

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1.1 Tegangan Leleh dan Kuat Tarik Baja

Uji tarik baja bertujuan mendapatkan tegangan leleh ( $F_y$ ) dan kuat tarik ( $F_u$ ) baja profil yang digunakan untuk membuat benda uji *Vierendeel* dan *Truss*. Uji tarik baja dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari uji tarik baja didapat tegangan leleh baja ( $F_y$ )=250 Mpa dan kuat tarik ( $F_u$ )=356 MPa.

#### 5.1.2 Kuat Geser Las

Uji kuat geser las bertujuan mendapatkan kuat geser las yang digunakan pada sambungan joint *Vierendeel* dan *Truss*. Pelaksanaan uji geser las dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari Hasil uji ini didapat kuat geser las ( $\tau_{\text{geser las}}$ ) = 413,92 MPa.

#### 5.1.3 Uji Lentur *Vierendeel* dan *Truss*

Uji lentur *Vierendeel* dan *Truss* dilaksanakan di laboratorium Mekanika Rekayasa, jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada balok *Vierendeel* dan *Truss* dikerjakan beban terpusat (P) di tengah bentang, beban tersebut dibagi menjadi dua beban terpusat

masing-masing ( $P/2$ ) yang bekerja pada sepertiga bentang. Pada titik 1, 2 dan 3 yang masing-masing berjarak  $\Delta x = 800$  mm dipasang dial indiaktor (*dial gauge*). Pembebanan dikerjakan secara bertahap, dan pada setiap tahap pembebanan deformasi di titik 1, 2 dan 3 diukur. Pertama-tama pada *Vierendeel* dan *Truss* dikerjakan beban terpusat 3,5 kN, deformasi di titik 1, 2 dan 3 diukur. Beban ditingkatkan menjadi 7,0 kN, deformasi di titik 1, 2 dan 3 diukur. Beban terus ditingkatkan hingga mencapai beban maksimum dan benda uji rusak. Dari uji ini didapat data primer berupa beban dan deformasi pada setiap tahap pembebanan. Menggunakan data primer hasil eksperimen dibuat kurva beban-deformasi dan momen-kelengkungan. Berdasarkan kurva beban-deformasi dan momen-kelengkungan dapat diketahui sifat-sifat struktur, yaitu kapasitas, kekakuan dan daktilitas.

## 5.2. Beban-Deformasi

Data beban dan deformasi hasil penelitian eksperimental *Vierendeel* dengan  $(a/h)=1$  hingga  $(a/h)=4$  berturut-turut disajikan pada Tabel 5.1 hingga Tabel 5.4.

Tabel 5.1. Beban dan deformasi hasil eksperimen *Vierendeel*  $a/h = 1$

BEBAN	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	5.36	5.78	5.43
7.00	12.28	13.21	12.31
10.50	20.14	21.62	20.20
14.00	28.31	30.38	28.44
17.50	44.45	47.59	44.57
20.30	57.69	61.67	57.95
20.30	59.00	63.00	59.00
20.30	60.00	65.00	61.00
20.30	62.00	67.00	62.00
20.30	63.00	69.00	64.00
20.30	65.00	71.00	65.00

Tabel 5.2. Beban dan deformasi hasil eksperimen *Vierendeel*  $a/h = 2$ 

BEBAN	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	11.04	12.26	11.25
7.00	27.03	29.5	27.54
10.50	54.99	60.00	56.99
10.50	63.00	70.00	66.00
10.50	67.00	75.00	71.00
10.50	70.00	77.00	74.00
10.50	74.00	82.00	77.00

Tabel 5.3. Beban dan deformasi hasil eksperimen *Vierendeel*  $a/h=3$ 

BEBAN	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	11.12	12.64	10.73
7.00	29.77	34.02	29.90
7.35	37.88	43.50	38.88
7.35	39.51	45.40	39.51
7.35	41.12	47.32	41.14

Tabel 5.4. Beban dan deformasi hasil eksperimen *Vierendeel*  $a/h = 4$ 

BEBAN	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	11.19	12.06	11.59
7.00	48.65	50.94	49.53
7.00	49.00	52.00	50.00
7.00	51.00	55.00	52.00
7.00	53.00	58.00	54.00
7.00	54.00	60.00	56.00

Data beban dan deformasi hasil penelitian eksperimental *Truss* dengan  $(a/h)=1$  hingga  $(a/h)=4$  berturut-turut disajikan pada Tabel 5.5 hingga Tabel 5.8.

Tabel 5.5. Beban dan deformasi hasil eksperimen *Truss*  $a/h = 1$ 

BEBAN	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.96	0.97	0.91
7.00	1.85	2.00	1.85
10.50	2.86	2.93	2.61
14.00	3.05	3.61	3.42
17.50	4.01	4.80	4.61
21.00	4.98	5.75	5.36
24.50	5.94	6.75	6.28
28.00	6.89	7.77	7.18
31.50	7.89	8.77	8.06
35.00	8.94	9.81	9.01
38.50	9.62	11.00	10.22
42.00	10.89	12.25	11.14
45.50	11.98	13.63	12.40
49.00	13.12	15.05	13.68
52.50	14.21	16.29	14.76
56.00	15.11	17.34	15.67
59.50	16.88	19.04	17.16
63.00	17.99	20.40	18.46
66.50	18.08	21.20	19.63
70.00	20.92	23.46	21.07
73.50	23.04	26.50	24.52
77.00	24.04	27.45	24.57
80.50	26.13	30.00	26.80
84.00	27.97	32.00	28.47
87.50	29.97	34.35	30.05
87.50	30.22	36.58	33.13

Tabel 5.6. Beban dan deformasi hasil eksperimen *Truss*  $a/h = 2$ 

BEBAN	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	1.09	1.24	1.20
7.00	2.07	2.36	2.30
10.50	3.10	3.52	3.46
14.00	4.11	4.73	4.60
17.50	5.14	5.9	5.74
21.00	6.04	6.83	6.55
24.50	7.23	8.36	7.93
28.00	8.10	9.32	8.85
31.50	9.14	10.43	9.83
35.00	10.07	11.42	10.76
38.50	11.98	13.24	12.40
42.00	12.99	14.37	13.39
45.50	14.88	16.30	14.99

Lanjutan tabel 5.6.

49.00	15.02	17.20	16.34
52.50	17.95	19.66	18.08
56.00	19.95	21.56	19.68
56.00	21.07	23.22	21.03
56.00	22.95	25.79	22.09

Tabel 5.7. Beban dan deformasi hasil eksperimen *Truss*  $a/h = 3$

BEBAN	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	1.05	1.39	1.27
7.00	2.15	2.65	2.39
10.50	3.91	4.30	3.76
14.00	4.88	5.71	5.06
17.50	6.91	7.88	6.91
21.00	8.94	10.65	9.14
21.70	10.90	13.26	11.10
21.70	11.92	14.26	11.83
21.70	12.10	15.21	12.49
21.70	12.95	16.28	14.19
21.70	13.92	17.45	15.97

Tabel 5.8. Beban dan deformasi hasil eksperimen *Truss*  $a/h = 4$

BEBAN	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	2.48	2.50	2.09
7.00	4.38	4.50	4.05
10.50	5.33	6.00	5.78
14.00	7.29	8.15	7.72
17.50	9.38	10.00	9.25
21.00	11.38	12.15	11.30
24.50	13.37	14.25	13.35
28.00	15.46	16.50	15.63
31.50	16.23	18.20	17.90

Beban maksimum yang dapat dipikul oleh *truss* dengan  $(a/h)=1$  hingga  $(a/h)=4$  ditunjukkan pada Tabel 5.9, sedangkan beban maksimum *vierendeel* dengan  $(a/h)=1$  hingga  $(a/h)=4$  ditunjukkan pada Tabel 5.10.

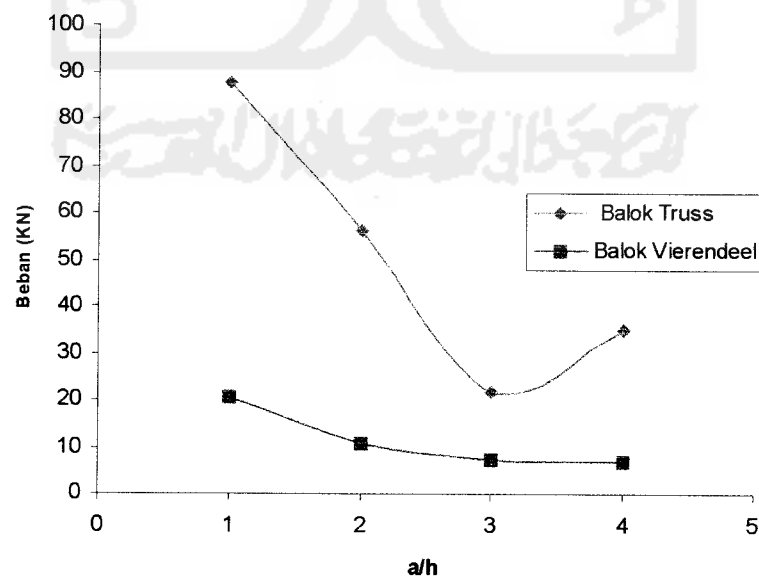
Tabel 5.9. Beban maksimum *Vierendeel* dengan variasi  $a/h$ 

No	Struktur	$a/h$	P maks (kN)	Rasio
1	<i>Vierendeel</i>	1	20.30	1.000
2	<i>Vierendeel</i>	2	10.50	0.507
3	<i>Vierendeel</i>	3	7.35	0.362
4	<i>Vierendeel</i>	4	7.00	0.345

Tabel 5.10. Beban maksimum *Truss* dengan variasi  $a/h$ 

No	Struktur	$a/h$	P maks (kN)	Rasio
1	<i>Truss</i>	1	87.50	1.000
2	<i>Truss</i>	2	56.00	0.640
3	<i>Truss</i>	3	21.70	0.248
4	<i>Truss</i>	4	35.00	0.400

Rasio beban maksimum *Truss* terhadap beban maksimum *Vierendeel* ditunjukkan pada Tabel 5.11. Tampak bahwa beban maksimum *Truss* lebih besar dibanding beban maksimum *Vierendeel*. Kurva beban maksimum *Vierendeel* dan *Truss* fungsi ( $a/h$ ) ditunjukkan pada Gambar 5.1.

