

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 *viendeel*, pengaruh gaya geser pada balok *viendeel* terhadap beban lentur, dan analisa pola kerusakan balok *viendeel* akibat beban lentur pada masing-masing variasi (a/h).

5.2. Hasil Penelitian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik

Berdasarkan beberapa pengujian di laboratorim 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:

$$\begin{aligned}\text{Luas silinder beton } (A) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (15,2)^2 \\ &= 181,366 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat desak } (f_c') &= \frac{P_u}{A} = \frac{50000}{181,366} = 275,686 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 27,5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tabel 5.1.a Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

Silinder Beton	Berat (kg)	Mutu Beton Rencana (MPa)	Diameter r (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' (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 $f_y = 300$ MPa.

5.3. Hasil Pengujian Laboratorium Mekanika Rekayasa

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

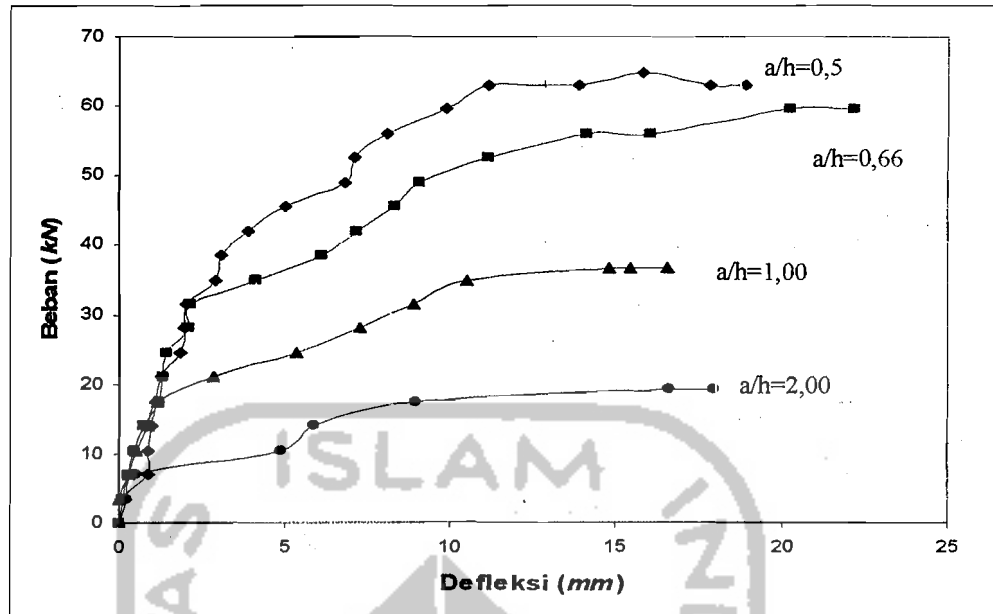
5.3.1. Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

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 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*

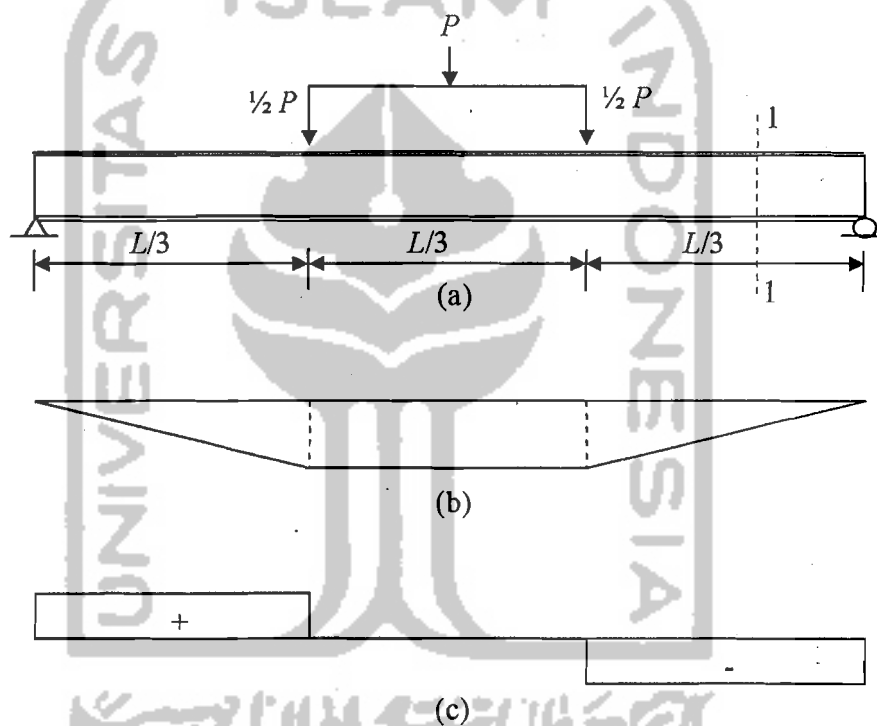
Pada pembahasan ini akan dijelaskan beberapa permasalahan mengenai hasil uji kuat lentur balok *Vierendeel* yang dilakukan di laboratorium antara lain hubungan beban-defleksi hasil pengujian dan teoritis, Analisis kekakuan balok terhadap rasio a/h , kuat lentur berdasarkan hubungan momen-kelengkungan 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

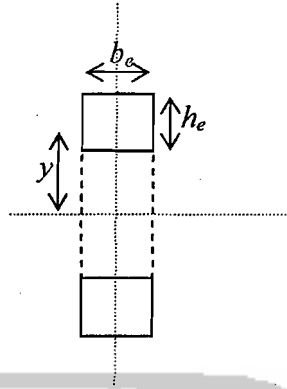
Hubungan kuat lentur berdasarkan Beban – Defleksi teoritis didasarkan dengan anggapan balok *Vierendeel* sebagai balok biasa terlihat pada Gambar 5.2 yang memiliki tampang seperti pada Gambar 5.3 di bawah ini.



