

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil'alamiin, puji syukur Kita panjatkan ke hadirat Allah SWT yang sampai saat ini masih memberikan pada kita semua Rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tentang **PERILAKU BALOK VIERENDEEL BETON DENGAN VARIASI JARAK SENGKANG** ini dengan baik.

Penelitian yang dilaksanakan ini merupakan salah satu syarat bagi penulis untuk mencapai derajat sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dengan selesainya penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D., selaku dosen Pembimbing Utama dengan penuh perhatian, kesabaran dan ketekunan waktunya untuk membimbing penulis,
2. Ir. H. Suharyatmo, MT., selaku dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan ide – ide dasar, pengarahan dan bimbingannya dengan penuh kesabaran sehingga selesainya penelitian penulis,
3. Dr. Ir. H. Harsoyo, MSc., selaku dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan pengarahan dengan penuh kesabaran sehingga laporan ini dapat terselesaikan,

4. Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
5. Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT., selaku Kepala Laboratorium Mekanika Rekayasa, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
6. Ir. H. Ilman Noor, MSCE., selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ijin untuk melaksanakan penelitian ini,
7. Mamah dan Bapak, Tete - Tete ku tercinta (Teh Tike dan A Tedi, Teh Susi dan A Yudi) yang selalu memberikan dorongan dan doa hingga selesainya penelitian ini,
8. Teman – teman seperjuangan di Laboratorium Mekanika Rekayasa : Tiko (Jack Patikawa) dan Jeky (Tyo), Bang Napi dan Bang Rizal terima kasih atas bantuan tenaga dan fikirannya.
9. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Mekanika Rekayasa dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, terutama untuk Mas Aris Sunanto atas bantuan tenaga dan waktunya.
10. Teman – teman Omerta sipil 99 ; Wahyu, Dimas, Aan Yono Burlian, Gundul, Dana, Dayat, Si joe, Daniel, Caroko, Antok, Panji '97 atas masukannya.

11. Teman – teman Sipil angkatan 2000, Suroho, Faqih, Arif, Agung, Yogi, Rois, Heru, Aditya, Rifki, Yoseph, Supriyono terima kasih atas dorongan semangat dan masukannya
12. Anak – anak kontrakan 81; Gondrong, Bom – bom, Antok, Dion, Bapak Sugiarto (Pak Pon), Ardi, Aan, Ape,
13. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian ini,

Penulis menyadari bahwa hasil penelitian tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Penulis berharap agar penelitian ini dapat bermanfaat bagi penelitian penelitian selanjutnya.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Jogjakarta, Agustus 2005

Penulis

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 3.1	Balok <i>vierendeel</i> dengan beban luar.....	9
GAMBAR 3.2	Gaya – gaya dalam pada balok <i>vierendeel</i>	10
GAMBAR 3.3	Titik – titik belok pada balok <i>vierendeel</i>	10
GAMBAR 3.4	Freebody balok <i>vierendeel</i> pada titik belok <i>a</i>	12
GAMBAR 3.5	Freebody balok <i>vierendeel</i> pada titik belok <i>b</i>	13
GAMBAR 3.6	Freebody balok <i>vierendeel</i> pada titik belok <i>c</i>	14
GAMBAR 3.7	Gaya batang dan momen	16
GAMBAR 3.8	Gaya batang dan momen	17
GAMBAR 3.9	Freebody potongan balok <i>vierendeel</i>	18
GAMBAR 3.10	Potongan batang <i>d</i> pada Gambar 3.4.....	18
GAMBAR 3.11	Potongan Batang <i>e</i> pada Gambar 3.4.....	19
GAMBAR 3.12	Potongan batang <i>f</i> pada Gambar 3.4.....	20
GAMBAR 3.13	Hubungan jarak sengkang terhadap beban	24
GAMBAR 3.14	Hubungan jarak sengkang – gaya geser	26
GAMBAR 3.15	Hubungan momen – jarak sengkang	27
GAMBAR 3.16	Batang Tekan - Lentur.....	29
GAMBAR 3.17	Tampang melintang balok - kolom.....	30
GAMBAR 3.18	Hubungan beban aksial – momen - eksentrisitas.....	31
GAMBAR 3.19	Defleksi pada balok <i>vierendeel</i>	35
GAMBAR 3.20	Hubungan beban - lendutan.....	36
GAMBAR 3.21	Defleksi pada balok <i>vierendeel</i>	36
GAMBAR 3.22	Hubungan momen - kelengkungan.....	37
GAMBAR 4.1	Flowchart metode penelitian	40
GAMBAR 4.2	Universal testing material.....	42
GAMBAR 4.3	Loading frame.....	43
GAMBAR 4.4	Dial gauge.....	44
GAMBAR 4.5	Hidrolik jack	44
GAMBAR 4.6	Kerucut abrasi.....	45
GAMBAR 4.7	Model benda uji.....	47

DAFTAR TABEL

TABEL 3.1 Hubungan jarak sengkang terhadap beban.....	24
TABEL 3.2 Hubungan jarak sengkang terhadap gaya geser.....	25
TABEL 3.3 Hubungan jarak sengkang terhadap momen.....	27
TABEL 5.1 Pengujian kuat tarik baja tulangan.....	53
TABEL 5.2 Pengujian silinder beton.....	54
TABEL 5.3 Hasil uji kuat lentur benda uji 1.....	55
TABEL 5.4 Hasil uji kuat lentur benda uji 2.....	57
TABEL 5.5 Hasil uji kuat lentur benda uji 3.....	58
TABEL 5.6 Hasil uji kuat lentur benda uji 4.....	59
TABEL 5.7 Hubungan momen kelengkungan benda uji 1.....	63
TABEL 5.8 Hubungan momen kelengkungan benda uji 2.....	65
TABEL 5.9 Hubungan momen kelengkungan benda uji 3.....	67
TABEL 5.10 Hubungan momen kelengkungan benda uji 4.....	69
TABEL 5.11 Analisa faktor kekakuan dari data hubungan momen – kelengkungan.....	72
TABEL 5.12 Gaya – gaya setiap benda uji sebagai balok.....	75
TABEL 5.13 Gaya aksial dan momen ultimit pada benda uji 1.....	79
TABEL 5.14 Gaya aksial dan momen ultimit pada benda uji 2.....	81
TABEL 5.15 Gaya aksial dan momen ultimit pada benda uji 3.....	83
TABEL 5.16 Gaya aksial dan momen ultimit pada benda uji 4.....	85
TABEL 5.17 Gaya geser akibat beban luar dan kapasitas geser tampang benda uji 1.....	88
TABEL 5.18 Gaya geser akibat beban luar dan kapasitas geser tampang benda uji 2.....	89
TABEL 5.19 Gaya geser akibat beban luar dan kapasitas geser tampang benda uji 3.....	90
TABEL 5.20 Gaya geser akibat beban luar dan kapasitas geser tampang benda uji 4.....	91