Gambar 5.1. Kurva Hubungan  $a/h$  – beban maksimum

Rasio beban maksimum truss terhadap beban maksimum *Vierendeel* dengan variasi  $(a/h)=1$  hingga  $(a/h)=4$  ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11. Rasio beban maksimum *Truss* terhadap *Vierendeel* dengan variasi  $a/h$

No	P maks (kN)		a/h	Rasio
	<i>Vierendeel</i>	<i>Truss</i>		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)/(2)
1	20.30	87.50	1	4.30
2	10.50	56.00	2	5.33
3	7.35	21.70	3	2.95
4	7.00	35.00	4	5.00

### 5.2.2 Beban-Deformasi Penelitian Numeris

*Vierendeel* dan *Truss* dianalisis secara numeris menggunakan SAP 2000. Pada *Truss* dan *Vierendeel* dikerjakan beban transversal yang besarnya sama dengan beban pada penelitian eksperimental. Beban dan deformasi hasil analisis numeris disajikan pada Tabel 5.12 hingga Tabel 5.19. Input beban dan sifat material dalam analisis numeris sama dengan pembebanan dan sifat material dalam eksperimen, tegangan leleh  $F_y = 250$  MPa dan modulus elastisitas  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa. Saat keadaan struktur telah mengalami leleh, input modulus elastisitas dalam penelitian numeris direduksi.

Tabel 5.12. Beban dan deformasi *Truss*  $a/h = 1$  hasil numeris SAP 2000 (*truss*).

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.61	0.68	0.61
7.00	1.14	1.28	1.14
10.50	1.66	1.87	1.66
14.00	2.19	2.46	2.19
17.50	2.72	3.06	2.72
21.00	3.25	3.65	3.25

Lanjutan tabel 5.12

24.50	3.78	4.24	3.78
27.00	4.16	4.66	4.16
31.50	4.83	5.43	4.83
35.00	5.36	6.02	5.36
38.50	5.89	6.61	5.89
42.00	6.42	7.21	6.42
45.50	6.95	7.80	6.95
49.00	7.48	8.39	7.48
52.50	8.00	8.99	8.00
56.00	8.53	9.58	8.53
59.50	9.06	10.17	9.06
63.00	9.59	10.76	9.59
66.50	10.12	11.36	10.12
70.00	10.65	11.95	10.65
73.50	11.18	12.54	11.18
77.00	11.85	13.31	11.85
80.50	12.23	13.73	12.23
84.00	12.76	14.32	12.76
87.50	13.29	14.92	13.29
87.50	26.58	29.84	26.58
87.50	39.87	44.76	39.87

Tabel 5.13. Beban dan deformasi *Truss*  $a/h = 2$  hasil numeris SAP 2000 (*truss*).

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.96	1.07	0.96
7.00	1.81	2.02	1.81
10.50	2.67	2.98	2.67
14.00	3.53	3.93	3.53
17.50	4.38	4.89	4.38
21.00	5.24	5.84	5.24
24.50	6.10	6.80	6.10
28.00	6.95	7.75	6.95
31.50	7.81	8.70	7.81
35.00	8.66	9.66	8.66
38.50	9.52	10.61	9.52
42.00	10.38	11.57	10.38
45.50	11.23	12.52	11.23
49.00	12.09	13.48	12.09
52.50	12.95	14.43	12.95
56.00	13.80	15.38	13.80
56.00	27.60	30.76	27.60
56.00	41.40	46.14	41.40
56.00	55.20	61.52	55.20



Tabel 5.14. Beban dan deformasi *Truss*  $a/h = 3$  hasil numeris SAP 2000 (*truss*).

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.96	1.17	0.96
7.00	1.81	2.21	1.81
10.50	2.67	3.25	2.67
14.00	3.52	4.29	3.52
17.50	4.37	5.33	4.37
21.00	5.22	6.37	5.22
21.70	5.39	6.58	5.39
21.70	10.78	13.16	10.78

Tabel 5.15. Beban dan deformasi *Truss*  $a/h = 4$  hasil numeris SAP 2000 (*truss*).

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	1.68	1.73	1.68
7.00	3.18	3.23	3.18
10.50	4.69	4.74	4.69
14.00	6.20	6.25	6.20
17.50	7.70	7.75	7.70
21.00	9.21	9.26	9.21
24.50	10.71	10.76	10.71
28.00	12.22	12.27	12.22
31.50	13.73	13.78	13.73
35.00	15.23	15.28	15.23
38.50	16.74	16.79	16.74
39.10	17.00	17.05	17.00
39.10	34.00	34.10	34.00
39.10	51.00	51.15	51.00

Data beban dan deformasi hasil analisis numeris *Vierendeel* disajikan pada Tabel 5.16 hingga Tabel 5.19.

Tabel 5.16. Beban dan deformasi *Vierendeel*  $a/h = 1$  hasil numeris SAP 2000 (*frame*).

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	5.89	6.36	5.89
7.00	11.18	12.03	11.18
10.50	16.47	17.71	16.47
14.00	21.75	23.38	21.75
17.50	27.04	29.06	27.04
20.30	31.27	33.6	31.27
20.30	62.54	67.2	62.54
20.30	93.81	100.8	93.81
20.30	125.08	134.4	125.08
20.30	156.35	168	156.35
20.30	187.62	201.6	187.62

Tabel 5.17. Beban dan deformasi *Vierendeel*  $a/h = 2$  hasil numeris SAP 2000 (*frame*).

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	6.98	7.05	6.98
7.00	13.40	13.47	13.40
10.50	19.82	19.89	19.82
10.50	39.64	39.78	39.64
10.50	59.46	59.67	59.46
10.50	79.28	79.56	79.28
10.50	99.10	99.45	99.10

Tabel 5.18. Beban dan deformasi *Vierendeel*  $a/h = 3$  hasil numeris SAP 2000 (*frame*).

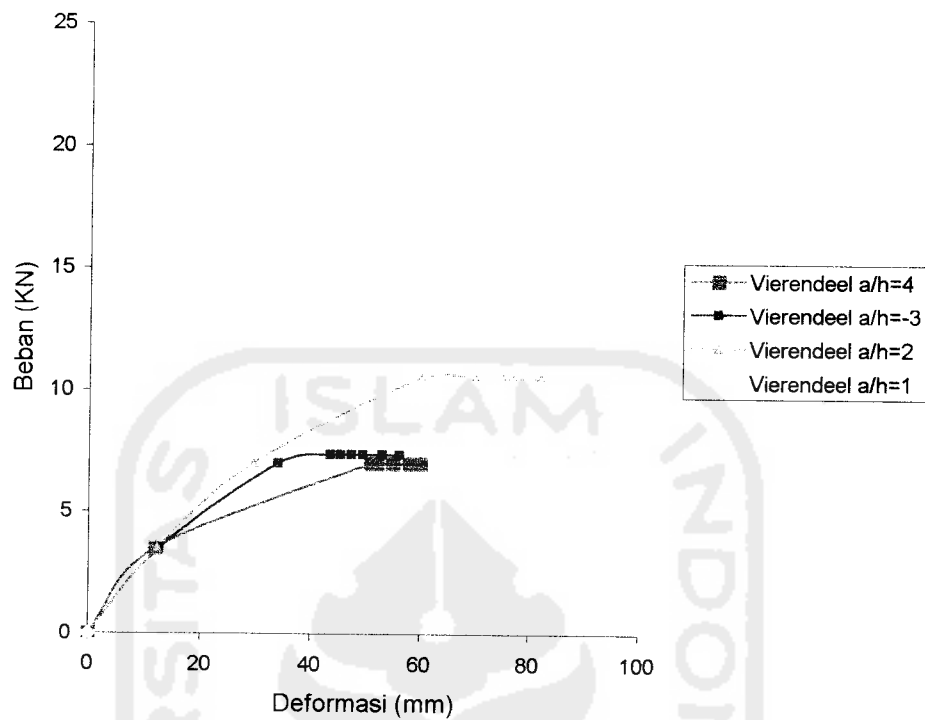
Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	19.73	23.63	19.73
7.00	37.89	45.38	37.89
7.35	39.71	47.55	39.71
7.35	79.42	95.1	79.42
7.35	119.13	142.65	119.13
7.35	158.84	190.2	158.84
7.35	198.55	237.75	198.55
7.35	238.26	285.30	238.26

Tabel 5.19. Beban dan deformasi *Vierendeel*  $a/h = 4$  hasil numeris SAP 2000 (*frame*).