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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

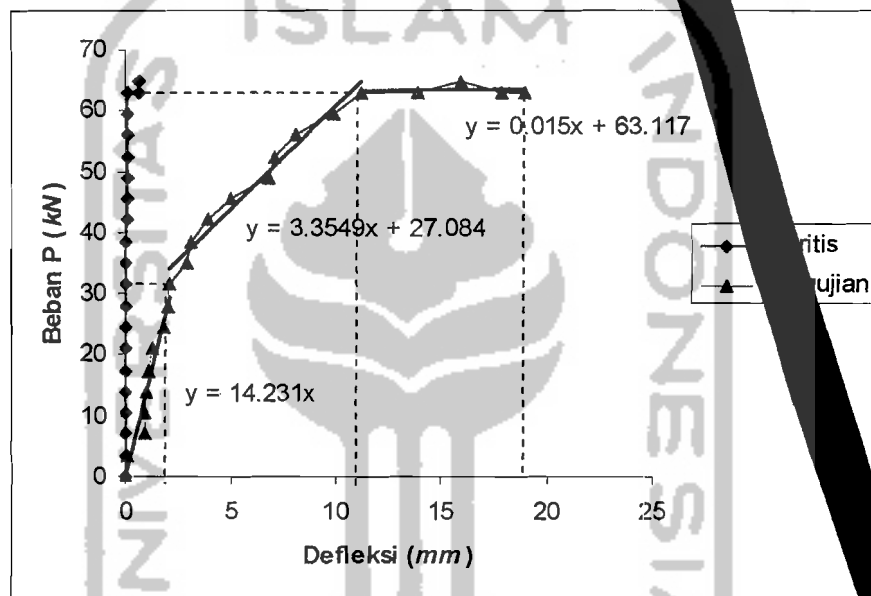
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Teoritis Balok *Vierendeel*

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 ($a/h = 0,5$)

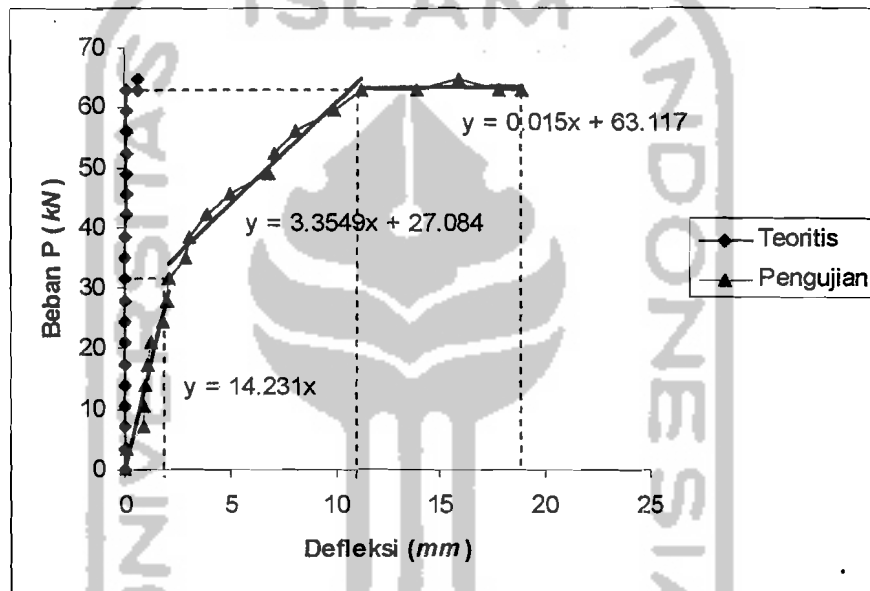
Berdasarkan hubungan ($P-\Delta$) Gambar 5.4 maka dapat diperoleh kekakuan seperti pada Tabel 5.8 dibawah ini.

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.

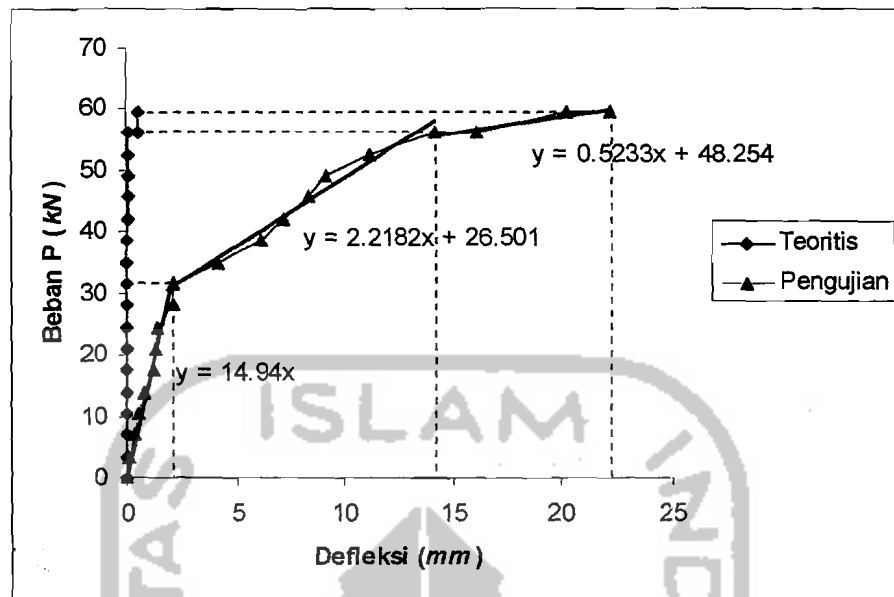


Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 1 ($a/h = 0,5$)

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

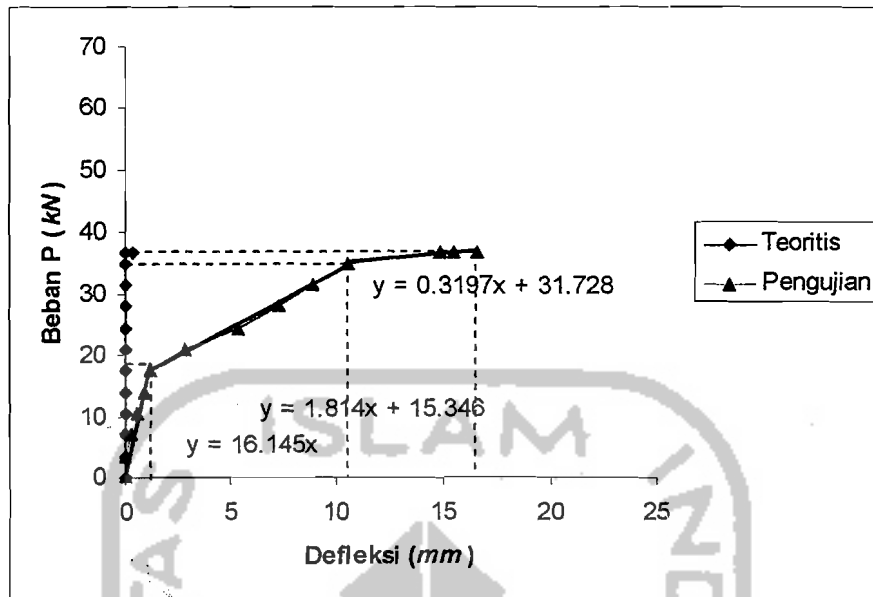


Gambar 5.5 Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 2 ($a/h = 0,66$)

