

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Untuk mengetahui kualitas baja yang dipakai sebagai benda uji, dilakukan uji tarik baja di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian kuat tarik baja untuk profil pipa disajikan dalam lampiran. Kuat tarik (F_u) untuk benda uji TS 40x40x2 berdasarkan hasil uji tarik baja adalah sebesar 331 MPa dan tegangan leleh (F_y) adalah 312 Mpa, sedangkan untuk benda uji TS 30x30x2 kuat tarik (F_u) adalah sebesar 356 MPa dan tegangan leleh (F_y) adalah 325 Mpa.

5.1.2 Hasil Uji Kuat Geser Las

Pengujian geser las dilakukan untuk mengetahui kuat geser las, sehingga kekuatan sambungan dapat direncanakan. Uji geser las ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia. Kuat geser las yang digunakan ($\tau_{\text{geser las}}$) = 413,92 MPa.

5.1.3 Hasil Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

Pengujian kuat lentur balok *vierendeel* dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia. Pengujian kuat lentur ini menghasilkan data berupa beban dan lendutan yang terjadi. Selanjutnya data tersebut digunakan untuk membuat grafik hubungan beban dan lendutan.

A. Hubungan Beban-Deformasi

1. Hubungan Beban-Deformasi Teoritis

Nilai hasil perhitungan beban-deformasi secara teori ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik seperti pada lampiran. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian sedangkan besar deformasinya dihitung dengan SAP 2000.

2. Hubungan Beban-Deformasi Penelitian

Pada pengujian kuat lentur, benda uji balok *vierendeel* diberi beban setiap sepertiga bentang. Secara bertahap beban dinaikkan dengan interval sebesar 3,5 KN dan data deformasi yang terjadi dicatat. Hasil pengujian untuk tiap benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.1, Tabel 5.2, Tabel 5.3, dan Tabel 5.4.

Tabel 5.1. Hasil pengujian untuk benda uji 2 ($a/h = 4$)

BEBAN (KN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)
0	0	0	0
3,5	11,19	12,06	11,59
7	48,65	50,94	49,53
7	49	52	50
7	51	55	52
7	53	58	54
7	54	60	56

Tabel 5.2. Hasil pengujian untuk benda uji 3 ($a/h = 3$)

BEBAN (KN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)
0	0	0	0
3,5	11,12	12,64	10,73
7	29,77	34,02	29,9
7,35	37,88	43,5	38,88
7,35	39,51	45,4	39,51
7,35	41,12	47,32	41,14
7,35	42,89	49,42	42,9
7,35	45,84	52,97	46,88
7,35	48,39	56,12	48,55

Tabel 5.3. Hasil pengujian untuk benda uji 4 ($a/h = 2$)

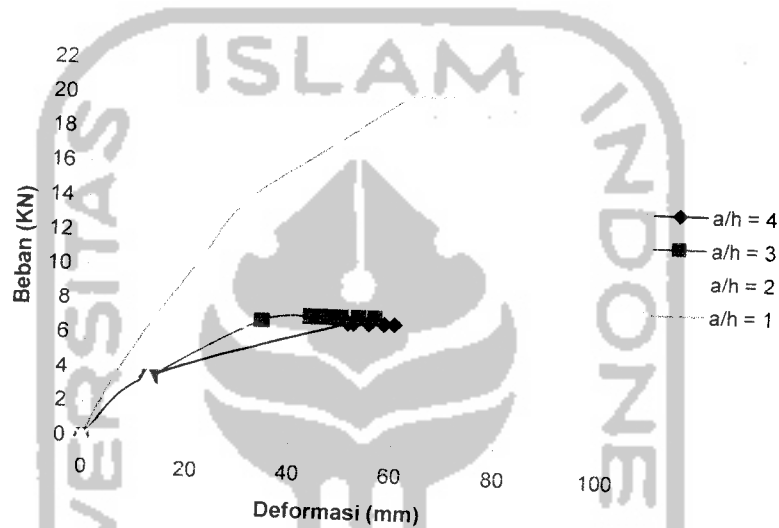
BEBAN (KN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)
0	0	0	0
3,5	11,04	12,26	11,25
7	27,03	29,5	27,54
10,5	54,99	60	56,99
10,5	63	70	66
10,5	67	75	71
10,5	70	77	74
10,5	74	82	77

