

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kekakuan struktur rangka batang diketahui berdasarkan uji lentur yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Uji lentur dilakukan dengan memberikan beban pada puncak struktur secara bertahap dengan kenaikan beban sebesar 0,875 kN. Setiap kenaikan beban dilakukan pencatatan lendutan pada tiga titik yang telah ditentukan guna mengetahui kekakuan dari struktur rangka batang. Uji pendahuluan yang meliputi uji tarik dan uji tekan dari profil yang digunakan sebagai elemen struktur kuda-kuda. Hasil penelitian yang disertai pembahasannya akan disajikan sebagaimana berikut.

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Benda uji kuat tarik baja menggunakan profil *lipped channel* 70×22×8 tebal 1,2 mm yang dibentuk sesuai dengan bentuk benda uji sebanyak dua benda uji. Pelaksanaan pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* Merk *Shimatzu Type UMH-30* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Hasil pengujian didapat data beban leleh dan beban maksimum dari benda uji pada Lampiran 1 dan hasil perhitungan tegangan leleh dan tegangan tarik benda uji seperti Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Hasil uji kuat tarik baja

Nilai hasil uji	Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3
Beban leleh (kg)	372,5	325	327,5
Beban maksimum (kg)	457,5	420	377,5
Tegangan leleh (F_y)	153,292 Mpa	128,053 Mpa	129,96 Mpa
Tegangan maksimum (F_u)	188,272 Mpa	165,485 Mpa	149,802 Mpa
F_y rata-rata (Mpa)	137,102		
F_u rata-rata (Mpa)	166,853		

5.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Baja

Benda kuat tekan baja dari profil *lipped channel* 70×22×8 tebal 1,2 mm sebanyak lima benda uji. Pelaksanaan pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* Merk *Shimatzu Type UMH-30* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian didapat nilai beban maksimum, data hasil pengujian pada Lampiran 1 dan hasil perhitungan kuat desak benda uji seperti pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Hasil uji kuat tekan profil baja

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (50 cm)	Benda uji 2 (50 cm)	Benda uji 3 (50 cm)
Beban maksimum (kg)	1320	1315	1465
F_{cr} (Mpa)	84,615	84,295	93,91
F_{cr} rata-rata (Mpa)	87,607		

Nilai hasil uji	Benda uji 4 (40 cm)	Benda uji 5 (30 cm)
Beban maksimum (kg)	1470	1600
F_{cr} (Mpa)	94,231	102,564

5.3 Hubungan Beban – Lendutan Uji Lentur Kuda-kuda

5.3.1 Kurva Beban – Lendutan Hasil Pengujian

Pelaksanaan uji lentur dari tiga benda uji dilakukan dengan pemberian beban pada puncak struktur dengan kenaikan beban sebesar 0,875 kN hingga benda uji mengalami kerusakan. Pencatatan lendutan / penurunan dilakukan pada 3 titik yang telah ditentukan setiap kenaikan beban.

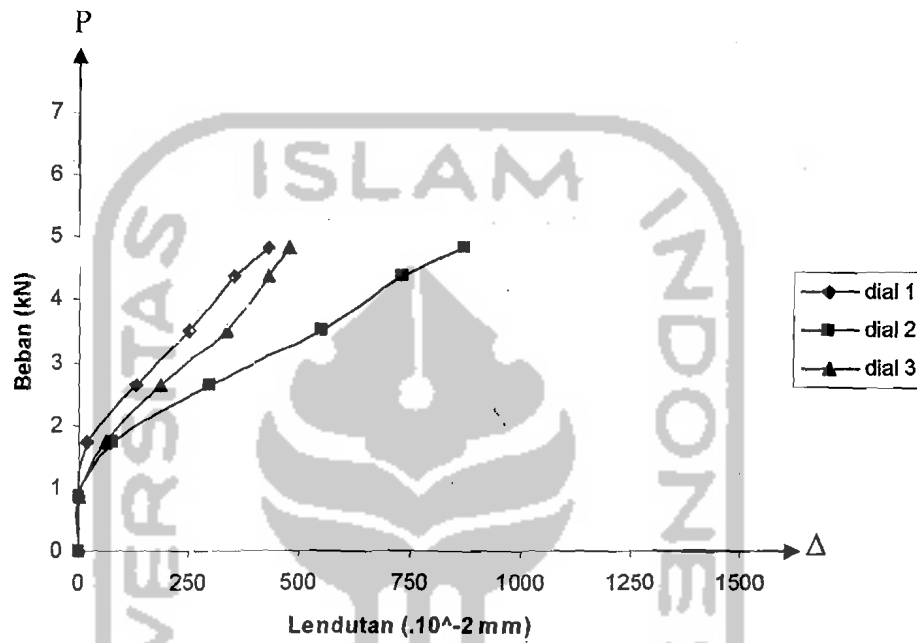
1) Benda Uji 1

Data-data berupa hasil pembacaan dial disajikan pada Tabel 5.3, dan untuk lebih memperjelas disajikan grafik hubungan beban - lendutan (tiga buah dial yang telah ditempatkan pada titik 1/3 bentang).

Tabel 5.3 Hubungan beban dan lendutan benda uji 1

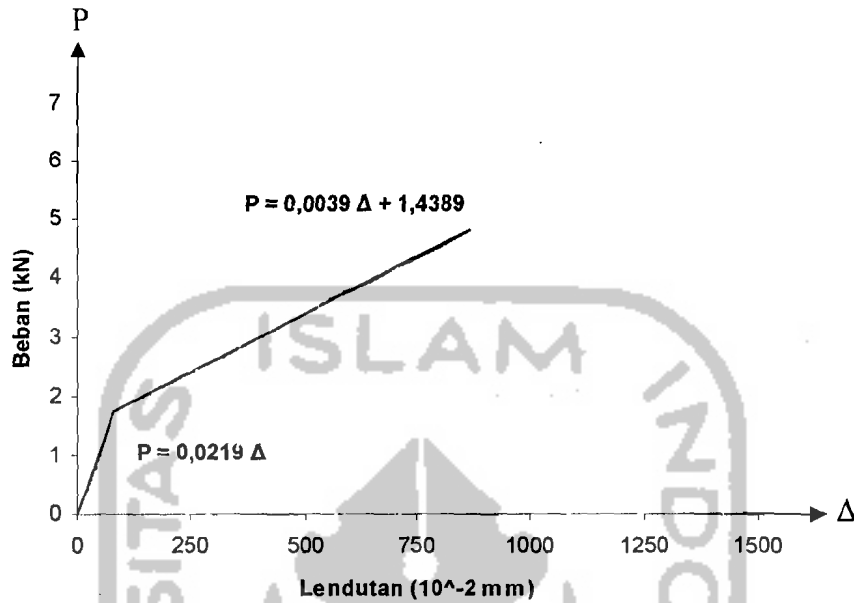
Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	0,000	0,000	0,000
1,750	19,000	80,000	61,500
2,625	130,000	295,000	186,000
3,500	251,000	550,000	335,000
4,375	351,000	730,000	432,000
4,813	432,000	870,000	475,000

