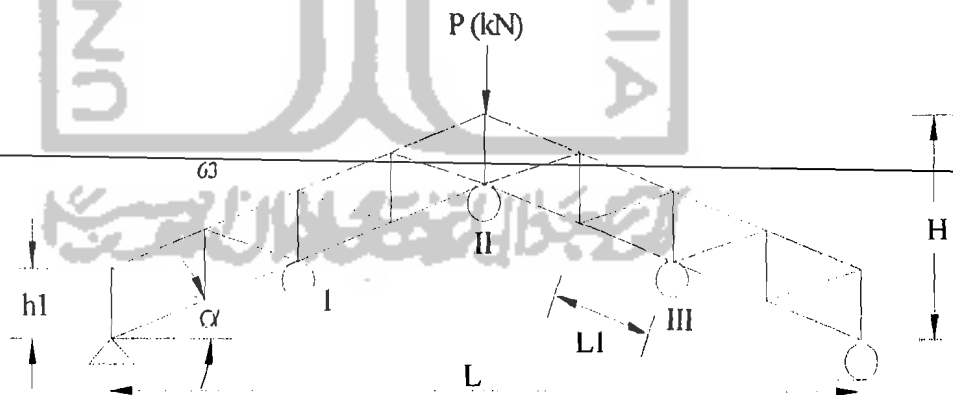


## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Uji pendahuluan yang meliputi uji tarik dan uji desak dilakukan guna mengetahui tegangan leleh material dan tegangan desak kritis penampang profil yang digunakan sebagai elemen struktur rangka. Kekuatan (*strength*) dan kekakuan struktur rangka batang diketahui berdasarkan uji lentur. Semua pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

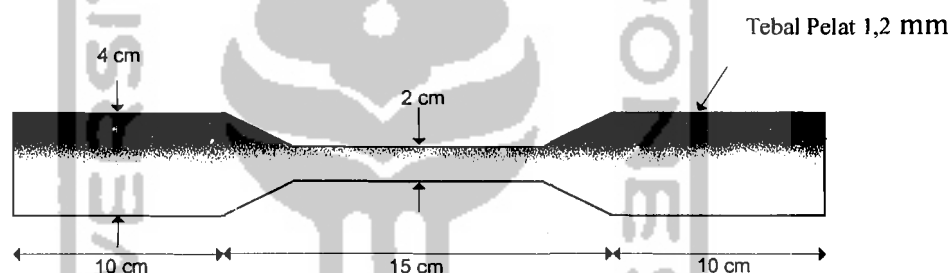
Uji lentur dilakukan dengan memberikan beban terpusat pada puncak rangka secara bertahap dengan kenaikan beban sebesar 0,5 kN. Setiap kenaikan beban dilakukan pencatatan lendutan pada tiga titik yang telah ditentukan seperti pada Gambar 5.1 guna mengetahui kekakuan dari struktur rangka batang. Hasil penelitian yang disertai pembahasannya akan disajikan sebagaimana berikut.



**Gambar 5.1** Perletakan *Dial Gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar

## 5.1 HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

Benda uji tarik baja menggunakan profil *Lipped Channel* 60×22×8 dengan tebal 1,2 mm yang dibentuk sesuai dengan Gambar 5.2 sebanyak tiga (3) 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. Dari hasil pengujian diperoleh data beban leleh ( $P_y$ ) dan beban maksimum ( $P_u$ ) dari benda uji pada Lampiran 1 dan hasil perhitungan didapat tegangan leleh ( $F_y$ ) dan tegangan ultimit ( $F_u$ ) benda uji seperti Tabel 5.1.



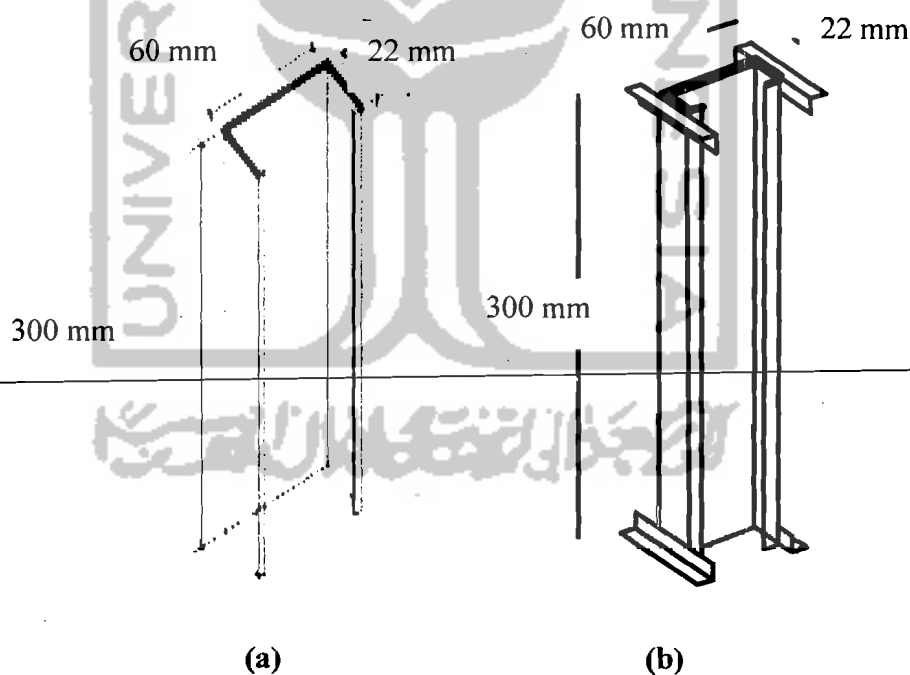
Gambar 5.2 Benda uji kuat tarik baja

Tabel 5.1 Hasil uji kuat tarik baja

Nilai hasil uji	Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3
Beban leleh ( $P_y$ ) (kg)	240	287,5	227,5
Beban maksimum ( $P_u$ ) (kg)	385	385	360
Tegangan leleh ( $F_y$ ) (MPa)	100	118,899	92,933
Tegangan maksimum ( $F_u$ ) (MPa)	160,417	157,155	147,059
$F_y$ rata-rata (MPa)	103,944		
$F_u$ rata-rata (MPa)	154,877		

## 5.2 HASIL UJI DESAK PENAMPANG *LIPPED CHANNEL*

Benda uji desak baja dari profil *lipped channel* 60×22×8 tebal 1,2 mm sebanyak tiga benda uji desak menggunakan alat sambung las dan tiga benda uji desak dengan menggunakan alat sambung baut dengan ukuran sesuai Gambar 5.3. 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 dan Tabel 5.3 di bawah ini.



**Gambar 5.3a** Benda uji desak profil baja dengan alat sambung las  
**Gambar 5.3b** Benda uji desak profil baja dengan alat sambung baut

**Gambar 5.3** Benda uji desak profil baja

**Tabel 5. 2** Hasil uji desak profil baja dengan alat sambung las

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (panjang 300 mm)	Benda uji 2 (panjang 300 mm)	Benda uji 3 (panjang 300 mm)
Beban maksimum (kN)	11,60	13,35	13,90
Kuat desak (MPa)	80,556	92,708	96,528
Kuat desak rata-rata (MPa)	89,931		

**Tabel 5. 3** Hasil uji desak profil baja dengan alat sambung baut

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (panjang 300 mm)	Benda uji 2 (panjang 300 mm)	Benda uji 3 (panjang 300 mm)
Beban maksimum (kN)	10,50	10,70	9,10
Kuat desak (Mpa)	79,861	74,306	63,194
Kuat desak rata-rata (Mpa)	72,120		

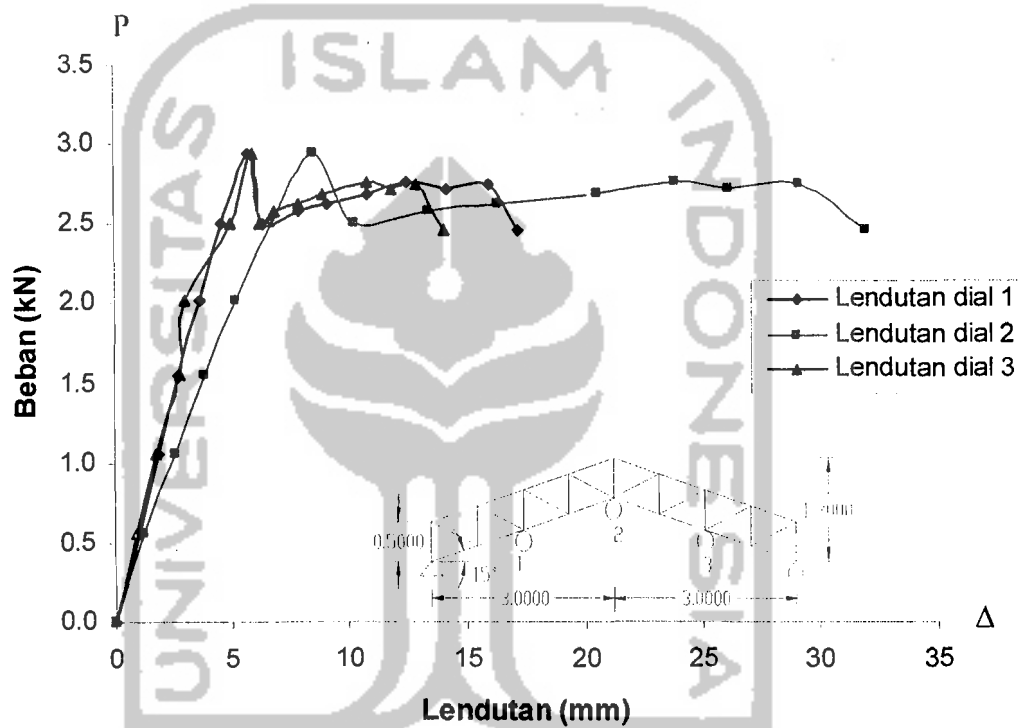
### 5.3 HUBUNGAN BEBAN – LENDUTAN UJI LENTUR RANGKA

#### 5.3.1 Grafik Hubungan Beban - Lendutan Hasil Eksperimen

Pelaksanaan uji lentur keempat benda uji dilakukan dengan pemberian beban statis pada puncak struktur dengan kenaikan beban sebesar 0,5 kN hingga benda uji mengalami kerusakan. Pencatatan lendutan dilakukan pada 3 titik yang telah ditentukan pada setiap kenaikan beban.

1) **Benda Uji 1 (Rangka Batang Tepi Seajar Sudut Miring Atap 15°)**

Data - data berupa hasil pembacaan lendutan disajikan pada Lampiran 2 Tabel L2.1. Dari pengujian benda uji 1 didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut:

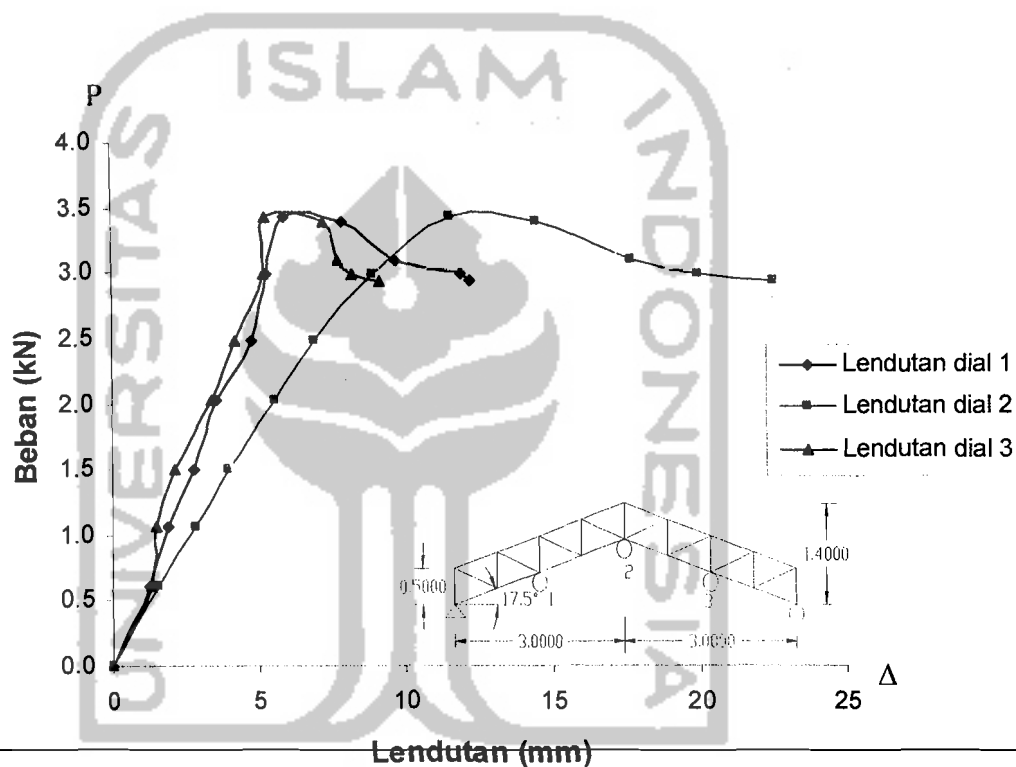


Gambar 5. 4 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1

Dari Gambar 5.4 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 1 sebesar 2,94 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 5,71 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 8,55 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 5,94 mm.

## 2) Benda Uji 2 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 17,5°)

Untuk benda uji 2 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.2. Dari pengujian benda uji 2 didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :

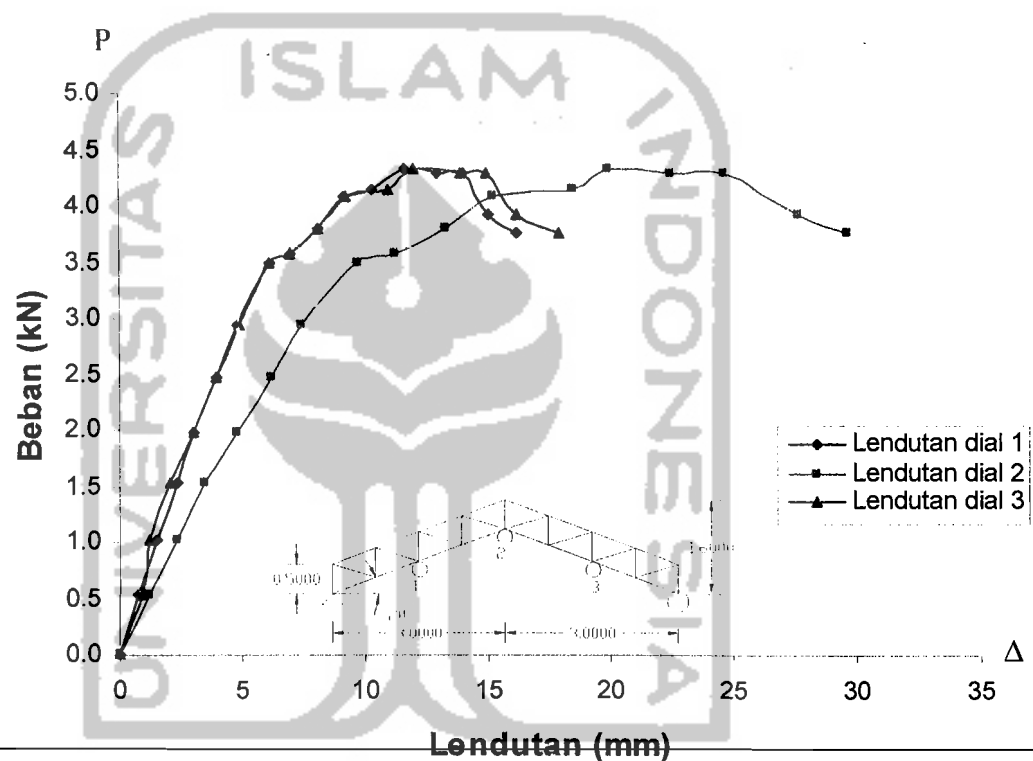


Gambar 5.5 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2

Dari Gambar 5.5 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 2 sebesar 3,42 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 5,85 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 11,59 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 5,20 mm.

### 3) Benda Uji 3 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 20°)

Untuk benda uji 3 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.3. Dari pengujian benda uji 3 didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :

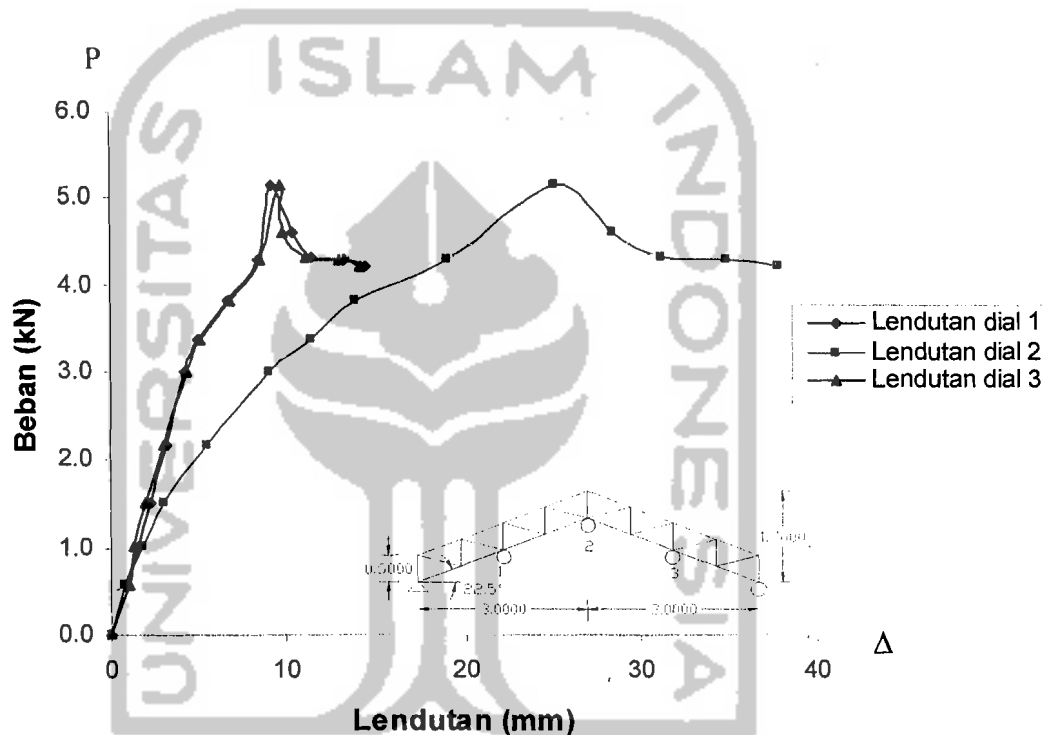


Gambar 5. 6 Grafik hubungan beban - lendutan benda uji 3

Dari Gambar 5.6 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 3 sebesar 4,32 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 11,67 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 19,88 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 12,05 mm.

#### 4) Benda Uji 4 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 22,5°)

Untuk benda uji 4 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L.2.4. Dari pengujian benda uji 4 didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Gambar 5.7 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 4

Dari Gambar 5.7 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 4 sebesar 5,13 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 9,18 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 25,20 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 9,70 mm.

