

PERPUSTAKAAN FTSP UH

HADIAN/BELE

TGL. TERIMA : 30 Agsm 2005
NO. JUDUL : 001610
NO. INV. : 5120001610001
NO. INDIK. : _____

TUGAS AKHIR

**PERILAKU BALOK VIERENDEEL
BETON BERTULANG DENGAN
VARIASI JARAK PENGAKU**

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk mencapai derajat sarjana
pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia



Di susun oleh :

WAHYU TRI PRASETYO

No Mhs : 99 511 379

KESIT WICAKSONO

No Mhs : 99 511 183

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2005**

LEMBAR PENGESAHAN

**PERILAKU BALOK *VIERENDEEL*
BETON BERTULANG DENGAN
VARIASI JARAK PENGAKU**



Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Suharyatmo, MT.

Dosen pembimbing I

Tanggal: 21/4/05

Ir. H. Sarwidi, MSCE, PhD.

Dosen pembimbing II

Tanggal: 21/04/2005

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan *TUGAS AKHIR* dengan judul **STUDI EKSPERIMEN KUAT LENTUR BALOK VIERENDEEL BETON BERTULANG DENGAN VARIASI JARAK PENGAKU** dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun oleh penulis untuk memenuhi persyaratan Yudisium Strata-1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan laporan ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan – keterbatasan kami. Oleh sebab itu perlu adanya saran-saran yang kiranya dapat menyempurnakan laporan ini.

Atas bantuan dan bimbingan berbagai pihak sehingga laporan ini dapat selesai, maka dalam kesempatan yang baik ini penulis ucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Munadhir, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT., selaku Dosen Pembimbing I tugas akhir.
4. Bapak Ir. H. Sarwidi, MSCE, PhD., selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir.
5. Bapak Ir. H. Ilman Noor, MSCE., selaku Ketua Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT., selaku Ketua Laboratorium Mekanika Rekayasa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
7. Ayah anda, ibunda, kakak, dan adik kami tercinta untuk doa, motivasi, kasih sayang dan pengertian yang tidak ada habisnya.
8. Yang tersayang, memberikan dorongan semangat sampai saat ini.
9. Teman-teman angkatan '97;'98;'99;dan'00 SIPIL yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan.
10. Semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Atas sumbangan pikiran dan saran yang telah diberikan, penulis hanya dapat memanjatkan doa semoga Allah SWT memberikan balasan pahala yang setimpal..Amiin.

Selanjutnya penulis berharap, semoga hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi penelitian – penelitian berikutnya.

Jogjakarta, Januari 2005

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR NOTASI.....	ix
ABSTRAK.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengertian Rangka <i>Vierendeel</i>	6
BAB III LANDASAN TEORI.....	9
3.1 Pendahuluan	9
3.2 Analisis Balok <i>Vierendeel</i>	11

3.2.1 Gaya Geser.....	12
a. Batang Tepi.....	12
b. Batang Transversal.....	15
3.2.2 Gaya Aksial	16
a. Batang Tepi.....	16
b. Batang Transversal.....	16
3.2.3 Momen	17
a. Batang Tepi	17
b. Batang Transversal	17
3.3 Pengaruh Rasio a/h terhadap Gaya Aksial dan Kapasitas Momen	18
3.4 Batang Lentur	19
3.5 Hubungan Beban-Lendutan.....	21
3.6 Hubungan Momen-Kelengkungan.....	23
3.7 Kombinasi Tekan-Lentur.....	26
3.8 Hipotesa	28
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....	29
4.1 Tinjauan Umum	29
4.2 Metode Penelitian	30
4.3 Bahan dan Alat yang Digunakan.....	30
4.3.1 Bahan.....	31
4.3.2 Peralatan Penelitian.....	31
4.4 Model Benda Uji.....	37
4.5 Pembuatan Benda Uji.....	40

4.6 Pengujian Benda Uji.....	40
4.6.1 Pengujian Kuat Tarik Baja.....	41
4.6.2 Pengujian Slump.....	41
4.6.3 Pengujian Kuat Desak Beton.....	41
4.6.4 Pengujian Kuat Tekan Struktur Beton Balok <i>Vierendeel</i> ..	42
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	44
5.1 Tinjauan Umum.....	44
5.2 Hasil Penelitian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik.....	44
5.2.1 Pengujian Kuat Desak Beton	45
5.2.2 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan	47
5.3 Hasil Pengujian Laboratorium Mekanika Rekayasa.....	48
5.3.1 Uji Kuat Lentur Balok <i>Vierendeel</i>	48
5.4. Pembahasan Hasil Uji Kuat Lentur Balok <i>Vierendeel</i>	50
5.4.1 Analisis Hubungan Beban (P)-Defleksi (Δ)	51
1. Hubungan Beban-Defleksi Secara Teoritis.....	51
2. Perbandingan (P - Δ) Hasil Pengujian dan Teoritis.....	56
3. Analisis Kekakuan Balok <i>Vierendeel</i>	60
5.4.2 Hubungan Momen(M)-Kelengkungan(ϕ).....	62
1. Hubungan Momen (M)-Kelengkungan (ϕ) Hasil Pengujian.....	62
2. Hubungan Momen (M)-Kelengkungan (ϕ) Teoritis.....	66
3. Perbandingan Kuat Lentur Berdasarkan Momen (M)	

	Kelengkungan (Φ) Teoritis dan Pengujian	70
4.	Pembahasan Momen (M)-Kelengkungan (Φ) Balok	
	<i>Vierendeel</i>	74
	a. Faktor Kekakuan.....	75
	b. Kekuatan.....	75
	c. Daktilitas.....	76
5.4.3.	Analisis Balok <i>Vierendeel</i>	76
1.	Analisis Kapasitas Elemen Balok <i>Vierendeel</i>	
	Berdasarkan <i>Mn-Pn</i>	81
2.	Pembahasan Analisis Balok <i>Vierendeel</i> sebagai Kolom	
	dari Grafik <i>Mn-Pn</i>	90
5.4.4.	Analisis Geser Pada Balok <i>Vierendeel</i>	91
5.4.5.	Perbandingan Analisis SAP dan Metode Portal.....	95
BAB VI	5.4.7 Pola Kerusakan Pada Benda Uji.....	96
	KESIMPULAN DAN SARAN.....	99
6.1.	Kesimpulan	99
6.2.	Saran	100
	DAFTAR PUSTAKA.....	xxii
	LAMPIRAN – LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1** (a) Tampang benda uji balok *Vierendeel*
(b) Potongan (1-1)
- Gambar 3.1** (a) Peristiwa Pembebanan pada Balok *Vierendeel*
(b) Diagram Momen
(c) Diagram Geser
- Gambar 3.2** Gaya – gaya pada Balok *Vierendeel*
- Gambar 3.3** (a) Simpul pada Tengah Bantang Tepi dan Batang Transversal
Balok *Vierendeel*.
(b) *Free body*.
- Gambar 3.4** *Free body* Balok *Vierendeel* Pada Potongan A-A
- Gambar 3.5** *Free body* Balok *Vierendeel* Pada Potongan B-B
- Gambar 3.6** Gaya-gaya dalam batang (7) dan batang (1)
- Gambar 3.7** Potongan batang (7) dan batang (1)
- Gambar 3.8** Momen kopel gaya
- Gambar 3.9** Balok *Vierendeel*.
- Gambar 3.10** (a) Detail potongan A-A.
(b) Distribusi Tegangan
- Gambar 3.11** Defleksi Pada balok *Vierandeel*.
- Gambar 3.12** Grafik hubungan beban-deformasi.
- Gambar 3.13** Deformasi Pada Balok *Vierendeel*
- Gambar 3.14** Batang Tekan Lentur.

Gambar 4.1 *Flowchart Metode Penelitian.*

Gambar 4.2 Mesin Uji Kuat Tarik.

Gambar 4.3 *Loading Frame.*

Gambar 4.4 Dukungan sendi dan rol.

Gambar 4.5 *Dial Gauge.*

Gambar 4.6 *Hidraulic Jack.*

Gambar 4.7 Mesin Aduk Beton.

Gambar 4.8 (a) Tampang Benda Uji Balok *Vierendeel*.

(b) Potongan 1-1.

Gambar 4.9 Benda Uji 1.

Gambar 4.10 Benda Uji 2.

Gambar 4.11 Benda Uji 3.

Gambar 4.12 Benda Uji 4.

Gambar 4.13 Model Benda Uji Kuat Tarik.

Gambar 4.14 Benda Uji Kuat Desak Beton.

Gambar 4.15 Pembebanan Benda Uji dan Pemasangan Dial.

Gambar 5.1 Grafik Hubungan Beban–Defleksi Hasil Pengujian.

Gambar 5.2 (a) Peristiwa Pembebanan Pada Balok *Vierendeel*.

(b) Diagram Momen.

(c) Diagram Geser.

Gambar 5.3 Tampang Potongan 1-1.

Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 1 dengan Perbandingan $a/h=0,5$.

- Gambar 5.5** Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 1 dengan Perbandingan $a/h=0,66$.
- Gambar 5.6** Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 1 dengan Perbandingan $a/h=1,00$.
- Gambar 5.7** Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 1 dengan Perbandingan $a/h=2,00$.
- Gambar 5.8** Hubungan a/h dengan Kekakuan.
- Gambar 5.9** Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian.
- Gambar 5.10** Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan pada Benda Uji 1 dengan Perbandingan $a/h= 0,5$.
- Gambar 5.11** Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan pada Benda Uji 1 dengan Perbandingan $a/h= 0,66$.
- Gambar 5.12** Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan pada Benda Uji 1 dengan Perbandingan $a/h= 1,00$.
- Gambar 5.13** Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan pada Benda Uji 1 dengan Perbandingan $a/h= 2,00$.
- Gambar 5.14** Grafik Mn-Pn Balok *Vierendeel* dengan $a/h= 0,5$.
- Gambar 5.15** Grafik Mn-Pn Balok *Vierendeel* dengan $a/h= 0,66$.
- Gambar 5.16** Grafik Mn-Pn Balok *Vierendeel* dengan $a/h= 1,00$.
- Gambar 5.17** Grafik Mn-Pn Balok *Vierendeel* dengan $a/h= 2,00$.
- Gambar 5.18** Pola Kerusakan pada Balok *Vierendeel* perbandingan $a/h= 0,5$.
- Gambar 5.19** Pola Kerusakan pada Balok *Vierendeel* perbandingan $a/h= 0,66$.
- Gambar 5.20** Pola Kerusakan pada Balok *Vierendeel* perbandingan $a/h= 1,00$.

Gambar 5.21 Pola Kerusakan pada Balok *Vierendeel* perbandingan $a/h=2,00$.

DAFTAR TABEL

- Tabel 5.1a** Hasil Pengujian Kuat Desak Beton.
- Tabel 5.1b** Perhitungan Deviasi Standar untuk Kuat Desak Beton.
- Tabel 5.2** Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan.
- Tabel 5.3** Hasil Pengujian Kuat Lentur pada *dial* 2.
- Tabel 5.4** Hasil Perhitungan Teoritis Balok *Vierendeel* Benda Uji I
dengan perbandingan $a/h = 0,5$.
- Tabel 5.5** Hasil Perhitungan Teoritis Balok *Vierendeel* Benda Uji1
dengan perbandingan $a/h = 0,66$.
- Tabel 5.6** Hasil Perhitungan Teoritis Balok *Vierendeel* Benda Uji1
dengan perbandingan $a/h = 1,00$.
- Tabel 5.7** Hasil Perhitungan Teoritis Balok *Vierendeel* Benda Uji1
dengan perbandingan $a/h = 2,00$.
- Tabel 5.8** Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 0,5$)
- Tabel 5.9** Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 0,66$)
- Tabel 5.10** Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 1$)
- Tabel 5.11** Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 2$)
- Tabel 5.12** Kekakuan Balok *Vierendeel* pada Masing-masing Benda Uji.
- Tabel 5.13** Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji 1 ($a/h = 0,5$).
- Tabel 5.14** Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji 2 ($a/h = 0,66$).
- Tabel 5.15** Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji 3 ($a/h = 1$).
- Tabel 5.16** Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji 4 ($a/h = 2$).

Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Teoritis balok *Vierendeel* Benda Uji1

dengan Perbandingan $a/h = 0,5$.

Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Teoritis balok *Vierendeel* Benda Uji2

dengan Perbandingan $a/h = 0,66$.

Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Teoritis balok *Vierendeel* Benda Uji 3

dengan Perbandingan $a/h = 1,00$.

Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Teoritis balok *Vierendeel* Benda Uji 4

dengan Perbandingan $a/h = 2,00$.

Tabel 5.21 Faktor Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 0,5$)

Tabel 5.22 Faktor Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 0,66$)

Tabel 5.23 Faktor Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 1$)

Tabel 5.24 Faktor Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 2$)

Tabel 5.25 Nilai Faktor Kekakuan (ET) Hasil Pengujian Keempat Benda Uji.

Tabel 5.26 Nilai Daktilitas Untuk Masing-masing Benda Uji .

Tabel 5.27 Hasil Perhitungan Balok- Kolom *Vierendeel*.

Tabel 5.28 Hasil Perhitungan Balok- Kolom *Vierendeel*.

Tabel 5.29 Hasil Analisis ($Pn-Mn$) Program SAP 2000 Balok *Vierendeel*

Benda Uji 1 ($a/h = 0,5$).

Tabel 5.30 Hasil Analisis ($Pn-Mn$) Program SAP 2000 Balok *Vierendeel*

Benda Uji 2 ($a/h = 0,66$).

Tabel 5.31 Hasil Analisis ($Pn-Mn$) Program SAP 2000 Balok *Vierendeel*

Benda Uji 3 ($a/h = 1,00$).

Tabel 5.32 Hasil Analisis ($Pn-Mn$) Program SAP 2000 Balok *Vierendeel*

Benda Uji 4 ($a/h = 2.00$).

Tabel 5.33 Hasil Analisis Gaya Geser Program SAP 2000 Balok *Vierendeel*

Benda Uji 1 ($a/h = 0.5$).

Tabel 5.34 Hasil Analisis Gaya Geser Program SAP 2000 Balok *Vierendeel*

Benda Uji 2 ($a/h = 0.66$).

Tabel 5.35 Hasil Analisis Gaya Geser Program SAP 2000 Balok *Vierendeel*

Benda Uji 3 ($a/h = 1.00$).

Tabel 5.36 Hasil Analisis Gaya Geser Program SAP 2000 Balok *Vierendeel*

Benda Uji 4 ($a/h = 2.00$).

Tabel 5.37 Standar deviasi (S_d) berdasarkan rasio perbandingan Analisa Sap

dengan Metode Portal pada tiap Benda Uji.

Tabel 5.38 *Time History* Pola Kerusakan Benda Uji 1.

Tabel 5.39 *Time History* Pola Kerusakan Benda Uji 2.

Tabel 5.40 *Time History* Pola Kerusakan Benda Uji 3.

Tabel 5.41 *Time History* Pola Kerusakan Benda Uji 4.

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran I** : Perencanaan Pembebanan Balok Beton *Vierendeel*
Perhitungan Mix Design Beton
- Lampiran II** : Data Hasil Uji Kuat Desak Beton
- Lampiran III** : Hasil Uji Kuat Tarik Baja
- Lampiran IV** : Hasil Uji kuat Lentur Balok *Vierendeel*
- Lampiran V** : Hasil Analisis Program Sap 2000
Perbandingan Analisis Program Sap dan Metode Portal
- Lampiran VI** : Dokumentasi Penelitian

DAFTAR NOTASI

f_c'	Mutu beton rencana
f_y	Tegangan leleh baja
f_u	Tegangan ultimit
h	Tinggi benda uji dari as-as
H	Tinggi benda uji dari serat tepi luar beton
h_e	Tinggi tampang elemen balok
P	Beban
P_u	Beban ultimit
P_y	Beban leleh
f'_c	Kuat tekan yang disyaratkan
f_c	Kuat tekan masing – masing benda uji
f_{cr}	Kuat tekan rata-rata semua benda uji
S_d	Deviasi standar
N	Jumlah benda uji.
E_c	Modulus elastisitas beton
A_{beton}	Luas tampang elemen beton
$A_{komposit}$	Luas total kedua bahan (baja + beton)
A_s	Jumlah luas baja tulangan atas
A_s'	Jumlah luas baja tulangan atas
a_c	Tinggi blok tegangan tekan beton
a	Jarak pengaku

x	Letak garis netral
b	Lebar penampang
b_e	Lebar penampang elemen balok <i>vierendeel</i>
d	Tinggi efektif
ε_s	Regangan baja
M	Momen
V_n	Gaya geser nominal
V_{s1}	Gaya geser simpul 1
M_n	Momen nominal
M_U	Momen ultimit
N	Gaya aksial normal
n	faktor pembandingan modulus elastis antara (baja & beton)
y	jarak dari garis netral ke tengah tampang elemen
Δ	Lendutan / defleksi
L	Panjang balok
I	Inersia
μ	Daktilitas
π	3,14
Φ	Kelengkungan
D	Diameter tulangan
k	Kekakuan
EI	Faktor kekakuan
C	Gaya aksial tekan

T	Gaya aksial tarik
E_c	Modulus elastisitas beton
E_s	Modulus elastisitas baja

ABSTRAK

Balok *Vierendeel* merupakan balok badan terbuka yang terdiri dari batang tepi atas dan batang tepi bawah yang dihubungkan secara kaku dengan batang transversal pada setiap jarak tertentu. Keunikan dari rangka *Vierendeel* ini yaitu tidak mempunyai batang diagonal, sehingga merupakan struktur berbentuk segiempat yang labil.

Kebanyakan dari struktur balok *Vierendeel* yang digunakan sekarang ini terbuat dari bahan baja, sedangkan yang terbuat dari beton masih sedikit digunakan, hal inilah yang menarik bagi peneliti untuk melakukan penelitian tentang balok *vierendeel* yang terbuat dari bahan lain yaitu beton bertulang dimana peneliti melakukan penelitian mengenai variasi dari jarak pengaku pada batang transversal.

Penelitian tentang balok *Vierendeel* dengan variasi jarak dilakukan untuk mendapatkan Perilaku pengaruh variasi rasio jarak pengaku (a) terhadap nilai kekakuan (k) berdasar grafik hubungan beban-defleksi balok *Vierendeel*, mengetahui besar pengaruh variasi rasio jarak pengaku (a) dari grafik momen-kelengkungan terhadap faktor kekakuan (EI), kekuatan, dan daktilitas balok *Vierendeel*, mengetahui ragam kegagalan yang terjadi pada tiap elemen balok berdasarkan kapasitas elemen dengan variasi (a/h) yang berbeda, dan mempelajari pola kerusakan balok beton *Vierendeel* yang terjadi pada masing-masing variasi (a/h). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada semua pihak yang membutuhkan informasi tentang balok *Vierendeel* beton bertulang.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka dari berbagai buku dan literature, perumusan masalah, tujuan, pembatasan terhadap permasalahan dan hipotesis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rasio (a/h) struktur balok *Vierendeel* berpengaruh terhadap kekakuan balok *Vierendeel*, dimana nilai kekakuan (k) yang didapat dari keempat benda uji berbeda menurut besarnya variasi a/h yaitu sebesar 5630,027 pada benda uji I, untuk benda uji II, III, IV mengalami penurunan masing-masing sebesar 70.39%; 44,07% dan 20,53%. Berdasarkan grafik hubungan momen-kelengkungan ternyata variasi rasio (a/h) juga berpengaruh terhadap faktor kekakuan (EI) balok *Vierendeel* yaitu sebesar 346,0018 $kN-m^2$ untuk benda uji I, untuk benda uji II, III, IV sebesar 231,7114 $kN-m^2$, 153,1761 $kN-m^2$ dan 78,4561 $kN-m^2$, kekuatan dari benda uji II, III, IV mengalami penurunan berturut-turut sebesar 0.9238, 0.5665, 0.2778 kali dari benda uji I, sedangkan untuk daktilitasnya pada masing – masing benda uji I,II,III,IV berturut-turut sebesar 1.7469, 1.7359, 1.7311, dan 2.0158. Dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak pengaku (a) nilai kekakuan (k) dan faktor kekakuan (EI) semakin berkurang, hal ini disebabkan karena beban dan momen yang mampu ditahan balok *vierendeel* semakin kecil. Analisis balok *vierendeel* mengacu pada grafik $Mn-Pn$ dapat disimpulkan bahwa sebagian besar kegagalan yang terjadi adalah kerusakan akibat lentur, dan pola kerusakan yang terjadi pada empat sampel benda uji sebagian besar terletak pada batang tepi dan sambungan diantara elemen batang tepi dan batang transversal balok *vierendeel*.

BAB I

PENDAHULUAN

Selama ini penelitian balok *Vierendeel* hanya terbatas pada rangka *Vierendeel* dari baja sebagai bahan dasar dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi balok (a/h), sedangkan rangka *Vierendeel* dari beton masih jarang digunakan. Padahal rangka *Vierendeel* beton bertulang lebih ekonomis dibandingkan dengan baja. Hal inilah yang menarik bagi kami untuk melakukan penelitian tentang perilaku lentur balok beton *Vierendeel* dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi balok (a/h) pada setiap benda uji.

1.1. Latar Belakang

Balok *Vierendeel* adalah balok badan terbuka yang terdiri dari batang tepi atas dan batang tepi bawah yang dihubungkan secara kaku dengan batang vertikal pada setiap jarak tertentu. Uniknyanya rangka *Vierendeel* ini tidak mempunyai batang diagonal, sehingga merupakan struktur berbentuk segiempat yang labil. Berbeda dengan rangka batang pada umumnya dimana terdapat joint fleksibel yang mampu menahan gaya geser dan momen. Kekakuan pada rangka *Vierendeel* akan tercipta apabila sambungan antara batang transversal dan batang horizontal kaku. Apabila struktur *Vierendeel* terbuat dari beton maka pada saat pengecoran dilakukan secara serempak agar terjadi sambungan yang monolit antara batang vertikal dan

antara batang vertikal dan tepi, sehingga tidak mengalami momen, rotasi dan pergeseran yang sangat berarti.

Struktur *Vierendeel* sudah cukup populer digunakan oleh sebagian negara di Eropa sebagai desain jembatan, struktur bertingkat banyak, penopang struktur atas yang memerlukan pencahayaan, sebagai eksterior dari suatu bangunan dan juga digunakan apabila dikehendaki peniadaan batang diagonal, sehingga struktur tampak lebih bersih. Dalam penggunaannya *Vierendeel* dapat dipasang kaca, material tembus cahaya, dan sebagai ventilasi udara.

Penggunaan rangka *Vierendeel* dari beton masih belum populer di negara Indonesia, hal ini disebabkan karena besar kemungkinan belum banyak informasi tentang perilaku (kekuatan, kekakuan dan daktilitas) rangka *Vierendeel* yang terbuat dari beton bertulang, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian eksperimental.

1.2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dalam tugas akhir dapat dirumuskan masalah sebagai berikut ini.

1. Apakah kekakuan dipengaruhi oleh variasi rasio jarak pengaku (a/h) berdasarkan kurva hubungan beban-defleksi ($P-\Delta$) balok *Vierendeel* ?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi rasio jarak pengaku (a) dari grafik momen-kelengkungan ($M-\Phi$) terhadap faktor kekakuan (EI), kekuatan dan daktilitas balok *Vierendeel* ?

3. Bagaimanakah ragam kegagalan yang terjadi pada tiap elemen balok berdasarkan kapasitas elemen dengan variasi (a/h) yang berbeda ?
4. Bagaimanakah pola kerusakan balok beton *Vierendeel* yang terjadi pada masing - masing variasi (a/h) ?

1.3. Tujuan penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mempelajari dan mengetahui perilaku rangka *Vierendeel* yang berupa rangkaian struktur beton bertulang, yaitu untuk :

1. mendapatkan pengaruh variasi rasio jarak pengaku (a) terhadap nilai kekakuan (k) berdasar grafik hubungan beban-defleksi ($P-\Delta$) balok *Vierendeel*,
2. mengetahui besar pengaruh variasi rasio jarak pengaku (a) dari grafik momen-kelengkungan ($M-\Phi$) terhadap faktor kekakuan (EI), kekuatan dan daktilitas balok *Vierendeel*,
3. mengetahui ragam kegagalan yang terjadi pada tiap elemen balok berdasarkan kapasitas elemen dengan variasi (a/h) yang berbeda, dan
4. mempelajari pola kerusakan balok beton *Vierendeel* yang terjadi pada masing - masing variasi (a/h).

1.4. Manfaat Penelitian

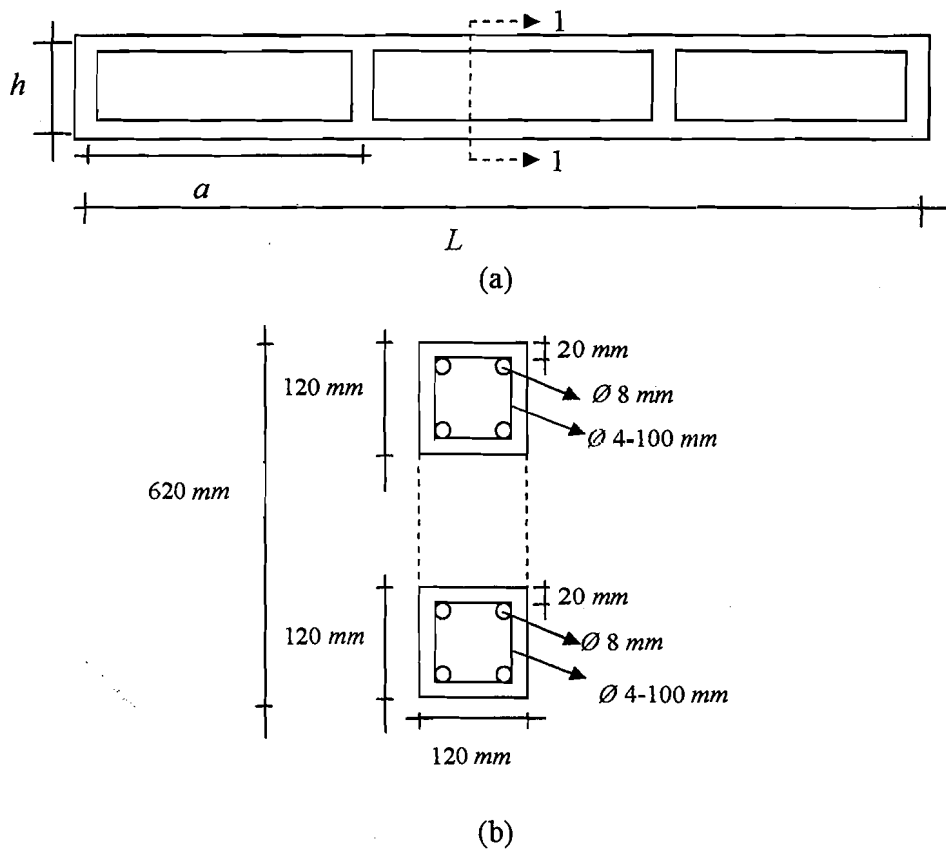
Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah dapat :

1. mengetahui informasi variasi jarak batang transversal sehingga dapat digunakan dalam perencanaan struktur balok beton *Vierendeel*, dan
2. menjadikan pertimbangan pada perencanaan struktur balok beton *Vierendeel* di lapangan.

1.5. Batasan masalah

Pada penelitian ini yang diteliti adalah variasi jarak pengaku lateral (a) terhadap tinggi (h) balok beton *vierendeel* dengan batasan masalah sebagai berikut ini.

1. Pada pengujian balok *Vierendeel* digunakan tumpuan sederhana (sendi-rol) dan pada benda uji menggunakan beton bertulang berdimensi (120×120) mm panjang bentang 3000 mm dengan model benda uji ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 (a) Tampang benda uji balok *Vierendeel*
(b) Potongan (1 – 1)

2. Desain campuran beton menggunakan metode "DOE".
3. Nilai slump yang direncanakan adalah (7,5 – 10) cm.
4. Pengujian kuat lentur pada sampel menggunakan pembebanan statis secara bertahap.
5. Penelitian ini hanya meninjau pengujian kuat lentur pada struktur balok beton *Vierendeel*.
6. Rasio panjang bentang dengan tinggi balok (L/h) konstan.
7. Balok beton *Vierendeel* dengan rasio jarak batang *transversal* terhadap tinggi (a/h) bervariasi.
8. Analisis data hasil pengujian menggunakan Program SAP 2000, dan Microsoft Excel.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini berisi tentang masalah umum struktur rangka *Vierendeel* dalam pengujian terdapat pengujian terhadap kuat lentur yang dikutip dari literatur dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

2.1. Pengertian Rangka *Vierendeel*

Dalam buku *Steel Designer' Manual* disebutkan bahwa; 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*).

Dikutip dari buku *Steel Designer' Manual* menjelaskan bahwa; *Vierendeel* girder adalah struktur statis tak tentu, tetapi dalam menganalisisnya dapat diterapkan menjadi struktur statis tertentu jika ada beberapa pin yang dimasukan di setiap panel dan karakteristik perilaku struktur di pelihara oleh penempatan pin pada pertengahan bentang dari batang horisontal (*chord*) dan pertengahan tinggi dari batang vertikal.

Wang (1985) menyebutkan bahwa, 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 tersebut.

Wang (1985) menyatakan bahwa; Kerangka kaku (*rigid frame*) adalah struktur kerangka dimana batang-batang komponen bertemu pada simpul yang kaku, seperti yang dilambangkan oleh simpul-simpul yang dicor secara monolit pada beton bertulang.

Blodgett (1966) menyebutkan bahwa; Dalam mendesain kerangka yang kaku, biasanya mengasumsi 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 yang cukup signifikan (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.

Syahrudin (2003) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa, variasi dari rasio (a/h) akan mengakibatkan perbedaan perilaku rangka *Vierendeel* dalam hal:

1. kapasitas lentur,
 2. kekakuan struktur rangka *Vierendeel*,
 3. momen yang terjadi,
 4. daktilitas, dan
 5. perhitungan rencana dalam mencari kekuatan rangka *Vierendeel*
- secara teoritis dapat ditentukan dengan menggunakan metode

pendekatan sebagai balok sederhana yang menerima beban desak dan lentur

Lydia (2004) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa pengaruh variasi jarak dukungan lateral (L_b/r_y) terhadap rangka *vierendeel* adalah :

1. berdasarkan kurva hubungan beban deformasi dan momen kelengkungan, maka semakin jauh jarak dukungan lateral (L_b) nilai kekakuan (k) dan faktor kekakuan EI semakin kecil,
2. rasio L_b/r_y yang semakin besar dapat memikul momen yang semakin kecil, dan
3. grafik hubungan non dimensional antara momen plastis dan momen kritis (M_p/M_{cr}) dengan L_b/r_y , dimana M_p/M_{cr} menunjukkan bahwa semakin besar nilai L_b/r_y maka nilai M_p/M_{cr} semakin kecil dengan penurunan yang tidak signifikan. Jadi jarak dukungan lateral (L_b) tidak terlalu mempengaruhi kapasitas lentur dari balok *Vierendeel*.

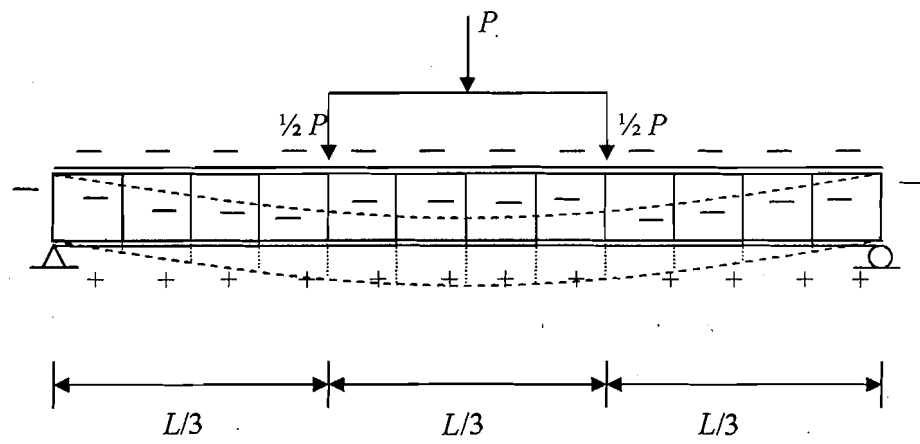
BAB III

LANDASAN TEORI

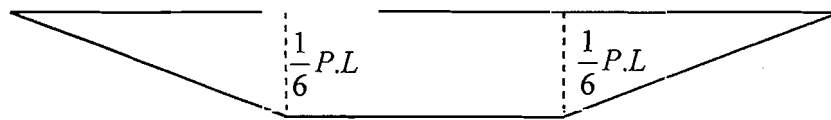
Pada bab ini membahas tentang dasar dari teori dan metode yang digunakan untuk analisis balok beton *vierendeel*, sehingga dapat ditarik hipotesis balok *vierendeel* terhadap pengaruh dari variasi rasio a/h .

3.1 Pendahuluan

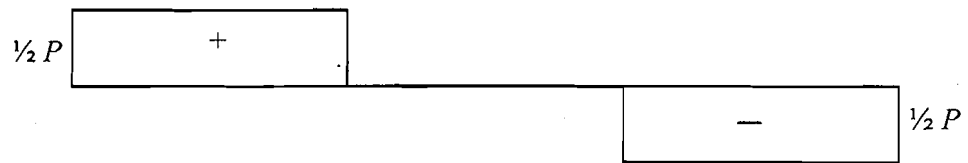
Rangka *Vierendeel* merupakan balok badan terbuka yang terdiri dari batang transversal dan batang tepi (tepi atas dan tepi bawah) yang membentuk pola segi empat dihubungkan dengan joint yang kaku (mampu memikul momen yang mempunyai derajat pengekangan rotasi cukup besar $> 90\%$). Kekakuan pada joint struktur tersebut diperlukan untuk menahan gaya lateral (gaya yang sejajar dengan sumbu memanjang batang) gaya dan aksi gaya aksial (gaya yang tegak lurus sumbu batang) asimetris yang terjadi. Apabila balok tersebut diberi beban transversal P yang didistribusikan menjadi $\frac{1}{2} P$, maka balok akan mengalami deformasi dalam bentuk garis putus-putus seperti Gambar 3.1a. Bila berat sendiri diabaikan dan *Vierendeel* dianggap tampang solid, maka momen dan gaya geser yang bekerja seperti ditunjukkan Gambar 3.1b dan Gambar 3.1c., Schueller (1989).



(a)



(b)



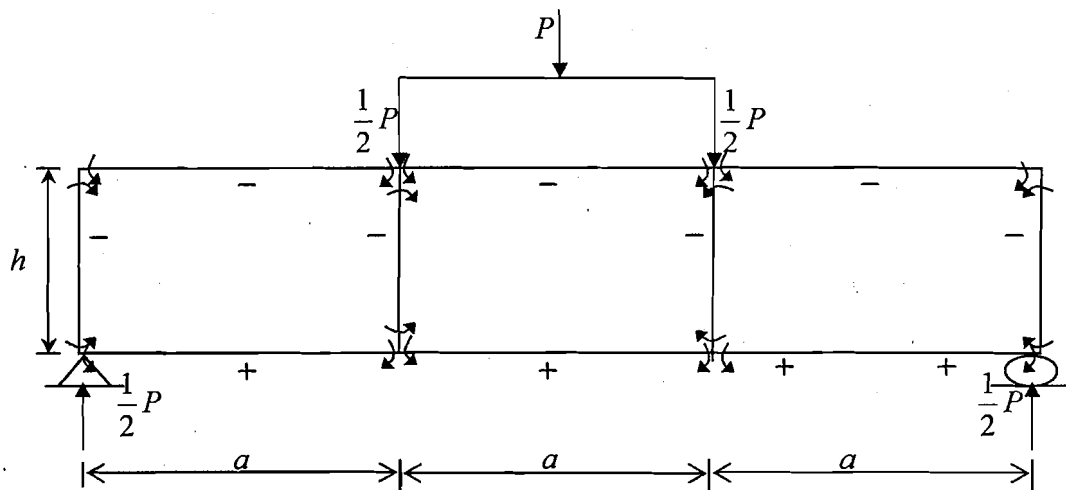
(c)

Gambar 3.1 (a). Peristiwa pembebanan pada Balok *Vierendeel*

(b). Diagram momen

(c). Diagram geser

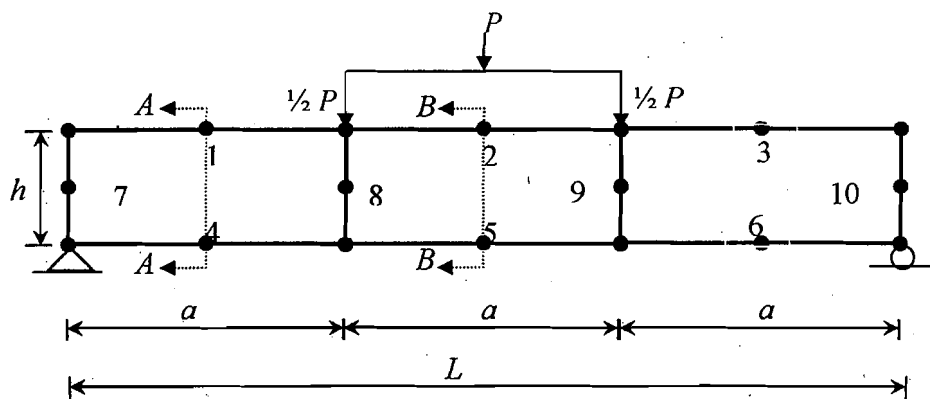
Akibat beban P , batang atas dan batang transversal akan menerima gaya tekan dan momen sedangkan batang tepi bawah akan menerima gaya tarik dan momen. Selain itu setiap elemen batang akan menerima gaya geser seperti pada Gambar 3.2 *Vis dan Gideon (1993)*.



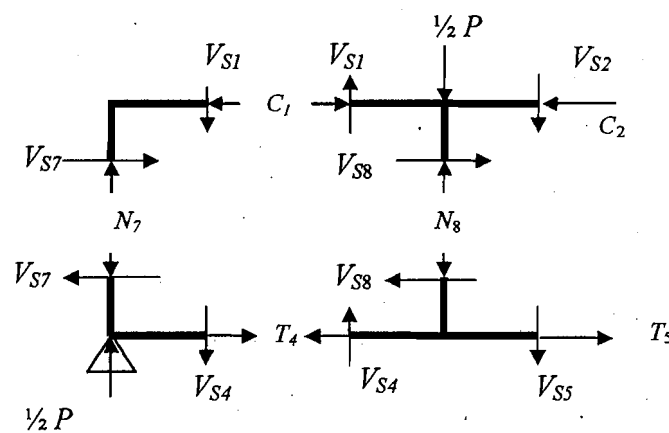
Gambar (3.2) Gaya-gaya dalam pada Balok *Vierendeel*

3.2 Analisis Balok *Vierendeel*

Schueller (1989) menyatakan bahwa, analisis struktur dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan gaya-gaya dalam seperti gaya aksial (aksial tekan dan aksial tarik), gaya geser dan momen. Dalam menganalisis balok *Vierendeel* dapat menggunakan Metode Portal yaitu metode pendekatan dengan anggapan bahwa pada setiap elemen batang (batang tepi dan batang transversal) terdapat titik-titik belok di tengah batang seperti pada Gambar 3.3a Rangka dibagi menjadi *free body* ditunjukkan Gambar 3.3.b.