Berdasarkan data di atas dibuat grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1 seperti pada Gambar 5.1



Gambar 5. 1 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1

berdasarkan Gambar 5.1, dibuat regresi data dial 2 yang ditunjukkan pada Gambar 5.2



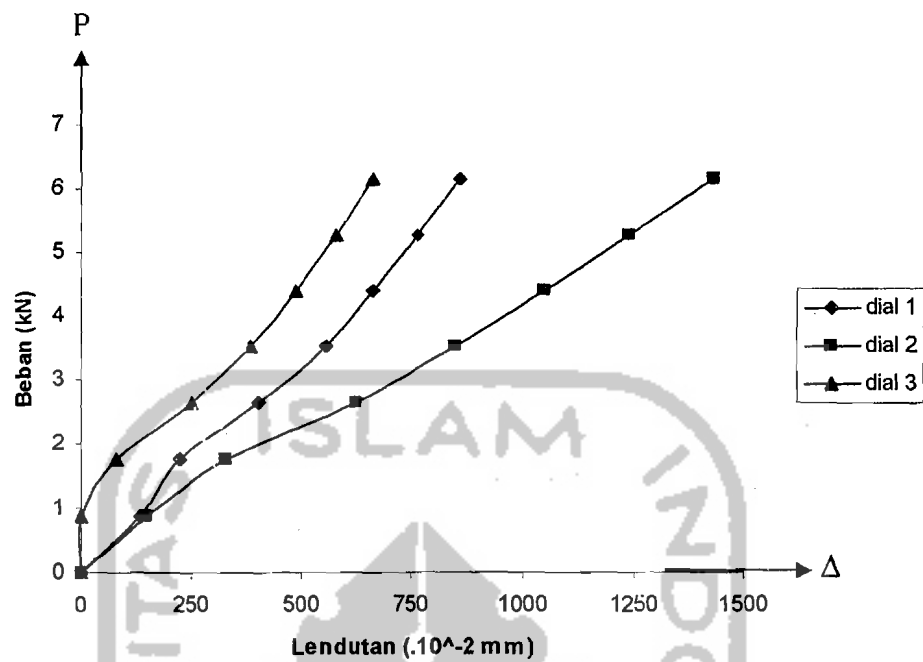
Gambar 5. 2 Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 1

2) Benda Uji 2

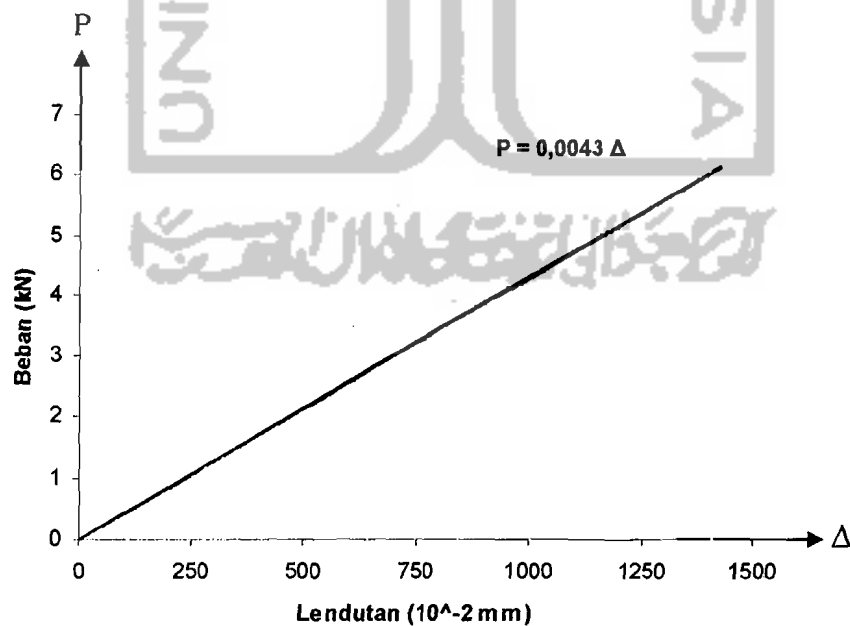
Untuk benda uji 2 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.4 dan grafik hubungan beban - lendutan ditampilkan pada Gambar 5.3 dan hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.4.

Tabel 5. 4 Hubungan beban dan lendutan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	133,000	150,000	0,000
1,750	220,000	327,000	81,000
2,625	402,000	627,000	250,000
3,500	556,000	848,000	386,000
4,375	662,000	1045,000	487,000
5,250	764,000	1237,000	580,000
6,125	855,000	1430,000	660,000



Gambar 5. 3 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2



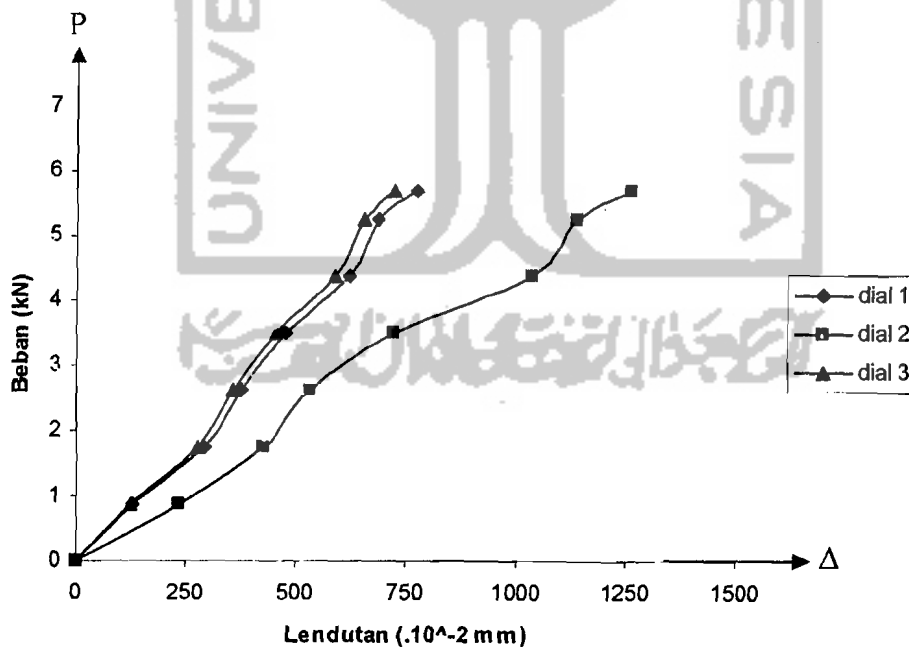
Gambar 5. 4 Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 2