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

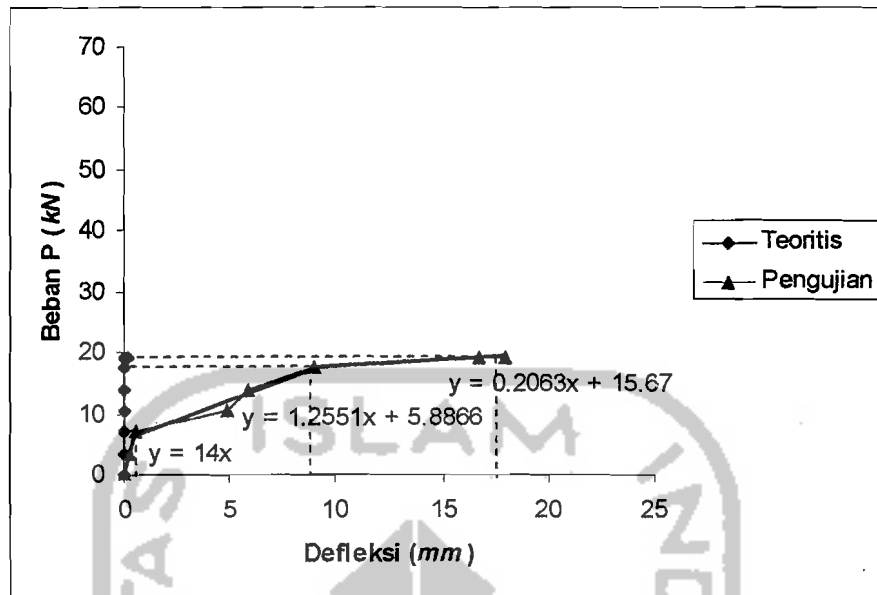


Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Beban-Defleksi Benda Uji 3 ($a/h = 1$)

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_{y_1}	17.5	1.16E-03	15151.515
P_{y_2}	35	1.05E-02	3320.683
$P_{y_3}=P_u$	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_{y_1}	7	5.00E-04	14000.000
P_{y_2}	17.5	8.97E-03	1950.948
$P_{y_3}=P_u$	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*

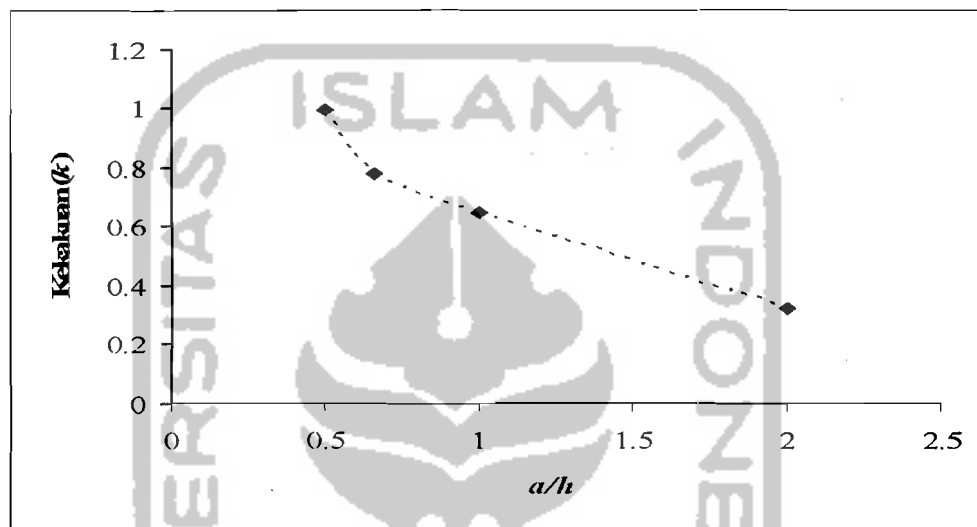
Berdasarkan Grafik hubungan ($P-\Delta$) Gambar 5.4, 5.5, 5.6, dan 5.7 dapat di analisis kekakuan balok (k) diketahui dari rasio beban leleh (P_y) dengan defleksi pada saat leleh (Δy). Kekakuan balok dinyatakan dengan persamaan berikut :

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

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) (kN)	Defleksi			Momen (M) (kNm)	Kelengkungan (ϕ) (1/m)
	Δ_1 (mm)	Δ_2 (mm)	Δ_3 (mm)		
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

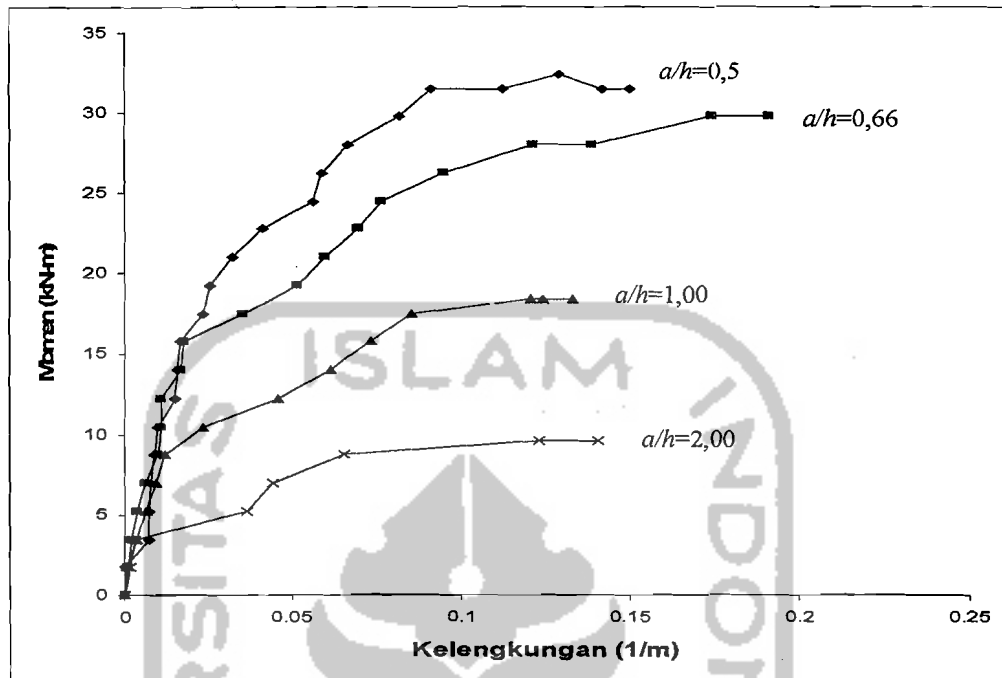
Tabel 5.15 Hubungan Momen-Kelengkungan Benda Uji 3 ($a/h = 1$)

