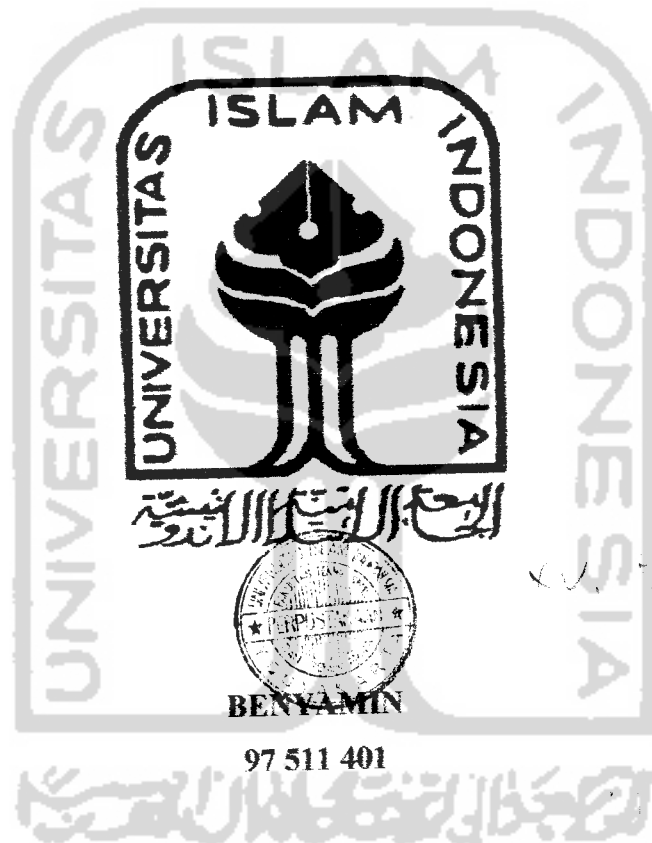


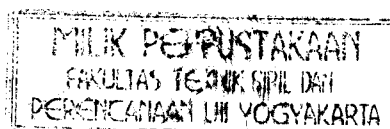
PERPUSTAKAAN FTSP UH	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	15 Februari 2007
NO. JUDUL :	072193
NO. INV. :	0720002193001
NO. INDUK :	

TUGAS AKHIR

KAPASITAS KOLOM TERSUSUN PROFIL SIKU DENGAN PERANGKAI TRANSVERSAL DAN DIAGONAL



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2006



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, hidayah dan inayah-Nya yang membuat segalanya menjadi mungkin sehingga pada saat ini penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan kelulusan sarjana S1 di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tugas Akhir merupakan sarana bagi mahasiswa untuk mengaplikasikan ilmu dan pengetahuan yang telah di dapat selama mengikuti perkuliahan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil UII untuk mendapatkan satu pengetahuan baru dari hasil penelitian yang dilakukan.

Pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Ir. H. Suharyatmo MT., selaku Sekretaris Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT selaku Dosen Pembimbing.

5. Ibu dan Bapak serta abang dan adikku tercinta atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doa-nya.
6. Teman-teman dekatku yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
7. Semua pihak yang telah membantu didalam penyusunan Tugas Akhir.

Besar harapan penulis dari pembaca untuk memberikan kritik serta saran demi tercapainya kesempurnaan penyusunan laporan penelitian Tugas Akhir ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis secara pribadi dan bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Agustus 2006

Penulis

DAFTAR SIMBOL

A	= luas penampang, mm^2
a	= jarak antar titik berat profil tunggal ketitik berat kolom tersusun, mm
Ad	= luas penampang batang diagonal, mm^2
Ah	= luas penampang batang horizontal, mm^2
b	= panjang batang horizontal, mm
c	= jarak antar titik berat profil tunggal, mm
d	= panjang batang diagonal, mm
E	= modulus elastis, N/mm^2
EI	= factor kekakuan, N.mm^2
E_t	= modulus tangent, N/mm^2
E_r	= modulus tereduksi, N/mm^2
F_y	= tegangan leleh bahan, kg/cm^2
G	= modulus geser
I	= momen inersia, mm^4
K	= kekakuan struktur, kN/mm
L	= panjang kolom, mm
L_1	= jarak antar batang perangkai, mm
M	= momen, kN.mm

3.1.1	Tekuk Inelastis	9
3.2	Efek Geser	14
3.2.1	Efek geser kolom tunggal	14
3.3.2	Efek geser kolom tersusun	16
3.3	Kegagalan karena leleh	22
3.4	Hubungan Antara Beban dan Lendutan	22
3.5	Hubungan Momen (P) dan Kelengkungan (Φ)	23
3.6	Hipotesis	26
BAB IV.	METODOLOGI PENELITIAN	27
4.1	Metodologi Penelitian	27
4.2	Bahan Dan Alat Yang Digunakan	27
4.2.1	Bahan	27
4.2.2	Peralatan Penelitian	29
4.3	Model Benda Uji	31
4.3.1	Benda Pendahuluan	31
4.4	Pengujian Sampel	32
BAB V.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
5.1	Kuat Material Profil Siku	34
5.2	Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun	35
5.2.1	Perbandingan beban kritis (P_{α}) hasil pengujian dengan teoritis	35
3.2.2	Hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) hasil penelitian	37

5.3	Pembahasan.....	38
5.3.1	Analisis data hubungan beban-lendutan pengujian....	38
5.3.2	Hubungan momen-kelengkungan	43
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN		50
6.1	Kesimpulan.....	50
6.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar	3.1 Kolom Euler	7
Gambar	3.2 Tegangan berdasarkan teori Tangent Modulus.....	10
Gambar	3.3 Hubungan a. Beban-lendutan, b. Tegangan-Regangan dan c. Tegangan-Modulus	11
Gambar	3.4 Penjelasan Teori Modulus Ganda	12
Gambar	3.5 Tegangan Berdasarkan Persamaan Euler, Tangent Modulus dan Modulus Ganda	13
Gambar	3.6 Deformasi kolom akibat pembebanan	14
Gambar	3.7 Grafik fungsi P_{cr0} / S_y	17
Gambar	3.8 Efek geser pada kolom tersusun dengan perangkai transversal dan diagonal	17
Gambar	3.9 Kolom tersusun yang dihubungkan dengan perangkai transversal dan diagonal.....	19
Gambar	3.10 Grafik hubungan P_{cr} dengan a / L_1	21
Gambar	3.11 Grafik hubungan P_{cr} dengan kL / r	21
Gambar	3.12 Grafik hubungan antara beban (P) dan lendutan (Δ)	23
Gambar	3.13 Penurunan yang terjadi akibat beban (P)	24
Gambar	3.14 Hubungan antara momen (M) dan kelengkungan (Φ)	26

Gambar	4.1	Sampel kolom tersusun	28
Gambar	4.2	Dial Gauge	29
Gambar	4.3	Dukungan Sendi	30
Gambar	4.4	Hidraulic Jack	30
Gambar	4.5	Universal Testing Material Shimizu UMH30	31
Gambar	4.6	Benda Uji Kuat Tarik Bahan	32
Gambar	4.7	Benda Uji Untuk kuat Tarik Las	32
Gambar	4.8	Gambar alat pengujian kolom	33
Gambar	5.1	Grafik perbandingan beban kritis versus rasio a / L_1 hasil pengujian dengan beban kritis teoritis	36
Gambar	5.2	Grafik Hubungan Beban - Lendutan keempat benda uji .	37
Gambar	5.3	Grafik Hubungan Jarak Antar Profil - Kekakuan	38
Gambar	5.4	Grafik hubungan beban-lendutan sample 1	39
Gambar	5.5	Grafik hubungan beban-lendutan sample 2	40
Gambar	5.6	Grafik hubungan beban-lendutan sample 3	41
Gambar	5.7	Grafik hubungan beban-lendutan sample 4	42
Gambar	5.8	Grafik hubungan momen-kelengkungan dari empat sampel	45
Gambar	5.9	Grafik perbandingan momen-kelengkungan pada pada sampel 1	46

DAFTAR TABEL

			Halaman
Tabel	5.1	Hasil Pengujia Kuat Tarik Baja	34
Tabel	5.2	Analisis Uji rata-rata tegangan leleh baja	35
Tabel	5.3	Perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan teoritis	36
Tabel	5.4	Analisis kekakuan dari hubungan beban-lendutan	38
Tabel	5.5	Hubungan beban-lendutan sampel 1	40
Tabel	5.6	Hubungan beban-lendutan sampel 2	41
Tabel	5.7	Hubungan beban-lendutan sampel 3	42
Tabel	5.8	Hubungan beban-lendutan sampel 4	43
Tabel	5.9	Hubungan momen dan kelengkungan	44
Tabel	5.10	Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perencanaan Kolom Tersusun
Lampiran 2	Perhitungan Teoritis Kapasitas Kolom Tersusun Dengan Variasi Jarak Antar Batang Tunggal
Lampiran 3	Tabel Dan Grafik Hasil Penelitian
Lampiran 4	Gambar Dan Dokumentasi Saat Pengujian



ABSTRAKSI

Kolom tersusun adalah kolom yang dibuat atau dirangkai dari dua batang tunggal atau lebih. Kolom tersusun dibuat untuk berbagai tujuan, diantaranya untuk mendapatkan kolom dengan kapasitas tekan besar, mendapatkan kolom dengan kekakuan besar dan factor estetika. Kolom tersusun dari empat profil siku yang dihubungkan dengan batang transfersal dan diagonal dari tulangan diameter 7 mm yang disambung menggunakan las.

Penelitian eksperimental kolom tersusun dari empat profil siku bertujuan untuk mengetahui perilaku kolom tersusun, yaitu besarnya kapasitas desak kolom (P_{cr}), kekakuan berdasarkan hubungan beban – lendutan ($P-\Delta$), faktor kekakuan (EI) berdasarkan hubungan momen – kelengkungan.

Hasil eksperimental menunjukkan bahwa dengan penambahan jarak antar batang tunggal sebesar 4 cm, terjadi kenaikan kapasitas kolom (P_{cr}) sebesar 1,16 kali; 1,24 kali dan 1,03 kali. Dan meningkatkan kekakuan kolom hingga 1,46 kali.



HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN PROFIL SIKU DENGAN
PERANGKAI TRANSVERSAL DAN DIAGONAL**



TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI OLEH

Ir.Fathkurrohman. N S, MT

Dosen Pembimbing


Tgl : 31/08-2006

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dewasa ini baja bisa diproduksi dengan berbagai macam kekuatan yang bisa dinyatakan dengan kekuatan tegangan tekan lelehnya, σ_y , atau oleh tegangan tarik batas σ_u . Bahan baja walaupun dari jenis yang paling rendah kekuatannya, tetap mempunyai perbandingan kekuatan per-volume lebih tinggi bila dibandingkan dengan bahan-bahan bangunan lainnya yang umum dipakai. Hal ini memungkinkan perencanaan sebuah konstruksi baja bisa mempunyai beban mati yang lebih kecil untuk bentang yang lebih panjang, sehingga memberikan kelebihan ruang dan volume yang dapat dimanfaatkan akibat langsingnya profil-profil yang dipakai.

Kolom tersusun adalah kolom yang dibuat atau dirangkai dari dua batang tunggal atau lebih. Kolom tersusun dibuat untuk berbagai tujuan, diantaranya untuk mendapatkan kolom dengan kapasitas tekan besar, mendapatkan kolom dengan kekakuan besar, juga dari factor estetika.

Salah satu dari kolom tersusun yang banyak digunakan adalah kolom tersusun dari empat profil siku yang dirangkai dengan batang diagonal atau dengan batang transversal atau gabungan batang diagonal dan batang transversal.

Kolom tersusun dari empat profil siku dengan variasi jarak antar batang tunggal (b) yang dapat diatur sedemikian rupa sehingga dapat mencapai efisiensi

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui beban maksimal yang dapat ditahan oleh kolom tersusun dari empat profil siku yang disusun menggunakan kombinasi dari batang perangkai transversal dan diagonal pada variasi jarak antar batang tunggal.
2. Mengetahui efisiensi pada kolom tersusun dari empat profil siku yang disusun menggunakan kombinasi dari batang perangkai transversal dan batang perangkai diagonal pada tiap variasi jarak antar batang tunggal

1.4 Batasan Penelitian

Untuk membatasi persoalan penelitian agar penelitian dapat terarah maka diadakan batasan masalah sebagai berikut :

1. Profil baja yang digunakan adalah empat profil siku 23 x 23 x 2,3mm yang disusun menggunakan perangkai transversal dan diagonal dengan alat sambung las.
2. Batang perangkai menggunakan tulangan dengan diameter 0,7 cm.
3. Ujung-ujung kolom diasumsikan dengan tumpuan sendi-sendi ($k = 1$).
4. Rasio a / L_1 yaitu : 0,17 ; 0,27 ; 0,37 ; 0,47.
5. Jarak antar batang perangkai $L_1 = 20\text{cm}$.
6. Tegangan residu dari bahan tidak ditinjau.
7. Kolom dibebani dengan beban aksial sentris.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Edward G. Nawi (1985) mengemukakan bahwa kolom merupakan elemen vertical yang memikul system lantai struktural. Elemen ini merupakan elemen yang mengalami tekan dan pada umumnya disertai dengan momen lentur. Pendapat yang sama juga dikemukakan oleh *Crawly, Stanley W. M Arch. dkk. Ferainun L. Singer dan Andrew Pytel (1985), Gere dan Thimosenko (1985)*.

Kolom tersusun adalah gabungan dua batang atau lebih, satu dengan yang lainnya dihubungkan sedemikian rupa sehingga membentuk suatu kesatuan. Untuk membentuk batang tersusun diperlukan penghubung berupa pelat atau batang penghubung. Batang penghubung dapat disusun melintang, diagonal dan kombinasi melintang dengan diagonal. Selain itu penghubung dapat juga berupa pelat menerus. Hubungan batang dengan penghubungnya dapat dilaksanakan dengan baut paku keeling dan lar (*PADOSBAJAYO, 1992*).

Penghubung antara batang-batang tersusun dengan memakai batang ikat/diagonal (*lacing*) bermanfaat agar semua komponen bekerja sebagai satu kesatuan. Komponen geser dari beban aksial timbul ketika batang tekan melentur. Besarnya pengaruh geser terhadap kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Fungsi penghubung ialah untuk menahan gaya lintang yang timbul sepanjang kolom, sehingga batang tersusun dapat membentuk satu kesatuan dalam hal mendukung beban (*PADOSBAJAYO, 1992*).

Beban kritis Euler kolom yang menyebabkan tekuk keseluruhan diturunkan dari persamaan pelenturan sebuah batang lurus yang semua seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi. Batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya (*Lambert Tall, 1974*).

Persamaan kelengkungan merupakan fungsi dari lendutan y untuk segala jenis material, dengan syarat rotasi yang terjadi kecil (*Gere dan Timoshenko, 1985*).

Beban kritis atau beban *Euler* adalah beban terkecil yang mampu mengakibatkan kolom tersebut dalam kondisi kritis. Kondisi tersebut dapat terjadi bila defleksi merupakan lendutan berkelengkungan tunggal (*single curvature*). Kondisi tersebut merupakan kondisi yang memiliki nilai $N = 1$ (*Lambert Tall, 1974*).

Pengaruh geser terhadap pengurangan kekuatan kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser. Penampang berbadan solid memiliki deformasi geser yang lebih kecil daripada kolom tersusun. Pengaruh gaya geser yang kecil pada kolom berbadan solid dapat diabaikan dengan aman, namun pengaruh geser sebaiknya tidak diabaikan untuk kolom tersusun (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Kolom dengan nilai $\lambda \leq 0,2$, dapat mencapai ketahanan plastis menyeluruh profil dan tekuk tidak perlu diperiksa. Jika $\lambda > 0,2$, ketahanan kolom daripada

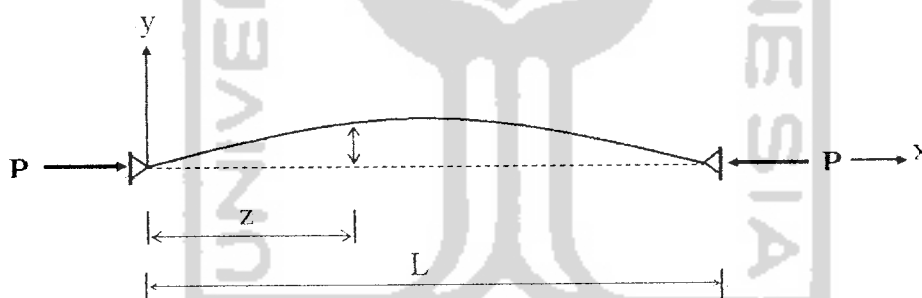
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Kolom batang tunggal

Teori tekukan kolom berasal dari *Leonhard Euler* dalam tahun 1744. Suatu batang yang semula lurus mendapat pembebanan kosentrik, dimana semua serat tetap dalam keadaan elastic sampai terjadi tekukan, akan sedikit bengkok.

Gambar 3.1 menunjukkan profil siku yang dibebani kedua ujungnya..