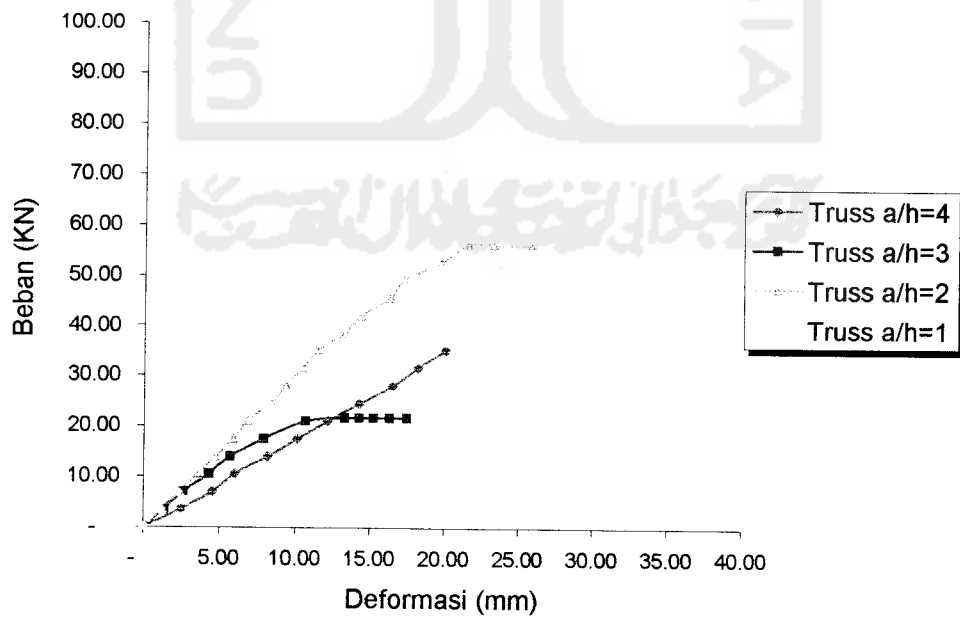
Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	30.37	31.95	30.37
3.50	35.02	36.84	35.02
7.00	67.56	71.03	67.56
7.00	135.12	77.87	135.12
7.00	202.68	84.71	202.68
7.00	270.24	91.55	270.24
7.00	337.80	98.39	337.80

### 5.2.3 Kurva Beban-Deformasi

Menggunakan data beban-deformasi hasil penelitian eksperimental *Vierendeel* (Tabel 5.1 hingga 5.4) dan penelitian eksperimental *Truss* (Tabel 5.5 hingga 5.8) dibuat kurva beban-deformasi (P- $\Delta$ ). Deformasi yang digunakan adalah deformasi pada titik 2 yang merupakan deformasi di tengah bentang. Kurva beban-deformasi (P- $\Delta$ ) hasil penelitian eksperimental ditunjukkan pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3

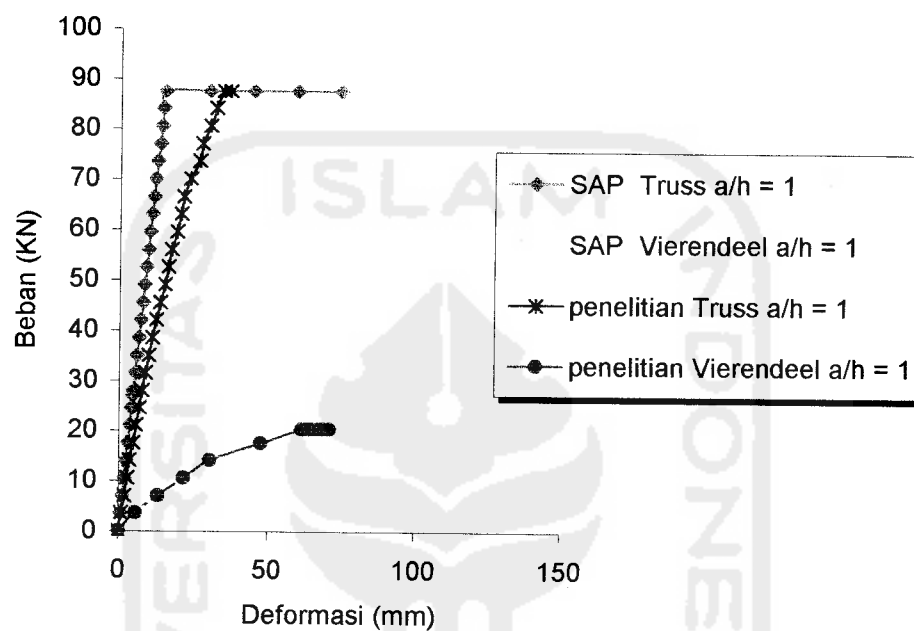


Gambar 5.2 Kurva beban deformasi hasil penelitian eksperimental *Vierendeel* ( $a/h=1$  hingga  $a/h=4$ )

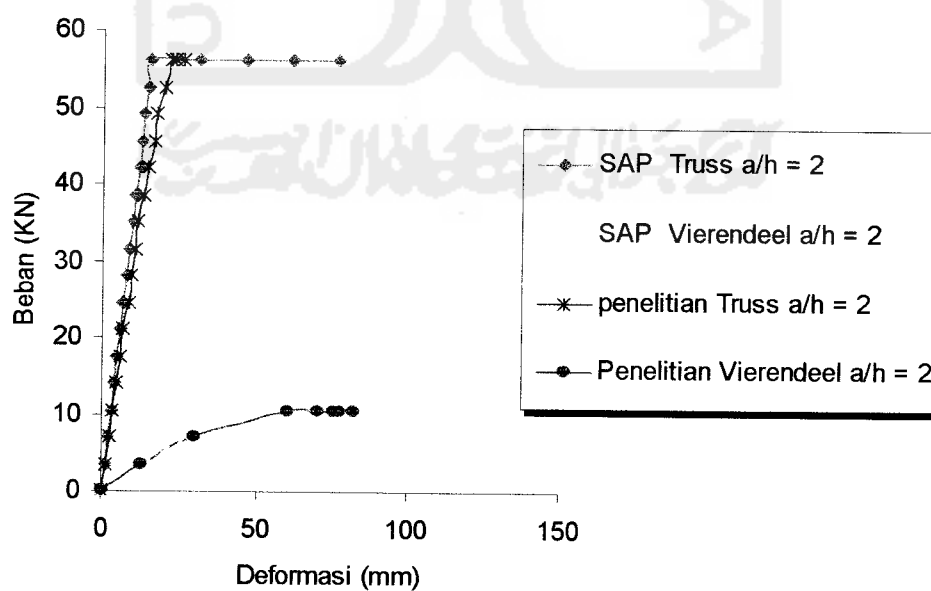


Gambar 5.3 Kurva beban deformasi hasil penelitian eksperimental *Truss* ( $a/h=1$ )

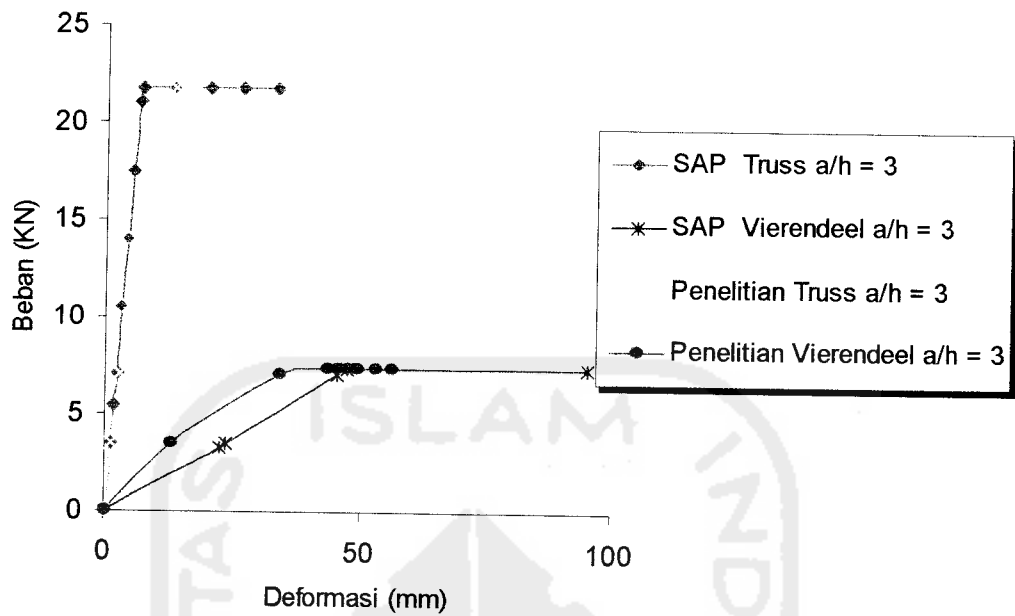
Kurva beban-deformasi penelitian eksperimental dan hasil penelitian numeris disajikan dalam satu sistem koordinat kartesian, hasilnya disajikan pada Gambar 5.4 hingga Gambar 5.7.



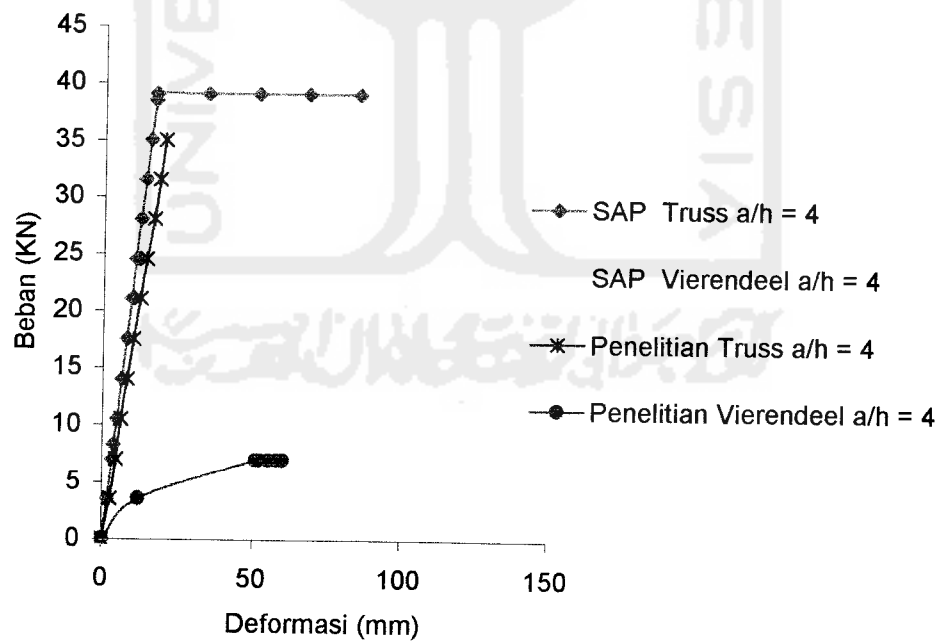
Gambar 5.4. Kurva hubungan beban-deformasi penelitian-SAP B.uji  $a/h = 1$



Gambar 5.5. Kurva hubungan beban-deformasi penelitian-SAP B.uji  $a/h = 2$



Gambar 5.6. Kurva hubungan beban-deformasi penelitian-SAP B.uji  $a/h = 3$



Gambar 5.7 Kurva hubungan beban-deformasi penelitian-SAP B.uji  $a/h = 4$

Kurva beban-deformasi hasil penelitian ekperimental dan analisis numeris SAP 2000 mempunyai kesamaan bentuk, yaitu dalam keadaan elastis mempunyai bentuk linier. Kemiringan kurva hasil analisis numeris maupun penelitian eksperimental menunjukkan *Truss* lebih kaku dibandingkan dengan *Vierendeel*.