Tabel 5.4. Hasil pengujian untuk benda uji 5 ($a/h = 1$)

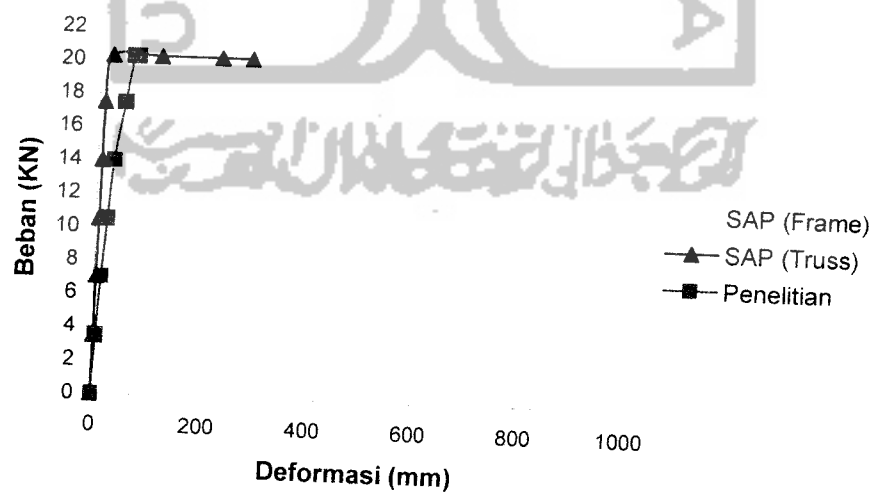
BEBAN (KN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)
0	0	0	0
3,5	5,36	5,78	5,43
7	12,28	13,21	12,31
10,5	20,14	21,62	20,2
14	28,31	30,38	28,44
17,5	44,45	47,59	44,57
20,3	57,69	61,67	57,95
20,3	59	63	59
20,3	60	65	61
20,3	62	67	62
20,3	63	69	64
20,3	65	71	65

3. Grafik Hubungan Beban-Deformasi

Dari hasil pengujian empat benda uji balok *vierendeel* dengan variasi tinggi terhadap jarak batang transversal dibuat grafik hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$). Data deformasi yang digunakan adalah pada *dial gauge* 2 yaitu data di tengah bentang yang menunjukkan deformasi maksimum. Grafik hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$) ditunjukkan oleh Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Beban – Deformasi Penelitian



Gambar 5.2. Grafik hubungan beban-deformasi SAP dan Penelitian pada benda uji 5 ($a/h = 1$)

Dari grafik hubungan beban-deformasi hasil pengujian dan SAP yang ditunjukkan pada Gambar 5.2, mulai titik awal pembebanan sampai terjadi kerusakan (tekuk), balok *viereendeel* berperilaku elastis dan berbentuk linear. Setelah mengalami sedikit kerusakan, benda uji memasuki fase inelastik dimana terjadi peningkatan deformasi yang cukup besar. Selain itu tampak dari grafik bahwa kemiringan pada balok *viereendeel* yang dianggap sebagai *frame* lebih kaku dibandingkan balok *viereendeel* yang dianggap sebagai *truss* dan lebih kaku dibandingkan hasil penelitian tapi kekuatannya lebih kecil.

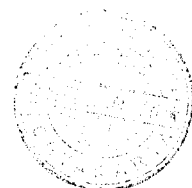
4. Analisa Data Hubungan Beban-Deformasi

Kekakuan adalah gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit deformasi, semakin kaku suatu elemen struktur maka semakin besar kemiringannya. Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-deformasi pada Gambar 5.1 dapat disimpulkan tentang kekakuan balok *viereendeel* pada beban ultimit disajikan dalam Tabel 5.5

Tabel. 5.5. Rasio Kekakuan

Variasi Jarak Batang Transversal (cm)	a/h	P_y (KN)	Deformasi (Δy) (mm)	Kekakuan ($P_y/\Delta y$) (KN/mm)	Rasio Kekakuan (%)
40	1	20,3	71	0,285915493	100
80	2	10,5	82	0,12804878	44,78553
120	3	7,35	56,12	0,130969351	45,80701
160	4	7	60	0,116666667	40,8046

Dari Tabel 5.5 dapat diamati dan diteliti pengaruh rasio jarak batang transversal terhadap kekuatan lentur balok *viereendeel* dan perilaku deformasi yang terjadi pada benda uji.



