

| | |
|------------------------------|------------------|
| PERPUSTAKAAN FTSP UII | |
| HADIAH/BELI | |
| TGL. TERIMA : | 30 Desember 2005 |
| NO. JUDUL : | 001604 |
| NO. INV. : | 512 0001604 001 |
| NO. INDUK : | |

TUGAS AKHIR

**PERILAKU LENTUR KUDA-KUDA RANGKA BATANG
PROFIL LIPPED CHANNEL BENTUKAN DINGIN**



L
69
RUC
P
A

✓

Disusun Oleh :

Nama : **MUSLIHUDIN**

No. Mhs : 99 511 083

Nama : **IBNU HAJAR**

No. Mhs : 99 511 376

100-22

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2005**

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)

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

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya hingga penyusun dapat melaksanakan serta menyusun laporan Tugas Akhir ini dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat menempuh jenjang pendidikan Strata Satu (S-1) pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam menyusun laporan, sebelumnya penyusun telah melakukan pengujian pada Laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama melaksanakan dan menyusun laporan Tugas Akhir, penyusun mendapatkan banyak bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. H. M. Samsudin, MT., selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman N., MT., selaku Dosen Pembimbing II,
3. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,

4. Bapak Ir. H. Munadhir, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
5. Ayah dan Ibunda Tercinta, yang selalu berdoa untuk keberhasilan penyusun, hingga sampai pada penghujung studi ini, dan
6. Rekan-rekan yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan kepada penyusun, serta semua pihak yang telah banyak membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini, yang tidak mungkin penyusun sebutkan satu persatu.

Atas segala budi dan amal baik yang telah diberikan, penyusun hanya dapat memanjatkan do'a, semoga segala amal dan kebajikannya mendapatkan imbalan yang setimpal dari Allah SWT, Amien.

Penyusun menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini belum dapat dikatakan sempurna karena masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penyusun mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Penyusun berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu ' alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Maret 2005

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| MOTTO | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| DAFTAR NOTASI | xiv |
| INTISARI | xvi |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.3. Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.4. Batasan Masalah | 3 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| BAB III. LANDASAN TEORI | 8 |
| 3.1. Kuda-kuda Rangka Batang | 8 |
| 3.2. Batang Tekan | 10 |
| 3.3. Tekuk Lokal | 12 |
| 3.4. Tekuk Total | 17 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5. Hubungan Beban-Lendutan | 20 |
| 3.6. Hubungan Momen-Kelengkungan | 22 |
| 3.7. Hipotesa | 24 |
| BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN | 25 |
| 4.1. Metodologi Penelitian | 25 |
| 4.2. Bahan dan Alat Yang Digunakan | 25 |
| 4.2.1 Bahan | 25 |
| 4.2.2. Peralatan Penelitian | 25 |
| 4.3. Pembuatan Benda Uji | 29 |
| 4.4. Pengujian Sampel | 30 |
| 4.4.1. Pengujian Kuat Tarik Baja | 30 |
| 4.4.2. Pengujian Tekan | 31 |
| 4.4.3. Pengujian Lentur | 31 |
| BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | 33 |
| 5.1. Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian | 33 |
| 5.2. Grafik Beban-Lendutan Hasil Analisa SAP | 43 |
| 5.3. Grafik Beban-Lendutan Hasil Pengujian dan Analisa SAP..... | 44 |
| 5.4. Pengaruh Bentuk Truss Beban-Lendutan | 45 |
| 5.4.1. Analisis Truss Hasil Pengujian | 46 |
| 5.4.2. Perbandingan Truss Hasil Pengujian | 47 |
| 5.5. Hubungan Momen Kelengkungan hasil Pengujian | |
| 5.6. Pengaruh Truss Terhadap Momen Kelengkungan | 55 |

| | |
|---|-----------|
| 5.6.1. Analisis Trus Hasil Pengujian | 56 |
| 5.6.2. Perbandingan Truss Hasil Pengujian | 57 |
| 5.7. Tinjauan Analitis | 58 |
| 5.7.1. Analisa Pengujian Tekuk Total | 58 |
| 5.7.2. Analisa Pengujian Tekuk Lokal | 60 |
| 5.8. Pembahasan | 62 |
| BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN | 64 |
| 6.1. Kesimpulan | 64 |
| 6.2. Saran | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA | 66 |
| LAMPIRAN | 67 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|--------------------|---|----|
| Tabel 5.1. | Hubungan Beban dan Lendutan Fink Truss | 34 |
| Tabel 5.2. | Hubungan Beban dan Lendutan Pratt Truss | 37 |
| Tabel 5.3. | Hubungan Beban dan Lendutan Howe Truss | 40 |
| Tabel 5.4. | Hubungan Momen-Kelengkungan Fink Truss | 48 |
| Tabel 5.5. | Hubungan Momen-Kelengkungan Pratt Truss | 51 |
| Tabel 5.6. | Hubungan Momen-Kelengkungan Howe Truss | 53 |
| Tabel 5.7. | Kekuatan Batang Tekan Struktur Fink Truss | 61 |
| Tabel 5.8. | Kekuatan Batang Tarik Struktur Fink Truss | 61 |
| Tabel 5.9. | Kekuatan Batang Tekan Struktur Pratt Truss | 61 |
| Tabel 5.10. | Kekuatan Batang Tarik Struktur Pratt Truss | 62 |
| Tabel 5.11. | Kekuatan Batang Tekan Struktur Howe Truss | 62 |
| Tabel 5.12. | Kekuatan Batang Tarik Struktur Howe Truss | 62 |
| Tabel 5.13. | Beban maksimum dan lendutan yang terjadi pada masing-masing rangka batang | 63 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 3.1. | Pratt Truss | 8 |
| Gambar 3.2. | Howe Truss | 8 |
| Gambar 3.3. | Fink Truss | 9 |
| Gambar 3.4. | Batang Tertekan | 11 |
| Gambar 3.5. | Elemen rangka kuda-kuda mengalami gaya aksial tekan dan tarik | 11 |
| Gambar 3.6. | Profil bentukan dingin | 12 |
| Gambar 3.7. | Profil Lipped Channel | 13 |
| Gambar 3.8. | Tekuk lokal pada sayap (jepit-bebas) | 14 |
| Gambar 3.9. | Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar | 14 |
| Gambar 3.10. | Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang penampang I | 16 |
| Gambar 3.11. | Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang kotak | 16 |
| Gambar 3.12. | Kekuatan pelat untuk elemen tekan yang tidak diperkuat dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas | 18 |
| Gambar 3.13. | Grafik Hubungan KL/r Dengan F_a di beberapa Negara (Lambert Tall, 1974) | 20 |
| Gambar 3.14. | Lendutan Balok | 20 |
| Gambar 3.15. | Diagram Momen | 21 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| Gambar 3.16. | Grafik Hubungan Beban (P)-Lendutan (Δ) | 21 |
| Gambar 3.17. | Rangka kuda-kuda yang diberi beban aksial (P) sehingga terjadi lendutan (Y_i) | 22 |
| Gambar 3.18. | Hubungan antara beban (P) dan lendutan (Y) | 22 |
| Gambar 3.19. | Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ) | 24 |
| Gambar 4.1. | Universal Testing Material Shimatzu UMH30 | 26 |
| Gambar 4.2. | Dukungan Sendi Dan Rol | 26 |
| Gambar 4.3. | Bentuk Fisik Loading Frame | 27 |
| Gambar 4.4. | Dial | 28 |
| Gambar 4.5. | Hidraulic Jack | 28 |
| Gambar 4.6. | Benda Uji Kuat Tarik Baja | 29 |
| Gambar 4.7. | Benda Uji Kuat Tekan Profil Lipped Channel | 29 |
| Gambar 4.8. | Benda Uji Kuda-kuda rangka batang | 30 |
| Gambar 4.9. | Pengujian Kuda-kuda dengan perletakan dial gauge dan beban | 32 |
| Gambar 5.1. | Hubungan Beban-Lendutan Fink Truss | 35 |
| Gambar 5.2. | Regresi Hubungan Beban Lendutan Fink Truss | 36 |
| Gambar 5.3. | Hubungan Beban-Lendutan Pratt Truss | 38 |
| Gambar 5.4. | Regresi Hubungan Beban Lendutan Pratt Truss | 39 |
| Gambar 5.5. | Hubungan Beban-Lendutan Howe Truss | 41 |
| Gambar 5.6. | Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe Truss | 42 |
| Gambar 5.7. | Hubungan Beban-Lendutan Analisa SAP | 43 |
| Gambar 5.8. | Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian dan Analisa | |

| | | |
|---------------------|---|----|
| | SAP | 44 |
| Gambar 5.9. | Keberadaan bentuk rangka batang terhadap momen kelengkungan | 45 |
| Gambar 5.10. | Hubungan Momen Kelengkungan Fink Truss | 50 |
| Gambar 5.11. | Hubungan Momen Kelengkungan Pratt Truss | 52 |
| Gambar 5.12. | Hubungan Momen Kelengkungan Howe Truss | 54 |
| Gambar 5.14. | Keberadaan bentuk rangka batang terhadap momen kelengkungan | 55 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 = Lembar Konsultasi

Lampiran 2 = Hasil Uji Bahan

Lampiran 3 = Data Pengujian

Lampiran 4 = Perhitungan Tegangan Kritis

Lampiran 5 = Data SAP 2000

Lampiran 6 = Gambar

DAFTAR NOTASI

| | | |
|----------|---|--|
| A | = | Luas penampang |
| A_{ef} | = | Luas efektif |
| A_b | = | Luas bruto |
| b | = | Lebar sayap |
| C_c | = | Kelangsingan batas |
| d | = | Panjang bibir |
| E | = | Modulus elastis |
| f | = | Tegangan yang bekerja pada elemen |
| F_{cr} | = | Tegangan kritis |
| F_y | = | Tegangan leleh |
| h | = | Tinggi badan profil |
| I | = | Inersia profil |
| K | = | Faktor panjang tekuk |
| k | = | Koefisien tekuk pelat |
| L | = | Panjang bentang |
| L_k | = | Panjang tekuk |
| P | = | Beban |
| P_{kr} | = | Beban kritis |
| Q | = | Faktor bentuk |
| Q_a | = | Faktor bentuk elemen tekan diperkuat |
| Q_s | = | Faktor bentuk elemen tekan tidak diperkuat |

r = Jari-jari inersia

t = Tebal profil

λ = kelangsingan

μ = Angka poisson

INTISARI

Kuda-kuda rangka batang (*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. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) membandingkan kekuatan kuda-kuda rangka Howe, Pratt, dan Fink, (2) mendapatkan diagram beban-deformasi kuda-kuda rangka Howe, Pratt dan Fink serta membandingkan kekakuan ketiga rangka tersebut, (3) mendapatkan diagram momen-kelengkungan setiap kuda-kuda (Howe, Pratt, dan Fink).

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

Pada penelitian eksperimental ini menggunakan 3 variasi bentuk kuda-kuda rangka batang dengan profil yang sama yaitu 76x44x11 dan tebal profil 1 mm, bentang 6 m, dan sudut kemiringan 22° .

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan dapat diketahui bahwa kekuatan benda uji (Fink Truss = 9,9 kN, Howe Truss = 9,8 kN, Pratt Truss = 9 kN) dan kekakuan benda uji pada pembebanan 9 KN (Fink Truss = 0,64 kN mm, Pratt Truss = 0,73 kN mm, Howe Truss = 0,83 kN mm), sehingga perbandingan kekakuan Fink Truss, Pratt Truss dan Howe Truss adalah 29,09%, 33,18%, dan 37,73%.

Hasil eksperimental menunjukkan bahwa konfigurasi batang dinding berpengaruh pada kekakuan struktur rangka batang. Hal ini menunjukkan bahwa salah satu model mempunyai kekakuan yang lebih baik atau mempunyai kekakuan yang lebih besar dari model yang lain, sehingga dalam penelitian ini disimpulkan bahwa, dari ke-3 model benda uji, yaitu rangka batang Howe mempunyai kekakuan yang lebih besar dari rangka batang Pratt dan Fink.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan baja bentukan dingin (*cold form*) sebagai komponen struktur rangka atap (kuda-kuda) masih terbatas hanya untuk kuda-kuda bentang pendek atau kuda-kuda yang memikul beban ringan. Salah satu penyebab keterbatasan penggunaan baja bentukan dingin adalah ukuran penampangnya yang terbatas, selain itu di Indonesia informasi tentang sifat-sifat penampang baja bentukan dingin masih sedikit. Paling sedikit ada tiga bentuk dasar struktur rangka atap dari baja bentukan dingin yang umum digunakan, yaitu: (a) rangka Howe, (b) rangka Pratt, dan (c) rangka Fink. Analisis struktur rangka tersebut di atas biasanya dilaksanakan dengan menganggap joint-joint rangka berupa sendi sehingga setiap komponen rangka dianggap hanya memikul gaya aksial (tarik atau tekan). Kenyataan joint-joint rangka berupa sambungan baut, tentu saja sifat sambungan baut tidak sama dengan sifat sendi yang digunakan dalam analisis. Perbedaan asumsi dalam analisis dengan struktur nyata dapat mengakibatkan perbedaan dalam hal:

- (1). gaya yang bekerja pada komponen rangka tidak sesuai dengan kenyataan, berdasarkan hasil analisis komponen rangka memikul gaya aksial, kenyataan komponen rangka memikul kombinasi gaya aksial dengan momen.

(2). panjang efektif komponen tekan dalam analisis berbeda dengan panjang efektif dalam struktur nyata.

Perbedaan hasil analisis dengan kenyataan mengakibatkan perbedaan sifat struktur dalam analisis dengan sifat struktur nyata, perbedaan tersebut menarik diteliti.

Baja penampang C bentukan dingin termasuk penampang langsing karena elemen-elemennya mempunyai rasio kelangsingan cukup besar. Kondisi batas kekuatan penampang langsing dibatasi oleh instabilitas (tekuk) terutama tekuk lokal (*local buckling*) yang terjadi pada tegangan rendah di bawah tegangan leleh. Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan tekuk (lokal) antara lain rasio kelangsingan elemen pelat (b/t) dan koefisien tekuk pelat (k). Koefisien tekuk pelat dipengaruhi oleh distribusi tegangan, kondisi tumpuan dan aspek rasio. Nilai koefisien tekuk elemen pelat yang memikul tekan bervariasi dari 0,425 hingga 4.

Kekuatan, kekakuan dan perilaku struktur rangka dari profil bentukan dingin dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain: konfigurasi komponen, bentuk dan ukuran penampang, kondisi joint, kondisi tumpuan dan panjang bentang. Penelitian eksperimental struktur rangka Howe, Pratt dan Fink perlu dilakukan guna memperoleh informasi tentang perilaku ke tiga struktur tersebut di atas, meliputi, kekuatan dan kekakuan.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam melaksanakan penelitian :

1. Membandingkan kekuatan kuda-kuda rangka Howe, Pratt, dan Fink.
2. Mendapatkan diagram beban-deformasi kuda-kuda rangka Howe, Pratt dan Fink serta membandingkan kekakuan ketiga rangka tersebut.
3. Mendapatkan diagram momen-kelengkungan setiap kuda-kuda (Howe, Pratt, dan Fink).

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian eksperimental ini diharapkan mendapat manfaat sebagai berikut :

1. Mendapatkan struktur yang paling kaku dari rangka kuda-kuda dengan bentuk Howe, Pratt, dan Fink.
2. Memberikan masukan bagi pembaca sebagai pengetahuan pemanfaatan baja tipis profil Lipped Channel bentukan dingin yang digunakan sebagai rangka kuda-kuda dan dapat digunakan dalam perencanaan bangunan konstruksi baja yang aman, murah dan ekonomis.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian struktur rangka atap menggunakan baja ringan di batasi pada masalah berikut:

1. struktur rangka atap baja ringan yang bentuk Howe, Pratt, dan Fink

2. bentang 6,00 m, tumpuan sederhana atau sendi-rol, kemiringan atap 22° .
3. rangka atap baja ringan memikul beban terpusat pada puncak.
4. pengamatan di laboratorium terbatas pada beban dan lendutan.
5. Profil yang digunakan dalam penelitian ini adalah profil Lipped Channel bentukan dingin 76x44x11 dengan tebal 1 mm.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kekakuan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya dengan peralihan dan diberi simbol k (*Robert D. Cook 1981*).

Suatu struktur dikatakan stabil bila struktur tersebut tidak mudah mengalami keruntuhan dan deformasi yang terjadi pada struktur akibat beban luar sangat kecil. Misal $1/500 \times$ bentang (*Badan Perencanaan dan Pengembangan Sipil Undip, 2000*).

Nilai k dipengaruhi oleh rasio a/b dan kondisi dari tepi-tepi pelat di mana semakin besar nilai a/b maka nilai k akan mendekati konstan. Tampak bila (b/t) kecil nilai k mendekati 0,425 untuk pelat yang tidak diperkuat, dalam hal ini nilai tersebut dimiliki oleh sayap dan nilai k untuk pelat yang diperkuat adalah 4, dalam hal ini dimiliki oleh badan. Dengan demikian tampak bahwa nilai k untuk pelat yang diperkuat naik sepuluh kali lipat dari nilai k untuk pelat yang tidak diperkuat (*Salmon dan Johson, 1990*).

Peristiwa tekuk pada komponen struktur dari pelat baja dapat terjadi dalam bentuk keseluruhan dan tekuk lokal (*local buckling*). Tekuk keseluruhan merupakan fungsi dari kelangsingan (KL/r). Tekuk setempat dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen penyusun penampang sebelum tegangan kritis terlampaui (*Salmon dan Johson, 1990*).

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 (*Chu-Kia Wang, 1985*).

Beberapa jenis rangka atap yang biasa dijumpai pada bangunan-bangunan gedung, diantaranya rangka Howe, Pratt, dan Fink (*Yuan-Yu Hsieh, 1985*).

Keruntuhan batang tekan dapat diklasifikasikan menjadi (1) keruntuhan akibat tegangan leleh bahan dilampui, terjadi pada batang tekan pendek (2) keruntuhan akibat tekuk, terjadi pada batang langsing (*Gideon Hadi Kusuma*).

Ada dua macam bentuk profil baja yang didasarkan cara pembuatannya, yaitu: *Hot rolled shapes* dan *Cold formed shapes*. *Hot rolled shapes* dibentuk dengan cara blok-blok baja yang panas diproses melalui rol-rol dalam pabrik. *Hot rolled shapes* ini mengandung tegangan residu (*residual stress*). Jadi sebelum batang dibebani sudah ada residual stress yang berasal dari pabrik. *Cold formed shapes* dibentuk dari pelat-pelat yang sudah jadi, menjadi profil baja dalam temperatur atmosfer (dalam keadaan dingin). Tebal pelat yang dibentuk menjadi profil di sini tebalnya kurang dari 3/16 inch. Profil macam ini ringan dan sering disebut sebagai *Light Gage Cold Form Steel* (*Oentoeng, 1999*).

Penampang lintang terbuka, dinding tipis, kolom baja bentukan dingin paling sedikit mempunyai tiga ragam gaya tekuk: tekuk lokal, dan tekuk Euler (lentur atau lentur-puntir). Amerika Utara secara spesifikasi didalam disain kolom baja bentukan dingin mengabaikan tekuk lokal interaksi dan tidak menyediakan suatu koreksi untuk tekuk distorsi. Prediksi tegangan tekuk pada bentuk tertutup

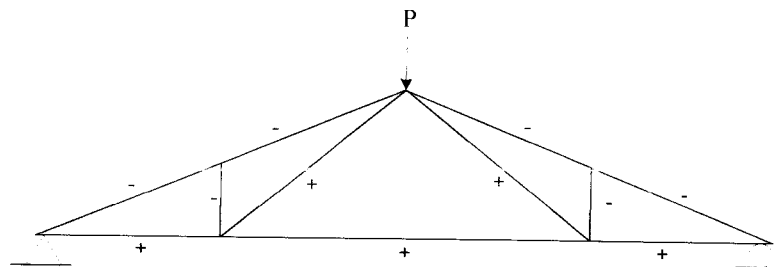
untuk gaya lokal, mencakup interaksi unsur-unsur yang dihubungkan dan gaya distorsi, mencakup pertimbangan elastis dan geometri kekakuan pada badan maupun sayap, disajikan dan ditunjukkan dengan metode numerik. Analisa numerik dan eksperimen menandai adanya kapasitas tekuk akhir di dalam gaya distorsi adalah lebih rendah dari gaya lokal. Eksperimen pada kanal bentukan dingin, z, dan kolom yang tersusun menandai adanya inkonsistensi dan kesalahan sistematis di dalam metoda disain dan memberikan pengesahan untuk metoda alternatif (*Schafer, 1997*).

BAB III
LANDASAN TEORI

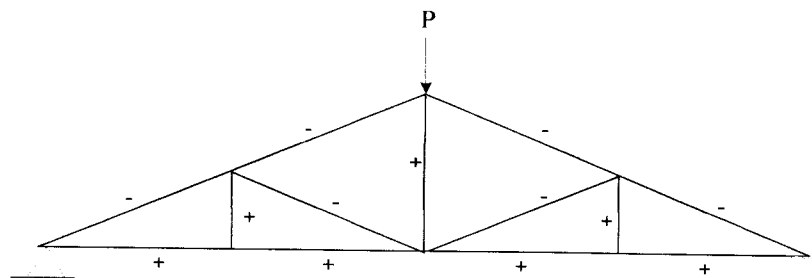
3.1 Kuda-kuda Rangka Batang

Kuda-kuda rangka batang (*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. (*Chu-Kia Wang, 1985*).

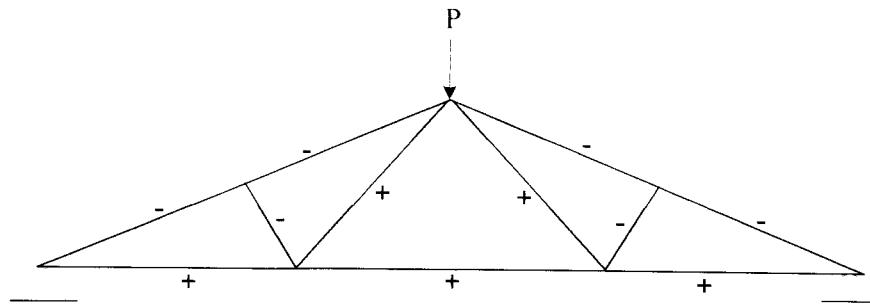
Bentuk dasar kuda-kuda rangka batang, yaitu rangka Pratt, Howe, dan Fink (*Hsieh, 1983*).



Gambar 3.1 Pratt Truss



Gambar 3.2 Howe Truss



Gambar 3.3 Fink Truss

Apabila pada joint puncak rangka batang diberi beban transversal sentris seperti terlihat pada Gambar 3.1, Gambar 3.2 dan Gambar 3.3, maka komponen batang akan menerima gaya aksial yaitu gaya tarik (+) dan gaya desak (-). Gaya yang bekerja pada masing-masing komponen berbeda, karena konfigurasi masing-masing rangka berbeda. Gaya aksial juga mengakibatkan deformasi aksial yang berupa perpendekan dan perpanjangan. Menurut hukum **Hooke** apabila suatu batang diberi gaya aksial maka batang tersebut akan mengalami perpendekan dan perpanjangan, dan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{P}{A} = \frac{E\Delta}{L} \quad (3.1)$$

dan deformasi suatu batang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\Delta = \frac{PL}{EA} \quad (3.2)$$

Persamaan ini memperlihatkan bahwa pemanjangan sebuah batang berbanding lurus dengan beban P dan panjang L , dan berbanding terbalik dengan modulus-elastisitas E dan luas penampang A . Hasil kali EA dikenal sebagai kekakuan aksial (*axial rigidity*) dari batang. Persamaan (3.2) juga dapat digunakan untuk batang yang mengalami tekan dimana Δ menyatakan perpendekan batang.

3.2 Batang Tarik

Batang tarik adalah batang yang mengalami tegangan tarik aksial akibat beban kerja pada ujung-ujung batang. Desain komponen tarik merupakan persoalan yang palind sederhana disbanding perencanaan struktur yang lain.