3) Benda Uji 3

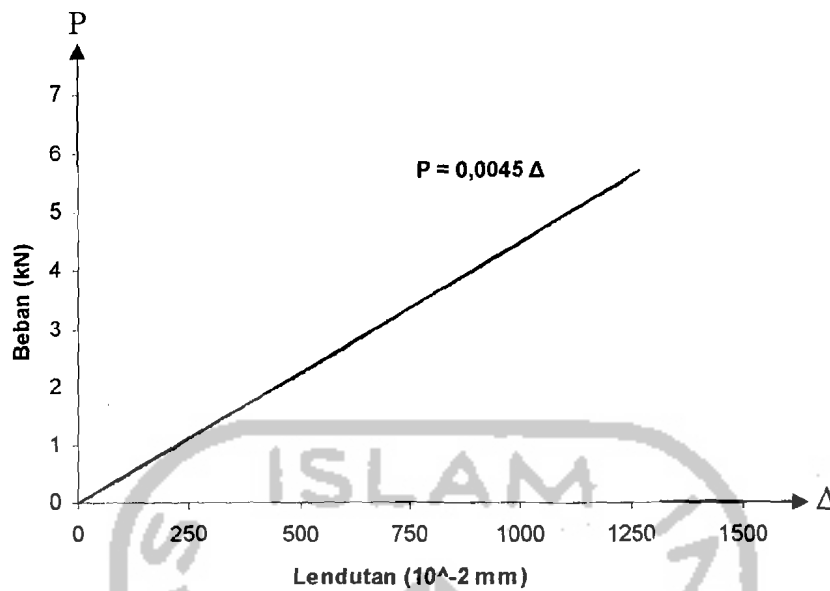
Untuk benda uji 3 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.5 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada Gambar 5.5 dan hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.6.

Tabel 5. 5 Hubungan beban dan lendutan benda uji 3

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	129,000	237,000	123,000
1,750	290,000	424,000	277,000
2,625	377,000	532,000	355,000
3,500	477,000	720,000	453,000
4,375	619,000	1033,000	590,000
5,250	685,000	1134,000	652,000
5,688	773,000	1260,000	724,000



Gambar 5. 5 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 3



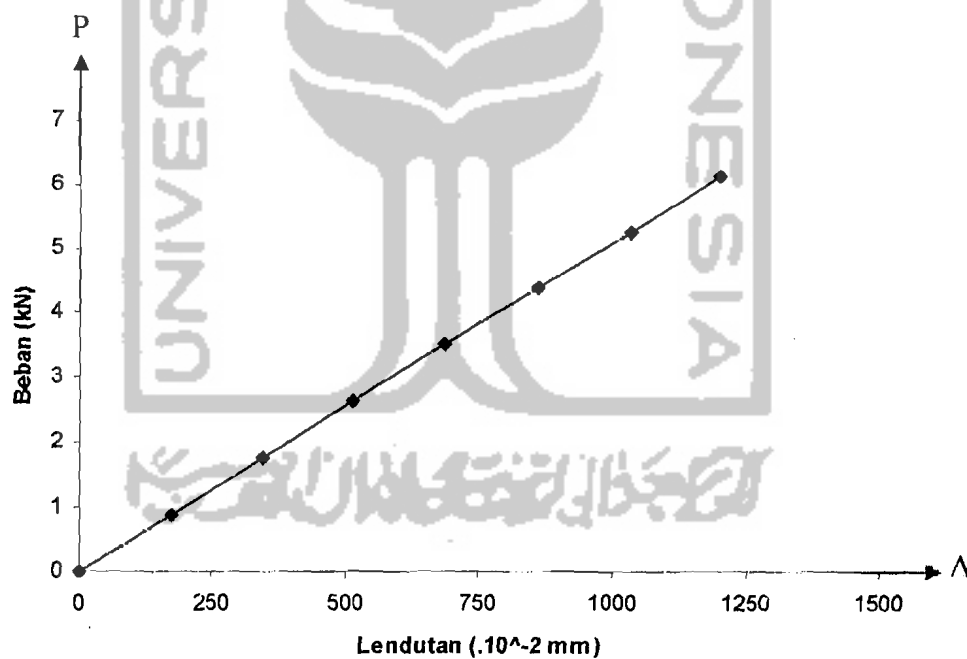
Gambar 5. 6 Regresi hubungan beban – lendutan benda uji 3

5.3.2 Kurva Hubungan Beban - Lendutan Analisis SAP 2000

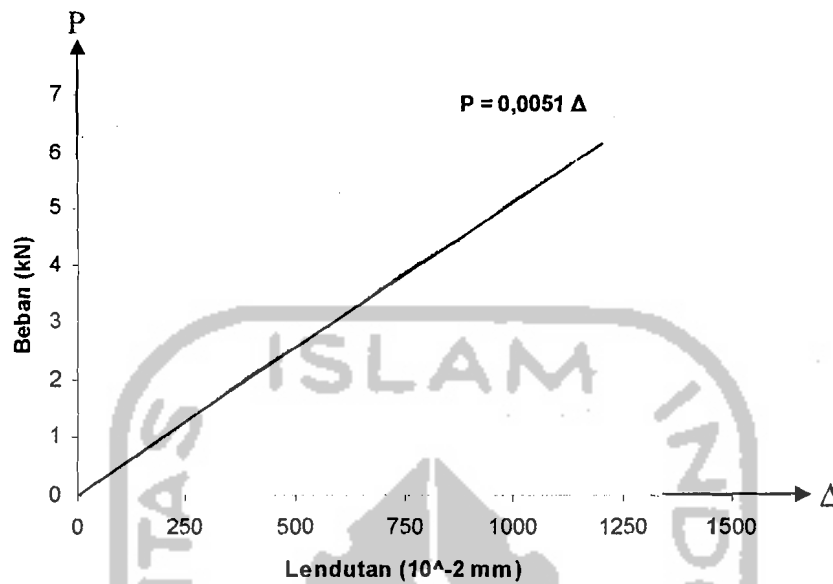
Hubungan beban - lendutan yang didapat dari SAP 2000 berdasarkan data uji laboratorium pada benda uji 2, karena benda uji 2 memiliki beban maksimal yang paling besar diantara benda uji lainnya. Lendutan yang diukur pada titik yang sama pada pelaksanaan pengujian laboratorium, untuk hasil lendutan yang terjadi pada analisis SAP disajikan pada Tabel 5.7 dan grafik hubungan beban - lendutan dan hasil regresi dari data tersebut seperti pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8.

