

PERPUSTAKAAN FTSP UIN	
HARIAN/IDRILLI	
TGL. TERIMA :	7 September 2005
NO. JUDUL :	001671
NO. INV. :	5120021671001
NO. INDIK. :	

TUGAS AKHIR

**PERILAKU LENTUR KUDA – KUDA RANGKA HOWE DARI
BAJA RINGAN PROFIL BENTUKAN DINGIN DENGAN
VARIASI JARAK PENGEKANG LATERAL**



Disusun Oleh :

Nama : AGUNG HARTONO

No. Mhs : 95 310 082

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

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
PENELITIAN LABORATORIUM**

**PERILAKU LENTUR KUDA – KUDA RANGKA HOWE
DARI BAJA RINGAN PROFIL BENTUKAN DINGIN
DENGAN VARIASI JARAK PENGEKANG LATERAL**

diajukan sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar
Sarjana Teknik Sipil
Pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia

Disusun Oleh :

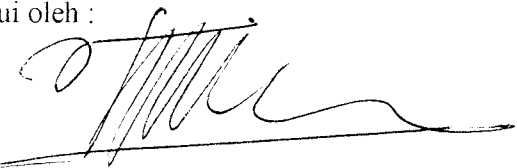
Nama : Agung Hartono

No. Mhs. : 95 310 082

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Fatkhurrohman N, MT

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 9/07 2025

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 kehadirat 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 Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Ir. H. Munadhir, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
3. Bapak Ir. Fatkhurrohman NS, MT., selaku Dosen Pembimbing ,

4. Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D, selaku Dosen Penguji
5. Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Penguji
6. Istriku tercinta, yang selalu berdoa untuk keberhasilan penyusun, hingga sampai pada penghujung studi ini.
7. Ardian bejat, Aris baja, Dana dukun, Fajar doli, Ibnu , Muslih, Pak Rusdi hidro, Pak Warno Bkt
8. 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 mengaharapkan 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, Juni 2005

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTTO	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
INTISARI	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Kuda –Kuda Rangka Batang	5
2.2. Stabilitas Kuda – Kuda Rangka Batang	6
BAB III. LANDASAN TEORI	9
3.1. Kuda-kuda Rangka Batang	9

3.2. Batang Tekan	12
3.3. Tekuk Lokal	14
3.4. Tekuk Keseluruhan.....	19
3.5. Hubungan Antara Tekuk Lokal Dan Tekuk Keseluruhan.....	20
3.6. Tegangan Kritis Metode AISC	22
3.7. Pengaruh Pengekang Lateral Terhadap Kestabilan Rangka	24
3.7.1 Variasi I Jarak Pengekang Lateral Kuda-Kuda KL/r	25
3.7.2 Variasi II Jarak Pengekang Lateral Kuda-Kuda KL/r	26
3.7.3 Variasi III Jarak Pengekang Lateral Kuda-Kuda KL/r	26
3.8. Hubungan Beban-Lendutan	28
3.9. Hubungan Momen Kelengkungan.....	29
3.10. Sambungan	31
3.11. Hipotesis.....	35
BAB IV METODA PENELITIAN.....	37
4.1. Tinjauan Umum.....	37
4.2. Persiapan Bahan dan Lat	37
4.3. Pembuatan Benda Uji	39
4.4. Pengujian Sample	40
4.4.1. Pengujian Kuat Tarik Baja	40
4.4.2. Pengujian Tekan Baja	40
4.4.3. Pengujian Kuat Lentur	40
BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	42
5.1. Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian	42

5.2. Grafik Beban-Lendutan Hasil Analisa SAP	58
5.3. Grafik Beban-Lendutan Hasil Pengujian dan Analisa SAP.....	59
5.4. Pengaruh Jarak Pengekang Lateral Terhadap Beban Lendutan.....	60
5.4.1. Analisis Truss Hasil Pengujian	61
5.4.2. Perbandingan Truss Hasil Pengujian	62
5.5. Pengaruh Jarak Pengekang Lateral Terhadap Beban-Lendutan Arah Lateral	63
5.5.1. Analisa Truss Hasil Pengujian Lendutan Arah Lateral.....	65
5.5.2. Perbandingan Truss Hasil Pengujian	66
5.6. Hubungan Momen Kelengkungan hasil Pengujian	67
5.7. Pengaruh Jarak Pengekang Lateral Terhadap Momen Kelengkungan	73
5.7.1. Analisis Trus Hasil Pengujian	75
5.7.2. Perbandingan Truss Hasil Pengujian	76
5.8. Tinjauan Analitis	77
5.8.1. Analisa Pengujian Tekuk Keseluruhan	77
5.8.2. Analisa Pengujian Tekuk Lokal	78
5.9. Perhitungan Baut	82
5.10. Pembahasan	84
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	85
6.1. Kesimpulan	85

6.2. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	89



DAFTAR TABEL

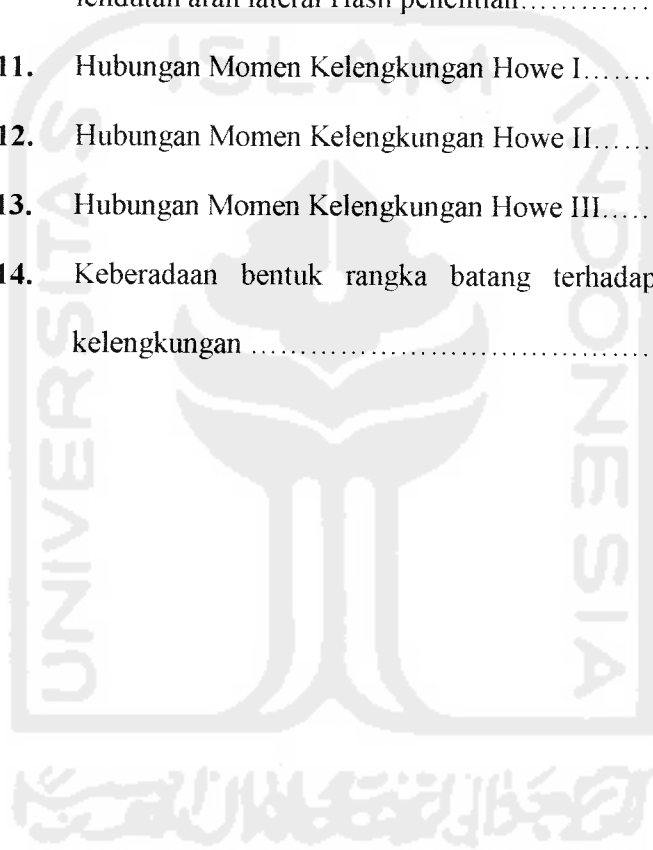
Tabel 5.1.	Hubungan Beban dan Lendutan Howe 1	43
Tabel 5.2.	Hubungan Beban dan Lendutan Howe 2	48
Tabel 5.3.	Hubungan Beban dan Lendutan Howe 3	53
Tabel 5.4.	Hubungan Momen-Kelengkungan Howe 1	67
Tabel 5.5.	Hubungan Momen-Kelengkungan Howe 2	69
Tabel 5.6.	Hubungan Momen-Kelengkungan Howe 3	71
Tabel 5.7.	Kekuatan Batang Tekan Struktur Howe 1	80
Tabel 5.8.	Kekuatan Batang Tarik Struktur Howe 1	80
Tabel 5.9.	Kekuatan Batang Tekan Struktur Howe 2	80
Tabel 5.10.	Kekuatan Batang Tarik Struktur Howe 2	81
Tabel 5.11.	Kekuatan Batang Tekan Struktur Howe 3	81
Tabel 5.12.	Kekuatan Batang Tarik Struktur Howe 3	81
Tabel 5.13.	Perhitungan Jumlah Baut	83
Tabel 5.14.	Beban Akhir Dan Lendutan Yang Terjadi Pada Masing- Masing Rangka Batang	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Howe	10
Gambar 3.2.	Lendutan Akibat Efek Beban	11
Gambar 3.3.	Batang tertekan	13
Gambar 3.4.	Profil Lipped Channel	15
Gambar 3.5.	Tekuk lokal pada sayap (jepit-bebas)	18
Gambar 3.6.	Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar	19
Gambar 3.7.a.	Pandangan Atas Rangka Howe Sample I	25
Gambar 3.7.b.	Pandangan Atas Rangka Howe Sampel 1 dan LendutanArah Lateral	25
Gambar 3.8.a.	Pandangan Atas Rangka Howe Sample 2	26
Gambar 3.8.b.	Pandangan Atas Rangka Howe Sampel 2 dan LendutanArah Lateral	26
Gambar 3.9.a.	Pandangan Atas Rangka Howe Sample 3	26
Gambar 3.9.b.	Pandangan Atas Rangka Howe Sampel 3 dan LendutanArah Lateral	27
Gambar 3.10.	Grafik hubungan KL/r Dengan F_a di beberapa negara.....	27
Gambar 3.11.	Grafik hubungan beban (P) dan Lendutan (Δ).....	28
Gambar 3.12.	Rangka kuda-kuda yang diberi beban aksial (P) sehingga terjadi Lendutan (Y_i).....	29

Gambar 3.13.	Hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ).....	31
Gambar 3.14.	Grafik Hubungan Beban (P)-Lendutan (Δ).....	36
Gambar 3.15.	Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan	36
Gambar 4.1.	Dial Gauge.....	38
Gambar 4.2.	Universal Testing Material Shimatzu UMH30	38
Gambar 4.3.	Dukungan Sendi Dan Rol	39
Gambar 4.4.	Benda Uji Kuat Tarik Baja	39
Gambar 4.5.	Benda Uji Kuat Tekan Profil Lipped Channel	40
Gambar 4.6.	Pengujian Kuda-Kuda Dengan Perletakan Dial Gauge dan Beban	41
Gambar 5.1.a.	Hubungan Beban-Lendutan Howe I	44
Gambar 5.1.b.	Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe I	45
Gambar 5.2.a.	Hubungan Beban-Lendutan Howe I arah Lateral.....	46
Gambar 5.2.b.	Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe I arah Lateral..	47
Gambar 5.3.a.	Hubungan Beban Lendutan Howe II	49
Gambar 5.3.b.	Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe II	50
Gambar 5.4.a.	Hubungan Beban-Lendutan Howe II arah Lateral.....	51
Gambar 5.4.b.	Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe II arah Lateral.....	52
Gambar 5.5.a.	Hubungan Beban-Lendutan Howe III.....	54
Gambar 5.5.b.	Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe III.....	55
Gambar 5.6.a.	Hubungan Beban-Lendutan Howe III arah lateral.....	56
Gambar 5.6.b.	Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe III arah lateral	57

Gambar 5.7.	Hubungan Beban-Lendutan analisa SAP 2000.....	58
Gambar 5.8.	Hubungan Beban-Lendutan analisa SAP 2000 dan Pengujian.....	59
Gambar 5.9.	Pengaruh jarak pengekang lateral terhadap beban lendutan Hasil penelitian.....	60
Gambar 5.10.	Pengaruh jarak pengekang lateral terhadap beban lendutan arah lateral Hasil penelitian.....	64
Gambar 5.11.	Hubungan Momen Kelengkungan Howe I.....	68
Gambar 5.12.	Hubungan Momen Kelengkungan Howe II.....	70
Gambar 5.13.	Hubungan Momen Kelengkungan Howe III.....	72
Gambar 5.14.	Keberadaan bentuk rangka batang terhadap momen kelengkungan	74



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 = Lembar Konsultasi

Lampiran 2 = Hasil Uji Bahan

Lampiran 3 = Data SAP 2000

Lampiran 4 = Gambar



DAFTAR NOTASI

A	=	Luas penampang
A_{ef}	=	Luas efektif
A_b	=	Luas bruto
b	=	Lebar sayap
f_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 poison



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 dengan 3 variasi, (2) mendapatkan diagram beban- deformasi kuda-kuda rangka Howe dengan 3 variasi serta membandingkan kekakuan 3 rangka tersebut, (3) mendapatkan diagram momen-kelengkungan setiap kuda-kuda, (4) membandingkan kestabilan 3 rangka akibat dari variasi.

Pengujian eksperimental menguji perilaku lentur kuda-kuda rangka batang dengan bentuk Howe dengan variasi jarak pengekang lateral, dimana pengekang lateral berfungsi sebagai gording, 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 variasi jarak pengekang lateral, dimana pengekang lateral berfungsi sebagai gording, rangka batang menggunakan profil yang sama yaitu 70x40x10 dan tebal profil 1,6 mm, bentang 8 m, dan sudut kemiringan 22° .

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dapat diketahui bahwa kekuatan benda uji (Howe variasi 1 = 50,77 KN, Howe variasi 2 = 59,81 KN, Howe variasi 3 = 62,969 KN).

Hasil eksperimental menunjukkan bahwa variasi jarak pengekang lateral berpengaruh pada kekakuan dan kestabilan rangka batang. Semakin rapat penggunaan pengekang lateralnya, maka kuda-kuda akan semakin stabil yang berakibat kuda-kuda semakin kaku. Hal ini ditunjukkan dengan hasil pengujian dimana Howe sample 3 lebih kuat dan stabil dari sample 2 dan sample 1.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur pendukung atap (kuda-kuda) pada saat ini komponen-komponennya banyak dibuat dari profil baja ringan bentukan dingin (*Cold Form*) yang dirangkai dengan sambungan baut membentuk struktur rangka batang (*Truss*). Pemilihan profil baja ringan sebagai komponen kuda-kuda didasarkan atas pertimbangan ekonomi mengingat penampangnya yang relatif tipis dan ringan, sehingga cocok untuk kuda-kuda bentang pendek. Kekuatan dan kekakuan kuda-kuda dari profil baja ringan bentukan dingin dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain: konfigurasi komponen, bentuk dan ukuran penampang, derajat pengekangan rotasi joint, kondisi tumpuan dan panjang bentang.

Analisis struktur rangka batang biasanya dilaksanakan dengan menganggap titik-titik buhul (joint-joint) rangka berupa sendi. 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 mengakibatkan perbedaan dalam hal :

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

- (2). panjang efektif komponen tekan dalam analisis lebih panjang dibanding panjang efektif dalam struktur nyata.

Perbedaan hasil analisis dengan kenyataan mengakibatkan perbedaan sifat struktur antara lain: (a) kekuatan dan (b) kekakuan, perbedaan tersebut menarik diteliti. Guna mengetahui lebih detail tentang perilaku kuda-kuda rangka dari profil baja bentukan dingin perlu penelitian eksperimental.

Kondisi batas (kuat tekan) profil C (*Light Lipped Chanal*) bentukan dingin (*Cold-Formed*) sering dibatasi oleh *instabilitas* (tekuk) yang meliputi tekuk lokal (*local buckling*) dan tekuk menyeluruh (*overall buckling*). Tekuk lokal terjadi karena elemen penampang profil bentukan dingin mempunyai rasio kelangsingan (b/t) besar. Koefisien tekuk pelat (k) dipengaruhi oleh distribusi tegangan, kondisi tepi, nilai koefisien tekuk elemen pelat yang memikul tekan bervariasi dari 0,425 hingga 4,00. Tekuk lokal menyebabkan efisiensi pelat menjadi berkurang. Keruntuhan akibat tekuk lokal terjadi pada tegangan kritis (F_{cr}) yang nilainya lebih rendah di bawah tegangan leleh (F_y).

Tekuk menyeluruh terjadi bila jarak antara dua pengekang lateral relatif panjang. Tekuk menyeluruh berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan batang (KL/r), berbanding lurus dengan modulus elastisitas (E). Faktor panjang efektif K dipengaruhi oleh kondisi tumpuan, bila tumpuan sendi-sendi memakai nilai $K=1$, bila jepit-jepit nilai $K=0,5$. Tekuk lokal maupun tekuk menyeluruh menyebabkan kegagalan dini pada komponen batang tekan, yaitu batang tepi atas dari kuda-kuda. Untuk mengatasi masalah tekuk menyeluruh pada komponen

tekan diberi pengaku lateral. Pengekang lateral pada batang tepi atas kuda-kuda berupa *gording* yang sekaligus berfungsi sebagai balok atap.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian eksperimental ini dilakukan karena informasi tentang sifat penampang C dari baja ringan bentukan dingin yang masih kurang, sedangkan penggunaan profil ini sebagai komponen kuda-kuda makin sering dijumpai.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan kurva beban-deformasi dan kurva momen-kelengkungan kuda-kuda rangka bantang bentuk howe, yang mempunyai bantang dan sudut tetap dengan variasi jarak pengekang lateral bervariasi.
2. Mendapatkan kekakuan dan kekuatan kuda-kuda rangka Howe bantang dan sudut tetap dengan variasi jarak pengaku lateral.
3. Membandingkan kekuatan dan kekakuan kuda-kuda rangka Howe pada kelangsingan bervariasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang hendak dicapai dari penelitian eksperimental ini adalah :

1. Pengembangan ilmu pengetahuan yang sudah ada serta mendapatkan data perencanaan dan model rangka yang lebih akurat pada perencanaan struktur rangka kuda-kuda, sehingga pemakaian pengaku lateral sebagai *gording* diperhatikan dalam penggunaannya di lapangan.

2. Bertambahnya referensi penulis tentang penggunaan baja ringan profil bentukan dingin dalam dunia konstruksi khususnya struktur rangka atap baja .

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini yang diteliti adalah struktur rangka atap baja ringan dengan menggunakan batasan masalah sebagai berikut :

1. Kuda-kuda baja ringan profil Lipped Chanal menggunakan profil C 70x40x10x1,6 bentukan dingin bentuk Howe dengan jarak pengaku lateral bervariasi, panjang bentang 8 m, batang tepi sudut 22°
2. Rangka atap baja ringan memikul beban statis terdistribusi merata yang didistribusi ke joint menjadi beban terpusat melalui gording.
3. Rangka atap baja ringan ditumpu sederhana (sendi-rol)
4. Pengamatan di laboratorium terbatas pada beban dan deformasi (lendutan).
5. Sambungan pada joint-joint menggunakan baut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kuda-kuda Rangka Batang

Suatu rangka (*Truss*) adalah suatu struktur kerangka yang terdiri dari rangkaian batang-batang (*profil*) 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*).

Profil baja dapat digolongkan berdasarkan cara pembuatannya kedalam (a) *Hot Rolled Shapes* dan (b) *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 disini tebalnya kurang dari 3/16 inchi. Profil macam ini ringan dan sering disebut sebagai *Ligh Gage Cold Form Steel*. (*Oentoeng, 1999*)

Elemen bentukan dingin adalah elemen yang dibentuk dalam keadaan dingin (tidak dalam keadaan panas). Struktur kuda-kuda bentukan dingin dapat disusun dalam berbagai macam variasi bentuk tampang, sesuai dengan fungsi tampang tersebut, dengan menggunakan alat sambung las, baut, dan alat sambung lainnya (*Lambert Tall, 1974*).

Kolom, merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok-balok loteng, rangka atap, lintasan crane dalam bangunan pabrik dan sebagainya (Oentoeng,1999).

Beberapa jenis rangka atap yang biasa dijumpai pada bangunan-bangunan gedung, diantaranya rangka *howe*, *pratt*, dan *fink* . (Yuan-Yu Hseieh,1985)

2.2 Stabilitas Kuda-Kuda Rangka Batang

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

Tekuk puntir lateral (*lateral torsional buckling*) merupakan gejala instabilitas yang dapat mengakibatkan keruntuhan dini batang tekan sebelum kapasitas momennya dicapai. Apabila stabilitas batang tekan terhadap *lateral torsional buckling* tidak terpenuhi, maka penyokong samping (*lateral bracing*) dapat digunakan untuk menahan perpindahan lateral dan torsi batang. Agar dapat berfungsi efektif, penyokong harus memiliki kekakuan dan kekuatan yang memadai (Oentoeng, 1999)

Tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu element penyusun tampang suatu struktur. Tekuk terjadi akibat adanya gaya tekan yang terjadi pada 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 dibawah tegangan lelehnya (F_y). (Lambert Tall (1974))

Kekuatan batang tekan dipengaruhi oleh faktor tekuk (*buckling*) atau lenturan mendadak akibat ketidakstabilan, terjadi sebelum kekuatan batang sepenuhnya tercapai. (*Salmon and Johnson, 1990*)

Struktur rangka tersusun dari profil *ligh lipped channel* adalah salah satu komponen struktur bentukan dingin yaitu komponen struktur yang terbuat dari lembaran plat dengan ketebalan kurang dari 4,5 mm yang dibentuk dalam keadaan dingin dan digunakan untuk menahan beban aksial tekan. Seperti komponen struktur ber dinding tipis lainnya, rangka ber dinding tipis memiliki rasio lebar terhadap tebal (b/t) yang besar. (*Vazirani dan Ratwani, 1977*)

Penampang lintang terbuka, dinding tipis, kolom baja bentukan dingin paling sedikit mempunyai tiga ragam gaya bentuk : tekuk lokal, distorsi, dan tekuk *Euler* (lentur atau lentur-puntir). Amerika utara secara spesifikasi di dalam desain 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 kapasitas tekuk akhir di dalam gaya distorsi adalah lebih rendah dari gaya lokal. Eksperimen pada bentukan dingin dan kolom yang tersusun menandai adanya *inkonsistensi* dan kesalahan sistematis di dalam metode desain dan memberikan pengesahan untuk metode alternatif (*Schafer, 1997*).

Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama (biasanya diujung batang) dengan

beberapa cara. Salah satu cara penyambungan menggunakan baut kekuatan tinggi (*High Strength Bolt*).

Ada dua jenis baut kekuatan (mutu) tinggi yang ditunjuk oleh ASTM, yaitu jenis A325 dan A490. Baut A325 terbuat dari baja karbon sedang yang diberi perlakuan panas dengan kekuatan leleh 81-92 ksi (558-634 MPa), baut A490 juga diberi perlakuan panas tetapi terbuat dari baja paduan (*alloy*) dengan kekuatan leleh sekitar 115-130 ksi (793-896 MPa). Baut kekuatan tinggi dikencangkan (*tightened*) untuk menimbulkan tegangan tarik yang ditetapkan pada baut sehingga terjadi gaya jepit (*klem clamping force*) pada sambungan. Oleh karena itu pemindahan beban kerja yang sesungguhnya pada sambungan terjadi akibat adanya gesekan (*friction*) pada potongan yang disambung. Sambungan dengan baut kekuatan tinggi dapat direncanakan sebagai tipe geser (*Friction Type*), bila daya tahan gelincir (*slip*) yang tinggi dikehendaki, atau sebagai tipe tumpu (*Bearing Type*), bila daya tahan gelincir yang tinggi tidak dibutuhkan. Baut ini memiliki kepala segi enam yang tebal dan digunakan dengan mur segi enam yang setengah halus dan tebal. Pemakaian baut kekuatan tinggi di lapangan biasanya menggunakan baut hitam dan baut bersirip (*Ribbed Bolt*). (*Salmon and Johnson, 1990*)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Kuda-kuda Rangka Batang

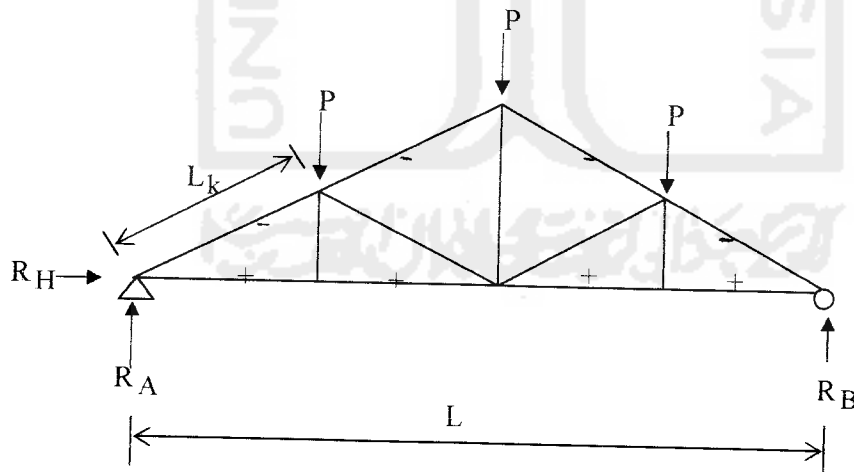
Kuda-kuda rangka batang (*truss*) dibuat dari sejumlah komponen (batang), ujung-ujung batang dihubungkan satu sama lain pada titik-titik buhul (*joint*) sedemikian rupa menggunakan baut atau las sehingga didapat struktur yang terdiri dari sejumlah segi tiga. Salah satu bentuk kuda-kuda rangka batang yang cukup populer adalah rangka howe (**Gambar 3.1**). Rangka howe terdiri dari batang tepi (atas dan bawah), batang pengisinya berupa batang diagonal dan batang vertikal. Komponen kuda-kuda rangka batang dapat berupa baja profil canai panas (*hot rolled*) dapat juga dari profil baja bentukan dingin (*cold form*).

Analisis kuda-kuda rangka batang biasanya dikerjakan dengan asumsi joint-joint rangka berupa sendi. Dalam struktur nyata sambungan pada joint-joint rangka bukan sendi tetapi berupa sambungan baut atau sendi sehingga sifat sambungan baut tidak persis sama dengan sifat sendi. Sambungan sendi tidak mampu mendukung momen, sedangkan baut mampu mendukung momen. Konsekuensi dari asumsi joint rangka berupa sendi batang-batang rangka hanya memikul gaya aksial saja (tarik atau tekan). Beban-beban terpusat P yang bekerja pada joint rangka (**Gambar 3.1**) mengakibatkan batang tepi atas dan batang

diagonal memikul gaya tekan, sedangkan batang tepi bawah menerima gaya tarik. Beban terpusat pada join juga mengakibatkan deformasi pada kuda-kuda.

Gording juga dapat berfungsi sebagai tumpuan lateral batang tepi atas, dengan demikian jarak gording berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan batang tepi atas sehingga berpengaruh kepada kekuatan, kekakuan dan stabilitas kuda-kuda.

Saat ini profil baja ringan bentukan dingin banyak digunakan sebagai komponen-kuda-kuda terutama kuda-kuda bentang pendek. Profil ini dibuat dari pelat baja tipis yang dibentuk dalam keadaan dingin. Penampang profil baja bentukan dingin mempunyai rasio kelangsingan atau rasio lebar terhadap tebal (b/t) cukup besar. Kuda-kuda rangka batang dari profil bentukan dingin dapat disusun dalam berbagai macam variasi bentuk tampang, sesuai dengan fungsi tampang tersebut, dengan menggunakan alat sambung las, baut, dan alat sambung lainnya (Lambert Tall, 1974).