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1. Perhitungan rencana
- LAMPIRAN 2. Perhitungan P – Delta
- LAMPIRAN 3. Perhitungan balok - kolom
- LAMPIRAN 4. Perhitungan Pada Tinjauan Geser
- LAMPIRAN 5. Contoh perhitungan Momen - kelengkungan
- LAMPIRAN 6. Data Pengujian kuat tarik baja tulangan
- LAMPIRAN 7. Data Perencanaan Adukan Beton (*Mix Design*)
- LAMPIRAN 8. Data Pengujian Silinder Beton
- LAMPIRAN 9. Data hasil uji kuat lentur balok *viereendeel*
- LAMPIRAN 10. Perhitungan gaya – gaya batang dengan SAP2000 pada benda uji 1
- LAMPIRAN 11. Perhitungan gaya – gaya batang dengan SAP2000 pada benda uji 2
- LAMPIRAN 12. Perhitungan gaya – gaya batang dengan SAP2000 pada benda uji 3
- LAMPIRAN 13. Perhitungan gaya – gaya batang dengan SAP2000 pada benda uji 4

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak sengkang terhadap kapasitas lentur pada balok *vierendeel* beton?
2. Bagaimana hubungan beban - lendutan yang terjadi pada balok *vierendeel* beton?
3. Bagaimana hubungan momen – kelengkungan yang terjadi pada balok *vierendeel* beton tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. mengetahui pengaruh dari variasi jarak sengkang terhadap kapasitas lentur balok *vierendeel* beton,
2. mencari hubungan beban – lendutan dan
3. mencari hubungan momen – kelengkungan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. mengetahui pengaruh variasi jarak sengkang terhadap beban lentur pada balok beton *vierendeel*,
2. mengetahui besarnya kekuatan (tekan - lentur),

10. Uji pembebanan hanya dilakukan dengan pembebanan terpusat pada setiap sepertiga bentang.

11. Pengolahan data menggunakan SAP2000.

$$\Sigma H = 0$$

$$T_c - C_c = \frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} \quad (9)$$

Dari hasil analisis di atas, tampak bahwa gaya aksial pada batang tepi akan semakin besar mendekati tengah bentang.

3.2.2 Gaya Geser Pada Batang Tepi

Perhitungan gaya geser pada batang V_{sa} dapat dilakukan dengan merujuk pada Gambar 3.4. Dengan keseimbangan vertikal :

$$\Sigma V = 0$$

$$2V_{sa} + \frac{1}{2}P - \frac{1}{2}P = 0 \quad (10)$$

$$V_{sa} = 0 \quad (11)$$

Perhitungan gaya geser pada batang V_{sb} dapat dilakukan dengan merujuk pada Gambar 3.5 Dengan keseimbangan vertikal :

$$\Sigma V = 0$$

$$2V_{sb} - \frac{1}{2}P = 0 \quad (12)$$

$$V_{sb} = \frac{1}{4}P \quad (13)$$

Merujuk dari Gambar 3.6, besar gaya geser sepanjang sepertiga bentang di sisi kiri dan kanan adalah sama, maka :

$$\Sigma V = 0$$

$$2V_{sc} - \frac{1}{2}P = 0 \quad (14)$$

$$M_d = \frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} \times 0,5H \quad (43)$$

$$M_d = \frac{1}{8} P\lambda \quad (44)$$

Momen pada batang (e) dapat dicari dengan keseimbangan rotasi pada perpotongan batang tepi dan batang transversal seperti tampak pada Gambar 3.11.

$$M_e = V_{se} \times 0,5H \quad (45)$$

$$M_e = \frac{1}{2} \frac{P\lambda}{H} \times 0,5H \quad (46)$$

$$M_e = \frac{1}{4} P\lambda \quad (47)$$

Momen pada batang (f) dapat dicari dengan keseimbangan rotasi pada perpotongan batang tepi dan batang transversal seperti tampak pada Gambar 3.12.

$$M_f = V_{sf} \times 0,5H \quad (48)$$

$$M_f = \frac{1}{4} \frac{P\lambda}{H} \times 0,5H \quad (49)$$

$$M_f = \frac{1}{8} P\lambda \quad (50)$$

Dari analisis di atas tampak, bahwa momen terbesar terjadi pada batang transversal (e).

3.2.7 Pengaruh Jarak Sengkang Terhadap Balok *Vierendeel* Beton

Tinjauan pengaruh jarak sengkang disini meliputi : tinjauan terhadap beban (P), tinjauan terhadap geser, dan tinjauan terhadap momen.