Meskipun stabilitas bukan merupakan criteria utama dalam mendesain batang tarik, namun batang tarik perlu dibatasi panjangnya untuk menjaga agar jangan terlalu fleksibel. Batang tarik yang terlalu panjang akan mempunyai lendutan yang besar sekali disebabkan oleh berat batang tarik itu sendiri. Terlebih lagi batang akan bergetar bila menahan gaya-gaya angin seperti pada rangka terbuka atau bila harus menahan alat-alat yang bergetar, seperti *fans* atau *compressors*. Ada criteria kekakuan, berdasarkan kelangsingan (*slenderness ratio*) L/r dari batang, dimana L = panjang batang dan r = jari-jari inersia.

Kelangsingan batang tarik menurut AISC (AASHO) ditunjukkan dalam tabel 3.1.

| Kelangsingan | L/r | |
|-----------------------------------|----------|-------|
| | AISC | AASHO |
| Untuk batang utama | 240 | 200 |
| Untuk bracing dan batang sekunder | 300 | 240 |
| Menurut PPBBI : | L/r maks | |
| Untuk batang utama | 240 | |
| Untuk batang sekunder | 300 | |

3.3 Batang Tekan

Ada 2 macam batang tekan, yaitu :

1. Batang tekan yang merupakan batang dari suatu rangka batang. Batang ini mengalami gaya tekan aksial searah panjang batang. Umumnya dalam suatu rangka (kuda-kuda), batang tepi atas merupakan batang tekan
2. Kolom, merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok-balok loteng, rangka atap, lintasan crane dalam bangunan pabrik dan sebagainya (*Oentoeng,1999*).

Keruntuhan batang tekan dapat dibedakan menjadi 2 kategori, kedua macam keruntuhan tersebut adalah :

1. Keruntuhan yang diakibatkan tegangan lelehnya terlampaui. Hal semacam ini terjadi pada batang tekan yang pendek (*stocky column*).
2. Keruntuhan yang diakibatkan terjadinya tekuk. Hal semacam ini terjadi pada batang tekan yang langsing (*slender column*).

Pada keruntuhan akibat tekuk ini, asalkan tegangan pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis, beban kritis dapat dihitung berdasarkan rumus Euler :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(Lk)^2} \quad (3.3)$$

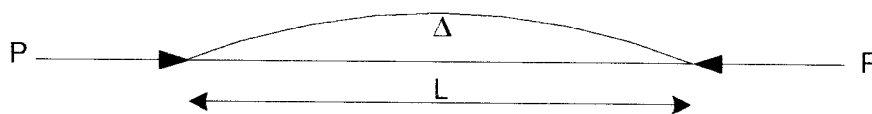
dengan E adalah modulus elastisitas baja, I adalah inersia bahan, dan Lk adalah panjang tekuk.

Kelangsingan elemen tekan tergantung dari jari-jari inersia (i) dan panjang tekuk (L_k).

Penampang simetris batang mempunyai 2 jari-jari inersia, maka akan terdapat 2 harga λ . Yang menentukan ialah harga λ yang terbesar (r yang terkecil). Panjang tekuk tergantung pada keadaan ujung-ujungnya, apakah sendi, jepit, atau bebas, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad (3.4)$$

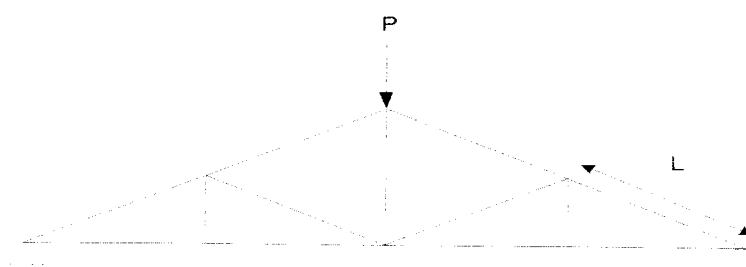
Dengan λ = rasio kerampingan, K = faktor panjang tekuk, r = jari-jari inersia



Gambar 3.4 Batang tertekan

L = panjang bentang, Δ = lendutan

Pada struktur kuda-kuda yang mendukung beban P , seperti Gambar 3.5 di bawah.

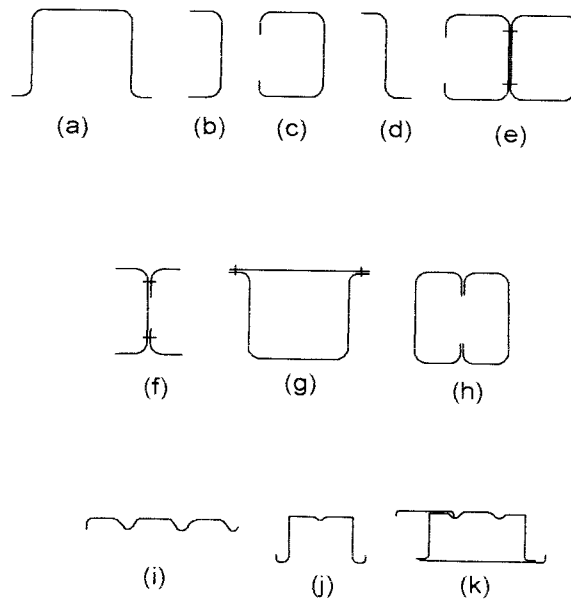


Gambar 3.5 Elemen rangka kuda-kuda mengalami gaya axial tekan dan tarik

Maka beban kritis akan terjadi pada batang tekan, dipakai rumus Euler (Persamaan 3.3).

Gambar 3.6 menunjukkan profil bentukan dingin ukuran ringan dapat dibedakan menjadi tiga kelompok (*Lambert Tall, 1974*), yaitu :

1. Bagian a sampai d, bentuk sederhana
2. Bagian e sampai h, bentuk penuh
3. Bagian i sampai k, bentuk panel atau dek.

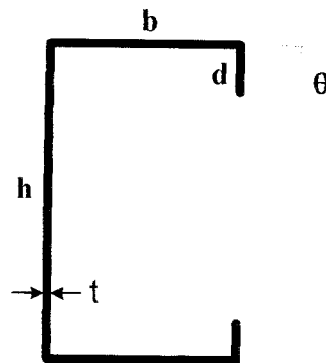


Gambar. 3.6 Profil bentukan dingin

3.4 Tekuk Lokal

Menurut **Lambert Tall (1974)**, tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung penambahan beban dengan kata lain efisiensi penampang berkurang. Keruntuhan akibat tekuk lokal ini terjadi pada batang yang langsing dimana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki oleh pelat jauh di bawah tegangan lelehnya (F_y).

Gambar 3.7 menunjukkan propertis dan dimensi suatu profil Lipped Channel.



Gambar 3.7 Profil Lipped Chanel

dengan h adalah tinggi badan, b = lebar sayap, d = panjang lip, θ = sudut lip (radians), t = tebal, E = modulus elastis ($2 \cdot 10^5$ Mpa), μ = rasio poisson (0,3).

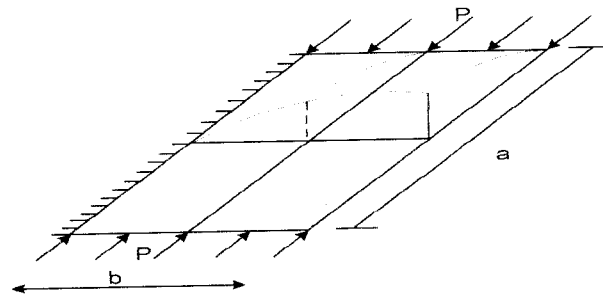
Tekuk lokal yang perlu ditinjau adalah stabilitas lentur plat. Menurut **Charles G. Salmon dan Johnson (1996)**, tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritis pelat yang tertekan dapat dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.5)$$

dengan : F_{cr} = tegangan kritis (Mpa), k adalah koefisien tekuk, $\pi = 3,14$, E adalah modulus elastisitas baja ($2 \cdot 10^5$ Mpa), μ adalah rasio poisson = 0,3, dan b/t adalah rasio lebar terhadap tebal pelat.

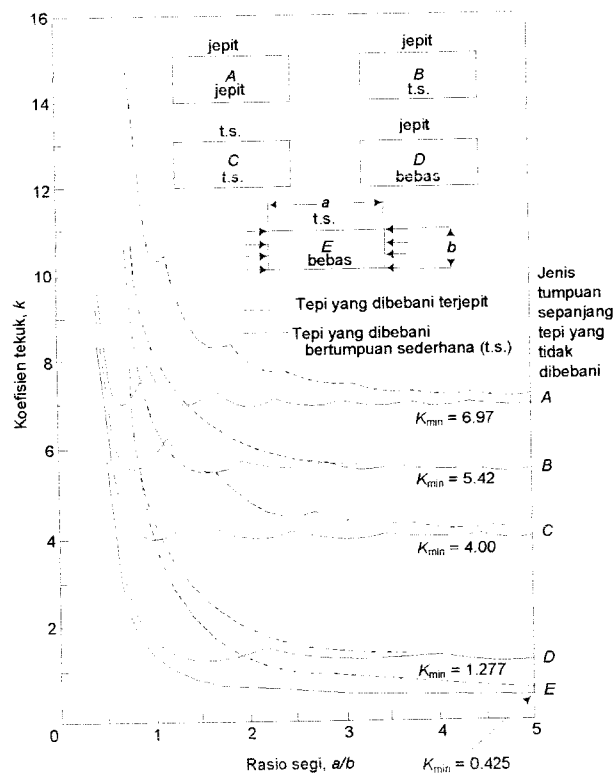
Dari persamaan (3.5) tampak bahwa nilai F_{cr} dipengaruhi oleh koefisien tekuk (k) dan rasio lebar terhadap tebal (b/t). semakin besar rasio b/t maka semakin kecil kekuatan pelat. Semakin besar nilai b/t maka semakin kecil kekuatan pelat, sehingga menyebabkan tekuk lokal baik pada sayap maupun badan.

Kerusakan akibat tekuk dapat dicegah dengan cara memperkecil rasio lebar terhadap tebal (b/t) dan meningkatkan koefisien tekuk (k).



Gambar 3.8 Tekuk lokal pada sayap (jepit-bebas)

Nilai k untuk kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 dan perbandingan a/b seperti Gambar 3.9 diperoleh $k = 0,425$. Tegangan kritis dipengaruhi nilai (b/t) apabila bernilai kecil maka F_{cr} akan meningkat.



Gambar 3.9 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar

(dikutip dari Struktur Baja Disain Dan Perilaku Jilid 1, Salmon dan Johnson)

Tampak bahwa untuk pelat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai $k_{\min} = 6,97$. Untuk pelat dengan tumpuan sederhana-jepit (B) nilai $k_{\min} = 5,42$. Sedangkan pelat dengan tumpuan sederhana-sederhana, nilai $k_{\min} = 4$. Dan untuk pelat dengan jepit-bebas, nilai $k_{\min} = 1,277$, serta untuk pelat dengan tumpuan sederhana-bebas $k_{\min} = 0,425$.

Nilai k untuk pelat yang salah satu sisinya tidak diperkuat, dalam hal ini dimiliki oleh sayap (*flens*) mendekati nilai 0,425 dan untuk pelat keempat sisinya ditumpu oleh tumpuan sederhana memiliki nilai $k = 4$ dimiliki oleh badan. Dengan demikian tampak bahwa nilai k untuk sayap 1/10 dari nilai k yang dimiliki oleh badan maka nilai k akan mendekati konstan.

Nilai k untuk tekuk lokal lip menurut **Schafer (1997)** yaitu :

$$k_{\text{sayap_tepi}} = -11,07\left(\frac{d}{b}\right)^2 + 3,95\left(\frac{d}{b}\right) + 4 \quad (3.6)$$

dan untuk tekuk lokal sayap dan badan adalah :

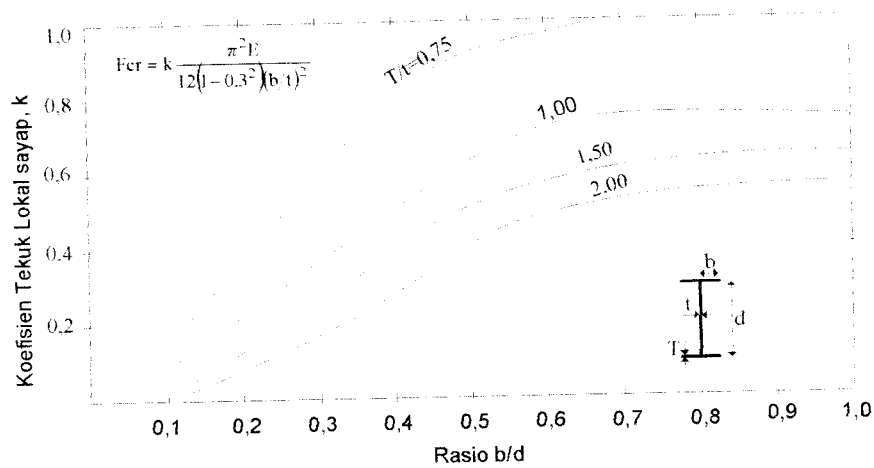
$$k_{\text{sayap_badan}} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h}\right)^{0.4} \right] 4 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} \geq 1 \quad (3.7)$$

$$\left[\left[2 - \left(\frac{h}{b}\right)^{0.2} \right] 4 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} < 1 \quad (3.8)$$

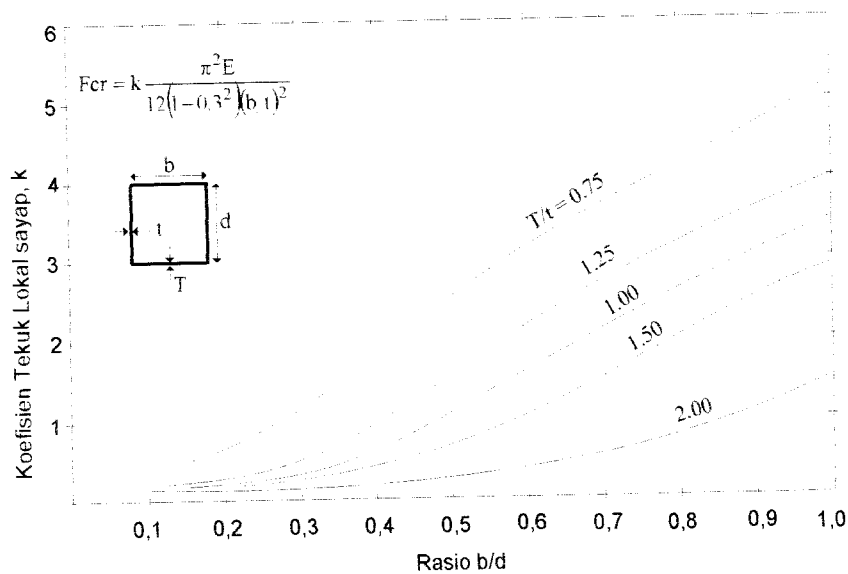
Tegangan tekuk lokal sayap untuk batang diambil yang minimum dari $F_{\text{cr_sayap_tepi}}$ dan $F_{\text{cr_sayap_badan}}$. Ini memberikan perkiraan yang baik dari tegangan tekuk lokal batang aktual.

Nilai-nilai koefisien tekuk elastis k untuk penampang I pada tekanan yang sama ditunjukkan pada Gambar 3.10, dan untuk penampang kotak ditunjukkan pada

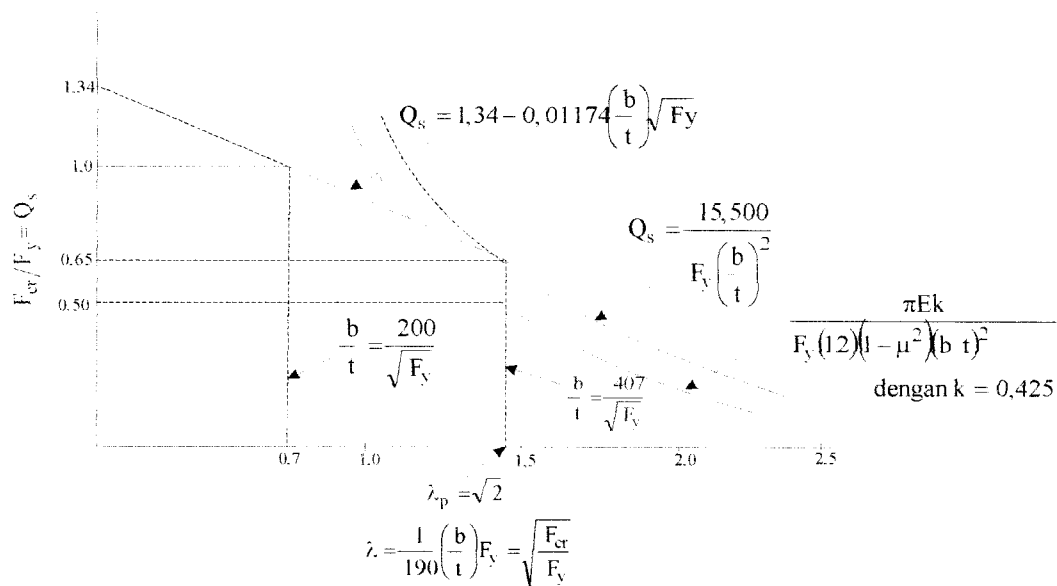
Gambar 3.11 Tegangan tekuk dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.5 dengan mengganti tebal pelat sebagai tebal sayap T.



Gambar.3.10 Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang I (N.S Trahair dan M.A. Bradford, 1988)



Gambar 3.11 Koefisien tekuk lokal untuk batang tekan penampang kotak (N.S Trahair dan M.A. Bradford, 1988)



Gambar 3.12 kekuatan pelat untuk elemen tekan yang tidak diperkuat dengan satu tepi sendi dan tepi lainnya bebas

Faktor bentuk untuk elemen penampang yang diperkuat adalah Q_a . Faktor bentuk Q_a diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t} \right) > \left(\frac{625}{\sqrt{F_y}} \right) \quad (3.12)$$

Besar Q_a menurut AISC adalah,

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_{bruto}} \quad (3.13)$$

Luas efektif diambil dari lebar efektif, besar lebar efektif menurut penelitian AISC yang dilakukan pada baja ringan adalah,

$$\frac{b_E}{t} = \frac{21}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{4,18}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \quad (3.14)$$

Dengan f adalah tegangan yang bekerja pada elemen.

Besar tegangan kritis menurut AISC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan tegangan kritis kolom seperti pada persamaan dibawah ini.

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{QF_y}{4\pi E} \left(\frac{KL}{r} \right)^2 \right] \quad (3.15)$$

Apabila

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}} \quad (3.16)$$

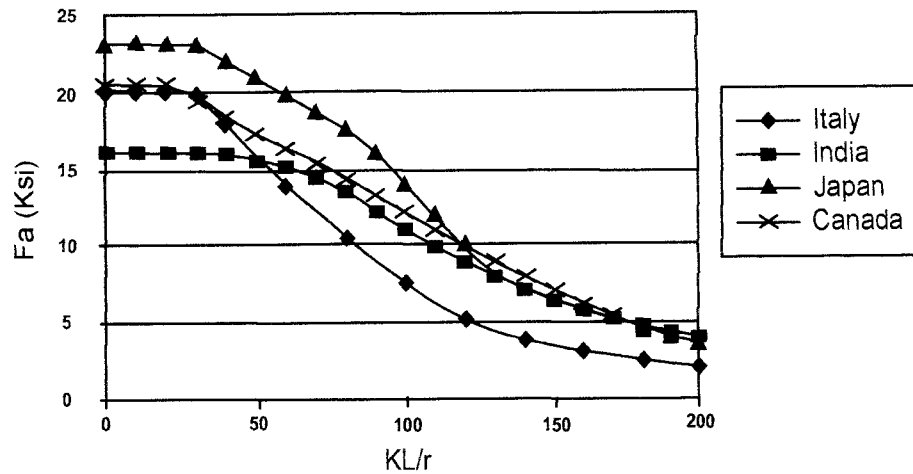
Maka

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2.C_c^2} \right] \quad (3.17)$$

Apabila KL/r lebih dari C_c maka tegangan kritis keseluruhan yang terjadi adalah,

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.18)$$

Penelitian hubungan antara tegangan yang terjadi pada kolom dengan kelangsingan (KL/r) yang pernah dilakukan di beberapa negara memiliki bentuk grafik yang hampir sama. Penurunan tegangan kritis relatif kecil pada KL/r kecil ($0 \text{ s/d } \pm 40$), penurunan tegangan kritis terjadi besar seiring dengan penambahan KL/r untuk $KL/r = \pm 40$ sampai dengan ± 160 , dan kembali menjadi relatif datar untuk KL/r lebih dari ± 160 . Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.13

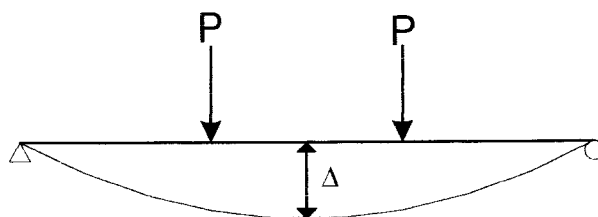


Gambar 3.13 Grafik Hubungan KL/r Dengan F_a Di Beberapa Negara
(Lambert Tall, 1974)

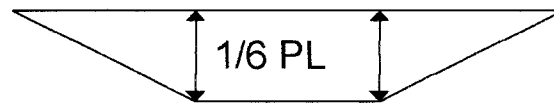
Untuk perhitungan tegangan kritis selengkapnya ditunjukkan pada lampiran empat.

3.6 Hubungan Beban-Lendutan

Beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti mengalami lendutan. Balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga semakin besar (Lynn S. Beedle, 1958).



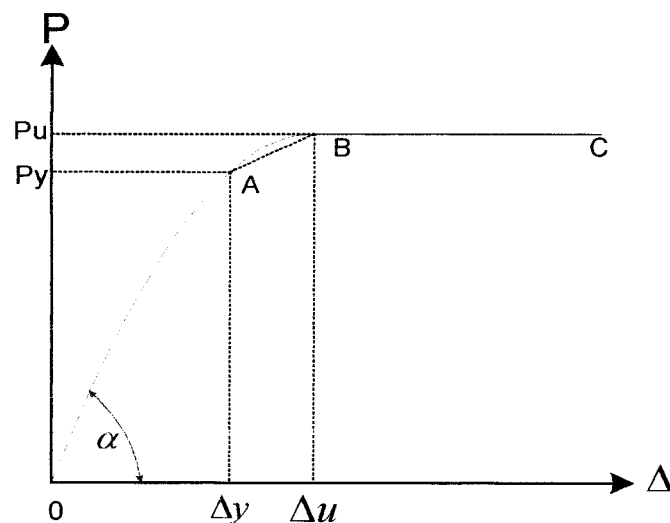
Gambar 3.14 Lendutan Balok



Gambar 3.15 Diagram Momen

$$\Delta = \frac{23P.L^3}{648EI} \quad (3.19)$$

dengan : Δ = defleksi balok, P = beban, E = modulus elastis balok, L = panjang bentang balok, I = momen inersia penampang



Gambar 3.16 Grafik Hubungan Beban(P)-Lendutan(Δ)

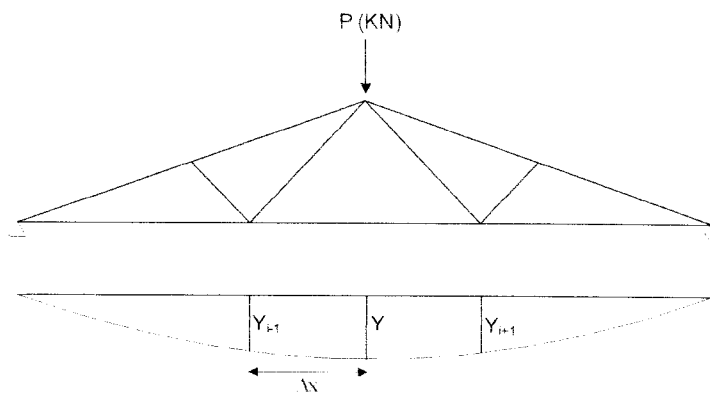
$$k = \operatorname{tg}\alpha = \frac{P}{\Delta} \quad (3.20)$$

Besarnya lendutan sesuai dengan beban yang bekerja pada struktur, sehingga kemiringan dari lengkung yang dihasilkan disebut sebagai kekakuan.

