

PERPUSTAKAAN FTSP UII

HADIAH/BELI

TGL. TERIMA : 04 OCT 2001

NO. JUDUL :

NO. INV. :

NO. INDIK. :

5120001329001

## TUGAS AKHIR

# PENGARUH BATANG NOL TERHADAP KEKAKUAN RIIL KUDA-KUDA RANGKA BATANG (PROFIL SIKU)



Disusun Oleh :

MILIK PERPUSTAKAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

Nama : **DWI HARTIANDY**  
No. Mhs. : 95 310 080  
N I R M : 950051013114120079

Nama : **MARFA ELDEST ARINDRA**  
No. Mhs. : 95 310 104  
N I R M : 950051013114120102

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2001**

## **TUGAS AKHIR**

# **PENGARUH BATANG NOL TERHADAP KEKAKUAN RIL KUDA-KUDA RANGKA BATANG (PROFIL SIKU)**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia  
Untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh  
derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Disusun oleh :**

**Nama : DWI HARTIANDY**  
**No. Mhs. : 95 310 080**  
**NIRM : 950051013114120079**

**Nama : MARFA ELDEST ARINDRA**  
**No. Mhs. : 95 310 104**  
**NIRM : 950051013114120102**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2001**

## TUGAS AKHIR

# PENGARUH BATANG NOL TERHADAP KEKAKUAN RIIL KUDA-KUDA RANGKA BATANG (PROFIL SIKU)



Disusun oleh :

Nama : DWI HARTLANDY  
No. Mhs. : 95 310 080  
NIRM : 950051013114120079

Nama : MARFA ELDEST ARINDRA  
No. Mhs. : 95 310 104  
NIRM : 950051013114120102

Ir. Sarwidi, Msc, Ph.D

Dosen Pembimbing I

Ir. Fatkhurrohman N, MT

Dosen Pembimbing II

Tanggal : 22/09/2021

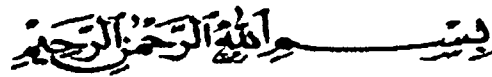
Tanggal : 18/09-2021

## MOTTO

“ Katakanlah : Adakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui ? Sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran.” (QS. Az Zumar : 8)

“ Barang siapa merintis jalan mencari ilmu maka Allah akan memudahkan jalan ke surga.” (HR. Muslim)

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum wr. wb.*

*Alhamdulillahilahirabil'amin, segala puji kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmad serta hidayah-Nya kepada penyusun, sehingga atas ridho-Nyalah penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sholawat dan salam semoga terlimpah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir hayat.*

Tugas Akhir dalam bentuk penelitian laboratorium dengan judul “Pengaruh Batang Nol Terhadap Kekakuan Riil Kuda-Kuda Rangka Batang (Profil Siku)” ini diselesaikan untuk melengkapi syarat memperoleh derajat strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Untuk dapat menyelesaikan Laporan Praktik Kerja ini, penyusun memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penyusun banyak mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah, ibu tercinta serta kakak dan adikku yang telah memberikan dorongan moril seta materiil dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

2. Bp. Ir. Widodo, MSCE, Ph.D. , selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bp. Ir. Sarwidi , Msc, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I, yang bersedia meluangkan waktu dan mencurahkan pikiran dalam membimbing dan mengarahkan hingga terselesaikannya penulisan Skripsi ini.
4. Bp. Ir. Fatkhurrohman N, MT, selaku Dosen Pembimbing II, yang bersedia meluangkan waktu dan mencurahkan pikiran dalam membimbing dan mengarahkan selama proses penyelesaian Skripsi ini.
5. Seseorang yang dekat di hati, atas segala dukungannya dalam penulisan Skripsi ini.
6. Sahabat-sahabatku yang telah memberikan semangat dan membantu dalam kelancaran penulisan Skripsi ini (khususnya di CV. BKK CIPTA).
7. Rekan-rekan seperjuangan (F'95 khususnya) di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
8. Semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan laporan ini.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdiri dari lima (5) bab, dengan sistematis penyusunan sebagai berikut:

- BAB I. PENDAHULUAN
- BAB II. TINJAUAN PUSTAKA
- BAB III. LANDASAN TEORI
- BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN

**BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

Walaupun telah berusaha semaksimal mungkin, penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penyusun harapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa teknik sipil dan pembaca pada umumnya.

Akhir kata semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua sehingga sebagai hamba-Nya kita bisa senantiasa mensyukuri nikmat yang telah diberikan oleh-Nya dan kita dapat selalu berkreasi untuk mencapai hal yang lebih baik dari apa yang kita peroleh sekarang *Amin*.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, Mei 2001

Penyusun

**DWI HARTIANDY  
MARFA ELDEST ARINDRA**

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
MOTTO .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
INTISARI .....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1. Umum .....	4
2.2. Lendutan dan Beban Aksial .....	5
BAB III. LANDASAN TEORI .....	7
3.1. Rangka Batang .....	7



3.2. Konsep Batang Nol .....	8
3.3. Deformasi Pada Rangka Batang Bidang .....	13
3.3.1. Persamaan Dasar .....	14
3.3.2. Matrik Transformasi .....	15
3.3.3. Matrik Kekakuan Pada System Koordinat Local .....	16
3.3.4. Matrik Kekakuan Pada System Koordinat Global .....	16
3.4. Batang Tarik .....	17
3.5. Batang Tekan .....	19
3.5.1. Kuat Tekan Batang Tersusun .....	21
3.5.2. Tegangan Pelat .....	24
3.5.3. Hubungan Momen dengan Kelengkungan .....	25
3.6. Alat Sambung Baut .....	28
3.7. Hipotesa .....	29
<b>BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
4.1. Bahan dan Alat yang Digunakan .....	31
4.1.1. Bahan .....	31
a. Baja Profil .....	31
b. Baut .....	31
c. Plat Sambung .....	31
4.1.2. Peralatan Penelitian .....	32
a. Jangka Sorong .....	32
b. Dukungan Sendi Rol .....	32

c.	Loading Frame	32
d.	Dial Gauge	32
e.	Hidraulick Jack	33
f.	Tranduser Indikator	33
g.	Loadser	33
h.	Penahan Lateral Buckling	33
4.2.	Pembuatan Benda Uji	34
4.3.	Pengujian Benda Uji	36
4.4.	Prosedur Penelitian	36
<b>BAB V.</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	<b>39</b>
5.1.	Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian	39
a.	Rangka Howe menggunakan batang nol	39
b.	Rangka Howe tanpa batang nol	43
c.	Rangka Pratt menggunakan batang nol	47
d.	Rangka Pratt tanpa batang nol	50
5.2.	Pengaruh Batang Nol Terhadap Beban Lendutan	54
a.	Analisis Rangka Howe Hasil Pengujian	55
b.	Analisis Rangka Pratt Hasil Pengujian	56
c.	Perbandingan Rangka Howe dan Pratt Hasil Pengujian	57
d.	Hasil Analisis	58
5.3.	Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian	59
a.	Rangka Howe menggunakan batang nol	59

b. Rangka Howe tanpa batang nol .....	63
c. Rangka Pratt menggunakan batang nol .....	66
d. Rangka Pratt tanpa batang nol .....	70
5.4. Pengaruh Batang Nol Terhadap Momen Lendutan .....	74
a. Analisis Rangka Howe Hasil Pengujian .....	75
b. Analisis Rangka Pratt Hasil Pengujian .....	75
c. Perbandingan Rangka Howe dan Pratt Hasil Pengujian .....	76
d. Hasil Analisis .....	77
5.5. Pembahasan .....	78
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....	80
6.1. Kesimpulan .....	80
6.2. Saran .....	81
DAFTAR PUSTAKA .....	82
LAMPIRAN .....	85

## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 5.1. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Howe menggunakan batang nol .....	40
Tabel 5.2. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Howe menggunakan batang nol (numeris SAP90).....	41
Tabel 5.3. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Howe tanpa batang nol .....	43
Tabel 5.4. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Howe tanpa batang nol (numeris SAP90).....	45
Tabel 5.5. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Pratt menggunakan batang nol .....	47
Tabel 5.6. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Pratt menggunakan batang nol (numeris SAP90).....	48
Tabel 5.7. Hubungan Hubungan Beban dan Lendutan rangka Pratt tanpa batang nol .....	50
Tabel 5.8. Hubungan Hubungan Beban dan Lendutan rangka Pratt tanpa batang nol (numeris SAP90).....	52
Tabel 5.9. Hubungan Momen Kelengkungan rangka Howe menggunakan batang nol .....	59

<b>Tabel 5.10.</b>	<b>Hubungan Momen Kelengkungan rangka Howe menggunakan batang nol (numeris SAP90).....</b>	<b>60</b>
<b>Tabel 5.11.</b>	<b>Hubungan Momen Kelengkungan rangka Howe tanpa batang nol .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabel 5.12.</b>	<b>Hubungan Momen Kelengkungan rangka Howe tanpa batang nol (numeris SAP90).....</b>	<b>64</b>
<b>Tabel 5.13.</b>	<b>Hubungan Momen Kelengkungan rangka Pratt menggunakan batang nol .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabel 5.14.</b>	<b>Hubungan Momen Kelengkungan rangka Pratt menggunakan batang nol (numeris SAP90).....</b>	<b>67</b>
<b>Tabel 5.15.</b>	<b>Hubungan Momen Kelengkungan rangka Pratt tanpa batang nol .....</b>	<b>70</b>
<b>Tabel 5.16.</b>	<b>Hubungan Momen Kelengkungan rangka Pratt tanpa batang nol (numeris SAP90).....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 3.1. Macam-macam rangka kuda-kuda .....	8
Gambar 3.2. Konsep batang nol .....	9
Gambar 3.3. Rangka kuda-kuda dengan batang nol .....	9
Gambar 3.4. Rangka Howe dan Pratt tanpa batang nol .....	10
Gambar 3.5. Diagram Williot Mohr .....	13
Gambar 3.6. Elemen rangka .....	14
Gambar 3.7. Transformasi .....	15
Gambar 3.8. Keruntuhan pada batang tarik .....	17
Gambar 3.9. Batang lurus dibebani gaya tekan aksial .....	19
Gambar 3.10. Batang tersusun .....	21
Gambar 3.11. Pelenturan akibat gaya tekan .....	22
Gambar 3.12. Kurva elastis .....	24
Gambar 3.13. Momen Kelengkungan .....	26
Gambar 3.14. Sambungan dengan satu baris alat penyambung.....	28
Gambar 3.15. Hubungan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ) .....	29
Gambar 3.16. Hubungan Momen ( $M$ ) dan Kelengkungan ( $\Phi$ ).....	30
Gambar 4.1. Penahan Lateral Buckling .....	34
Gambar 4.2. Struktur rangka atap bentang 3.8 m .....	35

<b>Gambar 4.3.</b> Bagan alir prosedur penelitian .....	38
<b>Gambar 5.1.</b> Hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Howe menggunakan batang nol .....	42
<b>Gambar 5.2.</b> Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Howe menggunakan batang nol .....	43
<b>Gambar 5.3.</b> Hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Howe tanpa batang nol .....	46
<b>Gambar 5.4.</b> Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Howe tanpa batang nol .....	46
<b>Gambar 5.5.</b> Hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Pratt menggunakan batang nol .....	49
<b>Gambar 5.6.</b> Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Pratt menggunakan batang nol .....	50
<b>Gambar 5.7.</b> Hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Pratt tanpa batang nol .....	53
<b>Gambar 5.8.</b> Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Pratt tanpa batang nol .....	54
<b>Gambar 5.9.</b> Keberadaan batang nol terhadap beban dan lendutan hasil penelitian .....	55
<b>Gambar 5.10.</b> Keberadaan batang nol terhadap beban dan lendutan	

dengan numeris SAP90 .....	58
<b>Gambar 5.11.</b> Hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Howe menggunakan batang nol .....	62
<b>Gambar 5.12.</b> Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Howe menggunakan batang nol .....	62
<b>Gambar 5.13.</b> Hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Howe tanpa batang nol .....	65
<b>Gambar 5.14.</b> Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Howe tanpa batang nol .....	65
<b>Gambar 5.15.</b> Hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Pratt menggunakan batang nol .....	69
<b>Gambar 5.16.</b> Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Pratt menggunakan batang nol .....	69
<b>Gambar 5.17.</b> Hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Pratt tanpa batang nol .....	73
<b>Gambar 5.18.</b> Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Pratt tanpa batang nol .....	73
<b>Gambar 5.19.</b> Keberadaan batang nol terhadap momen kelengkungan hasil penelitian .....	74
<b>Gambar 5.20.</b> Keberadaan batang nol terhadap momen kelengkungan dengan numeris SAP90 .....	77



## INTISARI

Batang nol (batang dengan gaya dalam yang bernilai nol akibat dari beban luar yang bekerja) sering dijumpai pada kuda – kuda rangka batang. Sekilas batang ini kurang berfungsi, namun bila batang nol ini ditiadakan, batang lain akan bertambah panjang atau lebih langsing. Peniadaan batang nol ini akan berpengaruh pada kekakuan struktur secara menyeluruh.

Pengujian eksperimental menguji perilaku struktur rangka Howe dan Pratt dengan dan tanpa batang nol, yaitu hubungan beban lendutan ( $P-\Delta$ ) dan momen kelengkungan ( $M-\Phi$ ). Dari pengujian ini akan diketahui kekakuan struktur rangka batangnya.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa keberadaan batang nol berpengaruh pada kekakuan struktur rangka batang, yaitu untuk rangka batang dengan batang nol akan lebih kaku dibandingkan dengan struktur rangka batang yang sama.

Kata kunci:

Batang nol, beban, lendutan, momen, dan kelengkungan.

# BAB I

## PENDAHULUAN

Pada saat ini baja sering dipilih sebagai bahan rangka atap bangunan, terutama pada bangunan industri dan bangunan bertingkat tinggi. Hal ini mengingat baja memiliki sifat-sifat yang lebih menguntungkan daripada bahan lain. Keuntungan baja antara lain kekuatannya tinggi, keseragaman bahan, sifat keliatan (*ductility*), kemudahan dalam pembuatan, mudah didapat di pasaran, serta memudahkan pemasangan di lapangan. Sehingga berdasarkan pertimbangan ekonomi, kekuatan dan sifatnya, baja merupakan bahan yang mempunyai nilai lebih.

Bab pendahuluan ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

### 1.1. Latar Belakang

Struktur baja pada sistim penyangga atap selama ini dianalisis sebagai rangka batang (*truss*), dengan anggapan bahwa pertemuan batang pada titik buhul berperilaku sebagai sendi atau tidak mengekang momen, sedangkan keadaan sesungguhnya yang terjadi adalah pengekangan momen di titik pertemuan batang pada titik buhul selalu ada. Di sisi lain, tidak seluruh rangka batang yang semua elemen batangnya menahan beban aksial yang terjadi.

Berdasarkan konfigurasi rangka batang terdapat beberapa rangka batang yang memiliki elemen batang nol pada strukturnya, secara teoritis batang nol ini dapat dihilangkan namun hal ini akan berpengaruh terhadap panjang batang lain.

Secara geometri / konfigurasi batang dengan ataupun tanpa batang nol merupakan rangka yang stabil dimana secara umum setiap rangka yang merupakan susunan bentuk dasar segitiga merupakan struktur yang stabil.

Disini terdapat perbedaan antara analisis dengan kenyataan di lapangan tentang keberadaan batang nol pada strukturnya, sehingga menarik untuk diteliti dengan melakukan pengujian di laboratorium.

## 1.2. Rumusan Masalah

Pada analisis rangka batang (*truss*) tertentu terdapat beberapa elemen batang yang tidak memikul beban yang disebut batang nol, yaitu batang dengan gaya dalam yang bernilai nol akibat dari beban luar yang terjadi. Batang nol ini tidak mempunyai pengaruh namun jika dihilangkan akan berpengaruh pada kelangsingan batang lain dan juga berpengaruh pada kekakuan. Sehingga pengaruh keberadaan batang nol terhadap kekakuan dari suatu struktur rangka batang perlu untuk dikaji.

## 1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini akan mencari pengaruh batang nol terhadap kekakuan kuda-kuda rangka batang bentuk Howe dan Pratt, dengan batasan-batasan masalah:

1. profil baja yang digunakan adalah profil siku 40x40x4,
2. rangka atap baja hanya dibebani dengan beban transfersal,

3. benda uji menggunakan sambungan baut pada titik buhul,
4. perletakan dukungan diasumsikan berupa sendi dan roll,
5. pengamatan di laboratorium hanya terbatas pada lendutan,
6. sudut atap kuda-kuda rangka batang  $26,565^\circ$ ,
7. gaya gesek yang terjadi diabaikan, dan
8. analisis menggunakan program SAP 90.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh riil batang nol terhadap kekakuan struktur rangka batang tipe Howe dan Pratt dengan cara membandingkan kekakuan struktur rangka batang dengan batang nol dan tanpa batang nol.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian tersebut adalah untuk mendapatkan data perencanaan dan pemodelan yang lebih akurat pada perencanaan struktur baja sehingga keberadaan batang nol akan selalu diperhatikan dalam penggunaan di lapangan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini berisi tentang masalah umum rangka, batang nol, lendutan dan beban aksial yang dikutip dari buku-buku dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

#### 2.1. Umum

Dalam perencanaan struktur rangka batang, sambungan ujung batang/joint pada rangka sering diasumsikan sebagai keadaan ideal seperti keadaan sendi maupun jepit sempurna . Hal ini sangat berbeda dengan keadaan sesungguhnya terjadi di lapangan, dimana sambungan pada joint dipakai sambungan las, sambungan baut maupun sambungan paku keling. Sifat dari sambungan tersebut tidak sama persis dengan keadaan ideal seperti sendi maupun jepit sempurna (Padosbajayo, 1991).

Suatu rangka (*truss*) adalah suatu struktur kerangka yang terdiri dari sejumlah tertentu batang-batang yang dihubungkan satu sama lain dengan perantara titik-titik simpul yang berupa sendi tanpa gesekan dimana gaya-gaya luar bekerja melalui titik-titik ini (Wang, 1985).

Batang-batang suatu konstruksi rangka utama dapat disusun dengan bermacam-macam cara. Namun jenis-jenis rangka yang pokok yang sering dijumpai diantaranya rangka Pratt, Howe dan Fink (Hsieh, 1983).

Sukraningrum dan Pertiwi (1998) menyimpulkan bahwa terdapat perbedaan struktur pada rangka baja, yaitu untuk sambungan baut struktur berperilaku sebagai rangka batang (*truss*) sedangkan pada las berperilaku sebagai portal (*frame*).

Merupakan hal yang sangat penting bahwa struktur rangka batang hanya dibebani dengan beban-beban terpusat yang bekerja pada titik-titik hubung agar batang-batang mengalami gaya tarik atau tekan. Batang tarik yang ujung-ujungnya disambungkan ke pelat buhul, kekuatannya ditentukan berdasarkan dua kriteria yaitu kriteria pelelehan dan kriteria faktor.

Batang nol adalah batang dengan gaya dalam yang bernilai nol akibat beban luar yang ada. Dalam perhitungan analisis, gaya batang bernilai nol ini akan diperoleh secara natural setelah mendapat hasil akhir (Hariandja, 1996).

Jika hanya dua batang yang membentuk sendi persambungan topangan dan tak ada beban eksternal atau reaksi penyangga yang diterapkan pada sendi, maka batang-batang harus merupakan batang-batang perletakan nol gaya. Dan jika tiga batang perletakan membentuk sebuah sendi topangan untuk dua dari batang perletakannya kolinier, maka batang ketiga merupakan suatu batang perletakan nol gaya asalkan tak ada gaya eksternal atau reaksi penopang yang diterapkan (Hibbeler, 1997).

## 2.2. Lendutan dan Beban Aksial

Tarikan atau tekanan yang bekerja bersama-sama dengan lenturan menimbulkan masalah tekanan gabungan, dan jenis batang yang digunakan akan

tergantung pada jenis tegangan yang dominan. Batang yang mengalami tekanan dan lenturan biasanya disebut balok-kolom (Salmon dan Johnson, 1990).

Deformasi pada suatu join pada rangka dipengaruhi oleh deformasi aksial batang-batang yang bertemu. Dalam hal deformasi aksial sangat perlu untuk diketahui tentang hukum Hooke dimana mengemukakan deformasi aksial suatu batang yang mengalami tarik berbanding lurus dengan panjang batang dan gaya yang bekerja, berbanding terbalik dengan luas penampang dan modulus elastisitas.

Rangka-rangka baja biasa adalah sebuah struktur yang terdiri batang-batang tersendiri yang saling berhubungan sehingga membentuk sederet segitiga. Sambungan-sambungannya dikelilingi atau terikat oleh pasak-pasak yang dalam kedua hal tersebut, dianggap sebagai sendi-sendi licin. Dengan demikian, batang-batang hanya mengalami tarikan lurus atau tekanan lurus saja dan tidak mengalami tepukan karena ujung yang bersendi dan tidak adanya beban yang diterima kecuali pada sambungan-sambungan itu sendiri. Hal tersebut menunjukkan batang-batangnya tetap lurus (Wang, 1991)

Dalam desain batang masih perlu dilakukan pembatasan terhadap panjangnya supaya dapat mencegah suatu batang terlalu fleksibel baik selama pendirian maupun pada saat digunakan sehingga diperlukan suatu kriteria kekakuan (Salmon dan Johnson, 1992).