Tabel 5. 6 Hubungan beban - lendutan analisis SAP 2000

Beban (KN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)		
	1	2	3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	109,666	171,313	109,666
1,750	219,332	342,625	219,332
2,625	328,997	513,938	328,997
3,500	438,663	685,250	438,663
4,375	548,329	856,563	548,329
5,250	657,995	1027,875	657,995
6,125	767,661	1199,188	767,661



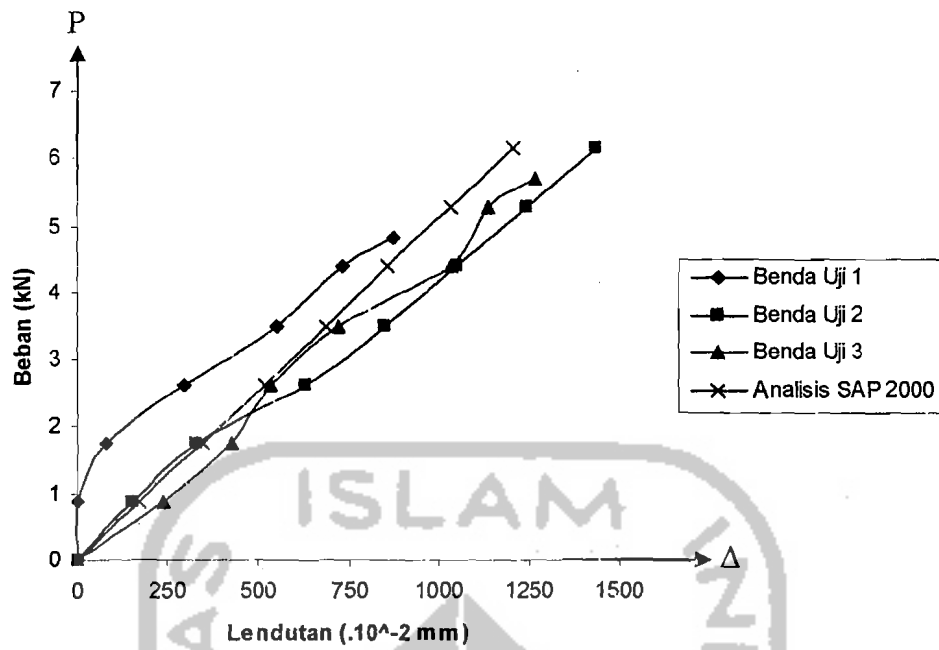
Gambar 5. 7 Grafik hubungan beban – lendutan analisis SAP 2000



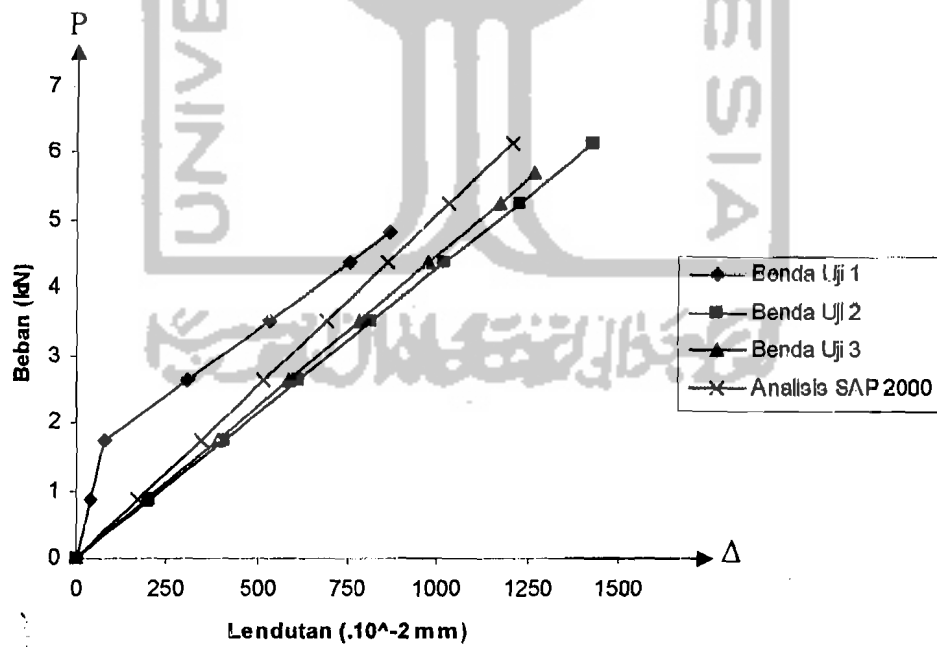
Gambar 5. 8 Regresi hubungan beban - lendutan analisis SAP 2000

5.3.3 Analisis Kekakuan Rangka Batang

Grafik hubungan beban - lendutan tiap benda uji dan analisis SAP 2000 pada beban maksimum dibandingkan seperti pada Gambar 5.9, kemiringan grafik hubungan beban - lendutan merupakan kekakuan struktur yang terlihat pada Gambar 5.10. Terlihat bahwa semakin besar lendutan yang terjadi maka kekakuan rangka batang akan semakin kecil.



Gambar 5. 9 Grafik beban - lendutan benda uji 1, 2 dan 3.



Gambar 5. 10 Regresi hubungan beban - lendutan tiga benda uji

Gambar 5.10 menunjukkan pada benda uji 1 terdapat dua nilai kekakuan,

kekakuan benda uji 1 mulai menurun pada saat $\frac{P}{P_{maks}} = 0,365$.

Tiga benda uji rangka batang tepi sejajar dengan bentuk dan konfigurasi batang penyusun yang sama terdapat perbedaan lendutan dari masing-masing

benda uji, menggunakan Persamaan (3.39) $k = \frac{P_y}{\Delta_y}$, nilai kekakuan untuk

masing-masing benda uji pada Lampiran 2, hasil kekakuan benda uji terlihat pada

Tabel 5.7 di bawah ini:

Tabel 5. 7 Nilai kekakuan benda uji

Benda uji	Beban maks (kN)	Beban ambil (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	Kekakuan (k) (kN/mm)	Kekakuan rata-rata (kN/mm)	Kekuatan rata-rata (kN)
1	4,813	-	-	-	0,44	5,91
2	6,125	4,813	11,1930	0,43		
3	5,688	4,813	10,6956	0,45		
Analisis SAP 2000	6,125	4,813	9,4373	0,51	0,51	6,125

Berdasarkan Gambar 5.10 dan perhitungan kekakuan pada Lampiran 3, benda uji 1 memiliki dua nilai kekakuan sebesar 2,19 kN/mm, kekakuan benda uji

1 mengalami penurunan saat $\frac{P}{P_{maks}} = 0,365$ dengan nilai kekakuan menjadi 0,39

kN/mm. Benda uji 2 memiliki kekakuan sebesar 0,43 kN/mm, sedangkan benda uji 3 nilai kekakuannya 0,45 kN/mm. Berdasarkan nilai kekakuan masing-masing

benda uji, maka nilai kekakuan untuk rangka batang tepi sejajar sebesar 0,44 kN.

Kekakuan rangka batang tepi sejajar berdasarkan analisis SAP 2000 adalah 0,51 kN/mm.

