

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) dari sampel uji tarik baja adalah sebesar 430 MPa dan tegangan leleh (F_y) adalah 408 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 ($\tau_{\text{geser las}}$) = 325,318 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. Selanjutnya data tersebut digunakan untuk membuat grafik hubungan antara beban dan lendutan.

A. Hubungan Beban-Deformasi

1. Hubungan Beban-Deformasi Teoritis

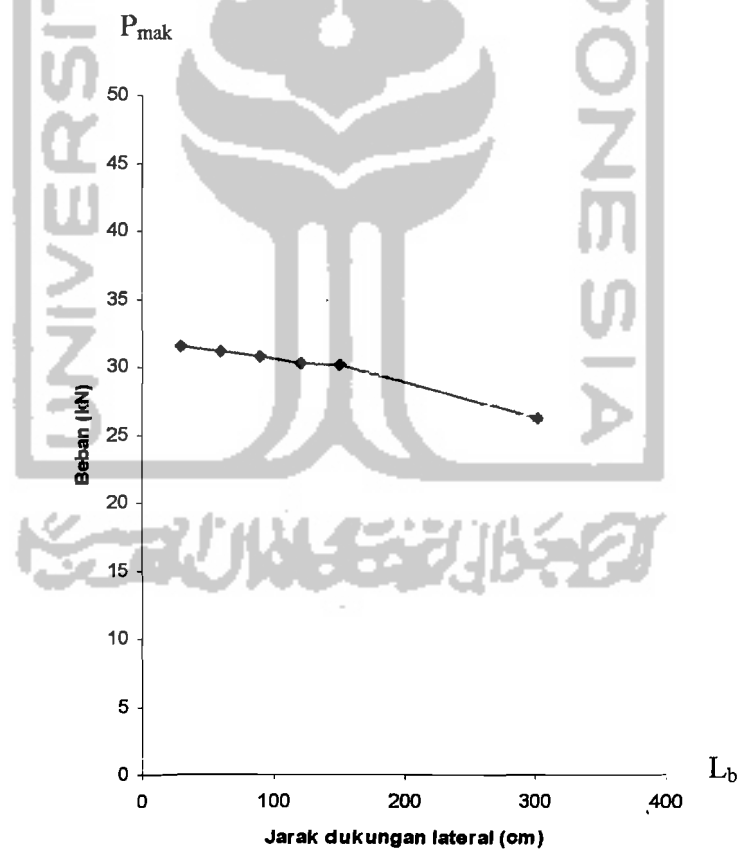
Nilai hasil perhitungan beban-deformasi secara teori ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik seperti pada lampiran. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian sedangkan besar deformasinya dihitung dengan SAP 2000.

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. Data hasil pengujian kuat lentur disajikan selengkapnya pada lampiran. Selain itu diperoleh juga beban transversal maksimum yang dicapai oleh masing-masing benda uji dengan variasi jarak dukungan lateral seperti ditunjukkan pada Tabel (5.1) dan Gambar (5.1).