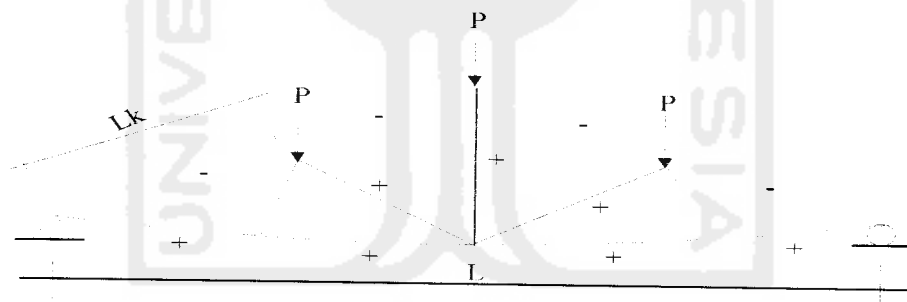


Gambar 3.1. Rangka Howe

Jika pada joint-joint rangka Howe (**Gambar 3.1**) bekerja beban statis terpusat P , batang-batang pada kuda-kuda memikul gaya aksial, batang yang memikul gaya tekan diberi tanda (-), sedangkan batang tarik ditunjukkan diberi tanda (+). Gaya luar P juga menimbulkan deformasi aksial pada setiap komponen rangka batang tekan mengalami perpendekan, sedangkan batang tarik mengalami perpanjangan. Menurut (Hooke) deformasi akibat gaya aksial adalah

$$\Delta = \frac{P.L}{AE} \quad (3.1)$$

dengan P = gaya aksial, L = panjang batang, A = luas penampang dan E = modulus elastis bahan. Tampak bahwa deformasi batang berbanding lurus dengan panjang batang dan beban yang bekerja, berbanding terbalik dengan luas penampang dan modulus elastistas. Deformasi aksial setiap komponen rangka menimbulkan lendutan arah transversal seperti ditunjukkan pada (**Gambar 3.2**)



Gambar 3.2. Lendutan Akibat Efek Beban

Besar deformasi transversal dapat dihitung dengan cara grafis maupun analisis. Salah satu metode grafis yang cukup populer adalah diagram (Willot Mohr)

3. 2. Batang Tekan

Batang tekan didefinisikan sebagai batang struktural yang menerima gaya tekan aksial, yaitu gaya tekan sejajar sumbu longitudinalnya. Pada struktur (Gambar 3.1) batang tekan dijumpai sebagai batang tepi atas dan batang diagonal ditandai dengan tanda (-). Dalam struktur teknik terdapat 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).

Secara umum kegagalan batang tekan dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu (a) kegagalan karena tegangan leleh bahan terlampaui dan (b) kegagalan karena tekuk (buckling). Kegagalan karena tegangan lelehnya terlampaui terjadi pada kolom pendek (*stocky column*) yang penampangnya kompak. Kegagalan karena tekuk dapat terjadi pada batang tekan yang langsing (*slender column*). Sedangkan tekuk terbagi menjadi : Tekuk local dan Tekuk menyeluruh

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

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{(Lk)^2} \quad (3.2)$$

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 (Lk).

Sedangkan tegangan kritis dinyatakan dengan rumus Euler :

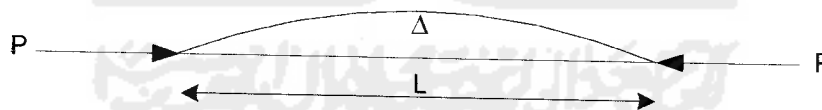
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KLr)^2} \quad (3.3)$$

dengan E adalah Modulus Elastisitas Baja, KLr adalah angka kelangsingan

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 3.1**.

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

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



Gambar 3.3. Batang tertekan

L = panjang bentang, Δ = lendutan

Rangka batang yang terbuat dari potongan atau baja-pelat bentukan dingin (*cold-formed members*) digunakan secara luas di dalam konstruksi. Suatu karakteristik yang baik dari baja bentukan dingin adalah dapat dibentuk ke dalam

suatu variasi melintang yang besar dibentuk bersekat-sekat dengan penggunaan peralatan sederhana. Perlindungan dari bagian bentukan dingin untuk melawan terhadap karatan sangat mudah yaitu dengan menggempleng atau lebih baik dilapisi dengan pelat logam sebelum pembuatan.

Penampang lintang terbuka, dinding tipis, kolom baja bentukan dingin paling sedikit mempunyai tiga ragam gaya tekuk: tekuk lokal, distorsi, 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*).

3.3. Tekuk Lokal

Menurut **Lambert Tall (1974)**, tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu element penyusun tampang suatu struktur. Tekuk terjadi lokal dapat terjadi akibat gaya tekan, momen dan puntiran. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung tambahan beban dengan

demikian efisiensi batang berkurang. Keruntuhan akibat tekuk lokal terjadi tegangan kritis (F_{cr}) yang nilainya lebih rendah dari lelehnya (F_y).

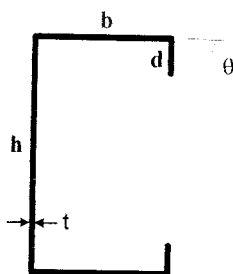
Charles G. Salmon dan Johnson (1996), mengemukakan persamaan umum tegangan tekuk elastik, teoritis tegangan kritis elemen pelat dinyatakan dengan Persamaan:

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

dengan : F_{cr} = tegangan kritis, k =koefisien tekuk, E =modulus elastisitas baja (2.10^5 Mpa), μ adalah nilai banding poisson (poisson ratio) = 0,3, dan b/t adalah rasio lebar terhadap tebal pelat. Tampak dua faktor yang pengaruhnya paling dominan, yaitu (b/t) dan koefisien tekuk pelat.

Suatu metoda baru diusulkan untuk disain yang dengan jelas menyertakan tekuk lokal, distorsi dan tekuk Euler, tidak memerlukan kalkulasi lebar efektif dan propertis efektif, memberi prediksi yang dapat dipercaya tanpa kesalahan sistematis, dan menyediakan analisa yang masuk akal sebagai prediksi tekuk elastis ke dalam perancangan kolom dinding tipis (*thin-walled coloumn*) (**Schafer, 1997**).

Gambar di bawah ini menunjukkan propertis dan dimensi suatu profil lipped channel.



Gambar 3.4. Profil Lipped

dengan h adalah tinggi badan, b = lebar sayap, d = panjang lip, θ = sudut lip (radians), t = tebal, E = modulus elastis (2.10^5 Mpa), μ = rasio poisson (0,3), f = tegangan tekan (AISI).

3.3.1 Ragam tekuk lokal elemen dengan anggapan masing-masing elemen diperlakukan secara terpisah

1. Tekuk Lokal Sayap

Perhitungan lama untuk sayap dukungan sederhana-sederhana pada tekanan murni dengan anggapan $k = 4$, yaitu :

$$F_{cr_sayap} = k_{sayap} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (3.6)$$

2. Tekuk Lokal Badan

Perhitungan lama untuk sayap dukungan sederhana-sederhana pada tekanan murni dengan anggapan $k = 4$, yaitu :

$$F_{cr_badan} = k_{badan} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^2 \quad (3.7)$$

3. Tekuk Lokal Lip

Perhitungan lama untuk sayap dukungan sederhana-bebas pada tekanan murni dengan anggapan $k = 0,425$, yaitu :

$$F_{cr_lip} = k_{lip} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{d}\right)^2 \quad (3.8)$$

3.3.2 Ragam Interaksi Tekuk Lokal

1. Tekuk Lokal SayapTepi/Lip

Nilai k untuk tekuk lokal sayap tepi menurut **Schafer (1997)** untuk analisa potongan, terbatas pada sayap dan bibir/tepi.

$$k_{sayap_tepi} = -11,07\left(\frac{d}{b}\right)^2 + 3,95\left(\frac{d}{b}\right) + 4 \quad (3.9)$$

Suatu pernyataan yang lebih umum untuk elemen yang tidak diperkuat adalah dibawah suatu tegangan gradien dan tepi elemen yang diperkuat adalah tekanan murni (sayap dari batang lentur) dapat ditemukan **Schafer (1997)**.

$$F_{cr_sayap_tepi} = k_{sayap_tepi} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (3.10)$$

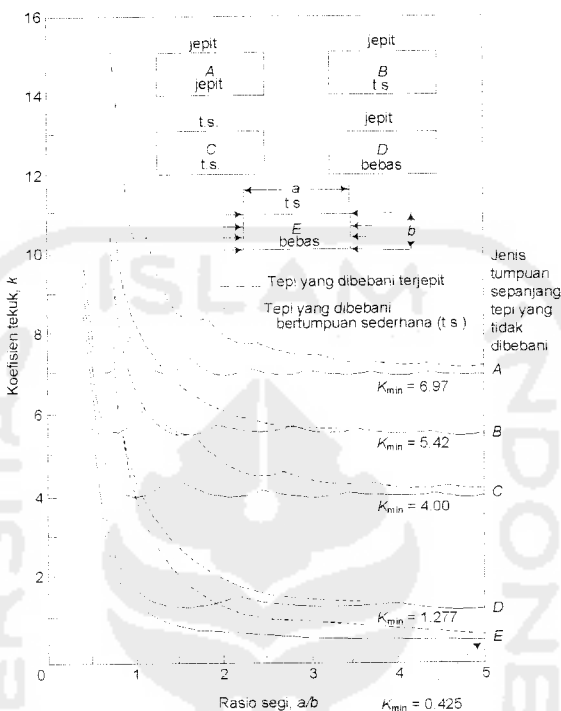
2. Tekuk Lokal Sayap/Badan

Jika $h/b = 1$ maka nilai $k = 4$. Jika $h/b > 1$ maka nilai k kurang dari 4 dalam kaitannya dengan tekuk pada badan. Jika $h/b < 1$ maka nilai k lebih dari 4 dalam kaitannya dengan pengekangan oleh badan pada sayap. Nilai k untuk tekuk lokal sayap/badan menurut Schafer,

$$k_{sayap_badan} = \left[\left[2 - \left(\frac{b}{h}\right)^{0,4} \right] \cdot 4 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} \geq 1 \quad (3.11)$$

$$\left[\left[2 - \left(\frac{b}{h}\right)^{0,2} \right] \cdot 4 \right] \quad \text{jika } \frac{h}{b} < 1 \quad (3.12)$$

Nilai k untuk kondisi yang ditunjukkan pada **Gambar 3.5.** dan perbandingan a/b seperti **Gambar 3.6.** diperoleh $k = 0,425$. Tegangan kritis dipengaruhi nilai (b/t) apabila bernilai kecil maka F_{cr} akan meningkat.



Gambar 3.6. Koefisien Tekuk Elastis Untuk Tekanan Pada Pelat Segi Empat Datar (dikutip dari Struktur Baja Disain Dan Perilaku Jilid 1, Salmon dan Johnson)

3. 4. Tekuk Keseluruhan

Menurut persamaan *Euler* yang dikemukakan oleh *Lambert Tall* (1974). Beban kritis batang tekan diturunkan dari persamaan pelenturan sebuah batang lurus yang semua seratnya tetap elastis sehingga batang tersebut tidak mampu lagi menahan penambahan beban, batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya dan diberi gaya aksial tekan sentris.

Menurut *Lammert Tall* (1972), beban kritis adalah beban yang mampu mengakibatkan batang tekan dalam kondisi kritis. Kondisi dapat terjadi bila

defleksi merupakan lendutan berkelengkungan tunggal, sehingga nilai $N = 1$. Dengan demikian beban kritis Euler untuk batang tekan yang berujung sendi-sendi adalah

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (3.15)$$

Dimana, $I = A \cdot r^2$ atau $r^2 = I / A$, maka

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{LK}{r}\right)^2} \quad (3.16)$$

dengan r adalah jari-jari kelembaman.

Persamaan di atas memperlihatkan dengan jelas kapasitas pikul beban suatu batang tekan selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang tekuk, sebanding dengan modulus elastis dan momen inersia penampang. Semakin panjang batang maka semakin kecil beban yang dapat menyebabkan batang tersebut tertekuk, sebaliknya semakin pendek batang maka semakin besar beban yang dapat menyebabkan batang tersebut tertekuk.

3. 5. Hubungan antara tekuk lokal dan tekuk keseluruhan

Tekuk lokal dan tekuk lentur dapat terjadi secara bersamaan apabila tegangan kritis batang sama dengan tegangan kritis rangka kuda-kuda keseluruhan, seperti pada persamaan

$F_{cr} \text{ batang} = F_{cr} \text{ keseluruhan}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL_k}{r}\right)^2} \quad (3.17)$$

$$\frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12 (1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^3} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (3.18)$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)^2 = \frac{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^3}{k} \quad (3.19)$$

$$L = \sqrt{\frac{r^2 \cdot [12(1 - \mu^2)] \left(\frac{b}{t}\right)^3}{k \cdot K^2}} \quad (3.20)$$

Dari persamaan di atas diperoleh nilai L, apabila $L_{\text{pakai}} > L_{\text{rumus}}$ maka mengalami tekuk menyeluruh, jika $L_{\text{pakai}} < L_{\text{rumus}}$ maka mengalami tekuk lokal.

Dengan asumsi tumpuan pada batang adalah sendi-sendi maka $K = 1$, sehingga

$$\left(\frac{L}{r}\right) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_{cr\text{plat}}}} \quad (3.21)$$

Dengan memasukkan Rumus F_{cr} ke persamaan (3.19), maka

$$\left(\frac{L}{r}\right) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^3}\right)}} \quad (3.22)$$

$$\left(\frac{L}{r}\right) = \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{12(1 - \mu^2)}{k}} \quad (3.23)$$

Dengan μ baja 0,3 sehingga

$$\left(\frac{L}{r}\right) = \frac{3.3045(b/t)}{\sqrt{k}} \quad (3.24)$$

$$k = \left(\frac{3,3045(b/t)(r)}{L} \right)^2 \quad (3.25)$$

Dari persamaan tersebut di atas memperlihatkan bahwa nilai kekakuan suatu batang tekan selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang batang, sehingga pada profil baja yang sama semakin panjang batang tersebut maka nilai kekakuan dari batang tersebut akan semakin kecil.

3. 6. Tegangan Kritis Metode AISC

AISC mengemukakan hitungan tegangan kritis yang mempertimbangkan tekuk lokal. Pengaruh tekuk lokal yang terjadi sebelum kekuatan batang tekan keseluruhan tercapai diperhitungkan dengan mengalikan tegangan maksimum yang dapat dicapai dengan factor bentuk Q . Faktor bentuk dipengaruhi oleh bentuk penampang, dimana

$$Q = Q_a \cdot Q_s \quad (3.26)$$

Faktor bentuk Q_s diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t} \right) > \left(\frac{200}{\sqrt{F_y}} \right) \quad (3.27)$$

Besar Q_s menurut AISC adalah,

$$Q_s = 1,340 - 0,0117 \cdot \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y} \quad (3.28)$$

Apabila semua elemen penampang diperkuat maka nilai $Q_s = 1,0$

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

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{625}{\sqrt{F_y}}\right) \quad (3.29)$$

Besar Q_a menurut AISC adalah,

$$Q_a = \frac{A_{ej}}{A_{brdo}} \quad (3.30)$$

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

$$\left(\frac{b_E}{t}\right) = \frac{21}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{4,18}{(b/t)\sqrt{f}}\right) \quad (3.31)$$

dengan f adalah tegangan yang bekerja pada elemen.

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

$$F_{cr} = Q F_y \left[1 - \frac{Q F_y \left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (3.32)$$

Apabila,

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q F_y}} \quad (3.33)$$

Maka

$$F_{cr} = Q F_y \left[1 - \frac{KL r^2}{2C_c^2} \right] \quad (3.34)$$

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

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.35)$$

Penelitian hubungan antara tegangan yang terjadi 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 s/d ± 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 .

3.7. Pengaruh Pengekang Lateral Terhadap Kestabilan Rangka

Struktur rangka harus mempunyai kekuatan dan kekakuan yang cukup, selain itu struktur tersebut harus stabil. Struktur cukup kuat bila tegangan yang terjadi pada setiap komponen lebih kecil dari tegangan yang diijinkan. Struktur cukup kaku bila lendutan pada struktur tersebut lebih kecil dari lendutan yang dipersyaratkan. Persyaratan lendutan biasanya dinyatakan dalam rasio lendutan terhadap panjang bentang (Δ/L).

Beban-beban yang tidak simetris dan beban takterduga yang bekerja pada kuda-kuda dapat mengakibatkan deformasi arah lateral sehingga mengakibatkan stabilitas struktur terganggu.

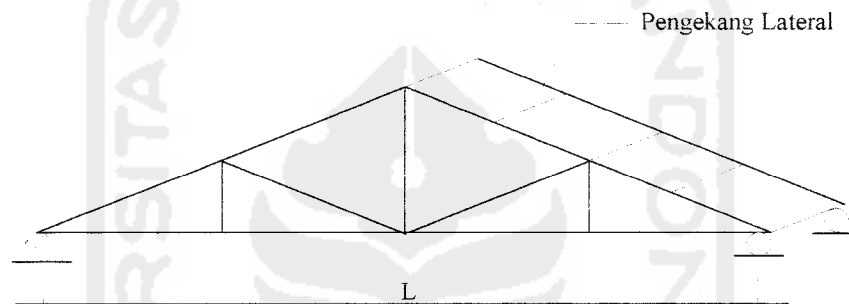
Sebuah struktur kuda-kuda rangka batang yang umum dapat dipandang terdiri atas bermacam-macam bagian, yaitu, rangka utama (kuda-kuda) dan komponen pengekang (*bracing*). Persyaratan setiap komponen rangka harus cukup kuat dan kaku, selain itu juga harus stabil.

Untuk menjaga kestabilan kuda-kuda, pada kesempatan kali ini akan dibicarakan masalah pengaruh variasi jarak pengekang lateral kuda-kuda, dimana

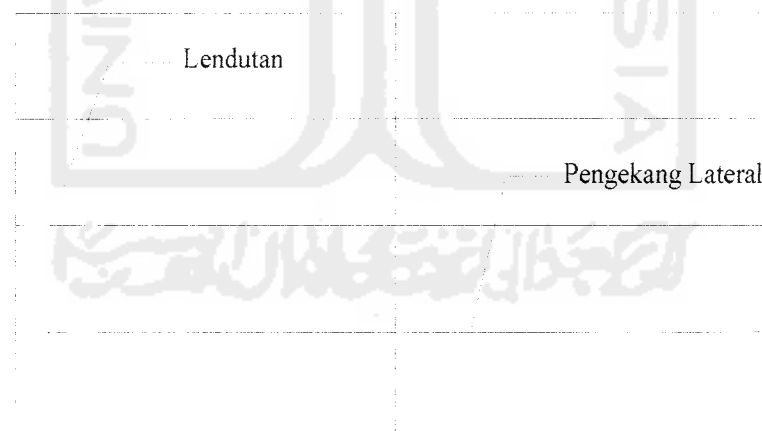
pengekang lateral berfungsi sebagai gording. Variasi jarak pengekang lateral ditunjukkan pada (**Gambar 3.7.a, 3.8.a, 3.9.a**)

3.7.1. Variasi I Jarak Pengekang Lateral Kuda-kuda $KL/r = 81,81$

Pengekang lateral pada kuda-kuda dari profil baja ringan bentukan dingin bentukan dingin berupa gording. Penempatan gording berpengaruh terhadap panjang efektif batang tepi atas, semakin jauh jarak antar pengekang lateral panjang efektif batang tepi atas semakin besar sehingga kekuatan dan kekakuan batang tepi atas berkurang.

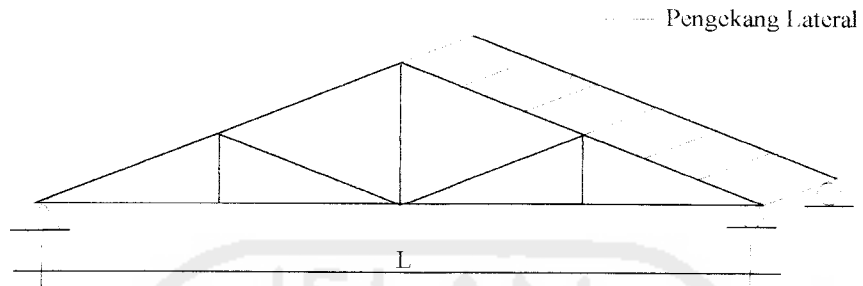


Gambar 3.7.a. Pandangan Atas Rangka Howe Sampel 1

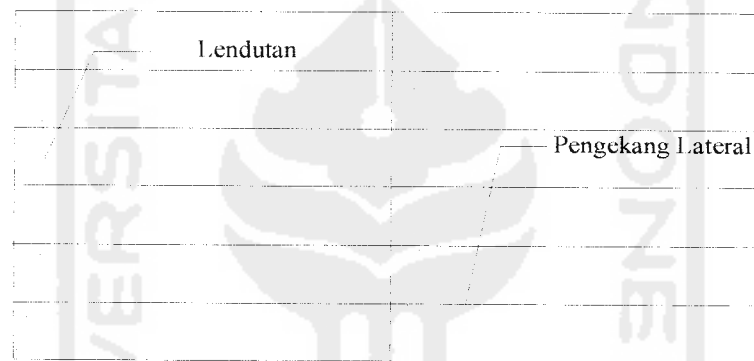


Gambar 3.7.b. Pandangan Atas Rangka Howe Sampel 1 dan Lendutan Arah Lateral

3.7.2. Variasi II Jarak Pengekang Lateral Kuda-Kuda $KL/r = 54,53$

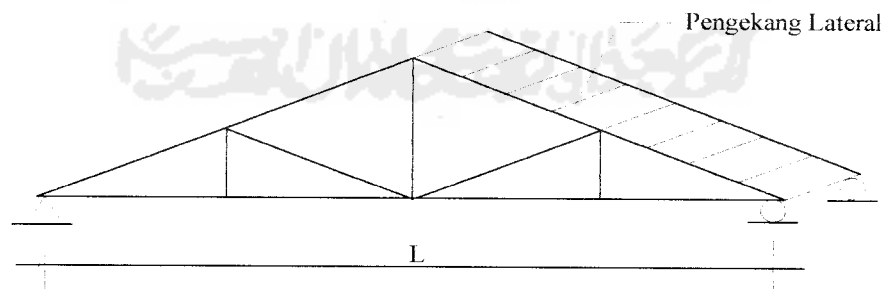


Gambar 3.8.a. Pandangan Atas Rangka Howe Sampel 2

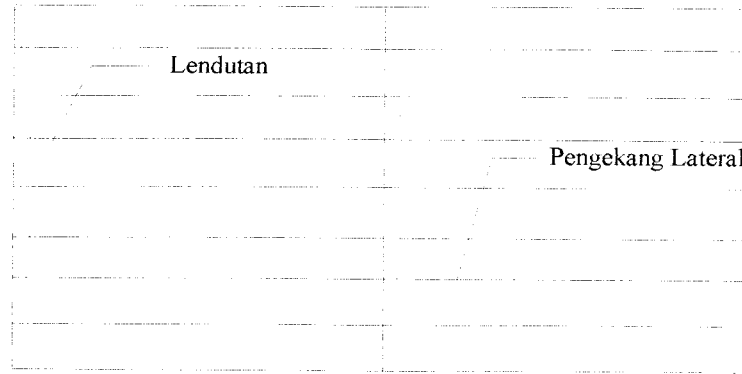


Gambar 3.8.b. Pandangan Atas Rangka Howe Sampel 2 dan Lendutan Arah Lateral

3.7.3. Variasi III Jarak Pengekang Lateral Kuda-Kuda $KL/r = 40,89$

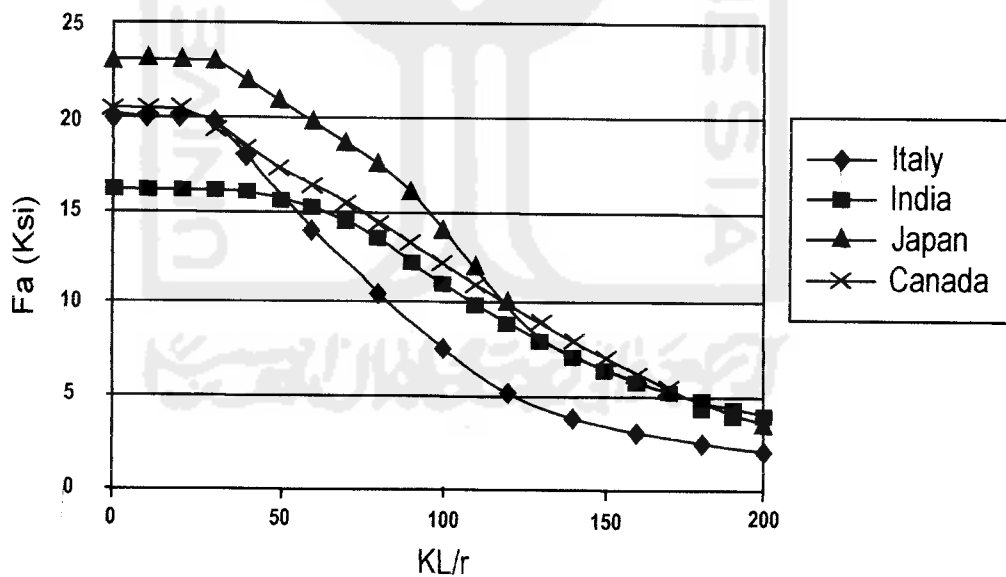


Gambar 3.9.a. Pandangan Atas Rangka Howe Sampel 3



Gambar 3.9.b. Pandangan Atas Rangka Howe Sampel 3 dan Lendutan Arah Lateral

Secara teoritis, rangka kuda-kuda yang menggunakan pengaku lateral akan berpengaruh pada kestabilan rangka, semakin rapat penggunaan pengaku lateralnya, maka rangka akan semakin stabil. Dengan menggunakan rumus Q (factor bentuk), tegangan kritis dan beban kritis, didapat hasil variasi 3 memiliki tegangan dan beban kritis yang lebih besar dari variasi 2 dan variasi 1.