B. Hubungan Momen-Kelengkungan

I. Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

Perhitungan momen-kelengkungan dapat dilakukan setelah nilai beban-deformasi diketahui. Sebagai contoh, hasil perhitungan momen-kelengkungan teoritis pada benda uji 5 ditampilkan dalam Tabel 5.6 kemudian dibuat grafik seperti pada Gambar 5.3. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian kemudian dihitung dengan SAP 2000. Hasil perhitungan momen-kelengkungan untuk semua benda uji dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.6. Data Momen-Kelengkungan Teoritis Berdasarkan SAP (*Frame*)

Beban (P) (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	M (KNmm)	Φ (1/mm)
0	0	0	0	0	0
3.5	6,73	7,27	6,73	2,8	1,68756E-06
7	12,78	13,75	12,78	5,6	3,03125E-06
10,5	18,82	20,24	18,82	8,4	4,4375E-06
14	24,86	26,72	24,86	11,2	5,8125E-06
17,5	30,91	33,21	30,91	14	7,1875E-06
20,3	71,48	76,79	71,48	16,24	1,65938E-05
20,3	357,4	383,95	357,4	16,24	8,29688E-05
20,3	714,8	767,9	714,8	16,24	0,000165938
20,3	893,51	959,87	893,51	16,24	0,000207375

Tabel 5.7. Data Momen-Kelengkungan Teoritis Berdasarkan SAP (*Truss*)

Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (KNmm)	Φ (1/mm)
0	0	0	0	0	0
3.5	2.10916	2.13752	2.10916	2.8	8.8625E-08
7	4.00875	4.03932	4.00875	5.6	9.55313E-08
10.5	5.90833	5.94111	5.90833	8.4	1.02437E-07
14	7.80792	7.84291	7.80792	11.2	1.09344E-07
17.5	9.7075	9.74471	9.7075	14	1.16281E-07
20.3	22.45434	22.53229	22.45434	16.24	2.43594E-07
20.3	112.2717	112.6615	112.2717	16.24	1.21813E-06
20.3	224.5434	225.3229	224.5434	16.24	2.43594E-06
20.3	280.6792	281.6536	280.6792	16.24	3.045E-06

2. Hubungan Momen-Kelengkungan Penelitian

Hubungan momen-kelengkungan ($M-\phi$) dapat dicari setelah data hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$) didapatkan dari hasil pengujian kuat lentur balok *vierendeel*. Peningkatan kelengkungan terjadi bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur balok *vierendeel*. Kelengkungan balok *vierendeel* diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan *finite difference method*. Dari data pembacaan dial dapat dicari momen dan kelengkungan. Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat di lampiran.

Contoh perhitungan mencari momen dan kelengkungan :

Pembebanan 14 kN pada benda uji 5. Deformasi pada dial gauge 1 (y_{i-1}) = 66 mm, dial gauge 2 (y_i) = 76 mm, dan dial gauge 3 (y_{i+1}) = 69 mm dengan jarak antar dial (Δx) = 800 mm. Dengan persamaan 3.33, maka besarnya kelengkungan dapat dihitung.

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

$$\phi = \frac{66 - (2 \times 76) + 69}{800^2} \times (-1) = 2,65625 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{mm} \right)$$

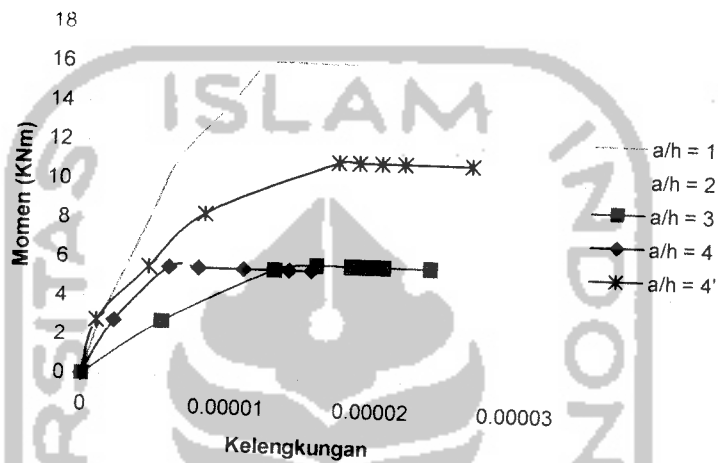
Momen dapat dicari dengan menggunakan persamaan