Data beban-deformasi delapan benda uji hasil penelitian eksperimental dapat digunakan untuk menghitung kekakuan *Vierendeel* maupun *Truss*. Kekakuan *Vierendeel* dan *Truss* disajikan dalam Tabel 5.20. dan Tabel 5.21.

Tabel 5.20. kekakuan balok *Vierendeel* pada berbagai rasio (a/h)

Jarak batang transversal (a) (cm)	a/h	$P_y$ (kN)	Deformasi ( $\Delta y$ ) (mm)	Kekakuan ( $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ )	Rasio kekakuan
40	1	20.3	61.67	0.3292	1.000
80	2	10.5	60.00	0.1750	0.532
120	3	7.35	43.50	0.1547	0.470
160	4	7.00	50.94	0.1374	0.417

Tabel 5.21. kekakuan balok *Truss* pada berbagai rasio (a/h)

Jarak batang transversal (a) (cm)	a/h	$P_y$ (kN)	Deformasi ( $\Delta y$ ) (mm)	Kekakuan ( $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ )	Rasio kekakuan
40	1	87.5	34.35	2.5473	1.000
80	2	56.0	21.56	2.5974	1.020
120	3	21.7	13.26	1.6365	0.642
160	4	35.0	20.00	1.7500	0.687

Guna membandingkan kekakuan *Truss* dan *Vierendeel* dihitung rasio kekakuan *Truss* terhadap *Vierendeel*, hasilnya ditunjukkan pada Tabel 5.22. Rasio kekakuan *Truss* terhadap *Vierendeel* bervariasi dari 7.73 hingga 14.44 dengan rata – rata = 11.22

Tabel 5.22. Rasio kekakuan *Truss* terhadap *Vierendeel* dengan variasi  $a/h$ 

No	Kekakuan ( $\text{kN mm}^{-1}$ )		$a/h$	Rasio
	<i>Vierendeel</i>	<i>Truss</i>		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)/(2)
1	0.3292	2.5473	1	7.73
2	0.1750	2.5974	2	14.44
3	0.1547	1.6365	3	10.25
4	0.1374	1.7500	4	12.5

### 5.3. Hubungan Momen-Kelengkungan

#### 5.3.1 Momen-Kelengkungan Hasil Eksperimen

Hubungan momen-kelengkungan ( $M-\phi$ ) *Vierendeel* maupun *Truss* dapat dihitung menggunakan data deformasi tiga titik yang berurutan dengan jarak masing masing titik sama, yaitu 800 mm. Kelengkungan balok dihitung dengan Persamaan (3.50), momen yang sesuai dengan pembebanan ( $P/2$ ) pada sepertiga bentang adalah ( $M = 1/6 P.L$ )

Hitungan momen dan kelengkungan hasil penelitian eksperimental disajikan pada Tabel 5.23. hingga Tabel 5.30. Kelengkungan struktur meningkat bila momen bertambah besar, momen maksimum digunakan untuk menentukan kuat lentur *Vierendeel* maupun *Truss*. Uraian berikut ini mengemukakan contoh hitungan momen dan kelengkungan

Pembebanan 3.5 kN pada benda uji *Truss* dengan  $a/h = 4$ , deformasi pada dial gauge 1 ( $y_{i-1}$ ) = 2.48 mm, dial gauge 2 ( $y_i$ ) = 2,5 mm, dan dial gauge 3 ( $y_{i+1}$ ) = 2,09 mm dengan jarak antar dial ( $\Delta x$ ) = 800 mm. Dengan menggunakan persamaan (3.50), maka besarnya kelengkungan dapat dihitung:



$$\phi = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{\Delta x^2} \dots \dots \dots (3.50)$$

menghasilkan :

$$\phi = \frac{2,48 - (2 \times 2,5) + 2,09}{800^2} \cdot (-1) = 7,2 \cdot 10^{-6} \left( \frac{1}{mm} \right)$$

Momen dihitung dengan persamaan :

$$M = \frac{1}{6} \times 3,5 \times 4,8 = 2,8 \text{ kNm}$$

Tabel 5.23. Momen dan kelengkungan penelitian *Vierendeel*  $a/h = 1$

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	5.36	5.78	5.43	1.20313E-06
5.60	12.28	13.21	12.31	2.85938E-06
8.40	20.14	21.62	20.20	4.53125E-06
11.20	28.31	30.38	28.44	6.26563E-06
14.00	44.45	47.59	44.57	9.625E-06
16.24	57.69	61.67	57.95	1.20313E-05
16.24	59.00	63.00	59.00	0.0000125
16.24	60.00	65.00	61.00	1.40625E-05
16.24	62.00	67.00	62.00	0.000015625
16.24	63.00	69.00	64.00	1.71875E-05
16.24	65.00	71.00	65.00	0.00001875

Tabel 5.24. Momen dan kelengkungan penelitian *Truss*  $a/h = 1$

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	0.96	0.97	0.91	1.09375E-07
5.60	1.85	2.00	1.85	4.6875E-07
8.40	2.86	2.93	2.61	6.09375E-07
11.20	3.05	3.61	3.42	1.17188E-06
14.00	4.01	4.80	4.61	1.53125E-06
16.80	4.98	5.75	5.36	1.8125E-06
19.60	5.94	6.75	6.28	0.000002
22.40	6.89	7.77	7.18	2.29688E-06
25.20	7.89	8.77	8.06	2.48438E-06
28.00	8.94	9.81	9.01	2.60938E-06
30.80	9.62	11.00	10.22	0.000003375
33.60	10.89	12.25	11.14	3.85938E-06
36.40	11.98	13.63	12.40	0.0000045

Lanjutan tabel 5.24.

39.20	13.12	15.05	13.68	5.15625E-06
42.00	14.21	16.29	14.76	5.64063E-06
44.80	15.11	17.34	15.67	6.09375E-06
47.60	16.88	19.04	17.16	6.3125E-06
50.40	17.99	20.40	18.46	6.79688E-06
53.20	18.08	21.20	19.63	7.32813E-06
56.00	20.92	23.46	21.07	7.70313E-06
58.80	23.04	26.50	24.52	0.0000085
61.60	24.04	27.45	24.57	9.82813E-06
64.40	26.13	30.00	26.80	1.10469E-05
67.20	27.97	32.00	28.47	1.18125E-05
70.00	29.97	34.35	30.05	1.35625E-05

Tabel 5.25. Momen dan kelengkungan penelitian *Vierendeel*  $a/h = 2$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	11.04	12.26	11.25	3.48438E-06
5.60	27.03	29.50	27.54	6.92188E-06
8.40	54.99	60.00	56.99	1.25313E-05
8.40	63.00	70.00	66.00	1.71875E-05
8.40	67.00	75.00	71.00	0.00001875
8.40	70.00	77.00	74.00	0.000015625
8.40	74.00	82.00	77.00	2.03125E-05

Tabel 5.26. Momen dan kelengkungan penelitian *Truss*  $a/h = 2$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	1.09	1.24	1.20	2.96875E-07
5.60	2.07	2.36	2.30	5.46875E-07
8.40	3.10	3.52	3.46	0.00000075
11.20	4.11	4.73	4.60	1.17188E-06
14.00	5.14	5.90	5.74	1.4375E-06
16.80	6.04	6.83	6.55	1.67188E-06
19.60	7.23	8.36	7.93	2.4375E-06
22.40	8.10	9.32	8.85	2.64063E-06
25.20	9.14	10.43	9.83	2.95313E-06
28.00	10.07	11.42	10.76	3.14063E-06
30.80	11.98	13.24	12.40	3.28125E-06
33.60	12.99	14.37	13.39	3.6875E-06
36.40	14.88	16.30	14.99	4.26563E-06
39.20	15.02	17.20	16.34	0.00000475
42.00	17.95	19.66	18.08	5.14063E-06
44.80	19.95	21.56	19.68	5.45313E-06
44.80	21.07	23.22	21.03	6.78125E-06

Tabel 5.27. Momen dan kelengkungan penelitian *Vierendeel*  $a/h = 3$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	11.12	12.64	10.73	5.35938E-06
5.60	29.77	34.02	29.90	1.30781E-05
5.88	37.88	43.50	38.88	0.000016
5.88	39.51	45.40	39.51	1.84063E-05
5.88	41.12	47.32	41.14	1.93438E-05

Tabel 5.28. Momen dan kelengkungan penelitian *Truss*  $a/h = 3$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	1.05	1.39	1.27	7.1875E-07
5.60	2.15	2.65	2.39	1.1875E-06
8.40	3.91	4.30	3.76	1.45313E-06
11.20	4.88	5.71	5.06	2.3125E-06
14.00	6.91	7.88	6.91	3.03125E-06
16.80	8.94	10.65	9.14	5.03125E-06
17.36	10.90	13.26	11.10	7.0625E-06
17.36	11.92	14.26	11.83	7.45313E-06
17.36	12.10	15.21	12.49	9.10938E-06

Tabel 5.29. Momen dan kelengkungan penelitian *Vierendeel*  $a/h = 4$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	11.19	12.06	11.59	2.09375E-06
5.60	48.65	50.94	49.53	5.78125E-06
5.60	49.00	52.00	50.00	7.8125E-06
5.60	51.00	55.00	52.00	1.09375E-05
5.60	53.00	58.00	54.00	1.40625E-05
5.60	54.00	60.00	56.00	0.000015625

Tabel 5.30. Momen dan kelengkungan penelitian *Truss*  $a/h = 4$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	1.68	1.73	1.68	1.5625E-07
5.60	3.18	3.23	3.18	1.5625E-07
8.40	4.69	4.74	4.69	1.5625E-07
11.20	6.20	6.25	6.20	1.5625E-07
14.00	7.70	7.75	7.70	1.5625E-07

Lanjutan tabel 5.30.