(a)



(b)

Gambar 3.3 (a) Simpul pada tengah batang tepi dan batang transversal balok *vierendeel*

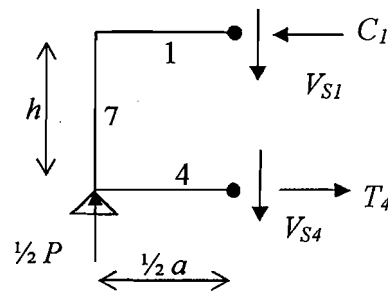
(b) *free body*

3.2.1 Gaya Geser

a. Batang Tepi

Karena bentuk struktur dan sistem pembebanan simetris, analisis dilakukan pada setengah bentang. Besarnya gaya-gaya dalam pada titik-titik belok

di setiap elemen batang tepi dapat diketahui dengan merujuk pada Gambar 3.4, Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3.4 *Free body* Balok *vierendeel* pada Potongan A-A

Dari Gambar 3.4 dapat dicari gaya geser pada batang tepi atas dan tepi bawah. Gaya geser pada batang (1) dan batang (4) dapat dicari dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya vertikal,

$$\sum V = 0$$

$$-V_{s1} - V_{s4} + \left(\frac{1}{2}P\right) = 0$$

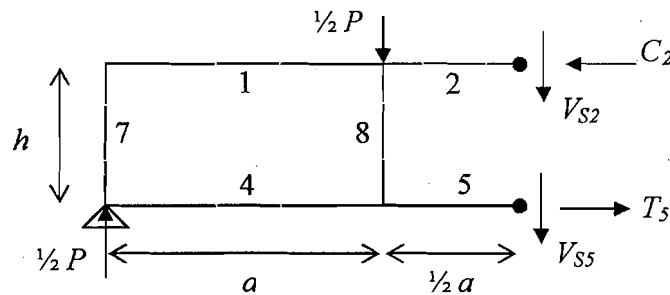
$$V_{s1} + V_{s4} = \frac{1}{2}P \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan asumsi $V_1 = V_4$ maka persamaan (3.1) menjadi :

$$2V_{s1} = \frac{1}{2}P$$

$$V_{s1} = \frac{1}{4}P \dots\dots\dots(3.2)$$

Cara yang sama dapat digunakan untuk mencari gaya geser pada batang
 (2). Dengan mengacu pada Gambar 3.5, gaya geser pada batang (2) dan batang (5)
 dicari dengan persamaan kesetimbangan gaya-gaya vertikal pada batang tepi,



Gambar 3.5 *Free body* Balok *vierendeel* pada Potongan B-B

$$\Sigma V = 0$$

$$-V_{S2} - V_{S5} - \left(\frac{1}{2}P\right) + \left(\frac{1}{2}P\right) = 0$$

$$V_{S2} + V_{S5} = \left(\frac{1}{2}P\right) - \left(\frac{1}{2}P\right)$$

$$V_{S2} + V_{S5} = 0 \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan asumsi $V_{S2} = V_{S5}$ maka persamaan 3.3 menjadi :

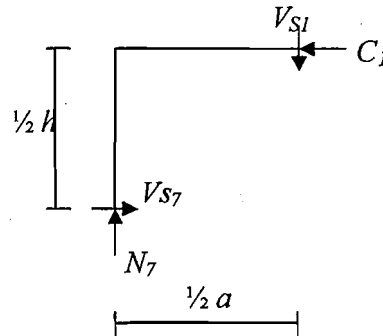
$$2V_{S2} = 0$$

$$V_{S2} = 0 \dots\dots\dots(3.4)$$

Dari analisis gaya geser pada batang tepi, tampak bahwa gaya geser pada
 batang tepi tidak dipengaruhi oleh (a/h) . Berdasarkan persamaan (3.2) dan
 persamaan (3.4) gaya geser maksimum pada batang tepi terdapat pada sisi
 sepertiga bentang paling tepi.

b. Batang Transversal

Gaya geser pada batang (7) (batang transversal) dapat dicari dengan melihat Gambar 3.6. Dengan kesetimbangan gaya horizontal,



Gambar (3.6) Gaya-gaya dalam batang (7) dan batang (1)

$$\Sigma H = 0$$

$$V_{S7} - C_1 = 0 \dots \dots \dots (3.5)$$

Dimana gaya aksial C_1 dapat dicari dengan menggunakan kesetimbangan momen pada titik (4) yang mengacu pada Gambar 3.4 yang menghasilkan persamaan (3.6) berikut,

$$\Sigma M_4 = 0$$

$$\left(\frac{1}{2}P \cdot \left(\frac{1}{2}a\right)\right) - C_1 \cdot h = 0$$

$$C_1 = \frac{1}{4}P \cdot \left(\frac{a}{h}\right) \dots \dots \dots (3.6)$$

maka persamaan (3.5) menjadi :

$$V_{S7} - \left(\frac{1}{4}P \cdot \left(\frac{a}{h}\right)\right) = 0$$

$$V_{S7} = \frac{1}{4}P \cdot \left(\frac{a}{h}\right) \dots \dots \dots (3.7)$$

Berdasarkan persamaan (3.7) maka tampak bahwa gaya geser pada batang transversal dipengaruhi oleh (a/h) .

3.2.2 Gaya Aksial

a. Batang Tepi

Gaya aksial pada batang (1) dapat dicari dengan mengacu pada Gambar 3.4. Dengan kesetimbangan gaya-gaya horisontal,

$$\Sigma H = 0$$

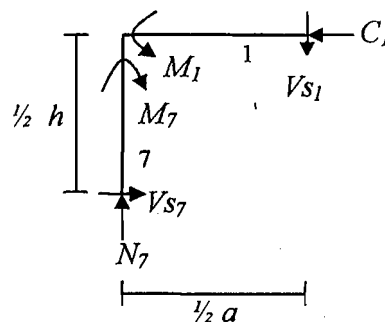
$$T_4 - C_I = 0$$

$$T_4 = C_I = \frac{1}{4} P \cdot \left(\frac{a}{h}\right) \dots \dots \dots (3.8)$$

Dari analisis diatas, tampak bahwa gaya aksial pada batang tepi dipengaruhi oleh a/h . Karena tinggi balok vierendeel (h) konstan maka semakin panjang jarak batang transversal (a) akan mengakibatkan gaya aksial pada batang tepi semakin besar.

b. Batang Transversal

Mengacu pada Gambar 3.7, maka dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya vertikal menjadi,



Gambar (3.7) Potongan batang (1) dan batang (7)

$$\Sigma V = 0$$

$$N_7 - V_{S1} = 0$$

$$N_7 = V_{S1}$$

$$N_7 = \frac{1}{4}P \dots\dots\dots(3.9)$$

Berdasarkan persamaan (3.9) maka (a/h) tidak berpengaruh terhadap gaya aksial batang transversal balok *vierendeel*.

3.2.3 Momen

a. Batang Tepi

Momen pada batang (1) mengacu Gambar 3.7 didapat dengan cara mengalikan gaya geser pada batang (7) dengan setengah kali panjang batangnya, maka

$$M_1 = V_{S1} \cdot \frac{1}{2}a$$

$$M_1 = \frac{1}{4}P \cdot \left(\frac{1}{2}a\right)$$

$$M_1 = \frac{1}{8}P \cdot a \dots\dots\dots(3.10)$$

b. Batang Transversal

Momen pada batang (7) didapat dengan mengalikan gaya geser pada batang (7) dengan setengah tingginya, maka :

$$M_7 = V_{S7} \cdot \left(\frac{1}{2}h\right)$$

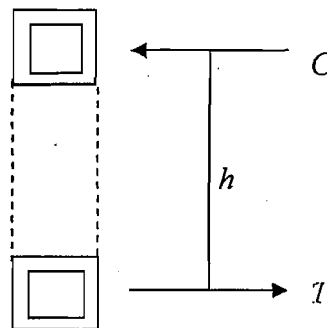
$$M_7 = \frac{1}{4}P \cdot \left(\frac{a}{h}\right) \cdot \left(\frac{1}{2}h\right)$$

$$M_7 = \frac{1}{8} P.a \dots\dots\dots(3.11)$$

Pada persamaan (3.10) dan persamaan (3.11), tampak bahwa momen pada batang tepi dan batang transversal dipengaruhi oleh jarak pengaku (a). Dimana semakin besar jarak pengaku maka akan menimbulkan momen yang besar pada balok *vierendeel*.

3.3 Pengaruh Rasio a/h terhadap Gaya Aksial dan Kapasitas Momen

Untuk mengetahui pengaruh a/h terhadap gaya aksial dan kapasitas momen dapat ditunjukkan oleh Gambar 3.1b dan Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Momen kopel gaya

dari Gambar 3.1b tampak, bahwa :

$$M_{max} = \frac{PL}{6} \dots\dots\dots(3.12)$$

Gambar 3.8 menunjukkan hubungan momen dan gaya aksial adalah :

$$M = C.h = T.h \dots\dots\dots(3.13)$$

dari persamaan (12) dan persamaan (13) didapat :

$$\frac{PL}{6} = C.h \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana $L = 6.a$, maka :

$$P.a = C.h$$

sehingga :

$$C = \frac{P.a}{h} \dots\dots\dots(3.15)$$

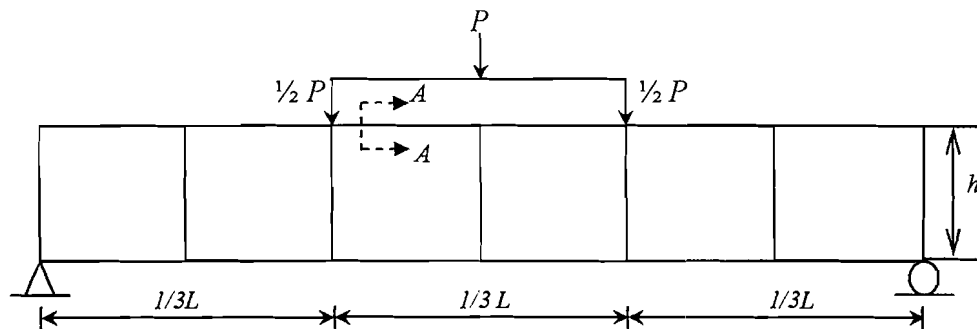
Persamaan (3.14) menjadi :

$$M = \frac{P.a}{h} . h \dots\dots\dots (3.16)$$

Karena rasio (a/h) dengan tinggi balok (h) konstan, maka semakin panjang jarak pengaku (a) akan menghasilkan momen yang semakin besar.

3.4 Batang Lentur

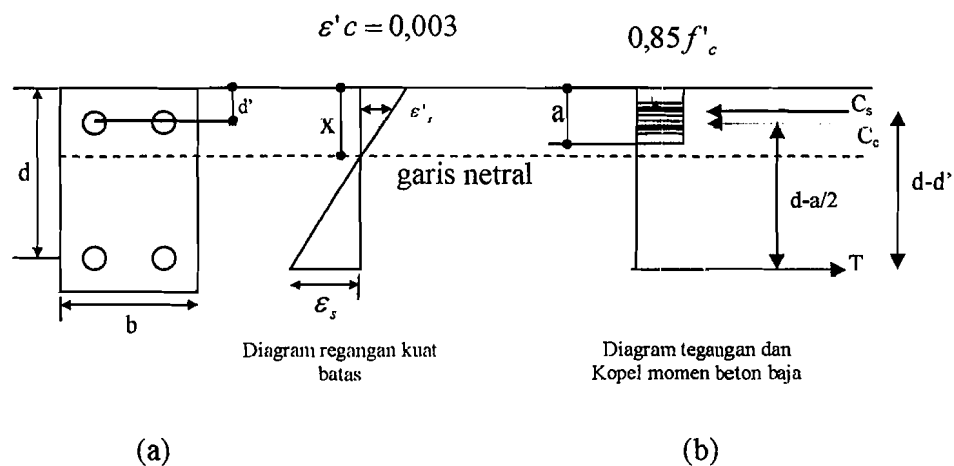
Nawy (1990) menyatakan bahwa; Struktur rangka *Vierendeel* mempunyai joint kaku, akibat kekakuan pada joint menyebabkan hampir semua elemen struktur mengalami lentur. Batang yang menerima beban yang dapat menimbulkan momen lentur, maka akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam batang tersebut. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan pada elemen struktur. Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Pada daerah yang mengalami keruntuhan lentur, retak terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama.



Gambar 3.9 Balok *Vierendeel*

Analisis lentur balok *Vierendeel* dapat dilakukan dengan menghitung kapasitas lentur tiap batang. Dengan memotong rangka *Vierendeel* Gambar 3.9, akan dihasilkan gambar potongan *A-A* seperti Gambar 3.10a

Untuk menghitung kapasitas lentur batang tepi atas dapat dilakukan dengan meninjau tampang batang tepi seperti ditunjukkan Gambar 3.10a.



Gambar 3.10 (a) detail potongan *A-A*
(b) distribusi tegangan

Dengan menganggap kesetimbangan momen pada bagian bawah batang tepi atas, maka didapat persamaan :

$$Mn_1 = C_c \cdot z_1$$

$$Mn_1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) \dots \dots \dots (3.17)$$

$$Mn_2 = C_s \cdot z_2$$

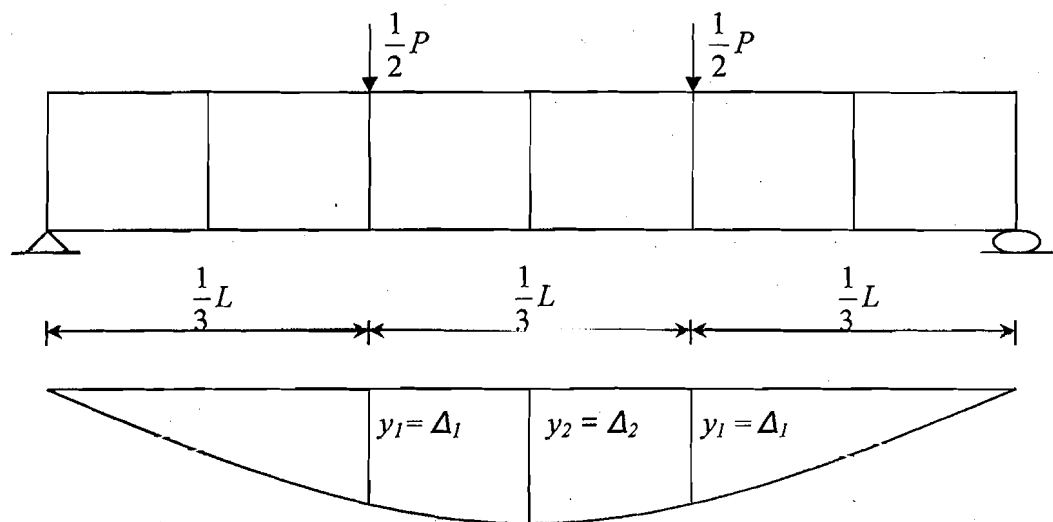
$$Mn_2 = A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \cdot (d - d') \dots \dots \dots (3.18)$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$Mn = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) + A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c') \cdot (d - d') \dots \dots \dots (3.19)$$

3.4 Hubungan Beban-Lendutan

Sebuah balok yang menerima beban akan mengalami lendutan. Untuk pembebanan terpusat seperti pada Gambar 3.10 dapat dilihat terjadinya lendutan.



Gambar 3.11 Defleksi pada balok *Vierendeel*

Banyak cara yang digunakan untuk menghitung besarnya landutan balok, satu diantaranya adalah dengan metode integrasi ganda. Metode integrasi ganda diterapkan pada persamaan momen seperti persamaan (3.20) berikut :

$$E_{Iy} = \int \int Mx dx dx + c_1 x + c_2 \dots\dots\dots(3.20)$$

Berdasarkan persamaan (3.20), maka besarnya lendutan pada titik-titik yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11 dapat dicari. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran (1.8 – 1.11)

$$\text{Untuk lendutan pada } \frac{1}{3} \text{ bentang : } \Delta_1 = y_1 = \frac{5PL^3}{324EI} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$\text{Untuk lendutan pada } \frac{1}{2} \text{ bentang : } \Delta_2 = y_2 = \frac{23PL^3}{1296EI} \dots\dots\dots(3.22)$$

Keterangan :

Δ = defleksi balok

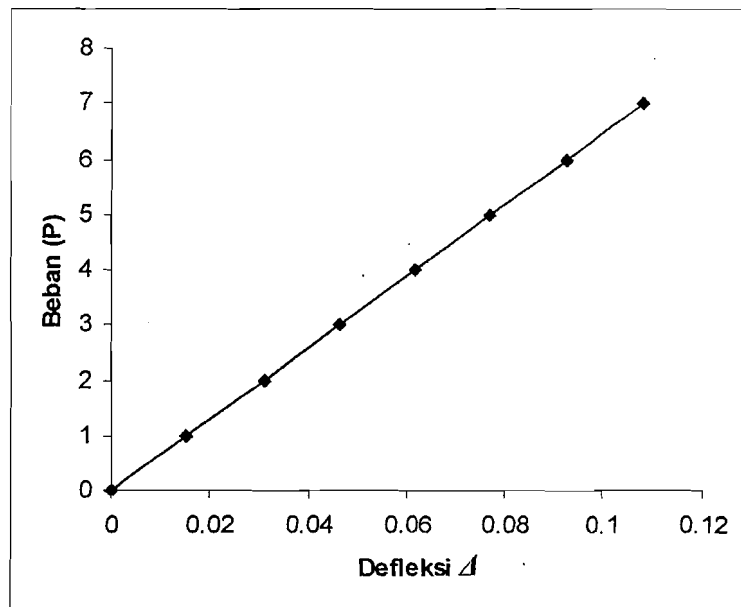
I = momen inersia tampang

P = beban

E = modulus elastis

L = panjang bentang

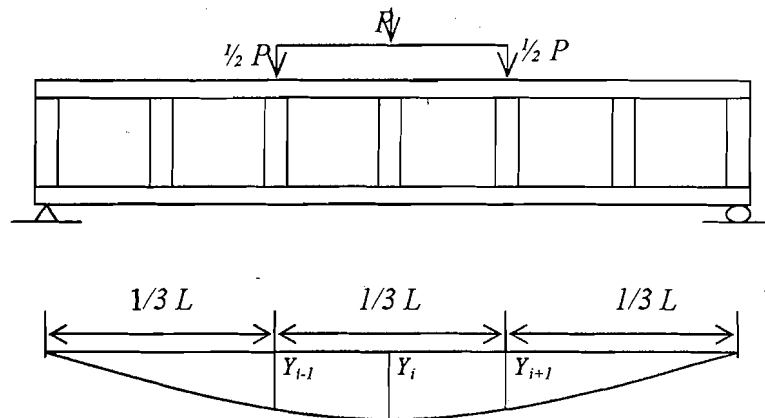
Berdasarkan persamaan (3.21) dan (3.22) maka dapat diperoleh grafik hubungan beban lendutan teoritis seperti terlihat pada Gambar 3.12 sebagai berikut. Dengan asumsi nilai modulus elastis bahan (E), Inersia (I) dan panjang balok (L) konstan, sehingga grafik hubungan beban -lendutan linier.



Gambar 3.12 Grafik hubungan beban-deformasi

3.6 Hubungan Momen-Kelengkungan

Balok adalah salah satu diantara elemen-elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Momen lentur timbul pada balok sebagai akibat adanya beban pada balok. Apabila balok *vierendeel* dengan tumpuan sederhana seperti pada Gambar 3.13 mengalami dua beban transversal terpusat simetris, balok akan melentur atau mengalami deformasi.



Gambar 3.13 Deformasi pada balok *vierendeel*

Dari pengujian kuat lentur balok badan terbuka, didapat defleksi pada titik $= Y_i$, titik Y_{i+1} dan titik Y_{i-1} seperti pada Gambar 3.13. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *central difference* dengan memanfaatkan tiga titik diskrit yang berurutan.

$$\Phi = \frac{1}{\kappa} \dots \dots \dots (3.23)$$

$$\kappa = \frac{d^2y/dx^2}{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{3/2}} \dots \dots \dots (3.24)$$

jika $\frac{dy}{dx} = 0$ maka persamaan 3.24 menjadi

$$\Phi = \frac{d^2y}{dx^2} \dots \dots \dots (3.25)$$

Perhatikan Gambar 3.13, berdasarkan persamaan (3.25) dy/dx didekati dengan persamaan (3.26)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \dots\dots\dots(3.26)$$

turunan kedua persamaan (3.26) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.27)$$

Karena $(2\Delta_x)$ adalah konstan maka

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

sehingga persamaan (3.27) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.28)$$

persamaan (3.28) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.29)$$

dari persamaan (3.29) tersebut dapat disederhanakan menjadi persamaan (3.30)

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

Berdasarkan persamaan (3.42) maka untuk mencari kelengkungan diperlukan defleksi pada tiga titik yang berurutan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.13.

Persamaan diferensial balok elastis adalah

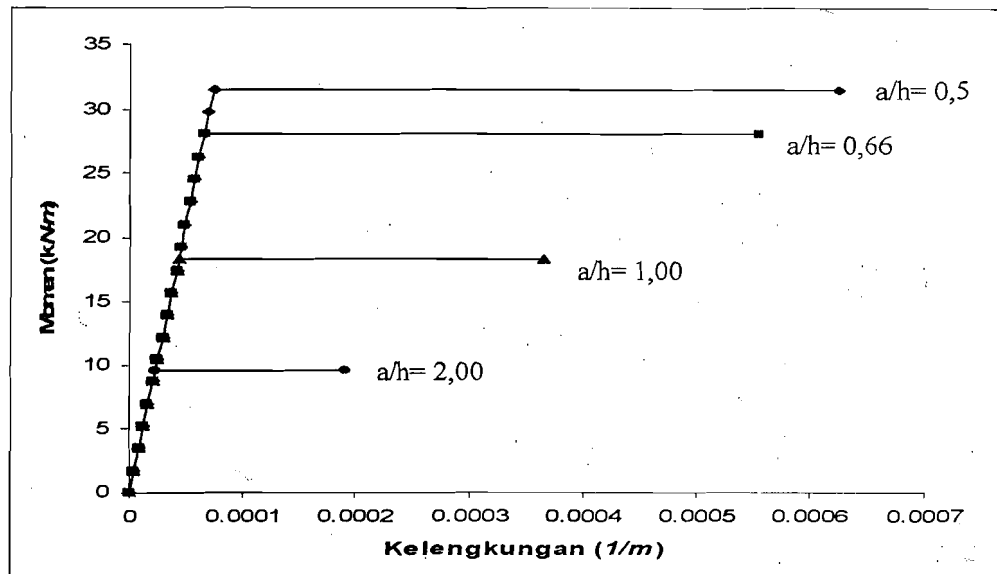
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots(3.31)$$

Berdasarkan persamaan (3.31) didapat persamaan (3.32) yang disebut sebagai faktor kekakuan EI didefinisikan sebagai momen per satuan unit kelengkungan ,

$$M = EI \cdot \Phi$$

$$EI = \frac{M}{\Phi} \dots\dots\dots (3.34)$$

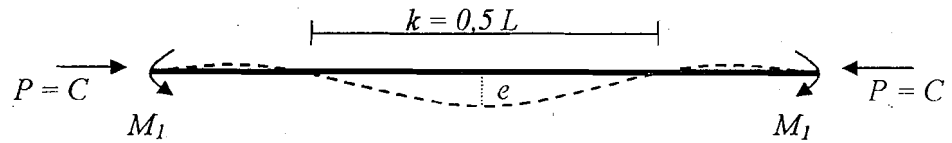
berdasarkan persamaan lendutan teoritis maka grafik hubungan momen-kelengkungan dapat disimulasikan pada gambar 3.14 berikut ini.



Gambar 3.14 Hubungan momen-kelengkungan

3.7 Kombinasi Tekan-Lentur

Vis dan Kusuma (1993) menyatakan, bahwa; Pada struktur yang sederhana, kolom merupakan komponen struktur yang sering menjadi bagian dari struktur rangka. Bila pada kolom bagian atas dan bawah berhubungan kaku dengan komponen horizontal (balok), maka tegangan yang diterima kolom, selain tegangan aksial juga terdiri dari tegangan yang disebabkan oleh momen lentur seperti Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Batang Tekan-Lentur

Nilai kekakuan batang tekan-lentur seperti ditunjukkan (Gambar 3.14) dapat diketahui dengan persamaan (3.35).

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots (3.35)$$

di mana:

$$\Delta = \frac{P.L}{E.A} \dots\dots\dots (3.36)$$

Persamaan (3.35) dan (3.36) dapat disubstitusikan menjadi :

$$k = \frac{E.A}{L} \dots\dots\dots (3.37)$$

dengan :

- k = kekakuan batang
- L = panjang batang
- Δ = nilai perubahan panjang akibat gaya aksial (P)
- E = modulus elastis bahan
- P = gaya aksial

Akibat gaya aksial (P) menyebabkan balok melentur, sehingga timbul lendutan e . Akibat dari timbulnya lendutan e akan menimbulkan momen skunder (M_c) yang besarnya ditunjukkan oleh persamaan (3.38)

$$M_c = P \cdot e \dots\dots\dots (3.38)$$

Sehingga momen yang terjadi pada balok menjadi

$$M = M_1 + M_c \dots\dots\dots (3.39)$$

dimana $M_I = M \delta$:

$$M_I = M \left(\frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cr}}} \right) \dots \dots \dots (3.40)$$

dengan: P = gaya aksial
 M_I = pembesaran momen
 P_{cr} = momen skunder

Dasar-dasar anggapan dalam perhitungan suatu tampang yang diberi beban lentur dan aksial (kolom), pada prinsipnya sesuai dengan dasar-dasar anggapan yang menyatakan, bahwa:

1. beton tidak dapat melawan tegangan tarik, dan
2. perpanjangan dan perpendekan yang terjadi dalam beton serta tulangan dianggap berbanding lurus dengan jaraknya terhadap garis netral.

3.8. Hipotesa

Berdasarkan landasan teori, tampak bahwa rasio (a/h) yang semakin kecil mengakibatkan jarak antara batang transversal akan semakin kecil, hal tersebut akan berpengaruh pada kekuatan balok *vierendeel*, yaitu kekakuannya akan semakin tinggi, sehingga gaya luar dan momen eksternal yang mampu dipikul oleh balok *vierendeel* akan semakin besar, tetapi lendutan yang terjadi tidak jauh berbeda dengan balok *vierendeel* dengan jarak pengaku (a) yang besar.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dilaboratorium Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia dilakukan metode pembebanan pada tiap sepertiga bentang. Dalam rangka mempermudah penyusunan pelaksanaan ini dibuat susunan meliputi : tinjauan umum, metode penelitian, bahan dan alat yang digunakan, model benda uji, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

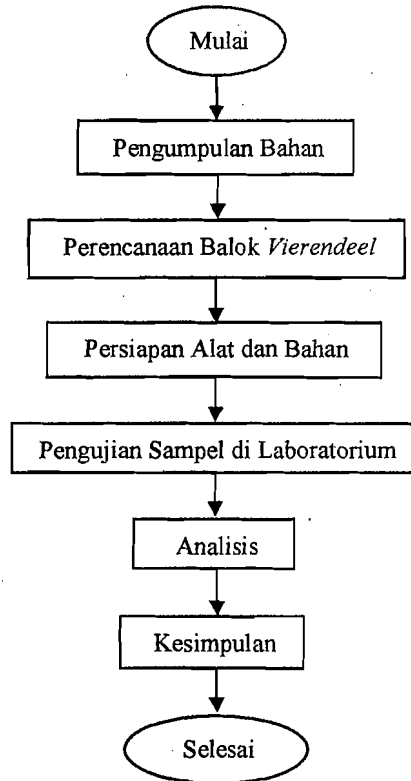
4.1. Tinjauan Umum

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton berupa balok *Vierendeel*, dimana pengecoran dilakukan serentak. Sehingga elemen-elemen struktur beton menjadi satu kesatuan yang monolit.

Pengujian yang akan dilakukan oleh peneliti meliputi pengujian pendahuluan yang terdiri dari pengujian kuat desak beton dan kuat tarik baja. Setelah dilakukan pengujian pendahuluan dilanjutkan dengan pengujian struktur beton balok *Vierendeel* di Laboratorium Mekanika Rekayasa. Sebelum pengujian dilakukan beberapa persiapan agar penelitian dapat berjalan lancar. Persiapan yang akan dilakukan meliputi : persiapan bahan dan alat yang dipakai dalam pengujian, model benda uji, dan pembuatan benda uji.

4.2. Metode Penelitian

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



Gambar 4.1 *Flowchart* metode penelitian

4.3. Bahan dan Alat yang Digunakan

Agar penelitian dapat berjalan lancar diperlukan beberapa peralatan dan bahan yang digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian.

Bahan dan alat yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

4.3.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

a. Semen

Semen yang digunakan adalah semen *Portland Pozollan* merk Nusantara jenis A dengan berat 40 Kg

b. Agregat

Agregat yang digunakan merupakan agregat kasar dan agregat halus yang berasal dari kali Krasak.

c. Baja tulangan

Baja tulangan yang akan digunakan adalah jenis baja polos dengan diameter 8 mm

d. Air

Air diambil dari laboratotium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII

e. Bekisting

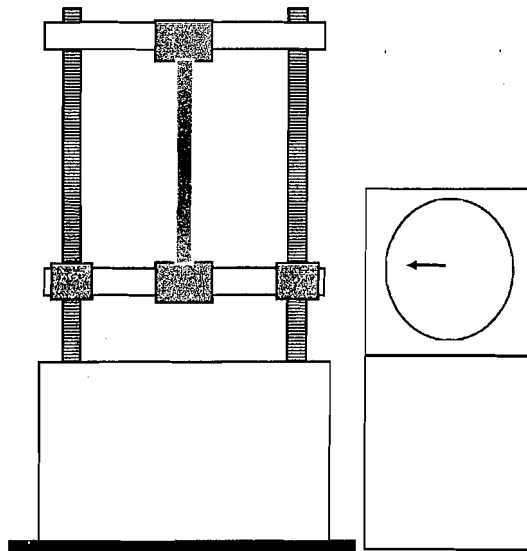
Terbuat dari kayu sengon dan triplek 2 mm yang digunakan untuk membuat cetakan sampel.

4.3.2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Mesin Uji Kuat Tarik

Alat yang digunakan adalah *Universal Testing Material (UTM)* merk "Shimitzu" type *UMH-30* dengan kapasitas 30 Ton. Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan leleh baja, seperti terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Mesin Uji Kuat Tarik

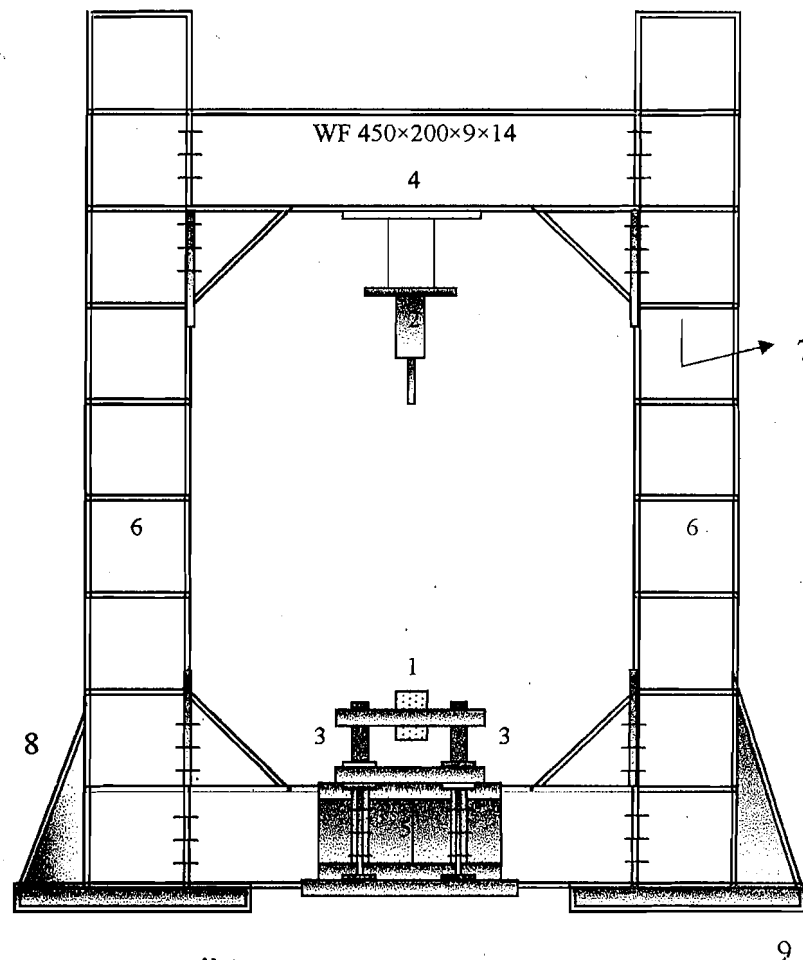
b. Mesin Uji Kuat Desak.

Mesin uji desak merk “Control” kapasitas 30 Ton, digunakan untuk menguji kuat desak dan tarik belah silinder beton. Dalam pengujian desak beton, silinder beton ditekan pada ujungnya. Dimana tujuannya untuk memperoleh hubungan tegangan – regangan sehingga dapat diketahui nilai modulus elastis betoni (f_c').

c. *Loading Frame*

Alat yang digunakan untuk keperluan uji pembebanan adalah *Loading Frame* yang terbuat dari bahan baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. *Loading Frame* ini mempunyai bentuk portal segi empat yang diletakkan diatas lantai beton dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading frame* ini stabil pada waktu pembebanan dilakukan maka pelat dasar di baut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok

WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Susunan balok portal ini dapat diubah-ubah sesuai dengan bentuk dan ukuran dari model benda uji dengan cara melepas sambungan baut. Bentuk dari *Loading Frame* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Keterangan :

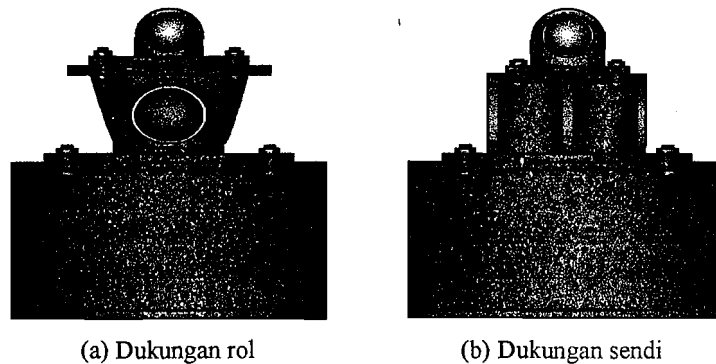
1. Model Balok
2. *Hydraulic Jack*
3. Dukungan
4. Balok Portal (bisa digeser)
5. Balok Lintang
6. Kolom
7. Pengaku
8. Angkur
9. Plat Dasar

Gambar 4.3 *Loading Frame*

d. Dukungan Sendi dan Rol

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

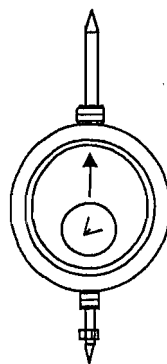
Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Dukungan sendi dan rol

e. *Dial Gauge*

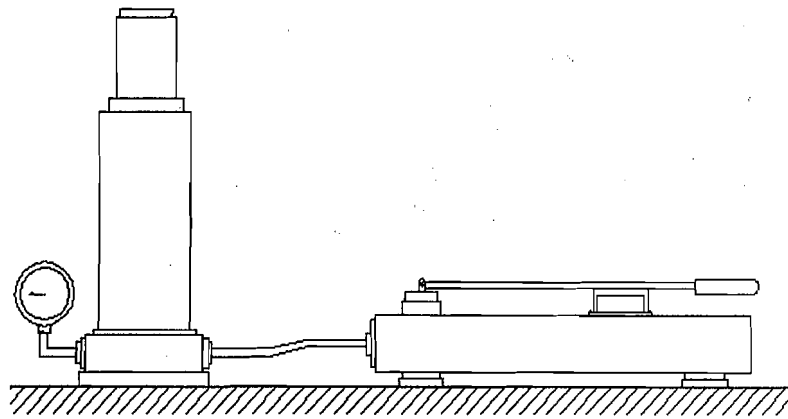
Dial gauge adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian pembacaan dial 0,01 mm. Pada penelitian tugas akhir ini digunakan *Dial gauge* sebanyak tiga buah Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Dial gauge*

f. *Hidraulick Jack*

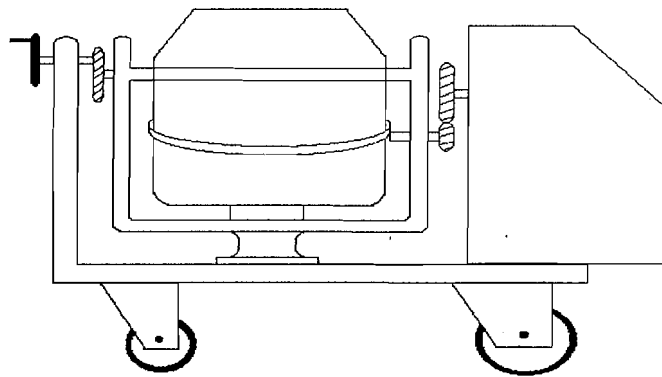
Hidraulick jack adalah alat yang digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur dengan beban sentris P yang mempunyai kapasitas maksimum 30 *Ton* dan ketelitian pembacaan sebesar 0,5 *Ton*. Alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Hidraulic Jack*

g. *Mesin Aduk Beton*

Mesin ini digunakan untuk mengaduk bahan susun beton seperti semen, kerikil dan air. Kecepatan putaran dapat diatur sehingga memudahkan bahan penyusun beton diaduk menjadi campuran yang homogen. Alat ini dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Mesin Adukan Beton (*Molen*)

h. Kerucut *Abrams*

Pengukuran kelecakan adukan beton dalam percobaan slump (*slump test*) digunakan kerucut *Abrams*. Kerucut yang berlubang pada kedua ujungnya mempunyai diameter bawah 20 *cm*, diameter atas 10 *cm*, serta tinggi 30 *cm*. Alat ini juga dilengkapi tongkat baja berdiameter 1,6 *cm*, panjang 60 *cm* serta bagian ujung tongkat dibulatkan.

i. Timbangan

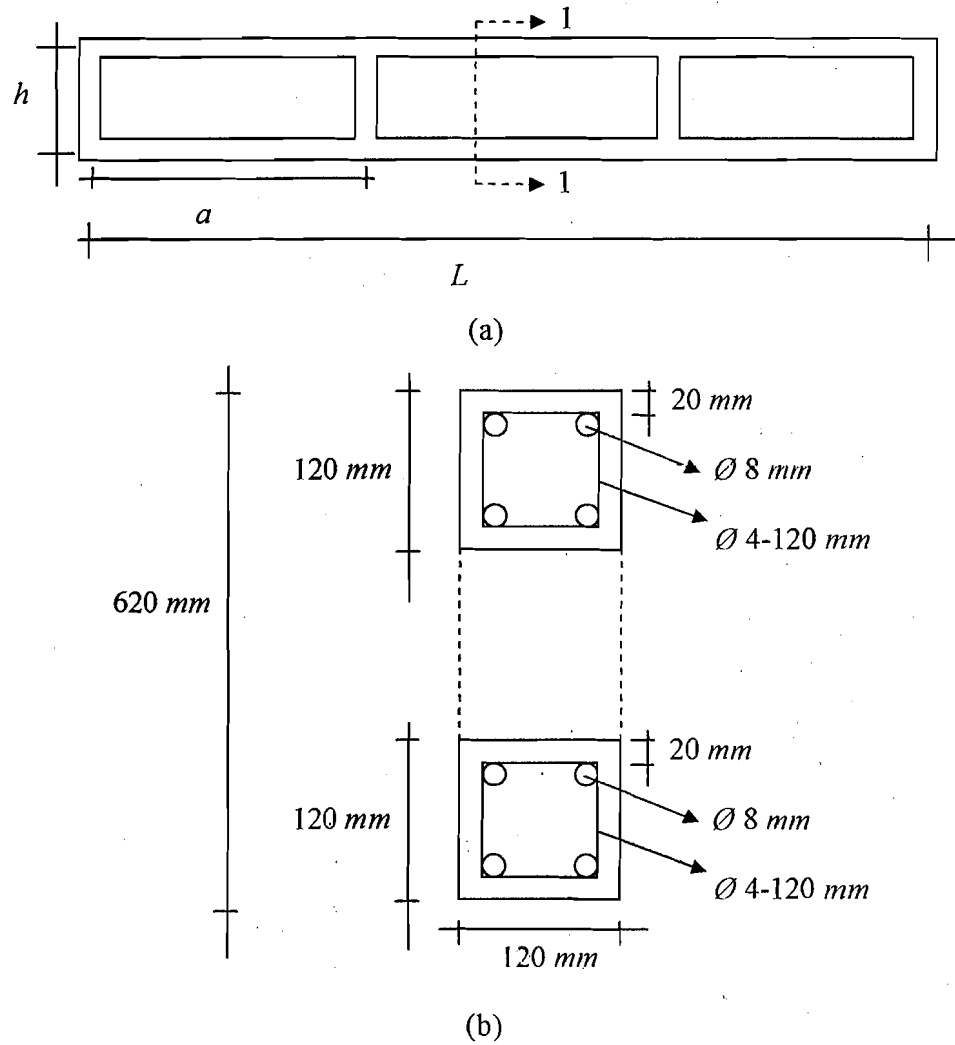
Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan penyusun beton (semen, pasir, agregat, dan air). Dalam penelitian ini digunakan timbangan merk "*Fugani*" kapasitas 150 *Kg*.

j. Mistar

Mistar dipakai untuk mengukur seberapa besar penurunan beton segar pada pengujian slump campuran adukan beton.

4.4. Model Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini berupa beton bertulang Gambar 4.8.a, dengan dimensi penampang pada Gambar 4.8.b sebagai berikut ini.



