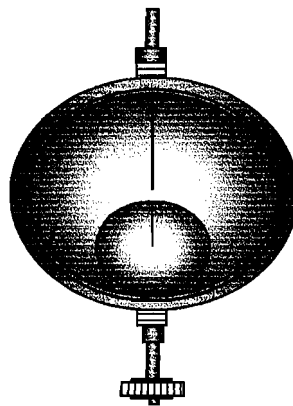


b. *Dial Gauge*

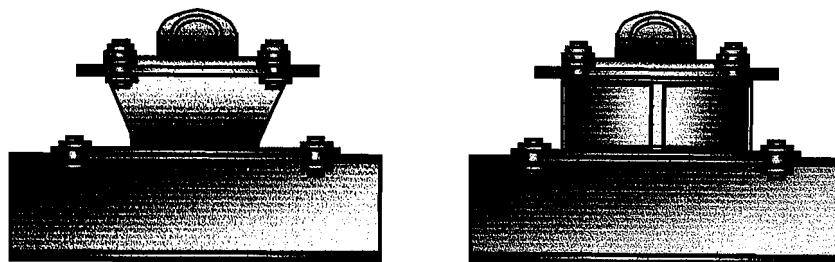
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm. Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak empat buah. Sketsa fisik *Dial Gauge* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Dial Gauge*

c. *Dukungan Sendi dan Rol*

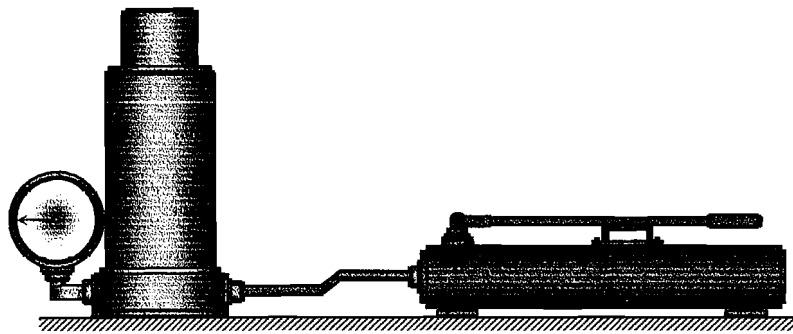
Dukungan sendi dipasang pada salah satu dukungan rangka kuda-kuda dengan batang tepi sejajar dan dukungan rol dipasang pada dukungan lainnya, seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Dukungan sendi dan rol

d. *Hydraulic Jack*

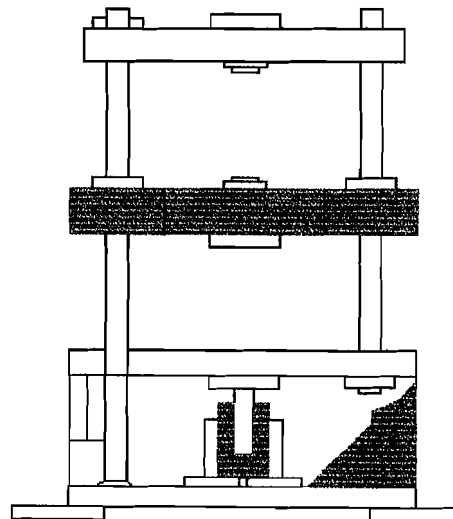
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur rangka kuda-kuda dengan batang tepi sejajar skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton, seperti pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** *Hydraulic jack*

e. *Mesin Uji Kuat Tarik.*

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu *universal testing machine* (UTM) merk Shimitsu type UMH-330 dengan kapasitas 30 ton, seperti Gambar 4.6.

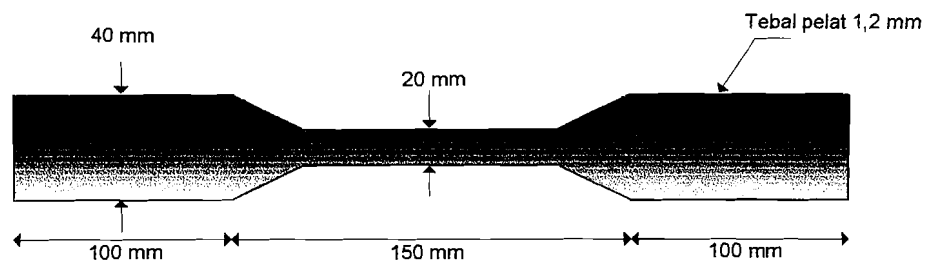


**Gambar 4.6** *Universal Testing Machine Shimitsu UMH 30*

### 4.3. PEMBUATAN BENDA UJI

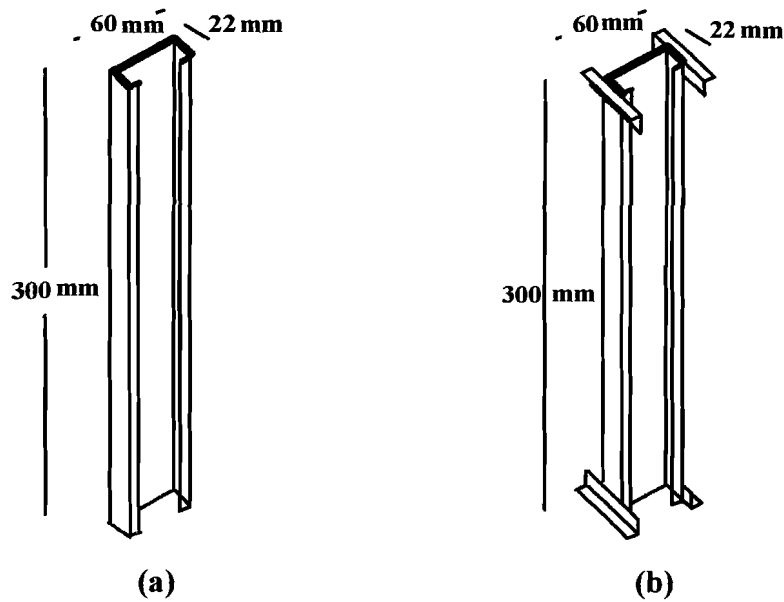
Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian dilakukan pengujian di laboratorium, benda uji tersebut berupa:

- a. Tiga benda uji kuat tarik baja yang diambil dari profil dan dibentuk sesuai dengan benda uji seperti pada Gambar 4.7.



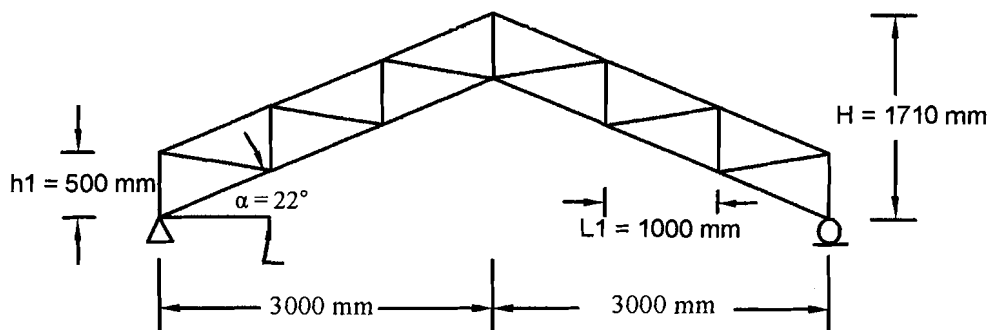
**Gambar 4.7** Benda uji kuat tarik baja

- b. Benda uji kuat desak untuk mengetahui kekuatan tekan bahan diambil dari profil yang diambil dari potongan bahan pembentuk kuda-kuda yaitu profil *Lipped Channel* 60×22×8 tebal 1,2 mm. Pengujian menggunakan dua buah macam benda uji seperti pada Gambar 4.8, yaitu (a) benda uji dengan bagian tepi menggunakan las dan (b) benda uji dengan bagian tepi menggunakan baut. Masing-masing terdiri dari tiga buah benda uji dengan ukuran seperti pada Gambar 4.8.

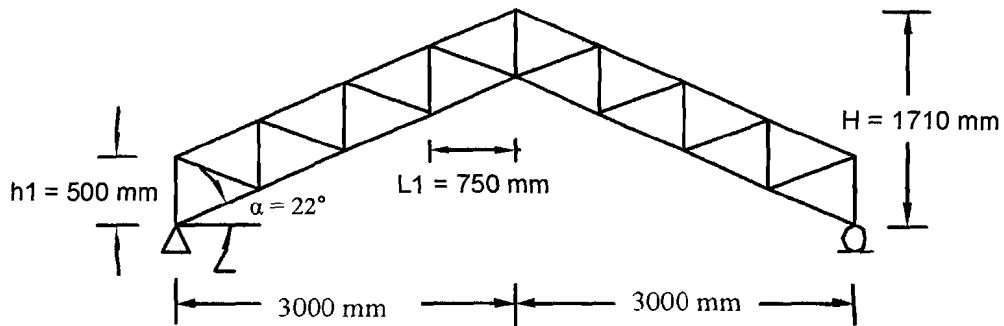


**Gambar 4.8** Benda uji kuat desak profil *Lipped Channel*

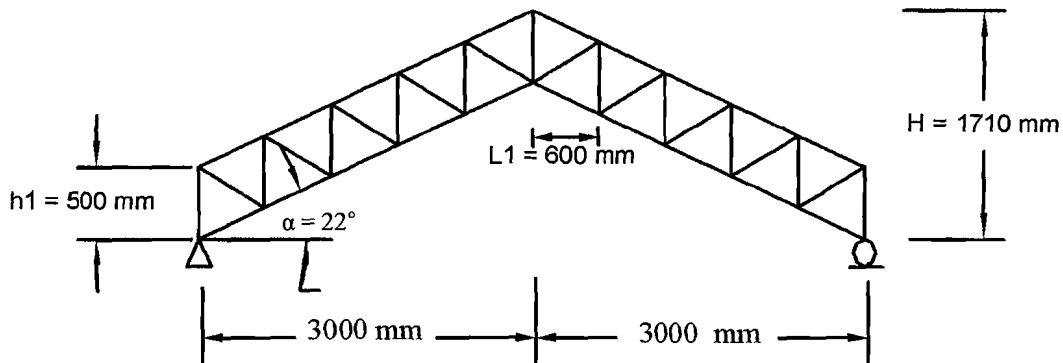
- d. Benda uji kuat lentur kuda-kuda dengan batang tepi sejajar menggunakan baja profil *lipped channel* bentukan dingin dengan variasi jarak batang vertikal dengan ukuran seperti pada Gambar 4.9.



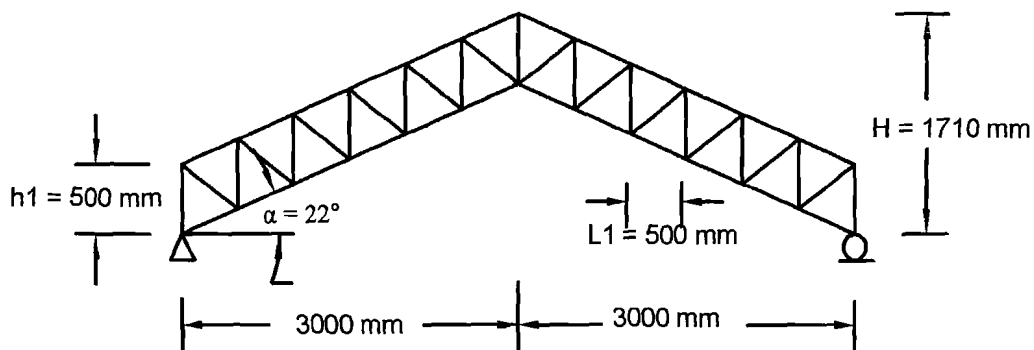
**Gambar 4.9.a** Rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal ( $L_1$ ) 1000mm ( $L_1/L = 0,167$ )



**Gambar 4.9.b** Rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal ( $L_1$ )  $750 \text{ mm}$  ( $L_1/L = 0,125$ )



**Gambar 4.9.c** Rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal ( $L_1$ )  $600 \text{ mm}$  ( $L_1/L = 0,1$ )



**Gambar 4.9.d** Rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal ( $L_1$ )  $500 \text{ mm}$  ( $L_1/L = 0,083$ )

**Gambar 4.9** Benda uji rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ )

#### 4.4 PENGUJIAN SAMPEL

##### 4.4.1 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian ini adalah beban leleh, beban maksimum, dan beban patah. Dalam pengujian ini benda uji yang digunakan sebanyak 3 buah. Dengan tahap pengujian sebagai berikut :

- a. Menentukan ukuran dari benda uji
- b. Benda uji dipasang pada alat ukur kuat tarik baja untuk dilaksanakan pengujian tarik baja
- c. Dari *ekstensometer* dicatat *Multiplication Ratio* kemudian diatur agar jarumnya menunjukkan pada angka nol. Kemudian dipasangkan pada mesin tarik
- d. Mesin dinyalakan, pada saat beban mulai bekerja, *stop watch* dihidupkan, kecepatan mesin  $\pm 419,6$  kg/menit atau 0,001 inchi/menit, dicatat beban leleh , kemudian mesin dihidupkan dan *Strainometer* dilepas
- e. Mesin dijalankan secara kontinue, jika panjangnya bertambah 0,2 cm (dengan jangka) besarnya beban dicatat hingga baja tersebut putus
- f. Setelah baja putus, benda uji dilepas dari *grip*

##### 4.4.2 Pengujian Tekan Baja

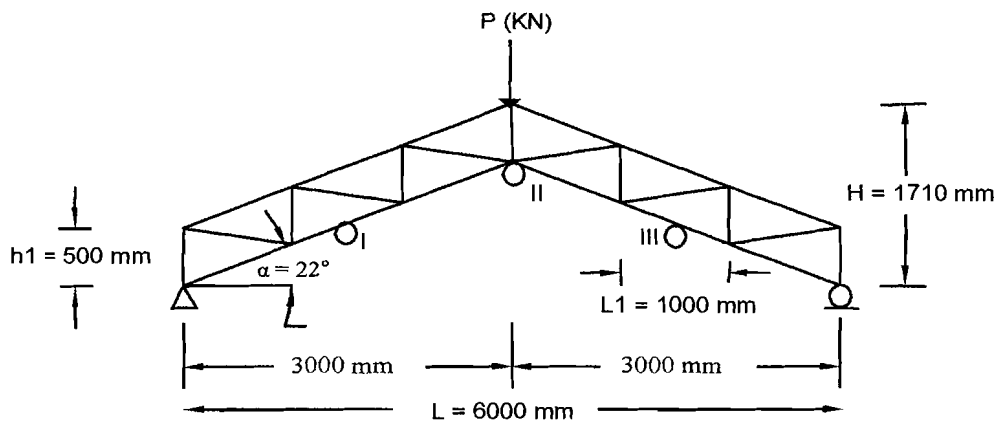
Pengujian kuat tekan baja ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil adalah beban maksimum. Dengan tahap pengujian sebagai berikut :

1. Menentukan ukuran dari benda uji
2. Benda uji dipasang pada alat ukur tarik baja untuk dilaksanakan pengujian tarik baja

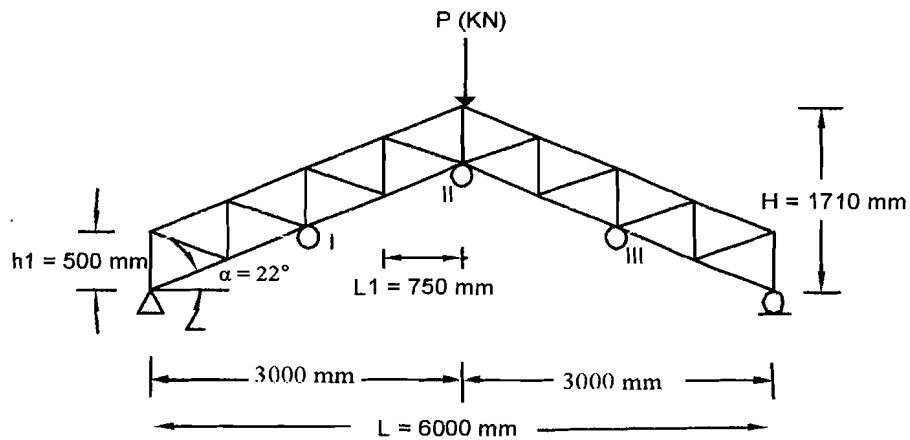
#### 4.4.3 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah:

1. Memasang dukungan pada setiap ujung kuda-kuda, dalam hal ini dilakukan pemasangan sendi-rol
2. Benda uji siap dilakukan pengujian
3. Pada benda uji rangka batang tepi sejajar dipasang 3 (tiga) *Dial Gauge* pada arah transversal dan pada tengah bentang dipasang 1 (satu) *Dial Gauge* pada Gambar 4.10.
4. *Hydraulic Jack* dipasang dipuncak diatas bagian tengah (*top cord*), kemudian di bawahnya dipasang alat *Load Cell*, setelah itu *Hydraulic* dipompa untuk melakukan pembebanan secara perlahan-lahan
5. Pengujian struktur kuda-kuda dengan beban aksial yang dinaikan bertahap dari nol sampai terjadi kerusakan dengan penambahan beban 0,5 kN. Beban ditingkatkan berdasarkan kondisi sampel menggunakan alat *Load Cell* dengan tujuan mengetahui besar lendutan yang terjadi pada kuda-kuda dengan batang tepi sejajar

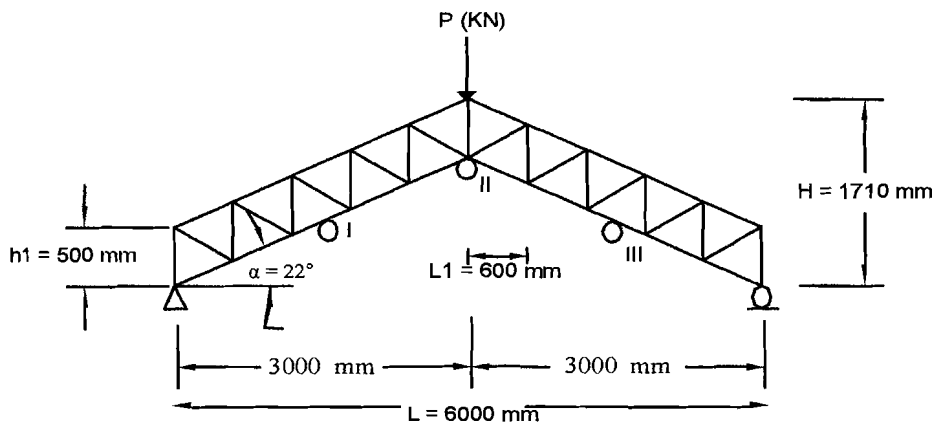


**Gambar 4. 10.a** Perletakan *dial gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal  $L_1 = 1000$  mm ( $L_1/L = 0,167$ )

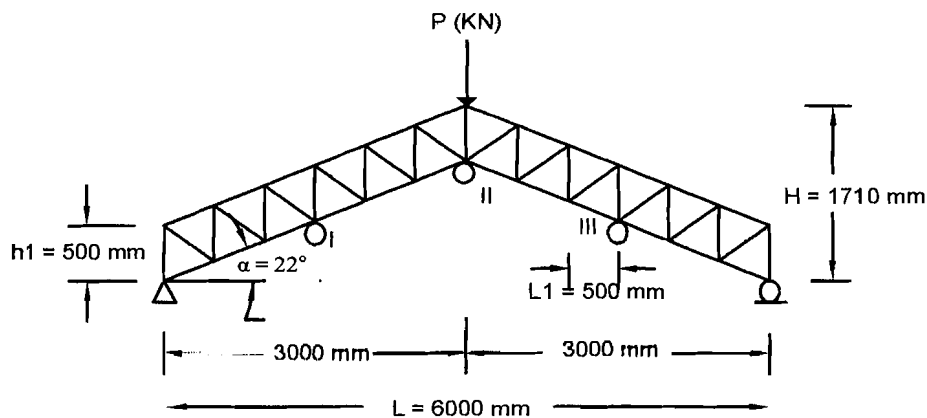


**Gambar 4. 10.b** Perletakan *dial gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal  $L_1 = 750$  mm ( $L_1/L = 0,125$ )





**Gambar 4. 10.c** Perletakan *dial gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal  $L_1 = 600$  mm ( $L_1/L = 0,1$ )



**Gambar 4. 10.d** Perletakan *dial gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal  $L_1 = 0,5$  m ( $L_1/L = 0,083$ )

**Gambar 4. 10.** Perletakan *dial gauge* dan beban pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal

*Keterangan* :  $h_1$  = tinggi batang pengisi vertikal

$H$  = tinggi total kuda-kuda

$L$  = panjang kuda-kuda

$L_1$  = jarak batang vertikal

$\alpha$  = sudut kemiringan kuda-kuda

## **BAB V**

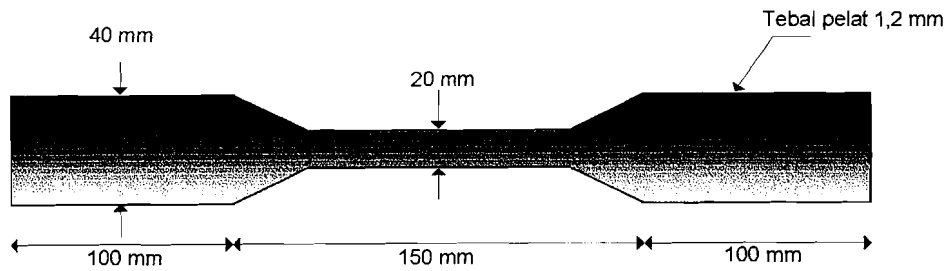
### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Uji pendahuluan meliputi uji tarik dan uji tekan dilakukan guna mengetahui tegangan leleh material dan tegangan desak kritis penampang dari profil yang digunakan sebagai elemen struktur kuda-kuda. 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 guna mengetahui kekakuan dari struktur rangka batang. Hasil penelitian yang disertai pembahasannya akan disajikan sebagaimana berikut.

#### **5.1 HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA**

Benda uji kuat tarik baja menggunakan profil *lipped channel* 60×22×8 tebal 1,2 mm yang dibentuk sesuai dengan Gambar 5.1 sebanyak tiga benda uji. Pelaksanaan pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM) Merk Shimatzu Type UMH-30* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil uji tarik didapat 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.



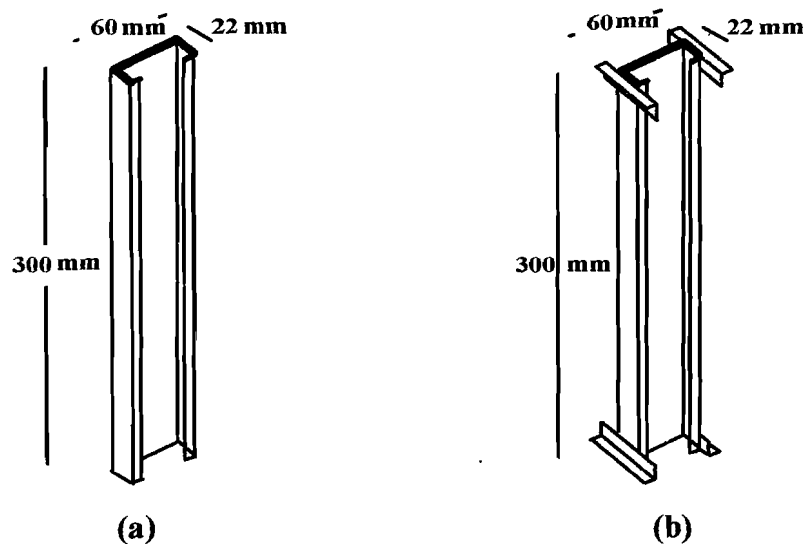
**Gambar 5.1** Benda uji kuat tarik baja

**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 PENGUJIAN KUAT DESAK PENAMPANG BAJA *LIPPED CHANNEL*

Pengujian kuat desak baja dari penampang profil *lipped channel* 60×22×8 tebal 1,2 mm menggunakan dua buah macam benda uji seperti pada Gambar 5.2, yaitu (a) benda uji dengan bagian tepi menggunakan las dan (b) benda uji dengan bagian tepi menggunakan baut. Masing-masing sampel terdiri dari tiga macam benda uji dengan ukuran seperti pada Gambar 5.2. 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.



**Gambar 5.2** Benda uji kuat desak baja

**Tabel 5. 2** Hasil uji kuat desak profil baja untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan las

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (panjang 300 mm)	Benda uji 2 (panjang 300 mm)	Benda uji 3 (panjang 300 mm)
Beban maksimum (N)	11,60	13,35	13,90
Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	144		
Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) (MPa)	80,556	92,708	96,528
Tegangan Kritis rata-rata ( $F_{cr}$ ) (MPa)	89,931		

**Tabel 5. 3** Hasil uji kuat desak profil baja untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan 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
Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	144		
Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) (MPa)	79,861	74,306	63,194
Tegangan Kritis rata-rata ( $F_{cr}$ ) (MPa)	72,120		

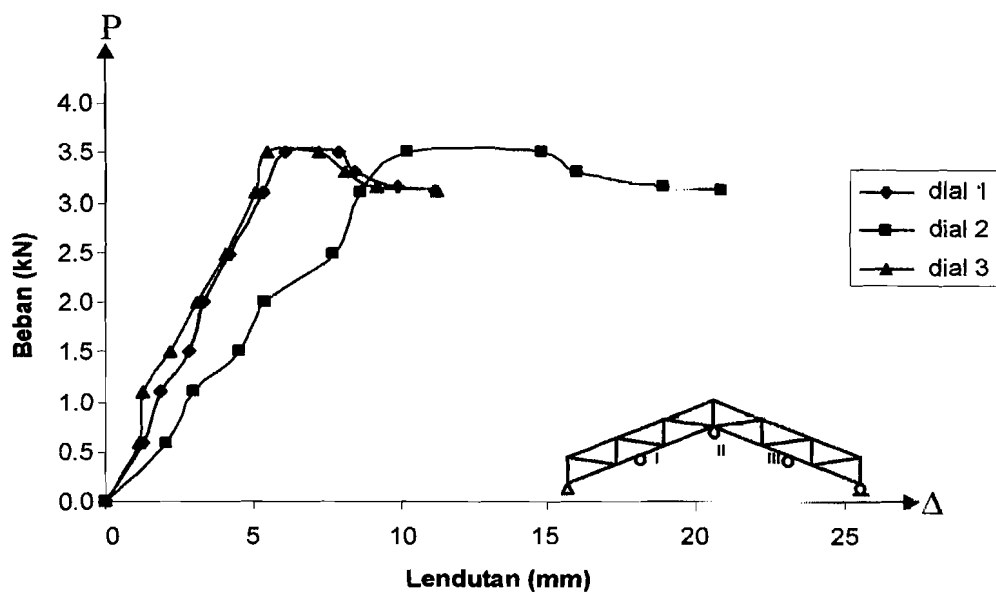
### 5.3 HUBUNGAN BEBAN – LENDUTAN UJI LENTUR KUDA-KUDA

#### 5.3.1 Kurva Beban – Lendutan Hasil Pengujian

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

##### 1) Benda Uji 1 (Jarak Batang Vertikal ( $L_1$ ) = 1000 mm, ( $L_1/L = 0,167$ ))

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

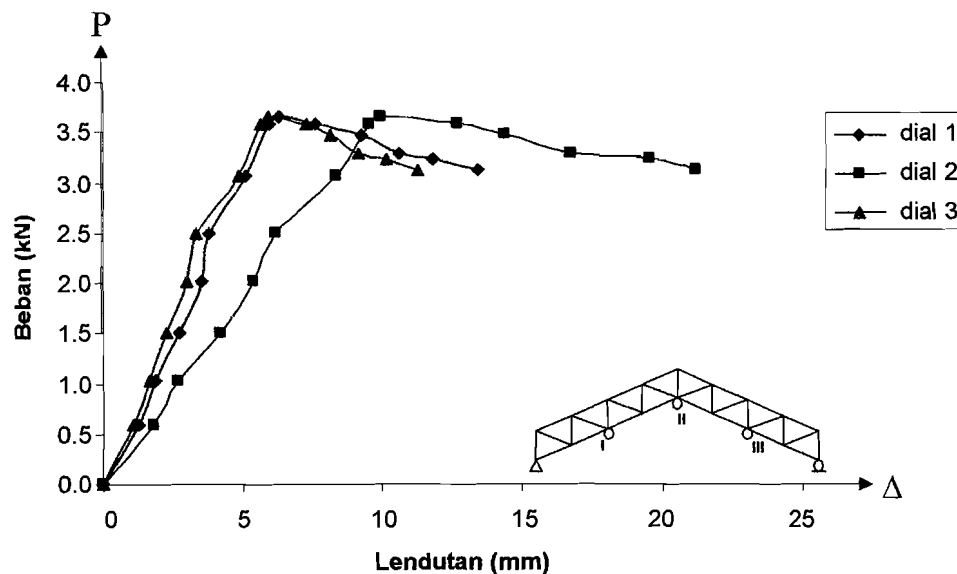


Gambar 5. 3 Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1

Dari Gambar 5.3 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 1 sebesar 3,50 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 6,05 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 10,20 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 5,50 mm.

**2) Benda Uji 2 (Jarak Batang Vertikal ( $L_1$ ) = 750 mm, ( $L_1/L = 0,125$ ))**

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 :

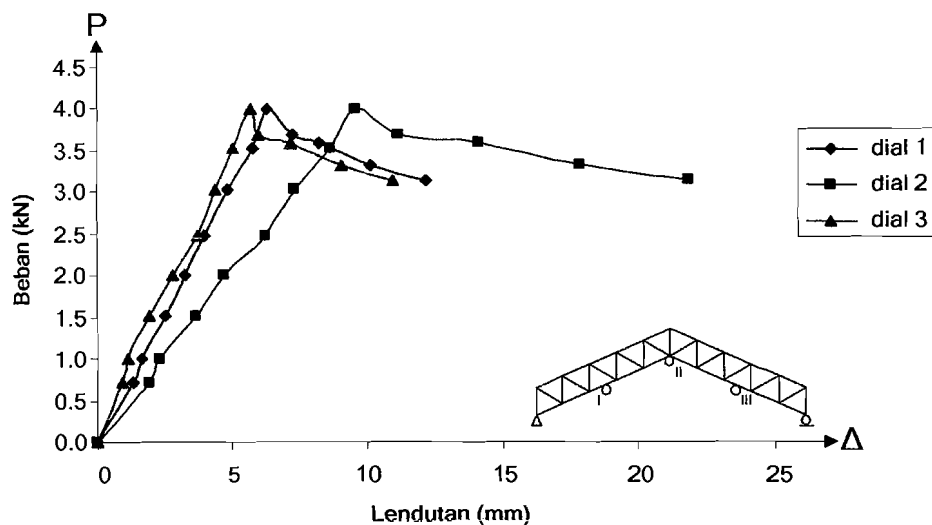


**Gambar 5.4** Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2

Dari Gambar 5.4 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 2 sebesar 3,66 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 6,33 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 10,02 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 5,95 mm.

**3) Benda Uji 3 (Jarak Batang Vertikal ( $L_1$ ) = 600 mm, ( $L_1/L = 0,1$ ))**

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 :

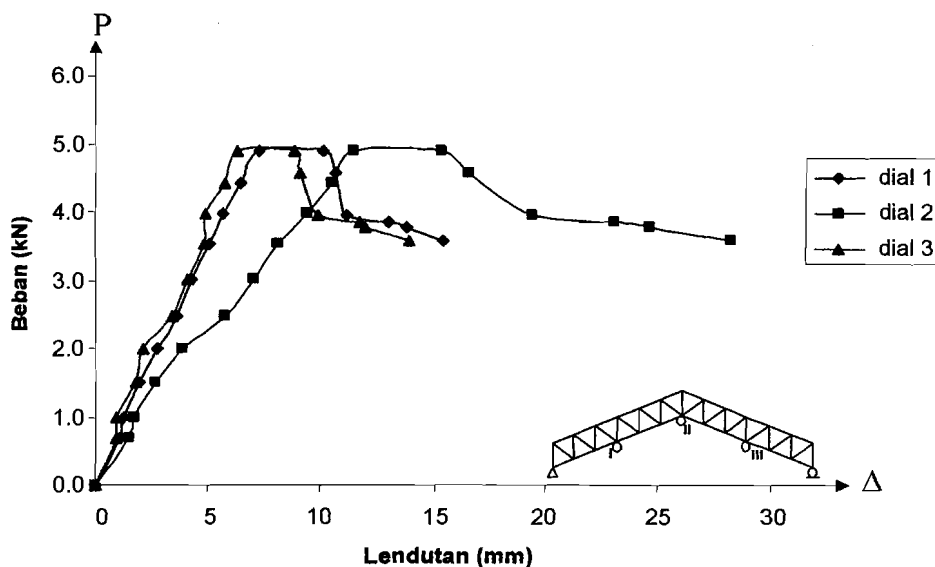


**Gambar 5. 5** Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 3

Dari Gambar 5.5 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 3 sebesar 3,98 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 6,36 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 9,60 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 5,74 mm.

#### 4) Benda Uji 4 (Jarak Batang Vertikal ( $L_1$ ) = 500 mm, ( $L_1/L = 0,083$ ))

Untuk benda uji 4 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.4. Dari pengujian benda uji 4 didapatkan data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :



**Gambar 5. 6** Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 4

Dari Gambar 5.6 beban maksimal yang diterima oleh benda uji 1 sebesar 4,90 kN. Nilai lendutan yang didapat pada dial 1 sebesar 7,36 mm, lendutan pada dial 2 sebesar 11,52 mm dan lendutan pada dial 3 sebesar 6,39 mm.

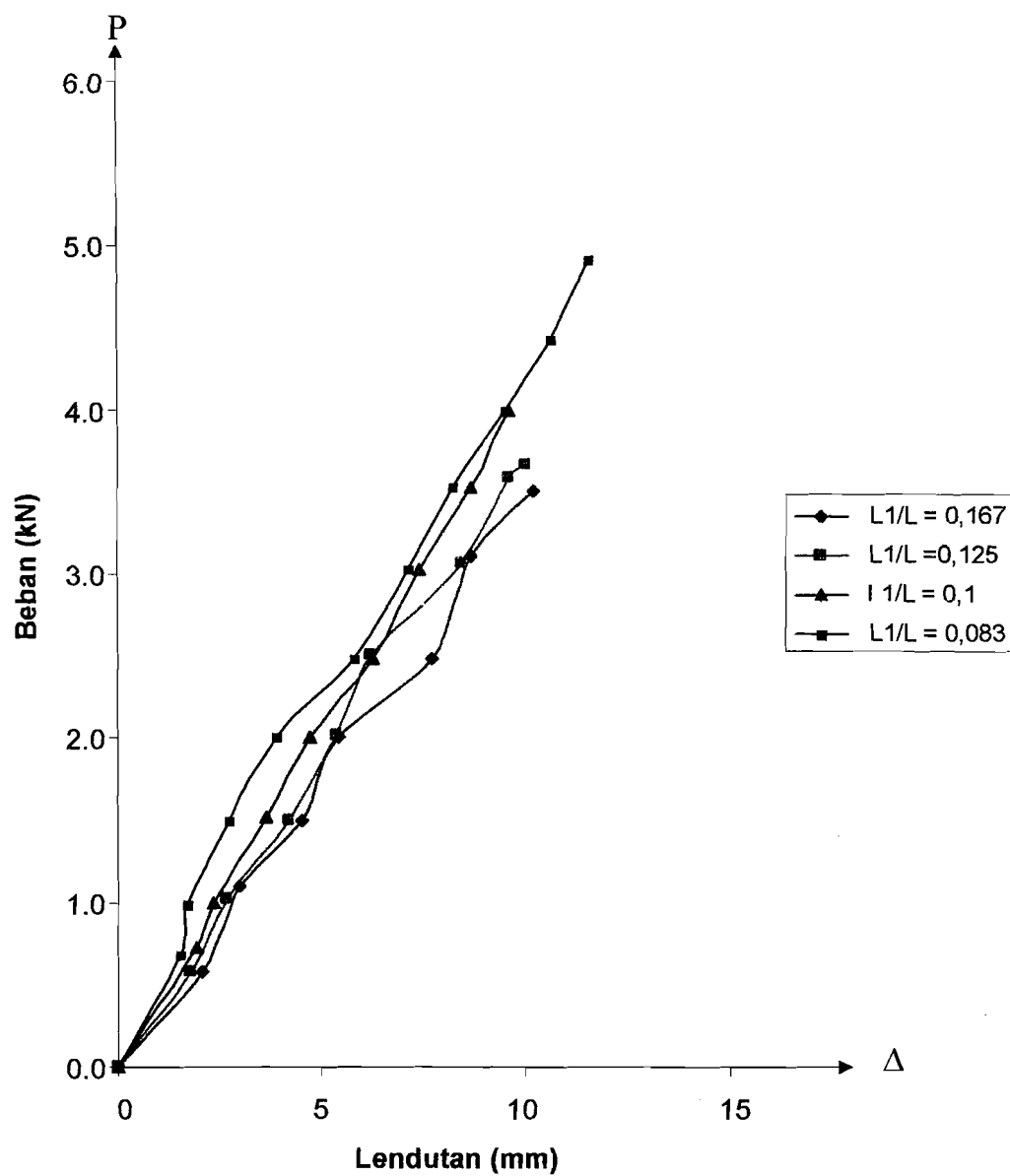
Tampak bahwa pada Gambar 5.3, Gambar 5.4, Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 pembacaan dial 2 yang terletak ditengah bentang mempunyai lendutan yang lebih besar dari dial 1 dan 3 yang terletak pada seperempat bentang, jadi lendutan maksimumnya berada ditengah bentang.