Gambar 3.1 kolom Euler

Pada sembarang lokasi z , momen lentur M_z pada batang yang sedikit terbelokkan terhadap sumbu utama x yang ditunjukkan oleh Persamaan diferensial Salmon adalah:

$$M_z = Py \quad (3.1)$$

dan karena:

$$\frac{d^2 y}{dz^2} = -\frac{M_z}{EI} \quad (3.2)$$

Maka, Persamaan diferensialnya menjadi:

$$\frac{d^2 y}{dz^2} = -\frac{M_z}{EI} \quad (3.3)$$

Dengan memisalkan $k^2 = P / EI$, penyelesaian Persamaan diferensial linier tingkat dua ini dapat diwujudkan menjadi:

$$y = A \sin kz + B \cos kz \quad (3.4)$$

Dengan menerapkan syarat batas, (a) $y = 0$ pada $z = 0$, dan (b) $y = 0$ pada $z = L$, dapat diperoleh untuk kondisi (b):

$$0 = A \sin kL \quad (3.5)$$

Pemenuhan Persamaan 3.5 dapat dicapai dengan tiga macam cara: (a) konstanta $A = 0$; yakni tidak ada defleksi; (b) $kL = 0$; yakni tidak ada beban luar; dan (c) $kL = N\pi$, yakni syarat terjadinya tekukan. Dengan demikian,

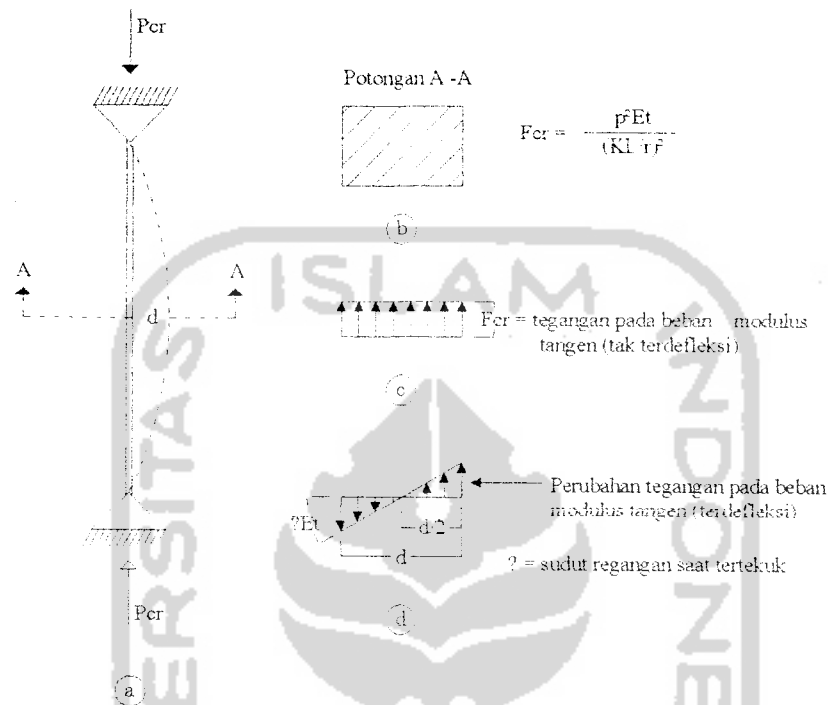
$$\left(\frac{N\pi}{L} \right)^2 = \frac{P}{EI}$$

$$P = \frac{N^2 \pi^2 EI}{L^2} \quad (3.6)$$

Ragam tekukan fundamental, defleksi kurfatur tunggal ($y = A \sin \pi z/L$ dari Persamaan 3.4), akan terjadi bila $N = 1$; dengan demikian, beban kritis Euler untuk kolom dengan dua ujung sendi adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (3.7)$$

lendutan) dan lendutan dianggap terjadi tepat pada saat batang runtuh. Selain itu, distribusi tegangan di tempat runtuh dianggap terbagi rata (gambar 3.3c). Tegangan akibat momen lentur (gambar 3.3d) diabaikan.



Gambar 3.2 Tegangan berdasarkan teori Tangent Modulus

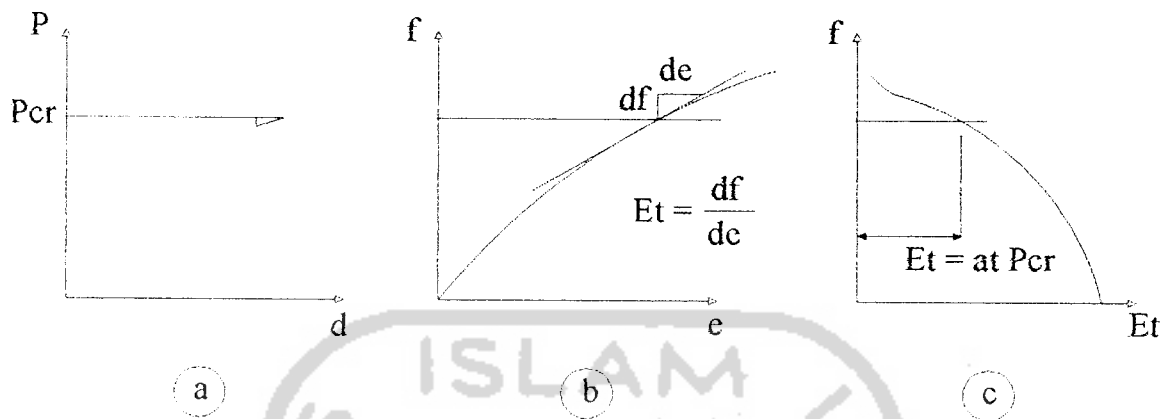
Hubungan beban (P) dengan lendutan (δ), ditunjukkan dengan gambar 3.2a. Modulus pada tegangan kritis diambil garis singgung diagram tegangan-regangan pada saat kolom runtuh, periksa gambar 3.2b. Modulus pada saat kolom runtuh dinyatakan dengan Persamaan 3.10.

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\epsilon} \quad (3.10)$$

dengan :

$d\sigma$ = perubahan tegangan

$d\epsilon$ = perubahan regangan



Gambar 3.3 Hubungan a. Beban-lendutan, b. Tegangan-Regangan dan c. Tegangan-Modulus.

Perubahan modulus elastis ke modulus yang harganya berubah-ubah ditunjukkan dengan Gambar 3.3c. Dari gambar 3.3c. dapat diketahui bahwa $E_t < E$. Modulus elastis (E) pada persamaan Euler dengan modulus tangen (E_t), diperoleh Persamaan :

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{(KL/r)^2} \quad (3.11)$$

dan didapat Persamaan beban kritisnya :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{(KL/r)^2} A_g = F_{cr} A_g \quad (3.12)$$

Dimana E_t = modulus tangensial elastisitas pada tegangan P_{cr} / A_g

A_g = luas penampang kotor batang tersebut.

KL / r = rasio kerampingan efektif (atau ujung sendi ekuivalennya).

K = factor panjang efektif

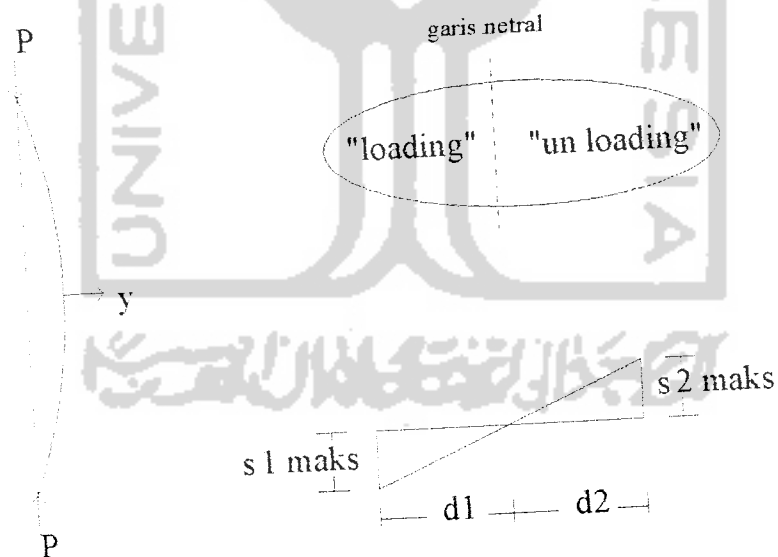
L = panjang batang.

R = radius grasi = $\sqrt{I/A_g}$

I = momen inersia.

Karena $E_t < E$, maka tegangan yang diperoleh dengan Persamaan 3.12 lebih kecil dibanding dengan tegangan yang diperoleh dengan Persamaan Euler.

Proses tekuk diatas batang proporsional oleh Engesser terus diteliti. Pada teorinya yang pertama ("Theory Tangent Modulus"), Engesser mengabaikan pembalikan regangan yang terjadi pada penampang kolom. Oleh karenanya "teori Tangent Modulus" dianggap kurang tepat yang kemudian diperbaiki dengan teorinya yang lebih baru, kemudian dikenal dengan teori modulus tereduksi.



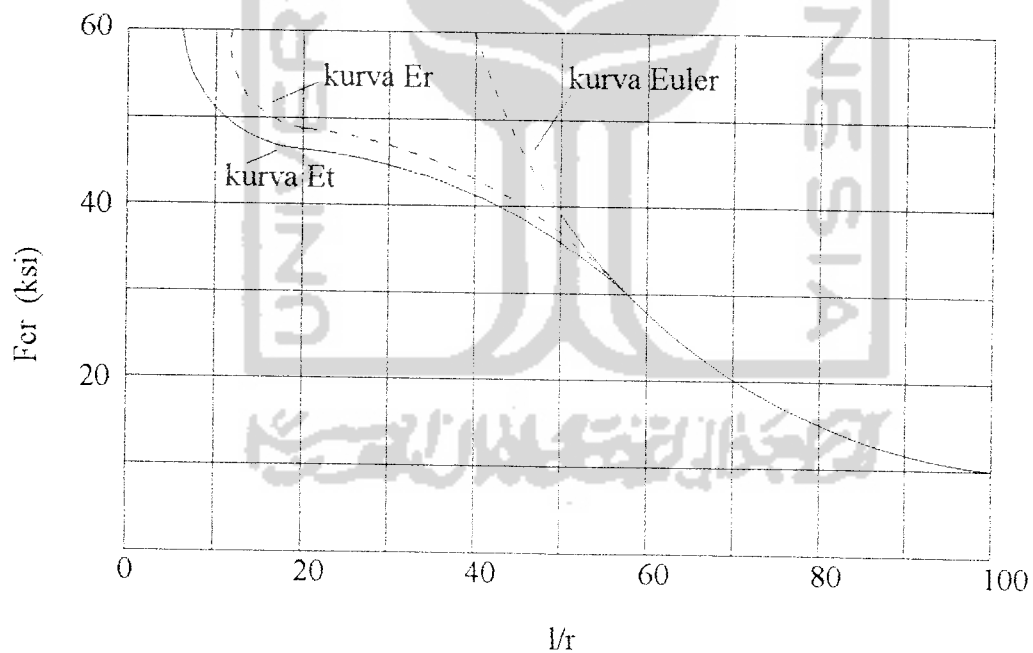
Gambar 3.4 Penjelasan teori modulus tereduksi

Gere dan Timoshenko (2000), Teori modulus tereduksi lebih disukai karena sederhana dan mudah digunakan. Namun secara konseptual teori tersebut mempunyai kekurangan karena teori tersebut tidak memperhitungkan perilaku kolom secara lengkap. Adapun persamaan modulus tereduksi dapat dilihat pada Persamaan 3.13 dan 3.14.

$$E_r = \frac{4.E.E_t}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_t})^2} \quad (3.13)$$

$$E_r = \frac{2E.E_t}{E + E_t} \quad (3.14)$$

Perbandingan nilai E_t dan E_r pada perhitungan tegangan kritis dapat dilihat pada Gambar 3.5.



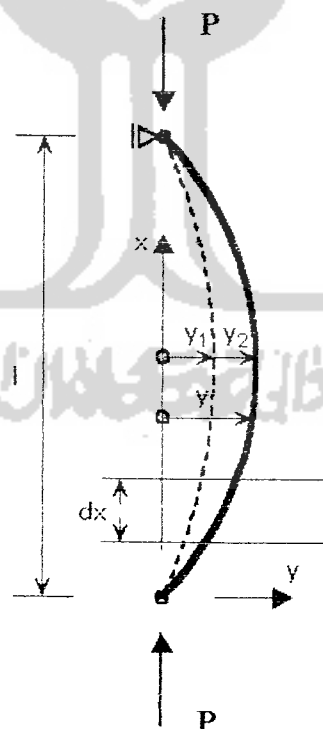
Gambar 3.5 Tegangan berdasarkan persamaan Euler, tangent modulus dan modulus tereduksi

Dari Gambar 3.5 tampak bahwa tegangan kritis kolom yang menggunakan modulus tangen (E_t) berada di bawah tegangan kritis yang menggunakan modulus tereduksi (E_r).

3.2 Efek Geser

3.2.1 Efek Geser Kolom Tunggal

Gere dan Thimoshenko, 1985 menyatakan Leonard Euler adalah orang yang pertamakali memformulasikan ekspresi beban kritis elastis pada kolom langsing yang penampangnya solid dengan kedua ujungnya sendi. Kolom yang disebani gaya tekan aksial dapat dilihat pada gambar 3.5. Akibat pengaruh beban (P), kolom melentur dan didalam penampangnya timbul gaya geser.



Gambar 3.6 Deformasi kolom akibat pembebanan

Pelenturan akibat gaya tekan ditunjukkan dengan garis lengkung penuh, sedangkan pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan garis putus-putus. Ditinjau penampang batang yang letaknya x dari ujung bawah. Andaikan pelenturan ditempat tersebut adalah y . Pelenturan akibat beban (P), dinyatakan dengan Persamaan 3.15 berikut:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot y \quad (3.15)$$

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

$$V = \frac{dM}{dx} \quad \text{atau} \quad V = P \cdot \frac{dy}{dx} \quad (3.16)$$

Kemiringan (slop) yang terjadi akibat gaya geser adalah :

$$\theta = \frac{\text{tegangan.geser}}{\text{modulus.geser}} \quad (3.17)$$

Dengan memperhitungkan factor bentuk (β), diperoleh :

$$\theta = \frac{bV}{AG} \quad \text{atau} \quad \theta = \frac{\beta}{AG} \cdot P \cdot \frac{dy}{dx} \quad (3.18)$$

Dengan :

G = modulus geser

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

μ = nilai banding poison ("Poison ratio")

Pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan Persamaan :

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{AG} \cdot P \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.19)$$

Pelenturan total (akibat P dan V) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot y + \frac{\beta \cdot P}{AG} \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.20)$$

atau:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{EI \left[1 - \frac{\beta \cdot P}{AG} \right]} y = 0 \quad (3.21)$$

Penyelesaian Persamaan 3.32 adalah :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\beta}{AG} \frac{\pi^2 EI}{L^2} \right]} \quad (3.22)$$

3.2.2 Efek Geser Kolom Tersusun

Efek geser kolom tersusun dengan perangkai transversal dan diagonal pada pembebanan kritis yang dijelaskan oleh *Kuleuven* ditunjukkan dengan Persamaan 3.23 berikut :

$$P_{cr1} = \frac{1}{\frac{1}{P_{cr0}} + \frac{1}{S_v}} = P_{cr0} \frac{1}{1 + \frac{P_{cr0}}{S_v}} \quad (3.23)$$

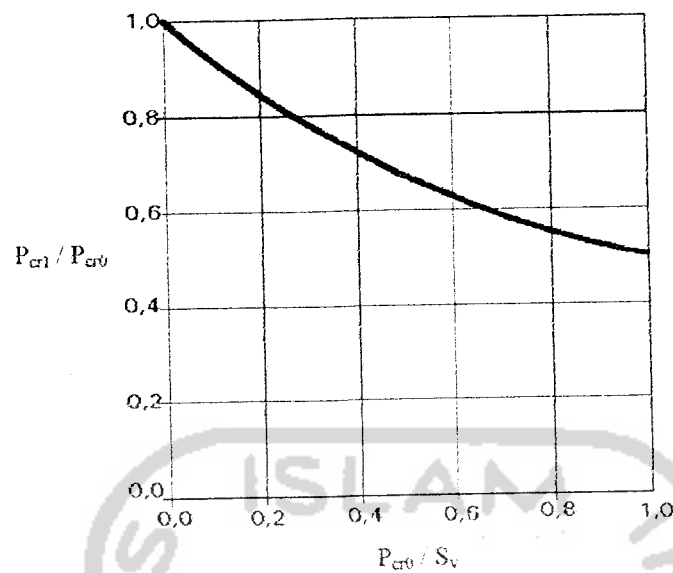
dimana :

$$P_{cr0} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \text{ , Persamaan Euler}$$

$$S_v = \frac{GA}{\beta} \text{ , kekakuan geser dari kolom}$$

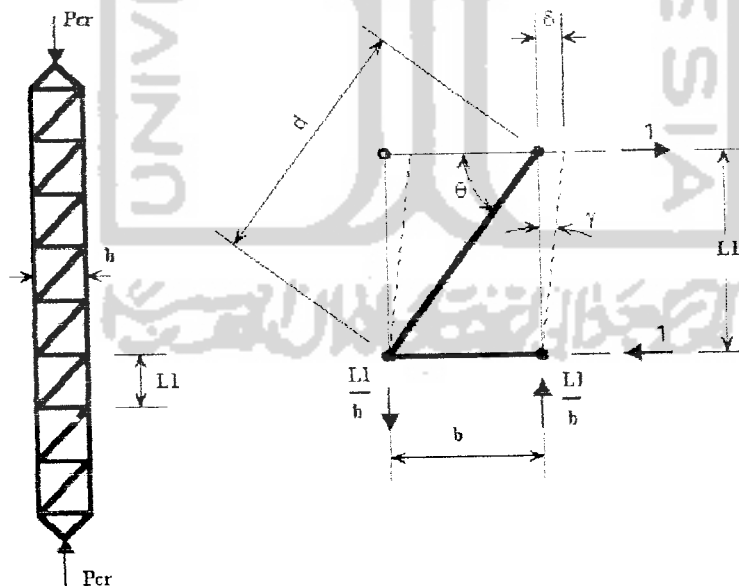
Dari Persamaan diatas dapat diketahui bahwa $P_{cr1} < P_{cr0}$, semakin besar rasio P_{cr0} / S_v , maka semakin kecil rasio $N_{cr1} / N_{cr0} < 1$.

Dari Persamaan 3.23 didapat grafik yang menunjukkan fungsi dari rasio P_{cr0} / S_v



Gambar 3.7 Grafik fungsi dari P_{cr0} / S_v

Pada kolom tersusun dengan perangkat diagonal, perpanjangan elastis pada batang diagonal dan transversal harus diperhatikan untuk mendapatkan kekakuan geser (S_v).



Gambar 3.8 Efek geser pada kolom tersusun dengan perangkat diagonal dan transversal

$$\frac{1}{S_v} = \frac{\delta}{a} = \gamma \quad (3.24)$$

Pergeseran total δ adalah hasil dari perpanjangan batang diagonal δ_1 dan pemendekan batang horizontal δ_2 .