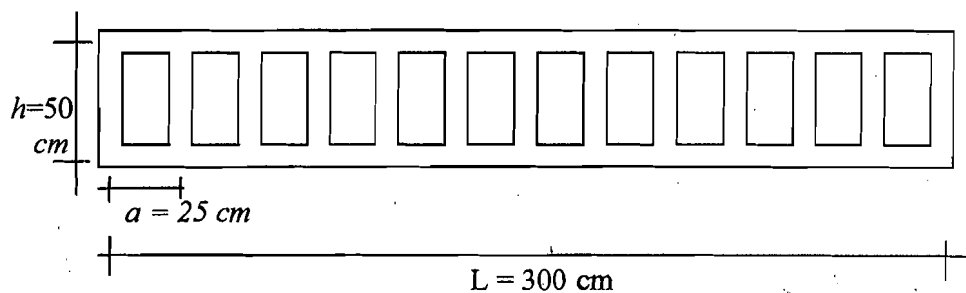
Gambar 4.8 (a) Tampang benda uji balok *Vierendeel*

(b) Potongan 1 – 1

Adapun Spesifikasi dari tiap benda uji adalah sebagai berikut ini.

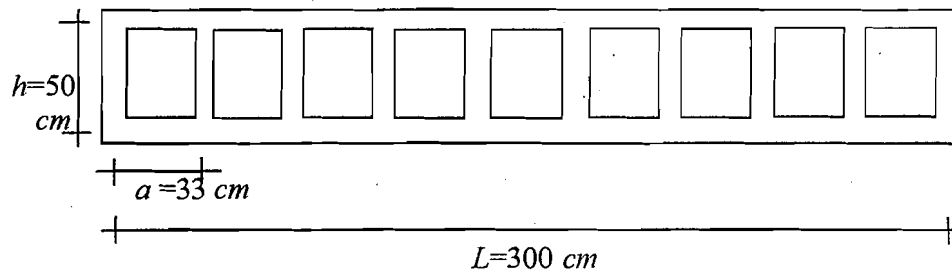
1. Benda Uji I : $h = 50 \text{ cm}$, $L = 300 \text{ cm}$, $a = 25 \text{ cm}$ dengan tulangan rangkap $\emptyset 8 \text{ mm}$, jarak antar sengkang $\emptyset 4 - 100 \text{ mm}$, dengan $f_c' = 20 \text{ MPa}$ sejumlah 1 buah benda uji Gambar 4.9.
2. Benda Uji II : $h = 50 \text{ cm}$, $L = 300 \text{ cm}$, $a = 33 \text{ cm}$ dengan tulangan rangkap $\emptyset 8 \text{ mm}$, jarak antar sengkang $\emptyset 4 - 100 \text{ mm}$, dengan $f_c' = 20 \text{ MPa}$ sejumlah 1 buah benda uji Gambar 4.10.
3. Benda Uji III : $h = 50 \text{ cm}$, $L = 300 \text{ cm}$, $a = 50 \text{ cm}$ dengan tulangan rangkap $\emptyset 8 \text{ mm}$, jarak antar sengkang $\emptyset 4 - 100 \text{ mm}$, dengan $f_c' = 20 \text{ MPa}$ sejumlah 1 buah benda uji Gambar 4.11 .
4. Benda Uji IV : $h = 50 \text{ cm}$, $L = 300 \text{ cm}$, $a = 100 \text{ cm}$ dengan tulangan rangkap $\emptyset 8 \text{ mm}$, jarak antar sengkang $\emptyset 4 - 100 \text{ mm}$, dengan $f_c' = 20 \text{ MPa}$ sejumlah 1 buah benda uji Gambar 4.12.

a. Benda Uji I : Dengan perbandingan $\frac{a}{h} = 0,5$



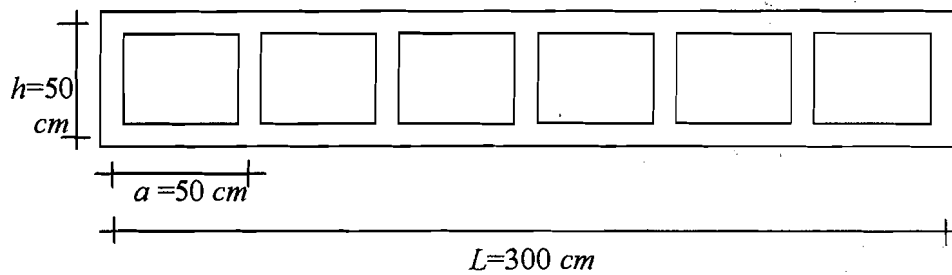
Gambar 4.9 Benda Uji 1

b. Benda Uji II : Dengan perbandingan $\frac{a}{h} = 0,66$



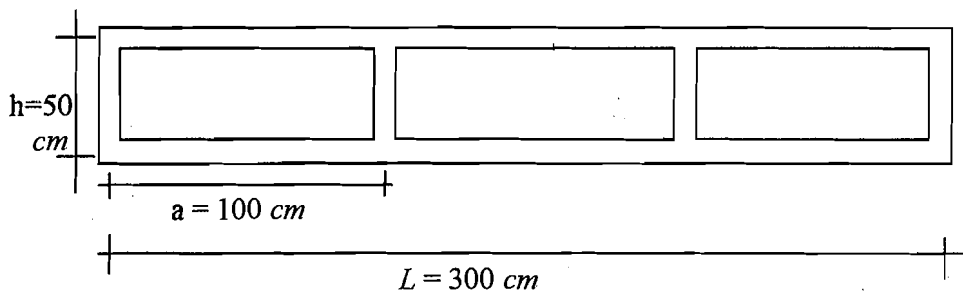
Gambar 4.10 Benda Uji 2

c. Benda Uji III : Dengan perbandingan $\frac{a}{h} = 1,00$



Gambar 4.11 Benda Uji 3

d. Benda Uji IV : Dengan perbandingan $\frac{a}{h} = 2,00$



Gambar 4.12 Benda Uji 4

4.5. Pembuatan Benda Uji

Pelaksanaan pembuatan benda uji dilaksanakan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII. Dalam membuat benda uji maka dilakukan dengan beberapa langkah yaitu :

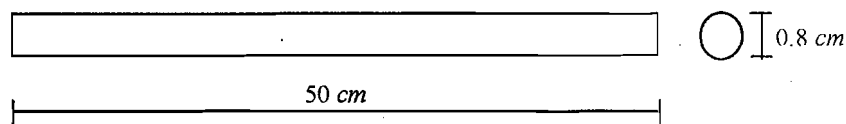
1. Mempersiapkan bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat balok beton *Vierendeel*.
2. Membuat bekesting balok *Vierendeel* dimana kayu yang digunakan kayu kruing dan tripeks.
3. Merangkai baja tulangan baja yang sudah dipotong sesuai dengan ukuran-ukurannya.
4. Membuat adukan beton dengan *concrete mixer*, perencanaan *mix design* pada lampiran 1.2.
5. Pengecekan nilai slump beton (7,5 -10 cm).
6. Menuangkan adukan beton kedalam bekesting dan dipadatkan dengan batang besi dengan cara ditumbuk.

4.6. Pengujian Benda Uji

Pada penelitian ini digunakan struktur beton balok beton *Vierendeel* dengan mutu beton berbeda. Sebelum melakukan pengujian kuat tekan balok beton *Vierendeel* yang sesungguhnya di laboratorium, perlu dilakukan pengujian pendahuluan. Pengujian pendahuluan bertujuan untuk mengetahui tegangan tarik baja (f_y), tegangan desak (f'_c) beton dan nilai *slump*.

4.6.1. Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari benda uji. Benda uji pendahuluan ini ada 4 buah, seperti terlihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Model Benda Uji Kuat Tarik

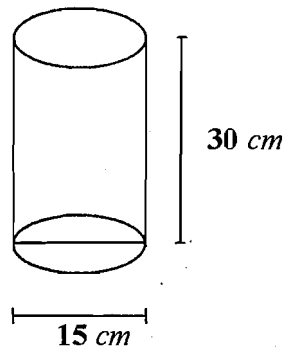
4.6.2. Pengujian *Slump*

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengukur kelecakan adukan beton yang berguna dalam *workability* (kemudahan pengerjaan) beton. Pengujian dilakukan dengan corong *Abrams* yang berbentuk kerucut terpancung yang diisi tiga tahap / lapis beton. Setiap lapis ditusuk tongkat baja kurang lebih 25 kali. Setelah penuh, muka atas diratakan dan didiamkan selama 60 detik, kemudian tarik corong keatas secara perlahan-lahan. Setelah itu diukur penurunan permukaan atas adukan beton. Besar penurunan adukan beton disebut dengan nilai *slump*. Pengujian *slump* dilakukan tiga kali, nilai *slump* masing-masing antara 7,5 -10 cm.

4.6.3. Pengujian Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Tegangan desak dapat diketahui dengan membagi batas luluh awal dengan luas

rata-rata dari benda uji. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sejumlah 18 buah dan diuji berumur 28 hari seperti pada Gambar 4.14 seperti dibawah ini .



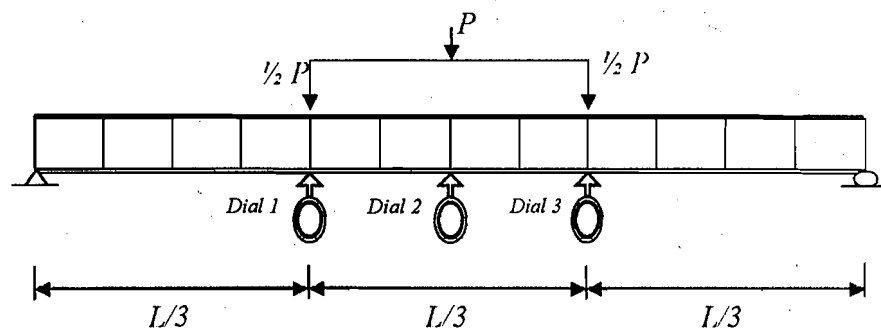
Gambar 4.14 Benda Uji Kuat Desak Beton

4.6.4. Pengujian Kuat Tekan Struktur Beton Balok *Vierendeel*

Pelaksanaan pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.15 dengan cara sebagai berikut:

1. Sebelum pengujian dilaksanakan dihitung perencanaan pembebebanan maksimum yang terdapat pada lampiran 1.1.
2. Menempatkan benda uji pada *Loading Frame* di laboratorium mekanika rekayasa
3. Setelah benda uji ditempatkan pada *Loading Frame* maka dilakukan pemasangan bracing agar pada saat pengujian benda uji tidak tergelincir kesamping .Pemasangan bracing tersebut dilakukan tanpa menghilangkan fungsi dari sendi dan roll.

4. Sesudah tahap pemasangan bracing selesai dilakukan, dilanjutkan dengan pemasangan dial gauge pada jarak $1/3L$, $1/2L$, dan $2/3L$ yang sudah ditentukan.
5. Benda uji sudah disetting siap diuji maka *Hydraulic Jack* dipompa untuk mendapatkan beban yang bertahap yang dinaikkan secara bertahap dengan interval $3,5 \text{ KN}$, dimulai dari pembebanan 0 KN sampai pada beban maksimum.
6. Setiap pembebanan mencapai $3,5 \text{ KN}$, pemompaan *Hydraulic Jack* dihentikan dan ditahan kemudian dilakukan pembacaan dan pencatatan *Dial Gauge*.
7. Proses dilakukan sampai pembebanan maksimum.



Gambar 4.15 Pembebanan Benda Uji dan Pemasangan *Dial*

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia, dengan metode pembebanan pada setiap sepertiga bentang. Dalam rangka mempermudah penyusunan pelaksanaan penelitian ini, dibuat susunan meliputi: tinjauan umum, hasil penelitian laboratorium bahan konstruksi teknik, hasil pengujian laboratorium mekanika rekayasa, dan pembahasan hasil uji kuat lentur balok *Vierendeel*.

5.1. Tinjauan Umum

Bab ini mengemukakan hasil penelitian kuat tekan beton, kuat tarik baja dan hasil pengujian balok beton *Vierendeel*. Hasil tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui perilaku balok *Vierendeel* beton terhadap pembebanan lentur diantaranya: hubungan ($P-\Delta$) pengaruhnya terhadap kekakuan, ($M-\Phi$) terhadap faktor kekakuan (EI), pengaruh kapasitas elemen pada balok *vierendeel*, pengaruh gaya geser pada balok *vierendeel* terhadap beban lentur, dan analisa pola kerusakan balok *vierendeel* akibat beban lentur pada masing-masing variasi (a/h).

5.2. Hasil Penelitian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik

Berdasarkan beberapa pengujian di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik diperoleh data sebagai berikut ini.



5.2.1. Pengujian Kuat Desak Beton

Kekuatan desak beton rencana tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat serta kualitas dalam perawatannya. Kuat desak beton diketahui dari uji desak 6 silinder beton ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Perawatan silinder beton dilakukan dengan cara merendam dalam bak air dan pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran (2.1-2.2) sedangkan hasil perhitungan uji kuat desak beton silinder dapat dilihat pada tabel 5.1.a adalah sebagai berikut :

Contoh perhitungan:

$$\text{Luas silinder beton } (A) = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi (15,2)^2$$

$$= 181,366 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kuat desak } (f_c') = \frac{P_u}{A} = \frac{50000}{181,366} = 275,686 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 27,5 \text{ MPa}$$

Tabel 5.1.a Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

Silinder Beton	Berat (kg)	Mutu Beton Rencana (MPa)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Kuat Desak P_u (Kg)	Luas A (cm ²)	Kuat Tekan f_c' (MPa)
1	12,45	20	15,2	29,63	50000	181,366	27,569
2	12,7	20	15,95	29,97	59000	199,706	29,543
3	12,45	20	15,5	30,04	49500	188,596	26,247
4	12,55	20	15,55	30,01	57000	189,815	30,029
5	12,6	20	15,6	30,23	56000	191,038	29,314
6	12,5	20	15,5	30,1	63000	188,596	33,405

Tabel 5.1.b Perhitungan Deviasi Standar untuk Kuat Desak Beton

No.	$f_c' \text{ (MPa)}$	$(f_c' - f_{cr})$	$(f_c' - f_{cr})^2$
1	27.569	-1.782	3.176
2	29.543	0.192	0.037
3	26.247	-3.104	9.636
4	30.029	0.678	0.459
5	29.314	-0.037	0.001
6	33.405	4.054	16.434
Σ	176.107	0.000	29.743

$$f_{cr} = 29.351$$

Perhitungan kuat tekan beton karakteristik (f_c') :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_c' - f_{cr})^2}{N-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{29,743}{6-1}} = 2,439$$

dari hasil perhitungan didapat:

$$\text{Kuat tekan rata-rata } (f_{cr}') = 29,351 \text{ MPa}$$

$$\text{Standar deviasi } (sd) = 2,439 \text{ MPa}$$

Jika penyimpangan maksimum yang diijinkan adalah 5% dari kuat tekan karakteristik silinder beton, maka :

$$f_c' = f_{cr}' - 1,64 \text{ sd} \dots\dots\dots(5.1)$$

$$f_c' = 29,351 - (1,64 \cdot 2,439)$$

$$f_c' = 25,4 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil pengujian kuat desak beton di Laboratorium BKT, didapat kuat tekan beton karakteristik (f_c') sebesar 25,4 MPa.

Modulus Elastis beton dihitung dengan rumus:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (5.2)$$

E_c = Modulus Elastis beton (*MPa*)

f'_c = Mutu beton yang disyaratkan (*MPa*)

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{25,4} \\ &= 23687,254 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pada perhitungan tersebut didapat Modulus Elastis beton (E_c) = 23687,254 *MPa*.

5.2.2. Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang pada sampel struktur beton balok *Vierendeel* maka dilakukan pengujian kuat tarik baja tulangan polos (*BJTP*) dengan diameter pengenal 8 *mm*. Data dan grafik hasil pengujian kuat tarik baja dapat dilihat pada Lampiran 3.1. Sedangkan hasil perhitungan uji kuat tarik baja tulangan ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Luas Tulangan (A)} &= \frac{1}{4} \cdot \Pi \cdot D_{tul \text{ rata-rata}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \Pi \cdot (6,9)^2 = 37,374 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh (} f_{y \text{ rerata}} \text{)} &= \frac{P_{y \text{ rerata}}}{A_{tul}} \\ &= \frac{1220}{37,374} = 32,6431 \text{ Kg/mm}^2 \\ &= 326,4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 5.2. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan

Benda Uji	Diameter Uji $\varnothing$ mm	Tegangan Leleh f_y (MPa)	Tegangan <i>Ultimit</i> f_u (MPa)
I	6.9	315,73	428,11
II	6.9	331,78	426,77
III	6.9	331,78	428,11
	Rata-rata	326,4	427,66

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa hasil uji tarik baja tulangan yang dipakai termasuk dalam *BJTP 30* berdasarkan pada *SII 0136-80*, dengan tegangan leleh $f_y = 300 \text{ MPa}$.

5.3. Hasil Pengujian Laboratorium Mekanika Rekayasa

Berdasarkan beberapa pengujian di laboratorium Mekanika Rekayasa diperoleh data sebagai berikut ini.

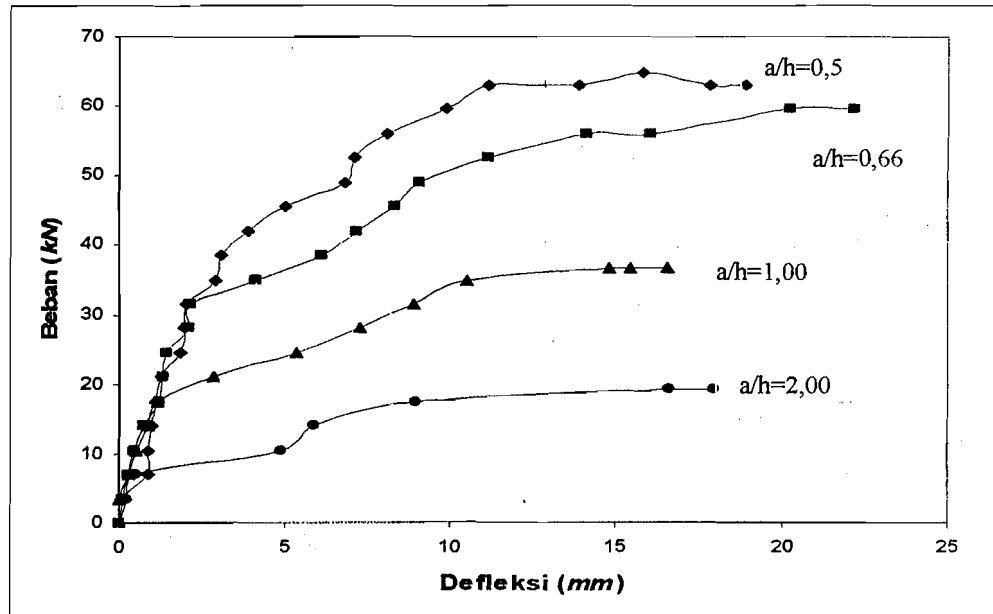
5.3.1. Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya kuat lentur yang dimiliki oleh tiap sampel benda uji dengan variasi rasio a/h yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan pemberian beban secara bertahap sebesar $3,5 \text{ kN}$. Pembebanan dilakukan dengan *metode third point loading*, kemudian pada setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi diukur dengan *dial*, maka dapat diketahui besarnya lendutan yang terjadi. Dari hasil pengujian kuat lentur balok beton *Vierendeel* diperoleh hubungan Beban-Lendutan ($P-\Delta$) seperti pada Tabel 5.3. Untuk lebih lengkap mengenai hasil pengujian pada masing-masing benda uji dapat dilihat pada lampiran (4.1-4.8),

Tabel 5.3 Hasil Pengujian kuat lentur pada *dial 2*

Benda Uji 1 $a/h=0,5$		Benda uji 2 $a/h=0,66$		Benda uji 2 $a/h=1,00$		Benda uji 2 $a/h=2,00$	
Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)
1	2	3	3	1	3	1	3
0	0	0	0	0	0	0	0
3,5	0,07	3,5	0,1	3,5	0,02	3,5	0,25
7	0,87	7	0,31	7	0,28	7	0,5
10,5	0,9	10,5	0,49	10,5	0,53	10,5	4,91
14	0,98	14	0,78	14	0,899	14	5,9
17,5	1,1	17,5	1,235	17,5	1,155	17,5	8,97
21	1,25	21	1,35	21	2,82	19,25	16,65
24,5	1,87	24,5	1,43	24,5	5,35	19,25	17,95
28	1,97	28	2,1	28	7,28		
31,5	2,06	31,5	2,16	31,5	8,92		
35	2,91	35	4,12	35	10,54		
38,5	3,11	38,5	6,12	36,75	14,81		
42	3,89	42	7,15	36,75	15,46		
45,5	5	45,5	8,3	36,75	16,55		
49	6,81	49	9,09				
52,5	7,12	52,5	11,14				
56	8,11	56	14,13				
59,5	9,91	56	16,1				
63	11,19	59,5	20,22				
63	13,91	59,5	22,14				
64,75	15,86						
63	17,82						
63	18,89						

Berdasarkan tabel hasil pengujian kuat lentur pada tabel 5.3 maka dapat dibuat grafik hubungan ($P-\Delta$) seperti pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Grafik Hubungan Beban-Defleksi Hasil Pengujian

5.4. Pembahasan Hasil Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

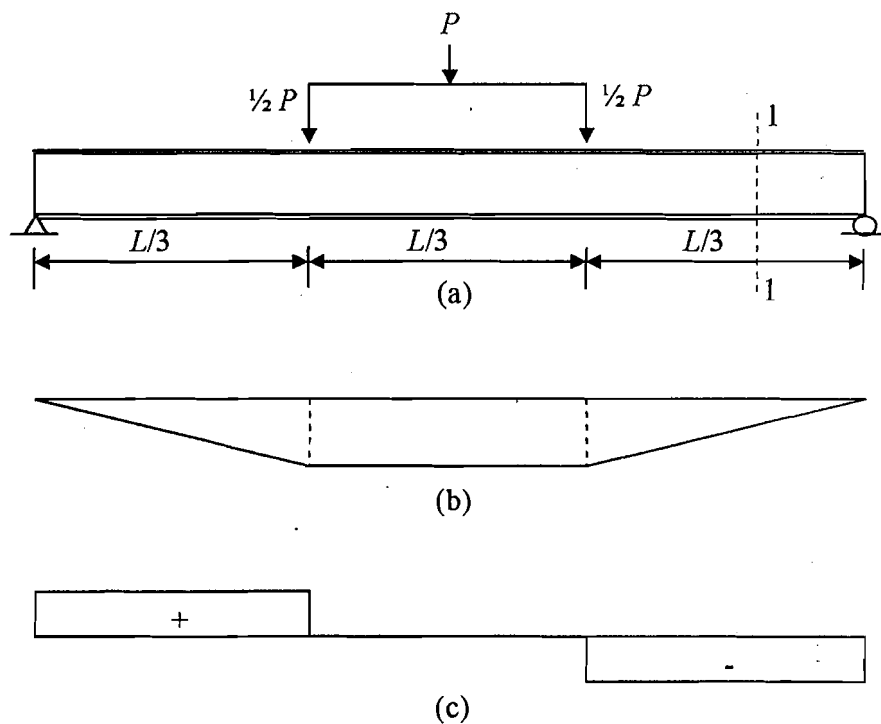
Pada pembahasan ini akan dijelaskan beberapa permasalahan mengenai hasil uji kuat lentur balok *Vierendeel* yang dilakukan di laboratorium antara lain hubungan beban-defleksi hasil pengujian dan teoritis, Analisis kekakuan balok terhadap rasio a/h , kuat lentur berdasarkan hubungan momen-kelengkungan teoritis dan pengujian, analisis faktor kekakuan balok berdasarkan rasio a/h , analisis kapasitas elemen balok *vierendeel* berdasarkan grafik $Mn-Pn$, dan analisis kerusakan yang terjadi pada benda uji karena pembebanan lentur.

5.4.1 Analisis Hubungan Beban (P) -Defleksi (Δ)

Berdasarkan hasil analisis pada bab sebelumnya, maka dapat diperoleh hubungan beban-lendutan teoritis.

1. Hubungan Beban-Defleksi secara teoritis

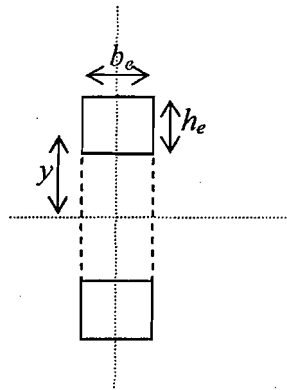
Hubungan kuat lentur berdasarkan Beban – Defleksi teoritis didasarkan dengan anggapan balok *Vierendeel* sebagai balok biasa terlihat pada Gambar 5.2 yang memiliki tampang seperti pada Gambar 5.3 di bawah ini.



Gambar 5.2 (a). Peristiwa pembebanan pada balok *Vierendeel*

(b). Diagram momen

(c). Diagram geser



Gambar 5.3 Tampang potongan 1-1

Contoh Perhitungan :

Dari Gambar 5.3 maka inersia tampang dari balok tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Inersia } (I) = \left[\frac{1}{12} \cdot b_e \cdot h_e^3 + A_{\text{Komposit}} \cdot y^2 \right] \cdot 2$$

$$A_{\text{Komposit}} = A_{\text{beton}} + A_{\text{baja}} (n-1)$$

$$= (b \cdot x) + ((4 \times 0,25 \times \pi \cdot D^2) \times (\frac{E_c}{E_s} - 1))$$

$$= (120 \times 120) + (4 \times 0,25 \times \pi \cdot 6,9^2) \times \left(\frac{23687,25}{200000} - 1 \right)$$

$$= 14268,143 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inersia } (I) = \left[\left(\frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 120^3 \right) + (14268,143 \cdot 250^2) \right] \times 2 = 2,129 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \text{ MPa}$$

$$= 4700 \sqrt{25,4}$$

$$= 23687,25 \text{ MPa} = 23,687 \text{ kN/mm}^2$$

Maka didapat nilai $EI = 23,687 \times 2,129 \cdot 10^9$

$$= 5,043 \cdot 10^{10} \text{ kN-mm}^2$$

$$\text{Defleksi pada } \frac{1}{3} \text{ bentang } \Delta_1 = \Delta_3 = y_1 = \frac{5PL^3}{324EI} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$= \frac{5.31,5.(3000^3)}{324.(5,043.10^{10})} = 0,5205 \text{ mm}$$

$$\text{Defleksi pada } \frac{1}{2} \text{ bentang } = \Delta_2 = y_2 = \frac{23.P.L^3}{1296.EI} \dots\dots\dots(3.22)$$

$$= \frac{23.31,5.(3000^3)}{1296.(5,043.10^{10})} = 0,5986 \text{ mm}$$

Dari contoh perhitungan dapat diperlihatkan data hubungan beban-lendutan seperti pada Tabel 5.4, Tabel 5.5, Tabel 5.6, dan Tabel 5.7.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Teoritis Balok *Vierendeel*

Benda Uji 1 dengan $a/h = 0,5$

Beban (P)	Defleksi		
	Δ_1	Δ_2	Δ_3
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)
1	2	3	4
0	0	0	0
3.5	0.0034	0.0039	0.0034
7	0.0068	0.0079	0.0068
10.5	0.0103	0.0118	0.0103
14	0.0137	0.0158	0.0137
17.5	0.0171	0.0197	0.0171
21	0.0205	0.0236	0.0205
24.5	0.0240	0.0276	0.0240
28	0.0274	0.0315	0.0274
31.5	0.0308	0.0354	0.0308
35	0.0342	0.0394	0.0342
38.5	0.0377	0.0433	0.0377
42	0.0411	0.0473	0.0411
45.5	0.0445	0.0512	0.0445
49	0.0479	0.0551	0.0479
52.5	0.0514	0.0591	0.0514
56	0.0548	0.0630	0.0548
59.5	0.0582	0.0670	0.0582
63	0.0616	0.0709	0.0616

63	0.5205	0.5986	0.5205
64.75	0.5350	0.6152	0.5350
63	0.5205	0.5986	0.5205
63	0.5205	0.5986	0.5205

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Teoritis Balok *Vierendeel*

Benda Uji 2 dengan $a/h = 0,66$

Beban (P) (kN)	Defleksi		
	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 3$ (mm)
1	2	3	4
0	0	0	0
3.5	0.0034	0.0039	0.0034
7	0.0068	0.0079	0.0068
10.5	0.0103	0.0118	0.0103
14	0.0137	0.0158	0.0137
17.5	0.0171	0.0197	0.0171
21	0.0205	0.0236	0.0205
24.5	0.0240	0.0276	0.0240
28	0.0274	0.0315	0.0274
31.5	0.0308	0.0354	0.0308
35	0.0342	0.0394	0.0342
38.5	0.0377	0.0433	0.0377
42	0.0411	0.0473	0.0411
45.5	0.0445	0.0512	0.0445
49	0.0479	0.0551	0.0479
52.5	0.0514	0.0591	0.0514
56	0.0548	0.0630	0.0548
56	0.4627	0.5321	0.4627
59.5	0.4916	0.5653	0.4916
59.5	0.4916	0.5653	0.4916

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Teoritis Balok *Vierendeel*Benda Uji 3 dengan $a/h = 1$

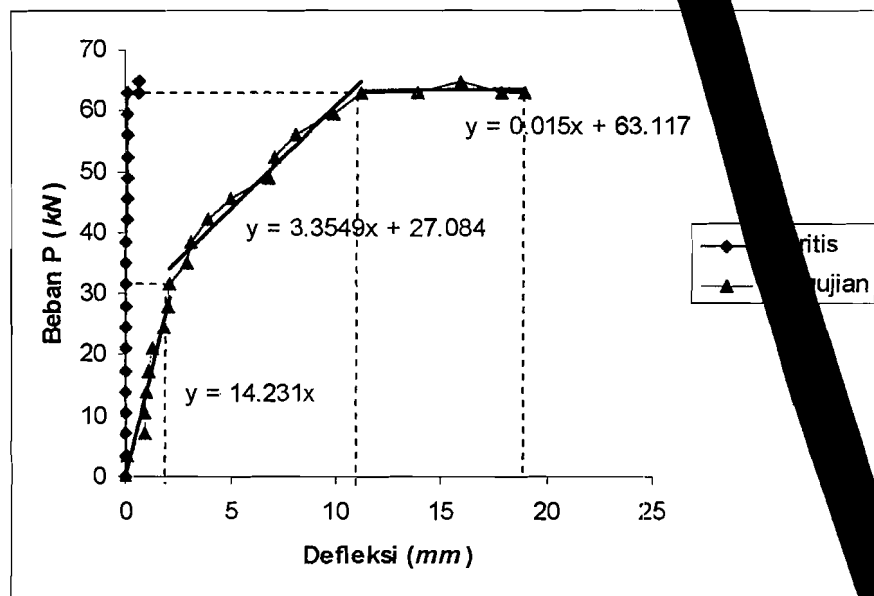
Beban (P)	Defleksi		
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)
1	2	3	4
0	0	0	0
3.5	0.0034	0.0039	0.0034
7	0.0068	0.0079	0.0068
10.5	0.0103	0.0118	0.0103
14	0.0137	0.0158	0.0137
17.5	0.0171	0.0197	0.0171
21	0.0205	0.0236	0.0205
24.5	0.0240	0.0276	0.0240
28	0.0274	0.0315	0.0274
31.5	0.0308	0.0354	0.0308
35	0.0342	0.0394	0.0342
36.75	0.0360	0.0414	0.0360
36.75	0.3036	0.3492	0.3036
36.75	0.3036	0.3492	0.3036

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Teoritis Balok *Vierendeel*Benda Uji 4 dengan $a/h = 2$

Beban (P)	Defleksi		
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)
1	2	3	4
0	0	0	0
3.5	0.0034	0.0039	0.0034
7	0.0068	0.0079	0.0068
10.5	0.0103	0.0118	0.0103
14	0.0137	0.0158	0.0137
17.5	0.0171	0.0197	0.0171
19.25	0.0188	0.0217	0.0188
19.25	0.1590	0.1829	0.1590

2. Perbandingan ($P-\Delta$) hasil Pengujian dan Teoritis

Dari hasil analisis perhitungan balok *pendeel* sebagai balok biasa didapat defleksi teoritis yang terdapat pada Tabel 5.5, 5.6, dan 5.7. Dari data analisis tersebut maka dapat dibandingkan hubungan $P-\Delta$ teoritis dan hasil pengujian dengan variasi rasio a/h yang disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.4, 5.5, 5.6, dan 5.7 sebagai berikut ini.



Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 1 ($a/h = 0,5$)

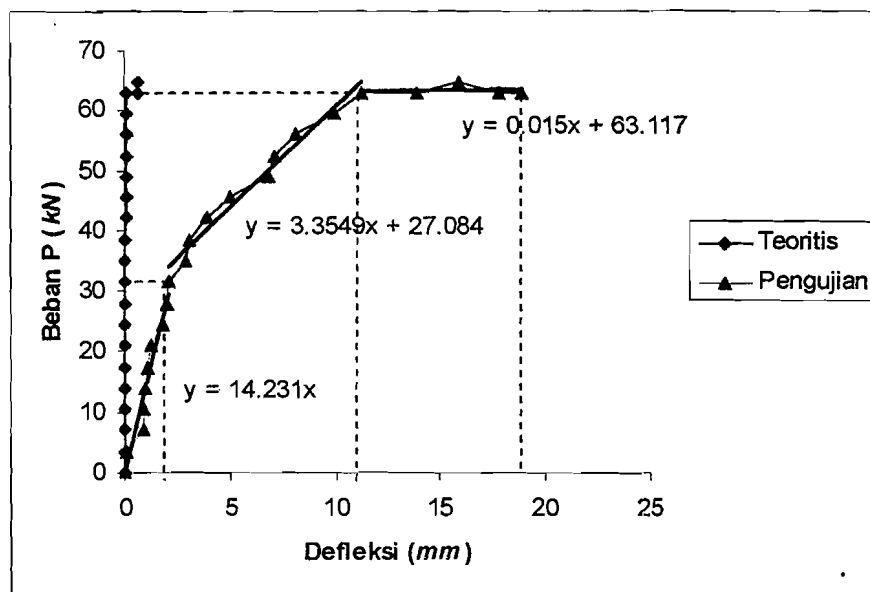
Berdasarkan hubungan ($P-\Delta$) Gambar 5.4 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.8 dibawah ini.

Tabel 5.8 Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 0,5$)

	P_y	Δ	k
P_{y_1}	31.5	2.06E-03	15291.262
P_{y_2}	63	1.12E-02	5630.027
$P_{y_3}=P_u$	63	1.89E-02	3335.098

2. Perbandingan ($P-\Delta$) hasil Pengujian dan Teoritis

Dari hasil analisis perhitungan balok *vierendeel* sebagai balok biasa didapat defleksi teoritis yang terdapat pada Tabel 5.4, 5.5, 5.6, dan 5.7. Dari data analisis tersebut maka dapat dibandingkan hubungan $P-\Delta$ teoritis dan hasil pengujian dengan variasi rasio a/h yang disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.4, 5.5, 5.6, dan 5.7 sebagai berikut ini.

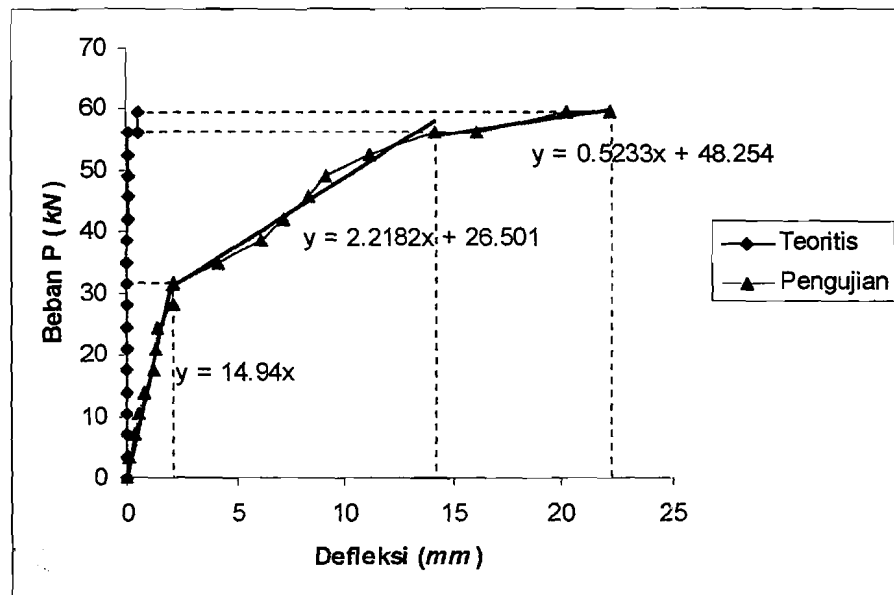


Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 1 ($a/h = 0,5$)

Berdasarkan hubungan ($P-\Delta$) Gambar 5.4 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.8 dibawah ini.

Tabel 5.8 Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 0,5$)

	P_y	Δ	k
P_{y_1}	31.5	2.06E-03	15291.262
P_{y_2}	63	1.12E-02	5630.027
$P_{y_3}=P_u$	63	1.89E-02	3335.098

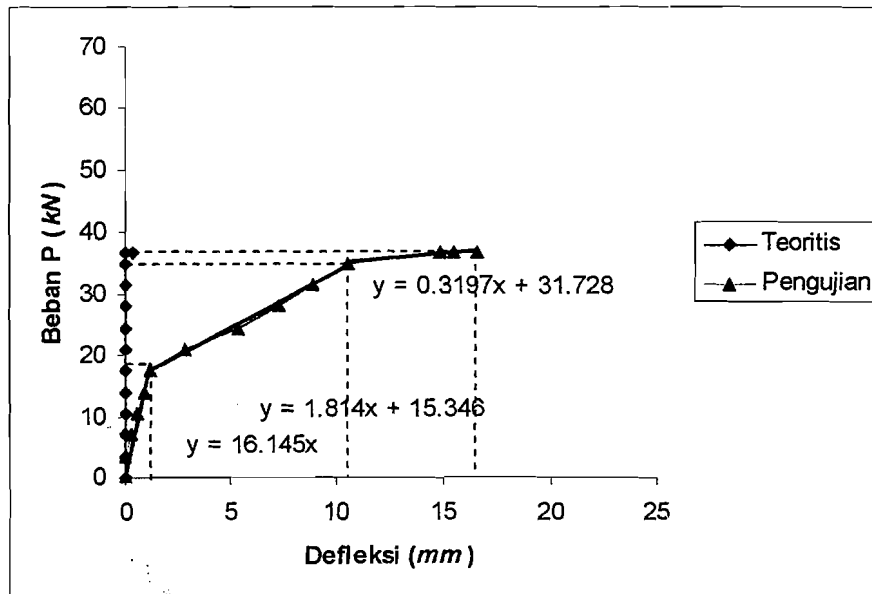


Gambar 5.5 Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 2 ($a/h = 0,66$)

Berdasarkan hubungan ($P-\Delta$) Gambar 5.5 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.9 dibawah ini.

Tabel 5.9 Kekakuan Benda Uji II ($a/h = 0,66$)

	P_y	Δ	k
P_{y_1}	31.5	2.16E-03	14583.333
P_{y_2}	56	1.41E-02	3963.199
$P_{y_3}=P_u$	59.5	2.21E-02	2687.444

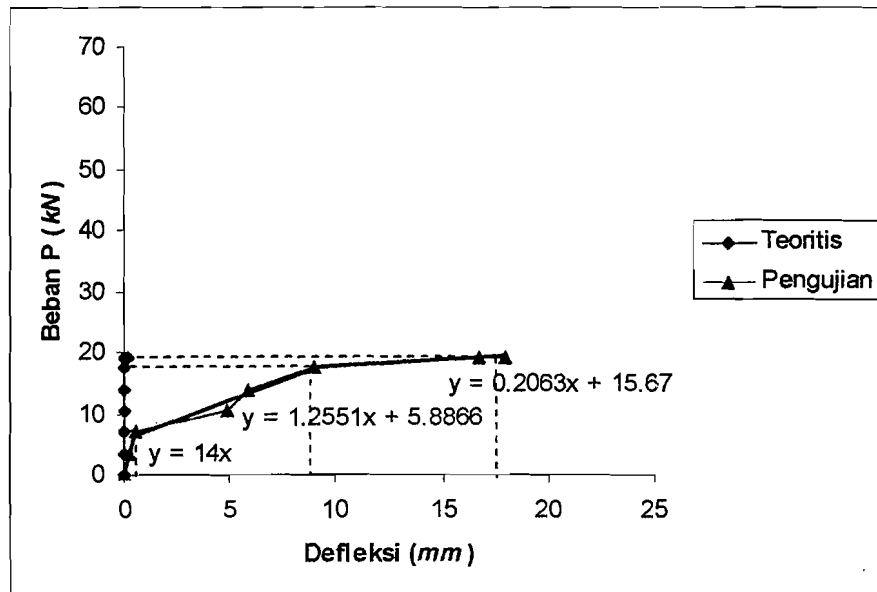


Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 3 ($a/h = 1$)

Berdasarkan hubungan ($P-\Delta$) Gambar 5.6 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.10 dibawah ini.