### **5.3.2. Pengaruh Jarak Batang vertikal Terhadap Beban Lendutan Hasil Eksperimen**

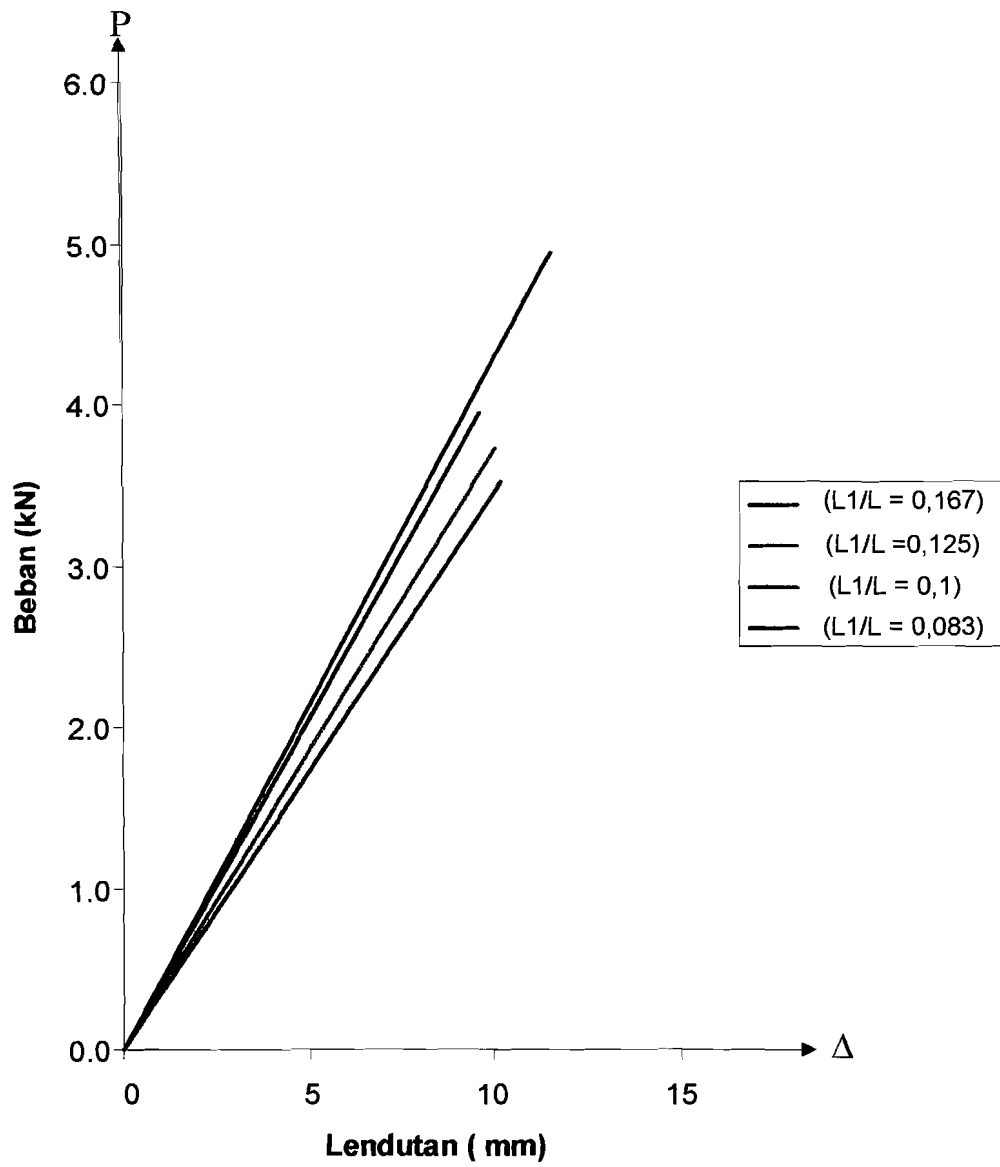
Jarak batang vertikal yang berbeda akan mengalami lendutan yang berbeda. Dari persamaan  $k = tg\alpha = \frac{P}{\Delta}$  terlihat bahwa semakin besar lendutan yang terjadi maka kekakuan rangka batang akan semakin kecil.

Hubungan beban – lendutan pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) pada beban maksimal dimana  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$ , dan  $L_1/L = 0,083$ , ditunjukkan pada Gambar 5.7.

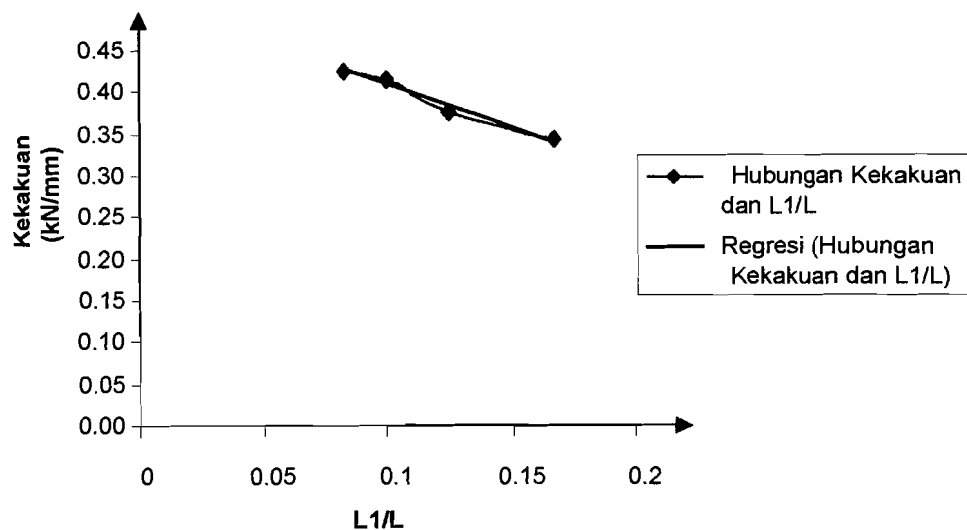




**Gambar 5.7** Hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) dengan beban maksimal



**Gambar 5.8** hubungan beban – lendutan keempat rangka setelah diregresi



**Gambar 5.9** Hubungan kekakuan –  $L_1/L$  hasil pengujian

Pada Gambar 5.8 terlihat bahwa rangka kuda – kuda batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal  $L_1 = 0,5$  m ( $L_1/L=0,083$ ) mempunyai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan kuda – kuda rangka batang tepi sejajar yang mempunyai jarak batang vertikal lebih panjang  $L_1/L=0,1$ ,  $L_1/L=0,125$ , dan  $L_1/L=0,167$ . Kekakuan dari rangka kuda – kuda batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) dimana  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$ , dan  $L_1/L = 0,083$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.57). Dari persamaan tersebut nilai kekakuan ( $k$ ) seperti pada Tabel 5.4. Dengan anggapan bahwa kekakuan dan kekuatan pada  $L_1/L = 0,167$  sama dengan 1, maka rasio kekakuan dan rasio kekuatan ketiga benda uji lainnya terhadap  $L_1/L = 0,167$  seperti pada Tabel 5.4

Tabel 5.4 Nilai kekakuan hasil pengujian

Rangka batang tepi sejajar $L_1/L$	Beban maks (kN)	Lendutan ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan (k) (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
0,167	3,500	10,20	0,34	1	1
0,125	3,660	10,02	0,37	1,09	1,05
0,1	3,980	9,60	0,41	1,21	1,14
0,083	4,900	11,52	0,43	1,26	1,40

Dari Tabel 5.4 dapat dilihat untuk rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical ( $L_1$ ) = 0,1 m ( $L_1/L$  = 0,167)  $k$  = 0,34 kN/mm,  $L_1$  = 0,75 m ( $L_1/L$  = 0,125)  $k$  = 0,37 kN/mm,  $L_1$  = 0,6 m ( $L_1/L$  = 0,1)  $k$  = 0,41 kN/mm dan kekakuan rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical ( $L_1$ ) = 0,5 m ( $L_1/L$  = 0,083)  $k$  = 0,43 kN/mm. Peningkatan kekakuan dari  $L_1/L$  = 0,167 ke  $L_1/L$  = 0,125 sebesar 9% dan peningkatan kekakuan dari  $L_1/L$  = 0,125 ke  $L_1/L$  = 0,1 sebesar 12%, dimana peningkatan kekakuan ini masih cukup signifikan. Namun peningkatan kekakuan dari  $L_1/L$  = 0,1 ke  $L_1/L$  = 0,083 kurang signifikan yaitu sebesar 5%.

Dari tabel diatas terlihat juga bahwa rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical ( $L_1$ ) = 0,5 m ( $L_1/L$  = 0,083) mempunyai rasio kekuatan paling besar, hal ini mungkin dikarenakan jarak batang pengisi yang berupa batang vertikal pada rangka tersebut paling pendek dibandingkan jarak batang vertikal pada  $L_1/L$  = 0,1,  $L_1/L$  = 0,125 dan  $L_1/L$  = 0,167. Sehingga pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical ( $L_1$ ) = 0,5 m ( $L_1/L$  = 0,083) mempunyai panjang batang efektif paling pendek dibanding ketiga benda uji lainnya. Pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical ( $L_1$ ) = 0,5 m ( $L_1/L$  = 0,083) batang vertikal yang menjadi batang pengisinya lebih banyak

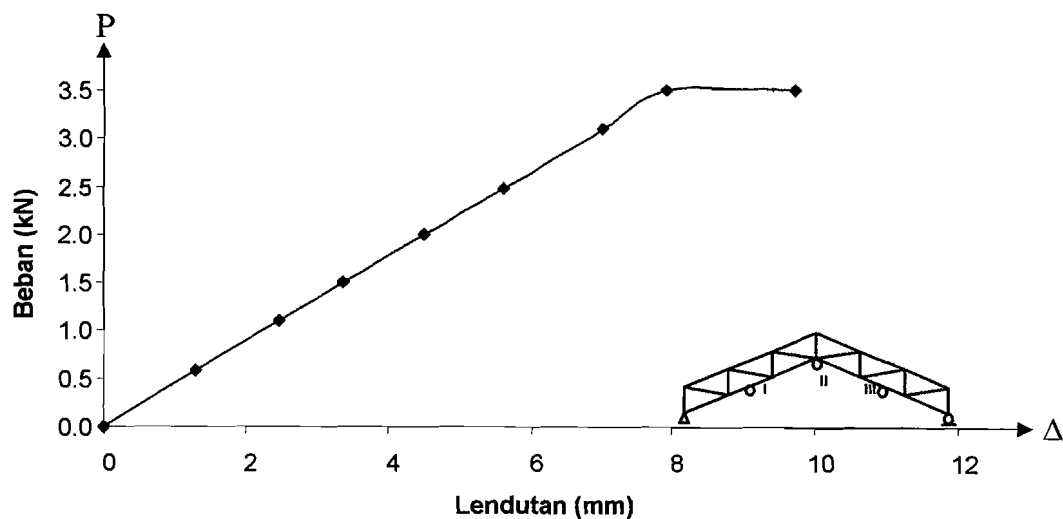
dibandingkan dengan rangka batang tepi sejajar dengan  $L_1/L = 0,1$ ,  $L_1/L = 0,125$  dan  $L_1/L = 0,167$ . Perhitungan nilai kekakuan dapat dilihat pada lampiran 2.

### 5.3.3 Kurva Beban – Lendutan Hasil Analisa SAP2000

Rangka dianalisis dengan menggunakan program SAP 2000 pembebanan disesuaikan dengan pembebanan pada waktu pengujian, yang kemudian ditampilkan dalam lampiran 2 dan grafik beban lendutan seperti ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.

#### 1) Benda Uji 1 (Jarak Batang Vertikal ( $L_1$ ) = 1000 mm, ( $L_1/L = 0,167$ ))

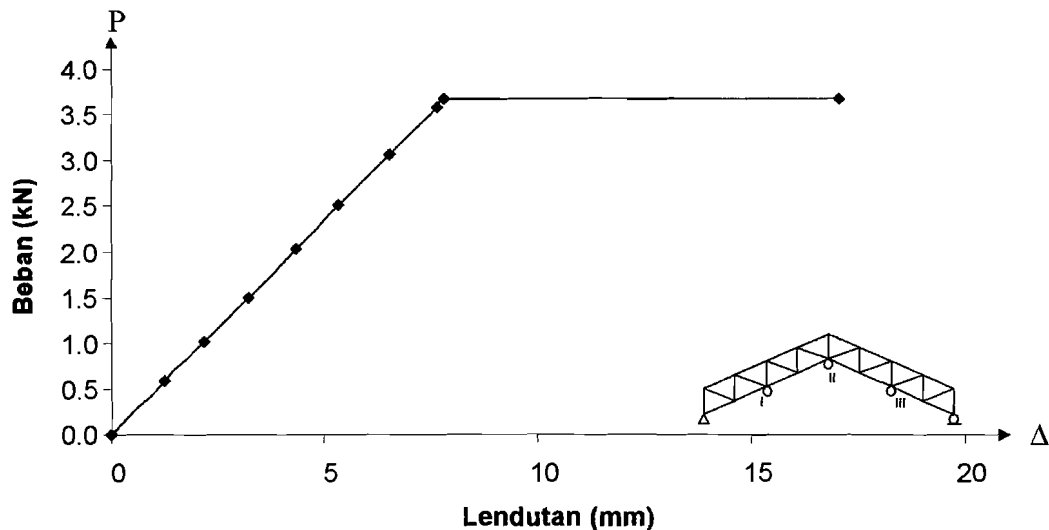
Data-data berupa hasil pembacaan dial disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.6. Dari data-data yang dapat dibuat grafik sebagai berikut :



**Gambar 5. 10** Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 1 analisis SAP 2000

2) **Benda Uji 2 (Jarak Batang Vertikal ( $L_1$ ) = 750 mm, ( $L_1/L = 0,125$ ))**

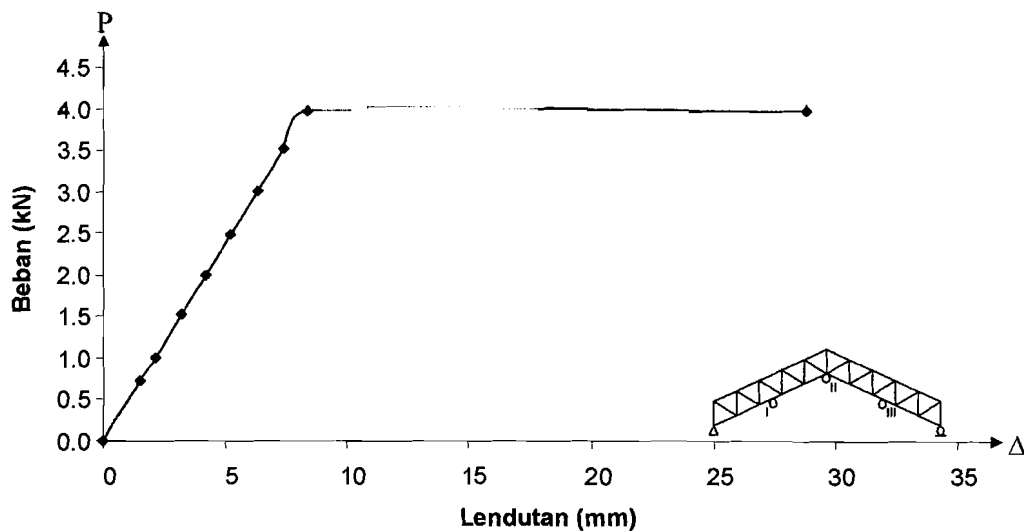
Untuk benda uji 2 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.7 dan grafik hubungan beban - lendutan ditampilkan pada Gambar 5.11



**Gambar 5. 11** Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 2 analisis SAP 2000

3) **Benda Uji 3 (Jarak Batang Vertikal ( $L_1$ ) = 600 mm, ( $L_1/L = 0,1$ ))**

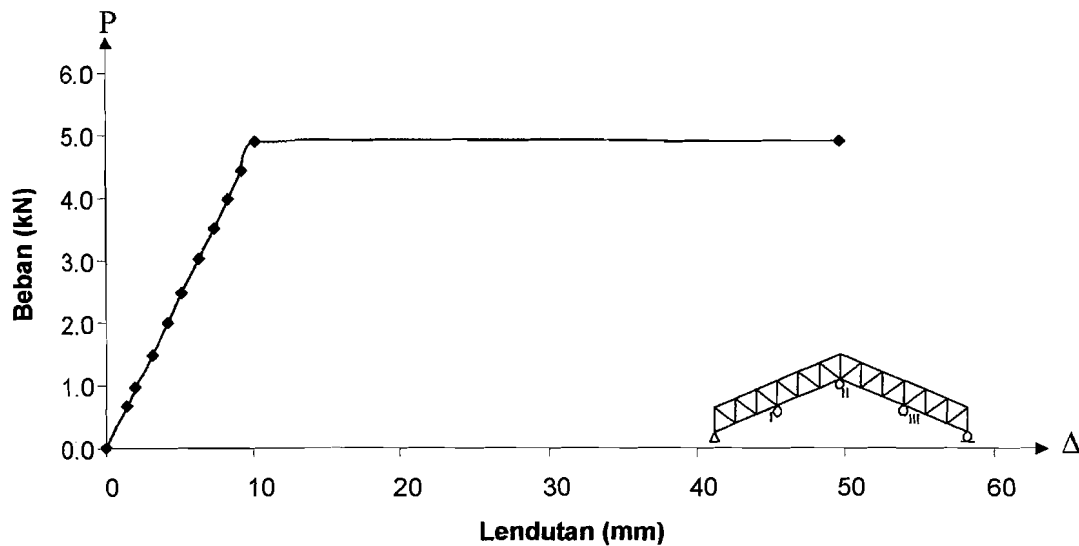
Untuk benda uji 3 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.8 dan grafik hubungan beban - lendutan ditampilkan pada Gambar 5.12.



**Gambar 5. 12** Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 3 analisis SAP 2000

**4) Benda Uji 4 (Jarak Batang Vertikal ( $L_1$ ) = 500 mm, ( $L_1/L = 0,083$ ))**

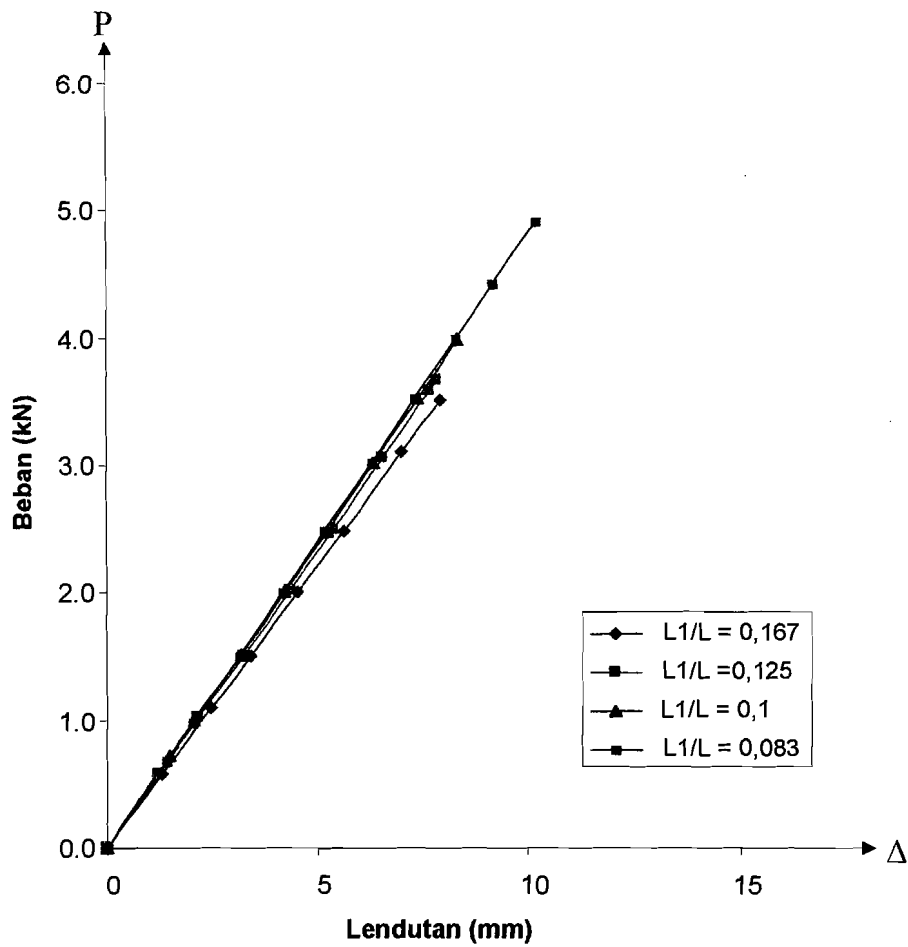
Untuk benda uji 4 pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada lampiran 2 Tabel L2.9 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada Gambar 5.13.



**Gambar 5. 13** Grafik hubungan beban – lendutan benda uji 4 analisis SAP 2000

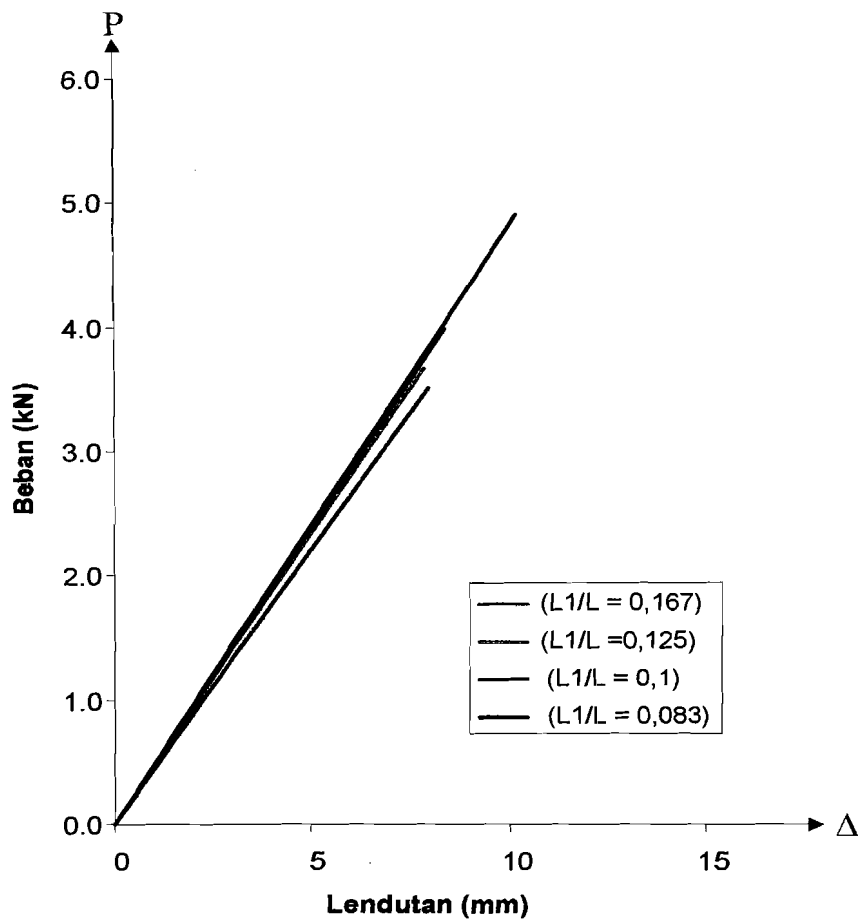
**5.3.4 Pengaruh Jarak Batang Vertikal Terhadap Beban Lendutan Hasil Analisis SAP 2000**

Hubungan beban – lendutan hasil analisis SAP 2000 pada beban maksimum pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) dimana  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$ , dan  $L_1/L = 0,083$ , ditunjukkan pada Gambar berikut.

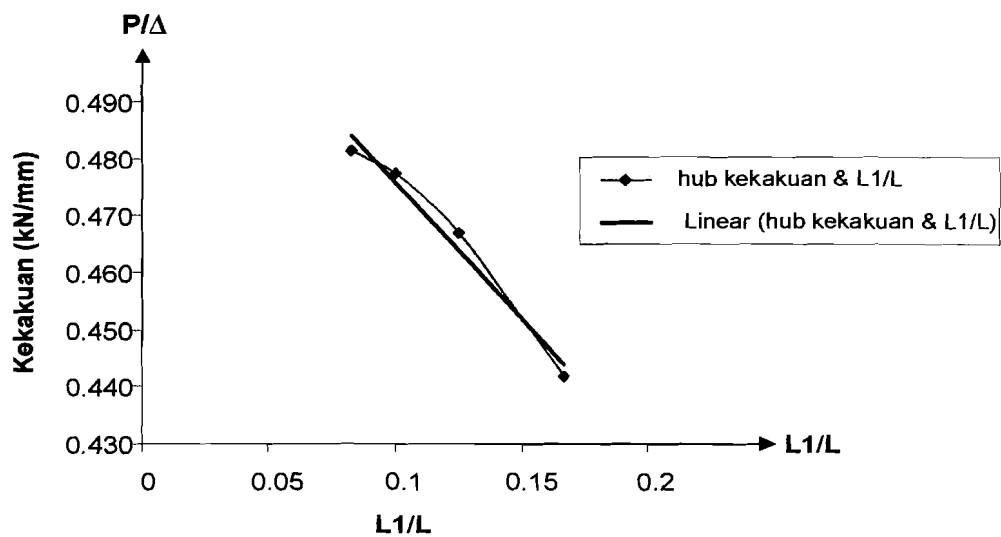


**Gambar 5.14** hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) hasil SAP 2000 dengan beban maksimum





**Gambar 5.15** Regresi hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) hasil SAP 2000 dengan beban maksimum



**Gambar 5.16** Hubungan kekakuan dan  $L_1/L$  hasil analisis SAP 2000

Pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 terlihat bahwa rangka kuda – kuda batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal  $L_1 = 0,5$  m ( $L_1/L=0,083$ ) mempunyai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan kuda – kuda rangka batang tepi sejajar yang mempunyai jarak batang vertikal lebih panjang  $L_1/L=0,1$ ,  $L_1/L=0,125$ , dan  $L_1/L=0,167$ . Kekakuan dari rangka kuda – kuda batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) dimana  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$ , dan  $L_1/L = 0,083$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.57). Dari persamaan tersebut nilai kekakuan ( $k$ ) seperti pada Tabel 5.5. Dengan anggapan bahwa kekakuan dan kekuatan pada  $L_1/L = 0,167$  sama dengan 1, maka rasio kekakuan dan rasio kekuatan ketiga benda uji lainnya terhadap  $L_1/L = 0,167$  seperti pada Tabel 5.5.

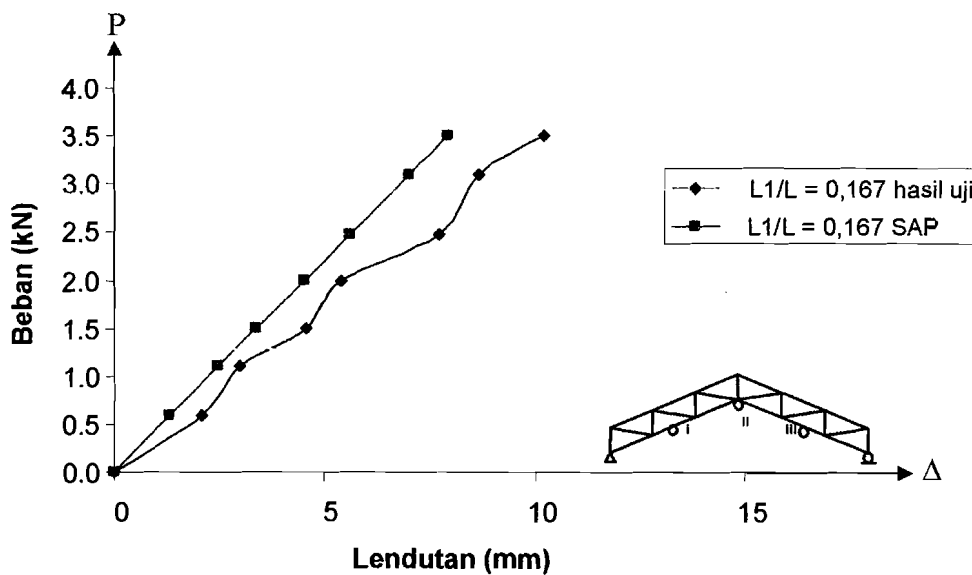
**Tabel 5.5** Nilai kekakuan hasil analisis menggunakan SAP 2000

Rangka batang tepi sejajar $L_1/L$	Beban maks (kN)	Lendutan ( $\Delta$ ) ( mm )	Kekakuan (k) (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
0,167	3,50	7,92	0,442	1	1
0,125	3,66	7,84	0,467	1,06	1,05
0,100	3,980	8,34	0,477	1,08	1,14
0,083	4,90	10,18	0,481	1,09	1,40

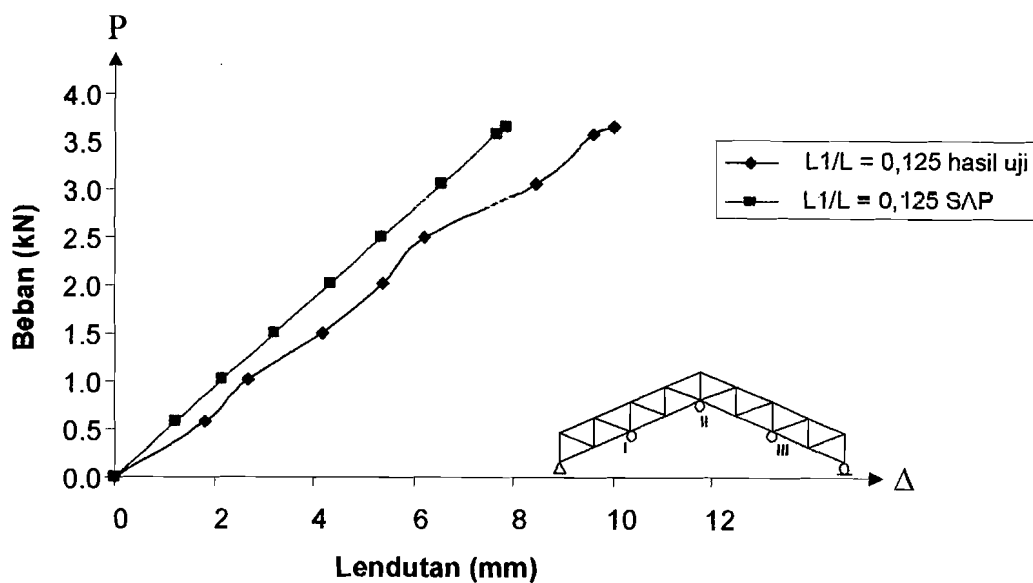
Dari Tabel 5.5 dapat dilihat untuk rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical ( $L_1$ ) = 0,1 m ( $L_1/L = 0,167$ )  $k = 0,442$  kN/mm,  $L_1 = 0,75$  m ( $L_1/L = 0,125$ )  $k = 0,467$  kN/mm,  $L_1 = 0,6$  m ( $L_1/L = 0,1$ )  $k = 0,477$  kN/mm dan kekakuan rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical ( $L_1$ ) = 0,5 m ( $L_1/L = 0,083$ )  $k = 0,481$  kN/mm. Peningkatan kekakuan dari  $L_1/L = 0,167$  ke  $L_1/L = 0,125$  sebesar 6%, dimana peningkatan ini kurang signifikan. Peningkatan kekakuan dari  $L_1/L = 0,125$  ke  $L_1/L = 0,1$  sebesar 2%, dan peningkatan kekakuan dari  $L_1/L = 0,1$  ke  $L_1/L = 0,083$  sebesar 1%, dimana peningkatan ini cukup signifikan.

### 5.3.5 Grafik beban – lendutan hasil pengujian dan analisa SAP 2000

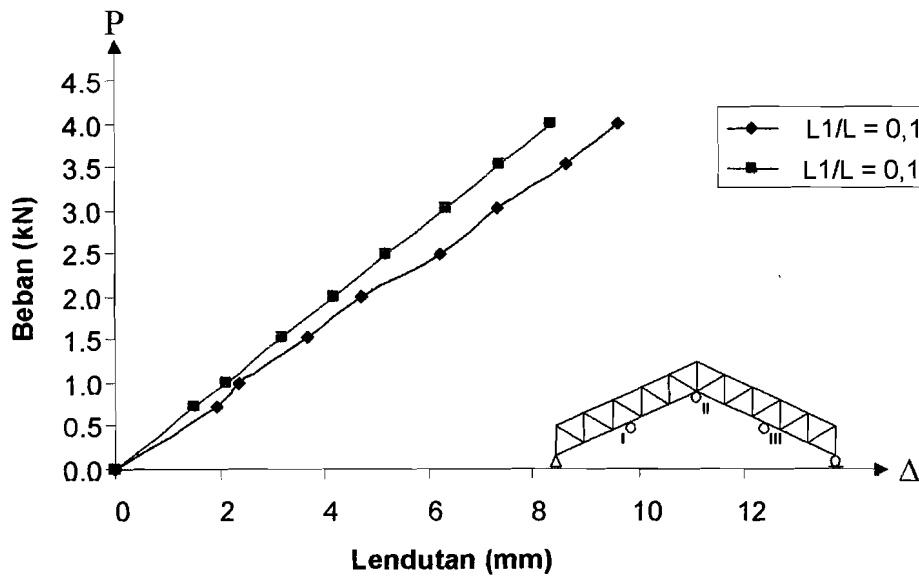
Dari penggabungan grafik hasil eksperimen dan analisis menggunakan SAP 2000 pada beban maksimum didapat hubungan beban – lendutan seperti pada Gambar dibawah ini.