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = P_d \frac{d}{EA_d} P_d + P_o \frac{b}{EA_h} P_o = \frac{d}{b} \frac{d}{EA_d} \frac{d}{b} + \frac{b}{EA_h} \quad (3.25)$$

maka :

$$\frac{1}{S_v} = \frac{1}{L_1 E} \left[\frac{b}{A_h} + \frac{d^3}{h^2 A_d} \right] = \frac{1}{L_1 b^3 E} \left[\frac{b^3}{A_h} + \frac{d^3}{A_d} \right] = \frac{d^3}{L_1 b^2 A_d E} \left[\frac{b^3 A_d}{d^3 A_h} + 1 \right] \quad (3.26)$$

Dengan memasukkan Persamaan 3.26 ke dalam Persamaan 3.23, maka didapatkan Persamaan beban kritis :

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{d^3}{L_1 b^2 A_d E} \left(\frac{b^3 A_d}{d^3 A_h} + 1 \right) \right]} \quad (3.27)$$

dimana :

P_{cr1} = beban kritis kolom tersusun dengan perangkat transversal dan diagonal

E = modulus elastis

I = momen inersia

L = panjang kolom

d = panjang batang diagonal

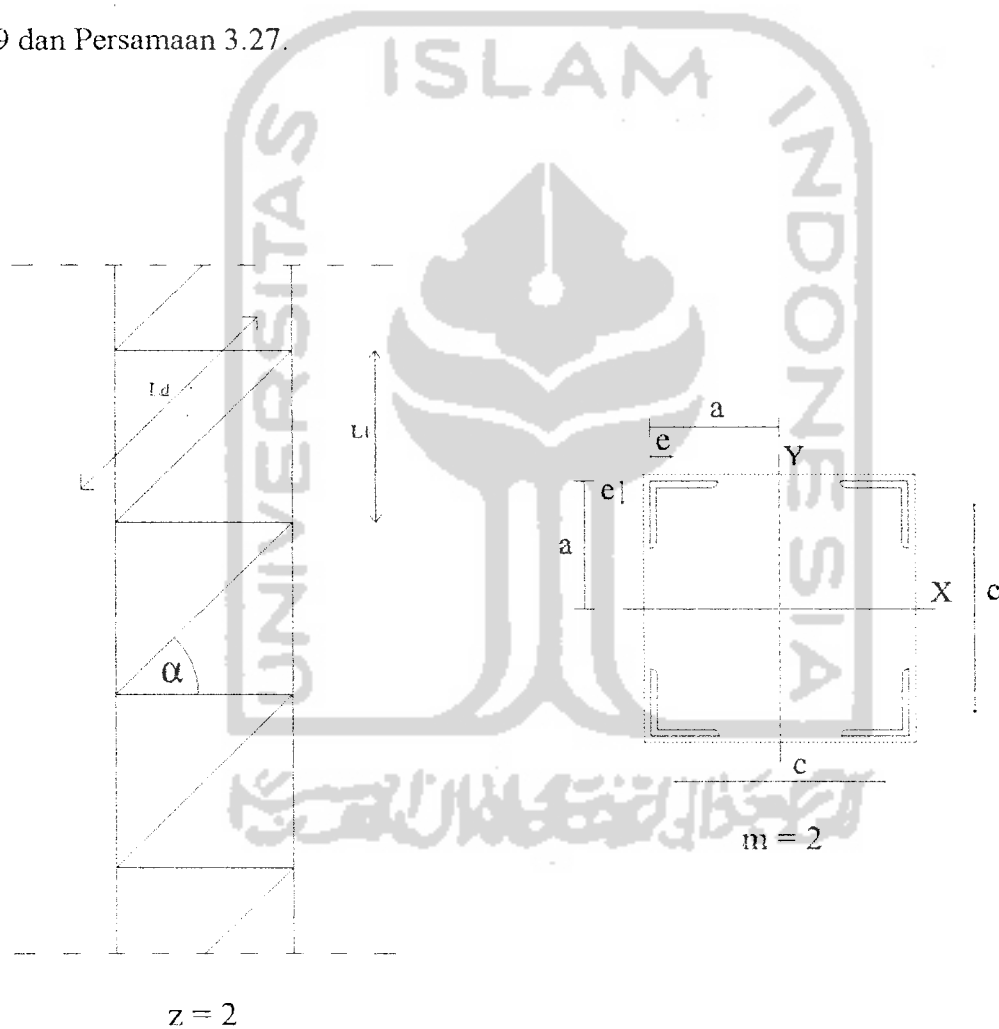
L_1 = jarak antar batang perangkat

b = panjang batang horizontal

A_d = luas penampang batang diagonal

A_h = luas penampang batang horizontal

Untuk menghitung kelangsingan pada komponen tersusun yang dihubungkan dengan unsur transversal dan diagonal, seperti terlihat pada gambar 3.9 dan Persamaan 3.27.



Gambar 3.9 kolom tersusun yang dihubungkan dengan perangkat transversal dan diagonal

berlaku Persamaan :

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A.Ld^3}{z.Ad.L_1.c^2} + \frac{A.c}{2.Ah.L_1}} \quad (3.28)$$

dimana :

A = luas penampang komponen struktur tersusun

Ad = luas penampang satu unsure diagonal

Ld = panjang unsure diagonal

Ah = luas penampang satu unsure penghubung transversal

L₁ = jarak antar batang perangkai

c = jarak pusat titik berat antar profil tunggal

z = konstanta dari perangkai kolom tersusun (gambar 3.9)

Kelangsingan ideal dari komponen struktur tersusun dapat dihitung sebagai

Persamaan berikut :

$$\lambda_r = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \quad (3.29)$$

nilai (m) dapat dilihat pada gambar 3.9.

Untuk menjamin stabilitas komponen struktur, maka harus memenuhi :

$$\lambda_r \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$\lambda \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$\lambda_1 \leq 50$$

3.3 Kegagalan Karena Leleh

Kegagalan ini akan terjadi apabila tegangan kritis kolom melebihi tegangan hancur (leleh) material (F_y). Besarnya beban leleh adalah :

$$P_y = A_g \cdot F_y \quad (3.30)$$

Jenis kegagalan ini hanya terjadi pada kolom pendek. Sedangkan pada kolom panjang kegagalannya ditentukan oleh tekuk karena ketidakstabilan kolom.

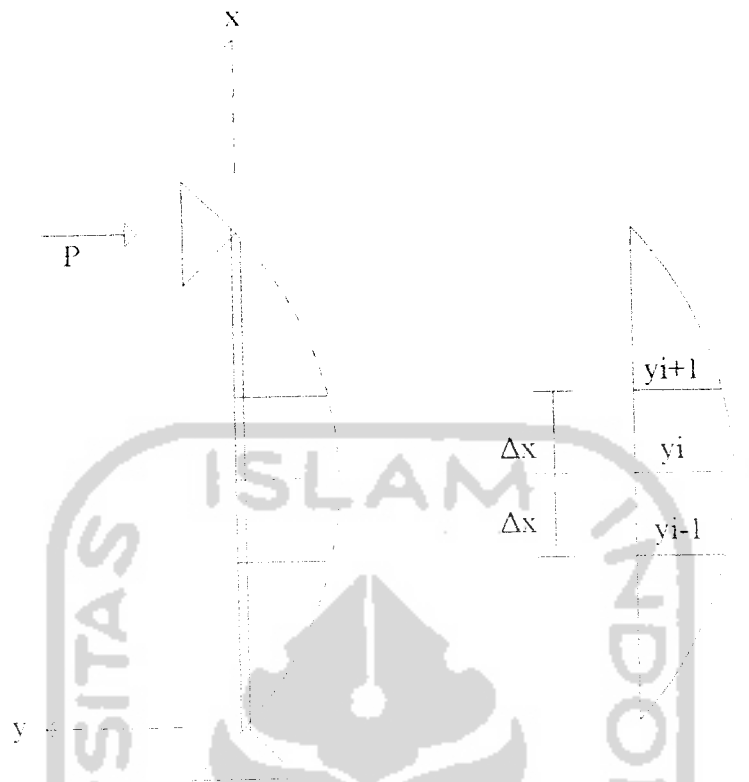
3.4 Hubungan antara Beban dan Lendutan

Kekakuan struktur (K) didefinisikan sebagai rasio beban dan lendutan yang dikemukakan oleh *Thimosenko, 1985* dinyatakan dengan :

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad (3.31)$$

Tampak bahwa kekakuan berbanding terbalik dengan lendutan. Apabila suatu struktur diberi beban aksial (P) dan lendutan (Δ) yang terjadi diukur, maka kekakuan dapat dihitung.

Pada saat pembebanan mencapai beban P_{maks} , maka akan terjadi momen batas yang menimbulkan mekanisme keruntuhan sehingga penampang ini akan mengalami lendutan (Δ).



Gambar 3.13 Penurunan yang terjadi akibat beban (P)

Dari gambar 3.13 dapat diketahui besarnya dy dan dx dengan Persamaan:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.33)$$

Turunan kedua dari Persamaan 3.33 adalah :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.34)$$

Karena $(2\Delta x)$ adalah konstan, maka nilai dari $\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0$, sehingga Persamaan

3.34 menjadi :

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metodologi Penelitian

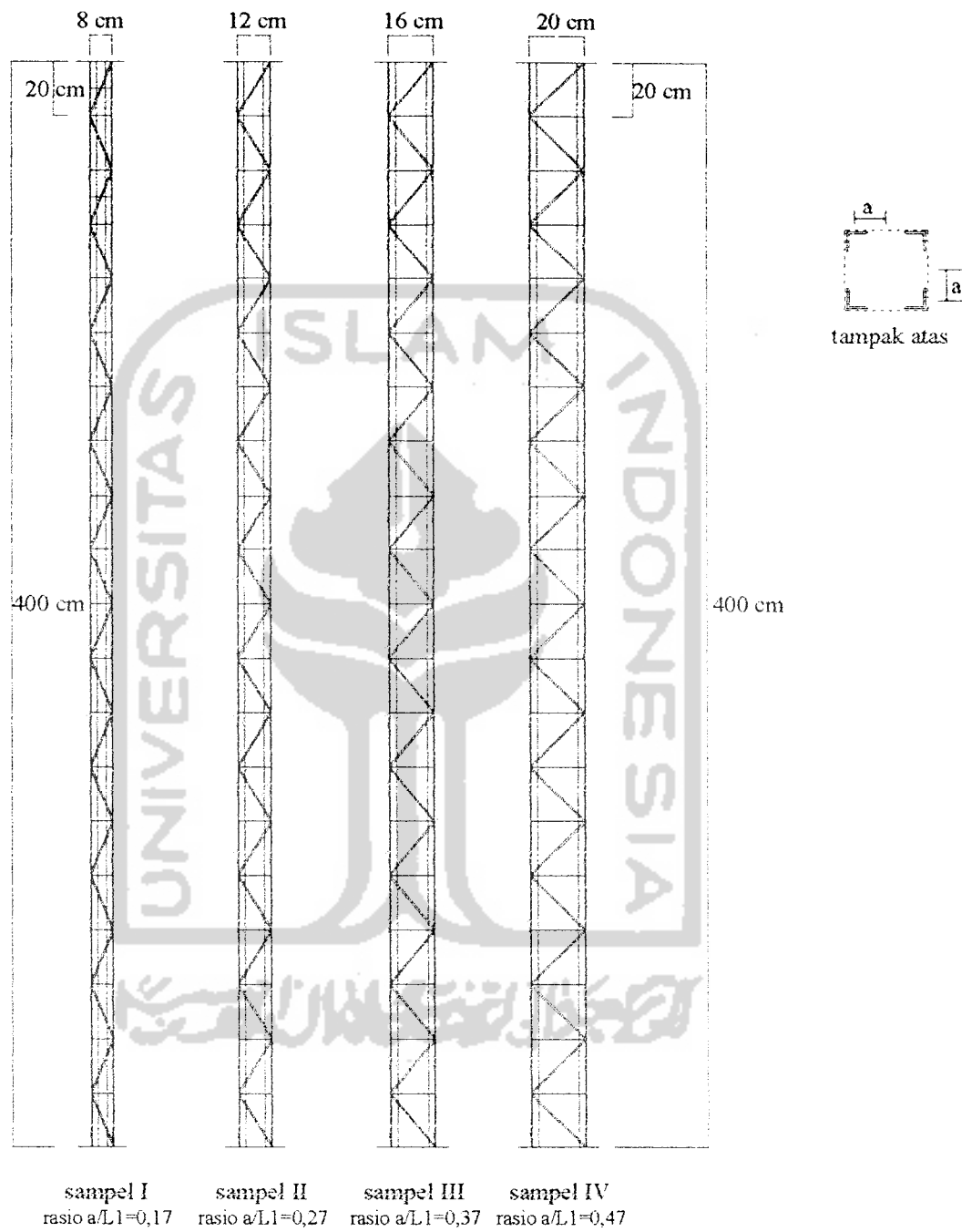
Metode penelitian adalah urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang akan dilakukan.

4.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

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

4.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah kolom yang menggunakan empat baja profil siku. 23 x 23 x 2,3 mm dengan variasi jarak antar batang tunggal. Sambungan baja menggunakan alat sambung las. Sampel pada pengujian ini dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut :

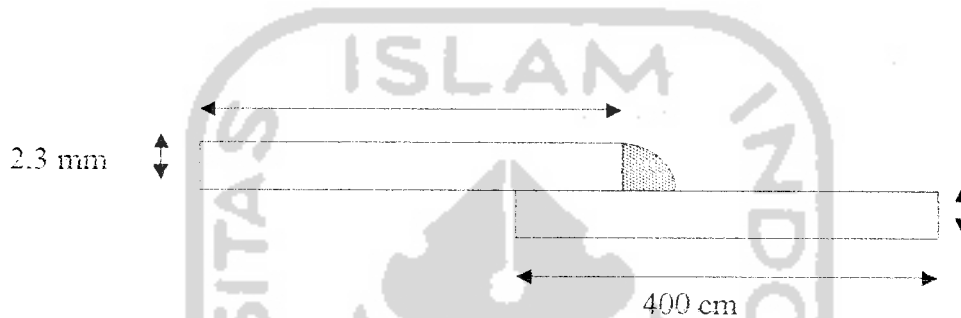


Gambar 4.1 Sampel kolom tersusun



Gambar 4.6. Benda Uji Untuk Uji Kuat Tarik

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh baja (F_y), tegangan ultimit baja (F_u), dan *Modulus Elastis baja* (E).



Gambar 4.7 Benda Uji Untuk kuat Tarik Las

4.4. Pengujian Sampel

Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan aksial sentris secara bertahap untuk mengetahui kekuatan tekan pada kolom tersusun. Agar sampel dapat terbebani secara aksial sentris, sebelum sampel diuji terlebih dahulu plat pada sampel tersebut ditandai untuk mendapatkan titik tengah dari sampel tersebut, dan dial diletakkan pada tempat-tempat yang telah direncanakan. Setelah *hidroulic jack* dan dial terpasang dan pembebanan benda uji tersebut sudah dianggap sentris maka pengujian tekan dapat dilakukan. Pengujian sampel pada penelitian ini dilakukan dengan cara uji tidur, seperti tampak pada **gambar 4.8**

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Uji Kuat Material Profil Siku

Hasil uji pendahuluan meliputi dimensi benda uji, beban leleh (P_y), dan beban maksimum atau beban ultimit (P_u). Hasil uji pendahuluan digunakan untuk menentukan tegangan leleh (F_y) dan tegangan ultimit (F_u).

Pelaksanaan pengujian kuat tarik profil siku dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian kuat tarik didapat hasil pada table 5.1 sebagai berikut :

Tabel 5.1 Hasil pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Luas Penampang (mm^2)	Beban Leleh (P_y) (kN)
Sampel 1 Profil Siku	23	600
Sampel 2 Profil Siku	23	627,5
Sampel 3 Profil Siku	23	600

Tegangan leleh (F_y) didapatkan dengan membagi beban leleh dengan luas penampang ($F_y = P_y / A$).

Hasil yang didapat dari uji kuat tarik baja disajikan dalam bentuk table berikut :

Tabel 5.2. Analisa Hasil Uji rata-rata Tegangan Leleh Baja

Benda Uji	Tegangan Leleh (Fy) (Mpa)
1	255,9
2	267,6
3	255,9
Rata-rata	259,8

5.2 Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun

Pengujian kuat tekan kolom tersusun dilakukan menggunakan alat dukungan Loading Frame dan alat pembebanan Hidraulic jack di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Struktur dibebani beban aksial sentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 0,6 ton, kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya pembebanan dan lendutan dicatat. Pencatatan besarnya lendutan yang terjadi dilakukan pada pembacaan masing-masing dial gauge yang dipasang dengan jarak 40 cm pada masing-masing benda uji. Beban kritis yang dapat ditahan pada sampel 1, 2, 3 dan 4 berturut-turut adalah 75 kN, 87 kN, 108 kN dan 105 kN.