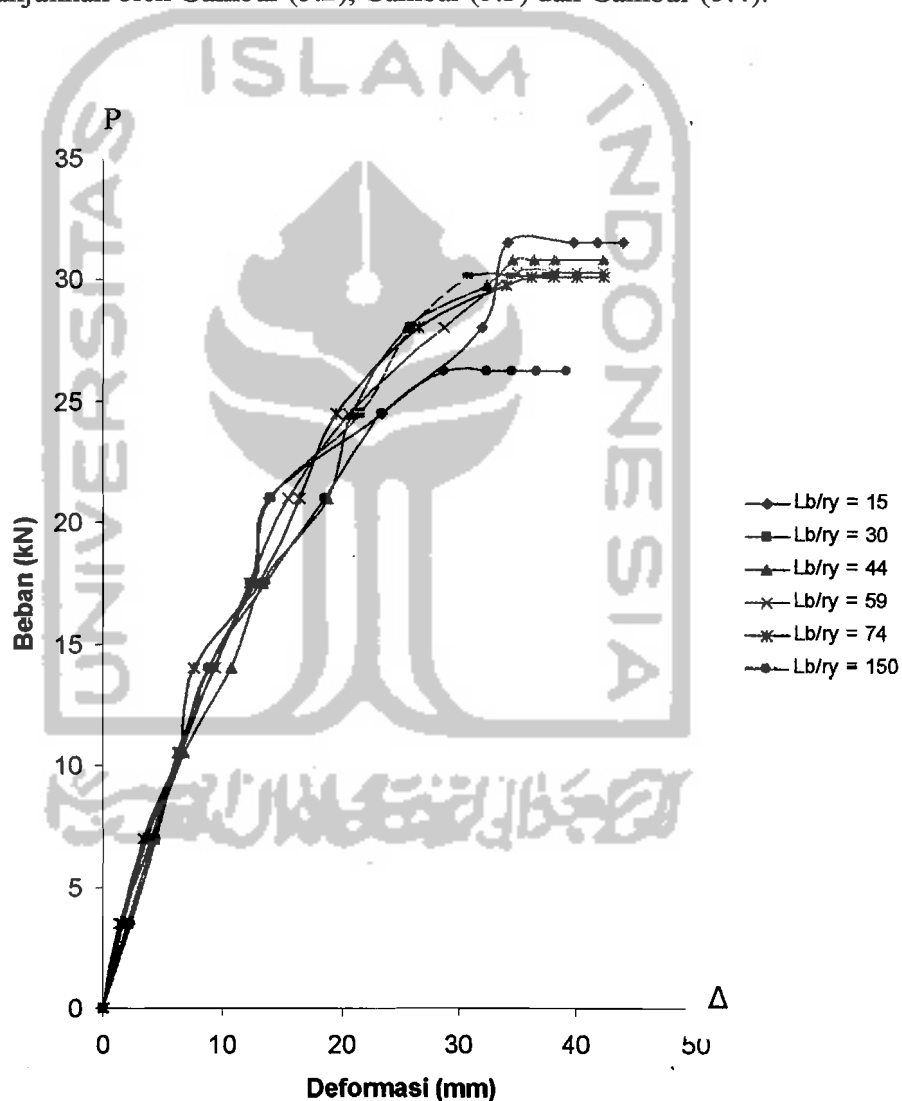
Tabel 5.1 Beban transversal maksimum balok *vierendeel* dengan variasi L_b/ry

No	Variasi Jarak dukungan Lateral (L_b) (cm)	L_b/ry	P max (kN)	P max (%)
1	30	14.6944	31,50	100
2	60	29.3887	31.15	98.89
3	90	44.0831	30,80	97.78
4	120	58.7774	30,275	96.11
5	150	73.4718	30,10	95.56
6	300	146.9436	26,25	83.33

