

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Pelaksanaan Pengujian kuat tarik baja dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian kuat tarik baja dilakukan untuk mengetahui mutu dari bahan atau profil yang digunakan dalam penelitian. Hasil pengujian kuat tarik baja ditunjukkan pada Tabel (5.1)

Tabel 5.1 Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Benda Uji	Tegangan Leleh σ _{leleh} (Mpa)	Tegangan Leleh Rata-Rata (Mpa)
Benda Uji 1	370	373
Benda Uji 2	365	
Benda Uji 3	385	

5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Komposit Pipa Baja-Kayu

Pelaksanaan pengujian kuat lentur struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dilakukan di Laboratorium Analisis Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian ini didapat grafik hubungan beban lendutan dan momen kelengkungan.

5.3 Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian

Pada pengujian kuat lentur ini, struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu diberikan dua beban yang terletak setiap sepertiga bagian panjang rangka batang tersebut sebesar satu meter. Secara bertahap struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu diberi kenaikan sebesar 350 kg (3,5 KN), kemudian pada setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi dicatat.

5.3.1 Benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_1 = 47^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_1 = 47^\circ$) didapat data pada Tabel (5.2) sebagai berikut :

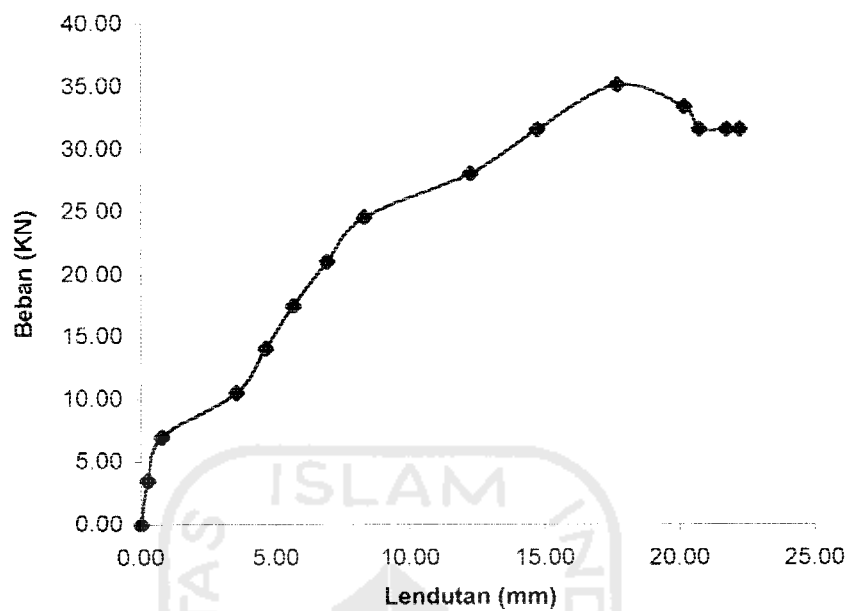
Tabel 5.2 Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$
(Revisi)

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)						Lendutan Rata-Rata (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial 4	Dial 5	Dial 6	Y_{i-1}	Y_i	Y_{i+1}
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.50	0.30	0.32	0.20	0.19	0.51	0.10	0.25	0.42	0.15
3	7.00	0.81	1.24	1.19	0.69	1.82	1.72	0.75	1.53	1.46
4	10.50	3.50	3.65	3.44	3.55	4.68	3.58	3.53	4.17	3.51
5	14.00	4.95	5.14	4.89	4.26	5.42	4.32	4.61	5.28	4.61
6	17.50	5.78	6.44	5.82	5.49	6.41	5.75	5.64	6.43	5.79
7	21.00	6.48	7.07	6.92	7.30	8.66	7.64	6.89	7.87	7.28
8	24.50	7.81	7.91	7.01	8.74	10.27	9.28	8.28	9.09	8.15
9	28.00	10.86	11.29	10.45	13.61	15.81	15.69	12.24	13.55	13.07
10	31.50	12.61	13.30	11.40	16.80	19.07	16.20	14.71	16.19	13.80
11	35.00	14.59	14.62	12.33	20.72	23.34	20.05	17.66	18.98	16.19
12	33.25	14.88	16.94	15.76	25.39	28.20	25.02	20.14	22.57	20.39
13	31.50	15.18	17.19	16.04	26.17	29.03	25.79	20.68	23.11	20.92
14	31.50	15.66	19.19	16.58	27.73	30.58	29.93	21.70	24.89	23.26
15	31.50	15.90	19.93	16.78	28.49	31.78	31.15	22.20	25.86	23.97

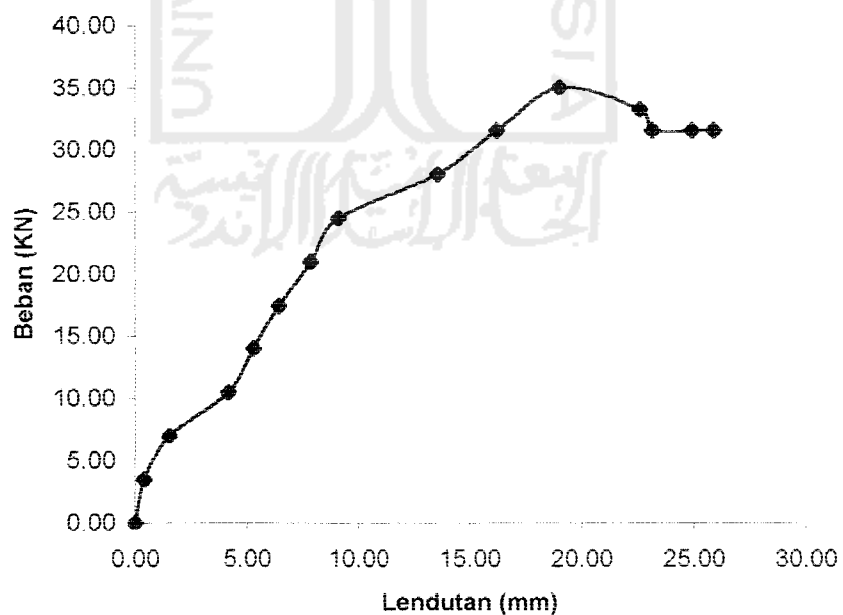
Keterangan :

1. Lendutan Y_{i-1} adalah lendutan rata-rata pada Dial 1 dan Dial 4.
2. Lendutan Y_i adalah lendutan rata-rata pada Dial 2 dan Dial 5.
3. Lendutan Y_{i+1} adalah lendutan rata-rata pada Dial 3 dan Dial 6.

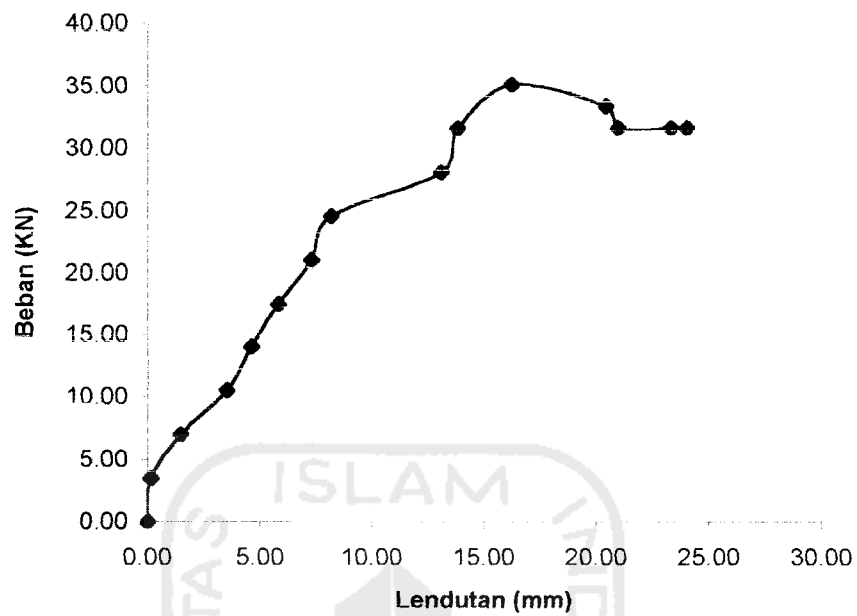
Dari data pada Tabel (5.2) hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban lendutan pada Gambar (5.1) sampai dengan Gambar (5.6) berikut ini :



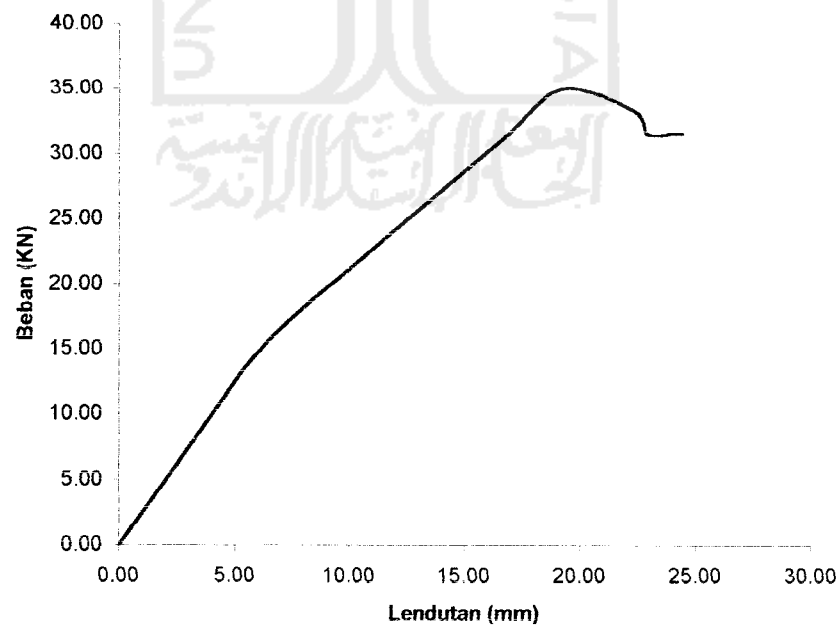
Gambar 5.1 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_{1-1}



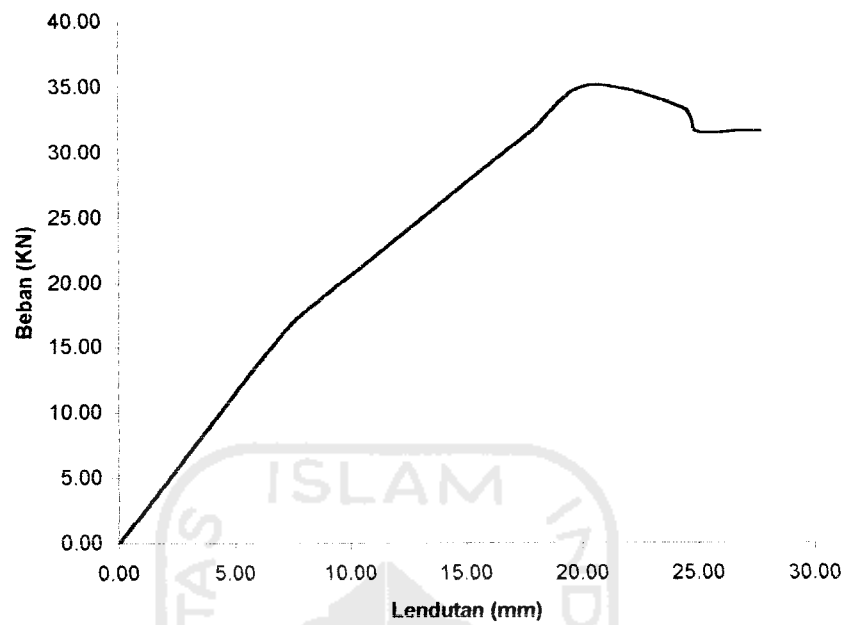
Gambar 5.2 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_1



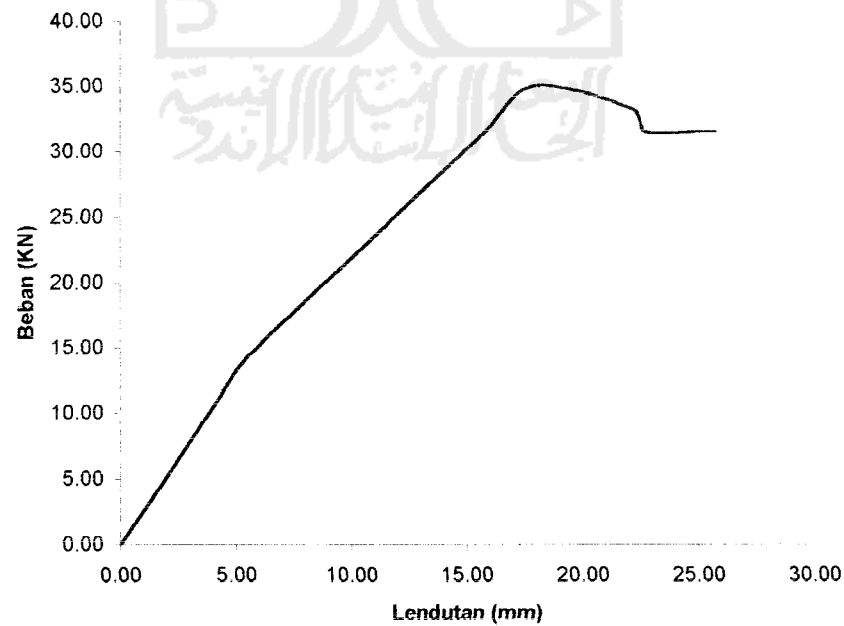
Gambar 5.3 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1}



Gambar 5.4 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_{i-1} dengan Regresi



Gambar 5.5 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_i dengan Regresi



Gambar 5.6 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi

5.3.2 Benda uji 2 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 2 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53^\circ$) didapat data pada Tabel (5.3) sebagai berikut :

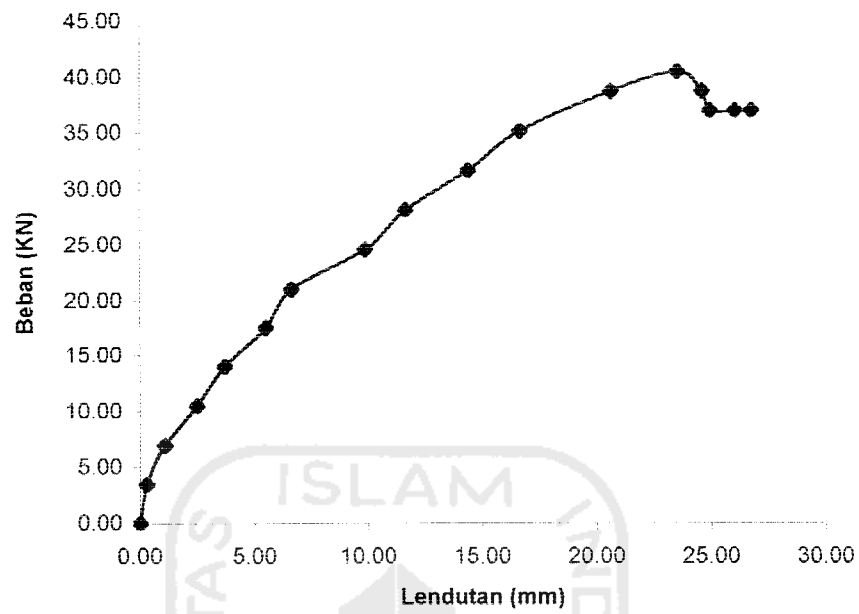
Tabel 5.3 Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)						Lendutan Rata-Rata (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial 4	Dial 5	Dial 6	Y _{i-1}	Y _i	Y _{i+1}
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.50	0.24	0.31	0.25	0.30	0.35	0.34	0.27	0.33	0.30
3	7.00	0.84	1.01	0.92	1.25	1.31	1.25	1.05	1.16	1.09
4	10.50	2.00	2.36	2.26	2.91	2.93	2.58	2.46	2.65	2.42
5	14.00	3.23	4.05	3.65	4.09	4.11	3.57	3.66	4.08	3.61
6	17.50	5.19	6.14	5.85	5.75	5.80	5.10	5.47	5.97	5.48
7	21.00	6.52	7.28	7.21	6.66	6.96	5.99	6.59	7.12	6.60
8	24.50	9.93	10.65	10.48	9.74	10.15	9.15	9.84	10.40	9.82
9	28.00	11.54	12.50	12.09	11.66	11.96	11.08	11.60	12.23	11.59
10	31.50	14.00	15.25	14.56	14.71	14.95	14.07	14.36	15.10	14.32
11	35.00	15.87	17.24	16.65	17.38	17.73	16.68	16.63	17.49	16.67
12	38.50	18.50	20.24	19.61	22.70	24.06	21.26	20.60	22.15	20.44
13	40.25	19.22	20.88	20.32	27.74	29.24	26.32	23.48	25.06	23.32
14	38.50	19.86	21.33	20.27	29.26	30.94	28.34	24.56	26.14	24.31
15	36.75	19.71	21.46	20.20	30.10	31.73	29.12	24.91	26.60	24.66
16	36.75	19.68	22.14	20.15	32.27	32.53	29.94	25.98	27.34	25.05
17	36.75	20.03	22.47	20.27	33.02	32.84	30.05	26.70	29.01	27.02

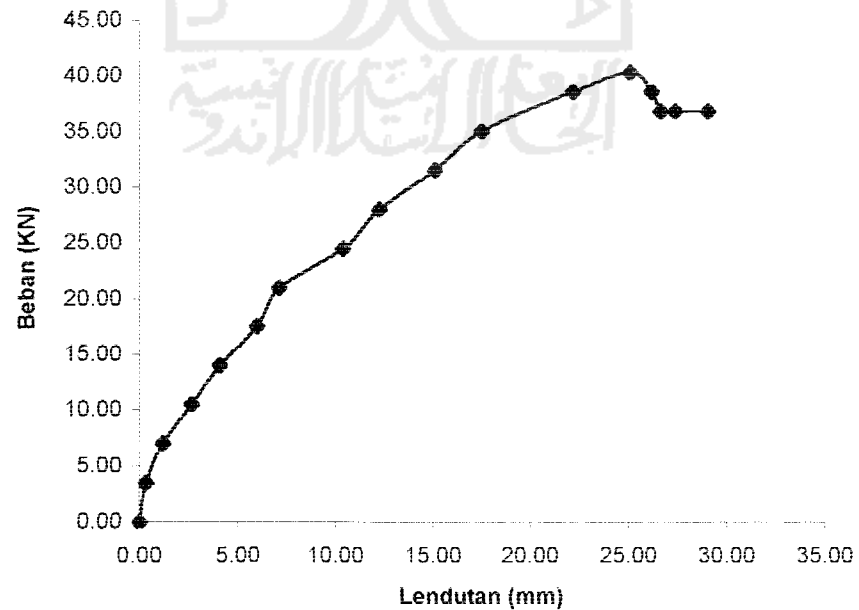
Keterangan :

1. Lendutan Y_{i-1} adalah lendutan rata-rata pada Dial 1 dan Dial 4.
2. Lendutan Y_i adalah lendutan rata-rata pada Dial 2 dan Dial 5.
3. Lendutan Y_{i+1} adalah lendutan rata-rata pada Dial 3 dan Dial 6.