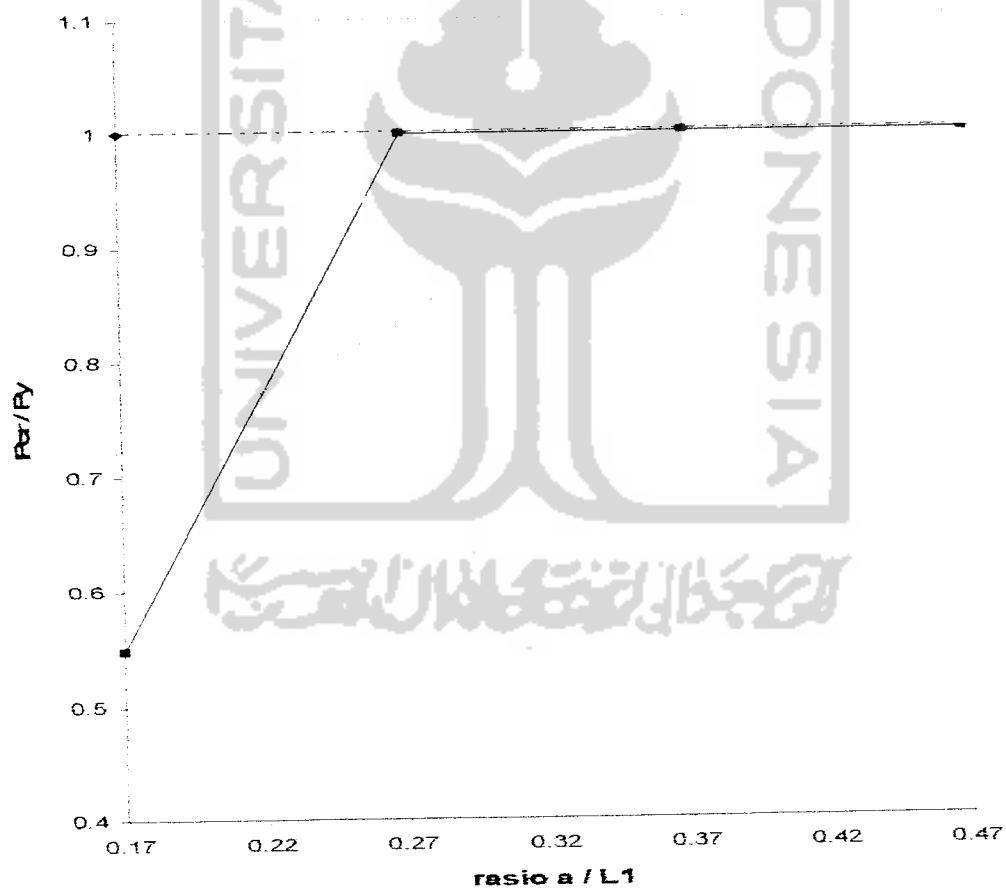
5.2.1 Perbandingan Beban Kritis (P_{cr}) Hasil Pengujian dengan Teoritis

Perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan beban kritis teoritis dapat ditampilkan dalam bentuk table dan grafik berikut :

Tabel 5.3 Perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan teoritis

Kolom Tersusun	Beban Kritis Teoritis (kN)	Beban Kritis Pengujian Sampel (kN)	$P_{cr} / (A \cdot F_y)$ Teoritis	$P_{cr} / (A \cdot F_y)$ Pengujian Sampel
$a/L_1 = 0,17$	57,3	75	0.548	0.718
$a/L_1 = 0,27$	104,4	87	1.000	0.833
$a/L_1 = 0,37$	104,4	108	1.000	1.034
$a/L_1 = 0,47$	104,4	105	1.000	1.005

Dari tabel 5.3 dapat ditampilkan dalam grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) antara beban kritis pengujian dengan beban kritis teoritis.

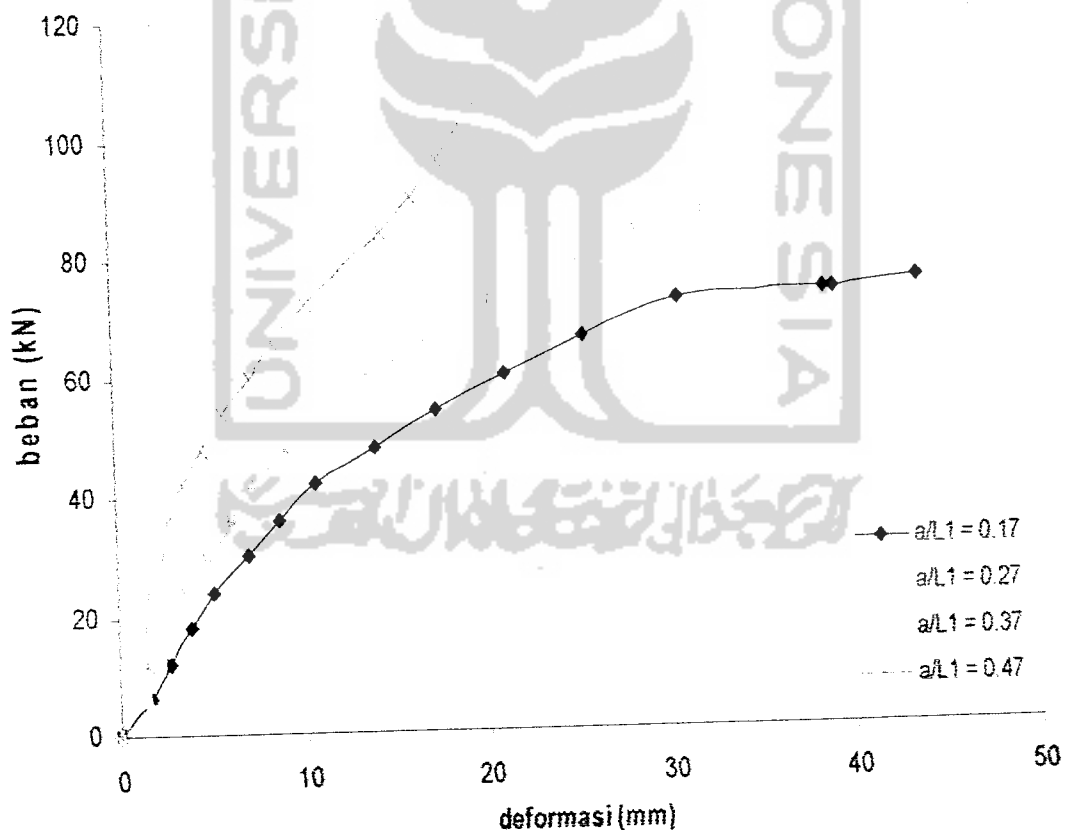


Gambar 5.1 Grafik perbandingan beban kritis versus rasio a/L_1 hasil pengujian dengan beban kritis teoritis.

5.2.2. Hubungan Beban – Lendutan ($P - \Delta$) Hasil Penelitian

Pengujian kuat tekan kolom tersusun diberikan beban aksial sentries secara bertahap dengan kenaikan sebesar 6 kN, kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya pembebanan dan lendutan dicatat. Pencatatan besarnya lendutan yang terjadi dilakukan pada pembacaan masing-masing dial gauge yang dipasang dengan jarak tiap 40 cm pada masing-masing benda uji. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 2.

Dari hasil penelitian keempat benda uji dapat dibuat grafik hubungan beban – lendutan seperti pada gambar 5.3.

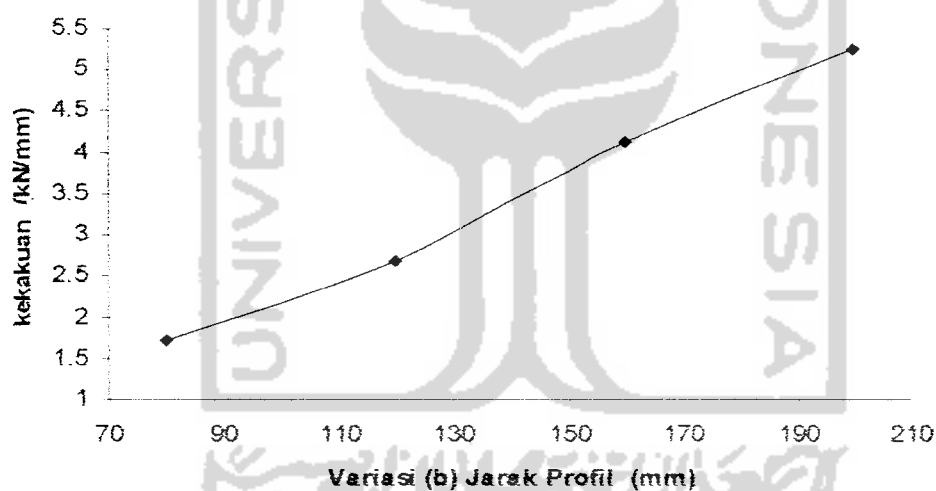


Gambar 5.2. Grafik Hubungan Beban – Lendutan keempat benda uji

Data hasil pengamatan grafik hubungan beban – lendutan keempat benda uji seperti gambar 5.3 dapat disimpulkan tentang kekakuan kolom tersusun dari profil siku dengan variasi jarak antar batang tunggal dalam tabel 5.4

Tabel 5.4. Analisis Kekakuan dari Hubungan Beban-Lendutan

Kolom Tersusun	Beban Max (Pmax) (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	kekakuan (P/ Δ) (kN/mm)
a / L1 = 0,17	75	43,8	1,712
a / L1 = 0,27	87	32,4	2,685
a / L1 = 0,37	108	26,22	4,119
a / L1 = 0,47	105	19,96	5,26



Gambar 5.3. Grafik hubungan jarak antar profil – kekakuan

5.3. Pembahasan

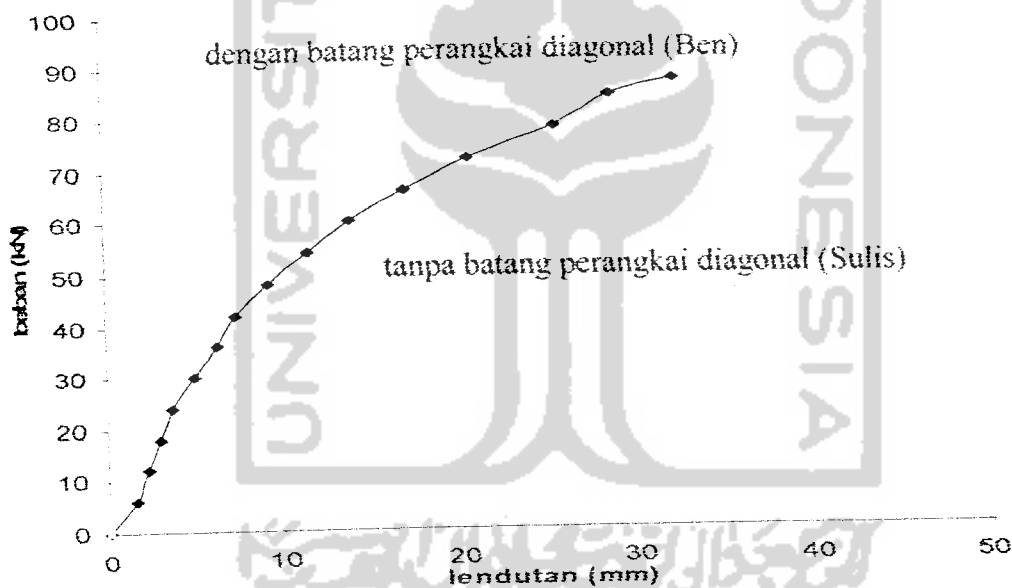
5.3.1 Analisis Data Hubungan Beban – Lendutan Pengujian.

Dari penelitian yang dilakukan pada kolom tersusun profil siku dengan perangkat transversal dan diagonal dengan menggunakan variasi jarak antar

Tabel 5.5. Hubungan Beban-Lendutan Sampel 1

Kolom Tersusun	Beban (kN)	Lendutan (mm)
Dengan Perangkai Diagonal	75	43.8
Tanpa Perangkai Diagonal	42	41.58

Dari data-data tersebut jelas bahwa dengan penggunaan perangkai diagonal akan dapat meningkatkan kemampuan kolom sebesar 1,79 kali, dengan penggunaan perangkai diagonal pada kolom tersusun dari empat profil siku dapat menambahkan kekakuan pada pelat sebesar 1,69 kali.



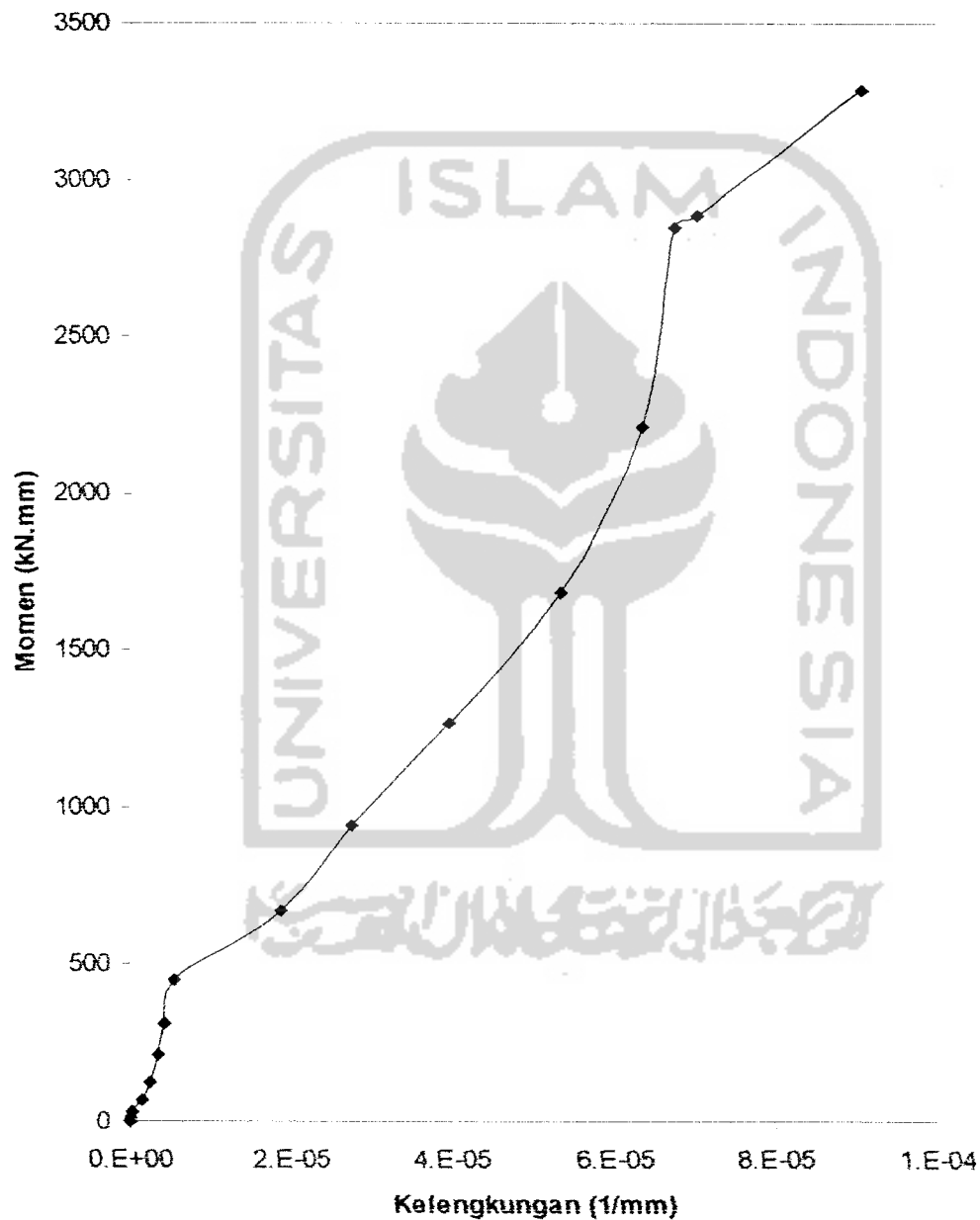
Gambar 5.5 Grafik hubungan Beban - Lendutan Sampel 2
dengan rasio $a/L_t = 0,17$

Berdasarkan hasil pengujian pada sampel II didapat Beban maksimum yang mampu diterima profil siku dengan perangkai diagonal sebesar 87 kN dengan besar lendutan yang terjadi sebesar 32,4 mm. Sedangkan beban

Tabel 5.9 Hubungan momen dan kelengkungan

Momen dan Kelengkungan							
Sampel I		Sampel II		Sampel III		Sampel IV	
Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0	0	0	0	0	0	0	0
9.84	5.00E-07	9.00	3.75E-06	9.00	4.56E-06	3.72	1.02E-05
32.76	4.37E-07	27.60	3.13E-06	24.84	3.00E-06	17.52	6.25E-06
70.92	-9.37E-07	54.00	2.50E-06	39.60	6.25E-08	27.36	7.25E-06
124.80	2.44E-06	88.80	6.25E-07	58.08	4.81E-06	40.80	8.50E-06
211.20	3.56E-06	150.00	3.13E-06	96.30	8.75E-07	73.80	3.00E-06
316.80	4.31E-06	226.80	6.25E-06	146.88	3.44E-06	97.20	8.63E-06
452.34	5.62E-06	310.80	5.00E-06	183.54	7.50E-07	152.04	5.44E-06
674.40	1.88E-05	451.20	1.19E-05	251.52	2.06E-06	223.20	7.13E-06
942.30	2.78E-05	626.40	1.81E-05	333.72	4.19E-06	312.66	5.44E-06
1272.00	3.97E-05	840.00	2.44E-05	433.20	2.87E-06	445.20	5.62E-07
1686.30	5.34E-05	1128.60	3.56E-05	601.92	1.31E-05	567.60	3.44E-06
2214.00	6.36E-05	1490.40	4.56E-05	807.12	2.29E-05	752.40	5.56E-06
2844.45	9.25E-05	2004.60	6.69E-05	1033.50	3.56E-05	967.20	3.56E-06
2881.20	7.03E-05	2419.20	7.81E-05	1205.40	3.74E-05	1237.32	8.75E-07
3285.00	9.06E-05	2818.80	8.81E-05	1476.90	5.55E-05	1471.50	1.50E-06
				1872.96	8.33E-05	1714.56	7.06E-06
				2154.24	7.19E-05	1950.24	1.08E-05
				2831.76	1.11E-04	2095.80	1.35E-05

Dari data hubungan momen kelengkungan dapat dilihat perbandingan momen-kelengkungan dari kolom tersusun profil siku dengan perangkai diagonal dengan yang tidak menggunakan perangkai diagonal.



Gambar 5.9 Grafik perbandingan momen-kelengkungan pada sampel I

DAFTAR PUSTAKA

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1996, **STRUKTUR BAJA** Edisi Ketiga, Gramedia, Jakarta.

Gere dan Timoshenko, Hans J. Wospakrik, 1987, **MEKANIKA BAHAN** Edisi kedua Versi SI Jilid 1, Erlangga, Jakarta.

Hand Book of Mechanics, Materials and Structures, Alexander Blake, 1985, John Willey & Sons, Inc, USA.

Load and Resistance Factor Design Specification For Structural Steel Building (AISC). 2000, American Institute of Steel Construction, USA.

Stephen P. Timoshenko, James M. Gere, **THEORY OF ELASTIC STABILITY**, 1961, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.