Tabel 5.10 Kekakuan Benda Uji III ($a/h = 1$)

	P_y	Δ	k
P_{y1}	17.5	1.16E-03	15151.515
P_{y2}	35	1.05E-02	3320.683
$P_{y3}=P_u$	36.75	1.66E-02	2220.544



Gambar 5.7 Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 4 ($a/h = 2$)

Berdasarkan hubungan ($P-\Delta$) Gambar 5.7 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.11 dibawah ini.

Tabel 5.11 Kekakuan Benda Uji IV($a/h=2$)

	P_y	Δ	k
P_{y1}	7	5.00E-04	14000.000
P_{y2}	17.5	8.97E-03	1950.948
$P_{y3}=P_u$	19.25	1.80E-02	1072.423

Dari grafik hubungan beban-defleksi teoritis dan pengujian yang terdapat pada Gambar 5.4, 5.5, 5.6, dan 5.7 dapat diamati bahwa hasil penelitian menunjukkan besarnya nilai defleksi jauh lebih besar dari pada teoritisnya. Secara teoritis hubungan ($P-\Delta$) membentuk kurva linier hal ini disebabkan pada persamaan defleksi (Δ) teoritis variabel yang berubah hanya beban (P), sedangkan variabel EI dan L tetap. Dari hasil pengujian pada masing-masing benda uji terdapat perbedaan pada beban maksimum pada benda uji 1 dengan rasio (a/h

=0,5) sebesar 63 kN, sedangkan pada benda uji II, III, IV dengan rasio yang lebih besar mengalami penurunan beban yaitu berturut-turut sebesar 94,4%; 58,3%; 30,5%. Hal ini diakibatkan karena semakin besar variasi rasio a/h yang mengakibatkan jarak pengaku lateral (a) semakin lebar, maka kemampuan balok *vierendeel* dalam menahan beban akan semakin berkurang. Benda uji 1 pada Gambar 5.4 menunjukkan defleksi yang terjadi lebih kecil dari benda uji 2 Gambar 5.5 disebabkan karena pada benda uji 1 lebih kaku dari pada benda uji 2. Tetapi lain halnya pada benda uji 3 Gambar 5.6 dan benda uji 4 Gambar 5.7 ternyata defleksi yang terjadi pada hasil pengujian lebih kecil dari benda uji 2, faktor yang menyebabkan adalah ketidakseragaman mutu beton pada balok *vierendeel* dan faktor alat yang terbatas sehingga pengujian tidak dapat dilakukan dengan sempurna. Hal lain yang menyebabkan perbedaan antara hasil pengujian dan teoritis adalah pada saat pembuatan benda uji dan ketelitian dalam pembacaan dial pada saat pengujian di laboratorium (*human error*).

3. Analisa Kekakuan Balok *Vierendeel*

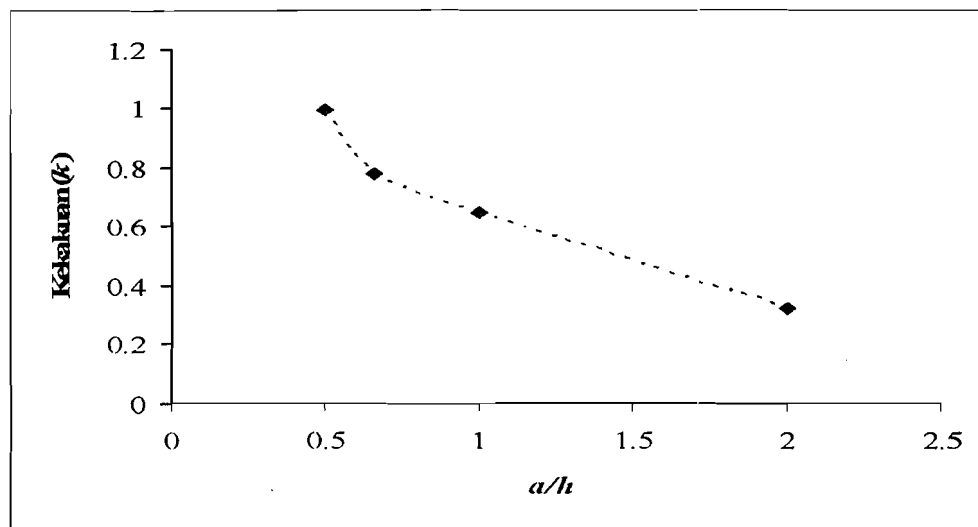
Berdasarkan Grafik hubungan ($P-\Delta$) Gambar 5.4, 5.5, 5.6, dan 5.7 dapat di analisis kekakuan balok (k) diketahui dari rasio beban leleh (P_y) dengan defleksi pada saat leleh (Δ_y). Kekakuan balok dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$k = \frac{P_y}{\Delta_y} \dots\dots\dots (3.35)$$

Dengan mengambil nilai $k = 1$ pada balok $a/h = 0,5$, maka angka kekakuan balok variasi a/h yang lain dapat diketahui dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Gambar 5.8 sebagai berikut :

Tabel 5.12 Kekakuan Balok Vierendeel Pada Masing-masing Benda Uji

Variasi	P_y	Δy	k/k_1	k
a/h	(kN)	(m)		%
0,5	52.5	0.010713	1	100
0,66	49	0.01281	0.7806	78.06
1	29.75	0.009415	0.6449	64.49
2	14.58333	0.00914	0.3257	32.57



Gambar 5.8 Hubungan a/h dengan Kekakuan (k)

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) pada masing-masing variasi rasio a/h penampang balok, yang kemudian dapat diketahui kekakuan balok. Dari hasil pengujian, angka kekakuan (k) balok menurun dengan bertambahnya nilai rasio a/h balok *vierendeel*, hal ini dapat dilihat pada grafik beban-lendutan yang diperoleh dari hasil analisa data pengujian pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.1.

Dalam hal ini menganggap bahwa balok *vierendeel* dengan perbandingan jarak pengaku terhadap tinggi (a/h) = 0,5 dengan nilai $k = 1$, maka nilai kekakuan

$$\phi = \frac{0,035 - (2 \times 0,07) + 0,045}{500^2} = 0,24 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{mm} \right)$$

$$\phi = 0.00024 \left(\frac{1}{m} \right)$$

Momen dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$M = \frac{1}{6} x P x L \dots \dots \dots (3.12)$$

$$M = \frac{1}{6} x 3,5 x 3 = 1,75 \text{ kNm}$$

Dari contoh perhitungan dapat diperlihatkan data hubungan momen dan kelengkungan hasil pengujian laboratorium seperti pada Tabel 5.13, 5.14, 5.15, dan 5.16 sebagai berikut :

Tabel 5.13 Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji 1 ($a/h=0,5$)

Beban (P)	Defleksi			Momen (M)	Kelengkungan (ϕ)
	Δ_1	Δ_2	Δ_3		
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(kNm)	(1/m)
0	0	0	0	0	0
3.5	0.035	0.07	0.045	1.75	0.00024
7	0.28	0.87	0.3	3.5	0.00704
10.5	0.56	0.9	0.6	5.25	0.00736
14	0.83	0.98	0.86	7	0.00796
17.5	1	1.1	1.03	8.75	0.00892
21	1.23	1.25	1.22	10.5	0.00996
24.5	1.4	1.87	1.43	12.25	0.01508
28	1.8	1.97	1.79	14	0.01572
31.5	2.02	2.06	2	15.75	0.0164
35	2.35	2.91	2.39	17.5	0.02344
38.5	2.95	3.11	3.12	19.25	0.02556
42	3.32	3.89	3.55	21	0.03204
45.5	4.57	5	4.9	22.75	0.04132
49	5.74	6.81	6.11	24.5	0.05596

Lanjutan Tabel 5.13

52.5	6.72	7.12	7.11	26.25	0.05852
56	7.79	8.11	8.16	28	0.06636
59.5	9	9.91	9.52	29.75	0.08136
63	10.58	11.19	10.96	31.5	0.09104
63	13.21	13.91	13.27	31.5	0.11152
64.75	14.48	15.86	14.79	32.375	0.12812
63	16.6	17.82	16.36	31.5	0.1416
63	17.5	18.89	17.17	31.5	0.1498

Tabel 5.14 Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji 2 ($a/h=0,66$)

Beban (P) (kN)	Defleksi			Momen (M) (kN)	Kelengkungan (ϕ) (1/m)
	Δ_1 (mm)	Δ_2 (mm)	Δ_3 (mm)		
0	0	0	0	0	0
3.5	0.035	0.1	0.07	1.75	0.00094
7	0.26	0.31	0.17	3.5	0.00212
10.5	0.46	0.49	0.4	5.25	0.00368
14	0.7	0.78	0.68	7	0.00616
17.5	0.84	1.235	0.81	8.75	0.00976
21	1.08	1.35	1.06	10.5	0.01072
24.5	1.29	1.43	1.22	12.25	0.01116
28	1.55	2.1	1.55	14	0.0168
31.5	1.78	2.16	1.9	15.75	0.01776
35	3.41	4.12	4.04	17.5	0.03548
38.5	5.4	6.12	6.06	19.25	0.0516
42	6.37	7.15	7.06	21	0.05996
45.5	7.58	8.3	8.35	22.75	0.06948
49	8.86	9.09	9.78	24.5	0.0764
52.5	10.63	11.14	11.97	26.25	0.09448
56	13.33	14.13	15.28	28	0.12084
56	15.1	16.1	17.5	28	0.1384
59.5	18.1	20.22	21.17	29.75	0.17404
59.5	19.61	22.14	22.99	29.75	0.19064

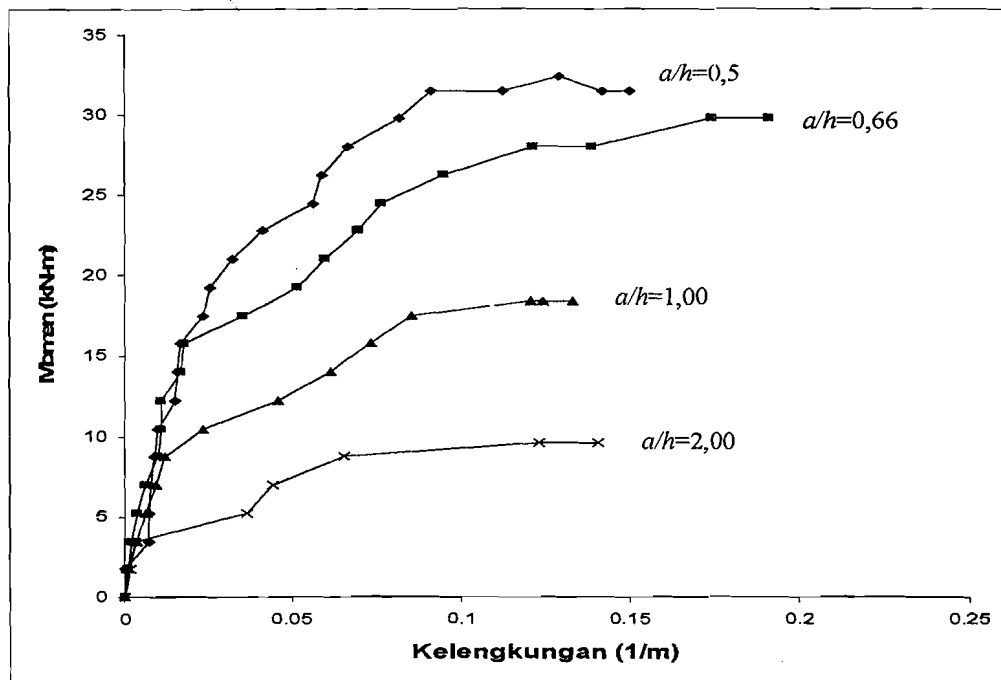
Tabel 5.15 Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji 3 ($a/h = 1$)

Beban (P)	Defleksi			Momen (M)	Kelengkungan (ϕ)
	Δ_1	Δ_2	Δ_3		
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	($1/m$)
0	0	0	0	0	0
3.5	0	0.02	0.09	1.75	0.00052
7	0.002	0.28	0.36	3.5	0.003672
10.5	0.035	0.53	0.595	5.25	0.00648
14	0.46	0.899	0.97	7	0.009232
17.5	0.57	1.155	1.21	8.75	0.0118
21	2.5	2.82	2.67	10.5	0.02324
24.5	4.64	5.35	5.43	12.25	0.04596
28	6.6	7.28	7.34	14	0.0612
31.5	8.52	8.92	8.98	15.75	0.0732
35	10.55	10.54	10.84	17.5	0.08548
36.75	14.48	14.81	14.85	18.375	0.11996
36.75	15.61	15.46	15.57	18.375	0.12352
36.75	16.64	16.55	16.69	18.375	0.1326

Tabel 5.16 Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji 4 ($a/h=2$)

Beban (P)	Defleksi			Momen (M)	Kelengkungan (ϕ)
	Δ_1	Δ_2	Δ_3		
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	($1/m$)
0	0	0	0	0	0
3.5	0.2	0.25	0.05	1.75	0.0014
7	0.35	0.5	0.11	3.5	0.00304
10.5	4.76	4.91	4.1	5.25	0.03664
14	5.8	5.9	5.06	7	0.04424
17.5	9.51	8.97	7.91	8.75	0.06536
19.25	12.65	16.65	10.02	9.625	0.12268
19.25	15.51	17.95	14.69	9.625	0.14032

Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (ϕ) dapat dibuat grafik dengan menggunakan data dari Tabel 5.13, 5.14, 5.15, dan 5.16. Grafik hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (ϕ) benda uji dapat dilihat pada grafik Gambar 5.9.



Gambar 5.9. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan hasil pengujian

Dapat dilihat juga bahwa grafik perbandingan Momen-kelengkungan hasil pengujian (Gambar 5.9) tidak jauh berbeda dengan grafik analisa beban-defleksi seperti ditunjukkan pada Gambar 5.1. Hal ini disebabkan karena nilai momen (M) sebanding dengan nilai beban (P) dari hasil pengujian seperti pada persamaan 3.12 dan nilai kelengkungan yang sebanding dengan selisih defleksi dari masing-masing dial dimana nilai ketiga dial tersebut tidak jauh berbeda.

2. Hubungan Momen- Kelengkungan Teoritis

Dari perhitungan analisis beban-defleksi teoritis yang terdapat pada Tabel 5.4, 5.5, 5.6, dan 5.7 didapat nilai lendutan secara teoritis, kemudian dengan cara yang sama menggunakan pendekatan metode *central difference* yang ditunjukkan

pada persamaan 3.34 maka didapat nilai kelengkungan teoritis. Contoh perhitungan :

Defleksi pada $\frac{1}{3}$ bentang $\Delta_1 = (y_{i-1}) = 0,5205 \text{ mm}$

Defleksi pada $\frac{1}{2}$ bentang $\Delta_2 = (y_i) = 0,5986 \text{ mm}$

Defleksi pada $\frac{2}{3}$ bentang $\Delta_3 = (y_{i+1}) = 0,5205 \text{ mm}$

jarak antar dial $(\Delta x) = 500 \text{ mm}$.

Dengan persamaan (3.39), maka besarnya kelengkungan (ϕ).

$$\phi = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{\Delta x^2} \dots\dots\dots(3.30)$$

$$\phi = \frac{0,5205 - (2 \times 0,5986) + 0,5205}{500^2} = 4,110.10^{-7} \left(\frac{1}{\text{mm}} \right)$$

$$\phi = 6,246.10^{-4} \left(\frac{1}{\text{m}} \right)$$

Perhitungan momen secara teoritis didapat dari analisis balok *Vierendeel* sebagai balok solid dalam Sap 2000 .

Momen dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$M = \frac{1}{6} x P x L \dots\dots\dots(3.12)$$

$$M = \frac{1}{6} x 63 x 3 = 31,5 \text{ kNm}$$

Dari contoh perhitungan dapat diperlihatkan data hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan seperti pada Tabel 5.17, Tabel 5.18, Tabel 5.19, dan Tabel 5.20.

Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Teoritis balok *Vierendeel*

Benda Uji 1 dengan $a/h = 0,5$

Beban (P)	Defleksi			Momen (M)	Kelengkungan (Φ)
	Δ1	Δ2	Δ3		
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN-m)	(1/m)
1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0
3.5	0.0034	0.0039	0.0034	1.75	4.110E-06
7	0.0068	0.0079	0.0068	3.5	8.220E-06
10.5	0.0103	0.0118	0.0103	5.25	1.233E-05
14	0.0137	0.0158	0.0137	7	1.644E-05
17.5	0.0171	0.0197	0.0171	8.75	2.055E-05
21	0.0205	0.0236	0.0205	10.5	2.466E-05
24.5	0.0240	0.0276	0.0240	12.25	2.877E-05
28	0.0274	0.0315	0.0274	14	3.288E-05
31.5	0.0308	0.0354	0.0308	15.75	3.699E-05
35	0.0342	0.0394	0.0342	17.5	4.110E-05
38.5	0.0377	0.0433	0.0377	19.25	4.521E-05
42	0.0411	0.0473	0.0411	21	4.932E-05
45.5	0.0445	0.0512	0.0445	22.75	5.343E-05
49	0.0479	0.0551	0.0479	24.5	5.754E-05
52.5	0.0514	0.0591	0.0514	26.25	6.165E-05
56	0.0548	0.0630	0.0548	28	6.576E-05
59.5	0.0582	0.0670	0.0582	29.75	6.987E-05
63	0.0616	0.0709	0.0616	31.5	7.398E-05
63	0.5205	0.5986	0.5205	31.5	6.246E-04
64.75	0.5350	0.6152	0.5350	32.375	6.420E-04
63	0.5205	0.5986	0.5205	31.5	6.246E-04
63	0.5205	0.5986	0.5205	31.5	6.246E-04

Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Teoritis balok *Vierendeel*

Benda Uji 2 dengan $a/h = 0,66$

Beban (P)	Defleksi			Momen (M)	Kelengkungan (Φ)
	Δ1	Δ2	Δ3		
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN-m)	(1/m)
1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0
3.5	0.0034	0.0039	0.0034	1.75	4.110E-06
7	0.0068	0.0079	0.0068	3.5	8.220E-06
10.5	0.0103	0.0118	0.0103	5.25	1.233E-05
14	0.0137	0.0158	0.0137	7	1.644E-05

Lanjutan Tabel 5.18

17.5	0.0171	0.0197	0.0171	8.75	2.055E-05
21	0.0205	0.0236	0.0205	10.5	2.466E-05
24.5	0.0240	0.0276	0.0240	12.25	2.877E-05
28	0.0274	0.0315	0.0274	14	3.288E-05
31.5	0.0308	0.0354	0.0308	15.75	3.699E-05
35	0.0342	0.0394	0.0342	17.5	4.110E-05
38.5	0.0377	0.0433	0.0377	19.25	4.521E-05
42	0.0411	0.0473	0.0411	21	4.932E-05
45.5	0.0445	0.0512	0.0445	22.75	5.343E-05
49	0.0479	0.0551	0.0479	24.5	5.754E-05
52.5	0.0514	0.0591	0.0514	26.25	6.165E-05
56	0.0548	0.0630	0.0548	28	6.576E-05
56	0.4627	0.5321	0.4627	28	5.552E-04
59.5	0.4916	0.5653	0.4916	29.75	5.899E-04
59.5	0.4916	0.5653	0.4916	29.75	5.899E-04

Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Teoritis balok *Vierendeel*Benda Uji 3 dengan $a/h = 1$

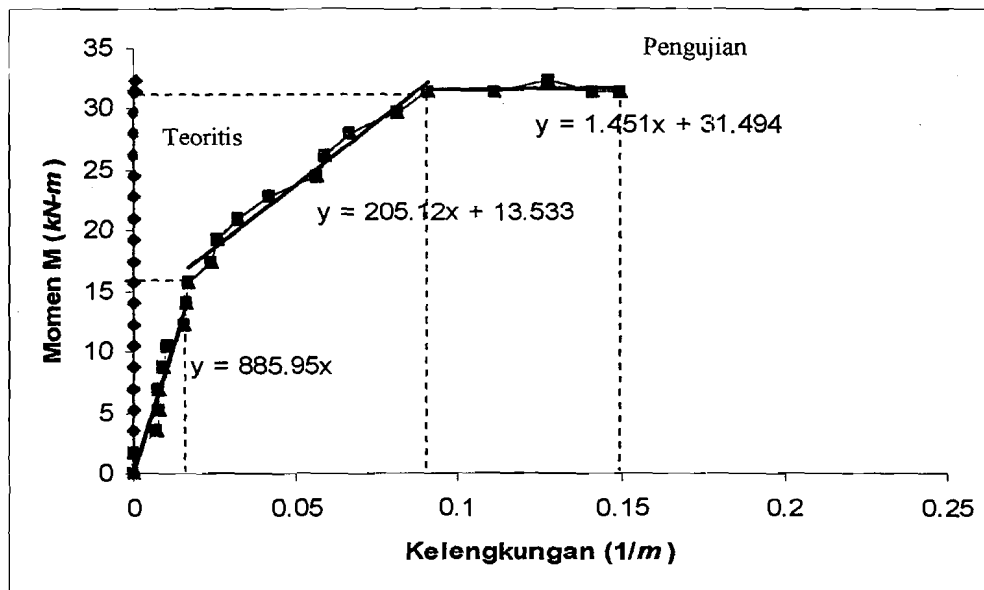
Beban (P)	Defleksi			Momen (M)	Kelengkungan (Φ)
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$		
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN-m)	(1/m)
1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0
3.5	0.0034	0.0039	0.0034	1.75	4.110E-06
7	0.0068	0.0079	0.0068	3.5	8.220E-06
10.5	0.0103	0.0118	0.0103	5.25	1.233E-05
14	0.0137	0.0158	0.0137	7	1.644E-05
17.5	0.0171	0.0197	0.0171	8.75	2.055E-05
21	0.0205	0.0236	0.0205	10.5	2.466E-05
24.5	0.0240	0.0276	0.0240	12.25	2.877E-05
28	0.0274	0.0315	0.0274	14	3.288E-05
31.5	0.0308	0.0354	0.0308	15.75	3.699E-05
35	0.0342	0.0394	0.0342	17.5	4.110E-05
36.75	0.0360	0.0414	0.0360	18.375	4.315E-05
36.75	0.3036	0.3492	0.3036	18.375	3.644E-04
36.75	0.3036	0.3492	0.3036	18.375	3.644E-04

Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Teoritis balok *Vierendeel*Benda Uji 4 dengan $a/h = 2$

Beban (<i>P</i>)	Defleksi			Beban (<i>M</i>)	Kelengkungan (Φ)
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$		
(<i>kN</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>kN-m</i>)	(<i>1/m</i>)
1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0
3.5	0.0034	0.0039	0.0034	1.75	4.110E-06
7	0.0068	0.0079	0.0068	3.5	8.220E-06
10.5	0.0103	0.0118	0.0103	5.25	1.233E-05
14	0.0137	0.0158	0.0137	7	1.644E-05
17.5	0.0171	0.0197	0.0171	8.75	2.055E-05
19.25	0.0188	0.0217	0.0188	9.625	2.260E-05
19.25	0.1590	0.1829	0.1590	9.625	1.909E-04

3. Perbandingan Kuat Lentur Berdasarkan Momen-Kelengkungan Teoritis dan Pengujian

Rasio momen-kelengkungan teoritis dengan hasil pengujian bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan yang terjadi pada masing-masing benda uji. Dari hasil analisis perhitungan momen-kelengkungan teoritis pada Tabel 5.17, 5.18, 5.19 dan 5.20 dapat dibuat grafik perbandingan hubungan Momen-Kelengkungan secara teoritis dan hasil pengujian seperti pada grafik Gambar 5.10, 5.11, 5.12, dan 5.13 sebagai berikut .

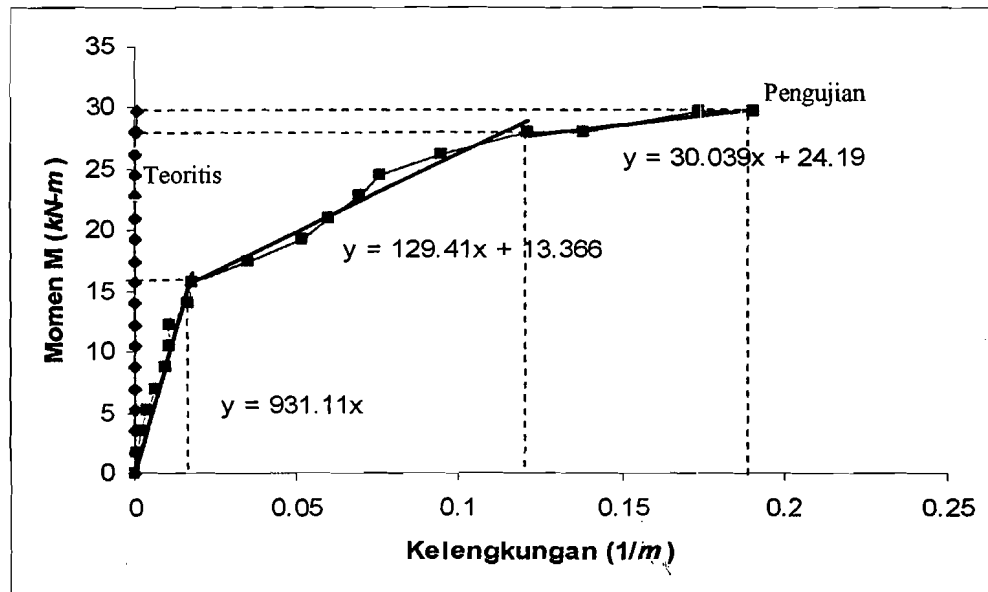


Gambar 5.10 Grafik Momen-Kelengkungan pada benda uji I dengan perbandingan $a/h = 0,5$

Berdasarkan hubungan ($M-\Phi$) Gambar 5.10 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.21 dibawah ini.

Tabel 5.21 Faktor Kekakuan Benda Uji I ($a/h = 0,5$)

	My	Φ	EI
My_1	15.75	0.0164	960.366
My_2	31.5	0.09104	346.002
$My_3 = Mu$	31.5	0.1498	210.280

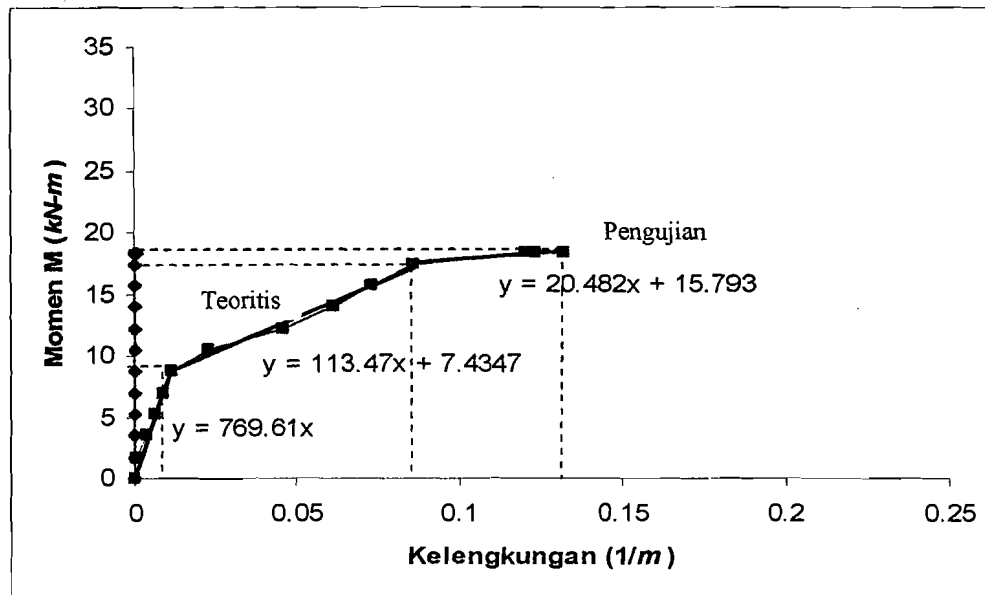


Gambar 5.11 Grafik Momen-Kelengkungan pada benda uji 2
dengan perbandingan $a/h = 0,66$

Berdasarkan hubungan ($M-\Phi$) Gambar 5.11 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.22 dibawah ini.

Tabel 5.22. Faktor Kekakuan Benda Uji II ($a/h=0,66$)

	M_y	Φ	EI
My_1	15.75	0.01776	886.824
My_2	28	0.12084	231.711
$My_3=Mu$	29	0.19064	152.119

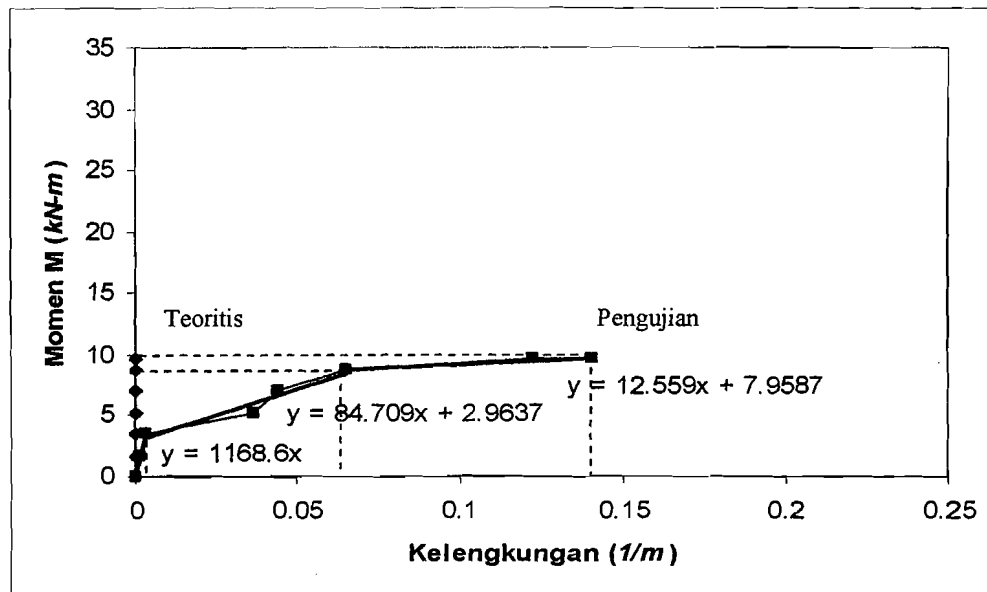


Gambar 5.12 Grafik Momen-Kelengkungan pada benda uji 3
dengan perbandingan $a/h = 1,00$

Berdasarkan hubungan ($M-\Phi$) Gambar 5.12 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.23 dibawah ini.

Tabel 5.23 Faktor Kekakuan Benda Uji III ($a/h=1$)

	M_y	Φ	EI
M_{y_1}	8.75	0.0118	741.525
M_{y_2}	17.5	0.08548	204.726
$M_{y_3}=M_u$	18.375	0.1326	138.575



Gambar 5.13 Grafik Momen-Kelengkungan pada benda uji 4 dengan perbandingan $a/h = 2,00$

Berdasarkan hubungan ($M-\Phi$) Gambar 5.13 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.24 dibawah ini.

Tabel 5.24 Faktor Kekakuan Benda Uji IV ($a/h = 2,00$)

	My	Φ	EI
My_1	3.5	0.00304	1151.316
My_2	8.75	0.06536	133.874
$My_3=Mu$	9.625	0.14032	68.593

4. Pembahasan Momen (M)-Kelengkungan (Φ) Balok *Vierendeel*

Merujuk pada Gambar 5.10, 5.11, 5.12, dan 5.13 grafik perbandingan Momen-kelengkungan dari hasil pengujian dapat dicari perilaku balok *Vierendeel*. Perilaku tersebut meliputi nilai faktor kekakuan, kekuatan dan daktilitas balok *Vierendeel*.

a. Faktor kekakuan (EI)

Hubungan momen kapasitas dengan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan (EI). Faktor kekakuan merupakan rasio momen dengan kelengkungan. Faktor kekakuan balok dapat dianalisa dari grafik hubungan momen kelengkungan yang didapat dari hasil pengujian. Sedangkan perhitungan nilai faktor kekakuan ditunjukkan pada Tabel 5.25. berikut.

Tabel 5.25 Nilai Faktor Kekakuan (EI) Masing-masing Benda Uji

Benda Uji	Momen (M_y) $kN-m$	Kelengkungan (ϕ_y) ($1/m$)	Faktor Kekakuan (M_y/ϕ_y) $kN-m^2$	$\frac{EI}{EI_1}$	Keterangan
I	26.25	0.085747	306.134	1	$a/h = 0,5$
II	24.25	0.109747	220.963	0.7218	$a/h = 0,66$
III	14.875	0.076627	194.123	0.6341	$a/h = 1$
IV	7.291667	0.069573	104.805	0.3424	$a/h = 2$

Faktor kekakuan (EI) yang didapat dari keempat benda uji yaitu dari benda uji I sampai benda uji IV berbeda menurut besarnya variasi a/h masing-masing benda uji. Pada benda uji I nilai faktor kekakuan yang didapat sebesar $306.134 kN-m^2$, untuk benda uji II, III, IV mengalami penurunan masing-masing sebesar 0.7218; 0.6341 dan 0.3424 kali dari benda benda uji I yaitu masing-masing sebesar $220.963 kN-m^2$, $194.123 kN-m^2$ dan $104.805 kN-m^2$.

b. Kekuatan

Berdasar pada Tabel 5.21, 5.22, 5.23 dan 5.24 dapat diketahui bahwa benda uji dengan variasi rasio (a/h) yang semakin besar mengalami penurunan kekuatan, terbukti dengan semakin berkurangnya momen maksimum yang mampu ditahan oleh balok *Vierendeel*. Berdasarkan Tabel 5.25 dapat dilihat

bahwa momen pada Benda Uji I dengan rasio $a/h = 0,5$ sebesar 26.25 kNm , sedangkan pada benda uji II, III, IV dengan rasio yang lebih besar didapat momen yang lebih kecil yaitu masing-masing sebesar 24.25 kNm , $14,875 \text{ kNm}$; 7.291667 kNm .

c. Daktilitas

Berdasarkan Grafik hubungan momen-kelengkungan pada Gambar 5.10, 5.11, 5.12 dan 5.13 dapat diperoleh nilai daktilitas dari masing-masing benda uji yang disajikan dalam Tabel 5.26.

Tabel 5.26 Nilai Daktilitas Untuk Masing-masing Benda Uji

Benda uji	Φ_{maks} (1/m)	Φ_y (1/m)	μ
1	0,1498	0,0858	1,7469
2	0,1906	0,1098	1,7359
3	0,1326	0,0766	1,7311
4	0,1403	0,0696	2,0158

Dari Tabel 5.26 tampak bahwa semakin bertambahnya rasio a/h maka daktilitas yang terjadi semakin kecil, kecuali pada benda uji 4. Perbedaan nilai daktilitas benda uji 4 disebabkan oleh mutu beton yang tidak merata pada benda uji 4.

5.4.3 Analisis Balok *Vierendeel*

Vis dan Kusuma (1993) menyatakan bahwa, pada struktur yang sederhana, kolom merupakan komponen struktur yang sering menjadi bagian dari struktur rangka. Bila pada kolom bagian atas dan bawah berhubungan kaku dengan komponen horizontal (balok), maka tegangan yang diterima kolom, selain

tegangan aksial juga terdiri dari tegangan yang disebabkan oleh momen lentur seperti Gambar 3.19.

Contoh Perhitungan Balok-Kolom :

Diketahui :

$$b = 120 \text{ mm} \quad f_y = 326,43 \text{ MPa}$$

$$h = 120 \text{ mm} \quad f_c' = 25,4 \text{ MPa}$$

$$A_{st} = 149,631 \text{ mm}^2 \quad d = 100 \text{ mm}$$

$$A_g = 14400 \text{ mm}^2 \quad d' = 20 \text{ mm}$$

a.) Desak sentris :

$$\begin{aligned} P_n &= 0,85 \cdot f_c' (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \\ &= 0,85 \cdot 25,4 \cdot (14400 - 149,631) + (149,631 + 326,43) \\ &= 356509,514 \text{ N} = 356,51 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_{mak} = 0,8 \cdot P_n = 0,8 \cdot 356,51 = 285,208 \text{ kN}$$

b.) Keadaan seimbang :

$$d = h - d' = 120 - 20 = 100 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 326,43} \cdot 100 = 64,7647 \text{ mm}$$

$$f_s' = \frac{X_b - d'}{X_b} \cdot 600 = \frac{64,7647 - 20}{64,7647} \cdot 600 = 414,71 \text{ MPa} > f_y = 326,43 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow f_s' = f_y = 326,43 \text{ MPa}$$

$$f_c' = 25,4 \text{ MPa} \leq 30 \text{ MPa} \Rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$\Rightarrow a_b = \beta_1 \cdot x_b = 0,85 \cdot 64,7647 = 55,05 \text{ mm}$$

$$C_{cb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_b = 0,85 \cdot 25,4 \cdot 120 \cdot 55,05 = 142623,54 \text{ N}$$

$$C_{sb} = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c') = 74,8157 \cdot (326,43 - 0,85 \cdot 25,4) = 22806,818 \text{ N}$$

$$T_{sb} = A_s \cdot f_y = 74,8157 \cdot 326,43 = 24422,1 \text{ N}$$

$$P_{nb} = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb} = 142623,54 + 22806,818 - 24422,1 = 141008,258 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= C_{cb} \left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + C_{sb} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_{sb} \left(d - \frac{h}{2} \right) \\ &= 142623,54 \cdot \left(\frac{120}{2} - \frac{55,05}{2} \right) + 22806,818 \left(\frac{120}{2} - 20 \right) + 24422,1 \left(100 - \frac{120}{2} \right) \\ &= 6520856,5 \text{ Nmm} = 6,52 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$e = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{6520856,5}{141008,258} = 46,244 \text{ mm}$$

c.) Patah Desak

$$x = 80 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{d - x}{x} \cdot 600 = \frac{100 - 80}{80} \cdot 600 = 150 \text{ MPa} < f_y \Rightarrow f_s = 150 \text{ MPa}$$

$$f_s' = \frac{x - d'}{x} \cdot 600 = \frac{80 - 20}{80} \cdot 600 = 450 \text{ MPa} > f_y \Rightarrow f_s' = 326,43 \text{ MPa}$$

$$a = 0,85 \cdot x = 0,85 \cdot 80 = 68 \text{ mm}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_b = 0,85 \cdot 25,4 \cdot 120 \cdot 68 = 176174,4 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c') = 74,8157 \cdot (326,43 - 0,85 \cdot 25,4) = 22806,8 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s = 74,8157 \cdot 150 = 11222 \text{ N}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s = 176174,4 + 22806,8 - 11222 = 187758,9 \text{ N}$$

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$= 176174,4 \cdot \left(\frac{120}{2} - \frac{68}{2}\right) + 22806,8 \left(\frac{120}{2} - 20\right) + 11222 \left(100 - \frac{120}{2}\right)$$

$$= 5941701,6 \text{ Nmm} = 5,94 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{5941701,6}{187758,9} = 31,645 \text{ mm}$$

d.) Patah Tarik

$$x = 40 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{d-x}{x} \cdot 600 = \frac{100-40}{40} \cdot 600 = 900 \text{ Mpa} < f_y \Rightarrow f_s = 326,43 \text{ MPa}$$

$$f_s' = \frac{x-d'}{x} \cdot 600 = \frac{40-20}{40} \cdot 600 = 300 \text{ Mpa} < f_y \Rightarrow f_s' = 300 \text{ MPa}$$

$$a = 0,85 \cdot x = 0,85 \cdot 40 = 34 \text{ mm}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_b = 0,85 \cdot 25,4 \cdot 120 \cdot 34 = 88087,2 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c') = 74,8157 \cdot (300 - 0,85 \cdot 25,4) = 20829,44 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s = 74,8157 \cdot 326,43 = 24422,1 \text{ N}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s = 88087,2 + 20829,44 - 24422,1 = 84494,55 \text{ N}$$

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) + T_s \left(d - \frac{h}{2}\right)$$

$$= 88087,2 \left(\frac{120}{2} - \frac{34}{2}\right) + 20829,44 \left(\frac{120}{2} - 20\right) + 24422,1 \left(100 - \frac{120}{2}\right)$$

$$= 5597811,1 \text{ Nmm} = 5,6 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{5597811,1}{84494,55} = 66,25 \text{ mm}$$

e.) $P_n = 0$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{74,8157 \cdot 326,43}{0,85 \cdot 25,4 \cdot 120} = 9,426 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 74,8157 \cdot 326,43 \left(100 - \frac{9,426}{2}\right) = 2327107,59 \text{ Nmm}$$

$$= 2,33 \text{ kNm}$$

f.) Pembebanan Tarik

$$P_u = -A_{st} \cdot f_y = -149,631 \cdot 326,43 = 48844,047 \text{ Nmm}$$

$$= 48,844 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dibuat rangkuman seperti terdapat pada Tabel 5.27, dan 5.28 sebagai berikut ini.

