	a/h= 0,5
Benda Uji III	30,24	0,01543	1959,82	0,4968	a/h= 1,5
Benda Uji IV	26,88	0.008019	3352,039	0,85	a/h= 2

Berdasarkan Tabel 5.11 dapat dilihat bahwa momen pada benda uji I dengan rasio a/h = 1 sebesar 33,6 kN-m, sedangkan pada benda uji II dengan rasio a/h =0,5 momen yang mampu didukung lebih besar yaitu 50,4 kN-m. Pada benda uji III dan IV dengan rasio a/h yang lebih besar didapat momen yang lebih kecil yaitu masing-masing sebesar 30,24 kN-m dan 26,88 kN-m.

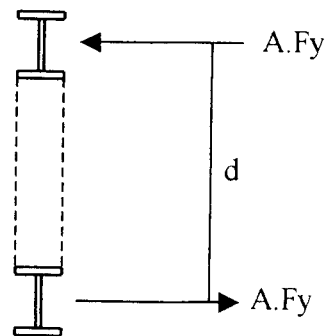
Dari grafik hubungan momen kelengkungan didapat dua model grafik yang berbeda yaitu untuk rasio $a/h \leq 1$ grafik terlihat cenderung lurus keatas dengan momen yang tinggi dan kelengkungan yang kecil, sedangkan untuk rasio $a/h > 1$ grafik mula-mula sama, tetapi pada beban tertentu mengalami penurunan kekakuan dan grafik cenderung mendatar dengan momen yang lebih kecil dan

kelengkungannya besar. Hal ini disebabkan karena untuk benda uji dengan rasio $a/h > 1$, pada batang tepi atas yang mengalami gaya desak berada pada kondisi yang sangat langsing, sehingga pada beban tertentu kelengkungannya bertambah besar dengan penambahan sedikit beban. Batang-batang transversal yang merupakan batang pengaku jaraknya lebih besar daripada tingginya.

Kekakuan (EI) yang didapat pada keempat benda uji yaitu dari benda uji I ke benda uji IV berbeda menurut besarnya variasi a/h masing-masing benda uji. Pada benda uji I nilai kekakuan yang didapat sebesar $3944,588 \text{ kN-mm}^2$, untuk benda uji II mengalami peningkatan 1,0598 kali dari benda uji I yaitu sebesar $4180,59 \text{ kN-mm}^2$. Pada benda uji IV nilai kekakuannya mengalami penurunan yaitu $3351,62 \text{ kN-mm}^2$, sedangkan untuk benda uji III dengan rasio a/h yang lebih kecil dari benda uji IV tetapi dalam satu bentang tidak seragam yaitu 1,5 ; 1 dan 2 mengalami penurunan 0,4968 kali dari benda uji I. Ketidakteraturan rasio a/h ini mengakibatkan menurunnya nilai kekakuan yaitu sebesar $1959,82 \text{ kN-mm}^2$.

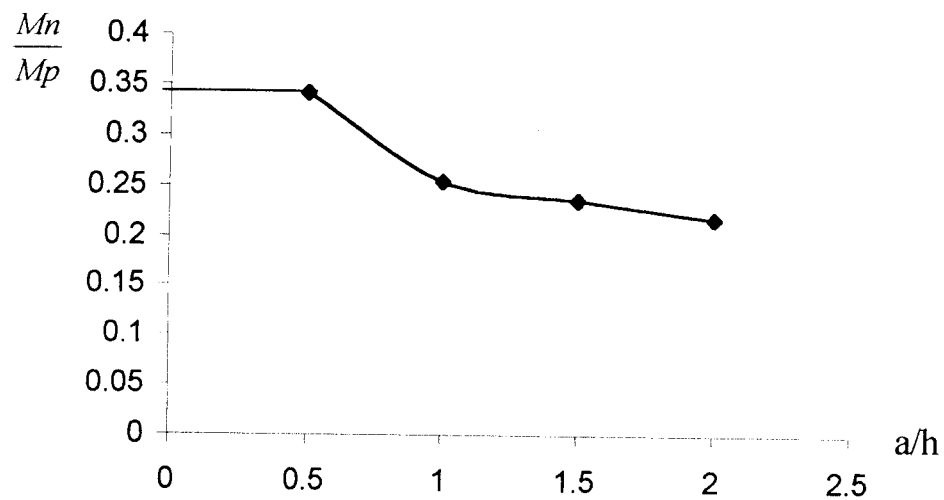
Benda uji yang dibebani akan mengalami momen. Momen nominal (M_n) diperoleh dari momen maksimum untuk masing-masing benda uji, sedangkan momen pada kondisi plastis disebut momen plastis (M_p). Momen plastis diperoleh dari perhitungan teoritis dengan menggunakan penjumlahan dari kopel gaya. Mengacu pada gambar 5.6, momen plastis perpotongan dapat dihitung dengan dengan persamaan 5.1 yaitu

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



Gambar 5.6 Potongan melintang rangka *Vierendeel*

Dari hasil rasio antara M_n dengan M_p kemudian dibandingkan dengan rasio a/h untuk mengetahui perilaku secara umum yang disajikan dalam bentuk grafik.



Gambar 5.7. Grafik Hubungan $\frac{M_n}{M_p}$ dengan rasio a/h

Dari gambar 5.7. memperlihatkan bahwa semakin kecil rasio a/h momen yang mampu dipikul semakin besar, tetapi pada kenyataannya tidak ada kekuatan yang tanpa batas. Untuk $a/h < 0,5$ grafik yang terjadi kemungkinan akan lurus

mendatar, kemungkinan ini diambil karena belum ada penelitian serupa untuk nilai $a/h < 0,5$. Momen-momen yang terjadi untuk nilai $0,5 < a/h < 2$ hanya didapat pada satu titik, sehingga grafik yang terjadi belum sepenuhnya mencerminkan perilaku rangka *Vierendeel* terhadap aspek rasio a/h , tetapi secara umum momen kapasitas yang mampu didukung oleh strutur semakin menurun untuk nilai a/h yang semakin besar.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan kurva beban deformasi, rangka *Vierendeel* dengan rasio a/h yang semakin rapat dapat memikul beban maksimal yang lebih besar. Perbandingan kapasitas kuat lentur masing-masing benda uji adalah sebagai berikut :

- a. rasio $(a/h = 1) : (a/h = 0,5) = 1 : 1,034$

- b. rasio $(a/h = 1) : (a/h = 1,5) = 1 : 0,755$

- c. rasio $(a/h = 1) : (a/h = 2) = 1 : 0,954$

2. Berdasarkan hubungan momen kelengkungan, Perbandingan kekakuan masing-masing benda uji adalah sebagai berikut :

- a. rasio $(a/h = 1) : (a/h = 0,5) = 1 : 1,0598$

- b. rasio $(a/h = 1) : (a/h = 1,5) = 0,4968$

- c. rasio $(a/h = 1) : (a/h = 2) = 1 : 0,85$

Rangka *Vierendeel* dengan rasio $a/h = 1,5$, kekakuannya lebih kecil dibandingkan dengan rangka dengan rasio $a/h = 2$, hal ini disebabkan karena tidak seluruhnya di sepanjang bentang dengan rasio $a/h = 1,5$.

Semakin kecil rasio antara jarak batang transversal dengan tingginya maka kekakuan struktur rangka *Vierendeel* akan semakin besar.

- 3 Rangka *Vierendeel* dengan jarak batang transversal yang lebih rapat akan memikul momen yang semakin besar. Perbandingan momen maksimum masing-masing benda uji :
 - a. rasio $(a/h=1) : (a/h = 0,5) = 1 : 1,343$
 - b. rasio $(a/h = 1) : (a/h = 1,5) = 1 : 0,929$
 - c. rasio $(a/h = 1) : (a/h = 2) = 1 : 0,857$.
4. Ductilitas pada rangka *Vierendeel* tidak dapat diperoleh karena keterbatasan peralatan yang ada.
- 5 Perhitungan rencana untuk mencari kekuatan rangka *Vierendeel* secara teoritis dapat ditentukan dengan menggunakan metode pendekatan sebagai balok sederhana yang menerima beban desak dan lentur (*Beam-Column*)

6.2 Saran-saran

Pada penelitian lebih lanjut tentang perilaku rangka *Vierendeel* dapat dilihat beberapa hal yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan dalam melaksanakan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Beban rencana untuk setiap benda uji sebaiknya dihitung terlebih dahulu agar dapat disesuaikan dengan kemampuan alat-alat yang akan digunakan.
2. Perlu adanya perencanaan Rangka *Vierendeel* dengan kombinasi profil yang lebih efisien.
3. Karena proses pembuatan benda uji dilakukan oleh tukang, maka pada proses pembuatan benda uji sebaiknya perlu diawasi dan diteliti untuk

menghindari terjadinya kesalahan dalam pengerjaan yang tidak sesuai dengan perencanaan benda uji.

4. Penelitian dilaboratorium hanya terbatas pada pembebanan statis sehingga belum diketahui pengaruhnya apabila struktur digunakan untuk pembebanan dinamis.
5. Diperlukan penelitian mengenai variasi dari rasio antara tinggi batang dengan jarak batang transversal (h/a).
6. Perlu adanya penelitian rangka *Vierendeel* dengan variasi rasio antara panjang bentang (L) dengan jari-jari girasi (r_y).
7. Perlu diadakan penelitian untuk bentuk rangka *Vierendeel* yang non-prismatis.
8. Perlu dilakukan penelitian rangka *Vierendeel* variasi jarak batang transversal (a) dengan tinggi batang (h) untuk aspek rasio $a/h < 0,5$ dan $a/h > 2$.

DAFTAR PUSTAKA

- Blodgett, Ower W., 1982, **DESIGN OF WELDED STRUCTURE**, The James F. Lincon Arc Welding Foundation, Cleveland Ohio.
- Construction Steel Research and Development, 1982, **STEEL DESIGNER'S MANUAL**, Crosby Lockwood Staples London.
- Cusens, A. R. dan Pama, R.P., 1975, **BRIDGE DECK ANALYSIS**, John Wiley & Sons London New York Sydney Toronto.
- Francis, A. J., 1980, **INTRODUCING STRUCTURES**, Pergamon Press, Oxford New York Toronto Sydney Paris Frankfurt.
- Gere, James M, 1962, **MOMENT DISTRIBUTION**, D. Van Nostrand Company (Canada), Inc.
- Gere, James M. dan Timoshenko, Stephen P., 1987, **MEKANIKA BAHAN Edisi Kedua Versi S1 Jilid 1**, Penerbit Erlangga.
- Gunawan, Rudi Ir. dan Morisco Ir., 1988, **TABEL PROFIL KONSTRUKSI BAJA**, Penerbit Kanisius. Jogjakarta.
- Hart, F., Han, W., dan Sontag, H., 1978, **MULTY-STOREY BUILDING IN STEEL**.
- JP Kenny & Partners, 1988, **BUCKLING OF OFFSHORE STRUCTURES**, JP Kenny & Partners Ltd, London.
- Mac Ginley, T.J., 1981, **STEEL STRUCTURE PRACTICAL DESIGN STUDIES**, London and New York E & FN Spon.
- McCormac, Jack C., 1975, **STRUCTURAL ANALYSIS Third Edition**, Harper & Row. Publishers. Inc.
- Mc Graw-Hill, 1993, **SEMI RIGID CONNECTION IN STEEL FRAMES**, Mc Graw-Hill. Inc.
- Salmon, Charles G. dan Johnson, John E., 1994, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU Edisi Kedua Jilid 1**, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- _____, 1986, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU Edisi Kedua Jilid 2**, Penerbit Erlangga, Jakarta.

- Schueler, Wolfgang, 1989, **HIGH-RISE BUILDING STRUKTUR BANGUNAN TINGKAT TINGGI**, Penerbit PT Eresco, Bandung.
- Smith, J.C., 1996, **STRUCTURAL STEEL DESIGN LRFD Approach Second Edition**, John Wiley & Sons, Inc, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore.
- Taranath, Bungale S., 1988, **STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN OF TALL BUILDINGS INTERNATIONAL EDITION**, Mc Graw- Hill Book Company.
- Timoshenko, S., 1958, **STRENGTH OF MATERIALS Part I Elementary Theory and Problems Third Edition**, Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington New York.
- Wahyudi, Laurentis dan Rahim, Sjahril A., 1992, **METODE PLASTIS ANALISIS dan DESAIN**, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Wang, Chu-Kia dan PH, Ismoyo Ir., 1985, **PENGANTAR ANALISA STRUKTUR DENGAN CARA MATRIKS**. Penerbit Erlangga.

LAMPIRAN 1

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	NAMA	NO. MHS	BID. STUDI
1	Zahrudin	99511094	teknik Sipil
2	Wisnu Andi N	99511136	teknik Sipil

TUDUL TUGAS AKHIR:

Pertaku Pahoka Virehdel Akiba beribeb lhan Wang

**PERIODE IV JUNI NOPEMBER
TAHUN 2002 2003**

No.	Kegiatan	Bulan Ke-				OK	Nilai
		Jan	Feb	Mar	Apr		
1	Pendaftaran						
2	Penentuan Dosen Pembimbing						
3	Pembuatan Komposisi						
4	Seminar Proposal						
5	Konsultasi Penguasaan P.A.						
6	Sidang Sidang						
7	Pendaftaran						

DOSEN PEMBIMBING
DOSEN PEMBIMBING

DOSEN PEMBIMBING
DOSEN PEMBIMBING

DOSEN PEMBIMBING
DOSEN PEMBIMBING



DOSEN PEMBIMBING
DOSEN PEMBIMBING

Catatan:

- Seminar
- Sidang
- Pendaftaran

LAMPIRAN 2

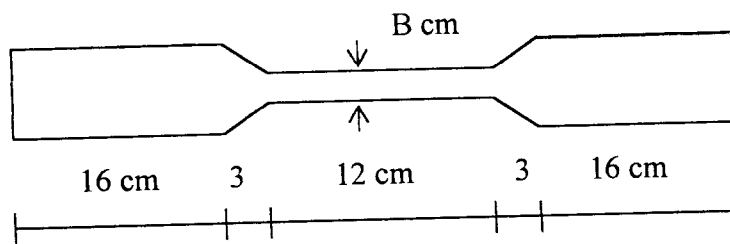
HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK

BAJA DAN GESER LAS

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA DAN GESER LAS

1. Kuat Tarik Baja

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap kekuatan kuat tarik baja dari profil INP dan UNP. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII Jogjakarta. Adapun Ukuran dari masing-masing benda uji seperti pada tabel berikut :



Benda Uji	Lebar (B = cm)	Tebal (t = cm)	Luas (A = cm ²)	Keterangan
1	2.082	0.788	1.64	Sayap INP
2	2.158	0.769	1.66	Sayap INP
3	2.167	0.45	0.975	Badan INP
4	1.42	0.4	0.568	Sayap UNP
5	1.257	0.43	0.541	Sayap UNP
6	2.083	0.4	0.833	Badan UNP

$$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A} ; \quad F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$$