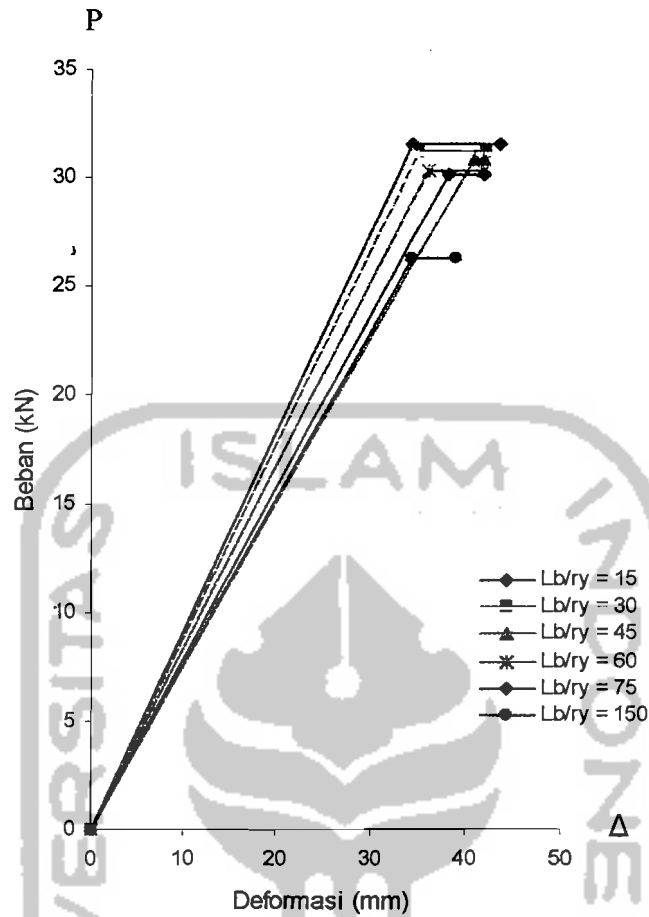
Gambar 5.1 Grafik pembebanan dengan variasi L_b

2. Grafik Hubungan Beban-Deformasi

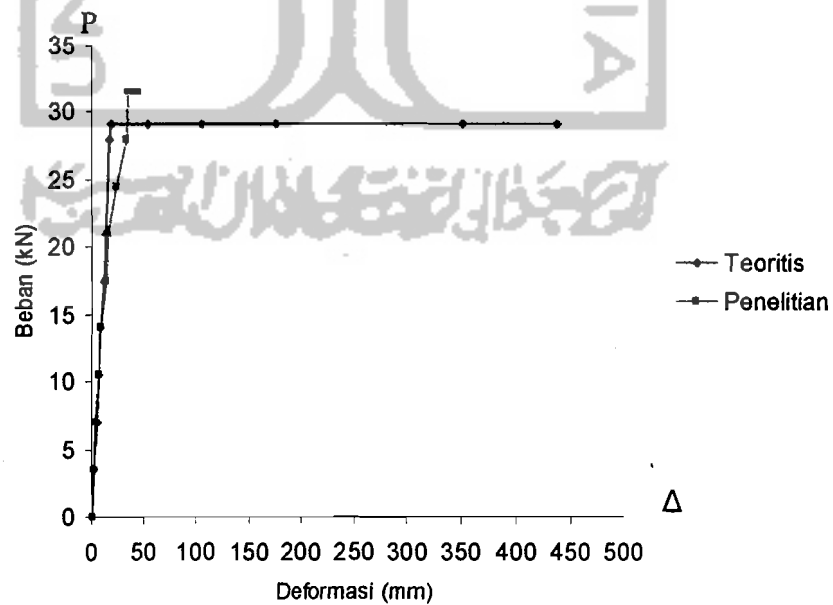
Dari hasil pengujian enam sampel balok *vierendeel* dengan variasi jarak dukungan lateral (L_b) dibuat grafik hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$). Data deformasi yang digunakan adalah pada *dial gauge* 2 yaitu data di tengah bentang yang menunjukkan deformasi maksimum. Grafik hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$) ditunjukkan oleh Gambar (5.2), Gambar (5.3) dan Gambar (5.4).



Gambar 5.2 Grafik hubungan beban-deformasi sebelum regresi



Gambar 5.3 Grafik hubungan beban-deformasi setelah regresi



Gambar 5.4. Grafik hubungan beban-deformasi teoritis dan penelitian

Dari grafik hubungan beban-deformasi hasil pengujian dan teoritis yang ditunjukkan pada Gambar (5.4) mulai titik awal pembebanan sampai terjadi kerusakan (tekuk), balok *vierendeel* 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 kemiringan bahwa grafik secara teoritis lebih kaku dibandingkan penelitian tapi kekuatannya lebih kecil.