Beban (P) (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	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) (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	0.2	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 :

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

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

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

jarak antar dial (Δx) = 500 mm .

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

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

$$\phi = \frac{0,5205 - (2 \times 0,5986) + 0,5205}{500^2} = 4,110 \cdot 10^{-7} \left(\frac{1}{\text{mm}} \right)$$

$$\phi = 6,246 \cdot 10^{-4} \left(\frac{1}{\text{m}} \right)$$

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

Momen dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$M = \frac{1}{6} xPxL \dots\dots\dots(3.12)$$

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

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) (kN)	Defleksi			Momen (M) (kN-m)	Kelengkungan (Φ) (1/m)
	Δ1 (mm)	Δ2 (mm)	Δ3 (mm)		
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) (kN)	Defleksi			Momen (M) (kN-m)	Kelengkungan (Φ) (1/m)
	Δ1 (mm)	Δ2 (mm)	Δ3 (mm)		
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

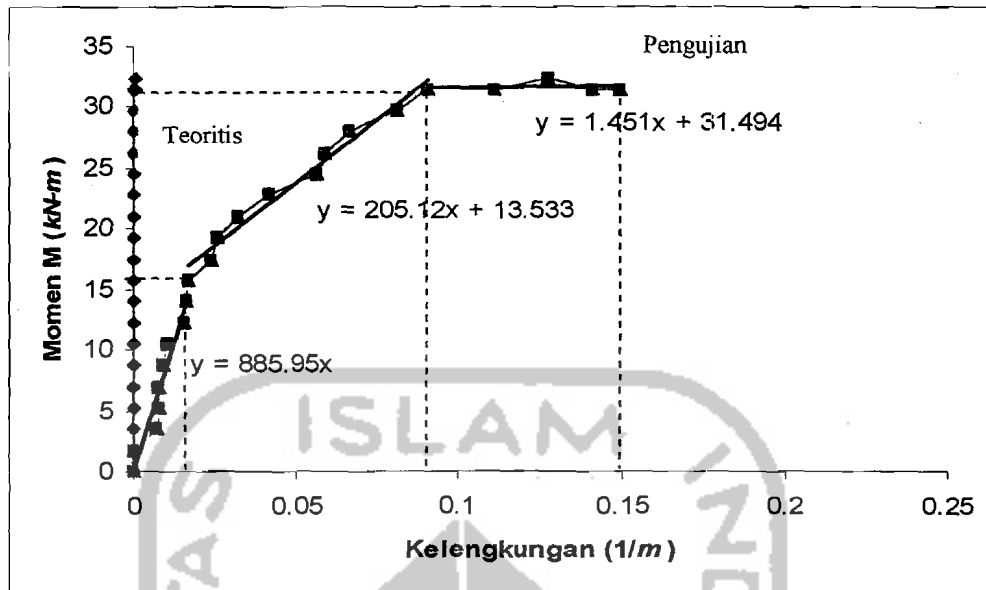
Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Teoritis balok *Vierendeel*

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 .

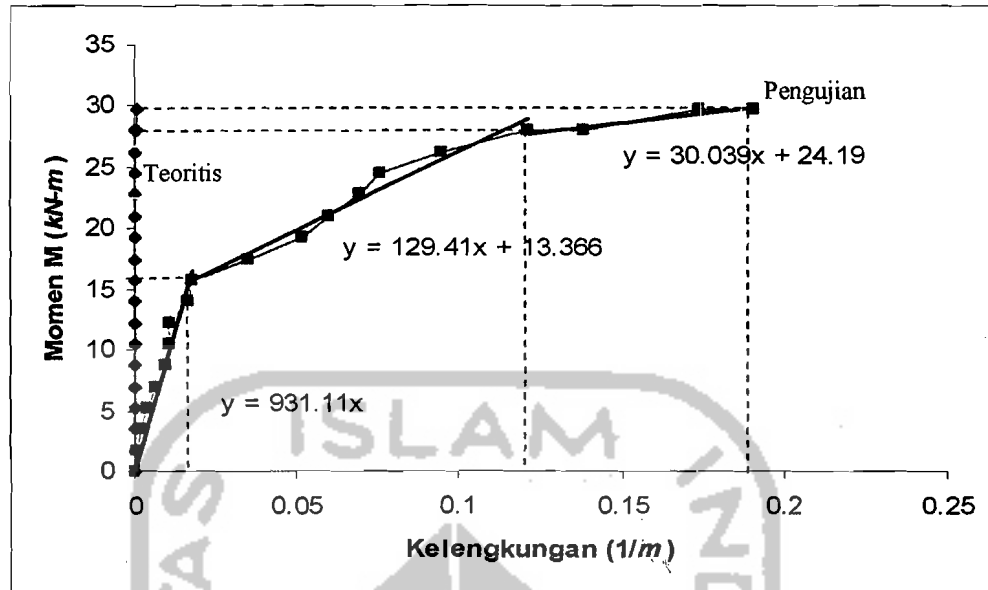


Gambar 5.10 Grafik Momen-Kelengkungan pada benda uji I dengan perbandingan $a/h = 0,5$