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

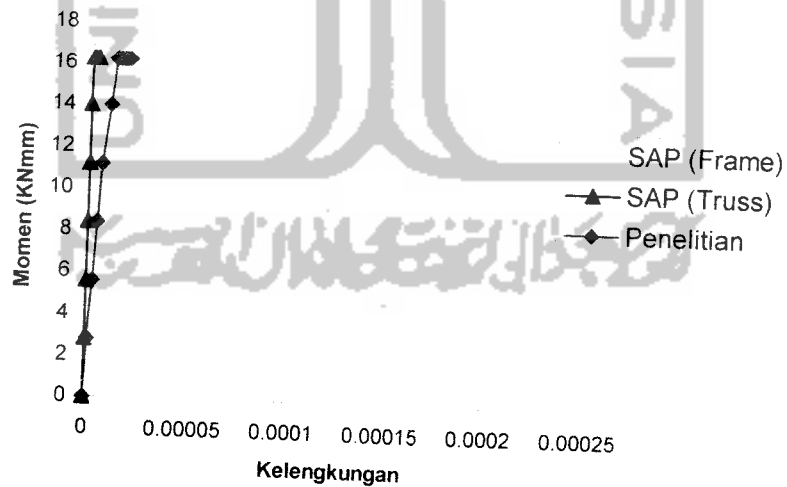
$$M = \frac{1}{6} \times 14 \times 4,8 = 11,2 \text{ kNm}$$

3. Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan

Dari contoh perhitungan dapat diperlihatkan data hubungan momen dan kelengkungan yang selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan momen dan kelengkungan seperti pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 tampak bahwa secara teori berdasarkan SAP kekuatannya lebih rendah namun lebih kaku.



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Penelitian



Gambar 5.4. Grafik hubungan momen-kelengkungan SAP dan Penelitian pada benda uji 5 ($a/h = 1$)

4. Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Hubungan momen kelengkungan menunjukkan kekakuan. Dalam hal ini didapat dari $M \Phi$, faktor kekakuan pada balok *vierendeel* secara umum mempunyai perilaku yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik $M \Phi$ yang diperoleh dari data laboratorium pada lampiran dan Tabel 5.8

Tabel 5.8 Analisa kekakuan dari data hubungan momen-kelengkungan

Variasi Jarak Batang Transversal (cm)	a/h	Momen (kNm)	Kelengkungan (1/mm)	Kekakuan EI (kN.mm ²)	Rasio Momen (%)	Rasio Kekakuan (%)
40	1	16,24	0,00001875	0,28591549	100	100
80	2	8,4	0,0000203125	0,12804878	51,724	44,786
120	3	5,88	0,0000239063	0,13096935	36,207	45,807
160	4	5,6	0,000015625	0,11666667	34,483	40,805
160	4	11,2	0,0000265625	0,00022240		---

* Tidak dapat dibandingkan kekakuannya karena profilnya berbeda.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Pembahasan Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Pada umumnya besar tegangan leleh baja (F_y) adalah 60 % dari kuat tariknya (F_u). Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1983 dan hasil uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, mutu baja yang dipakai dalam penelitian ini termasuk dalam golongan :

1. Profil TS 30x30x2, kuat tarik $F_u = 356$ MPa dan tegangan $F_y = 325$ MPa termasuk mutu baja BJ 52.
2. Nilai F_y sebesar 325 MPa dari hasil penelitian adalah 91 % dari nilai F_u .
3. Tegangan leleh F_y yang digunakan pada penelitian adalah sebesar 325 MPa.

5.2.2 Pembahasan Hasil Uji Kuat Geser Las

Pada pengujian kuat geser las didapatkan ($\tau_{\text{geser las}} = 413,92 \text{ MPa}$). Kuat geser las yang cukup tinggi diharapkan menjadikan struktur lebih kaku pada sambungannya, sehingga tujuan untuk membuat struktur yang lebih kaku akan tercapai.