3. 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 (5.3) dapat disimpulkan tentang kekakuan balok *vierendeel* pada beban ultimit disajikan dalam Tabel (5.2)

Tabel 5.2 Analisa kekakuan ($\frac{P_y}{\Delta_y}$) dari data hubungan beban-deformasi

Variasi Jarak dukungan Lateral (L_b) (cm)	L_b/r_y	P_y (KN)	Deformasi (Δ_y) (mm)	Kekakuan (P_y/Δ_y) (KN/mm)	Rasio Kekakuan (%)
30	14.6944	30.5	34.4956	0.913	100
60	29.3887	31.15	34.986	0.890	97.5
90	44.0831	30.8	40.797	0.754	82.6
120	58.7774	30.275	36.201	0.836	91.5
150	73.4718	30.1	35.870	0.789	86.4
300	146.9436	26.25	34.498	0.760	83.2

Dari Tabel (5.2) dapat diamati dan diteliti pengaruh rasio jarak dukungan lateral pada kekuatan lentur balok *viereendeel* dan perilaku deformasi yang terjadi pada benda uji.

B. Hubungan Momen-Kelengkungan

1. Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

Nilai hasil perhitungan momen-kelengkungan secara teori ditampilkan dalam Tabel (5.3) kemudian dibuat grafik seperti pada Gambar (5.6) Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian kemudian dihitung dengan SAP 2000.

Tabel 5.3. Data momen-kelengkungan teoritis

Beban (P) (kN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	M (kNmm)	Φ (mm)
0	0	0	0	0	0
3,5	2,0554	2,1	2,0554	3500	3,568E-07
7	3,675	4,082	3,675	7000	3,256E-06
10,5	5,513	6,273	5,513	10500	0,00000608
14	7,351	8,364	7,351	14000	8,104E-06
17,5	9,1158	10,45	9,1158	17500	1,0674E-05
21	11,0259	12,546	11,0259	21000	1,2161E-05
28	14,6956	16,7235	14,6956	28000	1,6223E-05
29,2	15,323	17,44	15,323	29200	1,6936E-05
29,2	45,982	52,321	45,982	29200	5,0712E-05
29,2	91,964	104,642	91,964	29200	0,00010142
29,2	153,273	174,403	153,273	29200	0,00016904
29,2	306,546	348,805	306,546	29200	0,00033807
29,2	383,133	436,007	383,133	29200	0,00042299

2. Hubungan Beban Momen-Kelengkungan Penelitian

Hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) dapat dicari setelah data hubungan beban-deformasi ($P-\Delta$) didapatkan dari hasil pengujian kuat lentur balok *viereendeel*. 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 31.5 kN pada benda uji I. Deformasi pada dial gauge 1 (y_{i-1}) = 39.43 mm, dial gauge 2 (y_i) = 43.6 mm, dan dial gauge 3 (y_{i+1}) = 39.56 mm dengan jarak antar dial (Δx) = 500 mm. Dengan persamaan (3.24), maka besarnya kelengkungan dapat dihitung.

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

$$\Phi = \frac{39.43 - (2 \times 43.6) + 39.56}{500^2} \times (-1) = 3.2840 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{\text{mm}} \right)$$