Edwin H. Gaylord, Jr, **DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, 1992, McGraw-Hill Companies, Inc. Singapore

SNI 03 – 1729 – 2002, **TATA CARA PERENCANAAN STRUKTUR BAJA UNTUK BANGUNAN GEDUNG**, Departemen Pekerjaan Umum.

Analisis Komponen Struktur baja dengan AISC-LRFD 2005: Teori, Bambang Suryatmono, Unpar

Lambert Tall, **STRUCTURAL STEEL DESIGN**, 2nd Edition, The Ronald Press Company, New York, 1972.

dimana :

$$a = c = 20,7 \text{ mm}$$

$$b = d = 23 \text{ mm}$$

$$t = 2,3 \text{ mm}$$

$$e = \frac{b^2 + ct}{2(23 + 20,7)}$$

$$= \frac{23^2 + (20,7 * 2,3)}{2(23 + 20,7)}$$

$$= 6,59 \text{ mm}$$

$$A = t(b + c)$$

$$= 2,3(23 + 20,7)$$

$$= 100,51 \text{ mm}^2$$

3. Perhitungan Momen Inersia

$$K = \frac{abcdt}{4(b + c)}$$

$$= \frac{20,7 * 23 * 20,7 * 23 * 2,3}{4(23 + 20,7)}$$

$$= 2982,52 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia terhadap sumbu x-x

$$I_x = \frac{1}{3} [t(d - y)^3 + by^3 - a(y - t)^3]$$

$$I_x = \frac{1}{3} [2,3(23 - 6,59)^3 + 23 * 6,59^3 - 20,7(6,59 - 2,3)^3]$$

$$= 5037,26 \text{ mm}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I_x}{A_{\text{tungal}}}}$$

$$= \sqrt{\frac{5037,26}{100,51}} = 7,1 \text{ mm}$$

Momen Inersia terhadap sumbu y-y

$$I_y = \frac{1}{3} [t(b-x)^3 + dx^3 - c(x-t)^3]$$

$$I_y = \frac{1}{3} [2,3(23-6,59)^3 + 23 \cdot 6,59^3 - 20,7(6,59-2,3)^3]$$

$$= 5037,26 \text{ mm}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A_{\text{tungal}}}}$$

$$= \sqrt{\frac{5037,26}{100,51}} = 7,1 \text{ mm}$$

Momen Inersia terhadap sumbu z-z

$$I_z = I_x \sin^2 \theta + I_y \cos^2 \theta + K \sin 2\theta$$

$$= 5037,26 \sin^2 45 + 5037,26 \cos^2 45 + 2982,52 \sin(2 \cdot 45)$$

$$= 8019,78 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia terhadap sumbu w-w

$$I_w = I_x \cos^2 \theta + I_y \sin^2 \theta - K \sin 2\theta$$

$$= 5037,26 \cos^2 45 + 5037,26 \sin^2 45 - 2982,52 \sin(2 \cdot 45)$$

$$= 2054,74 \text{ mm}^4$$

$$i_\eta = \sqrt{\frac{I_w}{A_{\text{tungal}}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2054,74}{100,51}} = 4,52 \text{ mm}$$

4. Perencanaan Batang Tersusun

Perhitungan Inersia Batang Tersusun

$$A_{gab} = 4 * A_{tunggal}$$

$$= 4 * 100,51$$

$$= 402,04 \text{ mm}^2$$

$$e = 6,59 \text{ mm}$$

a. Sampel I

Momen Inersia batang tersusun

$$a = \left(\frac{b}{2}\right) - e$$

$$= \left(\frac{80}{2}\right) - 6,59 = 33,4 \text{ mm}$$

$$I_{gab} = 4.I + 4.A_t.(a)^2$$

$$= (4 * 5037,26) + 4 * 100,51 * (33,4)^2$$

$$= 468648,78 \text{ mm}^4$$

Harga kelangsingan batang tersusun

$$c = 80 - (2 * 6,59)$$

$$= 66,8 \text{ mm}$$

$$r_{gab} = \sqrt{\frac{I_{gab}}{A_{gab}}}$$

b. Sampel II

Momen Inersia batang tersusun

$$a = \left(\frac{b}{2}\right) - e$$

$$= \left(\frac{120}{2}\right) - 6,59 = 53,4 \text{ mm}$$

$$I_{gab} = 4.I + 4.A_t.(a)^2$$

$$= (4 * 5037,26) + 4 * 100,51 * (53,4)^2$$

$$= 1166590,22 \text{ mm}^4$$

Harga kelangsingan batang tersusun

$$c = 120 - (2 * 6,59)$$

$$= 106,8 \text{ mm}$$

$$r_{gab} = \sqrt{\frac{I_{gab}}{A_{gab}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1166590,22}{402,04}} = 53,86 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{(1)(4000)}{53,86} = 74,27$$

$$\lambda \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$\geq 1,2 * 8,855$$

$$\geq 10,626 \dots \text{ok}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A.Ld^3}{z.Ad.L_1.c^2} + \frac{A.c}{2.Ah.L_1}}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{402 \cdot 233,2^3}{2 \cdot 154 \cdot 200 \cdot 106,8^2} + \frac{402 \cdot 106,8}{2 \cdot 154 \cdot 200}}$$

$$= 8,855$$

$$\lambda_1 \leq 50 \dots \text{ok}$$

kelangsingan ideal dari komponen struktur tersusun dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\lambda_r = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

$$\lambda_r = \sqrt{74,2^2 + \frac{2}{2} 8,855^2}$$

$$= 74,727$$

$$\lambda_1 \geq 1,2 \cdot \lambda_1$$

$$\geq 1,2 \cdot 8,855$$

$$\geq 10,727 \dots \text{ok}$$

c. Sampel III

Momen Inersia batang tersusun

$$a = \left(\frac{b}{2} \right) - e$$

$$= \left(\frac{160}{2} \right) - 6,59 = 73,4 \text{ mm}$$

$$I_{gab} = 4 \cdot I + 4 \cdot A_t \cdot (a)^2$$

$$= (4 \cdot 5037,26) + 4 \cdot 100,51 \cdot (73,4)^2$$

$$= 2186163,66 \text{ mm}^4$$

Harga kelangsingan batang tersusun

$$c = 160 - (2 * 6,59)$$

$$= 146,8 \text{ mm}$$

$$r_{gab} = \sqrt{\frac{I_{gab}}{A_{gab}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2186163,66}{402,04}} = 73,74 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{(1)(4000)}{73,74} = 54,24$$

$$\lambda \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$\geq 1,2 * 7,719$$

$$\geq 9,263 \dots \text{ok}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A.Ld^3}{z.Ad.L_1.c^2} + \frac{A.c}{2.Ah.L_1}}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{402 * 256,1^3}{2 * 154 * 200 * 146,8^2} + \frac{402 * 146,8}{2 * 154 * 200}}$$

$$= 7,719$$

$$\lambda_1 \leq 50 \dots \text{ok}$$

kelangsingan ideal dari komponen struktur tersusun dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\lambda_r = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

$$\begin{aligned}\lambda &\geq 1,2 * \lambda_1 \\ &\geq 1,2 * 7,329 \\ &\geq 8,795 \dots \text{ok}\end{aligned}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A.Ld^3}{z.Ad.L_1.c^2} + \frac{Ac}{2.Ah.L_1}}$$

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \pi \sqrt{\frac{402 * 282,8^3}{2 * 154 * 200 * 186,8^2} + \frac{402 * 186,8}{2 * 154 * 200}} \\ &= 7,329\end{aligned}$$

$$\lambda_1 \leq 50 \dots \text{ok}$$

kelangsingan ideal dari komponen struktur tersusun dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\lambda_r = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

$$\lambda_r = \sqrt{42,64^2 + \frac{2}{2} 7,329^2}$$

$$= 43,265$$

$$\begin{aligned}\lambda_r &\geq 1,2 * \lambda_1 \\ &\geq 1,2 * 7,329 \\ &\geq 8,795 \dots \text{ok}\end{aligned}$$

LAMPIRAN 2

**PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS
KOLOM TERSUSUN DENGAN VARIASI
JARAK ANTAR BATANG TUNGGAL**

PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS KOLOM TERSUSUN PROFIL SIKU DENGAN PERANGKAI TRANSVERSAL DAN DIAGONAL DENGAN VARIASI JARAK ANTAR BATANG TUNGGAL

A. Perhitungan Teoritis Beban Kritis

Beban kritis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.3.6)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \cdot \frac{d^3}{L_1 b^2 A d E} \left[\frac{b^3 A d}{d^3 A h} + 1 \right]}$$

Dimana berda uji menggunakan empat profil siku 23 x 23 x 2,3 mm dengan perangkat transversal dan diagonal menggunakan tulangan Ø 7 mm dan jarak antar batang perangkat $\pi = 3,14$, $\mu = 0,3$, $E = 2 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $A = 4,02 \text{ cm}^2$, $e = 0,66 \text{ cm}$

$$L_1 \leq i_y \cdot 50$$

$$\leq 0,425 \cdot 50$$

$\leq 22,58 \text{ cm}$, maka digunakan :

$$L_1 = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$$

Sampel I

$$b = 8 \text{ cm} = 80 \text{ mm}$$

$$e = 0,66 \text{ cm} = 6,6 \text{ mm}$$

$$a = \left(\frac{b}{2}\right) - e = \left(\frac{8}{2}\right) - 0,66 = 3,34 \text{ cm} = 33,4 \text{ mm}$$

$$I = 5037,26 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} I_g &= (4 * I) + (4 * A_t * (a)^2) \\ &= (4 * 5037,26) + (4 * 100,51 * 33,4^2) \\ &= 468648,78 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{I_1^2 + b^2} \\ &= \sqrt{200^2 + 80^2} \\ &= 215,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_d &= 4 * 3,14 * (3,5)^2 \\ &= 154 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_h &= 4 * 3,14 * (3,5)^2 \\ &= 154 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{gab} &= \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \\ &= \sqrt{\frac{468548,78}{402}} \end{aligned}$$

$$= 34,14 \text{ mm}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \cdot \frac{d^3}{L \cdot b^2 \cdot A_d E} \left[\frac{b^3 A_d}{d^3 A_h} + 1 \right]}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 2 * 10^5 * 46864878}{4000^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 * 2 * 10^5 * 46864878}{4000^2} \cdot \frac{2154^3}{200 * 80^2 * 154 * 2 * 10^5} \left[\frac{80^3 * 154}{2154^3 * 154} + 1 \right]}$$

$$P_{cr} = 55,25 \text{ kN}$$

didapat besarnya beban kritis untuk masing-masing sampel sebagai berikut :

Tabel L2.1 Hasil Perhitungan Beban Kritis Teoritis

L (mm)	e (mm)	b (mm)	a (mm)	At (mm ²)	I _t (mm ⁴)	r _t (mm)	Ag (mm ²)	I _g (mm ⁴)	r _g (mm)	KL / r
4000	6.6	80	33.4	100.51	5037.26	0.71	4.02	46.86	3.35	119.4
4000	6.6	120	53.4	100.51	5037.26	0.71	4.02	116.65	5.39	74.21
4000	6.6	160	73.4	100.51	5037.26	0.71	4.02	218.59	7.37	54.27
4000	6.6	200	93.4	100.51	5037.26	0.71	4.02	352.7	9.37	42.69

L1 (mm)	Lo (mm)	Ah (mm)	Ad (mm)	a/L1	E (MPa)	Pcr (kN)	Pcr (max)	Pcr / Py	Pcr / Py (max)
200	215	154	154	0.17	2*10 ⁵	55.25	104.44	0.529	1.000
200	233	154	154	0.27	168191.5	140.5	104.44	1.345	1.000
200	256	154	154	0.37	168191.5	260.1	104.44	2.49	1.000
200	283	154	154	0.47	168191.5	412.4	104.44	3.949	1.000

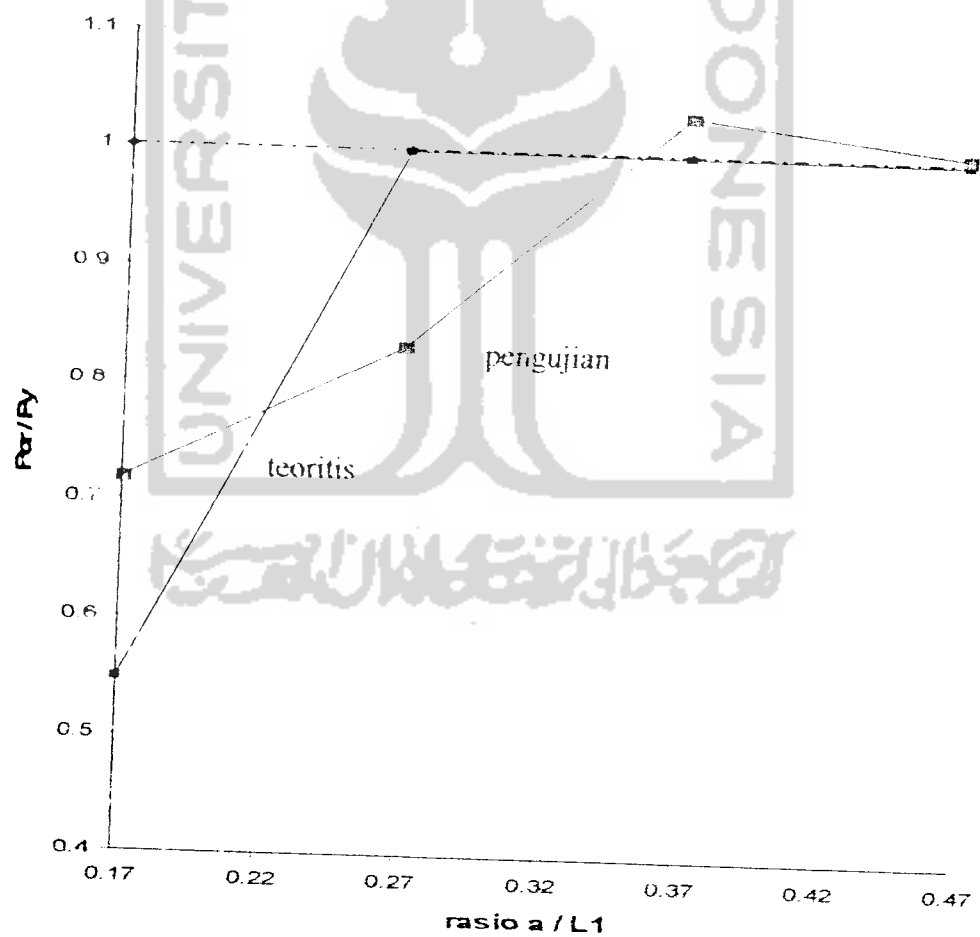
B. Perbandingan Beban Kritis (P_{cr}) Hasil Pengujian dengan Teoritis

Perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan beban kritis teoritis dapat ditampilkan dalam bentuk table dan grafik berikut :

Tabel L2.2 Perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan teoritis

rasio a / L_1	Beban tekan kritis Teoritis (kN)	Beban tekan Kritis Pengujian Sampel (kN)	$P_{cr} / (A \cdot F_y)$ Teoritis	$P_{cr} / (A \cdot F_y)$ Pengujian Sampel
0,17	55,3	75	0.529	0.718
0,27	104,4	87	1.000	0.833
0,37	104,4	108	1.000	1.034
0,47	104,4	105	1.000	1.005

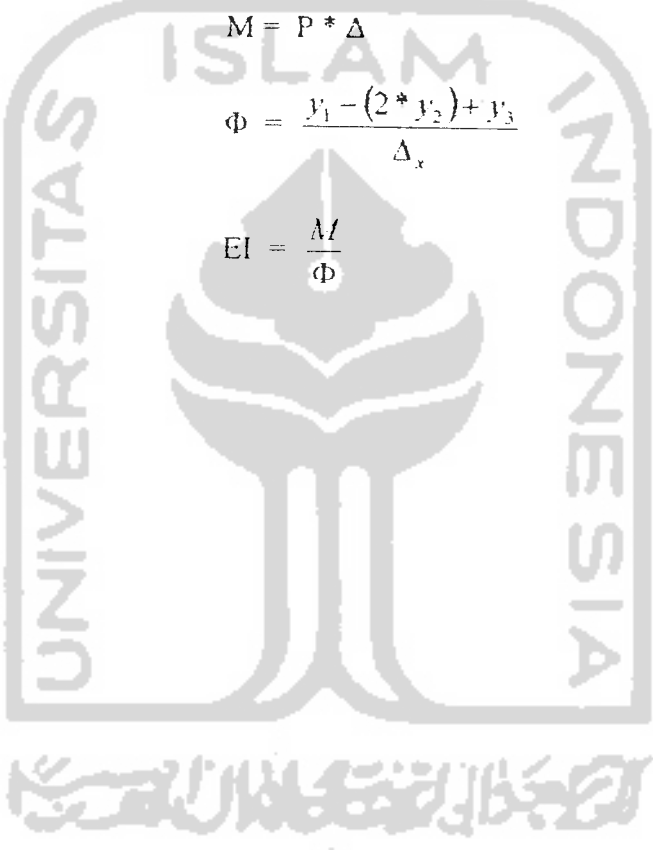
Dari tabel L2.2 dapat ditampilkan dalam grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) antara beban kritis pengujian dengan beban kritis teoritis.



Gambar L2.1 Perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan beban kritis teoritis.