3.4 Batang Tekan Pada Balok *Vierendeel*

Pada kasus balok *vierendeel* batang tekan dapat dijumpai sebagai batang tepi atas dan transversal. Gaya tekan pada balok *vierendeel* dapat dilihat dengan rumus pendekatan :

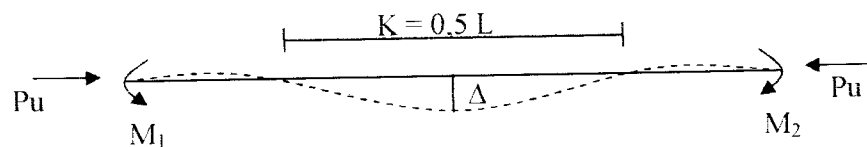
$$C = \frac{M}{H} \quad (63)$$

Dimana : M = Momen kritis
 C = Gaya tekan yang bekerja
 H = Tinggi batang

Seperti yang telah dijelaskan bahwa batang tekan yang panjang akan mengalami kegagalan karena tekuk pada batang, sedangkan batang tekan yang gemuk pendek dapat dibebani sampai materialnya leleh bahkan mungkin hingga mencapai daerah pengerasan regangan (*strain hardening*).

3.5 Kombinasi Tekan - Lentur

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 3.16 (W.C. Vis dan Gideon Kusuma,1993).



Gambar 3.16 Batang Tekan-Lentur

Dari Gambar 3.21, dy/dx dapat didekati dengan persamaan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (83)$$

turunan persamaan (83) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx} (2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (84)$$

karena $2\Delta x$ adalah konstanta, maka:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (85)$$

selanjutnya didapat :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(y_{i+2} - 2y_i - y_{i-2})}{(\Delta x)^2} \quad (86)$$

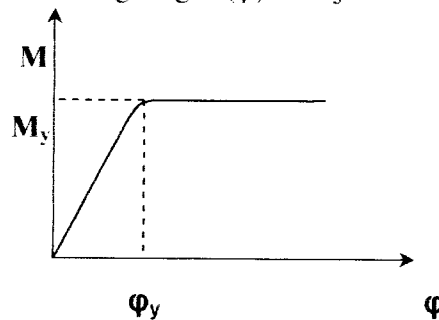
persamaan (86) dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(y_{i+1} - 2y_i - y_{i-1})}{(\Delta x)^2} \quad (87)$$

persamaan differensial untuk balok elastis adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \quad (88)$$

Hubungan momen (m) dan kelengkungan (φ) ditunjukkan oleh gambar 3.22.

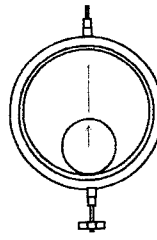


Gambar 3.22 Hubungan momen-kelengkungan

3.9 Hipotesa

Berdasarkan analisis sebelumnya, tampak bahwa apabila suatu struktur balok badan terbuka (non solid) dalam hal ini balok *viereendeel* diberi beban sentris (P) maka akan terjadi lendutan. Besarnya lendutan dipengaruhi oleh beban (P), panjang bentang (L), modulus elastisitas (E), dan momen inersia penampang.

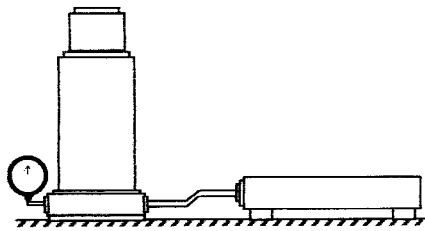
Pembebanan rangka *viereendeel* juga akan mempengaruhi besarnya jarak sengkang yang diperlukan. Dari hasil perhitungan hubungan pembebanan (P) dengan pengaruh besarnya variasi jarak sengkang terhadap momen (M), maka didapat kesimpulan bahwa semakin renggang (jauh) jarak sengkang yang dipakai maka akan terjadi degradasi momen pada balok *viereendeel* beton.



Gambar 4.4 *Dial gauge*

5. *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 0,2 ton.



Gambar 4.5 *Hydraulic Jack*

6. 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.

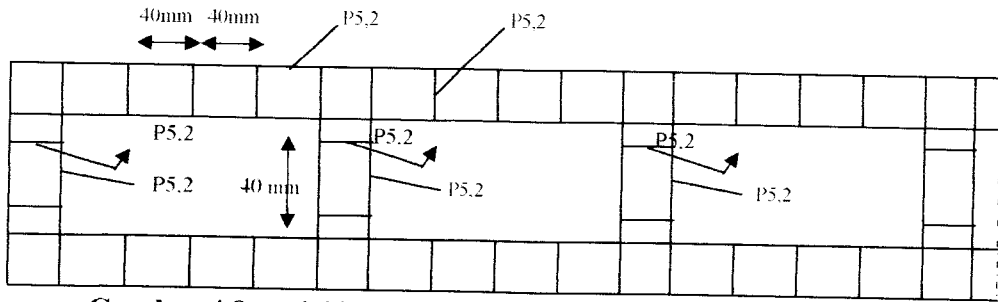
adalah pengujian terhadap bahan penyusun beton yang meliputi pemeriksaan *SSD*, berat jenis, dan modulus halus butir.

Setelah pengujian bahan penyusun, dilakukan perencanaan pencampuran adukan (*Mix Design*) dengan metode *DOE* untuk mengetahui proporsi perbandingan bahan penyusun yang meliputi perbandingan berat PC : pasir : agregat : air. Selanjutnya dilakukan pengujian nilai slump untuk mengetahui kelecakan adukan beton. Adapun alat yang digunakan adalah corong baja bentuk kerucut atau dikenal dengan kerucut Abrams yang kedua ujungnya berlubang. Pada lubang atas mempunyai diameter 10 cm, sedangkan pada lubang bawah berdiameter 20 cm, serta tinggi 30 cm. Selain itu digunakan juga tongkat baja berdiameter 16 mm dengan panjang 60 cm yang digunakan untuk menusuk campuran beton agar menjadi padat.