5.4 Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

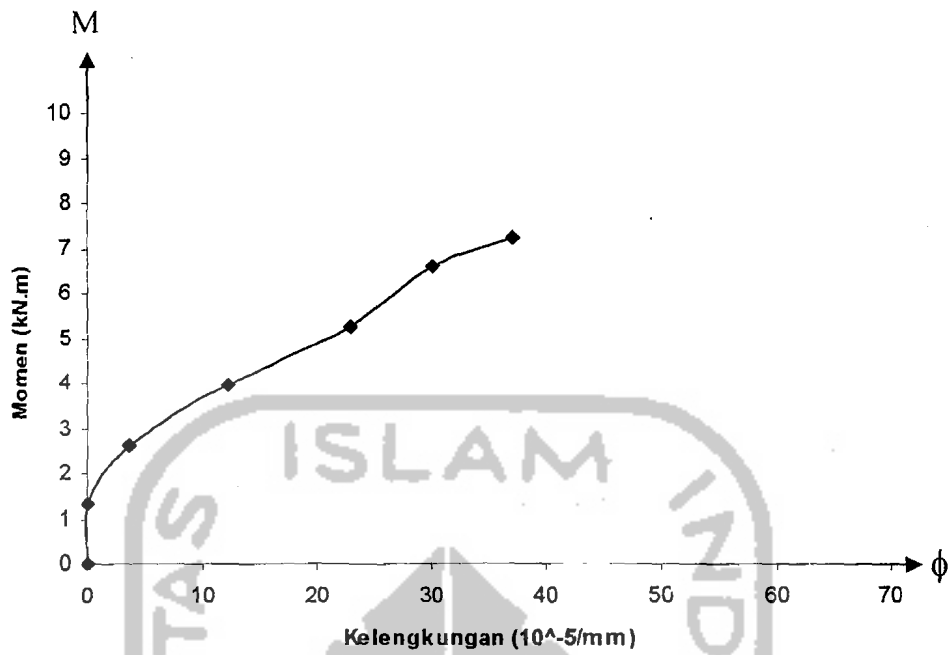
Dari hasil penelitian didapatkan data beban (P) - lendutan (Δ), sehingga dapat dicari momen (M) - kelengkungan (ϕ), rumus yang dipakai dalam perhitungan ini adalah :

$$\text{Kelengkungan (Pers. 3.48): } \phi = \frac{\Delta_1 - 2\Delta_2 + \Delta_3}{\Delta x^2}$$

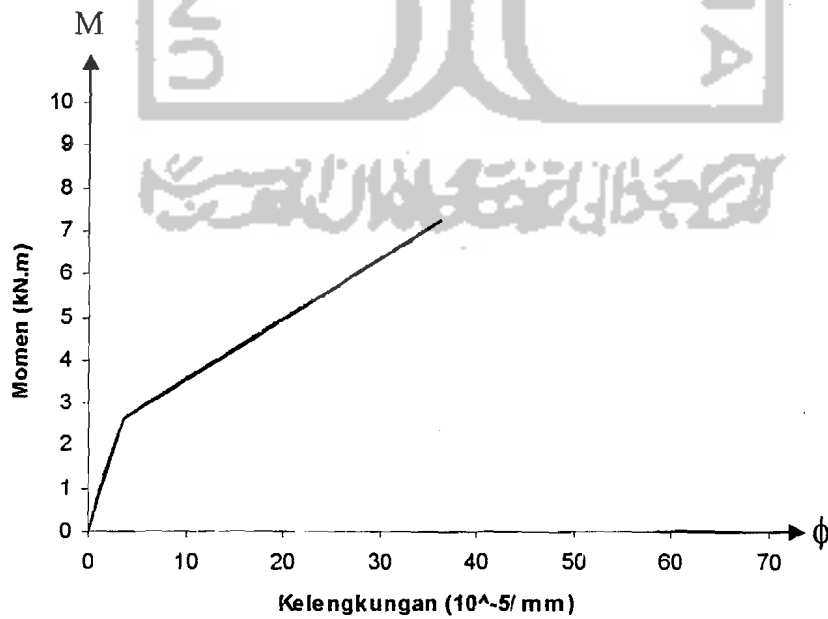
$$\text{Momen} = \frac{1}{4} \times P \times L$$

Tabel 5. 8 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}$ /mm)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	0,000	0,000	0,000	1,313	0,000
1,750	19,000	80,000	61,500	2,625	3,533
2,625	130,000	295,000	186,000	3,938	12,178
3,500	251,000	550,000	335,000	5,250	22,844
4,375	351,000	730,000	432,000	6,563	30,089
4,813	432,000	870,000	475,000	7,219	37,022



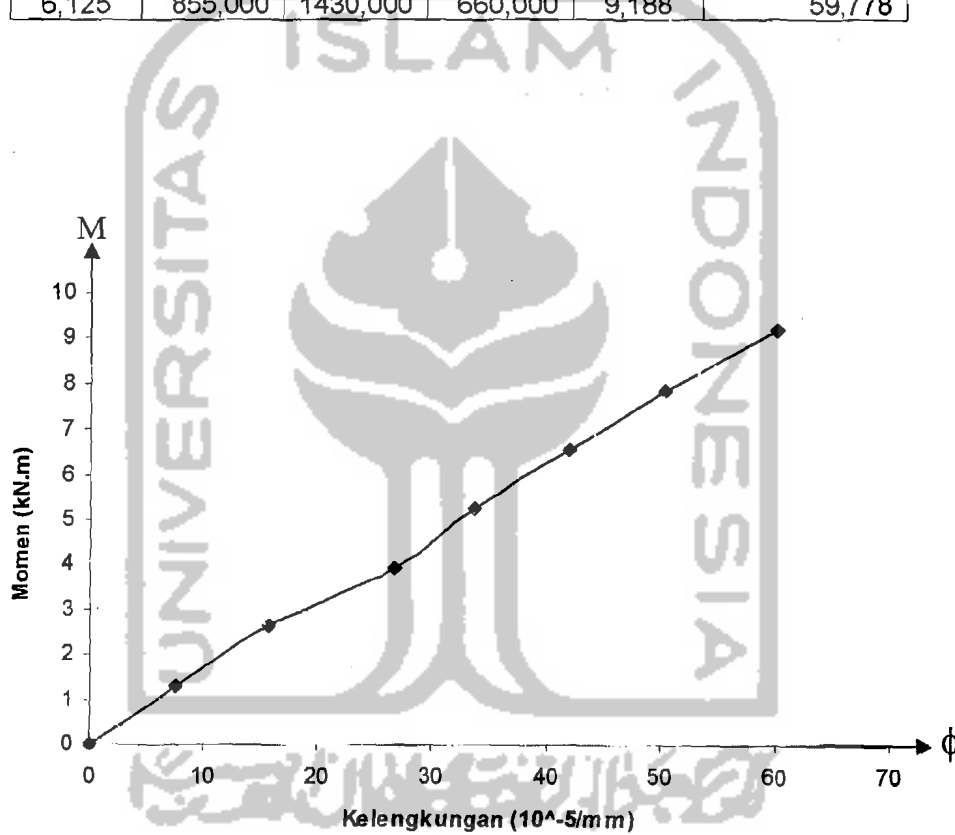
Gambar 5. 11 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