Tampak bahwa pada Gambar 5.4 Gambar 5.5 Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 pembacaan lendutan pada dial 2 yang terletak ditengah bentang mempunyai lendutan yang lebih besar dari pembacaan lendutan pada dial 1 dan 3 yang terletak pada seperempat bentang, jadi lendutan maksimumnya berada ditengah bentang. Secara



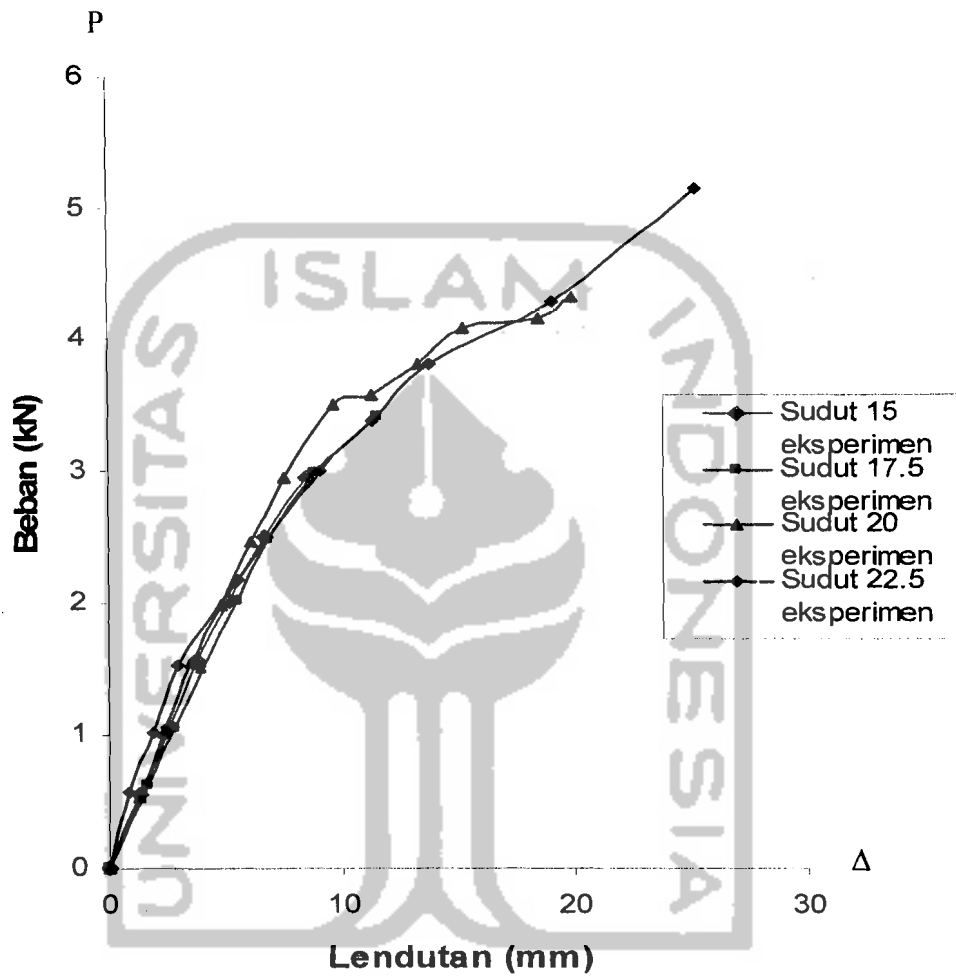
umum juga dapat dilihat dari grafik hubungan beban-lendutan bahwa grafik pada dial 2 memiliki daktilitas lebih besar dibandingkan dial 1 dan dial 3.

### 5.3.2 Pengaruh Variasi Sudut Miring Atap Terhadap Beban - Lendutan Hasil Eksperimen

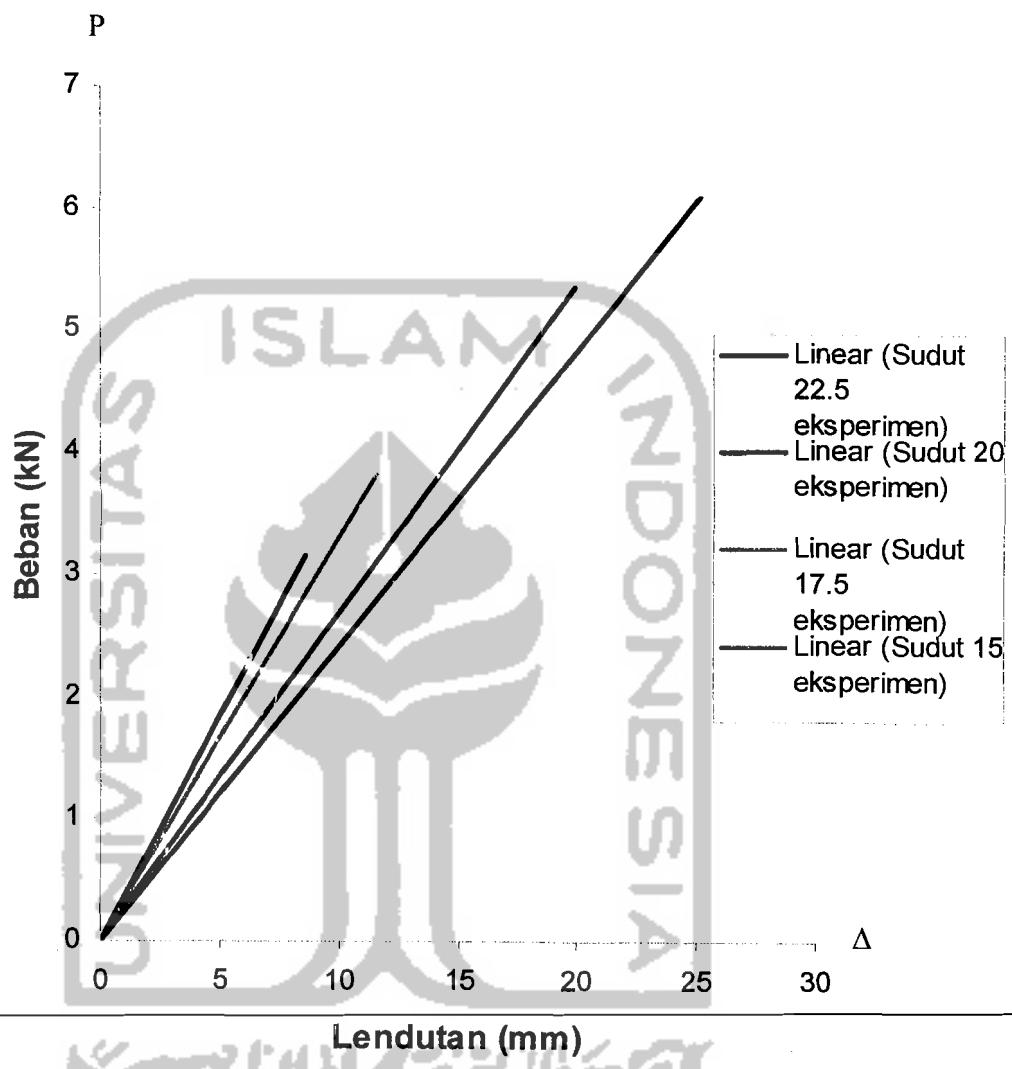
Variasi sudut miring atap pada rangka batang tepi sejajar akan berpengaruh terhadap besarnya beban dan lendutan yang terjadi. Dengan bertambah besarnya sudut miring atap maka akan berpengaruh langsung terhadap tinggi rangka dan panjang batang tepi sejajar. Rangka yang tinggi mampu menahan beban yang lebih besar dan semakin panjang batang tepi sejajar pada rangka dalam eksperimen ini akan berakibat bentang efektif ( $L_1$ ) bertambah panjang sehingga lendutan yang terjadi besar.

Dari persamaan  $k = tg\alpha = \frac{Py}{\Delta y}$  juga terlihat bahwa semakin besar lendutan yang terjadi maka kekakuan rangka batang akan semakin kecil.

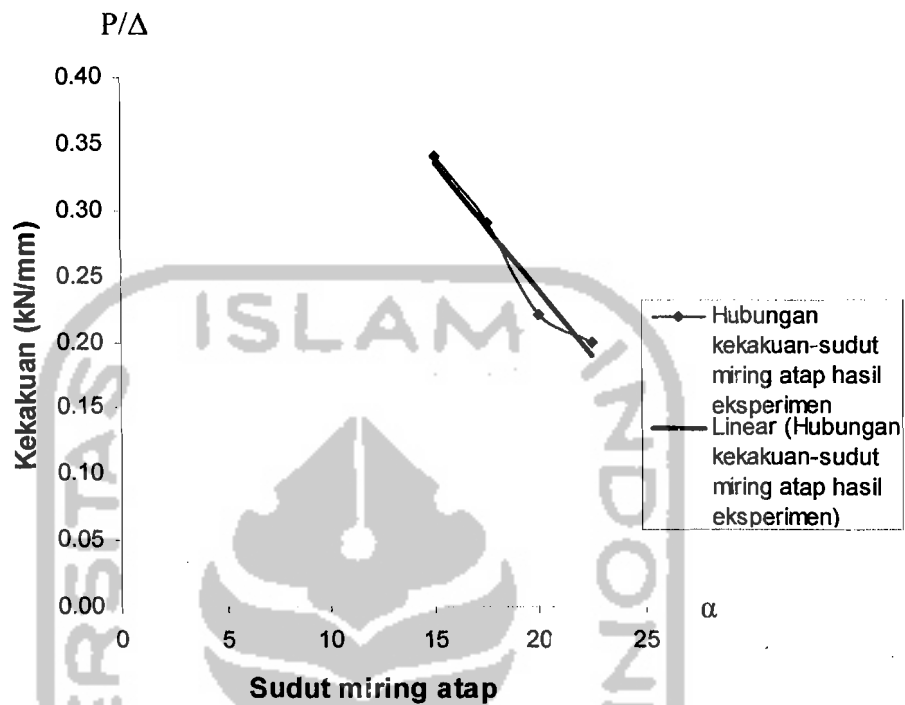
Hubungan beban – lendutan keempat rangka hingga beban maksimal pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap  $15^\circ$ ,  $17,5^\circ$ ,  $20^\circ$ , dan  $22,5^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 5.8 di bawah ini.



Gambar 5.8 Hubungan beban – lendutan keempat rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hingga beban maksimum



Gambar 5.9 Hubungan beban – lendutan keempat rangka setelah diregresi



Gambar 5.10 Hubungan kekakuan – sudut miring atap hasil pengujian

Dari gambar 5.9 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap  $15^\circ$  mempunyai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan rangka batang tepi sejajar yang mempunyai sudut miring atap  $17,5^\circ$ ,  $20^\circ$  dan  $22,5^\circ$ . Kekakuan rangka batang tepi sejajar dipengaruhi oleh faktor beban dan lendutan yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.57). Dari persamaan tersebut nilai kekakuan ( $k$ ) seperti pada Tabel 5.8. Dengan anggapan bahwa kekakuan dan kekuatan pada sudut miring atap  $15^\circ$  sama dengan 1, maka rasio kekakuan dan rasio kekuatan ketiga benda uji lainnya terhadap sudut miring atap  $15^\circ$  seperti pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Nilai kekakuan hasil eksperimen

Sudut rangka batang tepi sejajar	Beban maks (kN)	Lendutan ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan ( $k$ ) (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
15°	2,940	8,550	0,344	1	1
17,5°	3,420	11,590	0,295	0,858	1,163
20°	4,320	19,880	0,217	0,631	1,469
22,5°	5,130	25,200	0,203	0,593	1,745

Dari tabel 5.4. dapat dilihat nilai kekuatan dan kekakuan rangka batang tepi sejajar. Rangka dengan sudut miring atap 15° mempunyai nilai  $k = 0,344$  kN/mm, sudut 17,5° mempunyai nilai  $k = 0,295$  kN/mm, sudut 20° mempunyai nilai  $k = 0,217$  kN/mm, dan sudut 22,5° mempunyai nilai  $k = 0,203$  kN/mm. Terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 22,5° memiliki nilai kekakuan paling kecil dibanding rangka dengan variasi sudut miring atap 17,5°, 20° dan 22,5°, hal ini dimungkinkan karena rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 22,5° memiliki bentang efektif ( $L_1$ ) yang lebih panjang dibanding benda uji lainnya sehingga lendutan yang terjadi menjadi besar. Rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai kekakuan 1,17 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 17,5°, 1,58 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 20° dan 1,69 lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 22,5°.

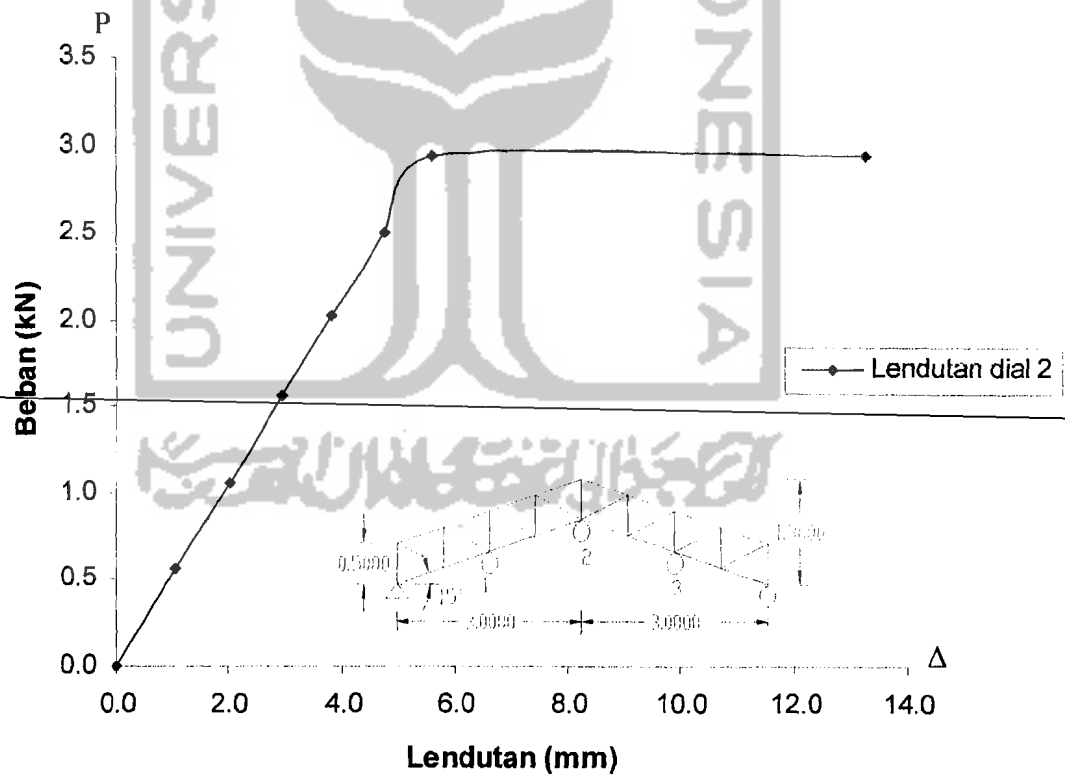
Dari tabel 5.4 juga dapat dilihat bahwa rangka dengan sudut miring atap 22,5° mampu menahan beban yang lebih besar dibanding benda uji lain, hal ini dimungkinkan karena rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 22,5° relatif lebih tinggi dibanding rangka dengan sudut miring atap 15°, 17,5°, dan 20°. Perhitungan nilai kekakuan dapat dilihat pada lampiran 2.

### 5.3.3 Grafik Hubungan Beban - Lendutan Analisis SAP 2000

Rangka dianalisis dengan menggunakan program SAP 2000 dengan pembebanan dan perletakan *Dial Gauge* disesuaikan pada waktu pengujian, yang kemudian ditampilkan dalam Tabel pada Lampiran 2 dan grafik beban - lendutan seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

#### 1) Benda Uji 1 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 15°)

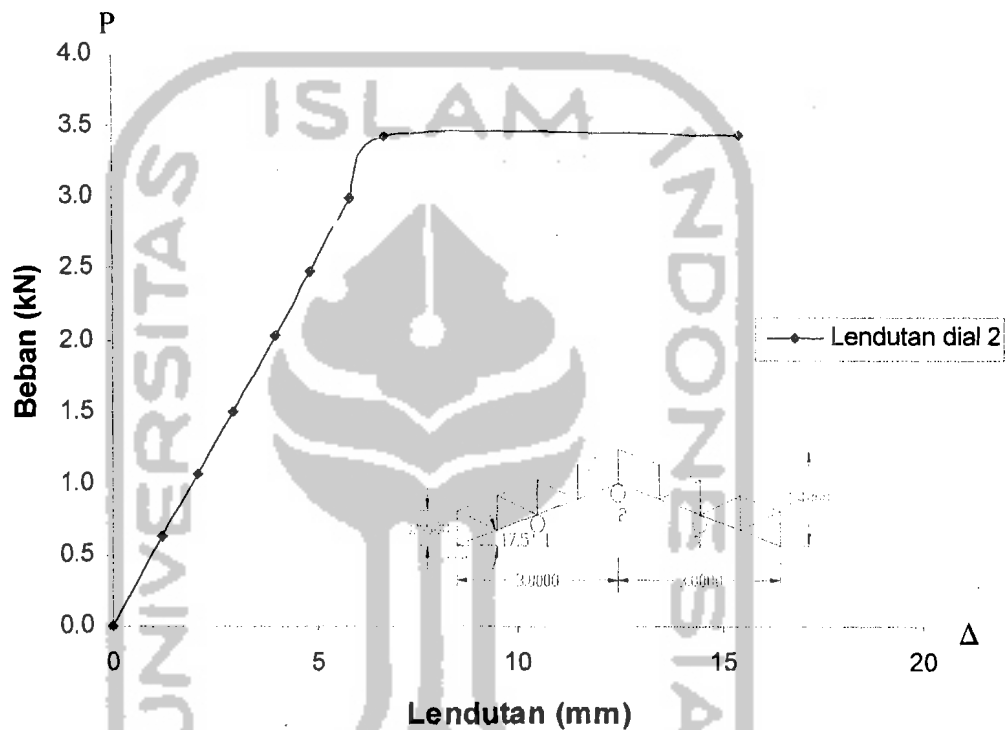
Data-data berupa hasil pembacaan dial disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.6. Dari data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Gambar 5. 11 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1 analisis SAP 2000