Benda Uji	P luluh (kg)	P maks (kg)	P patah (kg)	$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A}$ (kg/cm ²)	$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$ (kg/cm ²)
1	5200	7150	4250	3170 = 317 Mpa	4897 = 489.7 Mpa
2	5750	7500	4500	3463 = 346.3 Mpa	4518 = 451.8 Mpa
3	4050	4750	2550	4153 = 415.3 Mpa	4871 = 487.1 Mpa
4	2090	2340	600	3680 = 368 Mpa	4120 = 412 Mpa
5	2030	2220	500	3752 = 375.2 Mpa	4103 = 410.3 Mpa
6	3210	3620	700	3853 = 385.3 Mpa	4345 = 434.5 Mpa

Profil INP

$$F_y = \frac{317 + 346.3 + 415.3}{3} = 359.533 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_y = 360 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{487.7 + 451.8 + 487.1}{3} = 475.533 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_u = 480 \text{ Mpa}$$

Profil UNP

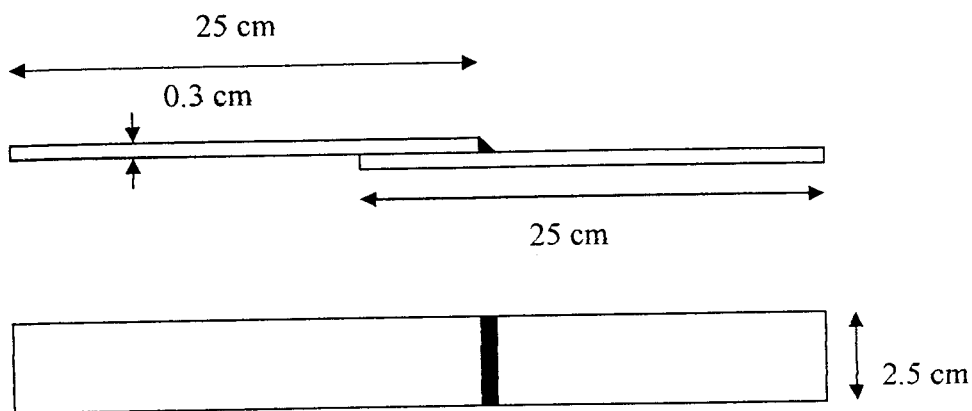
$$F_y = \frac{368 + 375.2 + 385.3}{3} = 376.167 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_y = 380 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{412 + 410.3 + 434.5}{3} = 418.933 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_u = 420 \text{ Mpa}$$

2. Kuat Geser Las

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap kuat geser las. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII Jogjakarta. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut

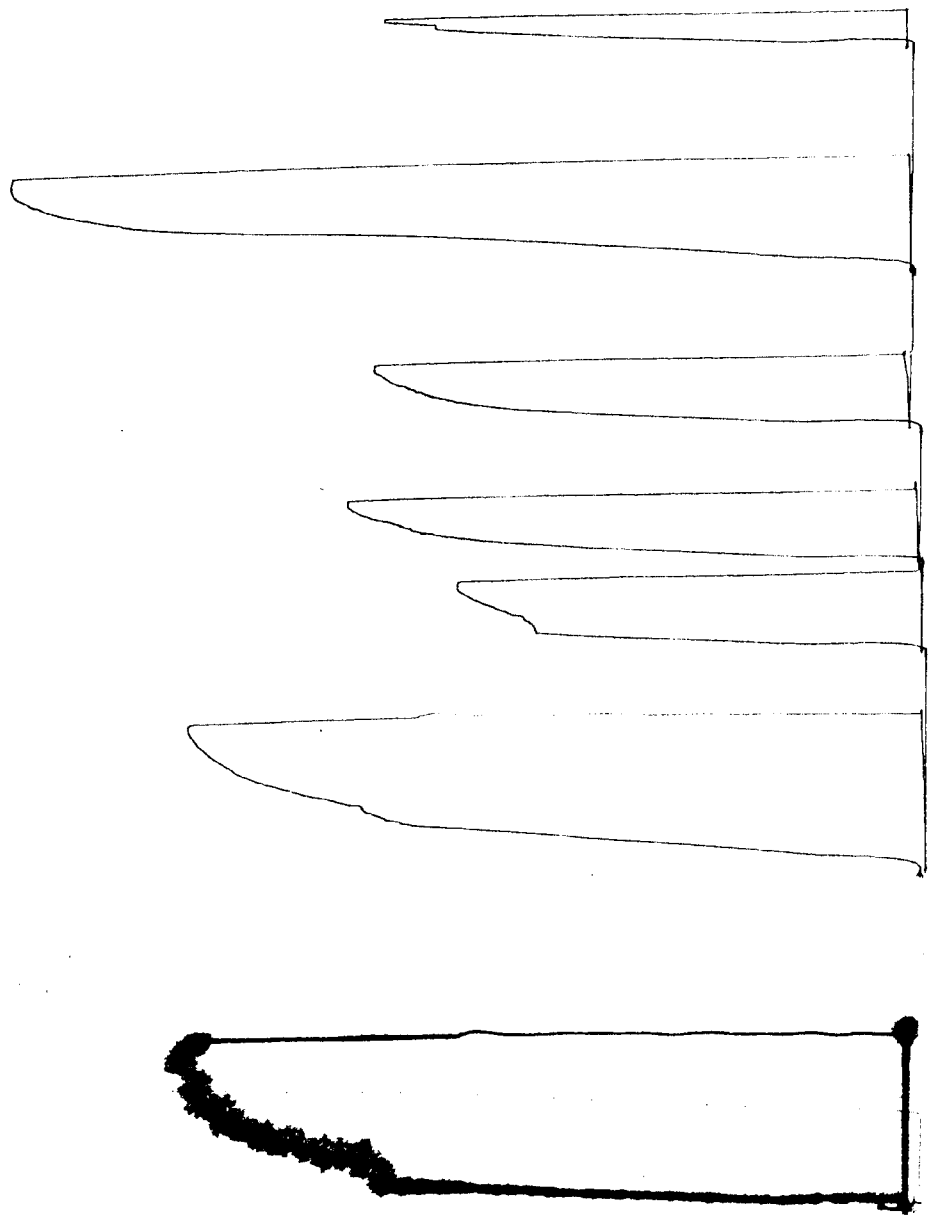
:



$$L_n = 2.5 \text{ cm}$$

$$a = 0.3 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{geser las}} &= \frac{P}{L_n \times 0.707 \times a} = \frac{2130}{2.5 \times 0.707 \times 0.3} = 4016.973 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \\ &= 401.6973 \text{ MPa} \end{aligned}$$



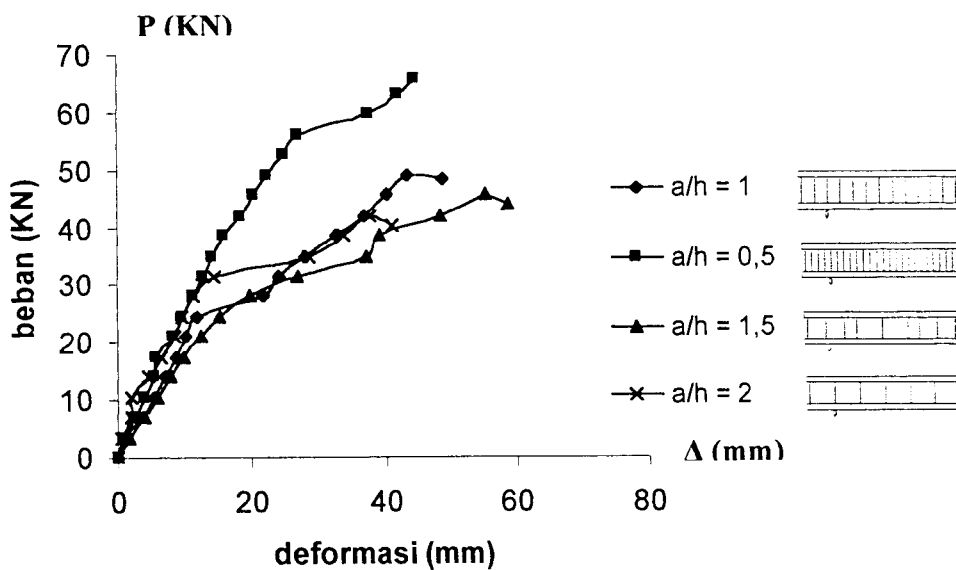
LAMPIRAN 3

HASIL PENGUJIAN KUAT

LENTUR RANGKA VIERENDEEL

Kurva Hubungan Beban-Deformasi Benda Uji Sebelum Regresi Pada Dial 1

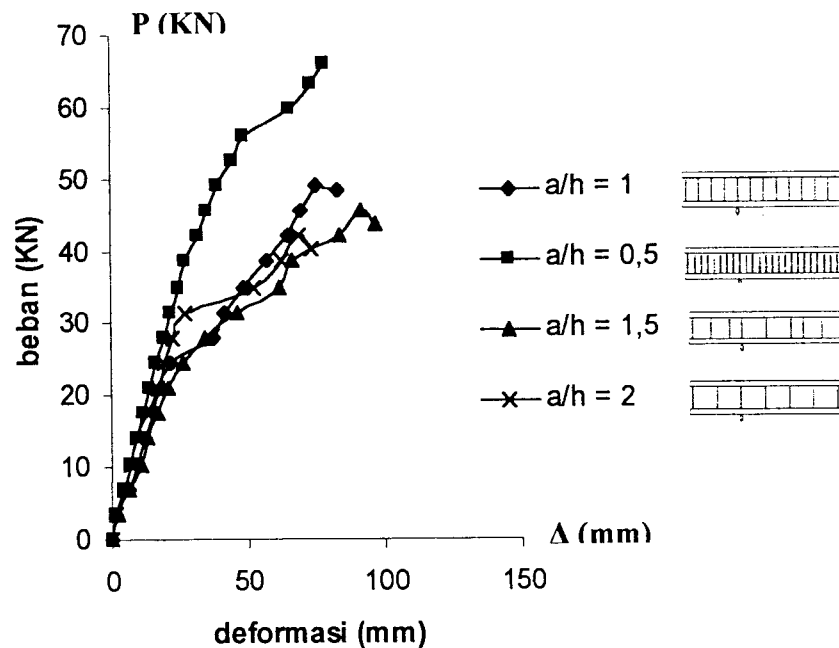
Benda Uji I(a/h = 1)		Benda Uji II(a/h = 0,5)		Benda Uji III(a/h = 1,5)		Benda Uji IV(a/h = 2)	
Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0.9	3.5	0.8	3.5	1.69	3.5	0.53
7	3.6	7	2.55	7	3.835	7	1.98
10.5	5.36	10.5	4.09	10.5	5.915	10.5	2.03
14	7.1	14	5.39	14	7.805	14	4.6
17.5	8.9	17.5	5.74	17.5	10.02	17.5	6.58
21	10.21	21	8.21	21	12.33	21	8.53
24.5	11.83	24.5	9.72	24.5	15.24	24.5	9.7
28	21.71	28	11.19	28	19.675	28	11.43
31.5	24.06	31.5	12.72	31.5	26.975	31.5	14.35
35	28.1	35	14.15	35	36.975	35	28.495
38.5	32.6	38.5	15.77	38.5	39.02	38.5	33.68
42	36.81	42	18.34	42	48.285	42	37.645
45.5	40.05	45.5	20.23	45.5	55.185	40.25	41.005
49	43.31	49	22.4	43.75	58.4		
48.3	48.7	52.5	25.01				
		56	26.9				
		59.5	37.37				
		63	41.8				
		65.8	44.42				



Gambar 6.1 Grafik Hubungan Beban-Deformasi Dial 1 Sebelum Regresi

Kurva Hubungan Beban-Deformasi Benda Uji Sebelum Regresi Pada Dial 2

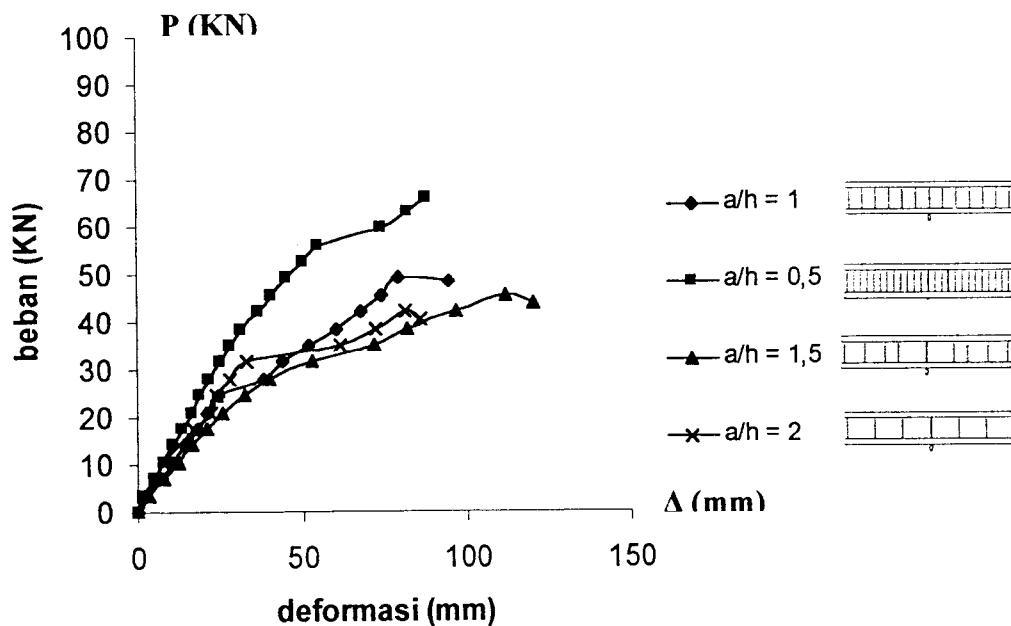
Benda Uji I (a/h=1)		Benda Uji II (a/h=0,5)		Benda Uji III (a/h=1,5)		Benda Uji IV (a/h=2)	
Beban (KN)	Deformasi (KN)	Beban (KN)	Deformasi (KN)	Beban (KN)	Deformasi (KN)	Beban (KN)	Deformasi (KN)
0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	1.6	3.5	1.45	3.5	2.2	3.5	1.3
7	6.4	7	4.36	7	6.23	7	4.35
10.5	9.5	10.5	6.9	10.5	10.65	10.5	6.65
14	12.51	14	9.43	14	13.26	14	9.73
17.5	15.78	17.5	11.56	17.5	17.12	17.5	13.34
21	18.1	21	14.06	21	21.23	21	16.95
24.5	21.93	24.5	16.7	24.5	26.23	24.5	19.35
28	37.12	28	19.47	28	34.73	28	22.51
31.5	41.63	31.5	22	31.5	46.39	31.5	27.34
35	48.59	35	24.64	35	61.65	35	52.46
38.5	57.09	38.5	27.7	38.5	66.68	38.5	62.36
42	65.02	42	32.15	42	83.84	42	68.86
45.5	69.66	45.5	35.23	45.5	91.5	40.25	73.26
49	74.79	49	39.17	43.75	96.54		
49	74.79	52.5	44.75				
48.3	83.14	56	48.06				
		59.5	65.93				
		63	73.72				
		65.8	78.1				