B. Perbandingan momen-kelengkungan kolom tersusun profil siku dengan perangkai diagonal dengan kolom tersusun profil siku tanpa perangkai diagonal

Perhitungan momen (M) dan kelengkungan (Φ) dapat dilihat dengan persamaan berikut :



$$M = P \cdot \Delta$$

$$\Phi = \frac{y_1 - (2 \cdot y_2) + y_3}{\Delta_x}$$

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



LAMPIRAN 3

TABEL DAN GRAFIK HASIL PENELITIAN

PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS KOLOM TERSUSUN
PROFIL SIKU AKIBAT VARIASI
JARAK ANTAR BATANG TUNGGAL

1. Hasil Pengujian Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Profil Siku

a. Sampel 1

$$\begin{aligned}\text{Beban Leleh} &= 600 \text{ kgf} \\ &= 9,81 * 600 = 5886 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban maksimum} &= 840 \text{ kgf} \\ &= 9,81 * 840 = 8240,4 \text{ N}\end{aligned}$$

Perhitungan

$$\text{Lebar (b)} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 2,3 \text{ mm}$$

$$A_0 = b \times t = 10 * 2,3 = 23 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan leleh baja (Fy)} &= \frac{Py}{A_0} \\ &= \frac{5886}{23} \\ &= 255,9 \text{ N/mm}^2 = 255,9 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ultimit baja (Fu)} &= \frac{Pu}{A_0} \\ &= \frac{8240,4}{23}\end{aligned}$$

$$= 358,28 \text{ N/mm}^2 = 358,28 \text{ MPa}$$

b. Sampel 2

$$\text{Beban Leleh} = 627,5 \text{ kgf}$$

$$= 9,81 * 627,5 = 6155,775 \text{ N}$$

$$\text{Beban maksimum} = 880 \text{ kgf}$$

$$= 9,81 * 880 = 8632,8 \text{ N}$$

Perhitungan

$$\text{Lebar (b)} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 2,3 \text{ mm}$$

$$A_0 = b \times t = 10 * 2,3 = 23 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baja (Fy)} &= \frac{P_y}{A_0} \\ &= \frac{6155,775}{23} \\ &= 267,64 \text{ N/mm}^2 = 267,64 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja (Fu)} &= \frac{P_u}{A_0} \\ &= \frac{8632,8}{23} \\ &= 375,34 \text{ N/mm}^2 = 375,34 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. Sampel 3

$$\text{Beban Leleh} = 600 \text{ kgf}$$

$$9,81 * 600 = 5886 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban maksimum} &= 802,5 \text{ kgf} \\ &= 9,81 * 802,5 = 7872,52 \text{ N}\end{aligned}$$

Perhitungan

$$\text{Lebar (b)} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 2,3 \text{ mm}$$

$$A_0 = b \times t = 10 * 2,3 = 23 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan leleh baja (Fy)} &= \frac{Py}{A_0} = \frac{5886}{23} \\ &= 255,9 \text{ N/mm}^2 = 255,9 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ultimit baja (Fu)} &= \frac{Pu}{A_u} = \frac{7872,52}{23} \\ &= 342,28 \text{ N/mm}^2 = 342,28 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tabel L3.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Tegangan Leleh (Fy) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Fu) (Mpa)
Profil Siku	259,8	358,6

2. Hasil Pengujian Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Tulangan

a. Sampel 1

$$\begin{aligned}\text{Beban Leleh} &= 970 \text{ kgf} \\ &= 9,81 * 970 = 9515,7 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\text{Beban maksimum} = 1420 \text{ kgf}$$

$$= 9,81 * 1420 = 13930,2 \text{ N}$$

Perhitungan

$$\text{Jari-jari } (r) = 3,5 \text{ mm}$$

$$A_0 = \pi \times r^2 = 3,14 * 3,5^2 = 38,46 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baja } (F_y) &= \frac{P_y}{A_0} \\ &= \frac{9515,7}{38,46} \\ &= 247,4 \text{ N/mm}^2 = 247,4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja } (F_u) &= \frac{P_u}{A_0} \\ &= \frac{13930,2}{38,46} \\ &= 362,2 \text{ N/mm}^2 = 362,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Sampel 2

$$\begin{aligned} \text{Beban leleh} &= 1060 \text{ kgf} \\ &= 9,81 * 1060 = 10398,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban maksimum} &= 1460 \text{ kgf} \\ &= 9,81 * 1460 = 14322,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan

$$\text{Jari-jari } (r) = 3,5 \text{ mm}$$

$$A_0 = \pi \times r^2 = 3,14 * 3,5^2 = 38,46 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan leleh baja (Fy)} &= \frac{P_y}{A_0} \\
 &= \frac{10398,6}{38,46} \\
 &= 270,37 \text{ N/mm}^2 = 270,37 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan ultimit baja (Fu)} &= \frac{P_u}{A_0} \\
 &= \frac{14322,6}{38,46} \\
 &= 372,4 \text{ N/mm}^2 = 372,4 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

c. Sampel 3

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Leleh} &= 965 \text{ kgf} \\
 &= 9,81 * 965 = 9466,65 \text{ N} \\
 \text{Beban maksimum} &= 1110 \text{ kgf} \\
 &= 9,81 * 1110 = 10889,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Perhitungan

$$\text{Jari-jari (r)} = 3,5 \text{ mm}$$

$$A_0 = \pi \times r^2 = 3,14 * 3,5^2 = 38,46 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan leleh baja (Fy)} &= \frac{P_y}{A_0} \\
 &= \frac{9466,65}{38,46} \\
 &= 246,14 \text{ N/mm}^2 = 246,14 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan ultimit saja (Fu)} &= \frac{Pu}{A_o} \\
 &= \frac{10889,1}{38,46} \\
 &= 283,13 \text{ N/mm}^2 = 283,13 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel L3.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Tegangan Leleh (Fy) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Fu) (Mpa)
Profil Siku	254,61	365,98

3. Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

Tabel L3.3 Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

Benda Uji	Beban Maksimum
Sampel 1	1226,25 kg
Sampel 2	1030,05 kg
Sampel 3	1231,15 kg

4. Tabel Beban Lendutan Benda Uji

a. Kolom tersusun dengan perangkat diagonal

Tabel L3.4 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($a/L_1=0,17$)

Beban (kN)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)
0	0	0	0
6	1.72	1.64	1.54
12	2.8	2.73	2.63
18	3.94	3.94	3.68
24	5.14	5.2	4.87
30	6.9	7.04	6.61
36	8.55	8.8	8.36
42	10.4	10.77	10.24
48	12.45	14.05	12.65
54	14.98	17.45	15.48
60	17.55	21.2	18.5
66	21.27	25.55	21.28
72	25.42	30.75	25.9
73.5	33.4	38.7	33.2
73.5	33.7	39.2	33.45
75	36.6	43.8	36.5

Tabel L3.5 Beban Lendutan Benda Uji 2 ($a/L_1=0,27$)

Beban (kN)	kin (mm)	tengah (mm)	kanan (mm)
0	0	0	0
6	1	1.5	1.4
12	1.8	2.3	2.3
18	2.5	3	3.1
24	3.4	3.7	3.9
30	4.5	5	5
36	5.5	6.3	6.1
42	6.7	7.4	7.3
48	8	9.4	8.9
54	9.6	11.6	10.7
60	11.4	14	12.7
66	14.1	17.1	14.6
72	16.8	20.7	16.3
78	20.3	25.7	21.54
84	23	28.8	22.9
87	25.7	32.4	24.6

Tabel L3.6 Beban Lendutan Benda Uji 3 ($a/L_1=0,37$)

Beban (kN)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)
0	0	0	0
6	1.05	1.5	1.22
12	1.62	2.07	2.04
18	1.96	2.2	2.43
24	2.22	2.42	2.59
30	3.08	3.21	3.28
36	3.61	4.08	4
42	4.22	4.37	4.44
48	4.86	5.24	5.29
54	5.62	6.18	6.07
60	6.75	7.22	7.23
66	8.34	9.12	7.8
72	9.7	11.21	9.06
78	10.75	13.25	10.05
84	11.79	14.35	10.92
90	13	16.41	12.94
96	13.85	19.51	14.75
102	15.95	21.12	14.78
108	17.8	26.22	16.84

Tabel L3.7 Beban Lendutan Benda Uji 4 ($a/L_1=0,47$)

Beban (kN)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)
0	0	0	0
6	0.37	0.62	0.5
12	0.88	1.46	1.54
18	1.02	1.52	1.48
24	1.2	1.7	1.66
30	1.49	2.46	2.51
36	2.24	2.7	2.24
42	2.85	3.62	3.26
48	4.2	4.65	3.84
54	5.35	5.79	5.1
60	6.31	7.42	7.01
66	7.51	8.6	8.44
72	9.96	10.45	9.81
78	11.81	12.4	11.86
84	13.74	14.73	14.58
90	15.73	16.35	15.96
96	17.62	17.86	16.97
102	18.46	19.12	18.05
105	18.92	19.96	18.84

b. Kolom tersusun tanpa perangkat diagonal

Tabel L3.8 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($a/L_1=0,17$)

Beban (ton)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)
0	0	0	0
0.6	5.12	6.9	5.18
1.2	8.27	9.45	9.12
1.8	11.3	14.38	13.14
2.4	18.9	21.04	20.33
3	21.05	24.7	24.15
3.6	28.2	31.22	30.3
4.2	38.35	41.58	40.15

Tabel L3.9 Beban Lendutan Benda Uji 2 ($a/L_1=0,27$)

Beban (ton)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)
0	0	0	0
0.6	2.61	2.98	3.94
1.2	5.55	5.1	6.97
1.8	8.66	9.51	9.09
2.4	11.25	12.35	12.04
3	14.76	15	15.23
3.6	19.27	20.92	20.17
4.2	24.87	27	25.04
4.8	37.34	40.28	38.1

Tabel L3.10 Beban Lendutan Benda Uji 3 ($a/L_1=0,37$)

Beban (ton)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)
0	0	0	0
0.6	0.55	0.96	1.38
1.2	0.91	1.36	1.82
1.8	1.11	1.51	1.9
2.4	1.54	1.84	2.15
3	3.72	4.22	4.72
3.6	6.15	6.56	6.95
4.2	12.22	10.98	9.75
4.8	16.8	15.3	13.8
5.4	23.76	21.1	18.48

Tabel L3.11 Beban Lendutan Benda Uji 4 ($a/L_1=0,47$)

Beban (ton)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)
0	0	0	0
0.6	1.65	2.1	2
1.2	3.62	4.2	3.88
1.8	6.42	6.5	5.12
2.4	8.11	9.1	7.32
3	12.61	12.25	11.39
3.6	18.13	17.92	16.93

5. Tabel Momen-Kelengkungan Benda Uji

a. Kolom tersusun dengan perangkat diagonal

Tabel L3.12 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 1

Beban (kN)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0	0	0	0	0	0
6	1.72	1.64	1.54	9.84	1.25E-07
12	2.8	2.73	2.63	32.76	1.88E-07
18	3.94	3.94	3.68	70.92	1.63E-06
24	5.14	5.2	4.87	124.80	2.44E-06
30	6.9	7.04	6.61	211.20	3.56E-06
36	8.55	8.8	8.36	316.80	4.31E-06
42	10.4	10.77	10.24	452.34	5.62E-06
48	12.45	14.05	12.65	674.40	1.88E-05
54	14.98	17.15	15.48	942.30	2.78E-05
60	17.55	21.2	18.5	1272.00	3.97E-05
66	21.27	25.55	21.28	1686.30	5.34E-05
72	25.42	30.75	25.9	2214.00	6.36E-05
73.5	33.4	38.7	33.2	2844.45	6.75E-05
73.5	33.7	39.2	33.45	2881.20	7.03E-05
75	36.6	43.8	36.5	3285.00	9.06E-05



Tabel L3.13 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 2

Beban (kN)	kiri (mm)	tengah (mm)	kanan (mm)	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0	0	0	0	0	0
6	1	1.5	1.4	9.00	3.75E-06
12	1.8	2.3	2.3	27.60	3.13E-06
18	2.5	3	3.1	54.00	2.50E-06
24	3.4	3.7	3.9	88.80	6.25E-07
30	4.5	5	5	150.00	3.13E-06
36	5.5	6.3	6.1	226.80	6.25E-06
42	6.7	7.4	7.3	310.80	5.00E-06
48	8	9.4	8.9	451.20	1.19E-05
54	9.6	11.6	10.7	626.40	1.81E-05
60	11.4	14	12.7	840.00	2.44E-05
66	14.1	17.1	14.6	1128.60	3.44E-05
72	16.8	20.7	16.3	1490.40	5.19E-05
78	20.3	25.7	21.54	2004.60	5.98E-05
84	23	28.8	22.9	2419.20	7.31E-05
87	25.7	32.4	24.6	2818.80	9.06E-05

Tabel L3.14 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 3

Beban (kN)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0	0	0	0	0	0
6	1.05	1.5	1.22	9.00	4.56E-06
12	1.62	2.07	2.04	24.84	3.00E-06
18	1.96	2.2	2.43	39.60	6.25E-08
24	2.22	2.42	2.59	58.08	1.87E-07
30	3.08	3.21	3.28	96.30	3.75E-07
36	3.61	4.08	4	146.88	3.44E-06
42	4.22	4.37	4.44	183.54	5.00E-07
48	4.86	5.24	5.29	251.52	2.06E-06
54	5.62	6.18	6.07	333.72	4.19E-06
60	6.75	7.22	7.23	432.20	2.87E-06
66	8.34	9.12	7.8	601.92	1.31E-05
72	9.7	11.21	9.06	807.12	2.29E-05
78	10.75	13.25	10.05	1033.50	3.56E-05
84	11.79	14.35	10.92	1205.40	3.74E-05
90	13	16.41	12.94	1476.90	4.30E-05
96	13.85	19.51	14.75	1872.96	6.51E-05
102	15.95	21.12	14.78	2154.24	7.19E-05
108	17.8	26.22	16.84	2831.76	1.11E-04

Tabel L3.15 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 4

Beban (kN)	Kiri (mm)	Tengah (mm)	Kanan (mm)	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0	0	0	0	0	0
6	0.37	0.62	0.5	3.72	2.31E-06
12	0.88	1.46	1.54	17.52	3.13E-06
18	1.02	1.52	1.48	27.36	3.38E-06
24	1.2	1.7	1.66	40.80	3.38E-06
30	1.49	2.46	2.51	73.80	5.75E-06
36	2.24	2.7	2.24	97.20	5.75E-06
42	2.85	3.62	3.26	152.04	7.06E-06
48	4.2	4.65	3.84	223.20	7.88E-06
54	5.35	5.79	5.1	312.66	7.06E-06
60	6.61	7.42	7.01	445.20	7.63E-06
66	7.51	8.6	8.44	567.60	7.81E-06
72	9.96	10.45	9.81	752.40	7.06E-06
78	11.81	12.4	11.86	967.20	7.06E-06
84	13.74	14.73	14.58	1237.32	7.13E-06
90	15.73	16.35	15.96	1471.50	6.31E-06
96	17.62	17.86	16.97	1714.56	7.06E-06
102	18.46	19.12	18.05	1950.24	1.08E-05
105	18.92	19.96	18.84	2095.80	1.35E-05

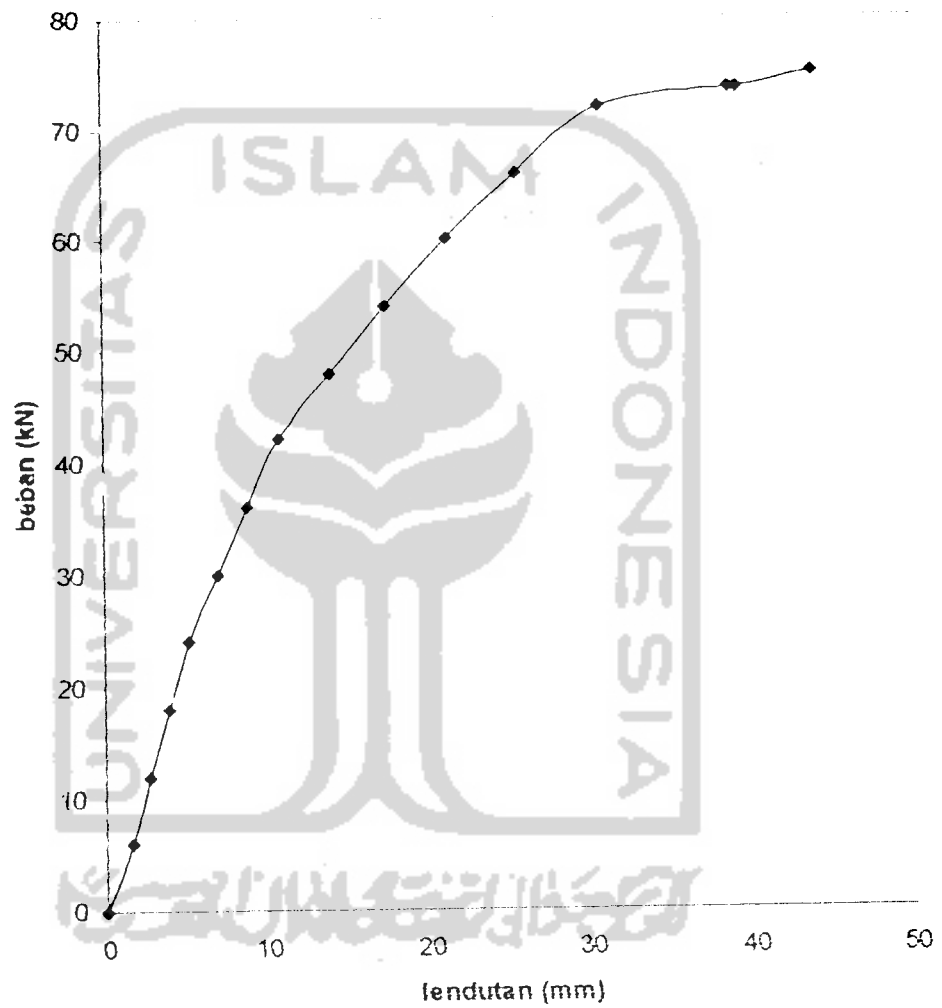
b. Kolom tersusun tanpa perangkat diagonal