Tabel 5.27 Hasil Perhitungan Balok-Kolom *Vierendeel*

Keterangan	Mn	Pn	As =%Ag	Keterangan	Mn	Pn	As =%Ag
	kN-m	kN	%		kN-m	kN	%
Psentris	0	356.510	1,04	Psentris	0	354.793	1
Pmax	2.511	285.208		Pmax	2.496	283.834	
Patah desak	5.942	187.759		Patah desak	5.890	187.323	
Pbalance	6.521	141.008		Pbalance	6.450	141.069	
Patah tarik	5.598	84.494		Patah tarik	5.530	84.630	
Pn=0	2.327	0		Pn=0	2.244	0	
P tarik	0	-48.844		P tarik	0	-47.006	

Tabel 5.28 Hasil Perhitungan Balok-Kolom *Vierendeel*

Keterangan	Mn	Pn	As =%Ag	Keterangan	Mn	Pn	As =%Ag
	kN-m	kN	%		kN-m	kN	%
Psentris	0	398.690	2	Psentris	0	442.587	3
Pmax	2.868	318.952		Pmax	3.234	354.070	
Patah desak	7.200	198.472		Patah desak	8.510	209.620	
Pbalance	8.268	139.515		Pbalance	10.086	137.960	
Patah tarik	7.272	81.172		Patah tarik	9.014	77.715	
Pn=0	4.274	0		Pn=0	6.091	0	
P tarik	0	-94.012		P tarik	0	-141.02	

1. Analisa Kapasitas Elemen Balok *Vierendeel* Berdasarkan *Mn-Pn*

Pada pengujian dilaboratorium untuk menganalisis Balok kolom perlu diketahui data gaya aksial dan momen pada tiap elemen balok *Vierendeel*. Dalam menganalisis gaya aksial dan momen tiap elemen digunakan program SAP 2000 dengan hasil ditampilkan dalam Tabel 5.29, 5.30, 5.31, dan 5.32 berikut ini. Setelah diperoleh Gaya aksial dan momen pada tiap elemen pada masing-masing benda uji pada rasio a/h yang berbeda, maka gaya dan momen tersebut diplotkan dalam grafik (*Mn-Pn*) yang didapat dari perhitungan pada Tabel 5.27 dan 5.28 dengan hasil seperti terlihat pada grafik Gambar 5.14, 5.15, 5.16, dan 5.17.

Hampir semua elemen mengalami momen lentur dan gaya aksial, dimana ditinjau sebagai balok kolom, karena itu agar terjadi adanya daktilitas pada kolom, disyaratkan minimum ada penulangan sebanyak 1% pada kolom. Penulangan yang lazim antara 1,5% sampai 3,0% dari luas penampang kolom. Batas maksimum luas penulangan adalah 8%, namun disarankan untuk tidak menggunakan lebih dari 4% agar tulangan tersebut tidak berdesakan dalam penampang beton, terutama pada pertemuan balok-kolom.

Nilai rasio tulangan dicari dengan rumus :

$$\frac{A_{st}}{A_g} \times 100\% \dots\dots\dots 5.2$$

Analisa kapasitas diperlukan untuk mengetahui kapasitas penampang tiap elemen balok *vierendeel* sehingga dapat diketahui berdasarkan analisa yang didapatkan dari SAP dan penelitian telah mencapai kapasitas maksimumnya, dari hasil tersebut lalu diplotkan secara manual dalam grafik sehingga dapat diketahui kapasitas tiap-tiap elemen, dan secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 5.14-

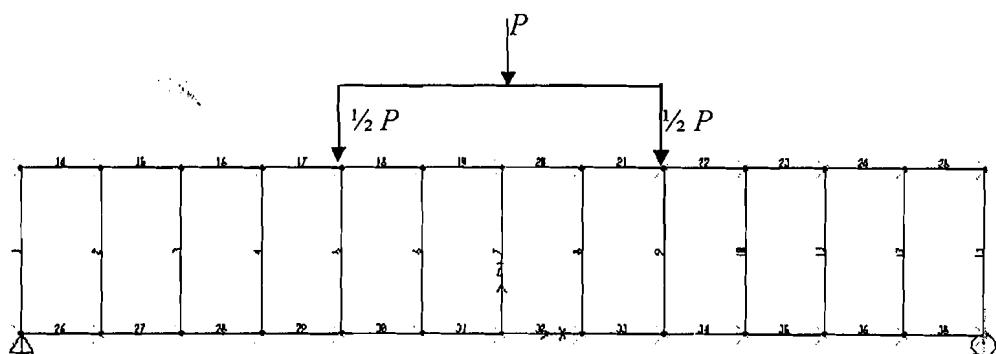
5.17. Dan dari gambar tersebut dapat diketahui apakah tiap elemen telah mencapai kapasitas maksimumnya atau belum.

Apabila nilai yang diperoleh dari SAP dan setelah diplotkan, akan memberikan pasangan beban dan momen ijin, titik-titik yang berada didaerah dalam diagram dikatakan belum mencapai kapasitas maksimumnya pada saat pengujian atau perencanaan kolom dikatakan berlebihan (*overdesigned*). Dan sebaliknya titik-titik yang berada didaerah luar diagram telah mencapai kapasitas maksimumnya pada saat pengujian, atau perencanaan kolom dikatakan kurang (*underdesigned*). Nilai rasio tulangan dicari dengan rumus :

$$\frac{A_{st}}{A_g} \times 100\% = \frac{(0,25 \cdot \pi \cdot 6,9^2) \cdot 4}{120 \times 120} \times 100\% = 1,039 \%$$

dari hasil tersebut lalu diplotkan dalam grafik interaksi kolom (*Mn-Pn*) sehingga dapat diketahui kapasitas tiap-tiap elemen balok, dan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 5.29 sampai Tabel 5.32

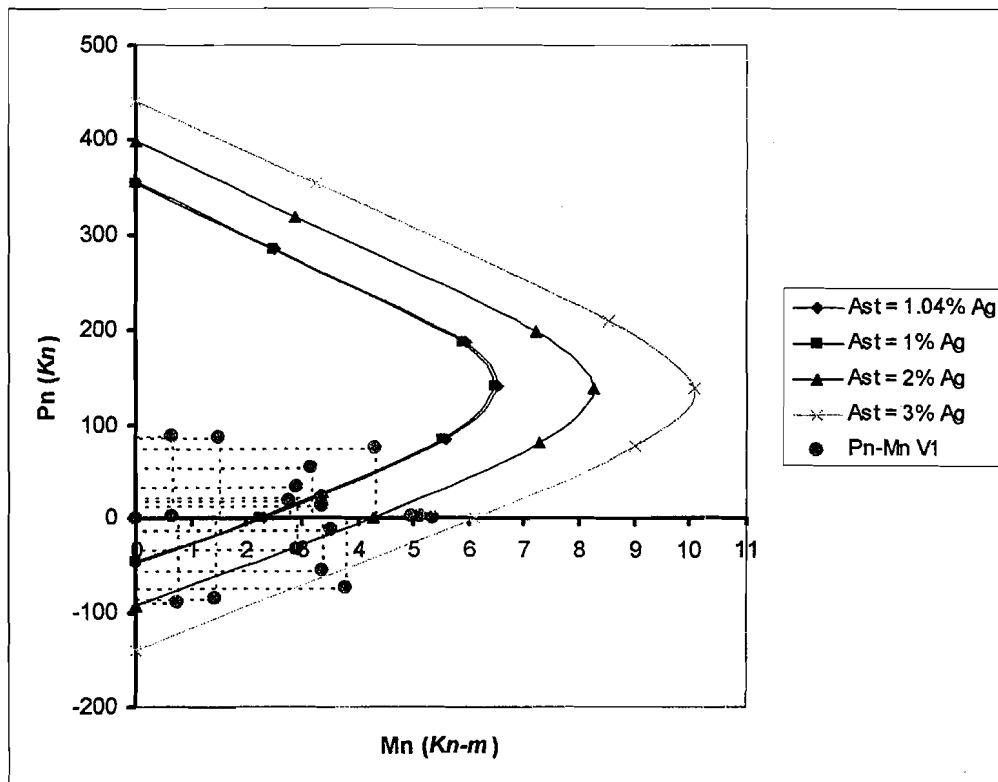
a. Benda Uji 1 : Dengan perbandingan $a/h = 0,5$



Tabel 5.29 Hasil Analisis (*Pn-Mn*) Program SAP 2000

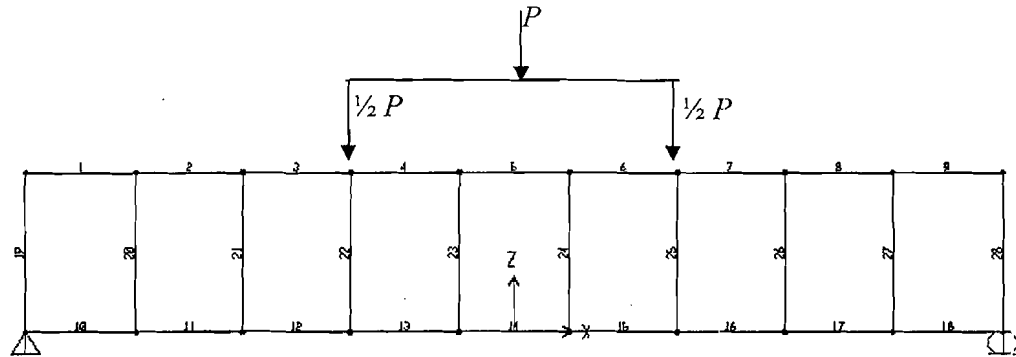
Balok *vierendeel* Benda Uji 1 ($a/h=0,5$)

Elemen	<i>Pn</i> kN	<i>Mn</i> kN-m	Keterangan
Batang Transversal			
1=13	21.99656	3.355072	Sudah maksimum, patah lentur
2=12	1.336019	5.124566	Sudah maksimum, patah lentur
3=11	0.786135	5.337723	Sudah maksimum, patah lentur
4=10	2.008871	4.974282	Sudah maksimum, patah lentur
5=9	19.45563	2.784756	Belum maksimum, patah geser
6=8	1.996563	0.663849	Belum maksimum, patah geser
7	0.747541	2.95E-14	Belum maksimum, patah geser
Batang Tepi Atas			
14=25	13.75068	3.355072	Sudah maksimum, patah lentur
15=24	34.05138	2.912841	Belum maksimum, patah geser
16=23	55.39651	3.180375	Belum maksimum, patah geser
17=22	75.08568	4.299094	Belum maksimum, patah geser
18=21	86.2246	1.514387	Belum maksimum, patah geser
19=20	88.6718	0.661681	Belum maksimum, patah geser
Batang Tepi Bawah			
26=38	-13.75068	3.520269	Sudah maksimum, patah lentur
27=36	-34.05138	2.916932	Sudah maksimum, patah lentur
28=35	-55.39651	3.375617	Sudah maksimum, patah lentur
29=34	-75.08568	3.791806	Sudah maksimum, patah lentur
30=33	-86.2246	1.424808	Sudah maksimum, patah lentur
31=32	-88.6718	0.760959	Sudah maksimum, patah lentur



Gambar 5.14 Grafik M_n - P_n Balok *Vierendeel* dengan ($a/h=0,5$)

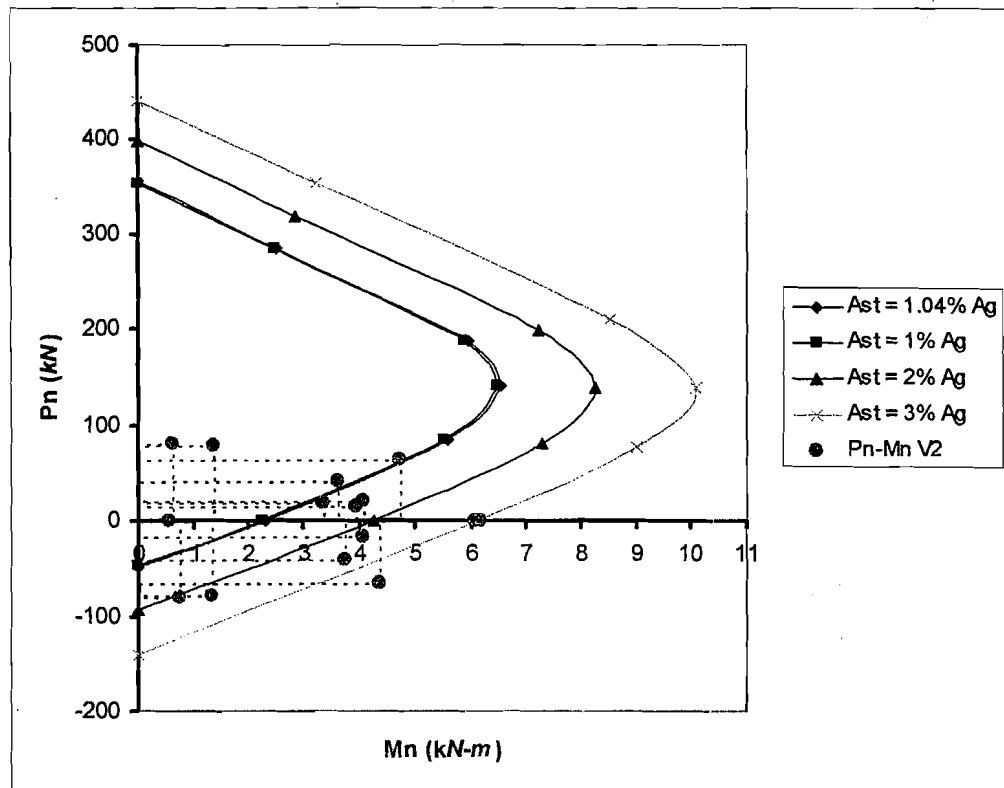
b. Benda Uji 2 : Dengan perbandingan $a/h = 0,66$



Tabel 5.30 Hasil Analisis ($Pn-Mn$) Program SAP 2000

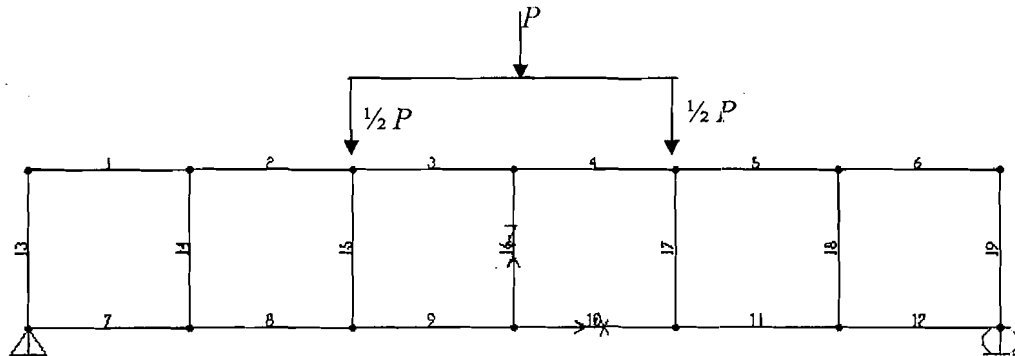
Balok *vierendeel* Benda Uji 2 ($a/h=0,66$)

Element	Pn kN	Mn kN-m	Keterangan
Batang Tepi Atas			
1=9	16.07083	3.957351	Sudah maksimum, patah lentur
2=8	40.61822	3.617653	Belum maksimum, patah geser
3=7	64.72065	4.73303	Belum maksimum, patah geser
4=6	78.11414	1.384707	Belum maksimum, patah geser
5	80.21397	0.631936	Belum maksimum, patah geser
Batang Tepi Bawah			
10=18	-16.07083	4.078064	Sudah maksimum, patah lentur
11=17	-40.61822	3.749712	Sudah maksimum, patah lentur
12=16	-64.72065	4.381184	Sudah maksimum, patah lentur
13=15	-78.11414	1.331991	Sudah maksimum, patah lentur
14	-80.21397	0.764305	Sudah maksimum, patah lentur
Batang Traversal			
19=28	20.56372	4.078064	Sudah maksimum, patah lentur
20=27	0.460699	6.174481	Sudah maksimum, patah lentur
21=26	0.909904	6.06927	Sudah maksimum, patah lentur
22=25	19.11081	3.348424	Sudah maksimum, patah lentur
23=24	0.883672	0.568638	Belum maksimum, patah geser



Gambar 5.15 Grafik M_n - P_n Balok *Vierendeel* dengan ($a/h=0,66$)

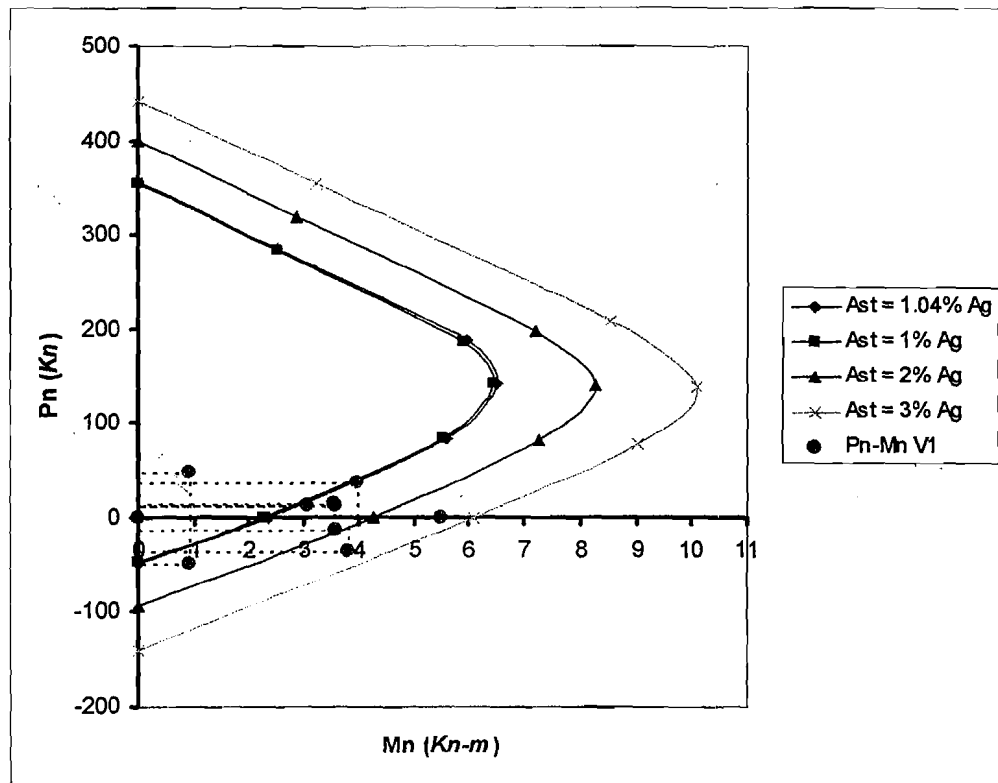
c. Benda Uji 3 : Dengan perbandingan $a/h = 1,00$



Tabel 5.31 Hasil Analisis ($Pn-Mn$) Program SAP 2000

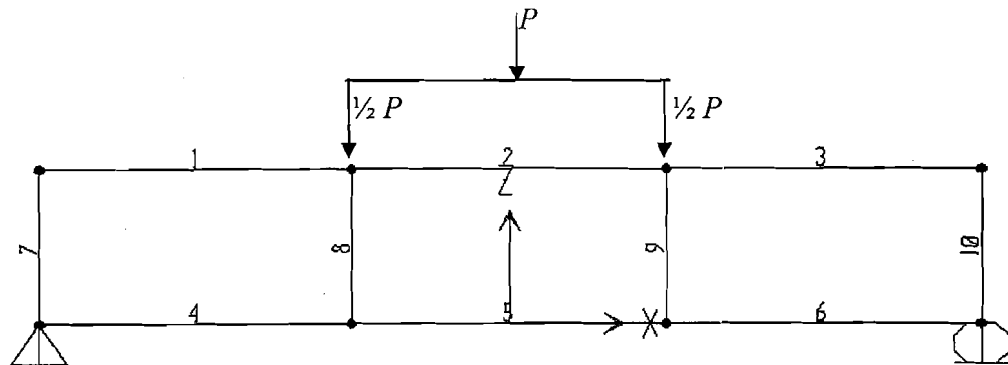
Balok *vierendeel* Benda Uji 3 ($a/h=1,00$)

Element	Pn kN	Mn kN-m	Keterangan
Batang Tepi Atas			
1=6	14.24083	3.53177	Sudah maksimum, patah lentur
2=5	36.27056	3.95711	Sudah maksimum, patah lentur
3=4	48.50906	0.898046	Belum maksimum, patah geser
Batang Tepi Bawah			
7=12	-14.24083	3.588643	Sudah maksimum, patah lentur
8=11	-36.27056	3.816903	Sudah maksimum, patah lentur
9=10	-48.50906	0.910124	Sudah maksimum, patah lentur
Batang Transversal			
13=19	12.84469	3.588643	Sudah maksimum, patah lentur
14=18	0.465274	5.511658	Sudah maksimum, patah lentur
15=17	12.32324	3.060183	Sudah maksimum, patah lentur
16	0.582897	2.19E-14	Belum maksimum, patah geser



Gambar 5.16 Grafik M_n - P_n Balok *Vierendeel* dengan ($a/h = 1.00$)

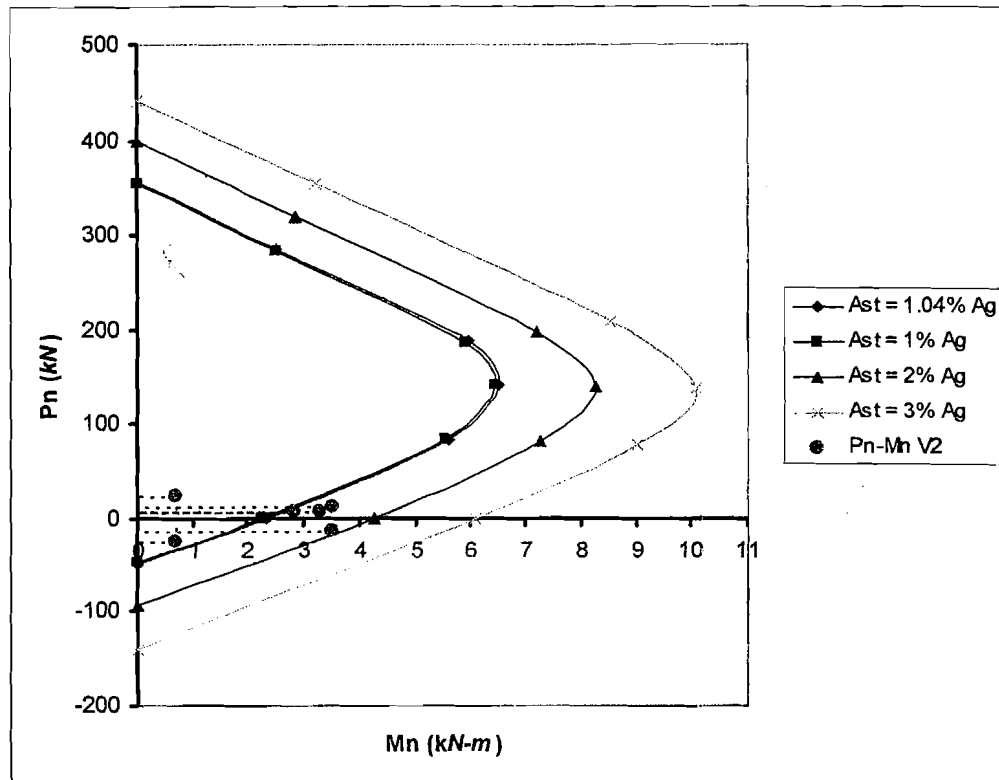
d. Benda Uji 4 : Dengan perbandingan $a/h = 2,00$



Tabel 5.32 Hasil Analisis ($Pn-Mn$) Program SAP 2000

Balok *vierendeel* Benda Uji 4 ($a/h=2,00$)

Elemen	Pn	Mn	Keterangan
	KN	KN-m	
Batang Tepi Atas			
1=3	13.19166	3.506427	Sudah maksimum, patah lentur
2=5	24.53433	0.677512	Belum maksimum, patah geser
Batang Tepi Bawah			
4=6	-13.19166	3.506606	Sudah maksimum, patah lentur
5	-24.53433	0.677512	Belum maksimum, patah geser
Batang Transversal			
7=10	6.857808	3.297994	Sudah maksimum, patah lentur
8=9	6.751055	2.835728	Sudah maksimum, patah lentur



Gambar 5.17 Grafik *Mn-Pn* Balok *Vierendeel* dengan ($a/h=2,00$)

2. Pembahasan Analisis Balok *Vierendeel* sebagai Kolom dari Grafik *Mn-Pn*

Analisa kapasitas tampang balok *vierendeel* berdasarkan *Mn-Pn* yang dibandingkan dengan analisa SAP digunakan untuk mengetahui apakah pengujian telah mencapai kapasitas maksimum balok dalam mendukung beban, dibawah ini dijelaskan mengenai hasil analisa tampang balok *vierendeel* setelah dilakukan pengujian di Laboratorium Mekanika Rekayasa, sehingga dapat diketahui nilai beban maksimum untuk rasio a/h masing-masing balok, kemudian digunakan untuk analisa program SAP:

Berdasarkan hasil analisis SAP pada Tabel 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 dan Grafik $Mn-Pn$ pada Gambar 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 dimana nilai rasio perbandingan $a/h=0,5$; $a/h=0,66$; $a/h=1$ dan $a/h=2$ maka, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar nilai kapasitas tiap elemen telah mencapai batas maksimumnya, sehingga ragam kegagalan yang terjadi adalah patah lentur.

5.4.4. Analisa Geser Pada Balok *Vierendeel*

Analisis geser pada struktur terlentur didasarkan pada anggapan :

1. Beton menahan sebagian gaya geser
2. Sedang kelebihanannya atau gaya geser diatas kemampuan beton menahan gaya geser, ditahan baja tulangan geser.

Analisis akibat geser, harus didasarkan pada :

$V_u \leq \phi V_n$ sedang $V_n = V_c + V_s$ sehingga

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s \dots\dots\dots(5.3)$$

Untuk komponen struktur yang menahan geser dan lentur, besarnya kapasitas/ kemampuan beton (tanpa tulangan geser) untuk menahan geser adalah :

$$\text{Kuat geser : } V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(5.4)$$

Sedangkan besarnya kapasitas/ kemampuan baja tulangan untuk menahan geser adalah :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots(5.5)$$

SK-SNI menyatakan meskipun teoritis tidak diperlukan tulangan geser bila $V_u \leq \frac{1}{2} \phi V_c$, tetapi tetap harus diberikan tulangan geser minimum untuk menjaga apabila terjadi beban tak terduga yang dapat mengakibatkan kerusakan (gagal)

geser. Karena gagal geser pada stuktur beton bertulang terlentur akan terjadi secara tiba-tiba.

Contoh perhitungan:

$$\text{Diketahui: } b = 120 \text{ mm} \qquad f_c' = 25,4 \text{ MPa}$$

$$h = 120 \text{ mm} \qquad f_y = 244,6 \text{ MPa}$$

$$d = 120 - 20 = 100 \text{ mm} \qquad s = 10 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25,4} \cdot 120 \cdot 100 = 10079,68 \text{ N}$$

$$A_v = 2 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 3,8^2) = 22,68 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{22,68 \cdot 244,6 \cdot 100}{100}$$

$$= 5547,528$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 10079,68 + 5547,528$$

$$= 15627,208 \text{ N} = 15,627 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,60 \cdot 15,627 = 9,376 \text{ kN}$$

Berdasarkan analisis data dari program Sap 2000 didapat V_u tiap-tiap elemen. Hasil dari analisis tersebut dibandingkan dengan kapasitas geser tiap elemen pada balok *vierendeel* untuk mengetahui apakah elemen tersebut gagal geser ($V_u > \phi V_n$) atau tidak mengalami gagal geser ($V_u < \phi V_n$).

Tabel 5.33 Hasil Analisis Gaya Geser Program SAP 2000

Balok *Vierendeel* Benda Uji 1. ($a/h=0,5$)

Elemen	V_u kN	ϕV_n kN	Keterangan
Batang Transversal			
1=13	13.75068	9,376	Gagal geser
2=12	20.30069	9,376	Gagal geser
3=11	21.34514	9,376	Gagal geser
4=10	19.68916	9,376	Gagal geser
5=9	11.13893	9,376	Gagal geser
6=8	2.44719	9,376	Tidak gagal geser
7	1.18128E-13	9,376	Tidak gagal geser
Batang Tepi			
14=25	21.95797	9,376	Gagal geser
15=24	23.23610	9,376	Gagal geser
16=23	22.43067	9,376	Gagal geser
17=22	24.38165	9,376	Gagal geser
18=21	1.564904	9,376	Tidak gagal geser
19=20	0.39307	9,376	Tidak gagal geser
26=38	23.81084	9,376	Gagal geser
27=36	22.45552	9,376	Gagal geser
28=35	23.18377	9,376	Gagal geser
29=34	21.15560	9,376	Gagal geser
30=33	1.68068	9,376	Tidak gagal geser
31=32	0.3544744	9,376	Tidak gagal geser

Tabel 5.34 Hasil Analisis Gaya Geser Program SAP 2000

Balok *Vierendeel* Benda Uji 2 ($a/h=0,66$)

Element	V_u kN	ϕV_n kN-m	Keterangan
Batang Tepi			
1=9	20.52874	9,376	Gagal geser
2=8	20.93137	9,376	Gagal geser
3=7	21.78320	9,376	Gagal geser
4=6	0.83715	9,376	Tidak gagal geser
5	0.01154	9,376	Tidak gagal geser
10=18	21.46898	9,376	Gagal geser
11=17	20.98519	9,376	Gagal geser
12=16	20.05220	9,376	Gagal geser
13=15	0.91830	9,376	Tidak gagal geser
14	0.01154	9,376	Tidak gagal geser

Lanjutan Tabel 5.34			
Batang Transversal			
19=28	16.07083	9,376	Gagal geser
20=27	24.54738	9,376	Gagal geser
21=26	24.10243	9,376	Gagal geser
22=25	13.39349	9,376	Gagal geser
23=24	2.09982	9,376	Tidak gagal geser

Tabel 5.35 Hasil Analisis Gaya Geser Program SAP 2000

Balok *Vierendeel* Benda Uji 3 ($a/h=1$)

Element	V_u	ϕV_n	Keterangan
	KN	KN-m	
Batang Tepi			
1=6	12.81397	9,376	Gagal geser
2=5	13.21782	9,376	Gagal geser
3=4	0.276091	9,376	Tidak gagal geser
7=12	13.17211	9,376	Gagal geser
8=11	12.67612	9,376	Gagal geser
9=10	0.32216	9,376	Tidak gagal geser
Batang Transversal			
13=19	14.24083	9,376	Gagal geser
14=18	22.02974	9,376	Gagal geser
15=17	12.23849	9,376	Gagal geser
16	8.64E-14	9,376	Tidak gagal geser

Tabel 5.36 Hasil Analisis Gaya Geser Program SAP 2000

Balok *Vierendeel* Benda Uji 4 ($a/h=2$)

Elemen	V_u	ϕV_n	Keterangan
	KN	KN	
Batang Tepi			
1=3	6.83104	9,376	Tidak gagal geser
2=5	0.02677	9,376	Tidak gagal geser
4=6	6.83137	9,376	Tidak gagal geser
Batang Transversal			
7=10	13.19166	9,376	Gagal geser
8=9	11.34267	9,376	Gagal geser

Dari analisis diatas maka terlihat pada benda uji 1,2,dan 3 hampir seluruh elemen mengalami gagal geser, hal ini disebabkan karena pada saat perencanaan jarak sengkang yang digunakan terlalu lebar. Sedang pada benda uji 4 hampir seluruh elemen tidak mengalami gagal geser.

5.4.5. Perbandingan Analisis SAP dan Metode Portal

Perhitungan rasio analisis SAP dengan Metode Portal dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh besarnya penyimpangan yang terjadi terhadap asumsi bahwa titik-titik belok berada di tengah elemen batang. Seperti ditunjukkan oleh Tabel perbandingan Analisis SAP dan Metode Portal pada Lampiran (5.5-5.16). Dari hasil peritungan pada Lampiran didapat nilai penyimpangan atau standar deviasi seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.36. yang didapat dari rumus :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum FX^2}{\sum F} - \left(\frac{\sum FX}{\sum F}\right)^2} \dots\dots\dots(5.6)$$

dimana :

- Sd = besar penyimpangan (standar deviasi)
- x = rasio analisis SAP terhadap metode portal
- F = frekuensi rasio

Tabel 5.37 Standar deviasi (Sd) berdasarkan rasio perbandingan

Analisa Sap dengan Metode Portal pada tiap Benda Uji

Rasio a/h	Batang	Gaya aksial	Gaya geser	Momen
0.50	Tepi Atas	0,0625	0,025	0,179
	Tepi Bawah	0,065	0,025	0,129
	Transversal	0,051	0,070	0,077
0.66	Tepi Atas	1,467	0,017	0,138
	Tepi Bawah	1,467	0,017	0,070
	Transversal	0,032	0,151	0,061

Lanjutan Tabel 5.36				
1.00	Tepi Atas	0,015	0,009	0,092
	Tepi Bawah	0,142	0,009	0,074
	Transversal	0,018	0,050	0,050
2.00	Tepi Atas	0,032	0,000	0,015
	Tepi Bawah	0,032	0,000	0,015
	Transversal	0,000	0,068	0,068

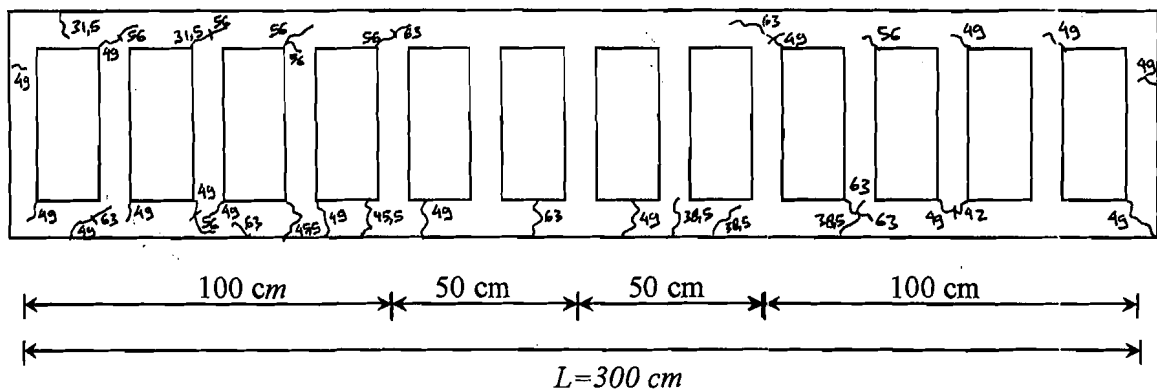
Dari data Tabel 5.36 dapat dilihat, bahwa nilai standar deviasi relatif kecil.

Oleh karena itu asumsi titik belok ada ditengah bentang elemen batang masih bisa digunakan.

5.4.6. Pola Kerusakan Pada Benda Uji

Kerusakan yang terjadi pada empat sampel benda uji pada penelitian ini merupakan kerusakan akibat gaya tekan dan momen.

Benda Uji 1

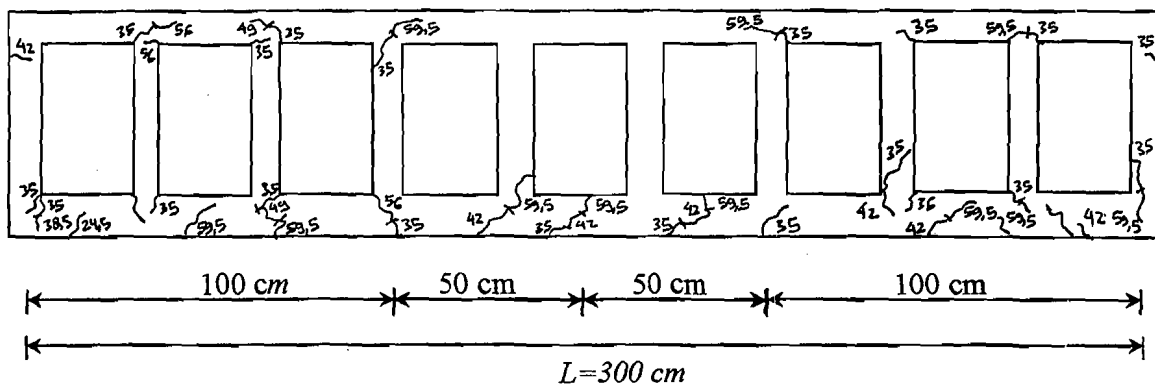


Gambar 5.18 Pola kerusakan pada balok *vierendeel* perbandingan $a/h = 0,5$

Tabel 5.37 Time History Pola Kerusakan Benda Uji 1

Retak	Beban	Retak	Beban
1	17.5	8	29.75
2	19.25	9	31.5
3	21	10	31.5
4	22.75	11	32.375
5	24.5	12	31.5
6	26.25	13	31.5
7	28		

Benda Uji 2 : Dengan perbandingan $a/h = 0,66$

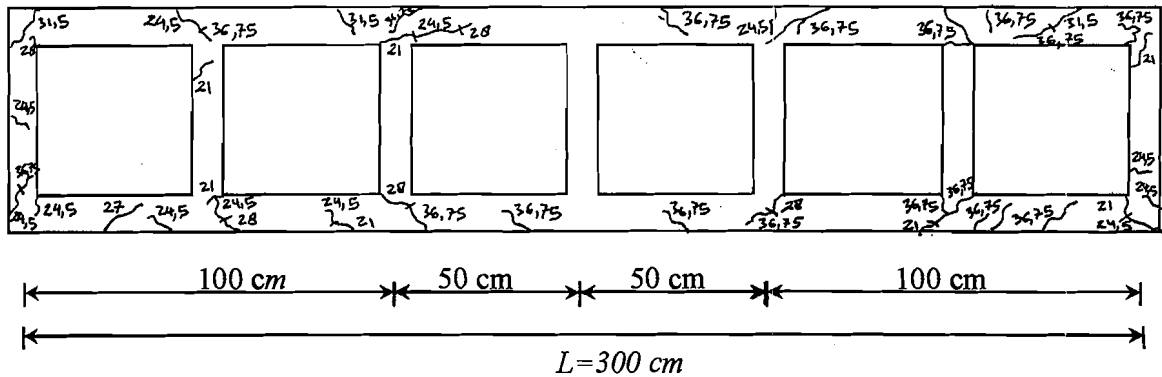


Gambar 5.19 Pola kerusakan pada balok *vierendeel* perbandingan $a/h = 0,66$

Tabel 5.38 Time History Pola Kerusakan Benda Uji 2

Retak	Beban	Retak	Beban
1	17.5	6	26.25
2	19.25	7	28
3	21	8	28
4	22.75	9	29.75
5	24.5	10	29.75

Benda Uji 3

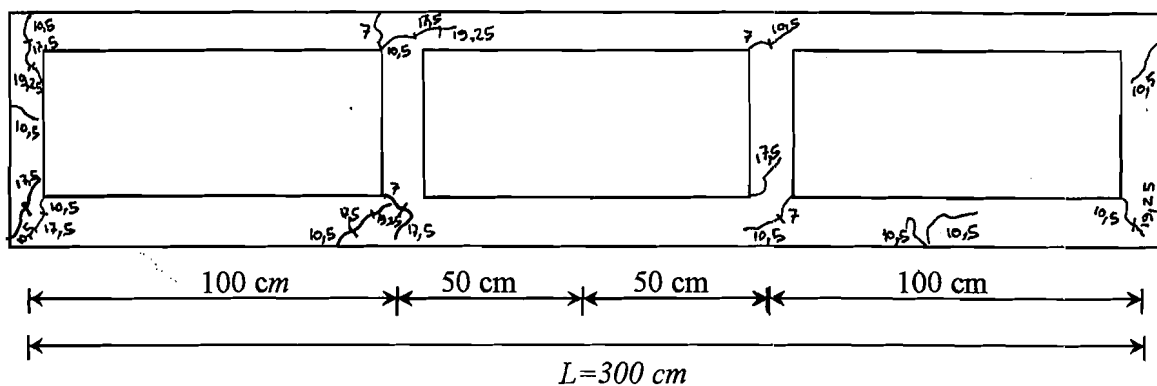


Gambar 5.20 Pola kerusakan pada balok *vierendeel* perbandingan $a/h = 1,00$

Tabel 5.39 Time History Pola Kerusakan Benda Uji 3

Retak	Beban	Retak	Beban
1	10.5	7	31.5
2	14	8	35
3	17.5	9	36.75
4	21	10	36.75
5	24.5	11	36.75
6	28		

Benda Uji 4



Gambar 5.21 Pola kerusakan pada balok *vierendeel* perbandingan $a/h = 2,00$

Tabel 5.40 *Time History* Pola Kerusakan Benda Uji 4

Retak	Beban
1	5.25
2	7
3	8.75
4	9.625
5	9.625

5.4.7 Pembahasan Pola Kerusakan

Letak serta pola kerusakan pada sampel benda uji rata-rata terletak pada batang horisontal, adapun pola kerusakan yang terjadi antara lain:

1. Berdasarkan *Time History* pada Tabel 5.37;5.38;5.39;5.40, retak pertama benda uji I, II, III, dan IV berturut-turut pada beban 17.5 KN, 17.5 KN, 10.5 KN dan 5.25 KN. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar a/h maka beban sampai dengan terjadi retak pertama semakin kecil.
2. kerusakan pada sumbu atas serta bawah batang transversal atau pada daerah sambungan balok-kolom,
3. kerusakan akibat tekanan *pons*, kerusakan ini terjadi pada batang transversal yang berfungsi sebagai komponen struktur penopang, dan
4. kerusakan pada batang lateral, kerusakan ini berupa retakan pada daerah sambungan batang lateral serta pada batang lateral itu sendiri pola kerusakan pada masing masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.18, 5.19, 5.20, dan 5.21 berikut.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian analisis kuat lentur balok beton vierendeel dengan variasi jarak pengaku terhadap tinggi balok (a/h) akan menghasilkan kesimpulan dan saran-saran sebagai berikut ini.