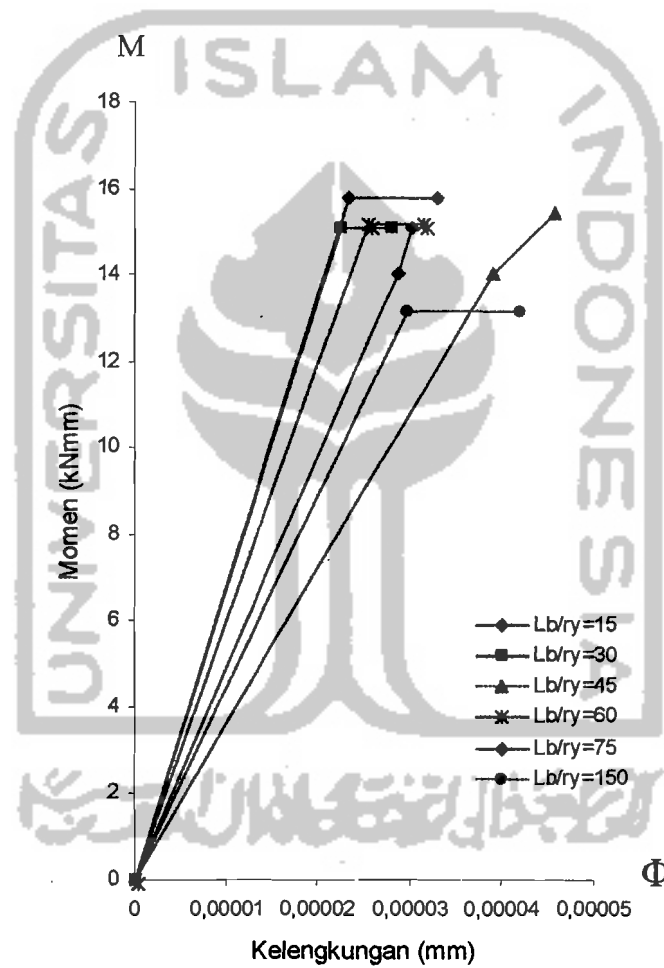
Momen dapat dicari dengan menggunakan persamaan

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

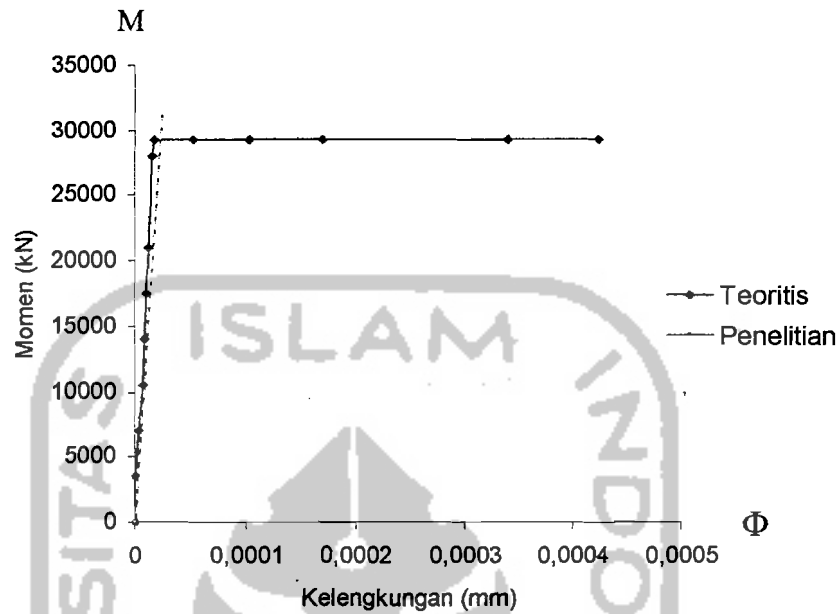
$$M = \frac{1}{6} x 31.5 x 3 = 15.75 \text{ kNm}$$

5. 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 (5.5) dan Gambar (5.6) Tampak bahwa secara teori kekuatannya lebih rendah namun lebih kaku.



Gambar 5.5 Grafik hubungan momen-kelengkungan



Gambar 5.6 Grafik hubungan momen-kelengkungan penelitian dan teoritis

6. Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Hubungan momen kelengkungan menunjukkan kekakuan. Dalam hal ini didapat dari M/Φ , faktor kekakuan pada balok *vierendeel* secara umum mempunyai perilaku yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik M/Φ yang diperoleh dari data laboratorium pada lampiran dan Tabel (5.4)