Tabel L3.16 Beban Momen-Kelengkungan

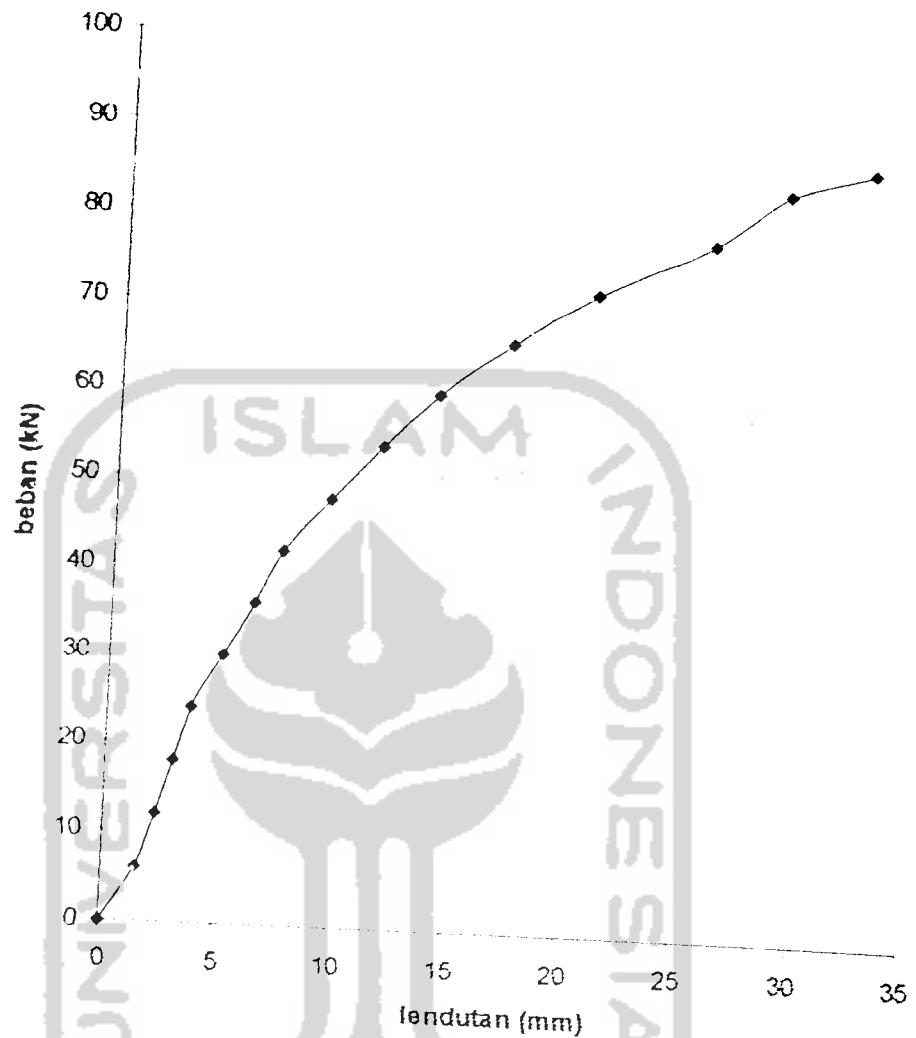
K1		K2		K3		K4	
Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0	0	0	0	0	0	0	0
41.40	2.19E-05	17.88	3.69E-06	5.76	6.25E-08	12.60	1.02E-05
113.40	9.44E-06	61.20	1.45E-05	16.32	6.25E-08	50.40	6.25E-06
258.84	2.70E-05	171.18	-7.94E-06	27.18	6.25E-08	117.00	7.25E-06
504.96	1.78E-05	296.40	-8.81E-06	44.16	6.25E-08	218.40	8.50E-06
741.00	2.63E-05	450.00	-6.25E-08	126.60	5.55E-21	367.50	3.00E-06
1123.92	2.46E-05	753.12	-1.50E-05	236.16	1.25E-07	645.12	8.63E-06
1746.36	2.91E-05	1134.00	-2.56E-05	461.16	6.25E-08		
		1933.44	-3.20E-05	734.40	0.00E+00		
				1139.40	2.50E-07		

6. Grafik Beban Lendutan Benda Uji

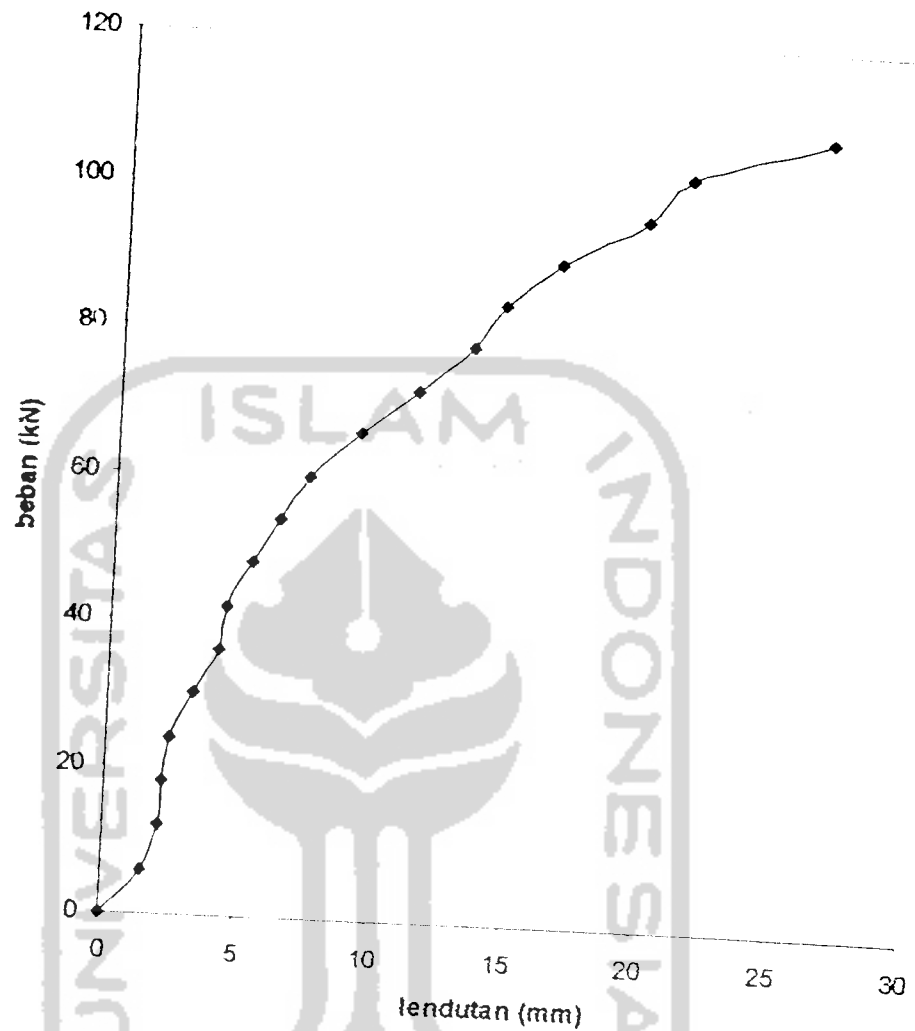
a. Kolom tersusun dengan perangkat diagonal



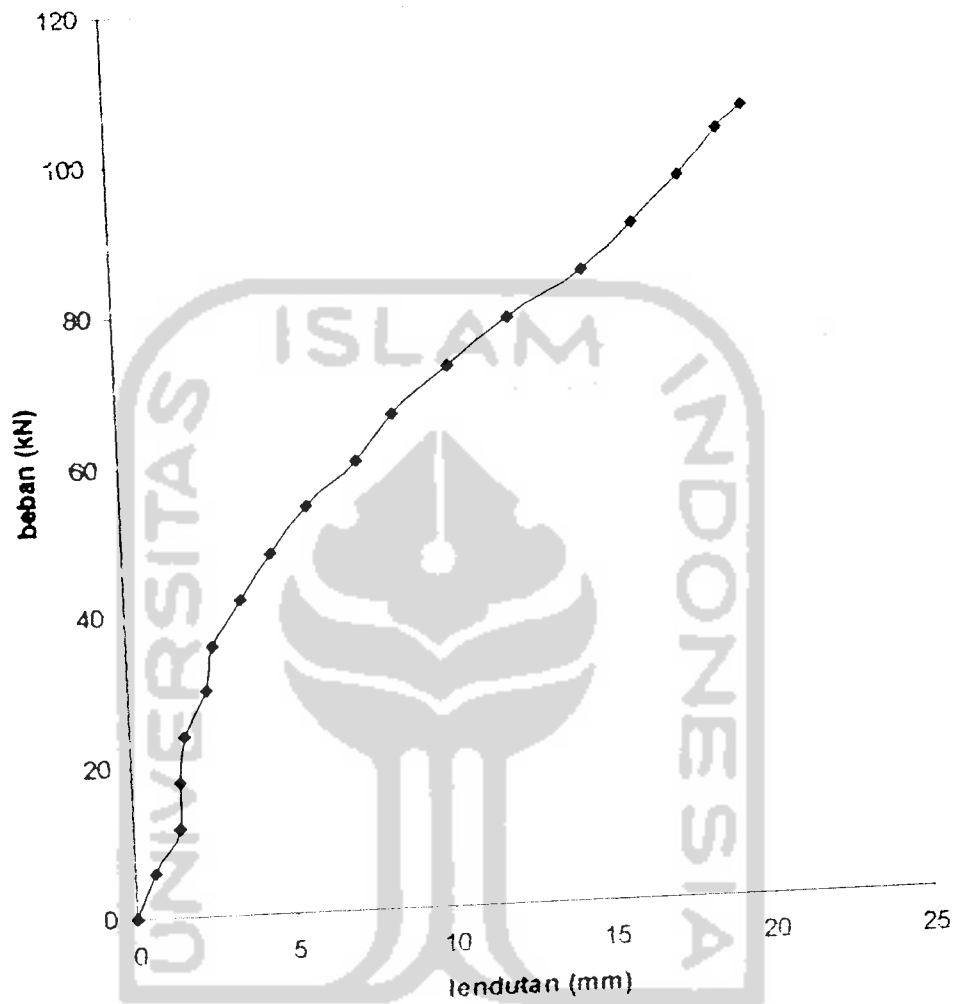
Gambar L3.1 Grafik hubungan beban-lendutan sample 1



Gambar I.3.2 Grafik hubungan beban-lendutan sample 2

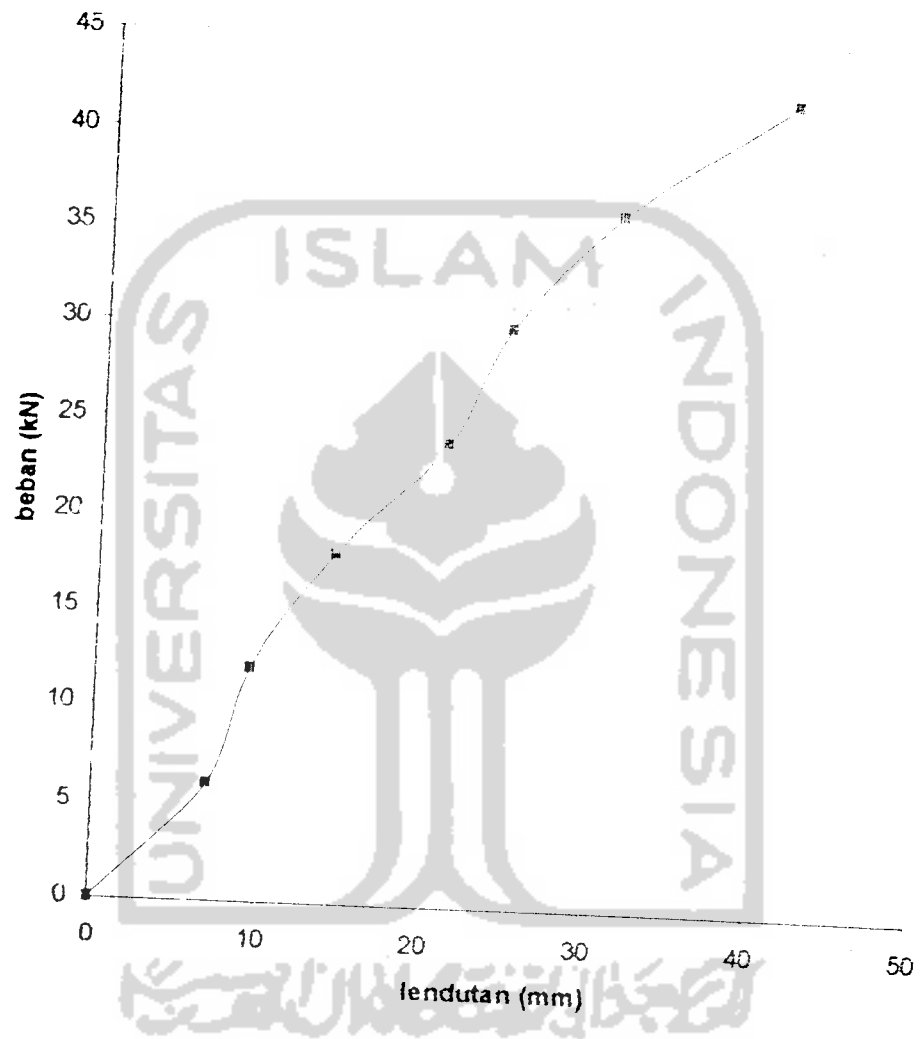


Gambar L3.3 Grafik hubungan beban-lendutan sampel 3

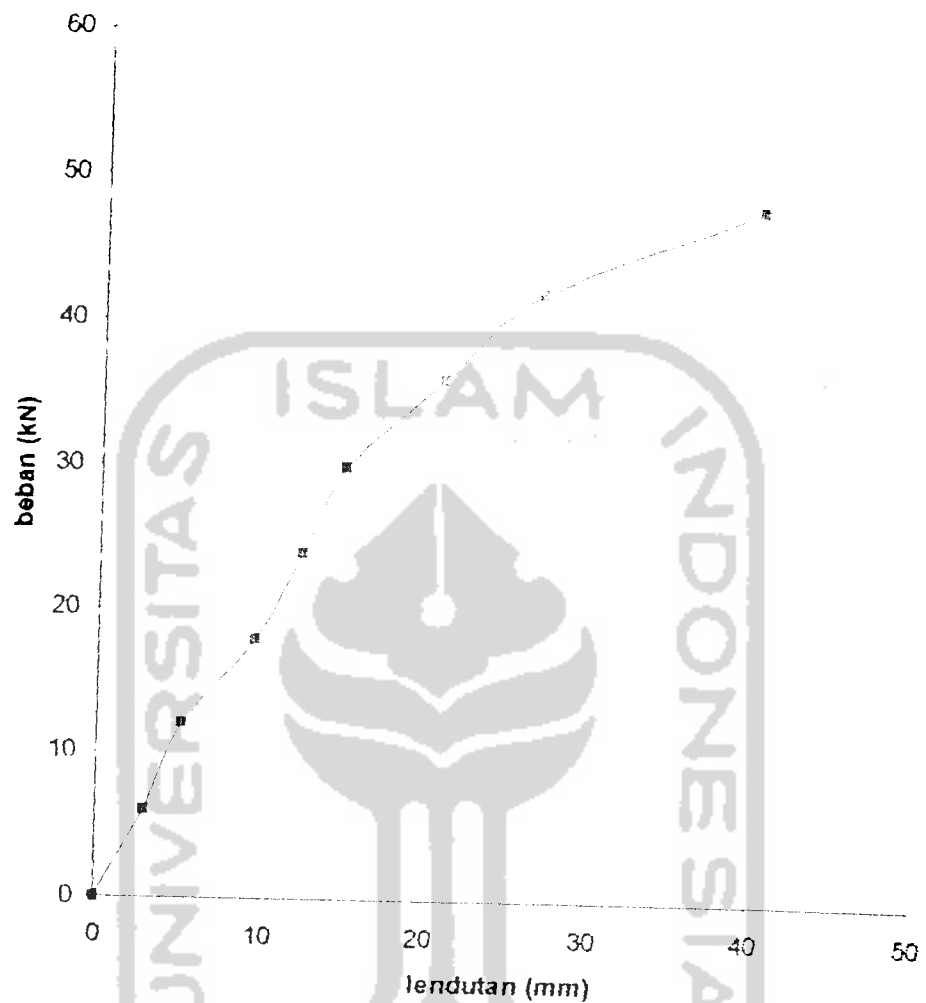


Gambar L3.4 Grafik hubungan beban-lendutan sample 4

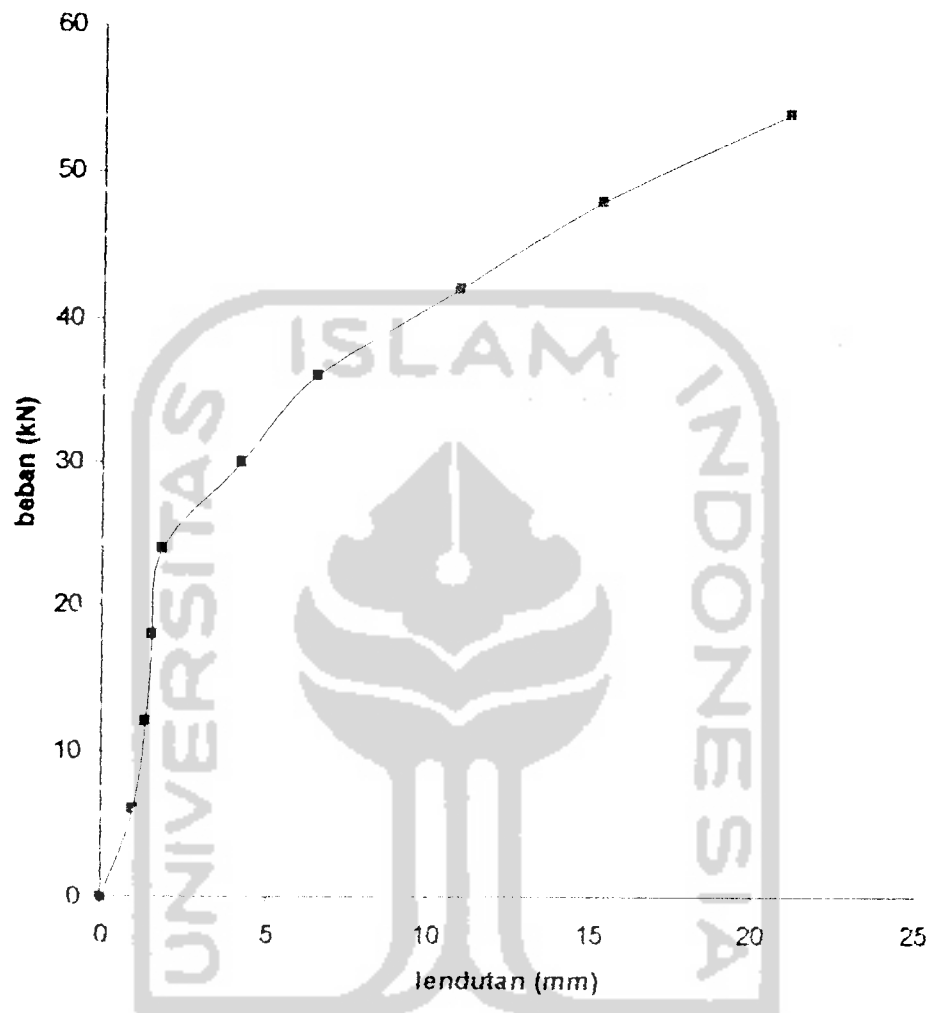
b. Kolom tersusun tanpa perangkat diagonal