16.80	9.21	9.26	9.21	1.5625E-07
19.60	10.71	10.76	10.71	1.5625E-07
22.40	12.22	12.27	12.22	1.5625E-07
25.20	13.73	13.78	13.73	1.5625E-07
28.00	15.23	15.28	15.23	1.5625E-07
30.80	16.74	16.79	16.74	1.5625E-07
31.28	17.00	17.05	17.00	1.5625E-07
31.28	34.00	34.10	34.00	3.125E-07
31.28	51.00	51.15	51.00	4.6875E-07

### 5.3.2 Momen-Kelengkungan Analisis Numeris

Perhitungan momen dan kelengkungan hasil analisis numeris menggunakan SAP 2000 disajikan pada Tabel 5.31 hingga Tabel 5.38. Input beban dan interval pembebanan yang digunakan disesuaikan dengan interval pembebanan dalam eksperimen. Kelengkungan *Truss* dan *Vierendeel* dihitung dengan Persamaan (3.50).

Tabel 5.31. Momen-kelengkungan numeris SAP (truss)  $a/h=1$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	0.61	0.68	0.61	2.37188E-07
5.60	1.14	1.28	1.14	4.375E-07
8.40	1.66	1.87	1.66	6.5625E-07
11.20	2.19	2.46	2.19	8.4375E-07
14.00	2.72	3.06	2.72	1.0625E-06
16.80	3.25	3.65	3.25	0.00000125
19.60	3.78	4.24	3.78	1.4375E-06
22.40	4.31	4.83	4.31	0.000001625
25.20	4.83	5.43	4.83	0.000001875
28.00	5.36	6.02	5.36	2.0625E-06
30.80	5.89	6.61	5.89	0.00000225
33.60	6.42	7.21	6.42	2.46875E-06
36.40	6.95	7.80	6.95	2.65625E-06
39.20	7.48	8.39	7.48	2.84375E-06
42.00	8.00	8.99	8.00	3.09375E-06
44.80	8.53	9.58	8.53	3.28125E-06

Lanjutan tabel 5.31.

47.60	9.06	10.17	9.06	3.46875E-06
50.40	9.59	10.76	9.59	3.65625E-06
53.20	10.12	11.36	10.12	0.000003875
56.00	10.65	11.95	10.65	4.0625E-06
58.80	11.18	12.54	11.18	0.00000425
61.60	11.85	13.31	11.85	4.5625E-06
64.40	12.23	13.73	12.23	4.6875E-06
67.20	12.76	14.32	12.76	0.000004875
70.00	13.29	14.92	13.29	5.09375E-06
70.00	26.58	29.84	26.58	1.01875E-05
70.00	39.87	44.76	39.87	1.52813E-05
70.00	53.16	59.68	53.16	0.000020375
70.00	66.45	74.60	66.45	2.54688E-05

Tabel 5.32. Momen dan kelengkungan numeris SAP (truss)  $Truss$   $a/h = 2$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	0.96	1.07	0.96	3.52813E-07
5.60	1.81	2.02	1.81	6.5625E-07
8.40	2.67	2.98	2.67	9.6875E-07
11.20	3.53	3.93	3.53	0.00000125
14.00	4.38	4.89	4.38	1.59375E-06
16.80	5.24	5.84	5.24	0.000001875
19.60	6.10	6.80	6.10	2.1875E-06
22.40	6.95	7.75	6.95	0.0000025
25.20	7.81	8.70	7.81	2.78125E-06
28.00	8.66	9.66	8.66	0.000003125
30.80	9.52	10.61	9.52	3.40625E-06
33.60	10.38	11.57	10.38	3.71875E-06
36.40	11.23	12.52	11.23	4.03125E-06
39.20	12.09	13.48	12.09	4.34375E-06
42.00	12.95	14.43	12.95	0.000004625
44.80	13.80	15.38	13.80	4.9375E-06
44.80	27.60	30.76	27.60	0.000009875
44.80	41.40	46.14	41.40	1.48125E-05
44.80	55.20	61.52	55.20	0.00001975
44.80	69.00	76.90	69.00	2.46875E-05

Tabel 5.33. Momen dan kelengkungan numeris SAP (truss)  $Truss\ a/h = 3$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	0.96	1.17	0.96	6.45625E-07
5.60	1.81	2.21	1.81	0.00000125
8.40	2.67	3.25	2.67	1.8125E-06
11.20	3.52	4.29	3.52	2.40625E-06
14.00	4.37	5.33	4.37	0.000003
16.80	5.22	6.37	5.22	3.59375E-06
17.36	5.39	6.58	5.39	3.71875E-06
17.36	10.78	13.16	10.78	7.4375E-06
17.36	16.17	19.74	16.17	1.11563E-05

Tabel 5.34. Momen dan kelengkungan numeris SAP (truss)  $Truss\ a/h = 4$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	1.68	1.73	1.68	1.5625E-07
5.60	3.18	3.23	3.18	1.5625E-07
8.40	4.69	4.74	4.69	1.5625E-07
11.20	6.20	6.25	6.20	1.5625E-07
14.00	7.70	7.75	7.70	1.5625E-07
16.80	9.21	9.26	9.21	1.5625E-07
19.60	10.71	10.76	10.71	1.5625E-07
22.40	12.22	12.27	12.22	1.5625E-07
25.20	13.73	13.78	13.73	1.5625E-07
28.00	15.23	15.28	15.23	1.5625E-07
30.80	16.74	16.79	16.74	1.5625E-07
31.28	17.00	17.05	17.00	1.5625E-07
31.28	34.00	34.10	34.00	3.125E-07
31.28	51.00	51.15	51.00	4.6875E-07

Tabel 5.35. Momen dan kelengkungan numeris SAP (frame) *Vierendeel*  
 $a/h = 1$ 

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	5.89	6.36	5.89	1.46875E-06
5.60	11.18	12.03	11.18	2.65625E-06
8.40	16.47	17.71	16.47	3.875E-06
11.20	21.75	23.38	21.75	5.09375E-06
14.00	27.04	29.06	27.04	6.3125E-06
16.24	31.27	33.6	31.27	7.28125E-06

Lanjutan tabel 5.35.

16.24	62.54	67.2	62.54	1.45625E-05
16.24	93.81	100.8	93.81	2.18438E-05
16.24	125.08	134.4	125.08	0.000029125
16.24	156.35	168	156.35	3.64063E-05
16.24	187.62	201.6	187.62	4.36875E-05

Tabel 5.36. Momen dan kelengkungan numeris SAP (frame) *Vierendeel*  
 $a/h = 2$

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	6.98	7.05	6.98	2.1875E-07
5.60	13.4	13.47	13.4	2.1875E-07
8.40	19.82	19.89	19.82	2.1875E-07
8.40	39.64	39.78	39.64	4.375E-07
8.40	59.46	59.67	59.46	6.5625E-07

Tabel 5.37. Momen dan kelengkungan numeris SAP (frame) *Vierendeel*  
 $a/h = 3$

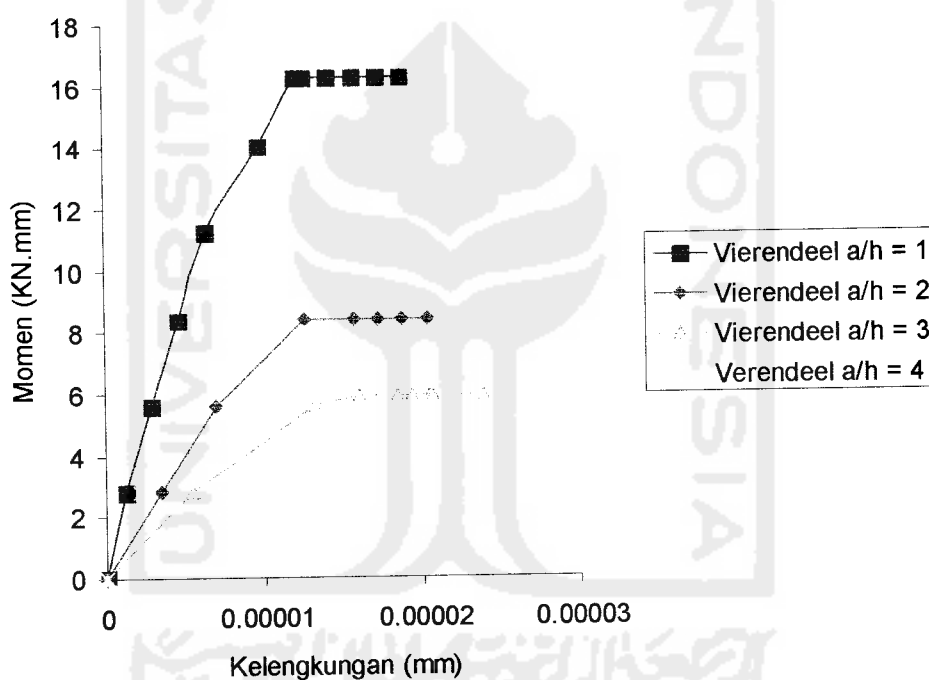
Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	19.73	23.63	19.73	1.21875E-05
5.60	37.89	45.38	37.89	2.34063E-05
5.88	39.71	47.55	39.71	0.0000245
5.88	79.42	95.10	79.42	0.000049
5.88	119.13	142.65	119.13	0.0000735
5.88	158.84	190.20	158.84	0.000098
5.88	198.55	237.75	198.55	0.0001225
5.88	238.26	285.30	238.26	0.000147