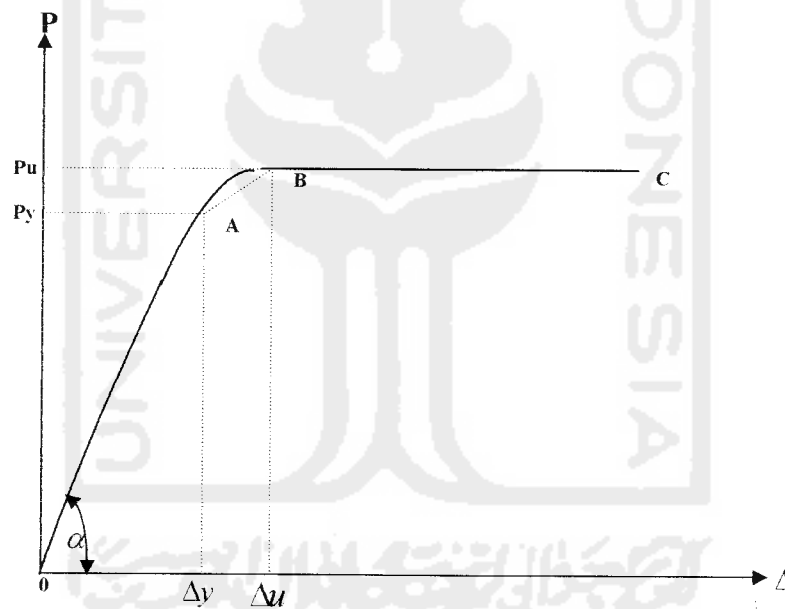
Gambar 3. 10 Grafik Hubungan KL/r Dengan F_a Di Beberapa Negara (Lambert Tall, 1974)

3.8 Hubungan Beban-Lendutan

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

$$\Delta = \frac{23PI^3}{648EI} \quad (3.36)$$

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



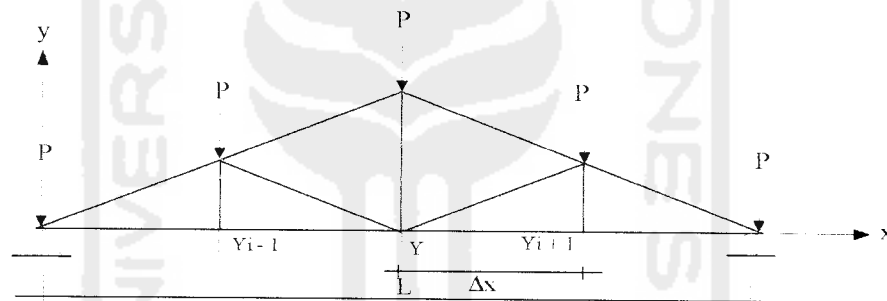
Gambar 3.11 Grafik Hubungan Beban (P) dan Lendutan (Δ)

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\Delta} \quad (3.37)$$

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 3.11)** 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.

3.9 Hubungan Momen Kelengkungan



Gambar 3.12 Rangka Kuda-Kuda Yang Diberi Beban Aksial (P) Sehingga Terjadi Lendutan (Y_i)

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 metode *Central Difference*, pada **(Gambar 3.12)** dy/dx didekati dengan persamaan berikut

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.38)$$

Turunan kedua persamaan (3.37) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d \cdot dx)(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1})(d \cdot dx)(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.39)$$

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

$$\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0 \quad (3.40)$$

Sehingga persamaan (3.38) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x)(d \cdot dx)(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.41)$$

Selanjutnya dari persamaan (3.40) didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.42)$$

Kemudian persamaan (3.41) disederhanakan menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.43)$$

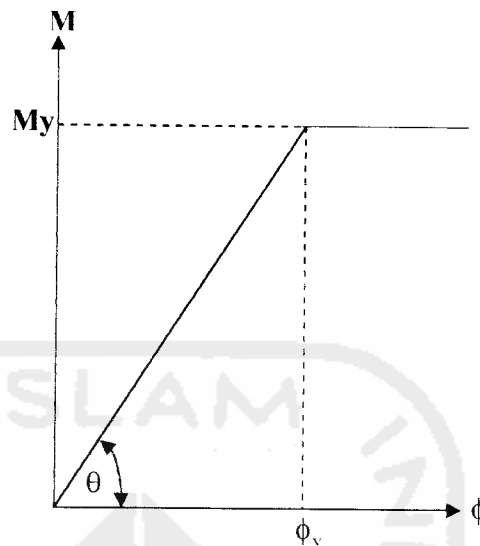
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI}$$

$$M = EI \cdot \phi$$

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.44)$$

EI = faktor kekakuan

Diagram Hubungan momen (M) kelengkungan (curvature) ditunjukkan pada
Gambar 3.13



Gambar 3.13 Hubungan Momen (M) – Kelengkungan (ϕ)

3.10 Sambungan

Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama (biasanya di ujung batang). Salah satu cara yang dapat digunakan dalam penyambungan adalah dengan menggunakan baut.

3.10.1 Tegangan Nominal

Perencanaan sambungan didasarkan atas kelakuan pada saat hampir hancur, bukan kelakuan pada beban kerja. Dalam praktek, ragam kehancuran yang mungkin terjadi dipakai untuk menghitung tegangan. Tegangan yang dipakai dalam perhitungan perencanaan disebut *tegangan nominal*.

Pendekatan tegangan nominal yang digunakan dalam perencanaan meninjau kapasitas alat penyambung secara individual. Hal ini berarti bahwa

Struktur rangka batang adalah gabungan dari batang-batang yang disambung pada titik-titik tertentu. Sedangkan rangka batang terdiri dari batang-batang yang disambung pada titik-titik tertentu.

$$F_{cr_sayap_badan} = k_{sayap_badan} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (3.13)$$

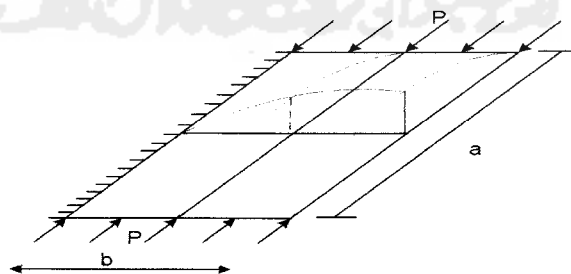
Tegangan tekuk lokal sayap untuk batang diambil yang minimum dari $F_{cr_sayap_tepi}$ dan $F_{cr_sayap_badan}$. Ini memberikan perkiraan yang baik dari tegangan tekuk lokal batang aktual.

Menurut **Charles G. Salmon dan Johnson (1996)**, tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritis pelat yang tertekan dapat dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.14)$$

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 (3.13) 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 3.5. Tekuk lokal pada sayap (jepit-bebas)

semua alat penyambung yang sama ukuran dan bahannya dianggap memiliki kekuatan yang sama dalam pemindahan beban.

Untuk tujuan perencanaan, tegangan geser nominal f_v dan tegangan tarik nominal f_t pada baut dihitung berdasarkan luas penampang baut nominal.

$$f_v = \frac{P}{m \left(\frac{\pi^2 D}{4} \right)} \quad (3.45)$$

$$f_t = \frac{P}{\left(\frac{\pi^2 D}{4} \right)} = P_{geser} = \frac{1}{4} D^2 F_v \quad (3.46)$$

di mana : P = beban per baut

D = diameter baut nominal

m = jumlah bidang geser yang berperan (tunggal atau ganda)

Tegangan tumpu nominal f_p dihitung berdasarkan diameter nominal dan tebal pelat.

$$f_p = \frac{P}{Dt} \quad - \quad P_{tumpu} = Dt \cdot F_p \quad (3.47)$$

di mana t = tebal pelat

3.10.2 Kekuatan Geser

Umumnya tegangan geser nominal yang diijinkan F_v untuk sambungan adalah:

$$F_v = \beta_1 \beta_2 \beta_3 (F_v \text{ Dasar}) \quad (3.48)$$

dengan β_1 , β_2 , dan β_3 adalah faktor daya layan (serviceability) yang berkaitan dengan daya tahan gelincir dari sambungan. Menurut AISC, F_v Dasar untuk sambungan adalah 30 ksi (207 Mpa) untuk baut A325 dan 40 ksi (276 Mpa) untuk

baut A490. Bila tidak ada ulir pada bidang geser, luas penuh A_b pada tangkai baut dianggap efektif. bila ulir berada pada bidang geser, maka luas tegangan tarik harus dipakai. Agar luas baut nominal A_b dapat digunakan dalam semua perhitungan, F_v Dasar harus diperkecil menurut rasio luas tegangan tarik dengan luas baut nominal (sekitar 0,7). Jadi F_v Dasar adalah 21 ksi untuk baut A325 dan 28 ksi untuk baut A490.

Filosofi perencanaan sambungan ditujukan untuk menghasilkan perencanaan yang seimbang, dimana kekuatan geser baut disamakan dengan kekuatan tarik pada penampang netto dari plat.

Disamping kekuatan tarik plat pada penampang netto kritis dan kapasitas geser alat penyambung harus memadai, kekuatan tumpu bahan plat juga harus memadai untuk mencegah kehancuran. setelah menggelincir, tangkai baut akan mendesak sisi lubang. Jika daya tahan plat tidak memadai, lubang akan membesar atau alat penyambung dapat mengoyak ujung plat.

Jarak ujung yang diperlukan untuk mencegah terkoyaknya plat dapat ditentukan dengan menyamakan kekuatan geser bahan plat dan beban yang disalurkan oleh baut ujung.

$$L_e \geq \frac{2P}{F_u t} \quad (3.49)$$

dengan L_e adalah jarak dari pusat suatu alat penyambung ke tepi terdekat dari alat penyambung yang bersebelahan atau ke tepi bagian yang disambung dalam arah gaya.

Jarak minimal antar baut adalah $2,67D$.

3.10.3 Sambungan Tipe Geser

Bila daya tahan gelincir terhadap beban kerja diperlukan, sambungan tipe geser harus digunakan. Secara umum, baik kekuatan maupun daya layan dapat ditinjau dalam perencanaan dengan pendekatan tegangan geser nominal. Persamaan 3.5.2.1 berlaku baik untuk sambungan tahan gelincir maupun tidak tahan gelincir:

$$F_v = \beta_1 \beta_2 \beta_3 (F_v \text{ Dasar}) \quad (3.50)$$

Harga yang diijinkan untuk sambungan tipe tumpu adalah harga F_v Dasar. Bila daya tahan terhadap gelincir diperlukan, harga β_1 , β_2 dan β_3 harus digunakan; β_1 adalah faktor yang berkaitan dengan kemungkinan gelincir; β_2 adalah faktor yang berhubungan dengan metode pemasangan; dan β_3 adalah faktor fabrikasi yang terutama berhubungan dengan ukuran lubang.

Untuk menentukan harga β_1 , β_2 dan β_3 yang sesuai, dapat dilihat dalam buku "Guide" (Fisher dan Struik). Sebagai contoh, untuk baut A325 dan kondisi permukaan yang *bersih dari kotoran* (kelas A), harga β_1 adalah 0,59 untuk kemungkinan gelincir 5% dan 0,68 untuk kemungkinan gelincir 10%. Harga β_2 yang disarankan adalah 1,0 untuk metode putaran mur dan 0,85 untuk metode kunci yang dikalibrasi. Factor β_3 yang berkaitan dengan ukuran lubang disarankan sebesar 1,0 untuk lubang standard an 0,7 untuk lubang yang kebesaran (oversize) dan lubang lonjong (slotted holes).

Kapasitas Ijin Baut

- Berdasarkan Geser

$$\begin{aligned} R_{DS} &= F_v \text{ dasar} \times A \text{ (geser tunggal)} \\ &= 2 \times F_v \text{ dasar} \times A \text{ (geser ganda)} \end{aligned}$$

A = Luas penampang baut

- Berdasarkan Tumpu

$$R_B = F_p D t = 1,5 F_u D t$$

D = Diameter lubang

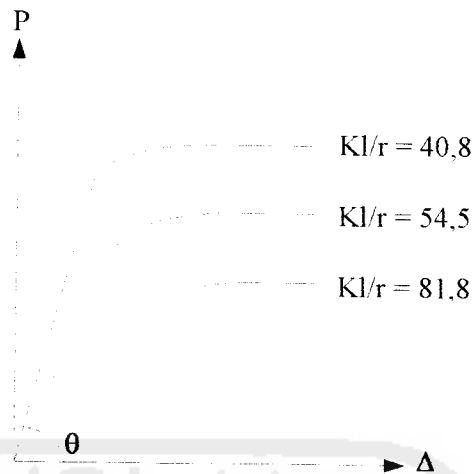
t = Tebal pelat

AISC mensyaratkan bahwa kekuatan sambungan untuk tipe geser tidak boleh melampaui kekuatan sebagai sambungan tipe tumpu. Berdasarkan ketentuan tersebut, maka kapasitas ijin baut harus dihitung baik berdasarkan geser maupun berdasarkan tumpu. Harga yang terkecil akan dipakai sebagai nilai kapasitas baut di dalam perencanaan sambungan.

3. 11. Hipotesis

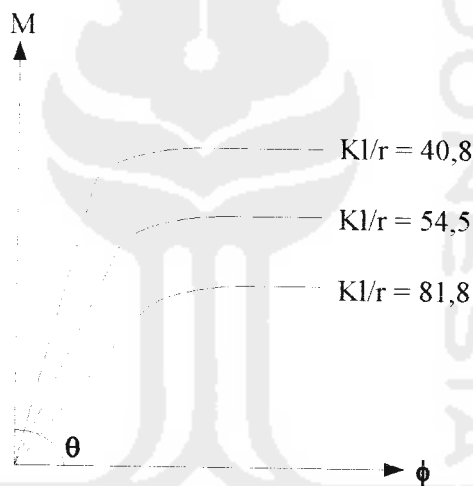
Berdasarkan landasan teori diatas dapat diambil hipotesis sebagai berikut :
Kapasitas pikul beban suatu batang tekan selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang tekuk, sebanding dengan modulus elastisitas dan momen inersia penampang, semakin panjang batang maka semakin kecil beban yang dapat menyebabkan batang tersebut tertekuk, sehingga semakin kecil jarak pengaku lateral pada batang tepi atas rangka kuda-kuda maka semakin besar beban yang dapat menyebabkan batang tepi atas tersebut kemungkinan mengalami tekuk lateral.

Berdasarkan hipotesis tersebut apabila suatu struktur rangka atap dengan bentang dan sudut tetap diberi beban terdistribusi merata (P), maka kemungkinan akan terjadi lendutan (Δ) yang besarnya dipengaruhi jarak pengaku lateral (KL/r) batang tepi atas rangka kuda-kuda.



Gambar 3.14 Hubungan Beban (P) Lendutan (Δ)

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



Gambar 3.15 Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (ϕ)

Dari **Gambar 3.14** dan **3.15** terlihat bahwa semakin besar sudut θ maka kekakuan yang terjadi semakin besar.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan suatu sistem yang digunakan dalam pelaksanaan sebuah penelitian untuk mendapatkan hasil akhir atau jawaban permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir.

4.2 Persiapan Bahan dan Alat

Sebelum melaksanakan penelitian perlu diadakan persiapan bahan dan alat yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian.

4.2.1 Bahan

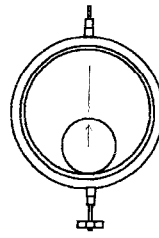
Bahan yang digunakan adalah kuda-kuda baja ringan lokal

4.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan-peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Alat Pengukur.

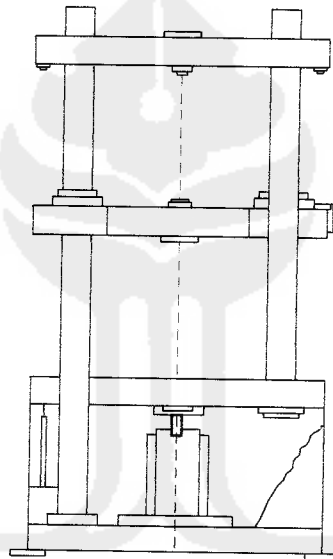
Dial Gauge adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian pembacaan dial 0,01 mm, digunakan 3 buah.



Gambar 4.1. Dial Gauge

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 4.2**



Gambar 4.2. 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 4.3. Dukungan Sendi Dan Rol

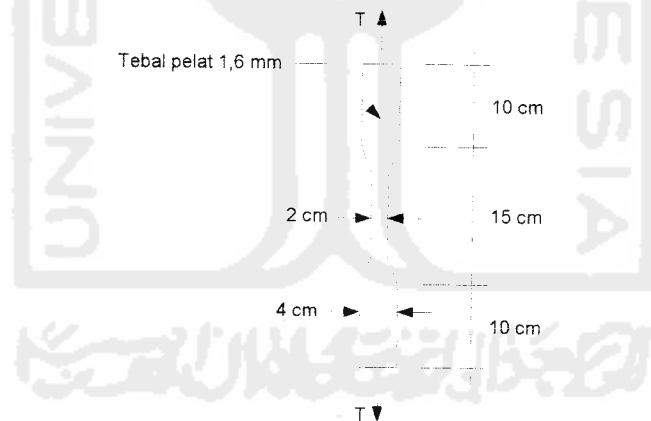
d. Pasir dan karung

Pasir diletakkan didalam karung dengan berat masing-masing 25 kg digunakan sebagai beban yang di letakkan secara manual diatas benda uji.

4.3 Pembuatan Benda Uji

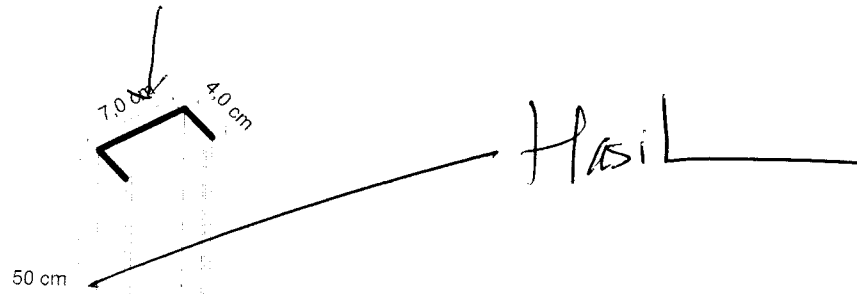
Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian diuji di laboratorium, benda uji tersebut berupa:

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



Gambar 4.4. Benda Uji Kuat Tarik Baja

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



Gambar 4.5. Benda Uji Tekan Profil Lipped Channel

- c. Tiga benda uji kuat lentur kuda-kuda ganda profil Chanal dengan variasi jarak pengaku lateral (Gording) : $Kl. r = (80,8), (54,5), (40,8)$

4.4 Pengujian Sample

4.4.1 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja ini dilakukan di lapangan. Data yang diambil pada pengujian ini adalah beban leleh, beban maksimum, dan beban patah. Dalam pengujian ini baja yang diuji sebanyak 2 buah.

4.4.2 Pengujian Tekan Baja

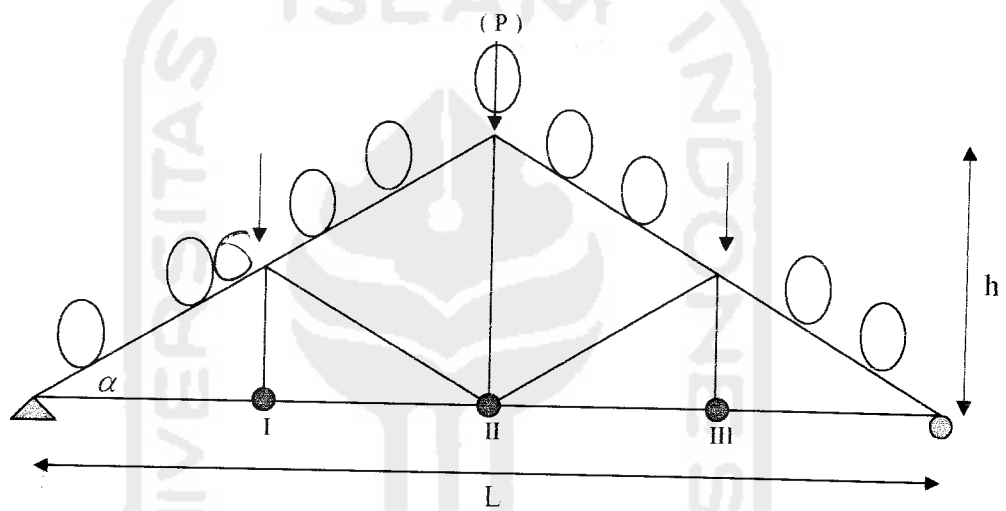
Pengujian kuat tekan baja ini dilakukan di lapangan. Data yang diambil pada pengujian ini adalah beban maksimum.

4.4.3 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian ini dilakukan di lapangan. Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah :

1. Memasang dukungan pada setiap benda ujung kuda-kuda tersebut.
Dalam hal ini dilakukan pemasangan sendi-rol.

2. Kuda-kuda diletakkan di atas dukungan
3. Pemasangan Dial sebanyak 4 buah.
4. Benda uji siap diuji. Pembebanan dilakukan secara manual dan bertahap sampai maksimum. Pengujian struktur baja ringan dengan beban aksial yang dinaikkan bertahap dari nol sampai terjadi kerusakan dengan penambahan beban 25 kg, kemudian beban ditingkatkan berdasarkan kondisi sampel dan penurunan dibaca




Gambar 4.6. Pengujian Kuda-kuda dengan peletakan dial gauge dan beban

Keterangan : h = tinggi kuda-kuda

L = panjang kuda-kuda

α = sudut kemiringan kuda-kuda

 = Karung pasir sebagai beban @ 25 Kg

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kekakuan rangka atap baja diketahui dengan melakukan pengujian manual dengan menggunakan pembebanan merata yang berupa karung-karung pasir di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban merata pada btang tepi atas rangka atap (*truss*) berupa beban terdistribusi merata yang dilakukan secara bertahap dengan kenaikan sebesar 100 Kg. Setiap tahap pembebanan dicatat lendutan yang terjadi pada tiga titik dial dan satu dial arah lateral yang telah ditentukan. Hasil penelitian yang disertai pembahasannya akan disajikan sebagaimana berikut.

5.1. Hubungan Beban Lendutan Hasil Pengujian

Pada pengujian kekakuan rangka atap baja tipe Howe dengan variasi jarak pengaku lateral diperoleh lendutan yang terjadi. Hasil dari penelitian disajikan di bawah ini berikut grafik dan disertai hasil regresinya.

a. Howe Sampel 1 ($KL/r = 81,8$)

Data-data berupa hasil pembacaan dial disajikan pada Tabel 5.1, dan untuk lebih memperjelas disajikan grafik hubungan beban dan lendutan (dalam

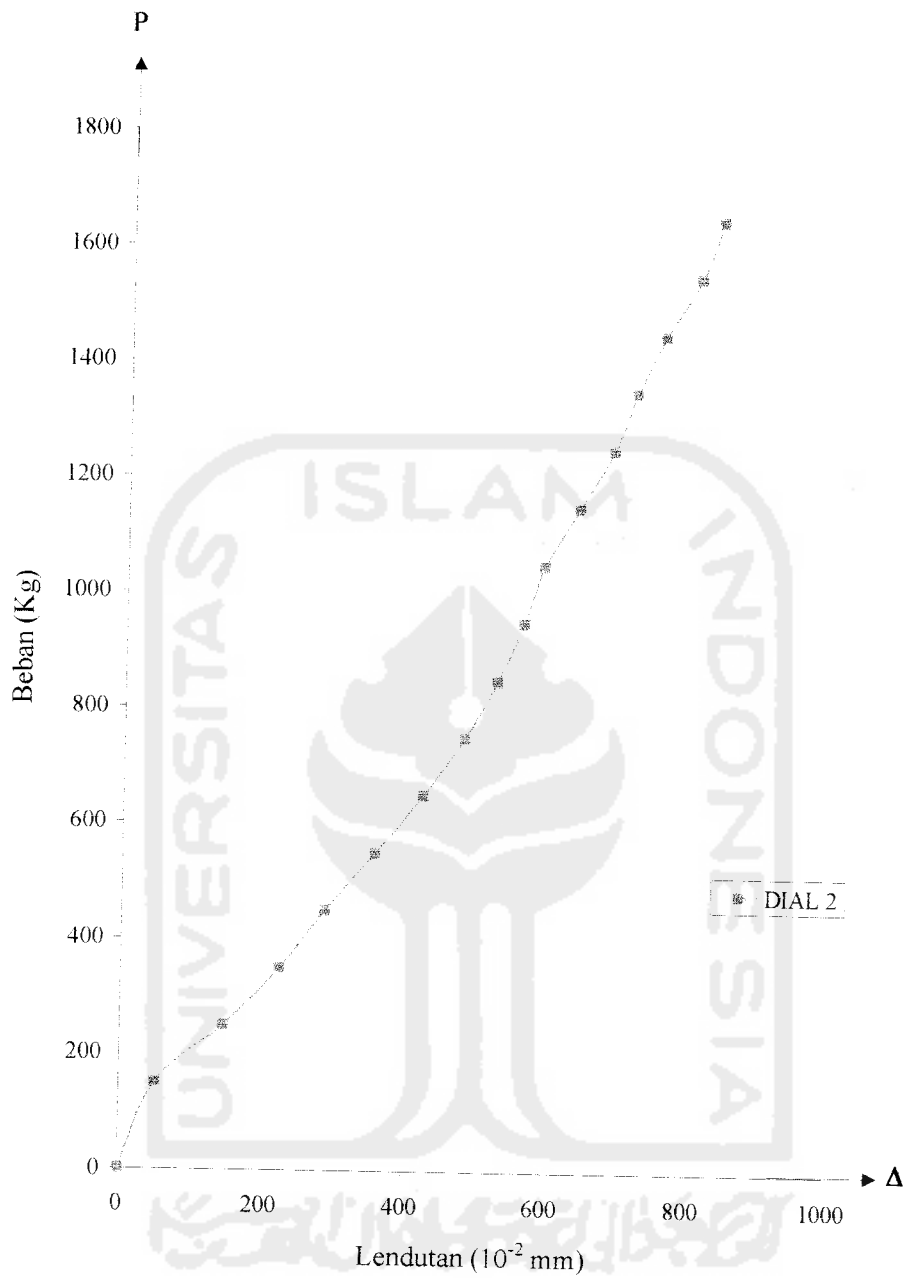
→ Uji tarik → hasil

Uji tekan → hasil ,

hal ini yang digunakan adalah data pada dial 2 yang berada ditengah rangka/lendutan Δ_2 serta dial 4 (Δ_4) yang menunjukkan lendutan arah lateral).