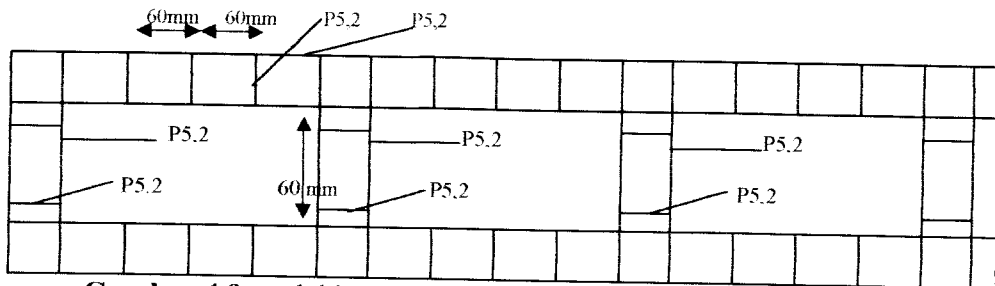
4.4 Model Benda Uji

Pada penelitian kali ini akan digunakan sampel berupa balok *vierendeel* beton dengan panjang bentang dari As ke As adalah (L) = 3,00 m dengan variasi jarak sengkang dengan tebal balok tepi dan batang transversal = 12 cm. Sampel yang digunakan adalah sebagai berikut.

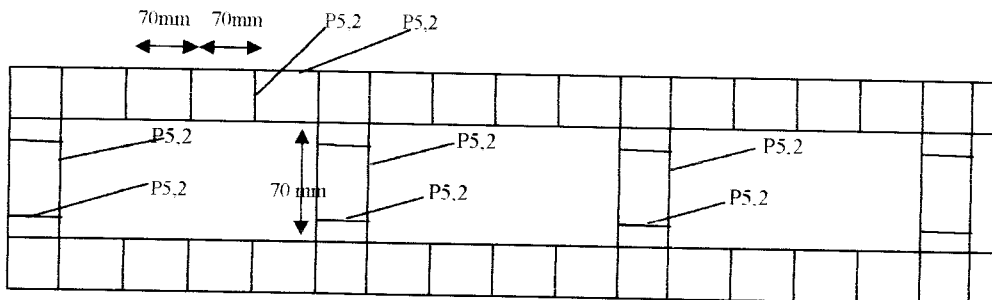
1. benda uji I : $B = 12$ cm, $H = 50$ cm dipasang tulangan dengan diameter 5,2 mm dan $f_c' = 10$ MPa, jarak sengkang 40 mm diameter 5,2 mm,



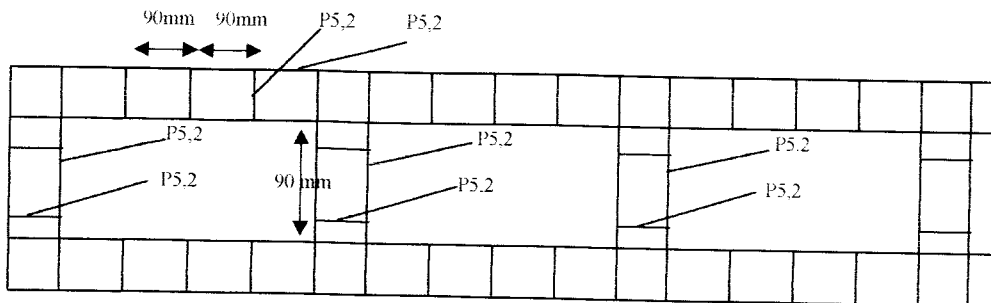
Gambar 4.8 model benda uji I jarak sengkang 40 mm (Potongan b-b)



Gambar 4.9 model benda uji II jarak sengkang 60 mm (Potongan b-b)



Gambar 4.10 model benda uji III jarak sengkang 70 mm (Potongan b-b)



Gambar 4.11 model benda uji IV jarak sengkang 90 mm (Potongan b-b)

3. Pengujian Benda Uji Balok *Vierendeel* Beton

Tahapan pengujian meliputi persiapan alat dan pengujian benda uji balok *viendeel* beton.

3.1 Persiapan Peralatan

Tahapan persiapan peralatan untuk adalah :

1. *setting* terhadap alat yang akan digunakan,
2. dukungan sendi-rol diletakan pada *loading frame* (gambar 4.5) yang digunakan untuk menumpu benda uji dengan panjang 3 m,
3. *hidraulic jack* (gambar 4.3) diletakan pada tumpuan yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang membebani benda uji, dan
4. *dial gauge* (gambar 4.4) diletakan dibawah benda uji. *dial gauge* yang digunakan sebanyak 3 buah yang diletakan pada jarak 0.5 m, pada sepertiga tengah bentang.

3.2 Pegujian Benda Uji Balok *Vierendeel* Beton

Dalam pelaksanaan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa dengan cara sebagai berikut :

1. benda uji yang sudah di *setting* siap diuji. *hidraulic jack* dipompa untuk mendapatkan beban yang bertahap yang dinaikan secara berangsur-angsur dengan interval 2,264 KN, dimulai dari pembebanan 0 KN sampai beban maksimum,

2. setiap pembebanan mencapai 2,264 KN, pemompaan *hydraulic jack* dihentikan dan ditahan kemudian pembacaan dan pencatatan *dial gauge*, dan
3. proses dilakukan sampai dengan pembebanan maksimum.

5.1.2 Hasil Uji Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton yang dilakukan pada umur 28 hari dilakukan untuk mengetahui nilai f_c' sampel benda uji yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan analisis pada tugas akhir ini. Pengujian kuat desak beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian kuat desak beton dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Pengujian silinder beton

Benda uji	kode	D	Luas	tinggi	volume	berat	Bj	Bj	beban	f_c'	rata-rata
		cm	cm ²	cm	cm ³	Kg	kN/m ³	rata-rata	N	MPa	
1	A	14.9	174.4	12.4	2163.01	12.4	23.695	23.2	3E+05	17.2	14.296
	B	14.4	162.4	30.4	4935.76	12.6	25.528		2E+05	11.4	
2	A	14.9	176.2	30.75	5418.06	12.4	22.886	21.664	2E+05	10.2	10.444
	B	15.3	182.7	34	6212.74	12.7	20.442		2E+05	10.7	
3	A	15	176.8	29.78	5263.79	12.2	23.177	23.314	2E+05	9.62	10.093
	B	14.9	175.1	29.73	5202.54	12.2	23.45		2E+05	10.6	
4	A	14.9	175.1	29.45	5154.41	12	23.281	24.3	2E+05	14.2	15.428
	B	15	176.8	29.58	5228.44	12.1	23.143		3E+05	16.7	
								f_c' rata - rata	12.5	MPa	

Setelah melakukan perhitungan didapat standar deviasi 2,834.

$$f_c' = f_c'r - 1,64 \cdot Sd$$

$$f_c' = 12,5 - 1,64 (2,834) = 7,921 \text{ MPa.}$$

Jadi f_c' yang dipakai adalah 7,9 MPa.