Tabel 5.38. Momen dan kelengkungan numeris SAP (frame) *Vierendeel*  
 $a/h = 4$

Momen	$y_{i-1}$	$y_i$	$y_{i+1}$	Kelengkungan
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	35.02	36.84	35.02	5.6875E-06
5.60	67.56	71.03	67.56	1.08438E-05
5.60	135.12	77.87	135.12	-0.000178906
5.60	202.68	84.71	202.68	-0.000368656
5.60	270.24	91.55	270.24	-0.000558406
5.60	337.80	98.39	337.80	-0.000748156

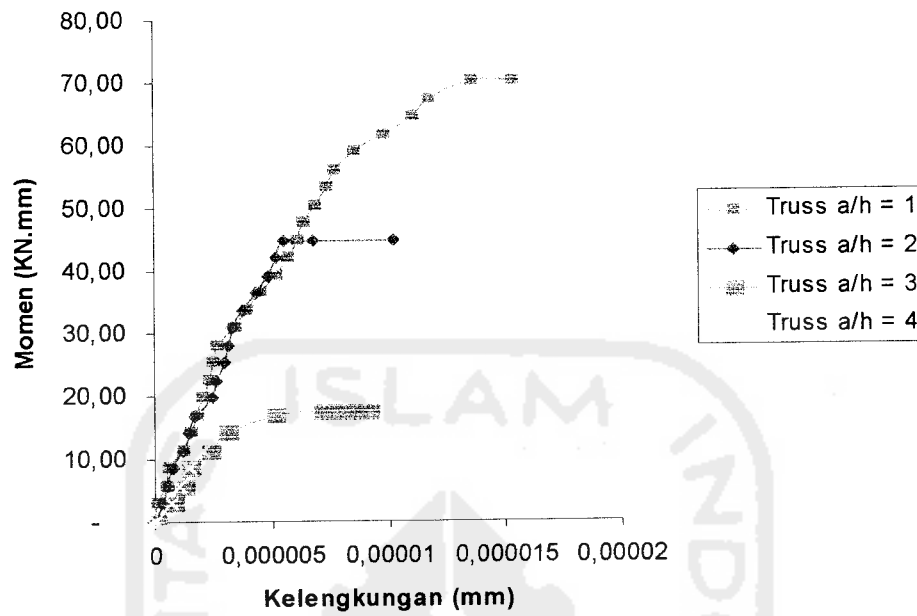
### 5.3.3 Kurva Momen-Kelengkungan

Menggunakan cara yang sama dengan contoh perhitungan diperoleh data momen-kelengkungan pada setiap tahap pembebanan, selanjutnya dapat dibuat kurva momen-kelengkungan. Kurva momen-kelengkungan penelitian eksperimen ditunjukkan pada Gambar 5.8. dan 5.9.



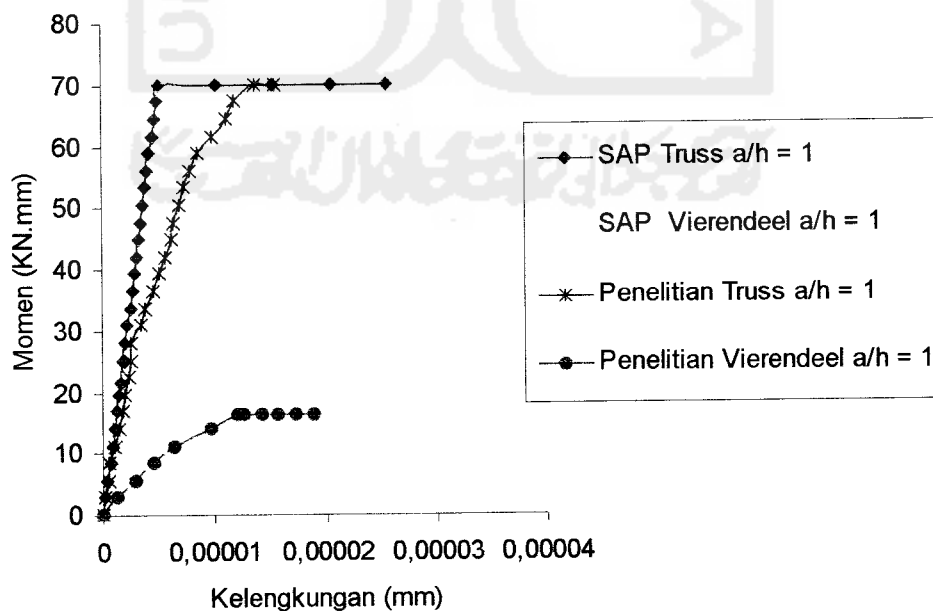
Gambar 5.8. Kurva hubungan momen-kelengkungan penelitian balok *Vierendeel*



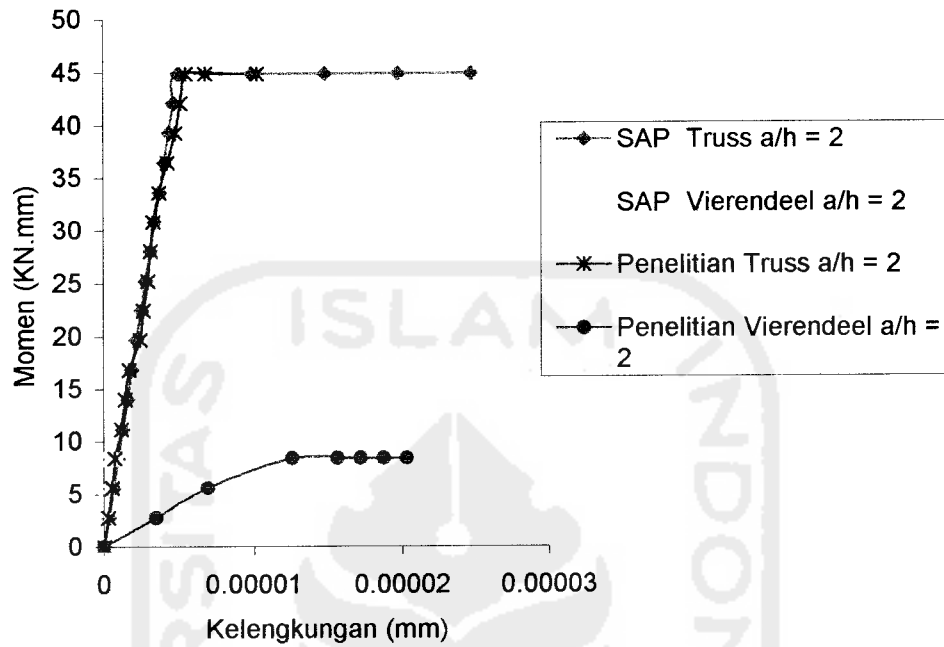


Gambar 5.9. Kurva hubungan momen-kelengkungan penelitian balok *Truss*

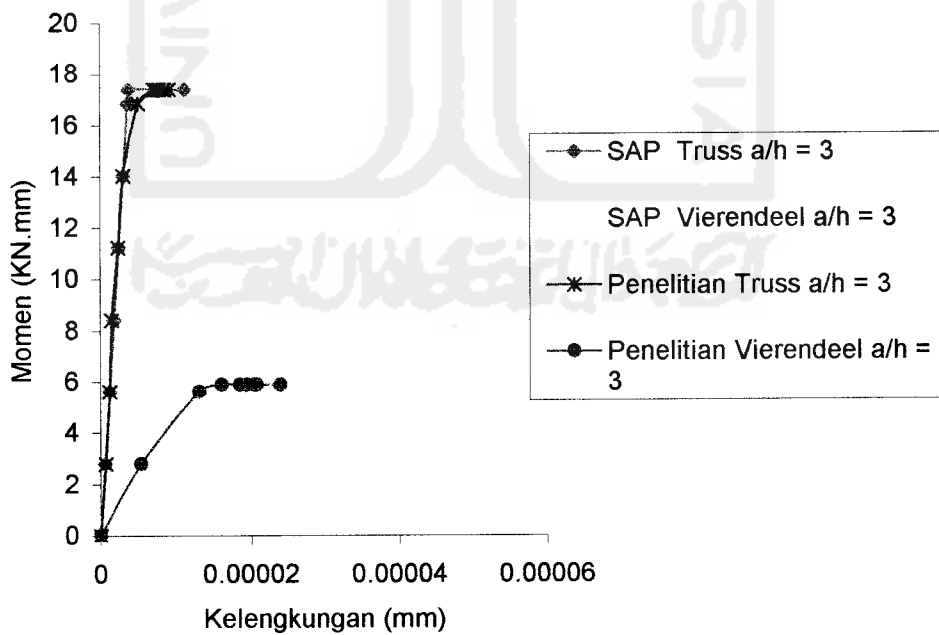
Kurva momen-kelengkungan hasil analisis numeris dengan SAP 2000 pada nilai  $a/h = 1$  hingga  $(a/h)=4$  ditunjukkan pada Gambar 5.10. hingga Gambar 5.13.