2) **Benda Uji 2 ( Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 17,5°)**

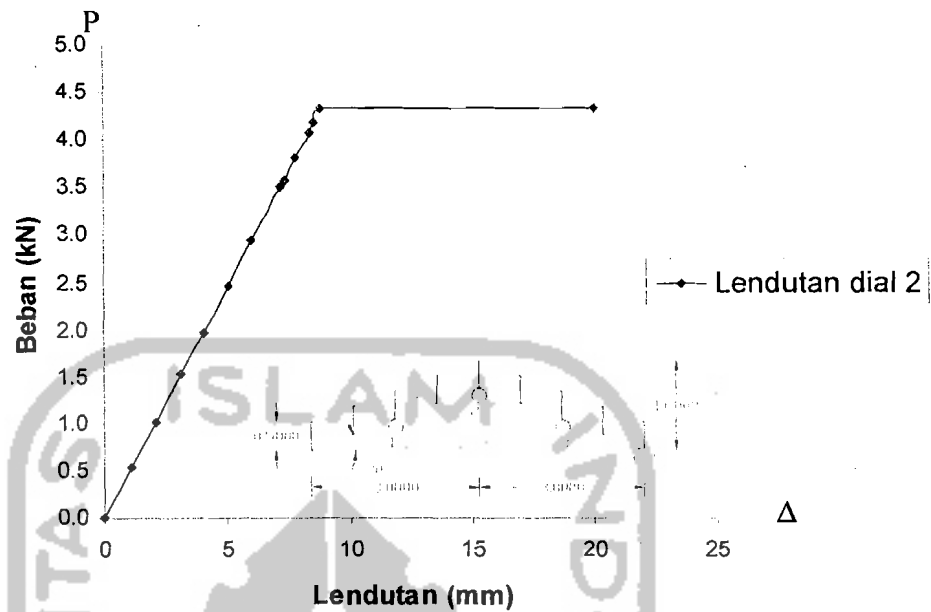
Untuk benda uji 2 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.7 dan grafik hubungan beban - lendutan ditampilkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2 analisis SAP 2000

3) **Benda Uji 3 ( Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 20°)**

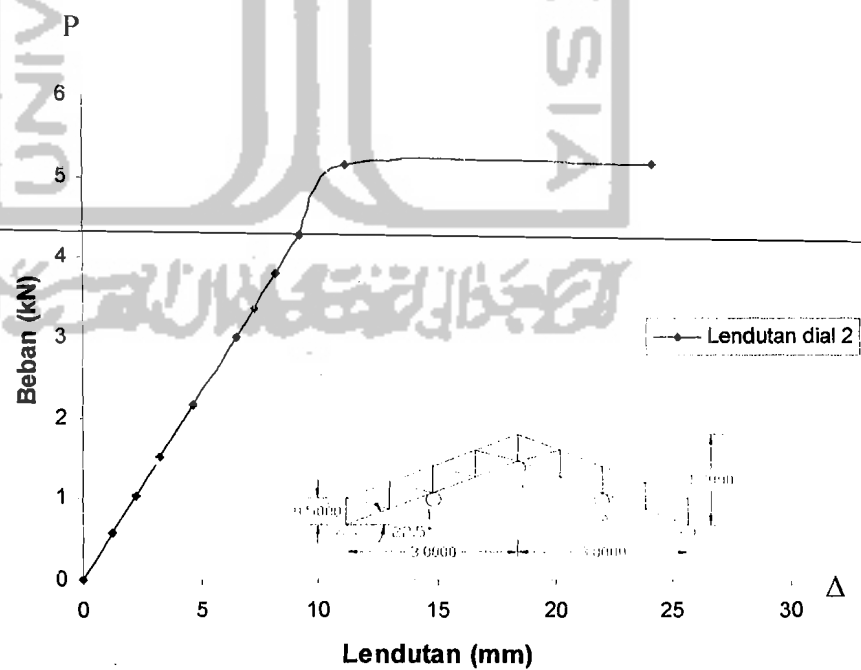
Untuk benda uji 3 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.8 dan grafik hubungan beban - lendutan ditampilkan pada Gambar 5.13.



Gambar 5. 13 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 3 analisis SAP 2000

4) **Benda Uji 4 (Rangka Batang Tepi Sejajar Sudut Miring Atap 22,5°)**

Untuk benda uji 4 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.9 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada Gambar 5.15.

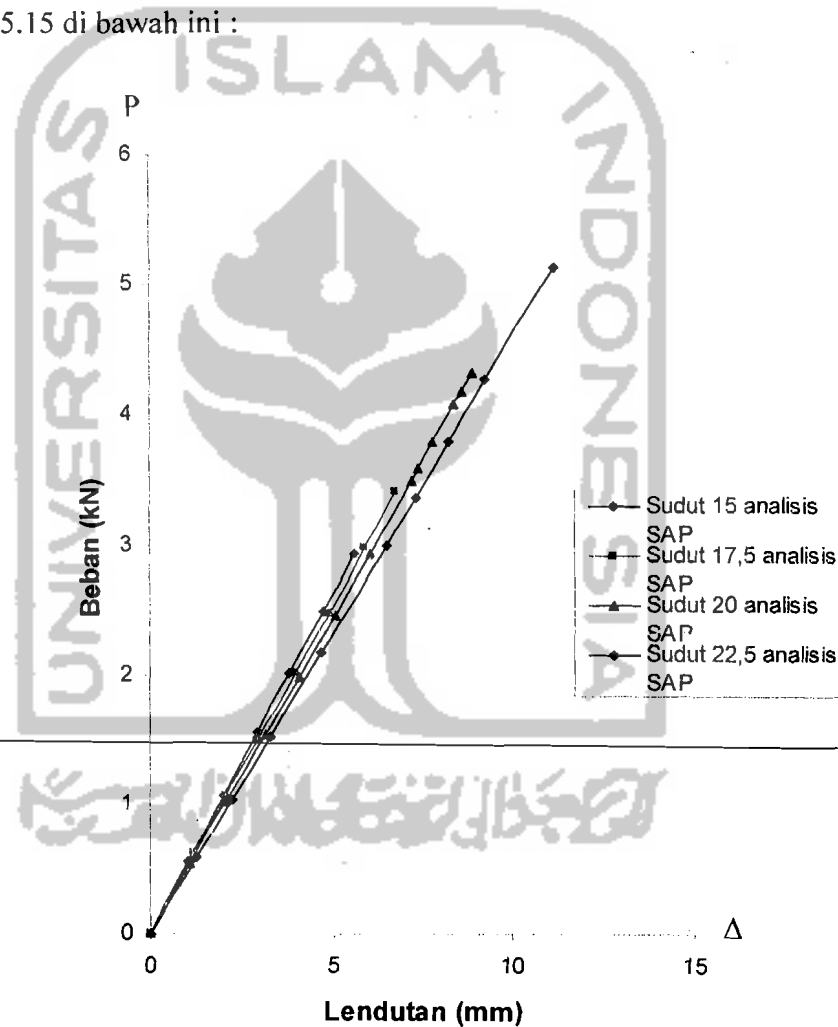


Gambar 5. 14 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 4 analisis SAP 2000

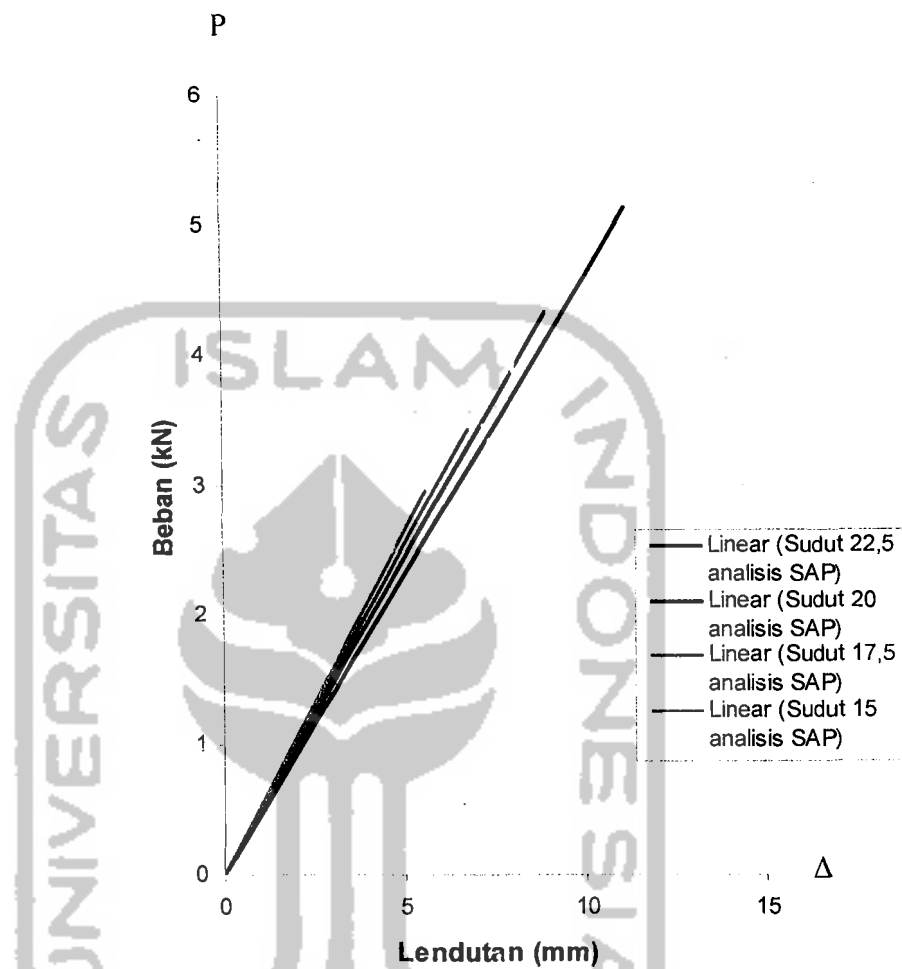


### 5.3.4 Pengaruh Sudut miring Atap Terhadap Beban - Lendutan Hasil Analisis SAP 2000

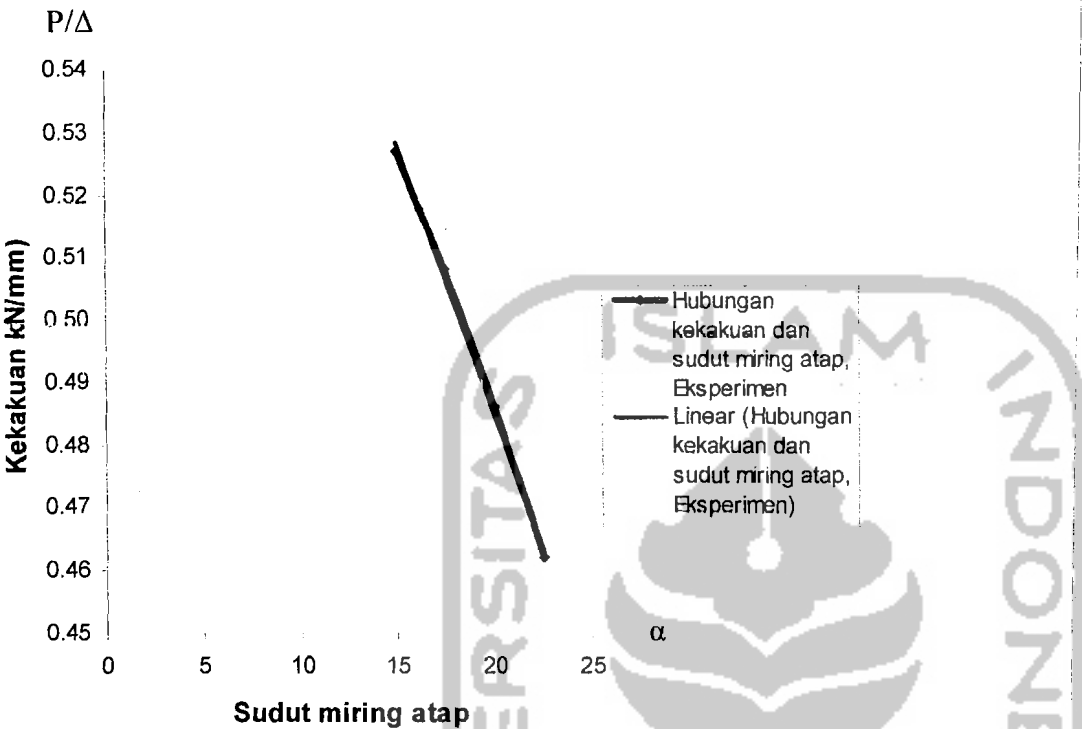
Hubungan beban – lendutan hasil analisis SAP 2000 pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 15°, 17,5°, 20°, dan 22,5° ditunjukkan pada Gambar 5.15 di bawah ini :



**Gambar 5.15** Hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hasil analisis SAP 2000



Gambar 5.16 Regresi hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hasil analisis SAP 2000 hingga beban maksimum



Hubungan kekakuan dan sudut miring atap hasil analisis SAP 2000

Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar miring atap  $15^\circ$  mempunyai lendutan yang lebih kecil dibandingkan sudut miring atap  $17,5^\circ$ ,  $20^\circ$ , dan  $22,5^\circ$ . Kekakuan rangka batang tepi variasi sudut miring atap dalam eksperimen ini dapat dicari dengan persamaan (3.57). Dengan anggapan bahwa kekakuan dan kekuatan miring atap  $15^\circ$  sama dengan 1, maka rasio kekakuan dan rasio kekuatan ini lainnya terhadap sudut miring atap  $15^\circ$  seperti pada Tabel 5.4 di

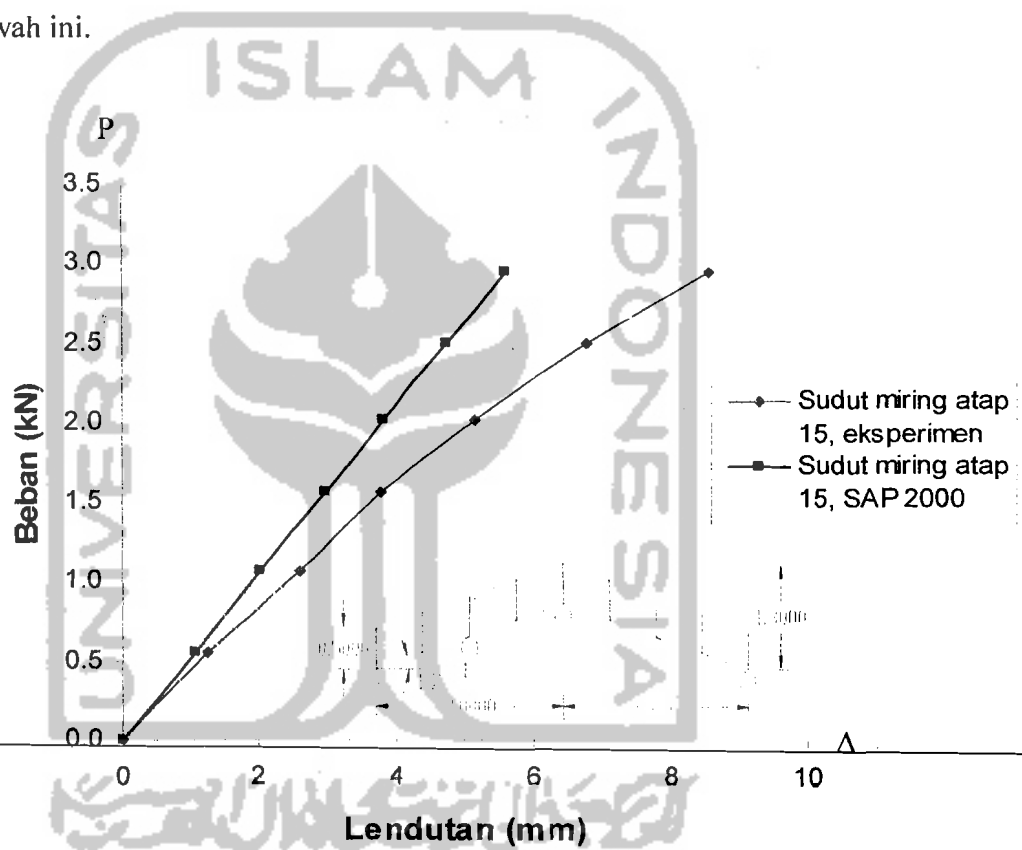
Tabel 5.5 Nilai kekakuan hasil analisis menggunakan SAP 2000

Sudut Rangka batang tepi sejajar	Beban maks (kN)	Lendutan ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan ( $k$ ) (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
15°	2,940	5,570	0,528	1	1
17,5°	3,420	6,730	0,508	0,962	1,163
20°	4,320	8,880	0,486	0,920	1,469
22,5°	5,130	11,110	0,462	0,875	1,745

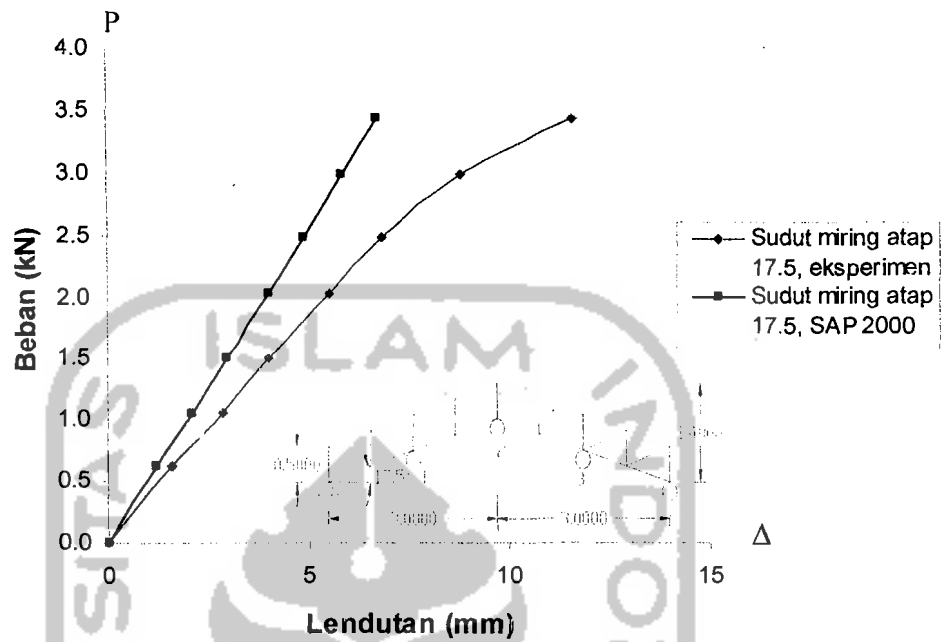
Dari Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° memiliki nilai  $k = 0,528$  kN/mm, rangka sudut 17,5° memiliki nilai  $k = 0,508$  kN/mm, rangka sudut 20° memiliki nilai  $k = 0,486$  kN/mm dan rangka dengan sudut miring atap 22,5° memiliki nilai  $k = 0,462$  kN/mm. Jadi rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai kekakuan paling besar dibandingkan rangka dengan sudut miring 17,5°, 20°, dan 22,5°. Rangka dengan sudut 15° memiliki kekakuan 1,039 kali lebih besar dari rangka sudut 17,5°, 1,086 kali lebih besar dari rangka sudut 20° dan 1,142 kali lebih besar dari rangka sudut 22,5°. Rangka dengan sudut miring atap 15° memiliki kekakuan paling besar dibanding sampel rangka yang lain, namun demikian penurunan kekakuan pada keempat rangka kurang signifikan, hal ini dimungkinkan karena bentang efektif ( $L_1$ ) dari keempat rangka relatif sama. Perubahan kekakuan yang paling signifikan dapat dilihat antara kekakuan rangka sudut 15° dan rangka sudut 22,5°. Dari tabel 5.4 juga terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai kekuatan paling kecil dibanding rangka sudut 17,5°, 20°, dan 22,5°, hal ini dimungkinkan karena tinggi rangka sudut 15° lebih pendek dibanding sampel rangka lainnya.