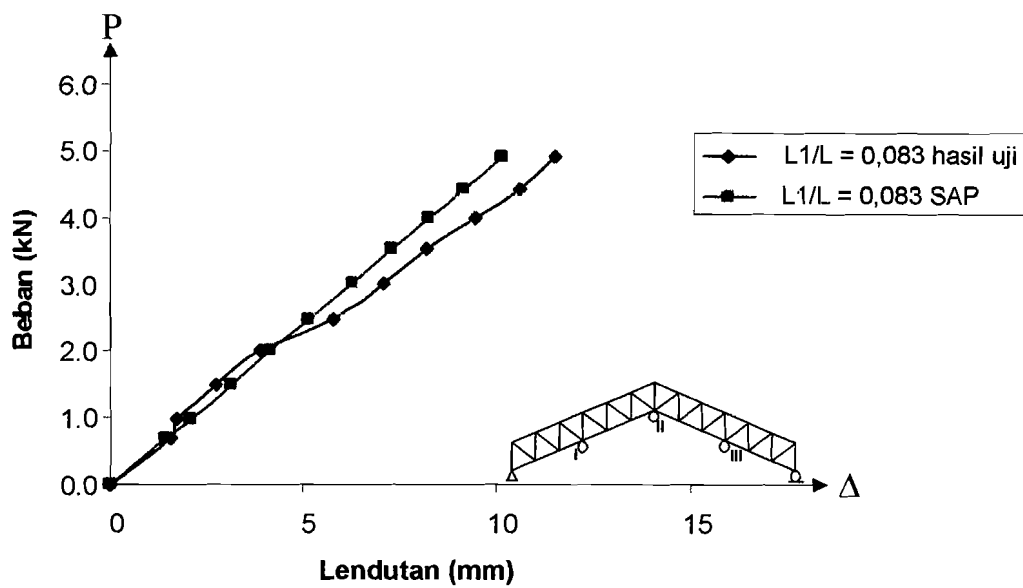
Gambar 5.17 Hubungan beban – lendutan  $L1/L = 0,167$  pengujian dengan analisis SAP 2000



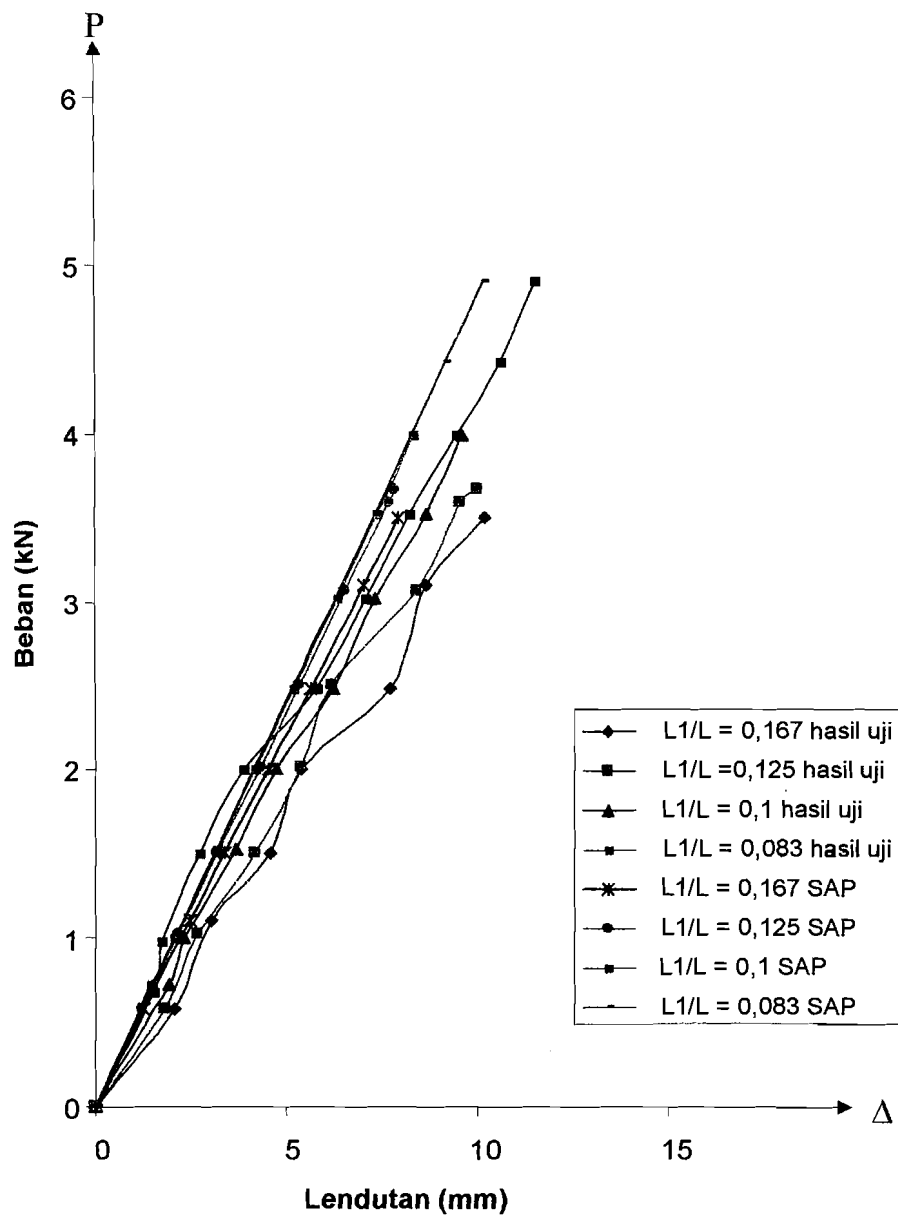
Gambar 5.18 Hubungan beban – lendutan  $L1/L = 0,125$  pengujian dengan analisis SAP 2000



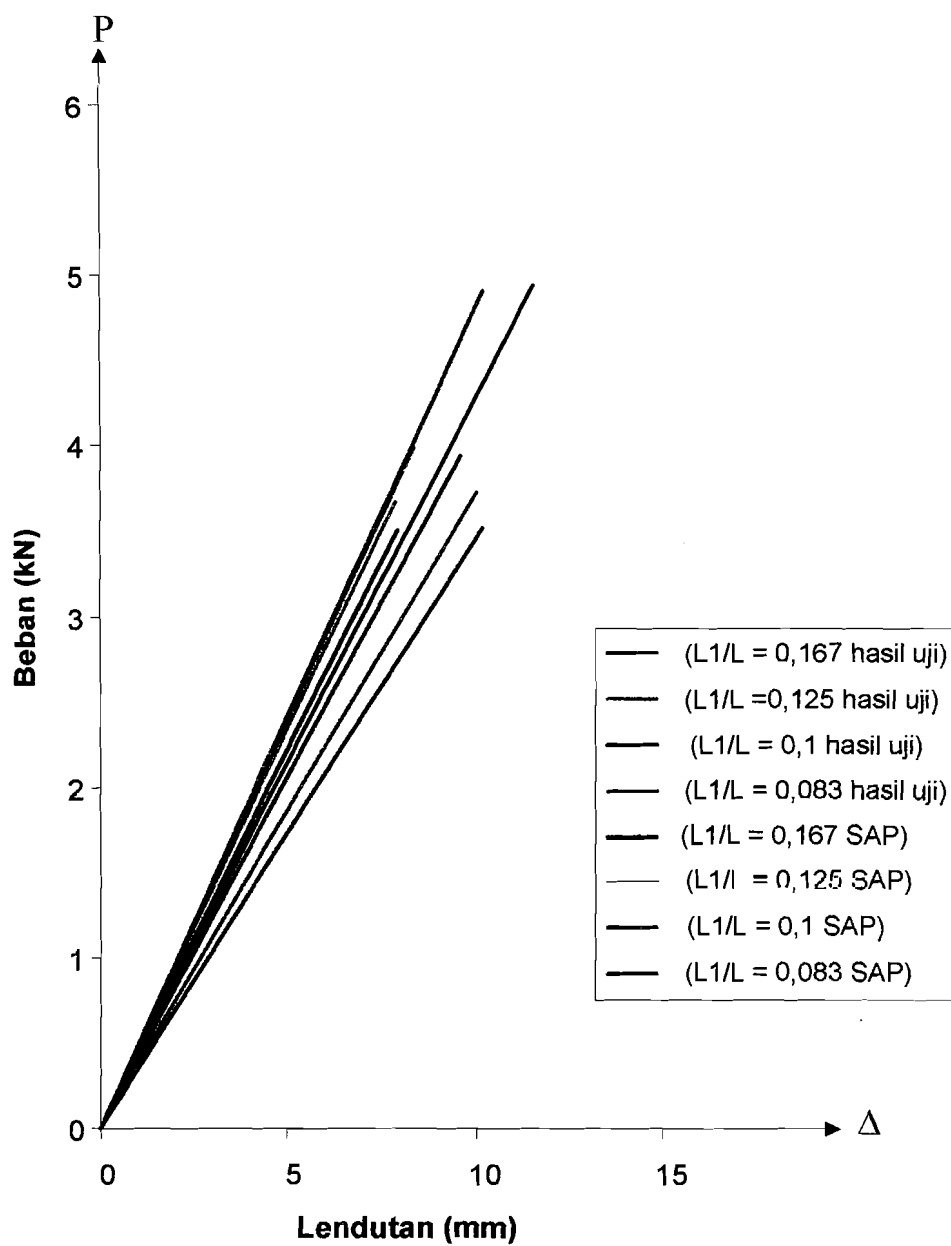
Gambar 5.19 Hubungan beban – lendutan  $L1/L = 0,1$  pengujian dengan analisis SAP 2000



Gambar 5.20 Hubungan beban – lendutan  $L1/L = 0,083$  pengujian dengan analisis SAP 2000



**Gambar 5.21.** Hubungan Beban-Lendutan hasil eksperimen dan Analisa SAP 2000



**Gambar 5.22.** Regresi Hubungan Beban-Lendutan hasil eksperimen dan Analisa SAP 2000

**Tabel 5.6** Rasio Nilai Kekakuan hasil eksperimen dan analisis SAP 2000

Rangka batang tepi sejajar $L_1/L$	Beban Maksimum (kN)	Eksperimen		Analisis menggunakan SAP 2000	
		Kekakuan (kN/mm)	Rasio Kekakuan	Kekakuan (kN/mm)	Rasio Kekakuan
0,167	3,500	0,34	1	0,442	1
0,125	3,660	0,37	1,09	0,467	1,06
0,1	3,980	0,41	1,21	0,477	1,08
0,083	4,900	0,43	1,26	0,481	1,09

Pada Gambar 5.21, Gambar 5.22 dan Tabel 5.6 terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) pada eksperimen mempunyai kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan analisis menggunakan SAP 2000. Pada analisis menggunakan SAP 2000 untuk  $L_1 = 0,1$  m ( $L_1/L = 0,167$ ) mempunyai kekakuan 1,3 lebih besar dibandingkan dengan  $L_1 = 0,1$  m ( $L_1/L = 0,167$ ) hasil eksperimen,  $L_1 = 0,75$  m ( $L_1/L = 0,125$ ) mempunyai kekakuan 1,26 lebih besar dibandingkan dengan  $L_1 = 0,75$  m ( $L_1/L = 0,125$ ) hasil eksperimen,  $L_1 = 0,6$  m ( $L_1/L = 0,1$ ) mempunyai kekakuan 1,16 lebih besar dibandingkan dengan  $L_1 = 0,6$  m ( $L_1/L = 0,1$ ) hasil eksperimen, sedangkan untuk  $L_1 = 0,5$  m ( $L_1/L = 0,083$ ) mempunyai kekakuan 1,12 lebih besar dibandingkan dengan  $L_1 = 0,5$  m ( $L_1/L = 0,083$ ) hasil eksperimen.

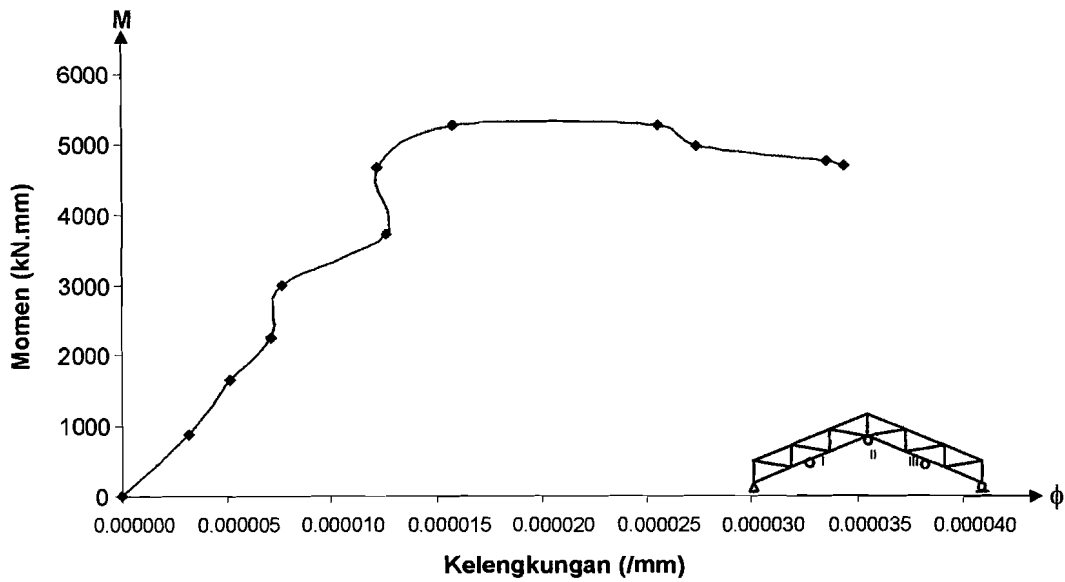
## 5.4 HUBUNGAN MOMEN - KELENGKUNGAN

### 5.4.1 Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

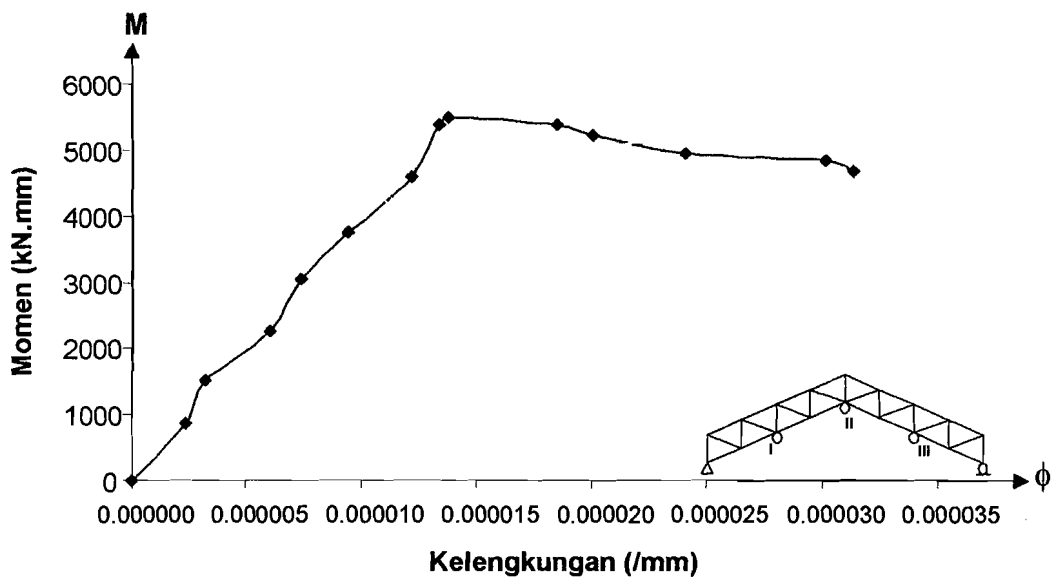
Dari hasil penelitian didapatkan data beban ( $P$ ) - lendutan ( $\Delta$ ), sehingga dapat dicari momen ( $M$ ) - kelengkungan ( $\phi$ ), rumus yang dipakai dalam perhitungan ini adalah :

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

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

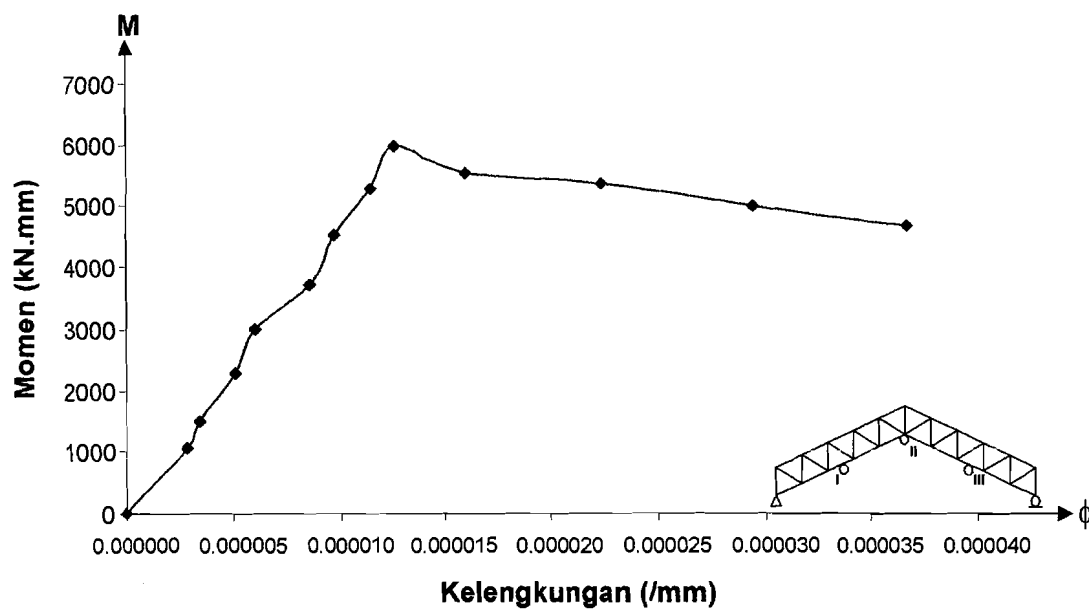


**Gambar 5.23** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

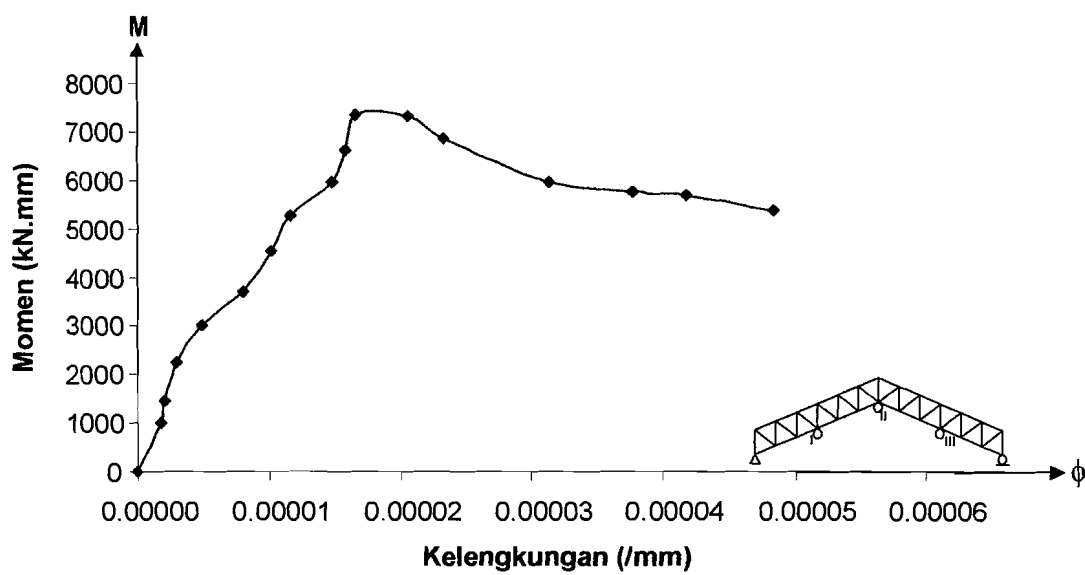


**Gambar 5.24** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2





**Gambar 5. 25** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

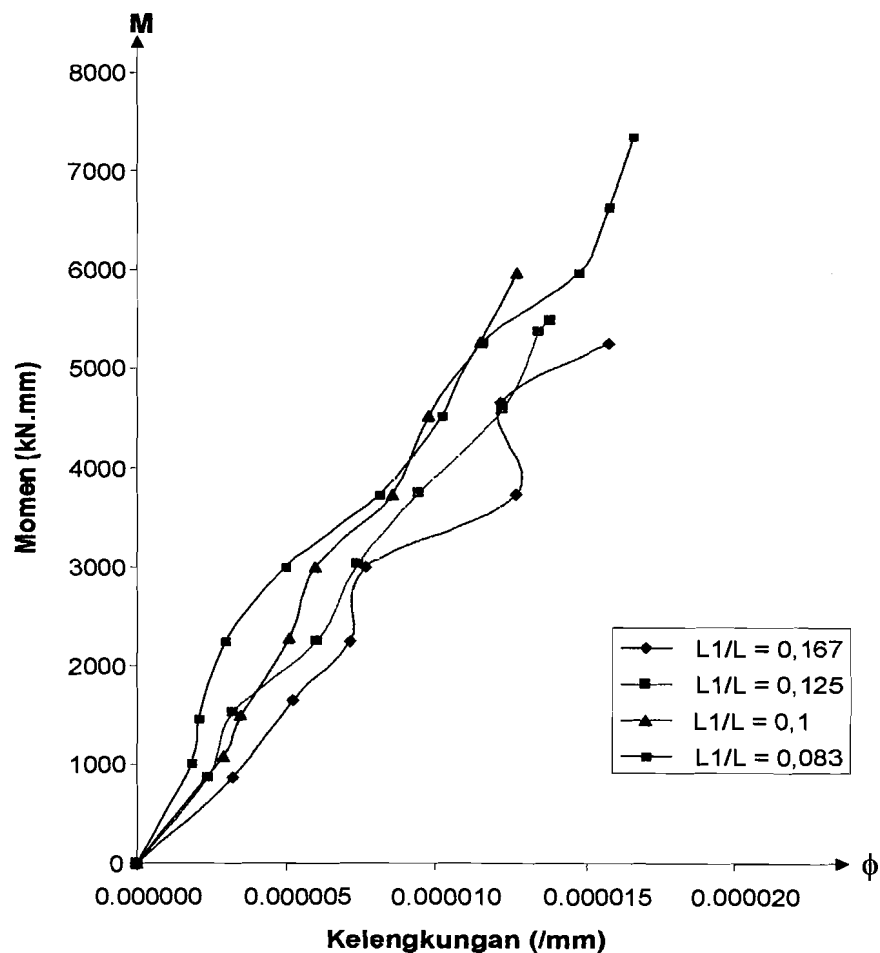


**Gambar 5. 26** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 4

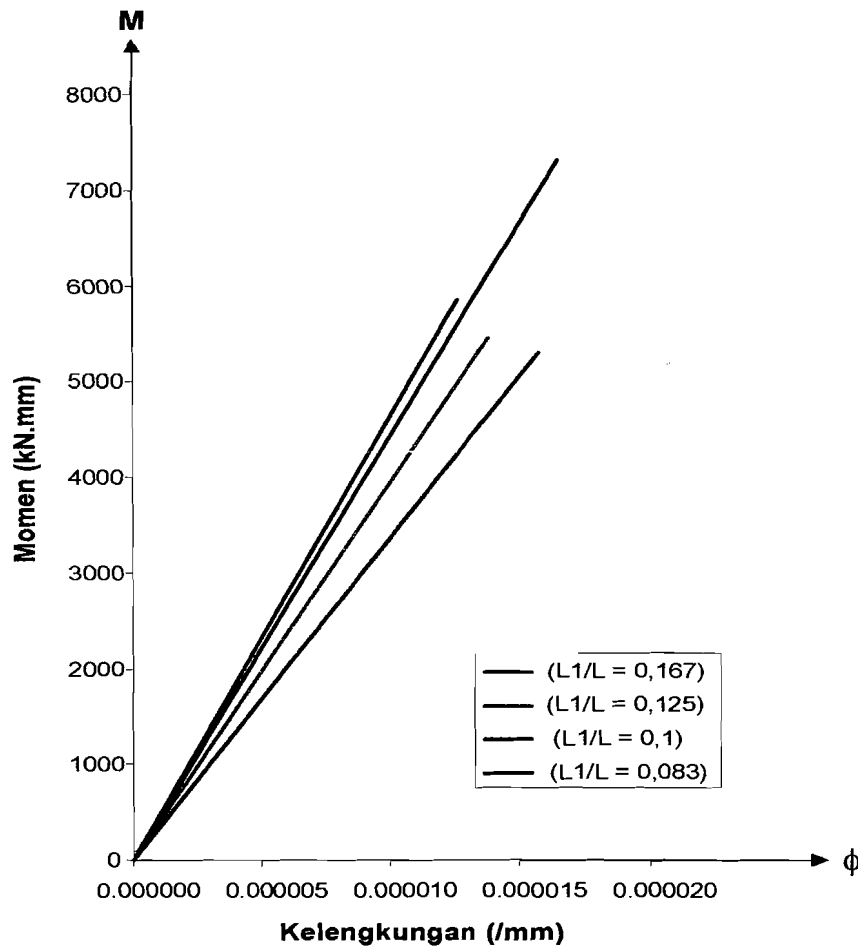
### 5.4.2. Pengaruh Jarak Batang vertikal Terhadap Momen Kelengkungan Hasil Eksperimen

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

Hubungan momen-kelengkungan pada momen maksimum pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) dimana  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$ , dan  $L_1/L = 0,083$ , ditunjukkan pada Gambar 5.27.



**Gambar 5.27** Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji pada momen maksimum



**Gambar 5. 28** Regresi Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji pada momen maksimum

Pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28 terlihat rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical ( $L_1$ ) = 0,6 m ( $L_1/L = 0,1$ ) mempunyai kelengkungan yang lebih kecil dibandingkan dengan rangka batang tepi sejajar dengan  $L_1/L = 0,83$ ,  $L_1/L = 0,125$  dan  $L_1/L = 0,167$ . Sehingga semakin besar kelengkungan yang terjadi maka semakin kecil faktor kekakuan dapat dilihat pada lampiran 2. Untuk mencari faktor kekakuan dari rangka kuda-kuda dapat dicari dengan persamaan (3.70). Dari persamaan tersebut diperoleh faktor kekakuan seperti pada Tabel 5.7. Dengan anggapan bahwa faktor kekakuan pada  $L_1/L = 0,167$  sama dengan 1, maka rasio faktor kekakuan ketiga benda uji lainnya terhadap  $L_1/L = 0,167$  seperti pada Tabel 5.7 berikut ini.

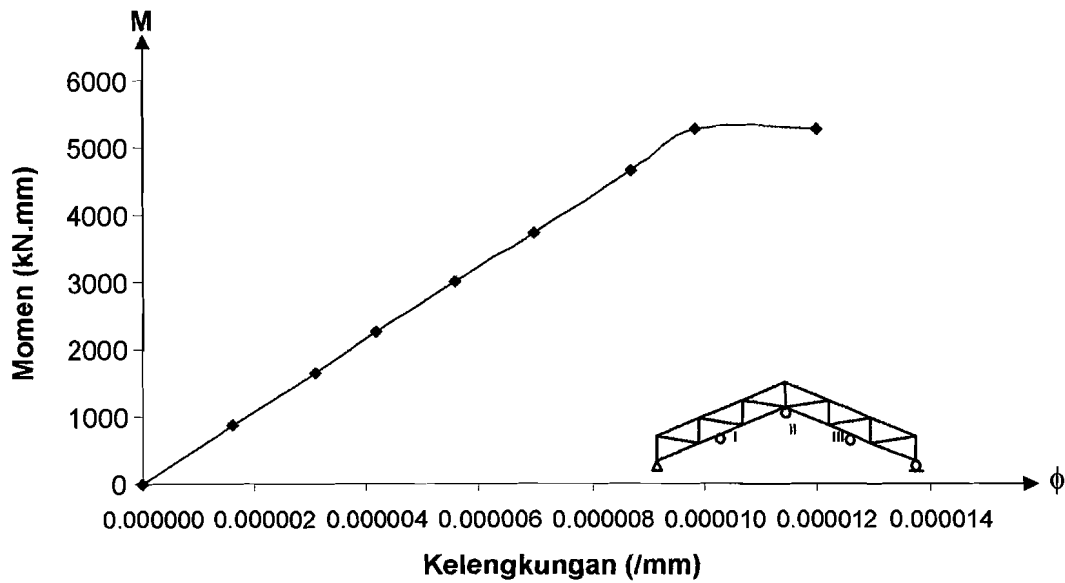
Tabel 5.7 Rasio faktor kekakuan hasil pengujian

Rangka batang tepi sejajar $L_1/L$	Momen Maksimum (kN.mm)	$\phi$ (/mm)	Faktor kekakuan (kN.mm <sup>2</sup> )	Rasio faktor kekakuan
0,167	5250	0,000016	328125000	1
0,125	5490	0,000014	392142857,1	1,20
0,1	5970	0,000013	459230769,2	1,40
0,083	7350	0,000017	432352941,2	1,31

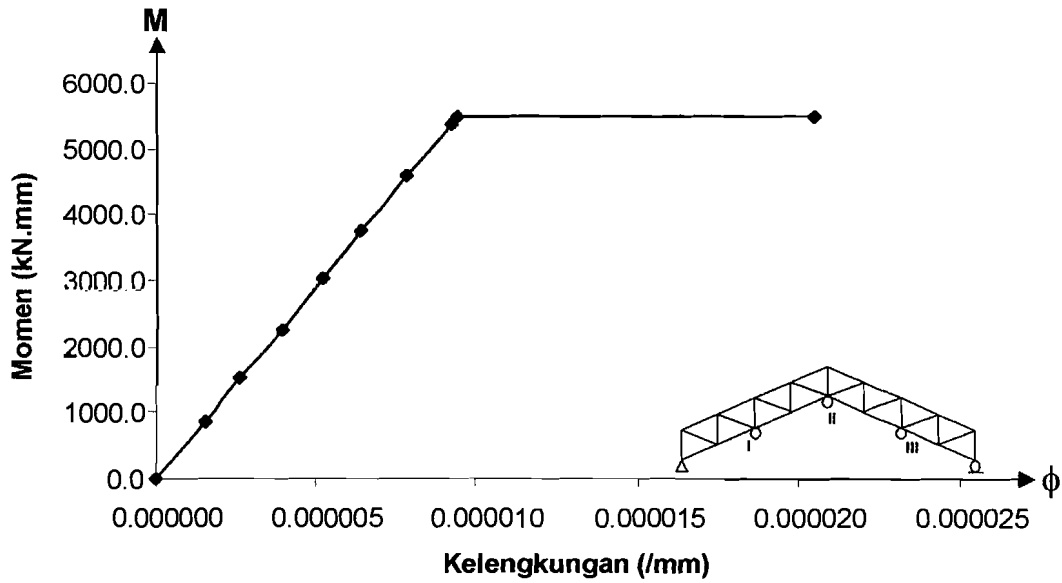
Dari Tabel 5.7 terlihat bahwa peningkatan faktor kekakuan dari  $L_1/L = 0,167$  ke  $L_1/L = 0,125$  dan  $L_1/L = 0,125$  ke  $L_1/L = 0,1$  masih cukup signifikan yaitu sebesar 20% namun dari  $L_1/L = 0,1$  ke  $L_1/L = 0,083$  faktor kekakuan cenderung menurun yaitu menurun sebesar 9%

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

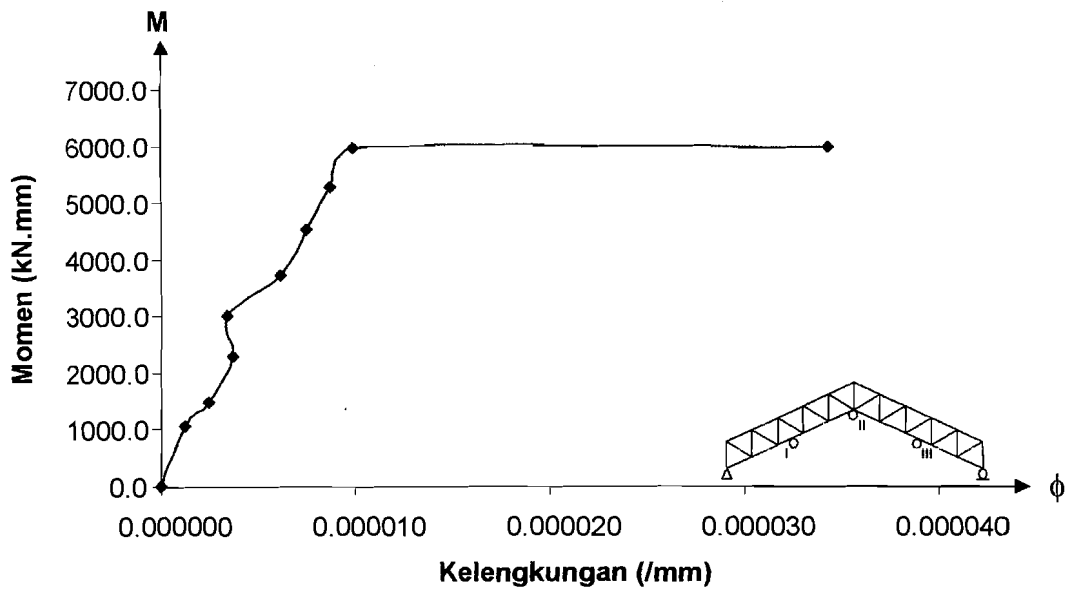
Dari hasil penelitian didapatkan data (P) – lendutan ( $\Delta$ ), sehingga dapat dicari momen (M) – kelengkungan ( $\phi$ ), untuk mencari kelengkungan dari rangka kuda – kuda dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.70). Hasil perhitungan kelengkungan sampai pada momen maksimum dari hasil analisis SAP 2000 dapat dilihat pada lampiran 2 dan dalam bentuk grafik berikut.



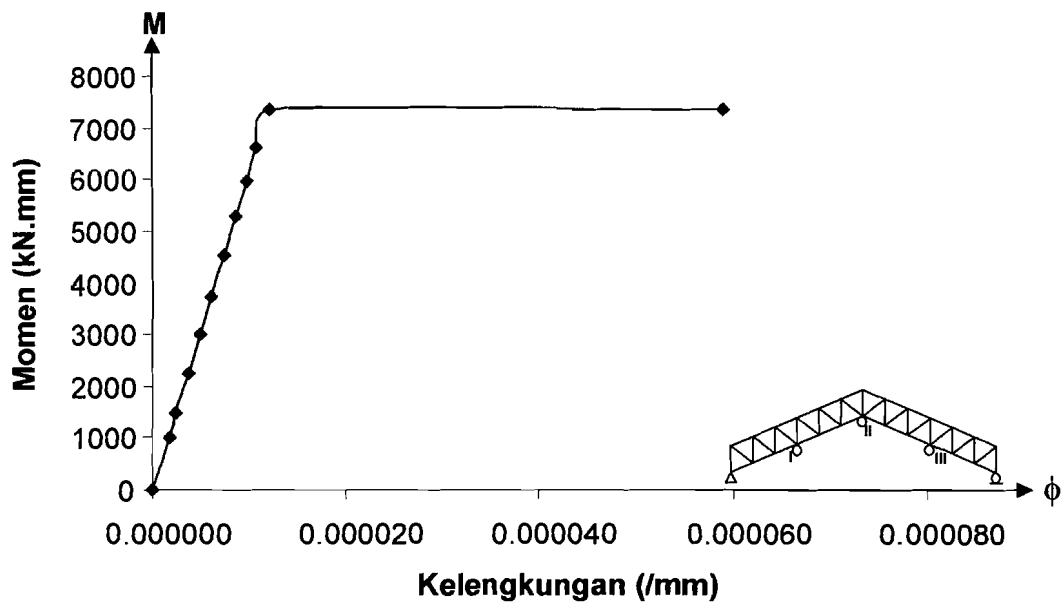
**Gambar 5. 29** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1 hasil analisis SAP 2000



**Gambar 5. 30** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2 hasil analisis SAP 2000



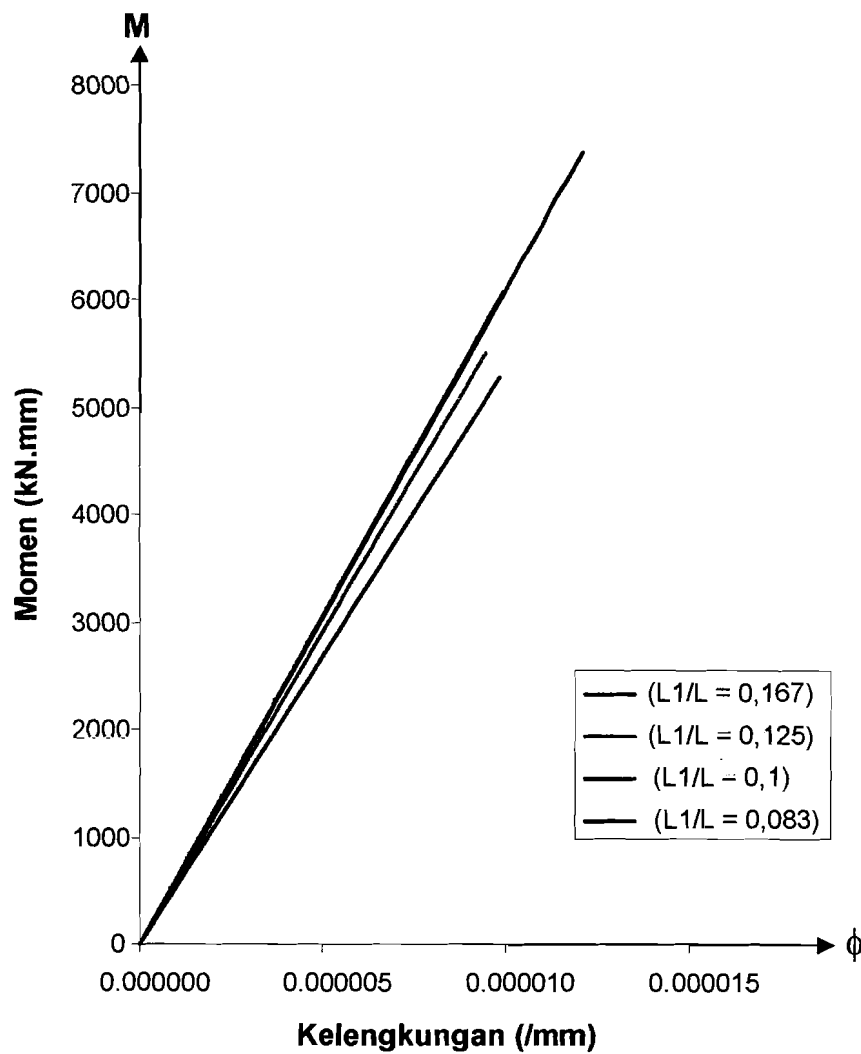
**Gambar 5. 31** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3 hasil analisis SAP 2000



**Gambar 5. 32** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 4 hasil analisis SAP 2000

#### 5.4.4 Analisis Faktor Kekakuan Rangka Batang Hasil analisis SAP 2000

Hubungan momen - kelengkungan hasil analisis SAP 2000 pada momen maksimum pada rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) dimana  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$ , dan  $L_1/L = 0,083$ , ditunjukkan pada Gambar 5.31.



**Gambar 5. 33** Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji hasil analisis SAP 2000

Pada Gambar 5.33 terlihat rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertical ( $L_1$ ) = 0,5 m ( $L_1/L = 0,083$ ) mempunyai kelengkungan yang lebih kecil dibandingkan dengan rangka batang tepi sejajar dengan  $L_1/L = 0,1$ ,  $L_1/L = 0,125$  dan  $L_1/L = 0,167$ . Sehingga semakin besar kelengkungan yang terjadi maka semakin kecil faktor kekakuan dapat dilihat pada lampiran 2. Untuk mencari faktor kekakuan dari rangka kuda-kuda dapat dicari dengan persamaan (3.70). Dari persamaan tersebut diperoleh faktor kekakuan seperti pada Tabel 5.8. Dengan anggapan bahwa faktor kekakuan pada  $L_1/L = 0,167$  sama dengan 1, maka rasio faktor kekakuan ketiga benda uji lainnya terhadap  $L_1/L = 0,167$  seperti pada Tabel 5.8 dibawah ini.