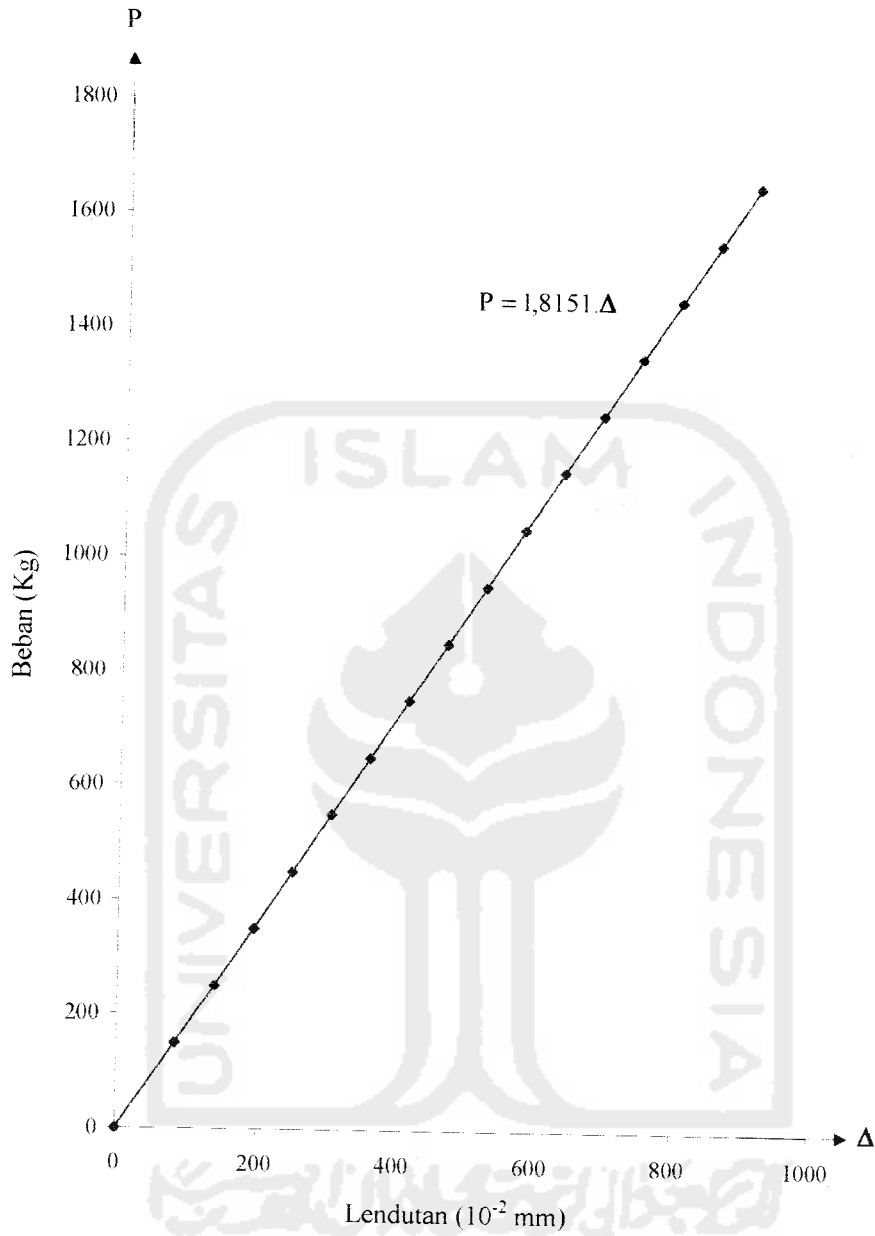
Tabel 5.1. Hubungan Beban Dan Lendutan Kuda-Kuda Bentuk Howe Sampel 1

BEBAN (Kg)	DIAL 1 (10^{-2} mm)	DIAL 2 (10^{-2} mm)	DIAL 3 (10^{-2} mm)	DIAL 4 (10^{-2} mm)
0	0	0	0	0
150	41	50	51	49
250	104	144	148	152
350	160	222	200	182
450	211	285	231	237
550	318	356	301	380
650	423	422	402	482
750	476	480	469	539
850	529	526	524	745
950	568	562	565	898
1050	598	590	589	991
1150	656	638	644	1084
1250	684	685	683	1126
1350	706	716	700	1256
1450	744	756	735	1380
1550	775	805	770	1495
1650	815	835	815	1575



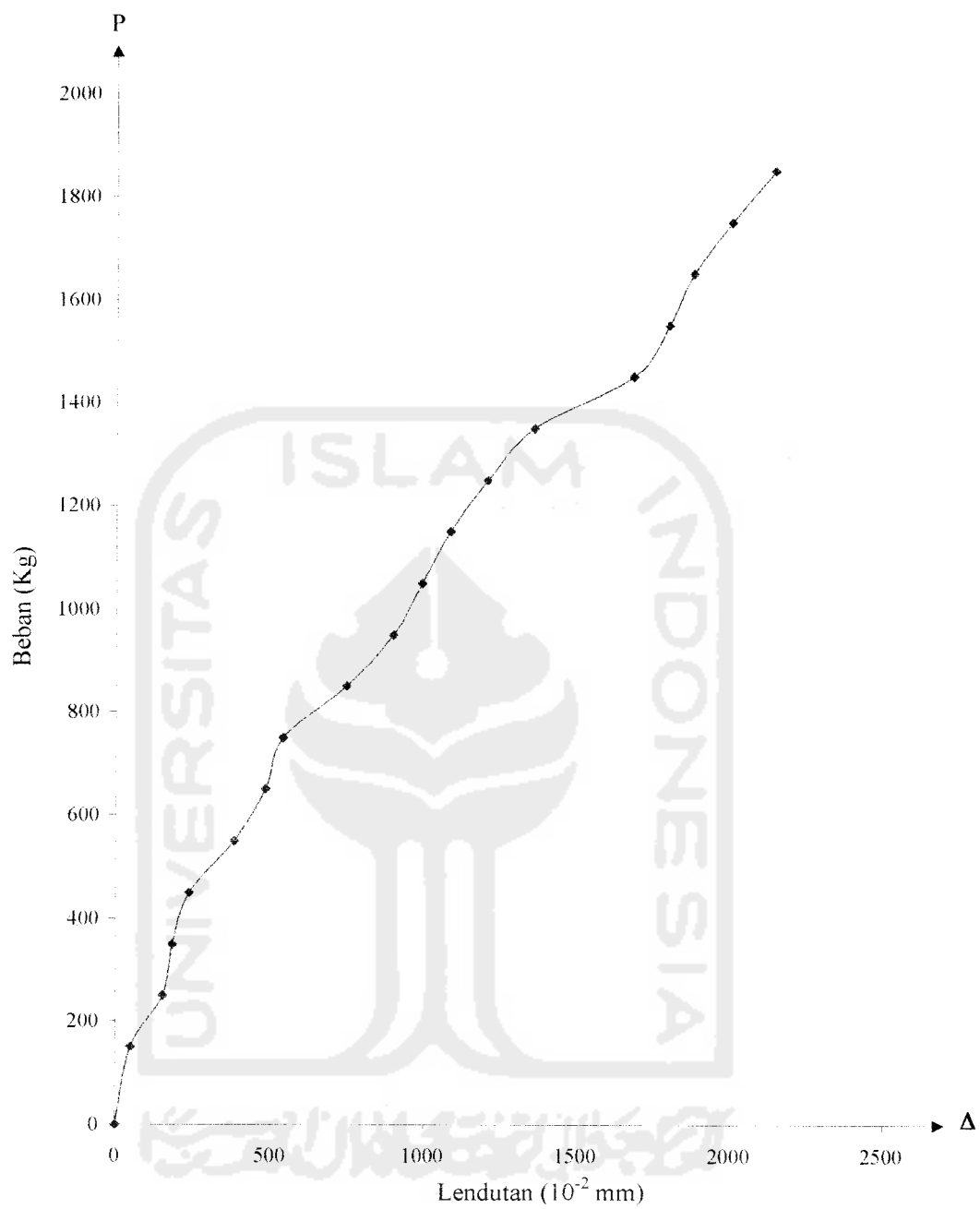
Gambar 5.1.a. Hubungan Beban Lendutan Howe Sampel 1

Dari grafik hubungan diatas, dibuat hasil regresinya yang ditunjukkan dengan **Gambar 5.1.b.**



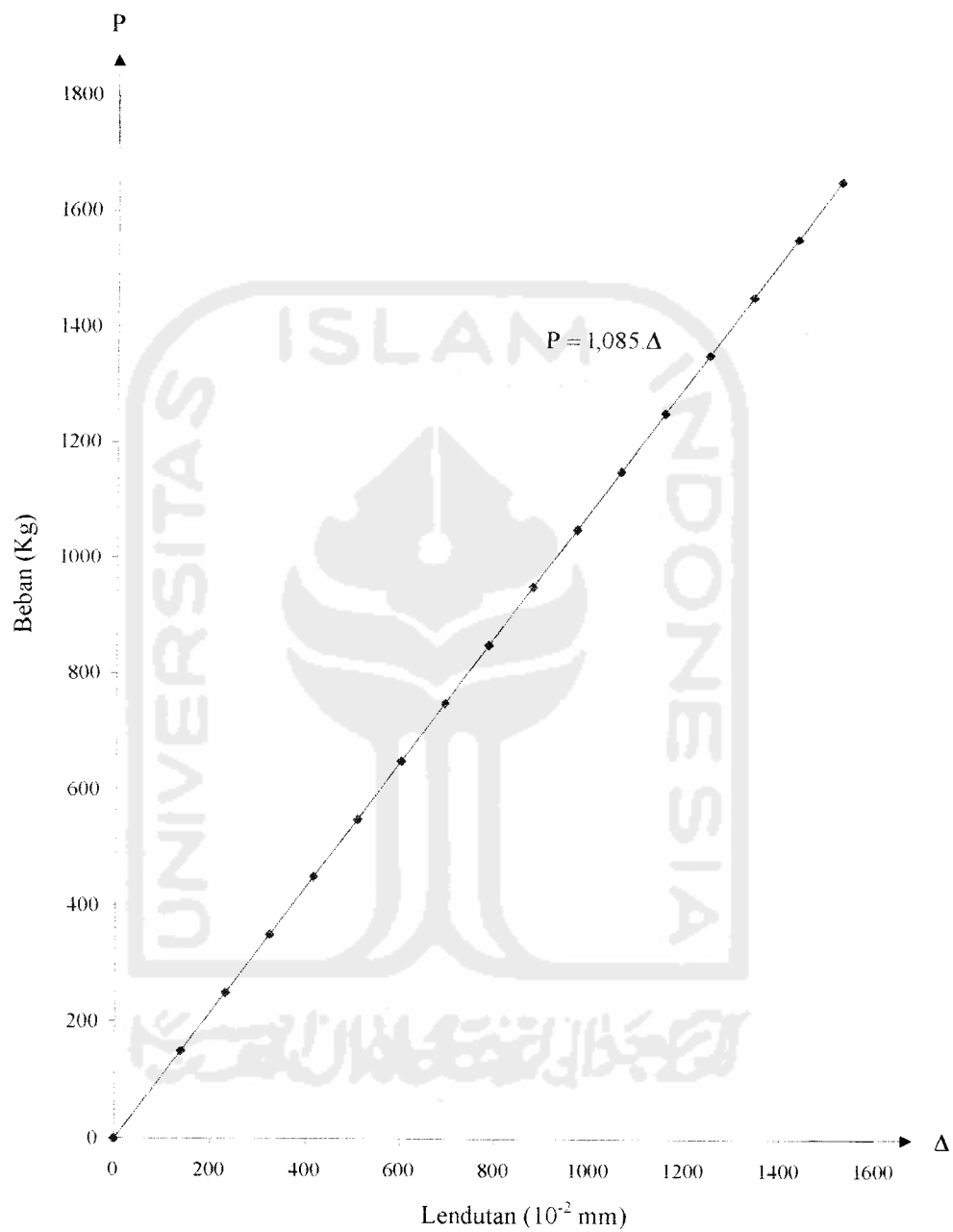
Gambar 5.1.b. Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe Sampel 1





Gambar 5.2.a. Hubungan Beban-Lendutan Sampel 1 Arah Lateral

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



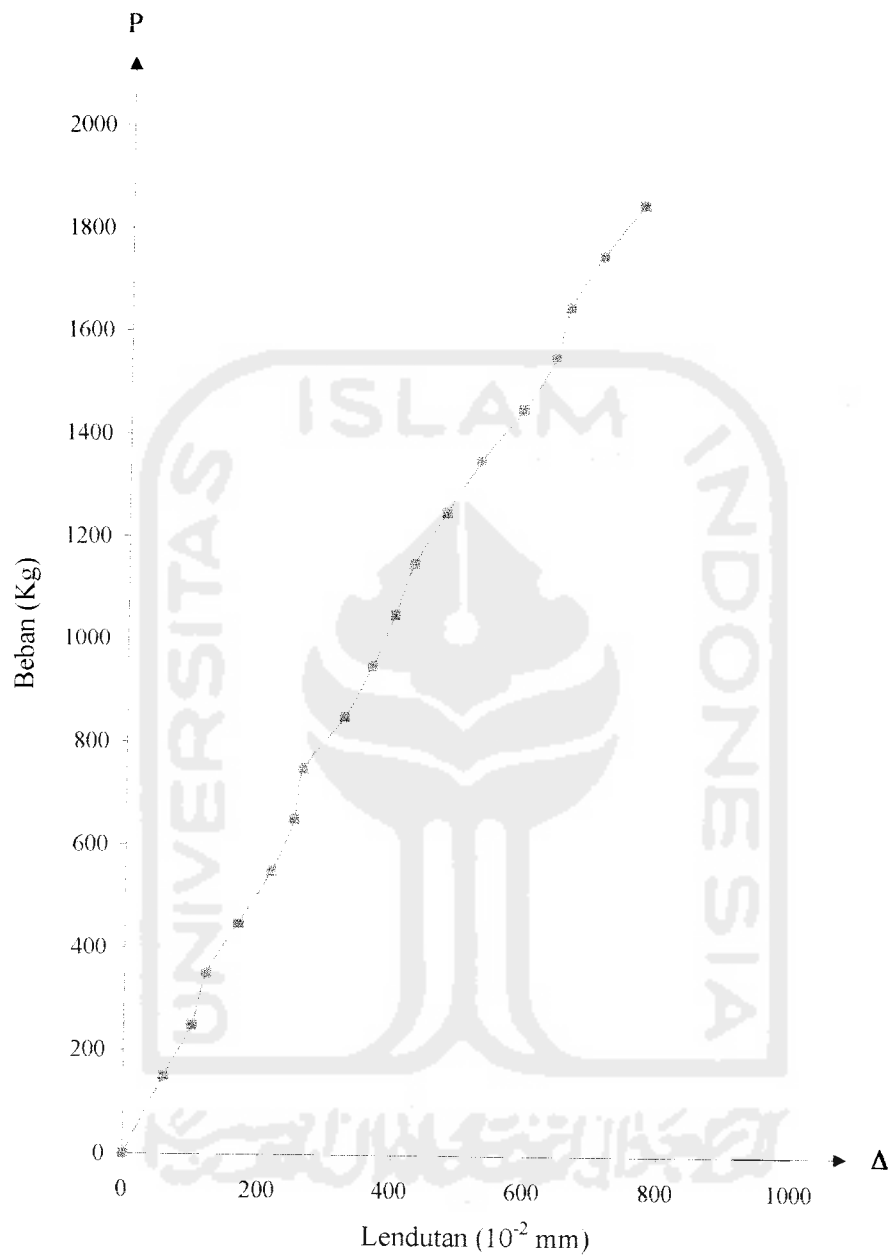
Gambar 5.2.b. Regresi Hubungan Beban-Lendutan Sampel 1 Arah Lateral

b. Howe Sampel 2 ($KL/r = 54,5$)

Pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.2 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada Gambar 5.3.a. dan 5.4.a. dan hasil regresi ditunjukkan pada Gambar 5.3.b. dan 5.4.b.

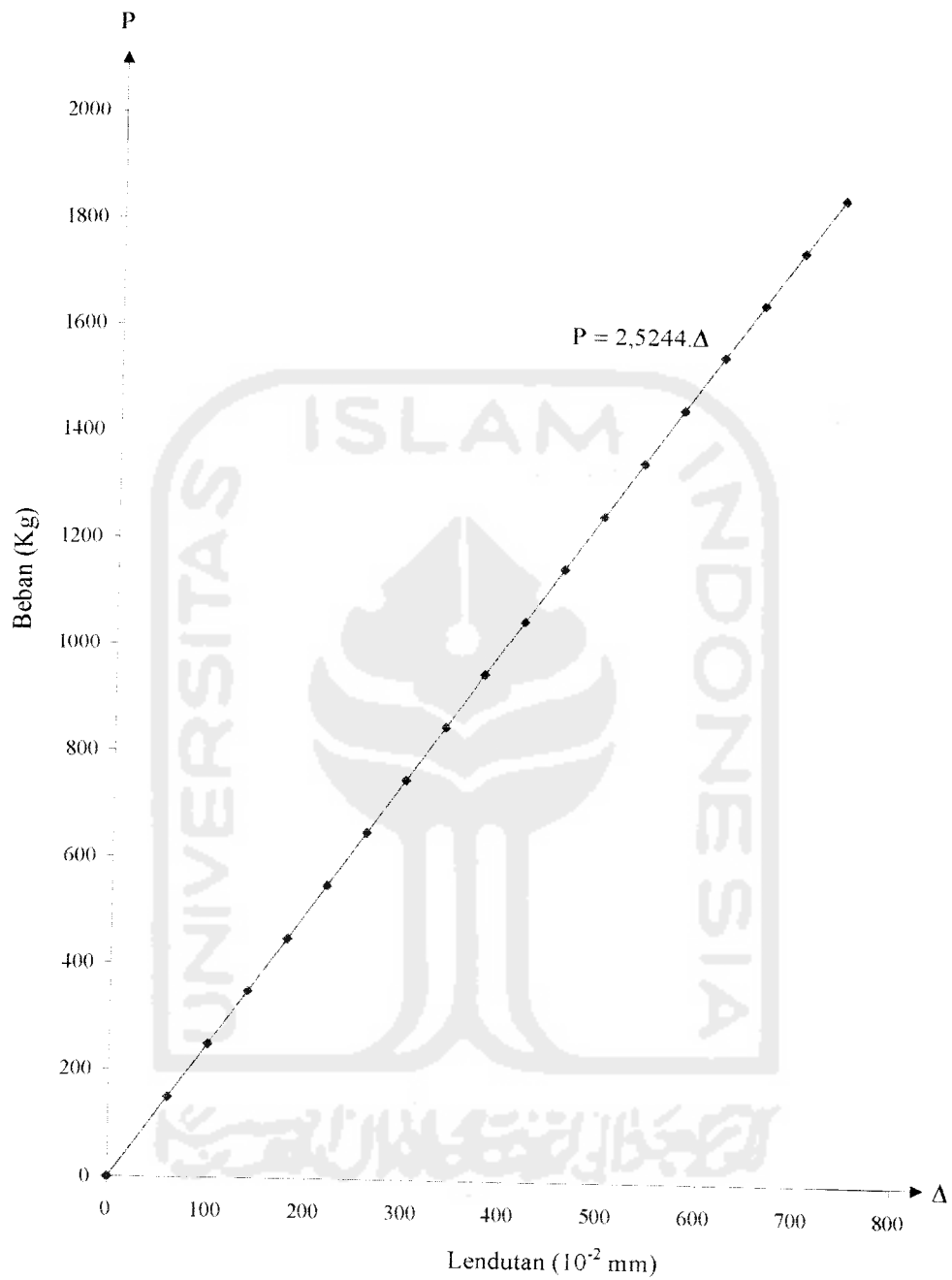
Tabel 5.2. Hubungan Beban dan Lendutan Howe Sampel 2

BEBAN (Kg)	DIAL 1 (10^{-2} mm)	DIAL 2 (10^{-2} mm)	DIAL 3 (10^{-2} mm)	DIAL 4 (10^{-2} mm)
0	0	0	0	0
150	19.0	59.0	25	-41
250	67.5	100.0	99	-65
350	77.0	121.0	110	-74
450	120.0	167.5	160	-59
550	186.5	216.0	190	-50
650	200.0	249.0	210	25
750	215.0	263.0	220	69
850	270.0	324.0	300	135
950	311.5	364.5	370	355
1050	345.0	398.0	400	390
1150	380.0	426.0	420	414
1250	415.5	474.0	480	458
1350	464.0	525.0	500	530
1450	518.0	588.0	560	580
1550	570.0	636.0	600	590
1650	600.0	657.0	620	620
1750	635.0	706.0	629	660
1850	673.0	766.0	689	698

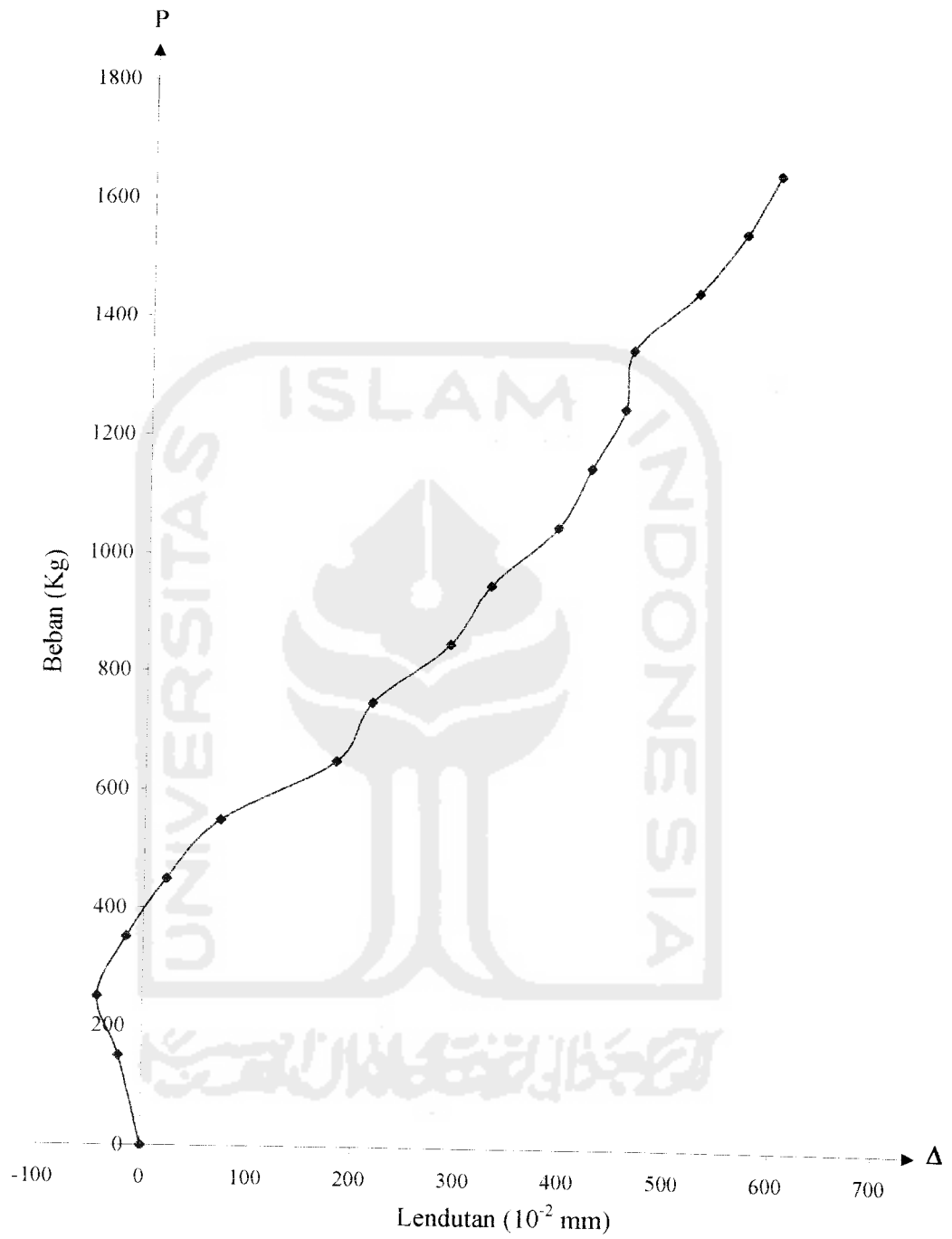


Gambar 5.3.a Hubungan Beban Lendutan Howe Sampel 2

Dari grafik hubungan diatas, dibuat hasil regresinya yang ditunjukkan dengan **Gambar 5.3.b**.