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis perhitungan dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan grafik hubungan beban-defleksi ($P-\Delta$) ternyata variasi rasio (a/h) berpengaruh terhadap kekakuan balok *Vierendeel*, dimana nilai kekakuan (k) yang didapat dari keempat benda uji yaitu dari benda uji I sampai benda uji IV berbeda menurut besarnya variasi a/h masing-masing benda uji. Pada benda uji I nilai kekakuan yang didapat sebesar 4900,436 untuk benda uji II, III, IV mengalami penurunan masing-masing sebesar 78.06%; 64,49% dan 32.57% dari benda benda uji I, maka dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak pengaku (a) nilai kekakuan (k) semakin kecil.
2. Berdasarkan grafik hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) ternyata variasi rasio (a/h) berpengaruh terhadap faktor kekakuan, kekuatan, dan daktilitas

balok *Vierendeel*, dimana nilai faktor kekakuan (EI) yang diperoleh dari keempat benda berbeda menurut besarnya variasi (a/h) masing-masing benda uji.. Pada benda uji I nilai faktor kekakuan yang didapat sebesar 306.134 kN-m^2 , untuk benda uji II, III, IV mengalami penurunan masing-masing sebesar 0,7218; 0,6341 dan 0,3424 kali dari benda uji I; kekuatan dari benda uji II, III, IV mengalami penurunan berturut-turut sebesar 0.9238, 0.5665, 0.2778 kali dari benda uji I, sedangkan untuk daktilitasnya pada masing –masing benda uji I,II,III,IV berturut-turut sebesar 1.7469, 1.7359, 1.7311, dan 2.0158. Pada benda uji IV mengalami daktilitas yang besar ini disebabkan mutu beton yang tidak merata pada benda uji IV.

3. Berdasarkan analisis balok *vierendeel* mengacu pada grafik $Mn-Pn$ dapat disimpulkan bahwa sebagian besar nilai kapasitas tiap elemen pada balok *vierendeel* telah mencapai batas maksimumnya sehingga ragam kegagalan yang terjadi adalah kerusakan (gagal) lentur.
4. Pola kerusakan yang terjadi pada empat sampel benda uji sebagian besar terlokasi pada batang tepi dan sambungan antar elemen balok *vierendeel* beton bertulang.

6.2. Saran

Dari rangkaian penelitian ini dapat dikembangkan pada penelitian lebih lanjut dengan saran- saran sebagai berikut :

1. Disarankan dilakukan penelitian lebih lanjut dengan rasio a/h lebih dari 2, atau kurang dari 0,5 dengan interval 0,25,
2. pada perencanaan balok *Vierendeel* perlu perhitungan perencanaan yang cermat , sehingga tidak terjadi gagal geser,
3. perlu dilakukan penelitian balok vierendel dengan mutu beton yang berbeda dan variasi rasio terhadap variasi tinggi balok *vierendeel* beton, dan
4. sebelum pelaksanaan pencampuran adukan beton sebaiknya dilakukan analisis saringan terlebih dahulu untuk mengetahui ukuran agregrat kasar apakah sesuai atau tidak dengan perencanaan *mix design*.

DAFTAR PUSTAKA

- Tjokrodimulyo, K., 1992, *Bahan Bangunan*, Yogyakarta : Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UGM.
- Tjokrodimuljo, K., 1992, *Teknologi Beton*, Yogyakarta : Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UGM.
- Dipohusodo, I., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Jakarta : PT Gramedia.
- Aboe, K., *Bahan Kuliah Struktur Beton Bertulang I*, Jogjakarta : Jurusan
Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII.
- Salmon, C. G. dan C. K. Wang, 1994, *Disain Beton Bertulang*, Jakarta :
PT Erlanga.
- Gunawan, R., 1998, *Konstruksi Beton I*, Jakarta : Delta Teknik Group.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia
(PBBI)*, DPU, Bandung.
- Schueller, W., 1989, *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*, Bandung :
PT Eresco.
- Nawy, G. E., 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Bandung :
PT Eresco.
- Vis, W. C dan K. G. Kusuma., 1993, *Dasar-dasar Perencanaan Beton
Bertulang*, Jakarta : Erlangga.
- Zahrudin dan Andi, W. N., 2003, *Perilaku Rangka Vierendeel Terhadap
Pembebanan Statis*, Jogjakarta : Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia.
- Darmiyanti, L dan Windasari, W., 2004, *Pengaruh Jarak Dukungan Lateral
Terhadap Kapasitas Lentur Balok Vierendeel*, Jogjakarta: Jurusan Teknik
Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- Gere, James, M dan Timosheko, Stephen, P., 1987, *Mekanika Bahan Jilid I*,
Jakarta: Penerbit Erlangga.

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

Blodgett, Ower W., 1982, *DESIGN OF WELDED STRUCTURE*, The James F. Lincon Arc Welding Fondation, Cleveland Ohio.

Departemen Pekerjaan Umum, 1971, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK. SNI T-15-1991-03)*, DPU, Bandung.

Park, R and Paulay, T., 1975, *Reinforced Concrete Structures*, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

LAMPIRAN



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JURUSAN : TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN
KAMPUS : Jalan Kaliurang KM 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, 896440. Fax: 895330
Email : dekanat@ftsp.uii.ac.id. Yogyakarta Kode Pos 55584

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : : 172 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn.V/2004
Lamp. : -
Hal : : BIMBINGAN TUGAS AKHIR
Periode Ke : : III (Mar 04 - Agst 04)

Jogyakarta, 30 Juni 2004

Kepada .
Yth.Bapak / Ibu : Sarwidi,Ir,H,MSCE,PhD
di -
Jogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu Agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil,
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut di bawah ini :

- 1 Na m a : Kesit Wicaksono
 No. Mhs. : 99 511 193
 Bidang Studi : Teknik Sipil
 Tahun Akademi : 2003 - 2004
- 2 Na m a : Wahyu Tri Prasetyo
 No. Mhs. : 99 511 379
 Bidang Studi : Teknik Sipil
 Tahun Akademi : 2003 - 2004

dapat diberikan petunjuk- petunjuk, pengarahan serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir. Kedua Mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok dengan dosen pembimbing sebagai berikut :

Dosen Pembimbing I	: Suharyatmo,Ir,H,MT
Dosen Pembimbing II	: Sarwidi,Ir,H,MSCE,PhD

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Pengujian Kuat Lentur Balok Vierendeel Batang Tunggal Dengan Variasi Jarak Pengaku

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

An. Dekan
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Ir.H. Munadhir,MS

Tembusan

- 1). Dosen Pembimbing ybs
- 2). Mahasiswa ybs
- 3). Arsip.



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JL. KALIURANG KM.14,4 TELS. 895042
EMAIL : FTSP.UILAC.ID JOGJAKARTA KODE POS 55584

172

FM-UII-AA-FPU-09

UNTUK MAHASISWA

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Kesit Wicaksono	99 511 193	Teknik Sipil
2.	Wahyu Tri Prasetyo	99 511 379	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR

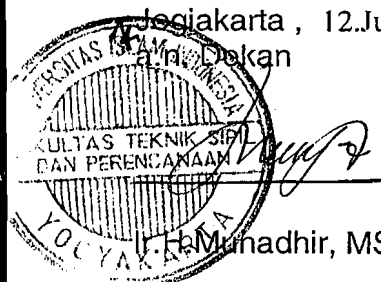
Pengujian Kuat Lentur Balok Vierendeel Batang Tunggal Dengan Variasi Jarak Pengaku

PERIODE KE : III (Mar 04 - Agst 04)
TAHUN : 2003 - 2004

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		MAR.	APR.	MEI.	JUN.	JUL.	AGT.
1	Pendaftaran						
2	Penentuan Dosen Pembimbing						
3	Pembuatan Proposal						
4	Seminar Proposal						
5	Konsultasi Penyusunan TA.						
6	Sidang - Sidang						
7	Pendadaran						

Dosen Pembimbing I : Suharyatmo,Ir,H,MT

Dosen Pembimbing II : Sarwidi,Ir,H,MSCE,PhD



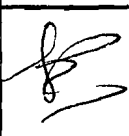
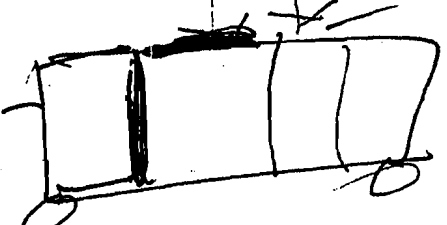
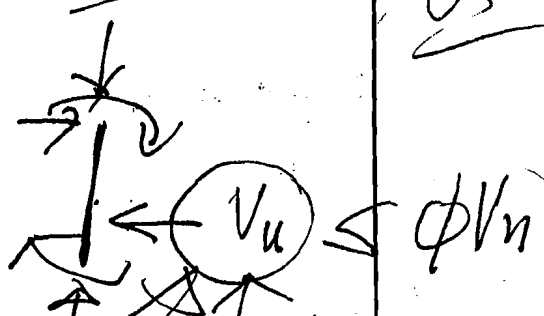
Catatan :

Seminar : _____
Sidang : _____
Pendadaran : _____

TA ini diperpanjang
Sl/ Re akhir Februari 2005

NO TANGGAL		KONSULTASI KE :																																																
------------	--	-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

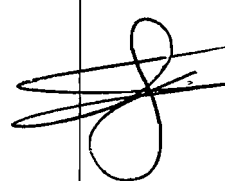
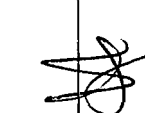
CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	KONSULTASI KE :	TANDA TANGAN
	21/03/2004	- Daftar Pustaka, 1. Perbaiki spt penulisan koreksi misal nya hal 2, 3, dst 2. Tinjauan Pustaka cari penelitian & tesis terkait sebelumnya. Cui, UGM, UAG, UMY 3. Tulis Daftar Pustaka Cbimbingan Pak Sarwidi 4. Paka lagi saat konsultasi berikutnya.	
	25/09/2004	- Daftar Pustaka, Tinjauan Pustaka / penelitian yang lain? - penerjemah: dipubli	
	07/10/2004	- Beres penerjemah awal jurnal (Agustus) - penerjemah penerjemah	
	08/10/2004	- Paraphrase Seminar DP II & II - Jember ke DP I	
	11/11/04	Caigubur f	
	15/11/04	Perbaiki	
	13/1/05	Perbaiki	
	18/1/05	Data Asli Lab → kary. Data Labor → laporan.	
	24/1/05	Perbaiki. Am? ke	
	25/1/05	Perbaiki	
	2/05/2005	 	

BS → Matrik
P → field

$$V_u = V_a + V_s$$

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
	11/02/2005	<p>- Value of Profit + Market value high, keep the production (Kons vs hasil)</p> <p>- Pemasukan tetap ada</p> <p>- DP II are with the day, sales</p> <p>Spesifikasi barang</p> <p>barang ke DP II</p>	
	15/02/2005	<p>- DP II & cara kerja</p> <p>- lengkap - lengkap</p>	
	15/03/2005	<p>19/3/05 Siaphan - 2 kali akan ada 1000 barang</p> <p>- proses/biaya - 2 bulan 1000</p> <p>- lengkap - lengkap</p>	
	18/03/2005	<p>TA untuk detail sesuai dg petunjuk/pedoman</p> <p>DP I - day</p> <p>- lengkap - lengkap</p>	

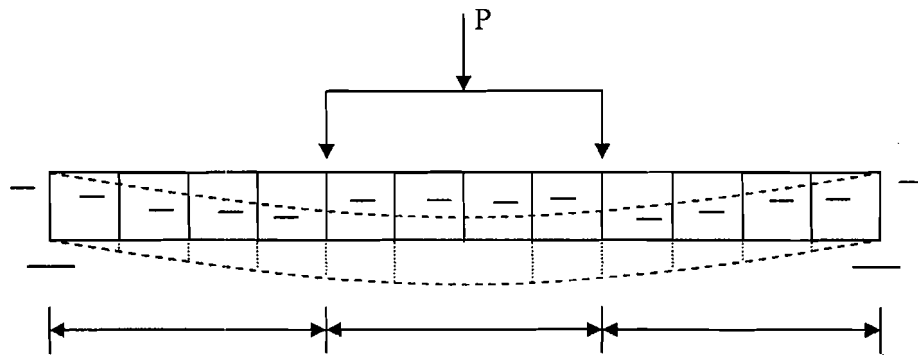
LAMPIRAN I

Perencanaan Pembebanan Balok Beton *Vierendeel*

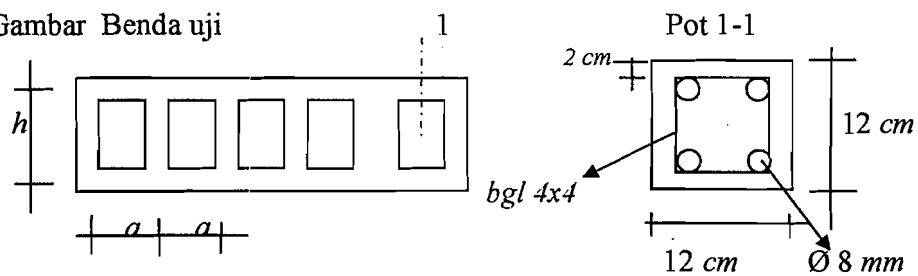
Perhitungan Mix Design Beton $f_c'=20$ Mpa

Lampiran 1.1

Perencanaan Pembebanan Balok



Gambar Benda uji



DIKET :

$$b = 120 \text{ mm} \quad A's = As = 2D8 = 157.08 \text{ mm}^2$$

$$h = 620 \text{ mm} \quad d = 620 - 60 = 560 \text{ mm}$$

$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa}$$

Solusi :

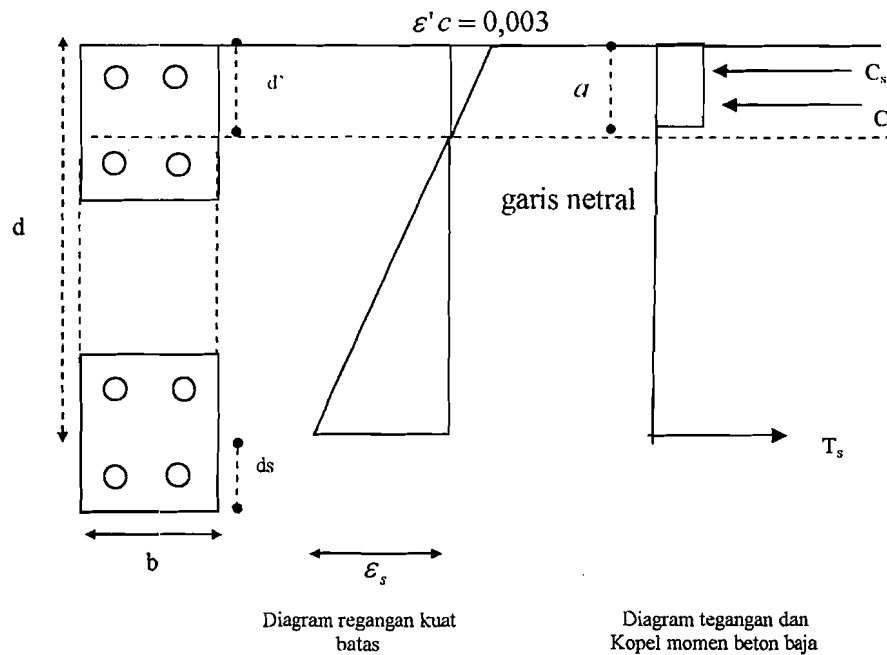
$$d' = 60 \text{ mm}$$

$$d_s = d' = 60 \text{ mm}$$

$$f'_c = 20 \text{ MPa} \Rightarrow \beta = 0,85 \text{ (Karena } f'_c \leq 30 \text{ MPa)}$$

Lampiran 1.2

$$f_y = 300 \text{ Mpa} \Rightarrow \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{300}{200000} = 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,0015$$



Gambar diagram tegangan-regangan

Dianggap tulangan tarik dan tekan telah leleh, dan gaya-gaya dalam =

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a = 0,85 \cdot 20 \cdot 120 \cdot a = 2040 \cdot a$$

$$C_s = A_s' (f_y - 0,85 f'_c) = 157,08 (300 - 0,85 \cdot 20) = 44453,64 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y = 157,08 \cdot 300 = 47123,7 \text{ N}$$

$$\text{Keseimbangan gaya dalam} \Rightarrow T = C_c + C_s$$

$$a = \frac{47123,7 - 44453,64}{2040} = 1,31 \text{ mm}$$

Lampiran 1.3

Periksa regangan tulangan tarik dan tekan.

$$\varepsilon_s' = \frac{x - d'}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = \frac{1,54 - 60}{1,54} \cdot 0,003 = -0,1139 < \varepsilon_y$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - x}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = \frac{560 - 1,54}{1,54} \cdot 0,003 = 1,0879 > \varepsilon_y$$

anggapan salah karena tulangan tekan belum leleh

jika $\varepsilon_s' = -0,1139$ maka $f_s' = -0,1139 \cdot 200000 = -22780 \text{ MPa}$

Tegangan tulangan tekan dicari dengan cara coba-coba:

Contoh perhitungan :

Dicoba $f_s' = 250 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c') = 157,08 \cdot (250 - 0,85 \cdot 20) \\ &= 36599,64 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = C_c + C_s \Rightarrow 47123,7 = 2040 a + 36599,64$$

$$a = \frac{47123,7 - 36599,64}{2040} = 5,16 \Rightarrow x = \frac{a}{\beta} = \frac{5,16}{0,85} = 6,07$$

$$\varepsilon_s' = \frac{x - d'}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = \frac{6,07 - 60}{6,07} \cdot 0,003 = -0,0267 < \varepsilon_y$$

$$f_s' = -0,0267 \cdot 200000 = -5330,8 \text{ MPa} \neq 250 \text{ MPa}$$

Tabel Perhitungan Tulangan Baja Tekan dengan Cara Coba- coba

$f_s' \text{ lama}$	d'	A_s'	f_c'	T	C_s	a	C_c	x	ϵ_s'	ϵ_y	$f_s' \text{ baru}$
MPa	mm	mm ²	MPa	N	N	mm	N	mm			MPa
250	60	157.08	20	47123.7	36599.64	5.1589	10524.06	6.0692	-0.0267	0.0015	-5331.551
200	60	157.08	20	47123.7	28745.64	9.0089	18378.06	10.5987	-0.0140	0.0015	-2796.659
150	60	157.08	20	47123.7	20891.64	12.8589	26232.06	15.1281	-0.0089	0.0015	-1779.683
100	60	157.08	20	47123.7	13037.64	16.7089	34086.06	19.6575	-0.0062	0.0015	-1231.364
50	60	157.08	20	47123.7	5183.64	20.5589	41940.06	24.1869	-0.0044	0.0015	-888.4099
0	60	157.08	20	47123.7	-2670.36	24.4089	49794.06	28.7163	-0.0033	0.0015	-653.6435
-50	60	157.08	20	47123.7	-10524.36	28.2589	57648.06	33.2457	-0.0024	0.0015	-482.8465
-100	60	157.08	20	47123.7	-18378.36	32.1089	65502.06	37.7751	-0.0018	0.0015	-353.0082
-150	60	157.08	20	47123.7	-26232.36	35.9589	73356.06	42.3045	-0.0013	0.0015	-250.9726
-160	60	157.08	20	47123.7	-27803.16	36.7289	74926.86	43.2104	-0.0012	0.0015	-233.1325
-170	60	157.08	20	47123.7	-29373.96	37.4989	76497.66	44.1163	-0.0011	0.0015	-216.025
-180	60	157.08	20	47123.7	-30944.76	38.2689	78068.46	45.0222	-0.0010	0.0015	-199.6059
-185	60	157.08	20	47123.7	-31730.16	38.6539	78853.86	45.4751	-0.0010	0.0015	-191.6417
-187	60	157.08	20	47123.7	-32044.32	38.8079	79168.02	45.6563	-0.0009	0.0015	-188.5002
-188	60	157.08	20	47123.7	-32201.4	38.8849	79325.1	45.7469	-0.0009	0.0015	-186.9388
-187.5	60	157.08	20	47123.7	-32122.86	38.8464	79246.56	45.7016	-0.0009	0.0015	-187.7187
-187.6	60	157.08	20	47123.7	-32138.57	38.8541	79262.27	45.7107	-0.0009	0.0015	-187.5626
-187.55	60	157.08	20	47123.7	-32130.71	38.8502	79254.41	45.7061	-0.0009	0.0015	-187.6407
-187.56	60	157.08	20	47123.7	-32132.28	38.8510	79255.98	45.7070	-0.0009	0.0015	-187.6251
-187.58	60	157.08	20	47123.7	-32135.43	38.8525	79259.13	45.7088	-0.0009	0.0015	-187.5938
-187.585	60	157.08	20	47123.7	-32136.21	38.8529	79259.91	45.7093	-0.0009	0.0015	-187.586

Berdasarkan Tabel tersebut didapat:

$$f_s' = -187,586 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_s' = -0,0009 \leq \epsilon_y = 0,0015$$

$$a = 38,8529 \text{ mm}$$

$$x = 45,7093 \text{ mm}$$

Persamaan kesetimbangan

$$T = C_s + C_c$$

$$T = -32136,2 + 79256,91$$

$$T = 47123,7 \text{ N}$$

Lampiran 1.5

$$\varepsilon_s' = -0,00094 < \varepsilon_y = 0,0015 \text{ Tulangan tekan belum leleh}$$

$$f_s' = -187,86 \text{ MPa} = 187 \text{ MPa}$$

Kapasitas penampang :

$$C_c = 2040 \cdot \alpha = 2040 \cdot 38,85 = 79172,4 \text{ N}$$

Hitung momen nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \\ &= 79256,91 \cdot \left(560 - \frac{38,8529}{2} \right) - 32136,2 \cdot (560 - 60) \\ &= 26776089,2 \text{ Nmm} = 26,78 \text{ KNm} \end{aligned}$$

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

$$P = \frac{6 \cdot M_n}{L} = \frac{6 \cdot 26,78}{3} = 53,55 \text{ KN}$$

Lampiran 1.6

Mix Design Beton $f_c' = 20$ MPa

Langkah perhitungan beton cara DOE”:

1. Kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c') pada 28 hari adalah 20 Mpa.
2. Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan.

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	MPa
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa kendali	8,4

⇒ Kita anggap tingkat pengendalian pekerjaannya adalah cukup.

3. Karena data hasil uji kurang dari 15 buah, maka nilai tambah (*margin/M*) adalah 12.

4. Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f_{cr}') diperoleh dengan rumus :

$$f_{cr}' = f_c' + M = 20 + 12 = 32 \text{ MPa.}$$

5. Semen yang dipakai dalam pembuatan benda uji adalah semen biasa.
6. Jenis agregat yang digunakan adalah agregat alami (tidak dipecah).
7. Berdasarkan grafik hubungan jenis semen dan kuat rata-rata selinder beton yang direncanakan pada umur tertentu dapat ditentukan nilai faktor air-semen dengan melihat Grafik yaitu sebesar 0,48.
8. Penetapan air semen maksimum
9. Penetapan nilai Slam

Lampiran 1.7

10. Karena termasuk jenis beton didalam ruangan dengan keadaan keliling non-korosif, maka nilai factor air-semen maksimumnya 0,6.
11. Untuk balok kita tentukan nilai slam 100 *m*.
12. Besar butiran agregat maksimum kita tentukan 20 *mm*.
13. Tetapkan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton 195 *liter*..
14. Kebutuhan semen : $195 / 0,48 = 406,25 \approx 406 \text{ kg}$.
15. Kebutuhan semen minimum adalah 275 *kg*.
16. $\Rightarrow$ dipakai semen (diambil yang besar) : 406 *kg*.
17. Penyesuaian jumlah air atau factor air-semen. Karena pada langkah 14 tidak merubah jumlah kebutuhan semen yang dihitung pada langkah 12 maka tidak perlu ada penyesuaian jumlah air maupun factor air-semen. Jadi air tetap 195 *liter* dan factor air-semen tetap 0,48.
18. Golongan pasir : golongan 2.
19. persentase pasir terhadap campuran dari grafik didapat : 45 %.
20. Berat jenis campuran pasir dan kerikil (karena tidak ada pemeriksaan laboratorium), maka diambil 2,6.
21. Berat beton (Gambar 7.11.) : 2380 kg/m^3 .
22. Kebutuhan berat pasir dihitung dengan rumus :

$$W_{psr+krk} = W_{btm} - A - S = 2380 - 195 - 406 = 1799 \text{ kg}$$

Lampiran 1.8

21. Kebutuhan pasir dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}W_{psr} &= (p/100).W_{psr+krk} \\ &= (45/100).1799 = 810 \text{ kg}\end{aligned}$$

22. Kebutuhan kerikil dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}W_{krk} &= W_{psr+krk} - W_{psr} \\ &= 1799 - 810 = 989 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kesimpulan :

Untuk 1 m^3 beton (beratnya 2380 kg) dibutuhkan :

- Air : 195 liter
- Semen : 406 kg
- Pasir : 810 kg
- Krikil : 1719 kg

Untuk 1 adukan (misalnya 1 kantong semen) maka dibutuhkan :

- Air : 17,42 liter
- Semen : 40 kg
- Pasir : 79,803 kg
- Kerikil : 97,438 kg

Berat satu adukan = 234,661 kg

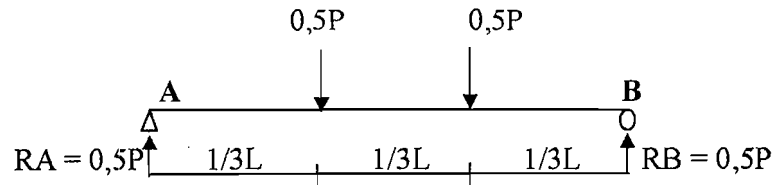
Lampiran 1.9

No	Uraian	
1	Kuat	20 MPa
2	Deviasi standar (<i>S</i>)	5,6 MPa
3	Nilai tambah (<i>m</i>)	12 MPa
4	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (<i>f'_{cr}</i>)	32 MPa
5	Jenis semen	Biasa
6	Jenis kerikil	Alami
7	Faktor air semen	0,48
8	Faktor air semen max	0,60
	→ dipakai FAS yang rendah	0,48
9	Nilai slam	100 mm
10	Ukuran maksimum butiran kerikil	20 mm
11	Kebutuhan air	195 liter
12	Kebutuhan semen portland	406 kg
13	Kebutuhan semen Portland minimum	275 kg
14	→ dipakai kebutuhan semen portland	406 kg
15	Penyesuaian jumlah air atau FAS	175 liter dan 0,48
16	Golongan pasir	Golongan 2
17	Presentasi pasir terhadap campuran	45 %
18	Berat jenis campuran	2,60
19	Berat beton	2380 kg/m ³
20	Kebutuhan campuran pasir dan krikil	1799 kg/m ³
21	Kebutuhan pasir	810 kg/m ³
22	Kebutuhan kerikil	989 kg/m ³

Kesimpulan :

Volume	Berat beton	Air	Semen	Ag.halus	Ag.kasar
1 m ³	2380 Kg/m ³	175 Liter	406 Kg	810 Kg	989 Kg
1 adukan	234,48 Kg/m ³	17,42 Liter	40 kg	79,803 kg	97,438 kg

Lampiran 1.10



$$EIY'' = Mx = \frac{P}{2}x \rightarrow \text{jika} \left(0 \leq x \leq \frac{1}{3}L \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$EIY'' = Mx = \frac{P}{2}x - \frac{P}{2}\left(x - \frac{1}{3}L\right) \rightarrow \text{jika} \left(\frac{1}{3}L \leq x \leq \frac{2}{3}L \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$EIY'' = Mx = \frac{P}{2}x - \frac{P}{2}\left(x - \frac{1}{3}L\right) - \frac{P}{2}\left(x - \frac{2}{3}L\right) \rightarrow \text{jika} \left(\frac{2}{3}L \leq x \leq L \right) \dots\dots\dots (3)$$

Integrasi 1

$$EIY' = Mx = \frac{P}{4}x^2 + C_1 \rightarrow \text{jika} \left(0 \leq x \leq \frac{1}{3}L \right) \dots\dots\dots (4)$$

$$EIY' = Mx = \frac{P}{4}x^2 - \frac{P}{4}\left(x - \frac{1}{3}L\right)^2 + C_2 \rightarrow \text{jika} \left(\frac{1}{3}L \leq x \leq \frac{2}{3}L \right) \dots\dots\dots (5)$$

$$EIY' = Mx = \frac{P}{4}x^2 - \frac{P}{4}\left(x - \frac{1}{3}L\right)^2 - \frac{P}{4}\left(x - \frac{2}{3}L\right)^2 + C_3 \rightarrow \text{jika} \left(\frac{2}{3}L \leq x \leq L \right) \dots\dots\dots (6)$$

Lampiran 1.11

Integrasi 2

$$EIY = \frac{P}{12}x^3 + C_1x + C_4 \dots \dots \dots (7)$$

$$EIY = \frac{P}{12}x^3 - \frac{P}{12}\left(x - \frac{1}{3}L\right)^3 + C_2x + C_5 \dots \dots \dots (8)$$

$$EIY = \frac{P}{12}x^3 - \frac{P}{12}\left(x - \frac{1}{3}L\right)^3 - \frac{P}{12}\left(x - \frac{2}{3}L\right)^3 + C_3x + C_6 \dots \dots \dots (9)$$

Kondisi $x = \frac{1}{3}L \rightarrow y' = 0$ integrasi ke 1

- $EI.Y' = \frac{P}{4}x^2 + C_1$
- $EI.Y' = \frac{P}{4}\left(\frac{1}{3}L\right)^2 + C_1$
- $EI.Y' = \frac{P}{4}\left(\frac{1}{3}L\right)^2 - \frac{P}{4}\left(\frac{1}{3}L - \frac{1}{3}L\right)^2 + C_2$
- $EI.Y' = \frac{P}{4}\left(\frac{1}{3}L\right)^2 - \frac{P}{4}\left(\frac{1}{3}L - \frac{1}{3}L\right)^2 - \frac{P}{4}\left(\frac{1}{3}L - \frac{2}{3}L\right)^2 + C_3$

$$\text{Jadi } C_1 = C_2 = C_3$$

$$EI.Y = \frac{P}{12}\left(\frac{1}{3}L\right)^3 + \left(\frac{1}{3}L\right)C_1 + C_4$$

$$EI.Y = \frac{P}{12}\left(\frac{1}{3}L\right)^3 - \frac{P}{12}\left(\frac{1}{3}L - \frac{1}{3}L\right)^3 + \left(\frac{1}{3}L\right)C_2 + C_5$$

Lampiran 1.12

$$EI.Y = \frac{P}{12} \left(\frac{1}{3}L \right)^3 - \frac{P}{12} \left(\frac{1}{3}L - \frac{1}{3}L \right)^3 - \frac{P}{12} \left(\frac{1}{3}L - \frac{2}{3}L \right)^3 + \left(\frac{1}{3}L \right) C_3 + C_6$$

$$\text{Jadi } C_4 = C_5 = C_6$$

$$EI.Y = \frac{P}{12} (L)^3 - \frac{P}{12} \left(L - \frac{1}{3}L \right)^3 - \frac{P}{12} \left(L - \frac{2}{3}L \right)^3 + C_3.L + 0$$

$$EI.Y = \frac{PL^3}{12} - \frac{8PL^3}{324} - \frac{PL^3}{324} + C_3.L = 0$$

$$-C_3 = \frac{27PL^3 - 9PL^3}{324L}$$

$$C_3 = -\frac{18PL^3}{324}$$

$$\text{Maka } C_1 = C_2 = C_3 = -\frac{18PL^3}{324}$$

Kembali ke persamaan 7, 8, 9

$$\text{untuk } \left(0 \leq x \leq \frac{1}{3}L \right) \Rightarrow EI.Y = \frac{P}{12} x^3 + C_1.x + C_4$$

$$EI.Y = \frac{P}{12} x^3 - \frac{18.PL^3}{324}.x + 0$$

$$\text{Misal } \rightarrow x = \frac{1}{3}L$$

$$EI.Y = \frac{P}{12} \left(\frac{1}{3}L \right)^3 - \frac{18PL^3}{324} \left(\frac{1}{3}L \right)$$

$$EI.Y = \frac{PL^3}{324} - \frac{18PL^3}{972}$$

Lampiran 1. 13

$$EI.Y = \frac{3}{972} PL^3 - \frac{18}{972} PL^3 = -\frac{15}{972} PL^3 = -\frac{5}{324} PL^3$$

$$\text{Untuk } \left(\frac{1}{3} L \leq x \leq \frac{2}{3} L \right)$$

$$\text{Misal } \rightarrow x = \frac{1}{2} L$$

$$EI.Y = \frac{P}{12} x^3 - \frac{P}{12} \left(x - \frac{1}{3} L \right)^3 + C_2 \cdot x + 0$$

$$EI.Y = \frac{P}{12} \left(\frac{1}{2} L \right)^3 - \frac{P}{12} \left(\frac{1}{2} L - \frac{1}{3} L \right)^3 - \frac{18 PL^3}{324} \left(\frac{1}{2} L \right)$$

$$EI.Y = \frac{1}{96} PL^3 - \frac{1}{2592} PL^3 - \frac{18 PL^3}{648}$$

$$EI.Y = \frac{27 - 1 - 72}{2592} PL^3 = -\frac{46}{2592} PL^3$$

$$EI.Y = -\frac{23}{1296} PL^3$$

Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

LAMPIRAN II

Type : Pengujian Kuat-desak Silinder Beton

Tanggal Pengujian : 28/09/2004

Pukul : 10.00 WIB

Tempat : Lab Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Uii Jakal Km 14,4

No.	Silinder Beton	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Kuat Desak (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	I _{A(18/08/04)}	12.45	150.2	29.63	500	17709.631	28.233
2	I _{B(18/08/04)}	12.7	150.95	29.97	590	17886.933	32.985
3	IV _(19/08/04)	12.45	150.5	30.04	495	17780.446	27.840
4	II _(19/08/04)	12.55	150.55	30.01	570	17792.262	32.036
5	III _{A(20/08/04)}	12.6	150.6	30.225	560	17804.083	31.453
6	III _{B(20/08/04)}	12.5	150.5	30.1	630	17780.446	35.432

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII

Lampiran 2.2

Hasil pengujian Kuat Desak Beton

Contoh perhitungan:

$$\text{Luas silinder beton } (A) = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (15,2)^2$$

$$= 181,366 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kuat desak } (fc') = \frac{Pu}{A} = \frac{50000}{181,366} = 275,686 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 27,5 \text{ MPa}$$

Silinder	Berat (kg)	Mutu Beton Rencana (MPa)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Kuat Desak Pu (kg)	Luas A (cm ²)	Kuat Tekan fc' (MPa)
1	12.45	20	15.2	29.63	50000	181.366	27.569
2	12.7	20	15.95	29.97	59000	199.706	29.543
3	12.45	20	15.5	30.04	49500	188.596	26.247
4	12.55	20	15.55	30.01	57000	189.815	30.029
5	12.6	20	15.6	30.225	56000	191.038	29.314
6	12.5	20	15.5	30.1	63000	188.596	33.405

No.	fc'	(fc'-fcr)	(fc'-fcr) ²
1	27.569	-1.782	3.176
2	29.543	0.192	0.037
3	26.247	-3.104	9.638
4	30.029	0.678	0.459
5	29.314	-0.037	0.001
6	33.405	4.054	16.434
Σ	176.107	0.000	29.743

$$fcr' = 29.351$$

Perhitungan kuat tekan beton karakteristik (fc') :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (fc' - fcr)^2}{N - 1}}$$

Lampiran 2.3

$$= \sqrt{\frac{29,743}{6-1}} = 2,439$$

Kuat tekan beton karakteristik (f_c')

$$f_c' = f_{cr}' - 1,64s_d \dots\dots\dots(5.1)$$

$$= 29,351 - (1,64 \cdot 2,439)$$

$$= 25,4 \text{ MPa}$$

Modulus Elastis beton dihitung dengan rumus:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(5.2)$$

E_c = Modulus Elastis beton (*MPa*)

f_c' = Mutu beton yang disyaratkan (*MPa*)

$$E_c = 4700\sqrt{25,4}$$

$$= 23687,254 \text{ MPa}$$

Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

LAMPIRAN III

Type : Pengujian Kuat-tarik Baja Tulangan Polos (BJTP) ø8

Tanggal Pengujian : 29/09/2004

Pukul : 10.00 WIB

Tempat : Lab Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Uii Jakal Km 14,4

No.	Benda Uji	Diameter Pengenal (mm)	Diameter Benda Uji (mm)	Beban Leleh (kg)	Beban maksimum (kg)	Putus (kg)	Luas (mm ²)	Tegangan Leleh (fy) (kg/mm ²)	Tegangan Ultimit (fu) (kg/mm ²)
1	I	8	6.9	1180	1600	1100	37.374	31.573	42.811
2	II	8	6.9	1240	1595	1100	37.374	33.178	42.677
3	III	8	6.9	1240	1600	1120	37.374	33.178	42.811

Keterangan :

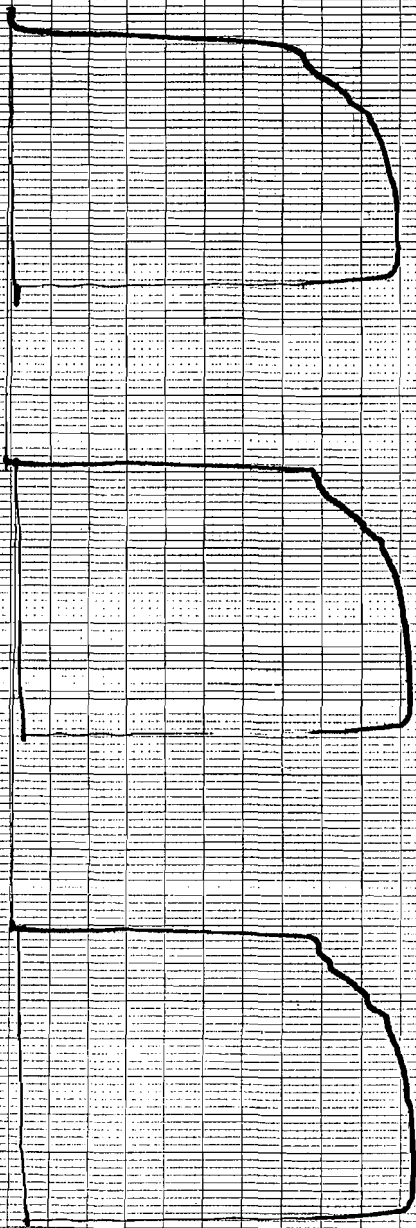
Nomor 1-3

Berdasarkan SII 0136-80

Masuk Mutu BJTP 30

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII



Lampiran 3.3

Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Luas Tulangan (A)} &= \frac{1}{4} \cdot \Pi \cdot D_{\text{tul rata-rata}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \Pi \cdot (6,9)^2 = 37,374 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan leleh (} f_{y_{\text{rerata}}} \text{)} &= \frac{P_{y_{\text{rerata}}}}{A_{\text{rerata}}} \\ &= \frac{1220}{37,374} = 32,6431 \text{ Kg/mm}^2 \\ &= 326,4 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tabel 5.2. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan

Benda Uji	Diameter Uji Ø mm	Tegangan Leleh f_y (MPa)	Tegangan Ultimit f_u (MPa)
I	6.9	315,73	428,11
II	6.9	331,78	426,77
III	6.9	331,78	428,11
	Rata-rata	326,4	427,66

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa hasil uji tarik baja tulangan yang dipakai termasuk dalam *BJTP 30* berdasarkan pada *SII 0136-80*, dengan tegangan leleh $f_y = 300 \text{ MPa}$.