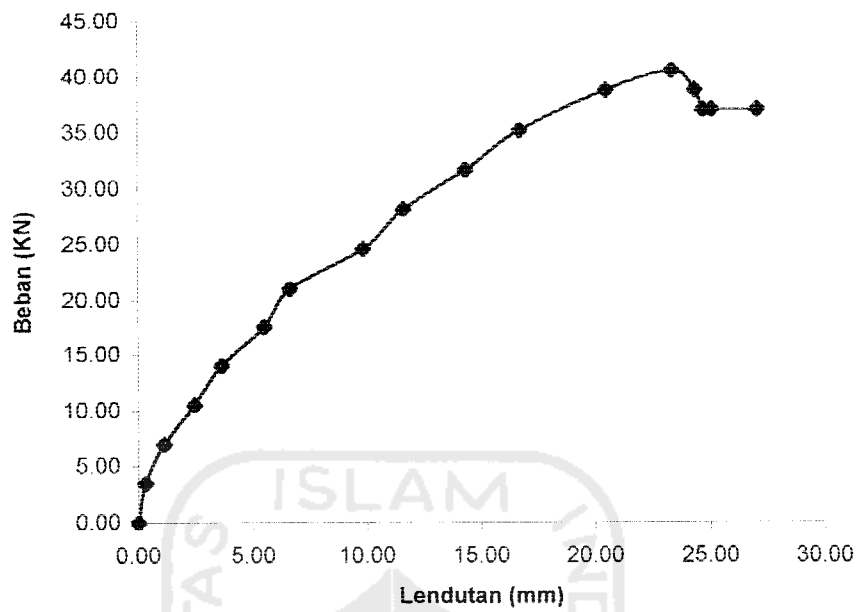
Dari data pada Tabel (5.3) hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban lendutan pada Gambar (5.7) sampai dengan Gambar (5.12) berikut ini :



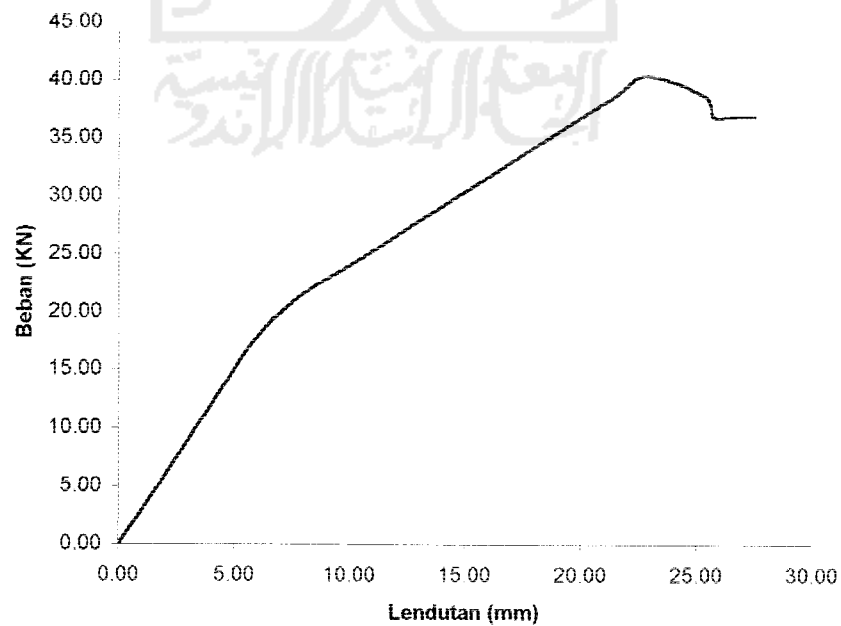
Gambar 5.7 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan $Y_{1,1}$



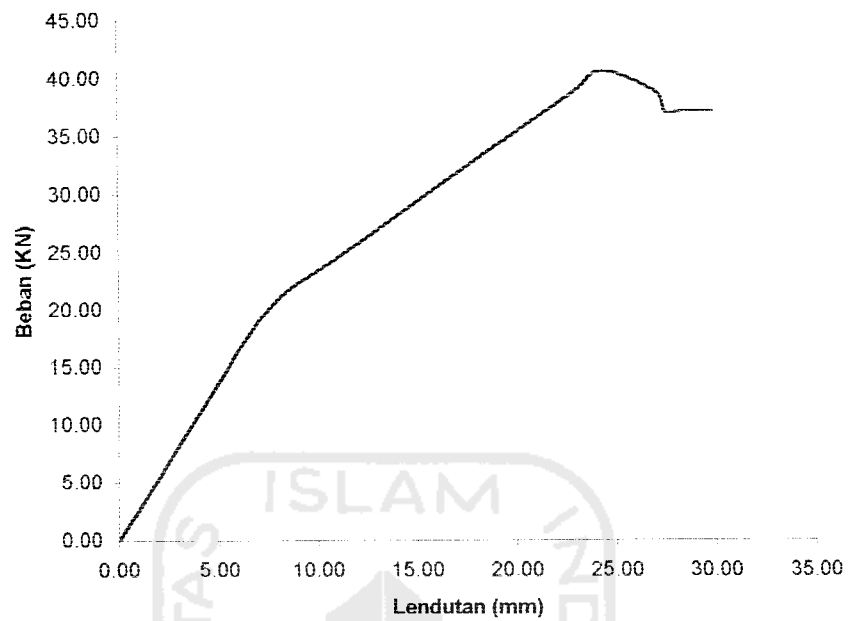
Gambar 5.8 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_1



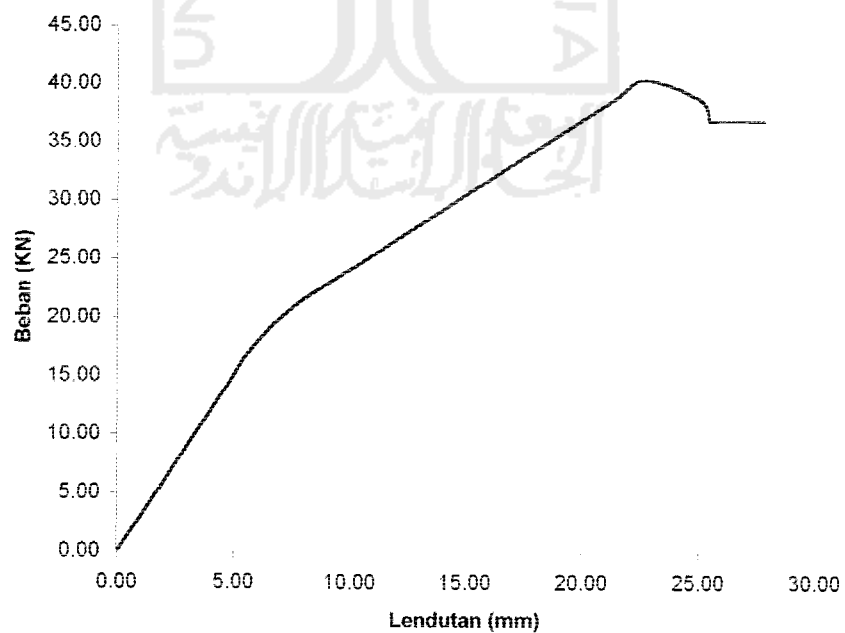
Gambar 5.9 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1}



Gambar 5.10 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_{i-1} dengan Regresi



Gambar 5.11 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_i dengan Regresi



Gambar 5.12 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi

5.3.3 Benda uji 3 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_3 = 58^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 3 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_3 = 58^\circ$) didapat data pada Tabel (5.4) sebagai berikut :

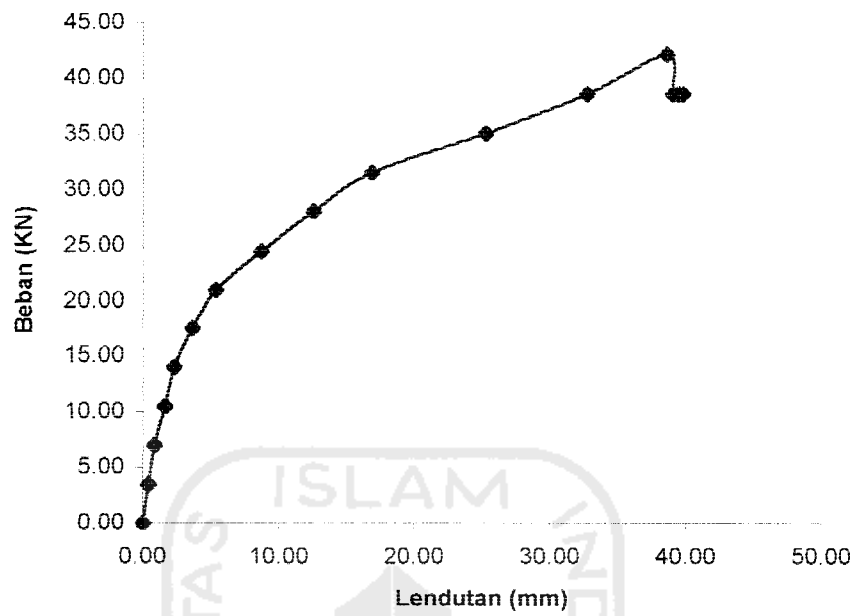
Tabel 5.4 Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)						Lendutan Rata-Rata (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial 4	Dial 5	Dial 6	Y _{i-1}	Y _i	Y _{i+1}
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.50	0.33	0.35	0.31	0.45	0.49	0.47	0.39	0.42	0.39
3	7.00	0.70	0.71	0.67	0.93	1.01	0.98	0.82	0.86	0.83
4	10.50	1.23	1.29	1.19	1.90	2.53	2.08	1.57	1.91	1.64
5	14.00	1.70	1.78	1.65	2.77	3.55	3.03	2.24	2.67	2.34
6	17.50	2.35	2.73	2.34	4.79	5.48	5.34	3.57	4.11	3.84
7	21.00	3.25	3.46	3.21	7.35	8.29	7.85	5.30	5.88	5.53
8	24.50	5.25	5.59	5.17	12.03	13.05	12.51	8.64	9.32	8.84
9	28.00	8.01	8.84	7.94	17.02	17.75	17.70	12.52	13.30	12.82
10	31.50	11.11	11.98	11.06	22.45	22.81	22.31	16.78	17.40	16.69
11	35.00	14.61	15.39	14.59	35.93	36.80	34.73	25.27	26.10	24.66
12	38.50	17.28	28.03	17.30	48.14	52.86	41.29	32.71	40.45	29.30
13	42.00	20.82	37.06	20.93	56.29	55.56	49.27	38.56	46.31	35.10
14	38.50	21.13	37.17	21.26	56.85	56.89	49.74	38.99	47.03	35.50
15	38.50	21.45	39.82	21.60	57.40	59.14	58.31	39.43	49.48	39.96
16	38.50	21.87	41.26	22.05	57.63	59.36	58.62	39.75	50.31	40.34

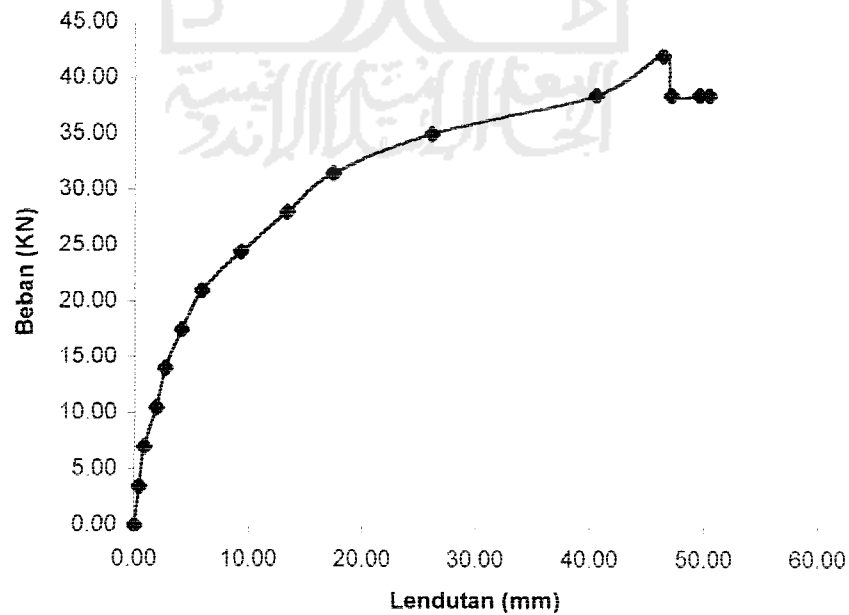
Keterangan :

1. Lendutan Y_{i-1} adalah lendutan rata-rata pada Dial 1 dan Dial 4.
2. Lendutan Y_i adalah lendutan rata-rata pada Dial 2 dan Dial 5.
3. Lendutan Y_{i+1} adalah lendutan rata-rata pada Dial 3 dan Dial 6.

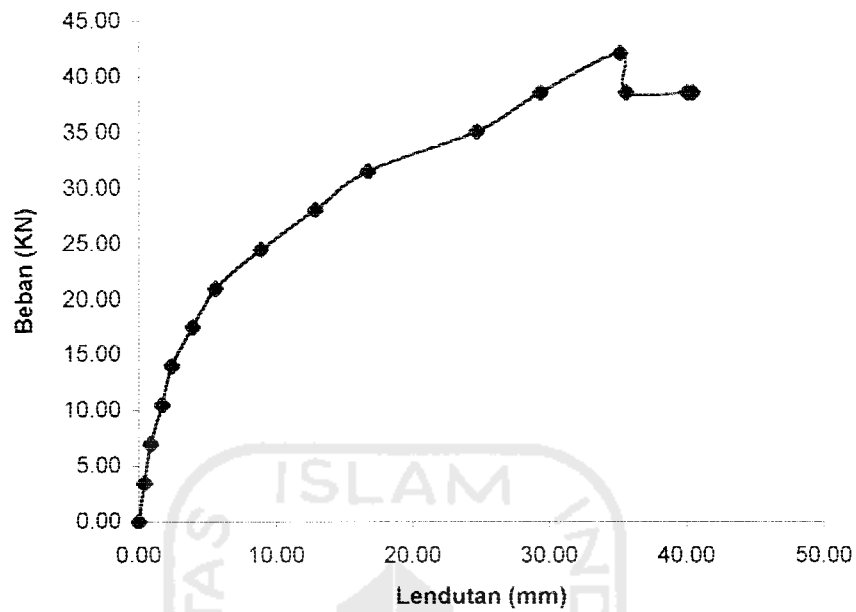
Dari data pada Tabel (5.4) hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban lendutan pada Gambar (5.13) sampai dengan Gambar (5.18) berikut ini :



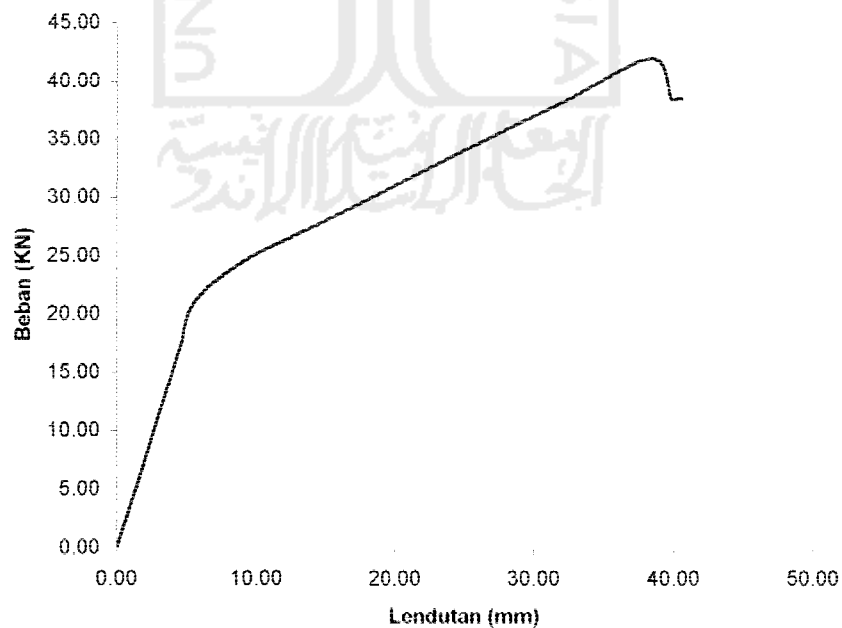
Gambar 5.13 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan $Y_{1,1}$



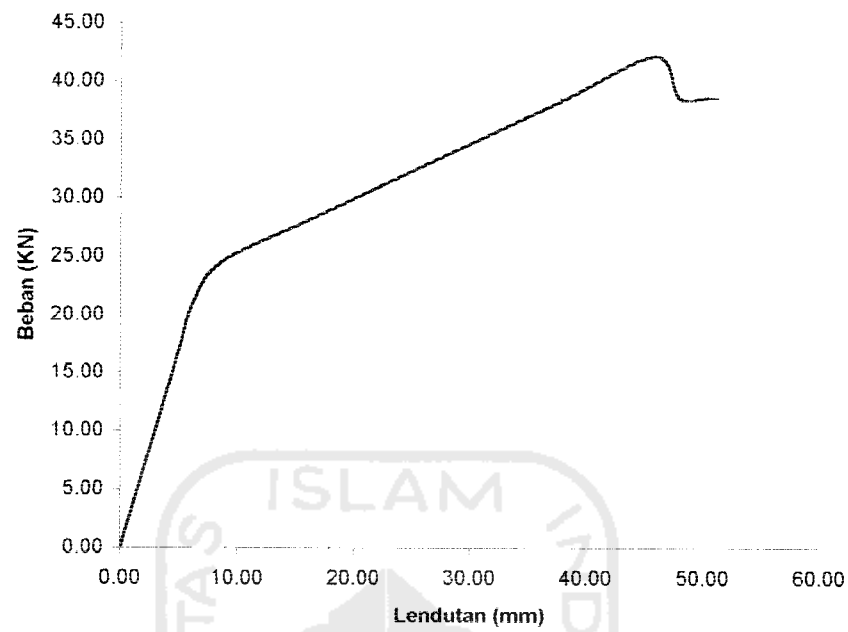
Gambar 5.14 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_1