## BAB III

### LANDASAN TEORI

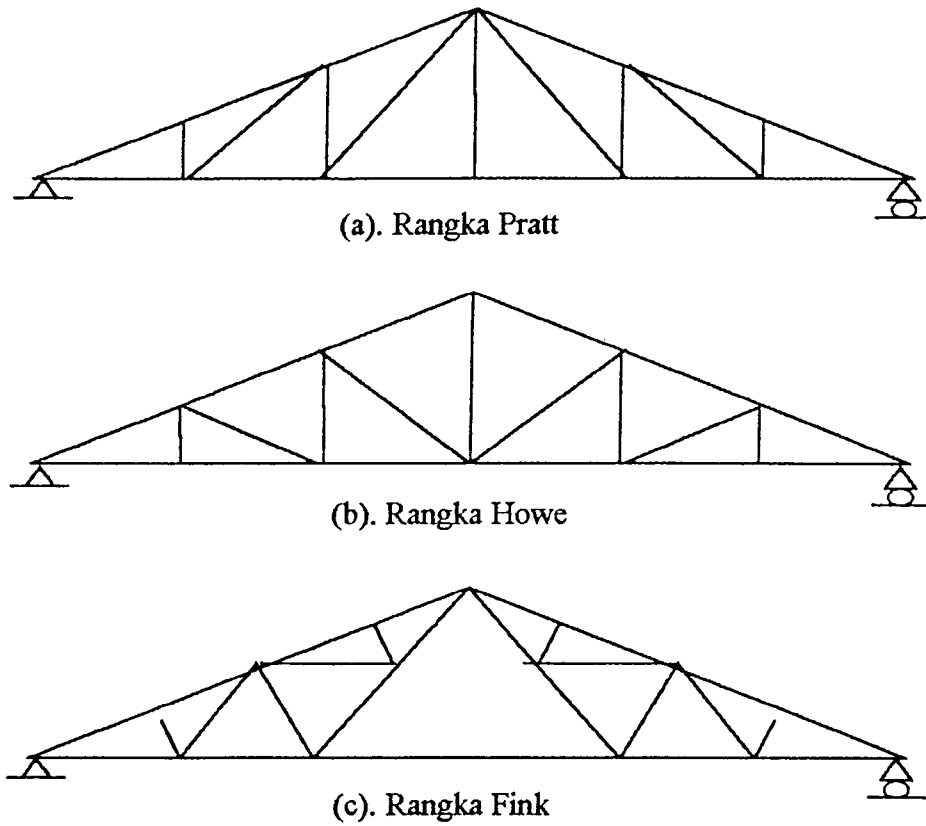
Suatu struktur bangunan yang menerima beban luar, baik itu beban pada batang atau beban pada titik buhul, maka konstruksi tersebut akan mengalami deformasi. Pada rangka batang tertentu terdapat batang yang secara teoritis tidak mengalami deformasi secara analisis yang biasa disebut batang nol, yaitu batang dengan gaya dalam yang bernilai nol akibat beban luar yang ada. Walaupun demikian batang ini akan mempengaruhi kekakuan rangka secara umum dikarenakan panjang batang yang dihilangkan batang nolnya akan bertambah panjang.

Pada rangka batang (*truss*), diasumsikan yang bekerja hanyalah gaya aksial (gaya tarik atau gaya tekan) sedangkan joint berperilaku sebagai sendi. Sebagai dasar dalam penelitian, berikut ini akan dijelaskan mengenai deformasi rangka batang, beberapa hal tentang batang tarik, batang tekan serta hubungan momen kelengkungan dan juga hipotesis penelitian yang akan dilakukan.

#### 3.1. Rangka Batang

Batang-batang suatu struktur rangka kuda-kuda utama dapat disusun dengan bermacam-macam cara. Namun jenis-jenis rangka yang pokok yang sering dijumpai diantaranya rangka Pratt, Howe dan Fink ( Hsieh, 1983).

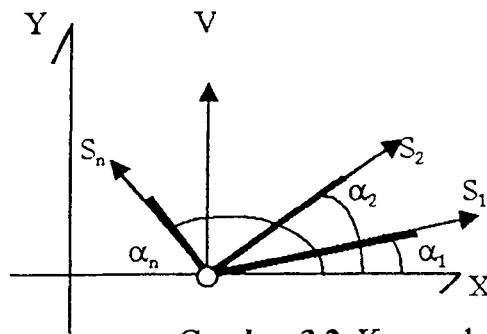




**Gambar 3.1. Macam – macam rangka kuda – kuda**

### 3.2. Konsep Batang Nol

Menurut Hariandja (1996), sangatlah mudah jika batang-batang nol langsung diketahui pada saat pertama sebelum analisis dimulai, atau minimal sebagai kontrol terhadap perhitungan yang dilakukan dengan sementara menganggap semua batang aktif. Gambar 3.2 menjelaskan konsep batang nol yang diungkapkan di atas.

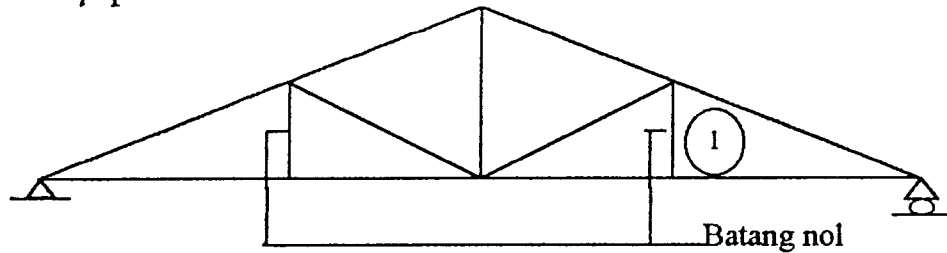


Gambar 3.2. Konsep batang nol

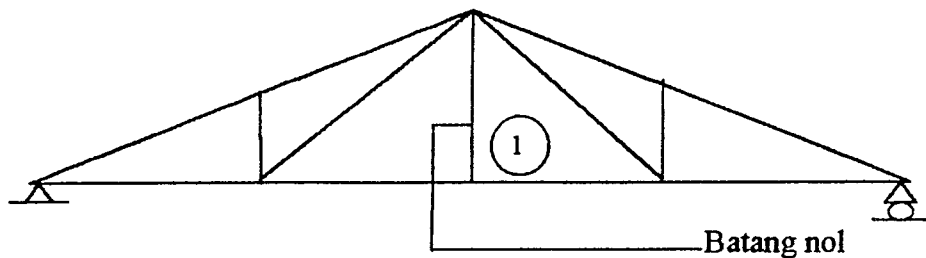
keseimbangan dalam arah X dan Y memberikan

$$H + \sum_{i=1}^n S_i \cos \alpha_i = 0 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V + \sum_{i=1}^n S_i \sin \alpha_i = 0 \quad \dots\dots\dots (3.2)$$



(a) Rangka Howe

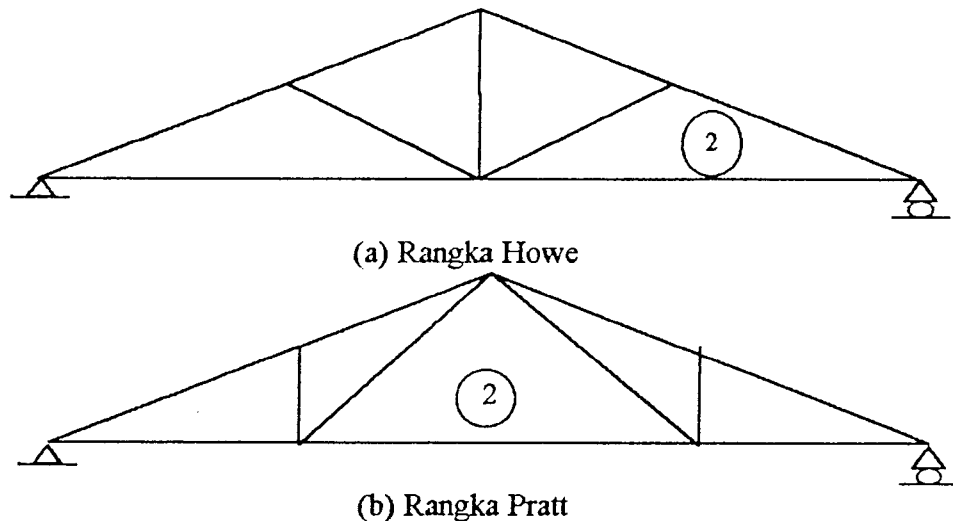


(b) Rangka Pratt

Gambar 3.3. Rangka kuda-kuda dengan batang nol

Secara analisis batang nomor 1 pada Gambar 3.3 merupakan batang nol gaya dikarenakan batang – batang tersebut tidak menerima gaya luar yang terjadi, Hal

tersebut terjadi karena ada tiga batang yang membentuk sebuah sendi dimana 2 batangnya segaris dan batang ketiga tegak lurus dengan kedua batang yang segaris maka batang yang tegak lurus tersebut merupakan batang nol gaya.



Gambar 3.4. Rangka Howe dan Pratt tanpa batang nol

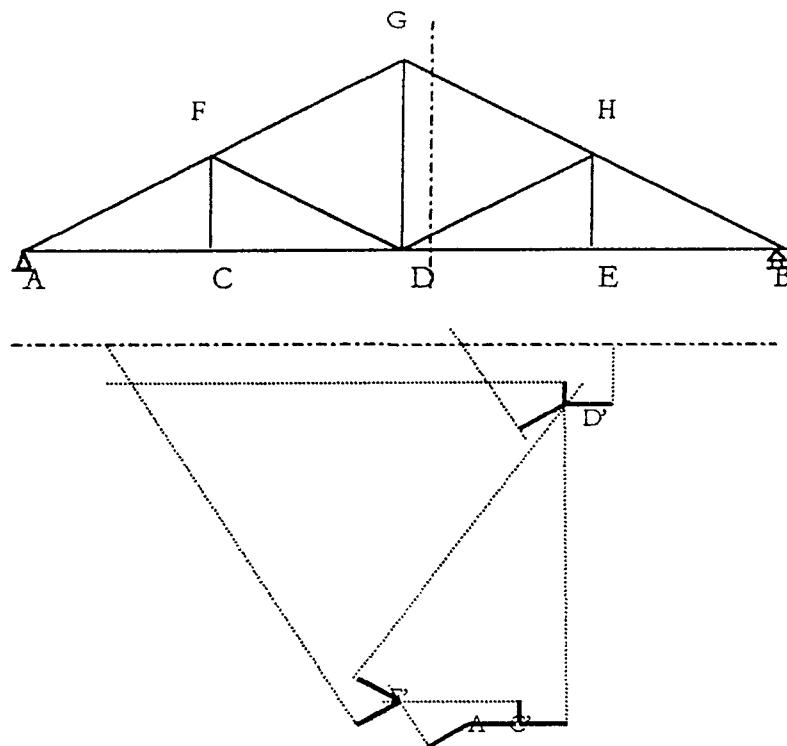
Pada penelitian pengaruh batang nol ini rangka yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian terlihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.

Gambar 3.3 batang nomor 1 dan Gambar 3.4 batang nomor 2 menunjukkan bahwa dengan meniadakan batang nol maka panjang batang bertambah dan ini akan berpengaruh pada kekakuan rangka batang. Pada Gambar 3.4 batang yang bertambah panjang merupakan batang tarik. Batang tarik yang terlalu panjang mungkin akan terjadi melendut akibat bebannya sendiri maupun pada saat digunakan. Hal tersebut akan mempengaruhi kekakuan rangka tersebut.

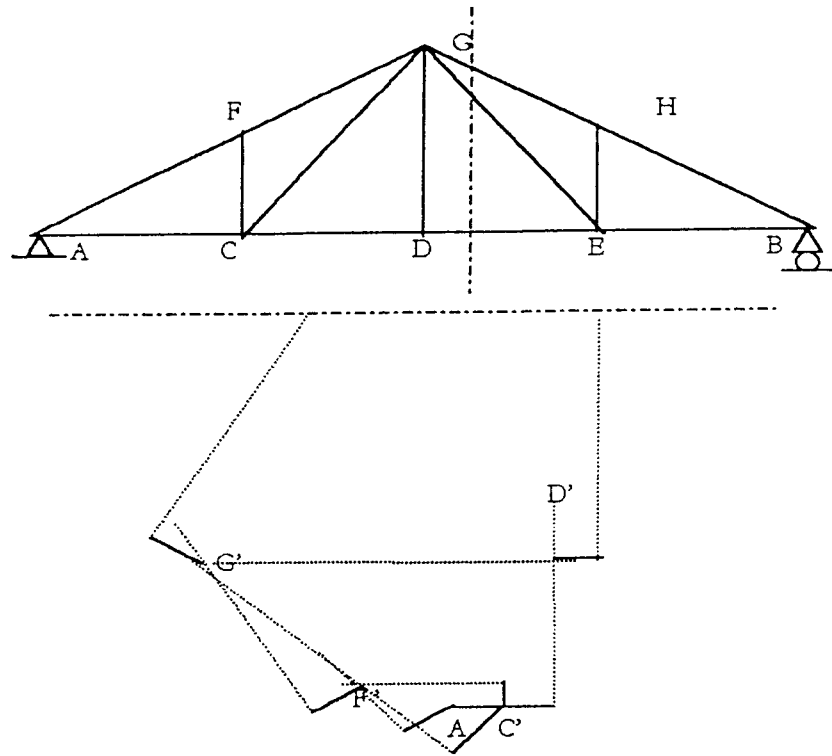
Pengamatan dari sisi geometri tentang rangka – rangka batang diatas merupakan suatu rangka batang yang stabil dikarenakan rangka batang diatas

tersusun dari elemen – elemen linier yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuknya apabila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih pada batangnya.

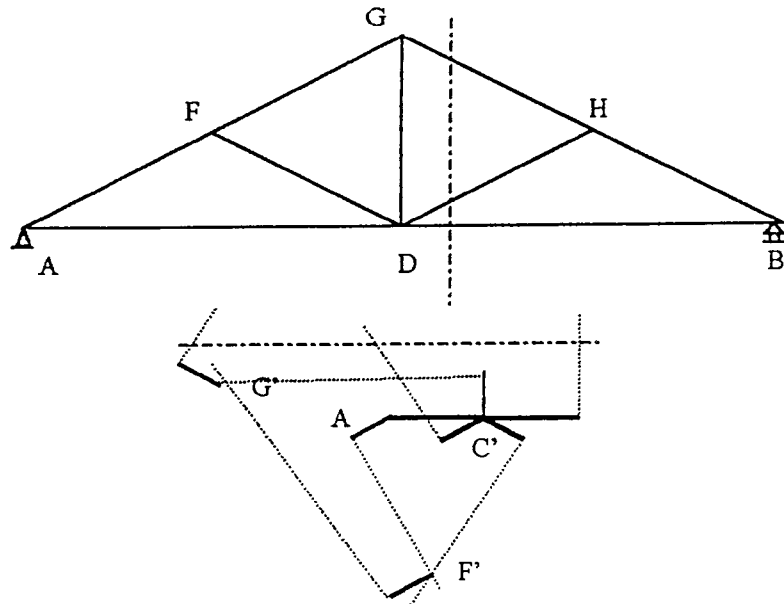
Dengan menggunakan diagram *Williot Mohr* dapat dilihat pada Gambar 3.5(a), 3.5(b), 3.5(c), dan 3.5.(d) akan terlihat bahwa pengaruh batang nol sangat mempengaruhi kekakuan suatu struktur rangka batang.



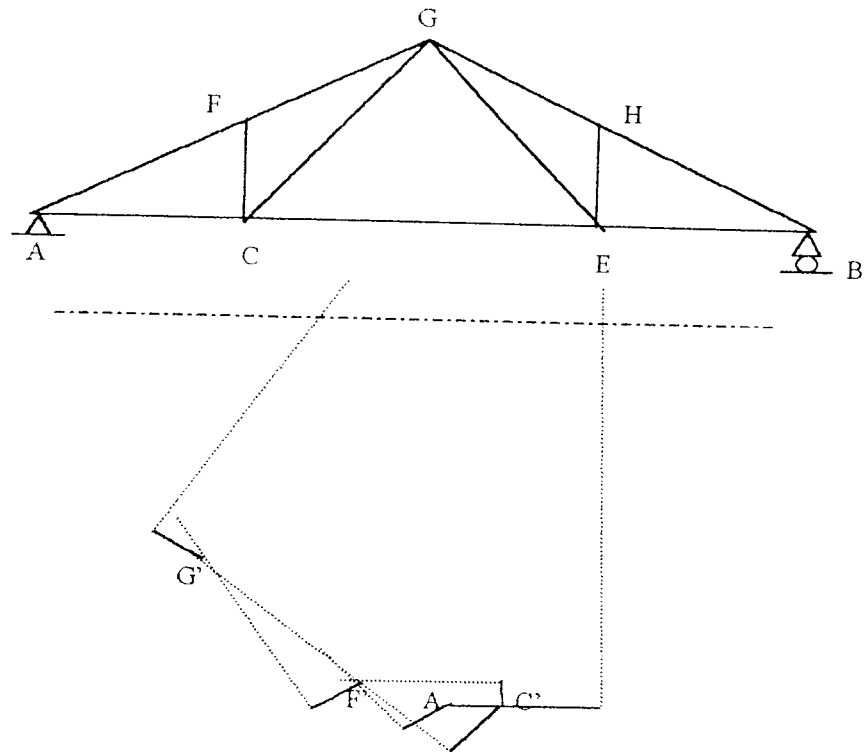
( a ). Diagram Williot Mohr Rangka Howe dengan batang nol



(b). Diagram Williot Mohr Rangka Pratt dengan batang nol



(c). Diagram Williot Mohr Rangka Howe tanpa Batang Nol



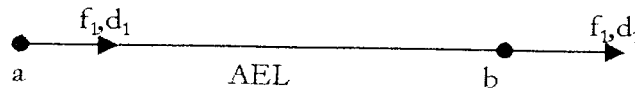
(d). Diagram Williot Mohr ranka Pratt tanpa Batang Nol

Gambar 3.5. Diagram Williot Mohr

### 3.3. Deformasi Pada Rangka Batang Bidang

Pada rangka bidang (*truss*) didefinisikan sebagai konstruksi rangka dengan titik buhulnya berupa sendi (dianggap sendi). Bila suatu struktur diberi beban, batangnya akan mengalami deformasi (perubahan bentuk yang kecil) sehingga titik-titik pada struktur akan berpindah ke posisi yang baru. (William-Gere, 1986).

3.3.1. Persamaan dasar



Gambar 3.6. Element Rangka

Arah gaya dan deformasi yang tampak pada Gambar 3.6. adalah arah positif maka:

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} = \frac{AE}{L} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} = \frac{L}{AE} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.4)$$

Pers. (3.4) diatas merupakan matriks dari *Hukum Hooke* yaitu :

$$\Delta L = \frac{PL}{AE} \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan:  $\Delta L$  = deformasi aksial batang tarik

$P$  = gaya

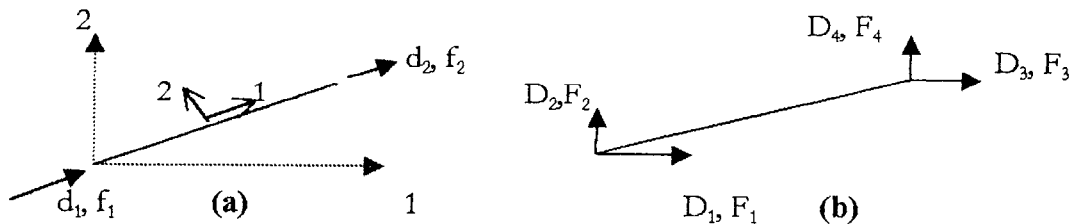
$A$  = luas batang

$L$  = panjang batang

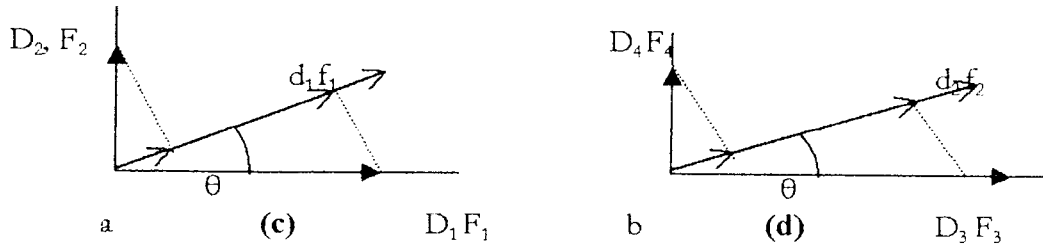
$E$  = modulus elastis batang

Dari *Hukum Hooke* (pers.(3.5)) menunjukkan bahwa semakin panjang batang maka deformasi yang terjadi pada batang akan semakin besar.

3.3.2. Matrik transformasi



Gambar 3.7. (a). Kondisi local, (b). Kondisi global, (c) Transformasi ujung a, (d). Transformasi ujung b



Gambar 3.7. Lanjutan

Dari Gambar 3.7.c. akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$d_1 = D_1 \cos \theta + D_2 \sin \theta \dots\dots\dots(3.6)$$

dalam bentuk matrik

$$d_1 = [\cos \theta \quad \sin \theta] \cdot \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$d_2 = [\cos \theta \quad \sin \theta] \cdot \begin{bmatrix} D_3 \\ D_4 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan :  $d_1$  = deformasi lokal ujung a

$d_2$  = deformasi lokal ujung b

$D_1, D_2$  = deformasi global ujung a

$D_3, D_4$  = deformasi global ujung b

Jika  $c = \cos \theta$ ;  $s = \sin \theta$

Maka matrik transformasi  $(\lambda) = [c \quad s] \dots\dots\dots (3.9)$



**3.3.3. Matrik kekakuan pada system koordinat local**

$$k = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \text{ atau } k = \begin{bmatrix} k_{aa} & k_{ab} \\ k_{ba} & k_{bb} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.10)$$

$$k_{aa} = k_{bb} = \frac{AE}{L} \text{ dan } k_{ab} = k_{ba} = \frac{AE}{L} \dots\dots\dots (3.11)$$

**3.2.4. Matrik kekakuan pada system koordinat global**

$$K = \begin{bmatrix} \lambda^T & 0 \\ 0 & \lambda^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{aa} & k_{ab} \\ k_{ba} & k_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.12)$$

$$\begin{bmatrix} k_{aa} & k_{ab} \\ k_{ba} & k_{bb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda^T k_{aa} \lambda & \lambda^T k_{ab} \lambda \\ \lambda^T k_{ba} \lambda & \lambda^T k_{bb} \lambda \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.13)$$

dengan :  $K_{aa} = \lambda^T k_{aa} \lambda$ ;  $K_{ab} = \lambda^T \cdot k_{ab} \cdot \lambda$ ;  $K_{ba} = \lambda^T \cdot k_{ba} \cdot \lambda$ ; dan  $K_{bb} = \lambda^T \cdot k_{bb} \cdot \lambda$ ;

dimana :  $(\lambda) = [c \ s]$  dan dengan pers.(3.9) didapat

$$\lambda^T k_{aa} \lambda = \begin{bmatrix} c \\ s \end{bmatrix} \frac{AE}{L} [1] [c \ s] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs \\ cs & s^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.14)$$

$$\lambda^T k_{ab} \lambda = \begin{bmatrix} c \\ s \end{bmatrix} \frac{AE}{L} [-1] [c \ s] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} -c^2 & -cs \\ -cs & -s^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.15)$$

dengan cara sama maka :  $k_{aa} = k_{bb}$ ;  $k_{ab} = k_{ba}$

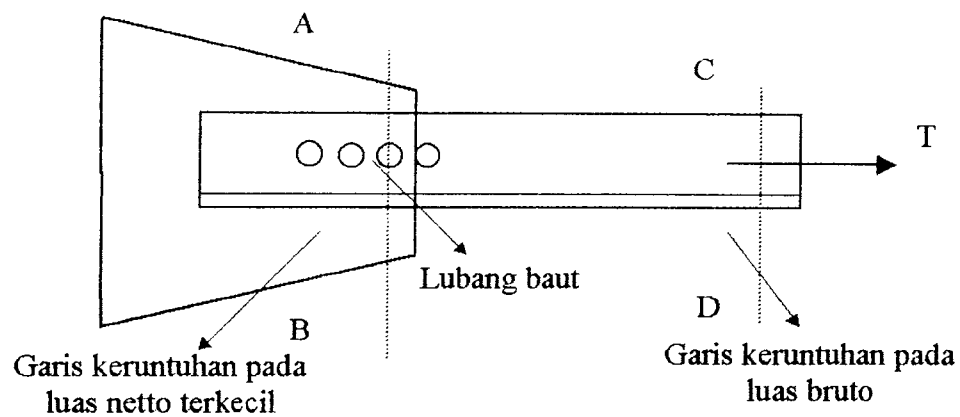
sehingga didapat matrik kekakuan pada system koordinat global:

$$[K] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.16)$$

dari pers. (3.16) diatas terlihat bahwa semakin besar panjang batang maka kekakuan yang terjadi akan semakin kecil.