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

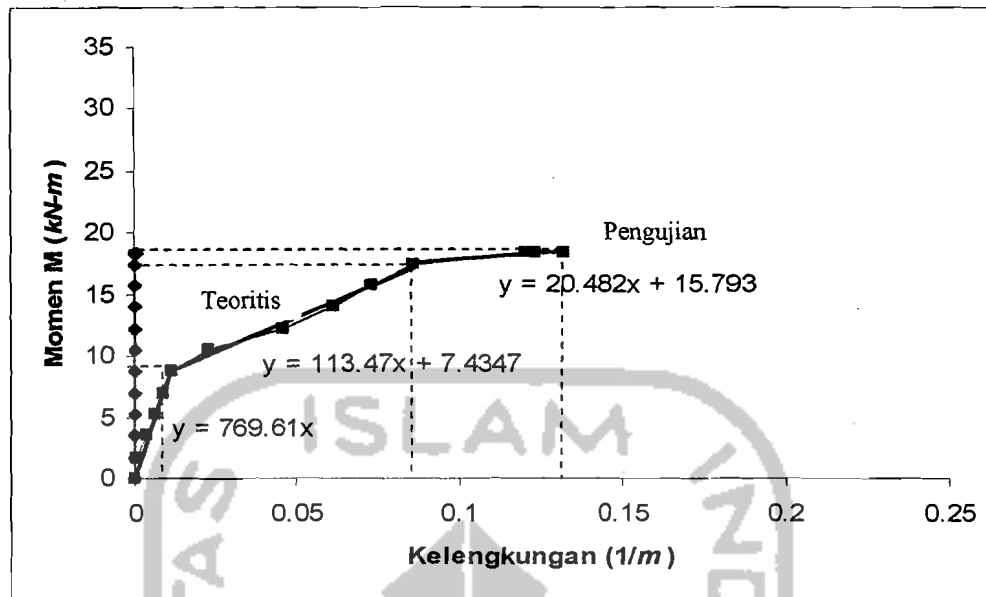


Gambar 5.11 Grafik Momen-Kelengkungan pada benda uji 2 dengan perbandingan $a/h = 0,66$

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

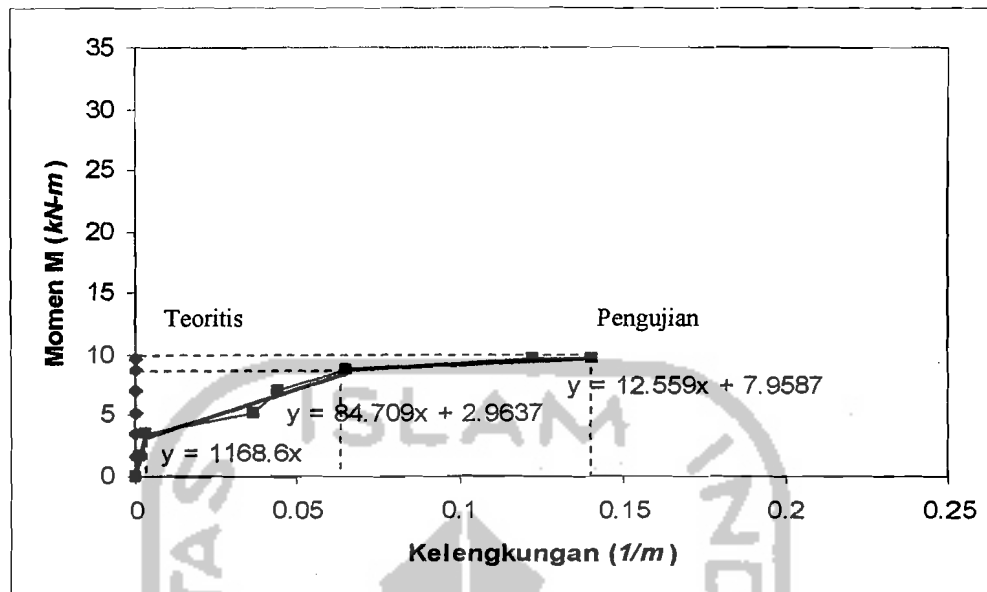


Gambar 5.12 Grafik Momen-Kelengkungan pada benda uji 3 dengan perbandingan $a/h = 1,00$

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 :

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

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

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

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

a.) Desak sentris :

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

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

b.) Keadaan seimbang :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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-

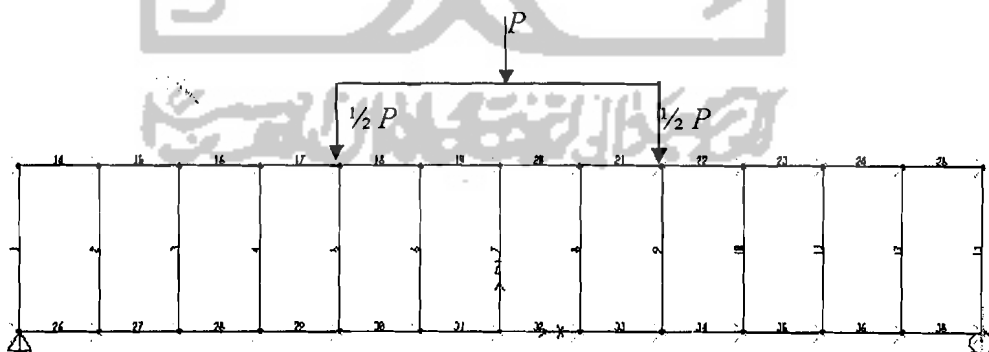
5.17. Dan dari gambar tersebut dapat diketahui apakah tiap elemen telah mencapai kapasitas maksimumnya atau belum.