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

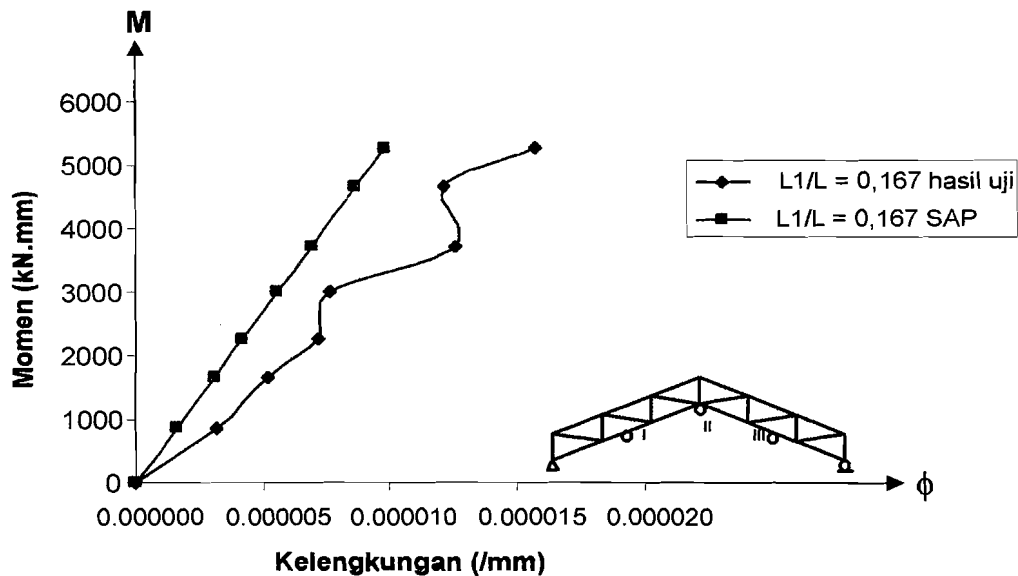
Rangka batang tepi sejajar $L_1/L$	Momen Maksimum (kN.mm)	$\phi$ (/mm)	Faktor kekakuan (kN.mm <sup>2</sup> )	Rasio faktor kekakuan
0,167	5250	0,0000098	535714285,70	1
0,125	5490	0,0000095	580474624,06	1,08
0,1	5970	0,0000100	597000000,00	1,11
0,083	7350	0,0000121	607438016,50	1,13

Dari Tabel 5.8 terlihat bahwa peningkatan faktor kekakuan dari  $L_1/L = 0,167$  ke  $L_1/L = 0,125$  sebesar 8%, peningkatan faktor kekakuan dari  $L_1/L = 0,125$  ke  $L_1/L = 0,1$  sebesar 3% dan peningkatan faktor kekakuan dari  $L_1/L = 0,1$  ke  $L_1/L = 0,083$  sebesar 2%.

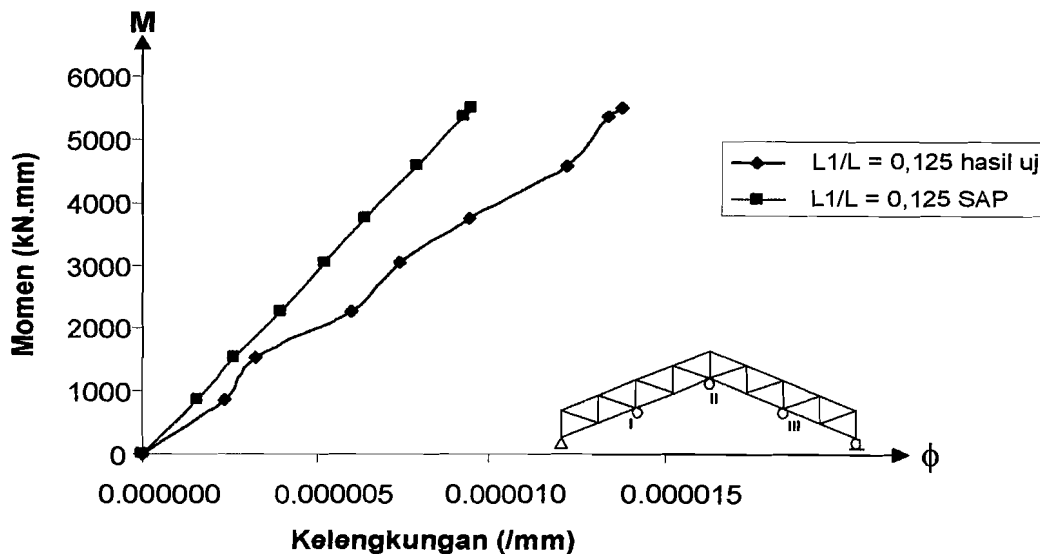


### 5.4.5 Grafik Momen – Kelengkungan Hasil Pengujian dan Analisa SAP

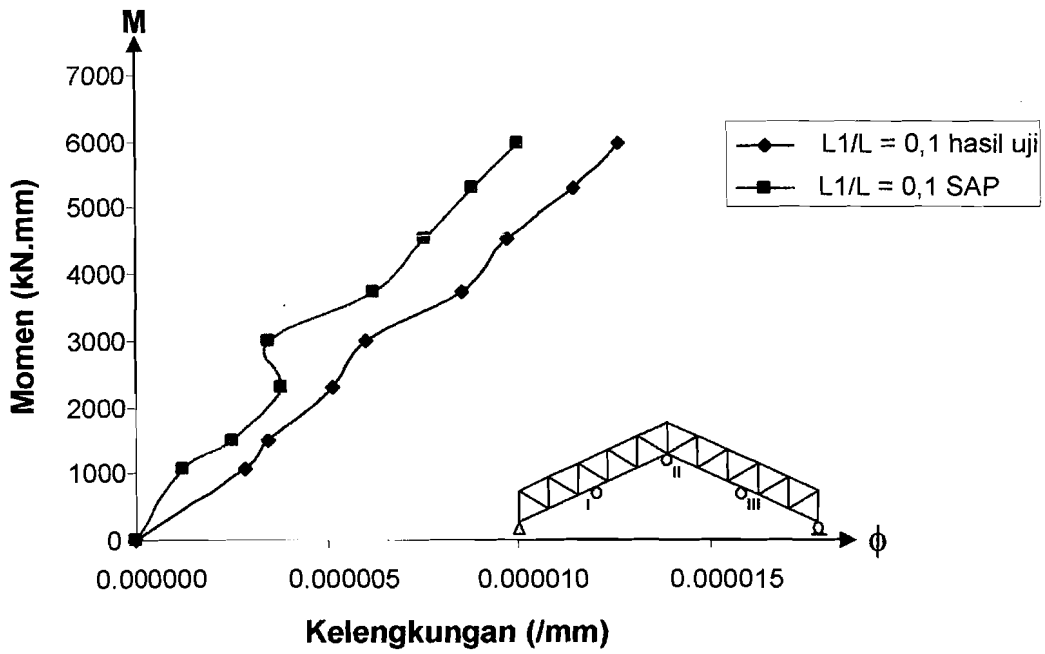
Dari penggabungan grafik hasil eksperimen dan analisis menggunakan SAP 2000 pada momen maksimum didapat hubungan momen - kelengkungan seperti pada gambar berikut.



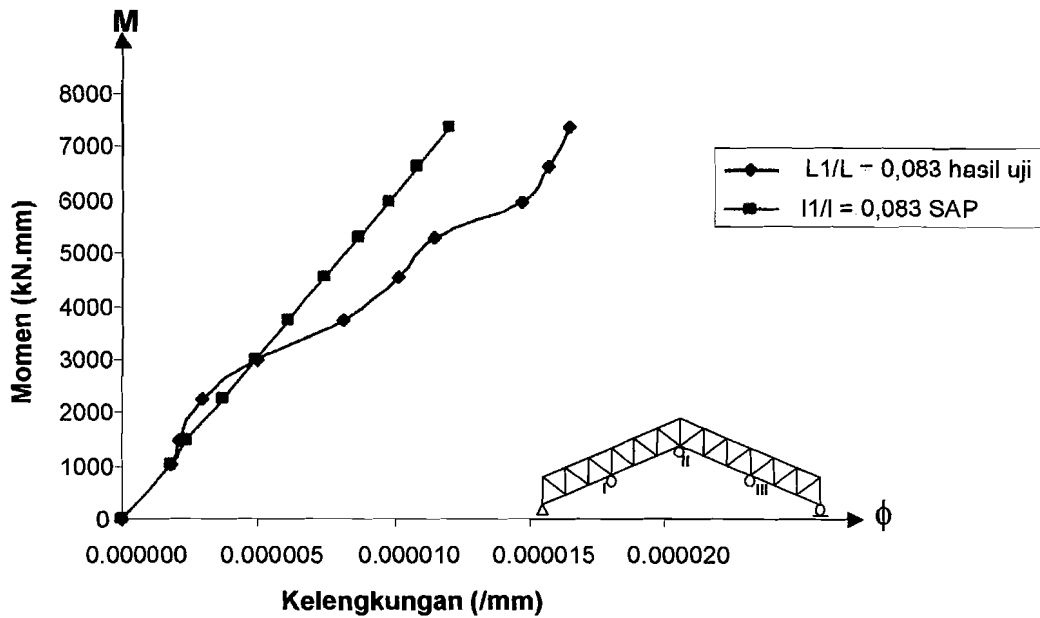
Gambar 5.34 Hubungan momen – kelengkungan  $L_1/L = 0,167$  pengujian dan  $L_1/L = 0,167$  analisis SAP 2000



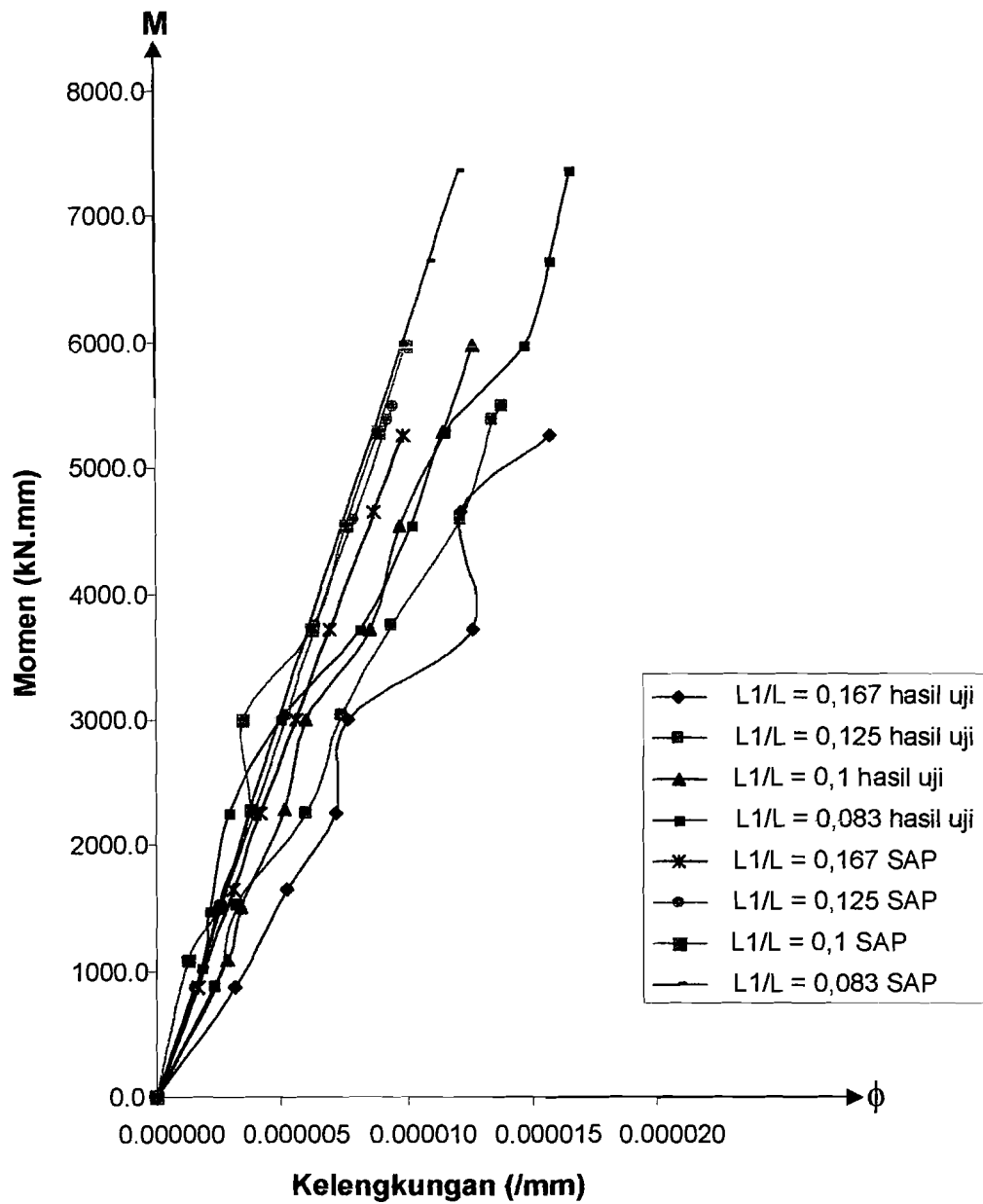
Gambar 5.35 Hubungan momen – kelengkungan  $L_1/L = 0,125$  pengujian dan  $L_1/L = 0,125$  analisis SAP 2000



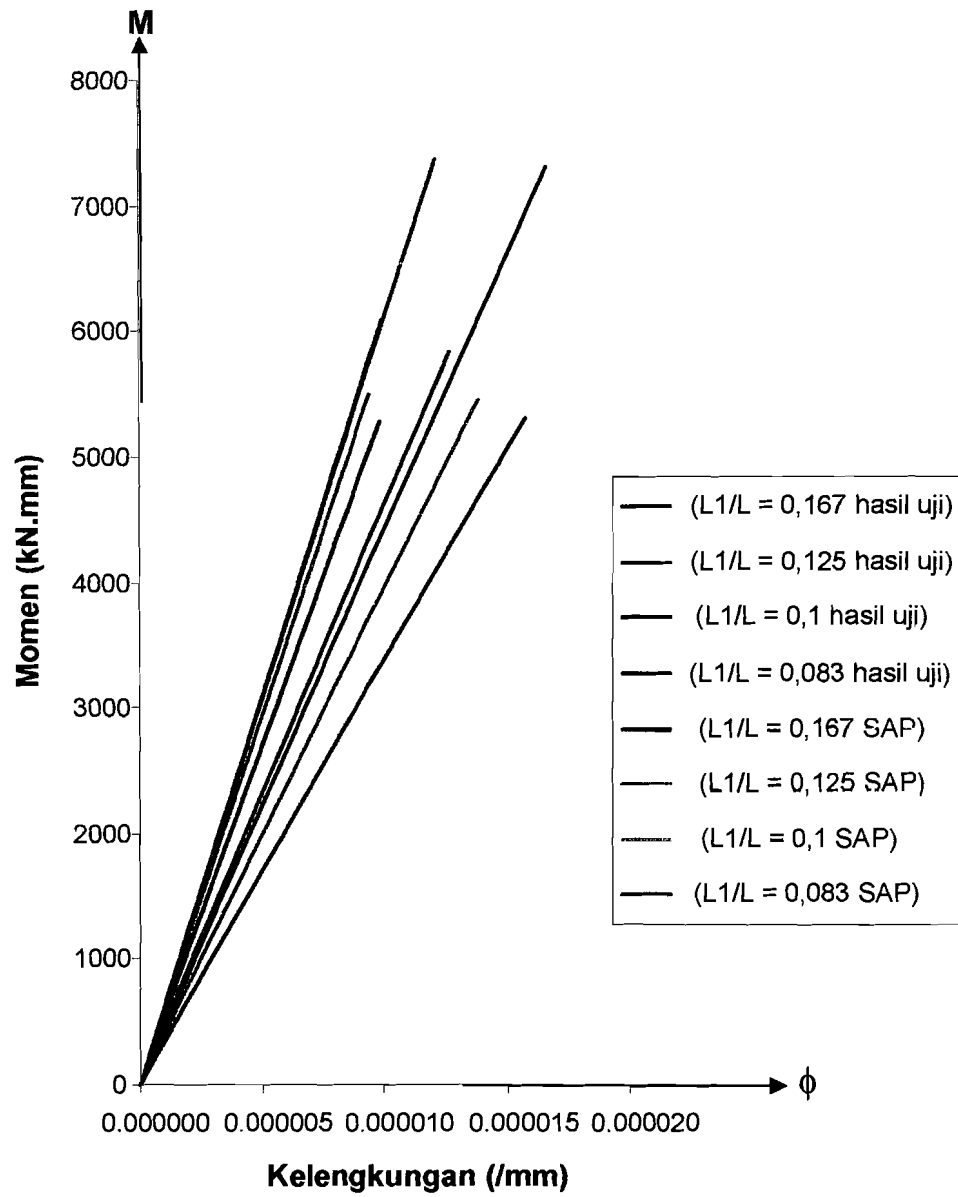
Gambar 5.36 Hubungan momen – kelengkungan  $L_1/L = 0,1$  pengujian dan  $L_1/L = 0,1$  analisis SAP 2000



Gambar 5.37 Hubungan momen – kelengkungan  $L_1/L = 0,083$  pengujian dan  $L_1/L = 0,083$  analisis SAP 2000



**Gambar 5.38** Hubungan momen – kelengkungan hasil pengujian dan analisis SAP 2000



**Gambar 5.39** Regresi Hubungan momen – kelengkungan hasil pengujian dan analisis SAP 2000

Tabel 5.9 Perbandingan hasil pengujian dengan analisis SAP 2000

Rangka batang tepi sejajar $L_1/L$	Beban Maks (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
0,167	3,500	328125000	1	535714285,70	1
0,125	3,660	392142857,1	1,20	580474624,06	1,08
0,1	3,980	459230769,2	1,40	597000000,00	1,11
0,083	4,900	432352941,2	1,31	607438016,50	1,13

Pada Tabel 5.9 terlihat bahwa rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) pada eksperimen mempunyai faktor kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan analisis menggunakan SAP 2000. Pada analisis menggunakan SAP 2000 untuk  $L_1 = 0,1$  m ( $L_1/L = 0,167$ ) mempunyai faktor kekakuan 1,63 kali lebih besar dibandingkan dengan  $L_1 = 0,1$  m ( $L_1/L = 0,167$ ) hasil eksperimen,  $L_1 = 0,75$  m ( $L_1/L = 0,125$ ) analisis SAP2000 mempunyai faktor kekakuan 1,48 lebih besar dibandingkan dengan  $L_1 = 0,75$  m ( $L_1/L = 0,125$ ) hasil eksperimen,  $L_1 = 0,6$  m ( $L_1/L = 0,1$ ) mempunyai faktor kekakuan 1,30 lebih besar dibandingkan dengan  $L_1 = 0,6$  m ( $L_1/L = 0,1$ ) hasil eksperimen, sedangkan untuk  $L_1 = 0,5$  m ( $L_1/L = 0,083$ ) mempunyai faktor kekakuan 1,40 lebih besar dibandingkan dengan  $L_1 = 0,5$  m ( $L_1/L = 0,083$ ) hasil eksperimen.

## 5.5 TINJAUAN ANALITIS

Uji lentur kuda-kuda batang tepi sejajar yang dilakukan di Laboratorium menghasilkan beban maksimum yang dapat dipikul oleh kuda-kuda. Beban maksimum ( $P_{\text{eksperimen}}$ ) yang didapat kemudian dimasukkan dalam SAP 2000 sehingga didapat gaya-gaya batang. Gaya batang analisis SAP 2000 untuk tiap elemen terdapat pada Lampiran 3.

### 5.5.1 Nilai Koefisien Tekuk

#### a. Koefisien Tekuk Lokal Uji Desak

Berdasarkan uji desak dua macam 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 untuk benda uji yang bagian tepinya menggunakan las = 89,931 Mpa dan nilai  $F_{cr}$  rata-rata untuk benda uji yang bagian tepinya menggunakan baut = 72,120 Mpa. Nilai koefisien tekuk plat ( $k$ ) untuk batang tekan ini dapat dicari menggunakan Persamaan (3.28). Perhitungan nilai koefisien tekuk plat ( $k$ ) dapat dilihat pada lampiran 6. Hasil perhitungan seperti pada Tabel 5.10 di bawah ini.

$$\text{Koefisien tekuk plat (Pers 3.28)} : k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) (b/t)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

**Tabel 5. 10** Koefisien tekuk lokal uji desak profil untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan las

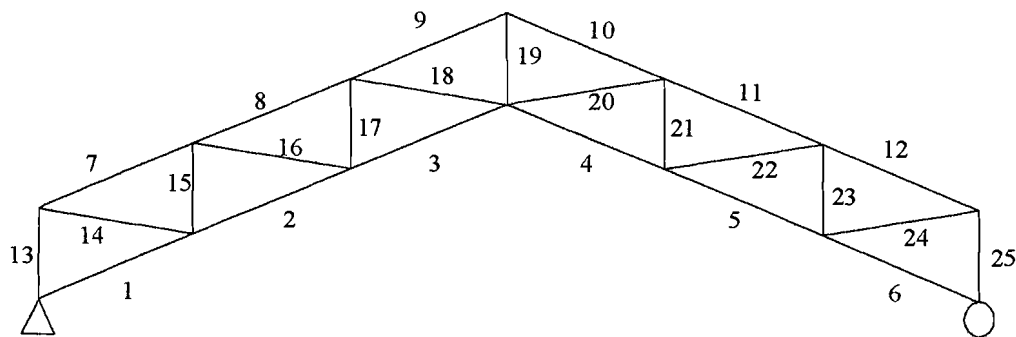
Benda uji	$F_{cr}$ (MPa)	$\pi$	A (mm)	b/t	$\mu$	Koefisien Tekuk plat (k)
Uji desak	89,931	3,14	144	18,333	0,3	0,167

**Tabel 5. 11** Koefisien tekuk lokal uji desak profil untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan baut

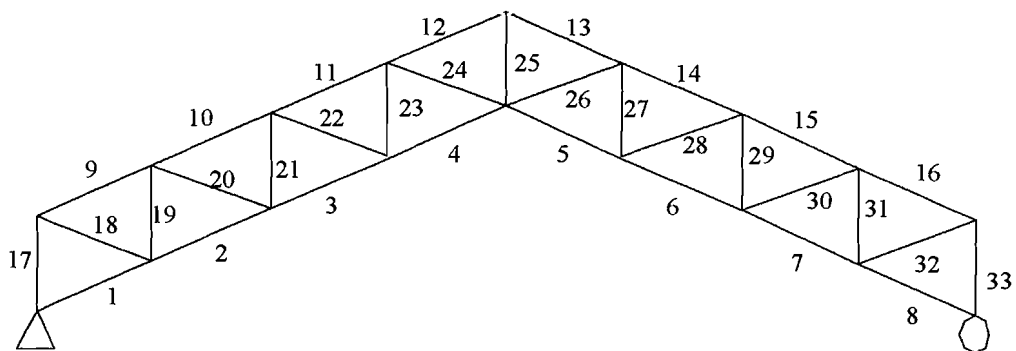
Benda uji	$F_{cr}$ (MPa)	$\pi$	A (mm)	b/t	$\mu$	Koefisien Tekuk plat (k)
Uji desak	70,120	3,14	144	18,333	0,3	0,131

### b. Tekuk Uji Lentur

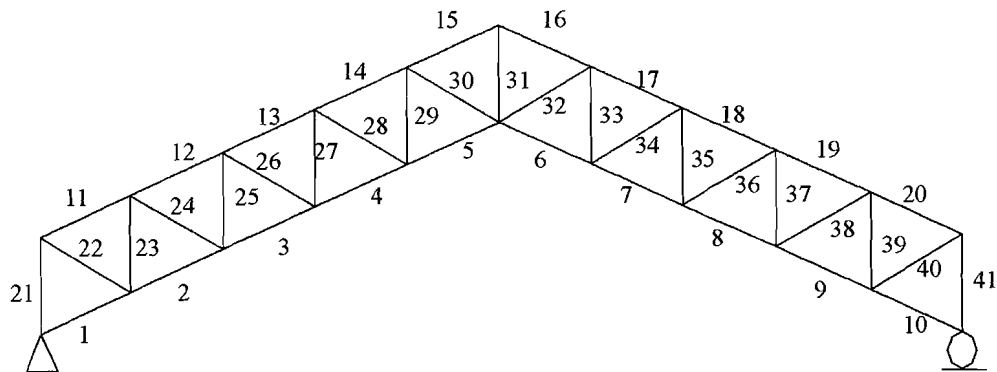
Beban maksimum yang dapat dipikul oleh rangka dari hasil eksperimen digunakan untuk mendapatkan gaya aksial yang terjadi pada rangka dengan menggunakan bantuan program SAP 2000. Dari hasil analisis SAP 2000 diperoleh *element forces* (  $P$  ) sehingga dapat dicari nilai  $F_{cr}$  seperti yang terdapat pada lampiran 5, dan dapat dicari pula koefisien tekuk pelat ( $k$ ) menggunakan Persamaan (3.28). Koefisien tekuk ( $k$ ) hanya dapat diperoleh dari batang yang rusak akibat tekuk. Empat benda uji kuda-kuda batang tepi sejajar mengalami tekuk pada batang tekan, yaitu batang 9 untuk  $L_1/L = 0,167$  pada Gambar 5.40, batang 12 untuk  $L_1/L = 0,125$  pada Gambar 5.41, batang 15 untuk  $L_1/L = 0,1$  pada Gambar 5.42 dan batang 18 untuk  $L_1/L = 0,083$  pada Gambar 5.43.



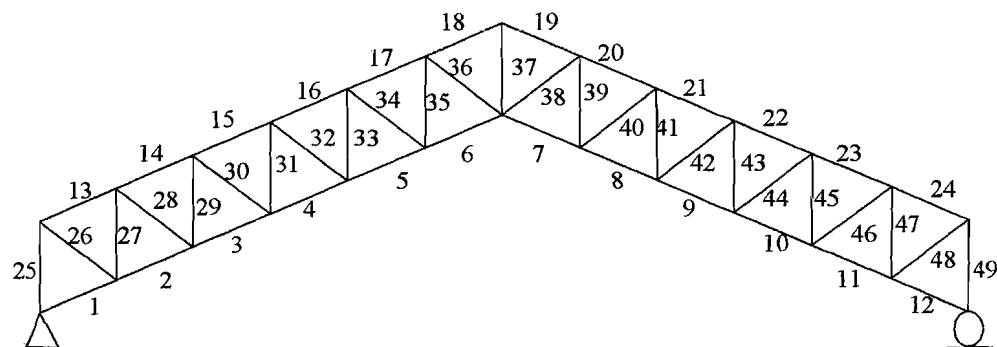
**Gambar 5. 40** Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertical  $L_1 = 1000$  mm ( $L_1/L = 0,167$ )



**Gambar 5. 41** Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertical  $L_1 = 750$  mm ( $L_1/L = 0,125$ )



**Gambar 5. 42** Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertical  $L_1 = 600$  mm ( $L_1/L = 0,1$ )



**Gambar 5. 43** Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertical  $L_1 = 500$  mm ( $L_1/L = 0,083$ )

Pada ke-4 model benda uji tekuk yang terjadi adalah *local buckling*. Nilai koefisien tekuk untuk empat benda uji ditunjukkan pada Tabel 5.12 di bawah ini.

**Tabel 5.12** Koefisien tekuk plat ( $k$ ) tiap benda uji

Benda uji	Batang	P (kN)	$\pi$	A (mm)	F <sub>cr</sub> (MPa)	b/t	$\mu$	Koefisien tekuk plat ( $k$ )
1	9	11,018	3,14	144	76,514	18,333	0,3	0,142
2	12	11,549	3,14	144	80,201	18,333	0,3	0,149
3	15	12,569	3,14	144	87,285	18,333	0,3	0,162
4	18	15,474	3,14	144	107,458	18,333	0,3	0,200

dengan :  $P_{cr}$  = beban tekuk; A = luas penampang melintang; F<sub>cr</sub> = tegangan kritis.



## 5.6 PEMBAHASAN

Dari penelitian uji lentur rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal didapatkan hubungan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ), yang menghasilkan nilai kekakuan. Berdasarkan grafik hubungan beban-lendutan, dapat diketahui kekakuan dan kekuatan dari setiap struktur rangka batang. Hal ini dapat diketahui berdasarkan Gambar 5.7 dan Tabel 5.4, beban akhir yang dapat dipikul rangka batang berkisar antar 3,5 kN sampai 4,9 kN, sedangkan lendutan yang terjadi berkisar antara 9,6 mm sampai 11,52 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 5.7 dan Tabel 5.4 dapat disimpulkan bahwa, dari ke-4 model benda uji, rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal ( $L_1$ ) = 500 mm dan panjang bentang ( $L$ ) 6000 mm ( $L_1/L = 0,083$ ) mempunyai kekakuan dan kekuatan paling besar, hal ini mungkin dikarenakan jarak batang pengisi yang berupa batang vertikal pada rangka tersebut paling pendek dibandingkan jarak batang vertikal pada  $L_1/L = 0,1$ ,  $L_1/L = 0,125$  dan  $L_1/L = 0,167$ . Sehingga pada rangka batang tepi sejajar dengan jarak batang vertikal ( $L_1$ ) = 0,5 m ( $L_1/L = 0,083$ ) mempunyai panjang batang efektif paling pendek dibanding ketiga benda uji lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa jarak batang pengisi yaitu batang vertikal berpengaruh terhadap panjang efektif batang tepi rangka yang memikul tekan terutama batang tepi atas. Jika panjang efektif batang tekan semakin pendek maka beban maksimum yang dapat ditahan rangka sebelum terjadinya tekuk semakin besar dan lendutan yang terjadi semakin kecil sehingga struktur rangka akan semakin kuat dan kaku. Oleh karena itu jarak batang vertikal yang satu mempunyai efek kekakuan dan kekuatan yang berbeda dari jarak batang vertikal lainnya.

Terlihat pada Tabel 5.4 bahwa rasio kekakuan pada  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$  dan  $L_1/L = 0,083$  adalah 1: 1,09 : 1,21 : 1,26. Rasio kekuatan pada  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$  dan  $L_1/L = 0,083$  adalah 1: 1,05 :

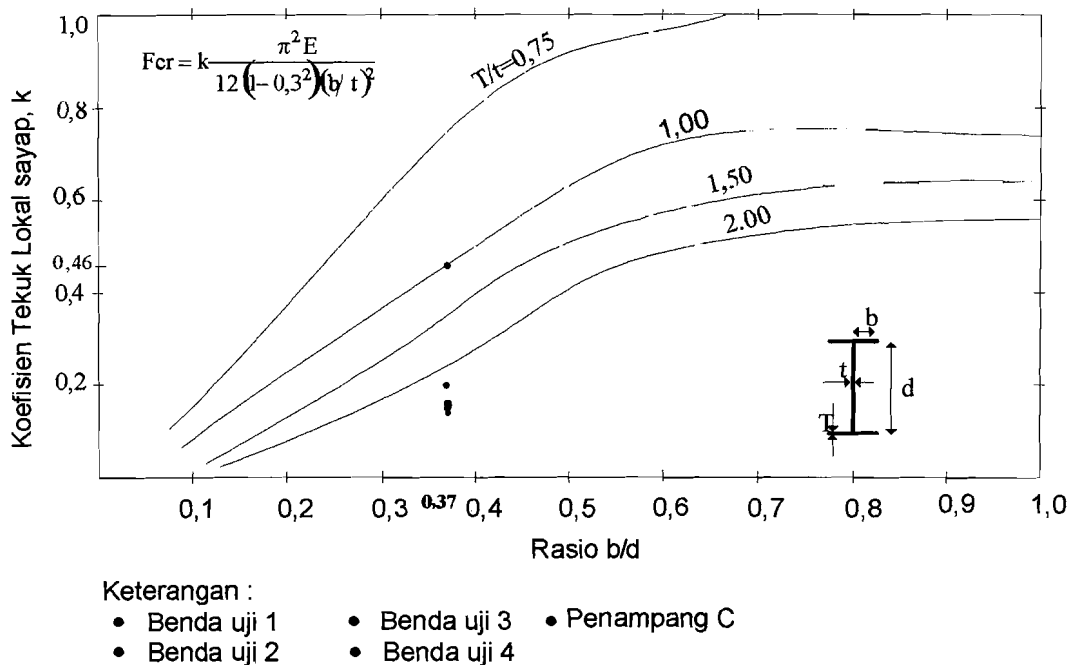
1,14 :1,40. Peningkatan kekakuan dari  $L_1/L = 0,167$  ke  $L_1/L = 0,125$  sebesar 9% dan peningkatan kekakuan dari  $L_1/L = 0,125$  ke  $L_1/L = 0,1$  sebesar 12%, dimana peningkatan kekakuan ini masih cukup signifikan. Namun peningkatan kekakuan dari  $L_1/L = 0,1$  ke  $L_1/L = 0,083$  kurang signifikan yaitu sebesar 5%. Jadi mulai  $L_1/L$  lebih kecil dari 0,01 tidak terlalu terjadi peningkatan kekakuan karena kekakuan cenderung stabil tetapi hanya akan meningkatkan kekuatan dari struktur. Pada Tabel 5.7 terlihat bahwa rasio faktor kekakuan pada  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$  dan  $L_1/L = 0,083$  adalah 1: 1,20 : 1,40 :1,31. Peningkatan faktor kekakuan dari  $L_1/L = 0,167$  ke  $L_1/L = 0,125$  dan  $L_1/L = 0,125$  ke  $L_1/L = 0,1$  masih cukup signifikan yaitu sebesar 20% namun dari  $L_1/L = 0,1$  ke  $L_1/L = 0,083$  faktor kekakuan cenderung menurun. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa rangka memiliki kekakuan dan faktor kekakuan yang optimum pada  $L_1/L = 0,1$ , karena untuk  $L_1/L$  lebih kecil dari 0,1 kekakuan cenderung stabil dan faktor kekakuan cenderung menurun.

Kekakuan rangka batang analisis SAP 2000 memiliki nilai yang lebih besar dari kekakuan hasil penelitian, hal ini disebabkan pada analisis SAP tidak dimungkinkan terjadi tekuk lokal pada struktur rangka batang.

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 kuda-kuda. 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.

Terlihat pada Tabel 5.12 bahwa koefisien tekuk pelat ( $k$ ) berdasarkan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) hasil pengujian didapat nilai yang relatif kecil, yaitu berkisar antara  $k = 0,142$  sampai  $k = 0,2$ . 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 C 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 5.44 yaitu  $k = 0,46$ , begitu juga dengan koefisien tekuk untuk pelat pada Gambar 3.17 memiliki nilai koefisien tekuk minimal pelat,  $k = 0,425$  maupun nilai koefisien tekuk menurut *Schafer (1997)*, yaitu  $k = 0,72$ .

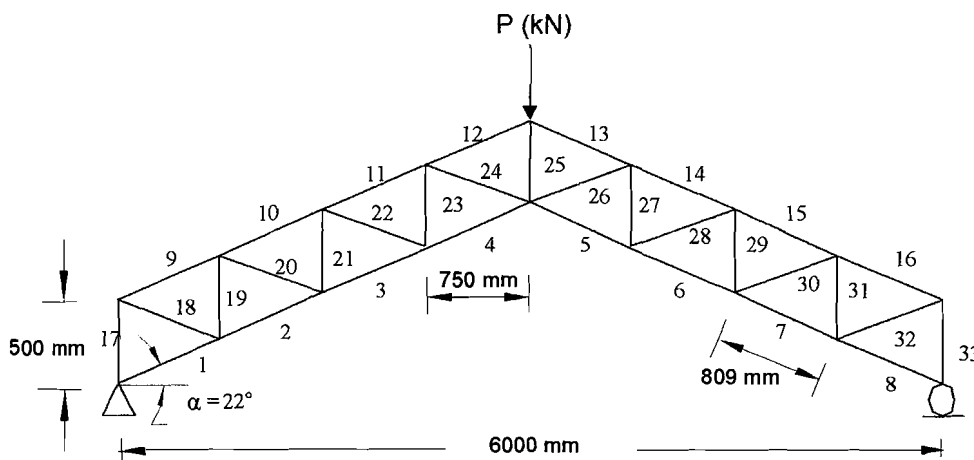


**Gambar 5.44** Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi tekan. (*Trahair dan Bradford 1988*)

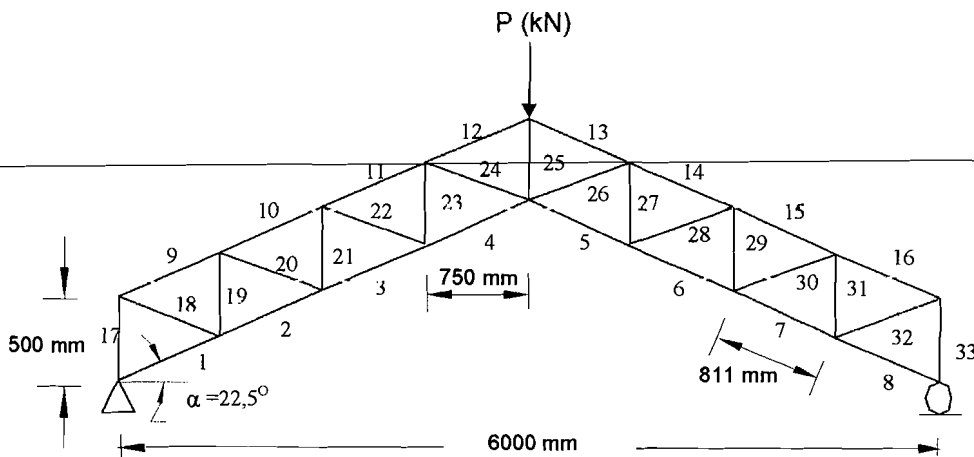
Pada pembahasan ini juga dibandingkan kekakuan, kekuatan dan koefisien tekuk ( $k$ ) benda uji ke-2 yaitu pada  $L_1/L = 0,125$  dengan sudut ( $\alpha$ ) =  $22^\circ$  dengan benda uji pada penelitian "Rangka Batang Tepi Sejajar dengan variasi Tinggi terhadap Bentang" yang memiliki  $L_1/L = 0,125$  dan sudut yang hampir sama yaitu  $\alpha = 22,5^\circ$  seperti pada Gambar 5.45 dan Gambar 5.46. Beban akhir yang dapat dipikul serta lendutan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.12** Rasio Kekakuan, dan kekuatan pada rangka batang tepi sejajar  $L_1/L = 0,125$  pada  $\alpha = 22^\circ$  dan  $\alpha = 22,5^\circ$

Sudut ( $\alpha^\circ$ )	Rangka batang tepi sejajar $L_1/L = 0,125$				
	Beban Maks (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
22	3,66	10,02	0,37	1	1
22,5	5,13	25,20	0,20	0,54	1,40



**Gambar 5. 45** Rangka batang tepi sejajar dengan  $L_1/L = 0,125$  pada sudut  $22^\circ$



**Gambar 5. 46** Rangka batang tepi sejajar dengan  $L_1/L = 0,125$  pada sudut  $22,5^\circ$

Terlihat pada Tabel 5.12 bahwa pada rangka batang tepi sejajar  $L_1/L = 0,125$  pada  $\alpha = 22^\circ$  memiliki kekakuan 1,85 kali lebih besar dari rangka dengan  $\alpha = 22,5^\circ$ . Tetapi pada  $\alpha = 22,5^\circ$  memiliki kekuatan 1,40 kali lebih besar dari rangka

dengan  $\alpha = 22^\circ$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada  $L_1/L$  yang sama dengan sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) yang semakin besar memiliki kekakuan yang lebih kecil dibanding dengan sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) yang lebih kecil. Hal ini dapat dikarenakan pada sudut kemiringan atap yang lebih kecil memiliki panjang efektif batang tekan yang lebih pendek sehingga lendutan yang terjadi kecil maka struktur cenderung semakin kaku. Tetapi pada sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) yang semakin besar memiliki kekuatan yang lebih besar dibanding dengan sudut yang lebih kecil, sehingga semakin besar sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) maka beban maksimum yang dapat ditahan rangka sebelum terjadinya tekuk semakin besar.