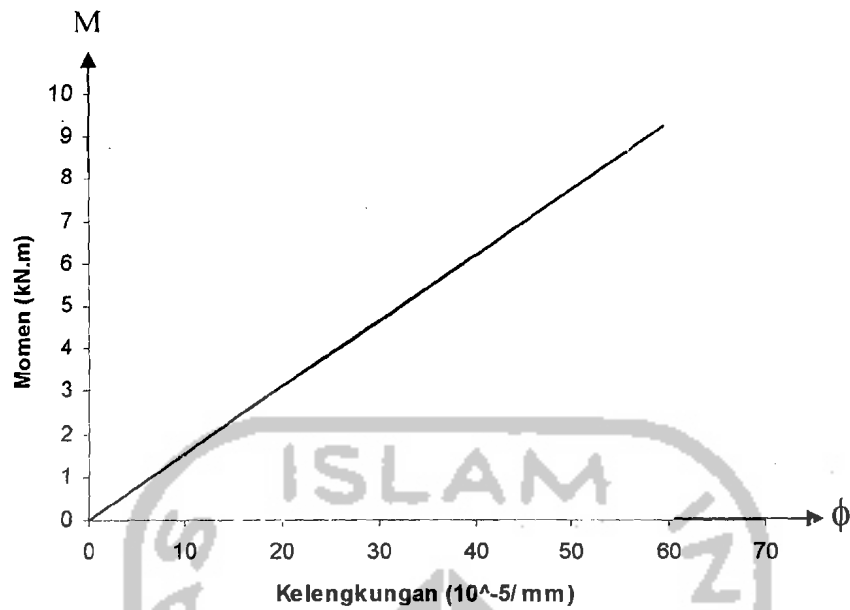


Gambar 5. 12 Regresi hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

Tabel 5. 9 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}$ /mm)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	133,000	150,000	0,000	1,313	7,422
1,750	220,000	327,000	81,000	2,625	15,689
2,625	402,000	627,000	250,000	3,938	26,756
3,500	556,000	848,000	386,000	5,250	33,511
4,375	662,000	1045,000	487,000	6,563	41,822
5,250	764,000	1237,000	580,000	7,875	50,222
6,125	855,000	1430,000	660,000	9,188	59,778

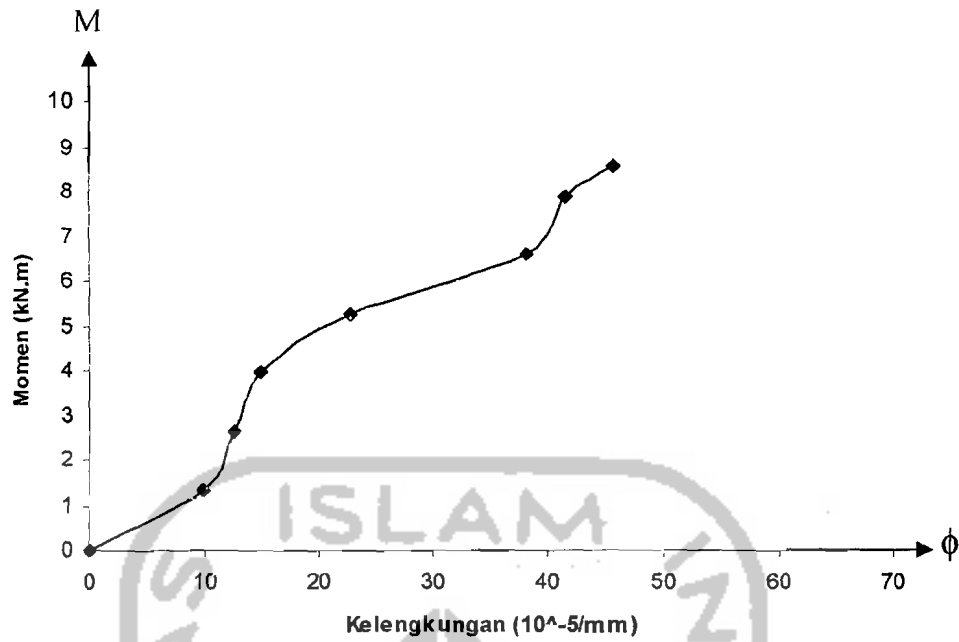
**Gambar 5. 13** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2



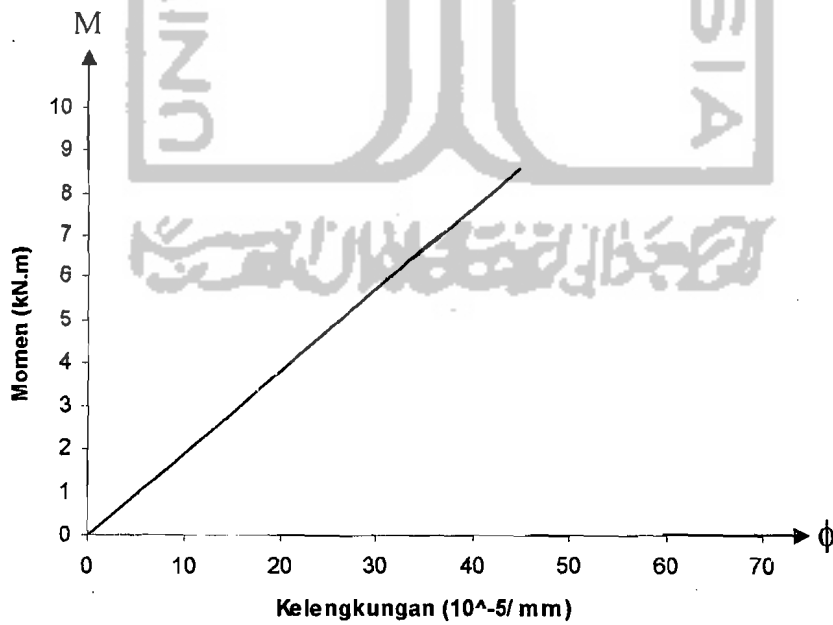
Gambar 5. 14 Regresi hubungan momen - kelengkungan benda uji 2

Tabel 5. 10 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}/\text{mm}$)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	129,000	237,000	123,000	1,313	9,867
1,750	290,000	424,000	277,000	2,625	12,489
2,625	377,000	532,000	355,000	3,938	14,756
3,500	477,000	720,000	453,000	5,250	22,667
4,375	619,000	1033,000	590,000	6,563	38,089
5,250	685,000	1134,000	652,000	7,875	41,378
5,688	773,000	1260,000	724,000	8,531	45,467