5.1.3 Hasil Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel* Beton

Pengujian kuat lentur balok *vierendeel* beton dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia. Pengujian kuat lentur ini menghasilkan data berupa beban dan lendutan ($P-\Delta$). Selanjutnya data tersebut digunakan untuk membuat grafik hubungan antara beban dan lendutan. Dari data tersebut diolah untuk mendapatkan hubungan momen – kelengkungan ($M-\varphi$).

5.1.3.1 Hubungan Beban - Lendutan

Berikut ini data hasil pengujian kuat lentur berupa beban - lendutan yang dicatat pada saat pengujian pada masing – masing benda uji.

A. Benda uji 1

Data hasil pengujian kuat lentur pada benda uji 1 ditunjukkan oleh

Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil uji kuat lentur benda uji 1

Beban (KN)	Dial 1 (0,01mm)	Dial 2 (0,01mm)	Dial 3 (0,01mm)
a	b	c	d
0	0	0	0
2.264456	7	15	2
3.955225	15	27	10
5.498896	24	40	84
7.189665	40	64	85
8.888043	54	82	90
10.7183	98	124	108
11.56279	320	352	396
12.40907	565	635	624
14.09984	987	1052	1010
14.79813	1465	1495	1400

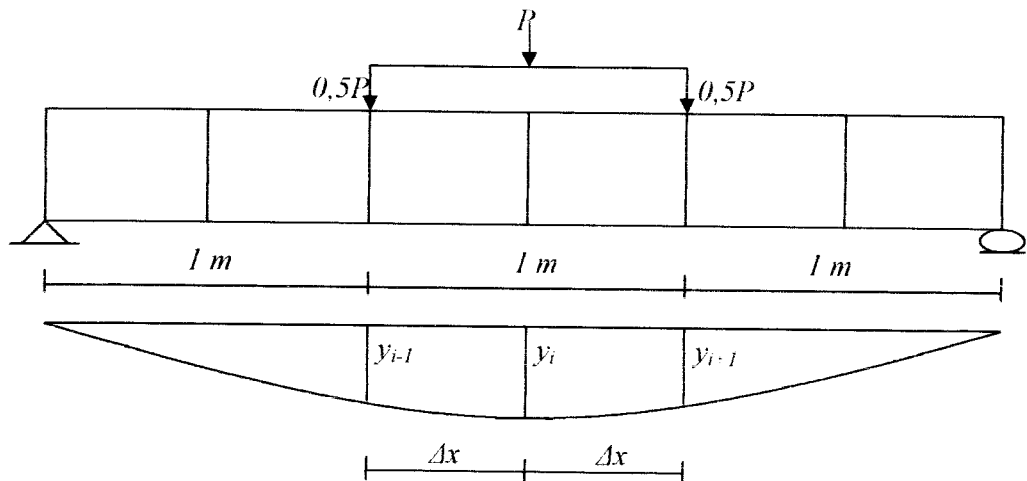
5.1.3.2 Hubungan Momen – Kelengkungan Penelitian

Hubungan antara momen (M) dan kelengkungan (ϕ) dapat dicari setelah data hubungan $P-\Delta$ didapat dari hasil pengujian kuat lentur struktur rangka *viereendeel*.

Untuk mendapatkan nilai momen dan kelengkungan dapat menggunakan

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

yang didapat berdasar Gambar 5.6.

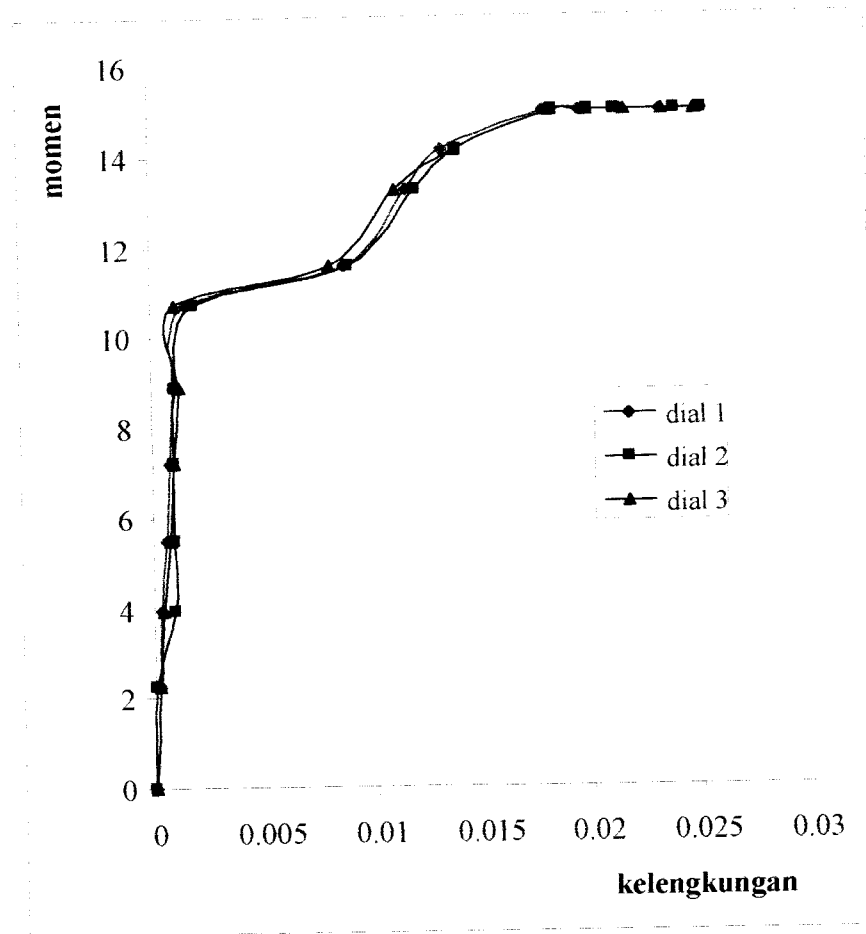


Gambar 5.6 Diagram hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan

Berikut disajikan tabel hubungan momen – kelengkungan berurutan dari benda uji 1, 2, 3, dan 4.