### 3.4. Batang Tarik

Perencanaan batang tarik merupakan salah satu masalah teknik struktur yang paling sederhana , karena stabilitas bukan merupakan hal utama namun masih perlu diadakan suatu pembatasan panjang agar batang tidak terlalu fleksibel baik secara pendirian maupun pada saat digunakan. Perencanaan batang tarik pada hakekatnya menentukan luas penampang lintang batang yang cukup untuk menahan beban bekerja



**Gambar 3.8.** Keruntuhan pada batang tarik

Keruntuhan batang tarik dapat terjadi pada dua tempat yaitu:

1. keruntuhan pada daerah dengan luas netto terkecil (kerusakan fraktur) seperti terlihat pada Gambar 3.8 potongan A-B,

2. keruntuhan pada penampang bruto yang jauh dari sambungan (kriteria perlelahan) seperti terlihat pada Gambar 3.8 potongan C-D.

Kekuatan dari batang tarik yang mempunyai lubang untuk alat sambung atau retakan pada penampang bersih mempunyai rumus

$$T_u = F_u A_n \quad \text{-----} \quad (3.17)$$

Sedangkan dari batang tarik yang tidak ada lubang untuk alat sambung dan hanya dikatkan oleh *Flens* atau pelelahan pada penampang bruto

$$T_u = F_y A_g \quad \text{-----} \quad (3.18)$$

Secara khusus untuk batang tarik memberikan persyaratan keamanan struktur sebagai berikut :

$$\phi T_n \geq T_u \quad \text{-----} \quad (3.19)$$

di mana:  $\phi$  = faktor resistensi yang berkaitan dengan kekuatan tarik

$T_n$  = kekuatan nominal batang tarik

$T_u$  = beban terfaktor pada batang tarik

Faktor resistensi sebesar 0.90 untuk keadaan batas pelean dan 0.75 untuk keadaan batas retakan, sehingga persm 3.17 dan 3.18 menjadi:

$$\phi T_n = 0.75 F_u A_n \quad \text{-----} \quad (3.20)$$

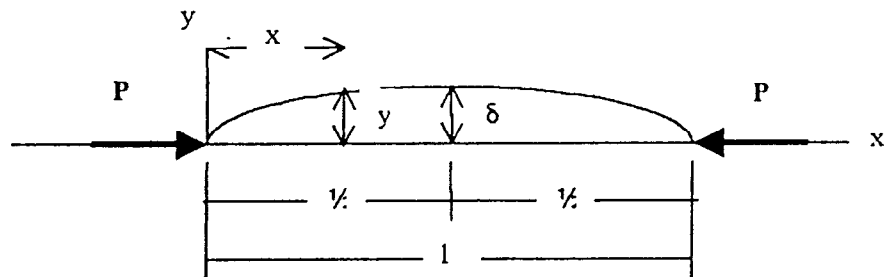
dan

$$\phi T_n = 0.90 F_y A_g \quad \text{-----} \quad (3.21)$$

**3.5. Batang Tekan**

Teori tekukan kolom yang dikemukakan Leonhard Euler pada tahun 1744 menyatakan dimana suatu batang yang semula lurus mendapat pembebanan kosentrik dengan semua serat tetap dalam keadaan elastik sampai terjadi tekukan, akan sedikit bengkok seperti dalam Gambar 3.9 ( Salmon dan Johnson, 1992)

Analisis kuat tekan batang dijelaskan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Batang lurus dibebani gaya tekan aksial

$$M = -P.y \dots\dots\dots (3.22)$$

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (3.23)$$

Sehingga pers.(3.23) menjadi

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -P.y \dots\dots\dots (3.24)$$

pada  $y = \delta, \frac{dy}{dx} = 0$  sehingga,

$$EI \left[ \frac{d^2y}{dx^2} \right] = P(\delta^2 - y^2) \dots\dots\dots(3.25)$$

pada  $x = 0$ , pelenturan ( $y$ ) = 0

$$\sin x \sqrt{\frac{P}{EI}} = \frac{y}{\delta} \dots\dots\dots(3.26)$$

pada  $x = L$ , pelanturan ( $y$ ) = 0 pers. (3.26) menjadi

$$\sin L \sqrt{\frac{P}{EI}} = 0 \text{ atau } L \sqrt{\frac{P}{EI}} = n\pi \dots\dots\dots(3.27)$$

Nilai  $P$  terkecil atau disebut beban kritis ( $P_{kr}$ ) akan terjadi bila  $n=1$  sehingga:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \dots\dots\dots (3.28)$$

pers.(3.28) dikenal dengan *pers. Euler*

dengan :  $P_{kr}$  = beban kritis

$E$  = modulus elastis

$I$  = inersia

$L$  = panjang batang

Jika pers. (3.28) dibagi luas ( $A$ ) maka

$$\frac{P_{kr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} \dots\dots\dots(3.29)$$

Karena  $\frac{A}{I} = \frac{1}{i^2}$  dan panjang batang ( $L$ ) diganti panjang tekuk ( $L_k$ ), maka

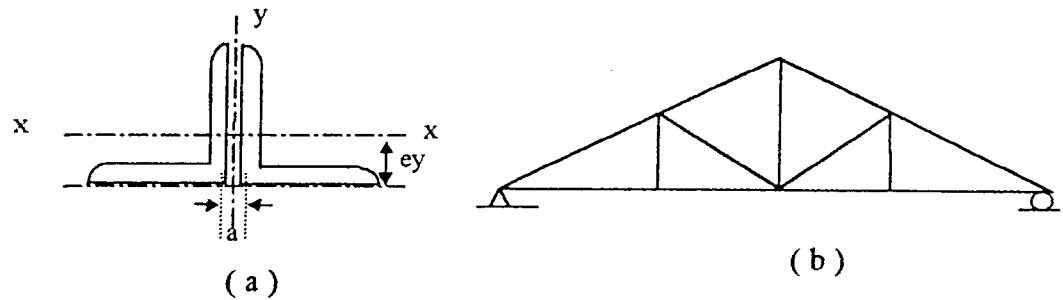
$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{\left[\frac{L_k}{i}\right]^2} \dots\dots\dots(3.30)$$

dengan  $\sigma_{kr}$  = tegangan kritis

$i$  = jari-jari kelembaman

### 3.5.1. Kuat Tekan Batang Tersusun

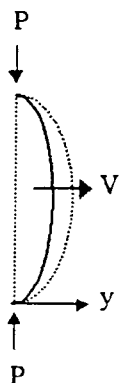
Struktur rangka atap pada Gambar 3.10b tersusun dari batang siku ganda seperti terlihat pada Gambar 3.10a



Gambar 3.10. Batang Tersusun (a) profil siku ganda (b) struktur rangka atap dengan  $a$  = jarak sumbu elemen batang tersusun

Bila Persamaan (3.30) digunakan untuk menghitung beban kritis kolom tersusun hasil, yang diperoleh kurang teliti hal ini karena persamaan pelenturan yang diturunkan mengabaikan pengaruh gaya geser (lintang). Jika gaya aksial menimbulkan lentur pada batang maka di dalam penampang batang tersebut akan timbul gaya geser yang mengakibatkan pelenturan bertambah dan berpengaruh pada beban kritis.

Padosbajayo (1994) dalam menentukan kuat desak batang tersusun bahwa dengan memperhitungkan gaya geser pada pelat yang diperoleh beban kritis ( $P_{kr}$ ) sebagai berikut.



Pelenturan akibat gaya tekan ditunjukkan dengan garis lengkung penuh sedangkan pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan garis putus-putus. Ditinjau penampang batang yang letaknya  $x$  dari ujung bawah. Andaikan pelenturan ditempat tersebut adalah  $y$ . Pelenturan akibat beban ( $P$ ), dinyatakan dengan persamaan (3.24):

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -P \cdot y \text{ atau } \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot y$$

Gambar 3.11. Pelenturan akibat gaya tekan

Gaya geser ( $V$ ) yang timbul pada penampang batang adalah :

$$V = \frac{Mx}{dx} = P \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (3.31)$$

Kemiringan (slop) yang terjadi akibat geser adalah :

$$\theta = \frac{\text{Tegangan geser}}{\text{Modulus geser}} \dots\dots\dots (3.32)$$

Dengan memperhitungkan faktor bentuk ( $\beta$ ) untuk mengoreksi karena adanya tegangan tak seragam di sepanjang berbagai bentuk penampang lintang.

$$\theta = \frac{\beta \cdot V}{A \cdot G} = \frac{\beta}{A \cdot G} P \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (3.33)$$

dengan:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \dots\dots\dots (3.34)$$

$G$  = modulus geser

$\mu$  = nilai banding poisson (“poison ratio”)

Pelenturan gaya lintang dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{A.G} P \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots(3.35)$$

Pelenturan total akibat  $P$  dan  $V$  adalah:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot y + \frac{\beta.P}{A.G} \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots(3.36)$$

yang memberikan:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{P}{EI} \left[ \frac{1}{1 - (\beta P / AG)} \right] y = 0 \dots\dots\dots(3.37)$$

Penyelesaian persamaan (3.37) adalah:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\beta \pi^2 EI}{A.G L^2}} \right] \dots\dots\dots(3.38)$$

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pada batang tersusun yang mempunyai luas dan inersia yang sama dengan batang tunggal, kuat tekan kritis batang tersusun lebih kecil dibandingkan dengan batang tunggal. Hal ini dipengaruhi oleh:

$G$  = modulus geser = 785.000 kg/cm<sup>2</sup>

$E$  = modulus elastisitas baja = 2,1 10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup>

$I$  = momen inersia

$A$  = luas penampang batang

$B$  = factor bentuk



3.5.2. Tegangan Pelat

Kekuatan elemen pelat merupakan fungsi rasio lebar terhadap tebal (b/t), pada rasio b/t cukup besar maka elemen pelat dapat mengalami tekuk lokal. Tekuk lokal pada elemen pelat menyebabkan kegagalan premature pada penampang, atau menyebabkan tegangan tidak merata sehingga mengurangi kekuatan keseluruhan.

Menurut Salmon dan Johnson (1992), tegangan kritik secara teoritik dinyatakan sebagai Persamaan 3.39

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \dots\dots\dots (3.39)$$

dengan k adalah konstanta yang bergantung kepada kondisi pelat, untuk pelat yang satu sisi jepit dan lainnya bebas 0,425 sedangkan  $\mu$  adalah poisson ratio untuk baja 0,3.

Persamaan 3.39 diatas dapat dinyatakan sebagai b/t.

$$F_{cr} \geq F_y \dots\dots\dots (3.40)$$

$$\frac{b}{t} \leq \sqrt{\frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) F_y}} \dots\dots\dots (3.41)$$

maka nilai b/t untuk sayap (mengacu kepada draf Pedoman Baja Indonesia 2000)

$$\text{adalah: } \frac{b}{t} \leq \frac{170}{\sqrt{F_y}} \dots\dots\dots (3.42)$$

Untuk nilai b/t lebih besar dari  $170/\sqrt{F_y}$  akan mengalami tekuk lokal.

### 3.5.3. Hubungan Momen dengan Kelengkungan

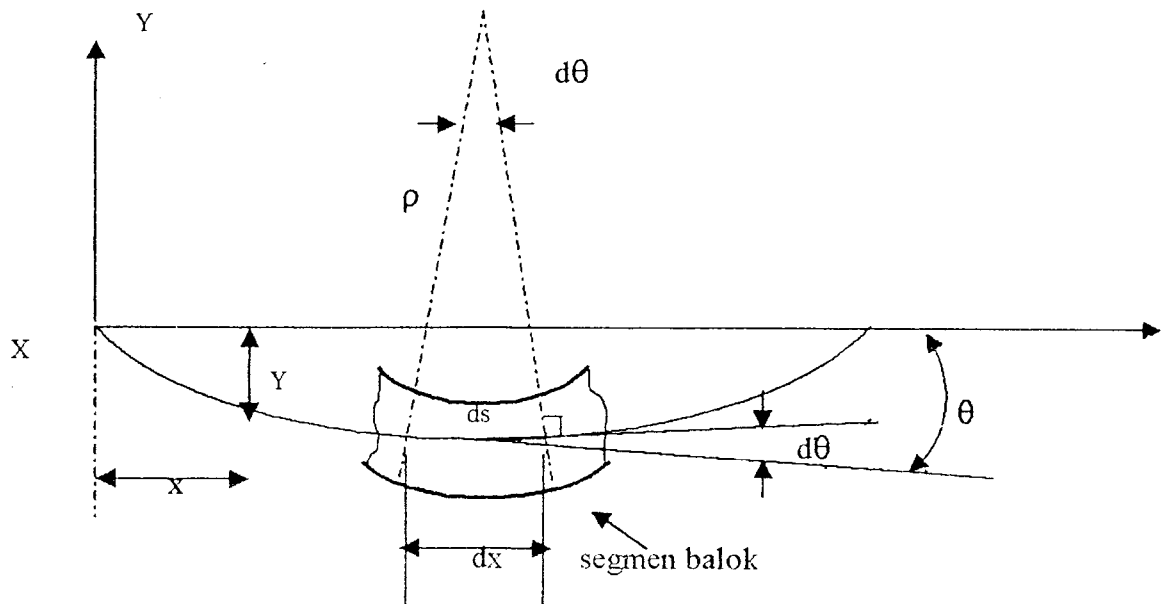
Menurut Popov (1995), teori difleksi balok dipengaruhi oleh geometri atau kinematika dari sebuah elemen balok. Kinematika dasar yang menghipotesa bahwa irisan – irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap merupakan bidang datar selama berdeformasi..

Pandangan samping dari permukaan netral balok yang melendut disebut kurva elastis balok (Gambar 3.12). Kurva ini diperlihatkan secara pembesaran, seperti berikut ini.

$$\theta = \frac{d^2 y}{dx^2} \dots \dots \dots (3.43)$$

dan

$$d\theta / dx = \frac{d^3 y}{dx^3} \dots \dots \dots (3.44)$$



Gambar 3.12. Kurva Elastis (Ferdinand-Pytel, 1984)

Apabila kita meninjau variasi  $\theta$  dalam panjang deferensial  $ds$  yang disebabkan oleh lenturan pada balok secara nyata bahwa:

$$ds = \rho d\theta \dots\dots\dots (3.45)$$

dengan  $\rho$  jari-jari kurva sepanjang  $ds$ , sehingga dari persamaan (3.44) dan (3.45) diperoleh

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} = \frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (3.46)$$

hubungan dasar antara kurva elastis dan regangan linier, didapat :

$$\theta = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\epsilon}{y} \dots\dots\dots (3.47)$$

Karena sifat beban tidak diperhitungkan, maka hubungan ini digunakan untuk masalah – masalah elastis maupun tidak.

$$\epsilon = \alpha x = \frac{\alpha x}{E} \text{ dan } \alpha x = -\frac{My}{I} \dots\dots\dots (3.48)$$

sehingga  $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (3.49)$

dalam koordinat kurva kartesian suatu garis didefinisikan (Ferdinand - Pytel 1984)

$$\frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left[\frac{dy}{dx}\right]^2\right]^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (3.50)$$

karena difleksi yang diterima oleh sebagian besar struktur sangat kecil maka

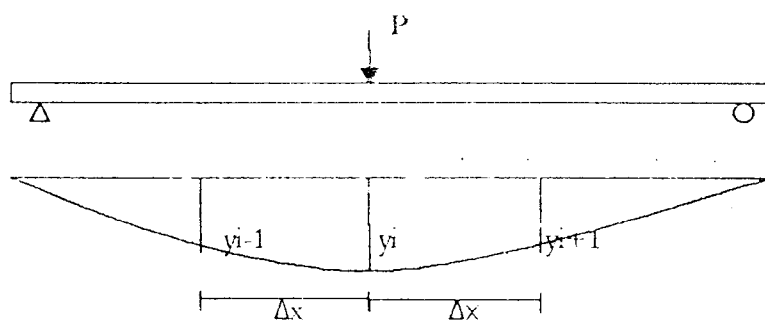
kemiringan  $\frac{dy}{dx}$  dari kurva adalah sangat kecil. ...

$$\frac{dy}{dx} \approx 0 \dots\dots\dots(3.51)$$

sehingga persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{I}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} = \theta = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots(3.52)$$

Dari pengujian lentur didapat defleksi pada titik diskrit yaitu  $y_{i-1}$ ,  $y_i$  dan  $y_{i+1}$  (Gambar 3.13). Pendekatan kemiringan adalah sebagai berikut.



Gambar. 3.13. Momem Kelengkungan.

Dari pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik-titik distrik. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Differences*.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \dots\dots\dots (3.53)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx} (2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \dots\dots\dots (3.54)$$

Karena  $(2\Delta x)$  adalah konstanta maka:

$$\frac{d}{dx} (2\Delta x) = 0 \dots\dots\dots (3.55)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \cdot \left( \frac{y_{i+2} - y_i}{(2\Delta x)} - \frac{y_i - y_{i-2}}{(2\Delta x)} \right)}{(2\Delta x)^2} \dots\dots\dots (3.56)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta x)^2} \dots\dots\dots (3.57)$$

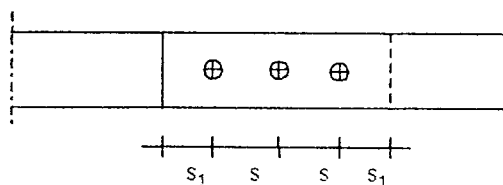
Jadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta x)^2} = \theta \dots\dots\dots (3.58)$$

**3.6. Alat Sambung Baut**

Pada penelitian ini baut digunakan untuk penyambungan struktur rangka baja adalah baut hitam (*unfinished bolt*). Baut ini terbuat dari baja karbon rendah yang diidentifikasi sebagai ASTM A307, dan merupakan jenis baut yang paling murah. Baut ini biasanya digunakan pada struktur ringan (Spiegel-Limbrunner, 1991).

PPBBI 1987 mensyaratkan apabila sambungan terdiri dari satu baris baut maka :



**Gambar 3.14. Sambungan dengan satu baris alat penyambung**

$$1,5 d < s_1 \leq 3 d \text{ atau } 6 t \dots\dots\dots (3.59)$$

$$2,5d < s_1 \leq 7 d \text{ atau } 14 t \dots\dots\dots (3.60)$$

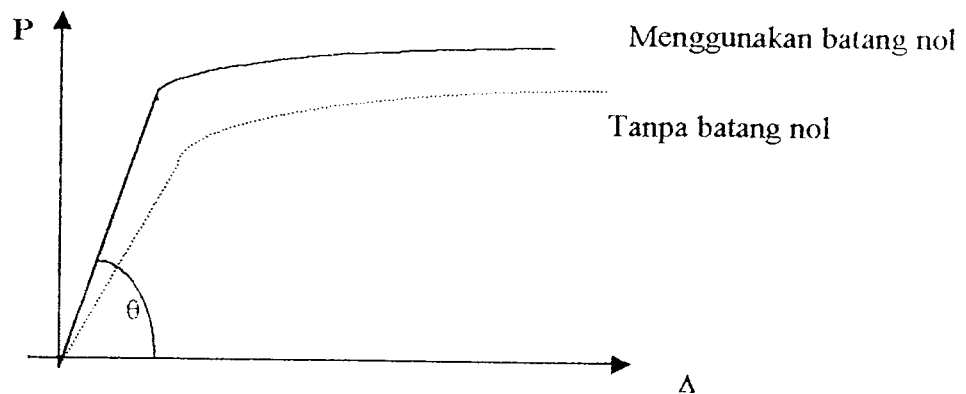
dimana :  $d$  = diameter baut

$t$  = tebal terkecil bagian yang disambung

### 3.7. HIPOTESA

Dengan memperhatikan latar belakang, tujuan penelitian, tinjauan pustaka, dan landasan teori bahwa apabila suatu struktur rangka atap baja diberi beban sentris ( $P$ ) maka akan terjadi lendutan ( $\Delta$ ) yang besarnya dipengaruhi oleh kekuatan bahan dan kekakuan sambungan.

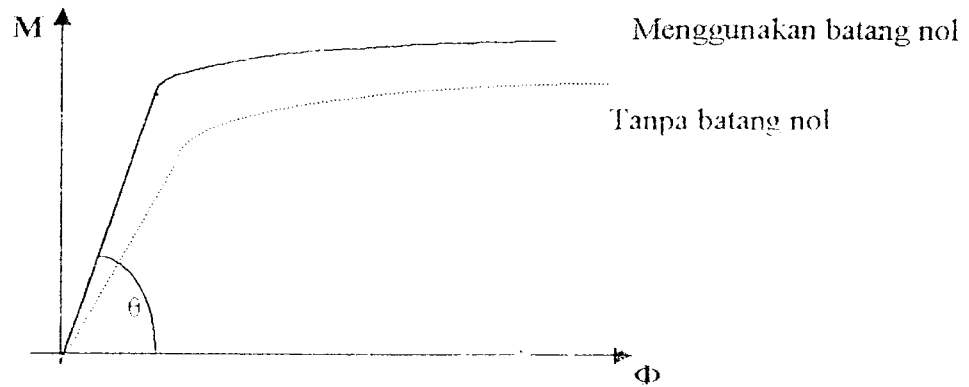
Pada rangka batang yang tidak menggunakan batang nol maka kekakuan rangka batang akan lebih kecil atau berkurang bila dibandingkan dengan rangka batang yang menggunakan batang nol. Gambar 3.14 menunjukkan hubungan antara beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ) yang terjadi.



Gambar 3.15. Hubungan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ )

$$\operatorname{tg} \theta = k = \frac{P}{\Delta} \dots \dots \dots (3.63)$$

Sedangkan Gambar 3.15 menunjukkan hubungan antara Momen dan kelengkungan yang terjadi pada rangka batang.



Gambar 3.16. Hubungan Momen ( $M$ ) dan Kelengkungan ( $\Phi$ )

Dari Gambar 3.14 dan Gambar 3.15 serta dari pers. (3.52), terlihat bahwa semakin besar sudut  $\theta$  maka kekakuan yang terjadi semakin besar.