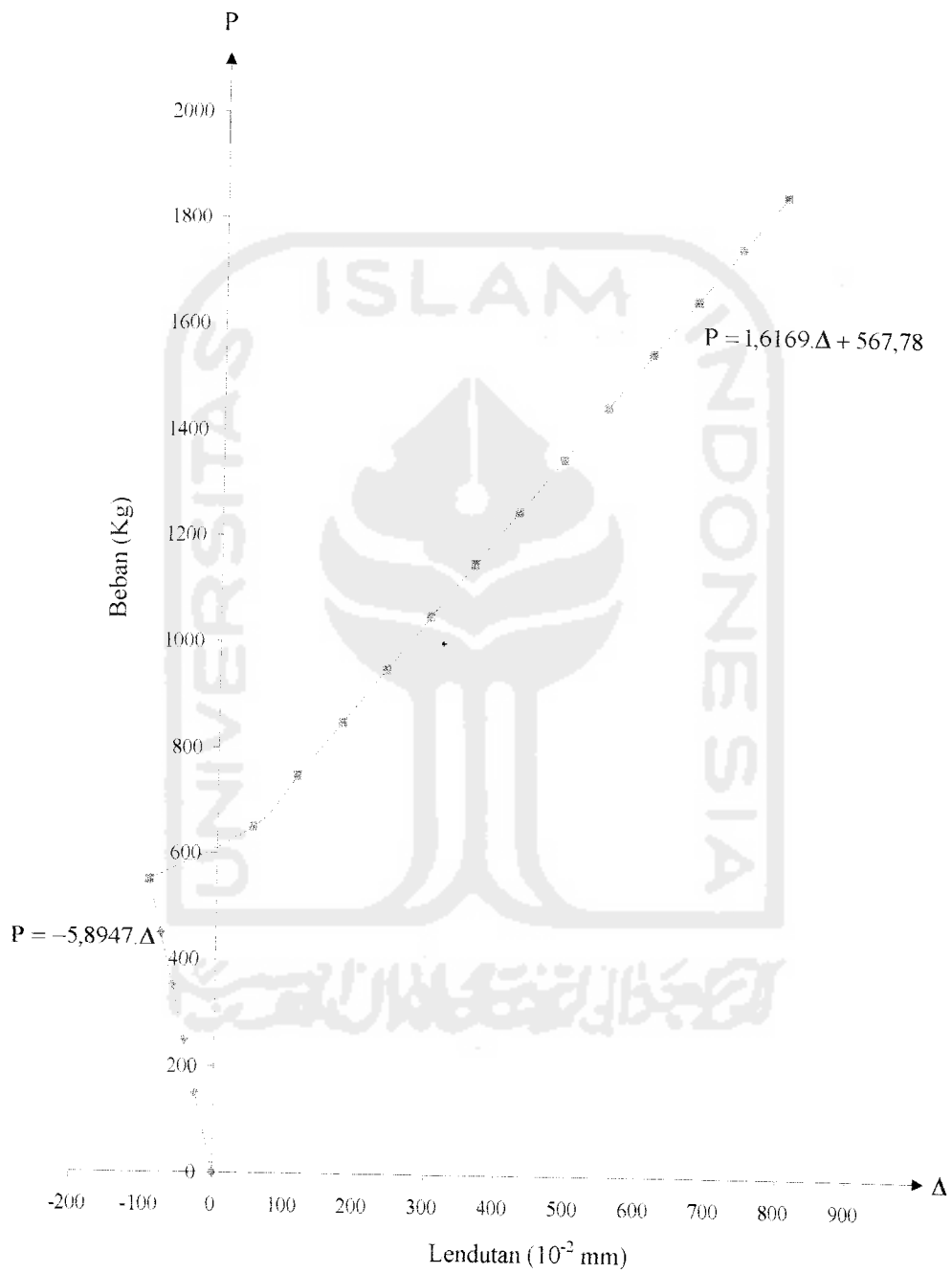


Gambar 5.3.b. Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe Sampel 2



Gambar. 5.4.a. Hubungan Beban-Lendutan Sampel 2 Arah Lateral

Dari grafik hubungan diatas, dibuat hasil regresinya yang ditunjukkan dengan **Gambar 5.4.b.**



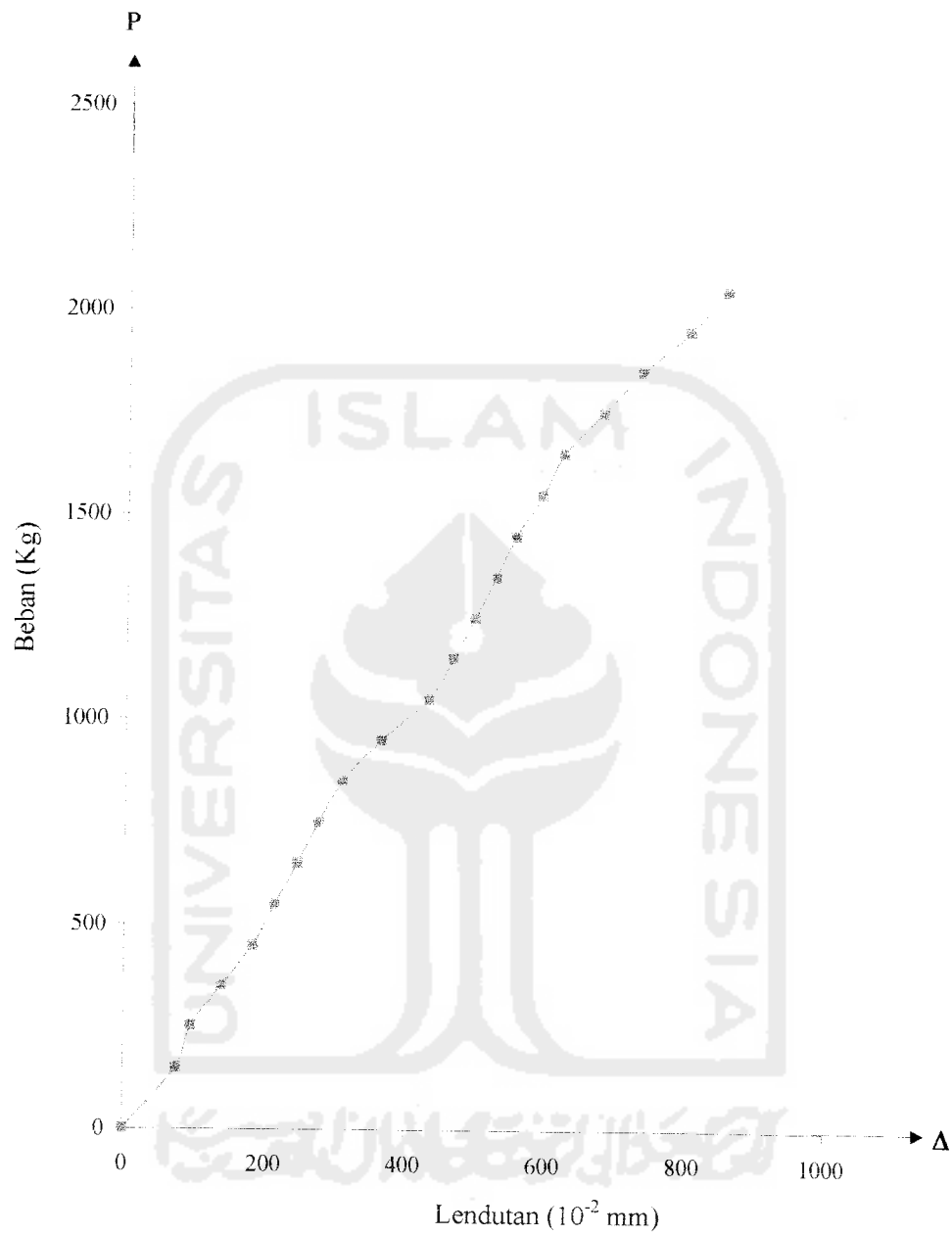
Gambar 5.4.b. Regresi Hubungan Beban-Lendutan Sampel 2 Arah Lateral

c. **Howe Sampel 3 ($KL/r = 40,8$)**

Pencatatan lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.3 dan grafik hubungan beban dan lendutan ditampilkan pada **Gambar 5.5.a.** dan **5.6.a.** dan hasil regresi ditunjukkan pada **Gambar 5.5.b.** dan **5.6.b.**

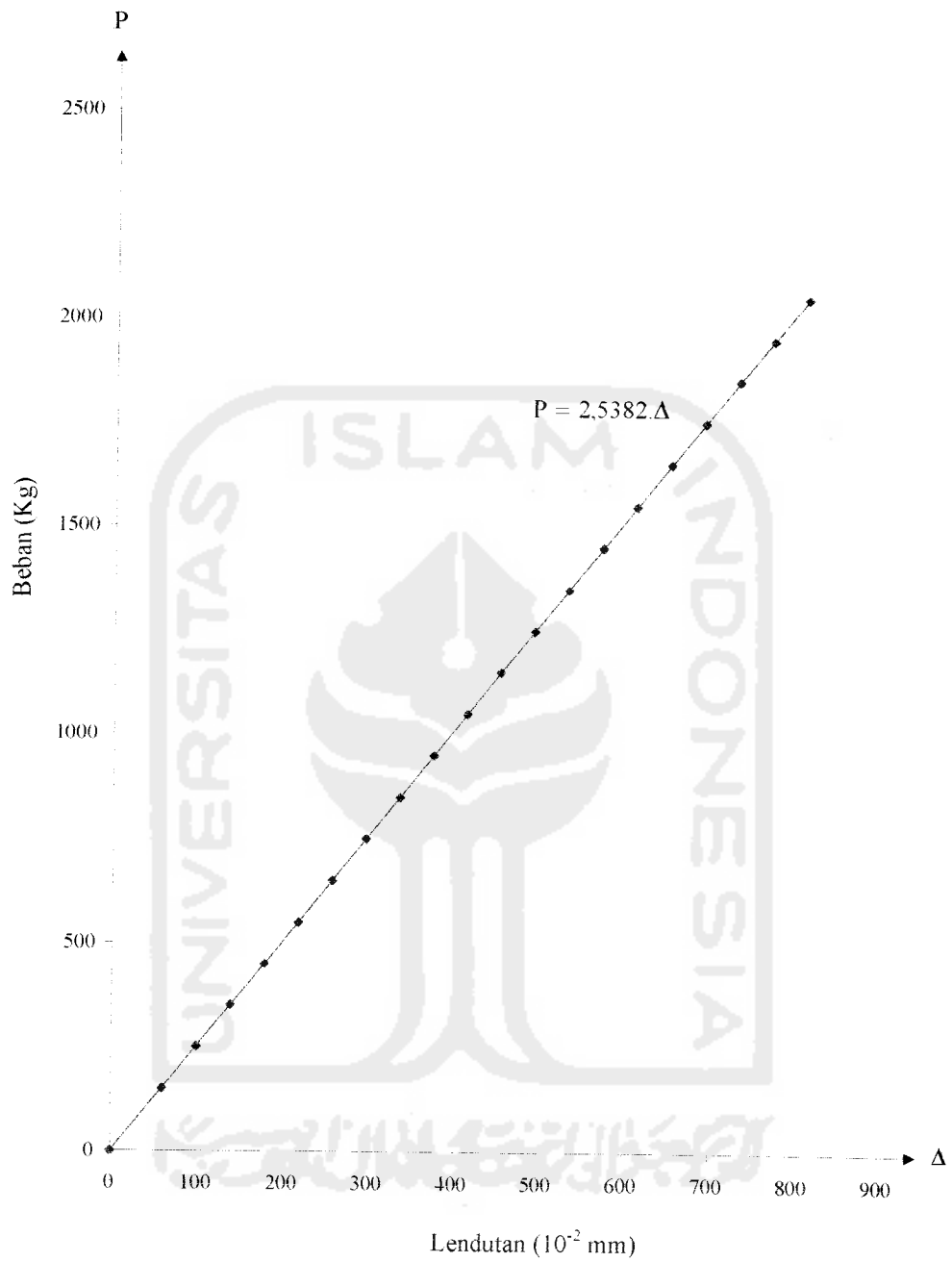
Tabel 5.3. Hubungan Beban dan Lendutan Howe Sampel 3

BEBAN (Kg)	DIAL 1 (10^{-2} mm)	DIAL 2 (10^{-2} mm)	DIAL 3 (10^{-2} mm)	DIAL 4 (10^{-2} mm)
0	0	0	0	0
150	48.0	74	40	-22
250	82.5	95	78	-43
350	120.0	138	110	-16
450	162.0	181	176	21
550	192.0	212	196	71
650	226.0	244	210	130
750	245.0	274	285	161
850	284.0	308	300	205
950	332.0	363	342	230
1050	395.5	430	385	267
1150	428.5	465	410	302
1250	462.0	495	463	341
1350	495.0	525	485	368
1450	519.0	553	500	395
1550	531.0	590	564	425
1650	575.0	620	580	451
1750	612.0	675	623	485
1850	654.0	731	666	517
1950	715.0	798	732	545
2050	756.0	850	779	591

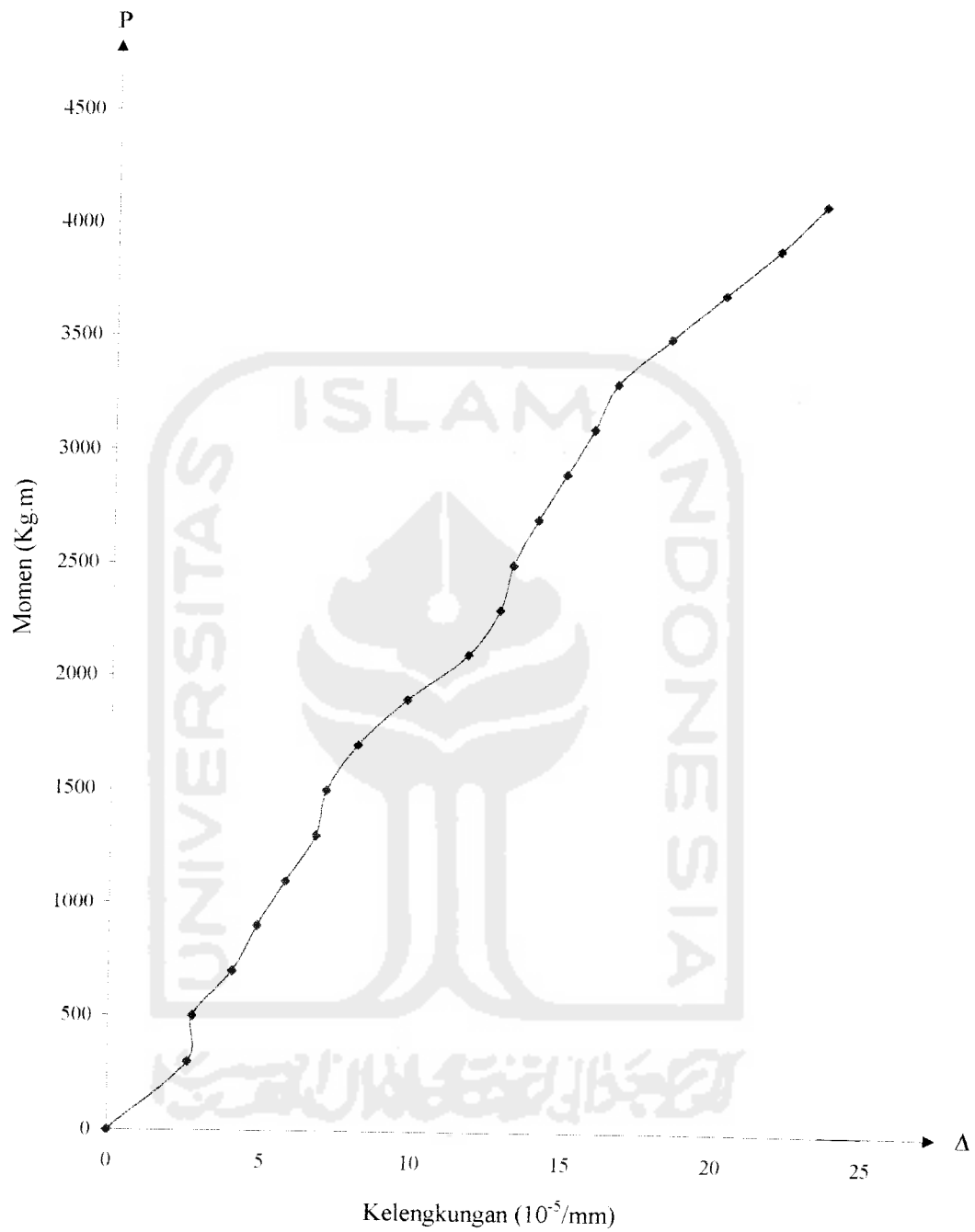


Gambar 5.5.a. Hubungan Beban Lendutan Howe Sampel 3

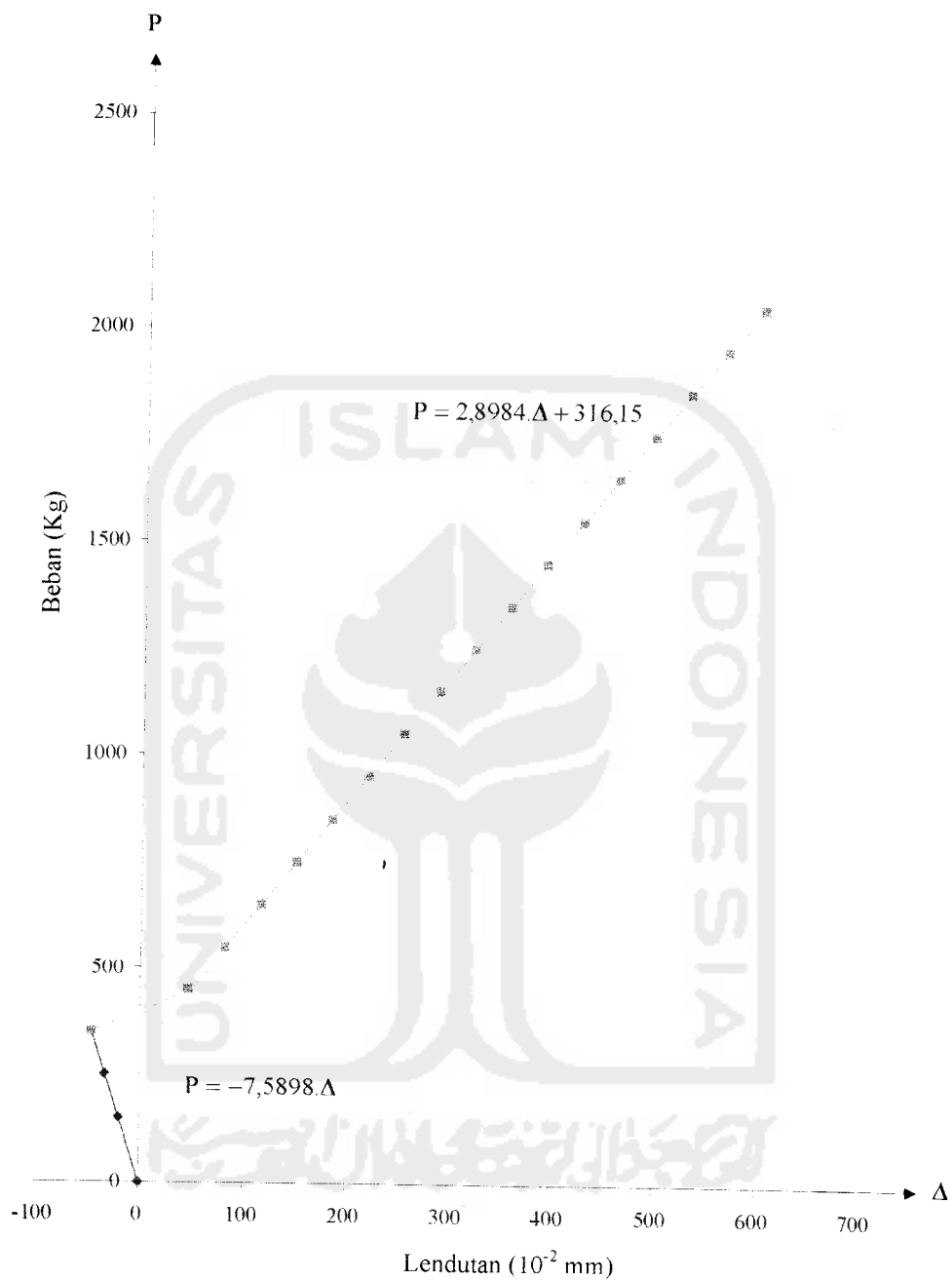
Dari grafik hubungan diatas, dibuat hasil regresinya yang ditunjukkan dengan **Gambar 5.5.b.**



Gambar 5.5.b. Regresi Hubungan Beban Lendutan Howe Sampel 3



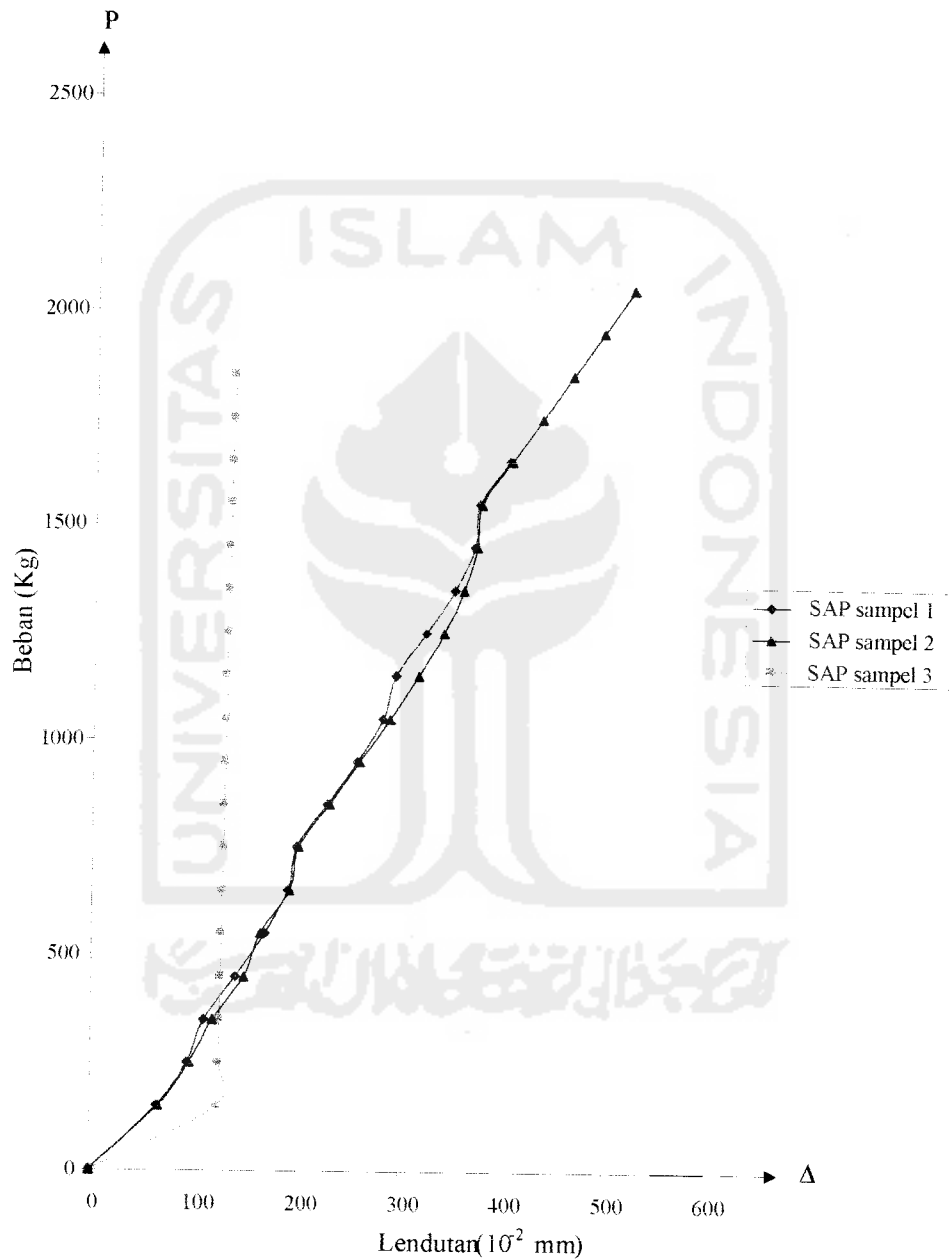
Gambar 5.6.a. Hubungan Beban-Lendutan Sampel 3 Arah Lateral



Gambar 5.6.b. Regresi Hubungan Beban-Lendutan Sampel 3 Arah Lateral

5.2. Grafik Beban Lendutan Hasil Analisa SAP 2000

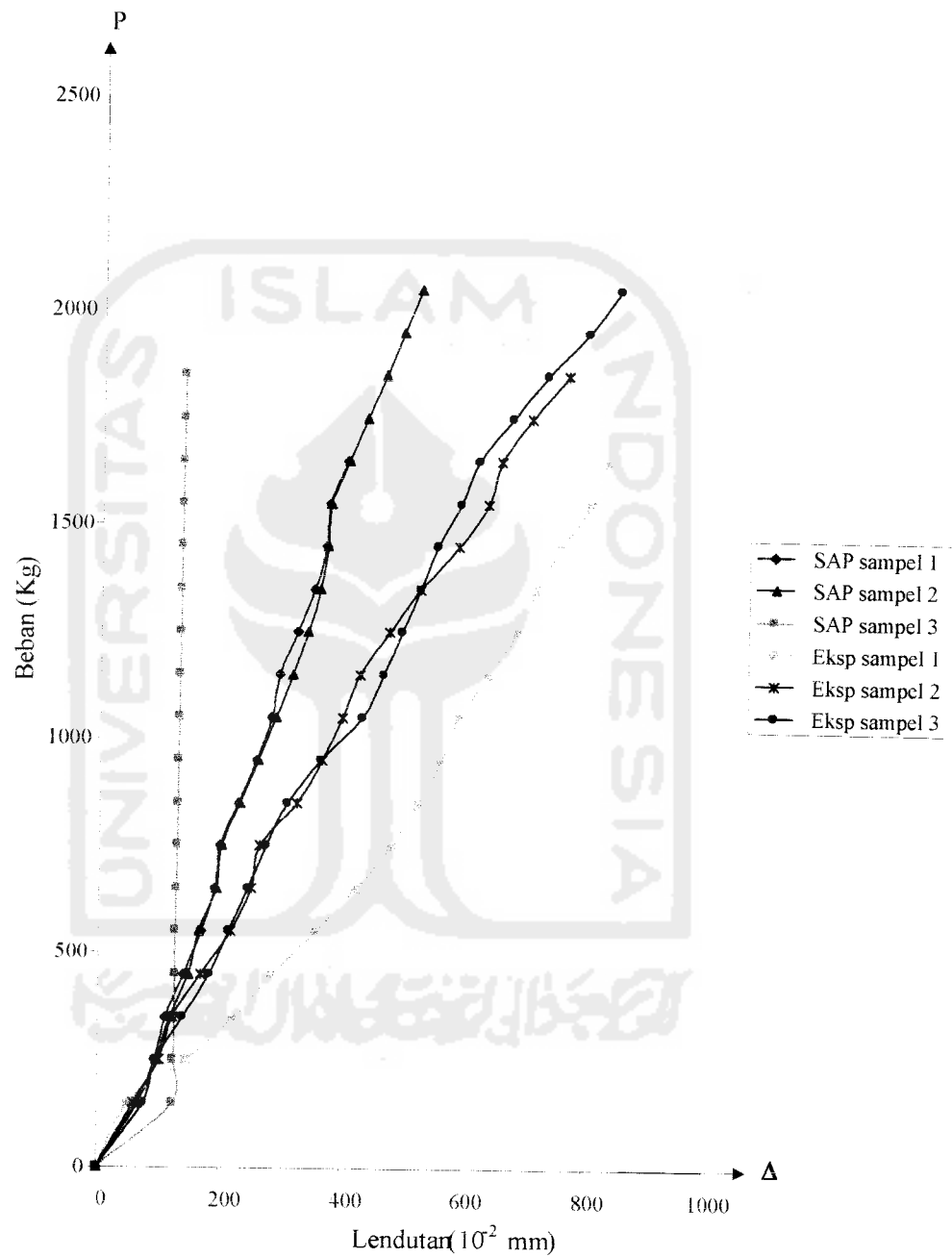
Dari analisa SAP 2000 yaitu rangka batang kuda-kuda yang dianalisa sebagai truss, yang kemudian ditampilkan dalam grafik beban-lendutan seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.7**.



Gambar 5.7. Hubungan beban-lendutan analisa SAP 2000

5.3. Grafik Beban Lendutan Hasil Pengujian Dan Analisa SAP 2000

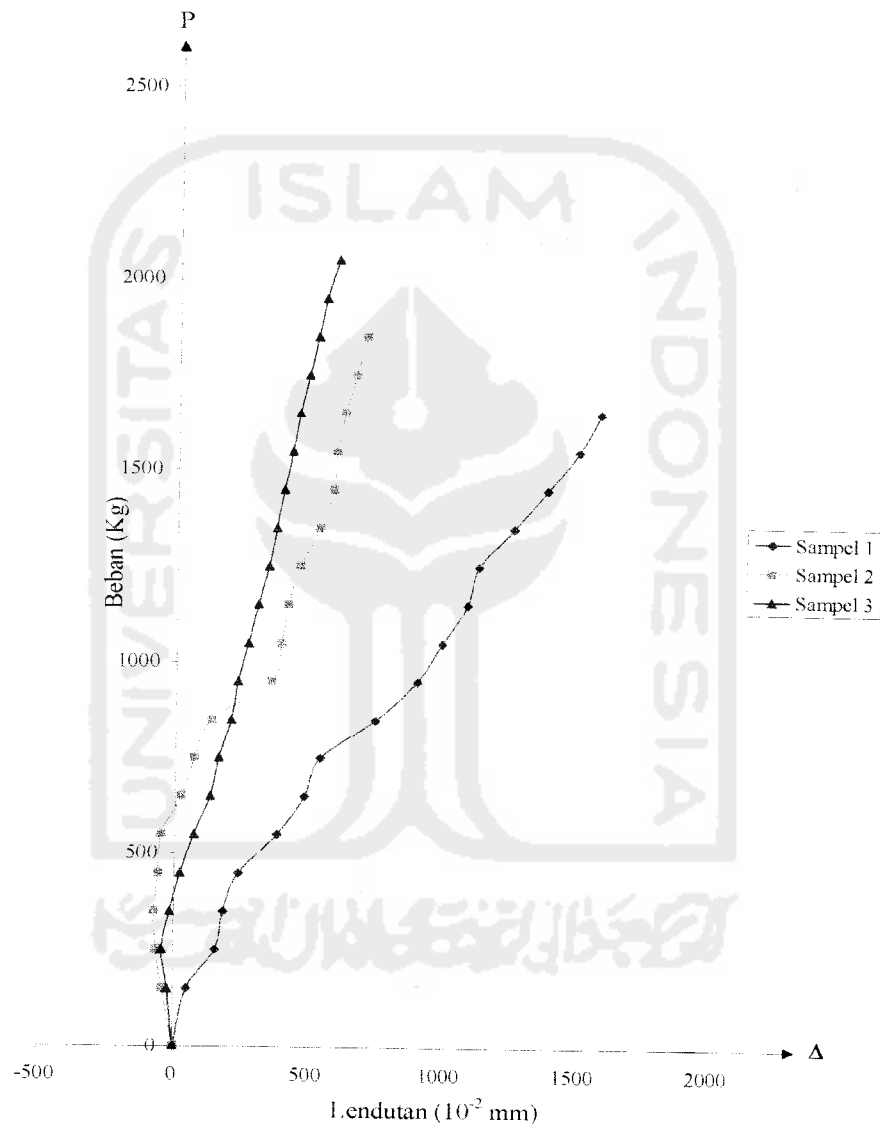
Dari grafik gabungan hasil pengujian dan analisa SAP 2000 didapat hasil seperti Gambar 5.8.