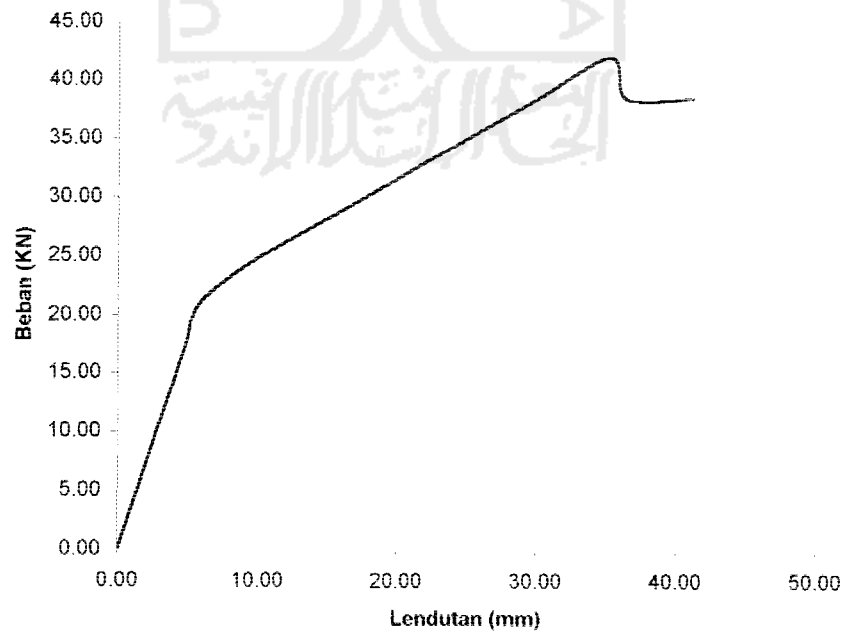
Gambar 5.15 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1}



Gambar 5.16 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi



Gambar 5.17 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_i dengan Regresi



Gambar 5.18 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi

Setelah grafik diatas diregresi didapatkan tabel beban-lendutan untuk struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Tabel (5.5) sampai dengan Tabel (5.7) berikut ini :

Tabel 5.5 Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ Revisi dengan Regresi

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)		
		Yi-1	Yi	Yi+1
1	0.00	0.000	0.000	0.000
2	3.50	1.411	1.523	1.335
3	7.00	2.821	3.046	2.670
4	10.50	4.231	4.569	4.005
5	14.00	5.642	6.092	5.340
6	17.50	7.518	7.870	7.335
7	21.00	9.857	10.346	9.450
8	24.50	12.197	12.822	11.565
9	28.00	14.537	15.297	13.680
10	31.50	16.877	17.773	15.795
11	35.00	19.217	20.249	17.910
12	33.25	22.333	24.336	22.114
13	31.50	22.873	24.876	22.644
14	31.50	23.893	26.656	24.984
15	31.50	24.393	27.626	25.694

Tabel 5.6 Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ dengan Regresi

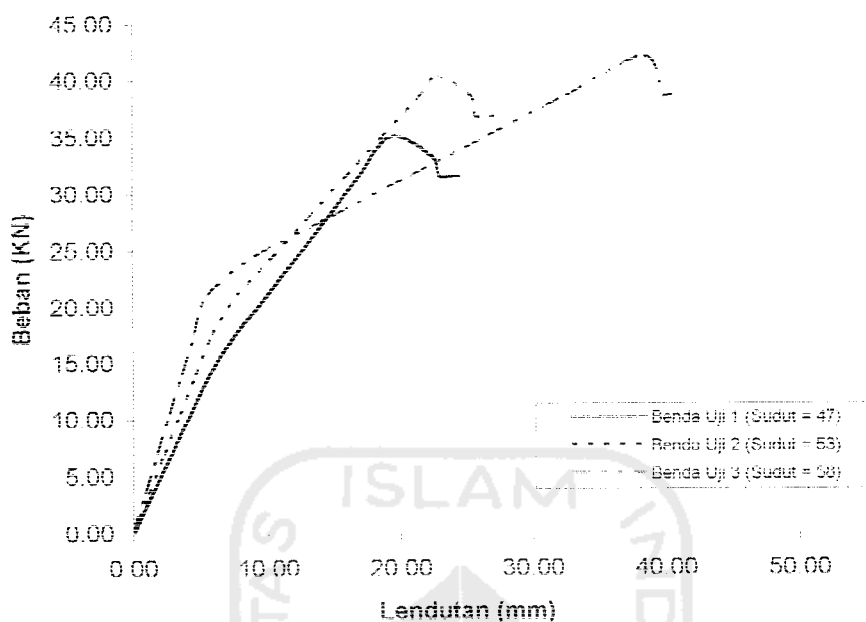
No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)		
		Yi-1	Yi	Yi+1
1	0.00	0.000	0.000	0.000
2	3.50	1.170	1.277	1.162
3	7.00	2.339	2.555	2.324
4	10.50	3.509	3.833	3.486
5	14.00	4.678	5.110	4.648
6	17.50	5.848	6.388	5.810
7	21.00	7.596	8.065	7.605
8	24.50	10.364	11.020	10.346
9	28.00	13.132	13.975	13.086
10	31.50	15.900	16.931	15.827
11	35.00	18.669	19.886	18.567
12	38.50	21.437	22.841	21.308
13	40.25	22.821	24.319	22.678
14	38.50	25.332	26.969	25.065
15	36.75	25.682	27.429	25.415
16	36.75	26.752	28.169	25.805
17	36.75	27.469	29.836	27.774



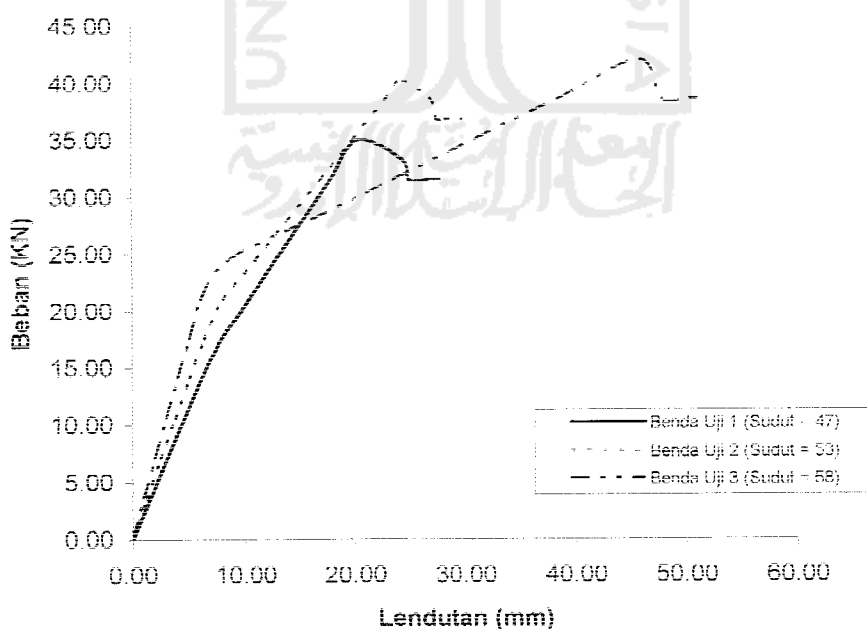
Tabel 5.7 Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ dengan Regresi

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)		
		Y _{i-1}	Y _i	Y _{i+1}
1	0.00	0.000	0.000	0.000
2	3.50	0.911	1.016	0.960
3	7.00	1.823	2.033	1.920
4	10.50	2.734	3.049	2.881
5	14.00	3.645	4.066	3.841
6	17.50	4.557	5.082	4.801
7	21.00	5.468	6.098	5.761
8	24.50	8.952	8.569	9.533
9	28.00	14.836	16.017	14.661
10	31.50	20.719	23.466	19.789
11	35.00	26.602	30.914	24.918
12	38.50	32.486	38.363	30.046
13	42.00	38.369	45.811	35.174
14	38.50	39.740	47.815	36.299
15	38.50	40.180	50.265	40.759
16	38.50	40.500	51.095	41.139

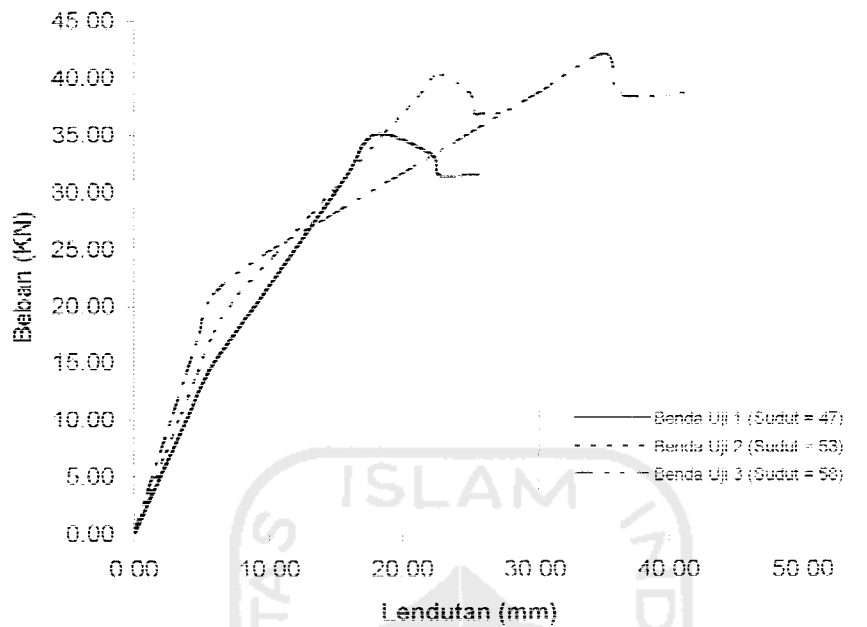
Dari Tabel (5.5) sampai dengan Tabel (5.7) didapat grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu untuk benda uji 1 $\alpha = 47^\circ$, benda uji 2 $\alpha = 53^\circ$ dan benda uji 3 $\alpha = 58^\circ$ seperti pada Gambar (5.19) sampai dengan Gambar (5.21).



Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$, Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ dan Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_{i-1} dengan Regresi



Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$, Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ dan Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_i dengan Regresi



Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$, Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ dan Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi

5.4 Hubungan Beban Lendutan Hasil Perhitungan dengan Program SAP 2000

Dengan program SAP 2000 dapat juga diperoleh hubungan beban-lendutan seperti pada Tabel (5.5) sampai dengan Tabel (5.7).

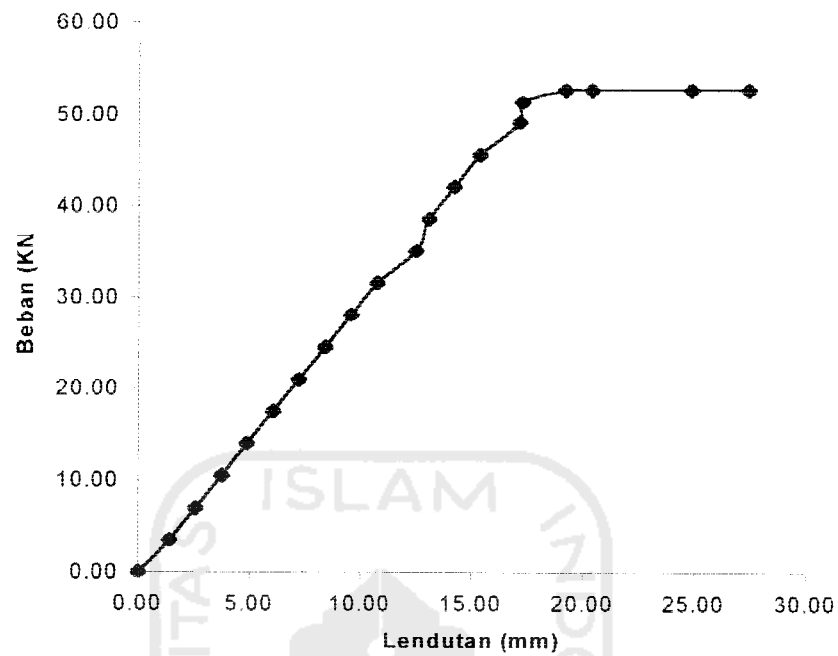
5.4.1 Benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_1 = 47^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_1 = 47^\circ$) didapat data pada Tabel (5.8) sebagai berikut :

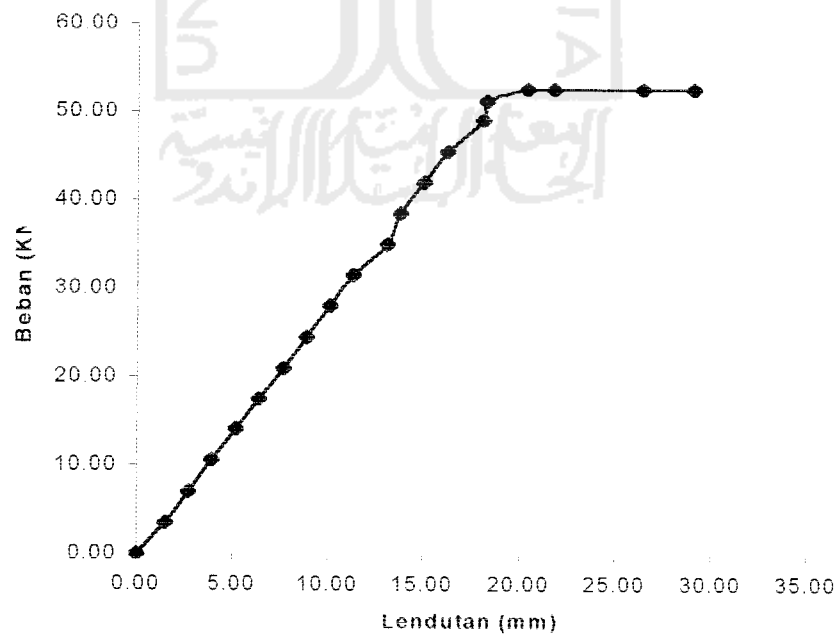
Tabel 5.8 Hubungan Beban Lendutan Hasil Perhitungan dengan Program SAP 2000 Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)		
		Y _{i-1}	Y _i	Y _{i+1}
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.50	1.40	1.49	1.40
3	7.00	2.57	2.70	2.57
4	10.50	3.74	3.92	3.74
5	14.00	4.86	5.18	4.86
6	17.50	6.03	6.39	6.03
7	21.00	7.20	7.65	7.20
8	24.50	8.37	8.87	8.37
9	28.00	9.54	10.08	9.54
10	31.50	10.71	11.30	10.71
11	35.00	12.47	13.10	12.47
12	38.50	13.05	13.77	13.05
13	42.00	14.18	14.99	14.18
14	45.50	15.35	16.20	15.35
15	49.00	17.10	18.05	17.10
16	51.20	17.24	18.23	17.24
17	52.50	19.17	20.34	19.17
18	52.50	20.34	21.74	20.34
19	52.50	24.80	26.37	24.80
20	52.50	27.36	29.03	27.36

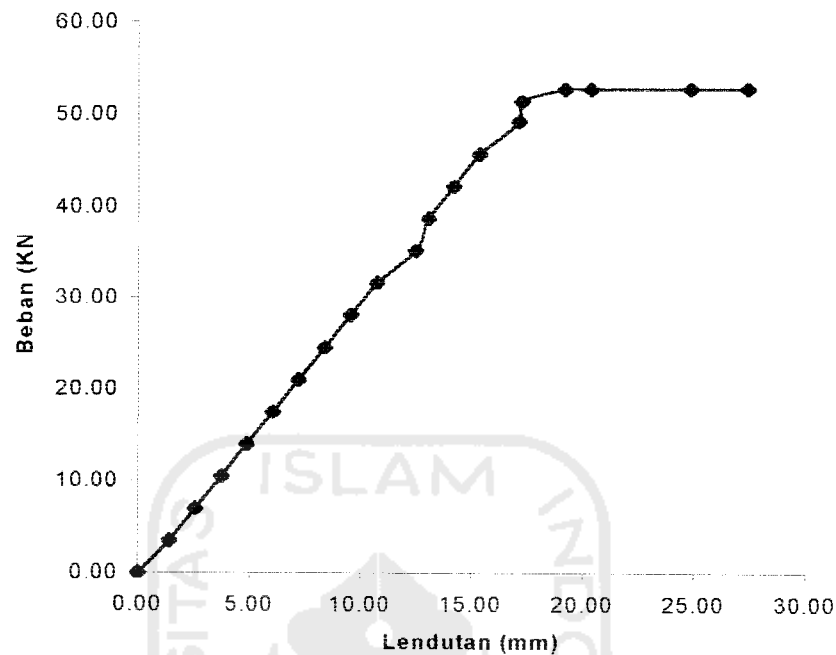
Dari data pada Tabel (5.8) hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban lendutan pada Gambar (5.22) sampai dengan Gambar (5.24) berikut ini :



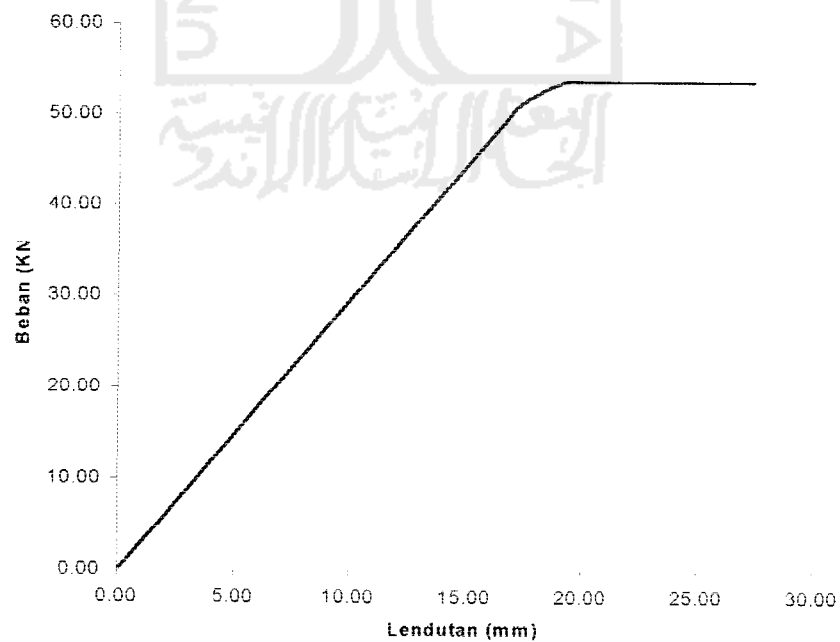
Gambar 5.22 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan $Y_{1,1}$ dengan Menggunakan Program SAP 2000



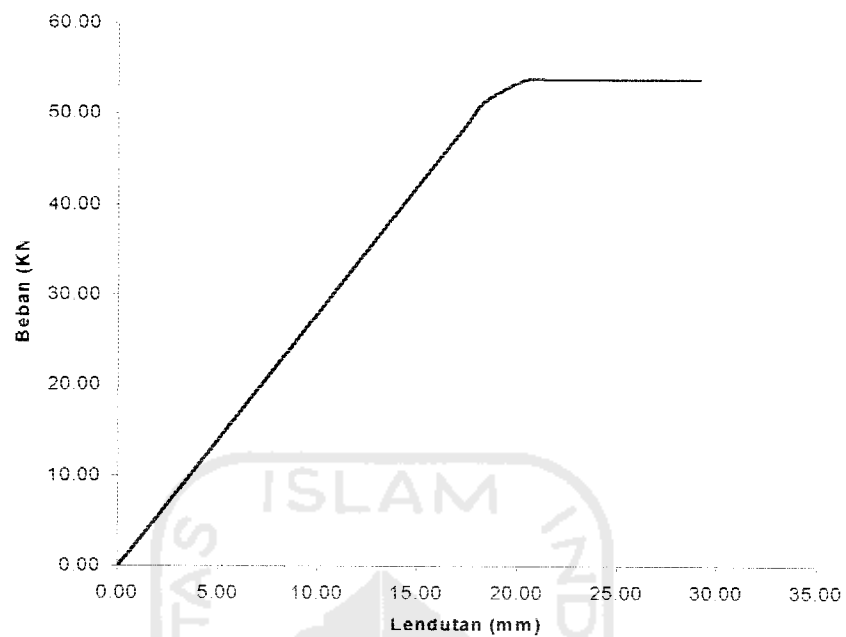
Gambar 5.23 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_1 dengan Menggunakan Program SAP 2000