Rangka batang tepi sejajar pada  $L_1/L = 0,125$  dengan sudut ( $\alpha$ ) =  $22^\circ$  dan sudut ( $\alpha$ ) =  $22,5^\circ$  mengalami tekuk lokal pada batang tepi atas yaitu batang tekan yang mengalami beban paling besar.

**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	16,197	3,14	144	112,479	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*.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penjelasan serta uraian dalam pembahasan Tugas Akhir ini, kesimpulan dan saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

#### 6.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini, kuda-kuda rangka dengan batang tepi sejajar profil *Lipped Channel* bentukan dingin dengan variasi jarak batang vertical ( $L_1$ ) yaitu pada  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$  dan  $L_1/L = 0,083$ , adalah meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Rasio kekuatan pada  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$  dan  $L_1/L = 0,083$  adalah 1: 1,05 : 1,14 : 1,40. Rasio Kekakuan pada  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$  dan  $L_1/L = 0,083$  adalah 1: 1,09 : 1,21 : 1,26. Rasio faktor kekakuan pada  $L_1/L = 0,167$ ,  $L_1/L = 0,125$ ,  $L_1/L = 0,1$  dan  $L_1/L = 0,083$  adalah 1: 1,20 : 1,40 : 1,31.
2. Terjadi tekuk lokal pada elemen tekan yang menahan beban terbesar diantara seluruh elemen tekan penyusun tampang dan tegangan kritis pada elemen yang mengalami tekuk relatif kecil yaitu  $76,514 \text{ kN/mm}^2$  pada  $L_1/L = 0,167$ ,  $80,201 \text{ kN/mm}^2$  pada  $L_1/L = 0,125$ ,  $87,285 \text{ kN/mm}^2$  pada  $L_1/L = 0,1$  dan  $107,458 \text{ kN/mm}^2$  pada  $L_1/L = 0,083$ .
3. Nilai koefisien tekuk plat profil *lipped channel* hasil uji lentur, berkisar antara  $k = 0,142$  sampai  $k = 0,2$ .
4. Kekakuan rangka batang analisis SAP 2000 memiliki nilai yang lebih besar dari kekakuan hasil penelitian, hal ini disebabkan pada analisis SAP tidak dimungkinkan terjadi tekuk lokal pada struktur rangka batang, maka pada analisis SAP rangka batang cenderung memiliki kekakuan yang lebih besar.

Rangka batang tepi sejajar memiliki kekakuan dan faktor kekakuan yang optimum pada rasio jarak batang vertikal terhadap bentang ( $L_1/L$ ) = 0,1, karena untuk  $L_1/L$  lebih kecil dari 0,1 kekakuan cenderung stabil dan faktor kekakuan cenderung menurun.

## 6.2 SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan beserta kesimpulan sebelumnya, maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk aplikasi lapangan :

Pada penggunaan rangka batang tepi sejajar sebagai struktur rangka atap sebaiknya rasio jarak batang vertikal terhadap bentang ( $L_1/L$ ) yang digunakan adalah 0,1.

2. Untuk penelitian selanjutnya :

- a. Pengaruh variasi jarak pengekang lateral terhadap kekuatan kuda-kuda batang tepi sejajar.
- b. Pengaruh rasio jarak antar batang tepi terhadap panjang bentang kuda-kuda batang tepi sejajar ( $H_1/L$ ).

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung Hartono, 2005, **Perilaku Lentur Kuda-kuda Rangka Howe dari Baja Ringan Profil Bentukan Dingin dengan Variasi Jarak Pengekang Lateral**, Tugas akhir jurusan teknik sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- AISC, 1973, **Manual of Steel Construction**, Seventh Edition, American Institute of Steel Construction Inc, New York
- Beedle, Lynn S, 1958, **PLASTIS DESIGN of STEEL FRAMES**, John Willey & Sons, Inc, The United States of America.
- Daniel L Schodek, 1991, **STRUKTUR**, PT.ERESCO, Bandung.
- Ferdinand L. Singer, 1985, **Kekuatan Bahan (Teori kokoh, Strength of Materials)**, edisi Ketiga, diterjemahkan oleh Darwin Sebayang, Erlangga, Jakarta.
- Gere dan Timoshenko, 1987, **MEKANIKA BAHAN**, Jilid I, Airlangga, Jakarta.
- , 2000, **MEKANIKA BAHAN**, Jilid II, Edisi keempat, Airlangga, Jakarta.
- Gideon Hadi Kusuma, 1983, **PERENCANAAN BANGUNAN BAJA**, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Hsieh, Yuan-Yu, 1983, **TEORI DASAR STRUKTUR**, Edisi Kedua, diterjemahkan oleh Suryadi, Erlangga, Jakarta.
- Lambert Tall, 1974, **STRUKTUR STEEL DESIGN**, 2<sup>nd</sup> Edition, The Ronald Press Company, New York.
- Muslihudin, Ibnu Hajar, 2005, **Perilaku Kuda-kuda Rangka Batang Profil Lipped Channel Bentukan Dingin**, Tugas akhir jurusan teknik sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- N.S Trahair and M.A. Bradford, 1988, **THE BEHAVIOUR AND DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, 2<sup>nd</sup> Edition, Chapman and Hall, New York.
- Padosbajayo, 1992, **PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA**, Paguyuban Dosen Baja Yogyakarta, Yogyakarta.



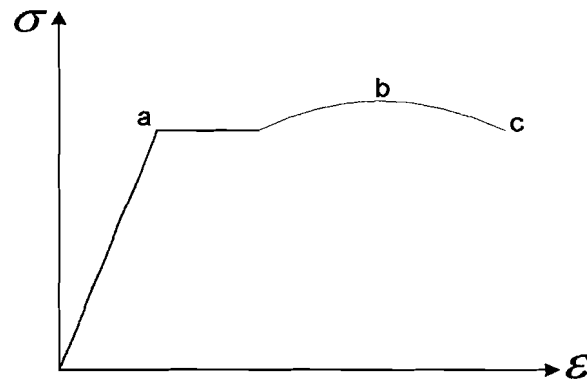
- Salmon, C.G dan J.E. Johnson, 1992, **STRUKTUR BAJA DISAIN DAN PERILAKU**, Edisi kedua, Jilid I, Erlangga, Jakarta.
- Schafer, B.W, 1997, **THIN-WALLED COLUMN DESIGN CONSIDERING LOCAL, DISTORTIONAL AND EULER BUCKLING**, *Journal Of Structural Engineering*, [www.ce.jhu.edu/bschafer/dist\\_columns/paper.pdf](http://www.ce.jhu.edu/bschafer/dist_columns/paper.pdf)/March ,289-290.
- Supriono dan Radhiatama Eka Chrismawan, 2006, **Perilaku Lentur Kuda-kuda dengan Batang Tepi Sejajar Profil Bentuk Dingin**, Tugas akhir jurusan teknik sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Wai-fah Chen, Toshio Atsuta, 1936, **Theory of Beams-Columns**, Volume 1: In-Plane Behaviour And Design, McGraw-Hill Book Company.
- Wang, Chu-Kia, 1985, **PENGANTAR ANALISIS STRUKTUR DENGAN CARA MATRIKS**, Erlangga, Jakarta.
-

# LAMPIRAN 1

## Hasil Uji Bahan

### I. UJI TARIK BAJA

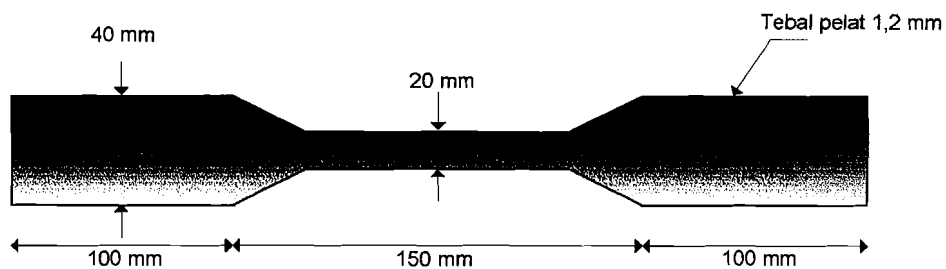
Pengujian ini merupakan uji terhadap kekuatan tarik bahan profil Lipped Channel 60×22×0,8 dengan tebal 1,2 mm yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 23 Mei 2006. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :



Beban Leleh (a)

Beban Maksimum (b)

Beban Patah (c)



Gambar L1.1 Benda uji kuat tarik baja

### Hasil pengujian kuat tarik profil Lipped Channel 60x22x8x1,2

#### a. Sampel I

$$\text{Beban leleh} = 240 \text{ kg}$$

$$\text{Beban maksimum} = 385 \text{ kg}$$

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 0,12 \text{ cm}$$

$$A_o = l \times t = 0,24 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat leleh (Fy)} &= \frac{Py}{A_o} \\ &= \frac{240}{0,24} \\ &= 1000 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 100 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik (Fu)} &= \frac{Pu}{A_o} \\ &= \frac{385}{0,24} \\ &= 1604,17 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 160,417 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### b. Sampel II

$$\text{Beban leleh} = 287,5 \text{ kg}$$

$$\text{Beban maksimum} = 380 \text{ kg}$$

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2,015 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 0,12 \text{ cm}$$

$$A_o = l \times t = 0,2418 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kuat leleh (Fy)} = \frac{Py}{A_o}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{287,5}{0,2418} \\
 &= 1188,99 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 118,899 \text{ Mpa} \\
 \text{Kuat tarik (Fu)} &= \frac{Pu}{Ao} \\
 &= \frac{380}{0,2418} \\
 &= 1571,55 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 157,155 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

**c. Sampel III**

$$\text{Beban leleh} = 227,5 \text{ kg}$$

$$\text{Beban maksimum} = 360 \text{ kg}$$

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2,04 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 0,12 \text{ cm}$$

$$Ao = l \times t = 0,2448 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat leleh (Fy)} &= \frac{Py}{Ao} \\
 &= \frac{227,5}{0,2448} \\
 &= 929,33 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 92,933 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tarik (Fu)} &= \frac{Pu}{Ao} \\
 &= \frac{360}{0,2448} \\
 &= 1470,59 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 147,059 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

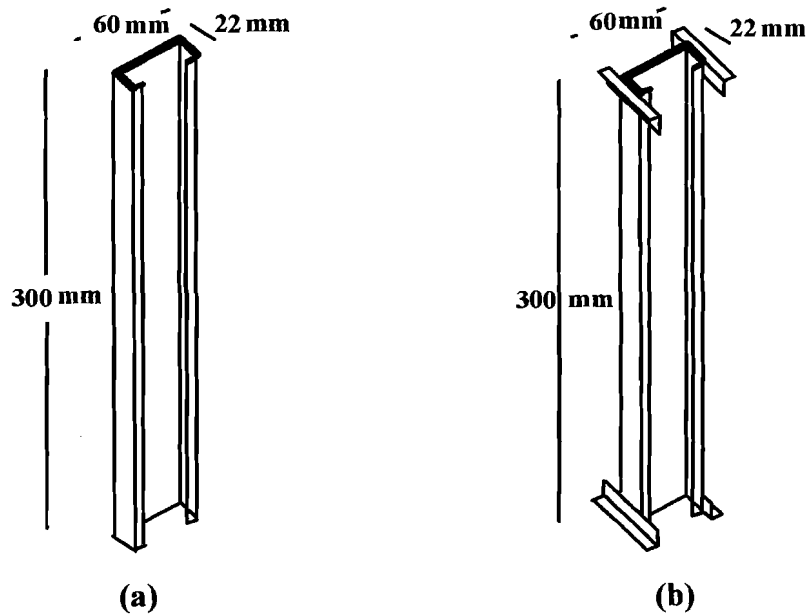
$$\begin{aligned} \text{Kuat leleh rata-rata} &= \frac{100 + 118,899 + 92,933}{3} \\ &= 103,944 \text{ Mpa} \\ \text{Kuat tarik rata-rata} &= \frac{160,417 + 157,155 + 147,059}{3} \\ &= 154,877 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tabel L1. 1 Hasil uji kuat tarik baja

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

## II. Uji Kuat Desak Baja

Pengujian ini merupakan uji terhadap kekuatan tekan bahan profil *Lipped Channel* 60×22×0,8 dengan tebal 1,2 mm yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 23 Mei 2006. Pengujian menggunakan dua buah macam sampel benda uji yaitu (a) benda uji dengan bagian tepi menggunakan las dan (b) benda uji dengan bagian tepi menggunakan baut.



Gambar L1.2 Benda uji kuat desak baja

1. Hasil pengujian kuat tekan profil Lipped Channel 60x22x8x1,2 benda uji yang menggunakan las

a. Sampel I

$$\text{Beban maksimum} = 1160 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat Desak (sampel 1)} = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}}$$

$$= \frac{1160 \text{ kg}}{144.10^{-2} \text{ cm}^2}$$

$$= 805,56 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 80,556 \text{ Mpa}$$

b. Sampel II

$$\text{Beban maksimum} = 1335 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat Desak (sampel 2)} = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}}$$

$$= \frac{1335 \text{ kg}}{144.10^{-2} \text{ cm}^2}$$

$$= 927,08 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 92,708 \text{ Mpa}$$

**c. Sampel III**

$$\text{Beban maksimum} = 1390 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat Desak (sampel 3)} = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}}$$

$$= \frac{1390 \text{ kg}}{144 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2}$$

$$= 965,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 96,528 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat Desak Rata-rata} = \frac{80,556 + 92,708 + 96,528}{3} = 89,931 \text{ Mpa}$$

**Tabel L1.1 Hasil uji kuat desak profil baja untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan las**

Nilai hasil uji	Benda uji 1 (panjang 300 mm)	Benda uji 2 (panjang 300 mm)	Benda uji 3 (panjang 300 mm)
Beban maksimum (N)	11,60	13,35	13,90
Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	144		
Tegangan Kritis (F <sub>or</sub> ) (MPa)	80,556	92,708	96,528
Tegangan Kritis rata-rata (F <sub>or</sub> ) (MPa)	89,931		

**2. Hasil pengujian kuat tekan profil Lipped Channel 60x22x8x1,2 benda uji yang menggunakan baut**

**a. Sampel I**

$$\text{Beban maksimum} = 1150 \text{ kg}$$

$$\text{Kuat Desak (sampel 1)} = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}}$$



$$\begin{aligned} &= \frac{1150 \text{ kg}}{144 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 798,61 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 79,861 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

**b. Sampel II**

$$\text{Beban maksimum} = 1070 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Desak (sampel 2)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{1070 \text{ kg}}{144 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 743,06 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 74,306 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

**c. Sampel III**

$$\text{Beban maksimum} = 910 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Desak (sampel 3)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{910 \text{ kg}}{144 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 631,94 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 63,194 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

---

$$\text{Kuat Desak Rata-rata} = \frac{78,861 + 74,306 + 63,194}{3} = 72,120 \text{ Mpa}$$

**Tabel L1.2 Hasil uji kuat desak profil baja untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan 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
Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	144		
Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) (MPa)	79,861	74,306	63,194
Tegangan Kritis rata-rata ( $F_{cr}$ ) (MPa)	72,120		

# LAMPIRAN 2

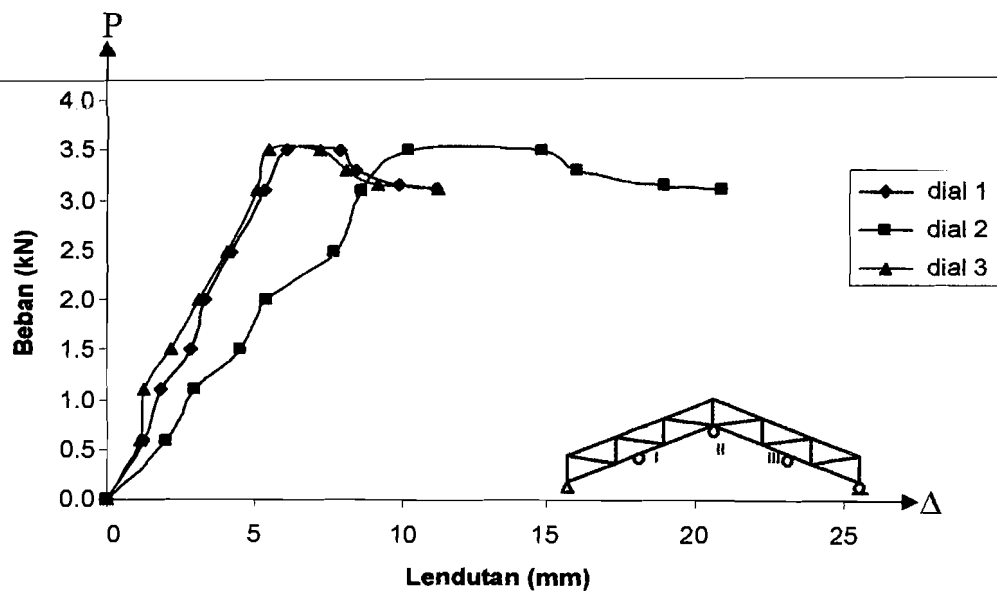
## Hasil Pembebanan Benda Uji Struktur Rangka Batang Tepi Sejajar Dengan Variasi Jarak Batang Vertikal

### 1. Hasil Eksperimen

Tabel L2. 1 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 1

$$L_1/L = 0,167$$

Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,000	0,000	0,000	0,000
0,580	1,300	2,100	1,110
1,100	1,860	3,020	1,260
1,500	2,850	4,560	2,230
2,000	3,350	5,400	3,120
2,480	4,200	7,700	4,080
3,100	5,350	8,650	5,110
3,500	6,050	10,200	5,500
3,500	7,900	14,750	7,210
3,300	8,400	15,950	8,090
3,160	9,900	18,950	9,130
3,120	11,160	20,880	11,260

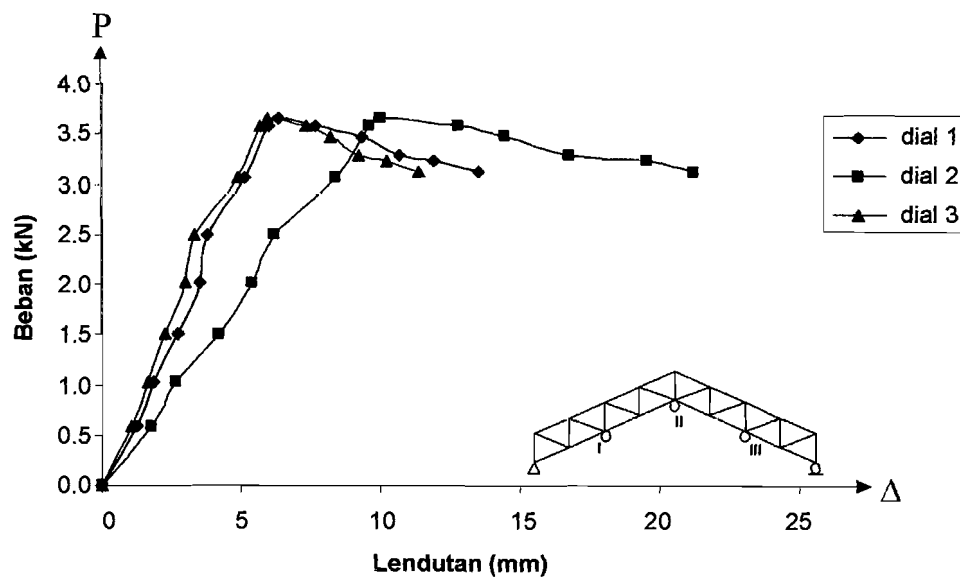


Gambar L2. 1 Grafik hubungan beban - lendutan benda uji 1  $L_1/L = 0,167$

Tabel L2. 2 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 2

$$L_1/L = 0,125$$

Beban (kN)	Pembacaan pada dial ( mm)		
	dial 1	dial 2	dial 3
0.000	0.000	0.000	0.000
0.580	1.250	1.820	1.060
1.020	1.890	2.690	1.670
1.500	2.760	4.200	2.240
2.020	3.550	5.370	3.030
2.500	3.780	6.200	3.310
3.060	5.150	8.430	4.850
3.580	5.970	9.590	5.670
3.660	6.330	10.020	5.950
3.580	7.680	12.730	7.360
3.470	9.300	14.400	8.180
3.290	10.650	16.700	9.170
3.230	11.880	19.540	10.200
3.120	13.460	21.220	11.330



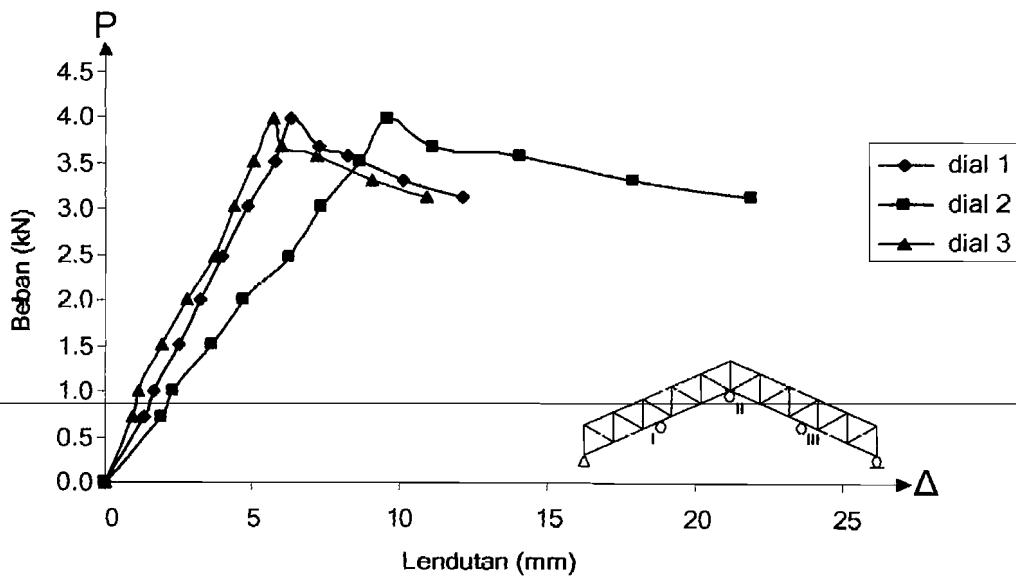
Gambar L2. 2 Grafik Hubungan Beban – Lendutan Benda Uji 2

$$L_1/L = 0,125$$

**Tabel L2. 3** Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 3

$$L_1/L = 0,1$$

Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)		
	dial 1	dial 2	dial 3
0.000	0.000	0.000	0.000
0.720	1.350	1.940	0.920
1.000	1.690	2.360	1.100
1.520	2.540	3.680	1.940
2.000	3.240	4.720	2.830
2.480	3.970	6.250	3.730
3.020	4.860	7.350	4.370
3.520	5.820	8.650	5.040
3.980	6.360	9.600	5.740
3.680	7.250	11.110	6.010
3.580	8.290	14.050	7.200
3.320	10.150	17.870	9.050
3.120	12.100	21.840	10.960



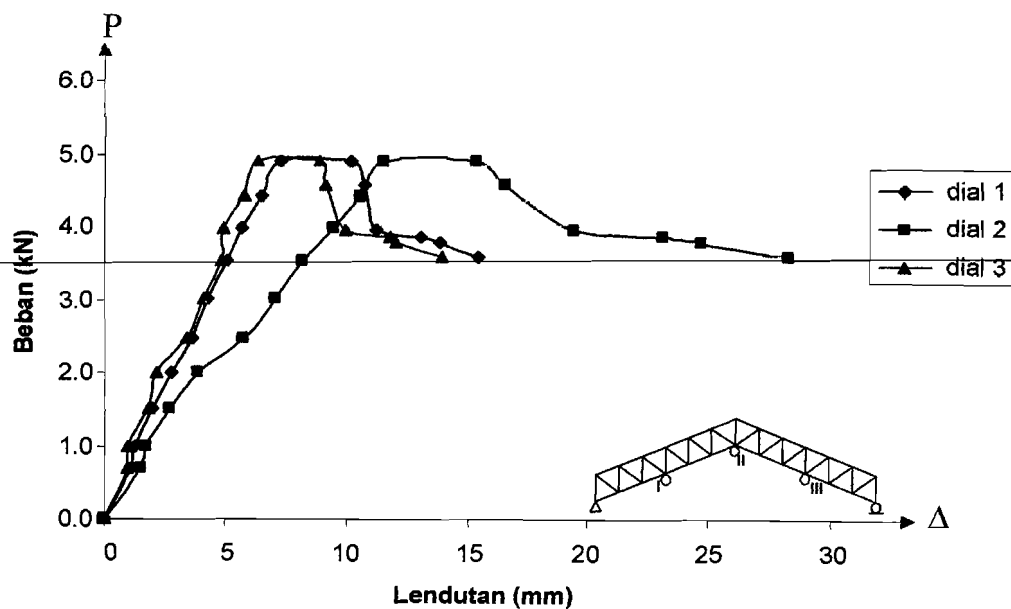
**Gambar L2. 3** Grafik Hubungan Beban – Lendutan Benda Uji 3

$$L_1/L = 0,1$$

**Tabel L2. 4** Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 4

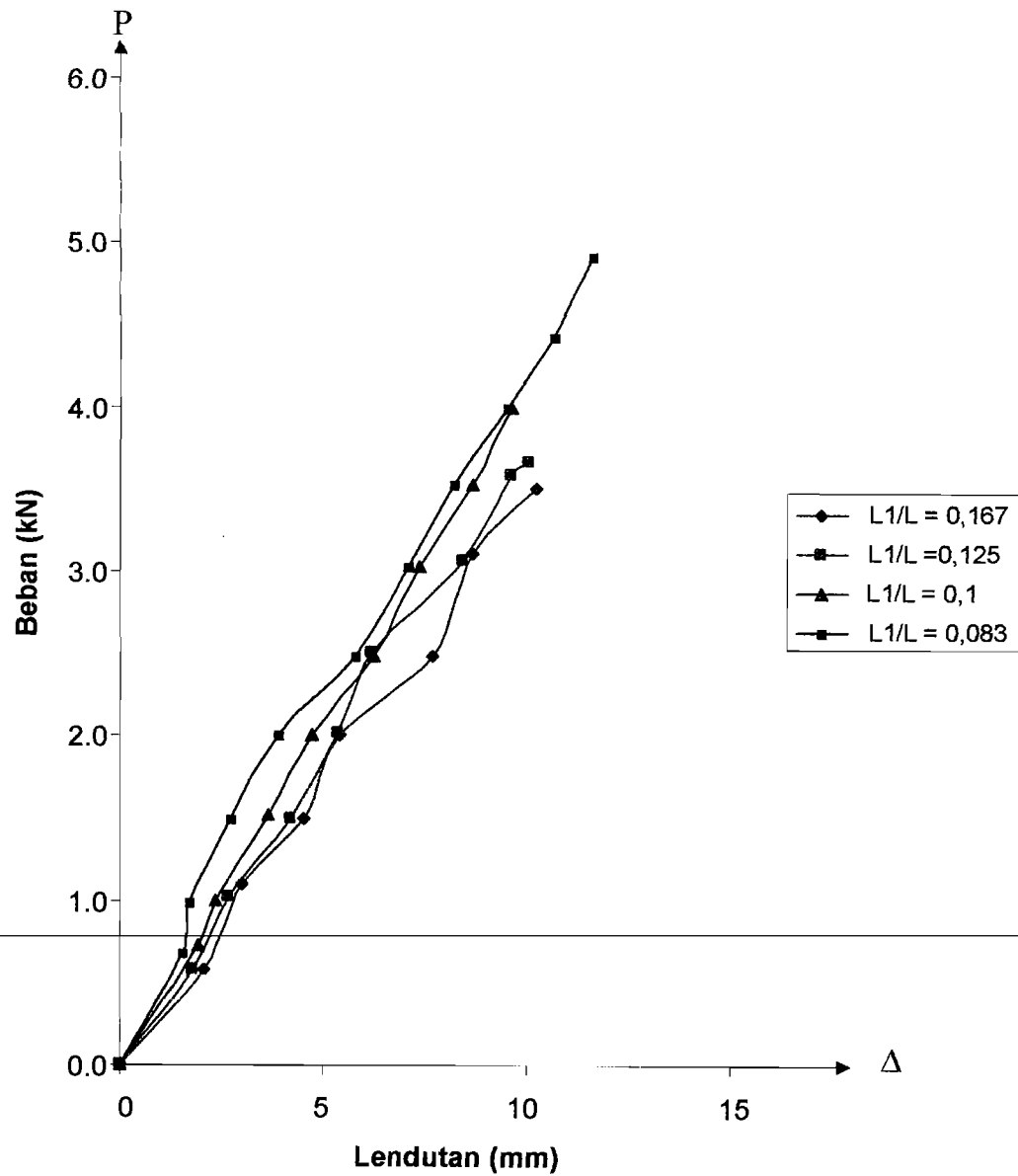
$$L_1/L = 0,083$$

Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)		
	dial 1	dial 2	dial 3
0.000	0.000	0.000	0.000
0.680	1.150	1.550	0.920
0.980	1.300	1.720	0.960
1.500	1.980	2.730	1.820
2.000	2.780	3.870	2.170
2.480	3.640	5.800	3.390
3.020	4.320	7.100	4.140
3.520	5.060	8.210	4.880
3.980	5.730	9.470	4.940
4.420	6.550	10.610	5.820
4.900	7.360	11.520	6.390
4.880	10.160	15.320	8.900
4.560	10.760	16.540	9.180
3.960	11.250	19.430	9.930
3.840	13.020	23.040	11.800
3.790	13.850	24.680	12.020
3.570	15.440	28.260	13.920



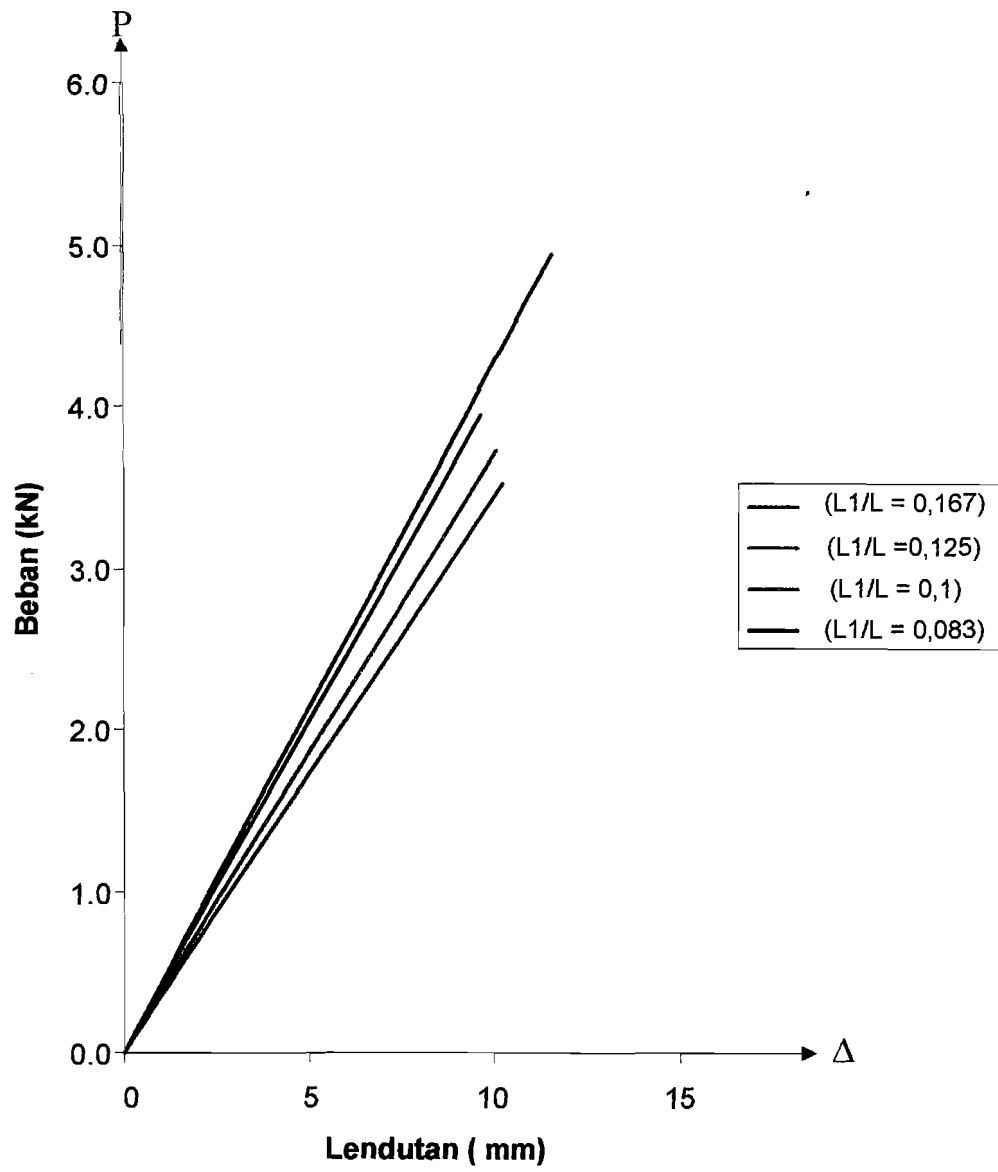
**Gambar L2. 4** Grafik Hubungan Beban – Lendutan Benda Uji 4

$$L_1/L = 0,083$$

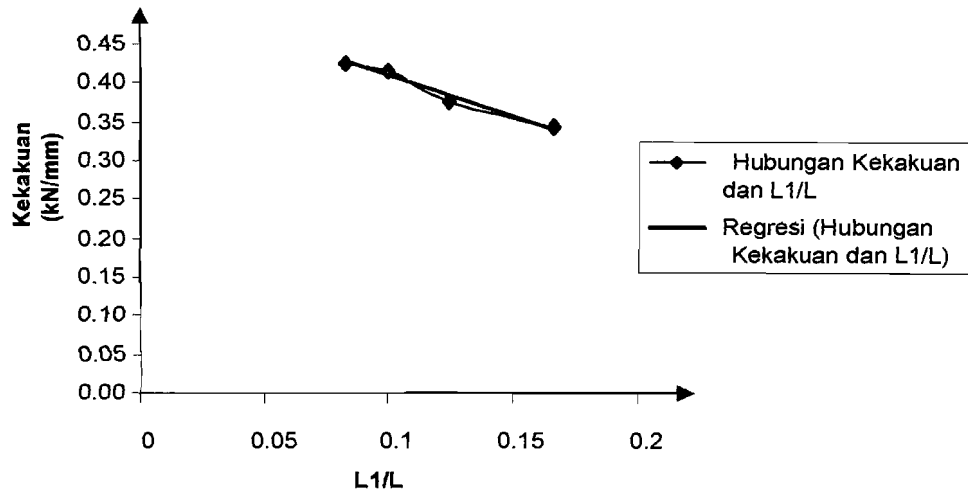


**Gambar L2.5** Hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) dengan beban maksimal





Gambar L2.6 Regresi hubungan beban – lendutan keempat rangka



**Gambar L2.7** Hubungan kekakuan –  $L_1/L$  hasil pengujian

Perhitungan kekakuan benda uji

a. Benda Uji 1

$$\phi = P/\Delta = 0,34 \text{ maka jika :}$$

$$P = 3,50 \text{ kN ; } \Delta = 10,20 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k_1 = \frac{3,50}{10,20} = 0,34 \text{ kN/mm}$$

b. Benda Uji 2

$$\phi = P/\Delta = 0,37 \text{ maka jika :}$$

$$P = 3,66 \text{ kN ; } \Delta = 10,02 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{3,66}{10,02} = 0,37 \text{ kN/mm}$$

c. Benda Uji 3

$$\phi = P/\Delta = 0,41 \text{ maka jika :}$$

$$P = 3,98 \text{ kN} ; \Delta = 9,60 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{3,98}{9,60} = 0,41 \text{ kN/mm}$$

d. Benda Uji 4

$$\phi = P/\Delta = 0,43 \text{ maka jika :}$$

$$P = 4,9 \text{ kN} ; \Delta = 11,52 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{4,9}{11,52} = 0,43 \text{ kN/mm}$$