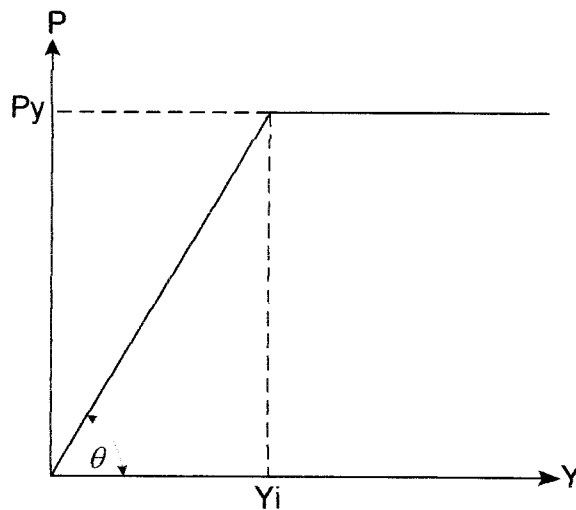
Menurut penelitian yang dilakukan oleh *American Society for testing and material* (ASTM) yang ditulis oleh **Timoshenko. 1987**, bahwa kekakuan rangka hingga beban patah dinyatakan oleh garis OA pada diagram beban-

lendutan dari Gambar 3.16 atau disebut juga dengan daerah elastis. Dengan penambahan beban pada rangka maka rangka akan menjadi plastis sebagian dimana ditunjukkan pada garis AB, hingga pada akhirnya rangka menjadi plastis sempurna dimana ditunjukkan pada garis BC, setelah itu rangka atau struktur tidak mampu lagi memikul tambahan beban.

3.7 Hubungan Momen dengan Kelengkungan



Gambar 3.17 Rangka kuda-kuda yang diberi beban aksial (P) sehingga terjadi lendutan (Y_i)



Grafik 3.18. Hubungan antara beban (P) dan lendutan (Y)

Apabila suatu material diberi beban maka material itu secara langsung akan terdefleksi. Semakin besar beban yang diberikan pada suatu material semakin besar pula defleksi yang terjadi pada material tersebut. Mengacu pada gambar 3.17 dy/dx didekati dengan persamaan berikut :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.21)$$

turunan kedua persamaan 3.21 adalah

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d/dx)(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1})(d/dx)(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.22)$$

karena $(2\Delta x)$ adalah konstan maka

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

Sehingga persamaan 3.23

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d/dx)(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.23)$$

selanjutnya dari persamaan 3.23 didapatkan

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.24)$$

Kemudian persamaan 3.24 disederhanakan menjadi

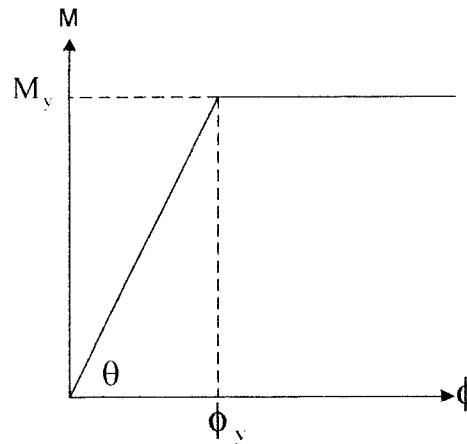
$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta x)^2} \quad (3.25)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI}$$

$$M = EI \cdot \phi$$

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.26)$$

Hubungan momen (M) dan kelengkungan (curvature)(ϕ) ditunjukkan pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ)

3.8 Hipotesa

Dengan memperhatikan tinjauan pustaka, dan landasan teori, dapat diambil hipotesis sebagai berikut :

1. suatu struktur rangka atap baja diberi beban sentris (P) maka akan terjadi lendutan (Δ) yang dipengaruhi oleh kekuatan bahan dan bentuk dasar kuda-kuda rangka batang.
2. susunan geometri batang dinding mempengaruhi kekuatan dan kekakuan pada kuda-kuda rangka batang bentuk Fink, Pratt, dan Howe.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 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.

4.2 Bahan dan Alat yang digunakan

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

4.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah kuda-kuda baja ringan hasil pabrikan PT. BlueScope Lysaght yang diberi nama SMARTRUSS.

4.2.2 Peralatan Penelitian

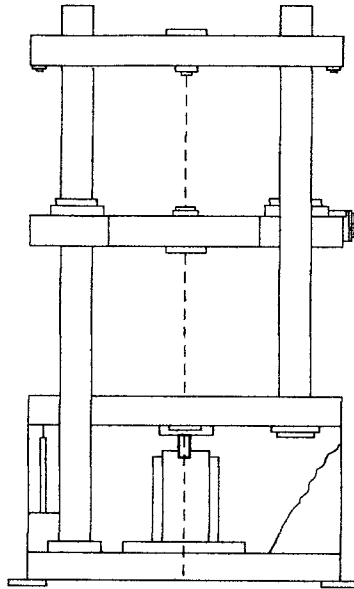
Peralatan-peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Alat Pengukur

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

b. Mesin Uji Kuat Tarik

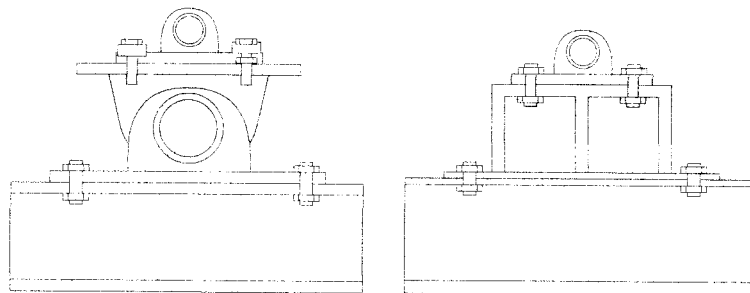
Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Pada penelitian ini digunakan UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM) merk SHIMATSU type UMH 30, kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4.1. Universal Testing Material Shimatzu UMH30

c. Dukungan Sendi dan Rol

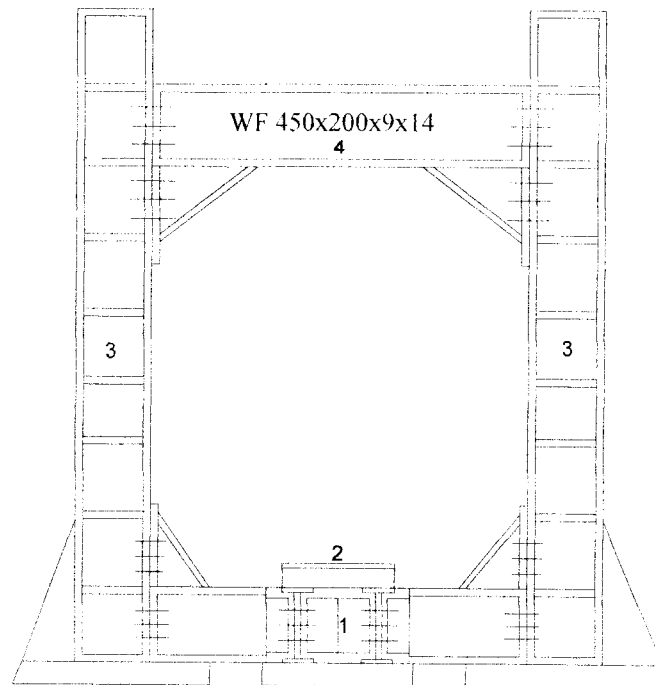
Untuk membuat model kuda-kuda atap sederhana sesuai dengan di lapangan, maka pada dukungan dipasang dudukan sendi dan rol.



Gambar 4.2. Dukungan Sendi Dan Rol

d. Loading Frame

Untuk menempatkan benda uji pada penelitian ini digunakan Loading Frame dari bahan profil WF 450x200x9x14. Seperti pada Gambar 4.3



Keterangan:

1. Balok lintang
2. Dukungan
3. Kolom
4. Balok portal (bisa digeser)

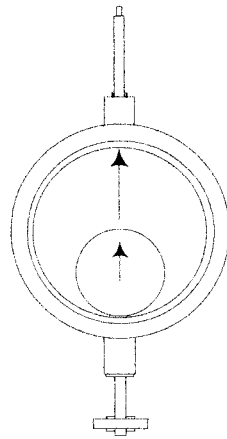
Gambar. 4.3. Bentuk Fisik Loading Frame

Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas 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.

e. Dial Gauge

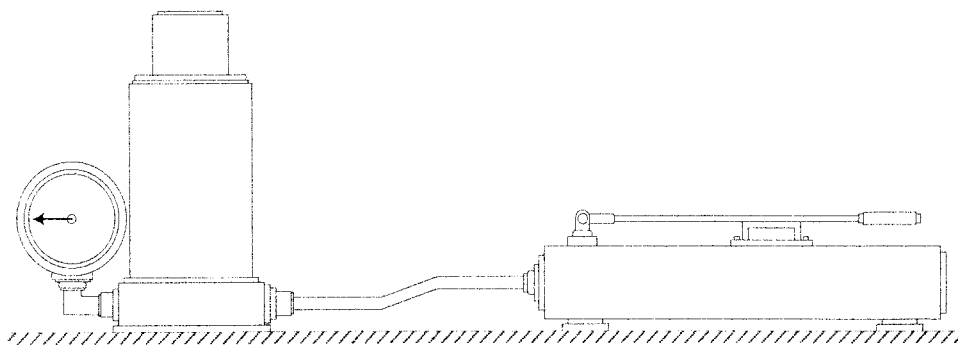
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 30 mm – ketelitian 0,01.



Gambar 4.4. Dial

f. Hydraulic Jack

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur kuda-kuda atap (*smartruss*)



Gambar 4.5. Hydraulic Jack

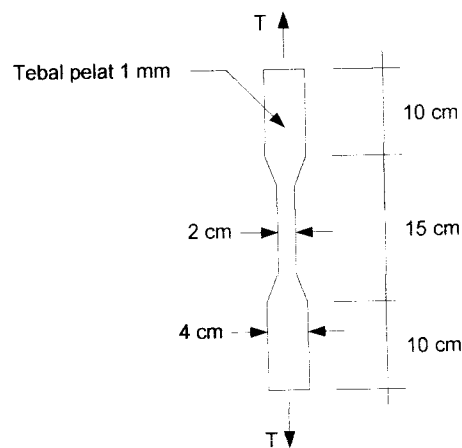
g. Penahan Lateral Buckling

Alat ini dibuat untuk menahan terjadinya lateral buckling pada sample benda uji.

4.3 Pembuatan Benda Uji

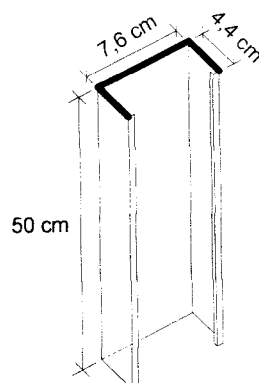
Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian diuji di laboratorium, benda uji tersebut berupa:

- a. Dua benda uji kuat tarik baja yang diambil dari profil



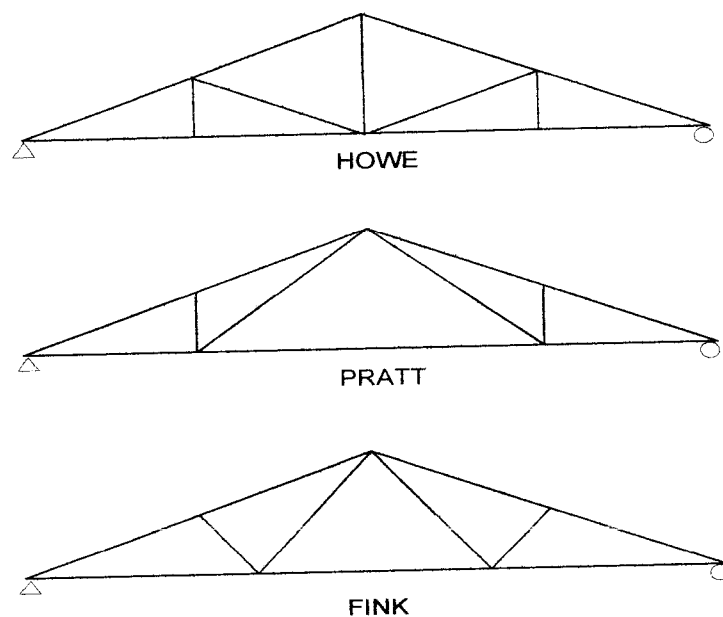
Gambar 4.6. Benda Uji Kuat Tarik Baja

- b. Dua benda uji kuat tekan yang diambil dari profil



Gambar 4.7. Benda uji tekan profil Lipped Channel

- c. Tiga benda uji kuat lentur kuda-kuda ganda Smartruss dengan variasi bentuk, yaitu Fink, Pratt dan Howe. Pembuatan sampel dilakukan oleh PT. Graha Patriatama Jaya di Semarang selaku distributor PT. BlueScope Lysaght dengan ukuran Profil 76x44x11 tebal 1 mm, sampel tersebut meliputi:



Gambar 4.8. Benda uji kuda-kuda rangka batang

4.4 Pengujian Sampel

4.4.1. Pegujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik , Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian ini adalah beban leleh, beban masimum, dan beban patah. Dalam pengujian ini baja yang diuji sebanyak 2 buah.

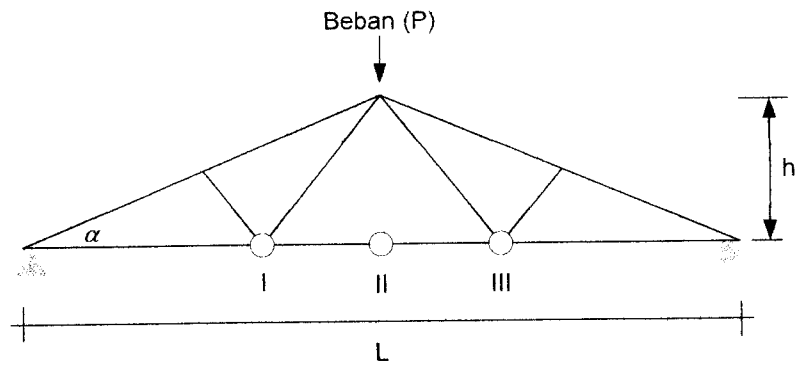
4.4.2. Pengujian Tekan Baja

Pengujian kuat tekan baja ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik , Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil adalah beban maksimum. Untuk hasil dan perhitungan uji bahan ditunjukkan pada lampiran dua.

4.4.3. Pengujian Kuat Lentur Struktur

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

1. Memasang dukungan pada setiap ujung kuda-kuda tersebut. Dalam hal ini, dilakukan pemasangan sendi-rol.
2. Kuda-kuda diletakkan diatas dukungan.
3. Benda uji siap diuji. *Hydraulic Jack* dipasang dipuncak diatas bagian tengah (top cord), kemudian dibawahnya dipasang alat *Load Cell*, setelah itu Hydraulic dipompa untuk melakukan pembebanan secara perlahan-lahan. Pengujian struktur Smartruss dengan beban aksial yang dinaikan bertahap dari nol sampai terjadi kerusakan dengan penambahan beban 0,5 KN, kemudian beban ditingkatkan berdasarkan kondisi sampel menggunakan alat *Load Cell* dengan tujuan mengetahui besar defleksi Smartruss.



Gambar 4.9. Pengujian Kuda-kuda dengan perletakan dial gauge dan beban

Keterangan : h = tinggi kuda-kuda

L = panjang kuda-kuda

α = sudut kemiringan kuda-kuda

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.

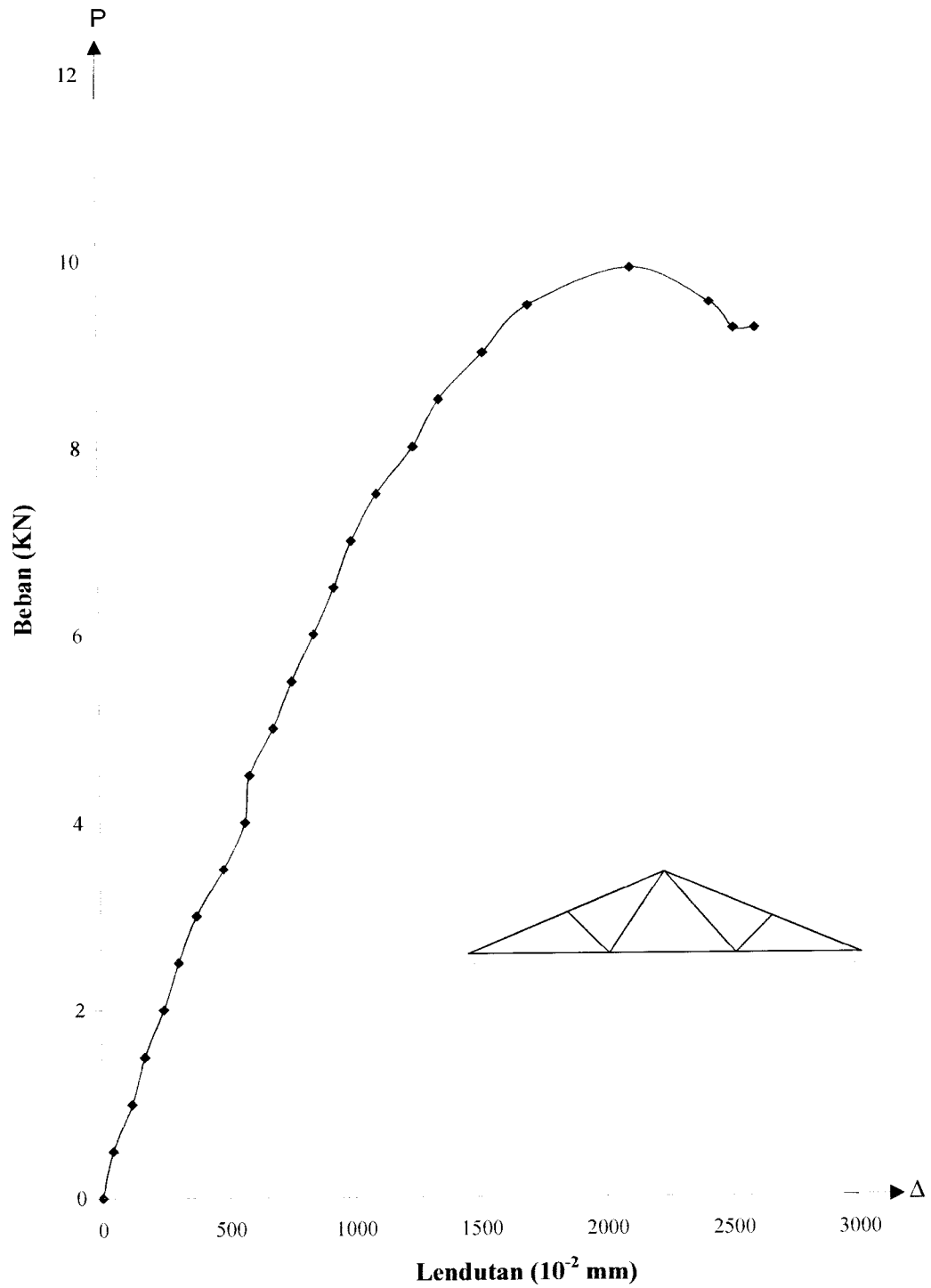
Pengujian dilakukan dengan memberikan beban pada titik puncak rangka atap (*truss*) berupa beban sentris yang dilakukan secara bertahap dengan kenaikan sebesar 0,5 kN. Setiap tahap pembebanan dicatat lendutan yang terjadi pada tiga titik dial yang telah ditentukan. Hasil penelitian yang disertai pembahasannya akan disajikan sebagaimana berikut.

5.1. Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian

Pada pengujian kekakuan rangka atap baja (tipe Fink, Pratt. Dan Howe) diperoleh lendutan yang terjadi. Hasil dari penelitian disajikan di bawah ini berikut grafik dan disertai hasil regresinya.

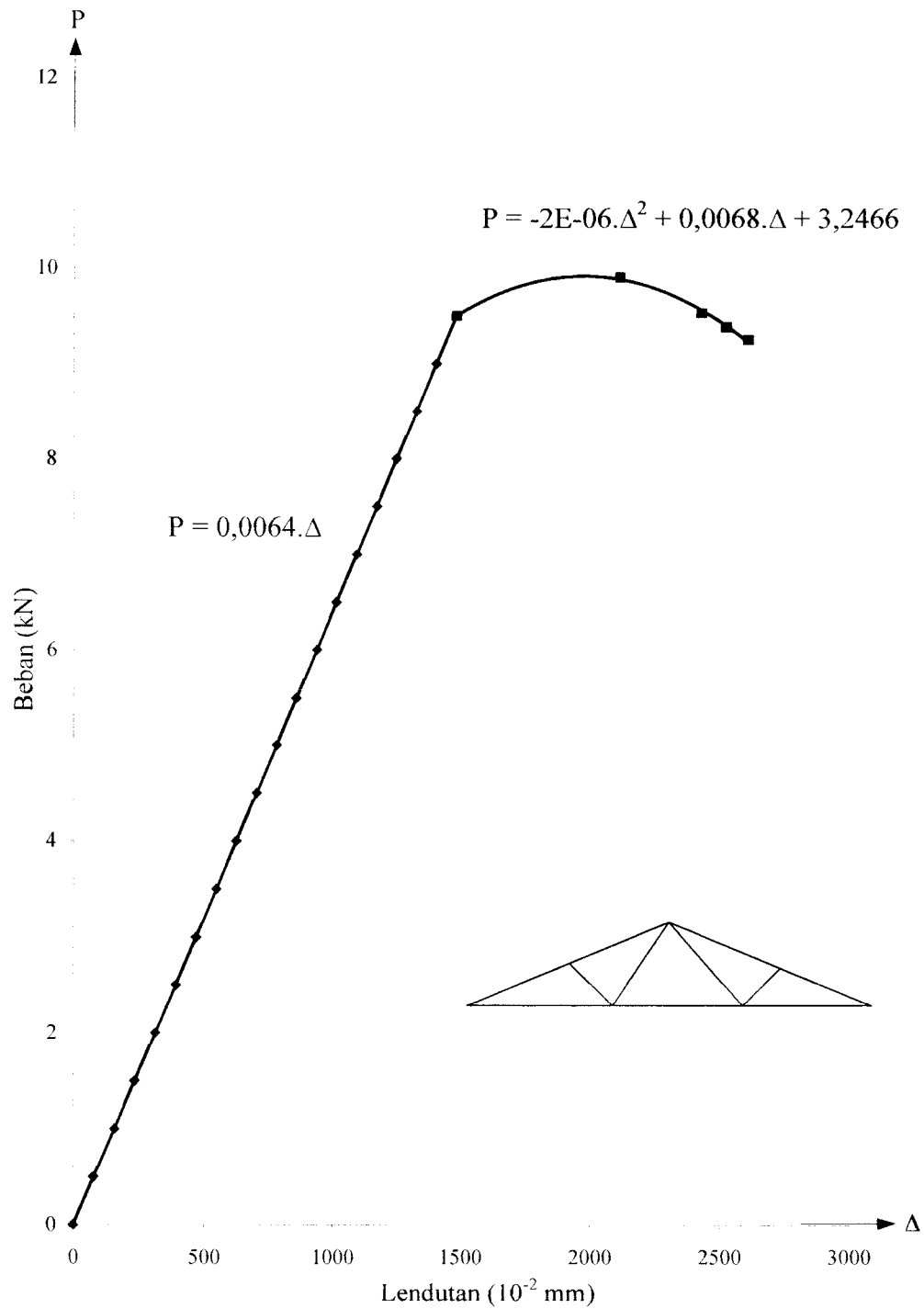
a. Fink Truss

Data-data berupa hasil pembacaan dial disajikan pada Tabel 5.1, dan untuk lebih memperjelas disajikan grafik hubungan beban dan lendutan (dalam hal ini yang digunakan adalah data pada dial yang berada ditengah rangka/lendutan Δ_2).