5.2.3 Pembahasan Hasil Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

1. Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Beban-Deformasi

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

Grafik hubungan beban-deformasi yang diplotkan pada Gambar 5.1, yaitu pada *dial gauge* 2, dimana *dial gauge* 2 merupakan deformasi terbesar yang berada di tengah bentang balok *vierendeel*. Perhitungan beban maksimum yang mampu didukung oleh struktur secara teoritis akan lebih mendekati kenyataan bila dihitung dengan perilaku struktur balok kolom (*beam-column*)

Dari data tabel hubungan beban-deformasi dapat dipakai untuk mencari kekakuan ($k = \frac{P}{\Delta}$), sehingga akan diketahui nilai kekakuan masing-masing benda uji 2 sampai 5 yang ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Berdasarkan Tabel 5.5 hubungan beban-deformasi dapat diketahui bahwa beban pada benda uji 2 dengan $a/h = 160$ cm adalah 7 kN, untuk benda uji 3 dengan $a/h = 120$ cm didapatkan beban sebesar 7,35 kN, untuk benda uji 4 dengan $a/h = 80$ cm sebesar 10,5 kN, dan benda uji 5 dengan $a/h = 40$ cm sebesar 20,3 kN. Beban yang digunakan untuk menghitung kekakuan adalah beban pada f_y , dimana baja yang dibebani mulai mengalami kondisi plastis. Semakin panjang jarak tak berpenopang lateral, maka beban yang mampu ditahan oleh balok *vierendeel* akan semakin kecil. Balok *vierendeel* dengan jarak tak berpenopang lateral yang semakin kecil secara umum akan menimbulkan kekakuan struktur yang lebih besar. Dari Tabel 5.3 yaitu untuk benda uji 1 dengan $a/h = 160$ cm didapat nilai kekakuan sebesar 0,233 sedangkan untuk benda uji 2 dengan $a/h = 160$ cm didapat nilai kekakuan 0,1167, untuk benda uji 3, 4, dan 5 dengan jarak batang transversal lebih kecil didapat nilai kekakuan yang lebih besar yaitu masing-masing 0,131, 0,128, dan 0,286. Sebagai pembandingan atau standar kekakuan balok *vierendeel* dipakai benda uji 5 dengan menganggap besar faktor kekakuannya sebesar 100 % dan besarnya momen maksimum pertama sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh besarnya kenaikan atau penurunan nilai faktor kekakuan atau besarnya momen dari balok *vierendeel* lainnya. Pada benda uji 1 sampai benda uji 4 dengan jarak batang transversal semakin besar terjadi penurunan kekakuan dibanding benda uji 5. Namun

kekakuan pada benda uji 2 lebih kecil dibandingkan benda uji 1, 3, dan 4. Hal ini mungkin disebabkan jarak batang transversal yang semakin jauh. Pada benda uji 1 faktor kekakuannya lebih besar dari benda uji 2, 3, dan 4, dikarenakan dimensi batang lebih besar.

2. Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Momen -Kelengkungan

Hubungan momen-kelengkungan didapat dari hasil perhitungan tiga titik diskrit pada data hubungan beban dan deformasi. Berdasarkan hasil hubungan beban-deformasi yang terjadi, maka dapat dicari faktor kekakuan (EI) dengan menggunakan hubungan momen (M) dan kelengkungan (Φ) berdasarkan Persamaan 3.35 yaitu $EI = \frac{M}{\Phi}$. Besarnya faktor kekakuan (EI) masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.8.

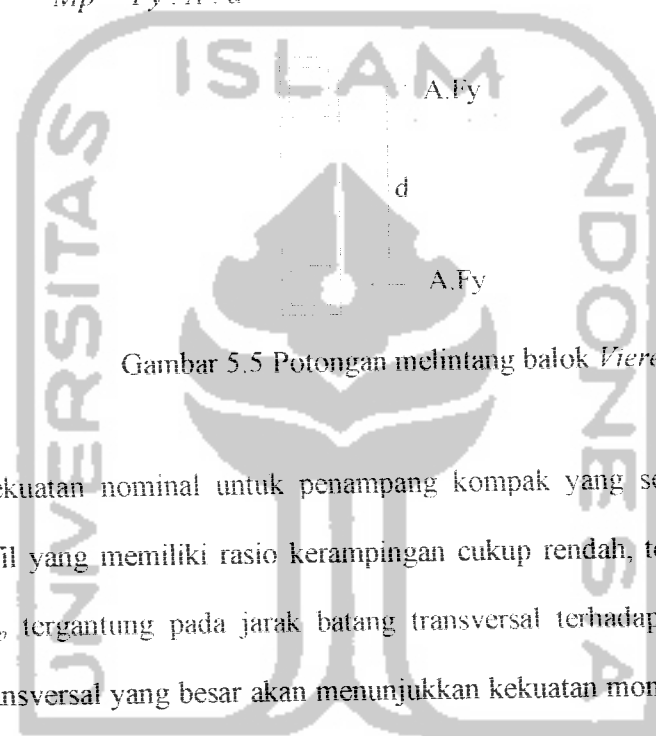
Dari Tabel 5.8 dapat diketahui bahwa momen pada benda uji 5 dengan $a/h = 40$ cm sebesar 16,24 kNm, sedangkan pada benda uji 2 sampai dengan benda uji 5 dengan jarak batang transversal yang semakin jauh, momen yang mampu didukung oleh balok *viereendeel* mengalami penurunan.