Gambar 6.2 , Grafik Hubungan Beban-Deformasi Dial 2 Sebelum Regresi

Kurva Hubungan Beban-Deformasi Benda Uji Sebelum Regresi Pada Dial 3

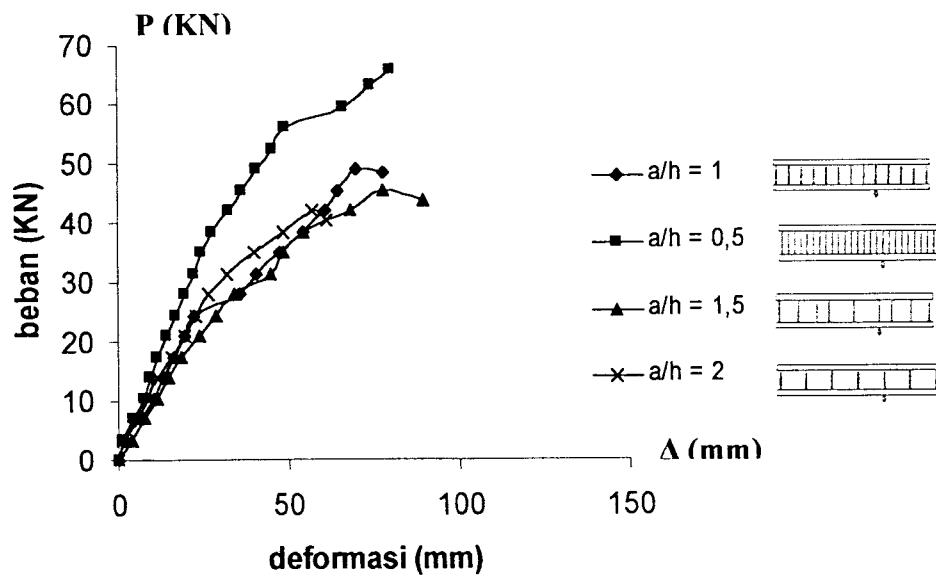
Benda Uji I (a/h=1)		Benda Uji II (a/h=0,5)		Benda uji III (a/h=1,5)		Benda Uji IV (a/h=2)	
Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	1.62	3.5	1.65	3.5	3.63	3.5	1.47
7	7.31	7	5.08	7	8.06	7	5.17
10.5	10.97	10.5	8.08	10.5	12.32	10.5	8.14
14	14.47	14	10.82	14	16.25	14	12.6
17.5	18.28	17.5	13.45	17.5	20.75	17.5	16.81
21	21.15	21	16.21	21	25.5	21	21.97
24.5	24.58	24.5	19	24.5	32.57	24.5	24.11
28	38.08	28	21.84	28	39.75	28	28.02
31.5	43.98	31.5	24.86	31.5	52.58	31.5	33.14
35	51.88	35	27.84	35	71.46	35	61.48
38.5	60.29	38.5	31.32	38.5	81.72	38.5	72.42
42	67.83	42	36.46	42	96.85	42	81.39
45.5	73.68	45.5	40.4	45.5	111.85	40.25	85.58
49	79.04	49	44.88	43.75	120.5		
48.3	94.4	52.5	50.11				
		56	54.34				
		59.5	73.67				
		63	81.97				
		65.8	87.55				



Gambar 6.3. Grafik Hubungan Beban Deformasi Dial 3 Sebelum Regresi

Kurva Hubungan Beban-Deformasi Benda Uji Pada Dial 4 Sebelum Regresi

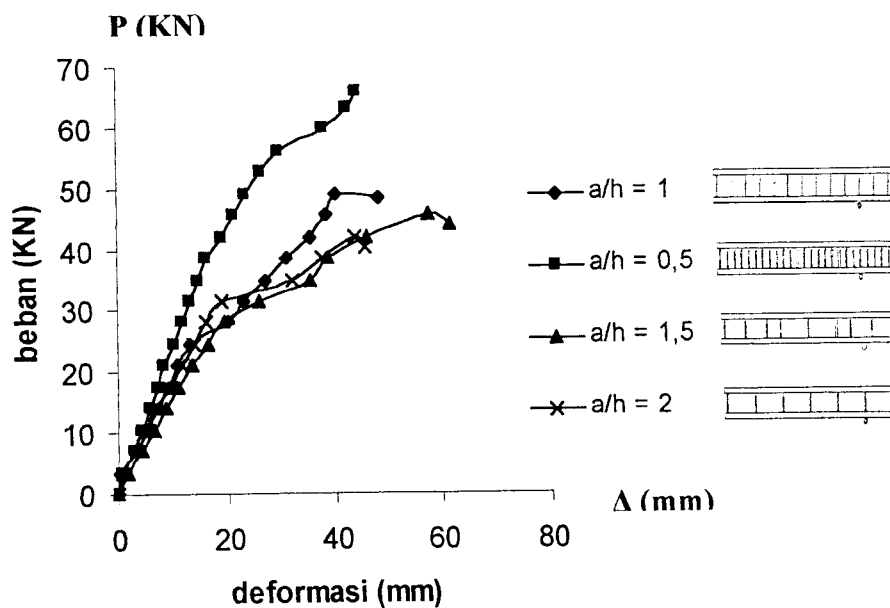
Benda Uji I ($a/h=1$)		Benda Uji II ($a/h=0,5$)		Benda Uji III ($a/h=1,5$)		Benda Uji IV ($a/h=2$)	
Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	1.43	3.5	1.14	3.5	3.51	3.5	1.25
7	6.65	7	4.13	7	7.47	7	5.51
10.5	9.94	10.5	7.3	10.5	11.39	10.5	8.605
14	13	14	9.16	14	14.265	14	11.27
17.5	16.33	17.5	11.3	17.5	18.34	17.5	15.285
21	19.02	21	14.17	21	23.34	21	19.23
24.5	22.2	24.5	16.4	24.5	28.36	24.5	22.27
28	35.4	28	19.2	28	33.63	28	26.14
31.5	40.4	31.5	22.1	31.5	44.55	31.5	31.61
35	47.32	35	24.29	35	47.99	35	39.41
38.5	54.2	38.5	27.31	38.5	54.17	38.5	48.22
42	60.4	42	32.12	42	68.09	42	57.02
45.5	64.34	45.5	36	45.5	77.505	40.25	60.98
49	69.67	49	40.03	43.75	89.68		
48.3	77.44	52.5	45.1				
		56	48.65				
		59.5	65.63				
		63	73.85				
		65.8	79.72				



Gambar 6.4. Grafik Hubungan Beban-Deformasi Dial 4 Sebelum Regresi

Kurva Hubungan Beban-Deformasi Benda Uji Pada Dial 5 Sebelum Regresi

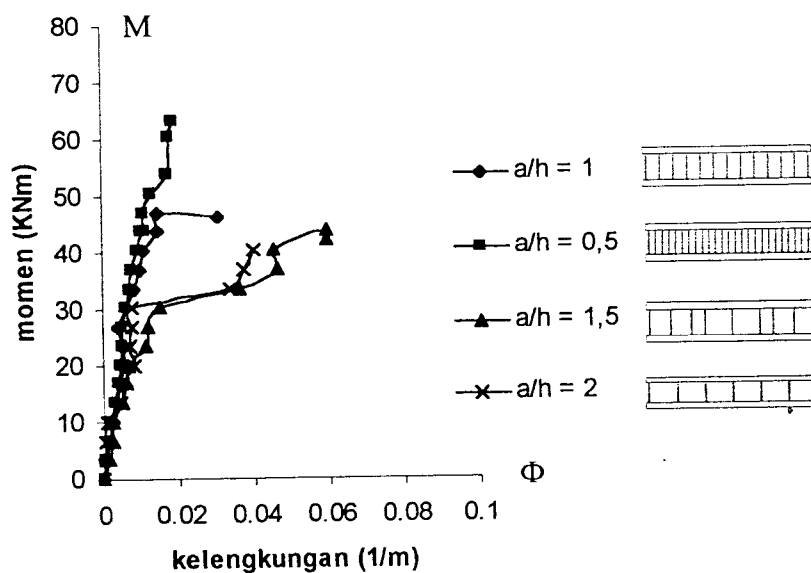
Benda Uji I (a/h=1)		Benda Uji II (a/h=0,5)		Benda Uji III (a/h=1,5)		Benda Uji IV (a/h=2)	
Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)	Beban (KN)	Deformasi (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0.32	3.5	0.86	3.5	1.91	3.5	0.82
7	3.29	7	2.82	7	4.265	7	3.15
10.5	5.24	10.5	4.42	10.5	6.58	10.5	5.08
14	7.16	14	5.85	14	8.63	14	7.11
17.5	9.14	17.5	7.16	17.5	10.95	17.5	9.34
21	11.11	21	8.55	21	13.37	21	11.84
24.5	12.97	24.5	10.06	24.5	16.53	24.5	13.78
28	20.16	28	11.55	28	19.29	28	15.98
31.5	23.09	31.5	13.02	31.5	25.93	31.5	18.98
35	27.06	35	14.48	35	35.48	35	32.23
38.5	31.11	38.5	16.18	38.5	38.84	38.5	37.72
42	35.4	42	18.88	42	46.18	42	43.68
45.5	38.22	45.5	21.03	45.5	57.4	40.25	45.51
49	40.15	49	23.4	43.75	61.4		
48.3	48.4	52.5	26.24				
		56	29.41				
		59.5	38.08				
		63	42.36				
		65.8	44.35				



Gambar 6.5. Grafik Hubungan Beban-Deformasi Dial 5 Sebelum Regresi

Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji Sebelum Regresi

Benda Uji I (a/h=1)		Benda Uji II (a/h=0,5)		Benda Uji III (a/h=1,5)		Benda Uji IV (a/h=2)	
Momen (KNm)	Kelengkungan (1/m)	Momen (KNm)	Kelengkungan (1/m)	Momen (KNm)	Kelengkungan (1/m)	Momen (KNm)	Kelengkungan (1/m)
0	0	0	0	0	0	0	0
3.36	0.000228	3.36	0.00077	3.36	0.001682	3.36	0.00042
6.72	0.001704	6.72	0.001812	6.72	0.002626	6.72	0.00052
10.08	0.002713	10.08	0.002127	10.08	0.002821	10.08	0.00111
13.44	0.003722	13.44	0.003309	13.44	0.005398	13.44	0.00456
16.8	0.004829	16.8	0.004384	16.8	0.006554	16.8	0.00542
20.16	0.005621	20.16	0.004546	20.16	0.006977	20.16	0.00842
23.52	0.005458	23.52	0.005317	23.52	0.011447	23.52	0.00716
26.88	0.003950	26.88	0.005436	26.88	0.012088	26.88	0.00802
30.24	0.006434	30.24	0.006098	30.24	0.01543	30.24	0.00795
33.6	0.008518	33.6	0.007324	33.6	0.036111	33.6	0.03373
36.96	0.010080	36.96	0.008079	36.96	0.046213	36.96	0.03717
40.32	0.011111	40.32	0.009386	40.32	0.045323	40.32	0.04004
43.68	0.014497	43.68	0.010384	43.68	0.059348	38.54	0.04006
47.04	0.014779	43.68	0.011458	42	0.059527		
46.368	0.030621	47.04	0.011252				
		50.4	0.012988				
		53.76	0.017122				
		60.48	0.017763				
		63.168	0.01875				



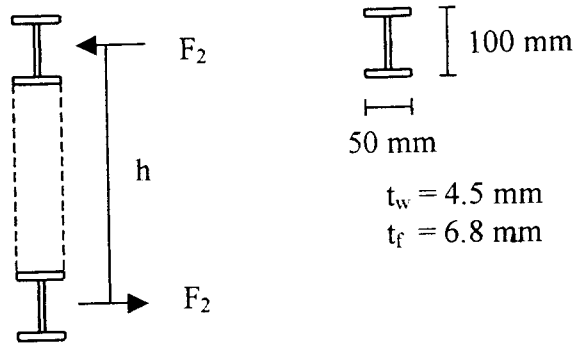
Gambar 6.6. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Sebelum Regresi

LAMPIRAN 4

PERHITUNGAN RENCANA

PERHITUNGAN RENCANA

1. Tegangan Bahan Profil INP (100x50)



$$F_{cr1} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2) \left(\frac{b/2}{t_f} \right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 0.425 \text{ pada sayap}$$
$$= \frac{0.425 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{12(1-0.3^2) \left(\frac{50/2}{6.8} \right)^2}$$
$$= 5967.92 \text{ Mpa} > F_y = 360 \text{ Mpa (dipakai } F_{cr} = 360 \text{ Mpa)}$$

$$F_{cr2} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2) \left(\frac{h}{t_w} \right)^2}, \text{ dengan nilai } k = 4 \text{ pada badan}$$
$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{12(1-0.3^2) \left(\frac{100}{4.5} \right)^2}$$
$$= 1537.38 \text{ Mpa} > F_y = 360 \text{ Mpa (dipakai } F_{cr} = 360 \text{ Mpa)}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cr1} &= F_{cr1} \times A_{sayap} \\
 &= 360 \times (50 \times 6.8 \times 2) \\
 &= 244800 \text{ N} = 244.8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cr2} &= F_{cr2} \times A_{badan} \\
 &= 360 \times ((100 - 2 \times 6.8) \times 4.5) \\
 &= 139968 \text{ N} = 139.968 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma P_{cr} = 244.8 + 139.968 = 384.768 \text{ kN}$$

$$P_{cr \text{ rata-rata}} = \frac{384.768}{2} = 192.384 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= P_{cr \text{ rata-rata}} \cdot h \\
 &= 192.384 \cdot (0.48) \\
 &= 92.344 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

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

$$P = \frac{6M}{L} = \frac{6 \times 92.344}{5.76} = 96.192 \text{ kN} \cong 96 \text{ kN}$$

$$P_1 = P_2 = \frac{96}{2} = 48 \text{ kN}$$

2. Kapasitas Penampang

2.1 Kapasitas Batang Tekan Profil INP

Batang Tekan AISC

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

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

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

Keterangan : λ = kelangsingan batang

l = panjang batang

k = faktor panjang efektif dengan kondisi tumpuan

r_{\min} = jari-jari girasi minimum

Syarat kelangsingan :

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

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

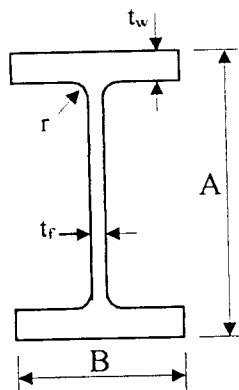
Kelangsingan kritis dengan pengaku = Cc'

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Fy}}$$

Kekuatan desak kritis profil

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

Baja profil yang digunakan adalah baja profil I (INP 100 x 50mm)



Keterangan :

$$A = 100 \text{ mm}$$

$$B = 50 \text{ mm}$$

$$t_w = 4,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 6,8 \text{ mm}$$

$$r = 2,7 \text{ mm}$$

$$Ag = (6.8 \times 50 \times 2) + ((100 - (6.8 \times 2)) \times 4.5)$$

$$= 1068.8 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 2 \cdot \left(\left(\frac{1}{12} \times 50 \times 6.8^3 \right) + (50 \times 6.8) \cdot (50 - 3.4)^2 \right) + \left(\frac{1}{12} \times 4.5 \times (100 - (6.8 \times 2))^3 \right)$$

$$= 1721145.771 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \times 6.8 \times 50^3 \right) + \left(\frac{1}{12} \times (100 - (6.8 \times 2)) \times 4.5^3 \right)$$

$$= 142322.766 \text{ mm}^4$$

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{142322.766}{1068.8}} = 11.54$$