### 5.3.5 Grafik Hubungan Beban - Lendutan Hasil Eksperimen dan Analisa SAP 2000

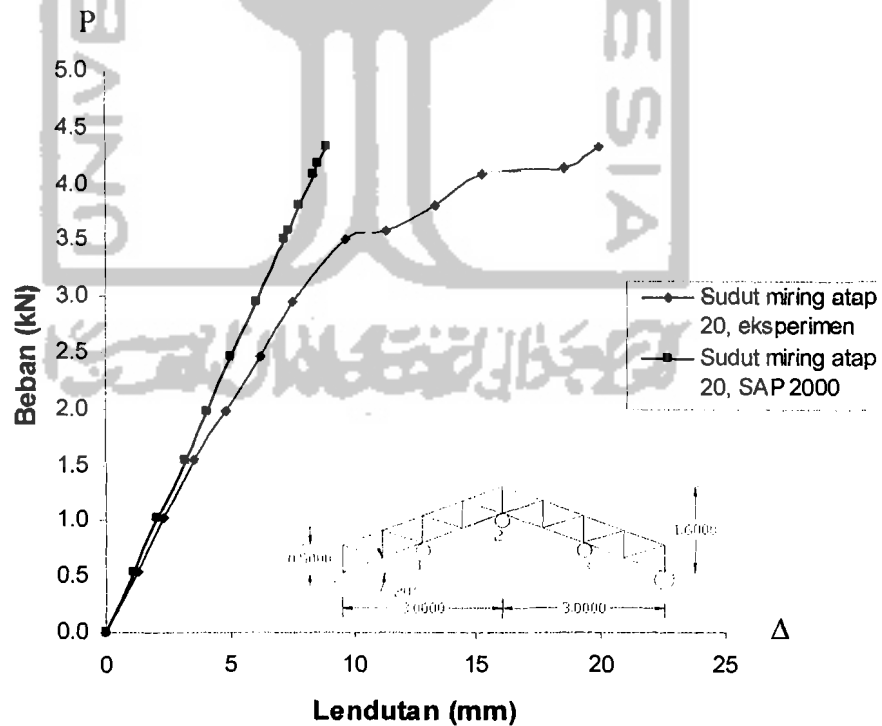
Gabungan grafik hasil eksperimen dan analisis menggunakan SAP 2000 didapat hubungan beban – lendutan seperti pada Gambar 5.18, 5.18, 5.20, dan 5.21 dibawah ini.



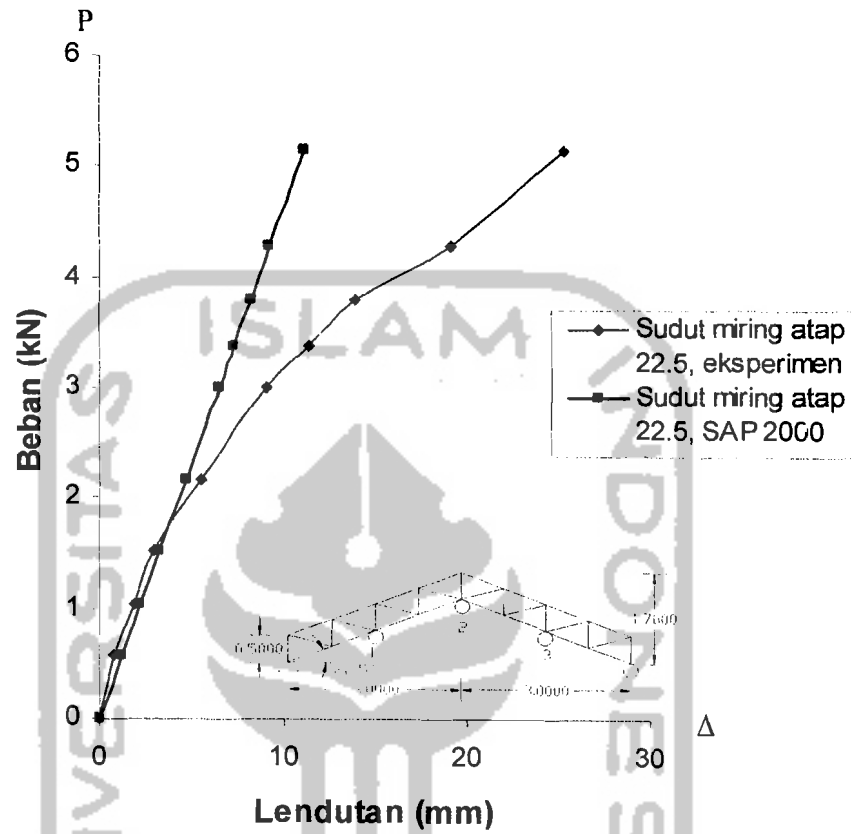
Gambar 5.18 Hubungan beban – lendutan sudut miring atap  $15^\circ$  hasil eksperimen dan analisis SAP 2000



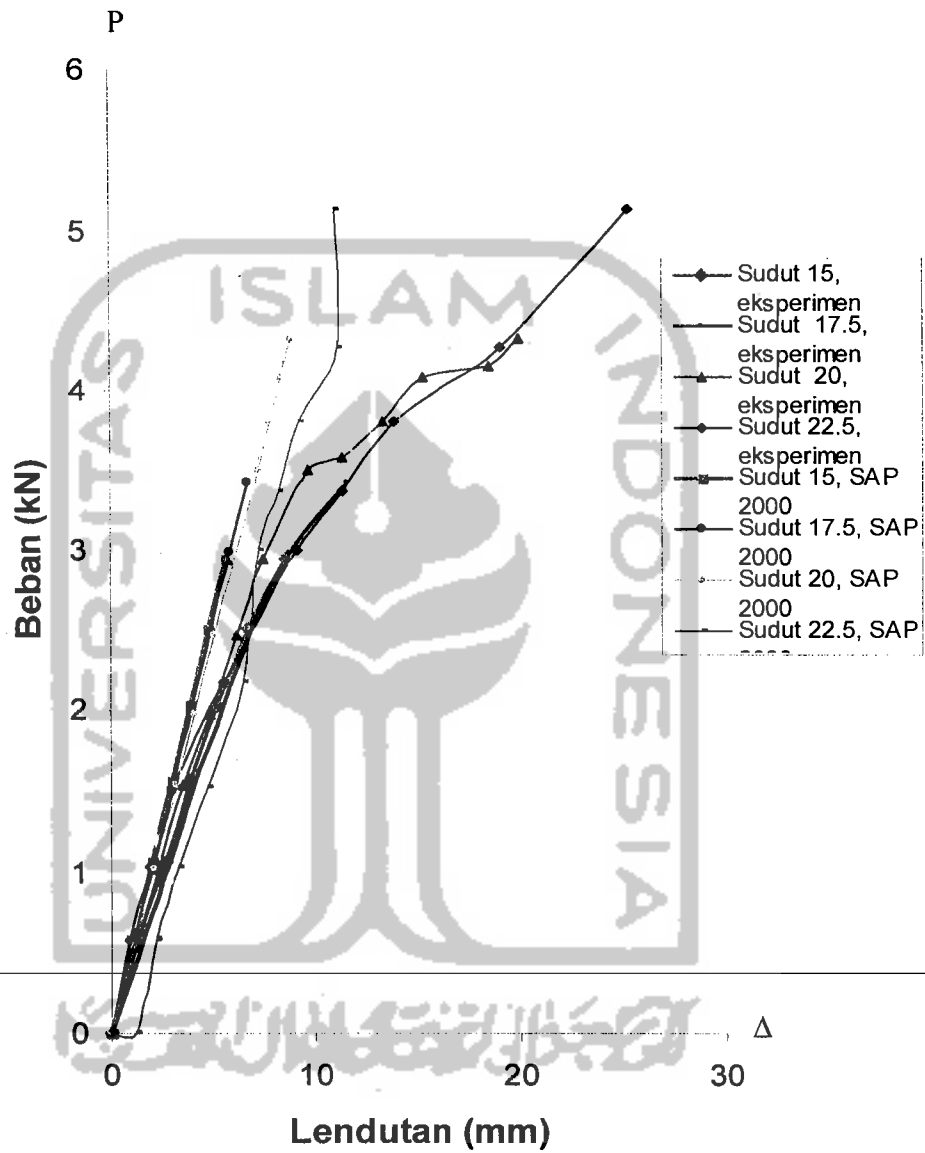
**Gambar 5.19** Hubungan beban – lendutan sudut miring atap 17,5° hasil eksperimen dan analisis SAP 2000



**Gambar 5.20** Hubungan beban – lendutan sudut miring atap 20° hasil pengujian dan analisis SAP 2000

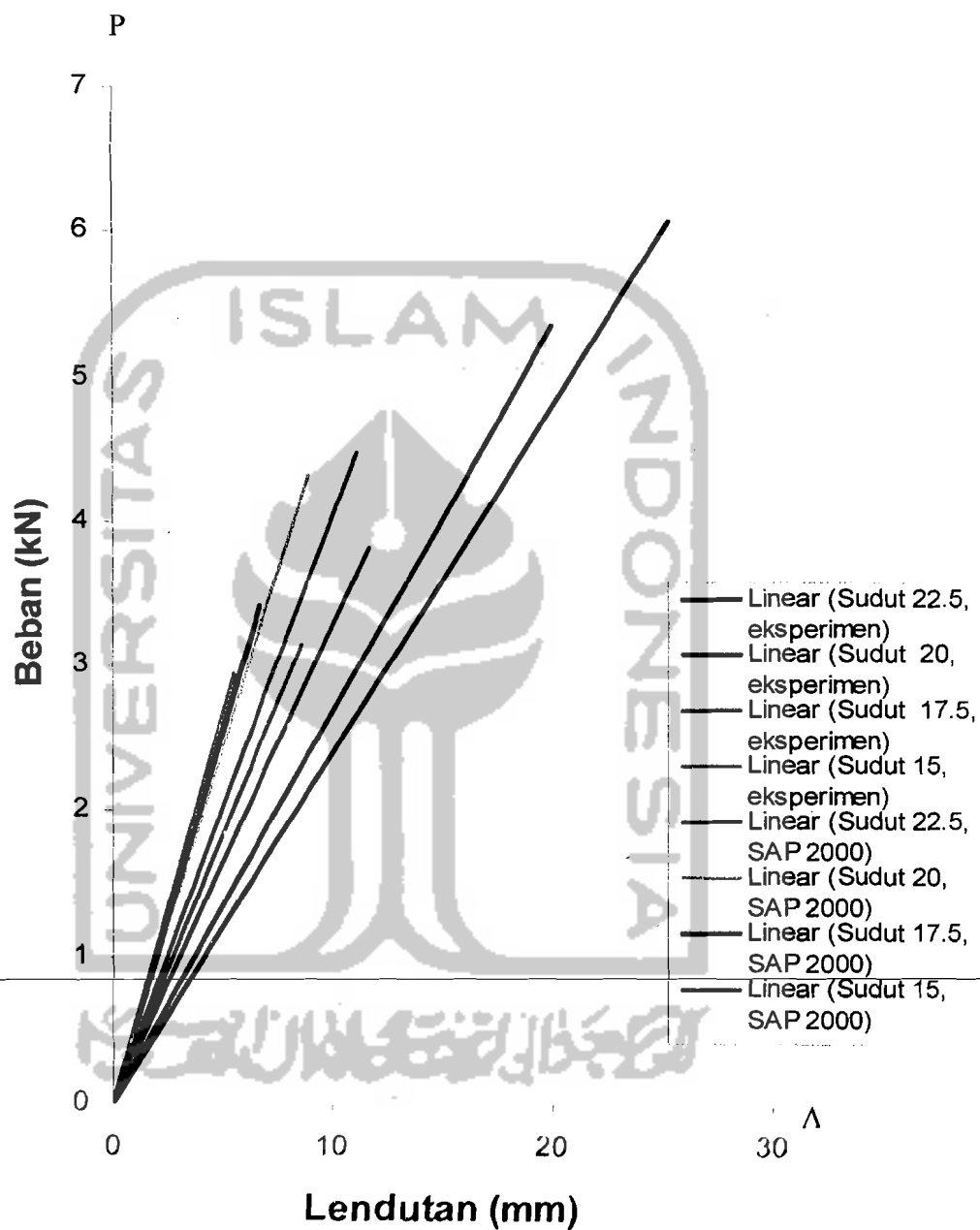


Gambar 5.21 Hubungan beban – lendutan sudut miring atap 22,5° hasil eksperimen dan analisis SAP 2000



**Gambar 5.22** Hubungan beban - lendutan hasil eksperimen dan analisa SAP 2000





**Gambar 5.23** Regresi hubungan beban – lendutan keempat rangka hasil eksperimen dan analisa SAP 2000

Tabel 5.6 Rasio nilai kekakuan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000

Sudut rangka batang tepi sejajar	Beban Maksimum (kN)	Eksperimen		Analisis menggunakan SAP 2000	
		Kekakuan (kN/mm)	Rasio Kekakuan	Kekakuan (kN/mm)	Rasio Kekakuan
15°	2,940	0,344	1	0,528	1
17,5°	3,420	0,295	0,858	0,508	0,962
20°	4,320	0,217	0,631	0,486	0,920
22,5°	5,130	0,204	0,593	0,462	0,875

Pada Gambar 5.20 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hasil analisis SAP 2000 mempunyai kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen. Pada analisis menggunakan SAP 2000 untuk rangka sudut miring atap 15° mempunyai kekakuan 1,535 lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut miring atap 15° hasil eksperimen, rangka sudut miring atap 17,5° mempunyai kekakuan 1,722 lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut miring atap 17,5° hasil eksperimen, rangka sudut miring atap 20° mempunyai kekakuan 2,239 lebih besar dibandingkan rangka sudut miring atap 20° hasil eksperimen, sedangkan rangka dengan sudut miring atap 22,5° mempunyai kekakuan 2,265 lebih besar dibandingkan dengan rangka dengan sudut miring atap 22,5° hasil eksperimen. Hal ini dimungkinkan karena pada analisis menggunakan SAP tidak mengakomodasi adanya peristiwa tekuk.

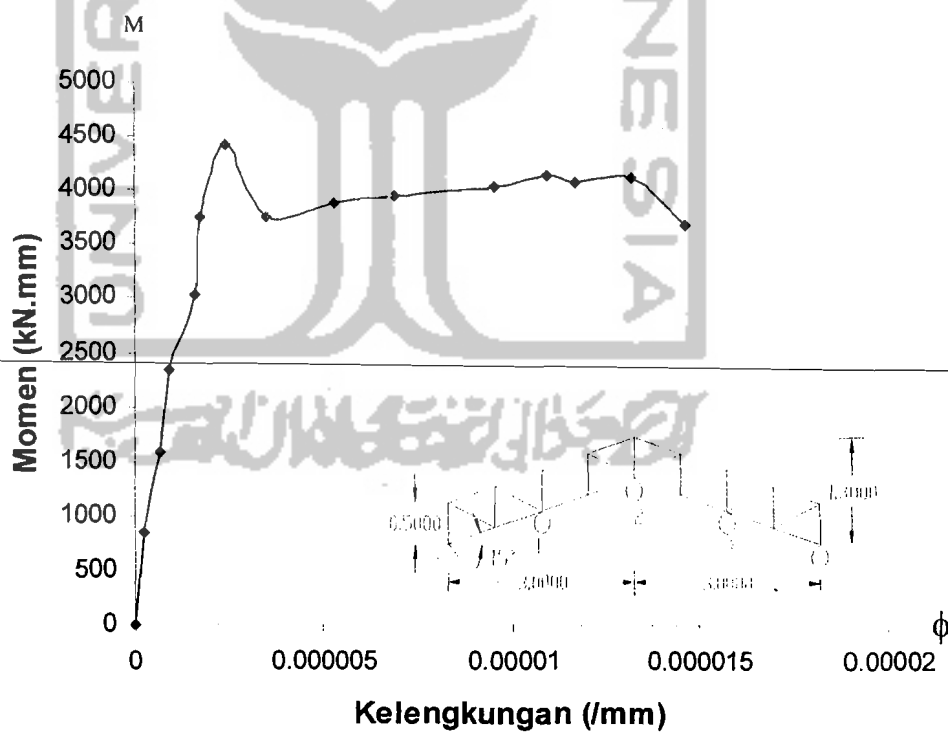
## 5.4 HUBUNGAN MOMEN - KELENGKUNGAN

### 5.4.1 Grafik Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Eksperimen

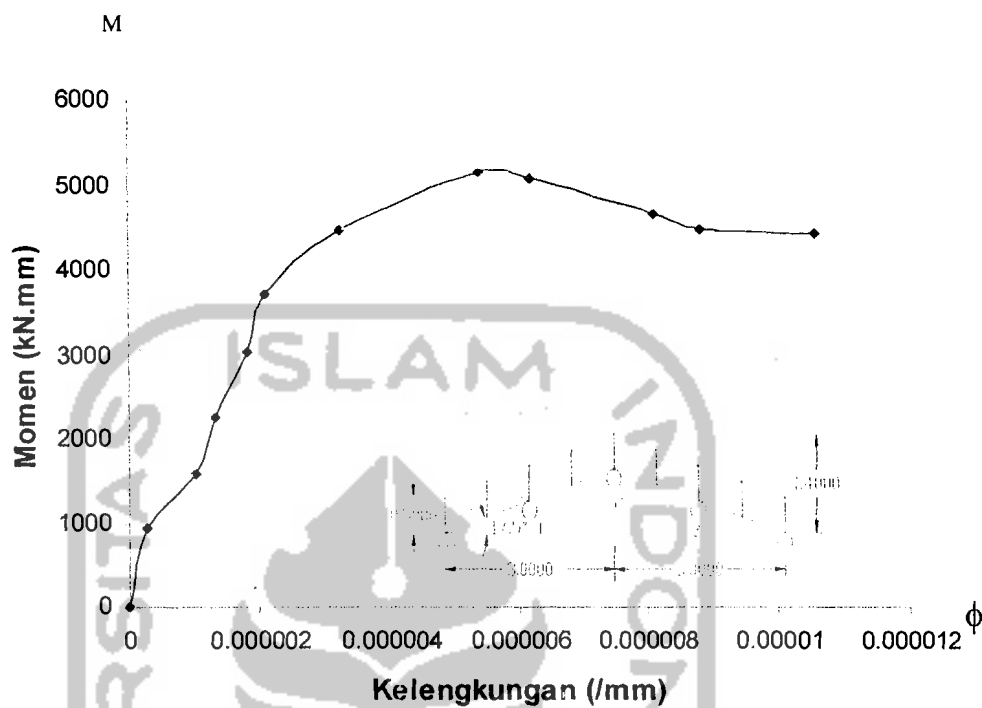
Dari hasil eksperimen didapatkan data beban - lendutan ( $P - \Delta$ ), sehingga dapat dicari momen - kelengkungan ( $M - \phi$ ). Rumus yang dipakai dalam perhitungan ini adalah :

$$\text{Kelengkungan (Pers. 3.70): } \phi = \frac{\Delta_1 - 2\Delta_2 + \Delta_3}{\Delta x^2}$$