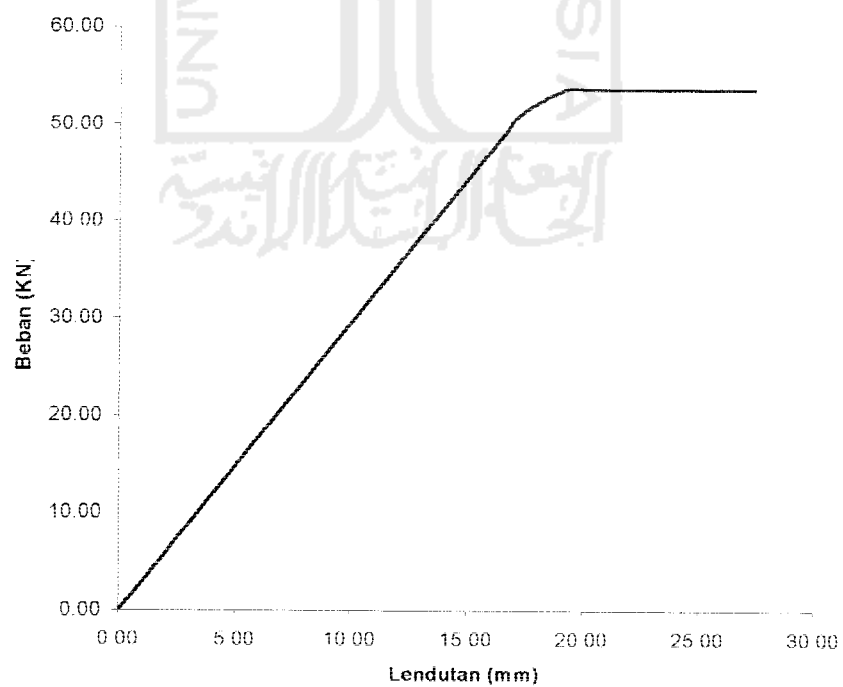
Gambar 5.24 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Menggunakan Program SAP 2000



Gambar 5.25 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_{i-1} dengan Regresi Menggunakan Program SAP 2000



Gambar 5.26 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_1 dengan Regresi Menggunakan Program SAP 2000



Gambar 5.27 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi Menggunakan Program SAP 2000

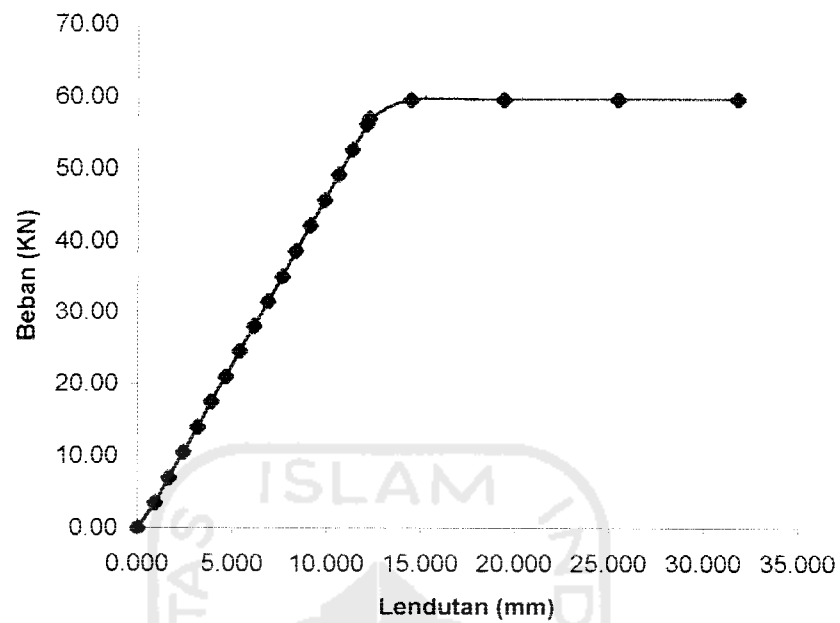
5.4.2 Benda uji 2 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53^\circ$) didapat data pada Tabel (5.9) sebagai berikut :

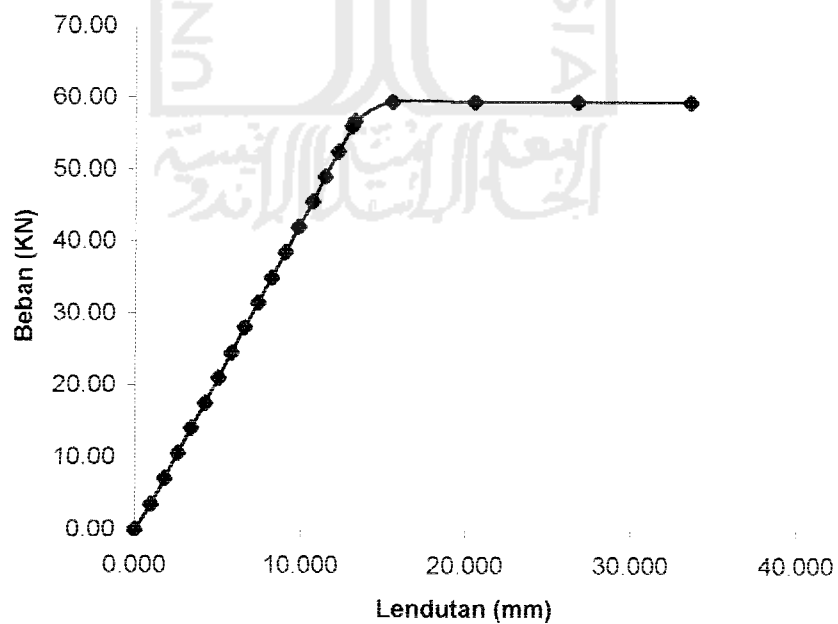
Tabel 5.9 Hubungan Beban Lendutan Hasil Perhitungan dengan Program SAP 2000 Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)		
		Y _{i-1}	Y _i	Y _{i+1}
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.50	0.90	0.96	0.90
3	7.00	1.65	1.77	1.65
4	10.50	2.40	2.58	2.40
5	14.00	3.15	3.39	3.15
6	17.50	3.87	4.20	3.87
7	21.00	4.62	5.01	4.62
8	24.50	5.37	5.79	5.37
9	28.00	6.12	6.60	6.12
10	31.50	6.87	7.41	6.87
11	35.00	7.62	8.22	7.62
12	38.50	8.34	9.03	8.34
13	42.00	9.09	9.84	9.09
14	45.50	9.87	10.68	9.87
15	49.00	10.59	11.43	10.59
16	52.50	11.34	12.24	11.34
17	56.00	12.09	13.05	12.09
18	56.80	12.24	13.23	12.24
19	59.40	14.43	15.51	14.43
20	59.40	19.38	20.49	19.38
21	59.40	25.42	26.71	25.42
22	59.40	31.75	33.52	31.25

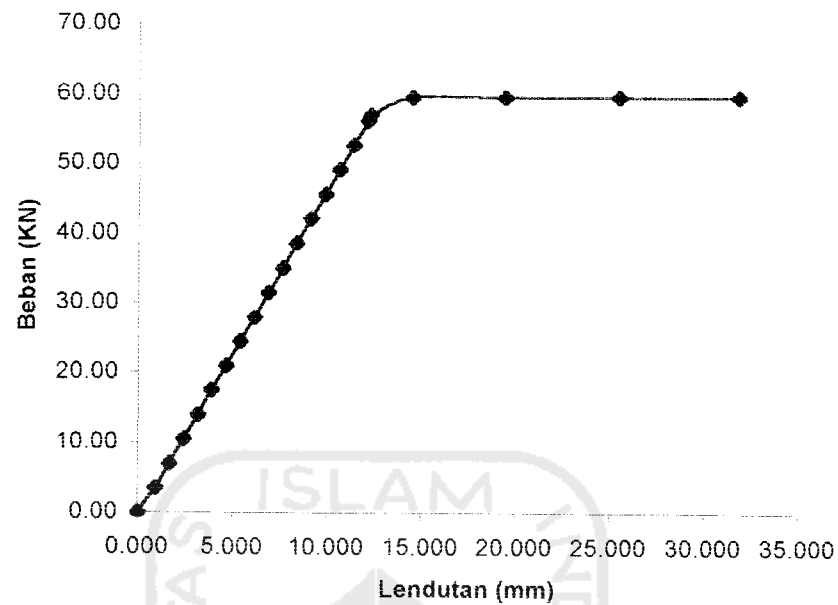
Dari data pada Tabel (5.9) hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban lendutan pada Gambar (5.28) sampai dengan Gambar (5.30) berikut ini :



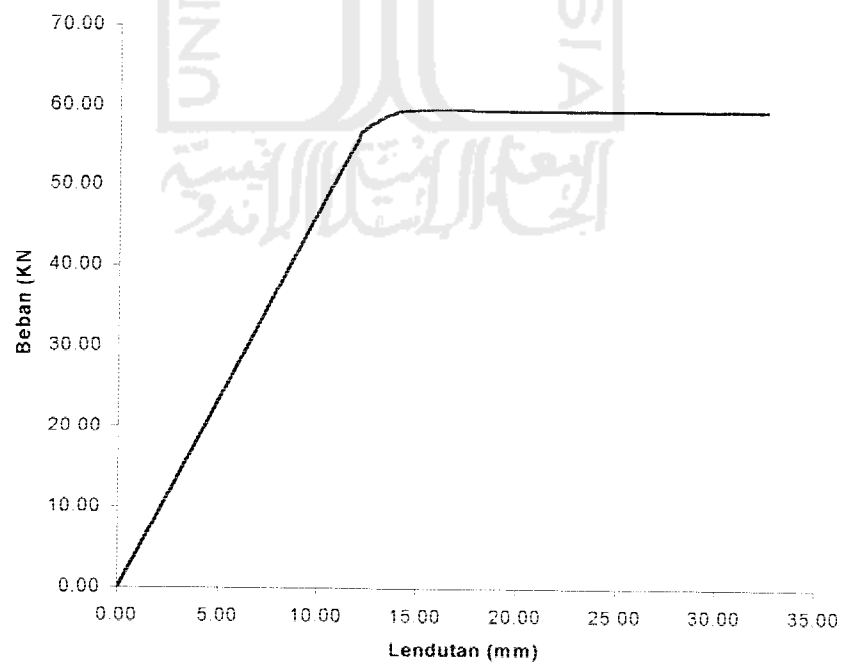
Gambar 5.28 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_{1-1} dengan Menggunakan Program SAP 2000



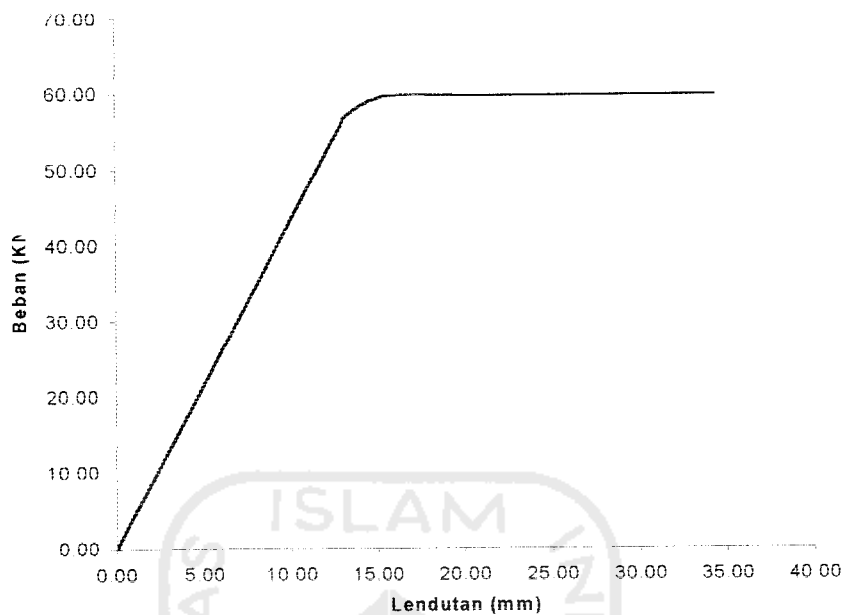
Gambar 5.29 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_1 dengan Menggunakan Program SAP 2000



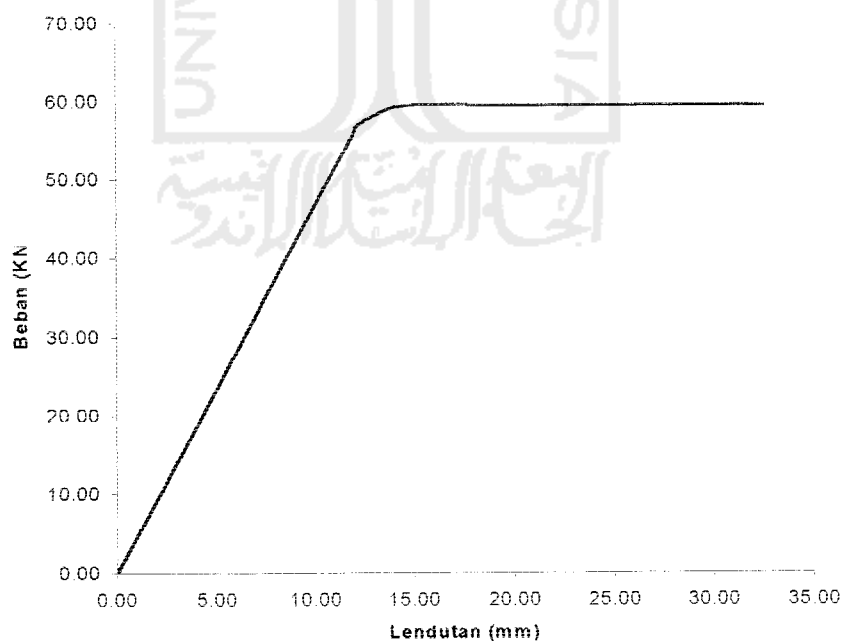
Gambar 5.30 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Menggunakan Program SAP 2000



Gambar 5.31 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_{i-1} dengan Regresi Menggunakan Program SAP 2000



Gambar 5.32 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_i dengan Regresi Menggunakan Program SAP 2000



Gambar 5.33 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi Menggunakan Program SAP 2000

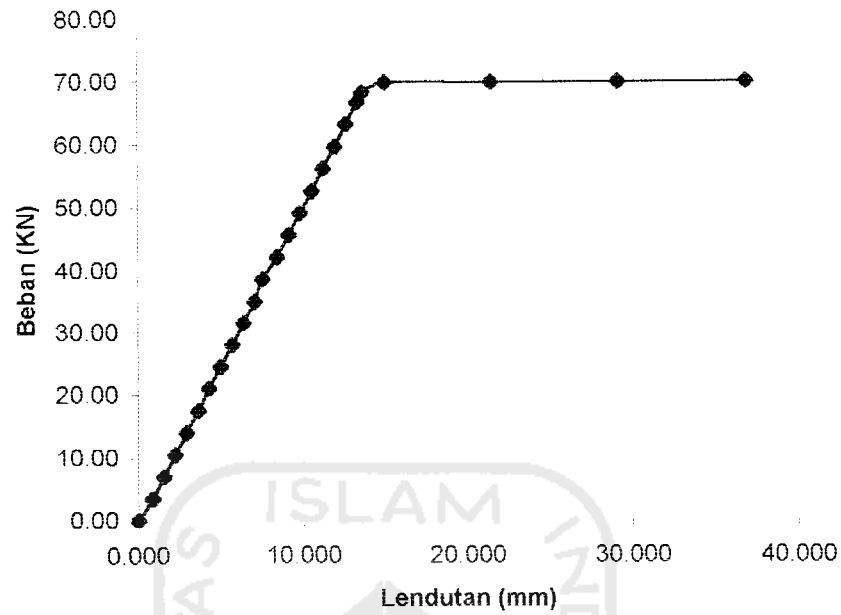
5.4.3 Benda uji 3 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_3 = 58^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53^\circ$) didapat data pada Tabel (5.10) sebagai berikut :

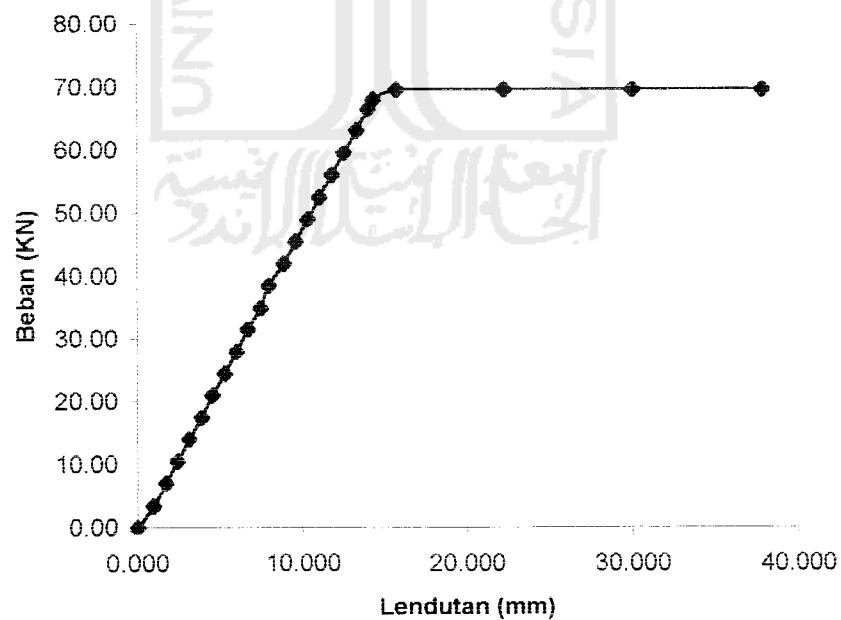
Tabel 5.10 Hubungan Beban Lendutan Hasil Perhitungan dengan Program SAP 2000 Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)		
		Yi-1	Yi	Yi+1
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.50	0.83	0.98	0.83
3	7.00	1.53	1.70	1.53
4	10.50	2.20	2.40	2.20
5	14.00	2.90	3.13	2.90
6	17.50	3.60	3.85	3.60
7	21.00	4.28	4.55	4.28
8	24.50	4.98	5.28	4.98
9	28.00	5.68	6.00	5.68
10	31.50	6.35	6.70	6.35
11	35.00	7.05	7.45	7.05
12	38.50	7.53	7.95	7.53
13	42.00	8.43	8.88	8.43
14	45.50	9.13	9.60	9.13
15	49.00	9.83	10.33	9.83
16	52.50	10.53	11.05	10.53
17	56.00	11.20	11.78	11.20
18	59.50	11.90	12.53	11.90
19	63.00	12.60	13.28	12.60
20	66.50	13.28	13.98	13.28
21	68.00	13.58	14.30	13.58
22	69.50	14.95	15.73	14.95
23	69.50	21.40	22.23	21.40
24	69.50	29.08	29.95	29.08
25	69.50	36.80	37.78	36.80