A. Benda uji 1

Hasil analisis dari data pada Tabel 5.3 didapatkan momen dan kelengkungan untuk benda uji 1, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.7.

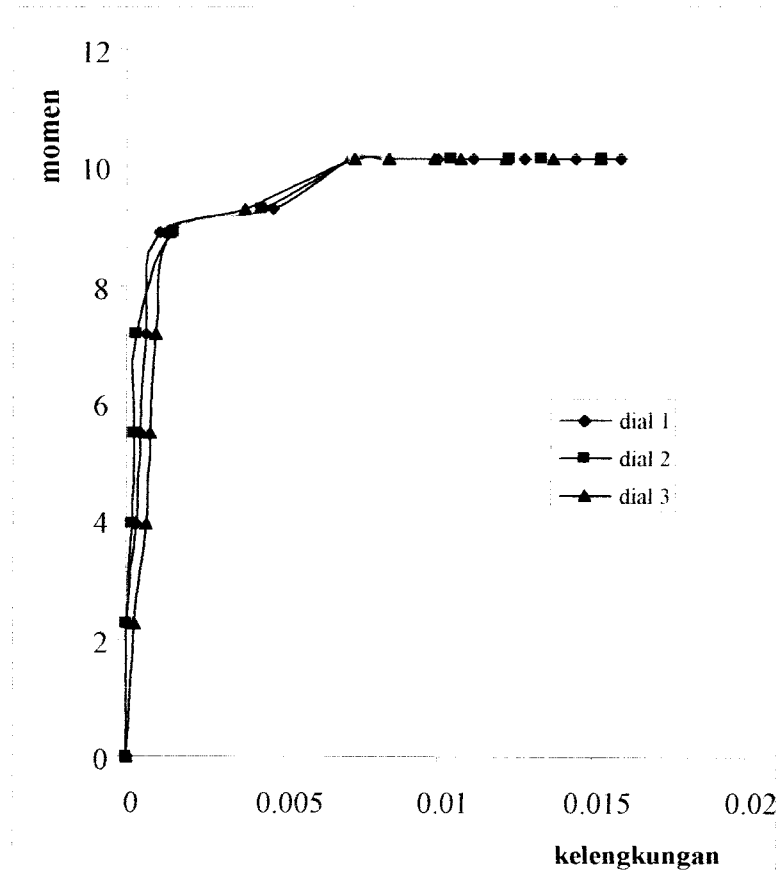


Gambar 5.9 Hubungan Momen – Kelengkungan Benda Uji 3

Dari Gambar 5.9 bisa dilihat bahwa pada setiap dial pada benda uji 3 memiliki hubungan momen – kelengkungan yang relatif sama.

D. Benda uji 4

Hasil analisis dari data pada Tabel 5.6 didapatkan momen dan kelengkungan untuk benda uji 4, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.10



Gambar 5.10. Hubungan Momen – Kelengkungan Benda Uji 4

Dari Gambar 5.10 bisa dilihat bahwa pada setiap dial 4 memiliki hubungan momen – kelengkungan yang relatif sama.

Hubungan momen-kelengkungan penelitian dari masing – masing benda uji dapat dibuat grafik hubungan seperti Gambar 5.11.

Tabel 5.12 Gaya - gaya pada setiap benda uji sebagai balok

Benda uji	s (mm)	P (KN)	M_u (KNm)	M_n (KNm)	V_u (KN)	ϕV_n (KN)
1	40	17,48	8,74	6,275	8,869	32,759
2	60	16,64	8,32	6,275	8,449	23,189
3	70	14,95	7,47	6,275	7,579	20,455
4	90	11,14	5,57	6,275	5,839	16,809

Dari Tabel 5.12 dan sesuai dengan peraturan SK SNI T-151991-03 memberikan kriteria untuk perencanaan jarak sengkang sebagai berikut :

1. bila $V_u \leq 0,5 \phi V_c$, maka geser tidak diperhitungkan.

Dengan melihat hasil pada penelitian didapatkan :

$V_u \leq 0,5 \phi V_c$ maka geser tidak diperhitungkan.

2. bila $V_c < \frac{V_u}{\phi} \leq (V_c + V_{s_{min}})$, maka perlu tulangan geser dengan jarak

$$\begin{aligned} \text{sengkang : } s &\leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s_{min}}} \\ &\leq d/2 \\ &\leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis sebagai balok bisa dilihat bahwa benda uji 1 memiliki kapasitas yang paling tinggi ini disebabkan benda uji 1 memiliki jarak sengkang (s) yang paling pendek yaitu sejauh 40 mm sedangkan benda uji 2, 3, 4 memiliki jarak sengkang lebih besar dari 40 mm. Dengan hasil pengujian di laboratorium kerusakan yang terjadi adalah akibat lentur, sedangkan kerusakan geser tidak terjadi.

Selain gaya-gaya tersebut balok juga mempunyai hubungan antara beban-deformasi ($P-\Delta$) dan hubungan momen-kelengkungan ($M-\phi$), berikut hubungan beban - deformasi dan momen - kelengkungan teoritis.