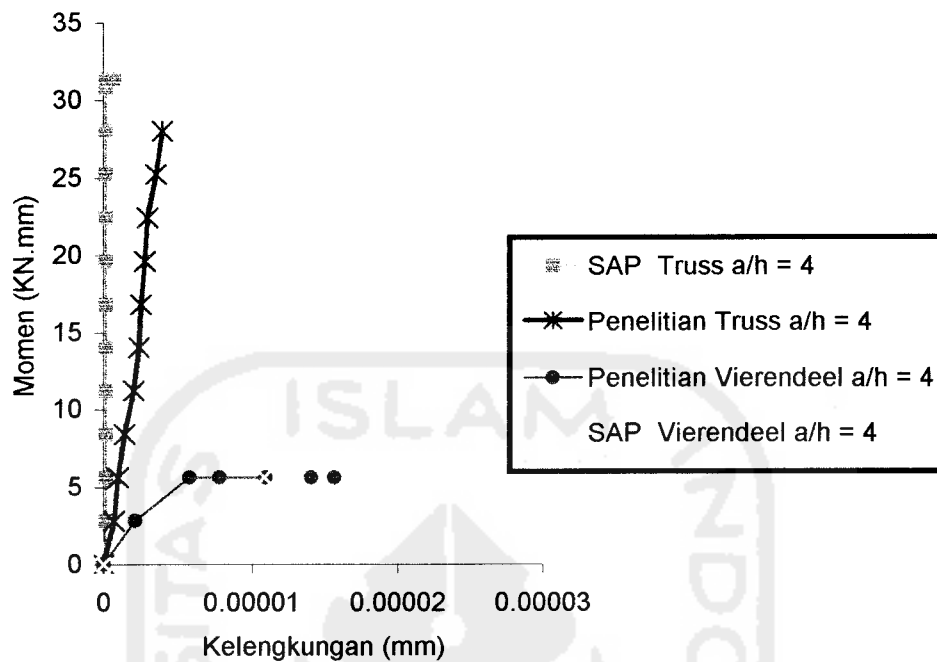
Gambar 5.10. Kurva hubungan momen-kelengkungan benda uji dengan  $a/h = 1$



Gambar 5.11. Kurva hubungan momen-kelengkungan benda uji dengan  $a/h = 2$



Gambar 5.12. Kurva hubungan momen-kelengkungan benda uji dengan  $a/h = 3$



Gambar 5.13. Kurva hubungan momen-kelengkungan benda uji dengan  $a/h = 4$

### 5.3.4 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Rasio momen terhadap kelengkungan ( $M/\phi$ ) dinamakan faktor kekakuan lentur. Kurva momen-kelengkungan *Vierendeel* dan *Truss* secara umum mempunyai bentuk yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada kurva  $M/\phi$  yang diperoleh dari data laboratorium (Gambar 5.7 dan Gambar 5.8).

### 5.4 Kerusakan Benda Uji

Berdasarkan pengamatan visual, *Vierendeel* dan *Truss* sebelum diuji dalam keadaan baik. *Vierendeel* mengalami deformasi plastis setelah memikul beban besar. Kerusakan yang terjadi pada *Truss* dengan  $a/h=4$  terdapat pada sambungan las. Pada benda uji *Truss* dengan  $a/h = 3$  mengalami kegagalan tekuk lokal (*lokal buckling*) hal ini mungkin disebabkan karena perletakan pembebanan tidak

tepat di atas batang transversal, sehingga elemen batang tepi tidak mampu mendistribusikan beban dengan baik (kekakuan elemen < kekakuan struktur), sedangkan pada benda uji *Truss* dengan  $a/h = 2$  dan  $a/h = 1$  terjadi *torsional buckling*.

## 5.5 Pembahasan

### 5.5.1 Kuat Lentur *Vierendeel* versus *Truss*

#### 1. Kuat Lentur *Vierendeel* dan *Truss*

Kuat lentur komponen struktur dipengaruhi momen inersia penampang dan sifat bahan, intensitas beban berpengaruh kepada deformasi. Dari kurva beban-deformasi dan momen kelengkungan hasil penelitian eksperimental dapat diketahui momen maksimum yang dapat dipikul oleh *Truss* lebih besar dari pada momen maksimum yang dapat dipikul oleh *Vierendeel* dengan  $(a/h)$  sama dan jenis alat sambung sama. Selain itu, *Truss* lebih kaku dibanding *Vierendeel*. Secara umum dapat diinformasikan keberadaan batang diagonal pada *Truss* memberi sumbangan kekuatan dan kekakuan yang cukup signifikan.

Sebagian besar joint-joint *Truss* merupakan pertemuan empat komponen, yaitu dua komponen tepi, komponen vertikal dan komponen diagonal, sedangkan sebagian besar joint-joint *Vierendeel* merupakan pertemuan tiga komponen. Komponen gaya horisontal yang dapat dipikul oleh *Truss* lebih besar dibanding komponen gaya horisontal yang dapat dipikul oleh *Vierendeel*. Karena *Truss* dan *Vierendeel* mempunyai tinggi sama maka lengan momen keduanya sama, dengan

demikian momen yang dapat dipikul oleh *Truss* lebih besar dari pada momen yang dapat dipikul oleh *Vierendeel*

Kekakuan struktur lentur dipengaruhi oleh momen inersia, modulus elastis bahan, panjang bentang dan kondisi tumpuan. Dalam penelitian ini, panjang bentang, kondisi tumpuan dan sifat bahan *Truss* sama dengan *Vierendeel*. Perbedaan *Truss* dan *Vierendeel* terdapat pada momen inersia penampang, momen inersia penampang *Truss* lebih besar dari pada momen inersia penampang *Vierendeel* karena itu *Truss* lebih kaku dibanding *Vierendeel*.

Kurva beban-deformasi hasil penelitian eksperimen dan analisis numeris dengan SAP 2000 dari awal pembebanan sampai mencapai beban maksimum *Vierendeel* maupun *Truss* keduanya mempunyai perilaku yang mirip. Pada beban kecil struktur elastis, kemudian mengalami plastifikasi.

Kurva beban-deformasi dan kurva momen-kelengkungan dapat dipandang terdiri dari dua bagian lurus dengan kemiringan berbeda (bi linier). Kurva linier dengan kemiringan besar ketika beban atau momen kecil menunjukkan struktur masih elastis, sedangkan kurva linier dengan kemiringan kecil menunjukkan struktur dalam keadaan plastis.

Bentuk kurva hasil penelitian eksperimental mirip dengan hasil analisis numeris, pada awal pembebanan hingga beban maksimum, *Vierendeel* maupun *Truss* berperilaku elastis dan kemudian mengalami plastifikasi. Kemiringan kurva beban-deformasi menunjukkan kekakuan ( $k$ ), semakin tegak menunjukkan semakin kaku. Kemiringan kurva momen-kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan ( $EI$ ). Setelah mencapai beban maksimum *Vierendeel* maupun *Truss*

memasuki fase tidak elastis (*in-elastis*) yang ditunjukkan oleh garis lurus yang hampir mendatar, ini berarti beban tetap deformasi meningkat. Pada fase *in-elastic* terjadi penurunan modulus elastis bahan sehingga kekakuan balok menurun. hal ini cocok dengan penurunan modulus elastis yang dikemukakan oleh (chen dan Atsuta 1976). Pada beban kecil hingga beban leleh ( $P_y$ ) kekakuan benda uji (*Vierendeel dan Truss*) tetap yang berarti sifat modulus elastisitas bahan tetap).

Rasio jarak pengaku terhadap tinggi ( $a/h$ ) berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan, semakin besar nilai ( $a/h$ ) kekuatan dan kekakuan *Vierendeel* maupun *Truss* semakin kecil. Hal ini terjadi karena batang tepi atas yang merupakan batang desak semakin langsing sehingga kapasitasnya semakin kecil. Hal ini sesuai dengan persamaan Euler. Karena lengan momen tetap maka momen yang didukung semakin kecil.

Kurva beban-deformasi yang diplotkan pada Gambar 5.2 dan 5.3, yaitu deformasi pada titik dua (tengah bentang) yang merupakan lendutan terbesar pada *Vierendeel* maupun *Truss*. Kurva beban-deformasi dapat dipakai untuk mencari kekakuan struktur menggunakan persamaan ( 3.54). Kekakuan masing-masing benda uji ditunjukkan pada Tabel 5.20. dan Tabel 5.21.

Berdasarkan kurva beban-deformasi dapat diketahui bahwa beban maksimum *Vierendeel* dengan rasio  $a/h = 1$  adalah 20,3 kN, beban maksimum *Vierendeel* dengan rasio  $a/h = 2$  adalah 10,5 kN, *Vierendeel* dengan rasio  $a/h = 3$  adalah 7,35 kN dan pada  $a/h = 4$  sebesar 7 kN. Sedangkan pada *Truss* benda uji dengan rasio  $a/h = 1$  adalah 87,5 kN, benda uji dengan rasio  $a/h = 2$  adalah 56 kN,

benda uji dengan rasio  $a/h = 3$  adalah 21,7 kN, dan benda uji dengan rasio  $a/h = 4$  sebesar 35 kN, Beban yang digunakan untuk menghitung kekakuan adalah beban pada  $F_y$ , dimana baja yang dibebani mulai mengalami kondisi plastis.