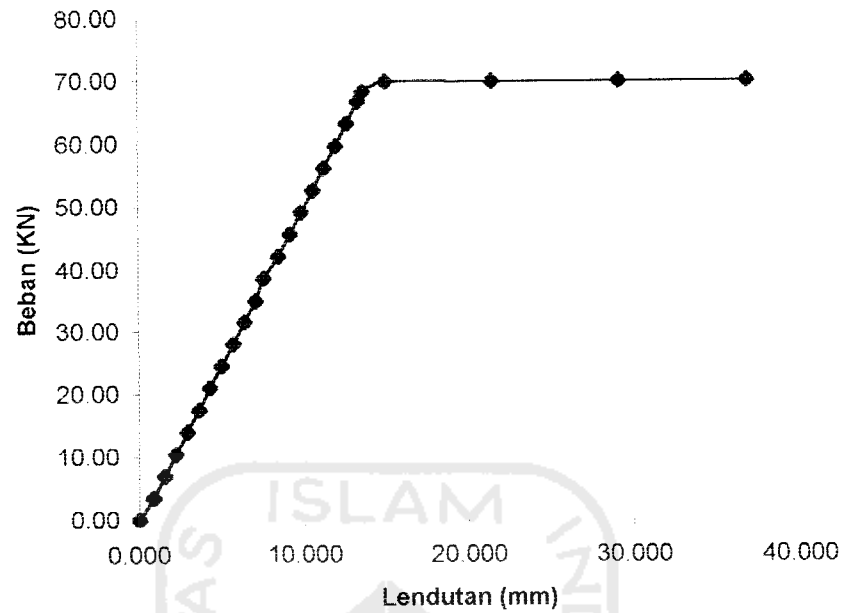
Dari data pada Tabel (5.10) hubungan beban dan lendutan di atas didapatkan grafik-grafik hubungan beban lendutan pada Gambar (5.34) sampai dengan Gambar (5.36) berikut ini :



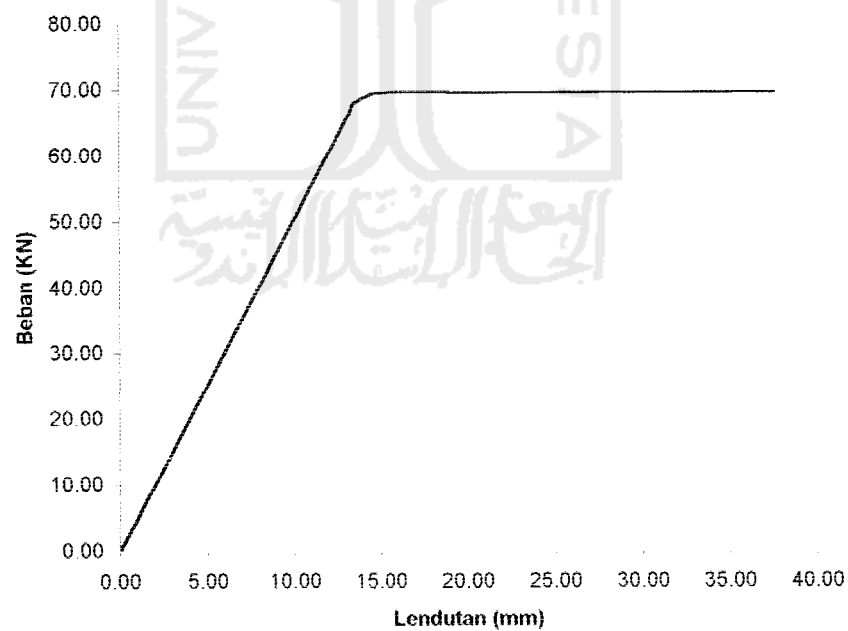
Gambar 5.34 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_{i-1} dengan Menggunakan Program SAP 2000



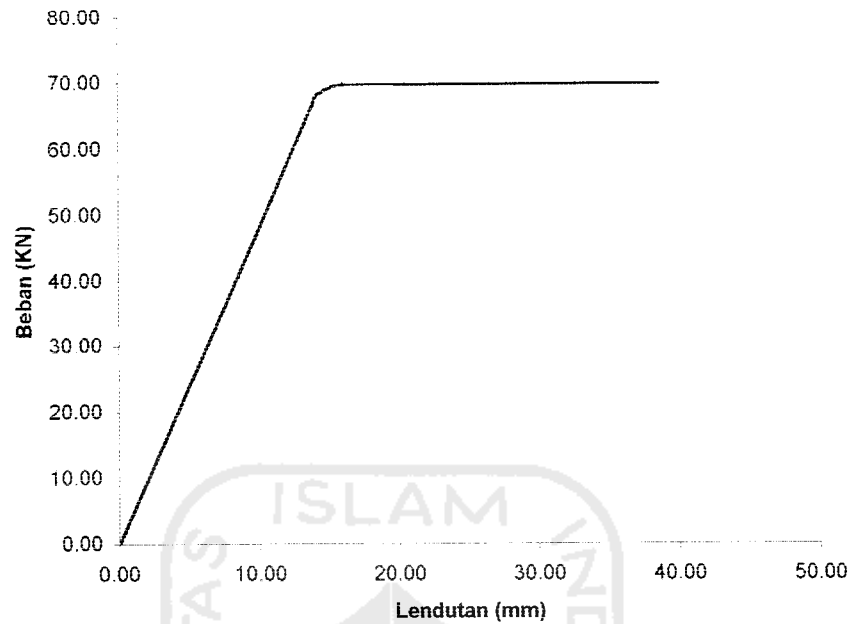
Gambar 5.35 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_i dengan Menggunakan Program SAP 2000



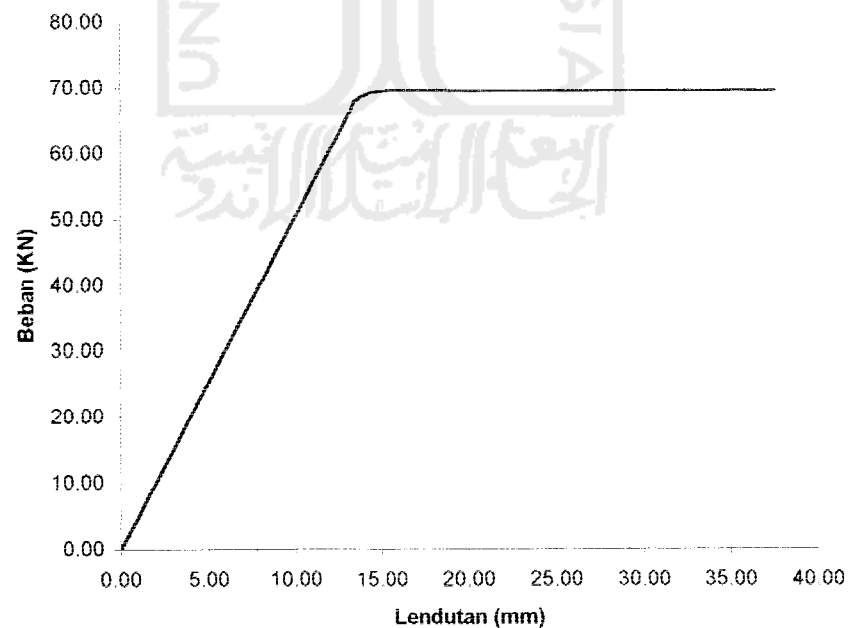
Gambar 5.36 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Menggunakan Program SAP 2000



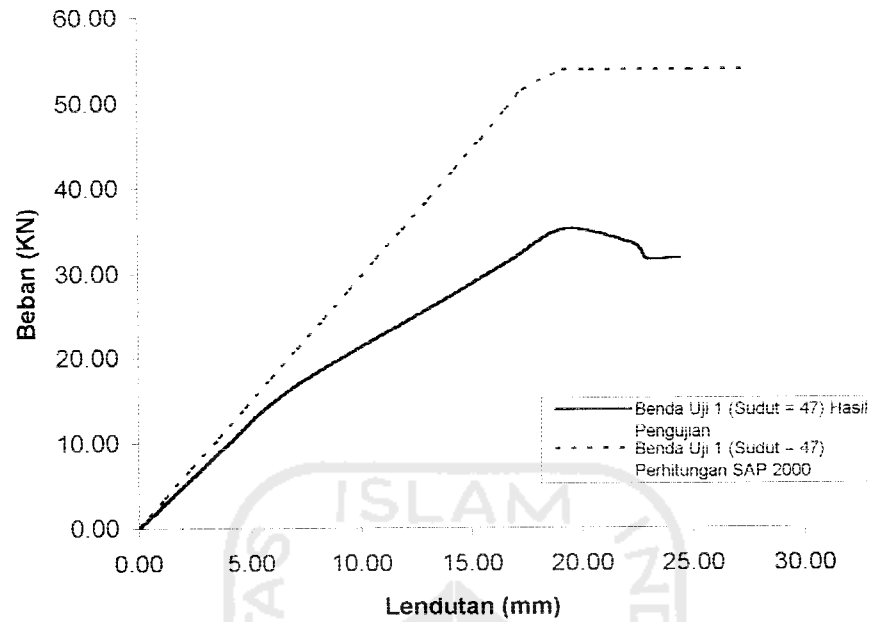
Gambar 5.37 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_{i-1} dengan Regresi Menggunakan Program SAP 2000



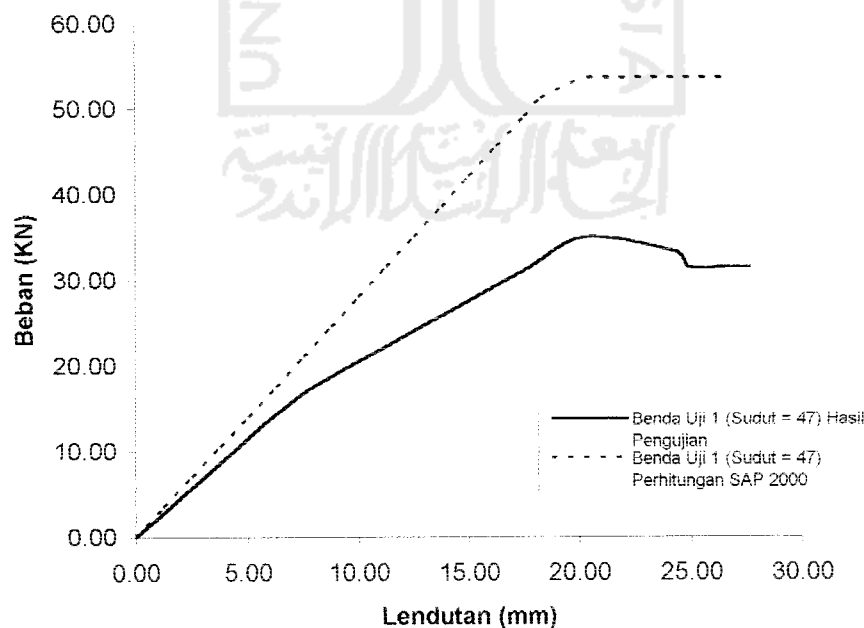
Gambar 5.38 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_i dengan Regresi Menggunakan Program SAP 2000



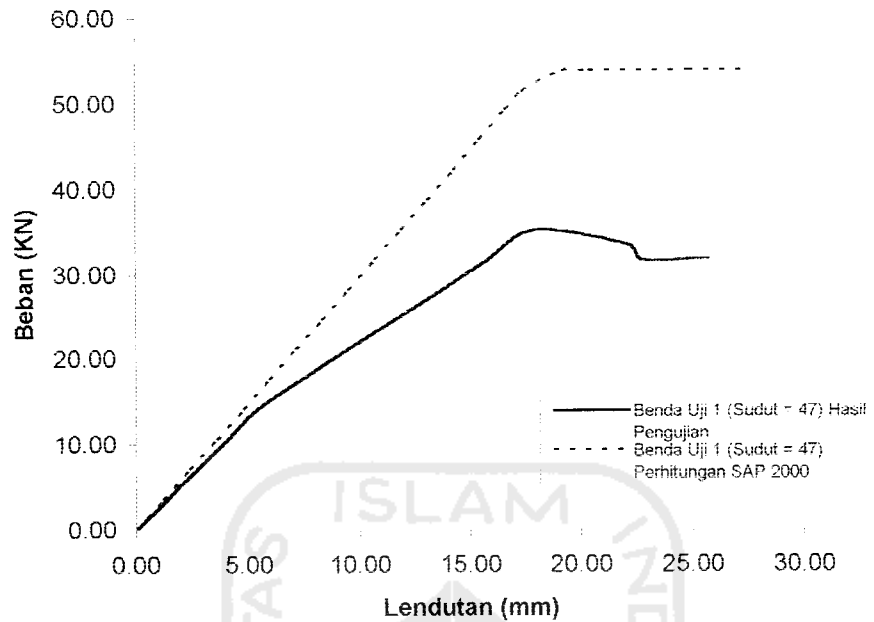
Gambar 5.39 Grafik Beban Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja–Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi Menggunakan Program SAP 2000



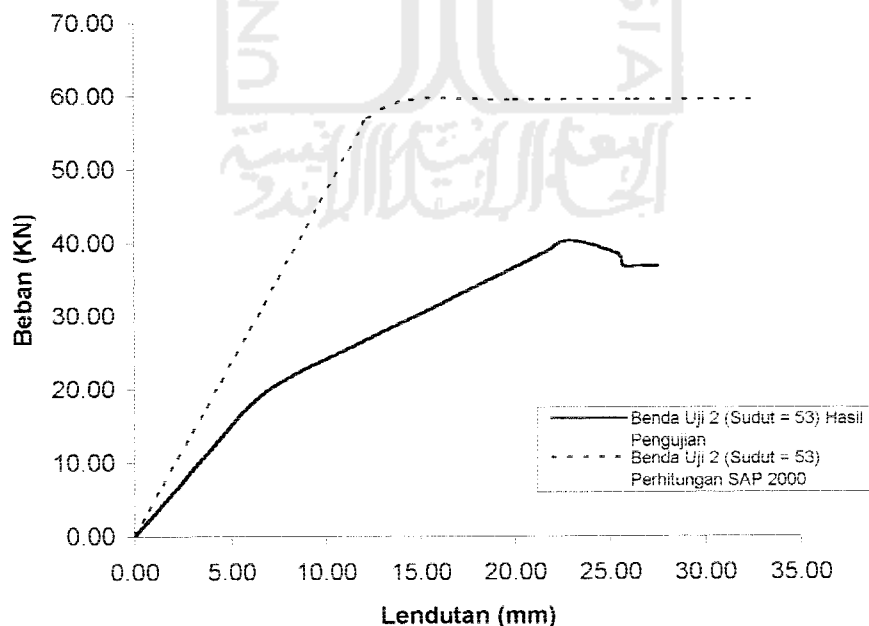
Gambar 5.40 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ Berdasarkan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Program SAP 2000 pada Lendutan Y_{i-1} dengan Regresi



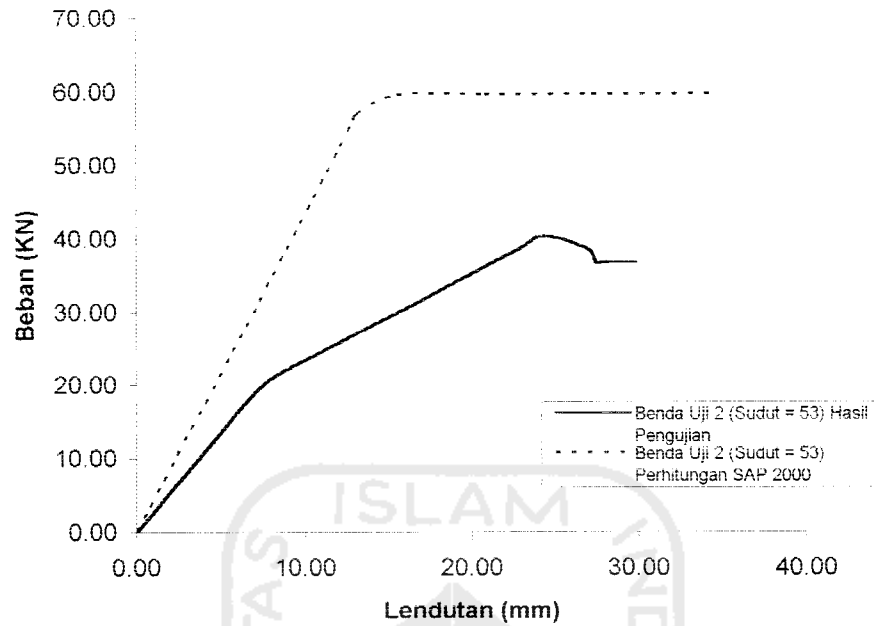
Gambar 5.41 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ Berdasarkan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Program SAP 2000 pada Lendutan Y_1 dengan Regresi



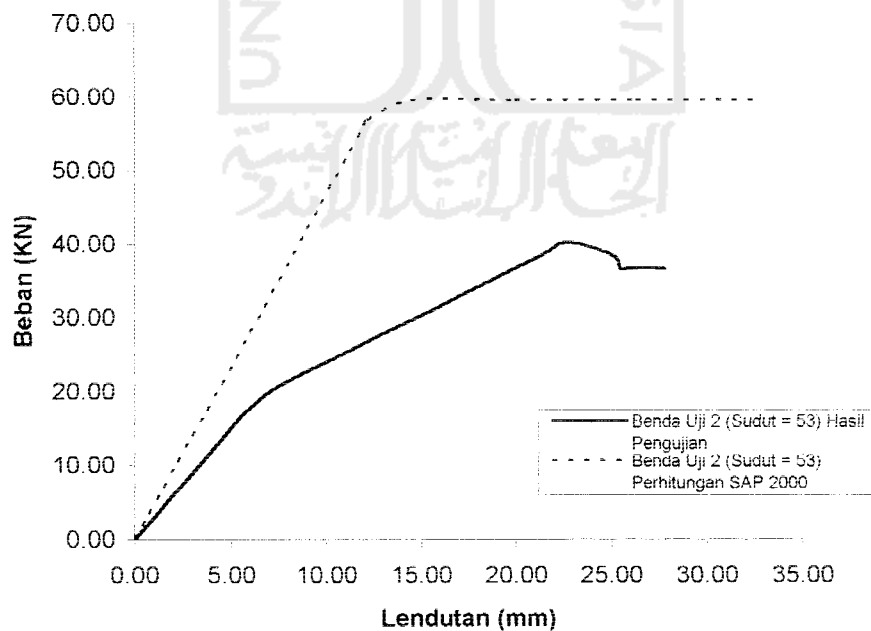
Gambar 5.42 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ Berdasarkan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Program SAP 2000 pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi



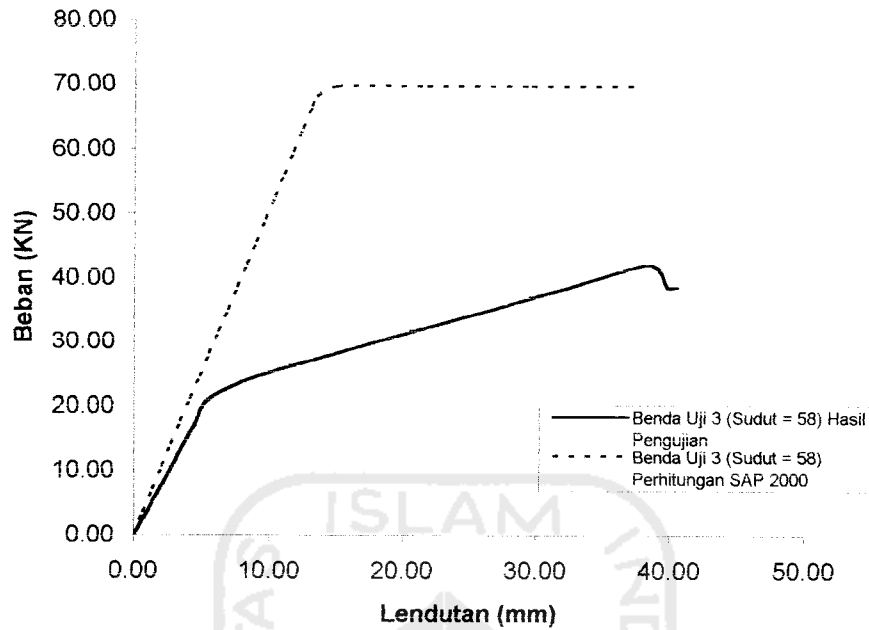
Gambar 5.43 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ Berdasarkan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Program SAP 2000 pada Lendutan Y_{i-1} dengan Regresi



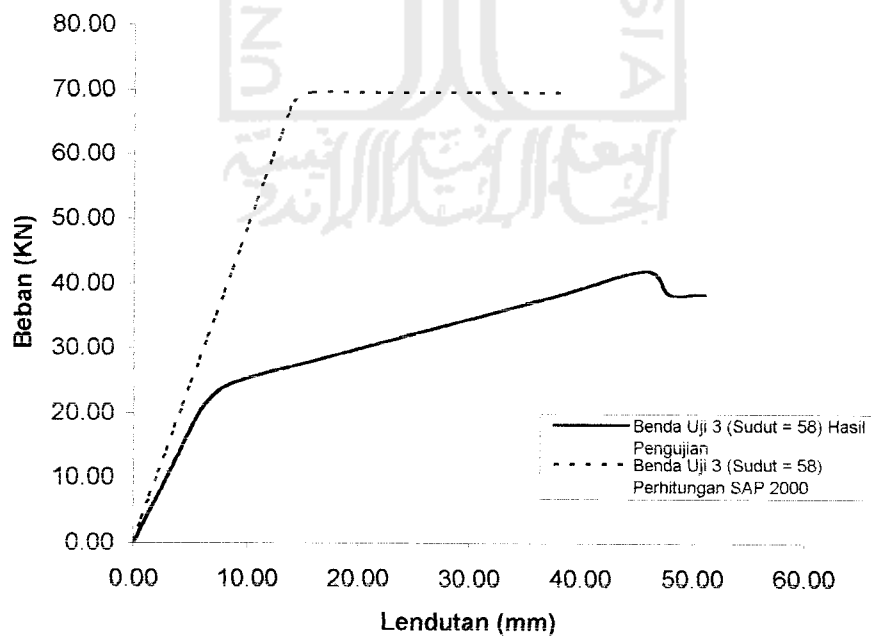
Gambar 5.44 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ Berdasarkan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Program SAP 2000 pada Lendutan Y_i dengan Regresi



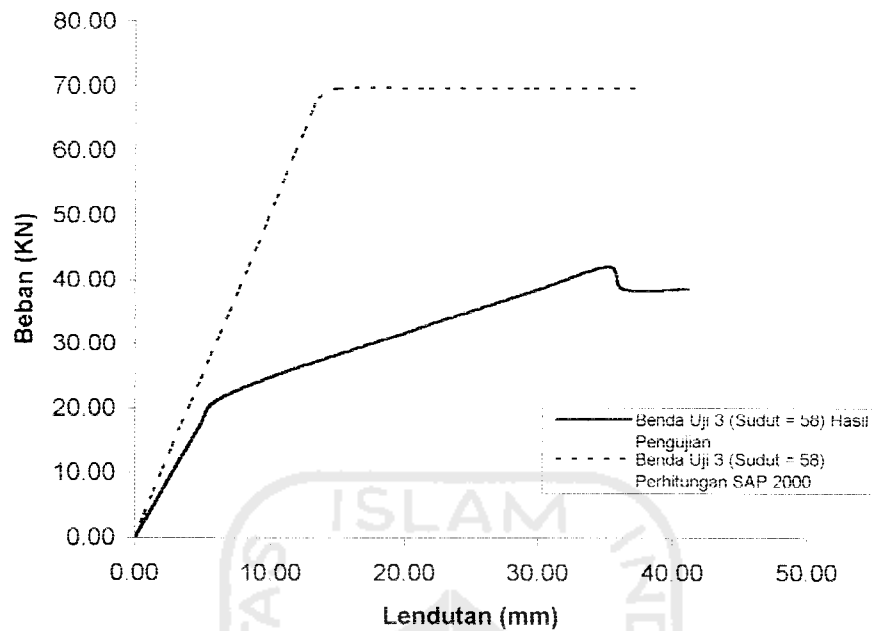
Gambar 5.45 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ Berdasarkan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Program SAP 2000 pada Lendutan Y_{i+1} dengan Regresi



Gambar 5.46 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ Berdasarkan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Program SAP 2000 pada Lendutan Y_{i-1} dengan Regresi



Gambar 5.47 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ Berdasarkan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Program SAP 2000 pada Lendutan Y_i dengan Regresi



Gambar 5.48 Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ Berdasarkan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Program SAP 2000 pada Lendutan Y_{111} dengan Regresi

5.5 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian dari Gambar (5.4) sampai dengan Gambar (5.6), Gambar (5.10) sampai dengan Gambar (5.12) dan Gambar (5.16) sampai dengan Gambar (5.18) dapat dicari nilai kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Tabel (5.11)

Tabel 5.11 Nilai Kekakuan dari Hasil Pengujian Benda Uji 1 ($\alpha_1 = 47^\circ$), Benda Uji 2 ($\alpha_2 = 53^\circ$) dan Benda Uji 3 ($\alpha_3 = 58^\circ$) Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu

Benda Uji	Beban (P) (KN)	Lendutan (Δ) (mm)	Kekakuan (P/ Δ) (KN/mm)	Ratio Kekakuan (%)
1 ($\alpha = 47^\circ$)	14.00	6.092	2298.22	66.74
2 ($\alpha = 53^\circ$)	17.50	6.388	2739.71	79.56
3 ($\alpha = 58^\circ$)	21.00	6.098	3443.48	100.00

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan hasil perhitungan program SAP 2000 dari Gambar (5.25) sampai dengan Gambar (5.27), Gambar (5.31) sampai dengan Gambar (5.33) dan Gambar (5.37) sampai dengan Gambar (5.39) dapat dicari nilai kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Tabel (5.12).

Tabel 5.12 Nilai Kekakuan dari Hasil Perhitungan Program SAP 2000 Benda Uji 1 ($\alpha_1 = 47^\circ$), Benda Uji 2 ($\alpha_2 = 53^\circ$) dan Benda Uji 3 ($\alpha_3 = 58^\circ$) Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu

Benda Uji	Beban (P) (KN)	Lendutan (Δ) (mm)	Kekakuan (P/ Δ) (KN/mm)	Ratio Kekakuan (%)
1 ($\alpha = 47^\circ$)	51.20	18.297	2798.27	58.01
2 ($\alpha = 53^\circ$)	56.80	13.125	4327.62	89.72
3 ($\alpha = 58^\circ$)	68.00	14.098	4823.38	100.00

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian dari Gambar (5.4) sampai dengan Gambar (5.6), Gambar (5.10) sampai dengan Gambar (5.12) dan Gambar (5.16) sampai dengan Gambar (5.18) dapat juga dicari nilai daktilitas simpangan (*deflection ductility*) struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Tabel (5.13)

Tabel 5.13 Nilai Daktilitas Simpangan dari Hasil Pengujian Benda Uji 1 ($\alpha_1 = 47^\circ$) Benda Uji 2 ($\alpha_2 = 53^\circ$) dan Benda Uji 3 ($\alpha_3 = 58^\circ$) Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu

Benda Uji	Lendutan (Δy) (mm)	Lendt maks (Δt) (mm)	Daktilias (μ simpangan)	Ratio Daktilias (%)
1 ($\alpha = 47^\circ$)	6.092	27.626	4.54	54.13
2 ($\alpha = 53^\circ$)	6.388	29.836	4.67	55.75
3 ($\alpha = 58^\circ$)	6.098	51.095	8.38	100.00

5.6 Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian

Dari data hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) dapat dicari momen (M) dan kelengkungan (Φ). Hubungan grafik M- Φ dapat digunakan untuk mencari nilai faktor kekakuan.

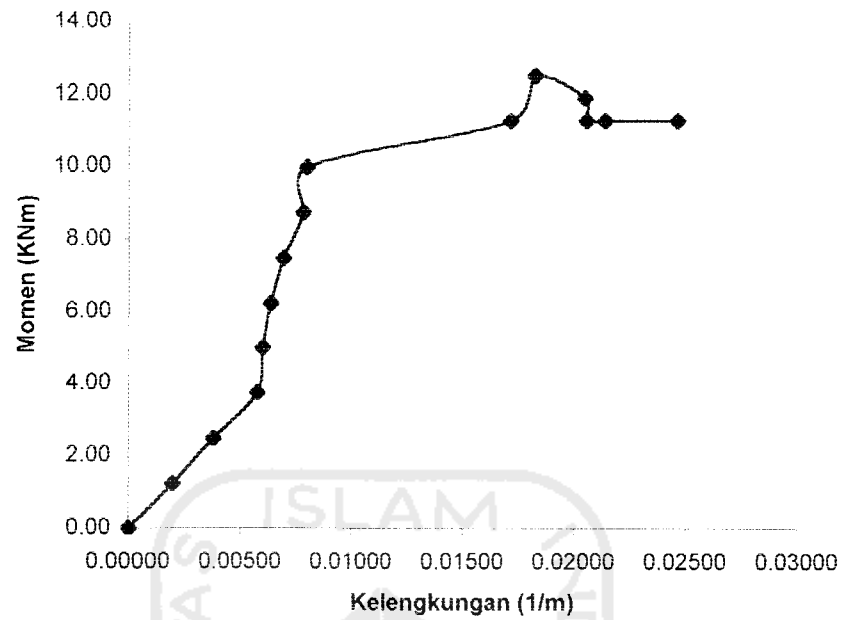
5.6.1 Benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_1 = 47^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_1 = 47^\circ$) didapat data pada Tabel (5.14) sebagai berikut :

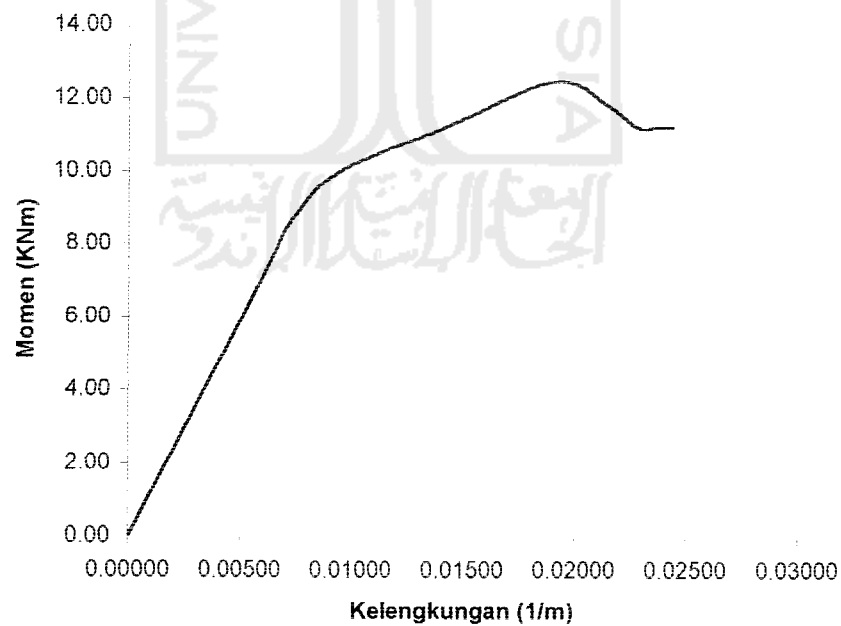
Tabel 5.14 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ (Revisi)

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)			Momen (KNm) $M=(3/16.P.L)/2$	Kelengkungan (1/m) $\Phi=(Y_{i+1}-2Y_i+Y_{i-1})/dx^2$
		Y _{i-1}	Y _i	Y _{i+1}		
1	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00000
2	3.50	0.245	0.415	0.150	1.25	0.00193
3	7.00	0.750	1.530	1.455	2.49	0.00379
4	10.50	3.525	4.165	3.510	3.74	0.00574
5	14.00	4.605	5.280	4.605	4.99	0.00598
6	17.50	5.635	6.425	5.785	6.23	0.00634
7	21.00	6.890	7.865	7.280	7.48	0.00691
8	24.50	8.275	9.090	8.145	8.73	0.00780
9	28.00	12.235	13.550	13.070	9.98	0.00796
10	31.50	14.705	16.185	13.800	11.22	0.01713
11	35.00	17.655	18.980	16.190	12.47	0.01824
12	33.25	20.135	22.570	20.390	11.85	0.02045
13	31.50	20.675	23.110	20.915	11.22	0.02052
14	31.50	21.695	24.885	23.255	11.22	0.02136
15	31.50	22.195	25.855	23.965	11.22	0.02460

Dari Tabel (5.14) didapat grafik hubungan momen-kelengkungan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Gambar (5.49) dan Gambar (5.50).



Gambar 5.49 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$



Gambar 5.50 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ dengan Regresi

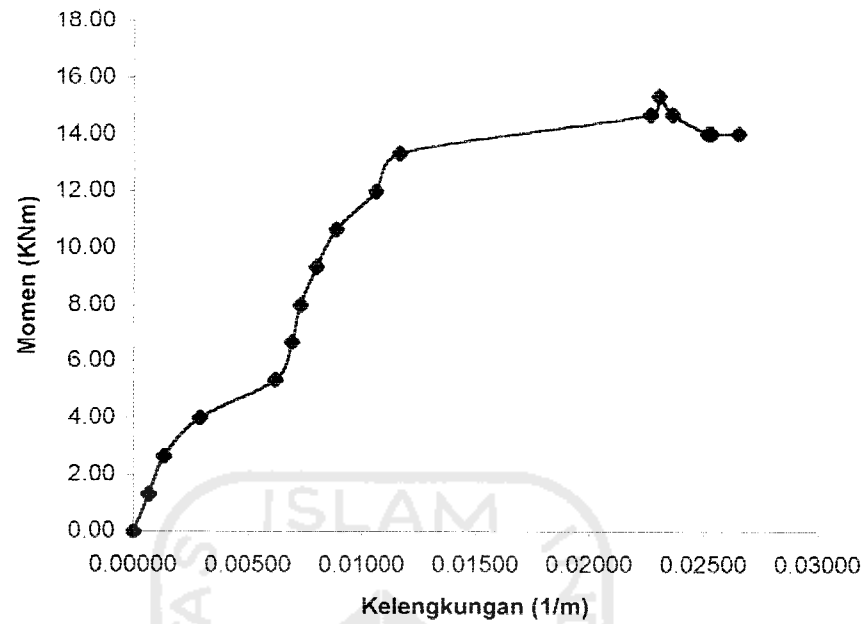
5.6.2 Benda uji 2 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 2 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53^\circ$) didapat data pada Tabel (5.15) sebagai berikut :

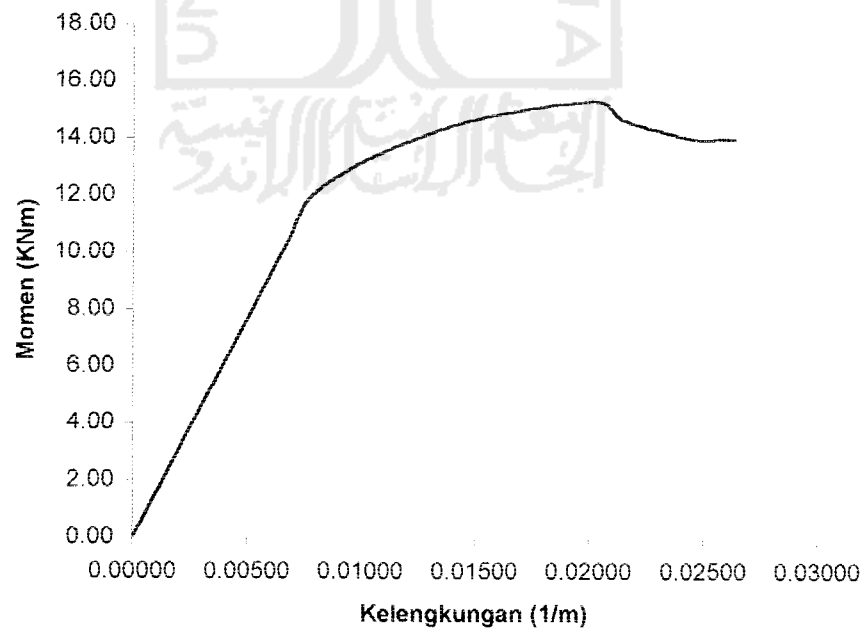
Tabel 5.15 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)			Momen (KNm) $M=(1/5.P.L)/2$	Kelengkungan (1/m) $\Phi=Y_{i+1}-2Y_i+Y_{i-1}/dx^2$
		Y _{i-1}	Y _i	Y _{i+1}		
1	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00000
2	3.50	0.270	0.330	0.295	1.33	0.00066
3	7.00	1.045	1.160	1.085	2.66	0.00132
4	10.50	2.455	2.645	2.420	3.99	0.00287
5	14.00	3.660	4.080	3.610	5.32	0.00616
6	17.50	5.470	5.970	5.475	6.65	0.00689
7	21.00	6.590	7.120	6.600	7.98	0.00727
8	24.50	9.835	10.400	9.815	9.31	0.00796
9	28.00	11.600	12.230	11.585	10.64	0.00883
10	31.50	14.355	15.100	14.315	11.97	0.01060
11	35.00	16.625	17.485	16.665	13.30	0.01163
12	38.50	20.600	22.150	20.435	14.63	0.02261
13	40.25	23.480	25.060	23.320	15.30	0.02299
14	38.50	24.560	26.135	24.305	14.63	0.02358
15	36.75	24.905	26.595	24.660	13.97	0.02510
16	36.75	25.975	27.335	25.045	13.97	0.02528
17	36.75	26.697	29.007	27.019	13.97	0.02647

Dari Tabel (5.15) didapat grafik hubungan momen-kelengkungan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Gambar (5.51) dan Gambar (5.52).