Gambar 5.8. Hubungan Beban-Lendutan Analisa SAP 2000

5.4. Pengaruh Jarak Pengekang Lateral Terhadap Beban Lendutan

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



Gambar 5.9. Pengaruh Jarak Pengekang Lateral Terhadap Beban Lendutan Hasil Penelitian

Gambar 5.9. menunjukkan kenyataan yang terjadi di lapangan dimana kuda-kuda bentuk Howe 3 memiliki sudut atau memiliki kekakuan yang lebih besar dari rangka batang Howe 2 dan Howe 1.

5.4.1. Analisis Truss Hasil Pengujian

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

a. Howe Variasi 1

$$\phi = P/\Delta = 1,8151. \Delta \text{ maka jika :}$$

$$P = 1650 \text{ Kg ; } \Delta = 909,041 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\phi = k = \frac{1650}{909,041} = 1,8151 \text{ Kg/mm}$$

$$\theta = \text{arctg } 1,8151 = 61,15^\circ$$

b. Howe Variasi 2

$$\phi = P/\Delta = 2,5244 \text{ maka jika :}$$

$$P = 1650 \text{ Kg ; } \Delta = 653,621 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k = \frac{1650}{653,621} = 2,5244 \text{ Kg/mm}$$

$$\theta = \text{arctg } 2,5244 = 68,39^\circ$$

c. Howe Variasi 3

$$\phi = P/\Delta = 2,5382 \text{ maka jika :}$$

$$P = 1650 \text{ Kg} ; \Delta = 650,067 \text{ mm}$$

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

$$\operatorname{tg} \theta = k = \frac{1650}{650,067} = 2,5382 \text{ Kg/mm}$$

$$\theta = \operatorname{arctg} 2,5382 = 68,50^\circ$$

5.4.2. Perbandingan Truss Hasil Pengujian

Gambar 5.9. menunjukkan bahwa rangka Howe 3 mempunyai kekakuan yang lebih besar dari rangka Howe 2 dan Howe 1. Hal ini juga akan terlihat pada prosentase yang telah dilakukan perhitungannya di bawah ini.

a. Perbandingan antara Howe 3 dengan Howe 1

- Kekakuan Howe 3 = 2,5382 Kg/mm
- Kekakuan Howe 1 = 1,8151 Kg/mm

$$\text{Prosentase kekakuan adalah } \frac{(2,5382 - 1,8151)}{2,5382} \times 100\% = 28,48\%, \text{ dimana}$$

rangka Howe3 ternyata 28,48 % lebih kaku dibandingkan rangka. Howe 1.

b. Perbandingan antara Howe 3 dengan Howe 2

- Kekakuan Howe 3 = 2,5382 Kg/mm
- Kekakuan Howe 2 = 2,5244 Kg/mm

$$\text{Prosentase kekakuan adalah } \frac{2,5382 - 2,5244}{2,5382} \times 100\% = 0,54\%, \text{ dimana}$$

rangka Howe 3 ternyata 0,54 % lebih kaku dibandingkan rangka Howe 2.

c. Perbandingan antara Howe 2 dengan Howe 1

- Kekakuan Howe 2 = 2,5244 Kg/mm

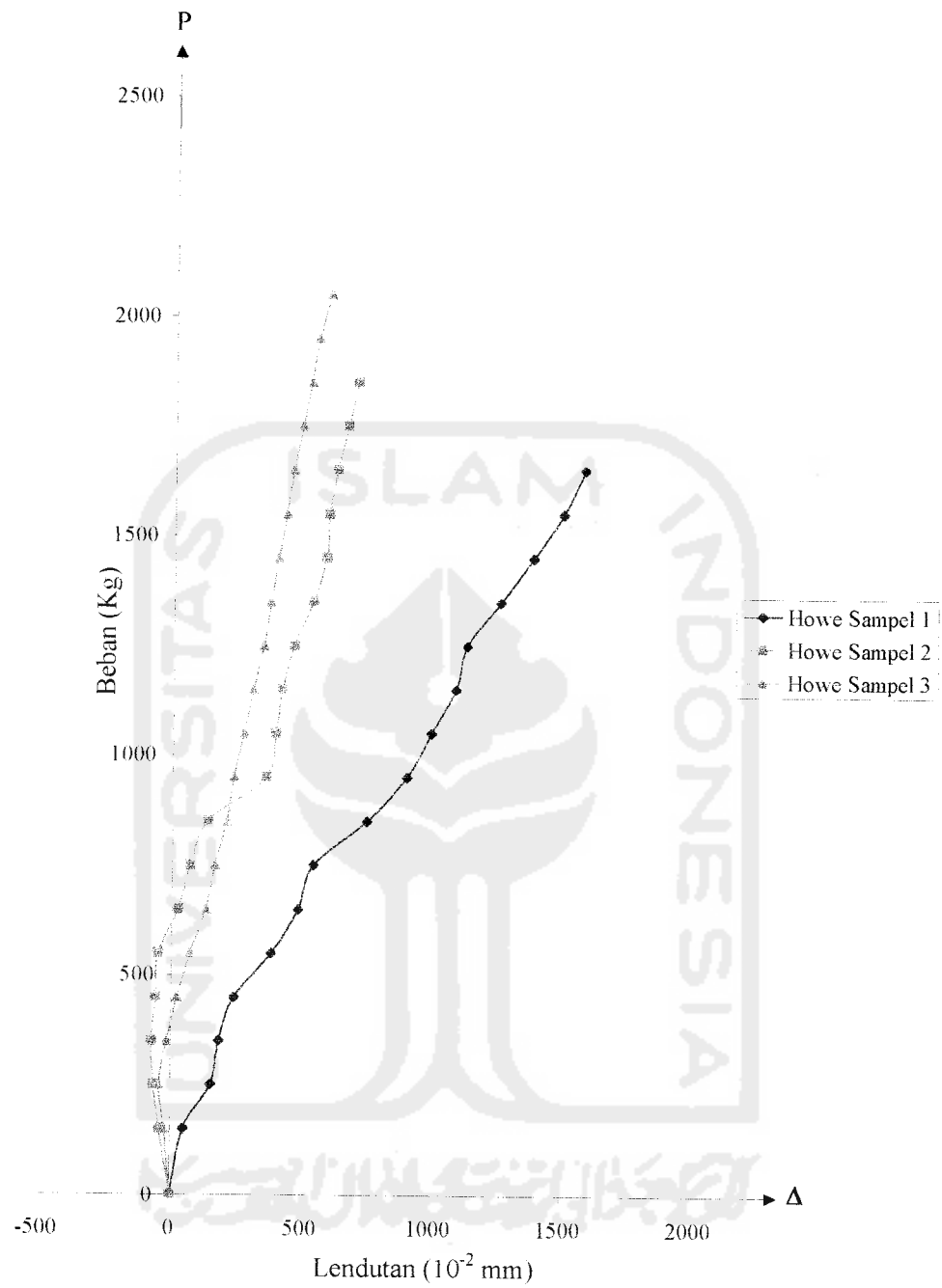
- Kekakuan Howe 1 = 1,8151 Kg/mm

Prosentase kekakuan adalah $\frac{(2,5244 - 1,8151)}{2,5244} \times 100\% = 28,09\%$, dimana

rangka Howe 2 ternyata 28,09 % lebih kaku dibandingkan rangka Howe 1.

5.5. Pengaruh Jarak Pengekang Lateral Terhadap Beban Lentutan Arah Lateral.

Pada Jarak pengekang lateral yang berbeda maka struktur kuda-kuda akan mengalami lentutan arah lateral yang berbeda. Dari persamaan $k = tg\alpha = \frac{P}{\Delta}$ terlihat bahwa semakin besar lentutan arah lateral yang terjadi maka kekakuan rangka batang akan semakin kecil. Hal ini terlihat pada **Gambar 5.9.** dan analisis hasil pengujian beban lentutan arah lateral yang menunjukkan kenyataan yang terjadi di lapangan dimana kuda-kuda bentuk Howe variasi 3 memiliki sudut atau memiliki kekakuan yang lebih besar dari kuda-kuda Howe variasi 2 dan Howe variasi 1.



Gambar 5.10. Pengaruh Jarak Pengekang Lateral Terhadap Beban Lendutan Arah Lateral Hasil Penelitian

5.5.1. Analisis Truss Hasil Pengujian Lendutan Arah Lateral

Berdasarkan **Gambar 5.16** besarnya sudut yang terjadi pada kuda-kuda rangka batang adalah sebagai berikut.

a. Howe 1

$$\phi = \frac{P}{\Delta} = 1,085 \text{ maka jika :}$$

$$P = 1650 \text{ Kg; } \Delta = 1520,737 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k = \frac{1650}{1520,737} = 1,085 \text{ Kg/mm}$$

$$\theta = \text{arctg}1,085 = 47,33^\circ$$

b. Howe 2

$$P = 1,6169\Delta + 567,78 \text{ maka jika}$$

$$P = 1650 \text{ Kg; } \Delta = 669,318 \text{ mm}$$

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

$$\text{tg}\theta = k = \frac{1650}{669,318} = 2,465 \text{ Kg/mm}$$

$$\theta = \text{arctg}2,465 = 67,92^\circ$$

c. Howe 3

$$P = 2,8984.\Delta + 316,15 \text{ maka jika :}$$

$$P = 1650 \text{ Kg; } \Delta = 460,202 \text{ mm}$$

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

$$\operatorname{tg}\theta = k = \frac{1650}{460.202} = 3,585 \text{ Kg/mm}$$

$$\theta = \operatorname{arctg} 3,585 = 74,41^\circ$$

5.5.2. Perbandingan Truss Hasil Pengujian

Gambar 5.16 menunjukkan bahwa rangka Howe 3 mempunyai kekakuan yang lebih besar dari rangka Howe 2 dan rangka Howe 1. Hal ini juga akan terlihat pada prosentase yang telah dilakukan perhitungannya di bawah ini.

a. Perbandingan antara Howe 3 dengan Howe 2

- Kekakuan Howe 3 = 3,585 Kg/mm
- Kekakuan Howe 2 = 2,465 Kg/mm

Prosentase kekakuan adalah $\frac{(3,585 - 2,465)}{3,585} \times 100\% = 31,24\%$, dimana

rangka Howe 3 ternyata 31,24% lebih kaku dibandingkan rangka Howe 2.

b. Perbandingan antara Howe 3 dengan Howe 1

- Kekakuan Howe 3 = 3,585 Kg/mm
- Kekakuan Howe 1 = 1,085 Kg/mm

Prosentase kekakuan adalah $\frac{(3,585 - 1,085)}{3,585} \times 100\% = 69,74\%$, dimana

rangka Howe 3 ternyata 69,74% lebih kaku dibandingkan rangka Howe 1.

c. Perbandingan antara Howe 2 dengan Howe 1

- Kekakuan Howe 2 = 2,465 Kg/mm
- Kekakuan Howe 1 = 1,085 Kg/mm

Prosentase kekakuan adalah $\frac{(2,465 - 1,085)}{2,465} \times 100\% = 55,98\%$, dimana

rangka Howe 2 ternyata 55,98% lebih kaku dibandingkan rangka Howe 1.

5.6. Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

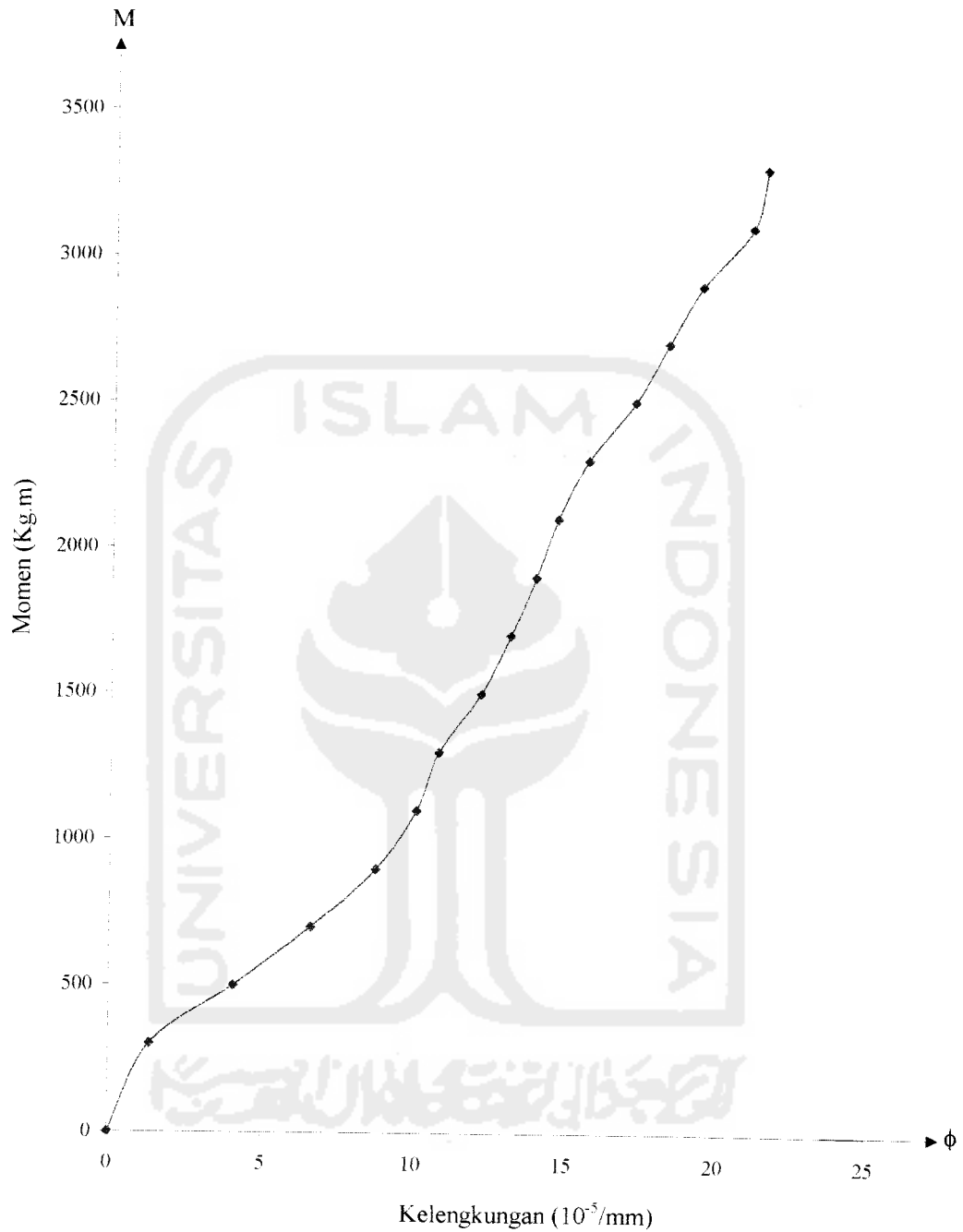
Dari hasil penelitian didapatkan data beban (P) – lendutan (Δ), sehingga dapat dicari momen (M) – Kelengkungan (ϕ), rumus yang dipakai dalam perhitungan ini adalah

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

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

Tabel 5.4 Hubungan Momen – Kelengkungan Howe 1

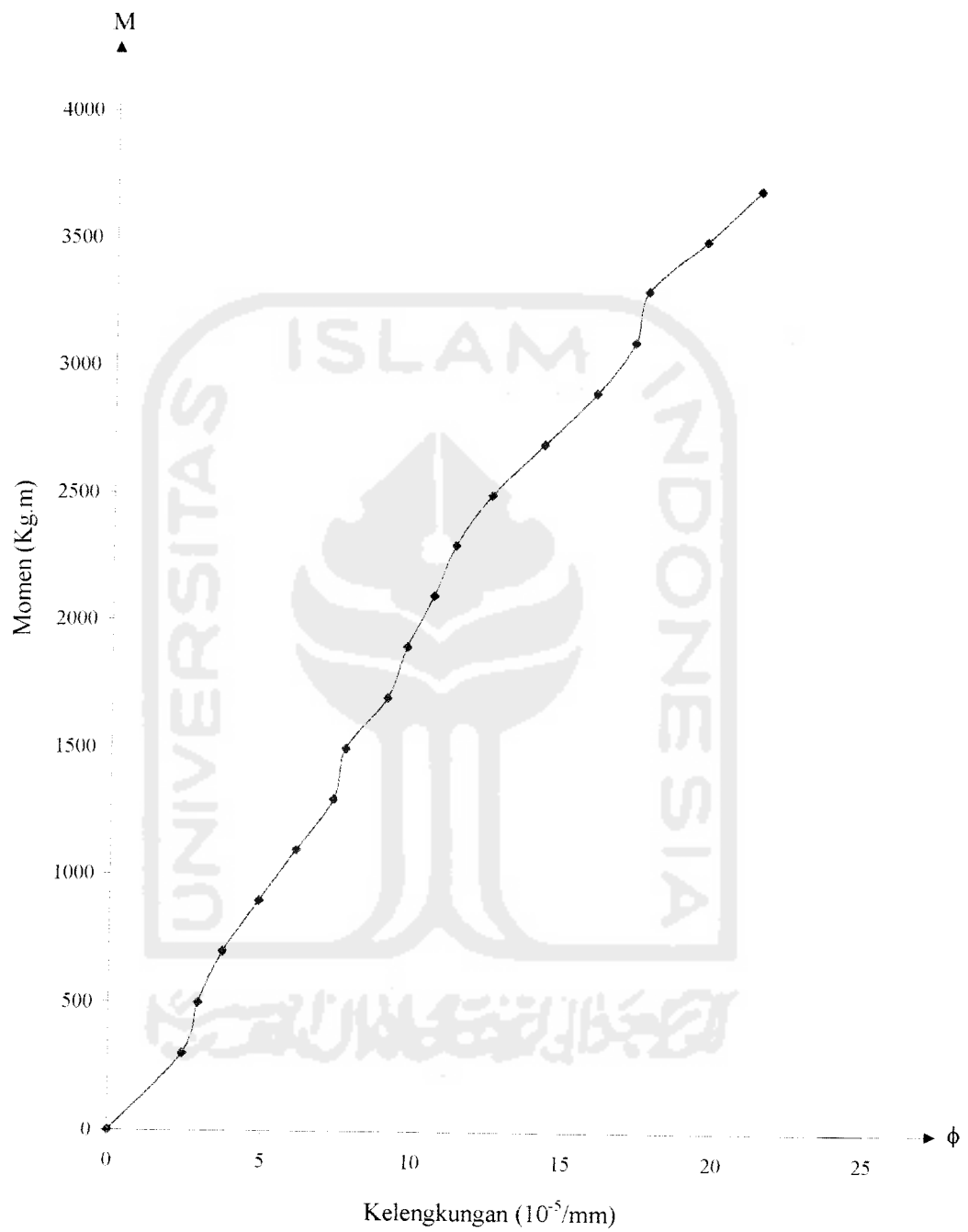
BEBAN (Kg)	DIAL 1 (10 ⁻² mm)	DIAL 2 (10 ⁻² mm)	DIAL 3 (10 ⁻² mm)	DIAL 4 (10 ⁻² mm)	MOMEN (Kg.m)	KELENGKUNGAN (10 ⁻⁵ / mm)
0	0	0	0	0	0	0
150	41	50	51	49	300	1.3500
250	104	144	148	152	500	4.0500
350	160	222	200	182	700	6.6000
450	211	285	231	237	900	8.7250
550	318	356	301	380	1100	10.0625
650	423	422	402	482	1300	10.7875
750	476	480	469	539	1500	12.1875
850	529	526	524	745	1700	13.1375
950	568	562	565	898	1900	13.9375
1050	598	590	589	991	2100	14.6625
1150	656	638	644	1084	2300	15.6500
1250	684	685	683	1126	2500	17.1625
1350	706	716	700	1256	2700	18.2250
1450	744	756	735	1380	2900	19.3125
1550	775	805	770	1495	3100	20.9375
1650	815	835	815	1575	3300	21.3750



Gambar 5.11. Gambar Hubungan Momen – Kelengkungan Howe 1

Tabel 5.5. Hubungan Momen – Kelengkungan Howe 2

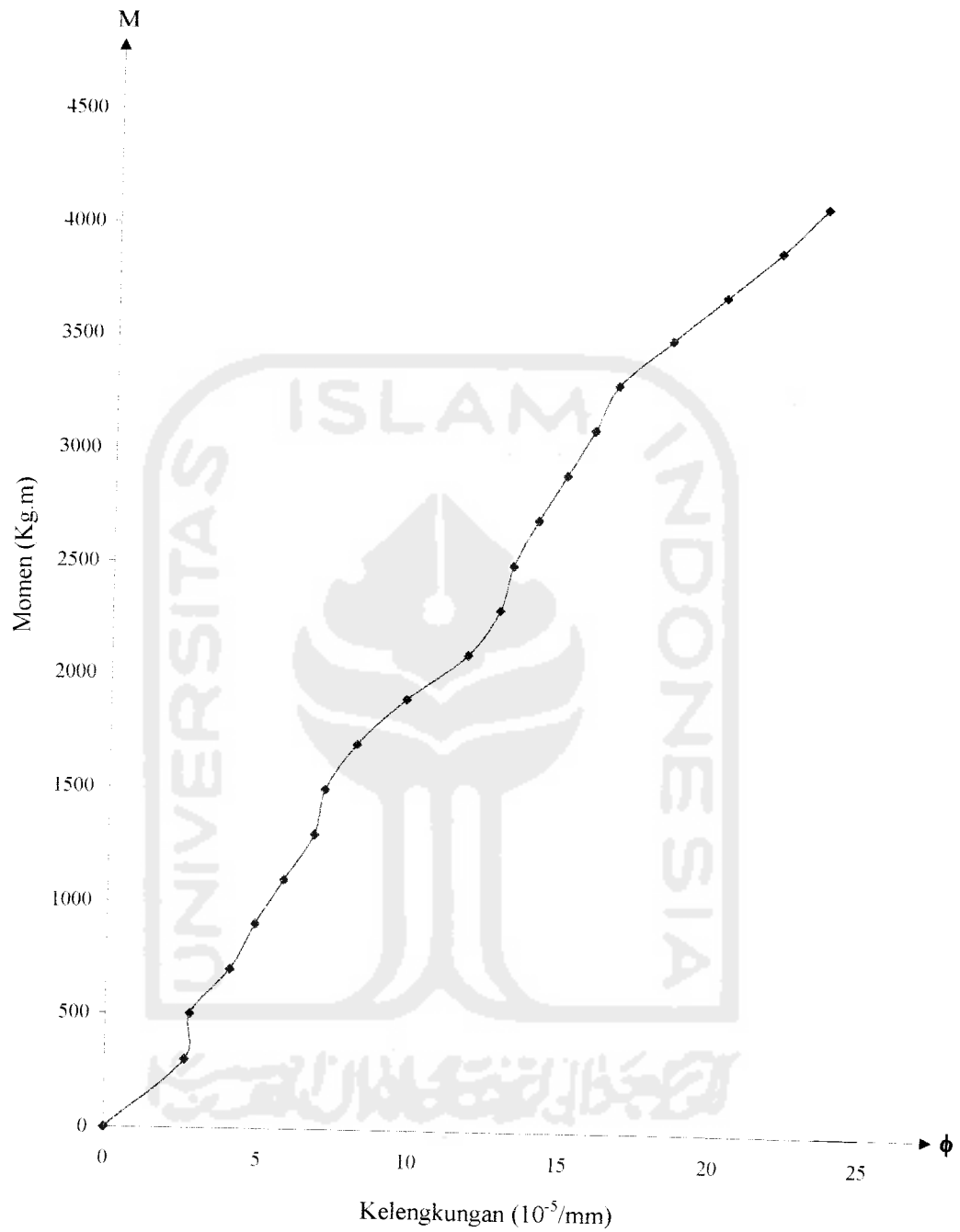
BEBAN (Kg)	DIAL 1 (10 ⁻² mm)	DIAL 2 (10 ⁻² mm)	DIAL 3 (10 ⁻² mm)	DIAL 4 (10 ⁻² mm)	MOMEN (Kg.m)	KELENGKUNGAN (10 ⁻⁵ / mm)
0	0	0	0	0	0	0
150	19.0	59.0	25	-41	300	2.4000
250	67.5	100.0	99	-65	500	2.9188
350	77.0	121.0	110	-74	700	3.7125
450	120.0	167.5	160	-59	900	4.8750
550	186.5	216.0	190	-50	1100	6.0938
650	200.0	249.0	210	25	1300	7.3250
750	215.0	263.0	220	69	1500	7.7125
850	270.0	324.0	300	135	1700	9.0750
950	311.5	364.5	370	355	1900	9.7063
1050	345.0	398.0	400	390	2100	10.5875
1150	380.0	426.0	420	414	2300	11.3000
1250	415.5	474.0	480	458	2500	12.5063
1350	464.0	525.0	500	530	2700	14.2000
1450	518.0	588.0	560	580	2900	15.9250
1550	570.0	636.0	600	590	3100	17.1750
1650	600.0	657.0	620	620	3300	17.6000
1750	635.0	706.0	629	660	3500	19.5000
1850	673.0	766.0	689	698	3700	21.2750