Tabel 5.4 Analisa kekakuan dari data hubungan momen-kelengkungan

Variasi Jarak dukungan Lateral (L_b) (cm)	L_b/r_y	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	Kekakuan EI ((kN.mm ²))	Rasio Momen (%)	Rasio EI (%)
30	14.6944	15,75	0.0000232143	678461,1209	100	100
60	29.3887	15,075	0.00002249	670297,9102	95,7	98,79
90	44.0831	14,00	0.0000389489	359445,3245	88,9	52,98
120	58.7774	15,1375	0.000025369	596058,4344	96,1	87,85
150	73.4718	14,00	0.0000286446	488748,3156	88,9	72,03
300	146.9436	13,125	0.00002962	443112,7616	83,33	65,31

C. Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

Kerusakan yang terjadi pada enam benda uji penelitian ini merupakan kerusakan akibat gaya tekan sebagai manifestasi momen yang diterima. Letak kerusakan pada sampel uji rata-rata terletak pada batang transversal dan yang mengalami kerusakan lebih dulu adalah batang transversal tiga dan sembilan (TK3 dan TK9) dapat dilihat pada tabel tegangan terlampir.

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 pipa kotak (30x30x2), kuat tarik $F_u = 430$ MPa dan tegangan $F_y = 408$ MPa termasuk mutu baja BJ 52.
2. Nilai F_y sebesar 408 MPa dari hasil penelitian adalah 95 % dari nilai F_u .
3. Tegangan leleh F_y , yang digunakan pada penelitian adalah sebesar 240 MPa.

5.2.2 Pembahasan Hasil Uji Kuat Geser Las

Pada pengujian kuat geser las didapatkan ($\tau_{\text{geser las}}$) = 325,318 MPa. Kuat geser las yang cukup tinggi diharapkan menjadikan struktur lebih kaku pada sambungannya, sehingga tujuan untuk membuat struktur yang lebih kaku akan tercapai.

5.1.3 Pembahasan Hasil Uji Kuat Lentur Balok *Vierendeel*

1. Pembahasan Kuat Lentur Berdasarkan Hubungan Beban-Deformasi

Dengan mengamati grafik hubungan beban-deformasi bahwa pada enam 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 dukungan lateral (L_b), ini ditunjukkan dengan grafik yang hampir saling berhimpit. Setelah melewati beban P_y variasi jarak dukungan

lateral (L_b) mulai mempengaruhi kekakuan struktur, dimana kekakuannya menurun sampai batas beban maksimal.

Grafik hubungan beban-deformasi yang diplotkan pada Gambar (5.2), yaitu pada *dial gauge* dua, dimana *dial gauge dua* 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 I sampai VI yang ditunjukkan pada Tabel (5.2).

Berdasarkan Tabel (5.2) hubungan beban-deformasi dapat diketahui bahwa beban pada benda uji I dengan $L_b = 30$ cm adalah 31,5 kN, untuk benda uji II dengan $L_b = 60$ cm didapatkan beban sebesar 31,15 kN, untuk benda uji III dengan $L_b = 90$ cm sebesar 30,80 kN, benda uji IV dengan $L_b = 120$ cm sebesar 30,275 kN, benda uji V dengan $L_b = 150$ cm sebesar 30,1 kN dan benda uji VI dengan $L_b = 300$ cm sebesar 26,25 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 I dengan $L_b = 30$ cm didapat nilai kekakuan sebesar 0.913 sedangkan untuk benda uji II dengan $L_b = 60$ cm didapat nilai kekakuan 0.890, untuk benda

uji III, IV, V, dan VI dengan jarak dukungan lateral lebih besar didapat nilai kekakuan yang lebih kecil yaitu masing-masing 0.754, 0.836, 0.789, 0.760. Sebagai pembanding atau standar kekakuan balok *vierendeel* dipakai benda uji I 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 II sampai benda uji VI dengan jarak dukungan lateral semakin besar terjadi penurunan kekakuan dibanding benda uji I. Namun kekakuan pada benda uji III lebih kecil dibandingkan benda uji IV, V, dan VI. Hal ini mungkin disebabkan adanya kesalahan pembacaan *dial* pada saat pengujian.