Gambar 5.51 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$



Gambar 5.52 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ dengan Regresi

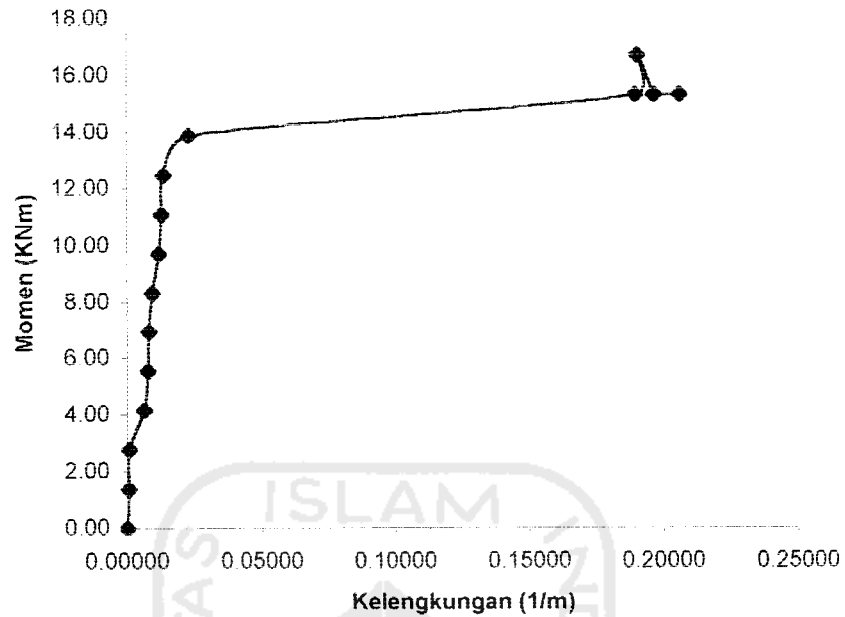
5.6.3 Benda uji 3 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_3 = 58^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 3 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_3 = 58^\circ$) didapat data pada Tabel (5.16) sebagai berikut :

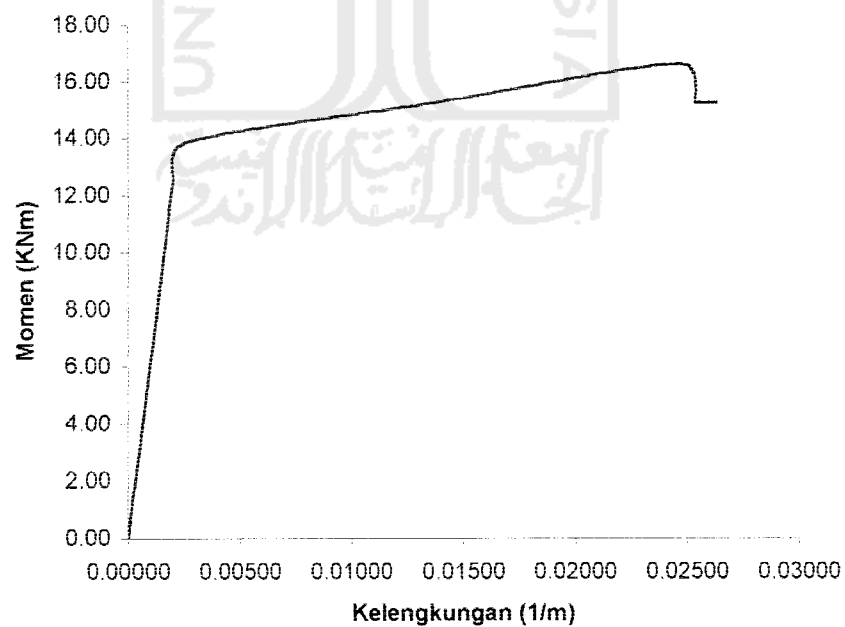
Tabel 5.16 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)			Momen (KNm) $M=(5/24.P.L)/2$	Kelengkungan (1/m) $\Phi=Y_{i+1}-2Y_i+Y_{i-1}/dx^2$
		Y _{i-1}	Y _i	Y _{i+1}		
1	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00000
2	3.50	0.390	0.420	0.390	1.39	0.00060
3	7.00	0.815	0.860	0.825	2.77	0.00080
4	10.50	1.565	1.910	1.635	4.16	0.00621
5	14.00	2.235	2.665	2.340	5.54	0.00756
6	17.50	3.570	4.105	3.840	6.93	0.00801
7	21.00	5.300	5.875	5.530	8.31	0.00921
8	24.50	8.640	9.320	8.840	9.70	0.01162
9	28.00	12.515	13.295	12.820	11.08	0.01257
10	31.50	16.780	17.395	16.685	12.47	0.01327
11	35.00	25.270	26.095	24.660	13.85	0.02263
12	38.50	32.710	40.445	29.295	15.24	0.18912
13	42.00	38.555	46.310	35.100	16.63	0.18992
14	38.50	38.990	47.030	35.500	15.24	0.19598
15	38.50	39.425	49.480	39.955	15.24	0.19608
16	38.50	39.750	50.310	40.335	15.24	0.20565

Dari Tabel (5.16) didapat grafik hubungan momen-kelengkungan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Gambar (5.53) dan Gambar (5.54).



Gambar 5.53 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja – Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$



Gambar 5.54 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja – Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ dengan Regresi

Tabel 5.17 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$
(Revisi) dengan Regresi

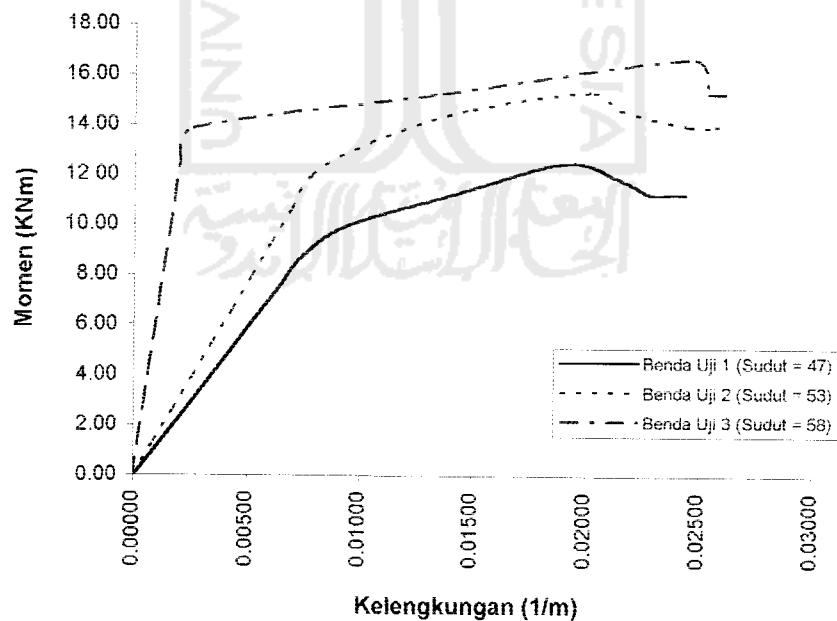
No.	Beban (KN)	Momen (KNm) $M=(3/16.P.L)/2$	Kelengkungan (1/m) $\Phi=Y_{i+1}-2Y_i+Y_{i-1}/dx^2$
1	0.00	0.00	0.00000
2	3.50	1.25	0.00106
3	7.00	2.49	0.00210
4	10.50	3.74	0.00316
5	14.00	4.99	0.00421
6	17.50	6.23	0.00526
7	21.00	7.48	0.00631
8	24.50	8.73	0.00737
9	28.00	9.98	0.00941
10	31.50	11.22	0.01421
11	35.00	12.47	0.01904
12	33.25	11.85	0.02140
13	31.50	11.22	0.02276
14	31.50	11.22	0.02360
15	31.50	11.22	0.02434

Tabel 5.18 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$
dengan Regresi

No.	Beban (KN)	Momen (KNm) $M=(1/5.P.L)/2$	Kelengkungan (1/m) $\Phi=Y_{i+1}-2Y_i+Y_{i-1}/dx^2$
1	0.00	0.00	0.00000
2	3.50	1.33	0.00086
3	7.00	2.66	0.00173
4	10.50	3.99	0.00260
5	14.00	5.32	0.00346
6	17.50	6.65	0.00433
7	21.00	7.98	0.00520
8	24.50	9.31	0.00606
9	28.00	10.64	0.00693
10	31.50	11.97	0.00780
11	35.00	13.30	0.01040
12	38.50	14.63	0.01496
13	40.25	15.30	0.02025
14	38.50	14.63	0.02142
15	36.75	13.97	0.02448
16	36.75	13.97	0.02561
17	36.75	13.97	0.02630

Tabel 5.19 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ dengan Regresi

No.	Beban (KN)	Momen (KNm) $M=(5/24.P.L)/2$	Kelengkungan (1/m) $\Phi=Y_{i+1}-2Y_i+Y_{i-1}/dx^2$
1	0.00	0.00	0.00000
2	3.50	1.39	0.00022
3	7.00	2.77	0.00044
4	10.50	4.16	0.00066
5	14.00	5.54	0.00088
6	17.50	6.93	0.00111
7	21.00	8.31	0.00133
8	24.50	9.70	0.00155
9	28.00	11.08	0.00177
10	31.50	12.47	0.00199
11	35.00	13.85	0.00251
12	38.50	15.24	0.01361
13	42.00	16.63	0.02471
14	38.50	15.24	0.02530
15	38.50	15.24	0.02531
16	38.50	15.24	0.02627



Gambar 5.55 Grafik Perbandingan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu untuk Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$, Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ dan Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ dengan Regresi

5.7 Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Perhitungan dengan Program SAP 2000

Dari data hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) dapat dicari momen (M) dan kelengkungan (Φ). Hubungan grafik $M-\Phi$ dapat digunakan untuk mencari nilai faktor kekakuan.

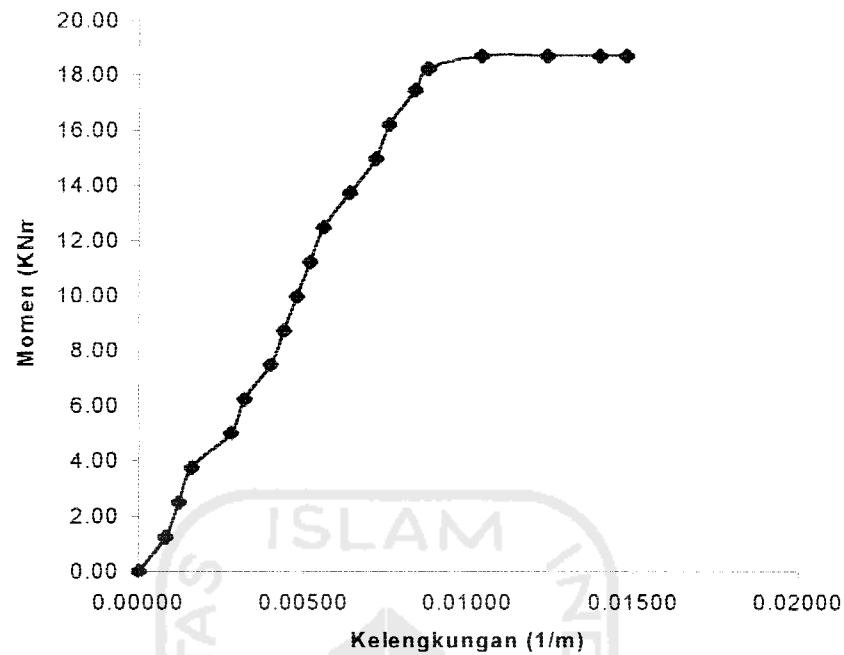
5.7.1 Benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_1 = 47^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 1 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_1 = 47^\circ$) didapat data pada Tabel (5.20) sebagai berikut :

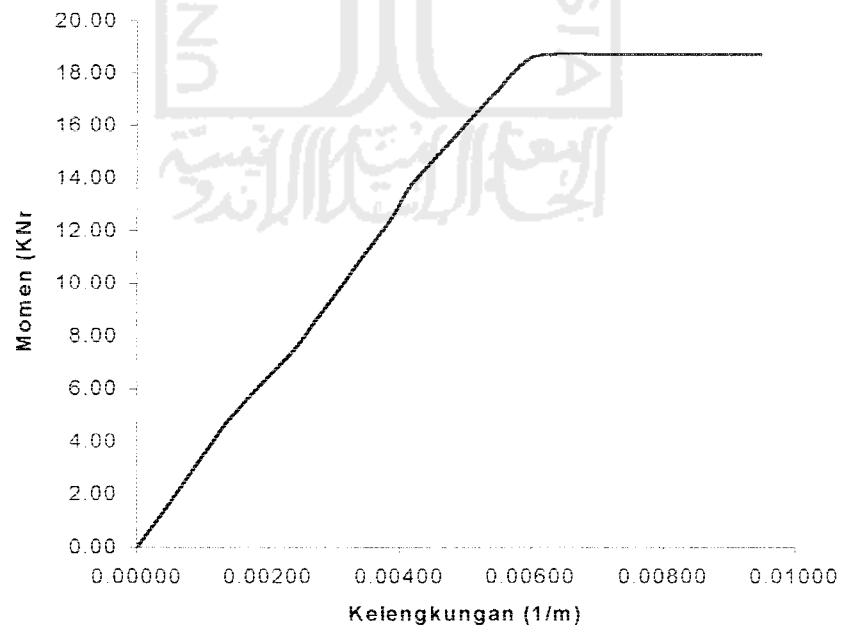
Tabel 5.20 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)			Momen (KNm) $M=(3/16.P.L)/2$	Kelengkungan (1/m) $\Phi=Y_{i+1}-2Y_i+Y_{i-1}/dx^2$
		Y_{i-1}	Y_i	Y_{i+1}		
1	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00000
2	3.50	1.395	1.485	1.395	1.25	0.00080
3	7.00	2.565	2.700	2.565	2.49	0.00120
4	10.50	3.735	3.915	3.735	3.74	0.00160
5	14.00	4.860	5.175	4.860	4.99	0.00279
6	17.50	6.030	6.390	6.030	6.23	0.00319
7	21.00	7.200	7.650	7.200	7.48	0.00399
8	24.50	8.370	8.865	8.370	8.73	0.00439
9	28.00	9.540	10.080	9.540	9.98	0.00479
10	31.50	10.710	11.295	10.710	11.22	0.00519
11	35.00	12.465	13.095	12.465	12.47	0.00558
12	38.50	13.050	13.770	13.050	13.72	0.00638
13	42.00	14.175	14.985	14.175	14.96	0.00718
14	45.50	15.345	16.200	15.345	16.21	0.00758
15	49.00	17.100	18.045	17.100	17.46	0.00838
16	51.20	17.235	18.225	17.235	18.24	0.00878
17	52.50	19.170	20.340	19.170	18.70	0.01037
18	52.50	20.340	21.735	20.340	18.70	0.01237
19	52.50	24.795	26.370	24.795	18.70	0.01396
20	52.50	27.360	29.025	27.360	18.70	0.01476

Dari Tabel (5.20) didapat grafik hubungan momen-kelengkungan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Gambar (5.56) dan Gambar (5.57).



Gambar 5.56 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ dengan Menggunakan Program SAP 2000



Gambar 5.57 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Benda Uji 1 $\alpha = 47^\circ$ Menggunakan Program SAP 2000 dengan Regresi

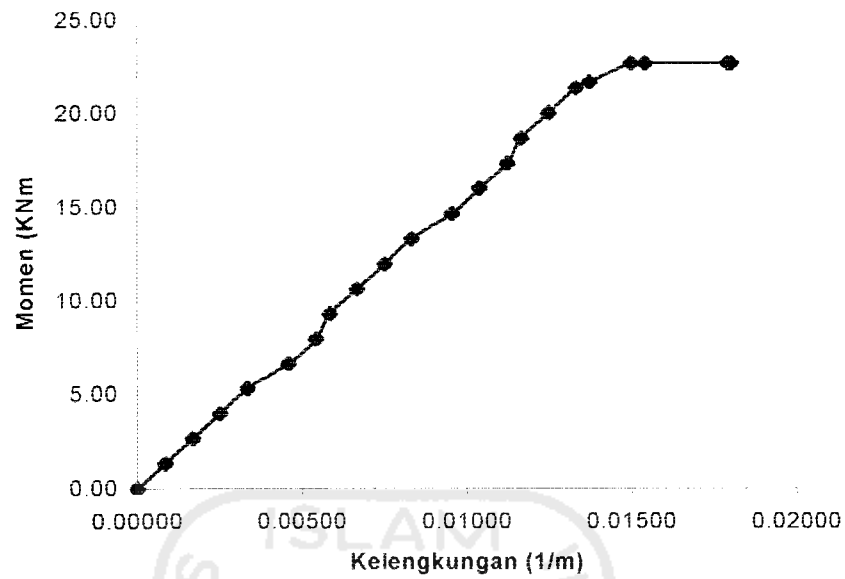
5.7.2 Benda uji 2 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 2 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53^\circ$) didapat data pada Tabel (5.21) sebagai berikut :

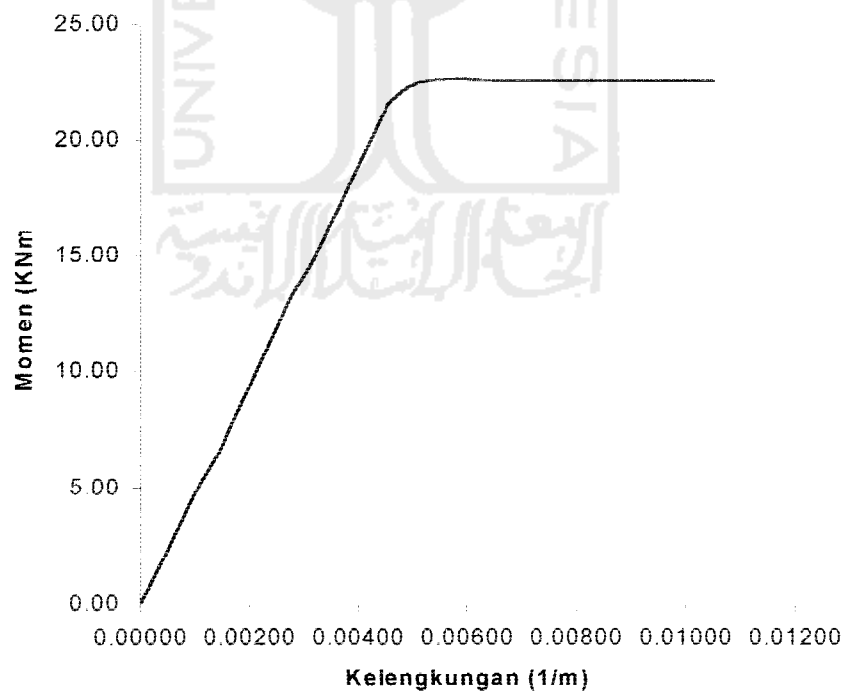
Tabel 5.21 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)			Momen (KNm) $M=(1/5.P.L)/2$	Kelengkungan (1/m) $\Phi=Y_{i+1}-2Y_i+Y_{i-1}/dx^2$
		Y _{i-1}	Y _i	Y _{i+1}		
1	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00000
2	3.50	0.900	0.960	0.900	1.33	0.00083
3	7.00	1.650	1.770	1.650	2.66	0.00166
4	10.50	2.400	2.580	2.400	3.99	0.00249
5	14.00	3.150	3.390	3.150	5.32	0.00332
6	17.50	3.870	4.200	3.870	6.65	0.00457
7	21.00	4.620	5.010	4.620	7.98	0.00540
8	24.50	5.370	5.790	5.370	9.31	0.00582
9	28.00	6.120	6.600	6.120	10.64	0.00665
10	31.50	6.870	7.410	6.870	11.97	0.00748
11	35.00	7.620	8.220	7.620	13.30	0.00831
12	38.50	8.340	9.030	8.340	14.63	0.00956
13	42.00	9.090	9.840	9.090	15.96	0.01039
14	45.50	9.870	10.680	9.870	17.29	0.01122
15	49.00	10.590	11.430	10.590	18.62	0.01163
16	52.50	11.340	12.240	11.340	19.95	0.01247
17	56.00	12.090	13.050	12.090	21.28	0.01330
18	56.80	12.240	13.230	12.240	21.58	0.01371
19	59.40	14.430	15.510	14.430	22.57	0.01496
20	59.40	19.380	20.490	19.380	22.57	0.01537
21	59.40	25.420	26.710	25.420	22.57	0.01787
22	59.40	31.750	33.520	31.250	22.57	0.01798

Dari Tabel (5.21) didapat grafik hubungan momen-kelengkungan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Gambar (5.58) dan Gambar (5.59).