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 variasi rasio a/h mempengaruhi kelengkungan dan momen maksimum yang mampu dipikul oleh balok *viereendeel*.

3. Hubungan Non Dimensional M_n/M_p

Momen nominal (M_n) diperoleh dari momen maksimum untuk masing-masing benda uji, sedangkan momen pada kondisi plastis disebut momen plastis (M_p). Momen plastis diperoleh dari perhitungan teoritis dengan menggunakan penjumlahan dari kopel gaya. Mengacu pada Gambar 5.4, momen plastis perpotongan dapat dihitung dengan Persamaan 5.1 yaitu:

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



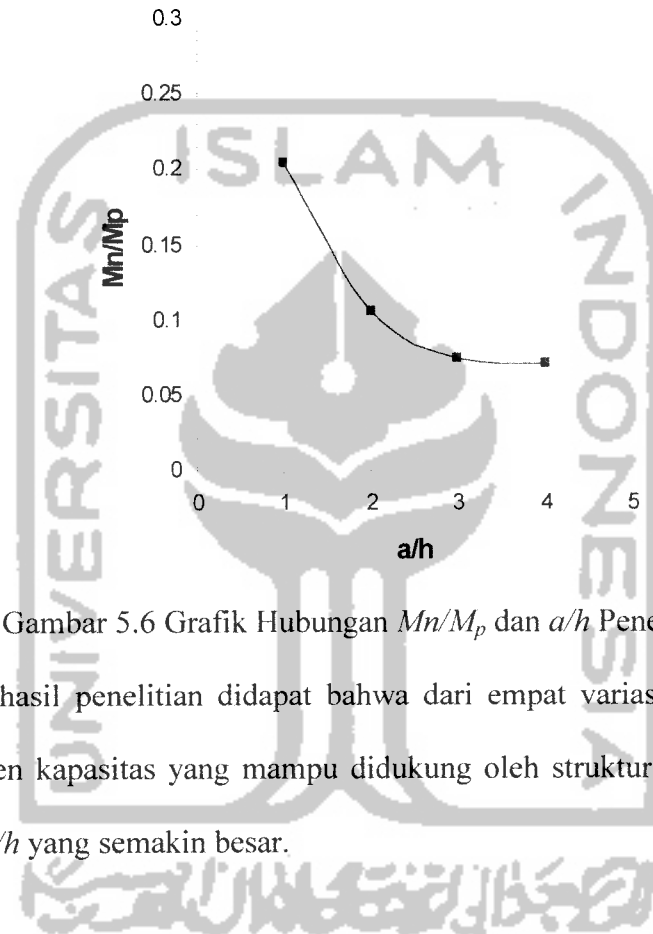
Gambar 5.5 Potongan melintang balok *Vierendeel*

Kekuatan nominal untuk penampang kompak yang secara lateral stabil yaitu profil yang memiliki rasio kerampingan cukup rendah, tercapainya momen plastis M_p tergantung pada jarak batang transversal terhadap tinggi a/h . Jarak batang transversal yang besar akan menunjukkan kekuatan momen kritis M_{cr} yang dikontrol oleh tekuk puntir lateral elastis.

Dari hasil rasio antara M_n dengan M_p kemudian dibandingkan dengan rasio a/h untuk mengetahui perilaku secara umum pengaruh jarak dukungan lateral pada balok *vierendeel*. Data hubungan M_n/M_p dengan a/h disajikan pada Tabel 5.9 dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.6.