Gambar 5.1. Hubungan Beban-Lendutan Fink Truss

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



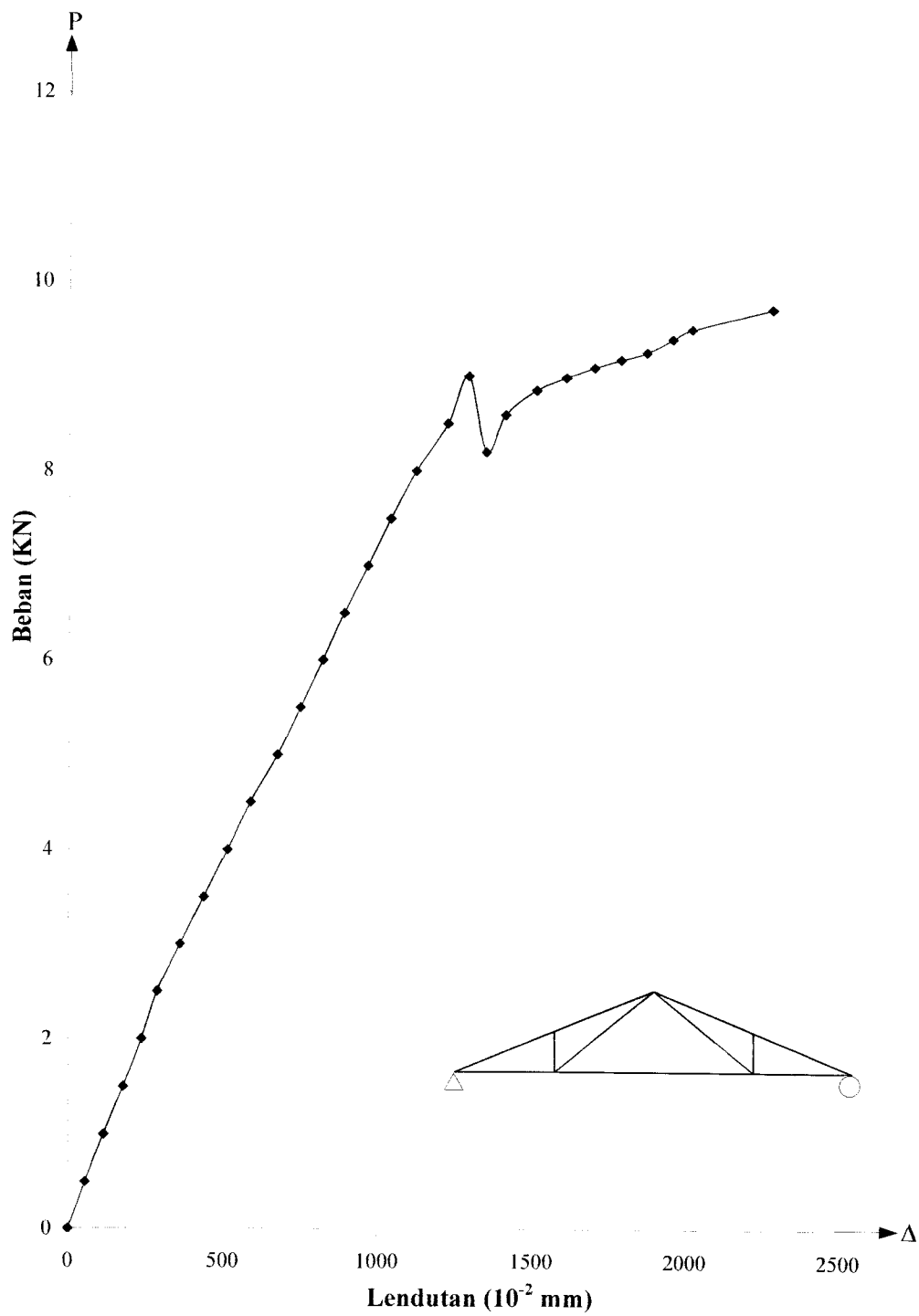
Gambar 5.2. Regresi Hubungan Beban-Lendutan Fink Truss

b. Pratt Truss

Untuk Pratt Truss pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.2 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada Gambar 5.3 dan hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.4.

Tabel 5.2. Hubungan Beban dan Lendutan Pratt Truss

| P (KN) | Δ_1 (10^{-2} mm) | Δ_2 (10^{-2} mm) | Δ_3 (10^{-2} mm) |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0.00 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 24 | 54 | 12 |
| 1.00 | 59 | 115 | 33 |
| 1.50 | 96 | 177 | 60 |
| 2.00 | 130 | 237 | 133 |
| 2.50 | 161 | 288 | 221 |
| 3.00 | 209 | 360 | 235 |
| 3.50 | 266 | 437 | 320 |
| 4.00 | 324 | 513 | 341 |
| 4.50 | 381 | 587 | 422 |
| 5.00 | 452 | 675 | 445 |
| 5.50 | 512 | 747 | 534 |
| 6.00 | 570 | 820 | 549 |
| 6.50 | 625 | 888 | 634 |
| 7.00 | 684 | 963 | 650 |
| 7.50 | 743 | 1038 | 735 |
| 8.00 | 808 | 1118 | 759 |
| 8.50 | 874 | 1221 | 843 |
| 9.00 | 942 | 1287 | 929 |
| 8.20 | 981 | 1344 | 946 |
| 8.59 | 1045 | 1407 | 1033 |
| 8.85 | 1102 | 1506 | 1055 |
| 8.98 | 1168 | 1601 | 1143 |
| 9.09 | 1230 | 1691 | 1240 |
| 9.17 | 1285 | 1776 | 1263 |
| 9.25 | 1341 | 1858 | 1347 |
| 9.39 | 1398 | 1941 | 1436 |
| 9.50 | 1514 | 2003 | 1546 |
| 9.72 | 1518 | 2262 | 1655 |



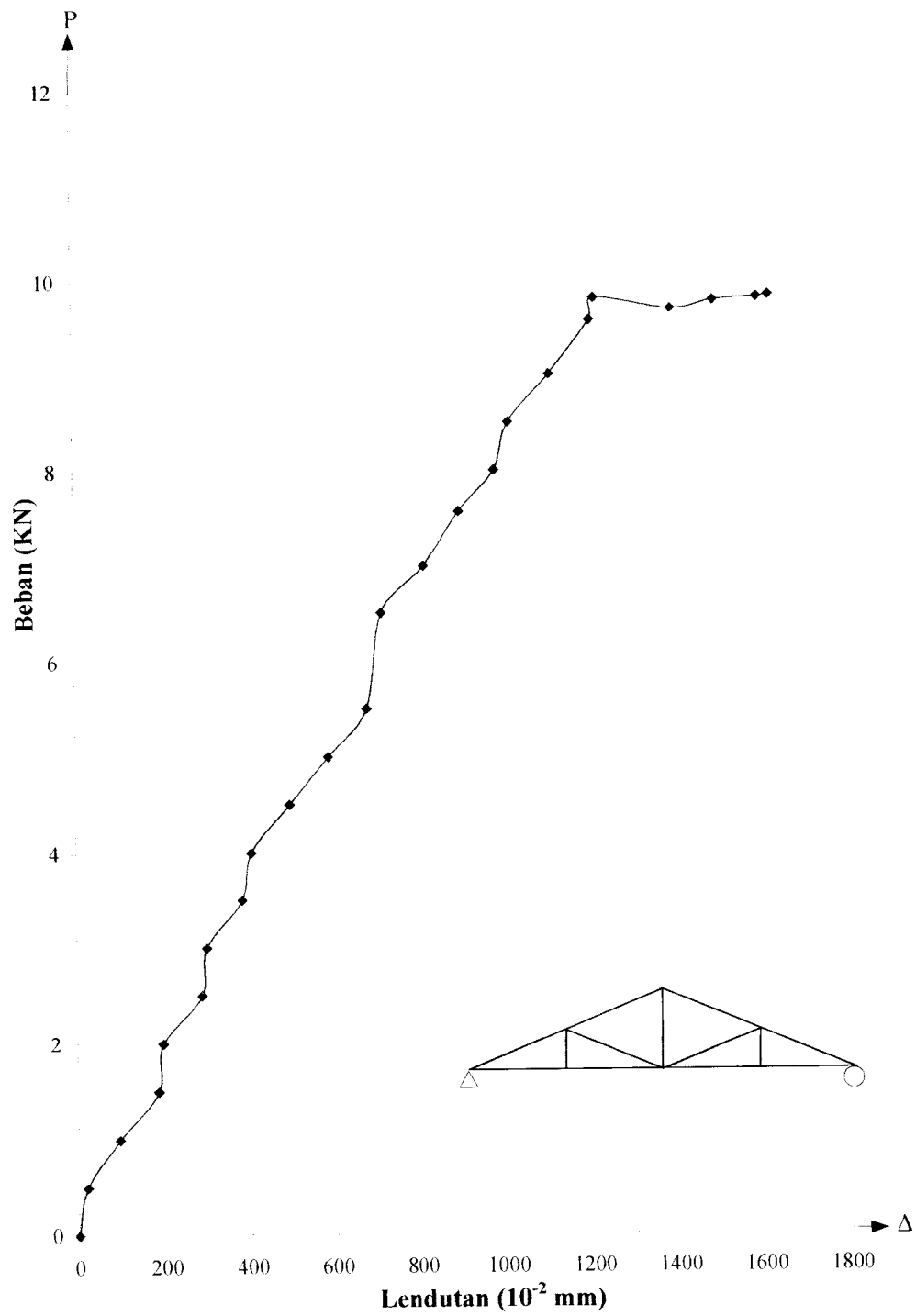
Gambar 5.3. Hubungan Beban-Lendutan Pratt Truss

c. Howe Truss

Untuk Howe Truss pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.3 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada Gambar 5.5 dan hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.6.

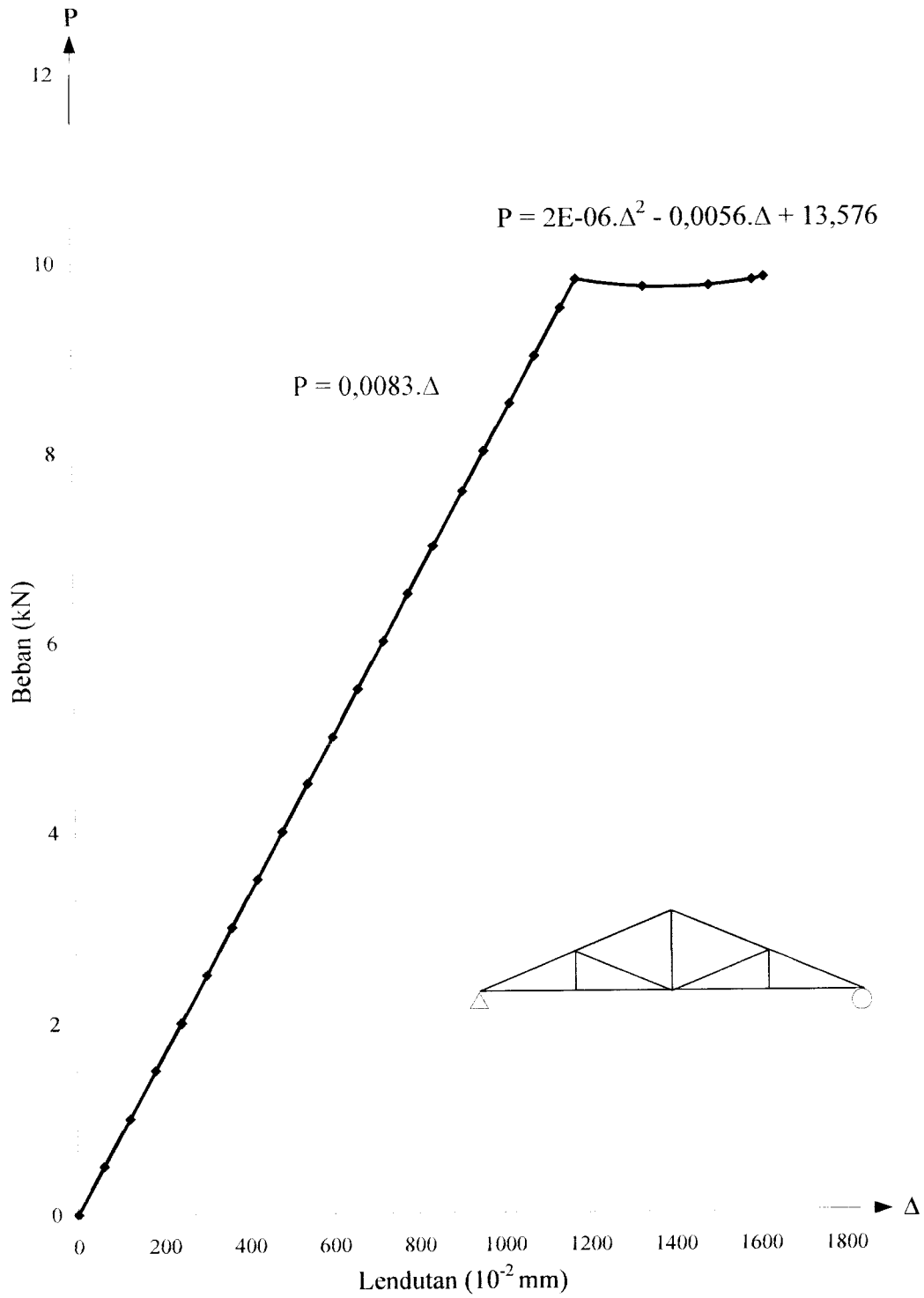
Tabel 5.3. Hubungan Beban dan Lendutan Howe Truss

| P (kN) | Δ_1 (10^{-2} mm) | Δ_2 (10^{-2} mm) | Δ_3 (10^{-2} mm) |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 30.0 | 21.0 | 20.0 |
| 1.00 | 68.5 | 95.0 | 58.0 |
| 1.50 | 110.0 | 186.0 | 94.0 |
| 2.00 | 146.0 | 197.0 | 126.0 |
| 2.50 | 187.5 | 287.0 | 159.0 |
| 3.00 | 232.5 | 299.0 | 198.0 |
| 3.50 | 280.0 | 382.0 | 242.0 |
| 4.00 | 336.0 | 405.0 | 300.0 |
| 4.50 | 395.5 | 496.0 | 363.0 |
| 5.00 | 467.0 | 587.0 | 434.0 |
| 5.50 | 524.5 | 679.0 | 506.0 |
| 6.00 | 596.5 | 714.0 | 581.0 |
| 6.50 | 601.5 | 714.0 | 609.0 |
| 7.00 | 682.0 | 815.0 | 673.0 |
| 7.57 | 735.0 | 898.0 | 732.0 |
| 8.00 | 785.5 | 982.0 | 782.0 |
| 8.50 | 844.0 | 1015.0 | 852.0 |
| 9.00 | 907.0 | 1111.0 | 931.5 |
| 9.50 | 979.0 | 1206.0 | 1029.0 |
| 9.80 | 989.0 | 1216.0 | 1042.5 |
| 9.68 | 1076.0 | 1395.0 | 1186.0 |
| 9.77 | 1115.0 | 1493.5 | 1265.0 |
| 9.80 | 1146.5 | 1594.5 | 1331.0 |
| 9.82 | 1172.0 | 1622.0 | 1388.0 |



Gambar 5.5. Hubungan Beban-Lendutan Howe Truss

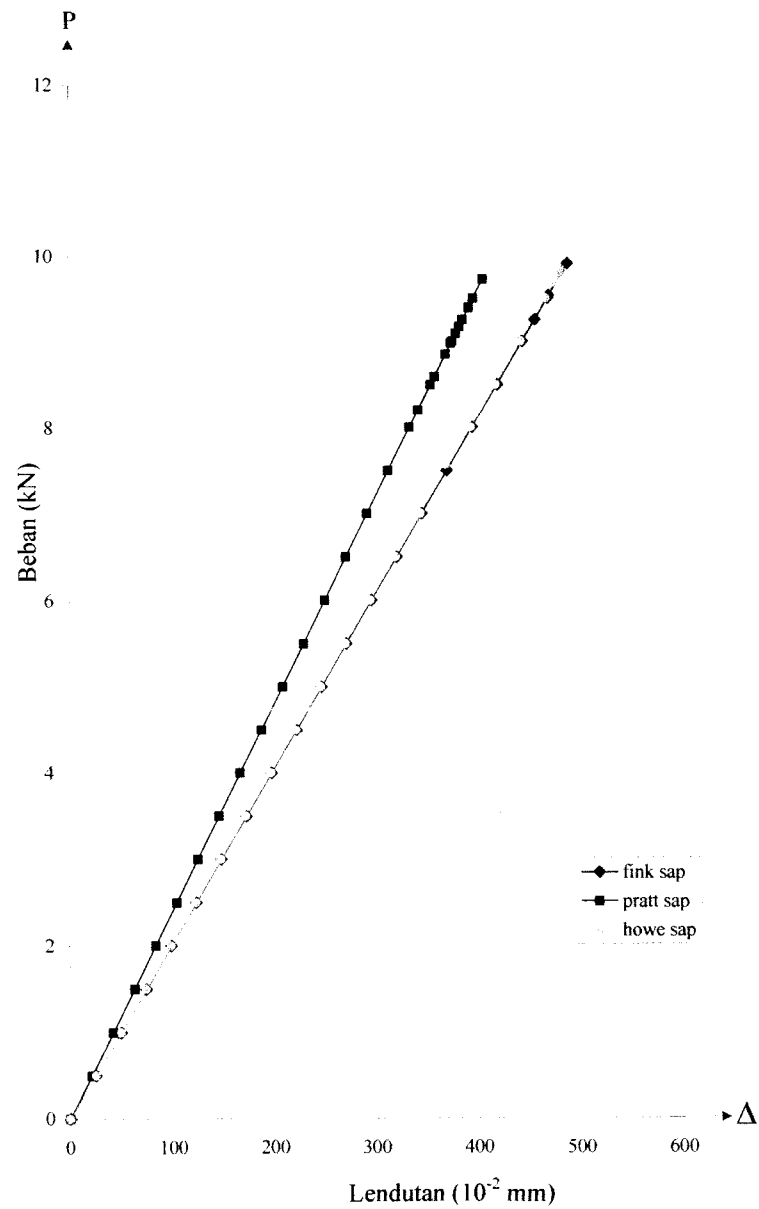
Dari grafik hubungan diatas, dibuat hasil regresinya yang ditunjukkan dengan Gambar 5.6



Gambar 5.6. Regresi Hubungan Beban-Lendutan Howe Truss

5.2 Grafik Beban Lendutan Hasil Analisa SAP 2000

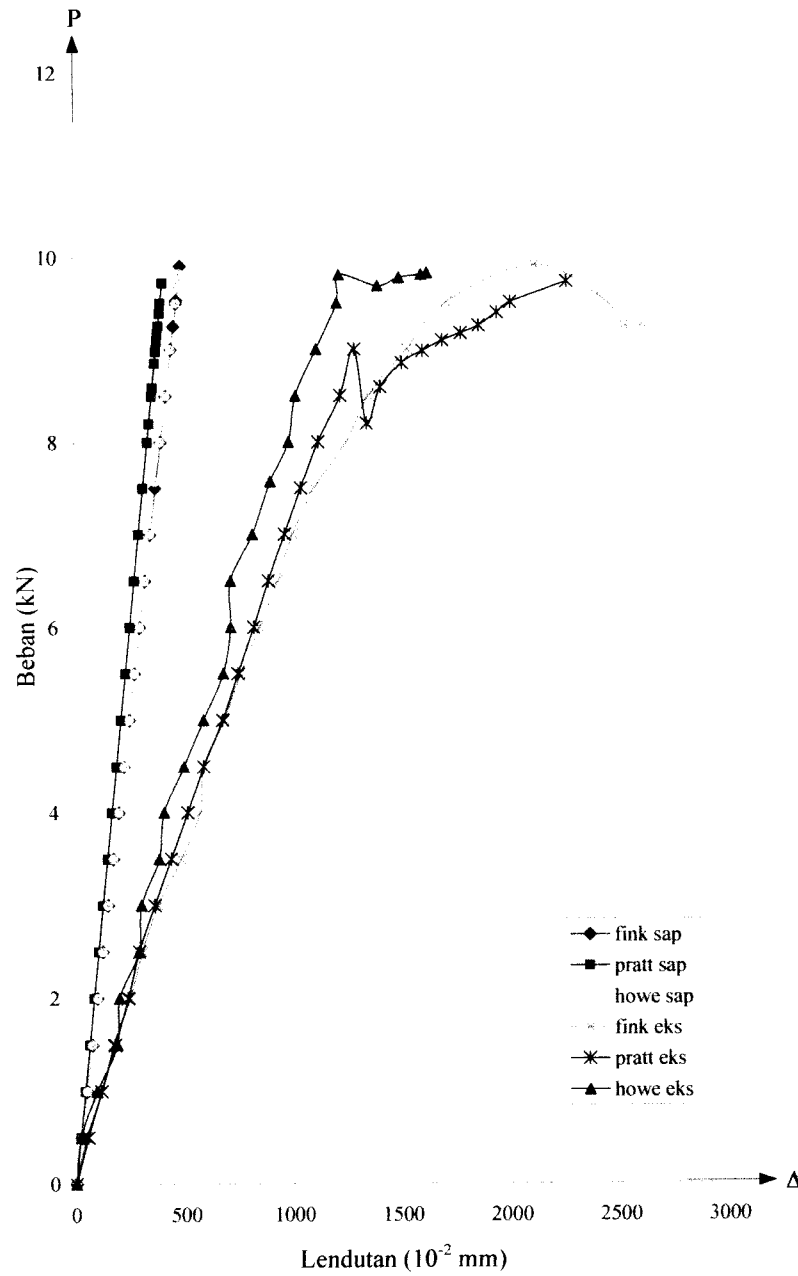
Dari analisa SAP 2000 yaitu rangka batang kuda-kuda yang dianalisa sebagai truss, yang kemudian ditampilkan dalam grafik beban-lendutan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7. Hubungan beban-lendutan analisa SAP 2000

5.3 Grafik Beban-Lendutan Hasil Pengujian dan Analisa SAP

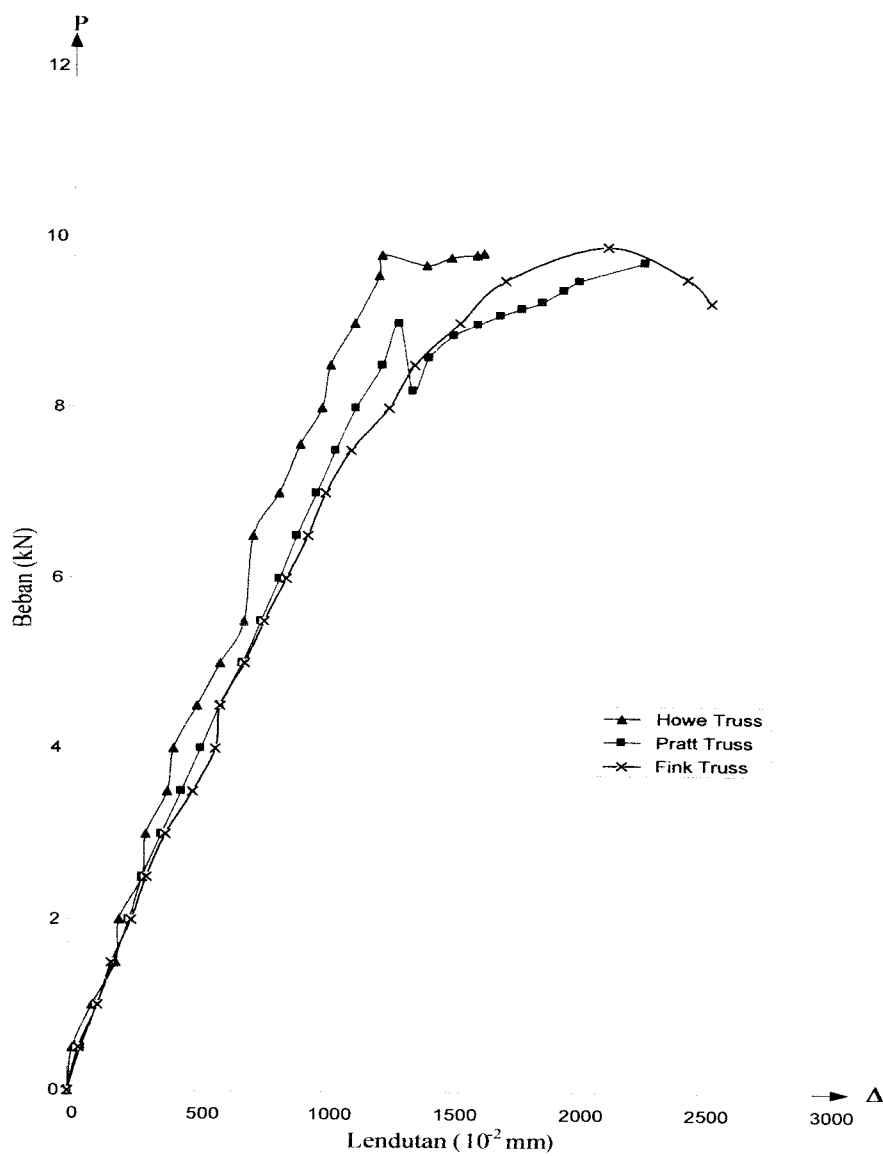
Dari grafik gabungan hasil pengujian dan analisa komputer didapat hasil seperti pada Gambar 5.8.