Gambar 5.58 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja – Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ dengan Menggunakan Program SAP 2000



Gambar 5.59 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja – Kayu Benda Uji 2 $\alpha = 53^\circ$ Menggunakan Program SAP 2000 dengan Regresi

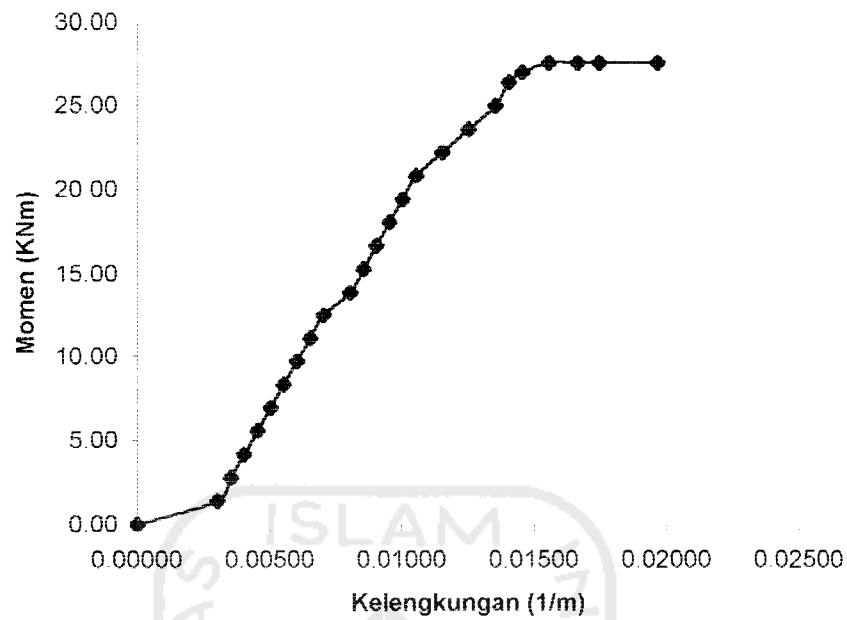
5.7.3 Benda uji 3 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_3 = 58^\circ$)

Dari hasil pengujian kuat lentur benda uji 3 (rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_3 = 58^\circ$) didapat data pada Tabel (5.22) sebagai berikut :

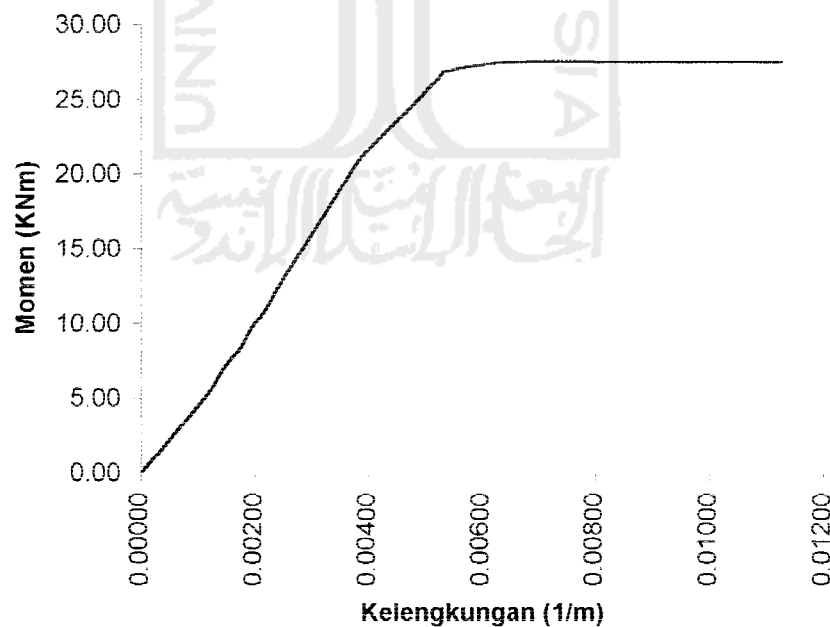
Tabel 5.22 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$

No.	Beban (KN)	Lendutan (mm)			Momen (KNm) $M=(5/24.P.L)/2$	Kelengkungan (1/m) $\Phi = Y_{i+1} - 2Y_i + Y_{i-1}/dx^2$
		Y_{i-1}	Y_i	Y_{i+1}		
1	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00000
2	3.50	0.825	0.975	0.825	1.39	0.00300
3	7.00	1.525	1.700	1.525	2.77	0.00351
4	10.50	2.200	2.400	2.200	4.16	0.00401
5	14.00	2.900	3.125	2.900	5.54	0.00451
6	17.50	3.600	3.850	3.600	6.93	0.00501
7	21.00	4.275	4.550	4.275	8.31	0.00551
8	24.50	4.975	5.275	4.975	9.70	0.00601
9	28.00	5.675	6.000	5.675	11.08	0.00651
10	31.50	6.350	6.700	6.350	12.47	0.00701
11	35.00	7.050	7.450	7.050	13.85	0.00801
12	38.50	7.525	7.950	7.525	15.24	0.00851
13	42.00	8.425	8.875	8.425	16.63	0.00901
14	45.50	9.125	9.600	9.125	18.01	0.00951
15	49.00	9.825	10.325	9.825	19.40	0.01001
16	52.50	10.525	11.050	10.525	20.78	0.01052
17	56.00	11.200	11.775	11.200	22.17	0.01152
18	59.50	11.900	12.525	11.900	23.55	0.01252
19	63.00	12.600	13.275	12.600	24.94	0.01352
20	66.50	13.275	13.975	13.275	26.32	0.01402
21	68.00	13.575	14.300	13.575	26.92	0.01452
22	69.50	14.950	15.725	14.950	27.51	0.01552
23	69.50	21.400	22.230	21.400	27.51	0.01662
24	69.50	29.080	29.950	29.080	27.51	0.01743
25	69.50	36.800	37.780	36.800	27.51	0.01963

Dari Tabel (5.22) didapat grafik hubungan momen-kelengkungan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Gambar (5.60) dan Gambar (5.61).



Gambar 5.60 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja – Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ dengan Menggunakan Program SAP 2000



Gambar 5.61 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja – Kayu Benda Uji 3 $\alpha = 58^\circ$ Menggunakan Program SAP 2000 dengan Regresi

5.8 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan momen-kelengkungan hasil pengujian dari Gambar (5.50), Gambar (5.52) dan Gambar (5.54) dapat dicari nilai faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Tabel (5.23).

Tabel 5.23 Nilai Faktor Kekakuan dari Hasil Pengujian Benda Uji 1 ($\alpha_1 = 47^\circ$), Benda Uji 2 ($\alpha_2 = 53^\circ$) dan Benda Uji 3 ($\alpha_3 = 58^\circ$) Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu

Benda Uji	Momen (KNm)	Kelengkungan (1/m)	Faktor Kekakuan (EI) KNm ²	Ratio Faktor Kekakuan (%)
1 ($\alpha = 47^\circ$)	4.99	0.00421	1183.84	18.90
2 ($\alpha = 53^\circ$)	6.65	0.00433	1535.87	24.51
3 ($\alpha = 58^\circ$)	8.31	0.00133	6265.02	100.00

Dari hasil pengamatan grafik hubungan momen-kelengkungan hasil perhitungan dengan program SAP 2000 dari Gambar (5.57), Gambar (5.59) dan Gambar (5.61) dapat dicari nilai faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Tabel (5.24)

Tabel 5.24 Nilai Faktor Kekakuan dari Hasil Perhitungan dengan Program SAP 2000 Benda Uji 1 ($\alpha_1 = 47^\circ$), Benda Uji 2 ($\alpha_2 = 53^\circ$) dan Benda Uji 3 ($\alpha_3 = 58^\circ$) Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu

Benda Uji	Momen (KNm)	Kelengkungan (1/m)	Faktor Kekakuan (EI) KNm ²	Ratio Faktor Kekakuan (%)
1 ($\alpha = 47^\circ$)	18.24	0.00580	3142.18	62.64
2 ($\alpha = 53^\circ$)	21.58	0.00454	4757.64	94.85
3 ($\alpha = 58^\circ$)	26.92	0.00537	5016.02	100.00

Dari hasil pengamatan grafik hubungan momen-kelengkungan hasil pengujian dari Gambar (5.50), Gambar (5.52) dan Gambar (5.54) dapat dicari nilai daktilitas kelengkungan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu seperti pada Tabel (5.25).

Tabel 5.25 Nilai Daktilias Kelengkungan dari Hasil Pengujian Benda Uji 1 ($\alpha_1 = 47^\circ$), Benda Uji 2 ($\alpha_2 = 53^\circ$) dan Benda Uji 3 ($\alpha_3 = 58^\circ$) Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu

Benda Uji	Kelengkungan (mm)	Kelenk. Maks (mm)	Daktilias (μ kelengkungan)	Ratio Daktilias (%)
1 ($\alpha = 47^\circ$)	4.213	24.340	5.78	29.18
2 ($\alpha = 53^\circ$)	4.330	26.300	6.07	30.68
3 ($\alpha = 58^\circ$)	1.327	26.271	19.80	100.00

5.9 Pembahasan

5.9.1 Kuat lentur struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu ditinjau dari hubungan beban lendutan

Dari grafik beban dan lendutan hasil pengujian kuat lentur struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dapat dilihat bahwa kuat lentur struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$, $\alpha_2 = 53^\circ$ dan $\alpha_3 = 58^\circ$ mempunyai perilaku hampir sama. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik beban dan lendutan yang diperoleh dari data hasil pengujian. Dari Hubungan Beban-Lendutan dapat diketahui bahwa struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ kekuatannya lebih kuat 16,67 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ dan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih kuat 33,33 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$, sedangkan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ lebih kuat 20,00 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$, hal ini ditunjukkan dengan beban maksimal yang bisa ditahan oleh struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ yaitu sebesar 21,00 KN, sedangkan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ yaitu sebesar 17,5 KN, dan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$ yaitu sebesar 14,00 KN.

Dari Hubungan Beban-Lendutan dapat diketahui pula bahwa kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih baik 20,44 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ dan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih baik 33,26 % dari

struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$ sedangkan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ lebih baik 16,12 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$, hal ini ditunjukkan dengan kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ yaitu sebesar 3443,48 KN/mm, sedangkan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ yaitu sebesar 2739,71 KN/mm dan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$ yaitu sebesar 2298,22 KN/mm.

Dari Hubungan Beban-Lendutan dengan perhitungan program SAP 2000 didapat nilai kekakuan yang hampir sama. Kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih besar 10,28 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ dan kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih besar 41,99 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$, sedangkan kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ lebih besar 35,33 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$.

5.9.2 Daktilitas Simpangan (*Deflection Ductility*) Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Berdasarkan Hubungan Beban-Lendutan

Dari Hubungan Beban-Lendutan dapat diketahui tentang daktilitas simpangan (*deflection ductility*) pada struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dimana struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih baik 44,25 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ dan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih baik 45,87 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$ sedangkan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ lebih baik 2,78 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$, hal ini ditunjukkan dengan nilai daktilitas simpangan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ yaitu sebesar 8,38 sedangkan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ yaitu sebesar 4,67 dan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$ yaitu sebesar 4,54.

5.9.3 Kuat lentur struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu berdasarkan hubungan momen-kelengkungan

Dari Hubungan Momen-Kelengkungan dapat diketahui bahwa nilai faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ hanya selisih 75,49 % lebih besar dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ dan faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih besar 81,10 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$, sedangkan faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ lebih besar 22,93 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$. Hal ini ditunjukkan dengan faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ yaitu sebesar 6265,02 KNm² sedangkan faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ yaitu sebesar 1535,87 KNm² dan faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$ yaitu sebesar 1183,84 KNm².

Dari Hubungan Momen-Kelengkungan berdasarkan perhitungan dengan program SAP 2000 didapat nilai faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ hanya selisih 5,15 % lebih besar dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ dan faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih besar 37,36 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$, sedangkan faktor kekakuan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ lebih besar 33,96 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$. Dengan demikian hasil perhitungan menggunakan program SAP 2000 hampir sama dengan hasil pengujian.

5.9.4 Daktilitas Kelengkungan (*Curvature Ductility*) Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja-Kayu Berdasarkan Hubungan Momen-Kelengkungan

Dari Hubungan Momen-Kelengkungan dapat diketahui tentang daktilitas kelengkungan (*curvature ductility*) pada struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dimana struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih baik 63,32 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ dan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ lebih baik 70,82 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$ sedangkan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ lebih baik 4,78 % dari struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$, hal ini ditunjukkan dengan nilai daktilitas simpangan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ yaitu sebesar 19,80 sedangkan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ yaitu sebesar 6,07 dan struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$ yaitu sebesar 5,78.

5.9.5 Kerusakan Tekuk pada Struktur Rangka Batang Komposit Pipa Baja dengan Kayu

Kerusakan struktur yang terjadi pada ketiga benda uji struktur rangka batang komposit pipa baja dengan kayu adalah kerusakan tekuk inelastis pada batang diagonal. Dimana modulus elastisitas dari batang tersebut pada saat mulai menekuk kurang dari modulus elastisitas awal.

a. Benda Uji 1 (struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_1 = 47^\circ$)

Kerusakan tekuk pada struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_1 = 47^\circ$ terjadi pada batang nomor 8, 15, 31 dan 38 (SAP 2000). Berdasarkan analisis dari SAP 2000 dengan pemberian beban maksimal pada struktur, maka batang tersebut mengalami beban aksial sebesar 20,16 KN. Dengan persamaan tekuk *Euler* dapat diketahui jenis tekuk yang terjadi pada batang tersebut, yaitu dengan mencari modulus elastisitas dari batang-batang tersebut pada saat batang sudah tidak mampu lagi menerima beban.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

dimana : E = Modulus elastisitas
I = Momen inersia
L = Panjang tekuk

$$20,61 \times 10^2 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot 1,34}{68,70^2}$$

$$E = 0,73 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2} \leq 2,1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2} \Rightarrow \text{tekuk inelastis}$$

Jadi nilai modulus elastisitas dari batang-batang tersebut pada saat batang sudah tidak mampu lagi menerima beban yaitu sebesar $= 0,73 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}$. Sehingga kurang dari modulus elastisitas awal, maka dapat dikatakan keruntuhan tekuk yang terjadi adalah tekuk inelastis.

b. Benda Uji 2 (struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_2 = 53$)

Kerusakan tekuk pada struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_2 = 53^\circ$ terjadi pada batang nomor 10, 19, 29 dan 38 (SAP 2000). Berdasarkan analisis dari SAP 2000 dengan pemberian beban maksimal pada struktur, maka batang tersebut mengalami beban aksial sebesar 18,80 KN. Dengan persamaan tekuk *Euler* dapat diketahui jenis tekuk yang terjadi pada batang tersebut, yaitu dengan mencari modulus elastisitas dari batang-batang tersebut pada saat batang sudah tidak mampu lagi menerima beban.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

dimana : E = Modulus elastisitas
I = Momen inersia
L = Panjang tekuk

$$18,80 \times 10^2 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot 1,34}{68,70^2}$$

$$E = 0,56 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq 2,1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \text{tekuk inelastis}$$

Jadi nilai modulus elastisitas dari batang-batang tersebut pada saat batang sudah tidak mampu lagi menerima beban yaitu sebesar $= 0,56 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.

Sehingga kurang dari modulus elastisitas awal, maka dapat dikatakan keruntuhan tekuk yang terjadi adalah tekuk inelastis.

c. Benda Uji 3 (struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu $\alpha_3 = 58^\circ$)

Kerusakan tekuk pada struktur rangka batang komposit pipa baja-kayu dengan $\alpha_3 = 58^\circ$ terjadi pada batang nomor 12, 23, 43 dan 54 (SAP 2000). Berdasarkan analisis dari SAP 2000 dengan pemberian beban maksimal pada struktur, maka batang tersebut mengalami beban aksial sebesar 19,73 KN. Dengan persamaan tekuk *Euler* dapat diketahui jenis tekuk yang terjadi pada batang tersebut, yaitu dengan mencari modulus elastisitas dari batang-batang tersebut pada saat batang sudah tidak mampu lagi menerima beban.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

dimana : E = Modulus elastisitas
I = Momen inersia
L = Panjang tekuk

$$19,73 \times 10^3 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot 1,34}{68,70^2}$$

$$E = 0,52 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq 2,1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \text{tekuk inelastis}$$

Jadi nilai modulus elastisitas dari batang-batang tersebut pada saat batang sudah tidak mampu lagi menerima beban yaitu sebesar $= 0,52 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.

Sehingga kurang dari modulus elastisitas awal, maka dapat dikatakan keruntuhan tekuk yang terjadi adalah tekuk inelastis.