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 (5.3).

Dari Tabel (5.3) dapat diketahui bahwa momen pada benda uji I dengan $L_b = 30$ cm sebesar 15,75 kN-m, sedangkan pada benda uji II sampai dengan benda

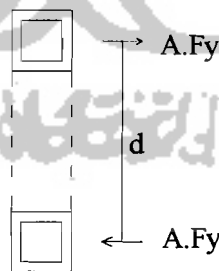
uji VI dengan jarak tak berpenopang lateral semakin besar momen yang mampu didukung oleh balok *vierendeel* mengalami penurunan.

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 L_b/r_y mempengaruhi kelengkungan dan momen maksimum yang mampu dipikul oleh balok *vierendeel*.

3. Hubungan Non Dimensional M_p/M_{cr} dan L_b/r_y

Benda uji yang dibebani akan mengalami momen. 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:

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

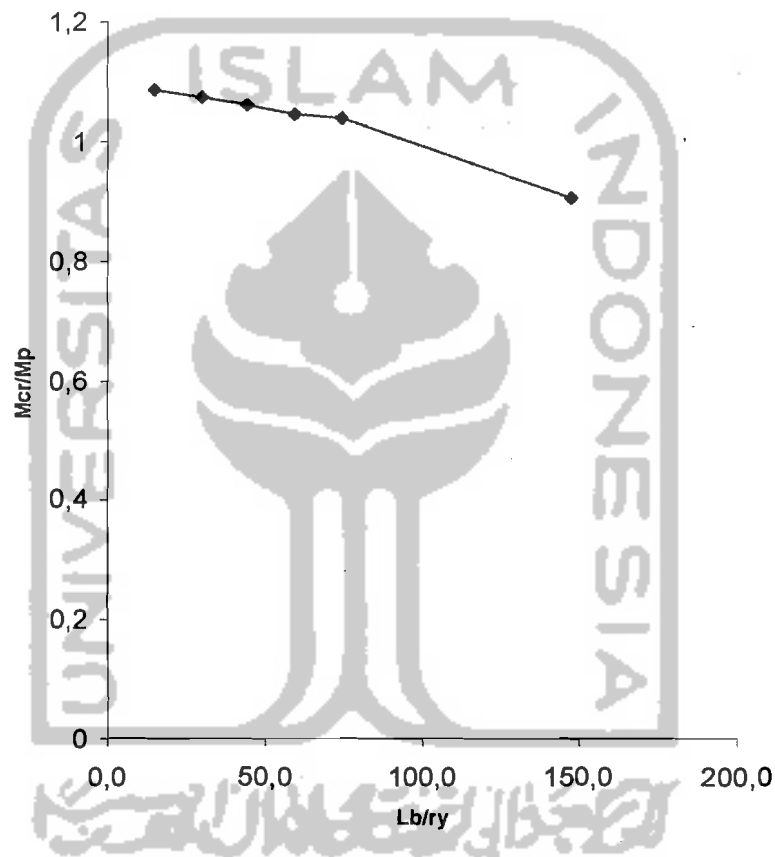


Gambar 5.5 Potongan melintang balok *Vierendeel*

Kekuatan nominal untuk penampang kompak yang secara lateral stabil yaitu profil yang memiliki rasio kerampingan cukup rendah tercapainya momen plastis M_p tergantung pada panjang tak berpenopang lateral L_b . Jarak dukungan

lateral yang besar akan menunjukkan kekuatan momen kritis M_{cr} yang dikontrol oleh tekuk puntir lateral elastis.

Dari hasil rasio antara M_p dengan M_{cr} kemudian dibandingkan dengan rasio L_b/ry untuk mengetahui perilaku secara umum pengaruh jarak dukungan lateral pada balok *vierendeel* dapat dilihat pada Gambar (5.5).



Gambar 5.6 Grafik hubungan M_{cr}/M_p dan L_b/ry

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