*Vierendeel* dan *Truss* dengan rasio  $a/h$  yang semakin kecil mempunyai kekakuan yang semakin besar. Tabel 5.22. untuk *Vierendeel* yaitu benda uji dengan rasio  $a/h = 1$  didapat nilai kekakuan sebesar 0.3292 kN/mm sedangkan untuk benda uji dengan rasio  $a/h = 2$  didapat nilai kekakuan 0.175 kN/mm, benda uji dengan rasio  $a/h = 3$  didapat nilai kekakuan 0.1547 kN/mm dan benda uji dengan rasio  $a/h = 4$  didapat nilai kekakuan 0.1374 kN/mm. Untuk *Truss* berdasarkan Tabel 5.27 yaitu benda uji dengan rasio  $a/h = 1$  didapat nilai kekakuan 2.5473 kN-mm. benda uji dengan rasio  $a/h = 2$  didapat nilai kekakuan 2.5974 kN-mm. benda uji dengan rasio  $a/h = 3$  didapat nilai kekakuan 1.6365 kN-mm dan benda uji dengan rasio  $a/h = 4$  didapat nilai kekakuan 1.75 kN-mm. Berdasarkan Tabel 5.22. dapat diketahui bahwa pada *Vierendeel* semakin kecil nilai  $a/h$ -nya akan semakin besar angka kekakuannya, demikian juga terjadi pada *Truss*. Tetapi pada *Truss* dengan  $a/h = 4$  saat tegangan leleh belum tercapai terjadi putus pada sambungan las, hal ini mungkin terjadi akibat dari gaya geser yang terjadi terlalu besar atau terdapat kesalahan pengelasan pada sambungan tersebut. Sedangkan pada *Truss*  $a/h = 3$  terjadi lokal buckling hal ini bisa dikarenakan penempatan titik pembebanan tidak tepat berada diatas batang transversal sehingga pada elemen dimana titik pembebanan tersebut ditempatkan, elemen tidak mampu menahan ( mendistribusikan ) beban aksial yang terjadi

kedalam struktur *Truss* yang memiliki nilai kekakuan jauh lebih tinggi daripada *Vierendeel*.

## 2. Kuat Lentur Berdasarkan Kurva Momen–Kelengkungan

Kurva momen-kelengkungan didapat data lendutan titik diskrit yang berurutan. Menggunakan kurva momen-kelengkungan dapat dicari faktor kekakuan ( $EI$ ), menggunakan Persamaan  $EI = M/\phi$ . Kapasitas lentur *Vierendeel* dengan rasio  $a/h = 1$  sebesar 16240 kN-mm,  $a/h = 2$  sebesar 8400 kN-mm,  $a/h = 3$  sebesar 5880 kN-mm,  $a/h = 4$  sebesar 5600 kN-mm. Kapasitas lentur *truss* dengan rasio  $a/h = 1$  sebesar 70000 kN-mm,  $a/h = 2$  sebesar 44800 kN-mm,  $a/h = 3$  sebesar 17360 kN-mm, dan benda uji dengan  $a/h = 4$  sebesar 31280 kN-mm. Secara teoritis balok dengan penampang sama dan momen inersia sama akan menghasilkan faktor kekakuan  $EI$  yang sama pula. Namun pada penelitian ini didapat  $EI$  yang berbeda pada masing-masing benda uji. Hal ini terjadi karena rasio jarak batang transversal terhadap tinggi struktur mempengaruhi kelengkungan dan kapasitas lentur *Vierendeel* maupun *Truss*.

Faktor kekakuan hasil penelitian didapat dari kurva hubungan momen-kelengkungan. Faktor kekakuan *Vierendeel* dengan  $a/h=1$  adalah 1349812,572 kN.mm<sup>-2</sup>,  $a/h = 2$  adalah 6703215,149 kN.mm<sup>-2</sup>,  $a/h = 3$  kekakuan adalah 367500 kNmm<sup>-2</sup>, dan benda uji dengan  $a/h = 4$  kekakuan sebesar 968648,849 kN.mm<sup>-2</sup>. Sedangkan pada balok *Truss* benda uji dengan  $a/h = 1$  kekakuan sebesar 5161290,323 kN.mm<sup>-2</sup>,  $a/h = 2$  kekakuan sebesar 8215465,247 kN.mm<sup>-2</sup>,  $a/h = 3$  kekakuan sebesar 2458053,097 kN.mm<sup>-2</sup>, dan benda uji dengan  $a/h = 4$  kekakuan



sebesar 200519200 kN.mm<sup>2</sup>. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kapasitas momen yang mampu dipikul *Truss* > *Vierendeel*.

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

Momen nominal ( $M_n$ ) merupakan momen maksimum masing-masing benda uji, sedangkan momen pada dalam keadaan plastis disebut momen plastis ( $M_p$ ). Momen plastis diperoleh dari perhitungan teoritis yang merupakan jumlah kopel gaya. Mengacu kepada Persamaan (3.45) momen plastis penampang dapat dihitung dengan persamaan :

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

Tabel 5.39a Data hubungan momen nominal dan momen plastis penelitian pada *Vierendeel*

P	L	$M_n$	$M_p$	$M_n/M_p$	a/h
20300	4800	16240000	29120000	0.5577	1
10500	4800	8400000	29120000	0.2885	2
7350	4800	5880000	29120000	0.2019	3
7000	4800	5600000	29120000	0.1923	4

Tabel 5.39b Data hubungan momen nominal dan momen plastis penelitian pada *Truss*

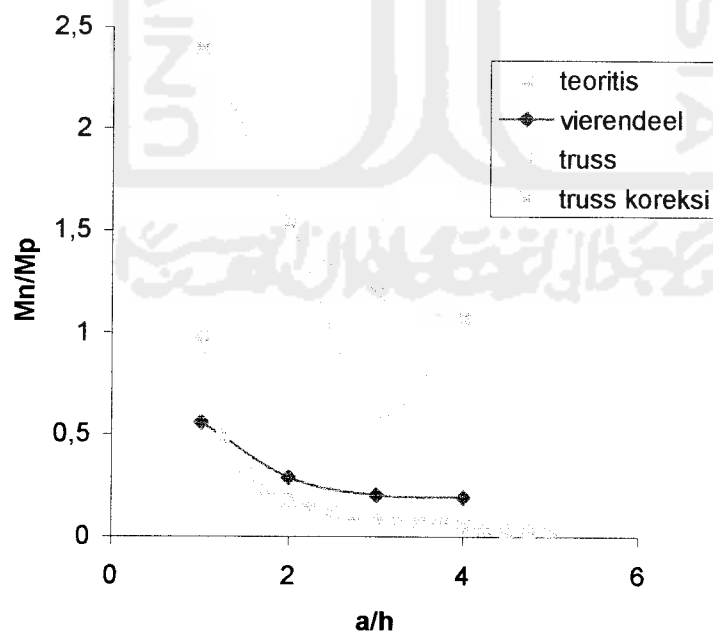
P	L	$M_n$	$M_p$	$M_n/M_p$	a/h
87500	4800	70000000	29120000	2.4038	1
56000	4800	44800000	29120000	1.5385	2
21700	4800	17360000	29120000	0.5962	3
35000	4800	31280000	29120000	1.0742	4

Momen nominal teoritis dihitung berdasarkan persamaan (3.36). Data hasil perhitungan momen nominal secara teoritis dapat dilihat pada Table 5.40.

Tabel 5.40. Data hubungan momen nominal dan momen plastis teoritis

a/h	Mn	Mp	Mn / Mp
1.00	28537630	29120000	0.9801
1.25	14268801	29120000	0.4916
1.50	9027203	29120000	0.3105
1.75	6697606	29120000	0.2324
2.00	5241604	29120000	0.1842
2.25	4368020	29120000	0.0154
2.50	3494403	29120000	0.0121
2.75	2912010	29120000	0.0102
3.00	2620821	29120000	0.0932
3.25	2329612	29120000	0.0844
3.50	2038452	29120000	0.0712
3.75	1747214	29120000	0.0631
4.00	1456501	29120000	0.0511
4.25	1164807	29120000	0.0434
4.50	873636	29120000	0.0312
4.75	873573	29120000	0.0299
5.00	582432	29120000	0.0221

Kemudian dibuat grafik hubungan  $M_n/M_p$  dan  $a/h$  penelitian dengan teoritis seperti terlihat pada Gambar 5.14.

Gambar 5.14 Kurva hubungan  $M_n/M_p$  dengan rasio  $a/h$

Berdasarkan Gambar 5.14 bahwa secara umum kapasitas momen *Vierendeel* maupun *Truss* dengan rasio  $a/h$  yang semakin kecil kapasitas momennya semakin besar, kecuali pada *Truss* dengan  $a/h=3$ . Keadaan ini mungkin akibat pembebanan yang tidak tepat berada diatas batang transversal. Pada *Vierendeel* maupun *Truss* dengan rasio  $a/h$  yang semakin kecil jarak antar batang transversal semakin rapat sehingga beban yang mampu dipikul semakin besar yang berarti kapasitas lenturnya semakin besar. Dari tabel 5.11. dan tabel 5.22. dapat diketahui bahwa *Truss* dengan  $a/h$  yang sama dengan *Vierendeel* mampu memikul beban maupun kapasitas momen yang jauh lebih besar akibat dari adanya batang-batang diagonal dan penyambungan joint-joint dengan alat sambung las. Pada gambar 5.14. kurva  $M_n/M_p$  penelitian tidak menunjukkan adanya kesamaan dengan grafik  $M_n/M_p$  teoritis, akan tetapi memiliki kemiripan yaitu semakin besar nilai  $a/h$  nilai  $M_n/M_p$  semakin menurun. Perbedaan bentuk kurva ini disebabkan pada penelitian eksperimen sampel benda uji terbatas (hanya 4 sampel) sehingga sulit untuk mendapatkan grafik yang optimal.