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian adalah suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Metode penelitian ini meliputi bahan dan alat, pembuatan benda uji, pengujian serta prosedur penelitian.

#### 4.1. Bahan dan Alat yang digunakan

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan dan bahan yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun bahan dan alat yang dipergunakan adalah sebagaimana dijelaskan berikut.

##### 4.1.1. Bahan

###### a. Baja Profil

Baja profil yang digunakan adalah baja profil siku *2L 25x25x3* dan *2L 40x40x4*,

###### b. Baut

Sambungan baut menggunakan baut hitam dengan diameter *3/8 Inch*,

###### c. Plat Sambung

Masing-masing titik buhul dihubungkan menggunakan plat sambung dengan tebal *5 mm*



#### 4.1.2. Peralatan Penelitian

Peralatan-peralatan yang dipergunakan dalam penelitian adalah jangka sorong, dukungan, loading frame, dial gauge, hidraulic jack, transduser indikator, loadser dan penahan lateral buckling yang seluruhnya akan dijelaskan sebagaimana berikut.

**a. Jangka Sorong**

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur dimensi kuda-kuda benda uji.

**b. Dukungan Sendi dan Rol**

Untuk membuat model rangka atap baja sederhana sesuai dengan di lapangan, maka pada dukungan dipasang dudukan sendi dan rol.

**c. Loading Frame**

Untuk menempatkan benda uji pada penelitian ini digunakan Loading frame dari bahan baja profil WF 450x200x9x14 mm .

Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

**d. Dial Gauge**

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai

dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm – ketelitian 0,01 mm.

Pada penelitian tugas akhir ini, digunakan *dial gauge* sebanyak tiga buah.

**e. Hidraulic Jack**

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur rangka atap baja skala penuh. Dalam penelitian ini digunakan hidraulic jack dengan kapasitas maksimum yang dimiliki adalah 30 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0.25 ton. Bentuk fisik dari *hidraulic jack*.

**f. Transduser indikator**

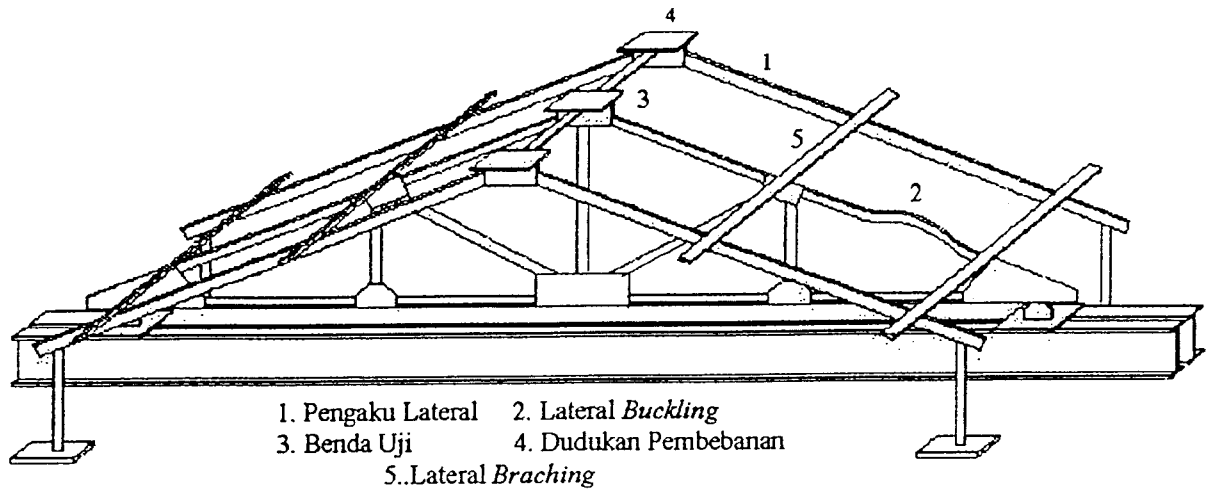
Alat ini berfungsi untuk merubah sifat mekanik menjadi perubahan potensial. Kemampuan alat ini mencapai beban 30 ton dan diletakkan dibawah *hidraulic jack* bentuk fisik dari transduser indikator.

**g. Loadser**

Alat yang menunjukkan pembacaan beban secara digital sehingga diharapkan mendapatkan pembacaan yang akurat. Alat ini dihubungkan pada *transduser*.

**h. Penahan Lateral Buckling**

Alat ini dibuat untuk menahan terjadinya lateral buckling pada sample benda uji Alat ini dibuat menyerupai benda uji sebanyak dua buah, dengan menempatkannya di samping benda uji dan diikat dengan baut. Pengikatan dilakukan seperti pembuatan gording pada kuda-kuda. Bentuk fisik dari *Penahan Lateral Buckling* dapat dilihat pada Gambar 4.1

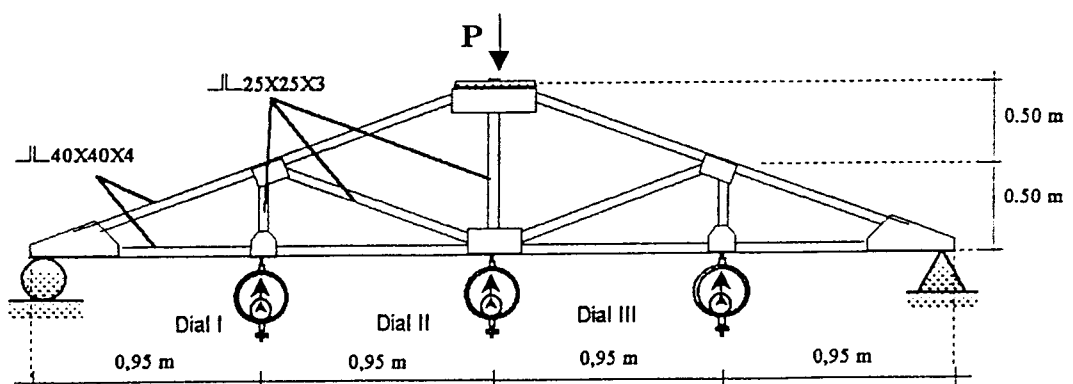


Gambar 4.1. Penahan Lateral *Buckling*

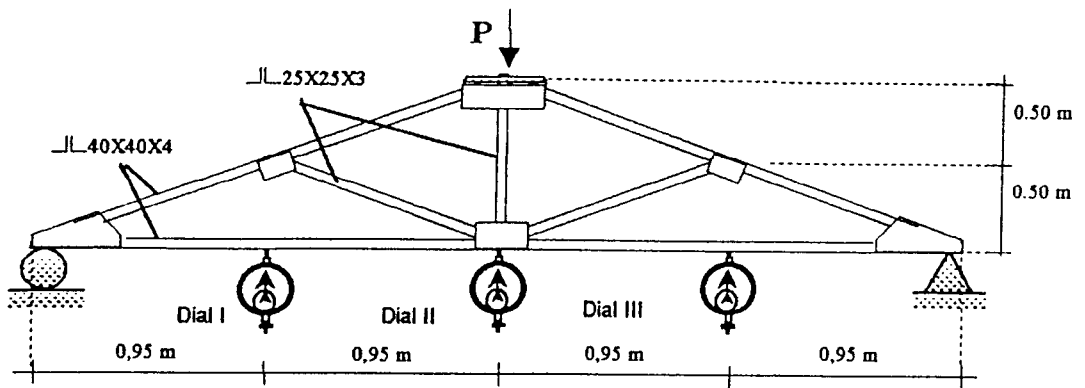
#### 4.2. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan membuat benda uji rangka atap baja yang dibedakan pada keberadaan elemen batang nol. Benda uji tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2.a, 4.2.b, 4.2.c dan 4.2.d yang meliputi:

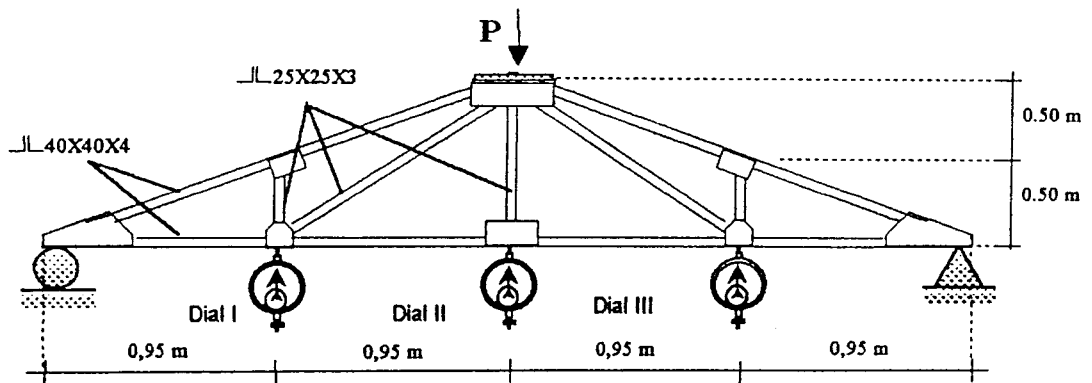
- satu buah benda uji rangka Howe menggunakan batang nol,
- satu buah benda uji rangka Howe tanpa menggunakan batang nol,
- satu buah benda uji rangka Pratt menggunakan batang nol, dan
- satu buah benda uji rangka Pratt tanpa menggunakan batang nol.



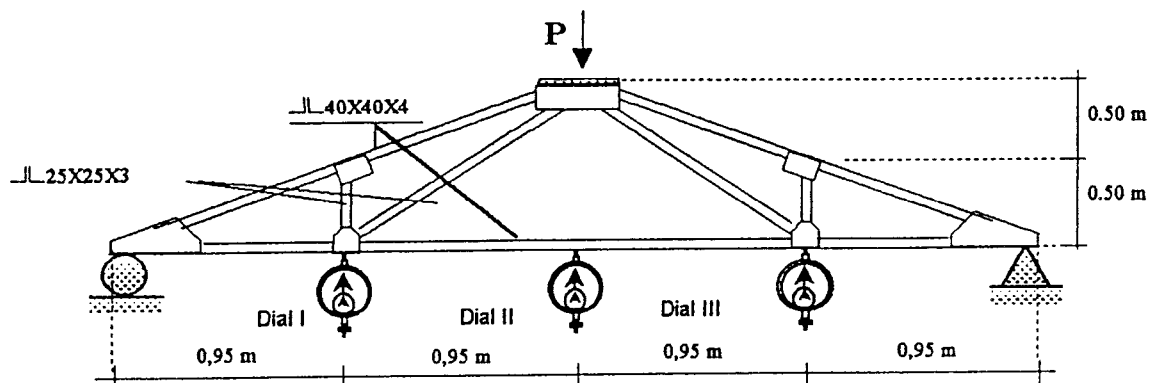
(a). Rangka Howe menggunakan batang nol



(b). Rangka Howe tanpa batang nol



(c). Rangka Pratt menggunakan batang nol



(d). Rangka Pratt tanpa batang nol

Gambar 4.2. Struktur Rangka Atap bentang 3.8 m

### 4.3. Pengujian Benda Uji

Pengujian struktur rangka atap baja dengan memberikan beban aksial yang dinaikan bertahap dari nol sampai terjadi kerusakan dengan penambahan beban 1 kN atau 100 kg, kemudian beban ditingkatkan berdasarkan kondisi benda uji menggunakan alat *Loading Frame* dengan tujuan untuk mengetahui besar defleksi rangka atap baja.

### 4.4. Prosedur Penelitian

Prosedur pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu tahap perumusan masalah, perumusan teori, pelaksanaan penelitian, analisis dan pembahasan serta penarikan kesimpulan. Untuk lebih jelasnya, tahapan penelitian ini akan dijabarkan lebih rinci dibawah ini yang kemudian disertai dengan bagan alir prosedur penelitian pada Gambar 4.3.

#### 1. Tahap Perumusan Masalah

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan, serta pembatasan masalah.

#### 2. Tahap Perumusan Teori

Pada tahap ini dilakukan pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian ini.

#### 3. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian disesuaikan dengan jenis penelitian dan hasil yang ingin didapat. Pada penelitian yang dilaksanakan di laboratorium ini meliputi:

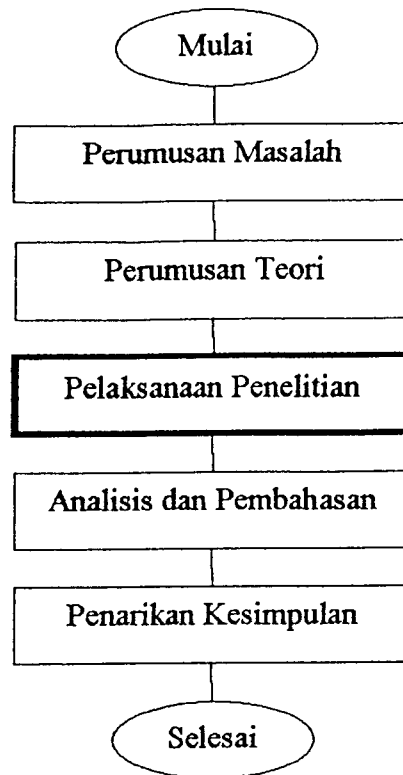
- a. Pengumpulan bahan,
- b. Pembuatan benda uji,
- c. Persiapan peralatan,
- d. Pengujian benda uji pelaksanaan penelitian ini dilakukan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII,
- e. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban sentries P terhadap benda uji secara perlahan sampai terjadi kerusakan pada benda uji.

#### 4. Tahap Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan dengan mencatat hasil uji laboratorium berupa lendutan yang terjadi, kemudian membandingkannya dengan hasil perhitungan analisis yang menggunakan aplikasi komputer SAP 90.

#### 5. Tahap Penarikan Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan berdasarkan teori yang digunakan untuk menjawab penelitian terhadap permasalahan.



**Gambar 4.3.** Bagan alir prosedur penelitian

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kekakuan rangka atap baja diketahui dengan melakukan pengujian menggunakan alat *Loading Frame* di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban pada titik puncak rangka atap (*truss*) berupa beban sentris yang dilakukan secara bertahap dengan kenaikan sebesar 100 kg atau 1 kN. Setiap tahap pembebanan dicatat lendutan yang terjadi pada tiga titik dial yang telah ditentukan. Hasil penelitian yang disertai pembahasannya akan disajikan sebagaimana berikut.

#### 5.1. Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian

Pada pengujian kekakuan rangka atap baja (tipe Howe dan Pratt) baik yang menggunakan batang nol maupun yang tidak, diperoleh lendutan yang terjadi. Hasil dari penelitian disajikan dibawah ini berikut grafik dan disertai hasil regresinya.

##### a. Rangka Howe menggunakan batang nol

a.2. Data-data berupa hasil pembacaan dial disajikan pada Tabel 5.1 sedangkan Tabel 5.2 merupakan analisis SAP90, dan untuk lebih memperjelas pada



disajikan grafik hubungan beban dan lendutan (dalam hal ini yang digunakan adalah data pada dial yang berada di tengah rangka/lendutan  $\Delta_2$ ).

Tabel 5.1. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Howe menggunakan batang nol

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
1	39	46	29
2	52	84	68
3	67	130	105
4	84	173	139
5	104	198	163
6	125	242	215
7	142	266	234
8	163	284	243
9	189	304	251
10	235	354	298
11	259	402	343
12	290	445	376
13	319	482	408
14	348	514	435
15	368	538	455
16	375	545	459
17	398	568	480
18	423	591	493
19	461	622	515
20	476	637	528
21	509	665	550
22	542	692	570
23	570	717	591
24	599	740	607
25	628	772	641
26	661	795	654
27	671	811	674
28	710	841	690
29	725	856	704
30	751	888	740
31	762	911	752
32	772	938	774
33	791	969	795

Tabel 5.1. Lanjutan

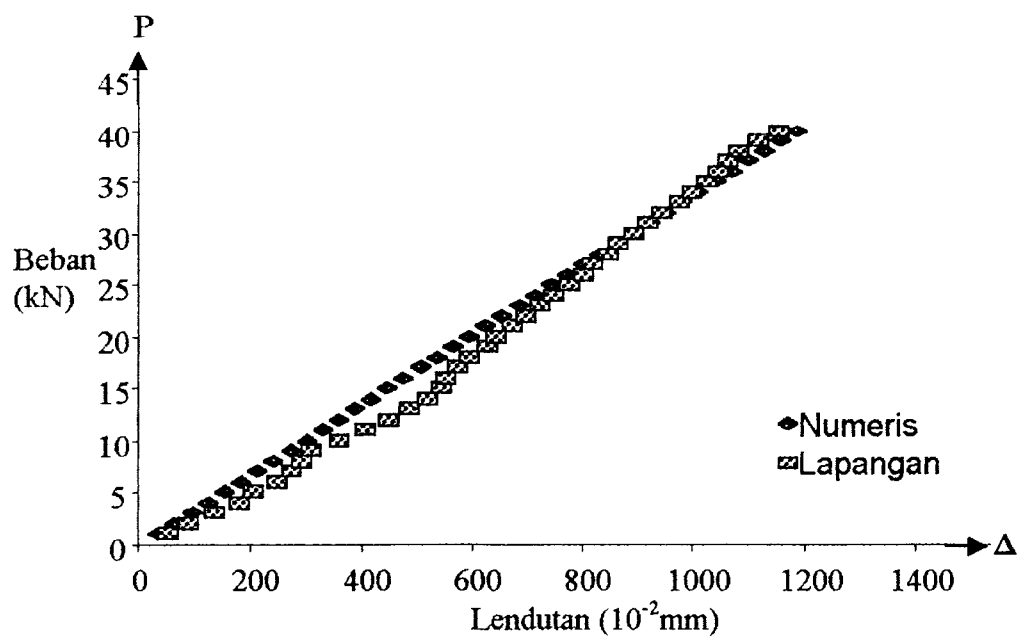
Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
34	801	992	801
35	811	1018	838
36	827	1038	858
37	847	1057	874
38	863	1073	890
39	902	1111	923
40	942	1147	952

Tabel 5.2. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Howe menggunakan batang nol  
(numeris SAP90)

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
1	25	30	25
2	50	59	50
3	75	89	75
4	101	118	101
5	126	148	126
6	151	177	151
7	176	207	176
8	201	236	201
9	226	266	226
10	251	295	251
11	277	325	277
12	302	354	302
13	327	384	327
14	352	413	352
15	377	443	377
16	402	472	402
17	427	502	427
18	453	531	453
19	478	561	478
20	503	590	503
21	528	620	528
22	553	649	553

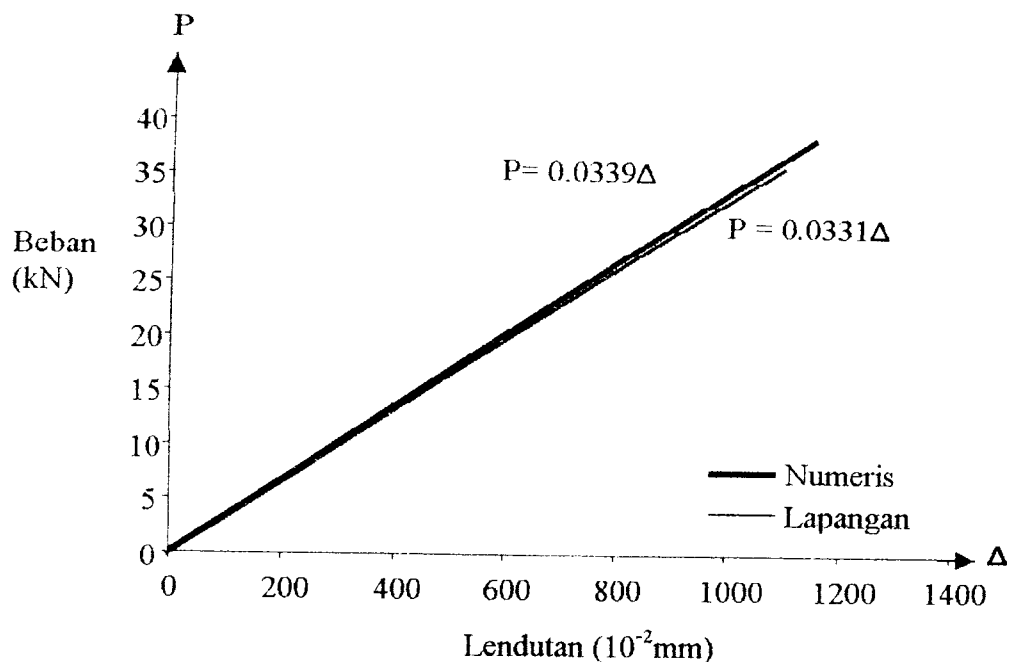
Tabel 5.2. Lanjutan

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
23	578	679	578
24	603	708	603
25	629	738	629
26	654	767	654
27	679	797	679
28	704	826	704
29	729	856	729
30	754	885	754
31	780	915	780
32	805	944	805
33	830	974	830
34	855	1003	855
35	880	1033	880
36	905	1062	905
37	930	1092	930
38	956	1121	956
39	981	1151	981
40	1006	1180	1006



Tabel 5.1. Hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Howe menggunakan batang nol

Dari grafik hubungan diatas, dibuat hasil regresinya yang ditunjukkan dengan Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Howe menggunakan batang nol

#### b. Rangka Howe tanpa batang nol

Untuk rangka Howe tanpa batang nol, pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.3, numeris SAP90 disajikan pada Tabel 5.4 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada Gambar 5.3 dan hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.4.