2.1.1 Kapasitas profil INP (100x50) Benda Uji 1 ($l = 48 \text{ mm}$)

$$\frac{kL}{r} = \frac{1 \times 48}{11.54} = 4.159$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2.1 \times 10^5}{360}} = 107.306$$

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

termasuk kolom pendek, sehingga

$$\sigma_{cr} = F_y \left[1 - \frac{(kL/r)^2}{2Cc^2} \right] = 360 \left[1 - \frac{4.159^2}{2 \times 107.306^2} \right] = 359.729 \text{ MPa}$$

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A = 359.729 \times 1068.8 = 384478.937 \text{ N} = 384.478 \text{ kN}$$

2.1.2 Kapasitas profil INP (100x50) Benda Uji 2 ($l = 24 \text{ mm}$)

$$\frac{kL}{r} = \frac{1 \times 24}{11.54} = 2.079$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2.1 \times 10^5}{360}} = 107.306$$

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

termasuk kolom pendek, sehingga

$$\sigma_{cr} = F_y \left[1 - \frac{(kL/r)^2}{2C_c^2} \right] = 360 \left[1 - \frac{2,079^2}{2 \times 107,306^2} \right] = 359,932 \text{ MPa}$$

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A = 359,932 \times 1068,8 = 384695,734 \text{ N} = 384,695 \text{ kN}$$

2.1.3 Kapasitas profil INP (100x50) Benda Uji 3 ($l = 72 \text{ mm}$)

$$\frac{kL}{r} = \frac{1 \times 72}{11,54} = 6,239$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2,1 \times 10^5}{360}} = 107,306$$

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

termasuk kolom pendek, sehingga

$$\sigma_{cr} = F_y \left[1 - \frac{(kL/r)^2}{2C_c^2} \right] = 360 \left[1 - \frac{6,329^2}{2 \times 107,306^2} \right] = 359,391 \text{ MPa}$$

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A = 359,391 \times 1068,8 = 384117,609 \text{ N} = 384,117 \text{ kN}$$

2.1.4 Kapasitas profil INP (100x50) Benda Uji 4 ($l = 96 \text{ mm}$)

$$\frac{kL}{r} = \frac{1 \times 96}{11,54} = 8,319$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2,1 \times 10^5}{360}} = 107,306$$

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

termasuk kolom pendek, sehingga

$$\sigma_{cr} = F_y \left[1 - \frac{(kL/r)^2}{2C_c^2} \right] = 360 \left[1 - \frac{8,319^2}{2 \times 107,306^2} \right] = 358,918 \text{ MPa}$$

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A = 358.918 \times 1068.8 = 383611.719 \text{ N} = 383.611 \text{ kN}$$

2.2 Kapasitas Batang Tarik Profil INP (100x50)

$$f_y = 360 \text{ Mpa} = 3600 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 480 \text{ Mpa} = 4800 \text{ kg/cm}^2$$

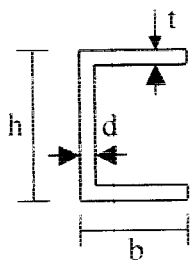
$$A_e = C_t \cdot A_n = 1 \cdot 10.688 = 10.688 \text{ cm}^2$$

$$T = 0.9 f_y A_g = 0.9 \cdot 3600 \cdot 10.688 = 34629.12 \text{ kg} = 34.629 \text{ ton}$$

$$T = 0.75 f_u A_e = 0.75 \cdot 4800 \cdot 10.688 = 38476.8 \text{ kg} = 38.476 \text{ ton}$$

Jadi kapasitas batang tarik profil INP (100x50) adalah 34629 kg (yang terkecil)

2.3 Kapasitas Batang Desak Profil UNP (50x38)



$$h = 50 \text{ mm} ; b = 38 \text{ mm}$$

$$d = 5 \text{ mm} ; t = 7 \text{ mm}$$

$$A = 7.1 \text{ cm}^2 ; r_{\min} = 1.13$$

$$I_x = 26.4 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 9.1 \text{ cm}^4$$

Untuk semua benda uji panjang batang profil UNP adalah 38 cm

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 38}{1.13} = 33.56$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{f_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2.1 \times 10^5}{380}} = 104.444$$

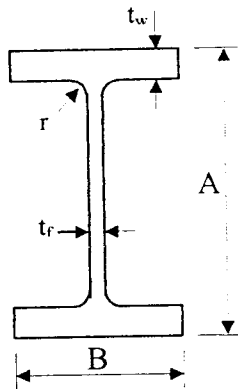
$$\frac{KL}{r} < C_c$$

termasuk kolom pendek, sehingga

$$\sigma_{cr} = f_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] = 380 \left[1 - \frac{33.56^2}{2 \times 104.444^2} \right] = 360.383 \text{ MPa}$$

$$P_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A = 360.383 \times 710 = 255871.93 \text{ N} = 255.871 \text{ kN}$$

3. Menghitung Jarak Dukungan Lateral



Keterangan :

$$A = 100 \text{ mm}$$

$$B = 50 \text{ mm}$$

$$t_w = 4,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 6,8 \text{ mm}$$

$$r = 2,7 \text{ mm}$$

Persamaan yang dipakai untuk menghitung jarak pengaku lateral :

$$- L_b < L_p$$

$$- L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Dengan :

L_b = jarak antara pengaku lateral

L_p = Jarak ijin pengaku lateral

r_y = jari-jari girasi

E = modulus elastisitas penampang

F_y = kuat leleh baja

$$I_y = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \times 6.8 \times 50^3 \right) + \left(\frac{1}{12} \times (100 - (6.8 \times 2)) \times 4.5^3 \right)$$

$$= 142322.766 \text{ mm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{142322.766}{1068.8}} = 11.54 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 1,76 \cdot 1.154 \cdot \sqrt{\frac{29000}{36}} = 57 \text{ cm}$$

L_p pada perhitungan diatas merupakan syarat sehingga telah diperhitungkan dengan angka aman, pada pelaksanaanya diambil nilai $L_b = 75 \text{ cm}$

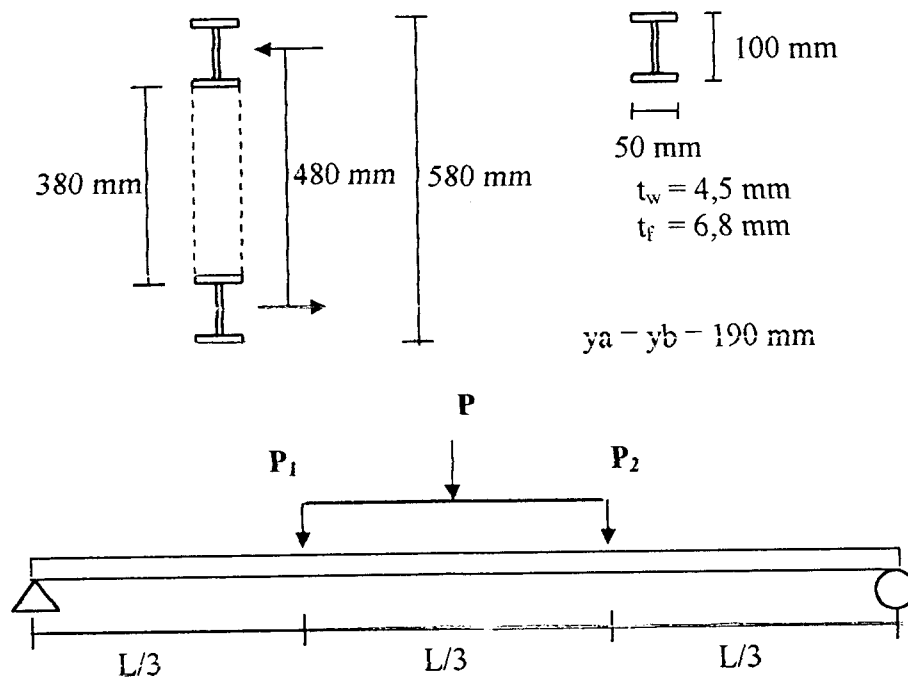
Panjang bentang benda uji = 600 cm

Jadi dukungan lateral yang dibutuhkan $\frac{600}{75} + 1 = 9$ buah

Dukungan lateral diberikan pada setiap jarak 75 cm di kedua sisi benda uji

4. Menghitung Lendutan Benda Uji Dipandang Sebagai Balok Sederhana

Dimensi profil : INP (100x50x4,5x6,8)



$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} . b . h^3 + A . d^2 \\
 &= 2 \left[\frac{1}{12} . 50 . 6,8^3 + (50 . 6,8) \left(290 - \frac{6,8}{2} \right)^2 \right] + 2 \left[\frac{1}{12} . 50 . 6,8^3 + (50 . 6,8) \left(190 + \frac{6,8}{2} \right)^2 \right] \\
 &\quad + 2 \left[\frac{1}{12} . 4,5 . (100 - 2 . 6,8)^3 + (4,5 . (100 - 2 . 6,8)) . 240^2 \right] \\
 &= 55857521,06 + 25437041,06 + 45273489,4 \\
 &= 126568051,5 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

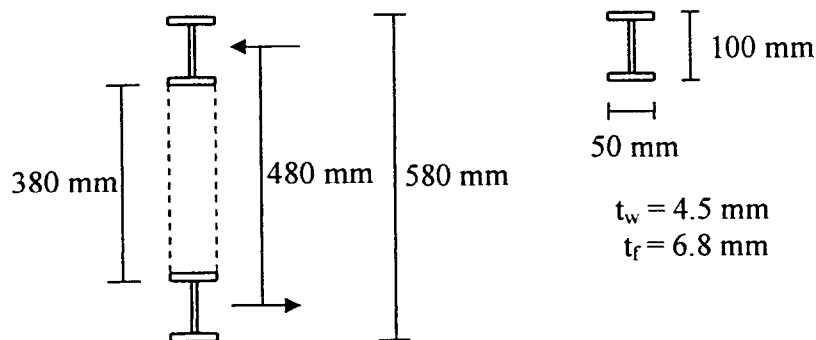
$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$P = 48 \text{ KN}$$

$$L = 5760 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_{\text{man}} &= \frac{23 . P . L^3}{648 . E . I} \\
 &= \frac{23 . 48 . 10^3 (5760)^3}{648 . 2,1 \cdot 10^5 . 126568051,5} \\
 &= 12.2495 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

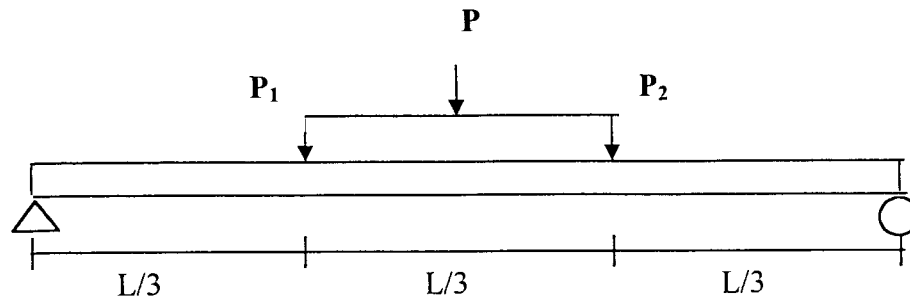
5. Menghitung Beban teoritis



$$rT = \sqrt{\frac{(1/12) . t_f . b_f^3}{(b_f . t_f) + (1/6) [(d - 2 . t_f) . t_w]}} = 13,398 \text{ mm} = 0,5275 \text{ inci}$$

$$I_x = 126568051,5 \text{ mm}^4$$

$$Y = 290 \text{ mm}$$



Momen maksimum

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

Section Modulus

$$S = \frac{I}{Y}$$

$$= \frac{126568051,5}{290} = 436441.5569 \text{ mm}^3$$

$$fb = \frac{M}{S} < F_b$$

$$M = S \cdot F_b$$

Mencari tegangan lentur ijin F_b

$$L_b = 75 \text{ cm} = 2,4606 \text{ ft}$$

$$L_c = \frac{76 \cdot bf}{12 \cdot \sqrt{F_y}} = \frac{76 \cdot 1,9685}{12 \cdot \sqrt{52,2}} = 1,72557 \text{ ft} = 52,59885 \text{ cm}$$

$$L_u = \frac{rT}{12} \sqrt{\frac{102000.Cb}{F_y}} = \frac{0,5275}{12} \sqrt{\frac{102000.1}{52,2}} = 1,94315 \text{ ft} = 59,2274 \text{ cm}$$

$L_b > L_u$ maka :

$$\frac{L_b}{rT} \leq \sqrt{\frac{510000.cb}{F_y}}$$

$$\frac{2,4606.12}{0,5275} \leq \sqrt{\frac{510000.1}{52,2}}$$

$$55,9757 < 98,844$$

Rumus mencari F_b adalah :

$$1. F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y.(L_b/rT)^2}{1530000.Cb} \right] F_y$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{52,2.(2,4606.12/0,5275)^2}{1530000.1} \right] 52,2 = 29,2198 \text{ ksi} = 201,4705 \text{ MPa} = 2014,705 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$2. F_b = 0,6F_y$$

$$F_b = 0,6.52,2 = 31,32 \text{ ksi} = 215,9514 \text{ MPa} = 2159,514 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

F_b yang dipakai adalah F_b yang terkecil yaitu 2014,705 MPa

$$M = F_b \cdot S$$

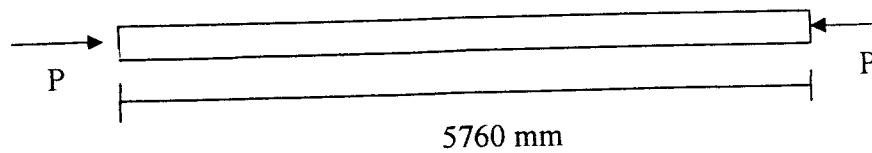
$$= 2014,705 \cdot 436,4415569$$

$$= 879300,9869 \text{ kg cm}$$

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

$$P = \frac{6M}{L} = \frac{6 \cdot 879300,9869}{576} = 9159,385 \text{ kg} = 89,823 \text{ KN}$$

b. P teoritis ditinjau dalam satu bentang



Ujung sendi-sendii , $K = 1$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1.576.}{1,154} = 499,1334$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2.1 \times 10^5}{360}} = 107,306$$

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

termasuk kolom langsing, sehingga

$$\begin{aligned} F_a &= \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{(499,133)^2} = 8,3193 \end{aligned}$$

$$P = F_a \cdot A = 8,3193 \cdot 1068,8 = 8891,668 \text{ kg} = 87,197 \text{ KN}$$

LAMPIRAN 5

HASIL ANALISIS SAP 2000

Gaya Batang setiap Elemen Benda Uji I ($a/h = 1$)
 Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban $P1 = P2 = 24.5 \text{ KN}$