2. Benda Uji 2

Dari hasil analisis dengan menggunakan *SAP2000*, dengan memperhatikan kondisi setiap beban meliputi : kondisi sentris, kondisi patah desak, kondisi seimbang dan kondisi patah tarik, dan kondisi pembebanan tarik, untuk kondisi pembebanan tarik (batang tarik) pada grafik *Pn-Mn* berada pada daerah kuadran IV, maka didapatkan hubungan interaksi balok kolom (*Pn-Mn*). Hasil perhitungan analisis dari berbagai kondisi disajikan pada Lampiran 3. Berikut dibawah ini data dari gaya aksial (*Pu*) dan momen ultimit (*Mu*) akibat dari beban luar dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Gambar 5.18.

Tabel 5.14 Gaya Aksial dan Momen Ultimit pada benda uji 2

Elemen	<i>Pu</i>	<i>Mu</i>
Transversal		
1	7.622	2.048
2	0.348	3.096
3	6.462	1.718
4	0.4	0
5	6.462	1.718
6	0.348	3.096
7	7.622	2.048
Tepi bawah		
8	-8.125	2.048
10	-20.515	2.099
12	-27.386	0.532
14	-27.386	0.532
16	-20.515	2.099
18	-8.125	2.048
Tepi atas		
9	8.125	2.015
11	20.515	2.173
13	27.386	0.458
15	27.386	0.458
17	20.515	2.173
19	8.125	2.015

Hasil dari Tabel 5.14 dibuat grafik *Pn-Mn* untuk benda uji 2 ditunjukkan dalam Gambar 5.18.

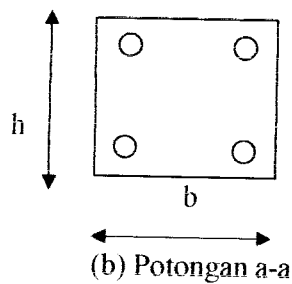
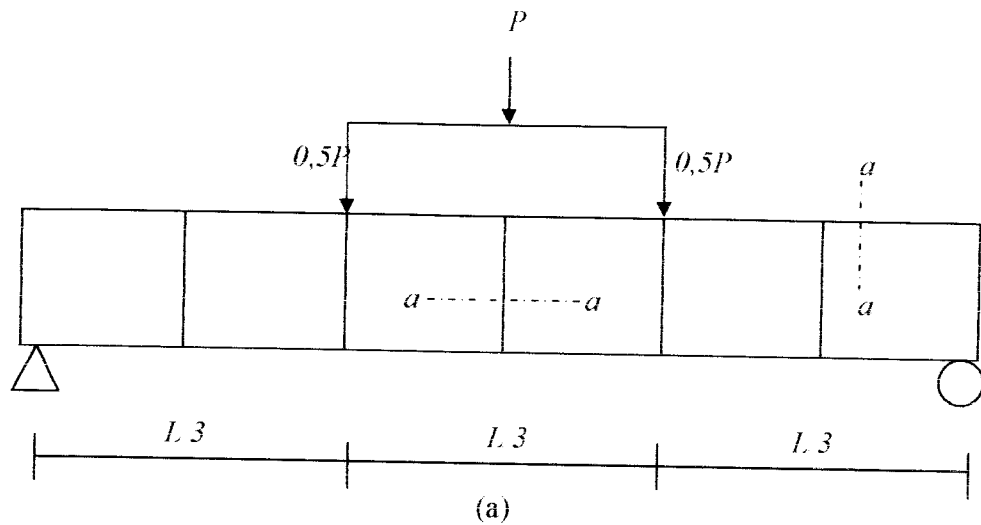
daerah kuadran IV, maka didapatkan hubungan interaksi balok kolom ($Pn-Mn$). Hasil perhitungan analisis dari berbagai kondisi disajikan pada Lampiran 3. Berikut dibawah ini data dari gaya aksial (Pu) dan momen ultimit (Mu) akibat dari beban luar dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Gambar 5.20.

Tabel 5.16 Gaya Aksial dan Momen Ultimit pada benda uji 4

Elemen	Pu	Mu
Transversal		
1	5.454	1.440
2	0.271	2.163
3	4.359	1.198
4	0.302	0
5	4.359	1.198
6	0.271	2.163
7	5.454	1.440
Tepi bawah		
8	-5.714	1.440
10	-14.362	1.451
12	-19.154	0.379
14	-19.154	0.379
16	-14.362	1.451
18	-5.714	1.440
Tepi atas		
9	5.714	1.417
11	14.363	1.501
13	19.156	0.329
15	19.156	0.329
17	14.363	1.501
19	5.714	1.417

Hasil dari Tabel 5.16 dibuat grafik $Pn-Mn$ untuk benda uji 4 ditunjukkan dalam Gambar 5.20.

Pada Gambar 5.21 bisa dilihat tampak dari batang balok *vierendeel*, dalam hal ini ukuran tampak baik batang tepi dan batang transversal memiliki ukuran dimensi yang sama.



Gambar 5.21 (a) Balok *vierendeel*
(b) Tampang tiap batang pada balok *vierendeel*

Berikut ini hasil perhitungan kapasitas geser tampang (V_n) dan gaya geser yang diakibatkan oleh beban luar (V_u) disajikan setiap benda uji.

3. Benda Uji 3

Dari hasil analisis dengan *SAP2000* maka didapat gaya geser akibat beban luar (V_u) pada benda uji 3 seperti diperlihatkan pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Gaya geser akibat beban luar (V_u) dan kapasitas geser tampang (ϕV_n) benda uji 3

Elemen	P (KN)	V_u (KN)	ϕV_n (KN)	Keterangan
Transversal				
1	14.9	7.368	13,627	aman
2	14.9	11.215	13,627	aman
3	14.9	6.218	13,627	aman
4	14.9	0	13,627	aman
5	14.9	6.218	13,627	aman
6	14.9	11.215	13,627	aman
7	14.9	7.368	13,627	aman
Tepi atas				
9	14.9	6.738	13,627	aman
11	14.9	6.654	13,627	aman
13	14.9	0.122	13,627	aman
15	14.9	0.122	13,627	aman
17	14.9	6.654	13,627	aman
19	14.9	6.738	13,627	aman
Tepi bawah				
8	14.9	6.922	10,255	aman
10	14.9	6.393	10,255	aman
12	14.9	0.389	10,255	aman
14	14.9	0.389	10,255	aman
16	14.9	6.393	10,255	aman
18	14.9	6.922	10,255	aman

Dari Tabel 5.19 dapat dilihat bahwa pada benda uji 3 kapasitas tampang (V_n) lebih besar dari gaya geser yang terjadi akibat beban luar (V_u), sehingga pada saat pengujian tidak terjadi kerusakan geser.