Tabel 5.3. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Howe tanpa batang nol

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
1	47	55	36
2	86	101	62
3	106	144	97

Tabel 5.3. Lanjutan

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
4	158	190	132
5	204	245	189
6	264	307	215
7	329	368	260
8	389	443	343
9	468	508	385
10	485	528	402
11	488	563	426
12	508	636	439
13	549	689	447
14	561	715	458
15	575	747	475
16	588	781	502
17	598	805	506
18	610	823	517
19	619	850	523
20	625	884	540
21	639	918	565
22	646	941	566
23	658	967	574
24	667	1001	580
25	674	1034	587
26	684	1058	605
27	696	1100	613
28	703	1127	622
29	716	1170	637
30	722	1112	652

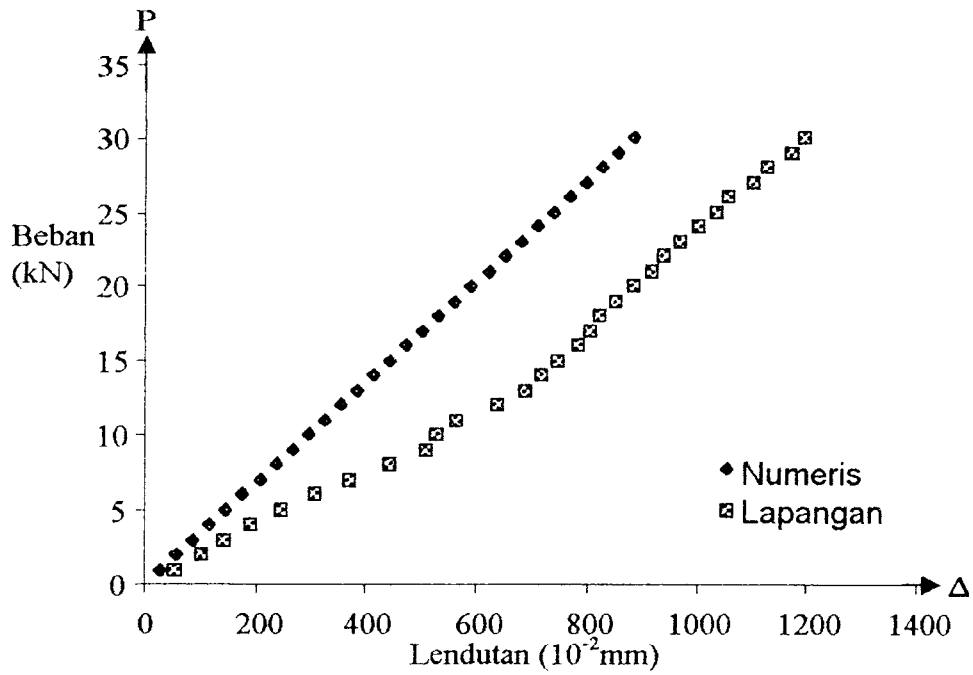
Tabel 5.4. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Howe tanpa batang nol  
(numeris SAP90)

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
1	15	30	15
2	30	59	30

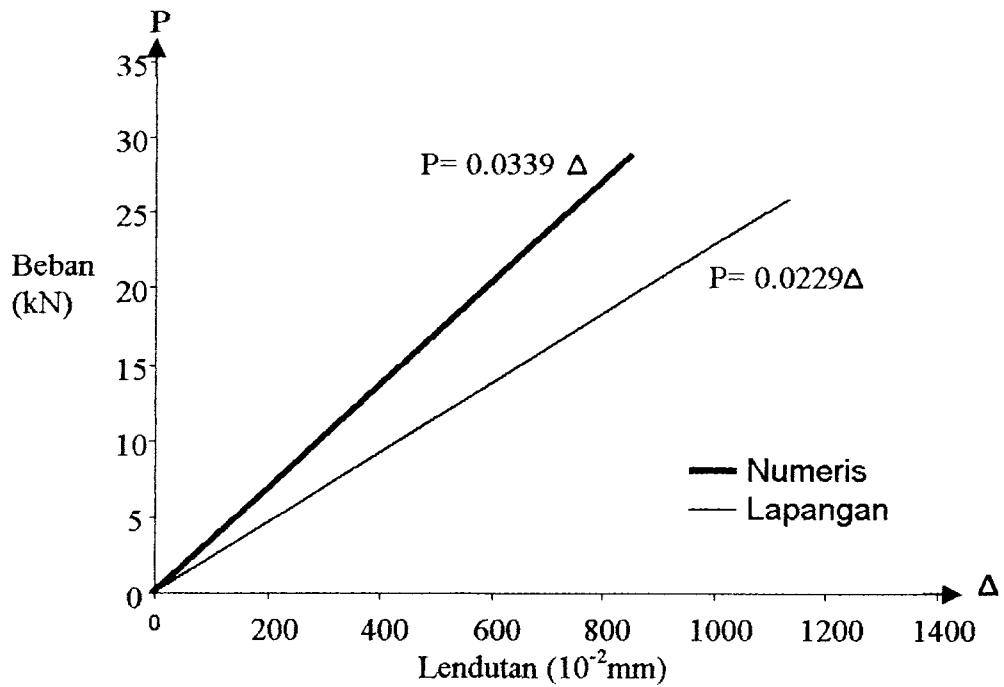
Tabel 5.4. Lanjutan

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
3	44	89	44
4	59	118	59
5	74	148	74
6	89	177	89
7	103	207	103
8	118	236	118
9	133	266	133
10	148	295	148
11	162	325	162
12	177	354	177
13	192	384	192
14	207	413	207
15	221	443	221
16	236	472	236
17	251	502	251
18	266	531	266
19	281	561	281
20	296	590	296
21	310	620	310
22	324	649	324
23	339	679	339
24	354	708	354
25	369	738	369
26	384	767	384
27	399	797	399
28	414	826	414
29	428	856	428
30	443	885	443





Gambar 5.3. Hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Howe tanpa batang nol



Gambar 5.4. Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Howe tanpa batang nol

c. Rangka Pratt menggunakan batang nol

Sedangkan pada rangka Pratt, pencatatan hasil disajikan pada Tabel 5.5 serta Tabel 5.6 untuk numeris SAP90 dan digambarkan pada Gambar 5.5 dan regresinya pada Gambar 5.6.

Tabel 5.5. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Pratt menggunakan batang nol

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
1	36	45	50
2	66	75	79
3	109	125	135
4	112	126	133
5	133	150	157
6	153	178	179
7	182	210	208
8	222	248	243
9	223	257	244
10	245	274	267
11	278	309	298
12	301	335	321
13	313	349	334
14	339	377	359
15	356	397	377
16	381	421	401
17	402	442	422
18	428	470	477
19	453	505	470
20	481	529	497
21	494	534	509
22	546	584	554
23	549	595	559
24	571	616	577
25	596	638	595
26	636	668	625
27	656	688	640
28	685	717	661
29	716	742	682
30	757	776	712



Tabel 5.5. Lanjutan

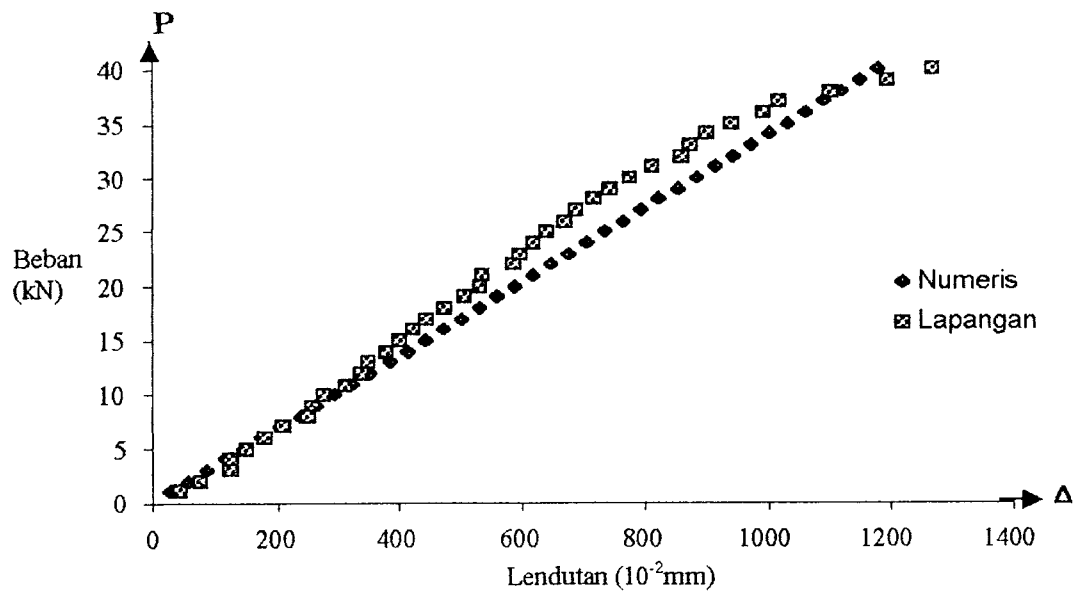
Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
31	789	811	735
32	861	859	778
33	883	875	790
34	904	899	812
35	955	939	834
36	1015	992	850
37	1022	1016	864
38	1106	1100	916
39	1209	1192	922
40	1295	1266	931

Tabel 5.6. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Pratt menggunakan batang nol  
(numeris SAP90)

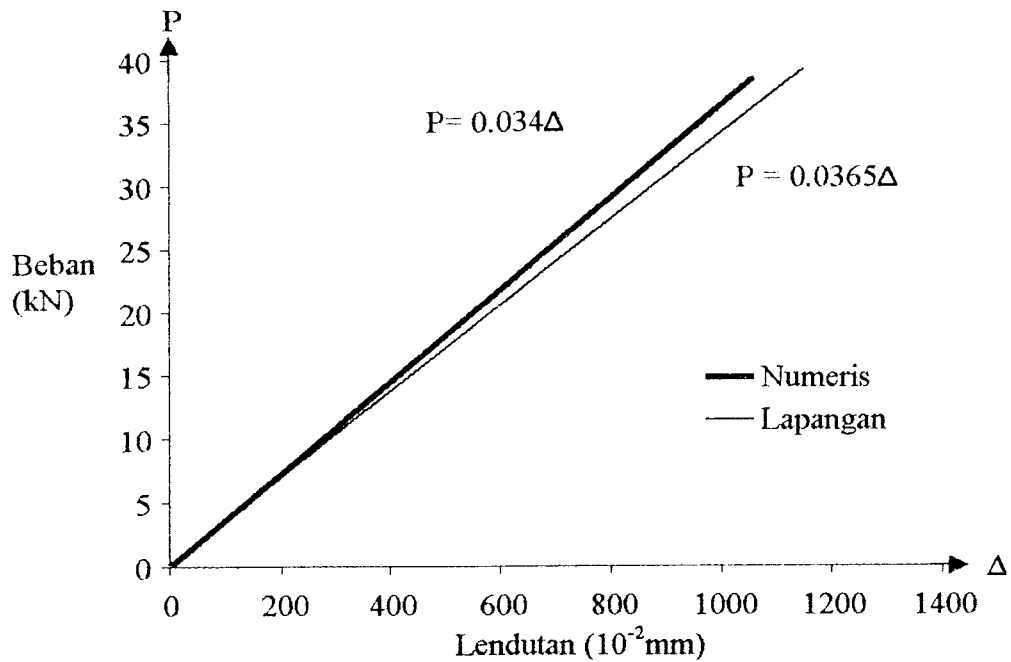
Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
1	26	29	26
2	53	59	53
3	79	88	79
4	106	118	106
5	132	147	132
6	158	176	158
7	185	206	185
8	212	236	212
9	238	265	238
10	264	294	264
11	290	323	290
12	316	352	316
13	343	382	343
14	370	412	370
15	397	442	397
16	424	472	424
17	450	501	450
18	476	530	476
19	502	560	502
20	528	588	528
21	554	617	554

Tabel 5.6. Lanjutan

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
22	580	646	580
23	606	675	606
24	632	704	632
25	659	734	659
26	686	764	686
27	713	794	713
28	740	824	740
29	767	854	767
30	794	884	794
31	821	914	821
32	848	944	848
33	874	973	874
34	900	1002	900
35	926	1031	926
36	952	1060	952
37	978	1090	978
38	1004	1120	1004
39	1030	1148	1030
40	1056	1176	1056



Gambar 5.5. Hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Pratt menggunakan batang nol



Gambar 5.6. Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Pratt menggunakan batang nol

d. Rangka Pratt tanpa batang nol

Demikian pula untuk rangka Pratt tanpa batang nol, pencatatan hasil ditampilkan pada Tabel 5.4 dan diperinci pada Gambar 5.7 serta hasil regresinya pada Gambar 5.8.

Tabel 5.7. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Pratt tanpa batang nol

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
1	37	38	37
2	77	95	65
3	113	139	98
4	147	182	125
5	179	215	154
6	208	249	176
7	237	286	204

Tabel 5.7. Lanjutan

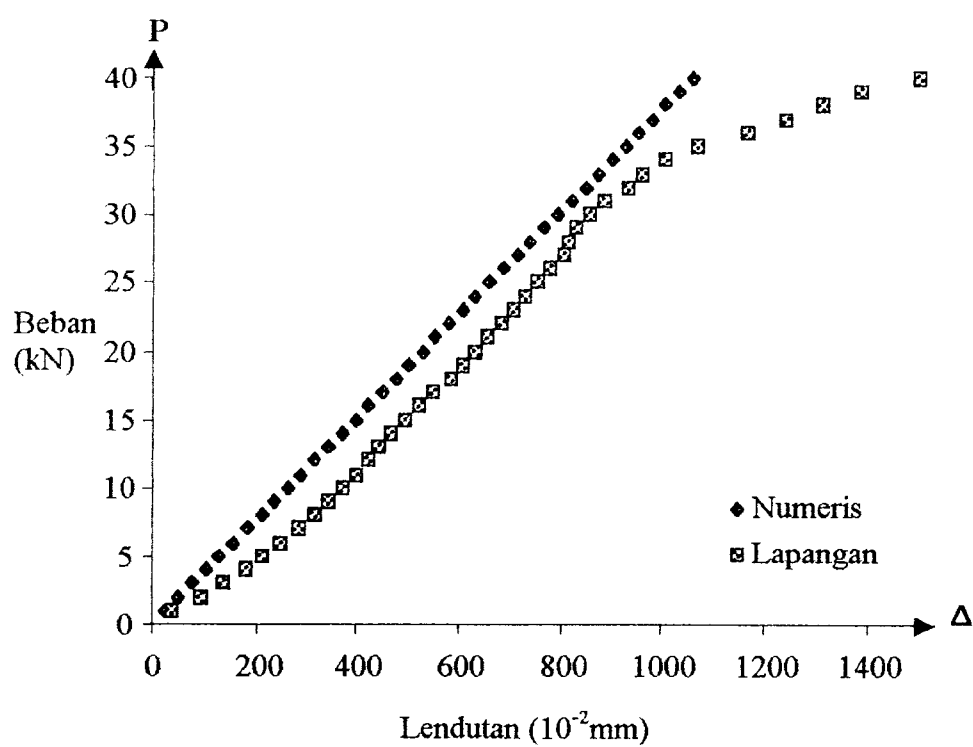
Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
8	265	314	227
9	292	345	250
10	318	370	275
11	346	398	294
12	370	423	316
13	396	443	339
14	421	465	361
15	446	494	385
16	468	520	408
17	499	547	437
18	532	586	467
19	557	608	484
20	585	632	503
21	610	656	529
22	634	684	553
23	659	707	578
24	680	730	601
25	704	752	613
26	733	777	639
27	769	807	655
28	775	813	664
29	794	830	672
30	801	856	708
31	810	885	743
32	825	930	799
33	851	958	828
34	877	1004	870
35	907	1064	950
36	994	1164	1050
37	982	1240	1109
38	1038	1310	1159
39	1098	1385	1223
40	1075	1650	1385

Tabel 5.8. Hubungan Beban dan Lendutan rangka Pratt tanpa batang nol  
(numeris SAP90)

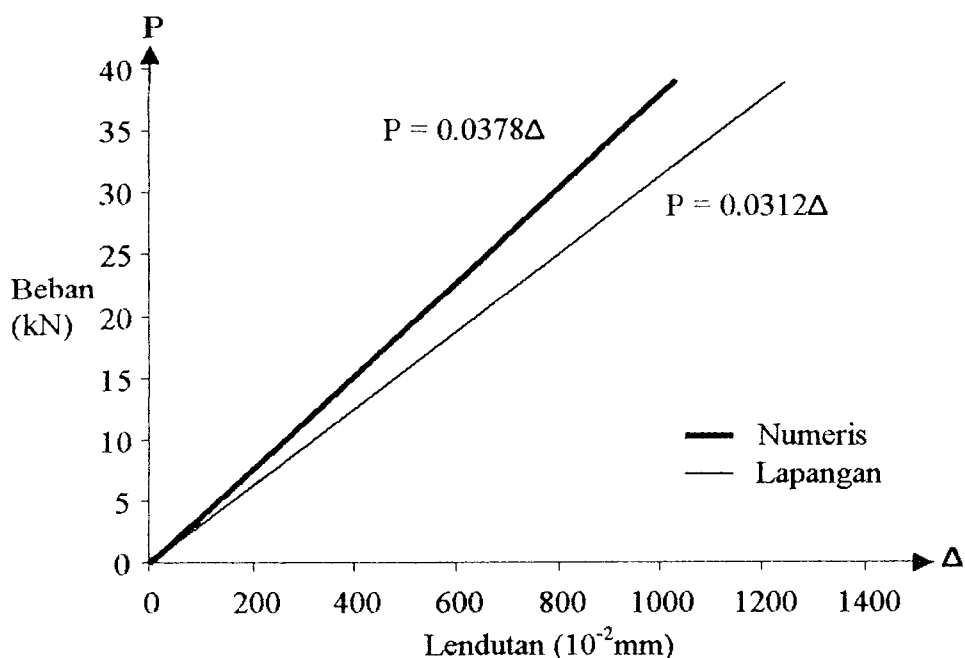
Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
1	22	27	22
2	44	54	44
3	66	81	66
4	88	108	88
5	110	135	110
6	132	162	132
7	154	189	154
8	176	216	176
9	198	243	198
10	220	270	220
11	242	297	242
12	264	324	264
13	286	351	286
14	308	378	308
15	330	405	330
16	352	432	352
17	374	459	374
18	396	486	396
19	418	513	418
20	440	540	440
21	462	567	462
22	484	594	484
23	506	621	506
24	528	648	528
25	550	675	550
26	572	702	572
27	594	729	594
28	616	756	616
29	638	783	638
30	660	810	660
31	682	837	682
32	704	864	704
33	726	891	726
34	748	918	748
35	770	945	770
36	792	972	792

Tabel 5.8. Lanjutan

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)
37	814	999	814
38	836	1026	836
39	858	1053	858
40	880	1080	880



Gambar 5.7. Hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Pratt tanpa batang nol



Gambar 5.8. Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 beban lendutan rangka Pratt tanpa batang nol

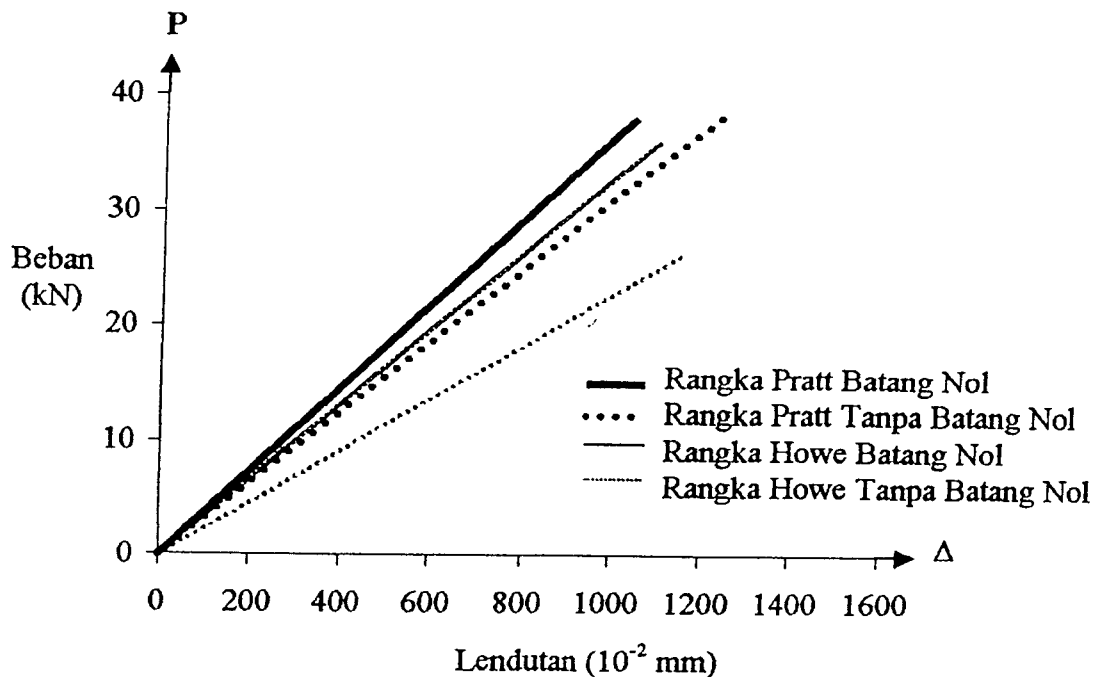
## 5.2. Pengaruh Batang Nol Terhadap Beban Lendutan

Rangka batang (*truss*) yang memiliki konfigurasi berbeda akan mengalami lendutan yang berbeda dengan keberadaan batang nol. Rangka batang baja yang tidak menggunakan batang nol akan mengalami lendutan yang lebih besar.

Dari persamaan 3.39 dimana  $tg\theta = k = \frac{P}{\Delta}$  terlihat bahwa semakin besar

lendutan yang terjadi maka kekakuan rangka batang akan semakin kecil.

Pada Gambar 5.9 di bawah membuktikan bahwa rangka batang yang tidak menggunakan batang nol memiliki kekakuan yang lebih kecil daripada yang menggunakan batang nol.



**Gambar 5.9.** Keberadaan batang nol terhadap beban dan lendutan hasil penelitian

Gambar 5.9 menunjukkan kenyataan yang terjadi di lapangan dimana rangka batang yang menggunakan batang nol memiliki sudut atau memiliki kekakuan yang lebih besar dari rangka batang yang tidak menggunakan batang nol. Dan terlihat pula bahwa rangka batang Pratt memiliki kekakuan yang lebih besar daripada rangka batang Howe.

#### a. Analisis Rangka Howe Hasil Pengujian

Besarnya sudut yang terjadi pada rangka Howe baik dengan maupun tanpa batang nol adalah sebagaimana berikut.

##### a. Rangka Howe menggunakan batang nol

$$\phi = P/\Delta = 0,0331 \text{ maka jika:}$$



$$P = 40 \text{ kN} ; \Delta = 12,0846 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k = \frac{40}{12,0846} = 3,3099 \text{ kN/mm} = 3309,9 \text{ kN/m}$$

$$\theta = \text{arctg} 3309,9 = 89,98269^\circ$$

**b. Rangka Howe tanpa batang nol**

$$\phi = P/\Delta = 0,0228 \text{ maka jika:}$$

$$P = 40 \text{ kN} ; \Delta = 17,5439 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k = \frac{40}{17,5439} = 2,2799 \text{ kN/mm} = 2279,9 \text{ kN/m}$$

$$\theta = \text{arctg} 2279,9 = 89,97487^\circ$$

**b. Analisis Rangka Pratt Hasil Pengujian**

Begitu pula yang terjadi pada rangka Pratt, terlihat bahwa rangka Pratt yang menggunakan batang nol memiliki kekakuan yang lebih besar daripada yang tidak menggunakan batang nol. Perhitungan dibawah akan melengkapi pembuktian kesamaan yang terjadi tersebut.