Gambar 5.12. Gambar Hubungan Momen – Kelengkungan Howe 2

Tabel 5.6. Hubungan Momen – Kelengkungan Howe 3

BEBAN (Kg)	DIAL 1 (10 ⁻² mm)	DIAL 2 (10 ⁻² mm)	DIAL 3 (10 ⁻² mm)	DIAL 4 (10 ⁻² mm)	MOMEN (Kg.m)	KELENGKUNGAN (10 ⁻⁵ / mm)
0	0	0	0	0	0	0
150	48.0	74	40	-22	300	2.6000
250	82.5	95	78	-43	500	2.7438
350	120.0	138	110	-16	700	4.0250
450	162.0	181	176	21	900	4.8250
550	192.0	212	196	71	1100	5.7500
650	226.0	244	210	130	1300	6.7500
750	245.0	274	285	161	1500	7.0750
850	284.0	308	300	205	1700	8.1000
950	332.0	363	342	230	1900	9.7250
1050	395.5	430	385	267	2100	11.7438
1150	428.5	465	410	302	2300	12.7688
1250	462.0	495	463	341	2500	13.1875
1350	495.0	525	485	368	2700	14.0000
1450	519.0	553	500	395	2900	14.9125
1550	531.0	590	564	425	3100	15.8125
1650	575.0	620	580	451	3300	16.5625
1750	612.0	675	623	485	3500	18.3125
1850	654.0	731	666	517	3700	20.0500
1950	715.0	798	732	545	3900	21.8125
2050	756.0	850	779	591	4100	23.3125



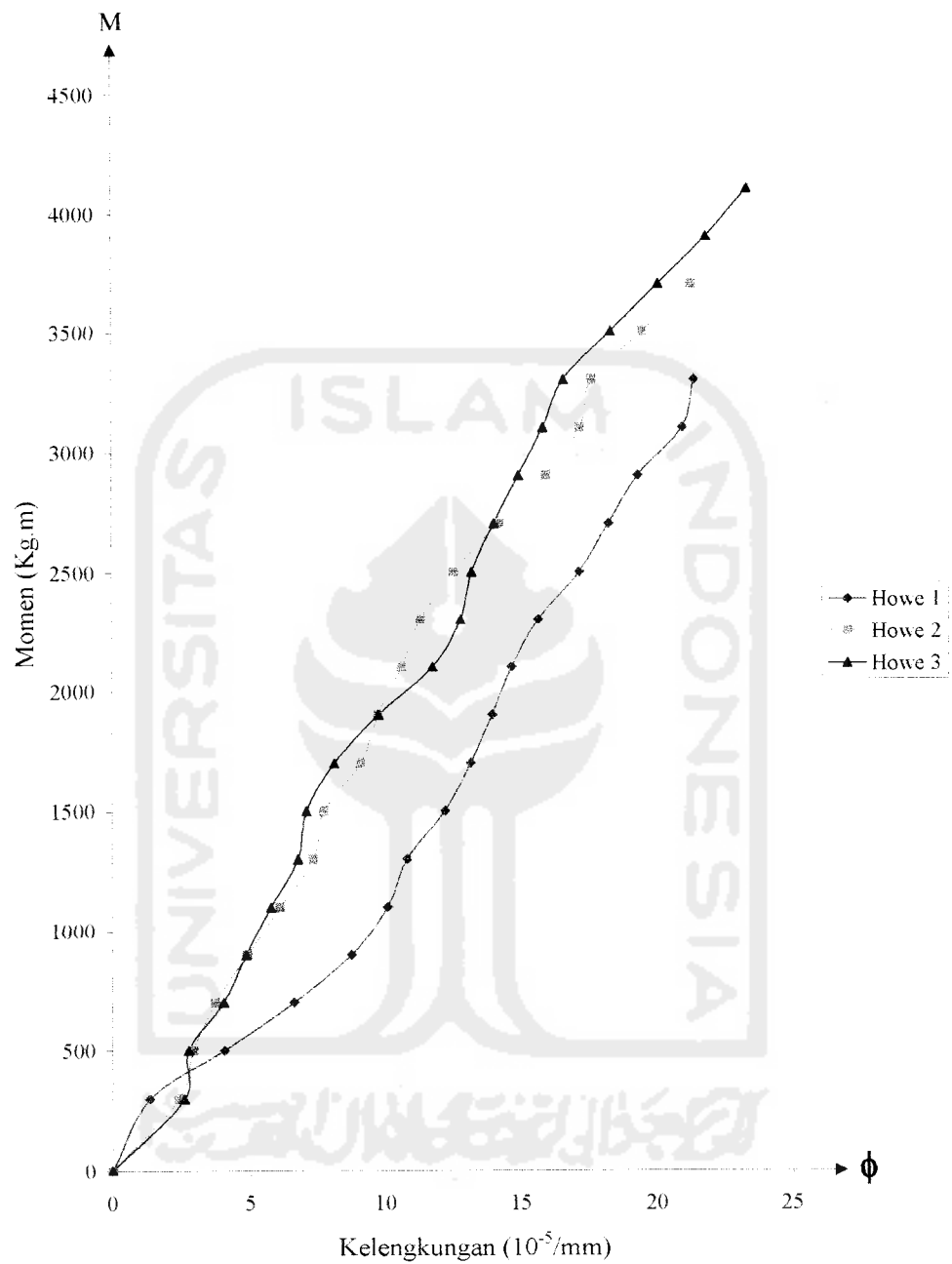
Gambar 5.13. Gambar Hubungan Momen – Kelengkungan Howe 3

5.7. Pengaruh Jarak Pengekang Lateral 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 5.14. menunjukkan analisis rangka batang kuda-kuda bentuk Howe 3 dengan variasi jarak pengekang lateral memiliki sudut atau memiliki kekakuan yang lebih besar dari rangka batang Howe 2 dan Howe 1.





Gambar 5.14. Keberadaan Bentuk Rangka Batang Terhadap Momen Kelengkungan

5.7.1. Analisis Truss Hasil Pengujian

Seperti halnya yang terjadi pada grafik beban dan lendutan, pada grafik momen dan kelengkungan menunjukkan bahwa kuda-kuda rangka Howe yang memiliki jarak pengekang lateral yang berbeda akan berpengaruh pada faktor kekakuan rangka kuda-kuda. Untuk analisis *truss* hasil pengujian, momen dan kelengkungan diambil pada beban akhir.

a. Howe 1

$$M = 3300 \text{ Kgm} ; \phi = 21,375 \cdot 10^{-5} / \text{mm}$$

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

$$EI = \frac{3300 \cdot 10^3}{21,3750 \cdot 10^{-5}} = 1,5429 \cdot 10^{10} \text{ Kg.mm}^2$$

b. Howe 2

$$M = 3700 \text{ Kgm} ; \phi = 21,2750 \cdot 10^{-5} / \text{mm}$$

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

$$EI = \frac{3700 \cdot 10^3}{21,2750 \cdot 10^{-5}} = 1,7391 \cdot 10^{10} \text{ Kgmm}^2$$

c. Howe 3

$$M = 4100 \text{ Kgm} ; \phi = 23,3125 \cdot 10^{-5} / \text{mm}$$

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

$$EI = \frac{4100 \cdot 10^3}{23,3125 \cdot 10^{-5}} = 1,7587 \cdot 10^{10} \text{ Kgmm}^2$$

5.7.2. Perbandingan Truss Hasil Pengujian

Gambar 5.14. menunjukkan hasil yang sama, dimana ternyata kuda-kuda Howe 3 lebih kaku dari kuda-kuda yang lain.

a. Perbandingan antara Howe 3 dengan Howe 2

- Faktor kekakuan Howe 3 = $1,7587 \cdot 10^{10} \text{ Kgmm}^2$
- Faktor kekakuan Howe 2 = $1,7391 \cdot 10^{10} \text{ Kgmm}^2$

Prosentase faktor kekakuan adalah

$$\frac{1,7587 \cdot 10^{10} - 1,7391 \cdot 10^{10}}{1,7587 \cdot 10^{10}} \times 100\% = 1,1145\%$$

dimana kuda-kuda Howe 3 ternyata 1,1145 % lebih kaku dibandingkan kuda-kuda Howe 2.

b. Perbandingan antara Howe 3 dengan Howe 1

- Faktor kekakuan Howe 3 = $1,7587 \cdot 10^{10} \text{ Kgmm}^2$
- Faktor kekakuan Howe 1 = $1,5429 \cdot 10^{10} \text{ Kg.mm}^2$

Prosentase faktor kekakuan adalah

$$\frac{(1,7587 \cdot 10^{10} - 1,5429 \cdot 10^{10} \text{ Kg.mm}^2)}{1,7587 \cdot 10^{10}} \times 100\% = 12,27\%$$

dimana kuda-kuda Howe 3 ternyata 12,27 % lebih kaku dibandingkan kuda-kuda Howe 1.

c. Perbandingan antara Howe 2 dengan Howe 1

- Faktor kekakuan Howe 2 = $1,7391 \cdot 10^{10} \text{ Kgmm}^2$
- Faktor kekakuan Howe 1 = $1,5429 \cdot 10^{10} \text{ Kg.mm}^2$

Prosentase faktor kekakuan adalah

$$\frac{(1,7391 \cdot 10^{10} - 1,5429 \cdot 10^{10})}{1,7391 \cdot 10^{10}} \times 100\% = 11,28\%$$

dimana kuda-kuda Howe 2 ternyata 11,28 % lebih kaku dibandingkan kuda-kuda Howe 1.

5.8. 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.

5.8.1. Analisa Pengujian Tekuk Keseluruhan

a. Batang Tekan (batang 22) Howe 1

$$P_{eks} = 10,672 \text{ Kg} = 0,1672 \text{ kN}$$

$$L = 1077,2 \text{ mm}$$

$$A = 234,528 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 189093,5256 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 28,39494 \text{ mm}$$

$$I_y = 40664,10397 \text{ mm}^4$$

$$r_y = r_{\min} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 13,16765 \text{ mm}$$

$$F_y = 311 \text{ Mpa}$$

$$Q = 0,549$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}} = \sqrt{\frac{2,3,14^2 \cdot 200000}{0,549 \cdot 311}} = 117,469$$

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{1.1077,2}{13,16765} = 81,81$$

$$Q < 1 \text{ dan } KL/r < C_c \sqrt{Q}$$

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

$$= 0,549.311 \left[1 - \frac{(81,81)^2}{2.117,469^2} \right]$$

$$= 216,4964 \text{ Mpa}$$

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

$$= 216,4964 \cdot 234,528 \cdot 10^{-3}$$

$$= 50,77 \text{ KN}$$

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

b. Batang Tarik (Batang 1) Howe 1

$$P_{eks} = 9,727 \text{ Kg} = 0,09727 \text{ kN}$$

$$A = 234,528 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 311 \text{ Mpa}$$

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

$$= 311 \cdot 234,528 \cdot 10^{-3}$$

$$= 72,9382 \text{ kN}$$

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

5.8.2. Analisa Pengujian Tekuk Lokal

$$\text{Pada sayap } \left(\frac{b}{t} \right) = \left(\frac{40}{1,6} \right) = 25 \text{ mm}$$

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

dengan nilai k pada sayap = 0,425

$$\begin{aligned} F_{cr_sayap} &= 0,425 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,6}{40}\right)^2 \\ &= 122,7936 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Pada badan $\left(\frac{h}{t}\right) = \left(\frac{70}{1,6}\right) = 43,75 \text{ mm}$

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

$$\begin{aligned} F_{cr_badan} &= 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{1,6}{70}\right)^2 \\ &= 363,58 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cr} &= F_{cr} \cdot A \\ &= 2 \cdot (F_{cr_sayap} \cdot A_{sayap}) + (F_{cr_badan} \cdot A_{badan}) \\ &= 2 \cdot (122,7936 \cdot 64) + (363,58 \cdot 106,88) \\ &= 54,577 \text{ kN} \end{aligned}$$

$P_{eks} < P_{cr}$ → jadi batang tidak rusak

Jika : $P_{eks} > P_{cr}$ → Batang rusak
 $P_{eks} < P_{cr}$ → 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 Howe 1

Batang	Peks (kN)	L (mm)	KL/r	Fcr (Mpa)	Pcr_total (kN)	Pcr_lokal (kN)	Keterangan	
11	0.0010	800.00	60.7550	534.2270	125.2912	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
13	0.0269	1600.00	121.5099	133.5568	31.3228	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
15	0.0010	800.00	60.7550	534.2270	125.2912	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
22	0.1067	1077.20	81.8065	294.6545	69.1047	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
23	0.1023	1077.20	81.8065	294.6545	69.1047	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
34	0.0716	1077.20	81.8065	294.6545	69.1047	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
35	0.0672	1077.20	81.8065	294.6545	69.1047	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
36	0.0672	1077.20	81.8065	294.6545	69.1047	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
37	0.0716	1077.20	81.8065	294.6545	69.1047	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
38	0.1023	1077.20	81.8065	294.6545	69.1047	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
39	0.1067	1077.20	81.8065	294.6545	69.1047	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal

Tabel 5.8. Kekuatan Batang Tarik Struktur Howe 1

Batang	Peks (kN)	Pcr_total=Fy.A (kN)	Pcr_lokal (kN)	Keterangan	
1	0.0973	72.938208	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
2	0.0960	72.938208	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
3	0.0960	72.938208	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
4	0.0973	72.938208	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
12	0.0339	72.938208	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
14	0.0339	72.938208	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal

Tabel 5.9. Kekuatan Batang Tekan Struktur Howe 2

Batang	Peks (kN)	L (mm)	KL/r	Fcr (Mpa)	Pcr_total (kN)	Pcr_lokal (kN)	Keterangan	
11	0.0003	800.00	60.7550	534.2270	125.2912	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
13	0.0397	1600.00	121.5099	133.5568	31.3228	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
15	0.0003	800.00	60.7550	534.2270	125.2912	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
74	0.3004	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
75	0.2537	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
76	0.2070	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
77	0.2135	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
78	0.1668	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
79	0.1201	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
80	0.1201	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
81	0.1668	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
82	0.2135	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
83	0.2070	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
84	0.2537	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
85	0.3004	718.00	54.5276	663.2190	155.5434	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
11	0.0003	800.00	60.7550	534.2270	125.2912	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal

Tabel 5.10. Kekuatan Batang Tarik Struktur Howe 2

Batang	Peks (kN)	Pcr_total=Fy.A (kN)	Pcr_lokal (kN)	Keterangan	
1	10.783	81.184864	251.73	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
2	14.392	81.184864	251.73	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
3	10.783	81.184864	251.73	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
16	2.64	81.184864	251.73	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
17	2.65	81.184864	251.73	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal

Tabel 5.11. Kekuatan Batang Tekan Struktur Howe 3

Batang	Peks (kN)	L (mm)	KL/r	Fcr (Mpa)	Pcr (kN)	Pcr_lokal (kN)	Keterangan	
11	0.0014	800.00	60.7550	534.2270	125.2912	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
13	0.0313	1600.00	121.5099	133.5568	31.3228	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
15	0.0014	800.00	60.7550	534.2270	125.2912	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
56	0.1261	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
58	0.1235	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
59	0.1209	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
61	0.1183	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
63	0.0846	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
64	0.0820	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
65	0.0794	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
67	0.0768	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
68	0.0768	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
69	0.0794	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
70	0.0820	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
71	0.0846	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
72	0.1183	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
73	0.1209	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
74	0.1235	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
75	0.1261	538.60	40.9033	1178.6182	276.4190	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal

Tabel 5.12. Kekuatan Batang Tarik Struktur Howe 3

Batang	Peks (kN)	Pcr_total=Fy.A (kN)	Pcr_lokal (kN)	Keterangan	
1	0.0973	72.9382	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
2	0.0960	72.9382	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
3	0.0960	72.9382	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
4	0.0973	72.9382	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
12	0.0339	72.9382	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal
14	0.0339	72.9382	54,577	Peks<Pcr_total	Peks<Pcr_lokal

5.9. Perhitungan Baut

- **Uji Geser Baut**

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

$$\text{Luas } (A) = 50,265 \text{ mm}^2$$

$$\text{Beban Putus } (P_{putus}) = 9 \text{ KN}$$

$$\text{Tegangan Geser } (F_v) = \frac{9000}{50,265} = 179,05 \text{ MPa}$$

- **Kapasitas Batang Tarik**

$$A = 234,528 - 2(8+1,5) = 215,528$$

$$F_y = 311 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} P &= F_y \times A \\ &= 311 \times 215,528 \\ &= 67,029 \text{ KN} \end{aligned}$$

Gaya tarik yang mampu ditahan oleh profil adalah 67,029 KN.

- **Baut**

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

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 8^2 = 50,265 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$F_v \text{ dasar} = 240 \text{ MPa}$$

Kapasitas baut berdasarkan geser

$$R_{DS} = F_v \text{ dasar} \times A \text{ (geser tunggal)}$$

$$= 240 \times 50,265$$

$$= 8444,52 \text{ N/mm}^2 \text{ (8,44452 KN)}$$

Kapasitas baut berdasarkan tumpu

$$R_B = I'_p Dt = 1,5 \cdot F_u Dt$$

$$= 1,5 \times 400 \times 8 \times 1,6$$

$$= 7680 \text{ N/mm}^2 \text{ (7,68 KN)}$$

Dari kedua nilai kapasitas baut tersebut, diambil yang terkecil, yaitu 7,68 KN

Jumlah baut yang dibutuhkan adalah:

$$n = \frac{P_{\max}}{7,68}$$

$$= \frac{9,727}{7,68}$$

$$= 1,267 \text{ baut} \approx 2 \text{ baut}$$

Tabel 5.13. Perhitungan Jumlah Baut

HOWE 1				
Batang	Beban (P)	Kapasitas	Jumlah Baut	Jumlah Baut Sebenarnya
	N	N/mm ²		
1	9727	7680	1.267	2
2	9598	7680	1.250	2
3	9598	7680	1.250	2
4	9727	7680	1.267	2
11	-99	7680	-0.013	2
12	3393	7680	0.442	2
13	-2685	7680	-0.350	2
14	3393	7680	0.442	2
15	-99	7680	-0.013	2
22	-10670	7680	-1.389	2
23	-10230	7680	-1.332	2
34	-7160	7680	-0.932	2
35	-6720	7680	-0.875	2
36	-6715	7680	-0.874	2
37	-7162	7680	-0.933	2
38	-10225	7680	-1.331	2
39	-10672	7680	-1.390	2

Dari Table 5.13. dapat diketahui bahwa sambungan cukup aman (sambungan tidak rusak pada waktu pembebanan), sehingga sambungan menjadi variable yang konstan.

5.10. 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 akhir yang dapat dipikul serta lendutan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.13

Tabel 5.14 Beban Akhir Dan Lendutan Yang Terjadi Pada Masing Masing Rangka Batang

Tipe rangka Batang	Beban Akhir (kN)	Lendutan (10^{-2} .mm)
Howe1	16,50	835
Howe 2	18,50	766
Howe 3	20,50	850

Beban akhir yang dapat didukung rangka batang berkisar antara 16,50 kN sampai 20,50 kN, sedangkan lendutan yang terjadi berkisar antara 7,66 mm sampai 8,50 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa jarak pengaku lateral mempunyai efek kekakuan dan kekuatan yang berbeda dari jarak pengaku lateral lainnya, sehingga dalam penelitian ini disimpulkan bahwa, dari ke-3 model benda uji, yaitu kuda-kuda rangka Howe variasi 3 dengan jarak pengaku yang paling rapat mempunyai kekakuan dan kekuatan yang lebih besar dari kuda-kuda rangka Howe variasi 2 dan Howe variasi 1.

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 bentuk Howe dengan variasi jarak pengaku lateral ($KL r = 81,8$, $KL r = 54,5$, $KL r = 40,8$) adalah meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Dari grafik hubungan beban-lendutan, kuda-kuda rangka batang dengan variasi $KL r = 40,8$ (pengaku lateral lebih rapat jaraknya) sudut α dan bentang yang sama ternyata mempunyai kekakuan yang lebih besar dari pada variasi jarak pengaku lateral $KL r = 54,5$ dan $KL r = 81,8$.
2. Dari hasil perhitungan, maka kekuatan yang paling besar didapatkan pada kuda-kuda rangka batang Variasi III sebesar 62,9692 KN, Variasi II sebesar 59,81 KN, dan Variasi I sebesar 50,77 KN.
3. Perbandingan kekakuan Variasi III dan Variasi II ternyata lebih kaku 31,24 % Variasi III daripada Variasi II, 69,74 % lebih kaku Variasi III daripada Variasi I, 55,98 % lebih kaku Variasi II daripada Variasi I.

6.2 Saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan beserta kesimpulan sebelumnya, maka disarankan:

1. Pengaku yang digunakan diusahakan benar-benar kaku agar kuda-kuda rangka batang yang diuji tidak bergerak kekakanan atau kekiri yang menyebabkan terjadinya *buckling* pada baja.
2. Karena benda uji dibuat tukang, maka pada saat pembuatan sebaiknya diawasi dengan baik sehingga tidak terjadi kesalahan dan sesuai dengan perencanaan.
3. Kehati-hatian dalam meletakkan beban berupa karung pasir, agar pada waktu pembebanan kuda-kuda tidak mengalami guncangan (bergerak kekiri dan kekanan).
4. Pada saat pengujian perlu diperhatikan kecermatan dan ketelitian dalam pembacaan dial.(kuda-kuda pada posisi tidak bergerak).
5. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat dibandingkan hal-hal sebagai berikut:
 - a) Pengaruh kekakuan dengan variasi sudut dari kuda-kuda rangka Howe dengan tetap menggunakan variasi jarak pengaku lateral.
 - b) Pengaruh kekakuan kuda kuda rangka Howe dengan bentang dan sudut sama tetapi menggunakan Profil C ganda pada setiap komponen rangkanya.
 - c) Pengaruh bentuk lubang terhadap kuat geser sambungan baut.
 - d) Pengaruh rasio tinggi terhadap panjang bentang kuda-kuda baja ringan.

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.

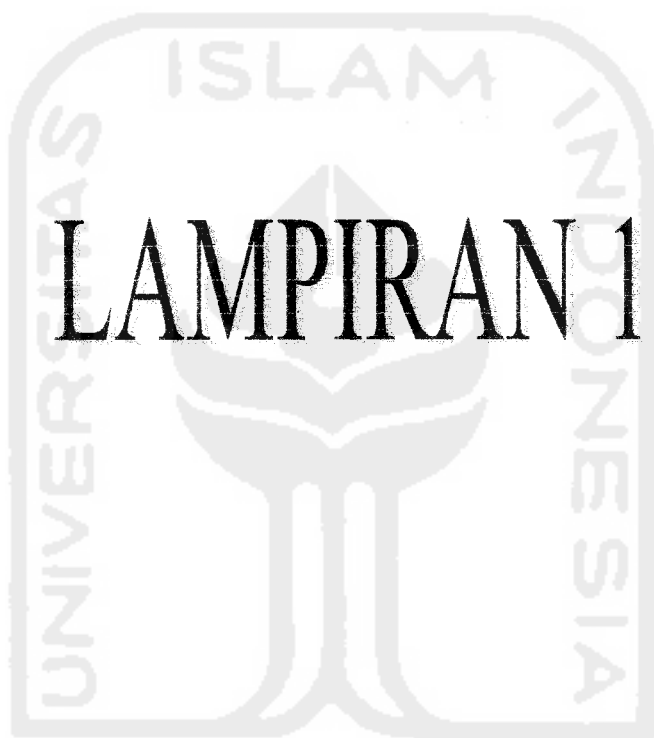
Salmon, C.G dan J.E. Johnson, 1990, **STRUKTUR BAJA DISAIN DAN PERILAKU**, Edisi kedua, Jilid I, Erlangga, Jakarta.

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.