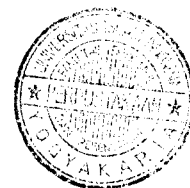
Gambar 5.8. Hubungan beban-lendutan hasil pengujian dan Analisa SAP

5.4. Pengaruh Bentuk Truss Terhadap Beban Lendutan

Rangka batang (*truss*) yang memiliki konfigurasi berbeda akan mengalami lendutan yang berbeda. Dari persamaan 3.7.2 dimana $k = \text{tg}\alpha = \frac{P}{\Delta}$ terlihat bahwa semakin besar lendutan yang terjadi maka kekakuan rangka batang akan semakin kecil.



Gambar 5.9. Keberadaan bentuk rangka batang terhadap beban lendutan hasil penelitian



Gambar 5.9 menunjukkan kenyataan yang terjadi di lapangan dimana rangka batang bentuk Howe memiliki sudut atau memiliki kekakuan yang lebih besar dari rangka batang Pratt dan Fink. Dan terlihat pula bahwa rangka batang Pratt memiliki kekakuan yang lebih besar daripada rangka batang Fink. Untuk grafik beban-lendutan dial 1, dial 2, dan dial 3 ditunjukkan pada lampiran tiga.

5.4.1. Analisis Truss Hasil Pengujian

Besarnya sudut yang terjadi pada kuda-kuda rangka batang adalah sebagai berikut.

a. Fink Truss

$$\phi = P/\Delta = 0,0064 \text{ maka jika :}$$

$$P = 9 \text{ kN ; } \Delta = 14,06 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k = \frac{9}{14,06} = 0,64 \text{ kN/mm}$$

$$\theta = \text{arctg } 0,64 = 32,62^\circ$$

b. Pratt Truss

$$\phi = P/\Delta = 0,0073 \text{ maka jika :}$$

$$P = 9 \text{ kN ; } \Delta = 12,33 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k = \frac{9}{12,33} = 0,73 \text{ kN/mm}$$

$$\theta = \text{arctg } 0,73 = 36,13^\circ$$

c. Perbandingan antara Pratt Truss dengan Fink Truss

- Kekakuan Pratt Truss = 0,73 kN/mm
- Kekakuan Fink Truss = 0,64 kN/mm

Prosentase kekakuan adalah $\frac{(0,73 - 0,64)}{0,73} \times 100\% = 12,16\%$, dimana

rangka Pratt Truss ternyata 12,16 % lebih kaku dibandingkan rangka Fink Truss.

5.5. Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

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

$$\text{Kelengkungan} : \phi = \frac{\Delta_1 - 2\Delta_2 + \Delta_3}{\Delta x^2}$$

$$\text{Momen} = \frac{1}{4} PL$$

Tabel 5.4 Hubungan Momen – Kelengkungan Fink Truss

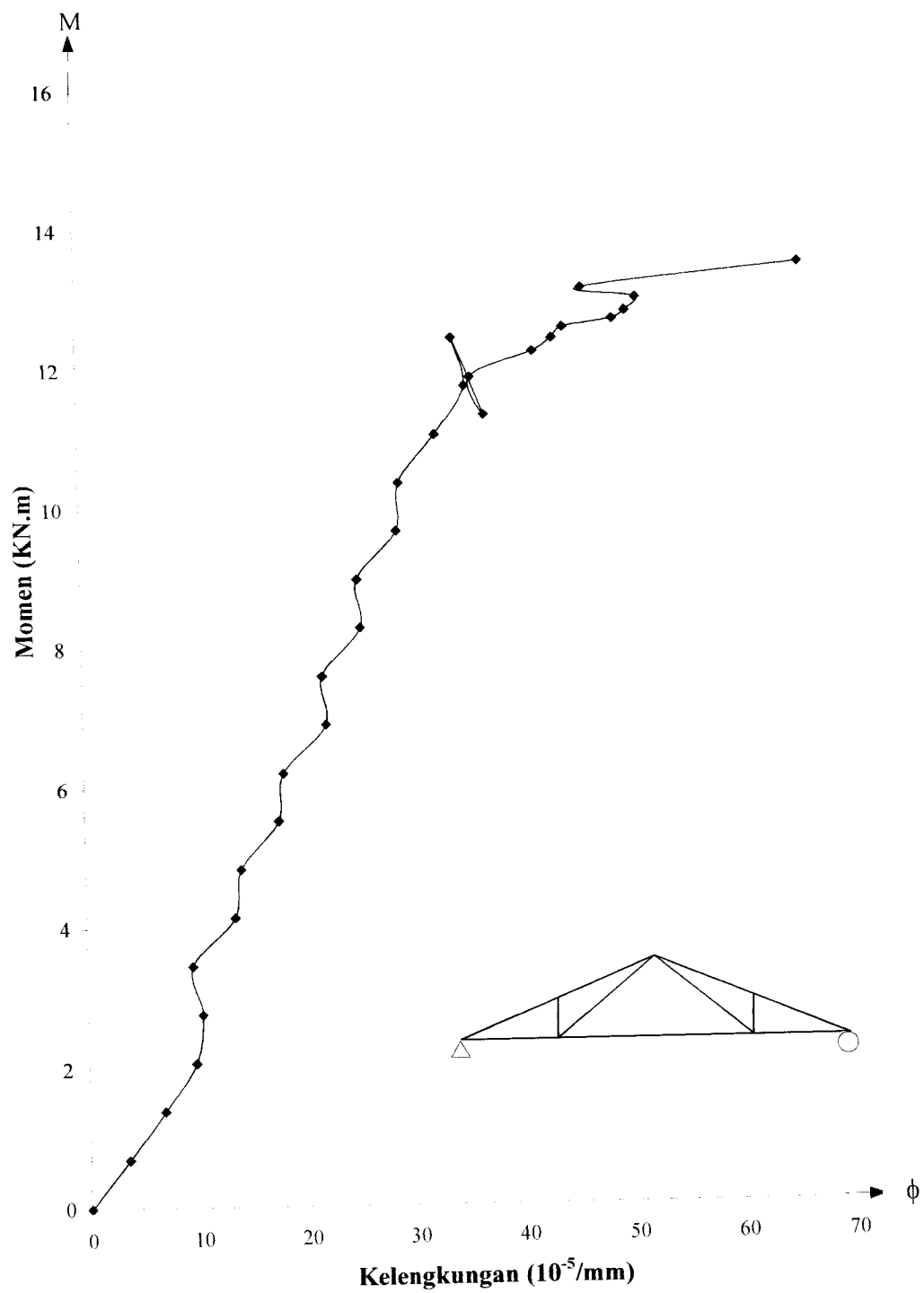
| P(KN) | Δ_1 (10^{-2} mm) | Δ_2 (10^{-2} mm) | Δ_3 (10^{-2} mm) | Momen (KN.m) | Kelengkungan (10^{-5} /mm) |
|-------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 9.5 | 43 | 23 | 0.69 | 6.461 |
| 1.00 | 99 | 116 | 80 | 1.39 | 6.400 |
| 1.50 | 190 | 168 | 125 | 2.08 | 2.536 |
| 2.00 | 203 | 244 | 188 | 2.77 | 11.714 |
| 2.50 | 295 | 302 | 234 | 3.46 | 9.057 |
| 3.00 | 310 | 375 | 295 | 4.16 | 17.510 |
| 3.50 | 406 | 481 | 380 | 4.85 | 21.253 |
| 4.00 | 497 | 569 | 454 | 5.54 | 22.582 |
| 4.50 | 503 | 587 | 468 | 6.23 | 24.514 |
| 5.00 | 596 | 682 | 550 | 6.93 | 26.325 |
| 5.50 | 690 | 759 | 615 | 7.62 | 25.722 |
| 6.00 | 721 | 846 | 691 | 8.31 | 33.812 |
| 6.50 | 800 | 930 | 762 | 9.00 | 35.986 |
| 7.00 | 892 | 1000 | 822 | 9.70 | 34.537 |
| 7.50 | 985 | 1100 | 910 | 10.39 | 36.831 |
| 8.00 | 1099 | 1249 | 1040 | 11.08 | 43.352 |
| 8.50 | 1196 | 1352 | 1129 | 11.77 | 45.767 |
| 9.00 | 1388 | 1530 | 1298 | 12.47 | 45.164 |

Tabel 5.4 Lanjutan

| P(KN) | Δ_1 (10^{-2} mm) | Δ_2 (10^{-2} mm) | Δ_3 (10^{-2} mm) | Momen (KN.m) | Kelengkungan (10^{-5}/mm) |
|--------------|--|--|--|-------------------------|---|
| 9.50 | 1503 | 1710 | 1465 | 13.16 | 54.583 |
| 9.90 | 1815 | 2115 | 1868 | 13.71 | 66.055 |
| 9.53 | 2015 | 2430 | 2247 | 13.20 | 72.214 |
| 9.25 | 2096 | 2525 | 2340 | 12.81 | 74.146 |
| 9.25 | 2123 | 2610 | 2460 | 12.81 | 76.923 |

Tabel 5.5. Hubungan Momen – Kelengkungan Pratt Truss

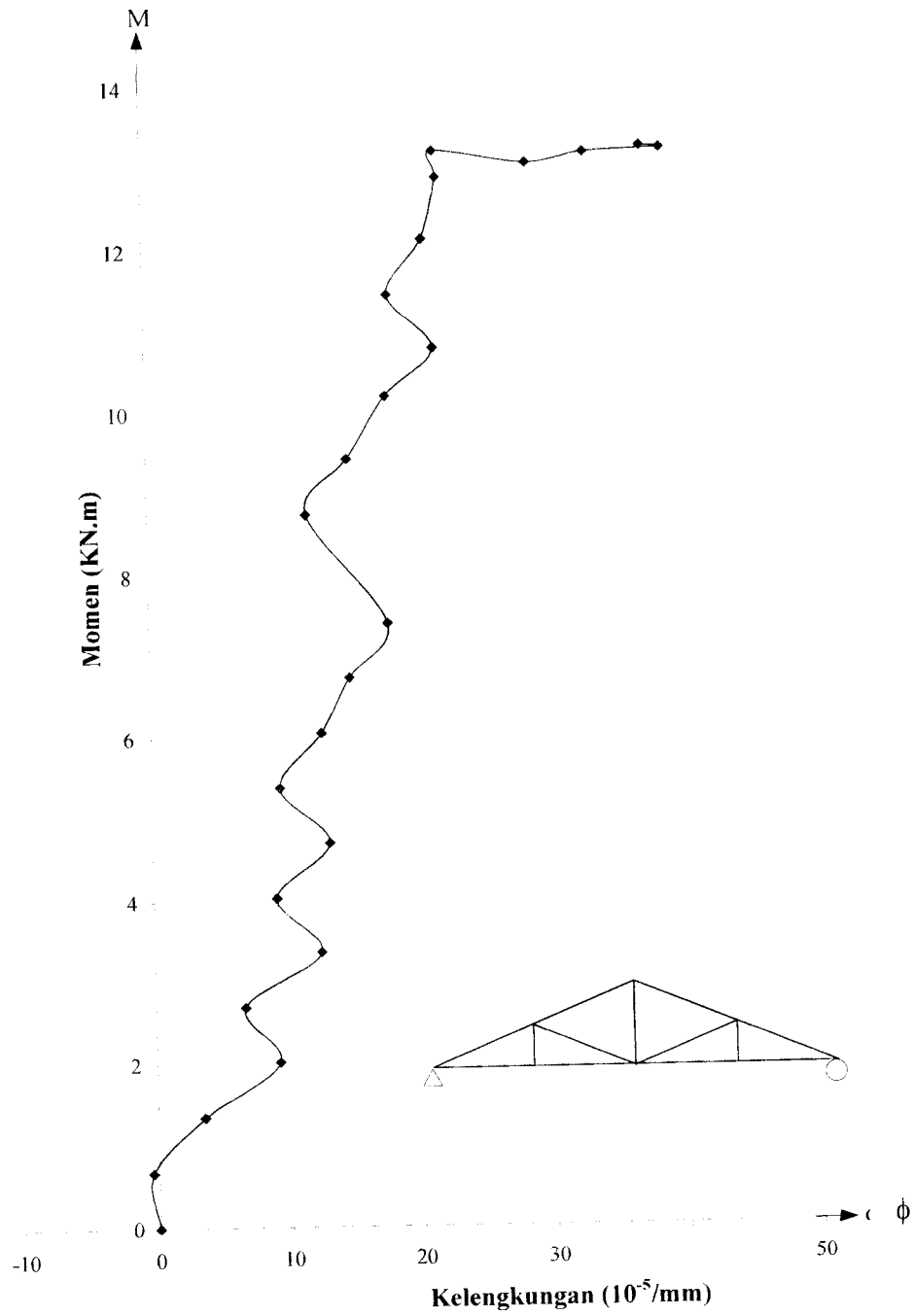
| P (KN) | Δ_1 (10^{-2} mm) | Δ_2 (10^{-2} mm) | Δ_3 (10^{-2} mm) | Momen (KN.m) | Kelengkungan (10^{-5} /mm) |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 24 | 54 | 12 | 0.69 | 3.521 |
| 1.00 | 59 | 115 | 33 | 1.38 | 6.748 |
| 1.50 | 96 | 177 | 60 | 2.06 | 9.683 |
| 2.00 | 130 | 237 | 133 | 2.75 | 10.318 |
| 2.50 | 161 | 288 | 221 | 3.44 | 9.487 |
| 3.00 | 209 | 360 | 235 | 4.13 | 13.497 |
| 3.50 | 266 | 437 | 320 | 4.81 | 14.084 |
| 4.00 | 324 | 513 | 341 | 5.50 | 17.654 |
| 4.50 | 381 | 587 | 422 | 6.19 | 18.143 |
| 5.00 | 452 | 675 | 445 | 6.88 | 22.153 |
| 5.50 | 512 | 747 | 534 | 7.56 | 21.908 |
| 6.00 | 570 | 820 | 549 | 8.25 | 25.478 |
| 6.50 | 625 | 888 | 634 | 8.94 | 25.282 |
| 7.00 | 684 | 963 | 650 | 9.63 | 28.950 |
| 7.50 | 743 | 1038 | 735 | 10.31 | 29.243 |
| 8.00 | 808 | 1118 | 759 | 11.00 | 32.716 |
| 8.50 | 874 | 1221 | 843 | 11.69 | 35.454 |
| 9.00 | 942 | 1287 | 929 | 12.38 | 34.378 |
| 8.20 | 981 | 1344 | 946 | 11.28 | 37.215 |
| 8.59 | 1045 | 1407 | 1033 | 11.81 | 35.992 |
| 8.85 | 1102 | 1506 | 1055 | 12.17 | 41.811 |
| 8.98 | 1168 | 1601 | 1143 | 12.35 | 43.572 |
| 9.09 | 1230 | 1691 | 1240 | 12.50 | 44.599 |
| 9.17 | 1285 | 1776 | 1263 | 12.61 | 49.098 |
| 9.25 | 1341 | 1858 | 1347 | 12.72 | 50.271 |
| 9.39 | 1398 | 1941 | 1436 | 12.91 | 51.249 |
| 9.50 | 1514 | 2003 | 1546 | 13.06 | 46.261 |
| 9.72 | 1518 | 2262 | 1655 | 13.37 | 66.067 |



Gambar 5.13. Hubungan Momen Kelengkungan Pratt Truss

Tabel 5.6. Hubungan Momen – Kelengkungan Howe Truss

| P (KN) | Δ_1 (10^{-2} mm) | Δ_2 (10^{-2} mm) | Δ_3 (10^{-2} mm) | Momen (KN.m) | Kelengkungan (10^{-5} /mm) |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 30.0 | 21.0 | 20.0 | 0.673 | -0.439 |
| 1.00 | 68.5 | 95.0 | 58.0 | 1.345 | 3.484 |
| 1.50 | 110.0 | 186.0 | 94.0 | 2.018 | 9.218 |
| 2.00 | 146.0 | 197.0 | 126.0 | 2.690 | 6.694 |
| 2.50 | 187.5 | 287.0 | 159.0 | 3.363 | 12.483 |
| 3.00 | 232.5 | 299.0 | 198.0 | 4.035 | 9.191 |
| 3.50 | 280.0 | 382.0 | 242.0 | 4.708 | 13.278 |
| 4.00 | 336.0 | 405.0 | 300.0 | 5.380 | 9.547 |
| 4.50 | 395.5 | 496.0 | 363.0 | 6.053 | 12.812 |
| 5.00 | 467.0 | 587.0 | 434.0 | 6.725 | 14.979 |
| 5.50 | 524.5 | 679.0 | 506.0 | 7.398 | 17.970 |
| 6.50 | 601.5 | 714.0 | 609.0 | 8.743 | 11.934 |
| 7.00 | 682.0 | 815.0 | 673.0 | 9.415 | 15.089 |
| 7.57 | 735.0 | 898.0 | 732.0 | 10.182 | 18.052 |
| 8.00 | 785.5 | 982.0 | 782.0 | 10.760 | 21.756 |
| 8.50 | 844.0 | 1015.0 | 852.0 | 11.433 | 18.326 |
| 9.00 | 907.0 | 1111.0 | 931.5 | 12.105 | 21.043 |
| 9.56 | 979.0 | 1206.0 | 1029.0 | 12.858 | 22.167 |
| 9.80 | 989.0 | 1216.0 | 1042.5 | 13.181 | 21.975 |
| 9.68 | 1076.0 | 1395.0 | 1186.0 | 13.020 | 28.971 |
| 9.77 | 1115.0 | 1493.5 | 1265.0 | 13.141 | 33.306 |
| 9.80 | 1146.5 | 1594.5 | 1331.0 | 13.181 | 39.040 |
| 9.82 | 1172.0 | 1622.0 | 1388.0 | 13.208 | 37.531 |



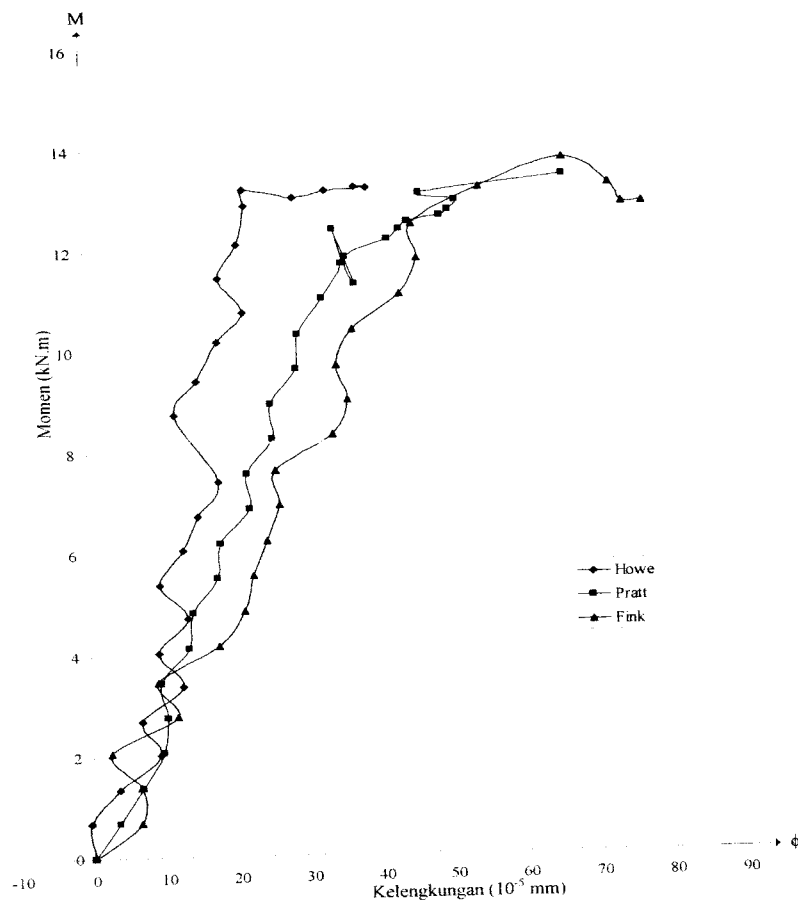
Gambar 5.15. Hubungan Momen Kelengkungan Howe Truss

5.6 Pengaruh Bentuk Truss Terhadap Momen Kelengkungan

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

Gambar 5.13 menunjukkan analisis rangka batang dari konfigurasi Fink, Pratt dan Howe.

Pratt dan Howe.



Gambar 5.13. Keberadaan bentuk rangka batang terhadap momen Kelengkungan

5.6.1. Analisis Truss Hasil Pengujian

Seperti halnya yang terjadi pada grafik beban dan lendutan, pada grafik momen dan kelengkungan menunjukkan bahwa rangka batang (*truss*) yang memiliki konfigurasi berbeda akan berpengaruh pada faktor kekakuan rangka batang. Untuk analisis *truss* hasil pengujian, momen dan kelengkungan diambil pada beban maksimum.

a. Fink Truss

$$M = 13,71 \text{ kNm} ; \phi = 66,055 \cdot 10^{-5}/\text{mm}$$

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

$$EI = \frac{13710}{66,055 \cdot 10^{-5}} = 20755431,08 \text{ kNmm}^2$$

b. Pratt Truss

$$M = 12,38 \text{ kNm} ; \phi = 34,378 \cdot 10^{-5}/\text{mm}$$

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

$$EI = \frac{12380}{34,378 \cdot 10^{-5}} = 36011402,64 \text{ kNmm}^2$$

c. Howe Truss

$$M = 13,181 \text{ kNm} ; \phi = 21,975 \cdot 10^{-5}/\text{mm}$$

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

$$EI = \frac{13181}{21,975 \cdot 10^{-5}} = 59981797,50 \text{ kNmm}^2$$

5.6.2. Perbandingan Truss Hasil Pengujian

Gambar 5.13 menunjukkan hasil yang sama, dimana ternyata rangka Howe lebih kaku dari rangka yang lain.

a. Perbandingan antara Howe Truss dengan Pratt Truss

- Faktor kekakuan Howe Truss = 59981797,50 kNmm²
- Faktor kekakuan Pratt Truss = 36011402,64 kNmm²

Prosentase faktor kekakuan adalah

$$\frac{(59981797,50 - 36011402,64)}{59981797,50} \times 100\% = 39,96\%$$

dimana rangka Howe Truss ternyata 39,96 % lebih kaku dibandingkan rangka Pratt Truss.

b. Perbandingan antara Howe Truss dengan Fink Truss

- Faktor kekakuan Howe Truss = 59981797,50 kNmm²
- Faktor kekakuan Fink Truss = 20755431,08 kNmm²

Prosentase faktor kekakuan adalah

$$\frac{(59981797,50 - 20755431,08)}{59981797,50} \times 100\% = 65,40\%$$

dimana rangka Howe Truss ternyata 65,40 % lebih kaku dibandingkan rangka Fink Truss.

c. Perbandingan antara Pratt Truss dengan Fink Truss

- Faktor kekakuan Pratt Truss = 36011402,64 kNmm²
- Faktor kekakuan Fink Truss = 20755431,08 kNmm²

Prosentase faktor kekakuan adalah

$$\frac{(36011402,64 - 20755431,08)}{36011402,64} \times 100\% = 42,36\%$$

dimana rangka Howe Truss ternyata 42,36 % lebih kaku dibandingkan rangka Fink Truss.