Batang	Station	Gaya Aksial	Gaya Geser	Momen
1	0	-12.470	-16.681	-4.013
1	0.48	-12.443	-16.681	3.993
3	0	-12.443	-16.681	-3.993
3	0.48	-12.470	-16.681	4.013
5	0	-16.681	-12.443	-3.993
5	0.48	-16.681	-12.404	1.970
6	0	-37.109	-12.613	-2.928
6	0.48	-37.109	-12.574	3.117
7	0	-58.008	-12.328	-1.899
7	0.48	-58.008	-12.288	4.009
8	0	-76.574	-12.710	-0.453
8	0.48	-76.574	-12.670	5.639
9	0	-88.143	0.210	2.862
9	0.48	-88.143	0.250	2.752
10	0	-92.250	-0.173	1.772
10	0.48	-92.250	-0.134	1.845
11	0	-92.250	0.134	1.845
11	0.48	-92.250	0.173	1.772
12	0	-88.143	-0.250	2.752
12	0.48	-88.143	-0.210	2.862
13	0	-76.574	12.670	5.639
13	0.48	-76.574	12.710	-0.453
14	0	-58.008	12.288	4.009
14	0.48	-58.008	12.328	-1.899
15	0	-37.109	12.574	3.117
15	0.48	-37.109	12.613	-2.928
16	0	-16.681	12.404	1.970
16	0.48	-16.681	12.443	-3.993
17	0	16.681	-12.674	-4.013
17	0.48	16.681	-12.634	2.061
18	0	37.109	-12.399	-2.847
18	0.48	37.109	-12.360	3.095
19	0	58.008	-12.579	-1.921
19	0.48	58.008	-12.540	4.108
20	0	76.574	-12.092	-0.342
20	0.48	76.574	-12.053	5.453
21	0	88.143	-0.407	2.676
21	0.48	88.143	-0.368	2.862
22	0	92.250	8.09E-02	1.871
22	0.48	92.250	0.120	1.822
23	0	92.250	-0.120	1.822
23	0.48	92.250	-8.090E-02	1.871
24	0	88.143	0.368	2.862
24	0.48	88.143	0.407	2.676
25	0	76.574	12.053	5.453
25	0.48	76.574	12.092	-0.342
26	0	58.008	12.540	4.108
26	0.48	58.008	12.579	-1.921
27	0	37.109	12.360	3.095
27	0.48	37.109	12.399	-2.847

tabel lanjutan

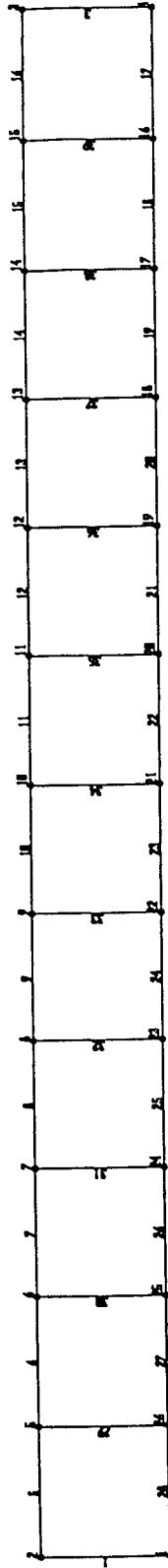
28	0	16.681	12.634	2.061
28	0.48	16.681	12.674	-4.013
29	0	-0.236	-20.429	-4.908
29	0.48	-0.209	-20.429	4.898
30	0	0.220	-20.898	-5.016
30	0.48	0.246	-20.898	5.015
31	0	-0.448	-18.567	-4.450
31	0.48	-0.421	-18.567	4.462
32	0	-11.646	-11.569	-2.776
32	0.48	-11.619	-11.569	2.776
33	0	-0.449	-4.107	-0.992
33	0.48	-0.423	-4.107	0.980
34	0	0.241	0	0
34	0.48	0.267	0	0
35	0	-0.449	4.107	0.992
35	0.48	-0.423	4.107	-0.980
36	0	-11.646	11.569	2.776
36	0.48	-11.619	11.569	-2.776
37	0	-0.448	18.567	4.450
37	0.48	-0.421	18.567	-4.462
38	0	0.220	20.898	5.016
38	0.48	0.246	20.898	-5.015
39	0	-0.236	20.429	4.908
39	0.48	-0.209	20.429	-4.898

Gaya Batang Benda Uji I ($a/h = 1$)

No Batang	Gaya Batang (KN)	Kapasitas (KN)	Keterangan
1	-12.470	255.871	Aman
3	-12.470	255.871	Aman
5	-16.681	384.478	Aman
6	-37.109	384.478	Aman
7	-58.008	384.478	Aman
8	-76.574	384.478	Aman
9	-88.143	384.478	Aman
10	-92.250	384.478	Aman
11	-92.250	384.478	Aman
12	-88.143	384.478	Aman
13	-76.574	384.478	Aman
14	-58.008	384.478	Aman
15	-37.109	384.478	Aman
16	-16.681	384.478	Aman
17	16.681	339.59	Aman
18	37.109	339.59	Aman
19	58.008	339.59	Aman
20	76.574	339.59	Aman
21	88.143	339.59	Aman
22	92.250	339.59	Aman
23	92.250	339.59	Aman
24	88.143	339.59	Aman
25	76.574	339.59	Aman
26	58.008	339.59	Aman
27	37.409	339.59	Aman
28	16.681	339.59	Aman
29	-0.236	255.871	Aman
30	0.246	255.871	Aman
31	-0.448	255.871	Aman
32	-11.646	255.871	Aman
33	-0.449	255.871	Aman
34	0.267	255.871	Aman
35	-0.449	255.871	Aman
36	-11.646	255.871	Aman
37	-0.448	255.871	Aman
38	0.225	255.871	Aman
39	-0.236	255.871	Aman

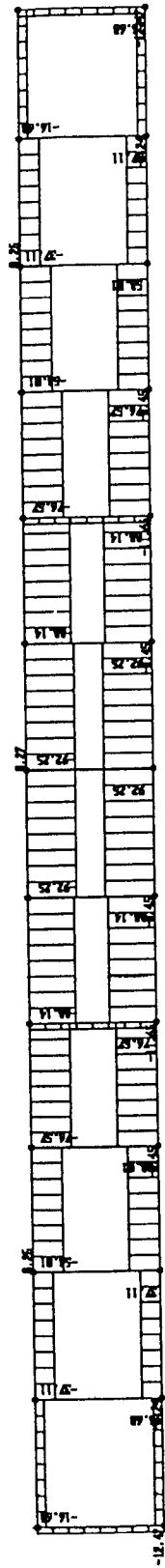
9/10/03 8:22:47

SAP2000



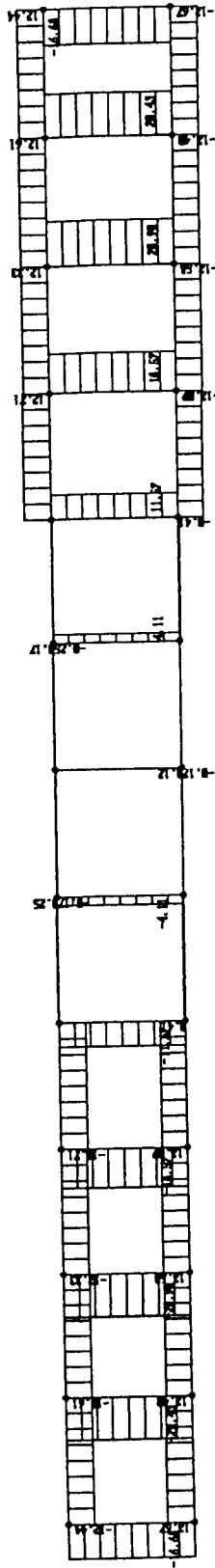
9/10/03 18:46:15

SAP2000



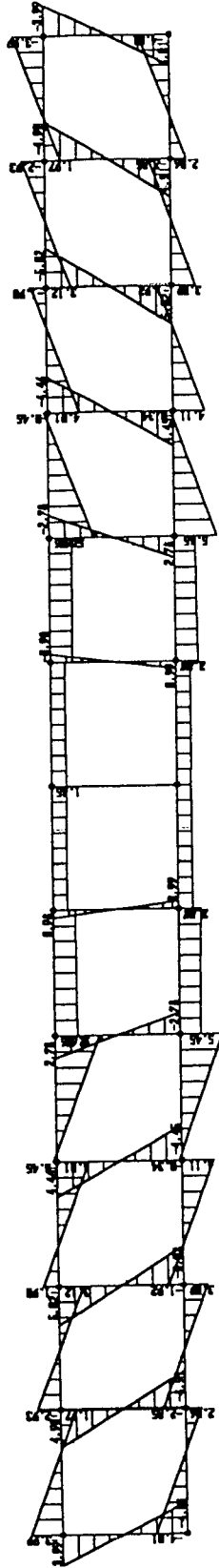
9/10/03 18:47:20

SAP2000



9/10/03 18:47:31

SAP2000



Gaya Batang setiap Elemen Benda Uji II ($a/h = 0,5$)
 Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban $P1 = P2 = 32.9 \text{ KN}$

Batang	Station	Gaya Aksial	Gaya Geser	Momen
1	0	-16.186	-12.414	-3.001
1	0.48	-16.160	-12.414	2.958
3	0	-16.160	-12.414	-2.958
3	0.48	-16.186	-12.414	3.001
5	0	-12.414	-16.160	-2.958
5	0.24	-12.414	-16.140	0.918
6	0	-26.599	-17.260	-2.474
6	0.24	-26.599	-17.241	1.667
7	0	-41.645	-16.856	-1.944
7	0.24	-41.645	-16.836	2.099
8	0	-57.020	-16.738	-1.591
8	0.24	-57.020	-16.718	2.424
9	0	-72.338	-16.701	-1.252
9	0.24	-72.338	-16.681	2.753
10	0	-87.208	-16.587	-0.815
10	0.24	-87.208	-16.567	3.163
11	0	-101.061	-16.343	-0.163
11	0.24	-101.061	-16.323	3.757
12	0	-112.917	-18.021	0.901
12	0.24	-112.917	-18.001	5.224
13	0	-120.973	1.289	3.291
13	0.24	-120.973	1.308	2.979
14	0	-125.198	-0.389	1.975
14	0.24	-125.198	-0.370	2.066
15	0	-127.321	-0.146	1.558
15	0.24	-127.321	-0.126	1.591
16	0	-128.204	-3.08E-02	1.379
16	0.24	-128.204	-1.11E-02	1.384
17	0	-128.204	1.10E-02	1.384
17	0.24	-128.204	3.08E-02	1.379
18	0	-127.321	0.126	1.591
18	0.24	-127.321	0.146	1.558
19	0	-125.198	0.370	2.066
19	0.24	-125.198	0.389	1.975
20	0	-120.973	-1.308	2.979
20	0.24	-120.973	-1.289	3.291
21	0	-112.917	18.001	5.224
21	0.24	-112.917	18.021	0.901
22	0	-101.061	16.323	3.757
22	0.24	-101.061	16.343	-0.163
23	0	-87.208	16.567	3.163
23	0.24	-87.208	16.587	-0.815
24	0	-72.338	16.681	2.753
24	0.24	-72.338	16.701	-1.252
25	0	-57.020	16.718	2.424
25	0.24	-57.020	16.738	-1.591
26	0	-41.645	16.836	2.099
26	0.24	-41.645	16.856	-1.944
27	0	-26.599	17.241	1.667
27	0.24	-26.599	17.260	-2.474

tabel lanjutan

28	0	-12.414	16.140	0.918
28	0.24	-12.414	16.160	-2.958
29	0	12.414	-17.515	-3.001
29	0.24	12.414	-17.495	1.200
30	0	26.599	-16.349	-2.217
30	0.24	26.599	-16.329	1.705
31	0	41.645	-16.688	-1.907
31	0.24	41.645	-16.668	2.095
32	0	57.020	-16.740	-1.594
32	0.24	57.020	-16.720	2.421
33	0	72.338	-16.711	-1.256
33	0.24	72.338	-16.692	2.753
34	0	87.208	-16.760	-0.816
34	0.24	87.208	-16.740	3.204
35	0	101.061	-16.938	-0.120
35	0.24	101.061	-16.918	3.943
36	0	112.917	-15.194	1.108
36	0.24	112.917	-15.174	4.752
37	0	120.973	-1.538	2.819
37	0.24	120.973	-1.519	3.186
38	0	125.198	0.205	2.161
38	0.24	125.198	0.225	2.110
39	0	127.321	2.75E-02	1.599
39	0.24	127.321	4.72E-02	1.590
40	0	128.204	-2.17E-02	1.378
40	0.24	128.204	-2.04E-03	1.381
41	0	128.204	2.04E-03	1.381
41	0.24	128.204	2.17E-02	1.378
42	0	127.321	-4.72E-02	1.590
42	0.24	127.321	-2.75E-02	1.599
43	0	125.198	-0.225	2.110
43	0.24	125.198	-0.205	2.161
44	0	120.973	1.519	3.186
44	0.24	120.973	1.538	2.819
45	0	112.917	15.174	4.752
45	0.24	112.917	15.194	1.108
46	0	101.061	16.918	3.943
46	0.24	101.061	16.938	-0.120
47	0	87.208	16.740	3.204
47	0.24	87.208	16.760	-0.816
48	0	72.338	16.692	2.753
48	0.24	72.338	16.711	-1.256
49	0	57.020	16.720	2.421
49	0.24	57.020	16.740	-1.594
50	0	41.645	16.668	2.095
50	0.24	41.645	16.688	-1.907
51	0	26.599	16.329	1.705
51	0.24	26.599	16.349	-2.217
52	0	12.414	17.495	1.200
52	0.24	12.414	17.515	-3.001
53	0	-1.147	-14.185	-3.417
53	0.48	-1.120	-14.185	3.392
54	0	0.359	-15.046	-3.612

tabel lanjutan

54	0.48	0.385	-15.046	3.610
55	0	7.19E-02	-15.374	-3.690
55	0.48	9.82E-02	-15.374	3.690
56	0	-8.91E-03	-15.319	-3.676
56	0.48	0.017	-15.319	3.676
57	0	0.068	-14.870	-3.569
57	0.48	0.094	-14.870	3.569
58	0	0.198	-13.853	-3.323
58	0.48	0.224	-13.853	3.326
59	0	-1.724	-11.856	-2.835
59	0.48	-1.698	-11.856	2.856
60	0	-13.636	-8.056	-1.933
60	0.48	-13.610	-8.056	1.933
61	0	-1.724	-4.225	-1.024
61	0.48	-1.698	-4.225	1.004
62	0	0.198	-2.123	-0.511
62	0.48	0.224	-2.123	0.508
63	0	0.0689	-0.883	-0.212
63	0.48	0.0952	-0.883	0.212
64	0	-0.00409	0	0
64	0.48	0.0222	0	0
65	0	0.0689	0.883	0.212
65	0.48	0.0952	0.883	-0.212
66	0	0.198	2.123	0.511
66	0.48	0.224	2.123	-0.508
67	0	-1.724	4.225	1.024
67	0.48	-1.698	4.225	-1.004
68	0	-13.636	8.056	1.933
68	0.48	-13.610	8.056	-1.933
69	0	-1.724	11.856	2.835
69	0.48	-1.698	11.856	-2.856
70	0	0.198	13.853	3.323
70	0.48	0.224	13.853	-3.326
71	0	0.068	14.870	3.569
71	0.48	0.094	14.870	-3.569
72	0	-0.0089	15.319	3.676
72	0.48	0.017	15.319	-3.676
73	0	0.072	15.374	3.690
73	0.48	0.098	15.374	-3.690
74	0	0.359	15.046	3.612
74	0.48	0.385	15.046	-3.610
75	0	-1.147	14.185	3.417
75	0.48	-1.120	14.185	-3.392