**a. Rangka Pratt menggunakan batang nol**

$$\phi = P/\Delta = 0,0331 \text{ maka jika:}$$

$$P = 40 \text{ kN} ; \Delta = 10,9589 \text{ mm}$$

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

$$\operatorname{tg} \theta = k = \frac{40}{10,9589} = 3,65 \text{ kN / mm} = 3650 \text{ kN / m}$$

$$\theta = \operatorname{arctg} 3650 = 89,98430^\circ$$

b. Rangka Pratt tanpa batang nol

$$\phi = P/\Delta = 0,0331 \text{ maka jika:}$$

$$P = 40 \text{ kN ; } \Delta = 12,8205 \text{ mm}$$

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

$$\operatorname{tg} \theta = k = \frac{40}{12,8205} = 3,12 \text{ kN / mm} = 3120 \text{ kN / m}$$

$$\theta = \operatorname{arctg} 3120 = 89,98164^\circ$$

c. Perbandingan Rangka Howe dan Pratt Hasil Pengujian

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa rangka Howe lebih kaku daripada rangka Pratt. Hal ini juga akan terlihat pada prosentase yang telah dilakukan perhitungannya di bawah ini.

a. Menggunakan batang nol

- Kekakuan rangka Howe = 3309,9 kN/m

- Kekakuan rangka Pratt = 3650 kN/m

Prosentase kekakuan adalah  $\frac{(3650 - 3309,9)}{3650} \times 100\% = 9,09\%$ , dimana rangka

Pratt ternyata 9,09 % lebih kaku dibandingkan rangka Howe.

b. Tanpa batang nol

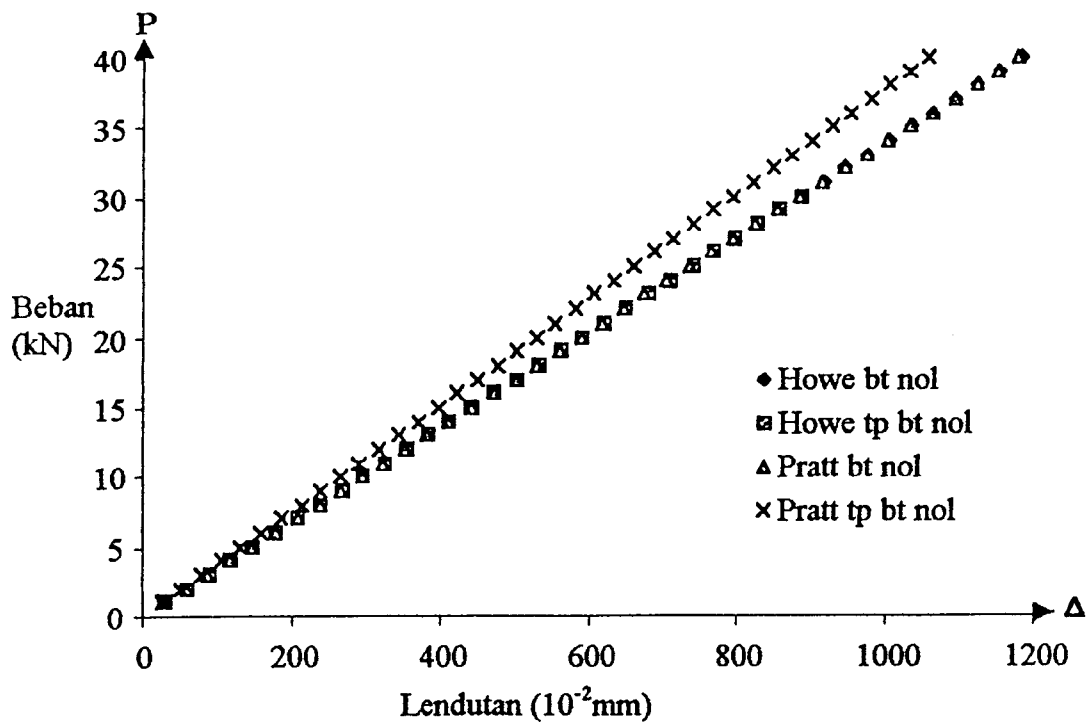
- Kekakuan rangka Howe = 2279,9 kN/m
- Kekakuan rangka Pratt = 3120 kN/m

$$\frac{(3120 - 2279,9)}{3120} \times 100\% = 36,85\% , \text{ ternyata tanpa batang nol kekakuan rangka Pratt}$$

lebih besar 36,85 % daripada rangka Howe.

d. Hasil Analisis

Gambar 5.10 menunjukkan hasil analisis menggunakan program SAP90.



Gambar 5.10. Keberadaan batang nol terhadap beban lendutan dengan analisis SAP90

### 5.3. Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

Setelah mendapatkan data dari ketiga dial berupa lendutan yang terjadi, didapatkan momen dan kelengkungan yang terjadi.

Persamaan untuk momen adalah  $M = 1/4 PL$ , sedangkan kelengkungan

$$\phi = \frac{\Delta_1 - 2\Delta_2 + \Delta_3}{(\Delta x)^2}.$$

#### a. Rangka Howe menggunakan batang nol

Hasil perhitungan momen dan kelengkungan rangka Howe ditabelkan pada Tabel 5.9 sedangkan analisis sap90 pada Tabel 5.10 dan diperinci pada Gambar 5.11 sedangkan hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.12.

**Tabel 5.9.** Hubungan momen kelengkungan rangka Howe menggunakan batang nol

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
1	39	46	29	0.95	2.659
2	52	84	68	1.9	5.319
3	67	130	105	2.85	9.751
4	84	173	139	3.8	13.629
5	104	198	163	4.75	14.294
6	125	242	215	5.7	15.956
7	142	266	234	6.65	17.285
8	163	284	243	7.6	17.950
9	189	304	251	8.55	18.615
10	235	354	298	9.5	19.391
11	259	402	343	10.45	22.382
12	290	445	376	11.4	24.820
13	319	482	408	12.35	26.260
14	348	514	435	13.3	27.147
15	368	538	455	14.25	28.033
16	375	545	459	15.2	28.367
17	398	568	480	16.15	28.587
18	423	591	493	17.1	29.474

Tabel 5.9. Lanjutan

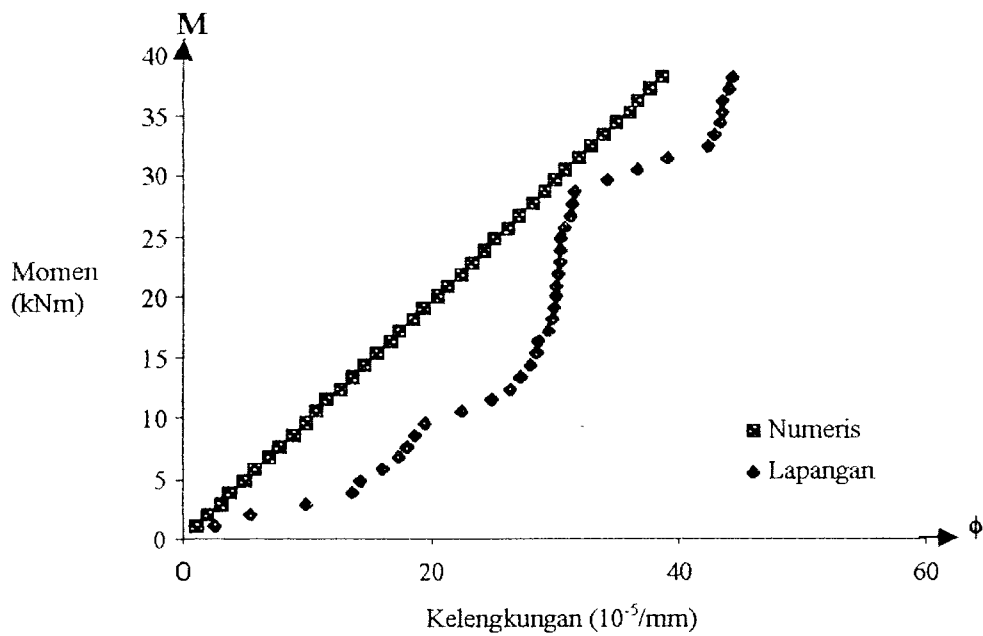
Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
19	461	622	515	18.05	29.695
20	476	637	528	19	29.917
21	509	665	550	19.95	30.028
22	542	692	570	20.9	30.139
23	570	717	591	21.85	30.249
24	599	740	607	22.8	30.360
25	628	772	641	23.75	30.471
26	661	795	654	24.7	30.471
27	671	811	674	25.65	30.693
28	710	841	690	26.6	31.247
29	725	856	704	27.55	31.357
30	751	888	740	28.5	31.579
31	762	911	752	29.45	34.127
32	772	938	774	30.4	36.565
33	791	969	795	31.35	39.003
34	801	992	801	32.3	42.327
35	811	1018	838	33.25	42.881
36	827	1038	858	34.2	43.324
37	847	1057	874	35.15	43.546
38	863	1073	890	36.1	43.546
39	902	1111	923	37.05	43.989
40	942	1147	952	38	44.321

Tabel 5.10. Hubungan momen kelengkungan rangka Howe menggunakan batang nol  
(numeris SAP90)

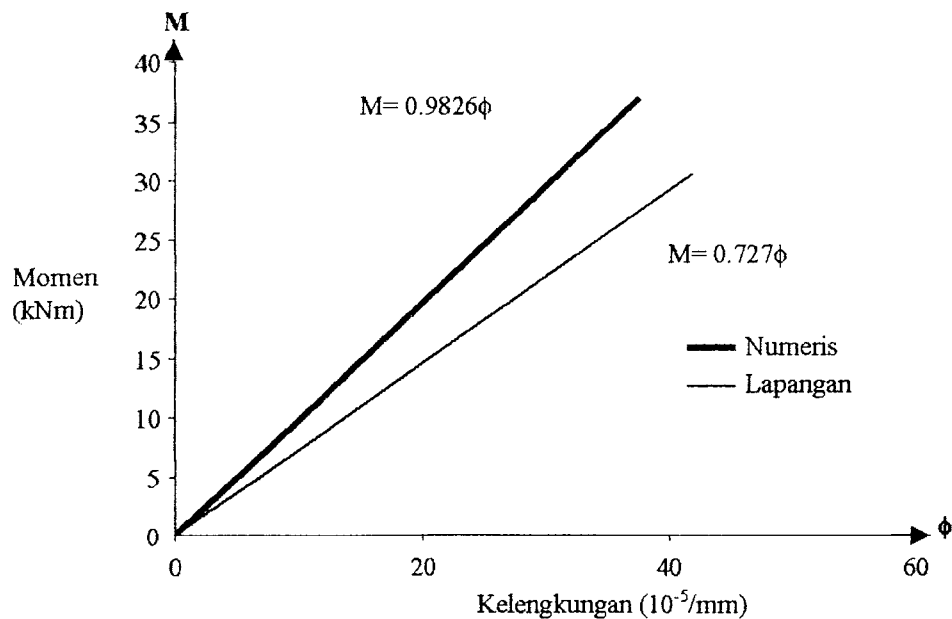
Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
1	25	30	25	0.950	1.108
2	50	59	50	1.900	1.994
3	75	89	75	2.850	3.102
4	101	118	101	3.800	3.767
5	126	148	126	4.750	4.875
6	151	177	151	5.700	5.762
7	176	207	176	6.650	6.870

Tabel 5.10. Lanjutan

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen (kNm)	Kelengkungan ( $10^5$ /mm)
8	201	236	201	7.600	7.756
9	226	266	226	8.550	8.864
10	251	295	251	9.500	9.751
11	277	325	277	10.450	10.637
12	302	354	302	11.400	11.524
13	327	384	327	12.350	12.632
14	352	413	352	13.300	13.518
15	377	443	377	14.250	14.626
16	402	472	402	15.200	15.512
17	427	502	427	16.150	16.620
18	453	531	453	17.100	17.285
19	478	561	478	18.050	18.393
20	503	590	503	19.000	19.280
21	528	620	528	19.950	20.388
22	553	649	553	20.900	21.274
23	578	679	578	21.850	22.382
24	603	708	603	22.800	23.269
25	629	738	629	23.750	24.155
26	654	767	654	24.700	25.042
27	679	797	679	25.650	26.150
28	704	826	704	26.600	27.036
29	729	856	729	27.550	28.144
30	754	885	754	28.500	29.030
31	780	915	780	29.450	29.917
32	805	944	805	30.400	30.803
33	830	974	830	31.350	31.911
34	855	1003	855	32.300	32.798
35	880	1033	880	33.250	33.906
36	905	1062	905	34.200	34.792
37	930	1092	930	35.150	35.900
38	956	1121	956	36.100	36.565
39	981	1151	981	37.050	37.673
40	1006	1180	1006	38.000	38.560



**Gambar 5.11.** Hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Howe menggunakan batang nol



**Gambar 5.12.** Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Howe menggunakan batang nol

**b. Rangka Howe tanpa menggunakan batang nol**

Sedangkan hasil momen dan kelengkungan rangka Howe tanpa batang nol ditabelkan pada tabel 5.11 serta Tabel 5.12 untuk numeris SAP90 dan digambar pada Gambar 5.13 serta hasil regresi pada Gambar 5.14.

**Tabel 5.11. Hubungan Momen dan Kelengkungan rangka Howe tanpa batang nol**

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
1	47	55	36	0.95	2.992
2	86	101	62	1.9	5.983
3	106	144	97	2.85	9.418
4	158	190	132	3.8	9.972
5	204	245	189	4.75	10.748
6	264	307	215	5.7	14.959
7	329	368	260	6.65	16.288
8	389	443	343	7.6	17.064
9	468	508	385	8.55	18.061
10	485	528	402	9.5	18.726
11	488	563	426	10.45	23.490
12	508	636	439	11.4	36.011
13	549	689	447	12.35	42.327
14	561	715	458	13.3	45.540
15	575	747	475	14.25	49.197
16	588	781	502	15.2	52.299
17	598	805	506	16.15	56.067
18	610	823	517	17.1	57.507
19	619	850	523	18.05	61.828
20	625	884	540	19	66.814
21	639	918	565	19.95	70.028
22	646	941	566	20.9	74.238
23	658	967	574	21.85	77.784
24	667	1001	580	22.8	83.657
25	674	1034	587	23.75	89.418
26	684	1058	605	24.7	91.634
27	696	1100	613	25.65	98.726
28	703	1127	622	26.6	102.946
29	716	1170	637	27.55	109.362



Tabel 5.11. Lanjutan

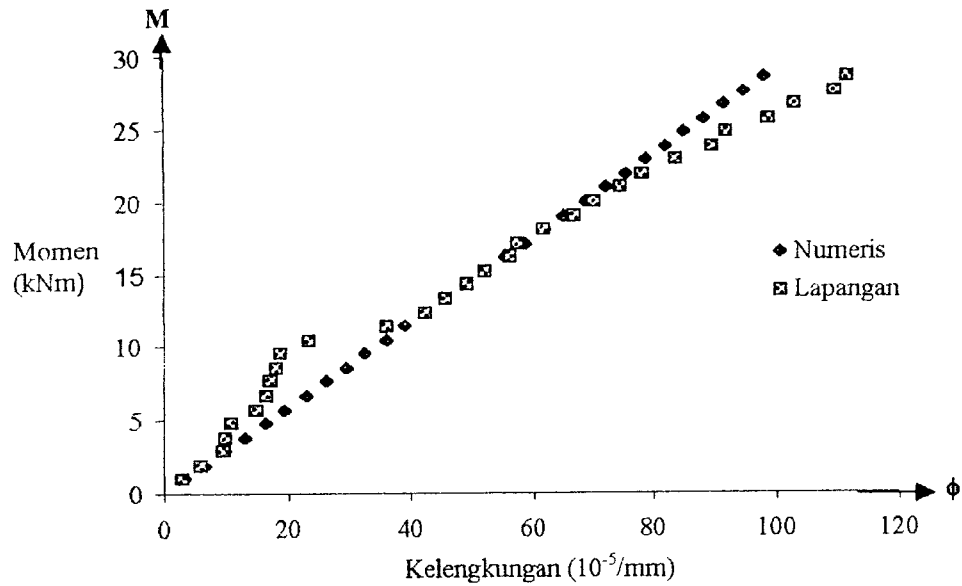
Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
30	722	1112	652	28.5	94.183

Tabel 5.12. Hubungan Momen dan Kelengkungan rangka Howe tanpa batang nol  
(numeris SAP90)

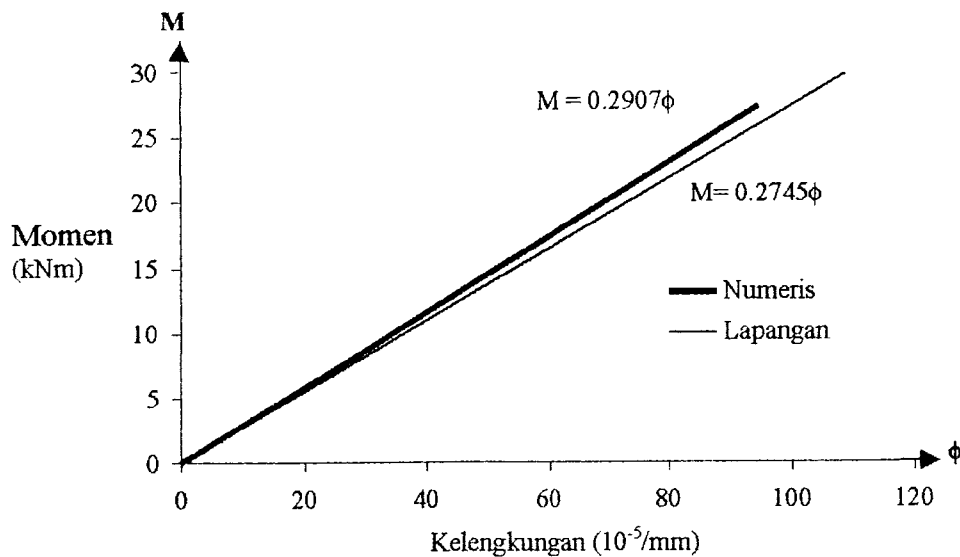
Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
1	15	30	15	0.950	3.324
2	30	59	30	1.900	6.427
3	44	89	44	2.850	9.972
4	59	118	59	3.800	13.075
5	74	148	74	4.750	16.399
6	89	177	89	5.700	19.501
7	103	207	103	6.650	23.047
8	118	236	118	7.600	26.150
9	133	266	133	8.550	29.474
10	148	295	148	9.500	32.576
11	162	325	162	10.450	36.122
12	177	354	177	11.400	39.224
13	192	384	192	12.350	42.548
14	207	413	207	13.300	45.651
15	221	443	221	14.250	49.197
16	236	472	236	15.200	52.299
17	251	502	251	16.150	55.623
18	266	531	266	17.100	58.726
19	281	561	281	18.050	62.050
20	296	590	296	19.000	65.152
21	310	620	310	19.950	68.698
22	324	649	324	20.900	72.022
23	339	679	339	21.850	75.346
24	354	708	354	22.800	78.449
25	369	738	369	23.750	81.773
26	384	767	384	24.700	84.875
27	399	797	399	25.650	88.199
28	414	826	414	26.600	91.302

Tabel 5.12. Lanjutan

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen (kNm)	Kelengkungan ( $10^{-5}/\text{mm}$ )
29	428	856	428	27.550	94.848
30	443	885	443	28.500	97.950



Gambar 5.13. Hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Howe tanpa batang nol



Gambar 5.14. Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Howe tanpa batang nol

c. Rangka Pratt menggunakan batang nol

Perhitungan momen dan kelengkungan Rangka Pratt yang menggunakan batang nol disajikan pada Tabel 5.13 sedang numeris SAP90 pada Tabel 5.14 dan diperjelas pada Gambar 5.15 disertai hasil regresi pada Gambar 5.16.