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

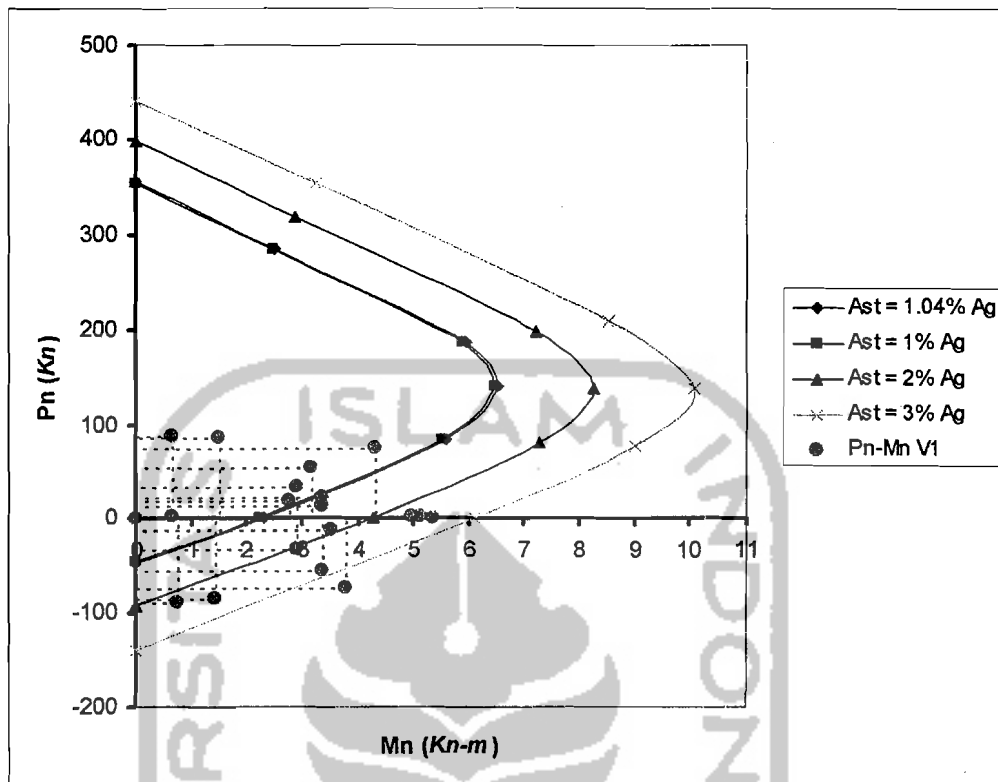
a. Benda Uji 1 : Dengan perbandingan $a/h = 0,5$



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

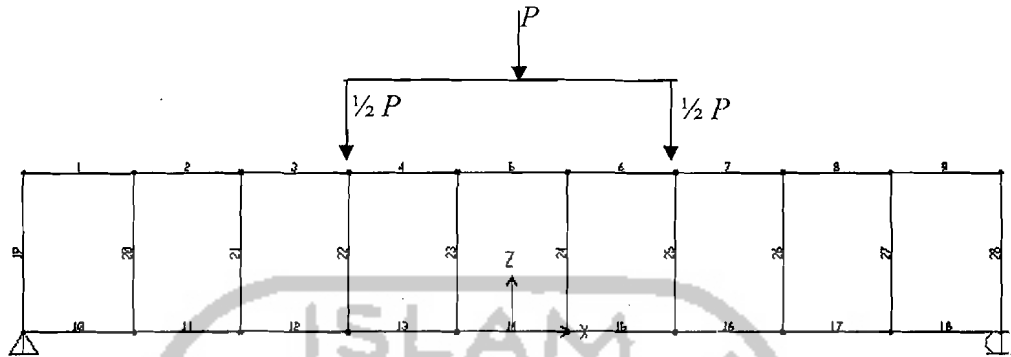
Balok *vierendeel* Benda Uji 1 ($a/h=0,5$)

Elemen	<i>Pn</i>	<i>Mn</i>	Keterangan
	<i>kN</i>	<i>kN-m</i>	
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 Mn - Pn Balok *Vierendeel* dengan ($a/h=0,5$)

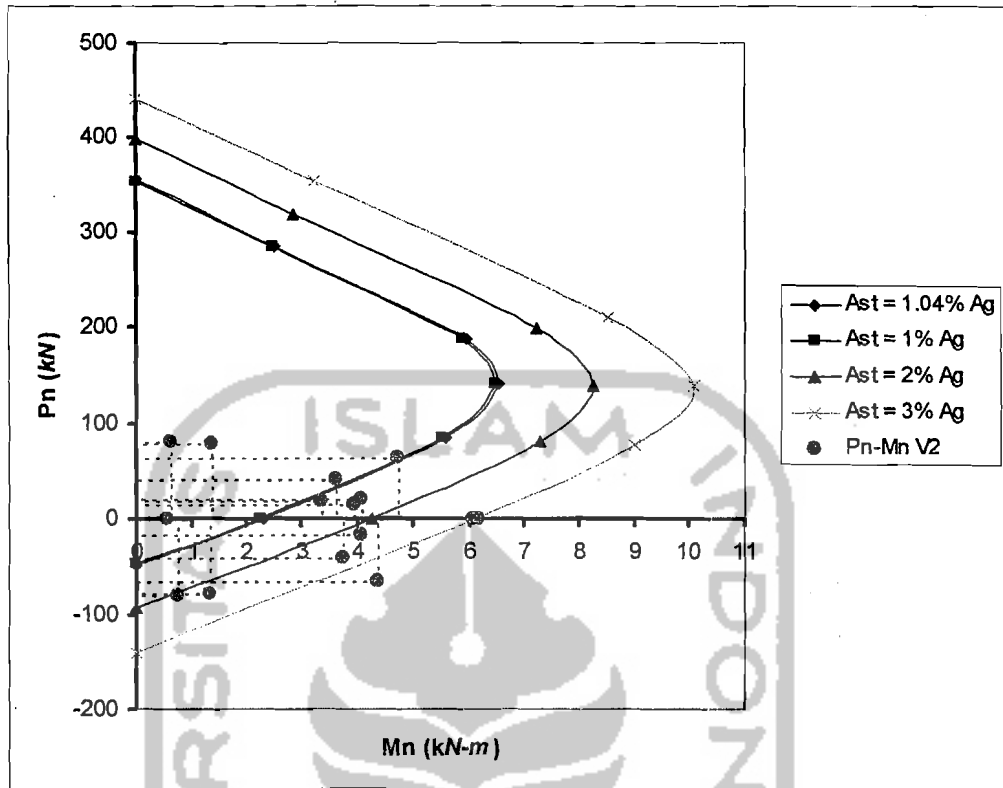
b. Benda Uji 2 : Dengan perbandingan $a/h = 0,66$