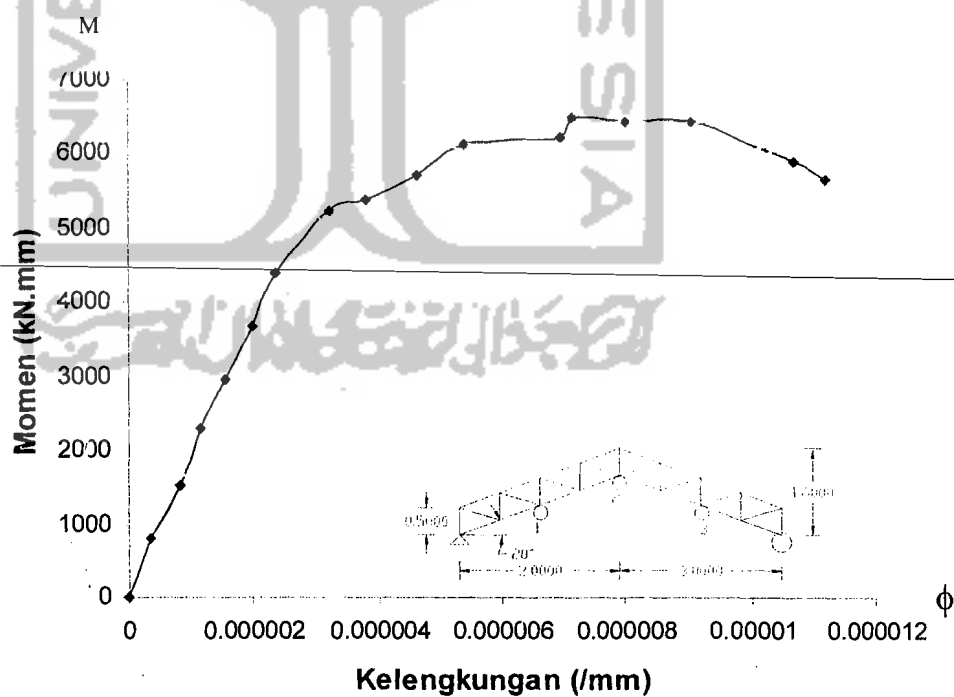
$$\text{Momen} = \frac{1}{4} \times P \times L$$



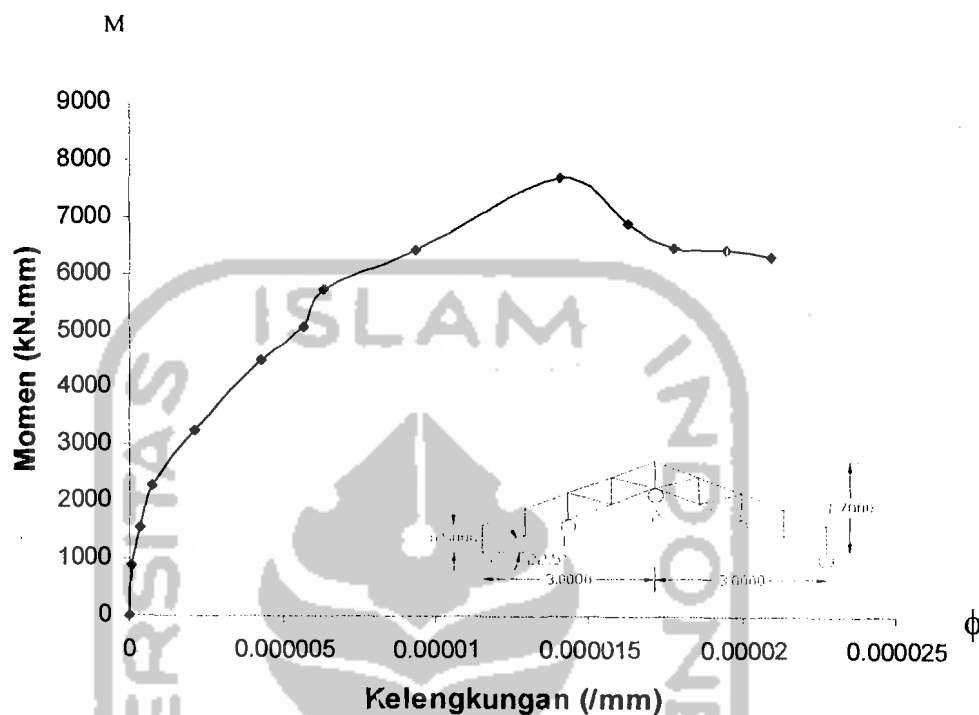
Gambar 5.24 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1



Gambar 5.25 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2



Gambar 5.26 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

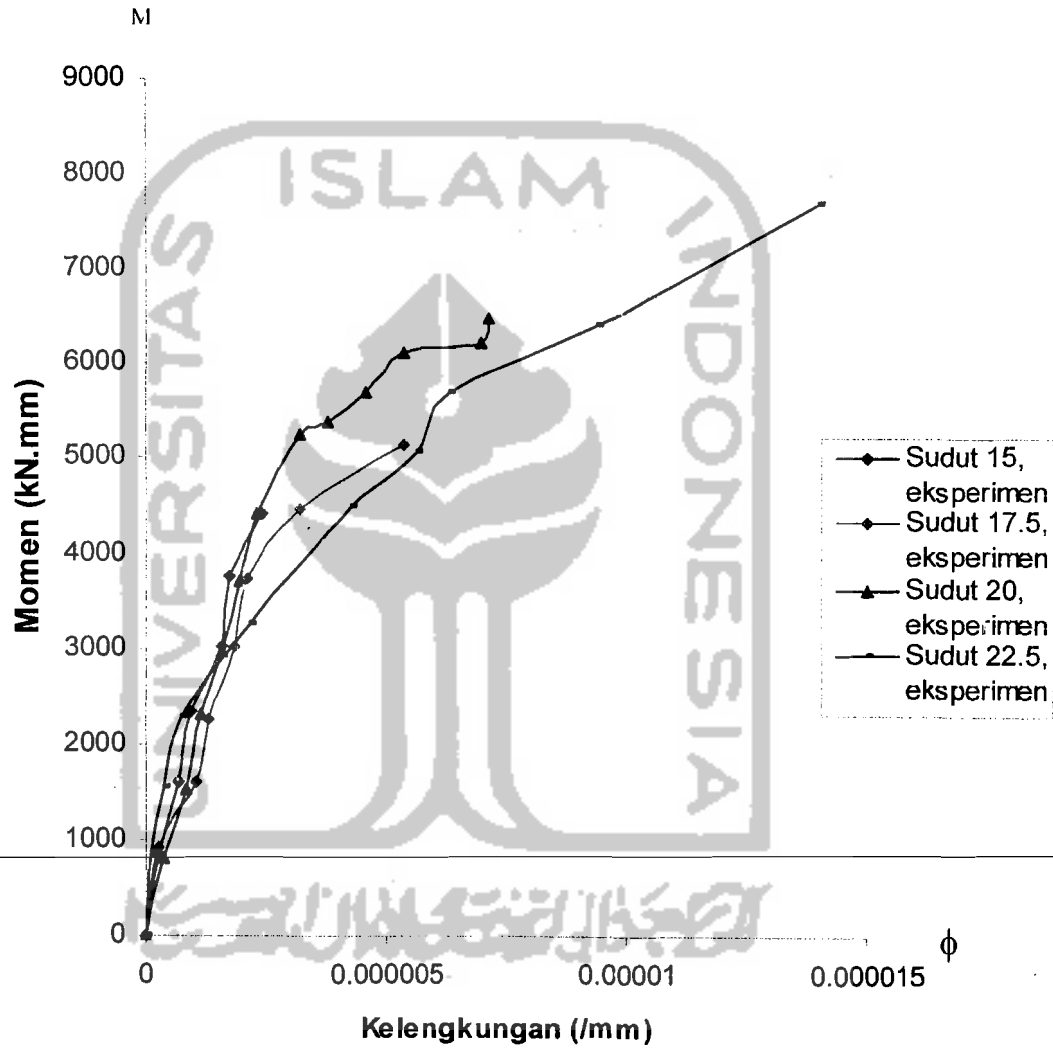


Gambar 5.27 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 4

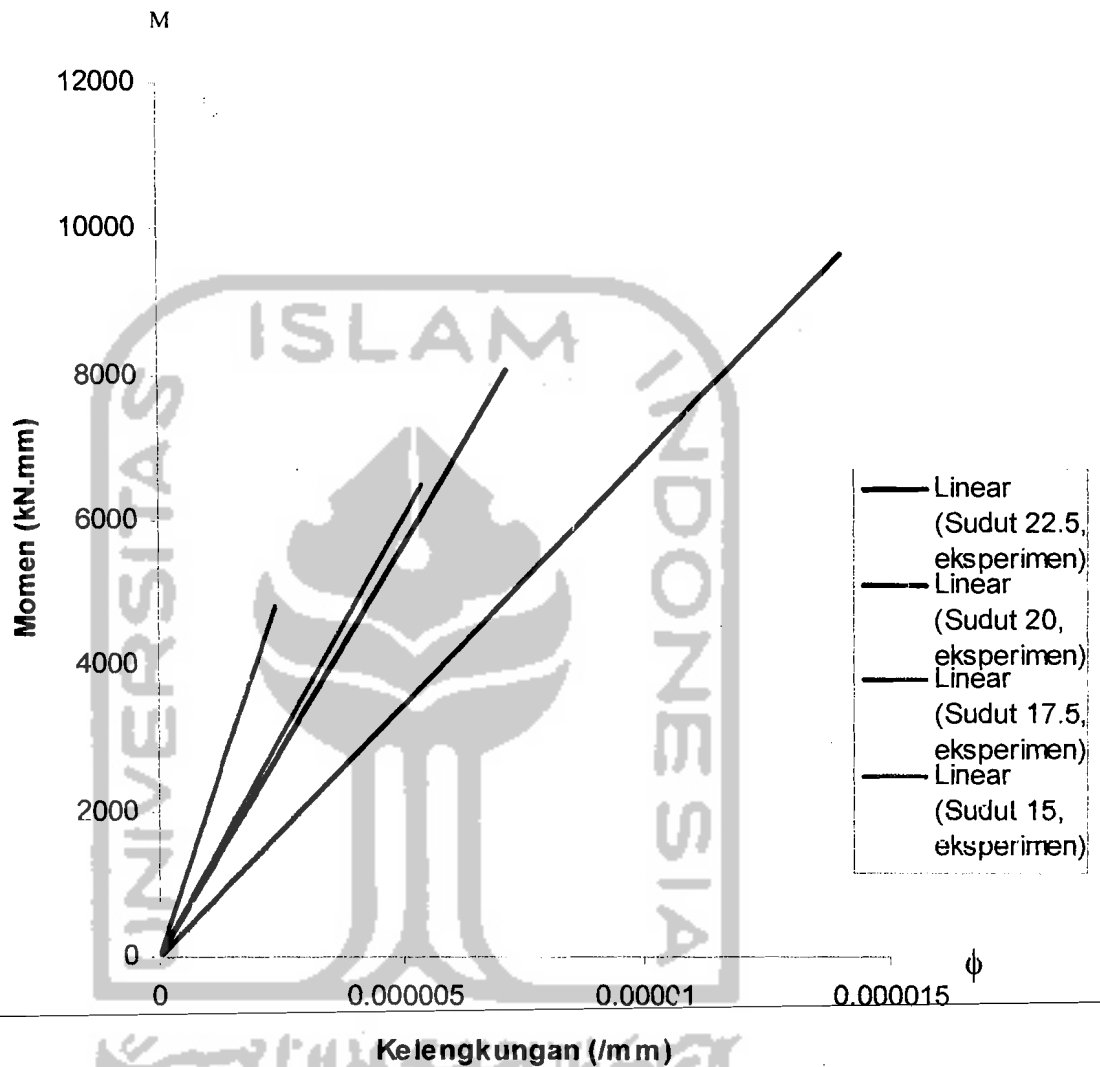
#### 5.4.2 Pengaruh Sudut Miring Atap Rangka Batang Tepi Sejajar Terhadap Momen - Kelengkungan Hasil Eksperimen

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

Hubungan momen – kelengkungan keempat rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap 15°, 17,5°, 20°, dan 22,5° ditunjukkan pada Gambar 5.28.



**Gambar 5. 28** Grafik hubungan momen - kelengkungan keempat benda uji sampai beban maksimum



**Gambar 5.29** Regresi Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji sampai momen maksimum

Pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap  $15^\circ$  memiliki kelengkungan yang lebih kecil dibandingkan dengan kelengkungan rangka sudut  $17,5^\circ$ ,  $20^\circ$ , dan  $22,5^\circ$ . Sehingga semakin besar kelengkungan yang terjadi maka semakin kecil faktor kekakuan dapat

dilihat pada lampiran 2. Untuk mencari faktor kekakuan rangka dapat dicari dengan persamaan menggunakan persamaan (3.70). Dari persamaan tersebut diperoleh faktor kekakuan seperti pada Tabel 5.7. Dengan anggapan bahwa faktor kekakuan pada rangka sudut 15° sama dengan 1, maka rasio faktor kekakuan ketiga benda uji lainnya terhadap rangka sudut 15° seperti pada Tabel 5.6 dibawah ini.

**Tabel 5.7** Rasio faktor kekakuan hasil eksperimen

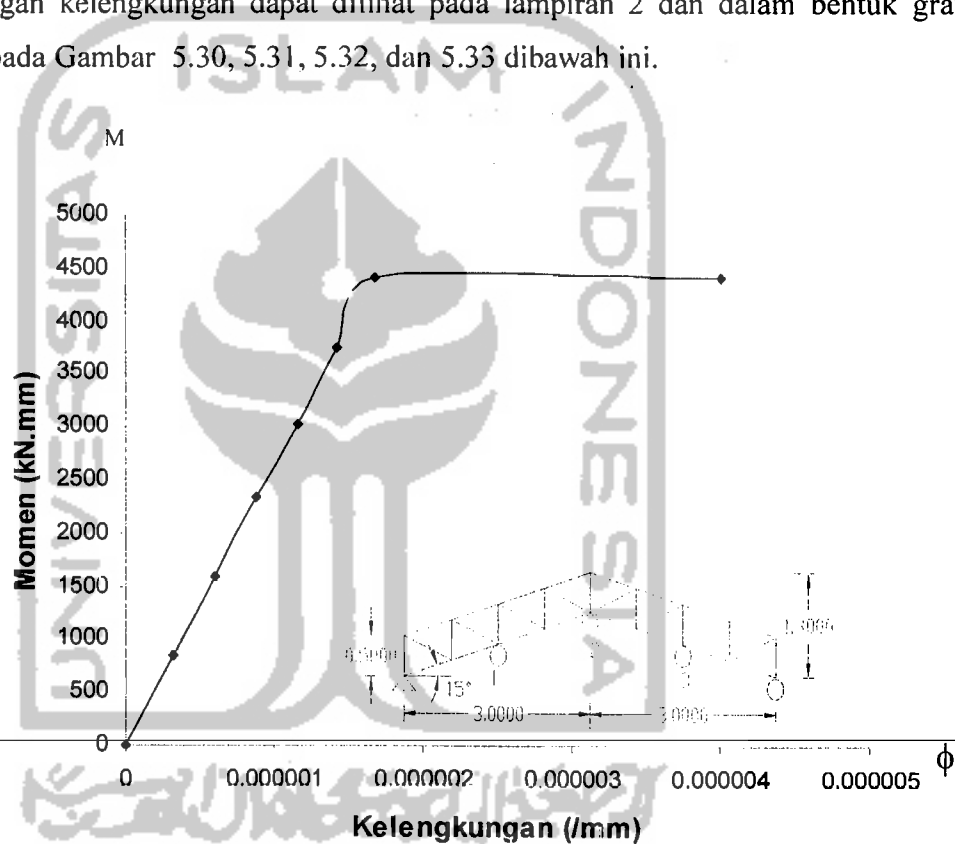
Sudut rangka batang tepi sejajar	Momen maksimum (kN.mm)	$\phi$ (/mm)	Faktor kekakuan (kN.mm <sup>2</sup> )	Rasio faktor kekakuan
15°	4410	0,0000024	1837500000	1
17,5°	5130	0,0000054	950000000	0,517
20°	6480	0,0000071	912676056,3	0,497
22,5°	7695	0,0000140	549642857,1	0,299

Dari Tabel 5.7 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap 15° mempunyai faktor kekakuan 1,934 kali lebih besar dibanding rangka sudut 17,5°, 2,013 kali lebih besar dari faktor kekakuan rangka sudut 20° dan mempunyai faktor kekakuan 3,343 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 22,5°. Rangka dengan sudut miring atap 15° memiliki faktor kekakuan paling besar dibanding sampel rangka dengan sudut lain, hal itu dimungkinkan karena faktor kekakuan ( $EI$ ) berbanding terbalik dengan panjang bentang ( $L$ ), sehingga rangka dengan sudut miring atap 15° yang memiliki bentang efektif ( $L_e$ ) paling pendek dibanding sampel rangka lainnya mempunyai faktor kekakuan paling besar.