Tabel 5.13. Hubungan Momen Kelengkungan rangka Pratt menggunakan batang nol

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
1	36	45	50	0.95	0.443
2	66	75	79	1.9	0.554
3	109	125	135	2.85	0.665
4	112	126	133	3.8	0.776
5	133	150	157	4.75	1.108
6	153	178	179	5.7	2.659
7	182	210	208	6.65	3.324
8	222	248	243	7.6	3.435
9	223	257	244	8.55	5.208
10	245	274	267	9.5	3.989
11	278	309	298	10.45	4.654
12	301	335	321	11.4	5.319
13	313	349	334	12.35	5.651
14	339	377	359	13.3	6.205
15	356	397	377	14.25	6.759
16	381	421	401	15.2	6.648
17	402	442	422	16.15	6.648
18	428	470	477	17.1	3.878
19	453	505	470	18.05	9.639
20	481	529	497	19	8.864
21	494	534	509	19.95	7.202
22	546	584	554	20.9	7.535
23	549	595	559	21.85	9.086
24	571	616	577	22.8	9.308
25	596	638	595	23.75	9.418
26	636	668	625	24.7	8.310
27	656	688	640	25.65	8.864
28	685	717	661	26.6	9.751

Tabel 5.13. Lanjutan

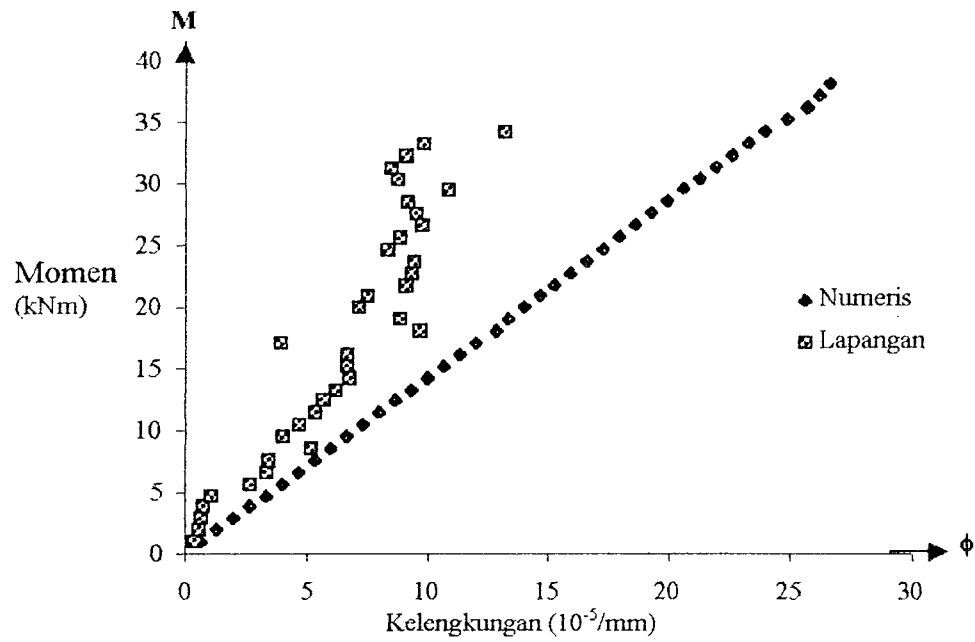
Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
29	716	742	682	27.55	9.529
30	757	776	712	28.5	9.197
31	789	811	735	29.45	10.859
32	861	859	778	30.4	8.7535
33	883	875	790	31.35	8.5319
34	904	899	812	32.3	9.0859
35	955	939	834	33.25	9.8615
36	1015	992	850	34.2	13.186
37	1022	1016	864	35.15	16.177
38	1106	1100	916	36.1	19.723
39	1209	1192	922	37.05	28.033
40	1295	1266	931	38	33.906

Tabel 5.14. Hubungan Momen Kelengkungan rangka Pratt menggunakan batang nol  
(numeris SAP90)

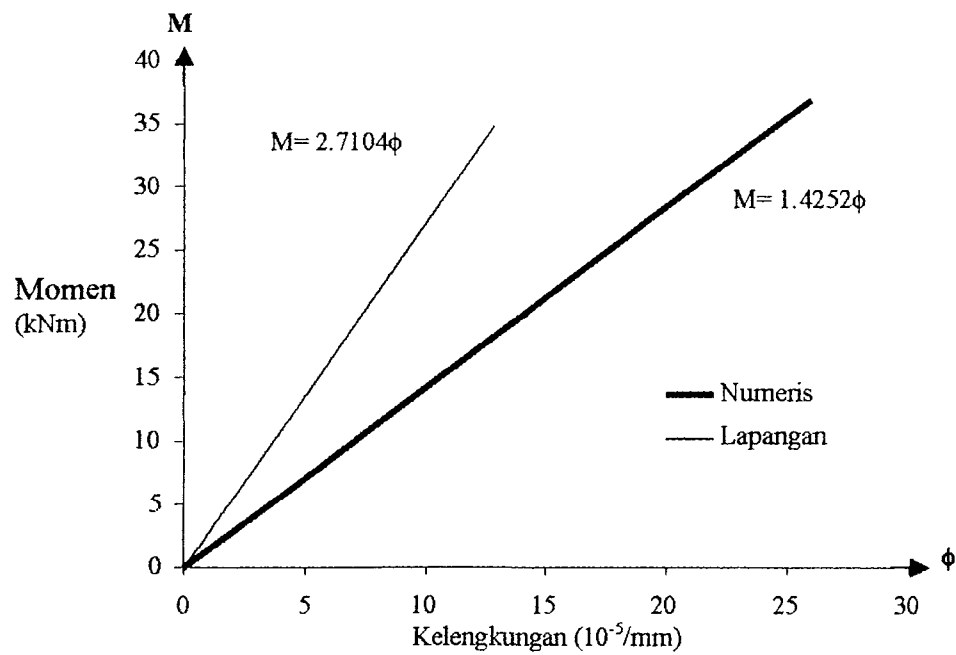
Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
1	26	29	26	0.950	0.665
2	53	59	53	1.900	1.330
3	79	88	79	2.850	1.994
4	106	118	106	3.800	2.659
5	132	147	132	4.750	3.324
6	158	176	158	5.700	3.989
7	185	206	185	6.650	4.654
8	212	236	212	7.600	5.319
9	238	265	238	8.550	5.983
10	264	294	264	9.500	6.648
11	290	323	290	10.450	7.313
12	316	352	316	11.400	7.978
13	343	382	343	12.350	8.643
14	370	412	370	13.300	9.307
15	397	442	397	14.250	9.972
16	424	472	424	15.200	10.637
17	450	501	450	16.150	11.302

Tabel 5.14. Lanjutan

Beban (kN)	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen (kNm)	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm)
18	476	530	476	17.100	11.967
19	502	560	502	18.050	12.853
20	528	588	528	19.000	13.296
21	554	617	554	19.950	13.961
22	580	646	580	20.900	14.626
23	606	675	606	21.850	15.291
24	632	704	632	22.800	15.956
25	659	734	659	23.750	16.620
26	686	764	686	24.700	17.285
27	713	794	713	25.650	17.950
28	740	824	740	26.600	18.615
29	767	854	767	27.550	19.280
30	794	884	794	28.500	19.945
31	821	914	821	29.450	20.609
32	848	944	848	30.400	21.274
33	874	973	874	31.350	21.939
34	900	1002	900	32.300	22.604
35	926	1031	926	33.250	23.269
36	952	1060	952	34.200	23.934
37	978	1090	978	35.150	24.820
38	1004	1120	1004	36.100	25.706
39	1030	1148	1030	37.050	26.150
40	1056	1176	1056	38.000	26.593



**Gambar 5.15.** Hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Pratt menggunakan batang nol



**Gambar 5.16.** Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Pratt menggunakan batang nol

**d. Rangka Pratt tanpa batang nol**

Tabel 5.15 dan Gambar 5.17 memperlihatkan hasil perhitungan dan grafik hubungan momen kelengkungan rangka Pratt tanpa batang nol yang disertai hasil regresi pada Gambar 5.18, sedangkan Tabel 5.16 merupakan numeris SAP90.

**Tabel 5.15.** Hubungan Momen dan Kelengkungan rangka Pratt tanpa batang nol

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
1	37	38	37	0.95	0.222
2	77	95	65	1.9	5.319
3	113	139	98	2.85	7.424
4	147	182	125	3.8	10.194
5	179	215	154	4.75	10.746
6	208	249	176	5.7	12.632
7	237	286	204	6.65	14.515
8	265	314	227	7.6	15.069
9	292	345	250	8.55	16.399
10	318	370	275	9.5	16.288
11	346	398	294	10.45	17.285
12	370	423	316	11.4	17.729
13	396	443	339	12.35	16.731
14	421	465	361	13.3	16.399
15	446	494	385	14.25	17.396
16	468	520	408	15.2	18.172
17	499	547	437	16.15	17.507
18	532	586	467	17.1	19.169
19	557	608	484	18.05	19.391
20	585	632	503	19	19.501
21	610	656	529	19.95	19.169
22	634	684	553	20.9	20.055
23	659	707	578	21.85	19.612
24	680	730	601	22.8	19.834
25	704	752	613	23.75	20.720
26	733	777	639	24.7	20.166
27	769	807	655	25.65	21.053
28	775	813	664	26.6	20.720
29	794	830	672	27.55	21.496

Tabel 5.15. Lanjutan

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
30	801	856	708	28.5	22.493
31	810	885	743	29.45	24.044
32	825	930	799	30.4	26.149
33	851	958	828	31.35	26.260
34	877	1004	870	32.3	28.919
35	907	1064	950	33.25	30.028
36	994	1164	1050	34.2	31.468
37	982	1240	1109	35.15	43.102
38	1038	1310	1159	36.1	46.869
39	1098	1385	1223	37.05	49.750
40	1075	1650	1385	38	93.074

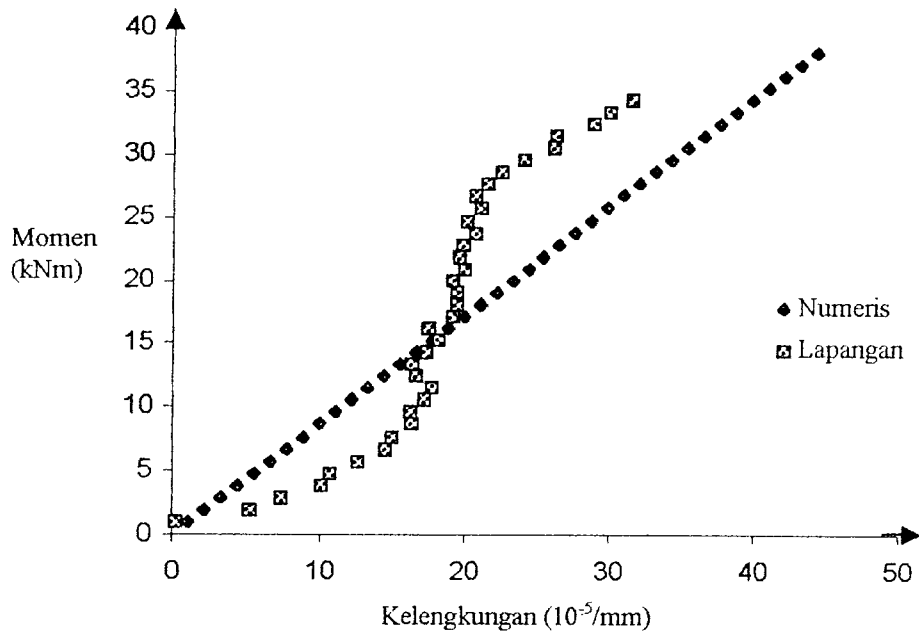
Tabel 5.16. Hubungan Momen dan Kelengkungan rangka Pratt tanpa batang nol  
(analisis SAP90)

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
1	22	27	22	0.95	1.108
2	44	54	44	1.9	2.216
3	66	81	66	2.85	3.324
4	88	108	88	3.8	4.432
5	110	135	110	4.75	5.540
6	132	162	132	5.7	6.648
7	154	189	154	6.65	7.756
8	176	216	176	7.6	8.864
9	198	243	198	8.55	9.972
10	220	270	220	9.5	11.080
11	242	297	242	10.45	12.188
12	264	324	264	11.4	13.296
13	286	351	286	12.35	14.404
14	308	378	308	13.3	15.512
15	330	405	330	14.25	16.620
16	352	432	352	15.2	17.729
17	374	459	374	16.15	18.837
18	396	486	396	17.1	19.945

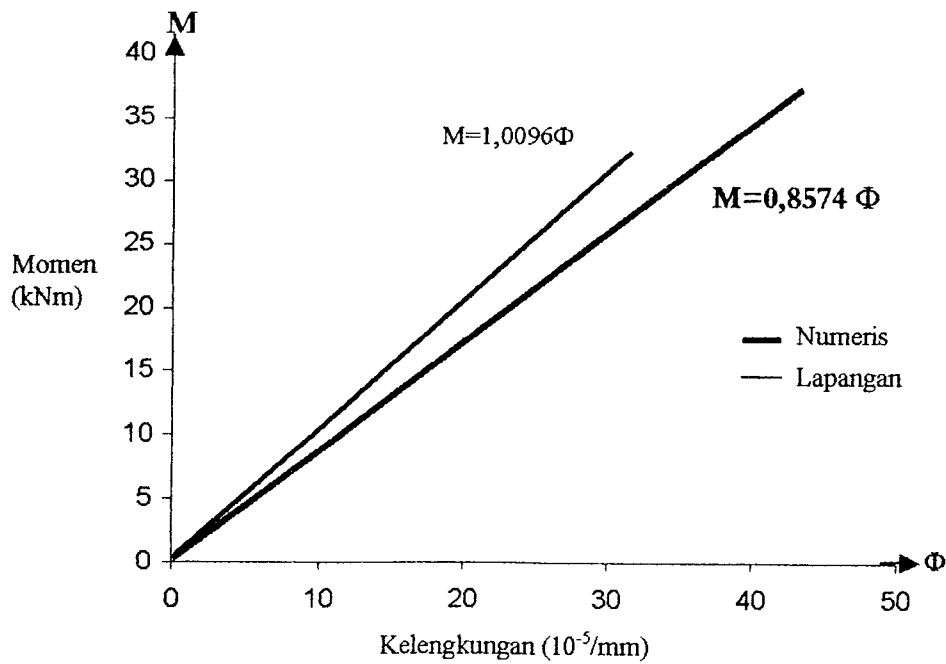


Tabel 5.16. Lanjutan

Beban ( kN )	$\Delta_1$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_2$ ( $10^{-2}$ mm)	$\Delta_3$ ( $10^{-2}$ mm)	Momen ( kNm )	Kelengkungan ( $10^{-5}$ /mm )
19	418	513	418	18.05	21.053
20	440	540	440	19	22.161
21	462	567	462	19.95	23.269
22	484	594	484	20.9	24.377
23	506	621	506	21.85	25.485
24	528	648	528	22.8	26.593
25	550	675	550	23.75	27.701
26	572	702	572	24.7	28.809
27	594	729	594	25.65	29.917
28	616	756	616	26.6	31.025
29	638	783	638	27.55	32.133
30	660	810	660	28.5	33.241
31	682	837	682	29.45	34.349
32	704	864	704	30.4	35.457
33	726	891	726	31.35	36.565
34	748	918	748	32.3	37.673
35	770	945	770	33.25	38.781
36	792	972	792	34.2	39.889
37	814	999	814	35.15	40.997
38	836	1026	836	36.1	42.105
39	858	1053	858	37.05	43.213
40	880	1080	880	38	44.321



**Gambar 5.17.** Hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Pratt tanpa batang nol

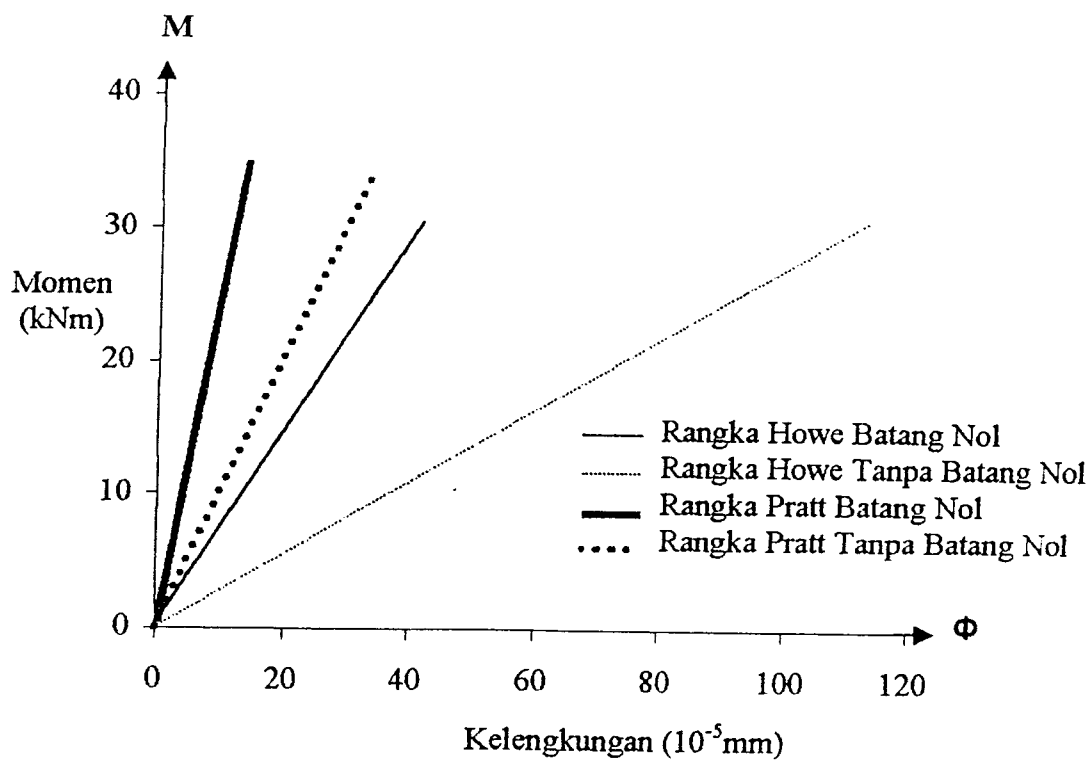


**Gambar 5.18.** Regresi hasil penelitian vs numeris SAP90 momen kelengkungan rangka Pratt tanpa batang nol

#### 5.4. Pengaruh Batang Nol Terhadap Momen Kelengkungan

Grafik hubungan momen dengan kelengkungan pun menunjukkan hal yang sesuai dari keberadaan batang nol, dimana  $\text{tg}\theta = k = \frac{M}{\phi}$  yang berarti semakin besar kelengkungan yang terjadi maka kekakuan pada rangka batang tersebut akan semakin kecil.

Gambar 5.19 menunjukkan analisis rangka batang dari konfigurasi Howe dan Pratt.



Gambar 5.19. Keberadaan batang nol terhadap momen kelengkungan

### a. Analisis Rangka Howe Hasil Pengujian

Seperti halnya yang terjadi pada grafik beban dan lendutan, pada grafik momen dan kelengkungan menunjukkan bahwa penggunaan batang nol berpengaruh pada kekakuan rangka batang.

#### a. Rangka Howe menggunakan batang nol

$$M \text{ maksimal} = 38 \text{ kNm} ; \Phi \text{ maksimal} = 44,32133 \cdot 10^{-5} / \text{mm}$$

$$\text{tg} \theta = k = \frac{M}{\Phi}$$

$$\text{tg} \theta = k = \frac{38000}{44,32133 \cdot 10^{-5}} = 85737499,3 \text{ kNmm}^2$$

$$\theta = \text{arctg} 85737499,3 = 89,999999^\circ$$

#### b. Rangka Howe tanpa batang nol

$$M \text{ maksimal} = 28,5 \text{ kNm} ; \Phi \text{ maksimal} = 116,3435 \cdot 10^{-5} / \text{mm}$$

$$\text{tg} \theta = k = \frac{M}{\Phi}$$

$$\text{tg} \theta = k = \frac{28500}{116,3435 \cdot 10^{-5}} = 24496437,06 \text{ kNmm}^2$$

$$\theta = \text{arctg} 24496437,06 = 89,999998^\circ$$

### b. Analisis Rangka Pratt Hasil Pengujian

Pada rangka Pratt, grafik perbandingan momen dan lendutan antara rangka yang menggunakan batang nol dan yang tidak memperlihatkan perbedaan yang besar seperti pada Gambar 5.19.

#### a. Rangka Pratt menggunakan batang nol

M maksimal = 34,2 kNm ;  $\Phi$  maksimal =  $13,1856 \cdot 10^{-5}/\text{mm}$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{M}{\Phi}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{34200}{13,1856 \cdot 10^{-5}} = 259373862,4 \text{ kNmm}^2$$

$$\theta = \text{arctg}259373862,4 = 89,99999978^\circ$$

b. Rangka Pratt tanpa batang nol

M maksimal = 34,2 kNm ;  $\Phi$  maksimal =  $31,46814 \cdot 10^{-5}/\text{mm}$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{M}{\Phi}$$

$$\text{tg}\theta = k = \frac{34200}{31,46814 \cdot 10^{-5}} = 108681352 \text{ kNmm}^2$$

$$\theta = \text{arctg}108681352 = 89,99999947^\circ$$

c. Perbandingan Rangka Howe dan Pratt Hasil Pengujian

Ternyata dari Gambar 5.19 menunjukkan hasil yang sama, dimana ternyata rangka Pratt lebih kaku dari rangka Howe.

a. Menggunakan batang nol

- Rangka Howe =  $M/\Phi = 0,727$

- Rangka Pratt =  $M/\Phi = 2,7104$

$$\frac{(2,7104 - 0,727)}{2,7104} \times 100\% = 73,18\%, \text{ dimana dari momen kelengkungan didapat}$$

rangka Pratt 73,18 % lebih baik dari rangka Howe.

b. Tanpa batang nol

- Rangka Howe = 0,273

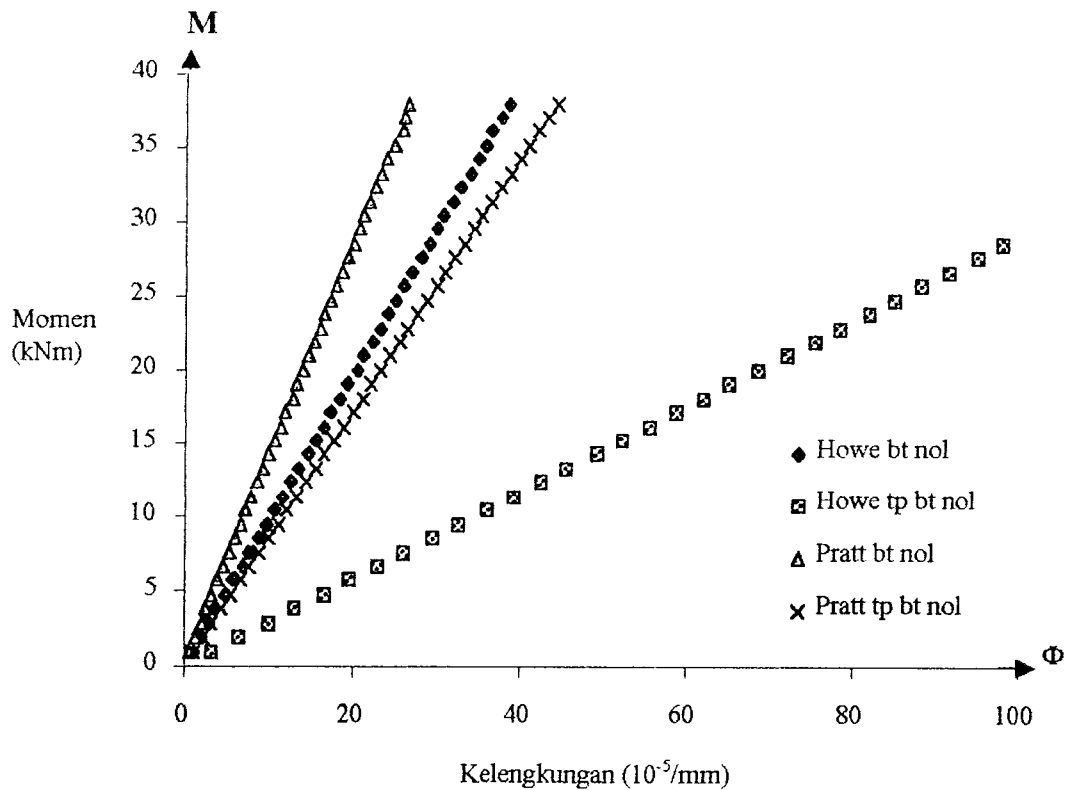
- Rangka Pratt = 1,0096

$$\frac{(1,0096 - 0,273)}{1,0096} \times 100\% = 72,96\%, \text{ dari konfigurasi rangka batang tanpa batang}$$

nol ternyata rangka Pratt 72,96 % lebih baik dari rangka Howe.

#### d. Hasil Analisis

Hasil analisis menggunakan program SAP90 ditunjukkan dengan Gambar 5.20.



**Gambar 5.20.** Keberadaan batang nol terhadap momen kelengkungan dengan numeris SAP90

### 5.5. Pembahasan

Dalam penelitian ini, beban yang dicapai tidak sesuai dengan yang diharapkan ( $\pm 6,2$  ton). Hal ini bila dilihat dari grafik tergambar bahwa grafik yang dihasilkan hanya berbentuk garis linier yang berarti bahwa rangka batang tersebut berada pada daerah plastis tanpa mengalami keadaan elastis. Elemen tekannya mengalami *premature buckling* yang menyebabkan penelitian ini tidak dapat dicermati dengan baik. Penyebab tekuk lokal adalah perbandingan antara lebar dan tebal profil tidak memenuhi syarat, dimana profil yang di uji memiliki lebar 36 mm dan tebal 2,5 mm, sehingga nilai  $b/t$  adalah sebagai berikut.

$$\frac{b}{t} > \frac{170}{\sqrt{F_y}} \quad (Mpa)$$

$$\text{dengan: } \frac{b}{t} = \frac{36}{2,5} = 14,4$$

$$\frac{170}{\sqrt{F_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,9$$

❖ Jadi  $14,4 > 10,9 \Rightarrow$  merupakan penampang tidak kompak

Profil dengan penampang yang tidak kompak inilah yang menyebabkan terjadinya *premature buckling* pada rangka batang yang diuji.