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

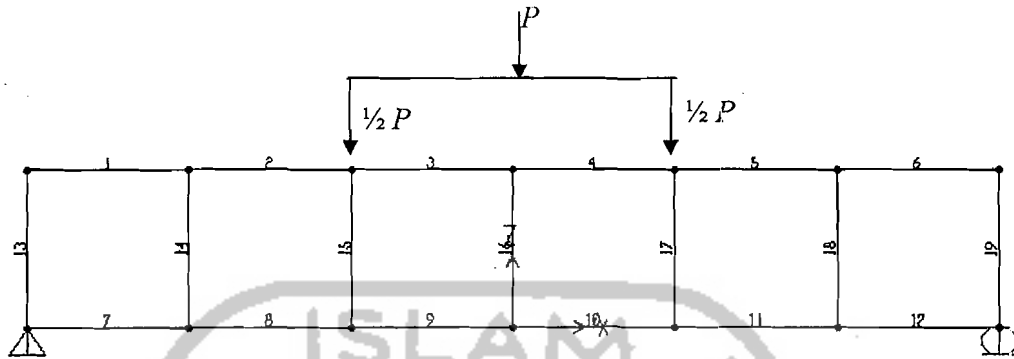
Balok *vierendeel* Benda Uji 2 ($a/h=0,66$)

Element	P_n kN	M_n 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 Mn - Pn Balok *Vierendeel* dengan ($a/h=0,66$)

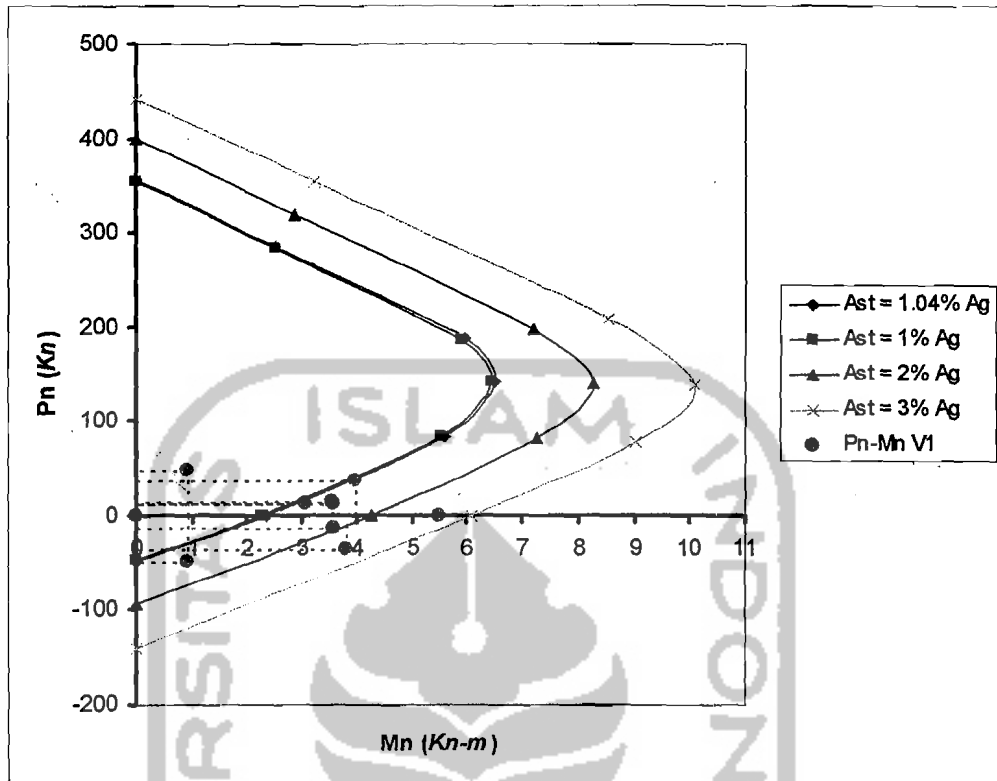
c. Benda Uji 3 : Dengan perbandingan $a/h = 1,00$



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

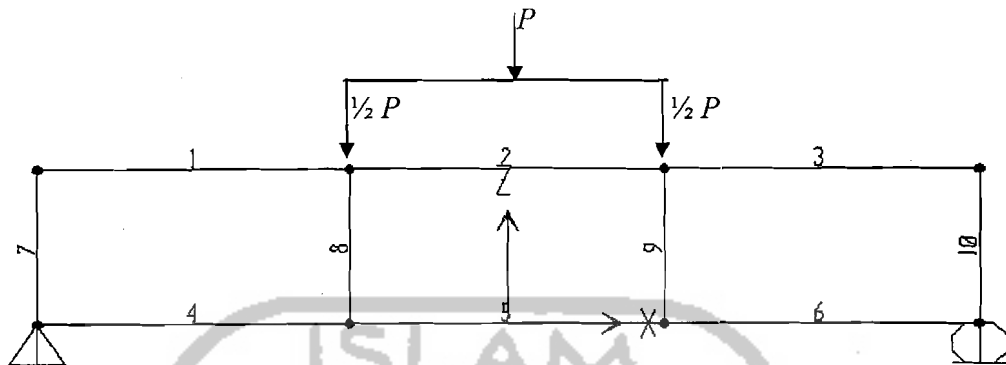
Balok *vierendeel* Benda Uji 3 ($a/h=1,00$)

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 Mn - Pn Balok *Vierendeel* dengan ($a/h = 1,00$)

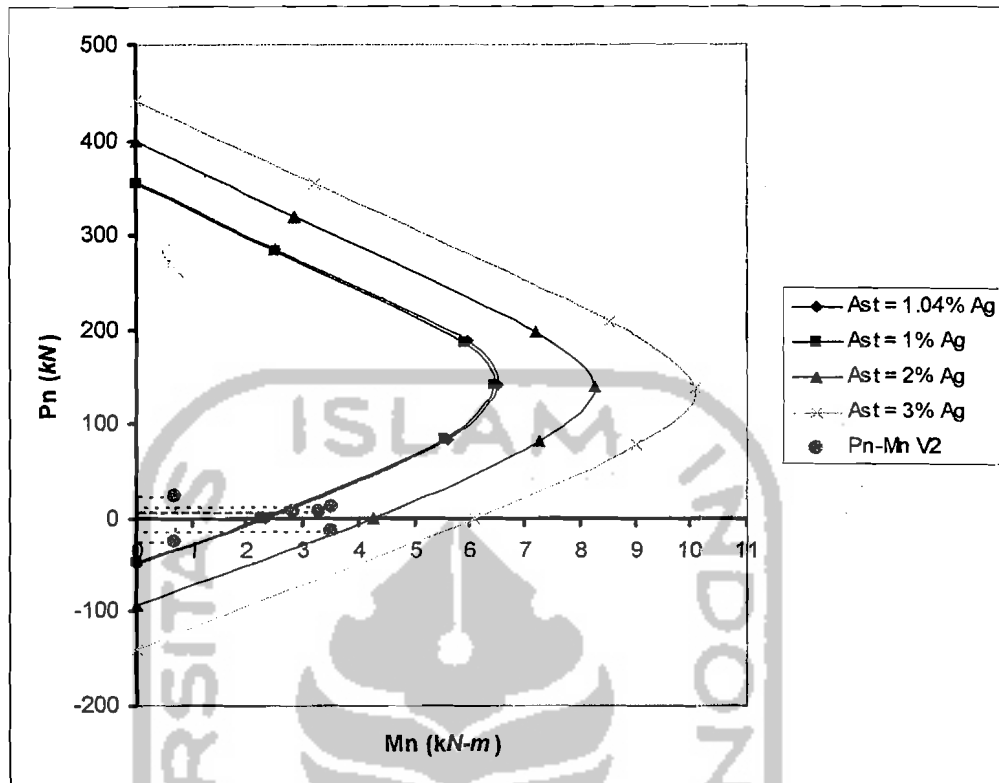
d. Benda Uji 4 : Dengan perbandingan $a/h = 2,00$