Hasil Uji Kuat Lentur Balok Vierendeel

LAMPIRAN IV

Lampiran 4.1

Type : Pengujian Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

Tanggal Pengujian : 23 / 10 / 2004

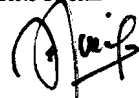
Tempat : Lab Mekanika Rekayasa Uii Jakal Km 14,4

Benda Uji : Sampel 1 dengan Rasio $a/h = 0,5$

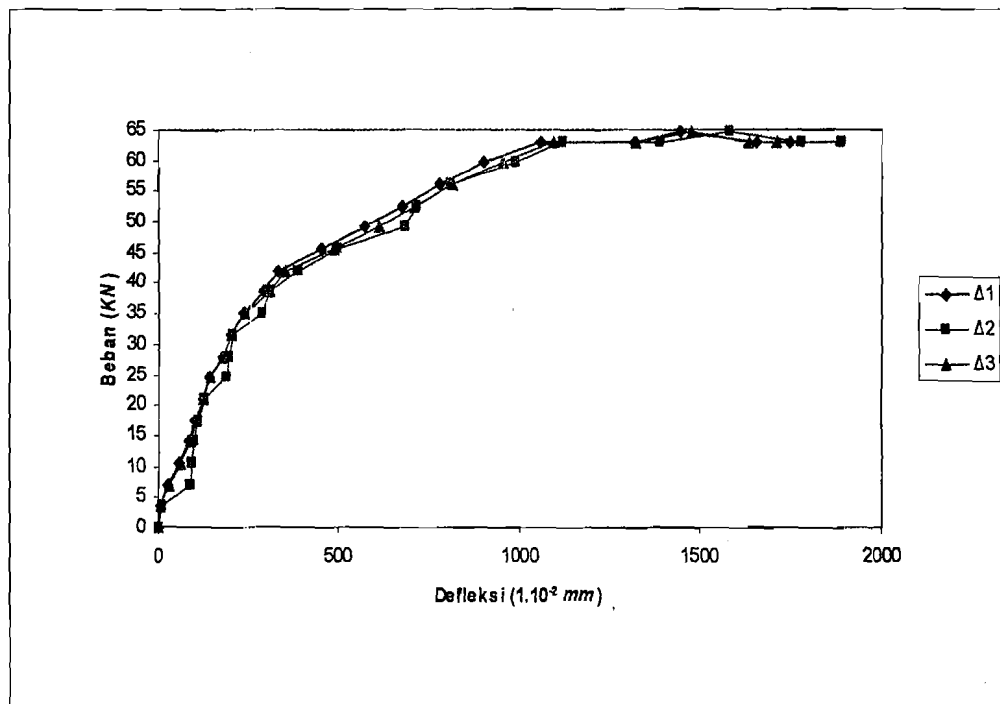
Beban	Defleksi		
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$
(kN)	(1.10^{-2} mm)	(1.10^{-2} mm)	(1.10^{-2} mm)
1	2	3	4
0	0	0	0
3.5	3.5	7	4.5
7	28	87	30
10.5	56	90	60
14	83	98	86
17.5	100	110	103
21	123	125	122
24.5	140	187	143
28	180	197	179
31.5	202	206	200
35	235	291	239
38.5	295	311	312
42	332	389	355
45.5	457	500	490
49	574	681	611
52.5	672	712	711
56	779	811	816
59.5	900	991	952
63	1058	1119	1096
63	1321	1391	1327
64.75	1448	1586	1479
63	1660	1782	1636
63	1750	1889	1717

Mengetahui ,

Laboran


(Aris Surranto)

Lampiran 4.2



Grafik hubungan beban-defleksi hasil pengujian pada benda uji 1

Dengan rasio $a/h = 0,5$

Lampiran 4.3

Type : Pengujian Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

Tanggal Pengujian : 23 / 10 / 2004

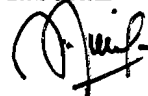
Tempat : Lab Mekanika Rekayasa Uii Jakal Km 14,4

Benda Uji : Sampel 1 dengan Rasio $a/h = 0,66$

Beban (kN)	Defleksi		
	$\Delta 1$ (1.10^{-2} mm)	$\Delta 2$ (1.10^{-2} mm)	$\Delta 3$ (1.10^{-2} mm)
1	2	3	4
0	0	0	0
3.5	3.5	10	7
7	26	31	17
10.5	46	49	40
14	70	78	68
17.5	84	123.5	81
21	108	135	106
24.5	129	143	122
28	155	210	155
31.5	178	216	190
35	341	412	404
38.5	540	612	606
42	637	715	706
45.5	758	830	835
49	886	909	978
52.5	1063	1114	1197
56	1333	1413	1528
56	1510	1610	1750
59.5	1810	2022	2117
59.5	1961	2214	2299

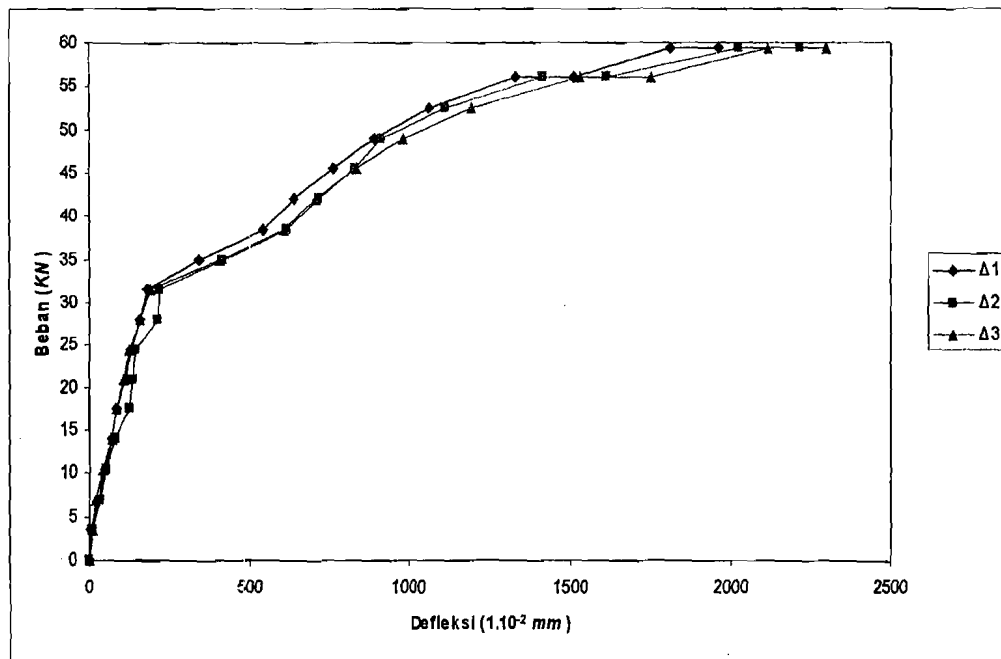
Mengetahui ,

Laboran



(Aris Sunanto)

Lampiran 4.4



Grafik hubungan beban-defleksi hasil pengujian pada benda uji 2

Dengan rasio $a/h = 0,66$

Lampiran 4.5

Type : Pengujian Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

Tanggal Pengujian : 23 / 10 / 2004

Tempat : Lab Mekanika Rekayasa Uii Jakal Km 14,4

Benda Uji : Sampel 1 dengan Rasio $a/h = 1,00$

Beban	Defleksi		
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$
(kN)	(1.10^{-2} mm)	(1.10^{-2} mm)	(1.10^{-2} mm)
1	2	3	4
0	0	0	0
3.5	0	2	9
7	0.2	28	36
10.5	3.5	53	59.5
14	46	89.9	97
17.5	57	115.5	121
21	250	282	267
24.5	464	535	543
28	660	728	734
31.5	852	892	898
35	1055	1054	1084
36.75	1448	1481	1485
36.75	1561	1546	1557
36.75	1664	1655	1669

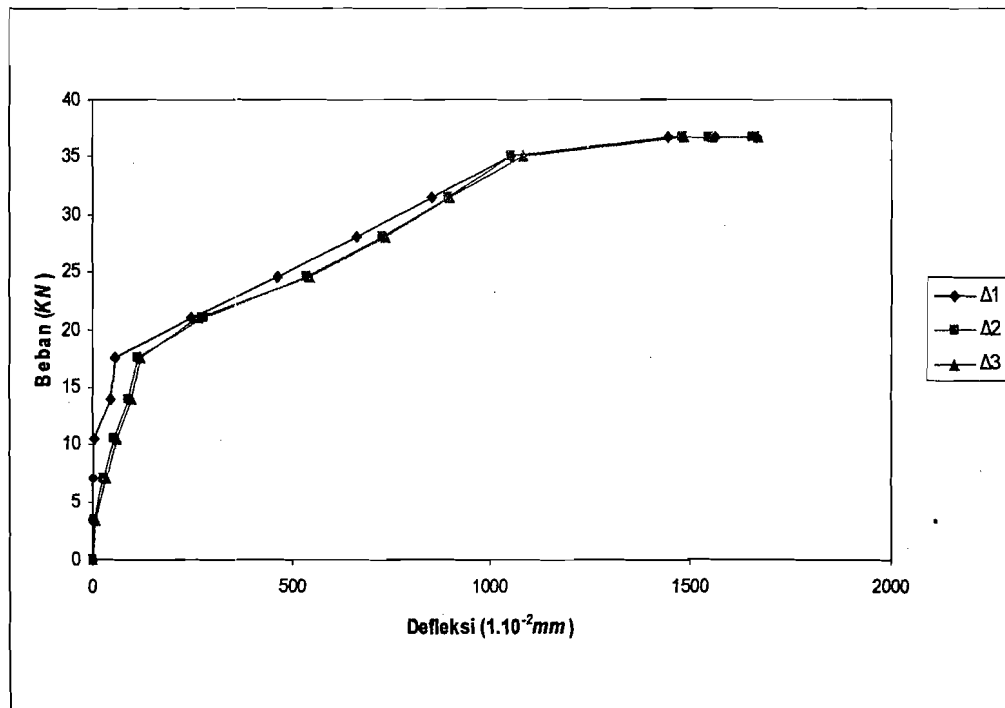
Mengetahui ,

Laboran



(Aris Sunanto)

Lampiran 4.6



Grafik hubungan beban-defleksi hasil pengujian pada benda uji 3

Dengan rasio $a/h = 1,00$

Lampiran 4.7

Type : Pengujian Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

Tanggal Pengujian : 21 / 10 / 2004

Tempat : Lab Mekanika Rekayasa Uii Jakal Km 14,4

Benda Uji : Sampel 1 dengan Rasio $a/h = 0,66$

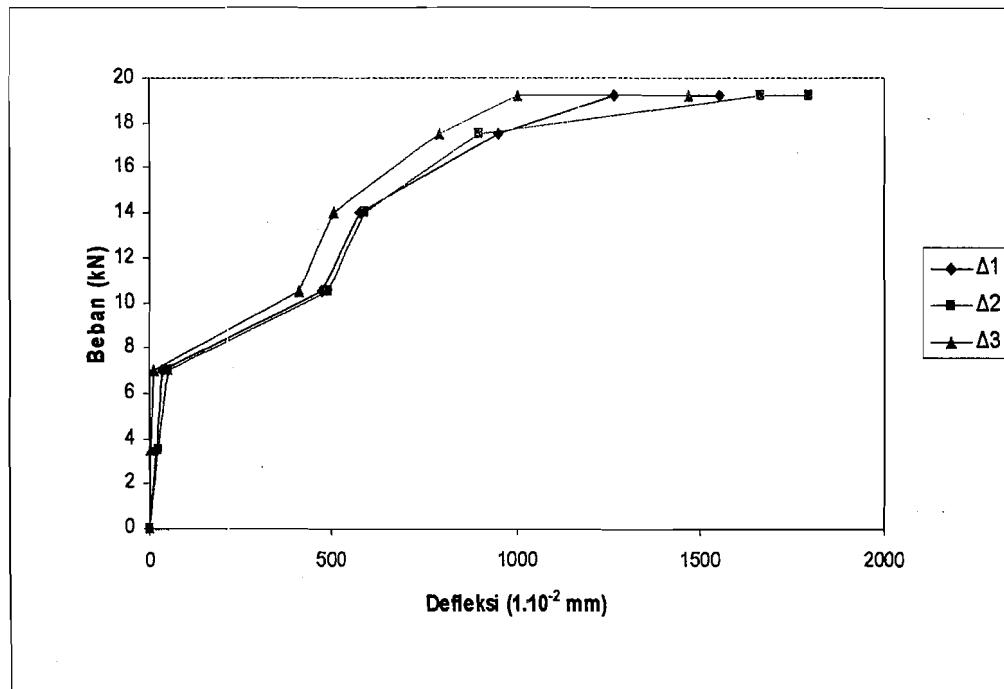
Beban	Defleksi		
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$
(kN)	(1.10^{-2} mm)	(1.10^{-2} mm)	(1.10^{-2} mm)
1	2	3	4
0	0	0	0
3.5	20	25	5
7	35	50	11
10.5	476	491	410
14	580	590	506
17.5	951	897	791
19.25	1265	1665	1002
19.25	1551	1795	1469

Mengetahui ,

Laboran


(Aris Sunanto)

Lampiran 4.8



Grafik hubungan beban-defleksi hasil pengujian pada benda uji 4

Dengan rasio $a/h = 2,00$

Hasil Analisis Program Sap 2000

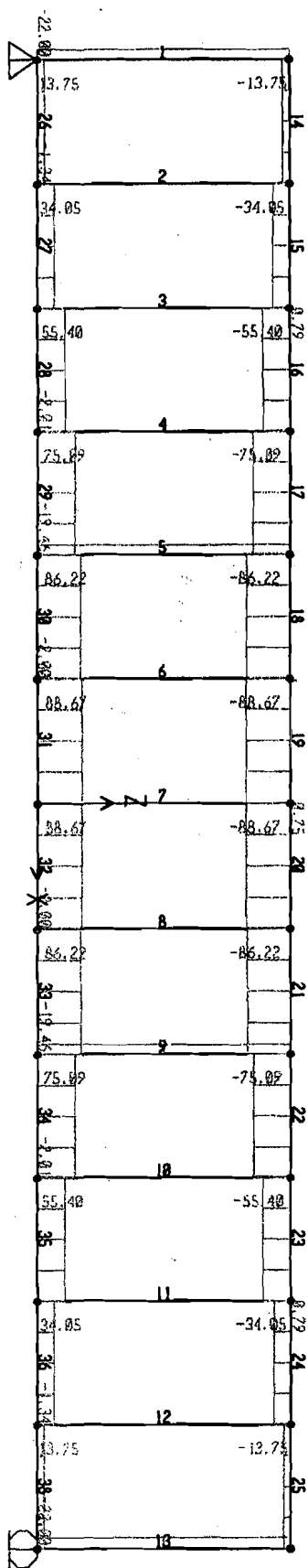
LAMPIRAN V

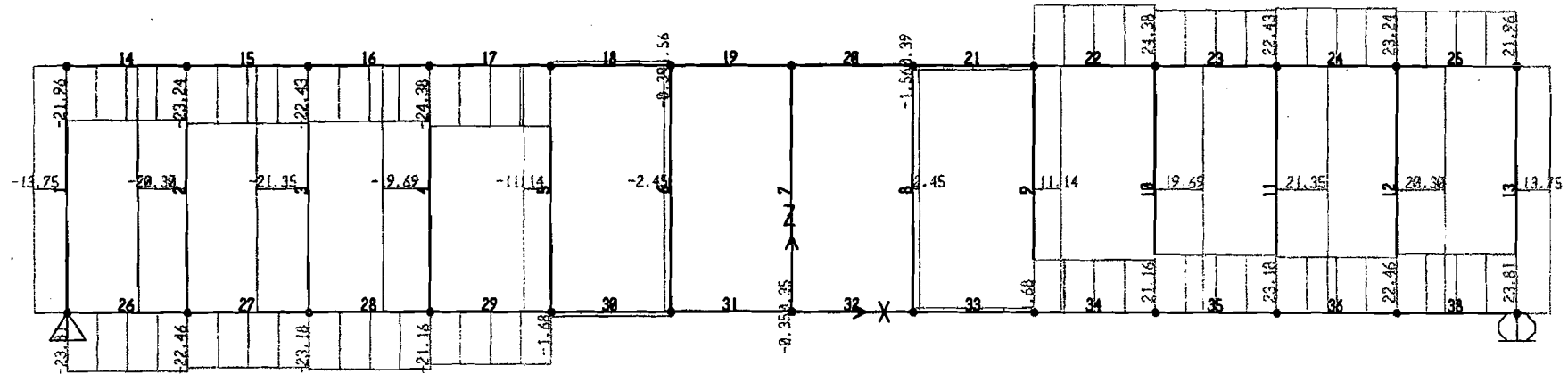
Lampiran 5.1

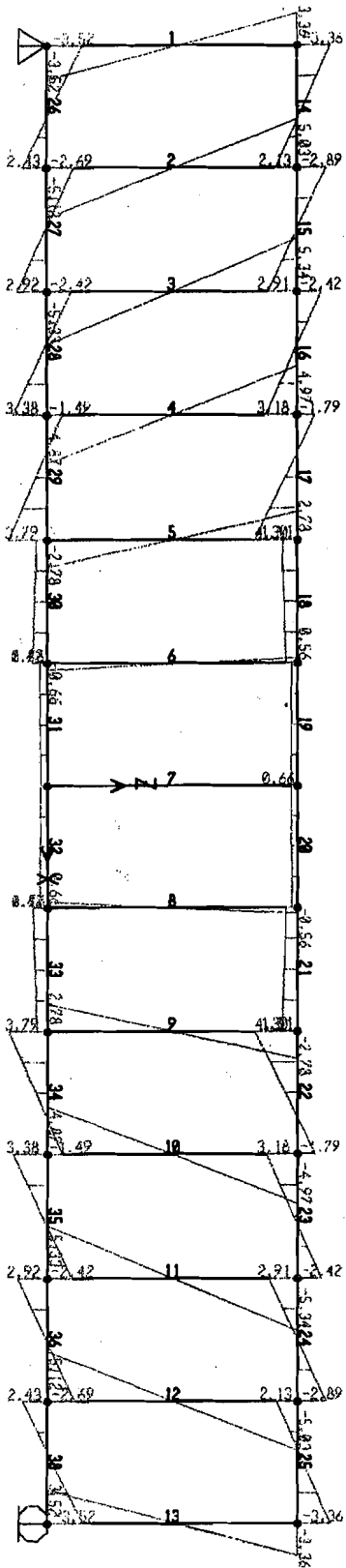
Hasil Analisis SAP 2000

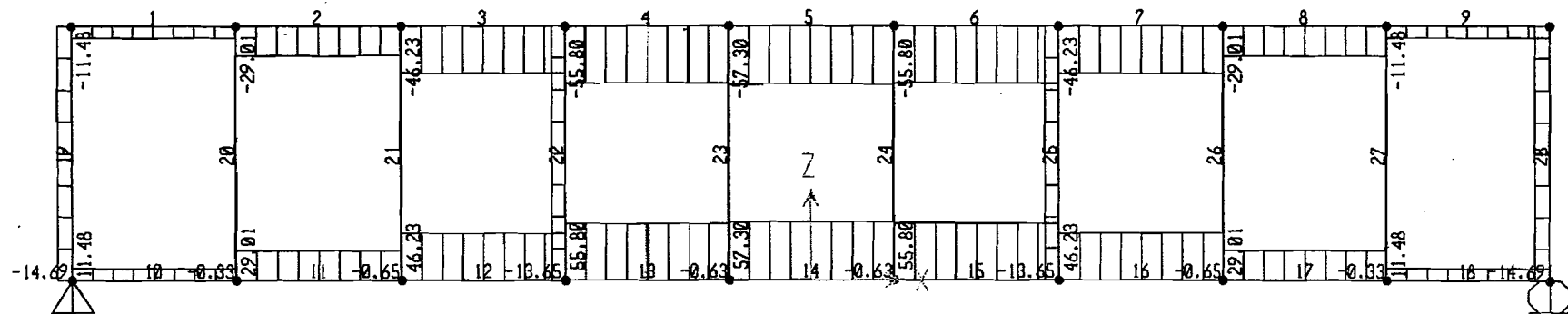
Benda Uji 1 dengan rasio $a/h = 0,5$

Elemen	Pn (kN)	Vn (kN)	Mn (kN-m)
1	-21.99656	-13.75068	-3.355072
2	-1.336019	-20.30069	-5.124566
3	0.7861349	-21.34514	5.337723
4	-2.008871	-19.68916	4.974282
5	-19.45563	-11.13893	-2.784756
6	-1.996563	-2.447193	-0.6638491
7	0.7475411	-1.18128E-13	2.95319E-14
8	-1.996563	2.447193	0.6638491
9	-19.45563	11.13893	2.784756
10	-2.008871	19.68916	-4.974282
11	0.7861349	21.34514	-5.337723
12	-1.336019	20.30069	5.124566
13	-21.99656	13.75068	-3.355072
14	-13.75068	-21.95797	-3.355072
15	-34.05138	-23.2361	2.912841
16	-55.39651	-22.43067	3.180375
17	-75.08568	-24.38165	4.299094
18	-86.2246	1.564904	1.514387
19	-88.6718	-0.3930666	0.6616809
20	-88.6718	0.3930666	0.6616809
21	-86.2246	-1.564904	1.514387
22	-75.08568	24.38165	4.299094
23	-55.39651	22.43067	3.180375
24	-34.05138	23.2361	2.912841
25	-13.75068	21.95797	-3.355072
26	13.75068	-23.81084	-3.520269
27	34.05138	-22.45552	2.916932
28	55.39651	-23.18377	3.375617
29	75.08568	-21.1556	3.791806
30	86.2246	-1.680681	1.424808
31	88.6718	0.3544744	0.7609587
32	88.6718	-0.3544744	0.7609587
33	86.2246	1.680681	1.424808
34	75.08568	21.1556	3.791806
35	55.39651	23.18377	3.375617
36	34.05138	22.45552	2.916932
38	13.75068	23.81084	-3.520269







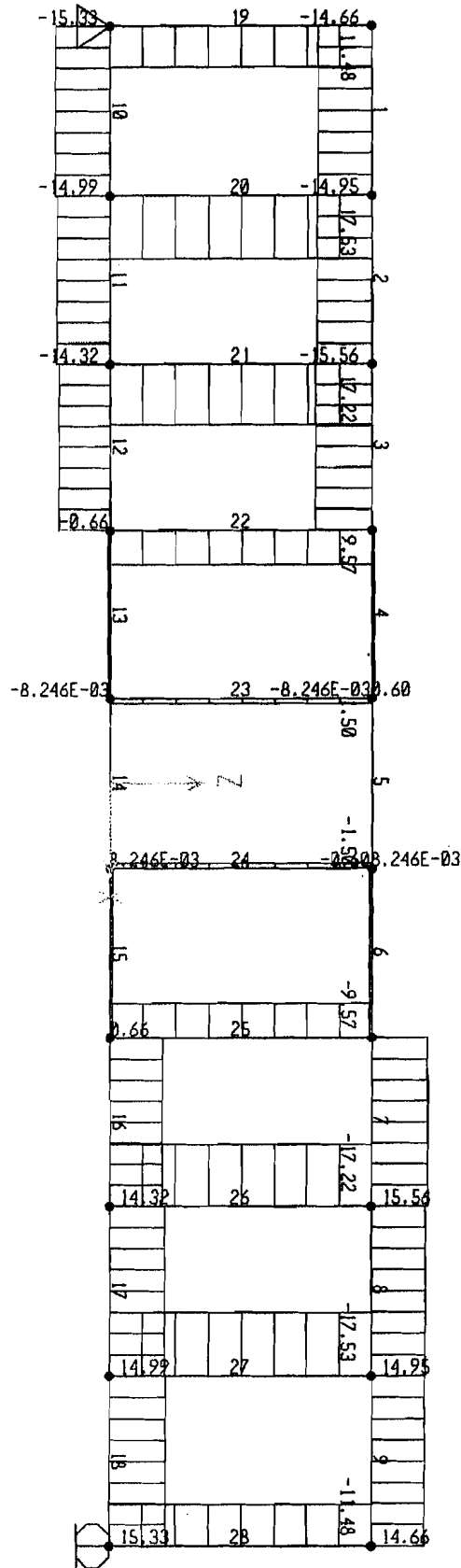


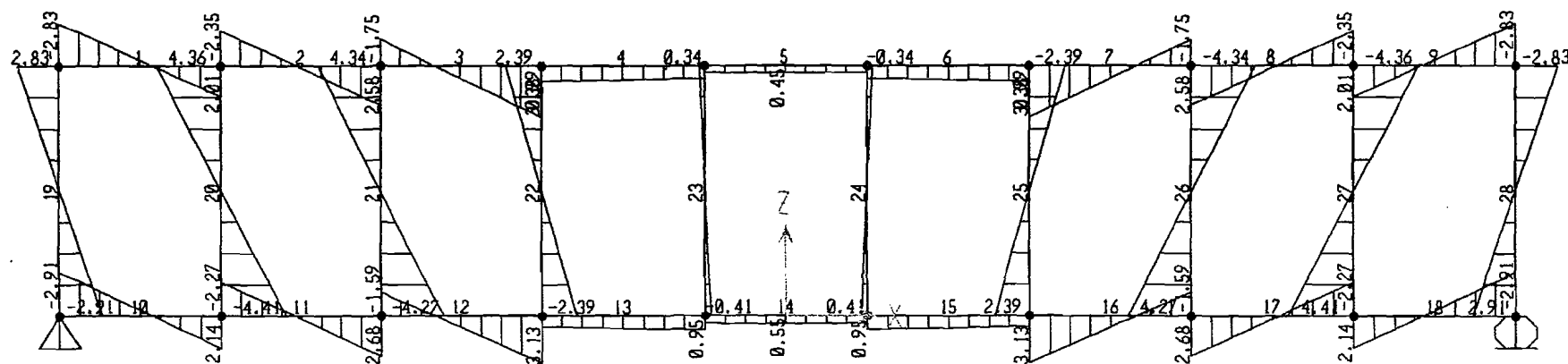
Lampiran 5.2

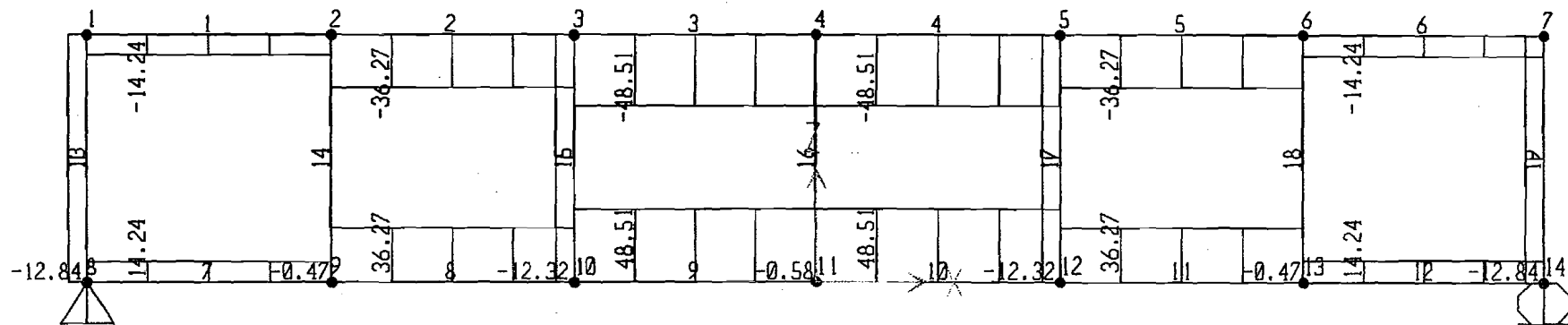
Hasil Analisis SAP 2000

Benda Uji 2 dengan rasio $a/h = 0,66$

Elemen	Pn (kN)	Vn (kN)	Mn (kN-m)
1	-16.07083	-20.52874	-3.957351
2	-40.61822	-20.93137	3.617653
3	-64.72065	-21.7832	4.73303
4	-78.11414	0.8371468	1.384707
5	-80.21397	0.01154394	0.6319364
6	-78.11414	-0.8371468	1.384707
7	-64.72065	21.7832	4.73303
8	-40.61822	20.93137	3.617653
9	-16.07083	20.52874	-3.957351
10	16.07083	-21.46898	-4.078064
11	40.61822	-20.98519	3.749712
12	64.72065	-20.0522	4.381184
13	78.11414	-0.9183042	1.331991
14	80.21397	0.01154394	0.7643051
15	78.11414	0.9183042	1.331991
16	64.72065	20.0522	4.381184
17	40.61822	20.98519	3.749712
18	16.07083	21.46898	-4.078064
19	-20.56372	16.07083	-4.078064
20	-0.4606988	24.54738	-6.174481
21	-0.9099038	24.10243	6.06927
22	-19.11081	13.39349	-3.348424
23	-0.8836724	2.099824	-0.5686378
24	-0.8836724	-2.099824	0.5686378
25	-19.11081	-13.39349	3.348424
26	-0.9099038	-24.10243	-6.06927
27	-0.4606988	-24.54738	6.174481
28	-20.56372	-16.07083	4.078064





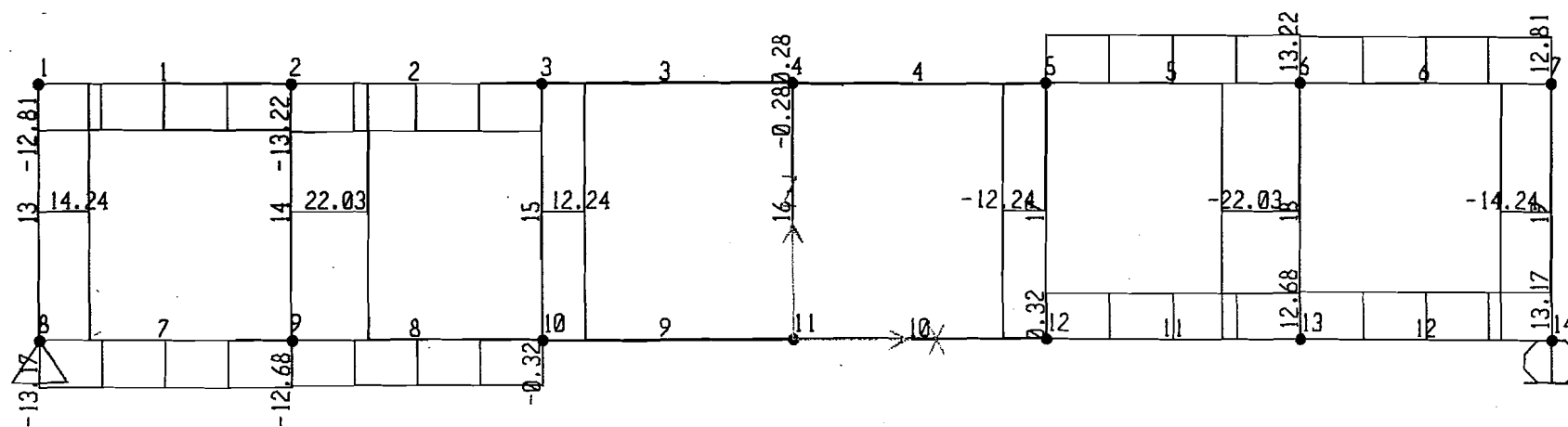


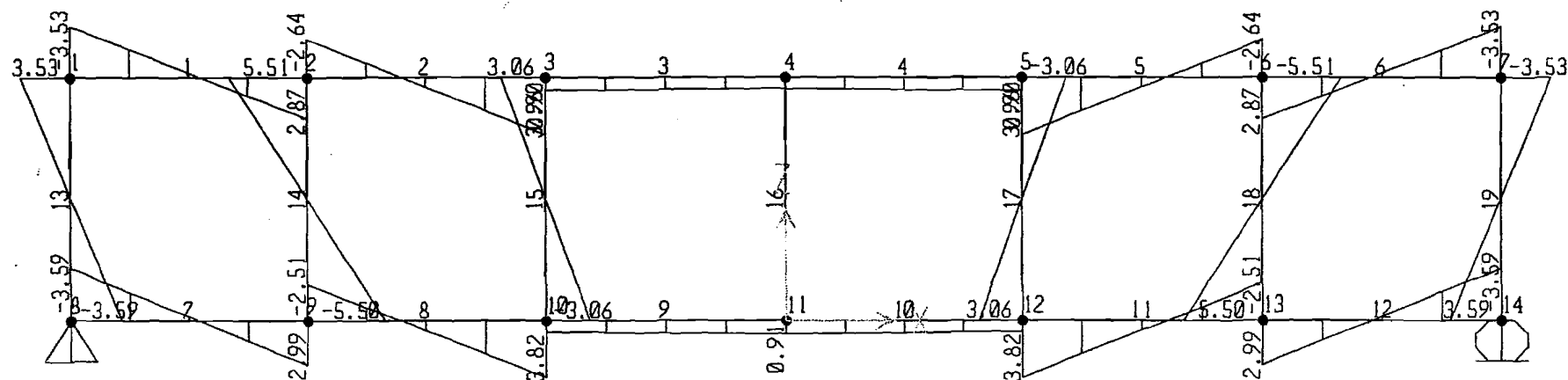
Lampiran 5.3

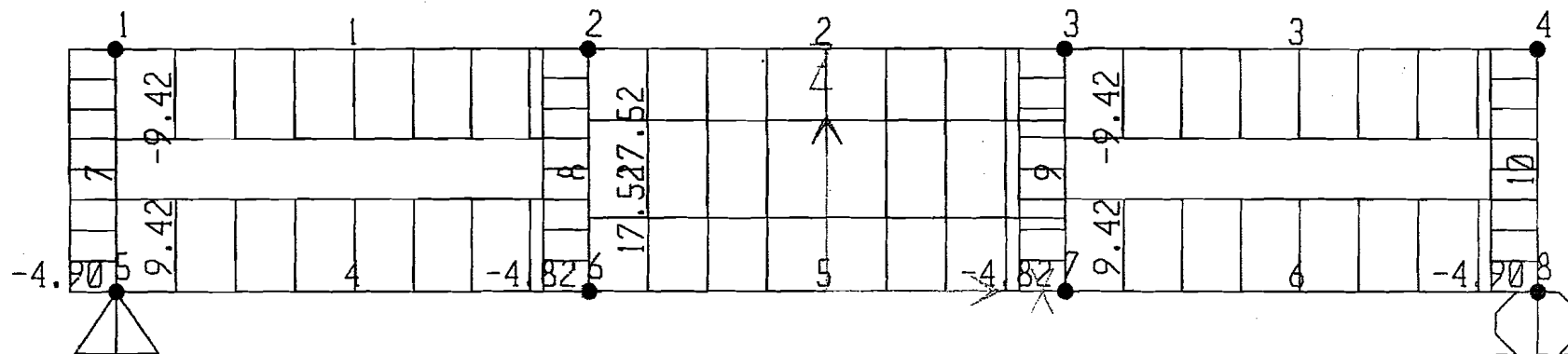
Hasil Analisis SAP 2000

Benda Uji 3 dengan rasio $a/h = 1,00$

Elemen	Pn (kN)	Vn (kN)	Mn (kN-m)
1	-14.24083	-12.81397	-3.53177
2	-36.27056	-13.21782	3.95711
3	-48.50906	0.2760907	0.8980463
4	-48.50906	-0.2760907	0.8980463
5	-36.27056	13.21782	3.95711
6	-14.24083	12.81397	-3.53177
7	14.24083	-13.17211	-3.588643
8	36.27056	-12.67612	3.816903
9	48.50906	-0.3221644	0.9101239
10	48.50906	0.3221644	0.9101239
11	36.27056	12.67612	3.816903
12	14.24083	13.17211	-3.588643
13	-12.84469	14.24083	-3.588643
14	-0.4652741	22.02974	5.511658
15	-12.32324	12.23849	-3.060183
16	-0.5828971	-8.64198E-14	2.19158E-14
17	-12.32324	-12.23849	3.060183
18	-0.4652741	-22.02974	-5.511658
19	-12.84469	-14.24083	3.588643





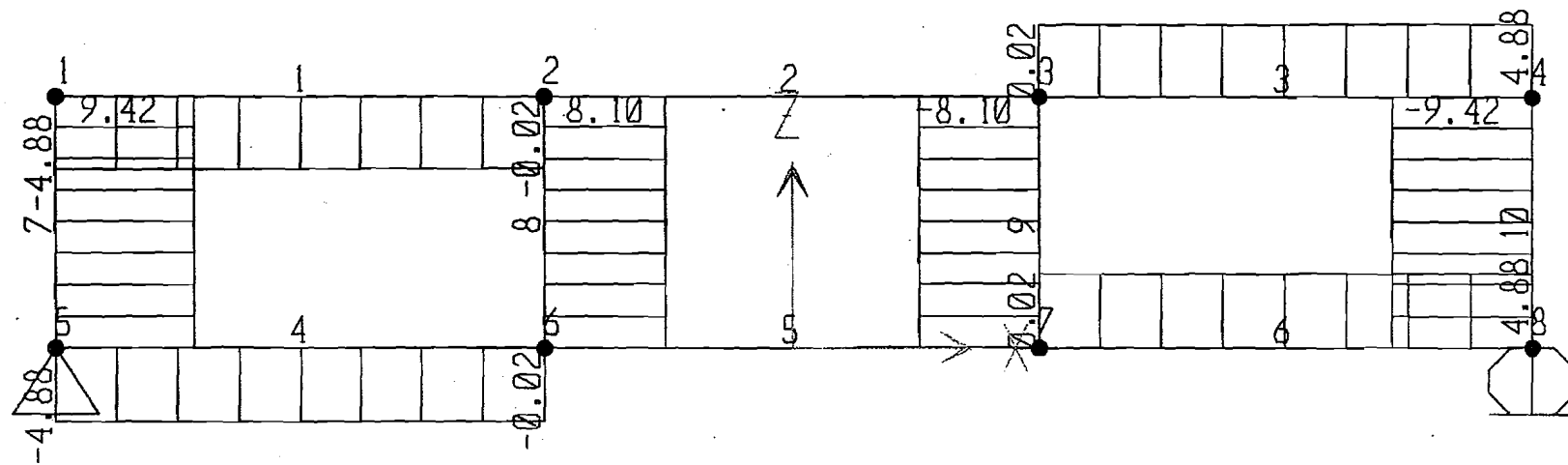


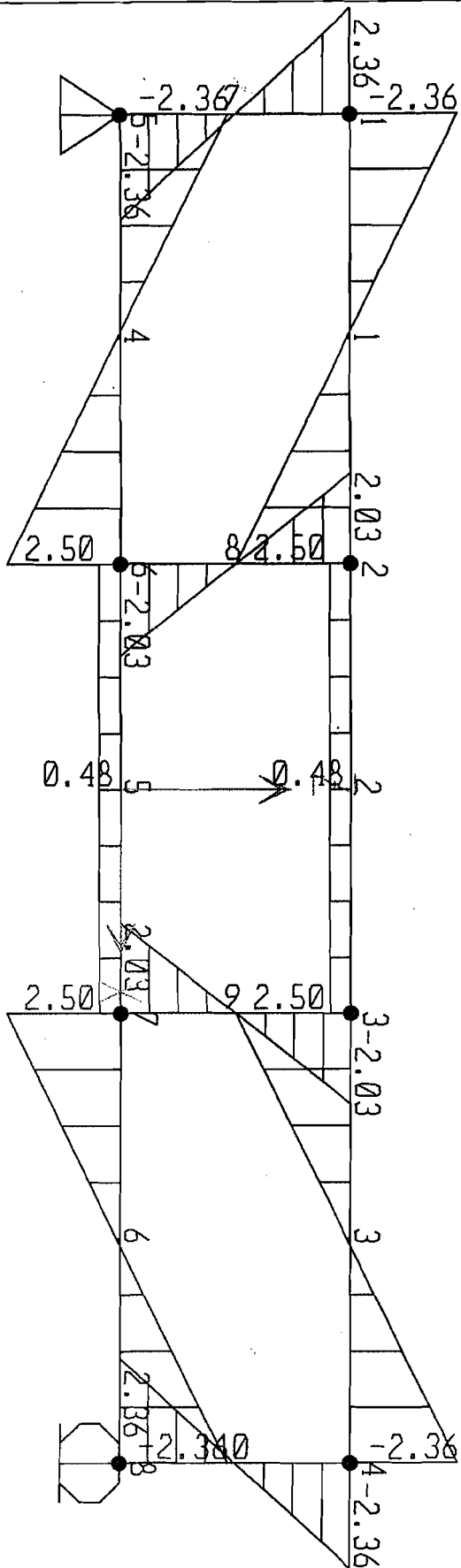
Lampiran 5.4

Hasil Analisis SAP 2000

Benda Uji 4 dengan rasio $a/h = 2,00$

Elemen	Pn (kN)	Vn (kN)	Mn (kN-m)
1	-13.19166	-6.831035	3.506427
2	-24.53433	0.02677248	0.6775115
3	-13.19166	6.831035	3.506427
4	13.19166	-6.831372	3.506606
5	24.53433	0.02677248	0.6775709
6	13.19166	6.831372	3.506606
7	-6.857808	13.19166	-3.297994
8	-6.751055	11.34267	-2.835728
9	-6.751055	-11.34267	2.835728
10	-6.857808	-13.19166	3.297994