5.7. TINJAUAN ANALITIS

Dari hasil pengujian pembebanan di laboratorium, beban maksimum yang didapat kemudian di masukan dalam SAP 2000 sehingga didapat gaya gaya batang. Gaya batang SAP 2000 dari beban maksimum hasil pengujian laboratorium ($P_{eksperimen}$) dibandingkan dengan hasil Analisis. Untuk analisis SAP 2000 terdapat pada lampiran lima.

5.7.1. Analisa Pengujian Tekuk Total

a. Batang Tekan (batang 7) Fink Truss

$$P_{eks} = 11,72 \text{ kN,}$$

$$L = 1617,79 \text{ mm}$$

$$A = 175 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 168200 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 31 \text{ mm}$$

$$I_y = 4640 \text{ mm}^4$$

$$r_y = r_{\min} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 16,3 \text{ mm}$$

$$F_y = 527,912 \text{ Mpa}$$

$$Q = 0,838 \text{ (diambil dari tabel lampiran L 4-6)}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}} = \sqrt{\frac{2,3,14^2 \cdot 200000}{0,838 \cdot 527,912}} = 94,47$$

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{1.1617,79}{16,3} = 99,25$$

Apabila KL/r lebih besar dari C_c maka tegangan kritisnya adalah

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{99,25^2} \\ &= 200,1798 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \cdot A \\ &= 200,1798 \cdot 175 \cdot 10^{-3} \\ &= 35,0315 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$P_{eks} < P_{cr}$ \longrightarrow jadi batang tidak rusak

b. Batang Tarik (Batang 1) Fink Truss

$$\begin{aligned} P_{eks} &= 10,70 \text{ KN} \\ A &= 175 \text{ mm}^2 \\ F_y &= 527,912 \text{ Mpa} \\ P_{cr} &= F_y \cdot A \\ &= 527,912 \cdot 175 \cdot 10^{-3} \\ &= 92,3846 \text{ kN} \end{aligned}$$

$P_{eks} < P_{cr}$ \longrightarrow jadi batang tidak rusak

5.7.2. Analisa Pengujian Tekuk Lokal

Menurut Salmon dan Johnson (1976) sebagai berikut :

$$\text{Pada lip } \left(\frac{d}{t}\right) = \left(\frac{11}{1}\right) = 11$$

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

$$\begin{aligned} F_{cr_lip} &= 0,425 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1}{11}\right)^2 \\ &= 596,95 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Pada sayap } \left(\frac{b}{t}\right) = \left(\frac{44}{1}\right) = 44 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} F_{cr_sayap} &= 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1}{44}\right)^2 \\ &= 373,10 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Pada badan } \left(\frac{h}{t}\right) = \left(\frac{76}{1}\right) = 76 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} F_{cr_badan} &= 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1}{76}\right)^2 \\ &= 125,05 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= 2.(F_{cr_{lip}} \cdot A_{lip}) + 2.(F_{cr_{syp}} \cdot A_{syp}) + (F_{cr_{bdn}} \cdot A_{bdn}) \\
 &= 2.(596,95 \cdot 11) + 2.(373,10 \cdot 44) + (125,05 \cdot 76) \\
 &= 55,4695 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$P_{eks} < P_{cr}$ \longrightarrow jadi batang tidak rusak

Jika : $P_{eks} > P_{cr}$ \longrightarrow Batang rusak
 $P_{eks} < P_{cr}$ \longrightarrow Batang tidak rusak

Dengan cara yang sama seperti perhitungan di atas akan didapatkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.7. Kekuatan Batang Tekan Struktur Fink Truss

| Batang | Peks (kN) | L (mm) | KL/r | Fcr (Mpa) | Pcr_total (kN) | Pcr_lokal (kN) | Keterangan | |
|--------|-----------|---------|---------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 4 | 11.72 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 35.0315 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 5 | 11.23 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 35.0315 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 6 | 11.23 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 35.0315 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 7 | 11.72 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 35.0315 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 9 | 0.89 | 1571.29 | 96.3982 | 212.2031 | 37.1355 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 10 | 0.89 | 1571.29 | 96.3982 | 212.2031 | 37.1355 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |

Tabel 5.8. Kekuatan Batang Tarik Struktur Fink Truss

| Batang | Peks (kN) | Pcr_total=Fy.A (kN) | Pcr_lokal (kN) | Keterangan | |
|--------|-----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 10.70 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 2 | 10.91 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 3 | 10.70 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 8 | 0.19 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 11 | 0.19 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |

Tabel 5.9. Kekuatan Batang Tekan Struktur Pratt Truss

| Batang | Peks (kN) | L (mm) | KL/r | Fcr (Mpa) | Pcr_total (kN) | Pcr_lokal (kN) | Keterangan | |
|--------|-----------|---------|----------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 4 | 10.16 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 38.8407 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 5 | 9.02 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 38.8407 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 6 | 9.02 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 38.8407 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 7 | 10.16 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 38.8407 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 9 | 1.70 | 1928.46 | 118.3104 | 140.8780 | 24.6537 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 10 | 1.70 | 1928.46 | 118.3104 | 140.8780 | 24.6537 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |

Tabel 5.10. Kekuatan Batang Tarik Struktur Pratt Truss

| Batang | Peks (kN) | Pcr_total=Fy.A (kN) | Pcr_lokal (kN) | Keterangan | |
|--------|-----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 9.28 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 2 | 9.63 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 3 | 9.28 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 8 | 40.30 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 11 | 40.30 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |

Tabel 5.11. Kekuatan Batang Tekan Struktur Howe Truss

| Batang | Peks (kN) | L (mm) | KL/r | Fcr (Mpa) | Pcr_total (kN) | Pcr_lokal (kN) | Keterangan | |
|--------|-----------|---------|---------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 5 | 11.08 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 35.0315 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 6 | 11.22 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 35.0315 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 7 | 11.22 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 35.0315 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 8 | 11.08 | 1617.79 | 99.2509 | 200.1798 | 35.0315 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 9 | 0.37 | 606.00 | 37.1779 | 408.1324 | 71.4232 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 11 | 1.32 | 1212.00 | 74.3558 | 305.3594 | 53.4379 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 13 | 0.37 | 606.00 | 37.1779 | 408.1324 | 71.4232 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |

Tabel 5.12. Kekuatan Batang Tarik Struktur Howe Truss

| Batang | Peks (kN) | Pcr_total=Fy.A (kN) | Pcr_lokal (kN) | Keterangan | |
|--------|-----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 10.12 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 2 | 9.12 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 3 | 9.12 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 4 | 10.12 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 10 | 1.38 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |
| 12 | 1.38 | 92.3846 | 55.4695 | Peks<Pcr_total | Peks<Pcr_lokal |

5.8. Pembahasan

Dari penelitian didapatkan hubungan beban (P) dan lendutan (Δ), yang menghasilkan nilai kekakuan. Nilai kekakuan didapat dari diagram P/Δ , sehingga diperoleh kekakuan pada setiap bentuk rangka batang.

Beban maksimum yang dapat dipikul serta lendutan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.13

Tabel 5.13 Beban maksimum dan lendutan yang terjadi pada masing masing rangka batang

| Tipe rangka Batang | Beban Maksimum (kN) | Lendutan (10^{-2} .mm) |
|--------------------|---------------------|---------------------------|
| Fink | 9.9 | 2115 |
| Pratt | 9 | 1287 |
| Howe | 9.8 | 1216 |

Beban maksimum yang dapat didukung rangka batang berkisar antara 9 kN sampai 9,9 kN, sedangkan lendutan yang terjadi berkisar antara 12,16 mm sampai 21,15 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa salah satu model mempunyai kekakuan dan kekuatan yang lebih besar dari model yang lain, sehingga dalam penelitian ini disimpulkan bahwa, dari ke-3 model benda uji, yaitu rangka batang Howe mempunyai kekakuan yang lebih besar dari rangka batang Pratt dan Fink, dan rangka batang Fink mempunyai kekuatan yang lebih besar dari rangka batang Howe dan Pratt.

Panjang batang dinding dari ke-3 rangka batang kuda-kuda di atas diketahui bahwa rangka batang Fink mempunyai panjang batang yang paling pendek dibandingkan dengan rangka batang Pratt dan Howe, dimana panjang batang untuk Fink adalah 4,7139 m, Pratt adalah 5,0689 m, dan Howe adalah 5,6596 m.

Mengacu pada rumus Hooke $\Delta = PL/AE$, maka pada rangka batang akan mengalami deformasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa deformasi berpengaruh pada kekakuan suatu komponen kuda-kuda rangka batang, semakin besar deformasi maka semakin kecil kekakuan komponen kuda-kuda rangka batang tersebut. Untuk perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada lampiran lima.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

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

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini (kuda-kuda rangka batang profil Lipped Channel bentukan dingin dengan variasi bentuk yaitu Fink, Pratt dan Howe) adalah meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Dari grafik hubungan beban-lendutan, kuda-kuda rangka batang dengan profil, sudut α dan bentang yang sama ternyata bentuk Howe mempunyai kekakuan yang paling besar dari pada bentuk Pratt dan Fink, sedangkan bentuk Fink mempunyai kekuatan yang paling besar dari pada bentuk Howe dan Pratt.
2. Dari grafik hubungan momen-kelengkungan bentuk Howe mempunyai faktor kekakuan (EI) yang paling besar dari pada bentuk Pratt dan Fink.
3. Pada elemen tekan penyusun tampang suatu struktur tidak terjadi tekuk lokal.

6.2 Saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan beserta kesimpulan sebelumnya, maka disarankan untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat dibandingkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pengaruh jarak pengekang lateral terhadap kuat lentur kuda-kuda rangka batang dari baja ringan.
2. Pengaruh bentuk lubang terhadap kuat geser sambungan baut.
3. Pengaruh rasio tinggi terhadap panjang bentang kuda-kuda baja ringan.
4. Pengujian kuda-kuda rangka batang dengan pembebanan pada setiap joint

DAFTAR PUSTAKA

Gere dan Timoshenko, 2000, **MEKANIKA BAHAN**, Jilid I dan II Edisi keempat, Airlangga, Jakarta.

Gideon Hadi Kusuma, 1983, **PERENCANAAN BANGUNAN BAJA**, Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Hsieh, Yuan-Yu, 1985, **TEORI DASAR STRUKTUR**, Edisi Kedua, diterjemahkan oleh Suryadi, Erlangga, Jakarta.

Lambert Tall, 1974, **STRUKTUR STEEL DESIGN**, 2nd Edition, The Ronald Press Company, New York.

N.S Trahair and M.A. Bradford, 1988, **THE BEHAVIOUR AND DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, 2nd Edition, Chapman and Hall, New York.

Salmon, C.G dan J.E. Johnson, 1990, **STRUKTUR BAJA DISAIN DAN PERILAKU**, Edisi kedua, Jilid I, Erlangga, Jakarta.

Schafer, B.W, 2000, **THIN-WALLED COLUMN DESIGN CONSIDERING LOCAL, DISTORTIONAL AND EULER BUCKLING**, *Journal Of Structural Engineering*, www.ce.jhu.edu/bschafer/dist_columns/paper.pdf/ March ,289-290.

Wang, Chu-Kia, 1985, **PENGANTAR ANALISIS STRUKTUR DENGAN CARA MATRIKS**, Erlangga, Jakarta.

Robert D. Cook, 1981, **METODE ELEMEN HINGGA**, Eresco, Bandung.

Padosbajayo, 1991, **BAHAN KULIAH PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA**, Nafiri, Yogyakarta.



UNTUK MAHASISWA

FM-UII-AA-FPU-09

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

| NO. | N A M A | NO. MHS. | BID.STUDI |
|-----|------------|------------|--------------|
| 1 | Muslihudin | 99 511 083 | Teknik Sipil |
| 2 | Ibnu Hajar | 99 511 376 | Teknik Sipil |

JUDUL TUGAS AKHIR :

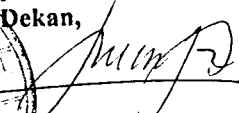
..... Manual perencanaan struktur baja

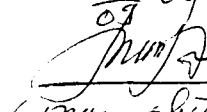
PERIODE III : MARET - AGUSTUS
TAHUN : 2003- 2004

| No. | Kegiatan | Bulan Ke : | | | | | |
|-----|----------------------------|------------|------|------|------|------|------|
| | | Mar. | Apr. | Mei. | Jun. | Jul. | Aug. |
| 1. | Pendaftaran | | | | | | |
| 2. | Penentuan Dosen Pembimbing | | | | | | |
| 3. | Pembuatan Proposal | | | | | | |
| 4. | Seminar Proposal | | | | | | |
| 5. | Konsultasi Penyusunan TA. | | | | | | |
| 6. | Sidang-Sidang | | | | | | |
| 7. | Pendadaran. | | | | | | |

DOSEN PEMBIMBING I : Much. Samsudin, Ir, H, MT.
 DOSEN PEMBIMBING II : Fatkhurrahman N. Ir, MT.



Yogyakarta, 30 Maret 2004
 a.n. Dekan,

 (Ir. H. Munadhir, MT.....)

TA ini sudah lebih dari 1 th.
 Menurut aseran, TA ini bisa dipa...
 peng dgn syarat membayar lagi dgn dosen
 pembimbing & judul yg sama 15-09-09

 (Munadhir)

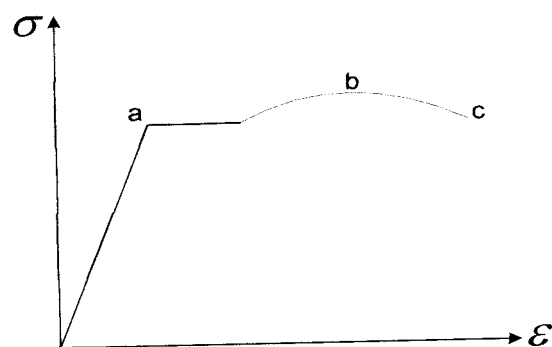
Catatan.
 Seminar :
 Sidang :
 Pendadaran :

Setiap kali mahasiswa konsultasi dosen pembimbing diminta untuk selalu menanyakan KRS Mahasiswa yang bersangkutan yang didalamnya harus tercantum SKS TA (tugas Akhir), bila SKS TA tidak tercantum maka dosen tidak boleh melayani konsultasi mahasiswa yang bersangkutan

LAMPIRAN 2

HASIL UJI BAHAN

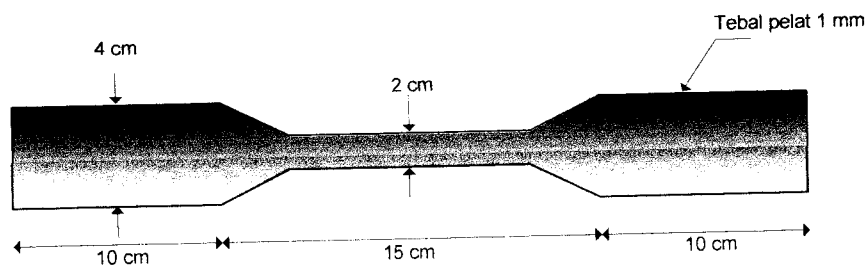
Pengujian ini merupakan uji terhadap kekuatan tarik bahan profil Lipped Channel 76x44x11 dengan tebal 1 mm yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 20 Desember 2004. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :



Beban Leleh (a)

Beban Maksimum (b)

Beban Patah (c)



1. Hasil pengujian kuat tarik profil Lipped Channel 76x44x11x1

a. Sampel I

Beban leleh = 1019,83 kg

Beban maksimum = 1240 kg

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2,125 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 0,1 \text{ cm}$$

$$A_o = l \times t = 0,2125 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik (Fy)} &= \frac{Py}{A_o} \\ &= \frac{1019,83}{0,2125} \\ &= 4799,19 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 479,919 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

b. Sampel II

$$\text{Beban leleh} = 1195 \text{ kg}$$

$$\text{Beban maksimum} = 1200 \text{ kg}$$

Perhitungan :

$$\text{Lebar} = 2,075 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 0,1 \text{ cm}$$

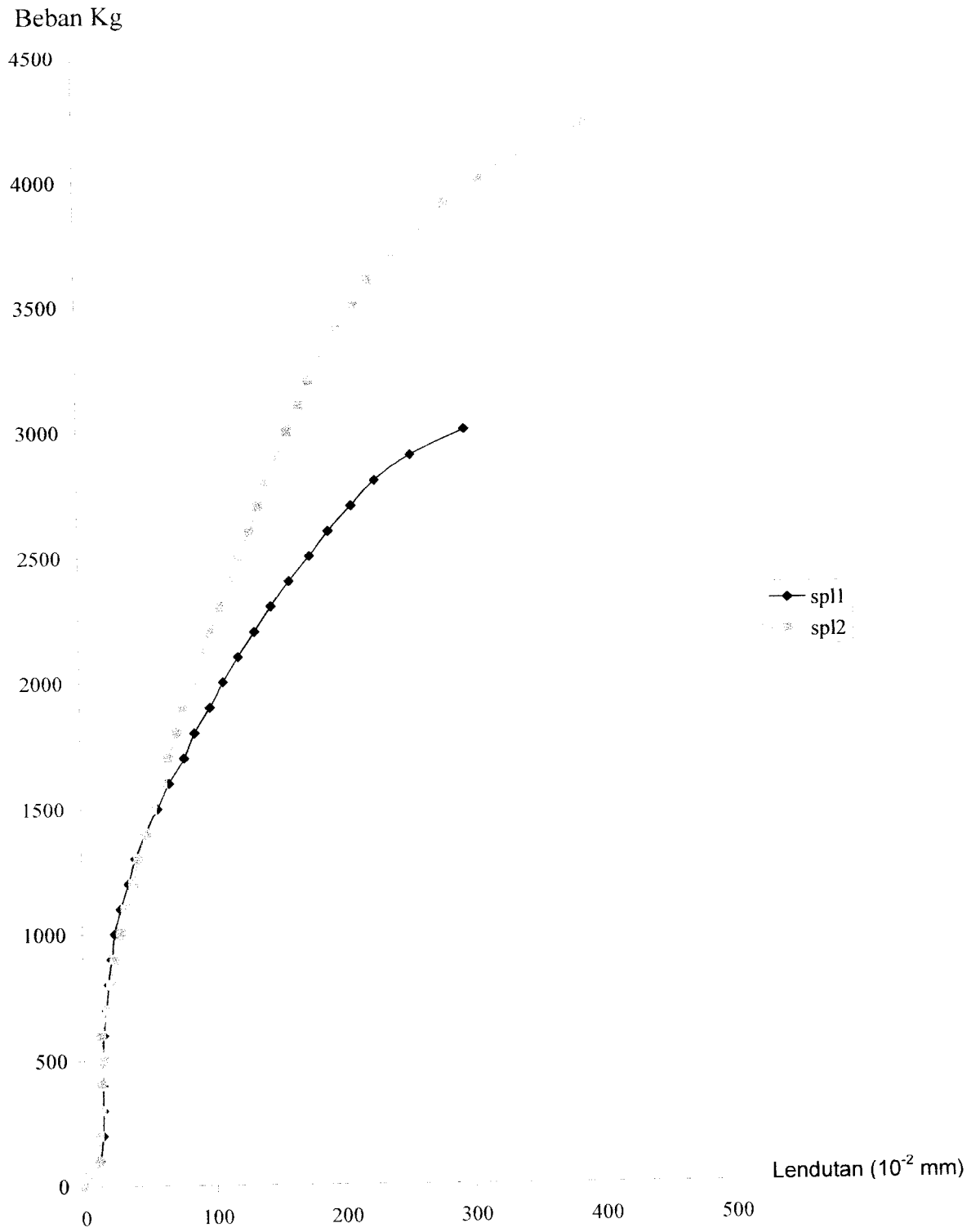
$$A_o = l \times t = 0,2075 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik (Fy)} &= \frac{Py}{A_o} \\ &= \frac{1195}{0,2075} \\ &= 5759,04 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 575,904 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik Rata-rata (Fy}_{\text{rata-rata}}) &= \frac{479,919 + 575,904}{2} \\ &= 527,912 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

2. Hasil pengujian kuat tekan profil Lipped Channel 76x44x11x1

| BEBAN (kg) | LENDUTAN | |
|---------------|--------------------------|--------------------------|
| | SAMPEL 1 (10^{-2} mm) | SAMPEL 2 (10^{-2} mm) |
| 0 | 0 | 0 |
| 100 | 11.0 | 10.5 |
| 200 | 13.5 | 10.5 |
| 300 | 14.0 | 12.0 |
| 400 | 14.0 | .0 |
| 500 | 14.5 | 15.0 |
| 600 | 15.0 | 13.0 |
| 700 | 17.0 | 18.0 |
| 800 | 19.0 | 21.0 |
| 900 | 22.0 | 24.0 |
| 1000 | 24.5 | 29.0 |
| 1100 | 29.0 | 33.0 |
| 1200 | 35.0 | 39.0 |
| 1300 | 41.0 | 43.0 |
| 1400 | 49.0 | 49.0 |
| 1500 | 58.0 | 54.0 |
| 1600 | 67.0 | 62.0 |
| 1700 | 79.0 | 67.0 |
| 1800 | 87.0 | 74.0 |
| 1900 | 99.0 | 79.0 |
| 2000 | 109.0 | 86.0 |
| 2100 | 121.0 | 92.0 |
| 2200 | 134.0 | 100.0 |
| 2300 | 147.0 | 107.0 |
| 2400 | 161.0 | 115.0 |
| 2500 | 177.0 | 122.0 |
| 2600 | 192.0 | 131.0 |
| 2700 | 210.0 | 138.0 |
| 2800 | 228.0 | 144.0 |
| 2900 | 256.0 | 152.0 |
| 3000 | 298.0 | 161.0 |
| 3100 | | 170.0 |
| 3200 | | 178.0 |
| 3300 | | 190.0 |
| 3400 | | 200.0 |
| 3500 | | 214.0 |
| 3600 | | 225.0 |
| 3700 | | 244.0 |
| 3800 | | 264.0 |
| 3900 | | 285.0 |
| 4000 | | 312.0 |
| 4100 | | 342.0 |
| 4200 | | 384.0 |
| 4220 | | 392.0 |



$$\begin{aligned}\text{Kuat Desak (sample 1)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{3000 \text{ kg}}{175 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 1714 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 171,4 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