Tabel 5.9. Data hubungan M_n/M_p dengan a/h Penelitian

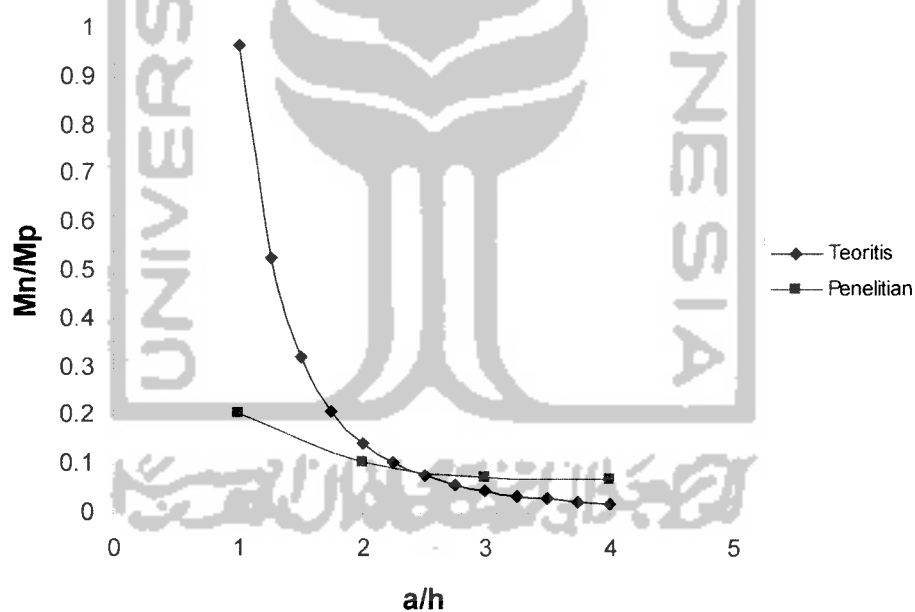
a/h	M_n	M_p	M_n/M_p
1	4060000	19891200	0.20411
2	2100000	19891200	0.105574
3	1470000	19891200	0.073902
4	1400000	19891200	0.070383

Gambar 5.6 Grafik Hubungan M_n/M_p dan a/h Penelitian

Dari hasil penelitian didapat bahwa dari empat variasi benda uji secara umum momen kapasitas yang mampu didukung oleh struktur semakin menurun untuk nilai a/h yang semakin besar.

Tabel 5.10. Data hubungan M_n/M_p dengan a/h Teoritis

a/h	M_n	M_p	M_n/M_p
1	19159716.0959293	19891200	0.963226
1.25	10501066.1127703	19891200	0.527925
1.5	6382172.9258794	19891200	0.320854
1.75	4170750.9375059	19891200	0.209678
2	2876372.2676900	19891200	0.144605
2.25	2067965.8577258	19891200	0.103964
2.5	1536854.1567799	19891200	0.077263
2.75	1173443.6178348	19891200	0.058993
3	916339.1346994	19891200	0.046068
3.25	729292.2240853	19891200	0.036664
3.5	589947.4359713	19891200	0.029659
3.75	484000.6798042	19891200	0.024332
4	402005.5568649	19891200	0.02021

Gambar 5.7 Grafik Hubungan M_n/M_p dan a/h Teoritis dan Penelitian

Dari Gambar 5.7 terlihat bahwa pada benda uji 5 ($a/h = 1$) terdapat perbedaan yang cukup besar antara hubungan M_n/M_p dan a/h teoritis dan penelitian, sedangkan pada benda uji 4 ($a/h = 2$), benda uji 3 ($a/h = 3$), dan benda

uji 2 ($a/h = 4$) tidak terdapat perbedaan yang cukup besar antara hubungan M/M_p dan a/h teoritis dengan penelitian. Nilai M_n/M_p penelitian benda uji 5 dan 4 lebih kecil dari nilai M_n/M_p teoritisnya, sedangkan nilai M_n/M_p penelitian benda uji 2 dan 3 lebih besar dari nilai M_n/M_p teoritisnya.

Hal ini mungkin disebabkan antara lain karena kekuatan las yang tidak sama antara benda uji yang satu dengan yang lain, pembacaan angka pada Hydraulic Jack yang kurang cermat, dan kualitas bahan.