**Tabel L2.5** Nilai kekakuan hasil pengujian

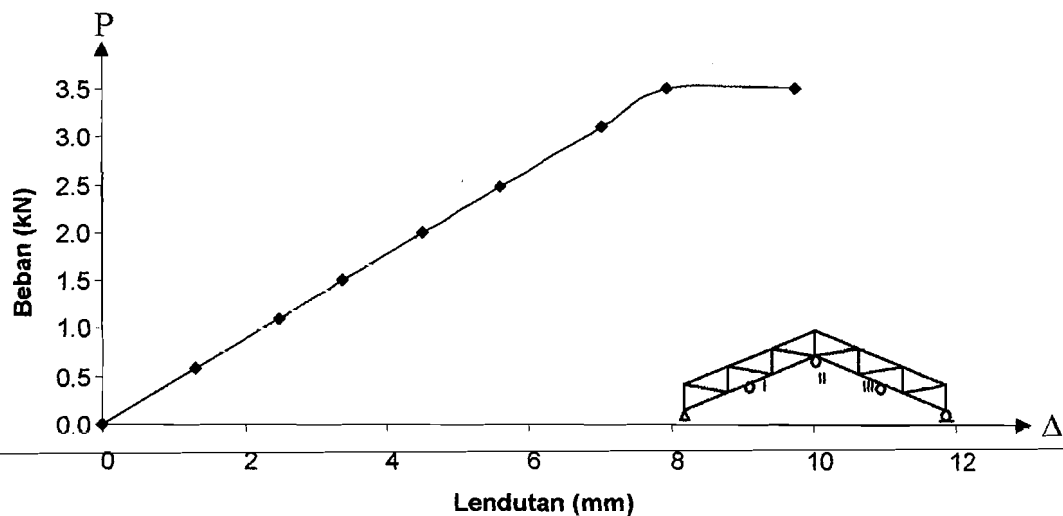
Rangka batang tepi sejajar $L_1/L$	Beban maks (kN)	Lendutan ( $\Delta$ ) ( mm )	Kekakuan (k) (kN/mm)	Rasio kekakuan	Rasio kekuatan
0,167	3,500	10,20	0,34	1	1
0,125	3,660	10,02	0,37	1,09	1,05
0,1	3,980	9,60	0,41	1,21	1,14
0,083	4,900	11,29	0,43	1,26	1,40

## 2. Hasil Analisis SAP 2000

**Tabel L2. 6** Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 1

$$L_1/L = 0,167$$

Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.000	0.000	0.000	0.000
0.580	0.850	1.310	0.850
1.100	1.620	2.490	1.620
1.500	2.210	3.390	2.210
2.000	2.950	4.520	2.950
2.480	3.650	5.610	3.650
3.100	4.570	7.010	4.570
3.500	5.150	7.920	5.150
3.500	6.332	9.720	6,332



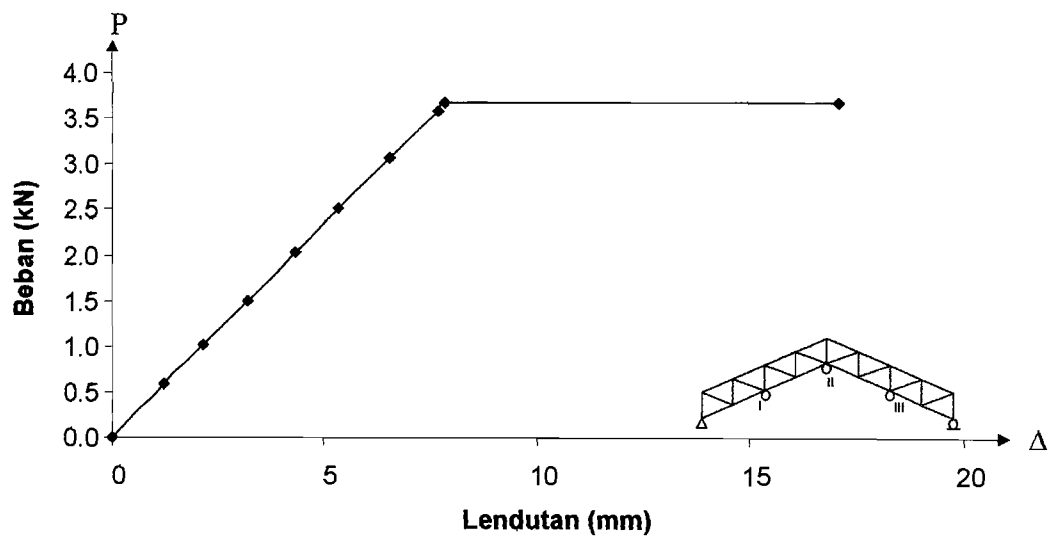
**Gambar L2. 5** Grafik hubungan beban - lendutan benda uji 1  $L_1/L = 0,167$

**Tabel L2. 7** Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 2

$$L_1/L = 0,125$$

Beban (kN)	Pembacaan pada dial ( mm)		
	dial 1	dial 2	dial 3
0.000	0.000	0.000	0.000
0.580	0.800	1.240	0.800
1.020	1.440	2.180	1.440

Lanjutan Tabel L2.7			
1.500	2.100	3.210	2.100
2.020	2.860	4.330	2.860
2.500	3.540	5.350	3.540
3.060	4.330	6.550	4.330
3.580	5.070	7.670	5.070
3.660	5.180	7.840	5.180
3.660	11.270	17.040	11.270

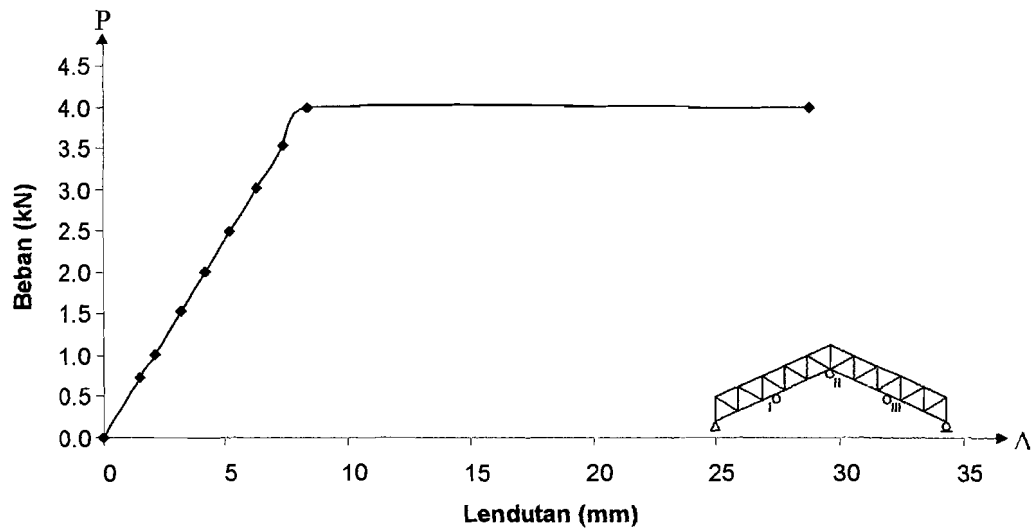


Gambar L2. 6 Grafik hubungan beban - lendutan benda uji 2  $L_1/L = 0,125$

Tabel L2. 8 Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 3

$$L_1/L = 0,1$$

Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)		
	dial 1	dial 2	dial 3
0	0.000	0.000	0.000
0.72	1.160	1.510	1.160
1	1.390	2.100	1.390
1.52	2.120	3.180	2.120
2	3.220	4.190	3.220
2.48	3.450	5.200	3.450
3.02	4.200	6.330	4.200
3.52	4.900	7.380	4.900
3.98	5.540	8.340	5.540
3.98	19.100	28.760	19.100

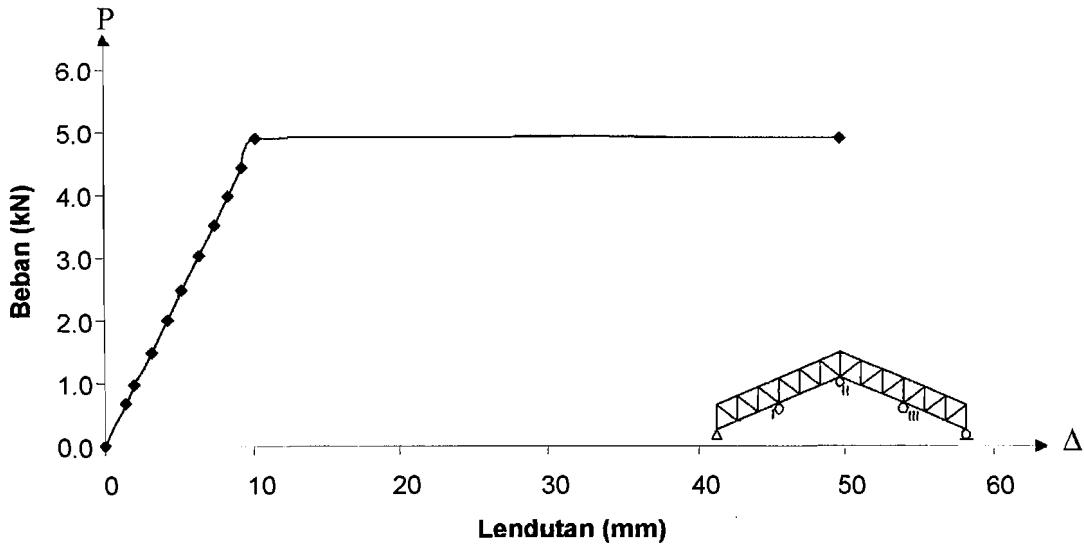


**Gambar L2. 7** Grafik hubungan beban - lendutan benda uji 3  $L_1/L = 0,1$

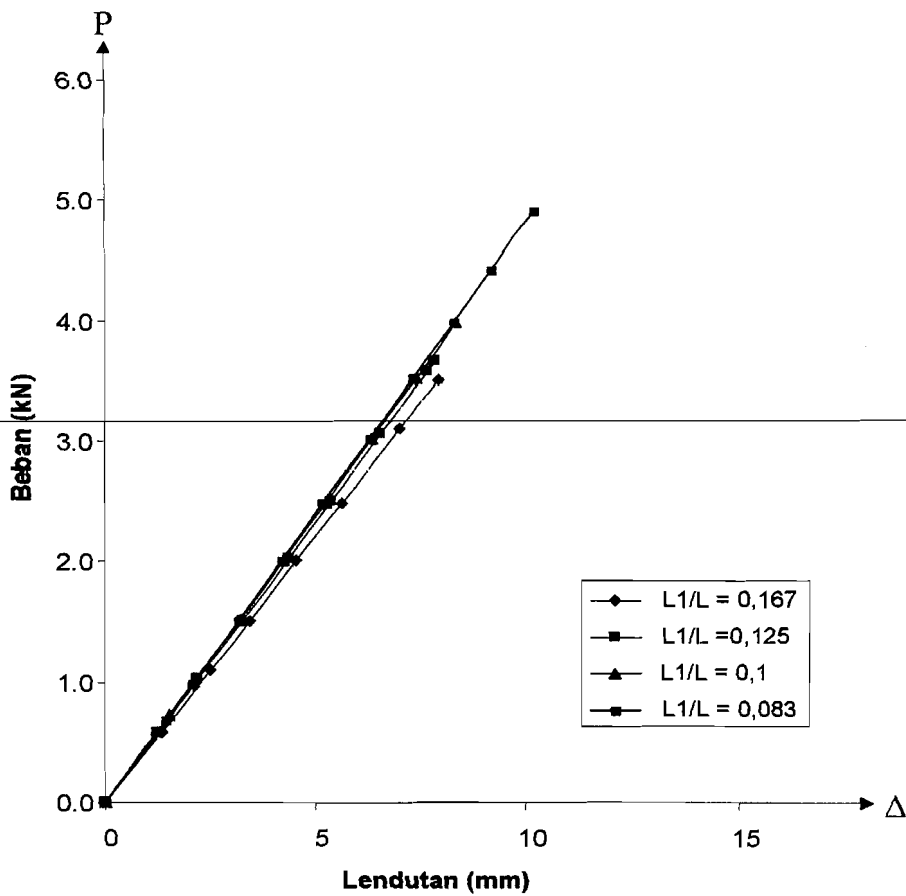
**Tabel L2. 9** Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 4

$$L_1/L = 0,083$$

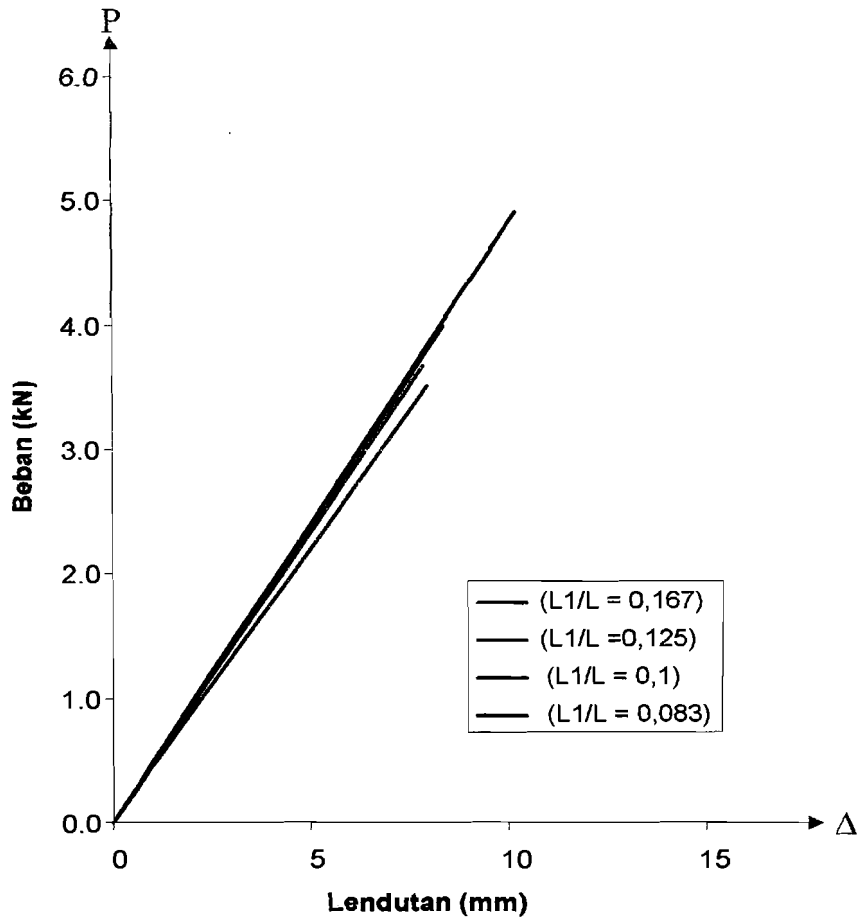
Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)		
	dial 1	dial 2	dial 3
0.000	0.000	0.000	0.000
0.680	0.900	1.410	0.900
0.980	1.360	2.040	1.360
1.500	2.080	3.120	2.080
2.000	2.770	4.150	2.770
2.480	3.430	5.150	3.430
3.020	4.180	6.270	4.180
3.520	4.870	7.310	4.870
3.980	5.510	8.270	5.510
4.420	6.120	9.180	6.120
4.900	6.780	10.180	6.780
4.900	33.070	49.640	33.070



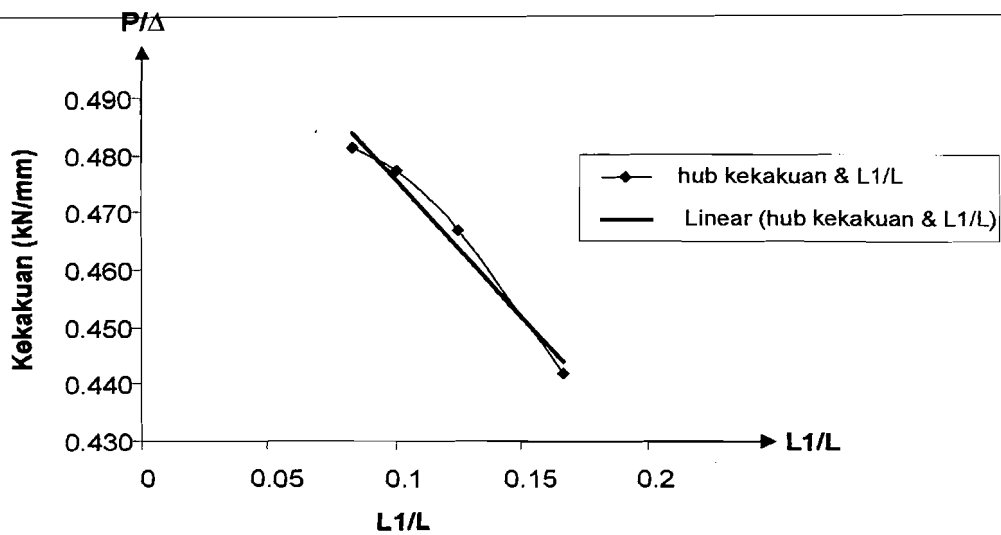
Gambar L2. 8 Grafik hubungan beban - lendutan benda uji 4  $L_1/L = 0,083$



Gambar L2.9 hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) hasil SAP 2000 dengan beban maksimum

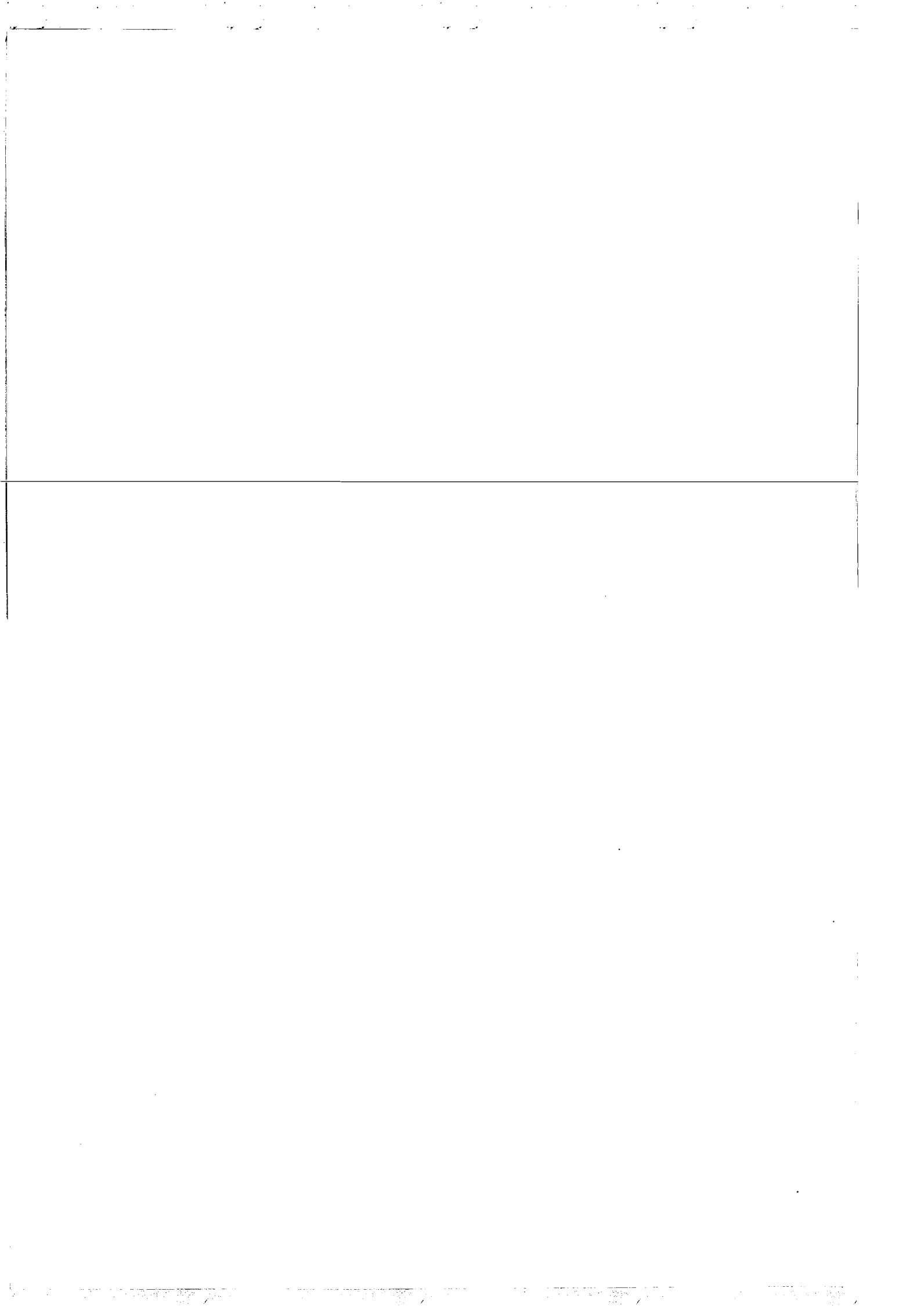


**Gambar L2.10** Regresi hubungan beban – lendutan rangka batang tepi sejajar dengan variasi jarak batang vertikal ( $L_1$ ) hasil SAP 2000 dengan beban maksimum



**Gambar L2.11** Hubungan kekakuan dan  $L_1/L$  hasil analisis SAP 2000





Perhitungan kekakuan benda uji

a. Benda Uji 1

$$\phi = P/\Delta = 0,442 \text{ maka jika :}$$

$$P = 3,50 \text{ kN ; } \Delta = 7,92 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k_1 = \frac{3,50}{7,92} = 0,442 \text{ kN/mm}$$

b. Benda Uji 2

$$\phi = P/\Delta = 0,467 \text{ maka jika :}$$

$$P = 3,66 \text{ kN ; } \Delta = 7,84 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{3,66}{7,84} = 0,467 \text{ kN/mm}$$

c. Benda Uji 3

$$\phi = P/\Delta = 0,477 \text{ maka jika :}$$

$$P = 3,98 \text{ kN ; } \Delta = 8,34 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{3,98}{8,34} = 0,477 \text{ kN/mm}$$

d. Benda Uji 4

$$\phi = P/\Delta = 0,481 \text{ maka jika :}$$

$$P = 4,9 \text{ kN ; } \Delta = 10,18 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{P}{\Delta}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{4,90}{10,18} = 0,481 \text{ kN/mm}$$

Tabel L2.10 Nilai kekakuan hasil analisis SAP

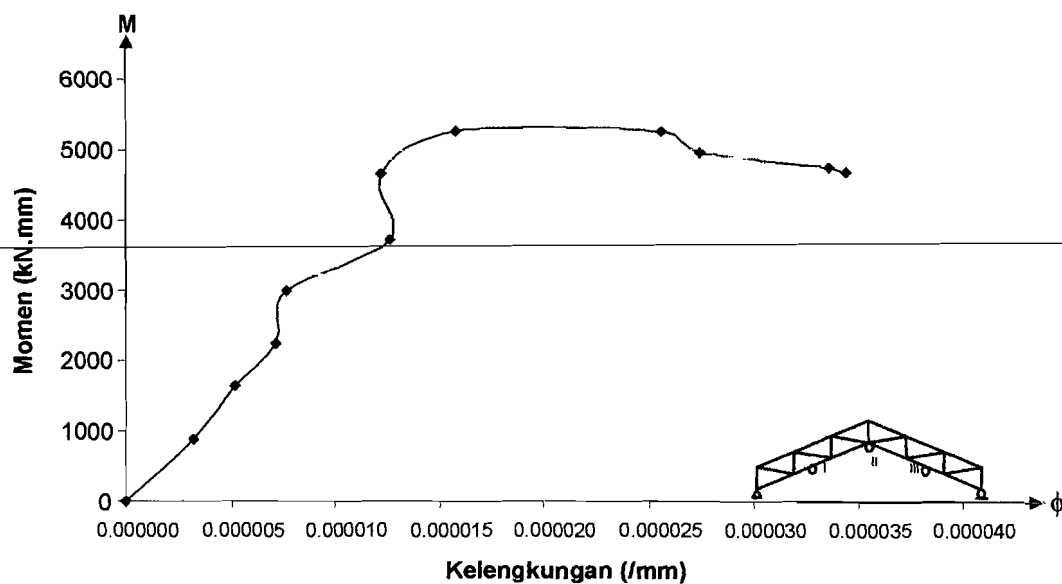
<b>Rangka batang tepi sejajar <math>L_1/L</math></b>	<b>Beban maks (kN)</b>	<b>Lendutan (<math>\Delta</math>) (mm)</b>	<b>Kekakuan (k) (kN/mm)</b>	<b>Rasio kekakuan</b>	<b>Rasio kekuatan</b>
0,167	3,50	7,92	0,442	1	1
0,125	3,66	7,84	0,467	1,06	1,05
0,100	3,980	8,34	0,477	1,08	1,14
0,083	4,90	10,18	0,481	1,09	1,40

## Hubungan Momen – Kelengkungan

### 1. Hasil Eksperimen

Tabel L2.11 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

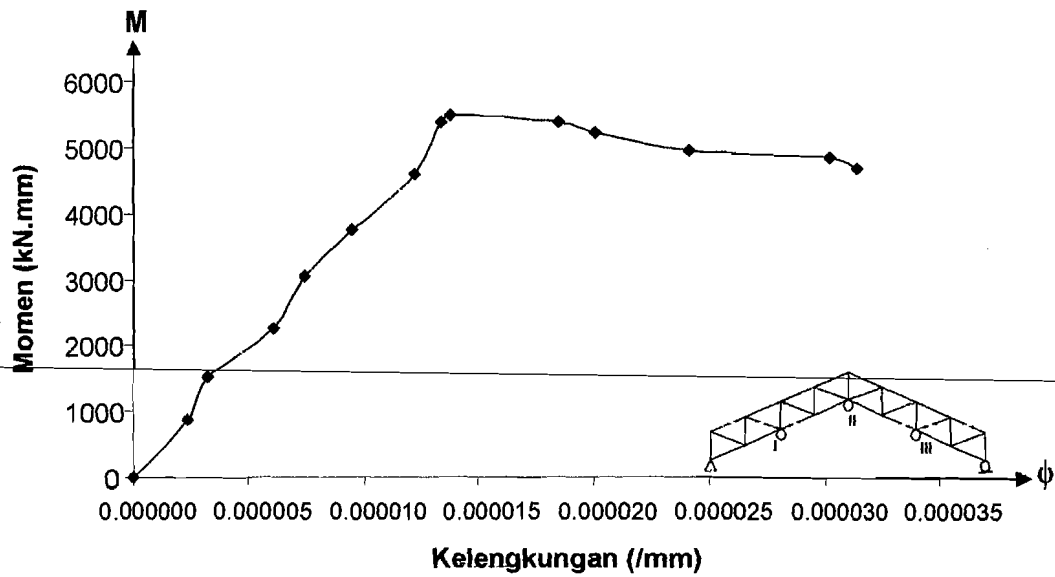
Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)			momen (kN.mm)	kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000000
0.580	1.300	2.100	1.110	870	0.000003
1.100	1.860	3.020	1.260	1650	0.000005
1.500	2.850	4.560	2.230	2250	0.000007
2.000	3.350	5.400	3.120	3000	0.000008
2.480	4.200	7.700	4.080	3720	0.000013
3.100	5.350	8.650	5.110	4650	0.000012
3.500	6.050	10.200	5.500	5250	0.000016
3.500	7.900	14.750	7.210	5250	0.000026
3.300	8.400	15.950	8.090	4950	0.000027
3.160	9.900	18.950	9.130	4740	0.000034
3.120	11.160	20.880	11.260	4680	0.000034



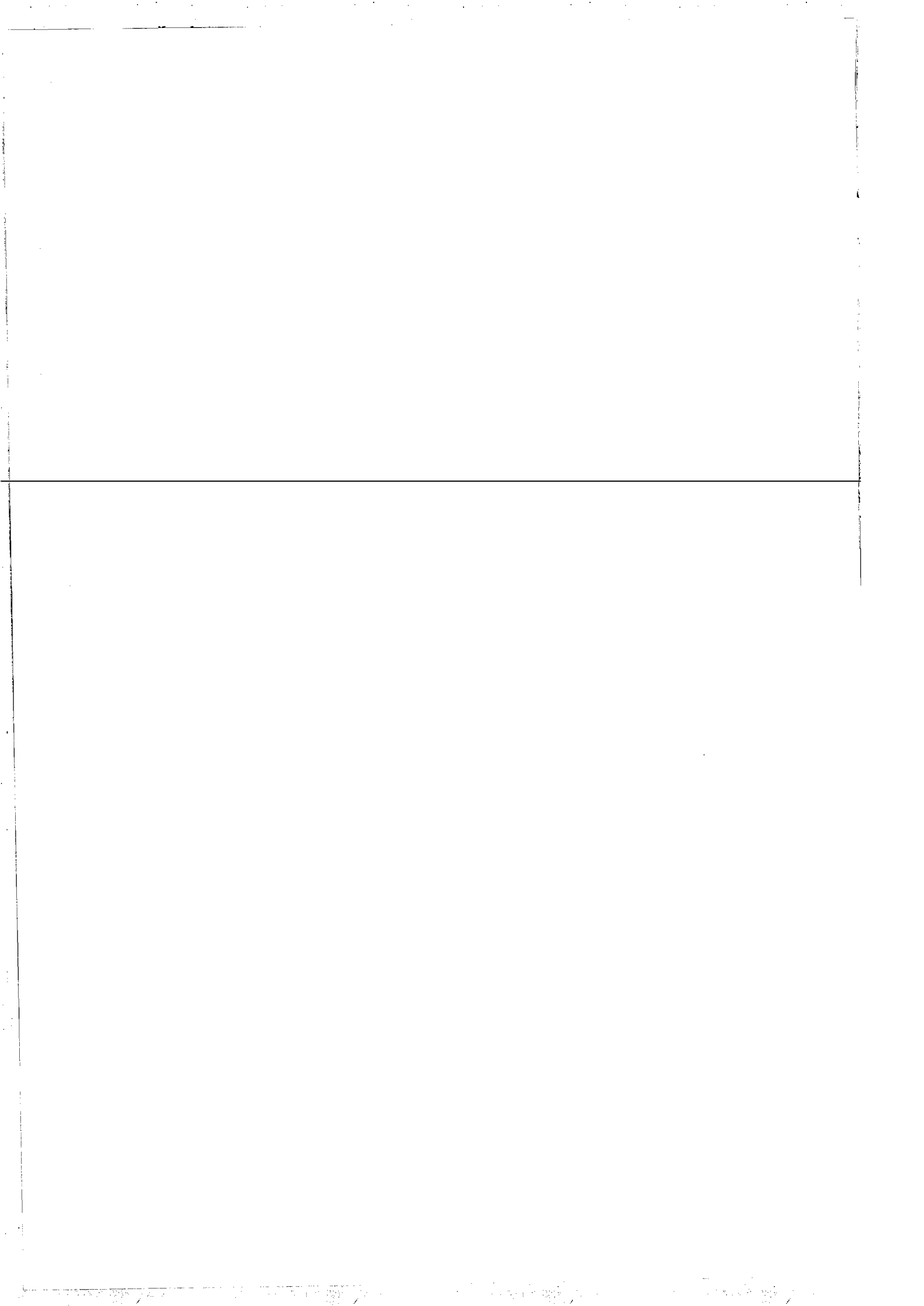
Gambar L2.12 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

**Tabel L2.12** Hubungan momen - kelengkungan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan pada dial ( mm)			momen (kN.mm)	kelengkungan (/mm)
	dial 1	dial 2	dial 3		
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.580	1.250	1.820	1.060	870	0.000002
1.020	1.890	2.690	1.670	1530	0.000003
1.500	2.760	4.200	2.240	2250	0.000006
2.020	3.550	5.370	3.030	3030	0.000007
2.500	3.780	6.200	3.310	3750	0.000009
3.060	5.150	8.430	4.850	4590	0.000012
3.580	5.970	9.590	5.670	5370	0.000013
3.660	6.330	10.020	5.950	5490	0.000014
3.580	7.680	12.730	7.360	5370	0.000019
3.470	9.300	14.400	8.180	5205	0.000020
3.290	10.650	16.700	9.170	4935	0.000024
3.230	11.880	19.540	10.200	4845	0.000030
3.120	13.460	21.220	11.330	4680	0.000031

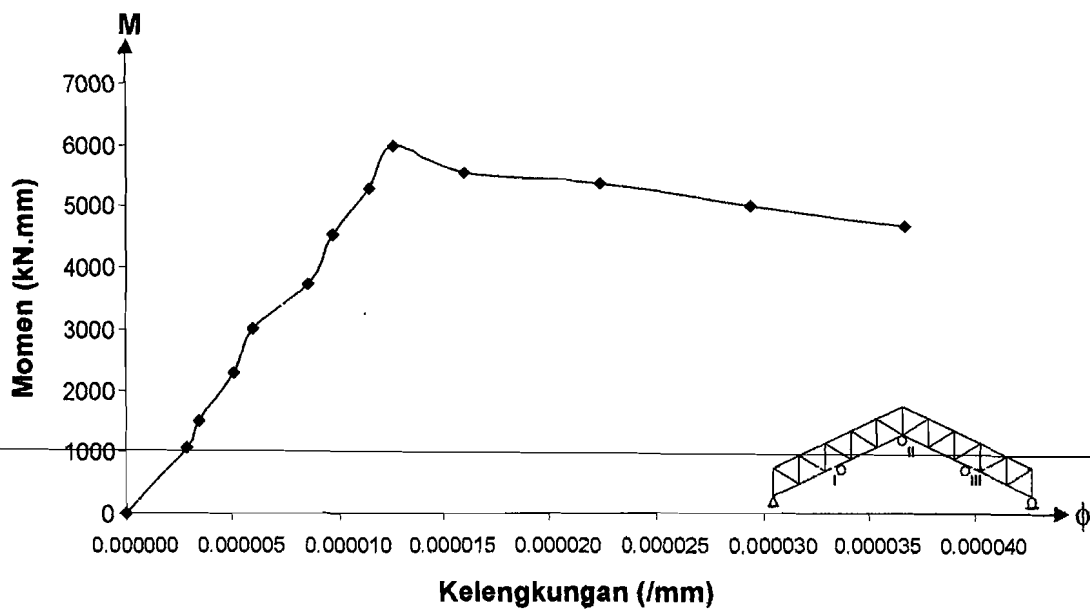


**Gambar L2.13** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2



Tabel L2.13 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

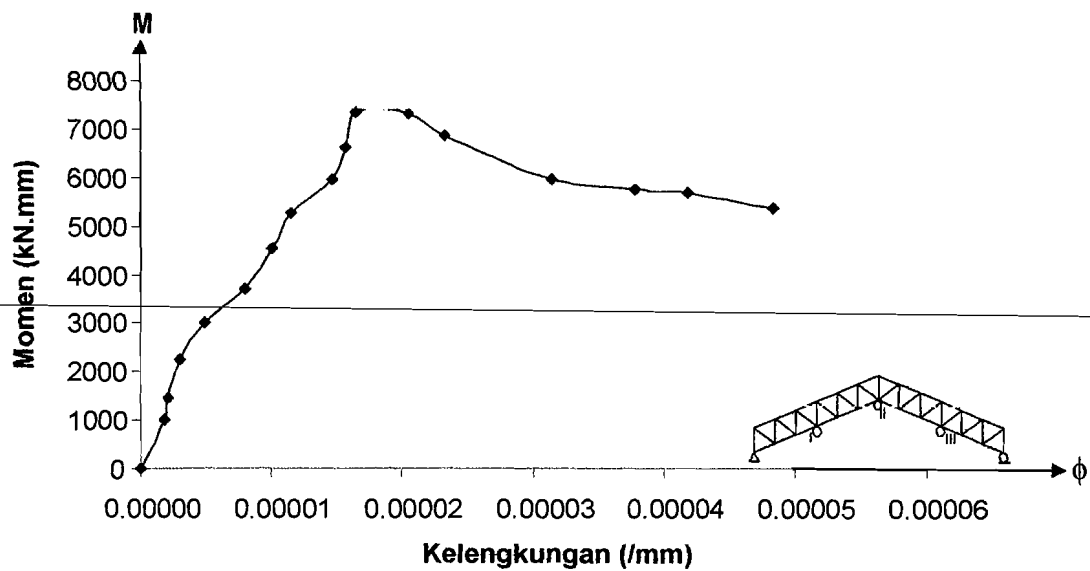
Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)			momen (kN.mm)	kelengkungan (/mm)
	dial 1	dial 2	dial 3		
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.720	1.350	1.940	0.920	1080	0.000003
1.000	1.690	2.360	1.100	1500	0.000003
1.520	2.540	3.680	1.940	2280	0.000005
2.000	3.240	4.720	2.830	3000	0.000006
2.480	3.970	6.250	3.730	3720	0.000009
3.020	4.860	7.350	4.370	4530	0.000010
3.520	5.820	8.650	5.040	5280	0.000011
3.980	6.360	9.600	5.740	5970	0.000013
3.680	7.250	11.110	6.010	5520	0.000016
3.580	8.290	14.050	7.200	5370	0.000022
3.320	10.150	17.870	9.050	4980	0.000029
3.120	12.100	21.840	10.960	4680	0.000037