Gaya Batang Benda Uji II ($a/h = 0.5$)

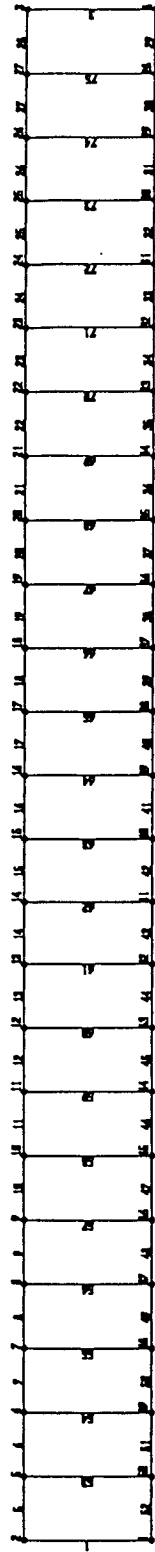
No Batang	Gaya Batang (KN)	Kapasitas (KN)	Keterangan
1	-16.186	255.871	Aman
3	-16.186	255.871	Aman
5	-12.414	339.59	Aman
6	-26.599	339.59	Aman
7	-41.645	339.59	Aman
8	-57.020	339.59	Aman
9	-72.338	339.59	Aman
10	-57.208	339.59	Aman
11	-101.061	339.59	Aman
12	-112.917	339.59	Aman
13	-120.973	339.59	Aman
14	-125.198	339.59	Aman
15	-127.321	339.59	Aman
16	-128.204	339.59	Aman
17	-128.204	339.59	Aman
18	-128.321	339.59	Aman
19	-125.198	339.59	Aman
20	-120.973	339.59	Aman
21	-112.917	339.59	Aman
22	-101.061	339.59	Aman
23	-87.208	339.59	Aman
24	-72.338	339.59	Aman
25	-57.020	339.59	Aman
26	-41.645	339.59	Aman
27	-26.599	339.59	Aman
28	-12.414	339.59	Aman
29	12.414	346.29	Aman
30	26.599	346.29	Aman
31	41.645	346.29	Aman
32	57.020	346.29	Aman
33	72.338	346.29	Aman
34	87.208	346.29	Aman
35	101.061	346.29	Aman
36	112.917	346.29	Aman
37	120.973	346.29	Aman
38	125.198	346.29	Aman
39	127.321	346.29	Aman
40	128.204	346.29	Aman
41	128.204	346.29	Aman
42	127.321	346.29	Aman
43	125.198	346.29	Aman
44	120.973	346.29	Aman
45	112.917	346.29	Aman
46	101.061	346.29	Aman
47	87.208	346.29	Aman
48	72.338	346.29	Aman
49	57.020	346.29	Aman
50	41.645	346.29	Aman
51	26.599	346.29	Aman
52	12.414	346.29	Aman
53	-1.147	255.871	Aman

tabel lanjutan

54	0.359	255.871	Aman
55	0.098	255.871	Aman
56	0.017	255.871	Aman
57	0.094	255.871	Aman
58	0.198	255.871	Aman
59	-1.724	255.871	Aman
60	-13.636	255.871	Aman
61	-1.724	255.871	Aman
62	-0.224	255.871	Aman
63	-0.095	255.871	Aman
64	0.022	255.871	Aman
65	0.095	255.871	Aman
66	0.224	255.871	Aman
67	-1.724	255.871	Aman
68	-13.636	255.871	Aman
69	-1.724	255.871	Aman
70	0.224	255.871	Aman
71	0.094	255.871	Aman
72	0.017	255.871	Aman
73	0.098	255.871	Aman
74	-0.385	255.871	Aman
75	-1.147	255.871	Aman

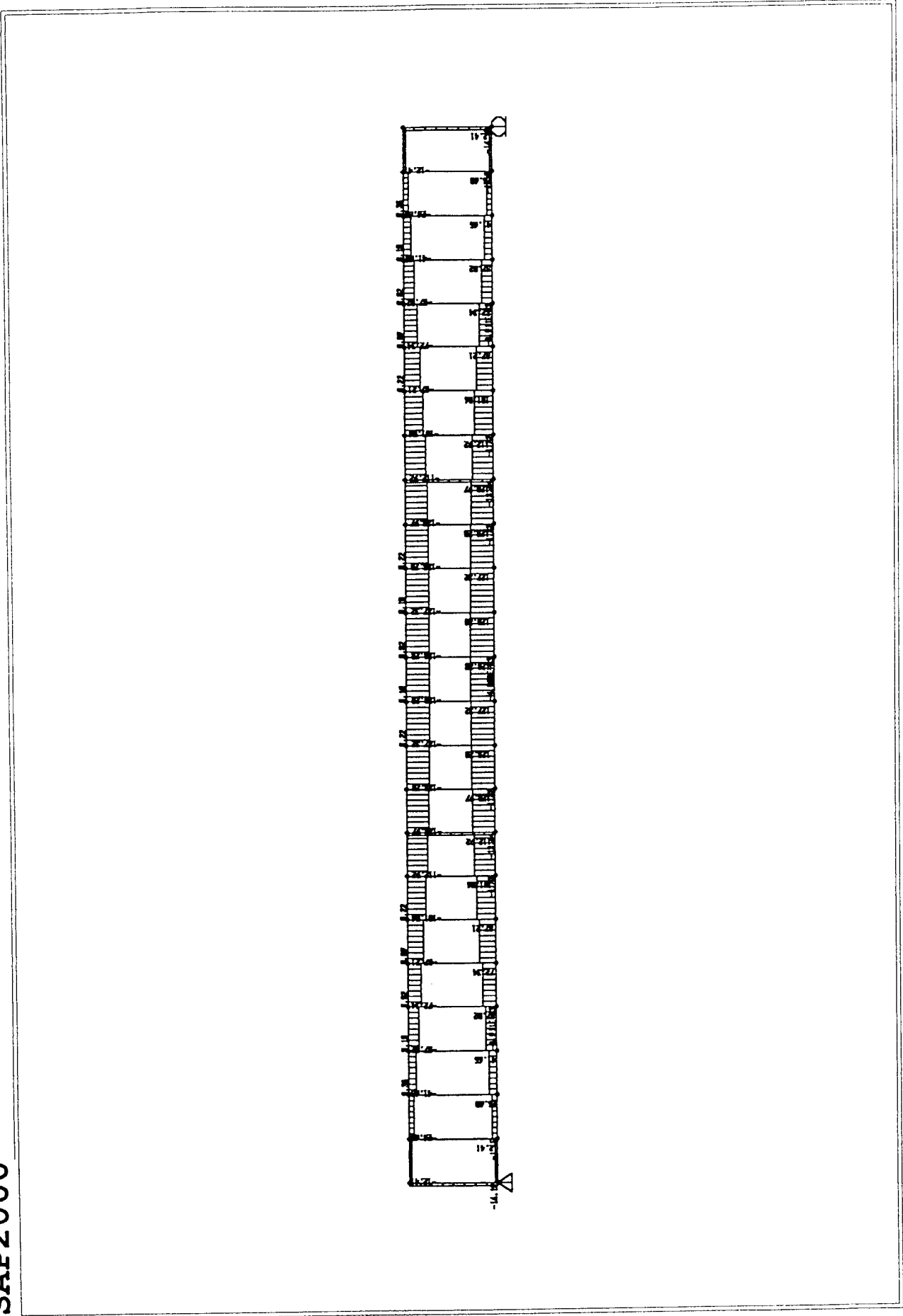
SAP2000

9/10/03 8:25:17



9/10/03 19:03:23

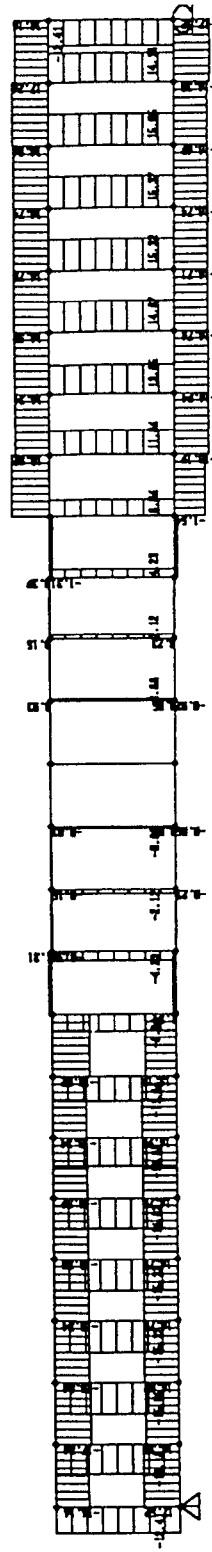
SAP2000



SAP2000 v7.42 - File:Type IV - Axial Force Diagram (LOAD1) - KN-m Units

SAP2000

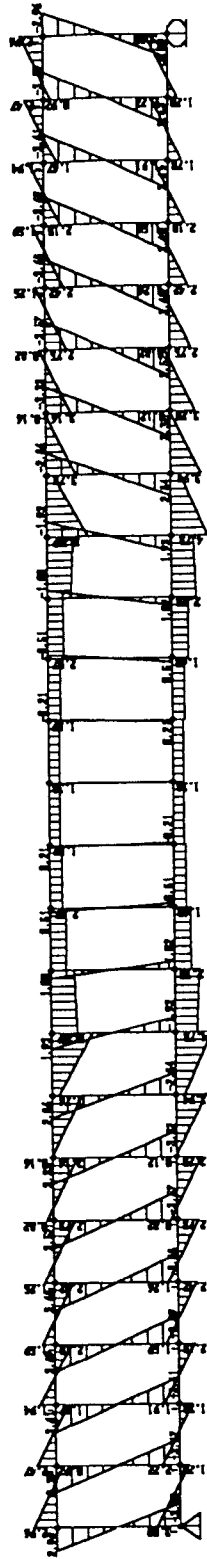
9/10/03 19:09:54



SAP2000 v7.42 - File: Tipe IV - Shear Force 2-2 Diagram (LOAD1) - KN-m Units

9/10/03 19:11:05

SAP2000



SAP2000 v7.42 - File:Type IV - Moment 3-3 Diagram (LOAD1) - KN-m Units

Gaya Batang setiap Elemen Benda Uji III ($a/h = 1,5$)
 Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban $P1 = P2 = 22.75$ KN

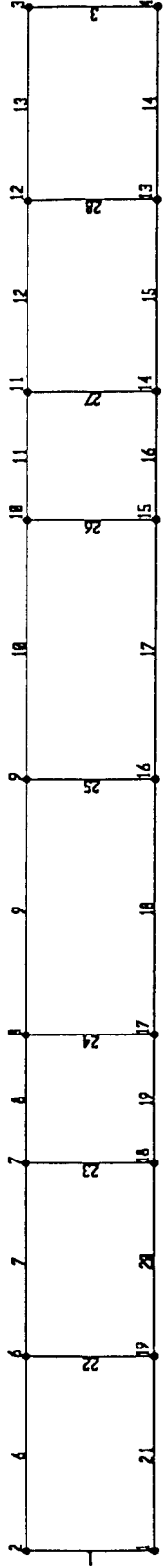
Batang	Station	Gaya Aksial	Gaya Geser	Momen
1	0	-11.654	-21.053	-5.059
1	0.48	-11.628	-21.053	5.047
3	0	-11.628	-21.053	-5.047
3	0.48	-11.654	-21.053	5.059
6	0	-21.053	-11.628	-5.047
6	0.72	-21.053	-11.568	3.304
7	0	-47.220	-11.556	-2.972
7	0.72	-47.220	-11.497	5.327
8	0	-68.877	-11.714	0.123
8	0.48	-68.877	-11.675	5.736
9	0	-82.187	0.0185	2.539
9	0.96	-82.187	0.0973	2.483
10	0	-82.187	-0.0973	2.483
10	0.96	-82.187	-0.0185	2.539
11	0	-68.877	11.675	5.736
11	0.48	-68.877	11.714	0.123
12	0	-47.220	11.497	5.327
12	0.72	-47.220	11.556	-2.972
13	0	-21.053	11.568	3.304
13	0.72	-21.053	11.628	-5.047
14	0	21.053	-11.687	-5.059
14	0.72	21.053	-11.628	3.335
15	0	47.220	-11.614	-2.949
15	0.72	47.220	-11.555	5.391
16	0	68.877	-11.312	0.200
16	0.48	68.877	-11.272	5.620
17	0	82.187	-0.189	2.429
17	0.96	82.187	-0.110	2.573
18	0	82.187	0.110	2.573
18	0.96	82.187	0.189	2.429
19	0	68.877	11.272	5.620
19	0.48	68.877	11.312	0.200
20	0	47.220	11.555	5.391
20	0.72	47.220	11.614	-2.949
21	0	21.053	11.628	3.335
21	0.72	21.053	11.687	-5.059
22	0	-0.0139	-26.167	-6.284
22	0.48	0.0123	-26.167	6.276
23	0	-0.243	-21.657	-5.191
23	0.48	-0.217	-21.657	5.204
24	0	-11.083	-13.310	-3.191
24	0.48	-11.057	-13.310	3.198
25	0	-0.221	0	0
25	0.48	-0.195	0	0
26	0	-11.083	13.310	3.191
26	0.48	-11.057	13.310	-3.198
27	0	-0.243	21.657	5.191
27	0.48	-0.217	21.657	-5.204
28	0	-0.0139	26.167	6.284
28	0.48	0.0123	26.167	-6.276

Gaya Batang Benda Uji III ($a/h = 1.5$)

No Batang	Gaya Batang (KN)	Kapasitas (KN)	Keterangan
1	-11.654	255.871	Aman
3	-11.654	255.871	Aman
6	-21.053	384.117	Aman
7	-47.220	384.117	Aman
8	-68.877	384.117	Aman
9	-82.187	384.117	Aman
10	-82.187	384.117	Aman
11	-68.877	384.117	Aman
12	-47.220	384.117	Aman
13	-21.053	384.117	Aman
14	21.053	339.59	Aman
15	47.220	339.59	Aman
16	68.877	339.59	Aman
17	82.187	339.59	Aman
18	82.187	339.59	Aman
19	68.877	339.59	Aman
20	47.220	339.59	Aman
21	21.053	339.59	Aman
22	0.014	255.871	Aman
23	0.243	255.871	Aman
24	-11.083	255.871	Aman
25	-0.221	255.871	Aman
26	-11.083	255.871	Aman
27	-0.243	255.871	Aman
28	0.012	255.871	Aman