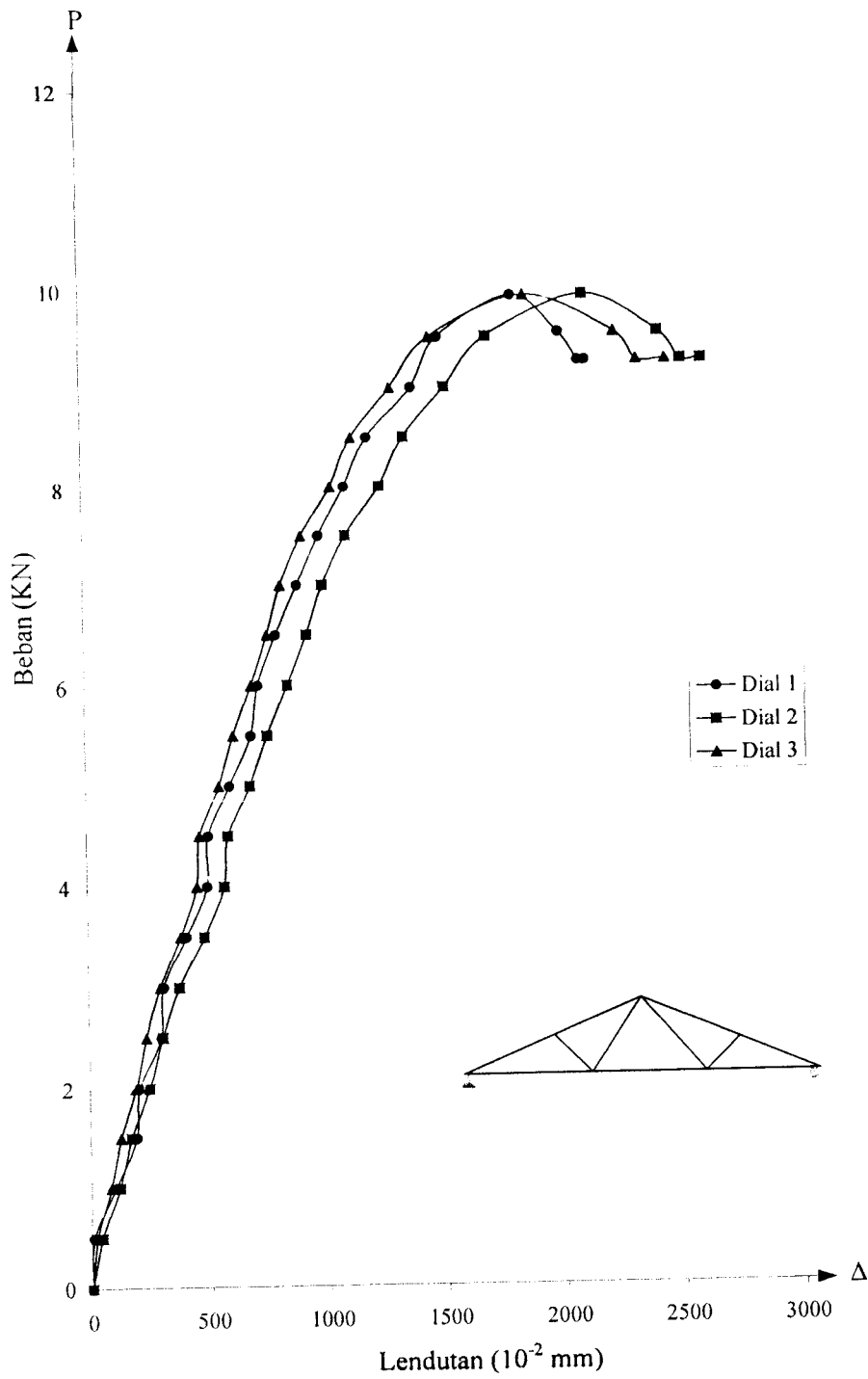
$$\begin{aligned}\text{Kuat Desak (sample 2)} &= \frac{\text{beban maksimum}}{\text{luas tampang}} \\ &= \frac{4220 \text{ kg}}{175 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2} \\ &= 2411 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 241,1 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat Desak Rata-rata} &= \frac{171,4 + 241,4}{2} \\ &= 206,25 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Tabel Hubungan Beban dan Lendutan Fink Truss

| P(kN) | Δ_1 (10^{-2} mm) | Δ_2 (10^{-2} mm) | Δ_3 (10^{-2} mm) |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0.00 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 9.5 | 43 | 23 |
| 1.00 | 99 | 116 | 80 |
| 1.50 | 190 | 168 | 125 |
| 2.00 | 203 | 244 | 188 |
| 2.50 | 295 | 302 | 234 |
| 3.00 | 310 | 375 | 295 |
| 3.50 | 406 | 481 | 380 |
| 4.00 | 497 | 569 | 454 |
| 4.50 | 503 | 587 | 468 |
| 5.00 | 596 | 682 | 550 |
| 5.50 | 690 | 759 | 615 |
| 6.00 | 721 | 846 | 691 |
| 6.50 | 800 | 930 | 762 |
| 7.00 | 892 | 1000 | 822 |
| 7.50 | 985 | 1100 | 910 |
| 8.00 | 1099 | 1249 | 1040 |
| 8.50 | 1196 | 1352 | 1129 |
| 9.00 | 1388 | 1530 | 1298 |
| 9.50 | 1503 | 1710 | 1465 |
| 9.90 | 1815 | 2115 | 1868 |
| 9.53 | 2015 | 2430 | 2247 |
| 9.25 | 2096 | 2525 | 2340 |
| 9.25 | 2123 | 2610 | 2460 |

Dari tabel hubungan beban-lendutan diatas maka didapatkan grafik hubungan beban-lendutan.

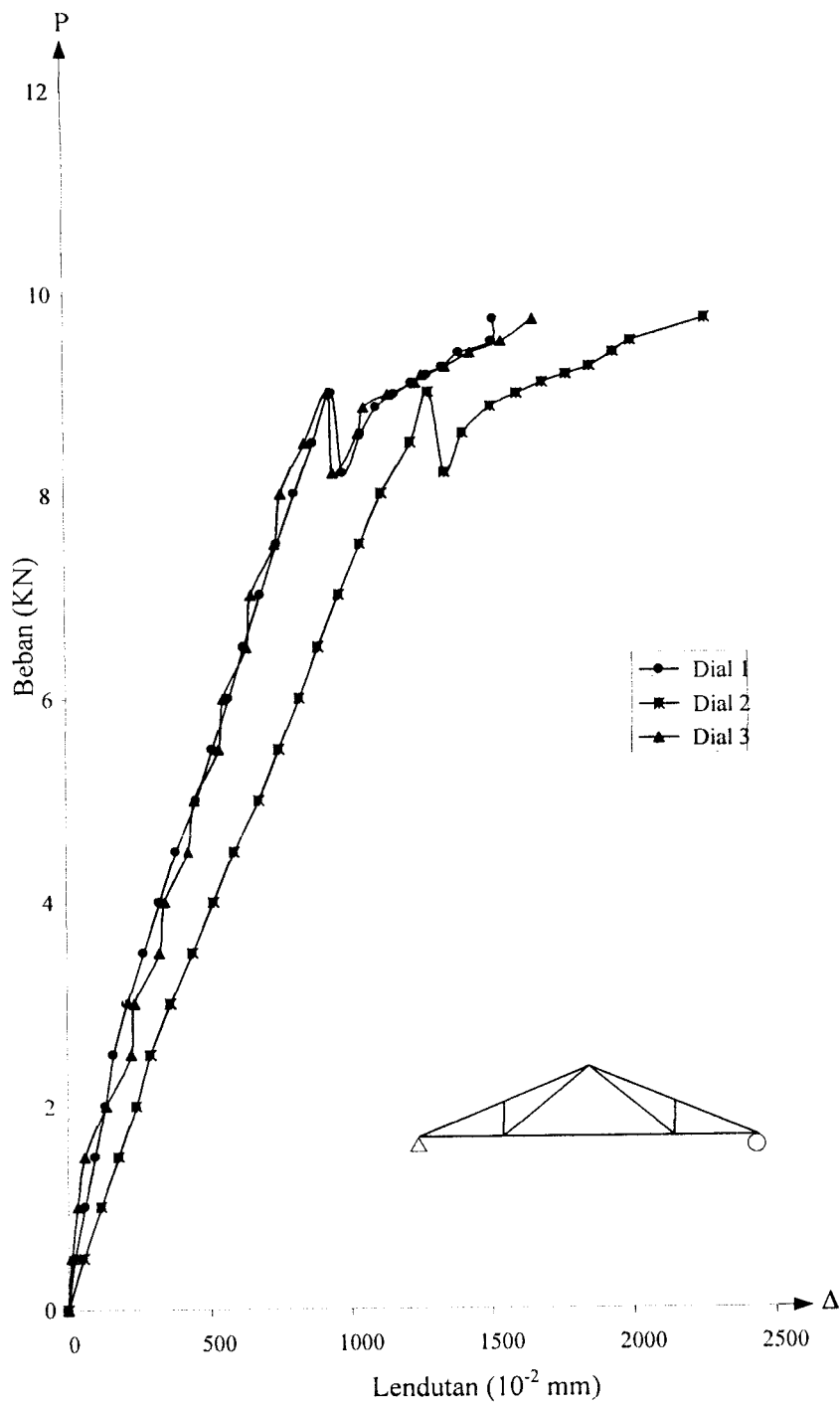


Grafik Hubungan Beban-Lendutan Fink Truss

Tabel Hubungan Beban dan Lendutan Pratt Trus

| P (KN) | Dial 1 (10 ⁻² mm) | Dial 2 (10 ⁻² mm) | Dial 3 (10 ⁻² mm) |
|--------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 0.00 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 24 | 54 | 12 |
| 1.00 | 59 | 115 | 33 |
| 1.50 | 96 | 177 | 60 |
| 2.00 | 130 | 237 | 133 |
| 2.50 | 161 | 288 | 221 |
| 3.00 | 209 | 360 | 235 |
| 3.50 | 266 | 437 | 320 |
| 4.00 | 324 | 513 | 341 |
| 4.50 | 381 | 587 | 422 |
| 5.00 | 452 | 675 | 445 |
| 5.50 | 512 | 747 | 534 |
| 6.00 | 570 | 820 | 549 |
| 6.50 | 625 | 888 | 634 |
| 7.00 | 684 | 963 | 650 |
| 7.50 | 743 | 1038 | 735 |
| 8.00 | 808 | 1118 | 759 |
| 8.50 | 874 | 1221 | 843 |
| 9.00 | 942 | 1287 | 929 |
| 8.20 | 981 | 1344 | 946 |
| 8.59 | 1045 | 1407 | 1033 |
| 8.85 | 1102 | 1506 | 1055 |
| 8.98 | 1168 | 1601 | 1143 |
| 9.09 | 1230 | 1691 | 1240 |
| 9.17 | 1285 | 1776 | 1263 |
| 9.25 | 1341 | 1858 | 1347 |
| 9.39 | 1398 | 1941 | 1436 |
| 9.50 | 1514 | 2003 | 1546 |
| 9.72 | 1518 | 2262 | 1655 |

Dari tabel hubungan beban-lendutan diatas maka didapatkan grafik hubungan beban-lendutan.

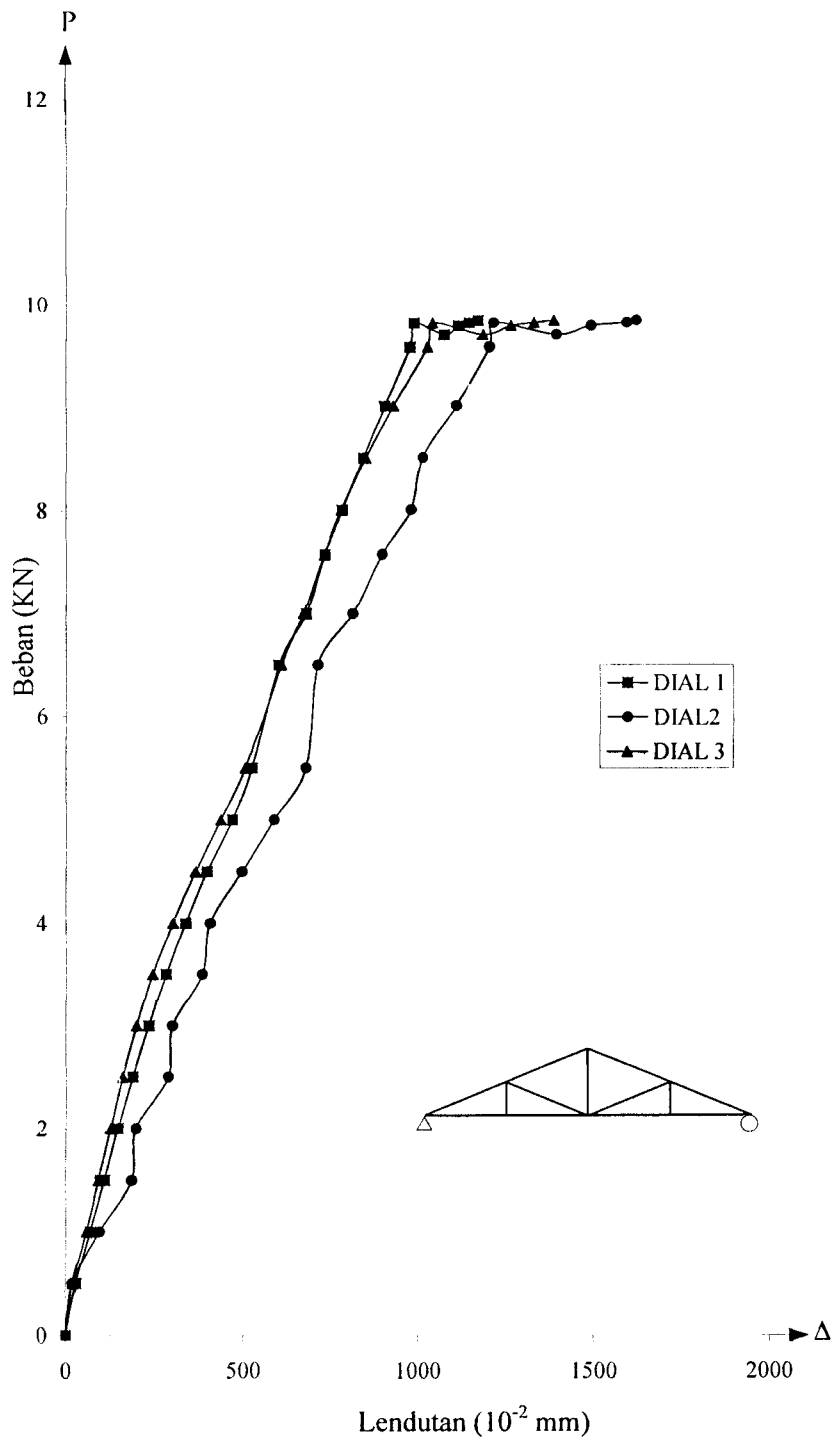


Grafik Hubungan Beban-Lendutan Pratt Truss

Tabel Hubungan Beban dan Lendutan Howe Truss

| P (kN) | Dial 1 (10 ⁻² mm) | Dial 2 (10 ⁻² mm) | Dial 3 (10 ⁻² mm) |
|--------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 30.0 | 21.0 | 20.0 |
| 1.00 | 68.5 | 95.0 | 58.0 |
| 1.50 | 110.0 | 186.0 | 94.0 |
| 2.00 | 146.0 | 197.0 | 126.0 |
| 2.50 | 187.5 | 287.0 | 159.0 |
| 3.00 | 232.5 | 299.0 | 198.0 |
| 3.50 | 280.0 | 382.0 | 242.0 |
| 4.00 | 336.0 | 405.0 | 300.0 |
| 4.50 | 395.5 | 496.0 | 363.0 |
| 5.00 | 467.0 | 587.0 | 434.0 |
| 5.50 | 524.5 | 679.0 | 506.0 |
| 6.00 | 596.5 | 714.0 | 581.0 |
| 6.50 | 601.5 | 714.0 | 609.0 |
| 7.00 | 682.0 | 815.0 | 673.0 |
| 7.57 | 735.0 | 898.0 | 732.0 |
| 8.00 | 785.5 | 982.0 | 782.0 |
| 8.50 | 844.0 | 1015.0 | 852.0 |
| 9.00 | 907.0 | 1111.0 | 931.5 |
| 9.50 | 979.0 | 1206.0 | 1029.0 |
| 9.80 | 989.0 | 1216.0 | 1042.5 |
| 9.68 | 1076.0 | 1395.0 | 1186.0 |
| 9.77 | 1115.0 | 1493.5 | 1265.0 |
| 9.80 | 1146.5 | 1594.5 | 1331.0 |
| 9.82 | 1172.0 | 1622.0 | 1388.0 |

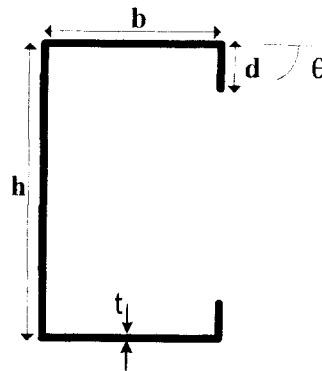
Dari tabel hubungan beban-lendutan diatas maka didapatkan grafik hubungan beban-lendutan.



Grafik Hubungan Beban- Lendutan Howe Truss

LAMPIRAN 4

**PERHITUNGAN TEGANGAN KRITIS (F_{cr}) DARI PROFIL LIPPED
CHANNEL BENTUKAN DINGAN**



Gambar 3.7 Profil Lipped Chanel

$$h = 76 \text{ mm}$$

$$b = 44 \text{ mm}$$

$$d = 11 \text{ mm}$$

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

Profil Lipped Channel 76 x 44 x 11 x 1

1. Menurut Salmon dan Johnson (1976)

$$\text{Pada lip } \left(\frac{d}{t} \right) = \left(\frac{11}{1} \right) = 11$$

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

$$F_{cr_lip} = 0,425 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \left(\frac{1}{11} \right)^2$$

$$= 596,95 \text{ Mpa}$$

Pada sayap $\left(\frac{b}{t}\right) = \left(\frac{44}{1}\right) = 44 \text{ mm}$

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

$$F_{cr_sayap} = 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1}{44}\right)^2$$

$$= 373,10 \text{ Mpa}$$

Pada badan $\left(\frac{h}{t}\right) = \left(\frac{76}{1}\right) = 76 \text{ mm}$

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

$$F_{cr_badan} = 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1}{76}\right)^2$$

$$= 125,05 \text{ Mpa}$$

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

$$= 2 \cdot (F_{cr_{lip}} \cdot A_{lip}) + 2 \cdot (F_{cr_{sayap}} \cdot A_{sayap}) + (F_{cr_{badan}} \cdot A_{badan})$$

$$= 2 \cdot (596,95 \cdot 11) + 2 \cdot (373,10 \cdot 44) + (125,05 \cdot 76)$$

$$= 55,4695 \text{ kN}$$

2. Menurut Schafer (1997)

Pada sayap tepi/lip $\left(\frac{d}{t}\right) = \left(\frac{11}{1}\right) = 11$

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

$$k_{lip} = -11,07 \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 3,95 \left(\frac{d}{b}\right) + 4$$

$$= -11,07 \left(\frac{11}{44} \right)^2 + 3,95 \left(\frac{11}{44} \right) + 4$$

$$= 4,2956$$

Sehingga

$$F_{cr_lip} = 4,2956 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \left(\frac{1}{11} \right)^2$$

$$= 6410,069 \text{ Mpa}$$

Pada sayap dan badan

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

$$k_{sayap_badan} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right] \text{ jika } \frac{h}{b} \geq 1$$

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

$$\frac{h}{b} = \frac{76}{44} = 1,727 > 1, \text{ sehingga nilai } k_{sayap_badan} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right]$$

$$k_{sayap_badan} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right]$$

$$= \left[\left[2 - \left(\frac{44}{76} \right)^{0.4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{44}{76} \right)^2 \right]$$

$$= 1,60$$

$$F_{cr_sayap} = k_{sayap} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2$$

$$= 1,60 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1}{44}\right)^2$$

$$= 149,24 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr_badan} = k_{badan} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^2$$

$$= 1,60 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1}{76}\right)^2$$

$$= 50,02 \text{ Mpa}$$

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

$$= 2 \cdot (F_{cr_{lip}} \cdot A_{lip}) + 2 \cdot (F_{cr_{syp}} \cdot A_{syp}) + (F_{cr_{bdn}} \cdot A_{bdn})$$

$$= 2 \cdot (6410,069 \cdot 11) + 2 \cdot (149,24 \cdot 44) + (50,02 \cdot 76)$$

$$= 157,96 \text{ kN}$$

3. Menurut AISC

Besar tegangan kritis menurut AISC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan tegangan kritis kolom, yaitu :

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2Cc^2} \right]$$

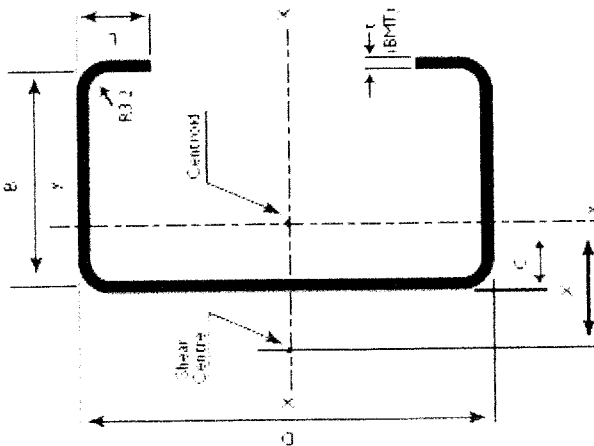
Apabila

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}}, \text{ dengan } Q = 0,838 \text{ (diambil dari tabel lipped channel)}$$

$$= \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{0,838 \cdot 527,912}}$$

$$= 94,47$$

Lipped Channels



Method of Cataloguing

Lipped Channels are denoted by the letters "LL". In the number following these letters, the first three digits indicate the nominal web dimension of the channel in millimetres. The last two digits indicate the thickness of material in tenths of a millimetre, e.g.