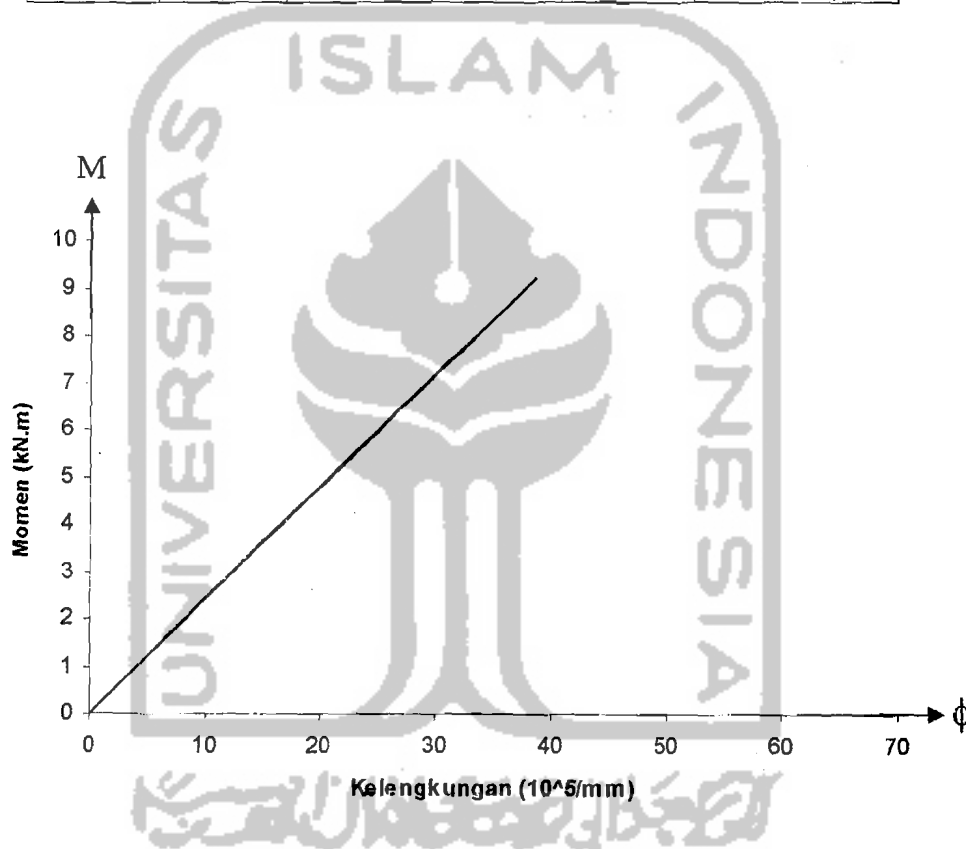
Gambar 5. 15 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3



Gambar 5. 16 Regresi hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

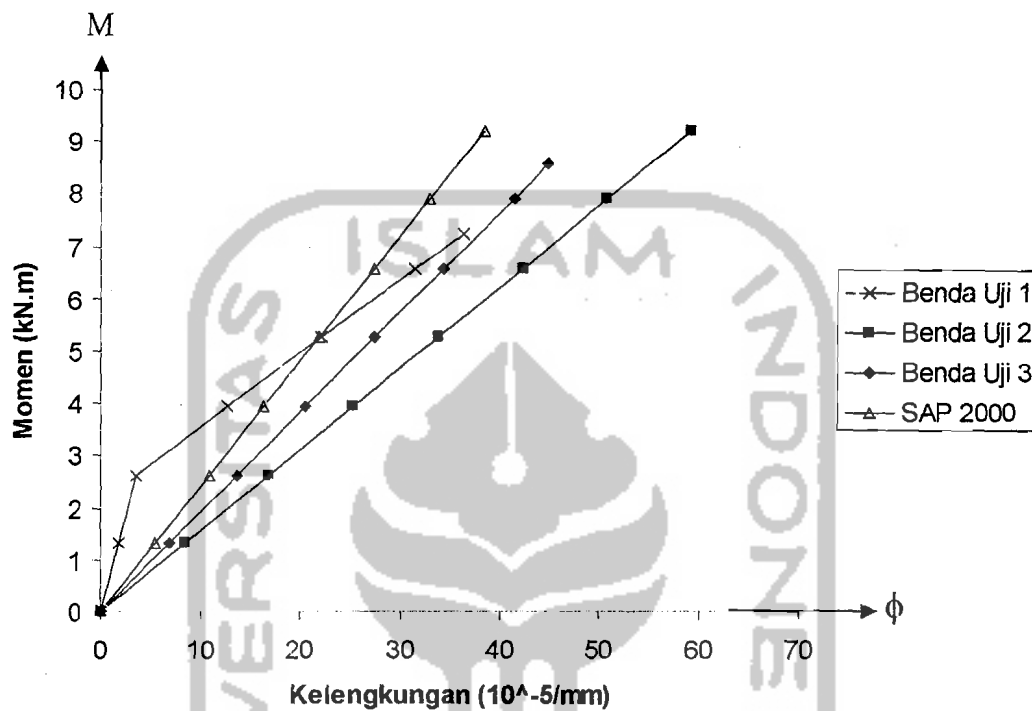
Tabel 5. 11 Hubungan momen - kelengkungan analisis SAP 2000

Beban (kN)	Pembacaan dial ($\cdot 10^{-2}$ mm)			Momen (kN.m)	Kelengkungan ($\cdot 10^{-5}$ /mm)
	1	2	3		
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,875	109,666	171,313	109,666	1,313	5,480
1,750	219,332	342,625	219,332	2,625	10,959
2,625	328,997	513,938	328,997	3,938	16,439
3,500	438,663	685,250	438,663	5,250	21,919
4,375	548,329	856,563	548,329	6,563	27,399
5,250	657,995	1027,875	657,995	7,875	32,878
6,125	767,661	1199,188	767,661	9,188	38,358

**Gambar 5. 17** Grafik hubungan momen - kelengkungan analisis SAP 2000

Grafik hubungan momen dengan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan rangka batang, dimana $EI = \frac{M}{\phi}$ yang berarti semakin besar kelengkungan yang terjadi maka faktor kekakuan pada rangka batang tersebut

akan semakin kecil. Gambar 5.18 menunjukkan analisis rangka batang dari 3 benda uji dengan bentuk yang sama.



Gambar 5. 18 Grafik hubungan momen - kelengkungan tiga benda uji

5.4.1 Analisis Faktor Kekakuan Rangka Batang Hasil Pengujian

Seperti halnya yang terjadi pada grafik beban dan lendutan, pada grafik momen dan kelengkungan menunjukkan bahwa rangka batang (*truss*) memiliki faktor kekakuan seperti pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5. 12 Faktor kekakuan rangka batang tepi sejajar

Benda Uji	Momen Maksimum (kN.mm)	ϕ ($10^{-5}/\text{mm}$)	Faktor Kekakuan (kN.mm ²)	Faktor Kekakuan Rata-rata
1	7219	37,022	-	17066631
2	9188	59,778	15370203,08	
3	8531	45,467	18763058,92	
Analisis SAP	9188	38,358	23953282,24	23953282,24

5.5 Tinjauan Analitis

Uji lentur kuda-kuda batang tepi sejajar yang dilakukan di Laboratorium menghasilkan beban maksimum yang dapat dipikul oleh kuda-kuda. Gaya batang masing-masing elemen kuda-kuda didapat berdasarkan analisis SAP 2000 dengan menggunakan beban maksimum ($P_{\text{eksperimen}}$). Gaya batang analisis SAP 2000 untuk tiap elemen terdapat pada Lampiran 3.