4. Benda Uji 4

Dari hasil analisis dengan *SAP2000* maka didapat gaya geser akibat beban luar (V_u) pada benda uji 4 seperti diperlihatkan pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Gaya geser akibat beban luar (V_u) dan kapasitas geser tampang (ϕV_n) benda uji 4

Elemen	P (KN)	V_u (KN)	ϕV_n (KN)	Keterangan
Transversal				
1	11.14	5,714	11,348	aman
2	11.14	8,648	11,348	aman
3	11.14	4,793	11,348	aman
4	11.14	0	11,348	aman
5	11.14	4,793	11,348	aman
6	11.14	8,648	11,348	aman
7	11.14	5,714	11,348	aman
Tepi atas				
9	11.14	5,250	11,348	aman
11	11.14	5,114	11,348	aman
13	11.14	0.154	11,348	aman
15	11.14	0.154	11,348	aman
17	11.14	5,114	11,348	aman
19	11.14	5,250	11,348	aman
Tepi bawah				
8	11.14	5,392	7,976	aman
10	11.14	4,917	7,976	aman
12	11.14	0.354	7,976	aman
14	11.14	0.354	7,976	aman
16	11.14	4,917	7,976	aman
18	11.14	5,392	7,976	aman

Dari Tabel 5.20 dapat dilihat bahwa pada benda uji 4 kapasitas tampang (V_n) lebih besar dari gaya geser yang terjadi akibat beban luar (V_u), sehingga pada saat pengujian tidak terjadi kerusakan geser.

Dari Tabel 5.28 dapat dilihat bahwa rasio metode portal terhadap SAP2000 ada yang lebih dari 10 % dan ada yang kurang dari 10%, sehingga analisis dengan menggunakan metode portal masih bisa digunakan walaupun kurang akurat dibandingkan dengan SAP2000.

Untuk data perbandingan hasil perhitungan momen dengan menggunakan metode portal terhadap SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.29.

Tabel 5.29 Perbandingan Momen Metode Portal terhadap SAP2000

P =1KN		Momen		
Transversal	Metode Portal	SAP2000	rasio(%)	keterangan
1	0.063	0.0691	9.551	tekan
2	0.125	0.1063	17.592	tekan
3	0.063	0.0591	5.753	tekan
4	0.000	0	0.000	tekan
5	0.063	0.0591	5.753	tekan
6	0.125	0.1063	17.592	tekan
7	0.063	0.0691	9.551	tekan
Tepi				
8	0.0625	0.0576	8.507	tarik
9	0.0625	0.0553	13.020	tekan
10	0.0625	0.0737	15.197	tarik
11	0.0625	0.0764	18.194	tekan
12	0	0.0174	0.000	tarik
13	0	0.0146	0.000	tekan
14	0	0.0146	0.000	tarik
15	0	0.0174	0.000	tekan
16	0.0625	0.0487	28.337	tarik
17	0.0625	0.0512	22.070	tekan
18	0.0625	0.0691	9.551	tarik
19	0.0625	0.068	8.088	tekan

Dari Tabel 5.29 dapat dilihat bahwa rasio metode portal terhadap SAP2000 ada yang lebih dari 10 % dan ada yang kurang dari 10%, sehingga analisis dengan menggunakan metode portal masih bisa digunakan walaupun kurang akurat dibandingkan dengan SAP2000.

Untuk data perbandingan hasil perhitungan lendutan pada teori dengan penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.32.

Tabel 5.32 Perbandingan lendutan teori terhadap penelitian sampel 3

P (KN)	1/3 L			1/2 L		
	Teori (0,01mm)	Penelitian (0,01mm)	Rasio (%)	Teori (0,01mm)	Penelitian (0,01mm)	Rasio (%)
0	0	0	0	0	0	0
2,26446	282	22	92,2	325	12	96,3
3,95523	493	36	92,7	567	82	85,5
5,64599	704	64	90,9	810	91	88,8
7,33676	915	78	91,5	1052	96	90,9
9,02753	1126	98	91,3	1295	102	92,1
10,71830	1337	152	88,6	1537	193	87,4
12,40907	1547	870	43,8	1779	893	49,8
13,25446	1653	1160	29,8	1901	1202	36,8
14,09984	1758	1322	24,8	2022	1394	31,1
14,94523	1864	1788	4,1	2143	1830	14,6
14,94523	1864	1952	104,7	2143	1998	6,8
14,94523	1864	2140	114,8	2143	2114	1,4
14,94523	1864	2328	124,9	2143	2398	11,9
14,94523	1864	2507	134,5	2143	2512	117,2
14,94523	1864	2513	134,8	2143	2519	117,5

Dari Tabel 5.32. dapat dilihat bahwa hasil lendutan pada teori dengan hasil lendutan pada penelitian mengalami perbedaan. Hal ini disebabkan karena $V_c > V_u$ dimana pada penelitian tulangan sengkang tidak mencapai tegangan luluh sedangkan pada teori tulangan sengkang dianggap sudah mencapai tegangan luluh. Sehingga pada waktu beban maksimum lendutan yang dihasilkan pada waktu penelitian lebih besar dibandingkan dengan teori.

Untuk data perbandingan hasil perhitungan lendutan pada teori dengan penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.33.