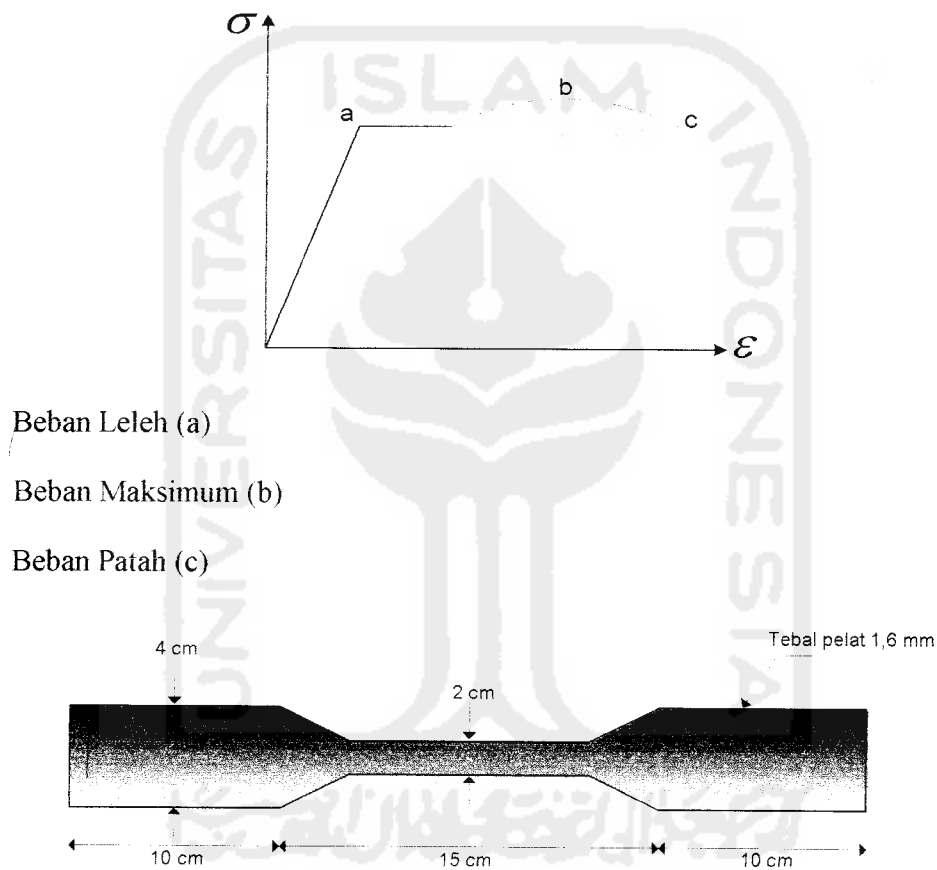
LAMPIRAN I

وَمَا يَكْفُرُ الْإِنْسَانُ لِمَا يَدْعُو إِلَى تَرْكِ آلِهِ
وَالْوَالِدِينَ الَّذِينَ أَحَبَبَ لَهُ فِي الدُّنْيَا لَمَّا دُعِيَ إِلَى الْإِسْلَامِ
فَلَمَّا تَبَيَّنَ لَهُ أَنَّهُ مُسْلِمٌ لِمَا دُعِيَ إِلَى تَرْكِهِ
فَجَاءَهُهُ الْيَقِينُ



HASIL UJI BAHAN

Pengujian ini merupakan uji terhadap kekuatan tarik bahan profil Lipped Channel 70x40x10 dengan tebal 1,6 mm yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 25 Mei 2005. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :



Beban Leleh (a)

Beban Maksimum (b)

Beban Patah (c)

1. Hasil pengujian kuat tarik profil Lipped Channel 70x40x10x1,6

a. Sampel I

Beban leleh = 980 kg

Beban maksimum = 1190 kg

Perhitungan :

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

$$\text{Tebal} = 0,16 \text{ cm}$$

$$A_o = l \times t = 0,32 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik (Fy)} &= \frac{Py}{A_o} \\ &= \frac{980}{0,32} \\ &= 3062,5 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 306,25 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

f_y

$$f_u = \frac{P_{max}}{A_o}$$

b. Sampel II

$$\text{Beban leleh} = 1005 \text{ kg}$$

$$\text{Beban maksimum} = 1220 \text{ kg}$$

Perhitungan :

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

$$\text{Tebal} = 0,16 \text{ cm}$$

$$A_o = l \times t = 0,32 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik (Fy)} &= \frac{Py}{A_o} \rightarrow f_y \\ &= \frac{1005}{0,32} \\ &= 3110,525 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 311 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

f_u

2. Hasil pengujian kuat tekan profil Lipped Channel 70x40x10x1,6

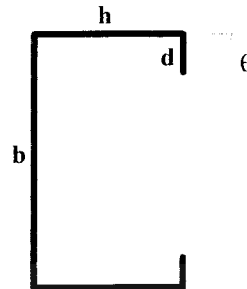
Lan

BEI
(t)

BEBAN (kg)	LENDUTAN	
	SAMPEL 1 (10 ⁻² mm)	SAMPEL 2 (10 ⁻² mm)
0	0	0
100	3	1
200	7	1
300	10	2
400	13	3
500	15	9
600	12	11
700	25	15
800	30	25
900	35	29
1000	40	35
1100	45	40
1200	51	50
1300	55	51
1400	60	55
1500	65	60
1600	70	65
1700	75	69
1800	80	73
1900	85	75
2000	90	80
2100	95	85
2200	105	87
2300	110	90
2400	115	93
2500	125	95
2600	132	100
2700	140	111
2800	144	105
2900	155	110
3000	165	190
3100	172	25
3200	180	219
3300	195	223
3400	205	227

$$\frac{P}{A_e}$$

PERHITUNGAN BATANG TEKAN LIGHT LIPPED CHANNEL



Gambar 3.7 Profil Lipped Chanel

$$b = 70 \text{ mm} = 2,755906 \text{ inch}$$

$$h = 40 \text{ mm} = 1,574803 \text{ inch}$$

$$d = 10 \text{ mm} = 0,393701 \text{ inch}$$

$$t = 1,6 \text{ mm} = 0,062992 \text{ inch}$$

$$A = t.(b+2h+2d)$$

$$= 1,6.(70+2.40+2.10)$$

$$= 272 \text{ mm}^2 = 0,4216 \text{ inch}^2$$

$$I_x = 1/12(b^3.t) + 1/2.h.t.b^2 + 2/3.d^3.t + 1/2.d.t.b^2 - d^2.t.b + 1/6.h.t^3$$

$$= 1/12(70^3.1,6) + 1/2.40.1,6.70^2 + 2/3.10^3.1,6 + 1/2.10.1,6.70^2 - 10^2.1,6.70 + 1/6.40.1,6^3$$

$$= 231627,3 \text{ mm}^4$$

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

$$= 1/12.70.1,6^3 + 2/3.1,6.40^3 + 1/6.10.1,6^3 + 2.10.1,6.40^2 -$$

$$(70.1,6 + 2.40.1,6 + 2.10.1,6).40^2 \frac{(40+2.10)^2}{(70+2.40+2.10)^2}$$

$$= 65285.62 \text{ mm}^4$$

$$F_y = 310,15 \text{ mpa} = 44,98347 \text{ ksi}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 29,19 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 15,4 \text{ mm}$$

Gambar pembebanan batang tekan profil C



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

a. Elemen yang tidak diperkuat :

$\left[\frac{h}{t} = \frac{1,574803}{0,062992} = 25,1 \right] \leq \left[\frac{95}{\sqrt{F_y}} = 14,16 \right]$ maka tekuk setempat mengurangi efisiensi ; $Q_s < 1,0$

$$Q_s = 1,34 - 0,00447 (h/t) \sqrt{F_y}$$

$$= 1,34 - 0,00447 (1,5744803/0,062992) \sqrt{44,98}$$

$$= 0,59$$

b. Elemen yang diperkuat :

$$\left[\frac{b}{t} = \frac{2,755906}{0,062992} = 43,7501 \right] > \left[\frac{253}{F_y} = \frac{253}{\sqrt{44,98}} = 37,72 \right]$$

Jadi $Q_a < 1,0$. Tegangan yang diperkirakan bekerja pada elemen yang diperkuat adalah tegangan yang ditentukan oleh elemen yang tidak diperkuat dan kekuatan tekuk batang keseluruhan. Coba batas atas sebesar $0,60F_y$.

$$f = 0,6 F_y \quad Q_s = 0,6(44,98)(0,59) = 15,92 \text{ ksi}$$

$$\frac{b_E}{t} = \frac{253}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{50,3}{(b/t) \cdot \sqrt{f}} \right] = 40,52435 \text{ inch}$$

$$A_{ef} = A_{bruto} - \left[\frac{b}{t} - \frac{b_E}{t} \right] t^2$$

$$\begin{aligned} A_{ef} &= 0,4216 - [43,7501 - 40,52435] 0,062992^2 \\ &= 0,392929 \text{ inch}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{A_{ef}}{A_{bruto}} \\ &= \frac{0,3929}{0,4216} \end{aligned}$$

$$= 0,9319 \text{ inch}^2$$

$$\begin{aligned} Q &= Q_a \cdot Q_s \\ &= 0,9319 \cdot 0,59 \\ &= 0,549 \end{aligned}$$

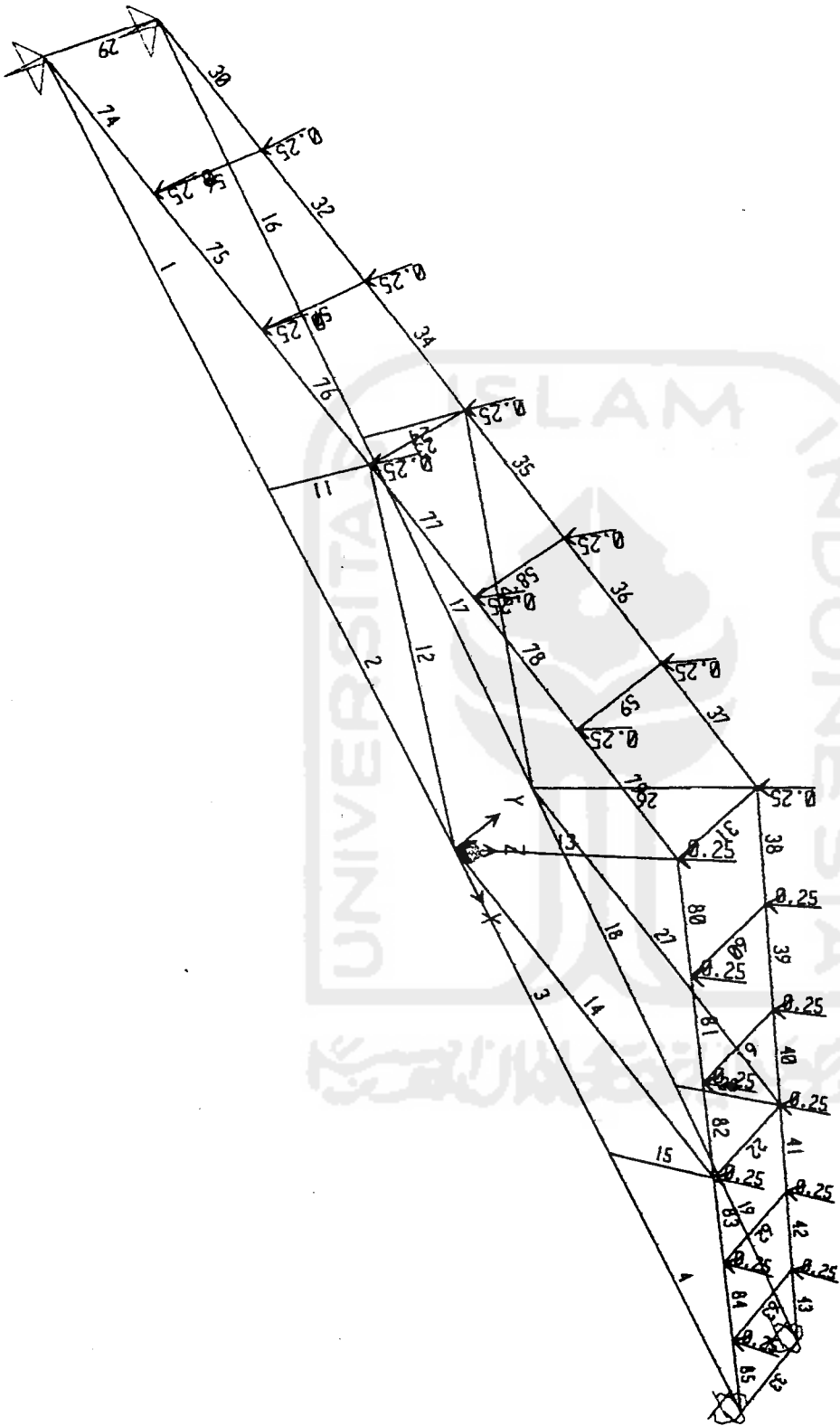
$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot F_y}}$$

$$= \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{0,549 \cdot 310,15}}$$

$$= 152.1905122$$



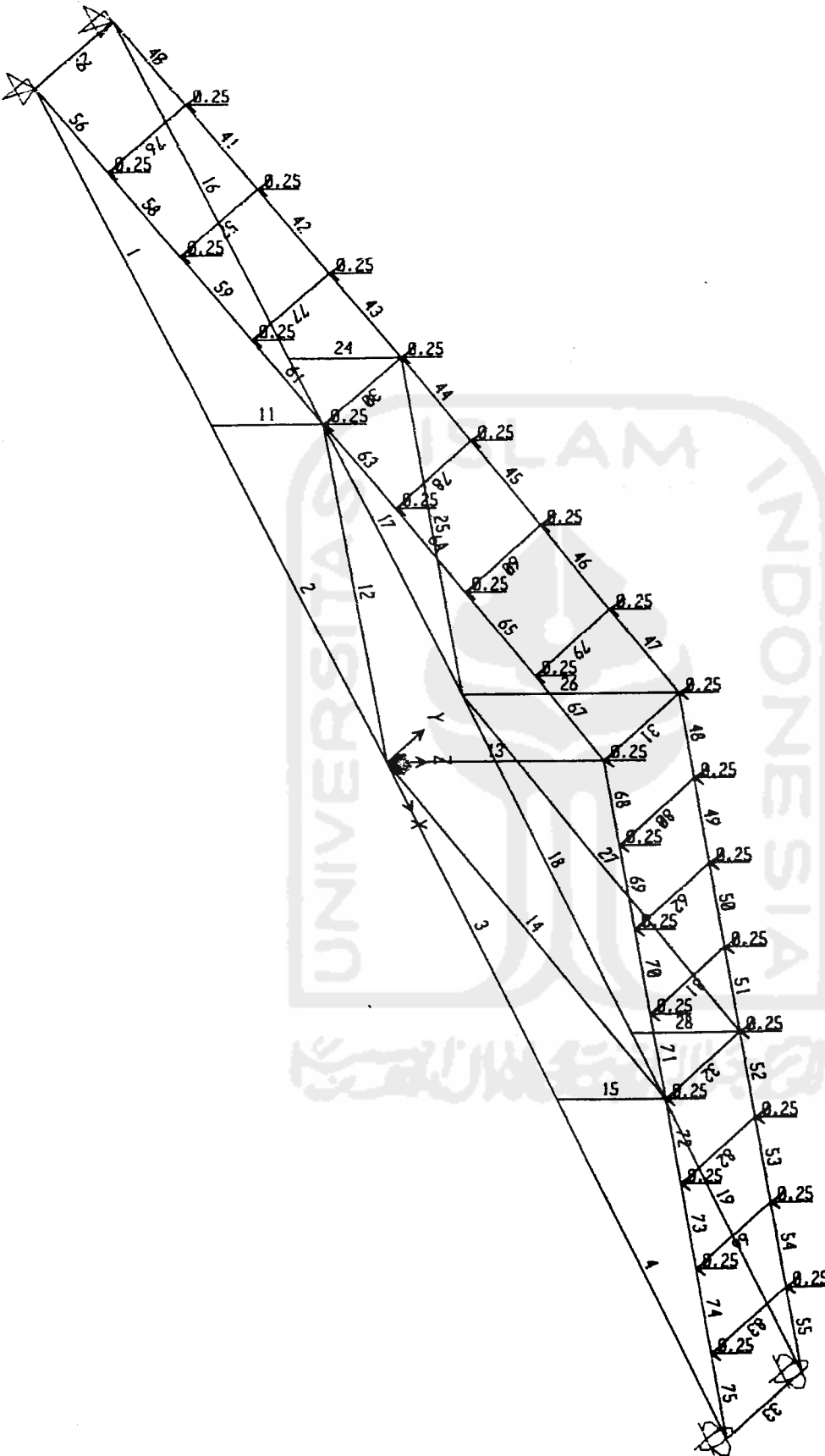




Lanjutan

BEBAN (kg)	LENDUTAN	
	SAMPEL 1 (10^{-2} mm)	SAMPEL 2 (10^{-2} mm)
3500	205	231
3600	210	235
3700	220	235
3800	225	239
3900	235	241
4000	250	249
4080	255	251
4200		260
4220		265
4300		285
4430		323





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

P(kN)	SAP (10^{-2} mm)			P(kN)	Hasil Pengujian (10^{-2} mm)		
	Δ_1	Δ_2	Δ_3		Δ_1	Δ_2	Δ_3
0	0	0	0	0	0	0	0
150	59.80	64.10	59.80	150	41	50	51
250	86.50	93.40	86.50	250	104	144	148
350	102.40	109.30	102.40	350	160	222	200
450	128.20	138.80	128.20	450	211	285	231
550	155.20	167.20	155.20	550	318	356	301
650	177.10	189.30	177.10	650	423	422	402
750	185.50	197.50	185.50	750	476	480	469
850	211.00	227.10	211.00	850	529	526	524
950	237.90	256.10	237.90	950	568	562	565
1050	262.10	280.50	262.10	1050	598	590	589
1150	274.30	292.70	274.30	1150	656	638	644
1250	300.60	322.20	300.60	1250	684	685	683
1350	327.20	349.70	327.20	1350	706	716	700
1450	346.30	368.90	346.30	1450	744	756	735
1550	350.60	373.10	350.60	1550	775	805	770
1650	376.00	402.70	376.00	1650	815	835	815

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

P(kN)	SAP (10^{-2} mm)			P(kN)	Hasil Pengujian (10^{-2} mm)		
	Δ_1	Δ_2	Δ_3		Δ_1	Δ_2	Δ_3
0	0	0	0	0	0	0	0
150	97.30	122.70	97.30	150	19.0	59.0	25
250	97.90	123.50	97.90	250	67.5	100.0	99
350	98.20	123.80	98.20	350	77.0	121.0	110
450	98.70	124.50	98.70	450	120.0	167.5	160
550	98.90	124.70	98.90	550	186.5	216.0	190
650	99.50	125.40	99.50	650	200.0	249.0	210
750	100.00	126.10	100.00	750	215.0	263.0	220
850	100.50	126.70	100.50	850	270.0	324.0	300
950	100.80	127.10	100.80	950	311.5	364.5	370
1050	101.10	127.40	101.10	1050	345.0	398.0	400
1150	101.20	127.50	101.20	1150	380.0	426.0	420
1250	101.70	128.30	101.70	1250	415.5	474.0	480
1350	102.30	129.00	102.30	1350	464.0	525.0	500
1450	102.90	129.70	102.90	1450	518.0	588.0	560
1550	103.40	130.40	103.40	1550	570.0	636.0	600
1650	103.90	131.00	103.90	1650	600.0	657.0	620
1750	104.30	131.60	104.30	1750	635.0	706.0	629
1850	104.70	132.10	104.70	1850	673.0	766.0	689

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

P(kN)	SAP (10^{-2} mm)			P(kN)	Hasil Pengujian (10^{-2} mm)		
	Δ_1	Δ_2	Δ_3		Δ_1	Δ_2	Δ_3
0	0	0	0	0	0	0	0
150	61.60	66.00	61.60	150	48	74	40
250	87.50	95.50	87.50	250	82.5	95	78
350	109.40	117.60	109.40	350	120	138	110
450	136.10	146.90	136.10	450	162	181	176
550	152.00	162.80	152.00	550	192	212	196
650	178.90	191.30	178.90	650	226	244	210
750	187.30	199.60	187.30	750	245	274	285
850	212.80	229.10	212.80	850	284	308	300
950	239.10	258.50	239.10	950	332	363	342
1050	266.00	287.50	266.00	1050	395.5	430	385
1150	292.60	315.00	292.60	1150	428.5	465	410
1250	316.80	339.50	316.80	1250	462	495	463
1350	335.90	358.70	335.90	1350	495	525	485
1450	348.20	370.90	348.20	1450	519	553	500
1550	352.40	375.10	352.40	1550	531	590	564
1650	377.90	404.70	377.90	1650	575	620	580
1750	403.50	434.20	403.50	1750	612	675	623
1850	429.60	463.70	429.60	1850	654	731	666
1950	456.00	493.10	456.00	1950	715	798	732
2050	482.80	522.20	482.80	2050	756	850	779

Tabel 4. Deformasi Analisa SAP

HOWE 1						
Batang	Panjang(L) mm	Beban(P) N	Luas(A) mm ²	Tegangan F=P/A (Mpa)	E Mpa	$\Delta=PL/AE$ (mm)
1	2000,00	9727	234,528	41,475	200000	0,415
2	2000,00	9598	234,528	40,925	200000	0,409
3	2000,00	9598	234,528	40,925	200000	0,409
4	2000,00	9727	234,528	41,475	200000	0,415
11	800,00	-99	234,528	-0,422	200000	-0,002
12	2154,10	3393	234,528	14,467	200000	0,156
13	1600,00	-2685	234,528	-11,449	200000	-0,092
14	2154,10	3393	234,528	14,467	200000	0,156
15	800,00	-99	234,528	-0,422	200000	-0,002
22	1077,20	-10670	234,528	-45,496	200000	-0,245
23	1077,20	-10230	234,528	-43,620	200000	-0,235
34	1077,20	-7160	234,528	-30,529	200000	-0,164
35	1077,20	-6720	234,528	-28,653	200000	-0,154
36	1077,20	-6715	234,528	-28,632	200000	-0,154
37	1077,20	-7162	234,528	-30,538	200000	-0,164
38	1077,20	-10225	234,528	-43,598	200000	-0,235
39	1077,20	-10672	234,528	-45,504	200000	-0,245

HOWE 2						
Batang	Panjang(L) mm	Beban(P) N	Luas(A) mm ²	Tegangan F=P/A (Mpa)	E Mpa	$\Delta=PL/AE$ (mm)
1	2000,00	6725	234,528	28,675	200000	0,287
2	2000,00	6809	234,528	29,033	200000	0,290
3	2000,00	6810	234,528	29,037	200000	0,290
4	2000,00	6725	234,528	28,675	200000	0,287
11	800,00	-30	234,528	-0,128	200000	-0,001
12	2154,10	5478	234,528	23,358	200000	0,252
13	1600,00	-3970	234,528	-16,928	200000	-0,135
14	2154,10	5480	234,528	23,366	200000	0,252
15	800,00	-30	234,528	-0,128	200000	-0,001
74	718,00	-30040	234,528	-128,087	200000	-0,460
75	718,00	-25370	234,528	-108,175	200000	-0,388
76	718,00	-20702	234,528	-88,271	200000	-0,317
77	718,00	-21350	234,528	-91,034	200000	-0,327
78	718,00	-16680	234,528	-71,122	200000	-0,255
79	718,00	-12007	234,528	-51,196	200000	-0,184
80	718,00	-12010	234,528	-51,209	200000	-0,184
81	718,00	-16680	234,528	-71,122	200000	-0,255
82	718,00	-21350	234,528	-91,034	200000	-0,327
83	718,00	-20700	234,528	-88,262	200000	-0,317
84	718,00	-25370	234,528	-108,175	200000	-0,388
85	718,00	-30040	234,528	-128,087	200000	-0,460

HOWE 3						
Batang	Panjang(L) mm	Beban(P) N	Luas(A) mm ²	Tegangan F=P/A (Mpa)	E Mpa	$\Delta=PL/AE$ (mm)
1	2000,00	9727	234,528	41,475	200000	0,415
2	2000,00	9598	234,528	40,925	200000	0,409
3	2000,00	9598	234,528	40,925	200000	0,409
4	2000,00	9727	234,528	41,475	200000	0,415
11	800,00	-140	234,528	-0,597	200000	-0,002
12	2154,10	3393	234,528	14,467	200000	0,156
13	1600,00	-3134	234,528	-13,363	200000	-0,107
14	2154,10	3393	234,528	14,467	200000	0,156
15	800,00	-140	234,528	-0,597	200000	-0,002
56	538,60	-12609	234,528	-53,763	200000	-0,145
58	538,60	-12350	234,528	-52,659	200000	-0,142
59	538,60	-12092	234,528	-51,559	200000	-0,139
61	538,60	-11830	234,528	-50,442	200000	-0,136
63	538,60	-8456	234,528	-36,055	200000	-0,097
64	538,60	-8197	234,528	-34,951	200000	-0,094
65	538,60	-7937	234,528	-33,842	200000	-0,091
67	538,60	-7678	234,528	-32,738	200000	-0,088
68	538,60	-7678	234,528	-32,738	200000	-0,088
69	538,60	-7937	234,528	-33,842	200000	-0,091
70	538,60	-8197	234,528	-34,951	200000	-0,094
71	538,60	-8456	234,528	-36,055	200000	-0,097
72	538,60	-11831	234,528	-50,446	200000	-0,136
73	538,60	-12092	234,528	-51,559	200000	-0,139
74	538,60	-12350	234,528	-52,659	200000	-0,142
75	538,60	-12610	234,528	-53,768	200000	-0,145

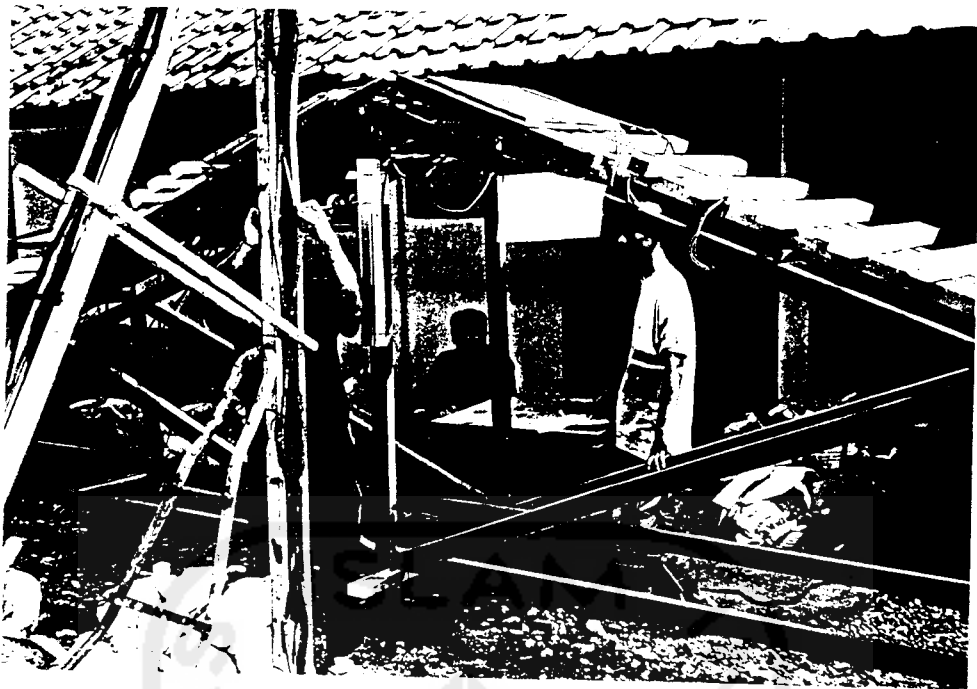




Gambar 1. Rangka Howe



Gambar 2. Howe I Dengan Jarak Pengekang Lateral $KL_r = 81.81$



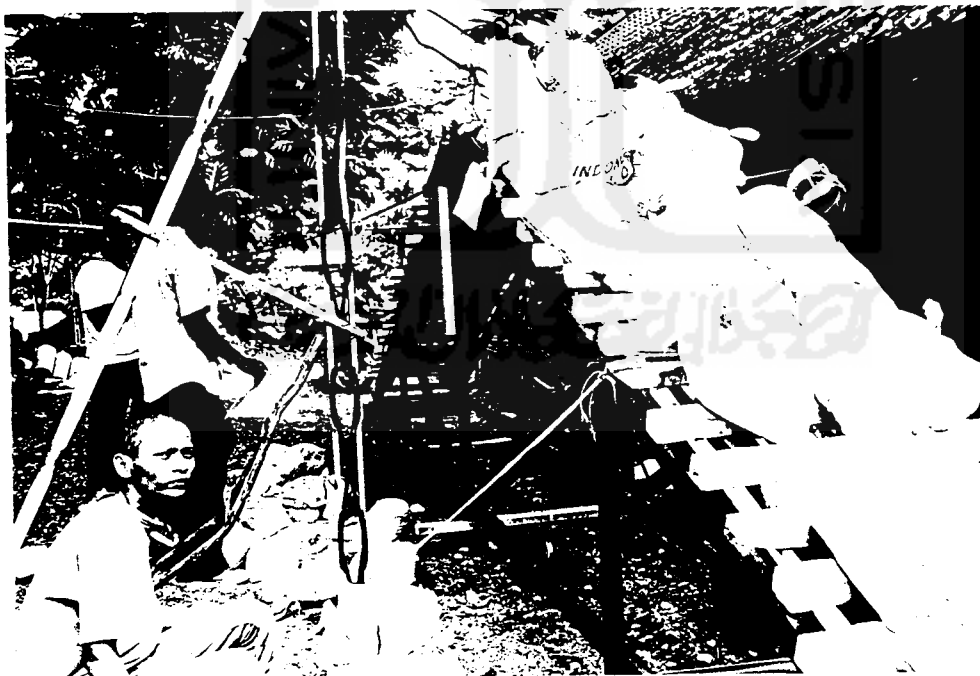
Gambar 3. Howe 2 Dengan Jarak Pengekang Lateral $KL/r = 54,53$



Gambar 4. Howe 3 Dengan Jarak Pengekang Lateral $KL/r = 40,89$



Gambar 5. Howe Variasi 1 Setelah Diuji



Gambar 6. Howe Variasi 2 Setelah Diuji



Gambar 9. Lendutan Arah Lateral



Gambar 7. Howe Variasi 3 Setelah Diuji



Gambar 8. Lendutan Pada Batang Tekan