- LL 06425 – Lipped Channel
364 mm x 2.5 mm
- LC 20330 – Lipped Channel
203 mm x 3.0 mm

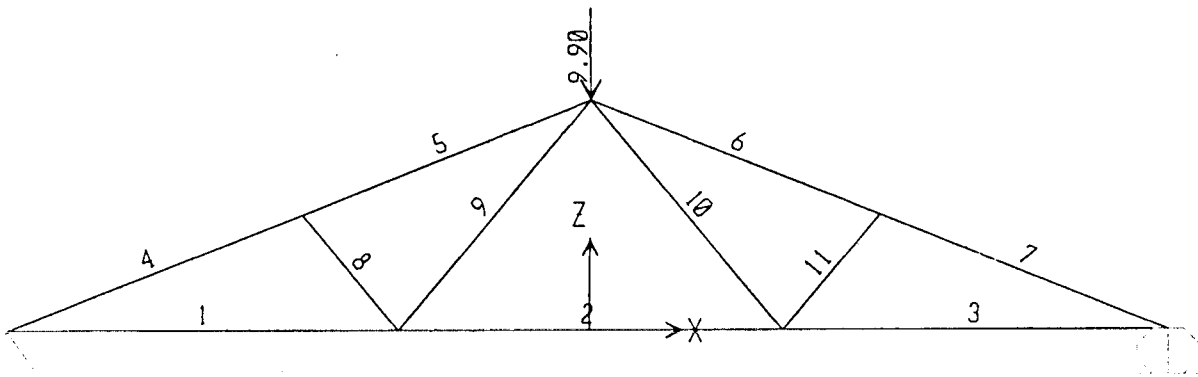
Tolerances

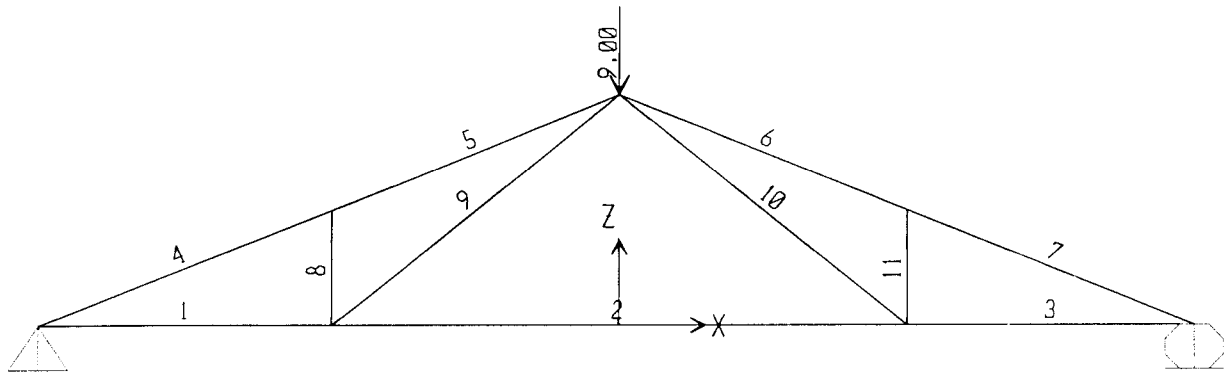
Web: ±1 mm for LL 05116 to LL 10230
 + 2mm -1 mm for LL 12725 to LL 25430
 Flange: ± 1 mm for LL 05116 to LL 10230 (within 1 mm each side) +2 mm -1 mm for LL 12725 to LL 25430 (within 1 mm each side)
 Length + 15 mm -0

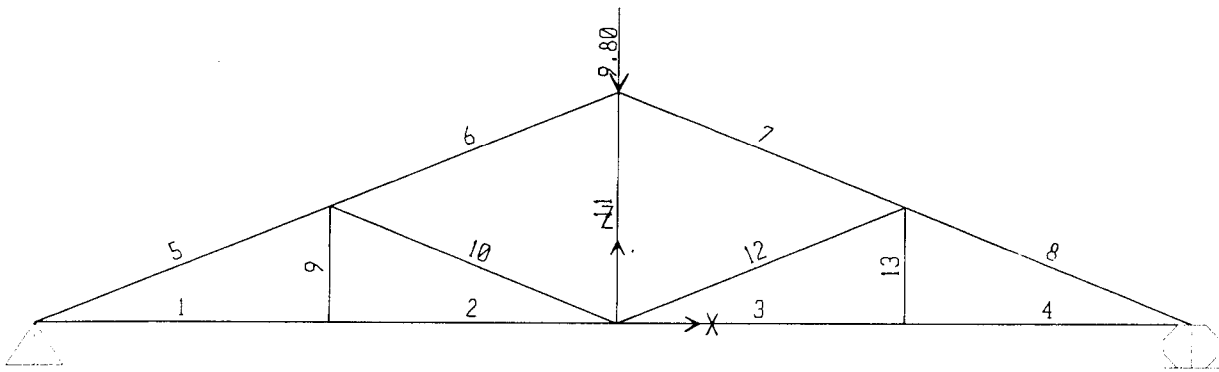
Lipped Channels - Dimensions and Properties of Full Unreduced Sections

| Catalogue No. | Nominal Dimensions | | | | Section Area | Mass | | Second Moment of Area | | | Centroid | Section Modulus | | | Radius of Gyration | |
|---------------------------------|--------------------|----|----|-----|--------------|-------|-------|-----------------------|----------------|------|----------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|
| | D | B | L | t | | Galv. | Black | I _x | I _y | c | | Z _x | Z _y | Z _{y red} | r _x | r _y |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| mm ² | | | | | | | | | | | | | | | | |
| kg/m | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 ⁶ mm ⁴ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 ³ mm ³ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| mm | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LL05116 | 51 | 35 | 12 | 1.6 | 208 | 1.68 | 1.63 | 0.0864 | 0.0352 | 13.9 | 3.39 | 1.67 | 1.67 | 20.4 | 13.0 | 1.0000 |
| LL06425 | 64 | 38 | 13 | 2.5 | 363 | 2.90 | 2.85 | 0.2280 | 0.0680 | 14.2 | 7.11 | 2.86 | 2.86 | 25.1 | 13.7 | 1.0000 |
| LL07610 | 76 | 44 | 11 | 1.0 | 175 | 1.43 | 1.37 | 0.1682 | 0.0464 | 15.3 | 4.43 | 1.62 | 1.41 | 31.0 | 16.3 | 0.8380 |
| LL07625 | 76 | 44 | 16 | 2.5 | 438 | 3.49 | 3.44 | 0.3920 | 0.1156 | 16.7 | 10.30 | 4.23 | 4.23 | 29.9 | 16.3 | 1.0000 |
| LL10225 | 102 | 51 | 18 | 2.5 | 550 | 4.39 | 4.32 | 0.8870 | 0.1980 | 18.2 | 17.40 | 6.05 | 6.05 | 40.2 | 19.0 | 0.9830 |
| LL10230 | 102 | 51 | 19 | 3.0 | 660 | 5.25 | 5.18 | 1.0450 | 0.2370 | 18.6 | 20.50 | 7.32 | 7.32 | 39.8 | 18.9 | 1.0000 |
| LL12725 | 127 | 51 | 18 | 2.5 | 612 | 4.89 | 4.81 | 1.4870 | 0.2140 | 16.5 | 23.40 | 6.22 | 6.22 | 49.3 | 18.7 | 0.9150 |
| LL12730 | 127 | 51 | 19 | 3.0 | 735 | 5.85 | 5.77 | 1.7600 | 0.2570 | 16.9 | 27.70 | 7.53 | 7.53 | 48.9 | 18.7 | 0.9670 |
| LL15230 | 152 | 64 | 21 | 3.0 | 900 | 7.16 | 7.07 | 3.1800 | 0.4980 | 20.9 | 41.80 | 11.50 | 11.50 | 59.4 | 23.5 | 0.9150 |
| LL20330 | 203 | 76 | 24 | 3.0 | 1140 | 9.07 | 8.95 | 1.7750 | 0.8750 | 23.1 | 70.10 | 16.54 | 16.54 | 39.9 | 27.7 | 0.8230 |

LAMPIRAN 5







Tabel. Deformasi Analisa SAP

| FINK | | | | | | |
|--------|-------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------|----------|------------------------|
| Batang | Panjang (L) mm | Beban (P) N | Luas (A) mm ² | Tegangan F=P/A (Mpa) | E Mpa | $\Delta=PL/AE$ (mm) |
| 1 | 2000 | 10703 | 175 | 61.16 | 200000 | 0.61160 |
| 2 | 2000 | 10910 | 175 | 62.34 | 200000 | 0.62343 |
| 3 | 2000 | 10700 | 175 | 61.14 | 200000 | 0.61143 |
| 4 | 1617.79 | 11723 | 175 | 66.99 | 200000 | -0.54187 |
| 5 | 1617.79 | 11227 | 175 | 64.15 | 200000 | -0.51894 |
| 6 | 1617.79 | 11230 | 175 | 64.17 | 200000 | -0.51908 |
| 7 | 1617.79 | 11720 | 175 | 66.97 | 200000 | -0.54173 |
| 8 | 790.00 | 186 | 175 | 1.06 | 200000 | 0.00420 |
| 9 | 1571.29 | 892 | 175 | 5.10 | 200000 | -0.04005 |
| 10 | 1571.29 | 892 | 175 | 5.10 | 200000 | -0.04005 |
| 11 | 790.00 | 190 | 175 | 1.09 | 200000 | 0.00429 |

| PRATT | | | | | | |
|--------|-------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------|----------|------------------------|
| Batang | Panjang (L) mm | Beban (P) N | Luas (A) mm ² | Tegangan F=P/A (Mpa) | E Mpa | $\Delta=PL/AE$ (mm) |
| 1 | 1500 | 9280 | 175 | 53.03 | 200000 | 0.39771 |
| 2 | 3000 | 9630 | 175 | 55.03 | 200000 | 0.82543 |
| 3 | 1500 | 9280 | 175 | 53.03 | 200000 | 0.39771 |
| 4 | 1617.79 | 10159 | 175 | 58.05 | 200000 | -0.46958 |
| 5 | 1617.79 | 9016 | 175 | 51.52 | 200000 | -0.41674 |
| 6 | 1617.79 | 9016 | 175 | 51.52 | 200000 | -0.41674 |
| 7 | 1617.79 | 10159 | 175 | 58.05 | 200000 | -0.46958 |
| 8 | 606 | 690 | 175 | 3.94 | 200000 | 0.01195 |
| 9 | 1928.46 | 1698 | 175 | 9.70 | 200000 | -0.09356 |
| 10 | 1928.46 | 1700 | 175 | 9.71 | 200000 | -0.09367 |
| 11 | 606 | 690 | 175 | 3.94 | 200000 | 0.01195 |

| HOWE | | | | | | |
|--------|-------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------|----------|------------------------|
| Batang | Panjang (L) mm | Beban (P) N | Luas (A) mm ² | Tegangan F=P/A (Mpa) | E Mpa | $\Delta=PL/AE$ (mm) |
| 1 | 1500 | 10120 | 175 | 57.83 | 200000 | 0.43371 |
| 2 | 1500 | 9120 | 175 | 52.111 | 200000 | 0.39086 |
| 3 | 1500 | 9120 | 175 | 52.111 | 200000 | 0.39086 |
| 4 | 1500 | 10120 | 175 | 57.83 | 200000 | 0.43371 |
| 5 | 1617.79 | 11080 | 175 | 63.31 | 200000 | -0.51215 |
| 6 | 1617.79 | 11220 | 175 | 64.11 | 200000 | -0.51862 |
| 7 | 1617.79 | 11220 | 175 | 64.11 | 200000 | -0.51862 |
| 8 | 1617.79 | 11080 | 175 | 63.31 | 200000 | -0.51215 |
| 9 | 606.00 | 370 | 175 | 2.11 | 200000 | -0.00641 |
| 10 | 1617.79 | 1380 | 175 | 7.89 | 200000 | 0.06379 |
| 11 | 1212.00 | 1320 | 175 | 7.54 | 200000 | -0.04571 |
| 12 | 1617.79 | 1380 | 175 | 7.89 | 200000 | 0.06379 |
| 13 | 606.00 | 370 | 175 | 2.11 | 200000 | -0.00641 |

Tabel 1. Beban – Lendutan Analisis SAP dan Hasil Pengujian Rangka Fink

| SAP (10^{-2} mm) | | | | Hasil Pengujian (10^{-2} mm) | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|---------------------------------|------------|------------|------------|
| P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 | P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 24.60 | 24.60 | 24.60 | 0.50 | 9.5 | 43 | 23 |
| 1.00 | 49.20 | 49.20 | 49.20 | 1.00 | 99 | 116 | 80 |
| 1.50 | 73.90 | 73.90 | 73.90 | 1.50 | 190 | 168 | 125 |
| 2.00 | 98.50 | 98.50 | 98.50 | 2.00 | 203 | 244 | 188 |
| 2.50 | 123.13 | 123.13 | 123.13 | 2.50 | 295 | 302 | 234 |
| 3.00 | 147.76 | 147.76 | 147.76 | 3.00 | 310 | 375 | 295 |
| 3.50 | 172.39 | 172.39 | 172.39 | 3.50 | 406 | 481 | 380 |
| 4.00 | 197.02 | 197.02 | 197.02 | 4.00 | 497 | 569 | 454 |
| 4.50 | 221.65 | 221.65 | 221.65 | 4.50 | 503 | 587 | 468 |
| 5.00 | 246.28 | 246.28 | 246.28 | 5.00 | 596 | 682 | 550 |
| 5.50 | 270.91 | 270.91 | 270.91 | 5.50 | 690 | 759 | 615 |
| 6.00 | 295.54 | 295.54 | 295.54 | 6.00 | 721 | 846 | 691 |
| 6.50 | 320.17 | 320.17 | 320.17 | 6.50 | 800 | 930 | 762 |
| 7.00 | 344.80 | 344.80 | 344.80 | 7.00 | 892 | 1000 | 822 |
| 7.50 | 369.43 | 369.43 | 369.43 | 7.50 | 985 | 1100 | 910 |
| 8.00 | 394.06 | 394.06 | 394.06 | 8.00 | 1099 | 1249 | 1040 |
| 8.50 | 418.69 | 418.69 | 418.69 | 8.50 | 1196 | 1352 | 1129 |
| 9.00 | 443.32 | 443.32 | 443.32 | 9.00 | 1388 | 1530 | 1298 |
| 9.50 | 467.95 | 467.95 | 467.95 | 9.50 | 1503 | 1710 | 1465 |
| 9.90 | 487.50 | 487.50 | 487.50 | 9.90 | 1815 | 2115 | 1868 |
| 9.53 | 469.20 | 469.20 | 469.20 | 9.53 | 2015 | 2430 | 2247 |
| 9.25 | 455.50 | 455.50 | 455.50 | 9.25 | 2096 | 2525 | 2340 |
| 9.25 | 455.50 | 455.50 | 455.50 | 9.25 | 2123 | 2610 | 2460 |

Tabel 2. Beban – Lendutan Analisis SAP dan Hasil Pengujian Rangka Pratt

| SAP (10^{-2} mm) | | | | Hasil Pengujian (10^{-2} mm) | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|---------------------------------|------------|------------|------------|
| P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 | P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 20.80 | 20.80 | 20.80 | 0.50 | 24 | 54 | 12 |
| 1.00 | 41.60 | 41.60 | 41.60 | 1.00 | 59 | 115 | 33 |
| 1.50 | 62.40 | 62.40 | 62.40 | 1.50 | 96 | 177 | 60 |
| 2.00 | 83.20 | 83.20 | 83.20 | 2.00 | 130 | 237 | 133 |
| 2.50 | 104.00 | 104.00 | 104.00 | 2.50 | 161 | 288 | 221 |
| 3.00 | 124.80 | 124.80 | 124.80 | 3.00 | 209 | 360 | 235 |
| 3.50 | 145.60 | 145.60 | 145.60 | 3.50 | 266 | 437 | 320 |
| 4.00 | 166.40 | 166.40 | 166.40 | 4.00 | 324 | 513 | 341 |
| 4.50 | 187.20 | 187.20 | 187.20 | 4.50 | 381 | 587 | 422 |
| 5.00 | 208.00 | 208.00 | 208.00 | 5.00 | 452 | 675 | 445 |

Tabel 2. Lanjutan

| SAP (10^{-2} mm) | | | | Hasil Pengujian (10^{-2} mm) | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|---------------------------------|------------|------------|------------|
| P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 | P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 |
| 5.50 | 228.80 | 228.80 | 228.80 | 5.50 | 512 | 747 | 534 |
| 6.00 | 249.60 | 249.60 | 249.60 | 6.00 | 570 | 820 | 549 |
| 6.50 | 270.40 | 270.40 | 270.40 | 6.50 | 625 | 888 | 634 |
| 7.00 | 291.20 | 291.20 | 291.20 | 7.00 | 684 | 963 | 650 |
| 7.50 | 312.00 | 312.00 | 312.00 | 7.50 | 743 | 1038 | 735 |
| 8.00 | 332.80 | 332.80 | 332.80 | 8.00 | 808 | 1118 | 759 |
| 8.50 | 353.60 | 353.60 | 353.60 | 8.50 | 874 | 1221 | 843 |
| 9.00 | 374.40 | 374.40 | 374.40 | 9.00 | 942 | 1287 | 929 |
| 8.20 | 341.30 | 341.30 | 341.30 | 8.20 | 981 | 1344 | 946 |
| 8.59 | 357.50 | 357.50 | 357.50 | 8.59 | 1045 | 1407 | 1033 |
| 8.85 | 368.30 | 368.30 | 368.30 | 8.85 | 1102 | 1506 | 1055 |
| 8.98 | 373.70 | 373.70 | 373.70 | 8.98 | 1168 | 1601 | 1143 |
| 9.09 | 378.30 | 378.30 | 378.30 | 9.09 | 1230 | 1691 | 1240 |
| 9.17 | 381.70 | 381.70 | 381.70 | 9.17 | 1285 | 1776 | 1263 |
| 9.25 | 385.00 | 385.00 | 385.00 | 9.25 | 1341 | 1858 | 1347 |
| 9.39 | 390.80 | 390.80 | 390.80 | 9.39 | 1398 | 1941 | 1436 |
| 9.50 | 395.20 | 395.20 | 395.20 | 9.50 | 1514 | 2003 | 1546 |
| 9.72 | 404.50 | 404.50 | 404.50 | 9.72 | 1518 | 2262 | 1655 |

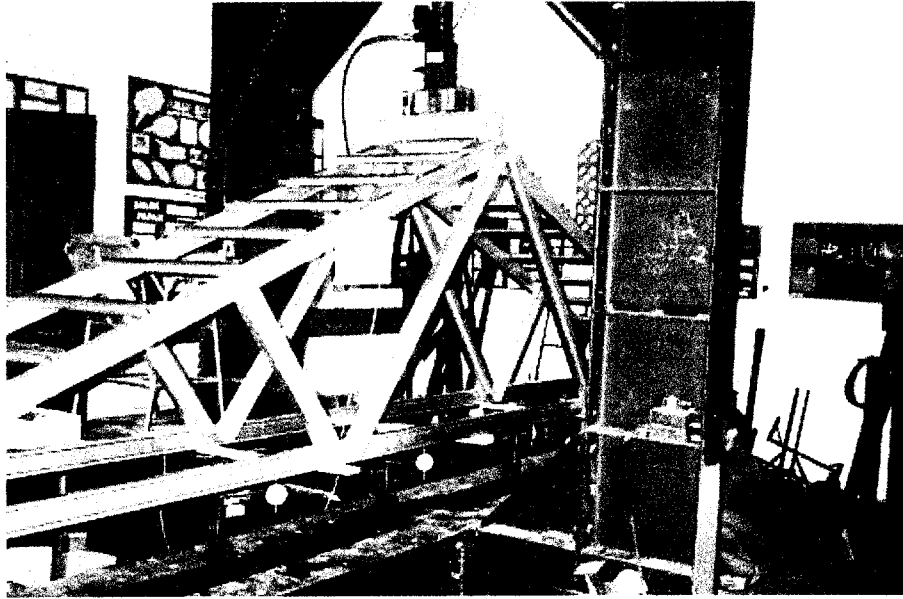
Tabel 3. Beban – Lendutan Analisis SAP dan Hasil Pengujian Rangka Howe

| SAP (10^{-2} mm) | | | | Hasil Pengujian (10^{-2} mm) | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|---------------------------------|------------|------------|------------|
| P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 | P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.50 | 20.50 | 24.50 | 20.50 | 0.50 | 30.0 | 21.0 | 20.0 |
| 1.00 | 41.10 | 49.00 | 41.10 | 1.00 | 68.5 | 95.0 | 58.0 |
| 1.50 | 61.60 | 73.60 | 61.60 | 1.50 | 110.0 | 186.0 | 94.0 |
| 2.00 | 82.15 | 98.10 | 82.15 | 2.00 | 146.0 | 197.0 | 126.0 |
| 2.50 | 102.69 | 122.63 | 102.69 | 2.50 | 187.5 | 287.0 | 159.0 |
| 3.00 | 123.23 | 147.16 | 123.23 | 3.00 | 232.5 | 299.0 | 198.0 |
| 3.50 | 143.77 | 171.69 | 143.77 | 3.50 | 280.0 | 382.0 | 242.0 |
| 4.00 | 164.31 | 196.22 | 164.31 | 4.00 | 336.0 | 405.0 | 300.0 |
| 4.50 | 184.85 | 220.75 | 184.85 | 4.50 | 395.5 | 496.0 | 363.0 |
| 5.00 | 205.39 | 245.28 | 205.39 | 5.00 | 467.0 | 587.0 | 434.0 |
| 5.50 | 225.93 | 269.81 | 225.93 | 5.50 | 524.5 | 679.0 | 506.0 |
| 6.00 | 246.47 | 294.34 | 246.47 | 6.00 | 596.5 | 714.0 | 581.0 |
| 6.50 | 267.01 | 318.87 | 267.01 | 6.50 | 601.5 | 714.0 | 609.0 |
| 7.00 | 287.55 | 343.40 | 287.55 | 7.00 | 682.0 | 815.0 | 673.0 |
| 7.57 | 308.09 | 367.93 | 308.09 | 7.57 | 735.0 | 898.0 | 732.0 |
| 8.00 | 328.63 | 392.46 | 328.63 | 8.00 | 785.5 | 982.0 | 782.0 |
| 8.50 | 349.17 | 416.99 | 349.17 | 8.50 | 844.0 | 1015.0 | 852.0 |
| 9.00 | 369.71 | 441.52 | 369.71 | 9.00 | 907.0 | 1111.0 | 931.5 |

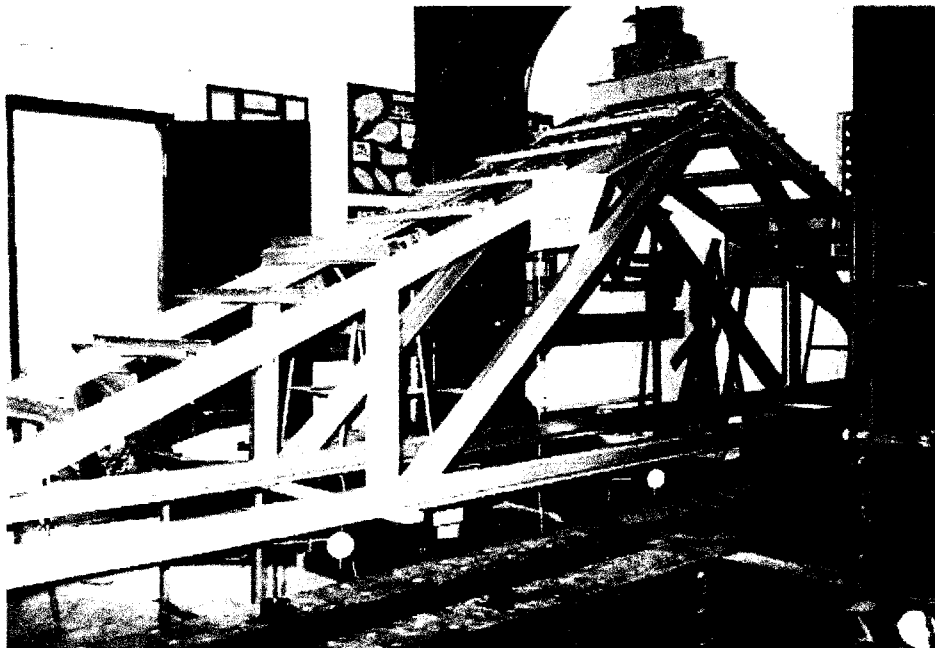
Tabel 3. Lanjutan

| SAP (10^{-2} mm) | | | | Hasil Pengujian (10^{-2} mm) | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|---------------------------------|------------|------------|------------|
| P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 | P(kN) | Δ_1 | Δ_2 | Δ_3 |
| 9.50 | 390.25 | 466.05 | 390.25 | 9.50 | 979.0 | 1206.0 | 1029.0 |
| 9.80 | 402.80 | 480.60 | 402.80 | 9.80 | 989.0 | 1216.0 | 1042.5 |
| 9.68 | 397.80 | 474.70 | 397.80 | 9.68 | 1076.0 | 1395.0 | 1186.0 |
| 9.77 | 401.50 | 479.10 | 401.50 | 9.77 | 1115.0 | 1493.5 | 1265.0 |
| 9.80 | 402.80 | 480.60 | 402.80 | 9.80 | 1146.5 | 1594.5 | 1331.0 |
| 9.82 | 403.60 | 481.60 | 403.60 | 9.82 | 1172.0 | 1622.0 | 1388.0 |

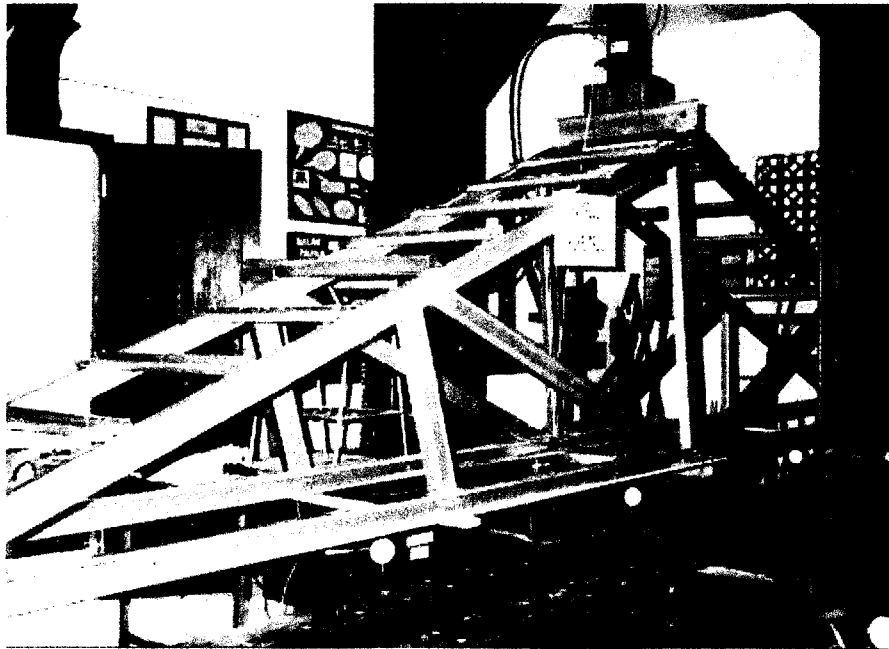
LAMPIRAN 6



Sampel 1. Fink Truss



Sampel 2. Pratt Truss



Sampel 3. Howe Truss



Sampel 1. Fink Truss setelah diuji



Sampel 2. Pratt Truss setelah diuji



Sampel 3. Howe Truss setelah diuji