Lampiran 5.5

Perbandingan antara Metode portal dengan Sap

Benda Uji 1 ($a/h=0,5$) Akibat Beban Luar (1kN)

Batang	Gaya Aksial			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	<i>kN</i>	<i>kN</i>		
Transversal				
1	0.250	0.240	0.960	0.040
2	0.000	0.014	1.000	0.000
3	0.000	0.008	1.000	0.000
4	0.000	0.022	1.000	0.000
5	0.250	0.214	0.858	0.142
6	0.000	0.022	1.000	0.000
7	0.000	0.008	1.000	0.000
8	0.000	0.022	1.000	0.000
9	0.250	0.214	0.858	0.142
10	0.000	0.022	1.000	0.000
11	0.000	0.008	1.000	0.000
12	0.000	0.014	1.000	0.000
13	0.250	0.240	0.960	0.040
Tepi Atas				
14	0.125	0.150	1.203	0.203
15	0.375	0.372	0.993	0.007
16	0.625	0.606	0.970	0.030
17	0.875	0.822	0.940	0.060
18	1.000	0.944	0.944	0.056
19	1.000	0.971	0.971	0.029
20	1.000	0.971	0.971	0.029
21	1.000	0.944	0.944	0.056
22	0.875	0.822	0.940	0.060
23	0.625	0.606	0.970	0.030
24	0.375	0.372	0.993	0.007
25	0.125	0.150	1.203	0.203
Tepi Bawah				
26	0.125	0.150	1.203	0.203
27	0.375	0.372	0.993	0.007
28	0.625	0.606	0.970	0.030

29	0.875	0.822	0.940	0.060
30	1.000	0.944	0.944	0.056
31	1.000	0.971	0.971	0.029
32	1.000	0.971	0.971	0.029
33	1.000	0.944	0.944	0.056
34	0.875	0.822	0.940	0.060
35	0.625	0.606	0.970	0.030
36	0.375	0.372	0.993	0.007
37	0.125	0.150	1.203	0.203

Gaya Aksial	x	f	fx	fx²
Tepi Atas	0.203	2.000	0.406	0.082
	0.007	2.000	0.014	0.000
	0.030	2.000	0.060	0.002
	0.060	2.000	0.120	0.007
	0.056	2.000	0.112	0.006
	0.029	2.000	0.058	0.002
		12.000	0.770	0.099
	Sd =	0.065		
Tepi Bawah	0.203	2.000	0.406	0.082
	0.007	2.000	0.014	0.000
	0.030	2.000	0.060	0.002
	0.060	2.000	0.120	0.007
	0.056	2.000	0.112	0.006
	0.029	2.000	0.058	0.002
		12.000	0.770	0.099
	Sd =	0.065		
Transversal	0.000	9.000	0.000	0.000
	0.004	2.000	0.008	0.000
	0.142	2.000	0.284	0.040
		13.000	0.292	0.040
	Sd =	0.051		

Lampiran 5.6

Batang	Gaya Geser			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	<i>kN</i>	<i>kN</i>		
Transversal				
1	0.125	0.150	1.203	0.203
2	0.250	0.222	0.888	0.112
3	0.250	0.234	0.935	0.065
4	0.250	0.216	0.864	0.136
5	0.125	0.122	0.976	0.024
6	0.000	0.027	1.000	0.000
7	0.000	0.000	1.000	0.000
8	0.000	0.027	1.000	0.000
9	0.125	0.122	0.976	0.024
10	0.250	0.216	0.864	0.136
11	0.250	0.234	0.935	0.065
12	0.250	0.222	0.888	0.112
13	0.125	0.150	1.203	0.203
Tepi Atas				
14	0.250	0.240	0.960	0.040
15	0.250	0.254	1.017	0.017
16	0.250	0.246	0.983	0.017
17	0.250	0.268	1.071	0.071
18	0.000	0.018	1.000	0.000
19	0.000	0.004	1.000	0.000
20	0.000	0.004	1.000	0.000
21	0.000	0.018	1.000	0.000
22	0.250	0.268	1.071	0.071
23	0.250	0.246	0.983	0.017
24	0.250	0.254	1.017	0.017
25	0.250	0.240	0.960	0.040
Tepi Bawah				
26	0.250	0.260	1.040	0.040
27	0.250	0.246	0.983	0.017
28	0.250	0.254	1.017	0.017
29	0.250	0.232	0.929	0.071
30	0.000	0.018	1.000	0.000
31	0.000	0.004	1.000	0.000

32	0.000	0.004	1.000	0.000
33	0.000	0.018	1.000	0.000
34	0.250	0.232	0.929	0.071
35	0.250	0.254	1.017	0.017
36	0.250	0.246	0.983	0.017
37	0.250	0.260	1.040	0.040

Gaya Geser	x	f	fx	fx²
Tepi Atas	0.000	4.000	0.000	0.000
	0.040	2.000	0.080	0.003
	0.017	4.000	0.068	0.001
	0.071	2.000	0.142	0.010
		12.000	0.290	0.014
	Sd =	0.025		
Tepi Bawah	0.000	4.000	0.000	0.000
	0.040	2.000	0.080	0.003
	0.017	4.000	0.068	0.001
	0.071	2.000	0.142	0.010
		12.000	0.290	0.014
	Sd =	0.025		
Transversal	0.203	2.000	0.406	0.082
	0.112	2.000	0.224	0.025
	0.065	2.000	0.130	0.008
	0.136	2.000	0.272	0.037
	0.024	2.000	0.048	0.001
	0.000	3.000	0.000	0.000
		13.000	1.080	0.154
	Sd =	0.070		

Lampiran 5.7

Batang	Momen			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	<i>kNm</i>	<i>kNm</i>		
Transversal				
1	0.031	0.038	1.232	0.232
2	0.063	0.056	0.897	0.103
3	0.063	0.058	0.936	0.064
4	0.063	0.055	0.873	0.127
5	0.031	0.031	0.976	0.024
6	0.000	0.007	1.000	0.000
7	0.000	0.000	1.000	0.000
8	0.000	0.007	1.000	0.000
9	0.031	0.031	0.976	0.024
10	0.063	0.055	0.873	0.127
11	0.063	0.058	0.935	0.065
12	0.063	0.056	0.897	0.103
13	0.031	0.038	1.232	0.232
Tepi Atas				
14	0.031	0.037	1.174	0.174
15	0.031	0.032	1.020	0.020
16	0.031	0.035	1.115	0.115
17	0.031	0.047	1.511	0.511
18	0.000	0.017	1.000	0.000
19	0.000	0.007	1.000	0.000
20	0.000	0.007	1.000	0.000
21	0.000	0.017	1.000	0.000
22	0.031	0.047	1.511	0.511
23	0.031	0.035	1.115	0.115
24	0.031	0.032	1.020	0.020
25	0.031	0.037	1.174	0.174
Tepi Bawah				
26	0.031	0.038	1.232	0.232
27	0.031	0.032	1.021	0.021
28	0.031	0.037	1.184	0.184
29	0.031	0.042	1.332	0.332
30	0.000	0.016	1.000	0.000
31	0.000	0.008	1.000	0.000

32	0.000	0.008	1.000	0.000
33	0.000	0.016	1.000	0.000
34	0.031	0.042	1.332	0.332
35	0.031	0.037	1.184	0.184
36	0.031	0.032	1.021	0.021
37	0.031	0.038	1.232	0.232

Momen	x	f	f.x	f.x²
Tepi Atas	0.174	2.000	0.348	0.061
	0.020	2.000	0.040	0.001
	0.511	2.000	1.022	0.522
	0.000	4.000	0.000	0.000
	0.115	2.000	0.230	0.026
		12.000	1.640	0.610
	Sd =	0.179		
Tepi Bawah	0.232	2.000	0.464	0.108
	0.021	2.000	0.042	0.001
	0.184	2.000	0.368	0.068
	0.332	2.000	0.664	0.220
	0.000	4.000	0.000	0.000
		12.000	1.538	0.397
	Sd =	0.129		
Transversal	0.232	2.000	0.464	0.108
	0.103	2.000	0.206	0.021
	0.064	2.000	0.128	0.008
	0.127	2.000	0.254	0.032
	0.024	2.000	0.048	0.001
	0.000	3.000	0.000	0.000
		13.000	1.100	0.170
	Sd =	0.077		

Lampiran 5.8

Perbandingan antara Metode portal dengan Sap

Benda Uji 2 ($a/h=0,66$) Akibat Beban Luar (1kN)

Batang	Gaya Aksial			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	<i>kN</i>	<i>kN</i>		
Tepi Atas				
1	0.167	0.191	1.150	0.150
2	0.500	0.484	0.969	0.031
3	0.833	0.772	0.927	0.073
4	0.999	0.932	0.933	0.067
5	0.167	0.957	5.747	4.747
6	0.999	0.932	0.933	0.067
7	0.833	0.772	0.927	0.073
8	0.500	0.484	0.969	0.031
9	0.167	0.191	1.150	0.150
Tepi Bawah				
10	0.167	0.191	1.150	0.150
11	0.500	0.484	0.969	0.031
12	0.833	0.772	0.927	0.073
13	0.999	0.932	0.933	0.067
14	0.167	0.957	5.747	4.747
15	0.999	0.932	0.933	0.067
16	0.833	0.772	0.927	0.073
17	0.500	0.484	0.969	0.031
18	0.167	0.191	1.150	0.150
Transversal				
19	0.250	0.244	0.978	0.022
20	0.000	0.005	1.000	0.000
21	0.000	0.011	1.000	0.000
22	0.250	0.229	0.917	0.083
23	0.000	0.010	1.000	0.000
24	0.000	0.010	1.000	0.000
25	0.250	0.229	0.917	0.083
26	0.000	0.011	1.000	0.000
27	0.000	0.005	1.000	0.000
28	0.250	0.244	0.978	0.022

Gaya Aksial	x	f	f.x	f.x²
Tepi Atas	0.150	2.000	0.300	0.045
	0.031	2.000	0.062	0.00192
	0.073	2.000	0.146	0.01066
	0.067	2.000	0.134	0.00898
	4.747	1.000	4.747	22.534
		9.000	5.389	22.6006
	Sd =	1.467		
Tepi Bawah	0.150	2.000	0.300	0.045
	0.031	2.000	0.062	0.00192
	0.073	2.000	0.146	0.01066
	0.067	2.000	0.134	0.00898
	4.747	1.000	4.747	22.534
		9.000	5.389	22.6006
	Sd =	1.467		
Transversal	0.000	6.000	0.000	0
	0.022	2.000	0.044	0.00097
	0.083	2.000	0.166	0.01378
		10.000	0.210	0.01475
	Sd =	0.032		

Lampiran 5.9

Batang	Gaya Geser			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Persen
	<i>kN</i>	<i>kN</i>		
Tepi Atas				
1	0.250	0.244	0.978	0.022
2	0.250	0.250	0.999	0.001
3	0.250	0.260	1.042	0.042
4	0.000	0.010	1.000	0.000
5	0.000	0.000	1.000	0.000
6	0.000	0.010	1.000	0.000
7	0.250	0.260	1.042	0.042
8	0.250	0.250	0.999	0.001
9	0.250	0.244	0.978	0.022
Tepi Bawah				
10	0.250	0.256	1.022	0.022
11	0.250	0.250	1.001	0.001
12	0.250	0.240	0.958	0.042
13	0.000	0.010	1.000	0.000
14	0.000	0.000	1.000	0.000
15	0.000	0.010	1.000	0.000
16	0.250	0.240	0.958	0.042
17	0.250	0.250	1.001	0.001
18	0.250	0.256	1.022	0.022
Transversal				
19	0.250	0.191	0.766	0.234
20	0.000	0.293	1.000	0.000
21	0.000	0.288	1.000	0.000
22	0.250	0.160	0.639	0.361
23	0.000	0.025	1.000	0.000
24	0.000	0.025	1.000	0.000
25	0.250	0.160	0.639	0.361
26	0.000	0.288	1.000	0.000
27	0.000	0.293	1.000	0.000
28	0.250	0.191	0.766	0.234

Gaya Geser	x	f	f.x	f.x²
Tepi Atas	0.022	2.000	0.044	0.001
	0.001	2.000	0.002	0.000
	0.000	3.000	0.000	0.000
	0.042	2.000	0.084	0.004
		9.000	0.130	0.004
	Sd =	0.017		
Tepi Bawah	0.022	2.000	0.044	0.001
	0.001	2.000	0.002	0.000
	0.042	2.000	0.084	0.004
	0.000	3.000	0.000	0.000
		9.000	0.130	0.004
	Sd =	0.017		
	0.234	2.000	0.468	0.110
	0.361	2.000	0.722	0.261
Transversal	0.000	6.000	0.000	0.000
		10.000	1.190	0.370
	Sd =	0.151		

Lampiran 5.10

Batang	Momen			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	kNm	kNm		
Tepi Atas				
1	0.042	0.047	1.133	0.133
2	0.042	0.043	1.037	0.037
3	0.042	0.057	1.360	0.360
4	0.000	0.017	1.000	0.000
5	0.000	0.008	1.000	0.000
6	0.000	0.017	1.000	0.000
7	0.042	0.057	1.360	0.360
8	0.042	0.043	1.037	0.037
9	0.042	0.047	1.133	0.133
Tepi Bawah				
10	0.042	0.049	1.167	0.167
11	0.042	0.045	1.075	0.075
12	0.042	0.052	1.258	0.258
13	0.000	0.016	1.000	0.000
14	0.000	0.009	1.000	0.000
15	0.000	0.016	1.000	0.000
16	0.042	0.052	1.258	0.258
17	0.042	0.045	1.075	0.075
18	0.042	0.049	1.167	0.167
Transversal				
19	0.042	0.049	1.167	0.167
20	0.083	0.074	0.884	0.116
21	0.083	0.072	0.871	0.129
22	0.042	0.040	0.960	0.040
23	0.000	0.007	1.000	0.000
24	0.000	0.007	1.000	0.000
25	0.042	0.040	0.960	0.040
26	0.083	0.072	0.871	0.129
27	0.083	0.074	0.884	0.116
28	0.042	0.049	1.167	0.167

Momen	x	f	f.x	f.x²
Tepi Atas	0.133	2.000	0.266	0.035
	0.037	2.000	0.074	0.003
	0.360	2.000	0.720	0.259
	0.000	3.000	0.000	0.000
		9.000	1.060	0.297
	Sd =	0.138		
Tepi Bawah	0.167	2.000	0.334	0.056
	0.075	2.000	0.150	0.011
	0.258	2.000	0.516	0.133
	0.167	2.000	0.334	0.056
	0.129	2.000	0.258	0.033
	0.040	2.000	0.080	0.003
		12.000	1.672	0.292
	Sd =	0.070		
Transversal	0.167	2.000	0.334	0.056
	0.000	2.000	0.000	0.000
	0.129	2.000	0.258	0.033
	0.040	2.000	0.080	0.003
	0.116	2.000	0.232	0.027
		10.000	0.904	0.119
	Sd =	0.061		

Lampiran 5.11

Perbandingan antara Metode portal dengan Sap

Benda Uji 3 ($a/h=1$) Akibat Beban Luar (1kN)

Batang	Gaya Aksial			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	<i>kN</i>	<i>kN</i>		
Tepi Atas				
1	0.250	0.274	1.097	0.097
2	0.750	0.699	0.933	0.067
3	1.000	0.936	0.936	0.064
4	1.000	0.936	0.936	0.064
5	0.750	0.699	0.933	0.067
6	0.250	0.274	1.097	0.097
Tepi Bawah				
7	0.500	0.274	0.549	0.451
8	0.750	0.699	0.933	0.067
9	1.000	0.936	0.936	0.064
10	1.000	0.936	0.936	0.064
11	0.750	0.699	0.933	0.067
12	0.250	0.274	1.097	0.097
Transversal				
13	0.250	0.247	0.986	0.014
14	0.000	0.009	1.000	0.000
15	0.250	0.239	0.957	0.043
16	0.000	0.011	1.000	0.000
17	0.250	0.239	0.957	0.043
18	0.000	0.009	1.000	0.000
19	0.250	0.247	0.986	0.014

Gaya Aksial	x	f	fx	fx²
Batang Atas	0.097	2.000	0.194	0.019
	0.064	2.000	0.128	0.008
	0.067	2.000	0.134	0.009
		6.000	0.456	0.036
	Sd =	0.015		
Batang Tepi	0.451	1.000	0.451	0.203
	0.067	2.000	0.134	0.009
	0.064	2.000	0.128	0.008
	0.097	1.000	0.097	0.009
		6.000	0.810	0.230
	Sd =	0.142		
Transversal	0.014	2.000	0.028	0.000
	0.000	3.000	0.000	0.000
	0.043	2.000	0.086	0.004
		7.000	0.114	0.004
	Sd =	0.018		

Lampiran 5.12

Batang	Gaya Geser			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	<i>kN</i>	<i>kN</i>		
Tepi Atas				
1	0.250	0.247	0.986	0.014
2	0.250	0.255	1.021	0.021
3	0.000	0.006	1.000	0.000
4	0.000	0.006	1.000	0.000
5	0.250	0.255	1.021	0.021
6	0.250	0.247	0.986	0.014
Tepi Bawah				
7	0.250	0.253	1.014	0.014
8	0.250	0.245	0.979	0.021
9	0.000	0.006	1.000	0.000
10	0.000	0.006	1.000	0.000
11	0.250	0.245	0.979	0.021
12	0.250	0.253	1.014	0.014
Transversal				
13	0.250	0.274	1.097	0.097
14	0.500	0.425	0.850	0.150
15	0.250	0.236	0.945	0.055
16	0.000	0.000	1.000	0.000
17	0.250	0.236	0.945	0.055
18	0.500	0.425	0.850	0.150
19	0.250	0.274	1.097	0.097

Gaya Geser	x	f	fx	fx ²
Tepi Atas	0.014	4.000	0.056	0.001
	0.021	4.000	0.084	0.002
	0.000	5.000	0.000	0.000
		13.000	0.140	0.003
	Sd =	0.009		
Tepi Bawah	0.014	4.000	0.056	0.001
	0.021	4.000	0.084	0.002
	0.000	5.000	0.000	0.000
		13.000	0.140	0.003
	Sd =	0.009		

Transversal	0.000	1.000	0.000	0.000
	0.150	2.000	0.300	0.045
	0.055	2.000	0.110	0.006
	0.097	2.000	0.194	0.019
		7.000	0.604	0.070
Sd =	0.050			

Lampiran 5.13

Batang	Momen			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	<i>kNm</i>	<i>kNm</i>		
Tepi Atas				
1	0.063	0.068	1.089	0.089
2	0.063	0.077	1.224	0.224
3	0.000	0.017	1.000	0.000
4	0.000	0.017	1.000	0.000
5	0.063	0.077	1.224	0.224
6	0.063	0.068	1.089	0.089
Tepi Bawah				
7	0.063	0.069	1.106	0.106
8	0.063	0.074	1.180	0.180
9	0.000	0.017	1.000	0.000
10	0.000	0.017	1.000	0.000
11	0.063	0.074	1.180	0.180
12	0.063	0.069	1.106	0.106
Transversal				
13	0.063	0.069	1.106	0.106
14	0.125	0.106	0.851	0.149
15	0.063	0.059	0.937	0.063
16	0.000	0.000	1.000	0.000
17	0.063	0.059	0.945	0.055
18	0.125	0.106	0.849	0.151
19	0.063	0.069	1.097	0.097

Momen	x	f	fx	fx ²
Tepi Atas	0.089	2.000	0.178	0.016
	0.224	2.000	0.448	0.100
	0.000	2.000	0.000	0.000
		6.000	0.626	0.116
	Sd =	0.092		
Tepi Bawah	0.106	2.000	0.212	0.022
	0.180	2.000	0.360	0.065
	0.000	2.000	0.000	0.000
		6.000	0.572	0.087
	Sd =	0.074		

Transversal	0.106	1.000	0.106	0.011
	0.149	1.000	0.149	0.022
	0.063	1.000	0.063	0.004
	0.000	1.000	0.000	0.000
	0.055	1.000	0.055	0.003
	0.151	1.000	0.151	0.023
	0.097	1.000	0.097	0.009
		7.000	0.621	0.073
	Sd =	0.050		

Lampiran 5.14

Perbandingan antara Metode portal dengan Sap

Benda Uji 4 ($a/h=2,0$) Akibat Beban Luar (1kN)

Batang	Gaya Aksial			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	kN	kN		
Tepi Atas				
1	0.500	0.484	0.968	0.032
2	1.000	0.901	0.901	0.099
3	0.500	0.484	0.968	0.032
Tepi Bawah				
4	0.500	0.484	0.968	0.032
5	1.000	0.901	0.901	0.099
6	0.500	0.484	0.968	0.032
Transversal				
7	0.250	0.250	1.000	0.000
8	0.250	0.250	1.000	0.000
9	0.250	0.250	1.000	0.000
10	0.250	0.250	1.000	0.000

Gaya Aksial	x	f	fx	fx ²
Tepi Atas	0.099	1.000	0.099	0.010
	0.032	2.000	0.064	0.002
	$\Sigma =$	3.000	0.163	0.012
	Sd =	0.032		
Tepi Bawah	0.099	1.000	0.099	0.010
	0.032	2.000	0.064	0.002
	$\Sigma =$	3.000	0.163	0.012
	Sd =	0.032		
Transversal	0.000	4.000	0.000	0.000
	$\Sigma =$	4.000	0.000	0.000
	Sd =	0.000		

Lampiran 5.15

Batang	Gaya Geser			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	kN	kN		
Tepi Atas				
1	0.250	0.250	1.000	0.000
2	0.000	0.000	1.000	0.000
3	0.250	0.250	1.000	0.000
Tepi Bawah				
4	0.250	0.250	1.000	0.000
5	0.000	0.000	1.000	0.000
6	0.250	0.250	1.000	0.000
Transversal				
7	0.500	0.484	0.968	0.032
8	0.500	0.417	0.833	0.167
9	0.500	0.417	0.833	0.167
10	0.500	0.484	0.968	0.032

Gaya Geser	x	f	f.x	f.x ²
Tepi Atas	0.000	3.000	0.000	0.000
	$\Sigma =$	3.000	0.000	0.000
	Sd =	0.000		
Tepi Bawah	0.000	3.000	0.000	0.000
	$\Sigma =$	3.000	0.000	0.000
	Sd =	0.000		
Tranversal	0.032	2.000	0.064	0.002
	0.167	2.000	0.334	0.056
	$\Sigma =$	4.000	0.398	0.058
	Sd =	0.068		

Lampiran 5.16

Batang	Momen			
	Metode Portal	SAP	Rasio	Nilai Penyimpangan
	<i>kNm</i>	<i>kNm</i>		
Tepi Atas				
1	0.125	0.129	1.032	0.032
2	0.000	0.025	1.000	0.000
3	0.125	0.129	1.032	0.032
Tepi Bawah				
4	0.125	0.129	1.032	0.032
5	0.000	0.025	1.000	0.000
6	0.125	0.129	1.032	0.032
Transversal				
7	0.125	0.121	0.968	0.032
8	0.125	0.104	0.833	0.167
9	0.125	0.104	0.833	0.167
10	0.125	0.121	0.968	0.032

Momen	x	f	f.x	f.x ²
Tepi Atas	0.032	2.000	0.064	0.002
	0.000	1.000	0.000	0.000
	Σ =	3.000	0.064	0.002
	Sd =	0.015		
Tepi Bawah	0.032	2.000	0.064	0.002
	0.000	1.000	0.000	0.000
	Σ =	3.000	0.064	0.002
	Sd =	0.015		
Tranversal	0.032	2.000	0.064	0.002
	0.167	2.000	0.334	0.056
	Σ =	4.000	0.398	0.058
	Sd =	0.068		

Dokumentasi Penelitian

LAMPIRAN VI

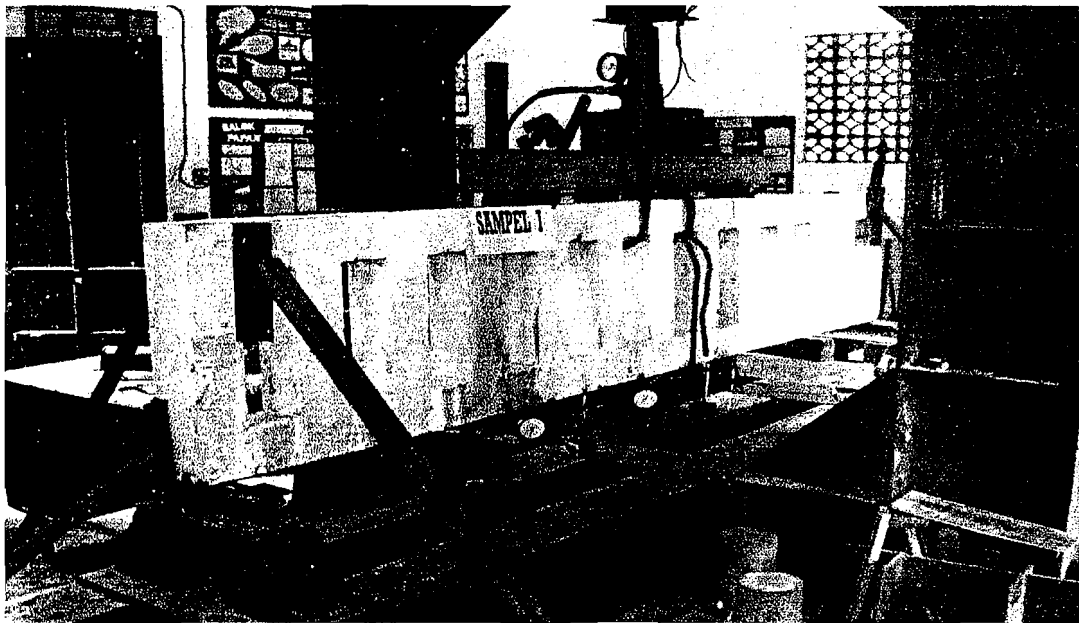
Lampiran 6.1



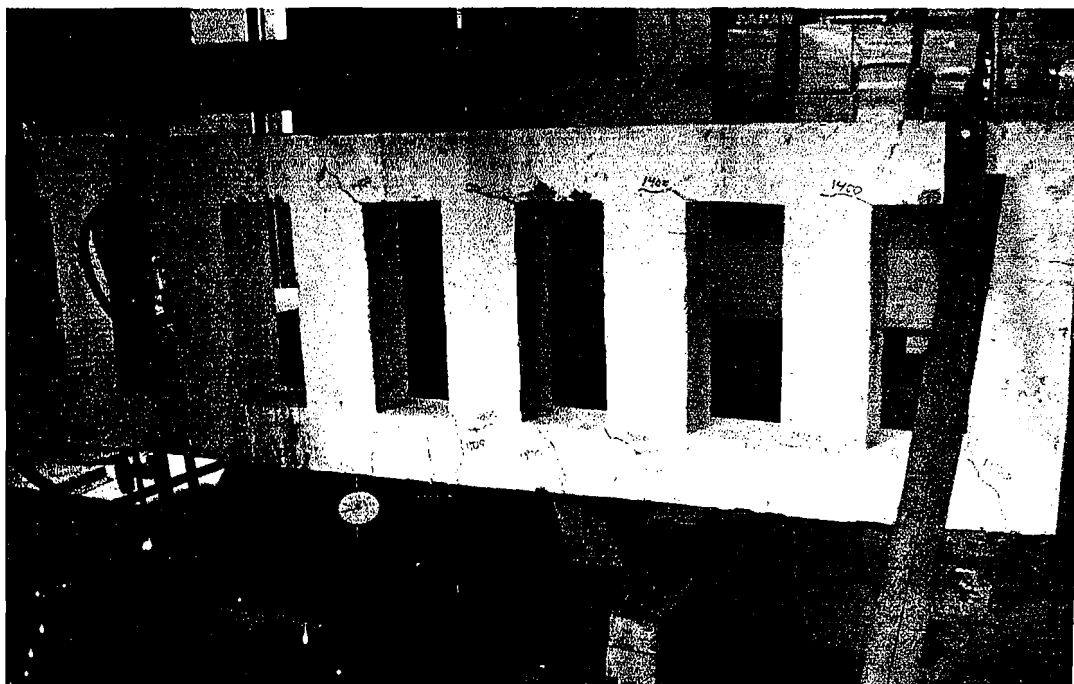
Pembuatan campuran adukan beton dengan molen



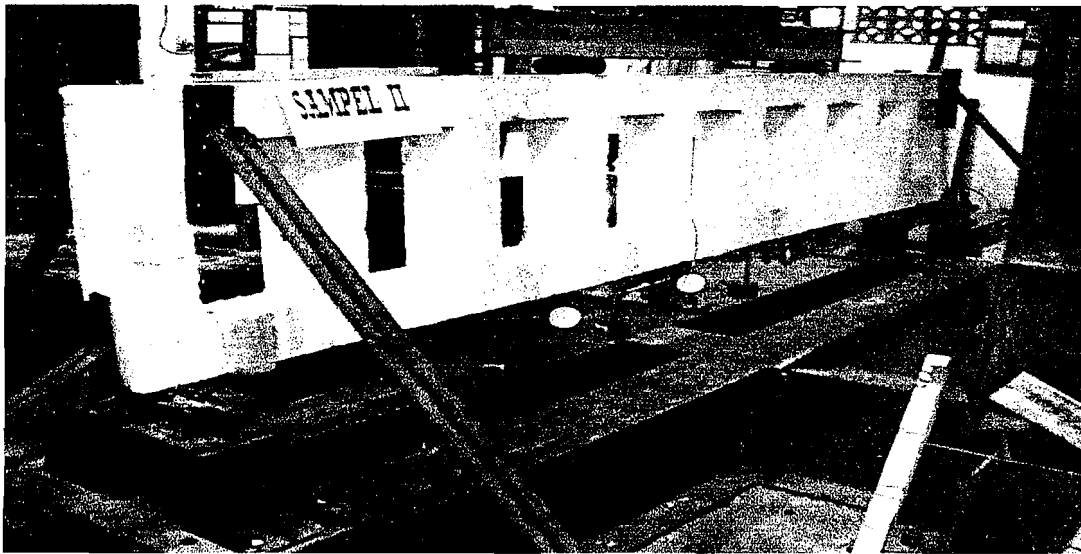
Pengecoran balok vierendeel



Benda uji 1($a/h=0,5$) sebelum dilakukan pengujian



Benda uji 1($a/h=0,5$) setelah dilakukan pengujian

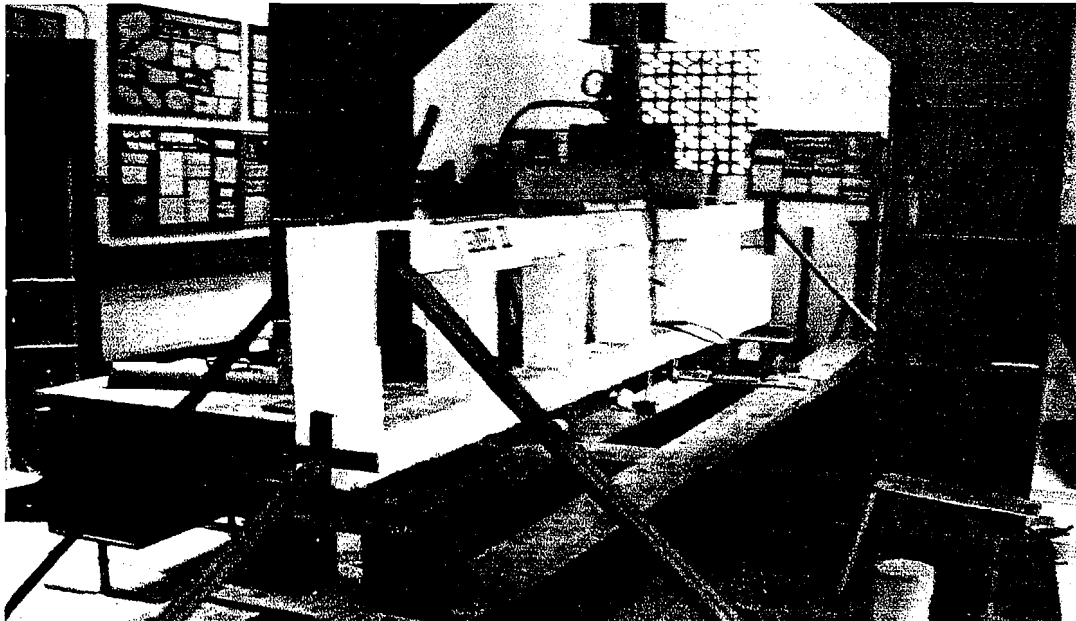


Benda uji 2 ($a/h=0,66$) sebelum dilakukan pengujian

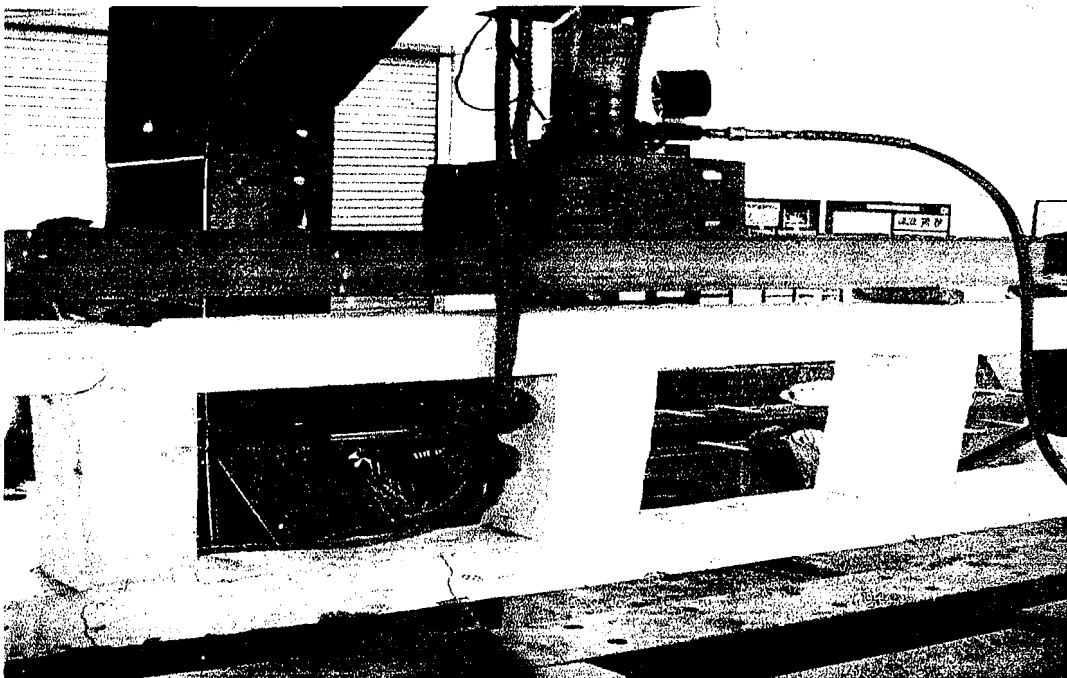


Benda uji 2 ($a/h=0,66$) setelah dilakukan pengujian

Lampiran 6.4

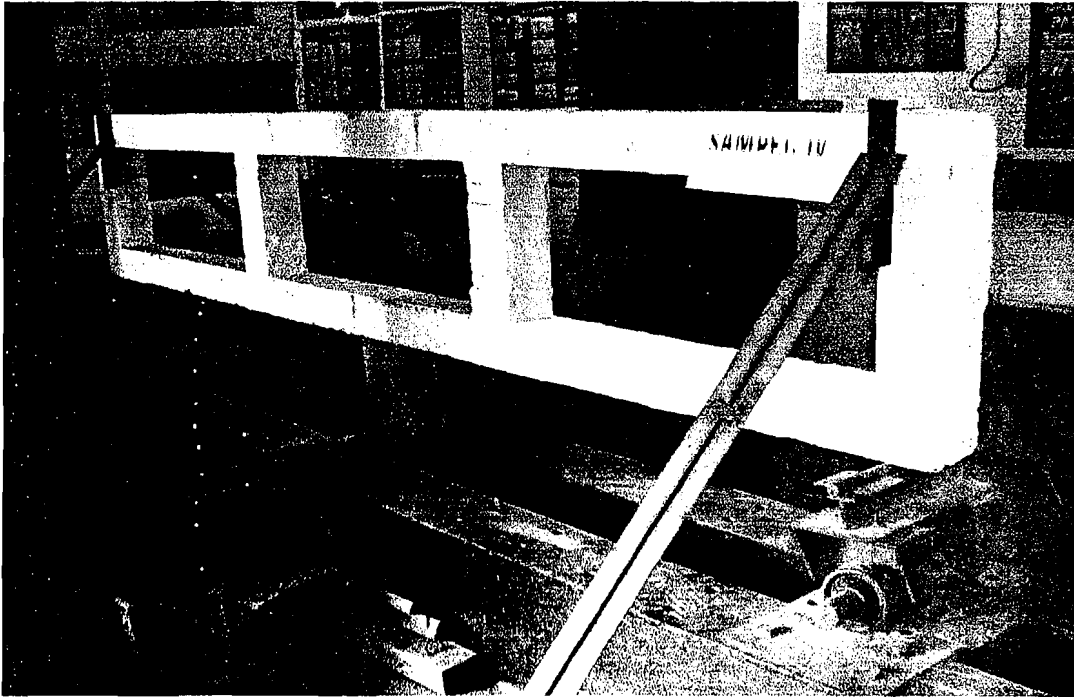


Benda uji 3 ($a/h=1,00$) sebelum dilakukan pengujian

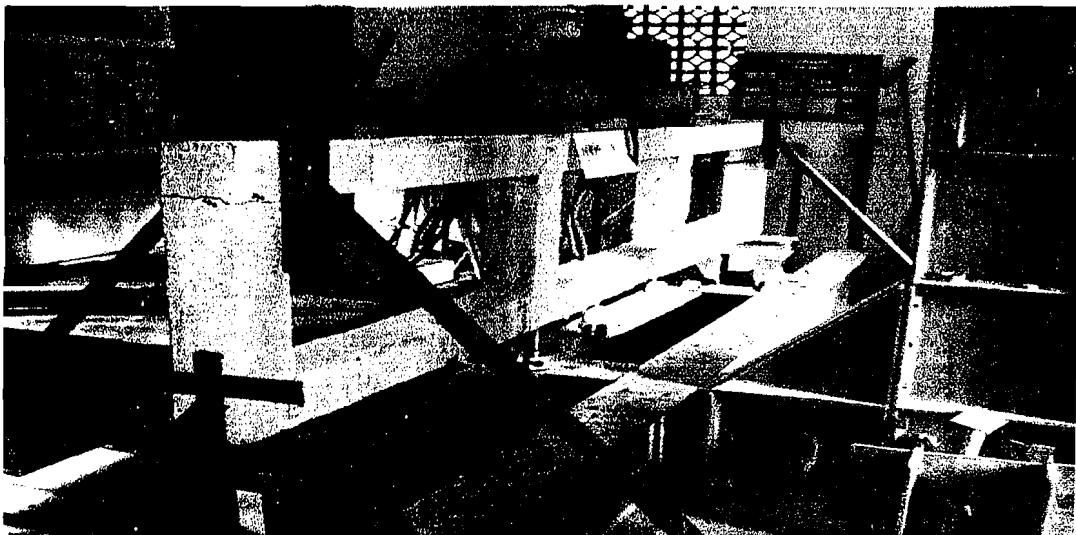


Benda uji 3 ($a/h=1,00$) setelah dilakukan pengujian

Lampiran 6.5



Benda uji 4 ($a/h=2,00$) sebelum dilakukan pengujian



Benda uji 4 ($a/h=2,00$) setelah dilakukan pengujian