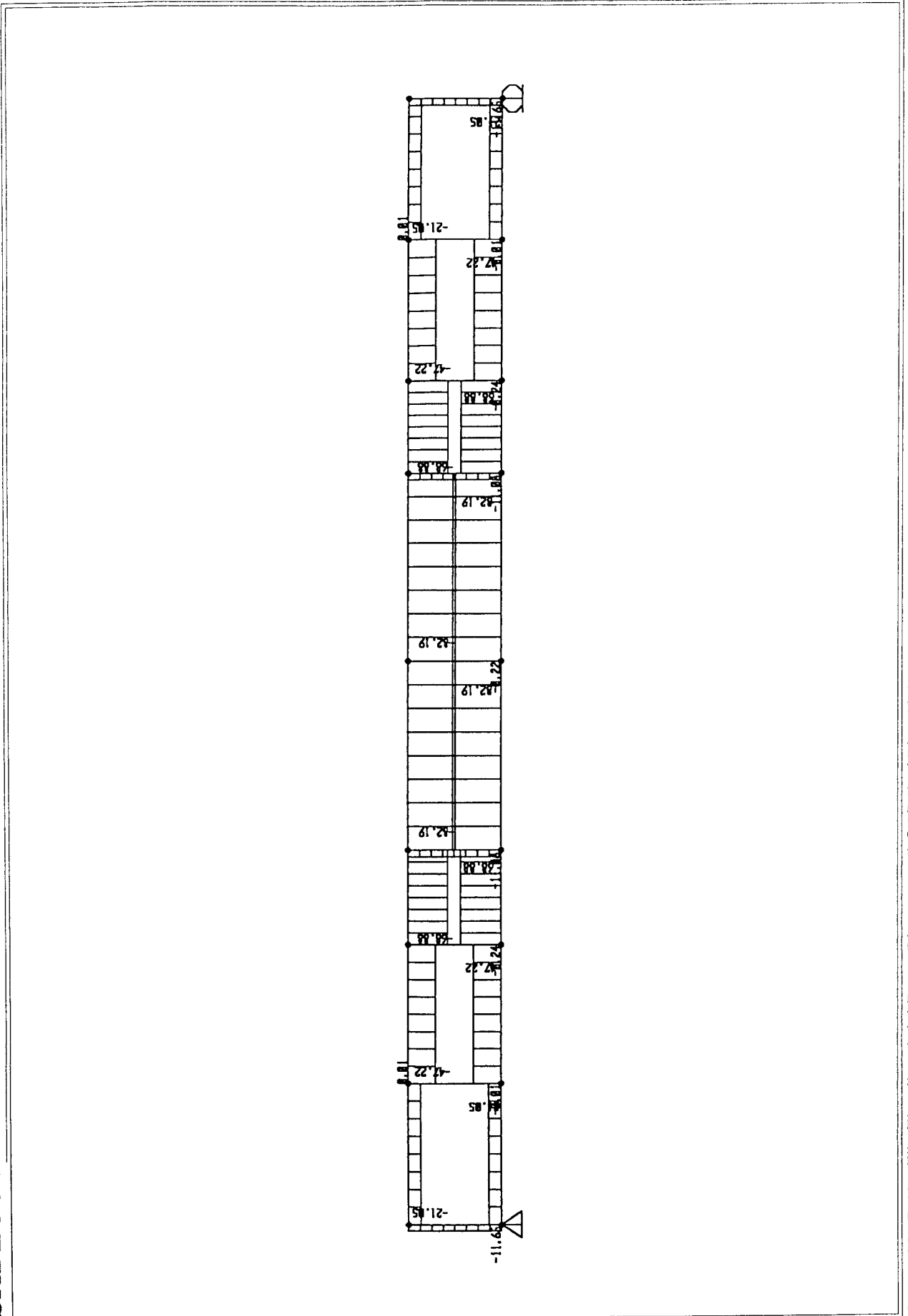
9/10/03 8:21:50

SAP2000



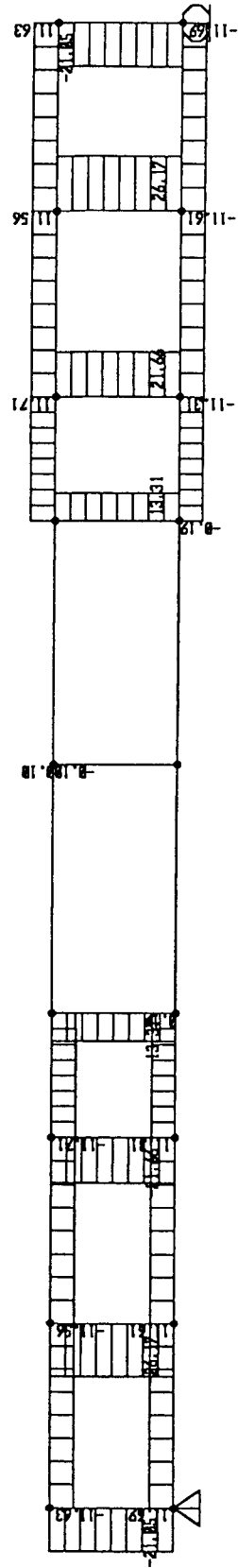
SAP2000

9/10/03 18:40:51



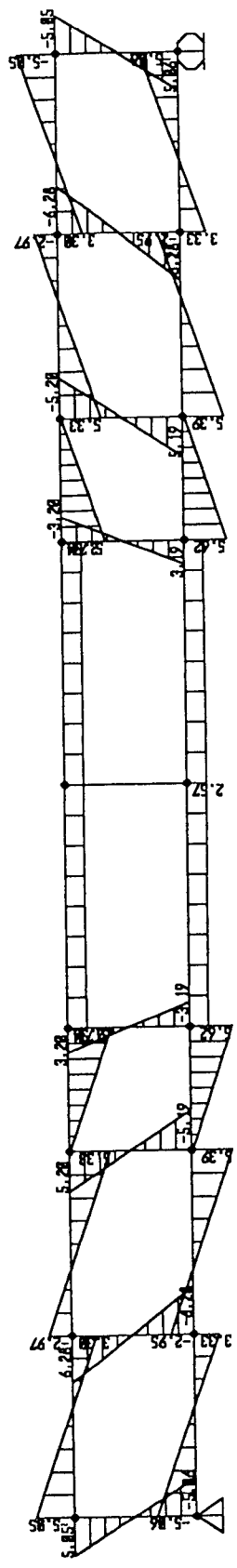
SAP2000

9/10/03 18:41:51



9/10/03 18:42:27

SAP2000



Gaya Batang setiap Elemen Benda Uji IV ($a/h = 2$)
 Hasil Analisis SAP 2000 dengan Beban $P1 = P2 = 21$ KN

Batang	Station	Gaya Aksial	Gaya Geser	Momen
1	0	-10.761	-24.467	-5.878
1	0.24	-10.748	-24.467	-0.00561
1	0.48	-10.735	-24.467	5.866
3	0	-10.735	-24.467	-5.866
3	0.24	-10.748	-24.467	0.00561
3	0.48	-10.761	-24.467	5.878
5	0	-24.467	-10.735	-5.866
5	0.48	-24.467	-10.696	-0.723
5	0.96	-24.467	-10.656	4.401
6	0	-54.903	-10.741	-2.904
6	0.48	-54.903	-10.702	2.242
6	0.96	-54.903	-10.662	7.369
7	0	-72.659	-0.0161	3.108
7	0.48	-72.659	0.0233	3.106
7	0.96	-72.659	0.0627	3.085
8	0	-72.659	-0.0627	3.085
8	0.48	-72.659	-0.0233	3.106
8	0.96	-72.659	0.0161	3.108
9	0	-54.903	10.662	7.369
9	0.48	-54.903	10.702	2.242
9	0.96	-54.903	10.741	-2.904
10	0	-24.467	10.656	4.401
10	0.48	-24.467	10.696	-0.723
10	0.96	-24.467	10.735	-5.866
11	0	24.467	-10.804	-5.878
11	0.48	24.467	-10.764	-0.701
11	0.96	24.467	-10.725	4.456
12	0	54.903	-10.614	-2.848
12	0.48	54.903	-10.574	2.237
12	0.96	54.903	-10.535	7.304
13	0	72.659	-0.155	3.042
13	0.48	72.659	-0.115	3.107
13	0.96	72.659	-0.0758	3.153
14	0	72.659	0.0758	3.153
14	0.48	72.659	0.115	3.107
14	0.96	72.659	0.155	3.042
15	0	54.903	10.535	7.304
15	0.48	54.903	10.574	2.237
15	0.96	54.903	10.614	-2.848
16	0	24.467	10.725	4.456
16	0.48	24.467	10.764	-0.701
16	0.96	24.467	10.804	-5.878
17	0	-0.111	-30.437	-7.304
17	0.24	-0.0978	-30.437	0.001
17	0.48	-0.0847	-30.437	7.306
18	0	-10.380	-17.756	-4.262
18	0.24	-10.367	-17.756	0
18	0.48	-10.354	-17.756	4.261
19	0	-0.152	0	0
19	0.24	-0.139	0	0
19	0.48	-0.125	0	0

tabel lanjutan

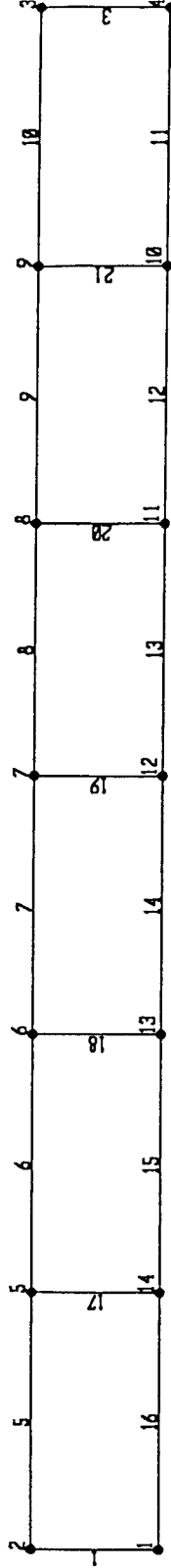
20	0	-10.380	17.756	4.262
20	0.24	-10.367	17.756	0.000223
20	0.48	-10.354	17.756	-4.261
21	0	-0.111	30.437	7.304
21	0.24	-0.0978	30.437	-1.12E-03
21	0.48	-0.0847	30.437	-7.306

Gaya Batang Benda Uji IV ($a/h = 2$)

No Batang	Gaya Batang (KN)	Kapasitas (KN)	Keterangan
1	-10.761	255.871	Aman
3	-10.761	255.871	Aman
5	-24.467	383.611	Aman
6	-54.903	383.611	Aman
7	-72.659	383.611	Aman
8	-72.659	383.611	Aman
9	-54.903	383.611	Aman
10	-24.467	383.611	Aman
11	24.467	339.59	Aman
12	24.467	339.59	Aman
13	54.903	339.59	Aman
14	72.659	339.59	Aman
15	54.903	339.59	Aman
16	24.467	339.59	Aman
17	-0.111	255.871	Aman
18	-10.380	255.871	Aman
19	-0.152	255.871	Aman
20	-10.380	255.871	Aman
21	-0.111	255.871	Aman