Gambar L2.14 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

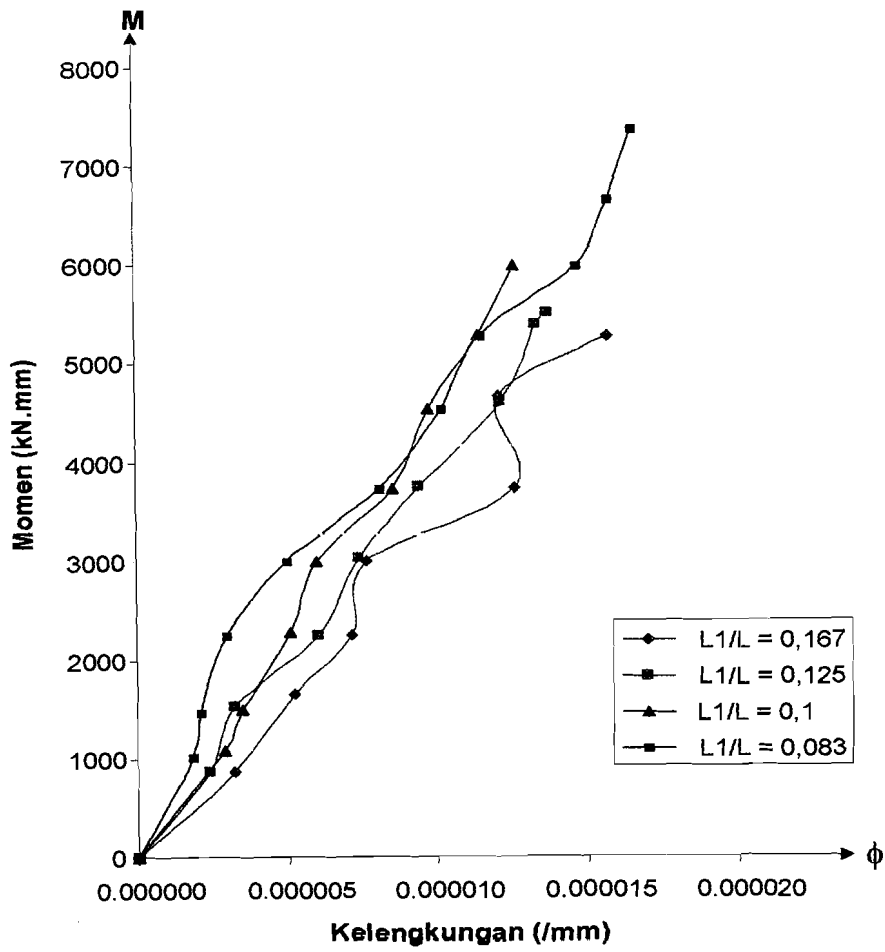
Tabel L3.14 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 4

Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)			momen (kN.mm)	kelengkungan (/mm)
	dial 1	dial 2	dial 3		
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000
0.680	1.150	1.550	0.920	1020	0.000002
0.980	1.300	1.720	0.960	1470	0.000002
1.500	1.980	2.730	1.820	2250	0.000003
2.000	2.780	3.870	2.170	3000	0.000005
2.480	3.640	5.800	3.390	3720	0.000008
3.020	4.320	7.100	4.140	4530	0.000010
3.520	5.060	8.210	4.880	5280	0.000012
3.980	5.730	9.470	4.940	5970	0.000015
4.420	6.550	10.610	5.820	6630	0.000016
4.900	7.360	11.520	6.390	7350	0.000017
4.880	10.160	15.320	8.900	7320	0.000021
4.560	10.760	16.540	9.180	6840	0.000023
3.960	11.250	19.430	9.930	5940	0.000031
3.840	13.020	23.040	11.800	5760	0.000038
3.790	13.850	24.680	12.020	5685	0.000042
3.570	15.440	28.260	13.920	5355	0.000048

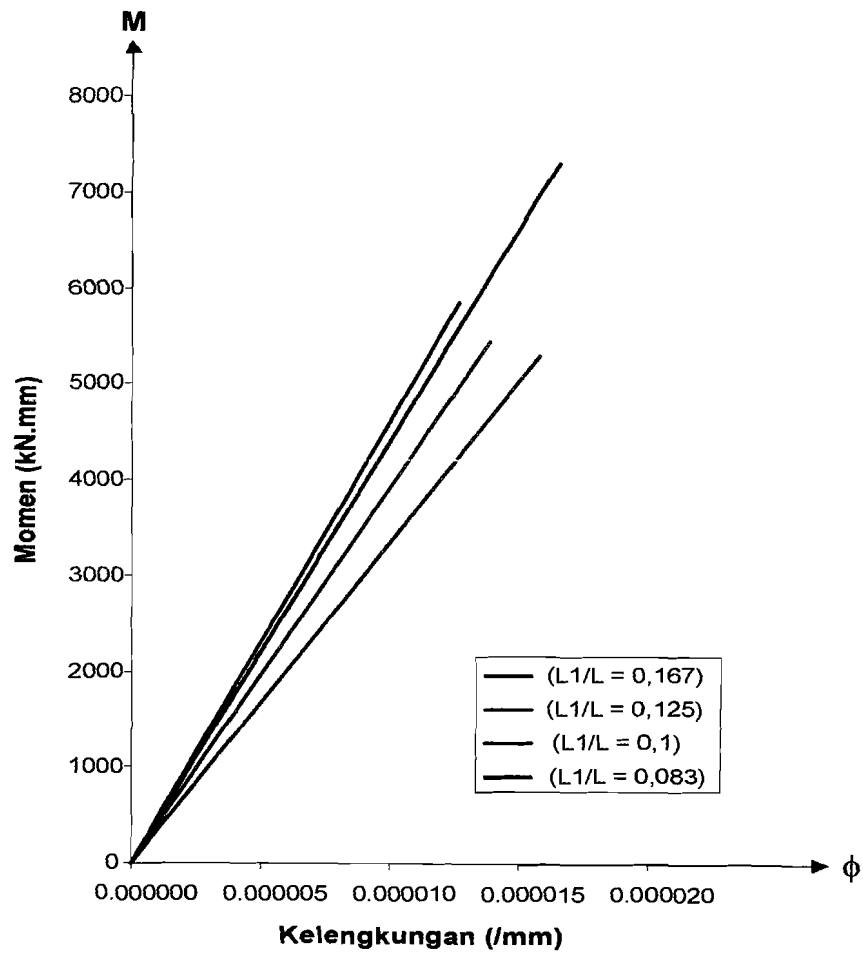


Gambar L2.15 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 4





Gambar L2.16 Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji pada momen maksimum



**Gambar L2.17** Regresi Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji pada momen maksimum

Perhitungan faktor kekakuan berdasarkan hubungan momen - kelengkungan

a. Benda Uji 1 ( $L_1/L = 0,167$ )

M maksimal = 5,250 kNm ;  $\phi = 0,000016/\text{mm}$

$$EI = \frac{M}{\phi}$$

$$EI = \frac{5250}{0,000016} = 328125000 \text{ kNmm}^2$$

b. Benda Uji 2 ( $L_1/L = 0,125$ )

$$M \text{ maksimal} = 5,490 \text{ kNm} ; \phi = 0,000014/\text{mm}$$

$$EI = \frac{M}{\phi}$$

$$EI = \frac{5490}{0,000014} = 392142857,1 \text{ kNmm}^2$$

c. Benda uji 3 ( $L_1/L = 0,1$ )

$$M \text{ maksimal} = 5,970 \text{ kNm} ; \phi = 0,000013/\text{mm}$$

$$EI = \frac{M}{\phi}$$

$$EI = \frac{5970}{0,000013} = 459230769,2 \text{ kNmm}^2$$

d. Benda uji 4 ( $L_1/L = 0,083$ )

$$M \text{ maksimal} = 7,350 \text{ kNm} ; \phi = 0,000017/\text{mm}$$

$$EI = \frac{M}{\phi}$$

$$EI = \frac{7350}{0,000017} = 432352941,2 \text{ kNmm}^2$$

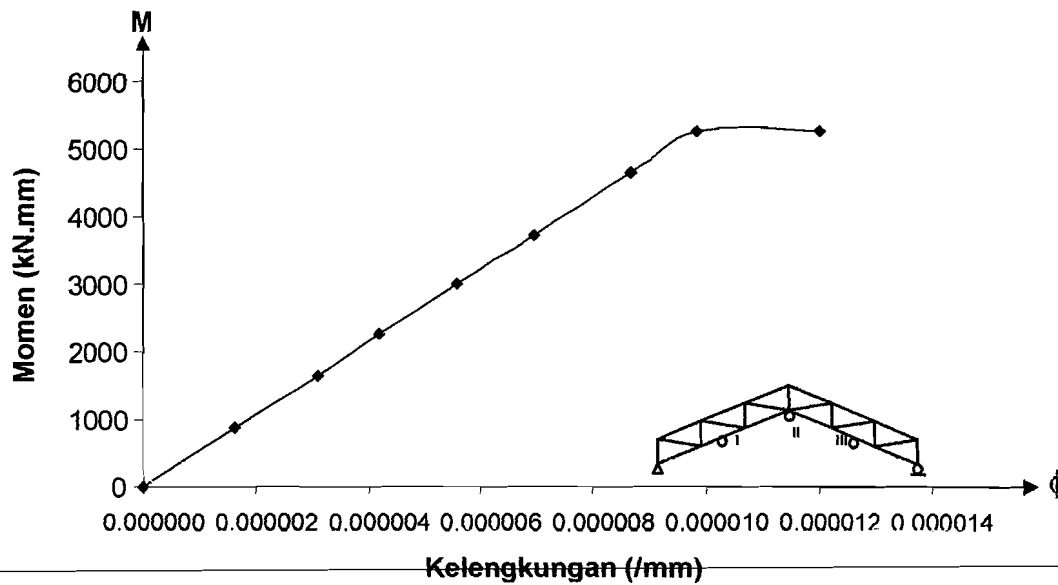
**Tabel L2.15** Rasio faktor kekakuan hasil pengujian

Rangka batang tepi sejajar $L_1/L$	Momen Maksimum (kN.mm)	$\phi$ (/mm)	Faktor kekakuan (kN.mm <sup>2</sup> )	Rasio faktor kekakuan
0,167	5250	0,000016	328125000	1
0,125	5490	0,000014	392142857,1	1,20
0,1	5970	0,000013	459230769,2	1,40
0,083	7350	0,000017	432352941,2	1,31

## 2. Hasil analisis SAP 2000

**Tabel L2.16** Hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)			momen (kN.mm)	kelengkungan (/mm)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.0000000
0.580	0.850	1.310	0.850	870	0.0000016
1.100	1.620	2.490	1.620	1650	0.0000031
1.500	2.210	3.390	2.210	2250	0.0000042
2.000	2.950	4.520	2.950	3000	0.0000056
2.480	3.650	5.610	3.650	3720	0.0000070
3.100	4.570	7.010	4.570	4650	0.0000087
3.500	5.150	7.920	5.150	5250	0.0000098
3.500	6.332	9.720	6,332	5250	0.0000120



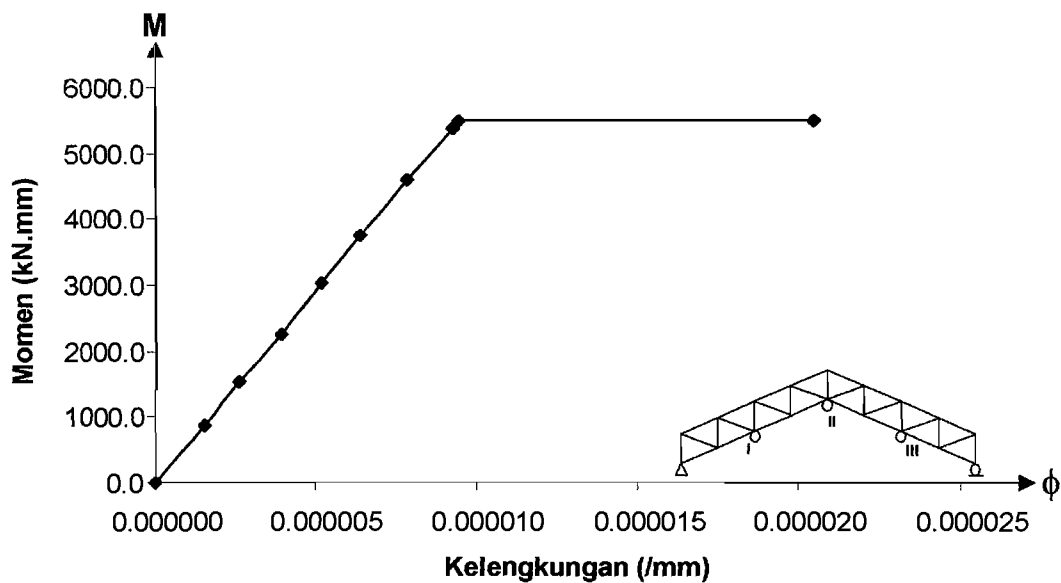
**Gambar L2.18** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 1

**Tabel L2.17** Hubungan momen - kelengkungan benda uji 2

Beban (kN)	Pembacaan pada dial ( mm)			momen (kN.mm)	kelengkungan (/mm)
	dial 1	dial 2	dial 3		
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000000
0.580	0.800	1.240	0.800	870	0.0000016
1.020	1.440	2.180	1.440	1530	0.0000026
1.500	2.100	3.210	2.100	2250	0.0000039
2.020	2.860	4.330	2.860	3030	0.0000052
2.500	3.540	5.350	3.540	3750	0.0000064
3.060	4.330	6.550	4.330	4590	0.0000079

Lanjutan Tabel L2.17

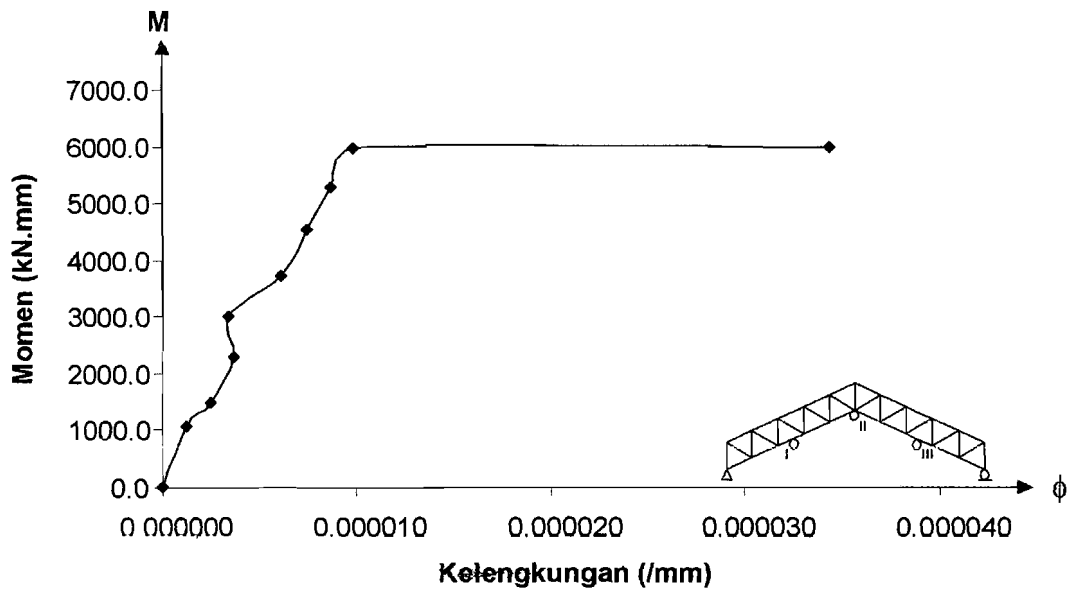
3.580	5.070	7.670	5.070	5370	0.0000092
3.660	5.180	7.840	5.180	5490	0.0000095
3.660	11.270	17.040	11.270	5490	0.0000205



Gambar L2.19 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 2

Tabel L2.18 Hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

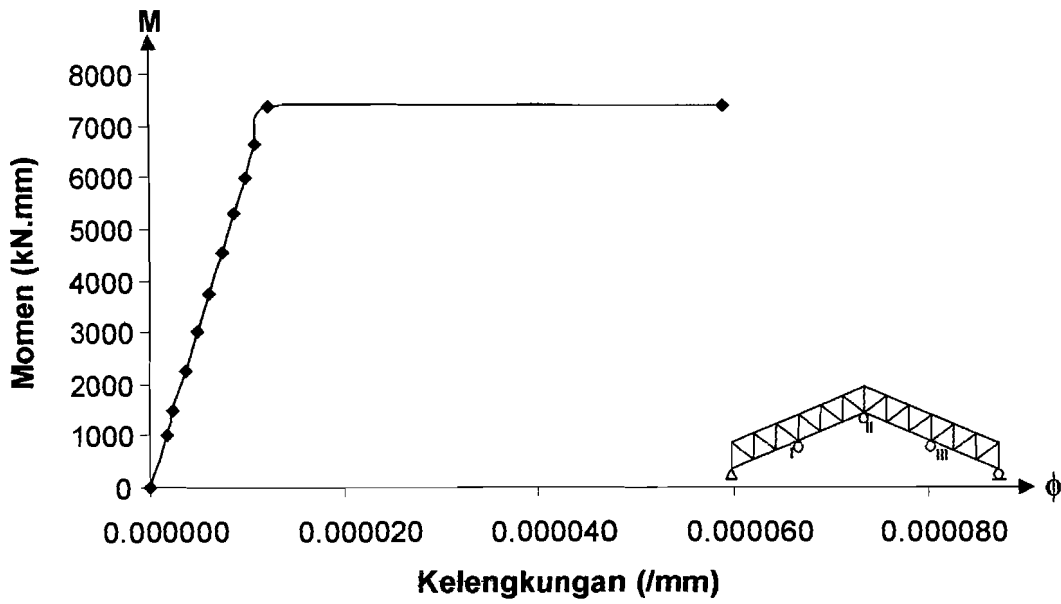
Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)			momen (kN.mm)	kelengkungan (/mm)
	dial 1	dial 2	dial 3		
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000000
0.72	1.160	1.510	1.160	1080	0.0000012
1	1.390	2.100	1.390	1500	0.0000025
1.52	2.120	3.180	2.120	2280	0.0000038
2	3.220	4.190	3.220	3000	0.0000034
2.48	3.450	5.200	3.450	3720	0.0000062
3.02	4.200	6.330	4.200	4530	0.0000076
3.52	4.900	7.380	4.900	5280	0.0000088
3.98	5.540	8.340	5.540	5970	0.0000100
3.98	19.100	28.760	19.100	5970	0.0000343



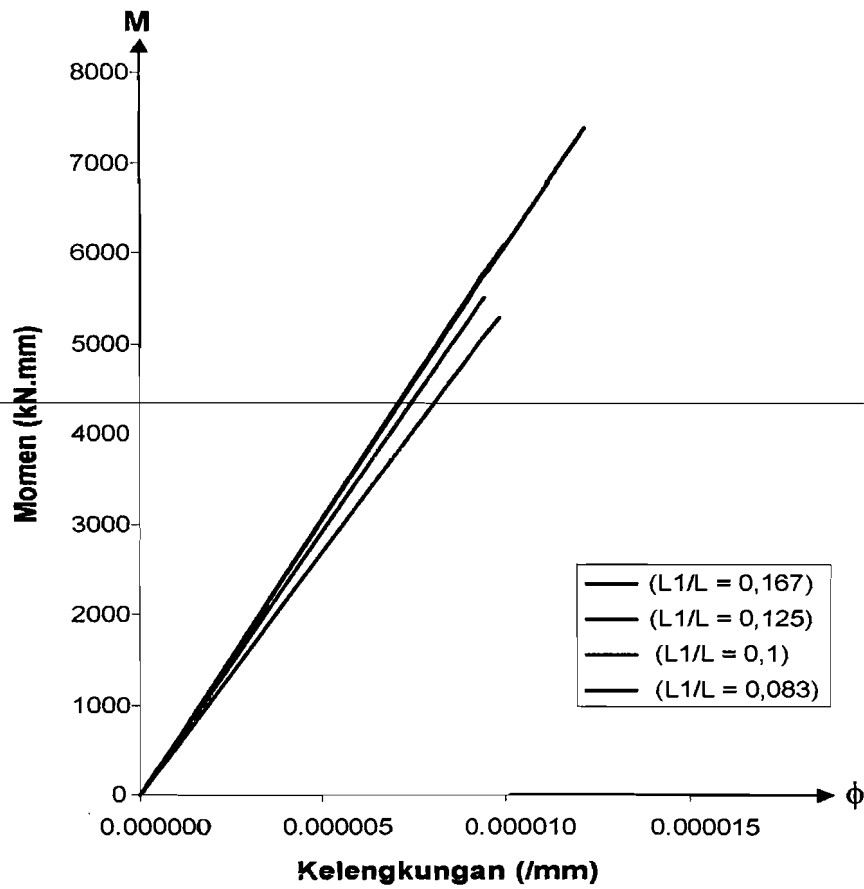
**Gambar L2.20** Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 3

**Tabel L2.19** Hubungan momen - kelengkungan benda uji 4

Beban (kN)	Pembacaan pada dial (mm)			momen (kN.mm)	kelengkungan (/mm)
	dial 1	dial 2	dial 3		
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000000
0.680	0.900	1.410	0.900	1020	0.0000018
0.980	1.360	2.040	1.360	1470	0.0000024
1.500	2.080	3.120	2.080	2250	0.0000037
2.000	2.770	4.150	2.770	3000	0.0000049
2.480	3.430	5.150	3.430	3720	0.0000061
3.020	4.180	6.270	4.180	4530	0.0000074
3.520	4.870	7.310	4.870	5280	0.0000087
3.980	5.510	8.270	5.510	5970	0.0000098
4.420	6.120	9.180	6.120	6630	0.0000109
4.900	6.780	10.180	6.780	7350	0.0000121
4.900	33.070	49.640	33.070	7350	0.0000589



Gambar L2.21 Grafik hubungan momen - kelengkungan benda uji 4



Gambar L2.22 Grafik hubungan momen - kelengkungan empat benda uji hasil analisis SAP 2000

Perhitungan faktor kekakuan berdasarkan hubungan momen - kelengkungan

a. Benda Uji 1 ( $L_1/L = 0,167$ )

$$M \text{ maksimal} = 5,250 \text{ kNm} ; \phi = 0,98 \cdot 10^{-5} / \text{mm}$$

$$EI = \frac{M}{\phi}$$

$$EI = \frac{5250}{0,98 \cdot 10^{-5}} = 535714285,70 \text{ kNmm}^2$$

b. Benda Uji 2 ( $L_1/L = 0,125$ )

$$M \text{ maksimal} = 5,490 \text{ kNm} ; \phi = 0,95 \cdot 10^{-5} / \text{mm}$$

$$EI = \frac{M}{\phi}$$

$$EI = \frac{5490}{0,95 \cdot 10^{-5}} = 580474624,06 \text{ kNmm}^2$$

c. Benda uji 3 ( $L_1/L = 0,1$ )

$$M \text{ maksimal} = 5970 \text{ kNm} ; \phi = 1 \cdot 10^{-5} / \text{mm}$$

$$EI = \frac{M}{\phi}$$

$$EI = \frac{5970}{1 \cdot 10^{-5}} = 597000000 \text{ kNmm}^2$$

d. Benda uji 4 ( $L_1/L = 0,083$ )

$$M \text{ maksimal} = 7,350 \text{ kNm} ; \phi = 1,21 \cdot 10^{-5} / \text{mm}$$

$$EI = \frac{M}{\phi}$$

$$EI = \frac{7350}{1,21 \cdot 10^{-5}} = 607438016,50 \text{ kNmm}^2$$



Tabel L2.20 Rasio faktor kekakuan hasil analisis SAP 2000

<b>Rangka batang tepi sejajar <math>L_1/L</math></b>	<b>Momen Maksimum (kN.mm)</b>	<b><math>\phi</math> (/mm)</b>	<b>Faktor kekakuan (kN.mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Rasio faktor kekakuan</b>
0,167	5250	0,0000098	535714285,70	1
0,125	5490	0,0000095	580474624,06	1,08
0,1	5970	0,0000100	597000000,00	1,11
0,083	7350	0,0000121	607438016,50	1,13

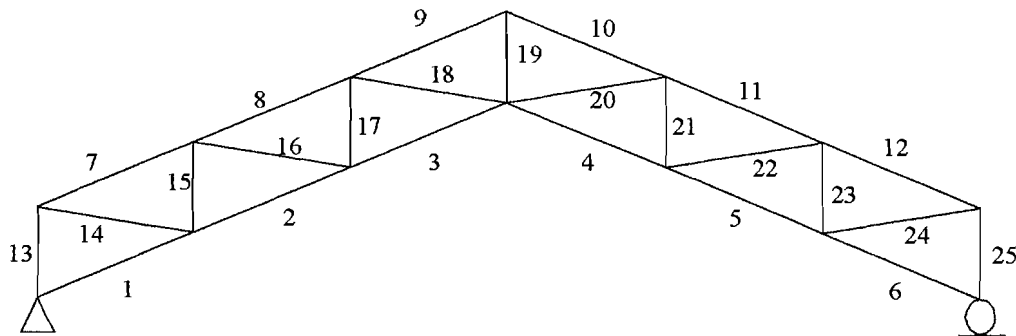
# LAMPIRAN 3

### Data Gaya Batang (*element force*) aksial (P) Analisis SAP 2000

Beban maksimal ( $P_{\text{maksimum}}$ ) hasil pengujian digunakan untuk mencari gaya batang elemen kuda-kuda, data gaya batang (P) hasil analisis SAP 2000 diberikan pada Tabel di bawah ini.

#### 1. Benda uji 1

$$P_{\text{maksimum}} = 3,500 \text{ kN}$$



**Gambar L3.1** Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertical  $L_1 = 1000 \text{ mm}$  ( $L_1/L = 0,167$ )

**Tabel L 3. 1** Gaya Batang Benda Uji 1

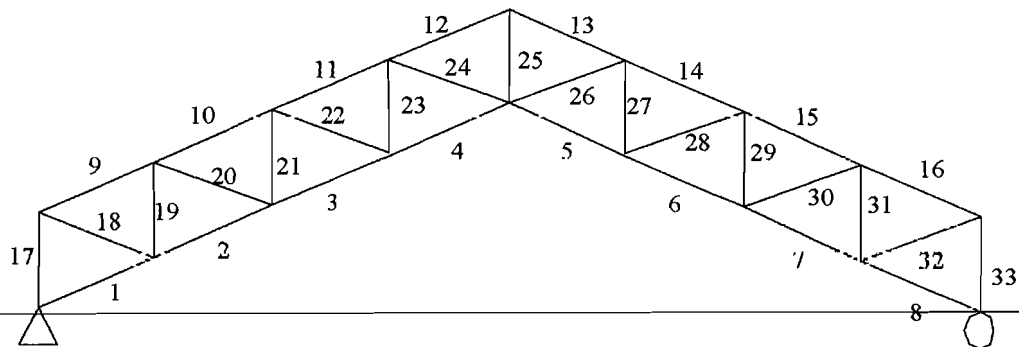
Frame Element	Station (mm)	P (kN)
1	0	0.067
1	539	0.067
1	1079	0.067
2	0	3.774
2	539	3.774
2	1079	3.774
3	0	7.517
3	539	7.517
3	1079	7.517
4	0	7.517
4	539	7.517
4	1079	7.517
5	0	3.774

Lanjutan Tabel L3.1		
5	539	3.774
5	1079	3.774
6	0	0.067
6	539	0.067
6	1079	0.067
7	0	-3.665
7	539	-3.665
7	1079	-3.665
8	0	-7.406
8	539	-7.406
8	1079	-7.406
9	0	-11.018
9	539	-11.018
9	1079	-11.018
10	0	-11.018
10	539	-11.018
10	1079	-11.018
11	0	-7.406
11	539	-7.406
11	1079	-7.406
12	0	-3.665
12	539	-3.665
12	1079	-3.665
13	0	-1.744
13	250	-1.744
13	500	-1.744
14	0	3.329
14	502	3.329
14	1005	3.329
15	0	-1.743
15	250	-1.743
15	500	-1.743
16	0	3.365
16	502	3.365
16	1005	3.365
17	0	-1.713
17	250	-1.713
17	500	-1.713
18	0	3.239
18	502	3.239
18	1005	3.239
19	0	4.791
19	250	4.791
19	500	4.791
20	0	3.239
20	502	3.239
20	1005	3.239

Lanjutan Tabel L3.1		
21	0	-1.713
21	250	-1.713
21	500	-1.713
22	0	3.365
22	502	3.365
22	1005	3.365
23	0	-1.743
23	250	-1.743
23	500	-1.743
24	0	3.329
24	502	3.329
24	1005	3.329
25	0	-1.744
25	250	-1.744
25	500	-1.744

## 2. Benda uji 2

$$P_{\text{maksimum}} = 3,660 \text{ kN}$$



**Gambar L3.2** Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertical  $L_1 = 750 \text{ mm}$  ( $L_1/L = 0,125$ )

**Tabel L 3. 2** Gaya Batang Benda Uji 2

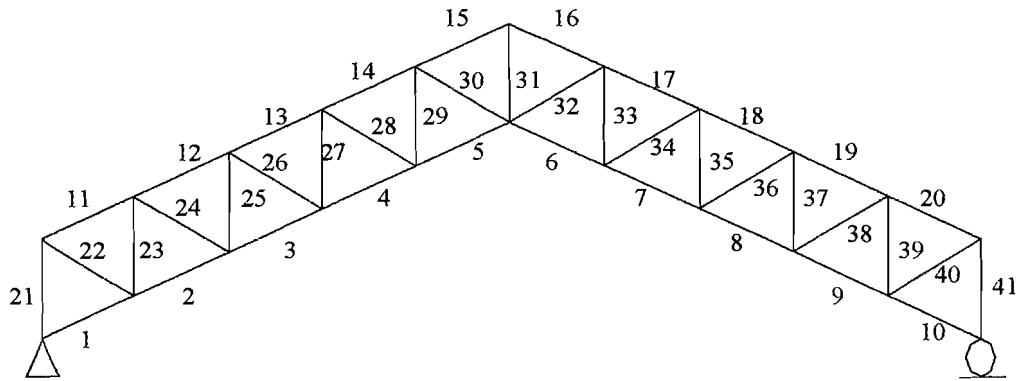
Frame Element	Station (mm)	P (KN)
1	0	0.044
1	404	0.044
1	809	0.044
2	0	2.952
2	404	2.952
2	809	2.952
3	0	5.873

Lanjutan Tabel L3.2		
3	404	5.873
3	809	5.873
4	0	8.800
4	404	8.800
4	809	8.800
5	0	8.800
5	404	8.800
5	809	8.800
6	0	5.873
6	404	5.873
6	809	5.873
7	0	2.952
7	404	2.952
7	809	2.952
8	0	0.044
8	404	0.044
8	809	0.044
9	0	-2.887
9	404	-2.887
9	809	-2.887
10	0	-5.812
10	404	-5.812
10	809	-5.812
11	0	-8.746
11	404	-8.746
11	809	8.746
12	0	-11.549
12	404	-11.549
12	809	-11.549
13	0	-11.549
13	404	-11.549
13	809	-11.549
14	0	-8.746
14	404	-8.746
14	809	-8.746
15	0	-5.812
15	404	-5.812
15	809	-5.812
16	0	-2.887
16	404	-2.887
16	809	-2.887
17	0	-1.814
17	250	-1.814
17	500	-1.814
18	0	2.703
18	388	2.703
18	775	2.703

19	0	-1.798
19	250	-1.798
19	500	-1.798
20	0	2.721
20	388	2.721
20	775	2.721
21	0	-1.804
21	250	-1.804
21	500	-1.804
22	0	2.733
22	388	2.733
22	775	2.733
23	0	-1.750
23	250	-1.750
23	500	-1.750
24	0	2.627
24	388	2.627
24	775	2.627
25	0	4.990
25	250	4.990
25	500	4.990
26	0	2.627
26	388	2.627
26	775	2.627
27	0	-1.750
27	250	-1.750
27	500	-1.750
28	0	2.733
28	388	2.733
28	775	2.733
29	0	-1.804
29	250	-1.804
29	500	-1.804
30	0	2.721
30	388	2.721
30	775	2.721
31	0	-1.798
31	250	-1.798
31	500	-1.798
32	0	2.703
32	388	2.703
32	775	2.703
33	0	-1.814
33	250	-1.814
33	500	-1.814

### 3. Benda uji 3

$$P_{\text{maksimum}} = 3,980 \text{ kN}$$



**Gambar L3.3** Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertical  $L_1 = 600 \text{ mm}$  ( $L_1/L = 0,1$ )

**Tabel L 3. 3** Gaya Batang Benda Uji 3

Frame Element	Station (mm)	P (KN)
1	0	0.035
1	324	0.035
1	647	0.035
2	0	2.562
2	324	2.562
2	647	2.562
3	0	5.107
3	324	5.107
3	647	5.107
4	0	7.649
4	324	7.649
4	647	7.649
5	0	10.180
5	324	10.180
5	647	10.180
6	0	10.180
6	324	10.180
6	647	10.180
7	0	7.649
7	324	7.649
7	647	7.649
8	0	5.107
8	324	5.107
8	647	5.107



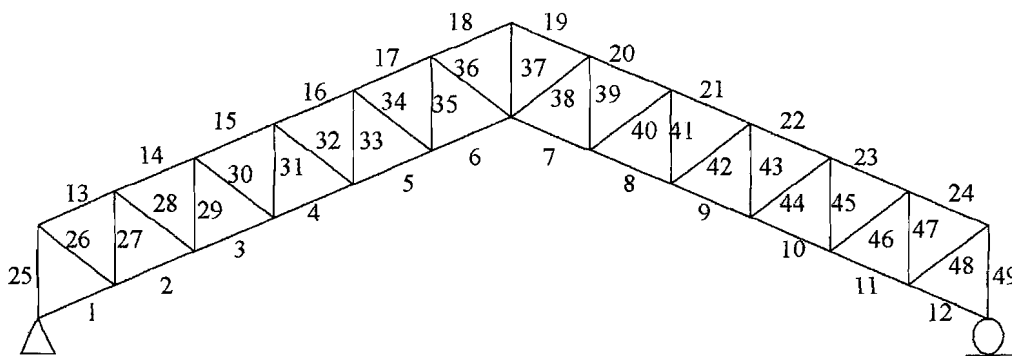
Lanjutan Tabel L3.3		
9	0	2.562
9	324	2.562
9	647	2.562
10	0	0.035
10	324	0.035
10	647	0.035
11	0	-2.520
11	324	-2.520
11	647	-2.520
12	0	-5.066
12	324	-5.066
12	647	-5.066
13	0	-7.606
13	324	-7.606
13	647	-7.606
14	0	-10.165
14	324	-10.165
14	647	-10.165
15	0	-12.569
15	324	-12.569
15	647	-12.569
16	0	-12.569
16	324	-12.569
16	647	-12.569
17	0	-10.165
17	324	-10.165
17	647	-10.165
18	0	-7.606
18	324	-7.606
18	647	-7.606
19	0	-5.066
19	324	-5.066
19	647	-5.066
20	0	-2.520
20	324	-2.520
20	647	-2.520
21	0	-1.965
21	250	-1.965
21	500	-1.965
22	0	2.474
22	326	2.474
22	653	2.474
23	0	-1.933
23	250	-1.933
23	500	-1.933
24	0	2.495
24	326	2.495

Lanjutan Tabel L3.3		
24	653	2.495
25	0	-1.936
25	250	-1.936
25	500	-1.936
26	0	2.490
26	326	2.490
26	653	2.490
27	0	-1.945
27	250	-1.945
27	500	-1.945
28	0	2.503
28	326	2.503
28	653	2.503
29	0	-1.855
29	250	-1.855
29	500	-1.855
30	0	2.420
30	326	2.420
30	653	2.420
31	0	5.376
31	250	5.376
31	500	5.376
32	0	2.420
32	326	2.420
32	653	2.420
33	0	-1.855
33	250	-1.855
33	500	-1.855
34	0	2.503
34	326	2.503
34	653	2.503
35	0	-1.945
35	250	-1.945
35	500	-1.945
36	0	2.490
36	326	2.490
36	653	2.490
37	0	-1.936
37	250	-1.936
37	500	-1.936
38	0	2.495
38	326	2.495
38	653	2.495
39	0	-1.933
39	250	-1.933
39	500	-1.933
40	0	2.474

Lanjutan Tabel L3.3		
40	326	2.474
40	653	2.474
41	0	-1.965
41	250	-1.965
41	500	-1.965

**4. Benda uji 4**

$P_{maksimum} = 4,900 \text{ kN}$



**Gambar L3.4** Notasi elemen batang kuda-kuda batang tepi sejajar pada jarak batang vertical  $L_1 = 500 \text{ mm}$  ( $L_1/L = 0,083$ )

**Tabel L 3. 4** Gaya Batang Benda Uji 4

Frame Element	Station (mm)	P (kN)
1	0	0.034
1	270	0.034
1	539	0.034
2	0	2.624
2	270	2.624
2	539	2.624
3	0	5.236
3	270	5.236
3	539	5.236
4	0	7.846
4	270	7.846
4	539	7.846
5	0	10.457
5	270	10.457
5	539	10.457
6	0	13.029