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 :

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

$$= 5547,528$$

$$V_n = V_c + V_s$$

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

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

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

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	ϕV_n	Keterangan
	kN	kN	
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	ϕV_n	Keterangan
	kN	kN-m	
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 perhitungan 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

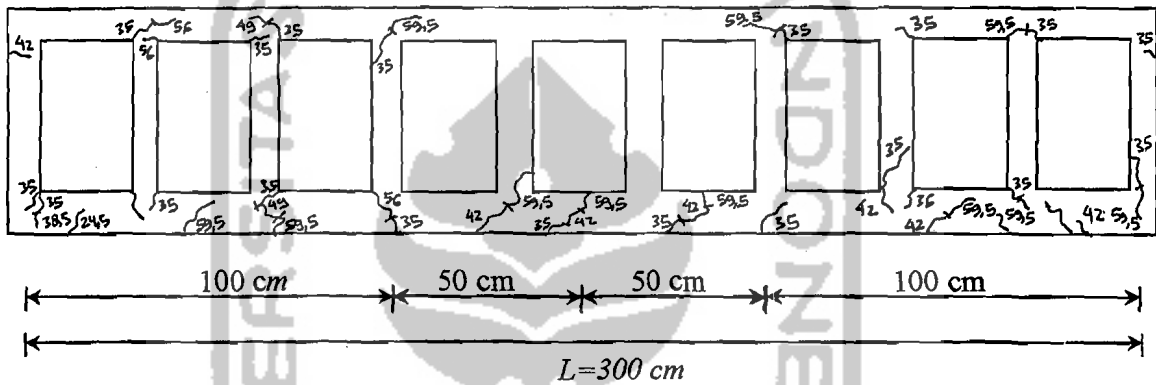
Tabel 5.37 Standar deviasi (Sd) berdasarkan rasio perbandingan Analisa Sap dengan Metode Portal pada tiap Benda Uji

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

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 $a/h = 0,66$

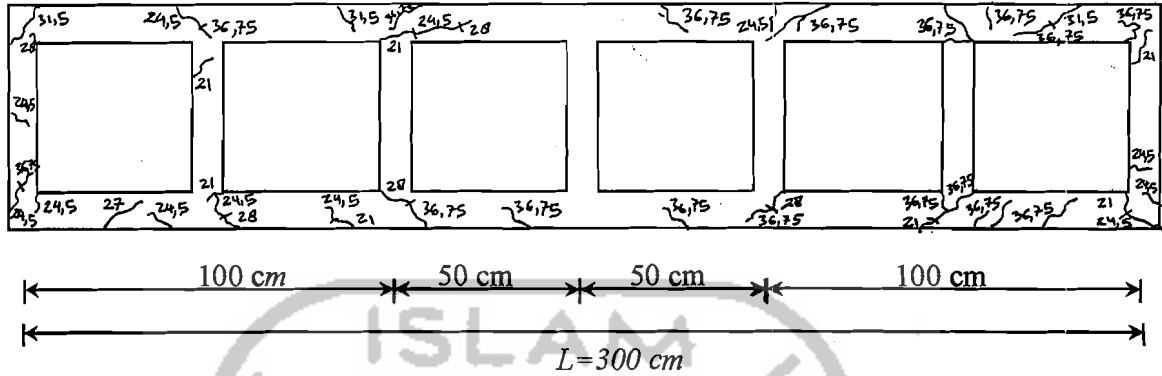


Gambar 5.19 Pola kerusakan pada balok *vierendeel* perbandingan $a/h = 0,66$

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

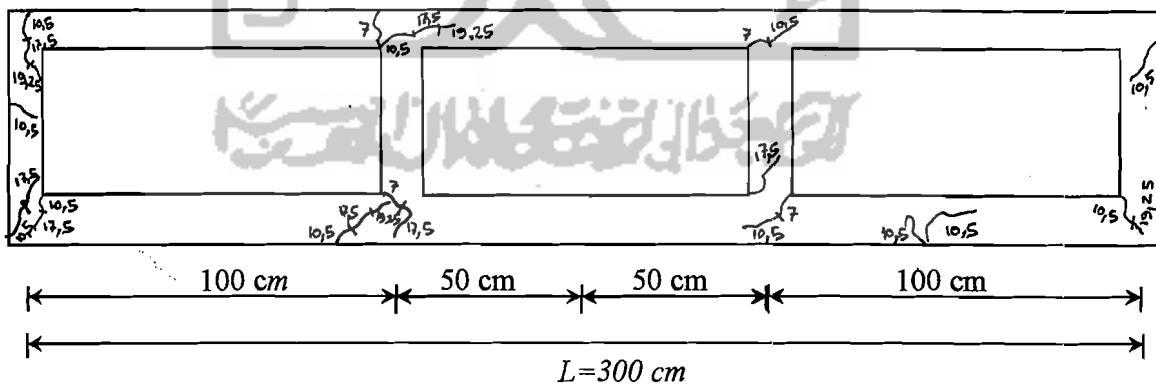


Gambar 5.20 Pola kerusakan pada balok *vierendeel* perbandingan $a/h = 1,00$

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.