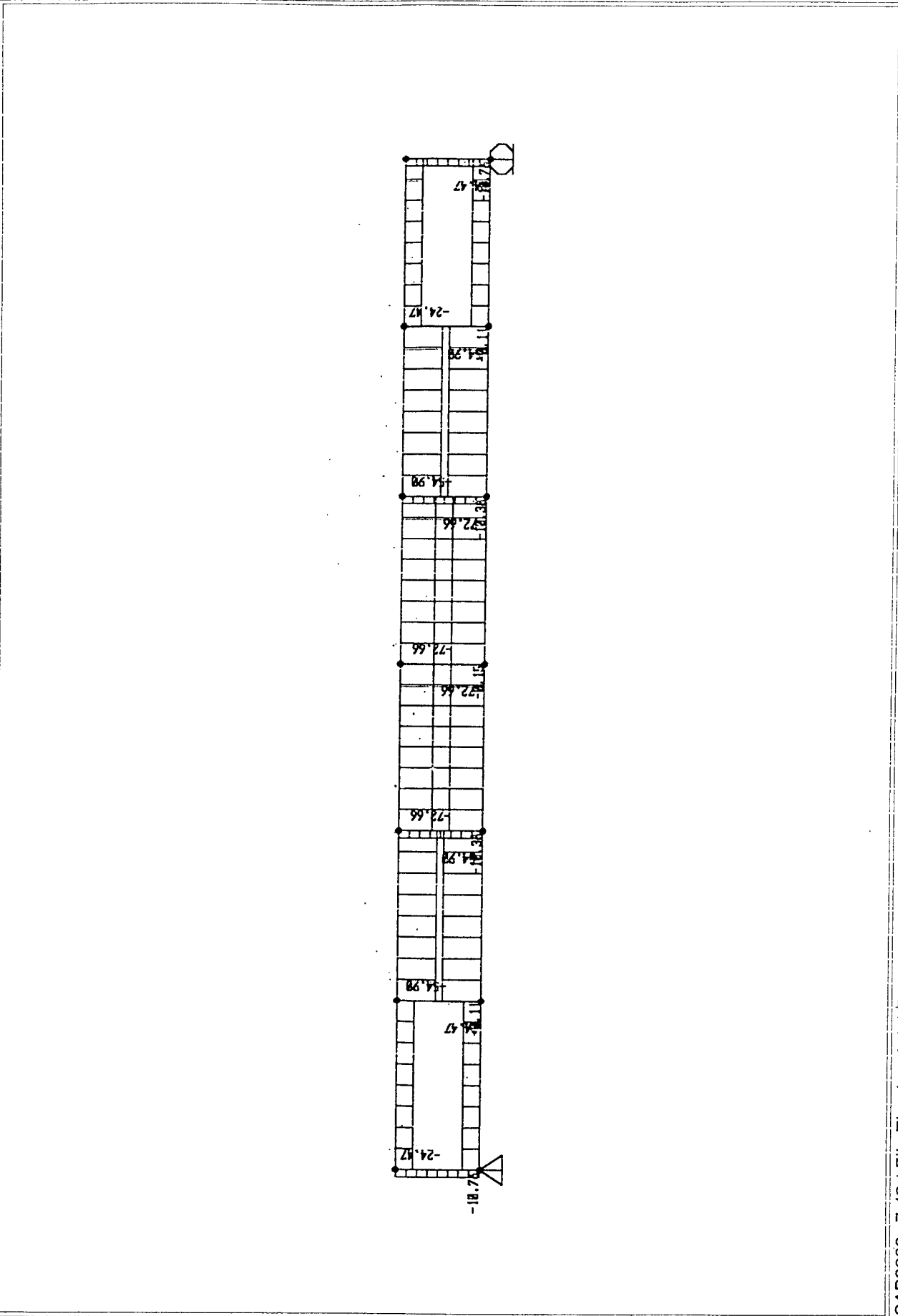
SAP2000

9/10/03 8:20:50



SAP2000

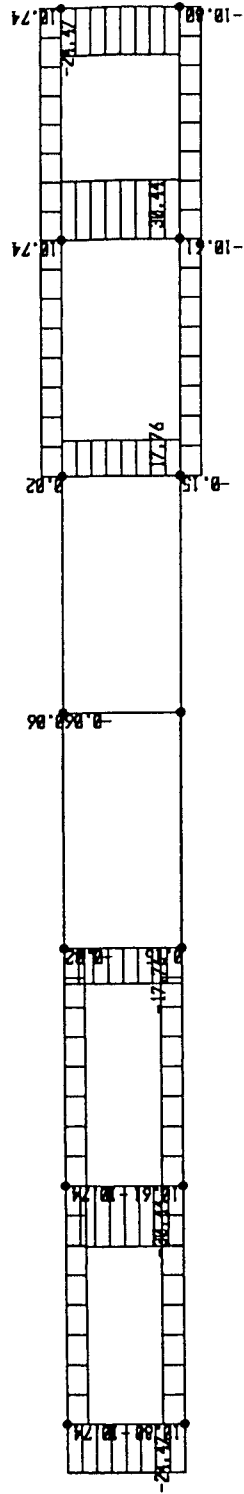
9/10/03 18:37:45



SAP2000 v7.42 - File:Type I - Axial Force Diagram (DL) - KN-m Units

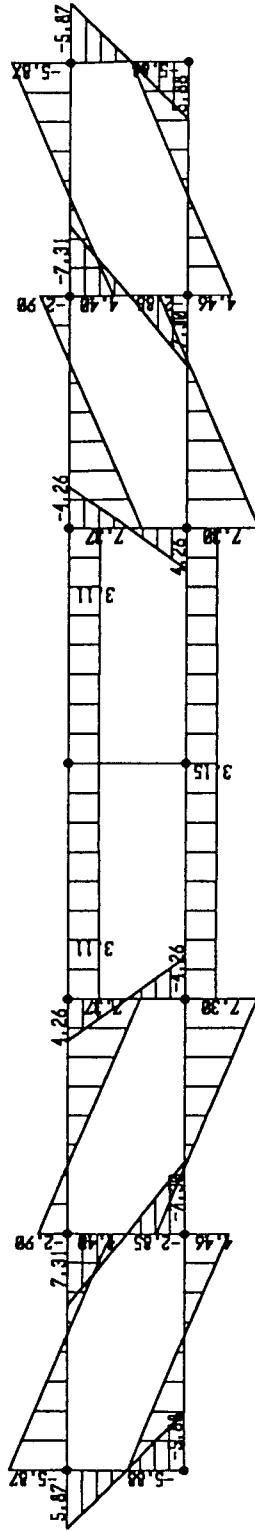
SAP2000

9/10/03 18:38:37



SAP2000

9/10/03 18:39:47



LAMPIRAN 6

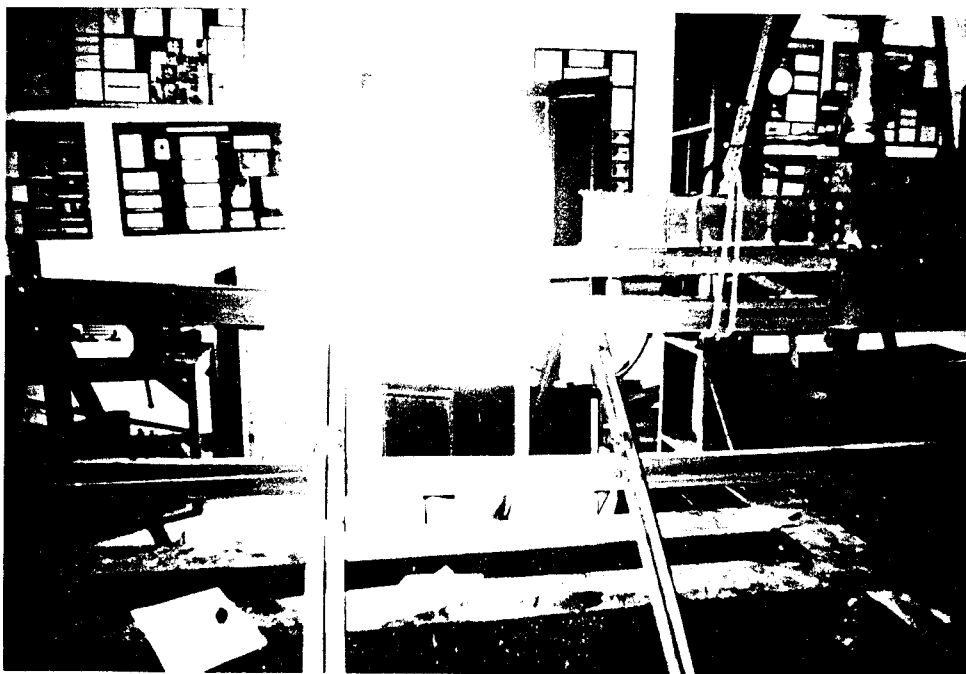
DOKUMENTASI UJI LENTUR

RANGKA VIERENDEEL

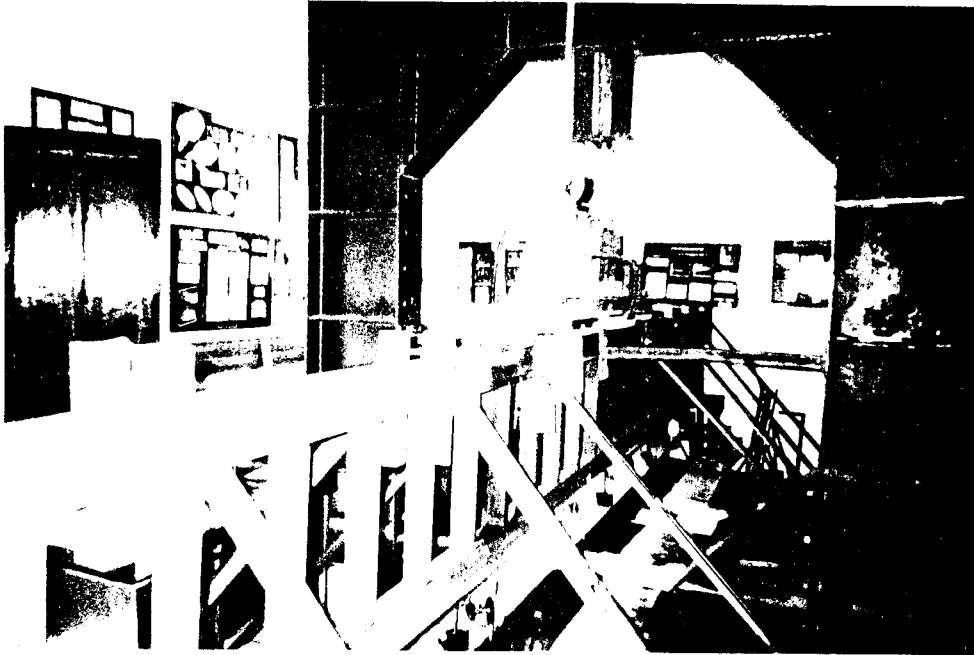
DOKUMENTASI UJI LENTUR RANGKA VIERENDEEL



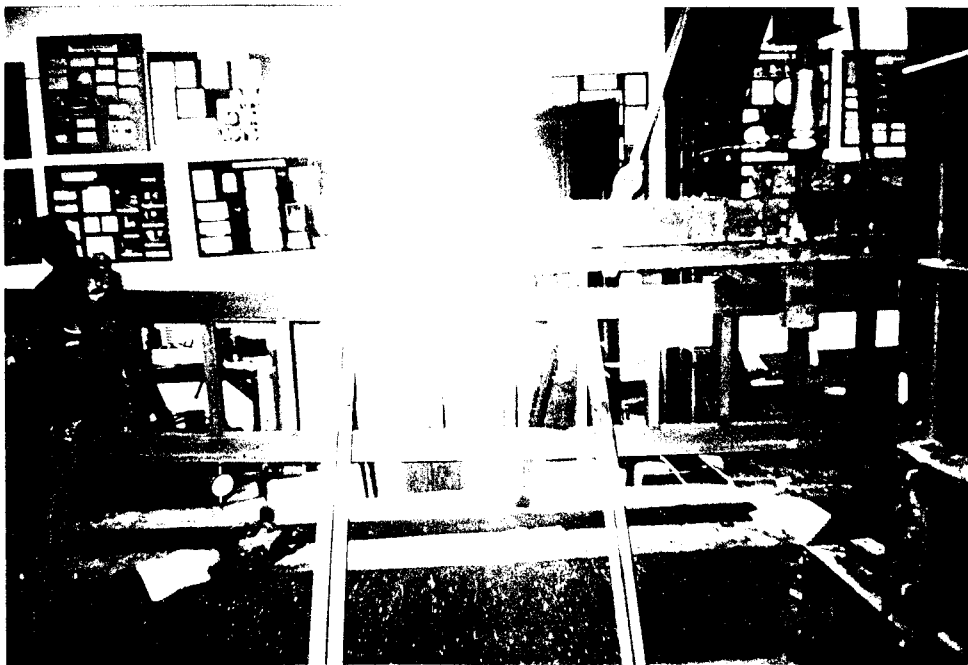
Gambar L6.1 Benda Uji I Sebelum Pengujian



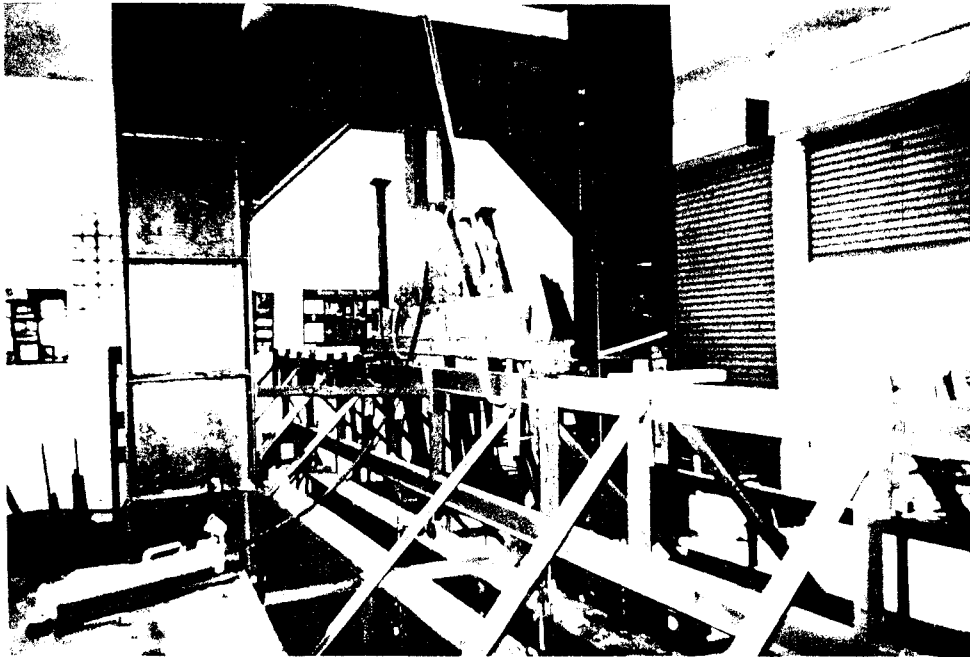
Gambar L6.2 Benda Uji I Setelah Pengujian



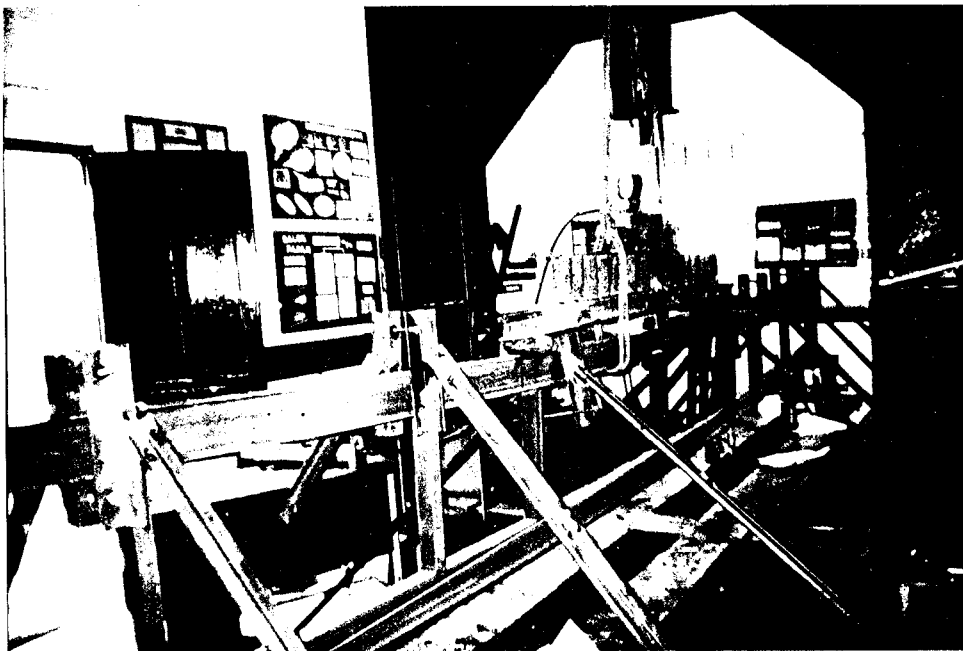
Gambar I.6.3 Benda Uji II Sebelum Pengujian



Gambar I.6.4 Benda Uji II Setelah Pengujian



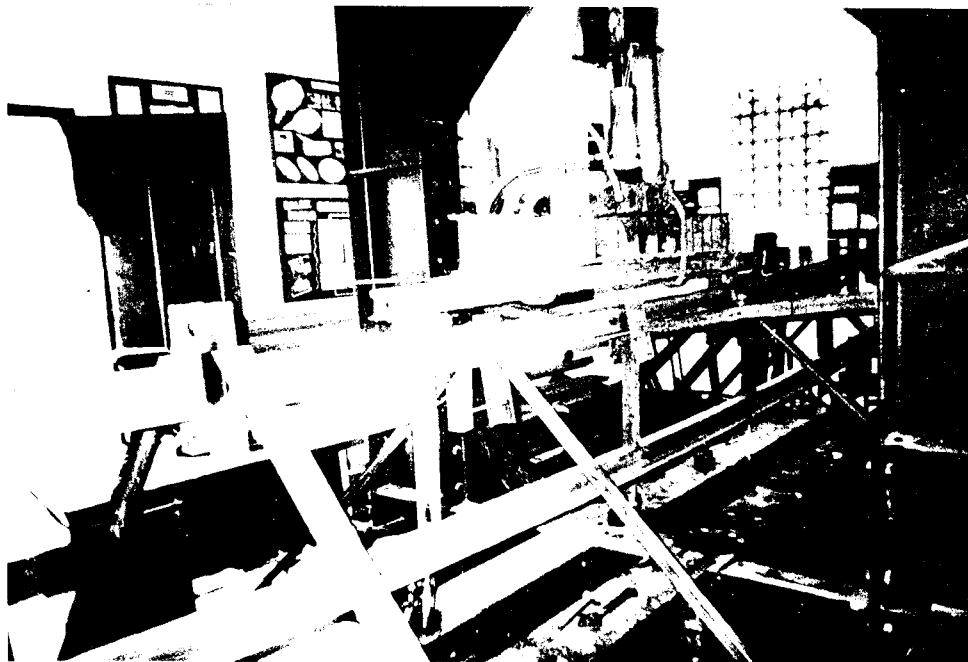
Gambar L6.5 Benda Uji III Sebelum Pengujian



Gambar L6.6 Benda Uji III Setelah Pengujian



Gambar L6.7 Benda Uji IV Sebelum Pengujian



Gambar L6.8 Benda Uji IV Setelah Pengujian