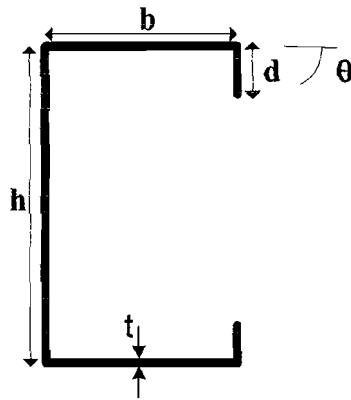
Lanjutan Tabel L3.4		
6	270	13.029
6	539	13.029
7	0	13.029
7	270	13.029
7	539	13.029
8	0	10.457
8	270	10.457
8	539	10.457
9	0	7.846
9	270	7.846
9	539	7.846
10	0	5.236
10	270	5.236
10	539	5.236
11	0	2.624
11	270	2.624
11	539	2.624
12	0	0.034
12	270	0.034
12	539	0.034
13	0	-2.592
13	270	-2.592
13	539	-2.592
14	0	-5.205
14	270	-5.205
14	539	-5.205
15	0	-7.815
15	270	-7.815
15	539	-7.815
16	0	-10.422
16	270	-10.422
16	539	-10.422
17	0	-13.052
17	270	-13.052
17	539	-13.052
18	0	-15.474
18	270	-15.474
18	539	-15.474
19	0	-15.474
19	270	-15.474
19	539	-15.474
20	0	-13.052
20	270	-13.052
20	539	-13.052
21	0	-10.422
21	270	-10.422
21	539	-10.422

22	0	-7.815
22	270	-7.815
22	539	-7.815
23	0	-5.205
23	270	-5.205
23	539	-5.205
24	0	-2.592
24	270	-2.592
24	539	-2.592
25	0	-2.408
25	250	-2.408
25	500	-2.408
26	0	2.699
26	291	2.699
26	582	2.699
27	0	-2.348
27	250	-2.348
27	500	-2.348
28	0	2.725
28	291	2.725
28	582	2.725
29	0	-2.357
29	250	-2.357
29	500	-2.357
30	0	2.721
30	291	2.721
30	582	2.721
31	0	-2.355
31	250	-2.355
31	500	-2.355
32	0	2.718
32	291	2.718
32	582	2.718
33	0	-2.372
33	250	-2.372
33	500	-2.372
34	0	2.729
34	291	2.729
34	582	2.729
35	0	-2.215
35	250	-2.215
35	500	-2.215
36	0	2.678
36	291	2.678
36	582	2.678
37	0	6.526
37	250	6.526

37	500	6.526
38	0	2.678
38	291	2.678
38	582	2.678
39	0	-2.215
39	250	-2.215
39	500	-2.215
40	0	2.729
40	291	2.729
40	582	2.729
41	0	-2.372
41	250	-2.372
41	500	-2.372
42	0	2.718
42	291	2.718
42	582	2.718
43	0	-2.355
43	250	-2.355
43	500	-2.355
44	0	2.721
44	291	2.721
44	582	2.721
45	0	-2.357
45	250	-2.357
45	500	-2.357
46	0	2.725
46	291	2.725
46	582	2.725
47	0	-2.348
47	250	-2.348
47	500	-2.348
48	0	2.699
48	291	2.699
48	582	2.699
49	0	-2.408
49	250	-2.408
49	500	-2.408

# LAMPIRAN 4

### Perhitungan Batang Tekan *Light Lipped Channel*



Gambar . L4.1 Profil Lipped Channel

$$h = 60 \text{ mm}$$

$$b = 22 \text{ mm}$$

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$t = 1,2 \text{ mm}$$

$$A = t \times (b + 2h + 2d)$$

$$= 1,2 \cdot (60 + (2 \cdot 22) + (2 \cdot 8))$$

$$= 144 \text{ mm}^2$$

$$e_y = 30 \text{ mm}$$

$$e_x = 6,9667 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot t \cdot h^3 + \frac{1}{2} \cdot b \cdot t \cdot h^2 + \frac{2}{3} \cdot t \cdot d^3 + \frac{1}{2} \cdot d \cdot t \cdot h^2 - d^2 \cdot t \cdot h + \frac{1}{6} \cdot b \cdot t^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 1,2 \cdot 60^3 + \frac{1}{2} \cdot 22 \cdot 1,2 \cdot 60^2 + \frac{2}{3} \cdot 1,2 \cdot 8^3 + \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 60^2 - 8^2 \cdot 1,2 \cdot 60 + \frac{1}{6} \cdot 22 \cdot 1,2^3$$

$$= 0,0082 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$



$$I_y = \frac{1}{12} \cdot h \cdot t^3 + \frac{2}{3} \cdot t \cdot b^3 + \frac{1}{6} \cdot d \cdot t^3 + 2 \cdot d \cdot t \cdot b^2 - (h \cdot t + 2 \cdot b \cdot t + 2 \cdot d \cdot t) \cdot b^2 \cdot \frac{(b + 2 \cdot d)^2}{(h + 2 \cdot b + 2 \cdot d)^2}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 60 \cdot 1,2^3 + \frac{2}{3} \cdot 1,2 \cdot 22^3 + \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 1,2^3 + 2 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 22^2 - (60 \cdot 1,2 + 2 \cdot 22 \cdot 1,2 + 2 \cdot 8 \cdot 1,2) \cdot 22^2 \cdot \frac{(22 + 2 \cdot 8)^2}{(60 + 2 \cdot 22 + 2 \cdot 8)^2}$$

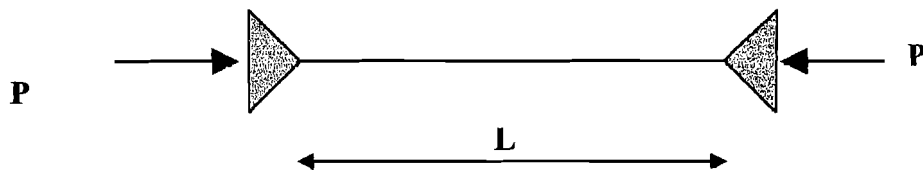
$$= 0,00108 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$F_y = 103,944 \text{ Mpa}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 23,89 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 8,67 \text{ mm}$$

Gambar pembebanan batang tekan profil C



Pada tekanan aksial, penampang ini memiliki elemen yang diperkuat yaitu badan sedangkan elemen yang tidak diperkuat adalah sayap. Elemen yang tidak diperkuat harus ditinjau dahulu untuk menentukan tingkat tegangan efektif.

## 1. Perhitungan $F_{cr}$ Metode AISC

### a. Elemen yang tidak diperkuat :

$$\left[ \frac{b}{t} = \frac{22}{1,2} = 18,33 \right] < \left[ \frac{250}{\sqrt{F_y}} = 24,52 \right] \text{ maka tekuk setempat tidak mengurangi}$$

efisiensi ;  $Q_s = 1,0$

### b. Elemen yang diperkuat :

$$\begin{aligned} f &= F_y \cdot Q_s \\ &= 103,944 \times 1 \\ &= 103,944 \end{aligned}$$

$$\frac{b_E}{t} = \frac{21}{f} \left[ 1 - \frac{4,18}{(b/t)\sqrt{f}} \right]$$

$$\frac{b_E}{t} = \frac{21}{\sqrt{103,944}} \left[ 1 - \frac{4,18}{(50)\sqrt{103,944}} \right] = 2,04$$

$$\begin{aligned} A_{\text{effek}} &= A_{\text{brutto}} - \left[ \frac{b}{t} - \frac{b_E}{t} \right] t^2 \\ &= 144 - [50 - 2,01] \cdot 1,2^2 \\ &= 74,94 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_A &= \frac{A_{\text{eff}}}{A_{\text{bruto}}} \\ &= \frac{74,94}{144} \\ &= 0,52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_A \cdot Q_S \\
 &= 0,52 \cdot 1 \\
 &= 0,52
 \end{aligned}$$

### I. Jarak Batang Vertikal $L_1 = 1000 \text{ mm}$

$$L_y = L_x = 1079 \text{ mm}$$

Asumsi  $K = 1$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 1079}{8,67} = 124,452$$

$$\begin{aligned}
 C_c &= \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}} \\
 &= \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2 \cdot 10^5}{0,52 \times 103,944}} \\
 &= 270,121
 \end{aligned}$$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} < C_c$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= Q \cdot F_y \left[ 1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2 C_c^2} \right] \\
 &= 0,52 \times 103,944 \times \left[ 1 - \frac{124,452^2}{2 \times 270,121^2} \right] \\
 &= 48,314 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cr} &= F_{cr} \times A \\
 &= 48,314 \cdot 10^{-3} \times 144 \\
 &= 6,957 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{maksimum}} = 11,018 \text{ kN}$$

$P_{\text{maksimum}} > P_{cr}$  maka batang rusak

**II. Jarak Batang Vertikal L1 = 750 mm**

$$L_y = L_x = 809 \text{ mm}$$

Asumsi  $K = 1$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 809}{8,67} = 93,310$$

$$\begin{aligned} C_c &= \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2.10^5}{0,52 \times 103,944}} \\ &= 270,121 \end{aligned}$$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} < C_c$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= Q \cdot F_y \left[ 1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2 C_c^2} \right] \\ &= 0,52 \times 103,944 \times \left[ 1 - \frac{93,310^2}{2 \times 270,121^2} \right] \\ &= 50,826 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \times A \\ &= 50,826 \cdot 10^{-3} \times 144 \\ &= 7,319 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_{\text{maksimum}} = 11,549 \text{ kN}$$

$P_{\text{maksimum}} > P_{cr}$  maka batang rusak

**II. Jarak Batang Vertikal  $L_1 = 600$  mm**

$$L_y = L_x = 647 \text{ mm}$$

Asumsi  $K = 1$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 647}{8,67} = 74,625$$

$$\begin{aligned} C_c &= \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2.10^5}{0,52 \times 103,944}} \\ &= 270,121 \end{aligned}$$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} < C_c$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= Q \cdot F_y \left[ 1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2 C_c^2} \right] \\ &= 0,52 \times 103,944 \times \left[ 1 - \frac{74,625^2}{2 \times 270,121^2} \right] \\ &= 51,988 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \times A \\ &= 51,988 \cdot 10^{-3} \times 144 \\ &= 7,486 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_{maksimum} = 12,569 \text{ kN}$$

$P_{maksimum} > P_{cr}$  maka batang rusak

**II. Jarak Batang Vertikal L1 = 500 mm**

$$L_y = L_x = 539 \text{ mm}$$

Asumsi  $K = 1$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 539}{8,67} = 62,168$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}}$$

$$= \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2 \cdot 10^5}{0,52 \times 103,944}}$$

$$= 270,121$$

$$\frac{K \cdot L_y}{r_y} < C_c$$

$$F_{cr} = Q \cdot F_y \left[ 1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2 C_c^2} \right]$$

$$= 0,52 \times 103,944 \times \left[ 1 - \frac{62,168^2}{2 \times 270,121^2} \right]$$

$$= 52,619 \text{ Mpa}$$

$$P_{cr} = F_{cr} \times A$$

$$= 52,619 \cdot 10^{-3} \times 144$$

$$= 7,577 \text{ kN}$$

$$P_{maksimum} = 15,474 \text{ kN}$$

$P_{maksimum} > P_{cr}$  maka batang rusak

## 2. Perhitungan $F_{cr}$ Menurut Salmon dan Johnson (1990)

$$\text{Pada lip } \left(\frac{d}{t}\right) = \left(\frac{8}{1,2}\right) = 6,67$$

$$F_{cr\_lip} = k_{lip} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{d}\right)^2, \text{ dengan nilai } k_{lip} = 0,425$$

$$\begin{aligned} F_{cr\_lip} &= 0,425 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,2}{8}\right)^2 \\ &= 1728,54 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Pada sayap } \left(\frac{b}{t}\right) = \left(\frac{22}{1,2}\right) = 18,33 \text{ mm}$$

$$F_{cr\_sayap} = k_{sayap} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2, \text{ dengan nilai } k_{sayap} = 4$$

$$\begin{aligned} F_{cr\_sayap} &= 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,2}{22}\right)^2 \\ &= 2151,22 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Pada badan } \left(\frac{h}{t}\right) = \left(\frac{60}{1,2}\right) = 50 \text{ mm}$$

$$F_{cr\_badan} = k_{badan} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^2, \text{ dengan nilai } k_{badan} = 4$$

$$\begin{aligned} F_{cr\_badan} &= 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,2}{60}\right)^2 \\ &= 289,222 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = F_{cr \text{ badan}} = 289,222 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \cdot A \\ &= 289,222 \cdot 10^{-3} \times 144 \\ &= 41,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan $F_{cr}$ Menurut Schafer (1997)

Pada sayap tepi/lip  $\left(\frac{d}{t}\right) = \left(\frac{8}{1,2}\right) = 6,67$

$$F_{cr\_lip} = k_{lip} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{d}\right)^2, \text{ dengan nilai } k, \text{ yaitu}$$

$$\begin{aligned} k_{lip} &= -11,07 \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 3,95 \left(\frac{d}{b}\right) + 4 \\ &= -11,07 \left(\frac{8}{22}\right)^2 + 3,95 \left(\frac{8}{22}\right) + 4 \\ &= -3,97 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} F_{cr\_lip} &= 3,97 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,2}{8}\right)^2 \\ &= 16146,56 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Pada sayap dan badan

$$F_{cr\_sayap\_badan} = k_{sayap\_badan} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \text{ dengan nilai } k, \text{ yaitu :}$$

$$k_{sayap\_badan} = \left[ \left[ 2 - \left(\frac{b}{h}\right)^{0,4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2 \right] \text{ jika } \frac{h}{b} \geq 1$$



$$\left[ \left[ 2 - \left( \frac{h}{b} \right)^{0.2} \right] \cdot 4 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} < 1$$

$$\frac{h}{b} = \frac{60}{22} = 2,73 > 1, \text{ sehingga nilai } k_{\text{sayap\_badan}} = \left[ \left[ 2 - \left( \frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left( \frac{b}{h} \right)^2 \right]$$

$$\begin{aligned} k_{\text{sayap\_badan}} &= \left[ \left[ 2 - \left( \frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left( \frac{b}{h} \right)^2 \right] \\ &= \left[ \left[ 2 - \left( \frac{22}{60} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left( \frac{22}{60} \right)^2 \right] \\ &= 0,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{cr\_sayap}} &= k_{\text{sayap}} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left( \frac{t}{b} \right)^2 \\ &= 0,72 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left( \frac{1,2}{22} \right)^2 \\ &= 387,213 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$F_{\text{cr}} = F_{\text{cr\_sayap}} = 387,213 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{cr}} &= F_{\text{cr}} \cdot A \\ &= 387,213 \cdot 10^{-3} \times 144 \\ &= 55,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

# LAMPIRAN 5

## Perhitungan Beban Kritis Elemen Struktur Rangka

Tabel L5. 1 Kekuatan batang tekan benda uji 1

Batang	$P_{eks}$ (kN)	L (mm)	KL/r	$F_{cr}$ (Mpa)	$P_{cr}$ (kN)	Keterangan
7	3,665	1079	124,452	48,314	6.957	Peks < Pcr
8	7,406	1079	124,452	48,314	6.957	Peks > Pcr
9	11,018	1079	124,452	48,314	6.957	Peks > Pcr
10	11,018	1079	124,452	48,314	6.957	Peks > Pcr
11	7,406	1079	124,452	48,314	6.957	Peks > Pcr
12	3,665	1079	124,452	48,314	6.957	Peks < Pcr
13	1,744	500	57,670	52,819	7.606	Peks < Pcr
15	1,743	500	57,670	52,819	7.606	Peks < Pcr
17	1,713	500	57,670	52,819	7.606	Peks < Pcr
21	1,713	500	57,670	52,819	7.606	Peks < Pcr
23	1,743	500	57,670	52,819	7.606	Peks < Pcr
25	1,744	500	57,670	52,819	7.606	Peks < Pcr

Tabel L5. 2 Kekuatan batang tarik benda uji 1

Batang	$P_{eks}$ (kN)	$P_{cr}$ (kN)	Keterangan
1	0.067	14.968	Peks < Pcr
2	3.774	14.968	Peks < Pcr
3	7.517	14.968	Peks < Pcr
4	7.517	14.968	Peks < Pcr
5	3.774	14.968	Peks < Pcr
6	0.067	14.968	Peks < Pcr
14	3.329	14.968	Peks < Pcr
16	3.365	14.968	Peks < Pcr
18	3.239	14.968	Peks < Pcr
19	4.791	14.968	Peks < Pcr
20	3.239	14.968	Peks < Pcr
22	3.365	14.968	Peks < Pcr
24	3.329	14.968	Peks < Pcr

Tabel L5. 3 Kekuatan batang tekan benda uji 2

Batang	$P_{eks}$ (kN)	L (mm)	KL/r	$F_{cr}$ (Mpa)	$P_{cr}$ (kN)	Keterangan
9	2.887	809	93.310	50.826	7.319	Peks < Pcr
10	5.812	809	93.310	50.826	7.319	Peks < Pcr
11	8.746	809	93.310	50.826	7.319	Peks > Pcr
12	11.549	809	93.310	50.826	7.319	Peks > Pcr
13	11.549	809	93.310	50.826	7.319	Peks > Pcr
14	8.746	809	93.310	50.826	7.319	Peks > Pcr
15	5.812	809	93.310	50.826	7.319	Peks < Pcr
16	2.887	809	93.310	50.826	7.319	Peks < Pcr
17	1.814	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
19	1.798	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
21	1.804	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
23	1.750	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
27	1.750	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
29	1.804	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
31	1.798	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
33	1.814	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr

Tabel L5. 4 Kekuatan batang tarik benda uji 2

Batang	$P_{eks}$ (kN)	$P_{cr}$ (kN)	Keterangan
1	0.044	14.968	Peks < Pcr
2	2.952	14.968	Peks < Pcr
3	5.873	14.968	Peks < Pcr
4	8.800	14.968	Peks < Pcr
5	8.800	14.968	Peks < Pcr
6	5.873	14.968	Peks < Pcr
7	2.952	14.968	Peks < Pcr
8	0.044	14.968	Peks < Pcr
18	2.703	14.968	Peks < Pcr
20	2.721	14.968	Peks < Pcr
22	2.733	14.968	Peks < Pcr
24	2.627	14.968	Peks < Pcr
25	4.990	14.968	Peks < Pcr
26	2.627	14.968	Peks < Pcr
28	2.733	14.968	Peks < Pcr
30	2.721	14.968	Peks < Pcr
32	2.703	14.968	Peks < Pcr

Tabel L5. 5 Kekuatan batang tekan benda uji 3

Batang	$P_{eks}$ (kN)	L (mm)	KL/r	$F_{cr}$ (Mpa)	$P_{cr}$ (kN)	Keterangan
11	2.520	647	74.625	51.988	7.486	Peks < Pcr
12	5.066	647	74.625	51.988	7.486	Peks < Pcr
13	7.606	647	74.625	51.988	7.486	Peks > Pcr
14	10.165	647	74.625	51.988	7.486	Peks > Pcr
15	12.569	647	74.625	51.988	7.486	Peks > Pcr
16	12.569	647	74.625	51.988	7.486	Peks > Pcr
17	10.165	647	74.625	51.988	7.486	Peks > Pcr
18	7.606	647	74.625	51.988	7.486	Peks > Pcr
19	5.066	647	74.625	51.988	7.486	Peks < Pcr
20	2.520	647	74.625	51.988	7.486	Peks < Pcr
21	1.965	647	74.625	51.988	7.486	Peks < Pcr
23	1.933	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
25	1.936	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
27	1.945	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
29	1.855	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
33	1.855	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
35	1.945	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
37	1.936	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
39	1.933	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
41	1.965	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr

Tabel L5. 6 Kekuatan batang tarik benda uji 3

Batang	$P_{eks}$ (kN)	$P_{cr}$ (kN)	Keterangan
1	0.035	14.968	Peks < Pcr
2	2.562	14.968	Peks < Pcr
3	5.107	14.968	Peks < Pcr
4	7.649	14.968	Peks < Pcr
5	10.180	14.968	Peks < Pcr
6	10.180	14.968	Peks < Pcr
7	7.469	14.968	Peks < Pcr
8	5.107	14.968	Peks < Pcr
9	2.562	14.968	Peks < Pcr
10	0.035	14.968	Peks < Pcr
22	2.474	14.968	Peks < Pcr
24	2.495	14.968	Peks < Pcr

26	2.490	14.968	Peks < Pcr
28	2.503	14.968	Peks < Pcr
30	2.420	14.968	Peks < Pcr
31	5.376	14.968	Peks < Pcr
32	2.420	14.968	Peks < Pcr
34	2.503	14.968	Peks < Pcr
36	2.490	14.968	Peks < Pcr
38	2.495	14.968	Peks < Pcr
40	2.474	14.968	Peks < Pcr

Tabel L5. 7 Kekuatan batang tekan benda uji 4

Batang	$P_{eks}$ (kN)	L (mm)	KL/r	$F_{cr}$ (Mpa)	$P_{cr}$ (kN)	Keterangan
13	2.592	539	62.168	52.619	7.577	Peks < Pcr
14	5.205	539	62.168	52.619	7.577	Peks < Pcr
15	7.815	539	62.168	52.619	7.577	Peks > Pcr
16	10.422	539	62.168	52.619	7.577	Peks > Pcr
17	13.052	539	62.168	52.619	7.577	Peks > Pcr
18	15.474	539	62.168	52.619	7.577	Peks > Pcr
19	15.474	539	62.168	52.619	7.577	Peks > Pcr
20	13.052	539	62.168	52.619	7.577	Peks > Pcr
21	10.422	539	62.168	52.619	7.577	Peks > Pcr
22	7.815	539	62.168	52.619	7.577	Peks > Pcr
23	5.205	539	62.168	52.619	7.577	Peks < Pcr
24	2.592	539	62.168	52.619	7.577	Peks < Pcr
25	2.408	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
27	2.348	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
29	2.357	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
31	2.355	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
33	2.372	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
35	2.215	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
39	2.215	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
41	2.372	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
43	2.355	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
45	2.357	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
47	2.348	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr
49	2.408	500	57.670	52.819	7.606	Peks < Pcr

Tabel L5. 8 Kekuatan batang tarik benda uji 4

Batang	$P_{eks}$ (kN)	$P_{cr}$ (kN)	Keterangan
1	0.034	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
2	2.624	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
3	5.236	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
4	7.846	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
5	10.457	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
6	13.029	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
7	13.029	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
8	10.547	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
9	7.846	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
10	5.236	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
11	2.624	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
12	0.034	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
26	2.699	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
28	2.725	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
30	2.721	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
32	2.718	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
34	2.729	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
36	2.678	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
37	6.526	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
38	2.678	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
40	2.729	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
42	2.718	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
44	2.721	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
46	2.725	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$
48	2.699	14.968	$P_{eks} < P_{cr}$

# LAMPIRAN 6



## Perhitungan Koefisien Tekuk Lokal

### 1. Koefisien Tekuk Lokal Uji Desak Uji Pendahuluan

#### a. Koefisien tekuk lokal uji desak untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan las

$$F_{cr} = 89,931 \text{ Mpa}$$

$$b = 22 \text{ mm}$$

$$t = 1,2 \text{ mm}$$

$$E = 2.10^5$$

$$\mu = 0,3$$

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

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

$$k = \frac{89,931 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2.10^5} = 0,167$$

**Tabel L6. 1** Koefisien tekuk uji desak profil baja untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan las

Benda uji	F <sub>cr</sub> (MPa)	π	A (mm)	b/t	μ	Koefesien tekuk (k)
Uji desak	89,931	3,14	144	18,333	0,3	0,167

**b. Koefisien tekuk lokal uji desak untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan baut**

$$F_{cr} = 72,120 \text{ Mpa}$$

$$b = 22 \text{ mm}$$

$$t = 1,2 \text{ mm}$$

$$E = 2.10^5$$

$$\mu = 0,3$$

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

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

$$k = \frac{72,120 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2.10^5} = 0,131$$

**Tabel L6. 2** Koefisien tekuk uji desak profil baja untuk benda uji dengan bagian tepi menggunakan baut

Benda uji	F <sub>cr</sub> (MPa)	π	A (mm)	b/t	μ	Koefisien tekuk (k)
Uji desak	70,120	3,14	144	18,333	0,3	0,131

## 2. Koefisien Tekuk Lokal Hasil Uji Lentur

### 1) Benda Uji 1

Benda uji 1 (Batang 9)

$$P_{cr} = 11,018 \text{ kN}$$

$$A = 144 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{P_{cr}}{A} \\ &= \frac{11,018}{144} \times 1000 \\ &= 76,514 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

$$k = \frac{76,514 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,142$$

### 2) Benda uji 2

Benda uji 2 (Batang 12)

$$P_{cr} = 11,549 \text{ kN}$$

$$A = 144 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{P_{cr}}{A} \\ &= \frac{11,549}{144} \times 1000 \\ &= 80,201 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

$$k = \frac{80,201 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,149$$

### 3) Benda uji 3

Benda uji 3 (Batang 15)

$$P_{cr} = 12,569 \text{ kN}$$

$$A = 144 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{P_{cr}}{A} \\ &= \frac{12,569}{144} \times 1000 \\ &= 87,285 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

$$k = \frac{87,285 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,162$$

#### 4) Benda uji 4

Benda uji 4 (Batang 18)

$$P_{cr} = 15,474 \text{ kN}$$

$$A = 144 \text{ mm}^2$$

$$b/t = 18,333$$

$$\mu = 0,3$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$$

$$= \frac{15,474}{144} \times 1000$$

$$= 107,458 \text{ kN/mm}^2$$

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

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

$$k = \frac{107,458 \times 12 \times (1 - 0,3^2) \left(\frac{22}{1,2}\right)^2}{3,14^2 \times 2 \cdot 10^5} = 0,2$$

Tabel L6. 3 Koefisien tekuk plat ( $k$ ) tiap benda uji

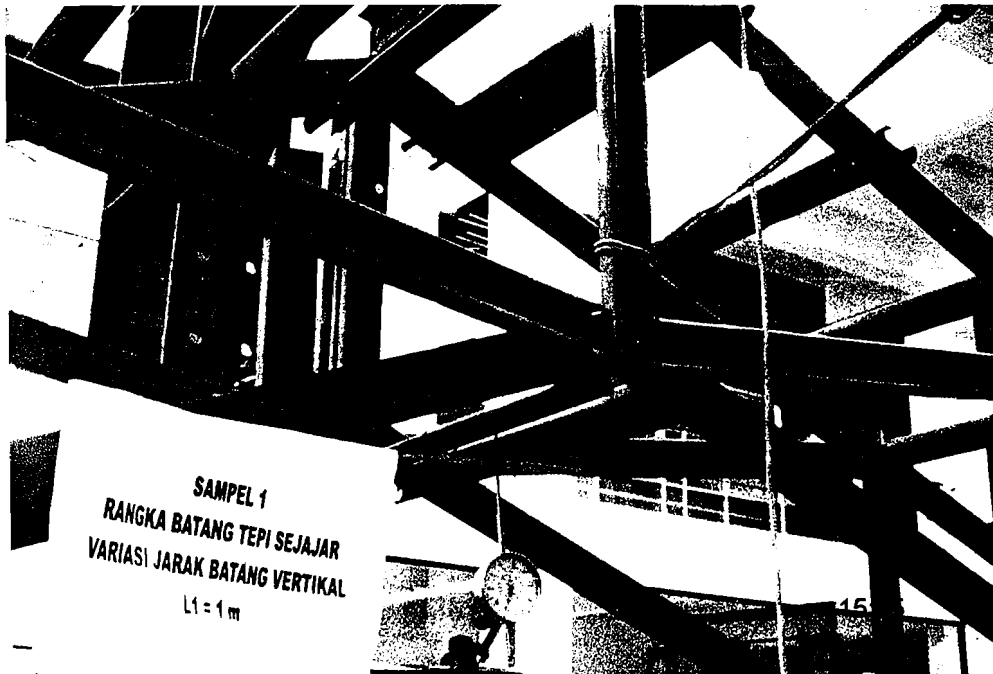
Benda uji	Batang	P (kN)	$\pi$	A (mm)	F <sub>cr</sub> (MPa)	b/t	$\mu$	Koefisien tekuk plat ( $k$ )
1	9	11,018	3,14	144	76,514	18,333	0,3	0,142
2	12	11,549	3,14	144	80,201	18,333	0,3	0,149
3	15	12,569	3,14	144	87,285	18,333	0,3	0,162
4	18	15,474	3,14	144	107,458	18,333	0,3	0,200

dengan :  $P_{cr}$  = beban tekuk; A = luas penampang melintang; F<sub>cr</sub> = tegangan kritis,

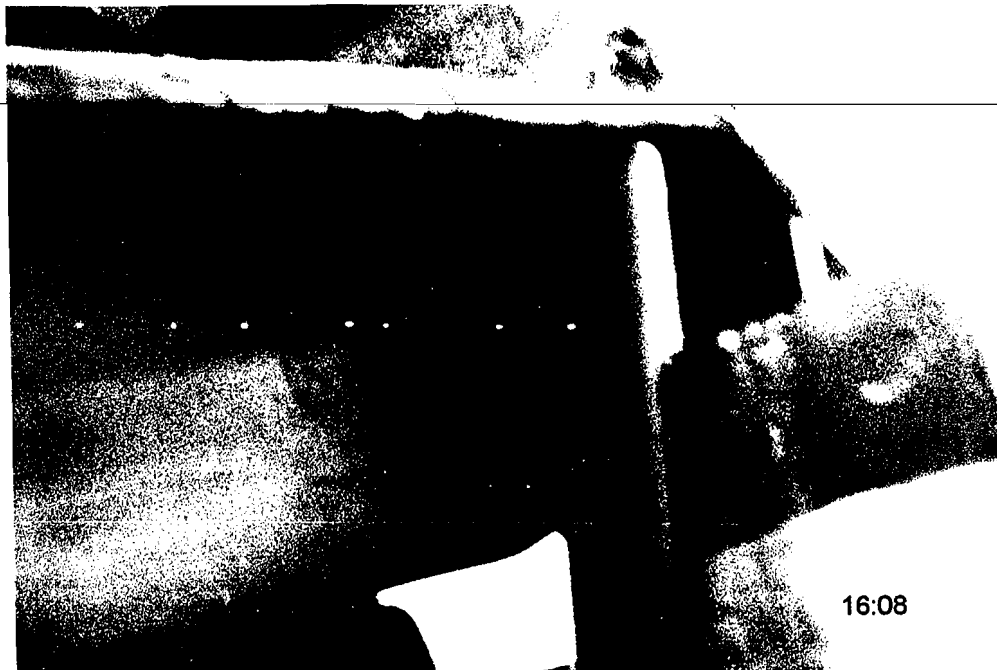
---

# LAMPIRAN 7

## Dokumentasi Pelaksanaan Pengujian

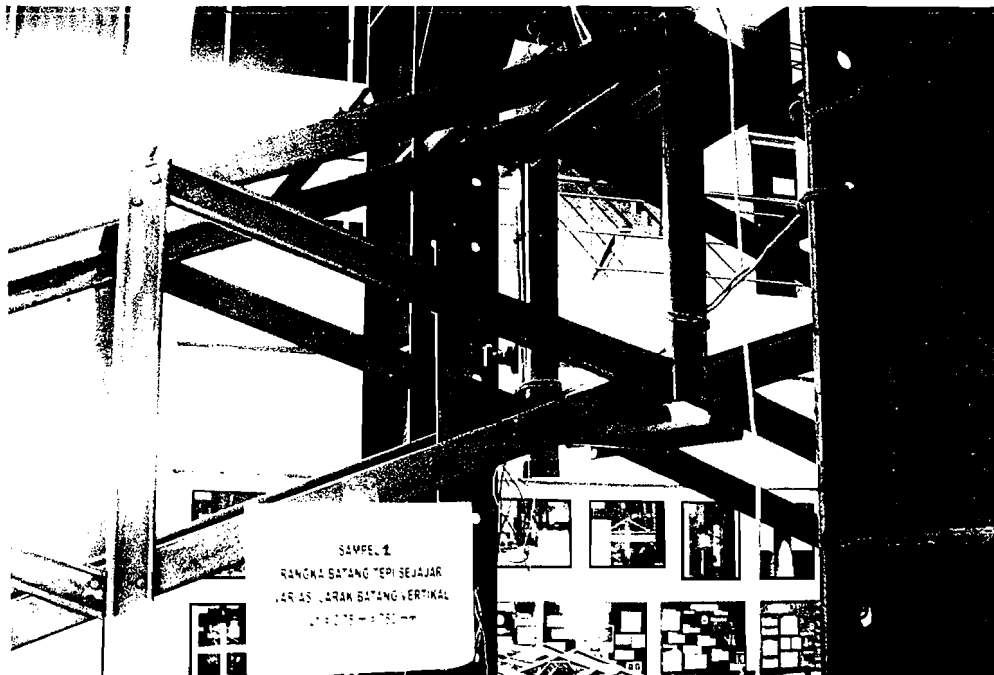


Gambar L7.1 Benda uji 1 sebelum pengujian

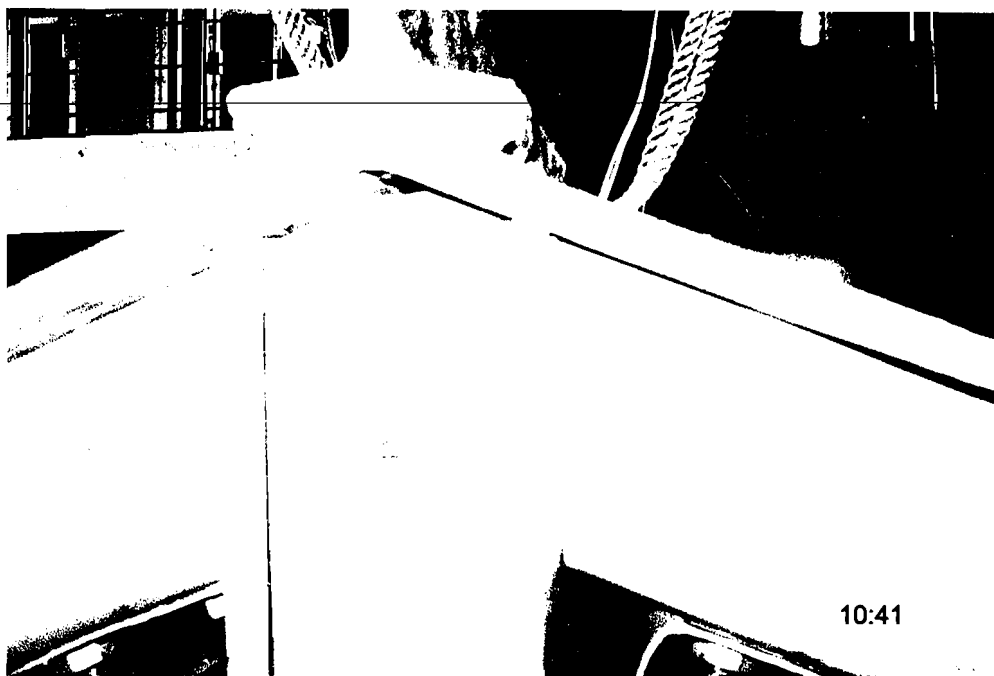


Gambar L7.2 Benda uji 1 setelah pengujian





Gambar L7. 3 Benda uji 2 sebelum pengujian



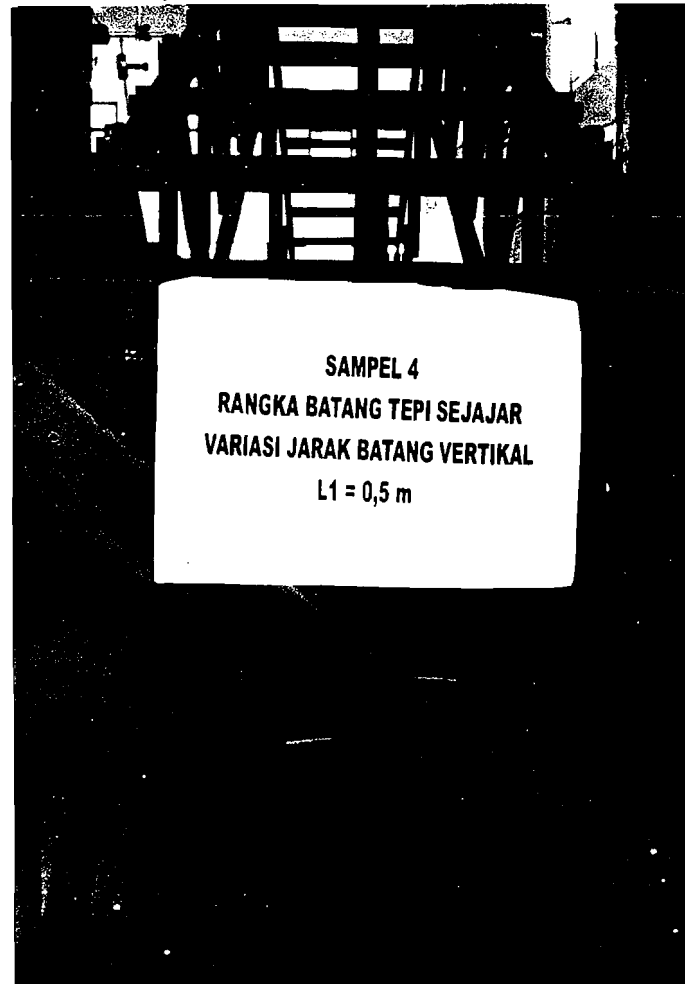
Gambar L7. 4 Benda uji 2 setelah pengujian



Gambar L7. 5 Benda uji 3 sebelum pengujian



Gambar L7. 6 Benda uji 3 setelah pengujian



Gambar L7. 7 Benda uji 4 sebelum pengujian



Gambar L7. 8 Benda uji 4 setelah pengujian