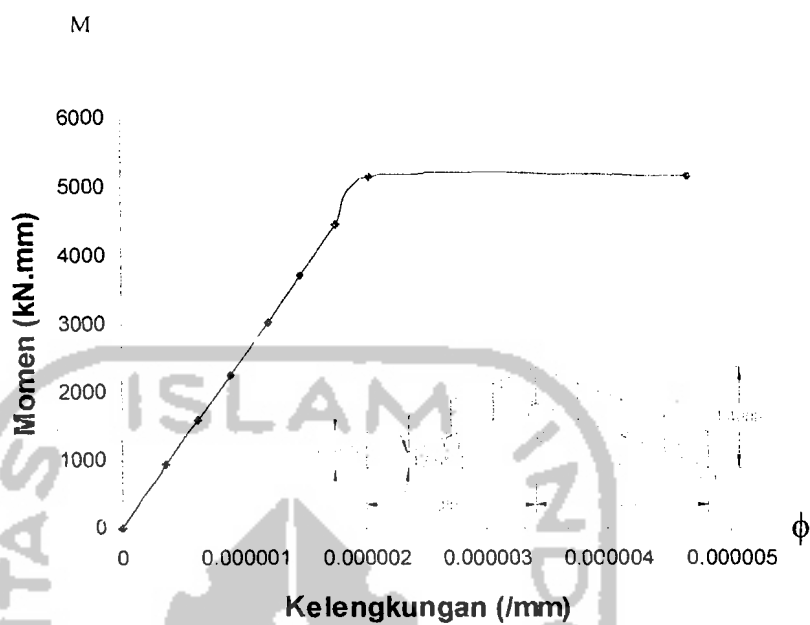


### 5.4.3 Hubungan Momen – Kelengkungan Hasil Analisis SAP 2000

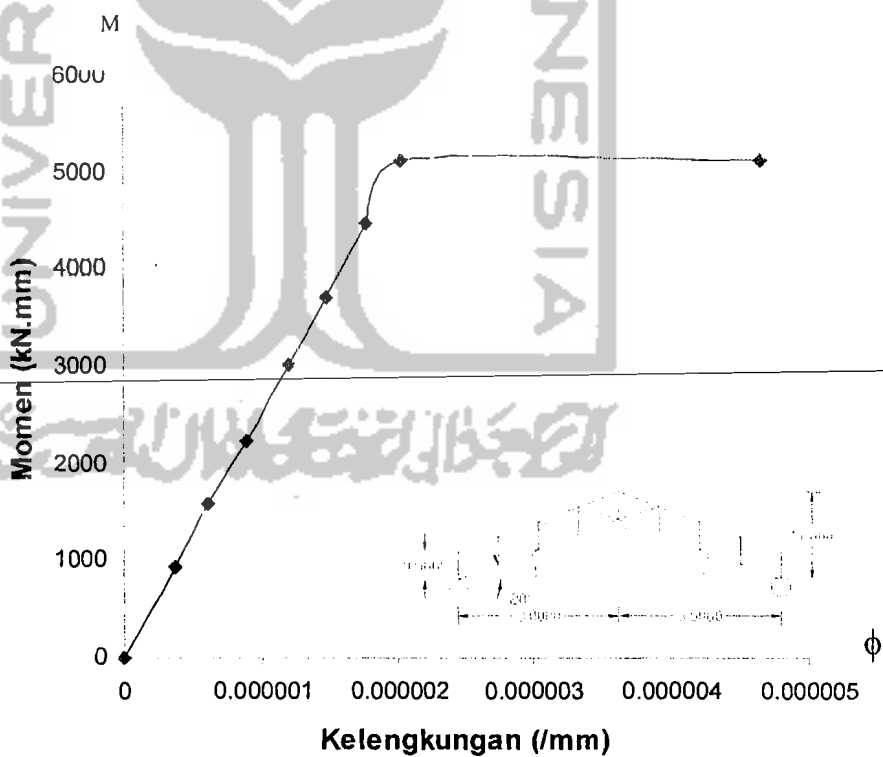
Dari hasil penelitian didapatkan data beban – lendutan ( $P - \Delta$ ), sehingga dapat dicari momen – kelengkungan ( $M - \phi$ ), untuk mencari kelengkungan dari rangka batang tepi sejajar dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.61) Hasil perhitungan kelengkungan dapat dilihat pada lampiran 2 dan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 5.30, 5.31, 5.32, dan 5.33 dibawah ini.



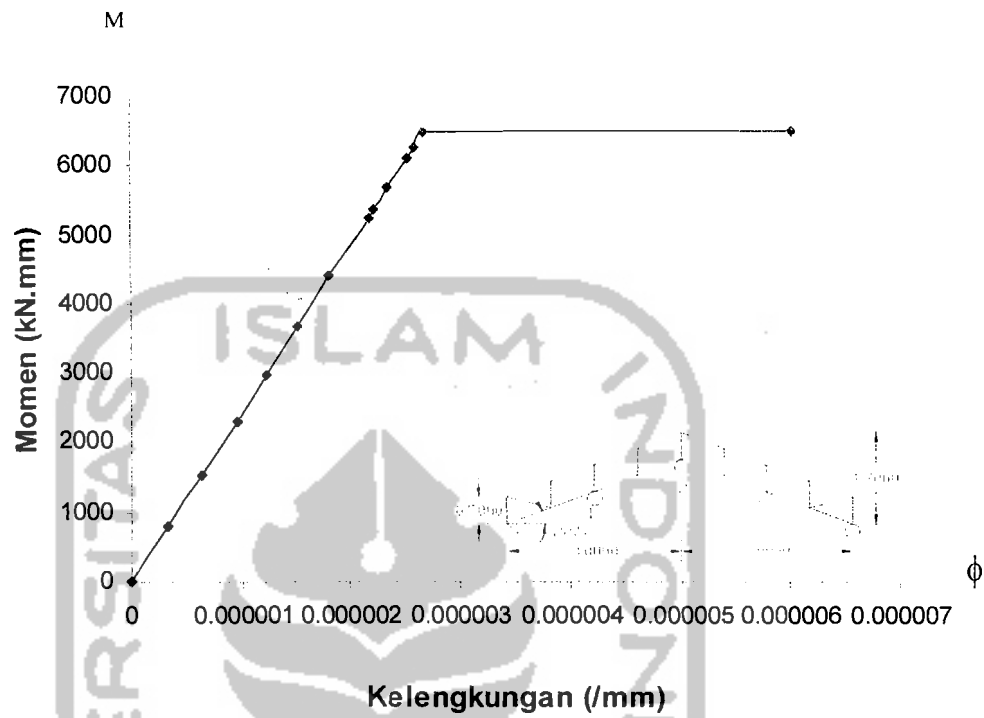
Gambar 5.30 Grafik hubungan momen -kelengkungan benda uji 1 analisis SAP 2000



Gambar 5.31 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 2 analisis SAP 2000



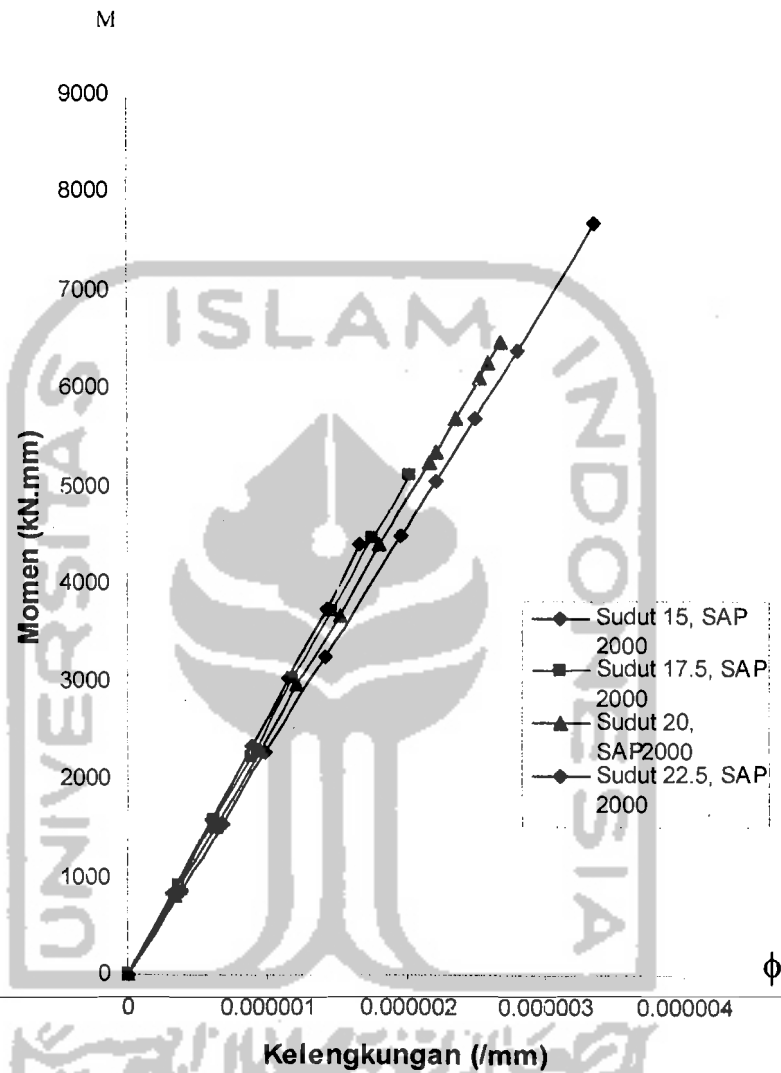
Gambar 5.32 Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 3 analisis SAP 2000



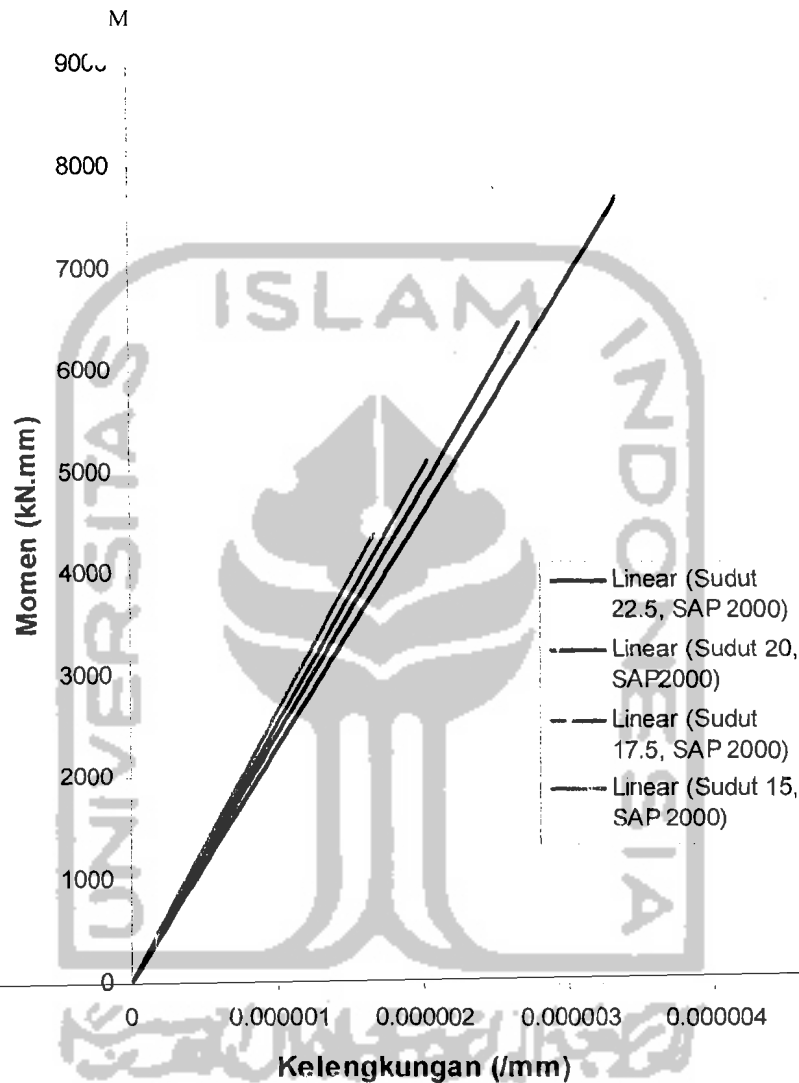
**Gambar 5.33** Grafik hubungan momen-kelengkungan benda uji 4 analisis SAP 2000

#### **5.4.4 Analisis Faktor Kekakuan Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Variasi Sudut Kemiringan Atap Hasil analisis SAP 2000**

Hubungan momen - kelengkungan hasil analisis SAP 2000 keempat rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hingga beban maksimum, ditunjukkan pada Gambar 5.34 dibawah ini.



Gambar 5. 34 Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji hasil analisis SAP 2000



**Gambar 5.35** Regresi grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji hasil analisis SAP 2000

Pada Gambar 5.34 dan Gambar 5.35 terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap  $15^\circ$  memiliki kelengkungan yang lebih kecil dibanding dengan rangka dengan sudut  $17,5^\circ$ ,  $20^\circ$  dan  $22,5^\circ$ . Sehingga semakin besar kelengkungan yang terjadi maka semakin kecil faktor kekakuan dapat dilihat pada

lampiran 2. Untuk mencari faktor kekakuan rangka dapat dicari dengan persamaan (3.61). Dari persamaan tersebut diperoleh faktor kekakuan seperti pada Tabel 5.8. Dengan anggapan bahwa faktor kekakuan rangka sudut  $15^\circ$  sama dengan 1, maka rasio faktor kekakuan ketiga benda uji lainnya terhadap rangka sudut  $15^\circ$  seperti pada Tabel 5.8 dibawah ini.

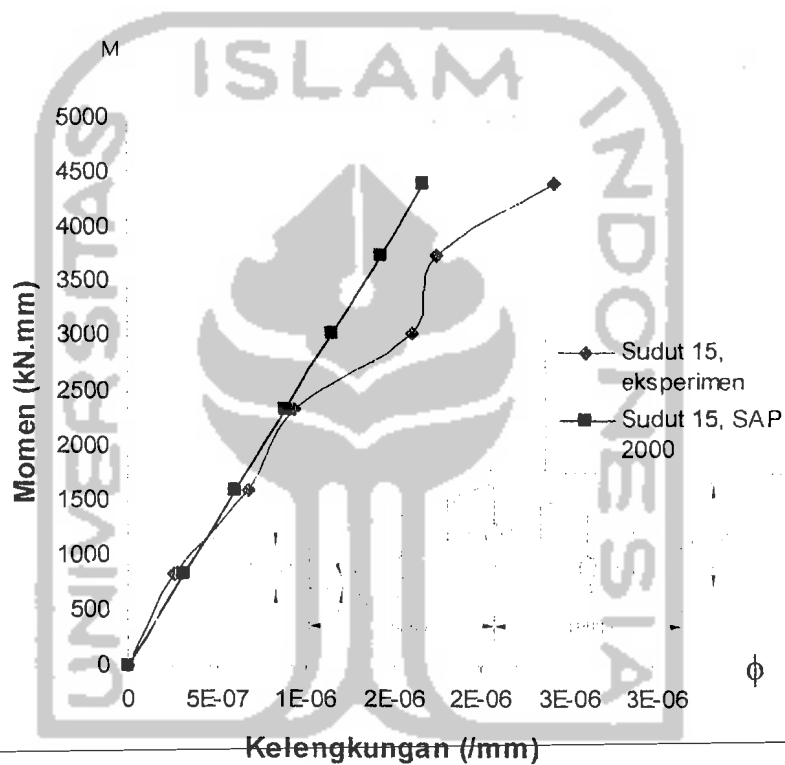
**Tabel 5.8** Rasio faktor kekakuan hasil analisis SAP 2000

Sudut rangka batang tepi sejajar	Momen Maks (kN.m)	$\phi$ (/mm)	Faktor kekakuan (kN.mm <sup>2</sup> )	Rasio faktor kekakuan
$15^\circ$	4110	0,0000017	2504117647	1
$17,5^\circ$	5130	0,0000020	2565000000	0,989
$20^\circ$	6480	0,0000027	2400000000	0,975
$22,5^\circ$	7695	0,0000034	2263235294	0,872

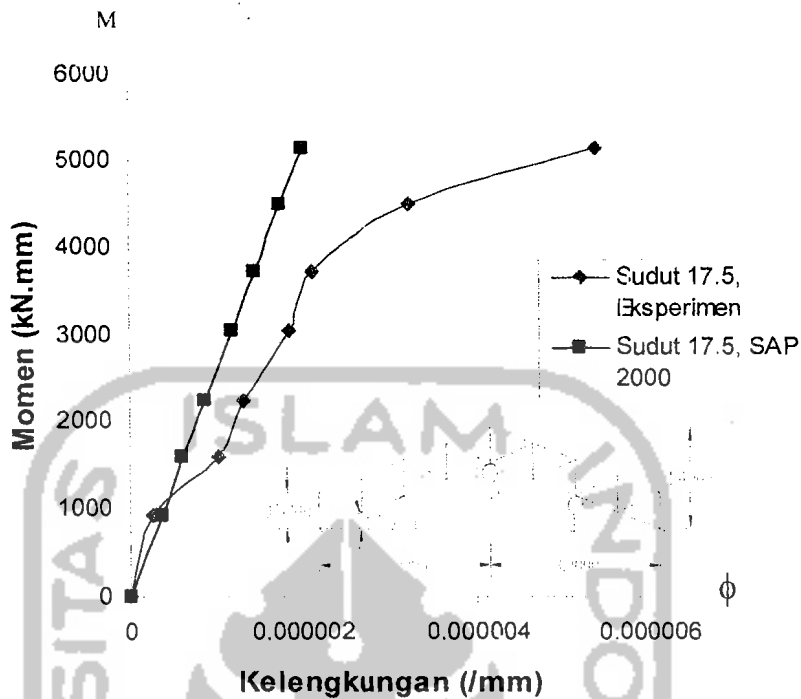
Dari Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan sudut miring atap  $15^\circ$  mempunyai faktor kekakuan 1,011 kali lebih besar dibanding rangka sudut  $17,5^\circ$ , 1,081 kali lebih besar dari faktor kekakuan rangka sudut  $20^\circ$  dan mempunyai faktor kekakuan 1,146 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap  $22,5^\circ$ . Rangka dengan sudut miring atap  $15^\circ$  memiliki faktor kekakuan paling besar dibanding sampel rangka dengan sudut lain, hal itu dimungkinkan karena rangka sudut  $15^\circ$  memiliki lentang efektif ( $I_e$ ) paling pendek dibanding sampel rangka lainnya.

#### 5.4.5 Grafik Momen – Kelengkungan Hasil Eksperimen Dan Analisa SAP 2000

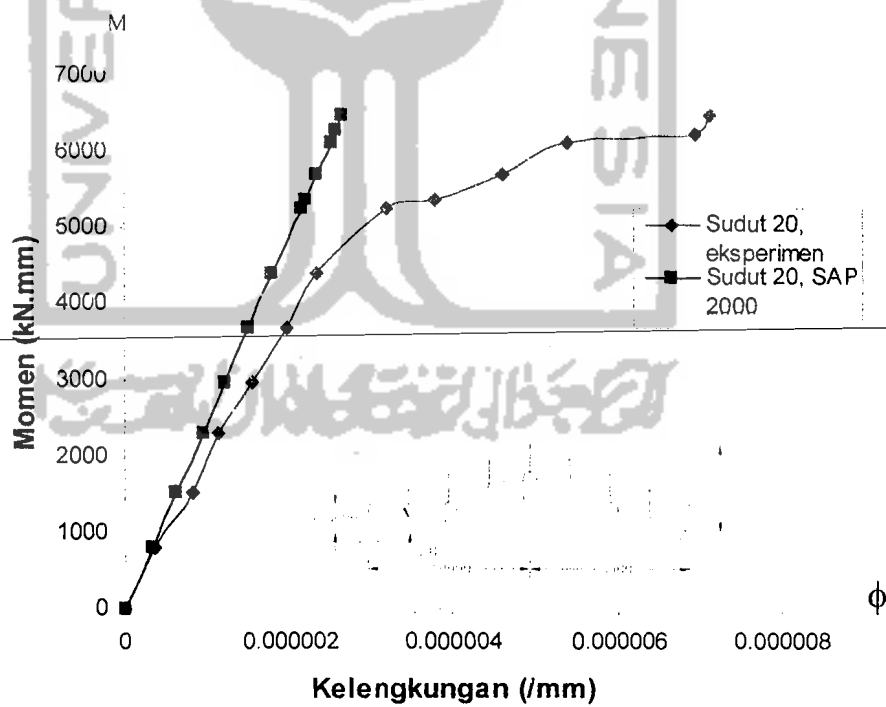
Dari gabungan grafik hasil eksperimen dan analisis menggunakan SAP 2000 didapat hubungan momen - kelengkungan seperti pada Gambar 5.36, 5.37, 5.38, dan 5.39 dibawah ini.