Selain terjadi *premature buckling*, rasio kerampingan pada rangka batang tanpa batang nol tidak memenuhi syarat.

$$\text{Syarat } \frac{L}{r} = \frac{L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \leq 240$$

$$\frac{190}{\sqrt{\frac{0,78}{3,08}}} = 377,56 > 240 \quad ; \quad \text{tidak memenuhi syarat}$$

Sedangkan *Hukum Hooke* ( $\Delta L = \frac{PL}{AE}$ ) membuktikan grafik kekakuan rangka

batang yang terjadi, bahwa dengan beban yang sama tetapi panjang elemen berbeda maka lendutan yang terjadi akan berbeda. Semakin panjang batang (ini terjadi pada rangka batang tanpa batang nol) maka lendutan yang terjadi semakin besar. Dari rumus ini pun terlihat bahwa pada rangka batang tanpa batang nol, memiliki luasan yang lebih kecil dibandingkan dengan yang menggunakan batang nol sehingga lendutan yang terjadi tentu akan lebih besar.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Demi kelanjutan penelitian sejenis dimasa yang akan datang, diambil beberapa kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

#### 6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, membuktikan bahwa kekakuan rangka batang (truss) yang menggunakan batang nol lebih besar daripada rangka batang tanpa batang nol. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

1. pada elemen tekan, profil yang diuji memiliki penampang yang tidak kompak sehingga terjadi *premature buckling*, dan
2. rasio kerampingan yang merupakan kriteria kekakuan untuk rangka batang tanpa batang nol tidak terpenuhi dikarenakan elemen tariknya bertambah panjang dengan dihilangkannya batang nol.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah penelitian ini tidak dapat dicermati secara baik karena beban yang dicapai belum mencapai beban yang direncanakan. Penyebabnya adalah terjadi *premature buckling* pada salah satu elemen batang tekan sehingga tentunya mempengaruhi kelengkungan yang merupakan pokok penelitian.

## 6.2. Saran

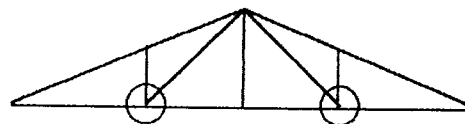
Walaupun penelitian ini memiliki kesesuaian antara hipotesis dan kenyataan, masih diperlukan penyempurnaan antara lain:

1. penggunaan profil harus sesuai dengan perencanaan. Hal ini bertujuan agar beban maksimum yang telah direncanakan dapat dicapai dan hasil penelitian dapat optimal pula,
2. pengaku yang digunakan diusahakan benar-benar kaku agar rangka batang yang diuji tidak bergerak kekanan atau kekiri yang dapat menyebabkan terjadinya *buckling* pada baja,
3. karena benda uji dibuat oleh tukang, maka pada saat pembuatan sebaiknya diawasi dengan baik sehingga tidak terjadi kesalahan,
4. pada saat pengujian perlu diperhatikan kecermatan dalam pembacaan beban serta ketelitian pembacaan dial, serta
5. untuk analisis dengan SAP90 pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dibandingkan joint (pada elemen tarik bagian bawah atau terlihat pada gambar tepat pada bagian yang dilingkari) di lapangan dengan analisisnya yaitu;

a. dianggap sendi,

b. dianggap jepit penuh, dan

c. dianggap jepit pada batang horizontal serta sendi pada batang tegak lurs dan diagonal.



## DAFTAR PUSTAKA

- AISC, (1986), *Load and Resistance Factor Design*, AISC, The United State of America
- Bowles, J. E., (1985), *Disain Baja Konstruksi*, Erlangga, Jakarta
- DPU, (1987), *Pedoman Perencanaan Bangunan Baja Untuk Gedung*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta
- Fatkhurrohman N., (1991), *Salah Satu Alternatif Untuk Memprediksi Kuat Tekan Batang Tersusun Yang Dihubungkan Dengan Batang-batang Diagonal*, Seminar Mekanika Bahan Untuk Mendukung Perkembangan Industri Di Indonesia, Yogyakarta.
- Gunawan, R.,(1987), *Tabel Profil Konstruksi Baja*, dengan petunjuk Morisco, Kanisius, Jakarta
- Hariandja, B., (1996), *Analisis Sistem Struktur Bentuk Rangka*, Erlangga, Jakarta
- Hibbeler, R.C, (1997), *Mekanika Teknik Statika*, alih bahasa oleh Yaziz Hasan, PT. Victory Jaya Abadi, Yogyakarta
- Hsieh, Yuan-Yu, (1985), *Teori Dasar Struktur*, Edisi Kedua, diterjemahkan oleh Suryadi, Erlangga, Jakarta

- McComac, J.C, (1975), *Structural Analisis*, Third Edition, Harper & Row Publishers, New York
- Meyer, C., dan M.S.L. Roufael, (1983), *Analysis Of Damaged Concrete Frames For Cyclic Loads*, John Wiley And Sons, Inc
- Padosbajayo, (1991), *Bahan Kuliah Pengetahuan Dasar Struktur Baja*, PT. Nafiri, Yogyakarta
- Popov, E.P, (1984), *Mekanika Teknik*, diterjemahkan oleh Zainal Astamar, Erlangga, Jakarta
- Salmon, C.G dan J.E. Johnson, (1992), *Disain dan Perilaku Struktur Baja*, Edisi kedua, Jilid I, Erlangga, Jakarta
- Schodek, D. L, (1991), *Struktur*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta
- Singer, F.L, dan A. Pytel, (1985), *Kekuatan Bahan*, diterjemahkan oleh Darwin Sebayang, Erlangga, Jakarta
- Spiegel, L, dan G.F. Limbrunner, (1991), *Desain Baja Struktural Terapan*, Eresco, Bandung
- Sukraningrum, A. dan S.S. Pertiwi, (1998), *Studi Komparasi Terhadap Struktur Rangka Atap Baja Dengan Pemodelan Rangka Batang dan Portal*, Yogyakarta
- Susastrawan, (1991), *Analisis Struktur Dengan Cara Matrik*, Edisi Pertama, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta

Wang, Chu-Kia, (1985), *Pengantar Analisis Struktur Dengan Cara Matriks*,  
Erlangga, Jakarta

Wang, Chu-Kia, (1987), *Analisis Struktur Lanjutan*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta

Wang, Chu-Kia, (1991), *Struktur Statis tak tentu*, Erlangga, Jakarta

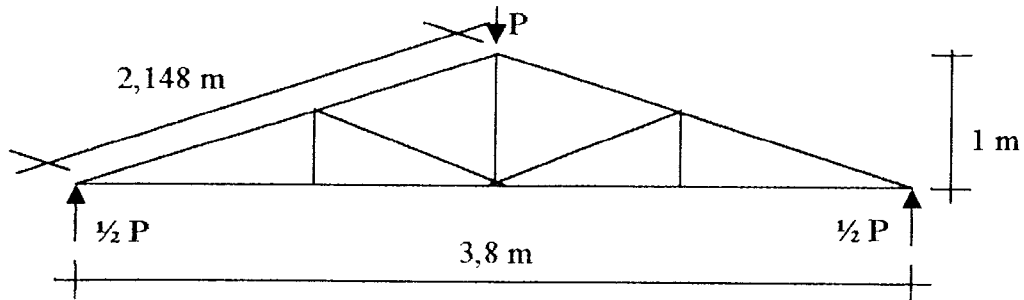
William Jr., W., dan J.M. Gere, (1986), *Analisa Matriks Untuk Struktur Rangka*,  
Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta

# LAMPIRAN

## RENCANA PENELITIAN

Profil 40x40x4

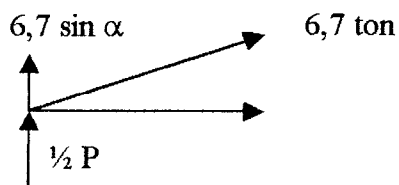
### ➤ Beban rencana



$$P = \frac{\Pi^2 EI}{L^2} \frac{l}{\left[ 1 + \frac{\beta \Pi^2 EI}{AG L^2} \right]}$$

$$P = \frac{\Pi^2 (2,1 \cdot 10^6) (3,72)}{107,4^2} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{2 \Pi^2 (2,1 \cdot 10^6) (3,72)}{(6,16) (7,85 \cdot 10^5) 107,4^2} \right]}$$

$$= 6665 \text{ kg} \approx 6,7 \text{ ton}$$



$$\begin{aligned} \text{arc } \text{tg} \alpha &= \frac{1}{1,9} \\ \alpha &= 27,76^\circ \end{aligned}$$

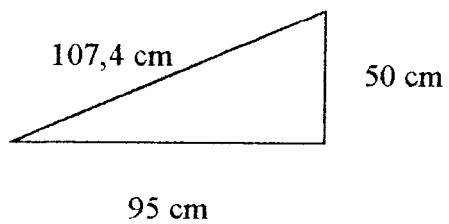
$$6,7 \sin \alpha + \frac{1}{2} P = 0$$

$$P = 2 \times 6,7 \sin \alpha \approx 6,2 \text{ ton}$$

➤ Pelat Kopel

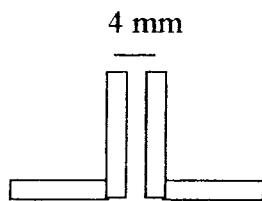
$$\lambda_1 \leq 50 \quad ; \quad \frac{L}{i} \leq 50 \longrightarrow L \leq 50 \times 0,78$$

$$L \leq 39 \text{ cm}$$



$$L = \frac{107,4}{3} = 35,8 \text{ cm}$$

$$35,8 \text{ cm} \leq 39 \text{ cm}$$



L40x40x4

$$e = 1,12 \text{ cm} = 11,2 \text{ mm}$$

$$I_{\eta} = 1,86 \text{ cm}^4 = 18,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

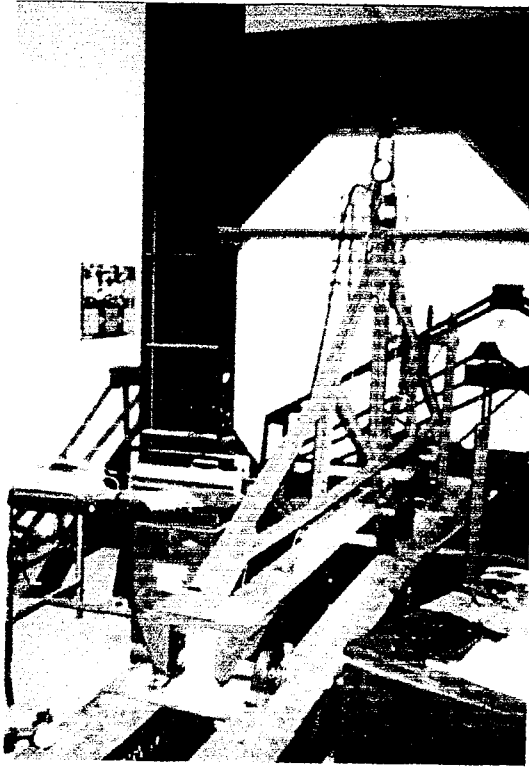
$$a = 2 \cdot (2 + 11,2) = 26,4 \text{ mm}$$

$$\frac{I_p}{a} \geq 10 \frac{I_l}{Ll}$$

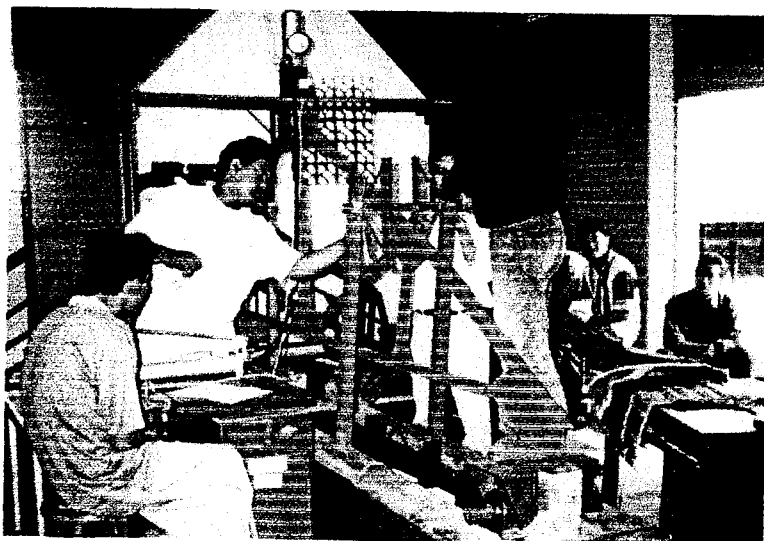
$$\frac{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot h^3}{26,4} \geq 10 \frac{18,6 \cdot 10^4}{358}$$

$$h \geq 69 \text{ mm}$$

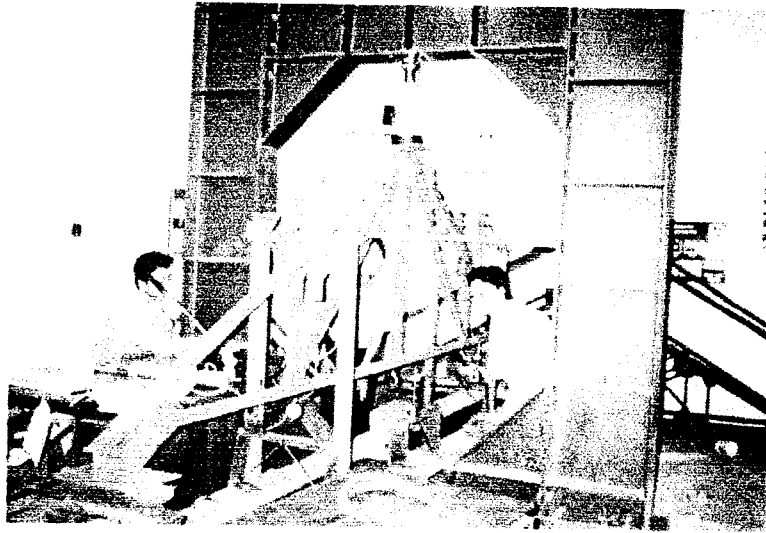




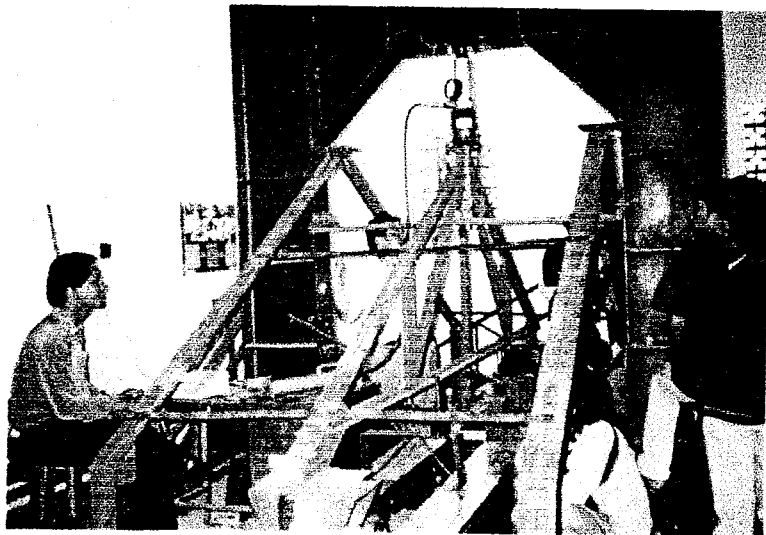
Gambar 1: Foto setting benda uji



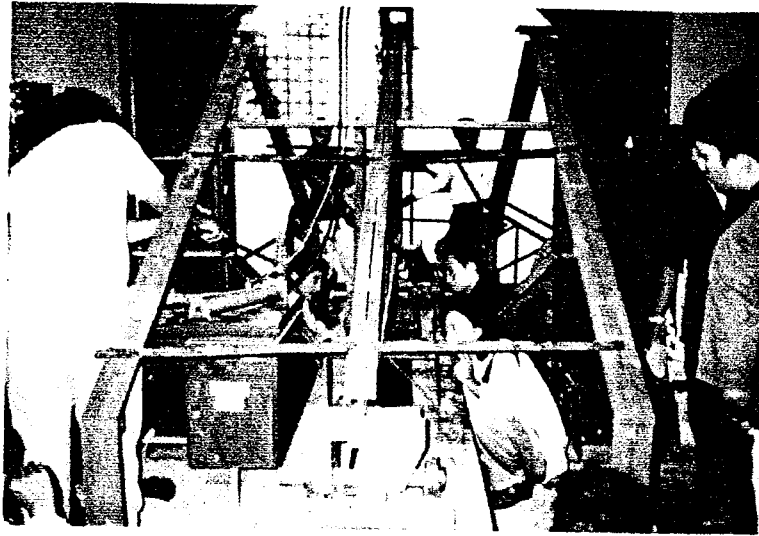
Gambar 2 : Foto pemasangan bracing



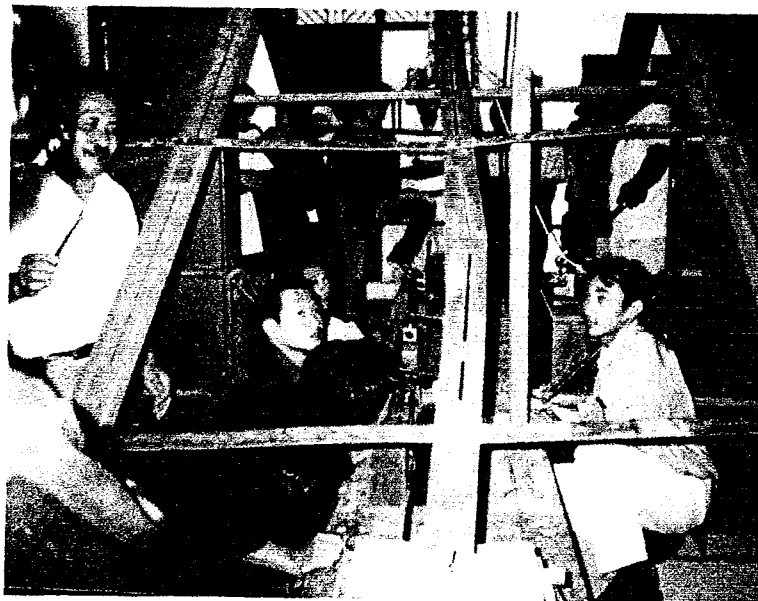
Gambar 3 : Foto mengontrol dial guide



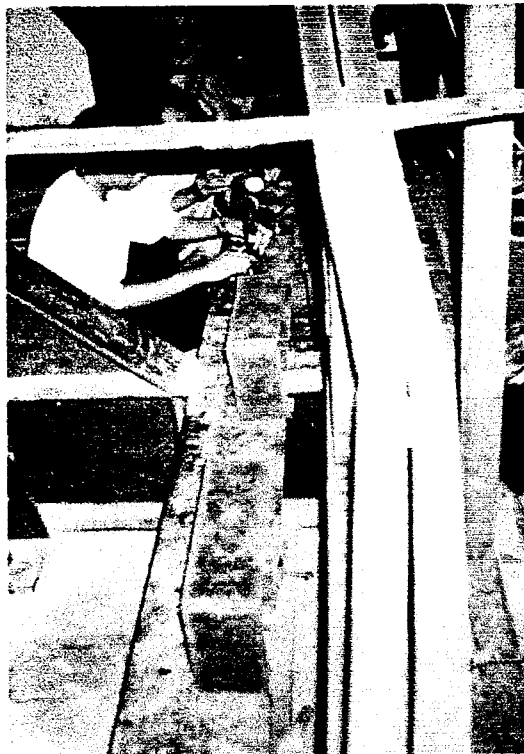
Gambar 4 : Foto pengarahannya sebelum pengujian dilaksanakan



Gambar 5 : Foto pada saat pengujian dilaksanakan



Gambar 6 : Foto penjelasan hasil pengujian



Gambar 7 : Foto detail hasil pengujian

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO.	NAMA	NO. MHS.	BID. STUDI
1	DWI HARTIANDY	95 310 080	STRUKTUR
2	M. ALDEST ARINDRA	95 310 101	STRUKTUR

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

*PENGARUH BATANG NOH TERHADAP KEKAPAN RUM KUDA- KUDA RANGKA BATANG (PROFIL SIKU).*

**PERIODE II : DESEMBER - MEI  
TAHUN : 2000 / 2001**

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Des.	Jan.	Feb.	Maret.	April.	Mei.
1.	Pendaftaran	█					
2.	Penentuan Dosen Pembimbing	█					
3.	Pembuatan Proposal		█				
4.	Seminar Proposal		█				
5.	Konsultasi Penyusunan TA.			█	█	█	█
6.	Sidang Sidang					█	█
7.	Pendadaran.						█

DOSEN PEMBIMBING I  
DOSEN PEMBIMBING II

IR. H. SARWIDI, MSc, Ph.D  
IR. FAIKHURROHMAN N, MT



Yogyakarta, 03 Februari 2001  
Dekan.

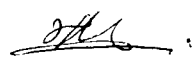
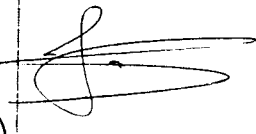






*[Handwritten Signature]*

IR. H. TADJUDDIN BM ARIS, MS

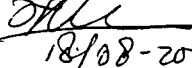
**Catatan :**

Seminar : .....  
Sidang : .....  
Pendadaran : .....


## CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO.	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
		Usahakan seminar proposal tgl. 13 & 17 Feb. 2007.	
I	26/02/2007	-> presentasi ppt lebih, hasil revisi	
II	23/02/2007	-> <sup>kegiatan?</sup> lebih representatif - lebih presentasi lebih awal - kecerdasan vs ketajaman (raf)	
III	10/05/2007	publikasi ppt lebih, kecerdasan Evaluasi ahli + SAP 90	
IV	14/05/2007	Dokter publikasi + Gambar.	
V	28/05/2007	publikasi diujutakan sesuai di team yg lebih mendalam Ply lampiran lebih lebih kemudian buat hasil penelitian venero sap 90 dan sama kondisinya kontennya	
		Semua gambar disubot dalam uraian	
		Perbaikan pasca sidang diujutakan selesai lanjut kem ke DPE	
VI		Siapkan untuk sidang selesai ada lampiran lebih dan lanjut	 20/07/2007

Perbaikan pasca sidang diujutakan selesai.

  
18/08-2007

Perbaikan pasca pendadaran diujutakan selesai, selanjutnya menghadapi Bp DPE

  
04/9-2007

VI/11