5.5.1 Nilai Koefisien Tekuk

a. Koefisien Tekuk Uji Desak

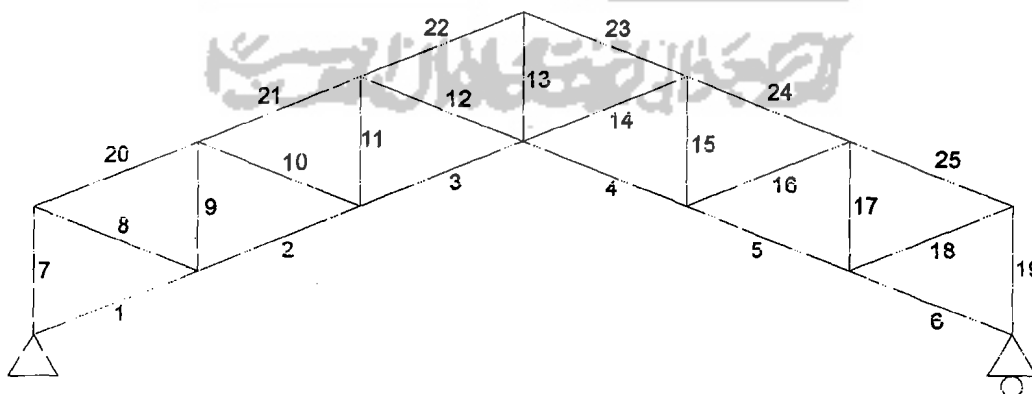
Berdasarkan uji desak lima benda uji profil *lipped channel* 70×22×8 tebal 1,2 mm, didapat nilai F_{cr} untuk masing-masing benda uji. F_{cr} digunakan untuk mencari nilai koefisien tekuk menggunakan Persamaan (3.17) seperti pada Lampiran 6. Hasil perhitungan seperti pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5. 13 Koefisien tekuk uji desak profil

Benda uji	F_{cr} (MPa)	π	A (mm)	b/t	μ	Koefisien tekuk (k)
Uji desak 50 cm	87,607	3,14	156	18,333	0,3	0,163
Uji desak 40 cm	94,231	3,14	156	18,333	0,3	0,175
Uji desak 30 cm	102,564	3,14	156	18,333	0,3	0,191

b. Koefisien Tekuk Uji Lentur

Dari hasil analisis SAP 2000 diperoleh *element forces* (P) sehingga dapat dicari nilai F_{cr} seperti yang terdapat pada lampiran 5, dan dapat dicari pula koefisien tekuk (k) pelat menggunakan Persamaan (3.17). Koefisien tekuk (k) hanya dapat diperoleh dari batang yang rusak akibat tekuk seperti terlihat pada Gambar 5.19 dibawah ini.



Gambar 5. 19 Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar

Tiga benda uji kuda-kuda batang tepi sejajar mengalami tekuk pada batang tekan, yaitu batang 23 pada Gambar 5.19.

nilai koefisien tekuk pelat berdasarkan uji lentur ditunjukkan pada Tabel 5.14 di bawah ini.

Tabel 5. 14 Koefisien tekuk tiap benda uji

Benda uji	Batang	P_{cr} (kN)	π	A (mm)	F_{cr} (MPa)	h/t	μ	Koefesien tekuk (k)	Koefisien tekuk rata-rata
1	23	9,577	3,14	156	61,391	18,333	0,3	0,114	0,14
2	23	12,187	3,14	156	78,122	18,333	0,3	0,145	
3	23	11,318	3,14	156	72,551	18,333	0,3	0,135	

dengan : P_{cr} = beban tekuk; A = luas penampang melintang; F_{cr} = tegangan kritis,

5.6 Pembahasan

Uji lentur kuda-kuda batang tepi sejajar menghasilkan hubungan beban (P) dan lendutan (Δ). Berdasarkan grafik hubungan beban-lendutan, dapat diketahui kekakuan dan kekuatan dari struktur kuda-kuda. Hal ini dapat diketahui berdasarkan Tabel 5.7. Pada Gambar 5.10 benda uji 1 terjadi penurunan kekakuan, hal ini disebabkan terjadi kesalahan pada saat pembuatan benda uji, oleh karena itu benda uji 1 dianggap gagal, sedangkan untuk benda uji 2 dan benda uji 3 memiliki nilai kekakuan yang relatif sama. Kekakuan rangka batang analisis SAP 2000 memiliki nilai yang lebih besar dari kekakuan hasil penelitian, hal ini disebabkan pada analisis SAP tidak dimungkinkan terjadi tekuk lokal pada struktur rangka batang.

Beban maksimum pada pengujian lentur kuda-kuda digunakan untuk mencari tegangan kritis (F_{cr}) profil, kekuatan benda uji lentur seperti pada Tabel 5.7. Benda uji 1 memiliki beban maksimum terkecil yang mampu ditahan struktur sebelum terjadi tekuk, sebab pada benda uji 1 pengekang lateral bagian puncak tidak terpasang, untuk benda uji 2 dan benda uji 3 telah dilakukan pemasangan pengekang lateral pada puncak struktur, sehingga kekuatan struktur batang tepi sejajar mengalami peningkatan beban maksimum yang mampu ditahan sebelum terjadinya tekuk. Berdasarkan Gambar 5.10 kekuatan benda uji 2 dan benda uji 3 relatif sama, sehingga kekuatan struktur rangka batang tepi sejajar hasil pengujian sekitar 5,91 kN. Beban maksimum tersebut relatif kecil, hal ini bisa disebabkan oleh kualitas bahan yang digunakan. Pada penelitian ini baja profil yang digunakan memiliki nilai tegangan leleh yang relatif kecil yaitu 137,102 Mpa.

Rangka batang tepi sejajar mengalami tekuk lokal pada batang tepi atas yang mengalami beban paling besar. Nilai koefisien tekuk elemen penampang didapat berdasarkan tegangan kritis (F_{cr}) batang yang mengalami tekuk. Terlihat bahwa koefisien tekuk pelat berdasarkan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian didapat nilai yang relatif kecil, $k = 0,14$, nilai koefisien tekuk tersebut relatif kecil. Berdasarkan rasio lebar sayap terhadap tinggi badan profil benda uji ($b/h = 0,31$), nilai koefisien tekuk hasil pengujian sangat jauh berbeda dengan nilai koefisien tekuk untuk panampang I dengan rasio lebar sayap terhadap tinggi badan (b/d) yang sama seperti dikemukakan oleh *N.S Trahair* dan *M.A Bradford (1988)* $k = 0,37$ begitu juga dengan koefisien tekuk untuk pelat pada Gambar 3.9 memiliki

nilai koefisien tekuk minimal pelat, $k = 0,425$ maupun nilai koefisien tekuk menurut *Schafer (1997)*, yaitu $k = 0,542$.

Beban tekuk yang terjadi pada rangka relatif kecil, menyebabkan nilai koefisien tekuk (k) pelat menjadi sangat kecil. Hal ini bisa disebabkan oleh adanya tegangan residu pada profil bentukan dingin, karena profil dibentuk dari lembaran pelat yang tipis. Pembentukan profil pada keadaan dingin menyebabkan pelat telah mengalami pelelehan pada saat fabrikasi.