**Gambar 5.36** Hubungan momen – kelengkungan sudut miring atap 15° hasil eksperimen dan analisis SAP 2000

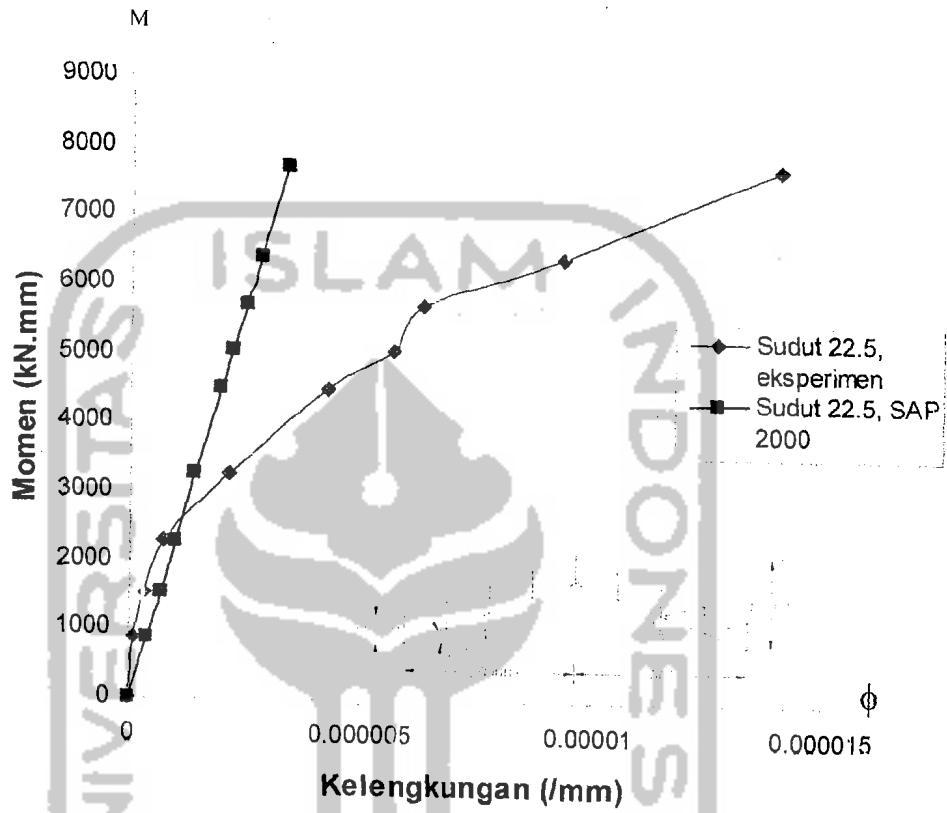


Gambar 5.37 Hubungan momen – kelengkungan sudut miring atap 17,5° hasil pengujian dan analisis SAP 2000



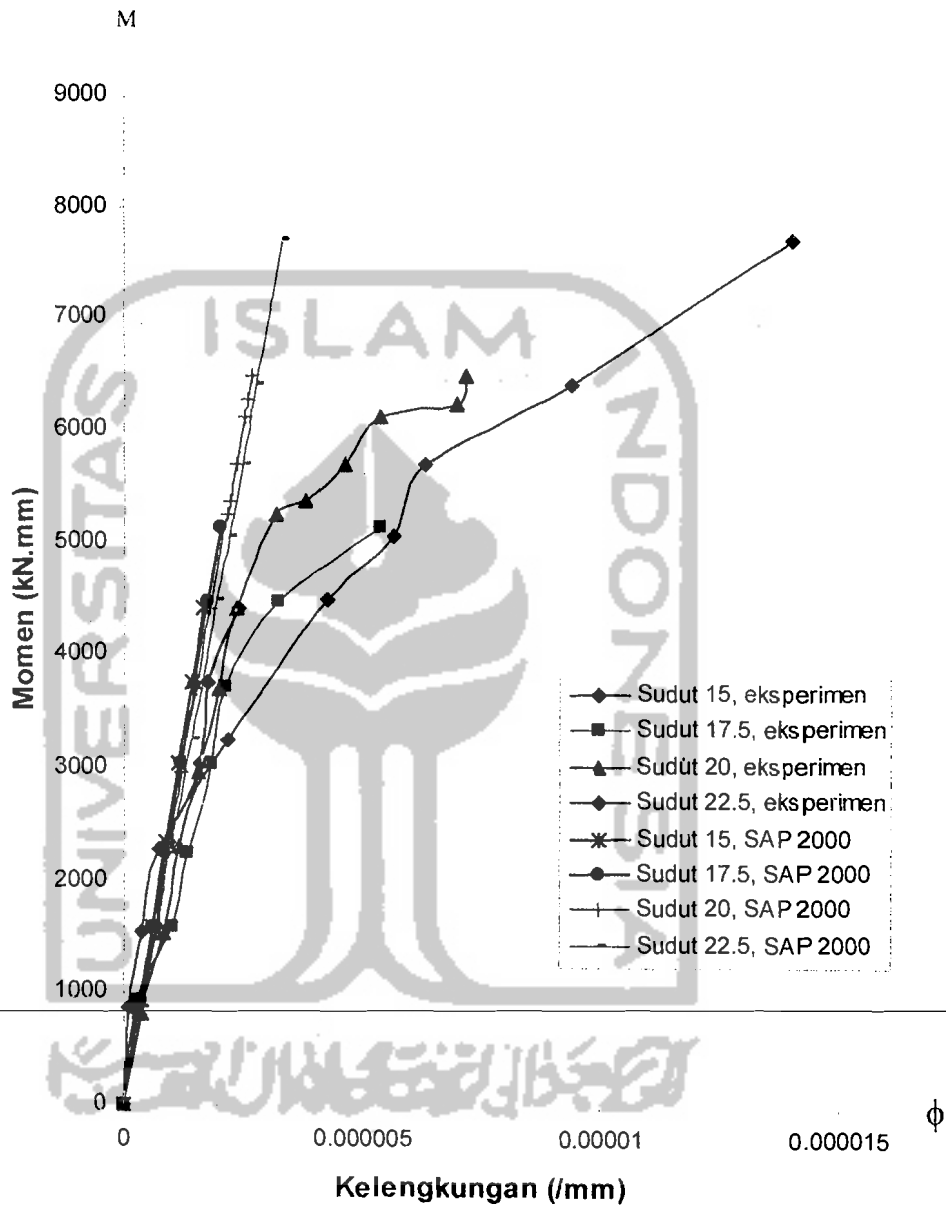
Gambar 5.38 Hubungan momen – kelengkungan sudut miring atap 20° hasil pengujian dan analisis SAP 2000



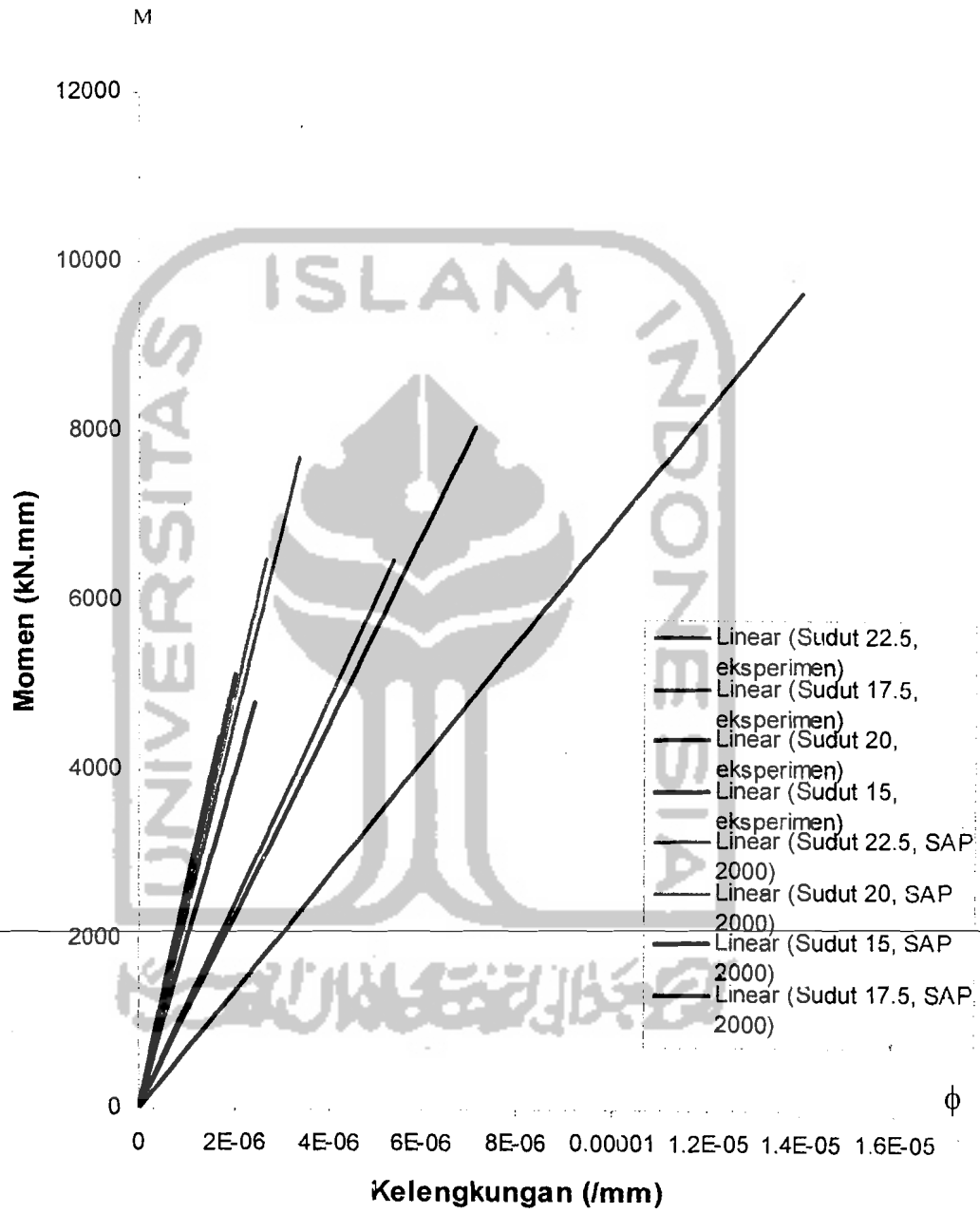


Gambar 5.39 Hubungan momen – kelengkungan sudut miring atap 22,5° hasil pengujian dan analisis SAP 2000

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Gambar 5.40 Hubungan momen – kelengkungan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000



**Gambar 5.41** Regresi Hubungan momen – kelengkungan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000

Tabel 5.9 Perbandingan hasil eksperimen dengan analisis SAP 2000

Sudut rangka batang tepi sejajar	Beban maksimum (kN)	Pengujian		Analisis menggunakan SAP	
		Faktor kekakuan (kN.mm <sup>2</sup> )	Rasio faktor kekakuan	Faktor kekakuan (kN.mm <sup>2</sup> )	Rasio faktor kekakuan
15°	2,940	1837500000	1	2594117647	1
17,5°	3,420	950000000	0,517	2565000000	0,989
20°	4,320	912676056,3	0,497	2400000000	0,925
22,5°	5,130	549642857,1	0,299	2263235294	0,872

Pada Tabel 5.9 terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap hasil eksperimen mempunyai faktor kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan analisis menggunakan SAP 2000. Hal itu dimungkinkan karena pada analisis menggunakan SAP tidak mengakomodasi adanya peristiwa tekuk lokal.

Pada analisis menggunakan SAP 2000 untuk rangka sudut 15° mempunyai faktor kekakuan 1,412 kali lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut 15° hasil eksperimen, rangka sudut 17,5° mempunyai faktor kekakuan 2,7 kali lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut 17,5° hasil eksperimen, rangka sudut 20° hasil analisis SAP 2000 mempunyai faktor kekakuan 2,629 kali lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut 20° hasil eksperimen, sedangkan untuk rangka sudut 22,5° hasil analisis SAP 2000 mempunyai faktor kekakuan 4,118 kali lebih besar dibandingkan dengan rangka sudut 22,5° hasil eksperimen.

## 5.5 TINJAUAN ANALITIS

Uji lentur rangka batang tepi sejajar yang dilakukan di laboratorium menghasilkan beban maksimum yang dapat dipikul oleh rangka. Beban maksimum ( $P_{\text{eksperimen}}$ ) hasil eksperimen kemudian digunakan untuk memperoleh gaya aksial terbesar pada komponen tekan ( $P_{cr}$ ) dengan menggunakan SAP 2000 seperti terdapat pada Lampiran 3.

### 5.5.1 Nilai Koefisien Tekuk

#### a. Koefisien Tekuk Pelat Hasil Uji Pendahuluan

Berdasarkan uji desak tiga benda uji profil *lipped channel* 60×22×8 tebal 1,2 mm, dengan tinggi masing-masing sampel 300 mm didapat nilai  $F_{cr}$  rata-rata = 89,931 Mpa. Nilai koefisien tekuk pelat untuk batang tekan ini dapat dicari menggunakan Persamaan (3.28) yang ditulis kembali di bawah ini. Hasil perhitungan seperti pada Lampiran 6 dan tabel 5.10.

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) (b/t)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

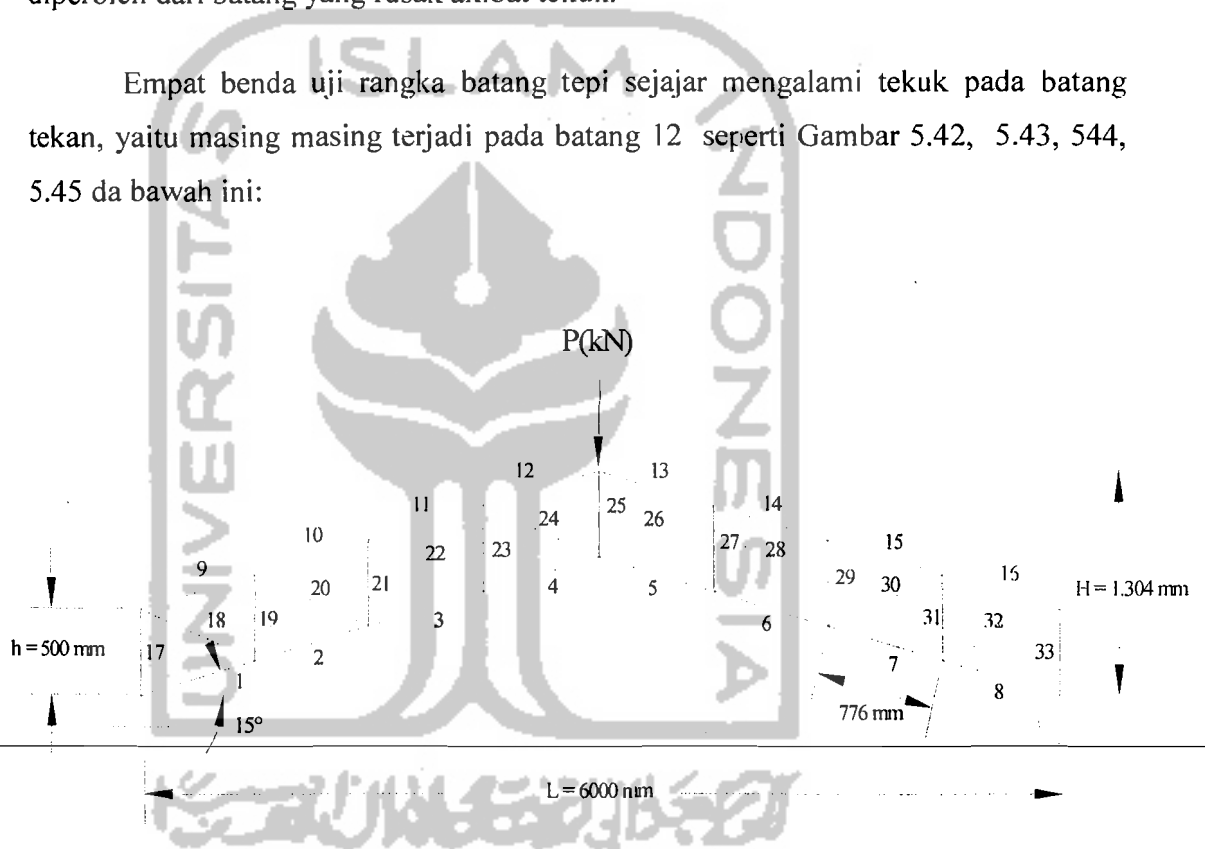
Tabel 5. 10 Koefisien tekuk pelat uji desak profil

Benda uji	$F_{cr}$ (MPa)	$\pi$	A (mm)	b/t	$\mu$	Koefesien Tekuk pelat (k)
Uji desak	89,931	3,14	144	18,333	0,3	0,167

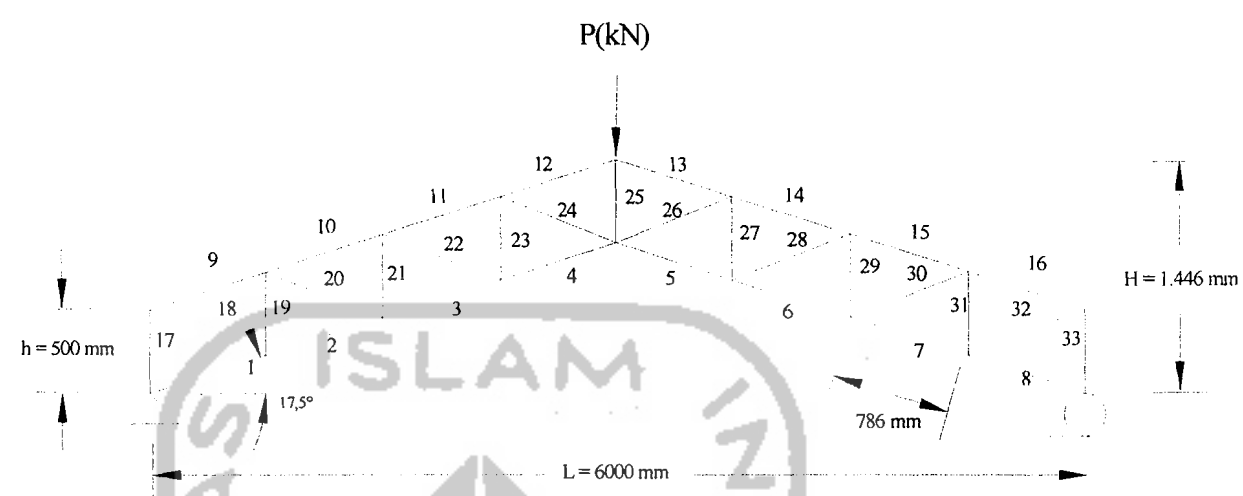
### b. Analisis Numerik

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 pelat ( $k$ ) menggunakan Persamaan (3.28). Koefisien tekuk pelat ( $k$ ) hanya dapat diperoleh dari batang yang rusak akibat tekuk.

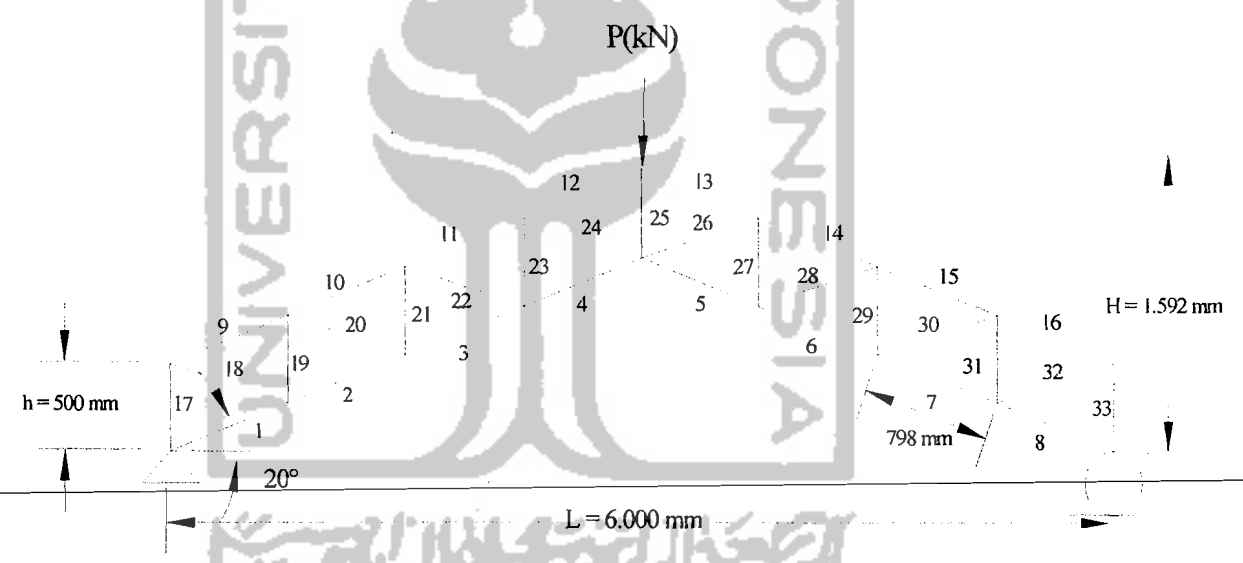
Empat benda uji rangka batang tepi sejajar mengalami tekuk pada batang tekan, yaitu masing masing terjadi pada batang 12 seperti Gambar 5.42, 5.43, 5.44, 5.45 da bawah ini:



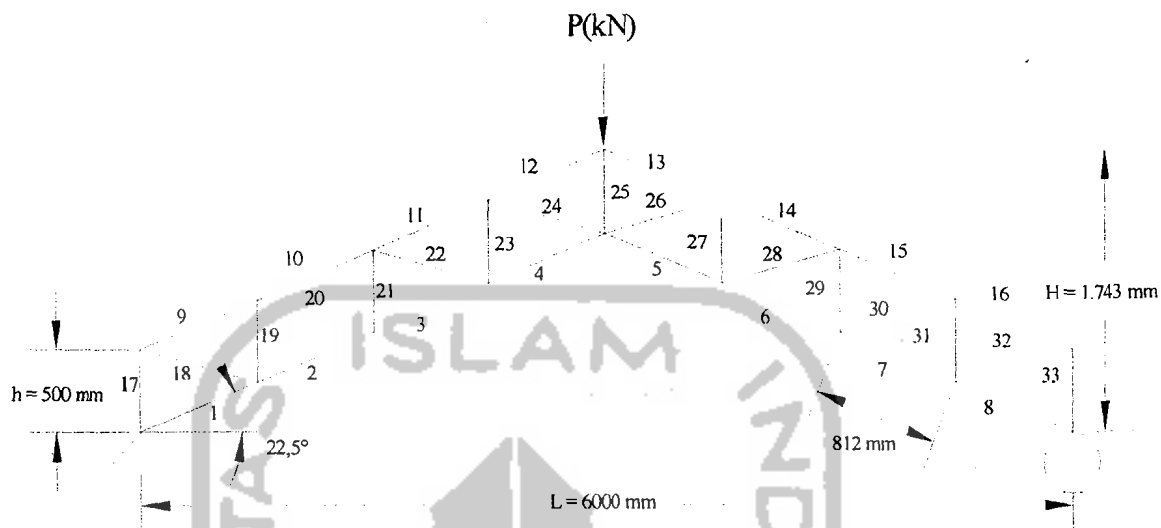
Gambar 5.42 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut  $15^\circ$



Gambar 5.43 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut  $17,5^\circ$



Gambar 5.44 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut  $20^\circ$



Gambar 5.45 Notasi elemen batang rangka batang tepi sejajar sudut  $22,5^\circ$ .

Pada keempat model benda uji, tekuk yang terjadi adalah *local buckling*. Nilai koefisien tekuk untuk empat benda uji ditunjukkan pada Tabel 5.11 di bawah ini.

Tabel 5.11 Koefisien tekuk plat ( $k$ ) tiap benda uji

Benda uji	Batang	$P_{cr}$ (kN)	$\pi$	A (mm)	$F_{cr}$ (MPa)	b/t	$\mu$	Koefisien tekuk (k)
1	12	8,926	3,14	144	61,986	18,333	0,3	0,115
2	12	10,506	3,14	144	72,958	18,333	0,3	0,136
3	12	13,462	3,14	144	93,486	18,333	0,3	0,174
4	12	16,240	3,14	144	112,778	18,333	0,3	0,209

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



## 5.6 PEMBAHASAN

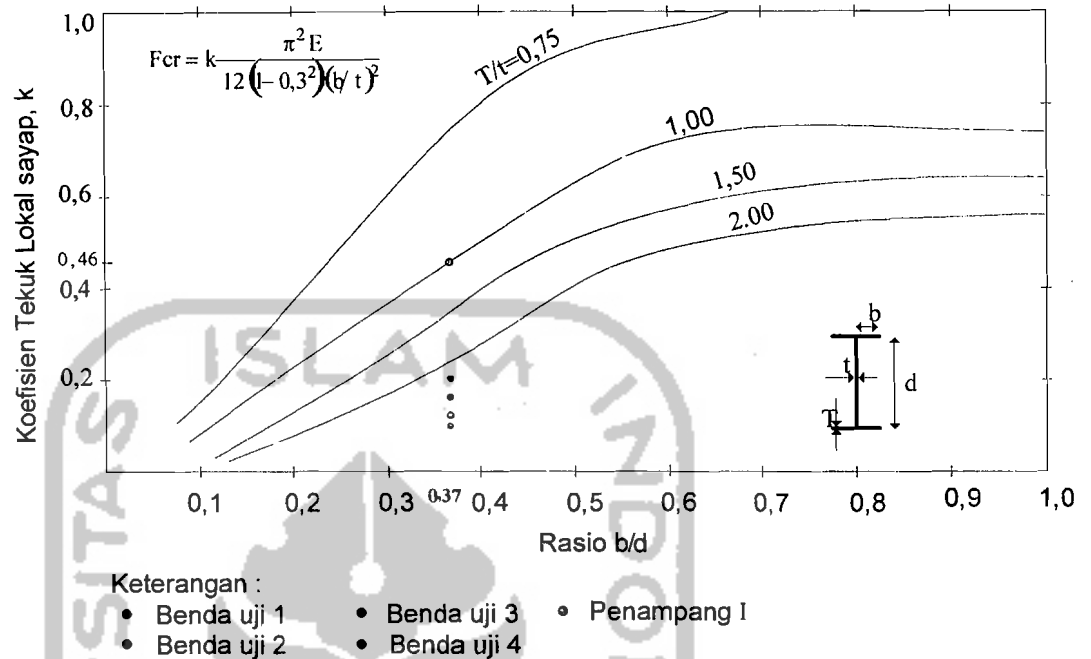
Dari penelitian uji lentur rangka batang tepi sejajar dengan variasi sudut miring atap didapatkan hubungan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ), yang menghasilkan nilai kekakuan. Berdasarkan grafik hubungan beban - lendutan, dapat diketahui kekakuan dan kekuatan setiap struktur rangka batang. Hal ini dapat diketahui berdasarkan Gambar 5.8 dan Tabel 5.4, beban maksimal yang dapat dipikul rangka batang berkisar antar 2,9 kN sampai 5,13 kN, sedangkan lendutan yang terjadi berkisar antara 8,55 mm sampai 25,2 mm. 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 ( $F_y$ ) yang relatif kecil yaitu 103,944 Mpa.

Dalam penelitian ini berdasarkan Gambar 5.8 dan Tabel 5.4 dapat disimpulkan bahwa, dari keempat model benda uji dapat dilihat bahwa semakin besar sudut miring atap maka beban maksimum yang dapat ditahan rangka sebelum terjadinya tekuk semakin besar. Hal itu dimungkinkan karena pengaruh langsung sudut miring atap terhadap tinggi rangka batang tepi sejajar, jadi bertambah besarnya sudut miring atap akan mengakibatkan meningkatnya kekuatan rangka. Besar lendutan bertambah pada setiap kenaikan sudut miring atap, hal ini dimungkinkan karena pengaruh sudut miring atap terhadap panjang bentang efektif rangka ( $L_1$ ). Semakin besar sudut miring atap akan berakibat bertambah panjangnya batang sisi sejajar rangka sehingga bentang efektif rangka juga bertambah panjang. Bertambah panjangnya bentang efektif pada setiap kenaikan sudut miring atap berakibat semakin besarnya lendutan dan menurunnya faktor kekakuan rangka.

Rangka batang hasil analisis menggunakan SAP 2000 memiliki nilai kekakuan yang lebih besar dari rangka batang hasil penelitian, hal ini disebabkan pada analisis SAP 2000 tidak mengakomodasi adanya peristiwa tekuk lokal, maka pada analisis SAP rangka batang cenderung memiliki kekakuan yang lebih besar.

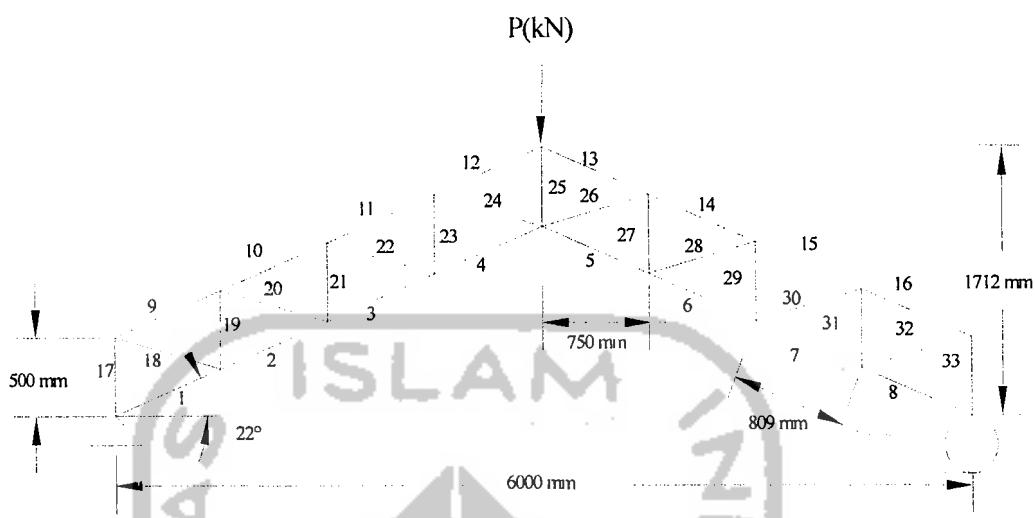
Rangka batang tepi sejajar mengalami tekuk lokal pada batang tepi atas yang mengalami beban paling besar. Nilai koefisien tekuk elemen penampang didapat berdasarkan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) batang yang mengalami tekuk. Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) profil dicari berdasarkan beban maksimum yang dapat dipikul oleh rangka pada pengujian lentur rangka. Kerusakan yang dialami oleh rangka pada pengujian dan pada analisis SAP terletak pada tempat yang sama yaitu pada batang tepi atas yang mengalami beban paling besar yakni batang pada bagian puncak rangka.

Dari Tabel 5.11 terlihat bahwa koefisien tekuk pelat berdasarkan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) hasil uji lentur didapat nilai yang relatif kecil, yaitu untuk sudut miring atap  $15^\circ$  mempunyai  $k = 0,115$ , sudut miring atap  $17,5^\circ$  mempunyai  $k = 0,136$ , sudut miring atap  $20^\circ$  mempunyai  $k = 0,174$ , sedangkan untuk sudut miring atap  $22,5^\circ$  memiliki  $k = 209$ . Berdasarkan rasio lebar sayap terhadap tinggi badan profil benda uji ( $b/h = 0,37$ ), 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 dan rasio tebal plat sayap terhadap badan ( $T/t$ ) = 1 seperti dikemukakan oleh *Trahair* dan *Bradford (1988)* pada Gambar 5.46 yaitu  $k = 0,46$ , begitu juga dengan koefisien tekuk untuk pelat pada Gambar 3.11 memiliki nilai koefisien tekuk pelat minimal,  $k = 0,425$  maupun nilai koefisien tekuk menurut *Schafer (1997)*, yaitu  $k = 0,72$ .

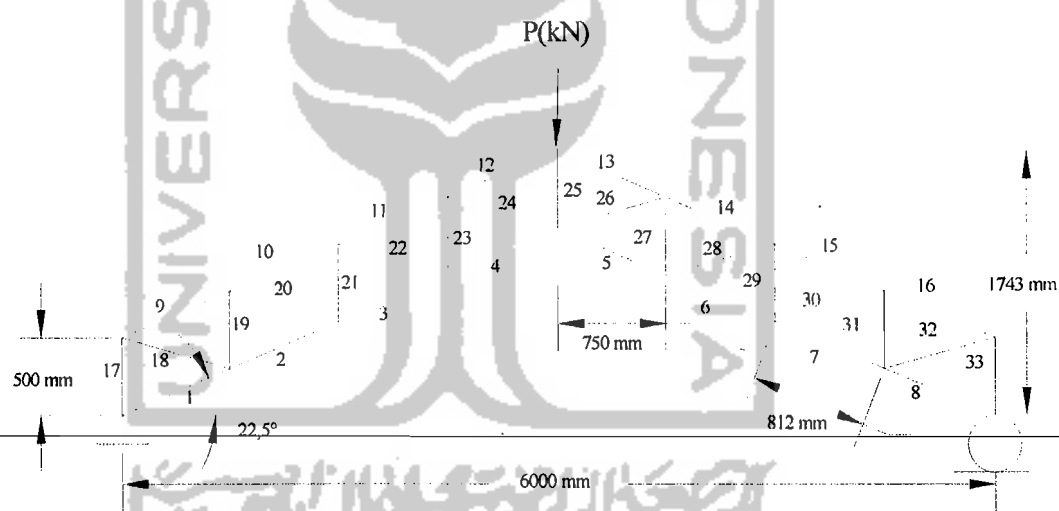


**Gambar 5.46** Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi tekan. (Trahair dan Bradford 1988)

Pada pembahasan ini juga dibandingkan kekakuan, kekuatan dan koefisien tekuk ( $k$ ) benda uji ke-4 yaitu rangka dengan sudut miring atap  $22,5^\circ$  benda uji pada penelitian "Perilaku Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Variasi Tinggi Terhadap Bentang" dan rangka dengan sudut miring atap yang hampir sama yaitu sudut  $22^\circ$  seperti pada penelitian "Perilaku Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Variasi Jarak Batang Vertikal" seperti Gambar 5.47 dan Gambar 5.48. Beban maksimal yang dapat dipikul rangka serta lendutan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.12.



Gambar 5. 47 Rangka batang tepi sejajar sudut 22°



Gambar 5. 48 Rangka batang tepi sejajar sudut 22,5°

**Tabel 5.12** Rasio Kekakuan dan kekuatan rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal 0,125 pada rangka sudut 22° dan rangka sudut 22,5°

Sudut ( $\alpha^\circ$ )	Rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang pengisi vertikal 0,125				
	Beban maks (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
22	3,66	10,020	0,370	1	1
22,5	5,13	25,200	0,209	0,565	1,402

Terlihat pada Tabel 5.12 bahwa pada rangka batang tepi sejajar pada sudut miring atap 22° memiliki kekakuan 1,77 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 22,5°. Tetapi pada rangka dengan sudut 22,5° memiliki kekuatan 1,402 kali lebih besar dari rangka dengan sudut miring atap 22°. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak batang pengisi vertikal yang sama dengan sudut miring atap yang semakin besar memiliki kekakuan yang lebih kecil dibanding dengan sudut miring atap yang lebih kecil. Hal ini dapat dikarenakan pada sudut miring atap yang lebih kecil memiliki panjang efektif ( $L_1$ ) batang tekan yang lebih pendek sehingga lendutan yang terjadi kecil maka struktur cenderung lebih kaku. Sudut miring atap yang besar memiliki kekuatan yang lebih besar dibanding rangka dengan sudut yang lebih kecil, sehingga beban maksimum yang dapat ditahan rangka sebelum terjadinya tekuk semakin besar, hal ini dapat dimungkinkan karena pada rangka dengan sudut miring atap kecil memiliki tinggi rangka yang relatif pendek.

Rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang pengisi vertikal 0,125 pada rangka sudut 22° dan sudut 22,5° mengalami tekuk lokal pada batang tepi atas yaitu batang tekan yang mengalami beban terbesar.

Tabel 5.13 Koefisien tekuk plat ( $k$ ) tiap benda uji pada  $\alpha = 22^\circ$  dan  $\alpha = 22,5^\circ$

Benda uji Sudut ( $\alpha^\circ$ )	Batang	P (kN)	$\pi$	A (mm)	F <sub>cr</sub> (MPa)	b/t	$\mu$	Koefisien tekuk plat ( $k$ )
22	12	11,543	3,14	144	80,201	18,333	0,3	0,149
22,5	12	16,240	3,14	144	112,778	18,333	0,3	0,209

Terlihat pada Tabel 5.13 bahwa koefisien tekuk plat ( $k$ ) relatif kecil, koefisien tekuk plat ( $k$ ) untuk  $\alpha = 22,5^\circ$  lebih besar dari koefisien tekuk plat ( $k$ ) untuk  $\alpha = 22^\circ$ . Hal ini karena tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) batang yang mengalami tekuk untuk  $\alpha = 22,5^\circ$  juga lebih besar dari tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) pada  $\alpha = 22^\circ$ .

Beban tekuk yang terjadi pada rangka relatif kecil, menyebabkan nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pelat menjadi sangat kecil. Hal ini dapat 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. Pada elemen struktur tekan, tegangan residu ini dapat mengakibatkan *pre-mature buckling*.