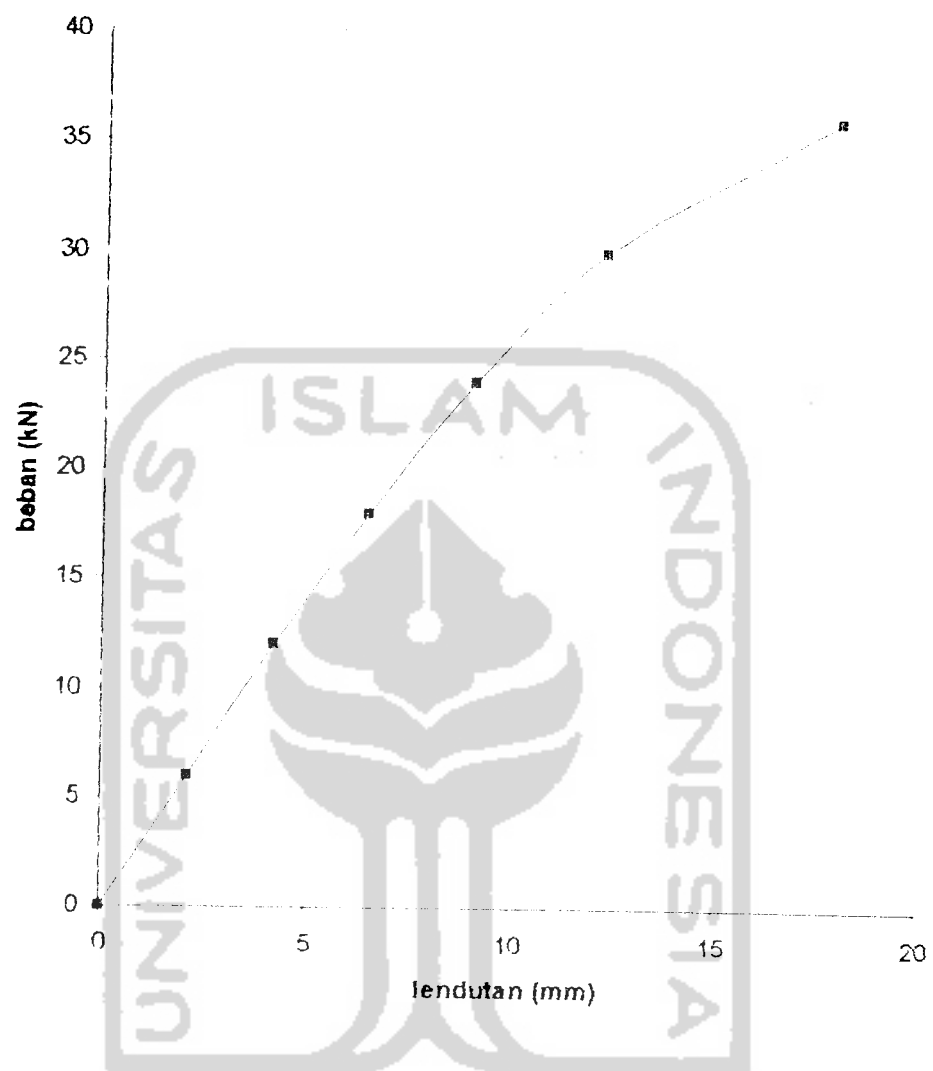
Gambar L3.5 Grafik hubungan beban-lendutan sample 1



Gambar L3.6 Grafik hubungan beban-lendutan sample 2

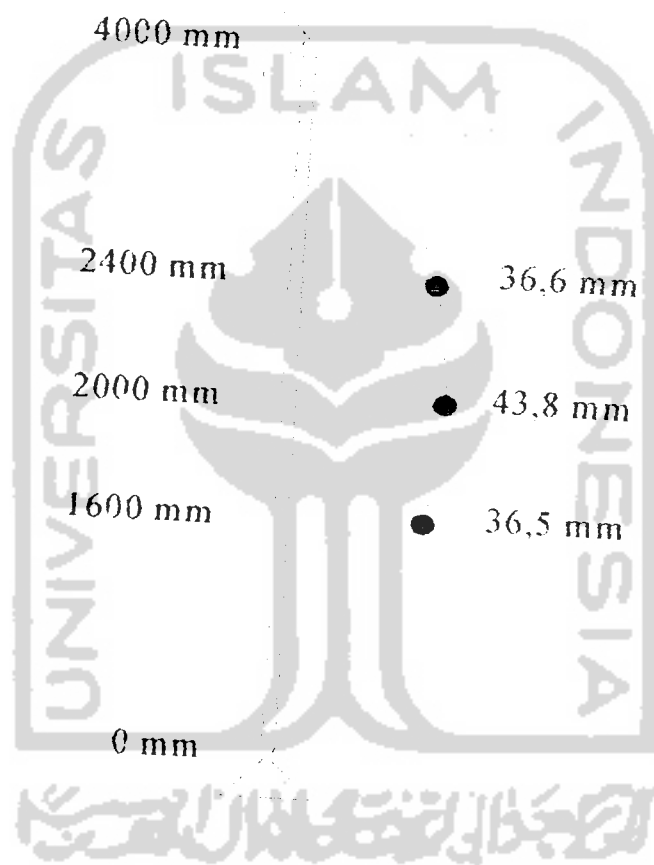


Gambar L3.7 Grafik hubungan beban-lendutan sample 3



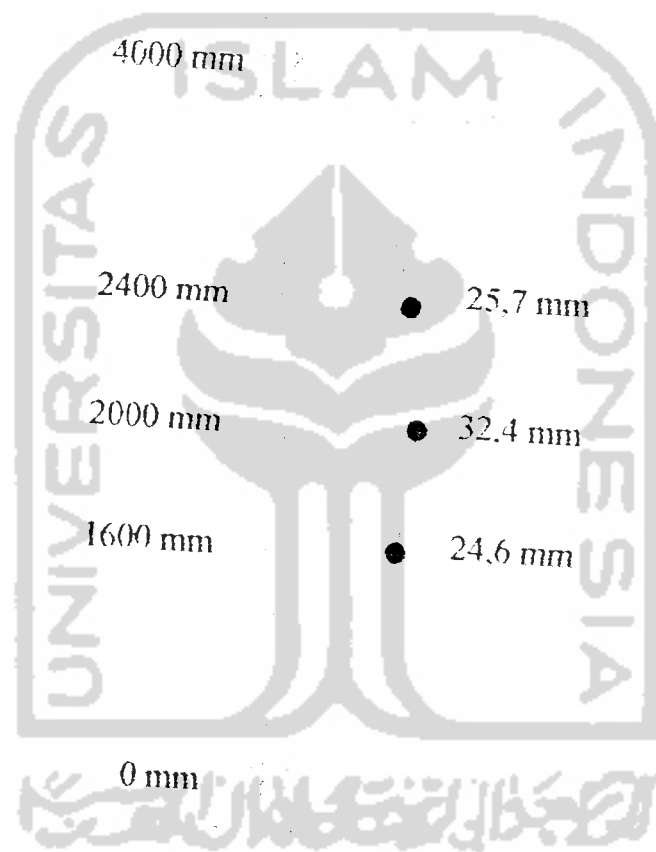
Gambar L3.8 Grafik hubungan beban-lendutan sample 4

$$P_{cr} = 87 \text{ kN}$$



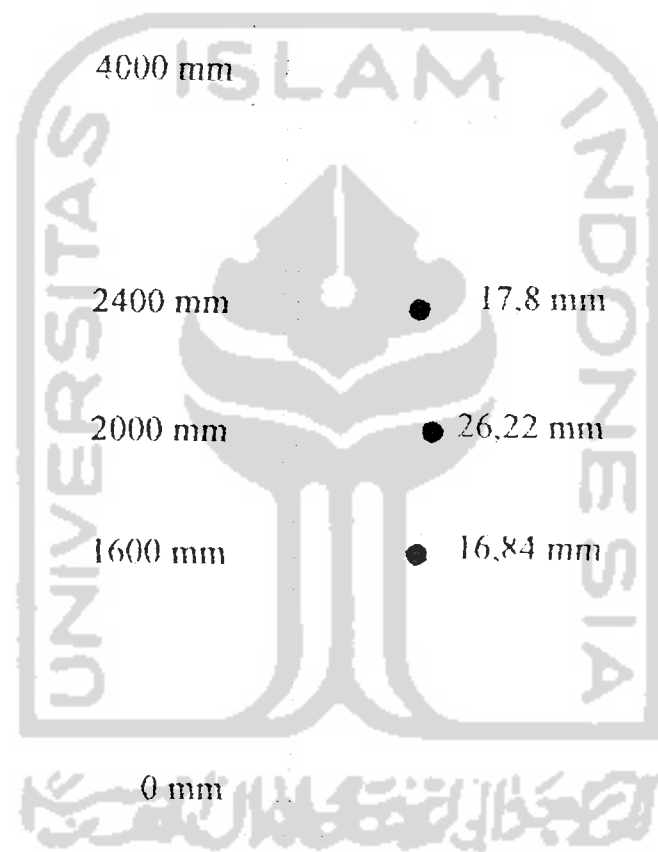
Gambar L3.9 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 1

$$P_{cr} = 75 \text{ kN}$$



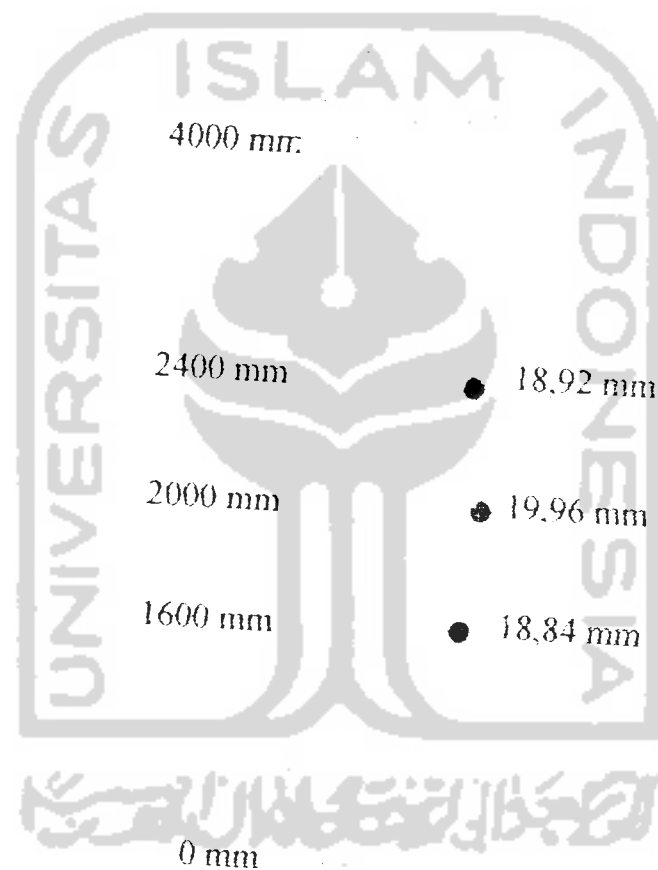
Gambar L3.10 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 2

$P_{cr} = 108 \text{ kN}$



Gambar L3.11 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 3

$$P_{cr} = 105 \text{ kN}$$

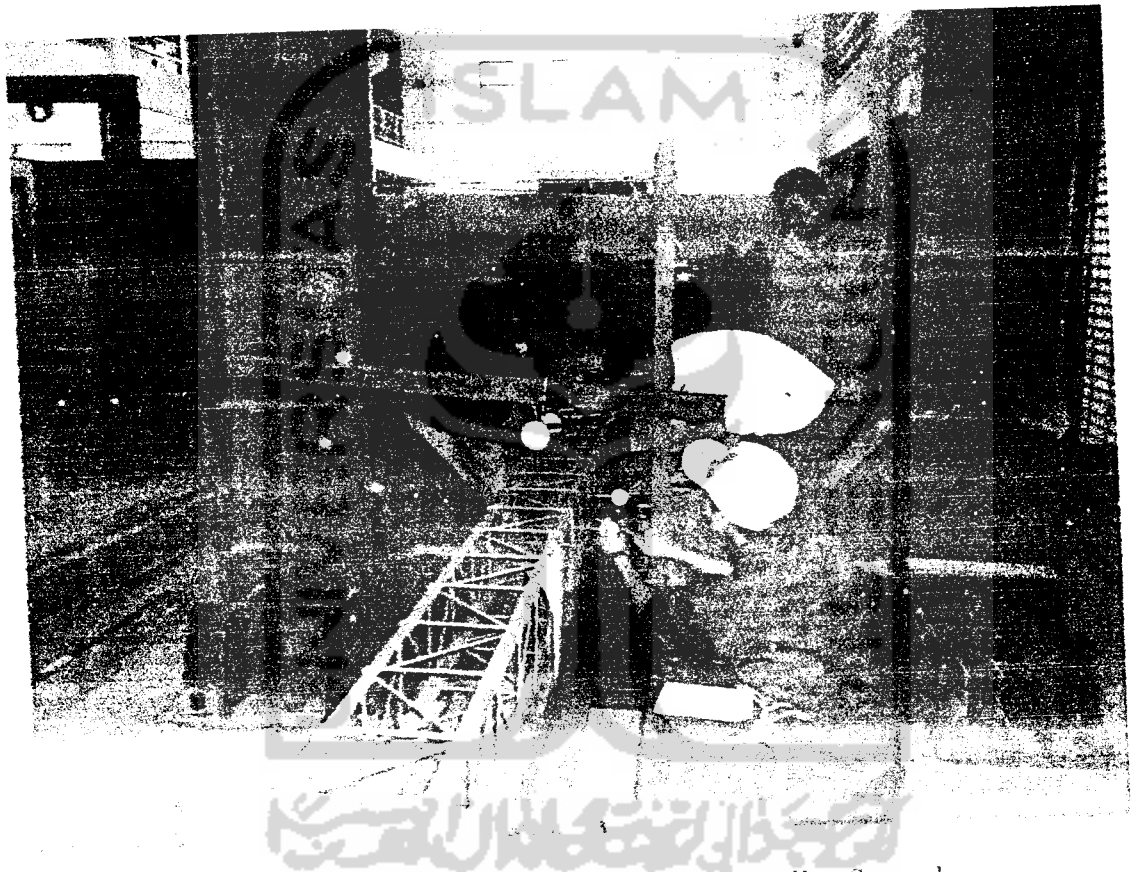


Gambar L3.12 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 4

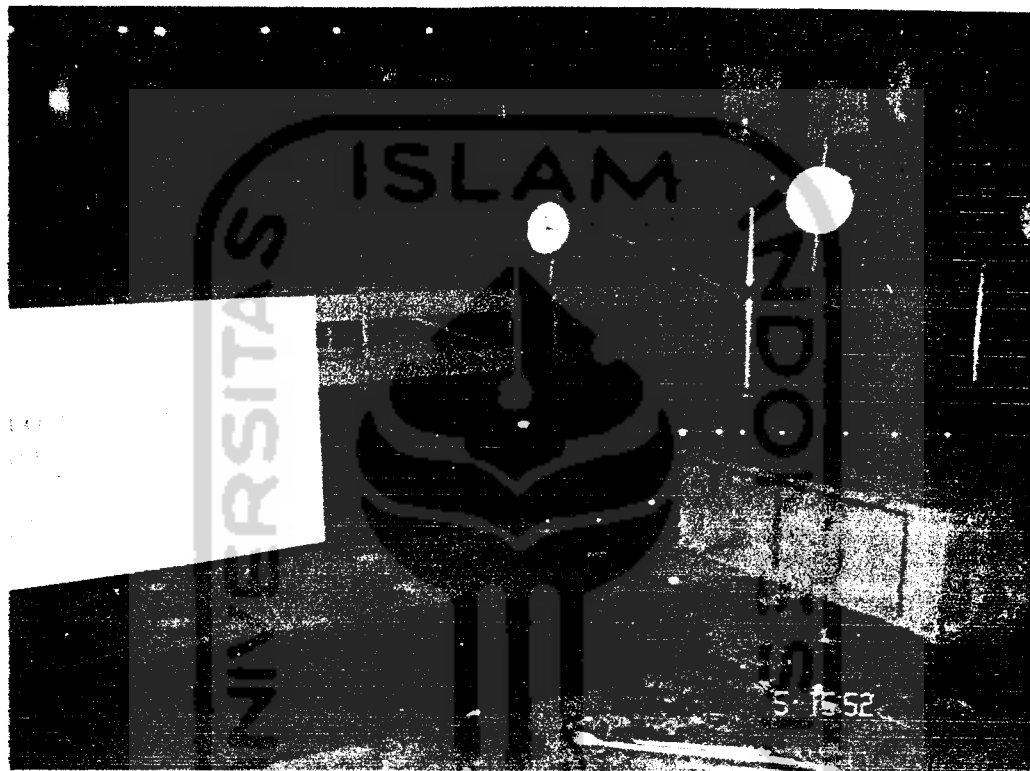
The background of the page features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem with the word "ISLAM" at the top, "UNIVERSITAS" on the left, and "INDONESIA" on the right. In the center is a stylized green and white symbol resembling a book or a flame. Below the shield is a line of Arabic calligraphy.

LAMPIRAN 4

**GAMBAR DAN DOKUMENTASI SAAT
FENGUJIAN**



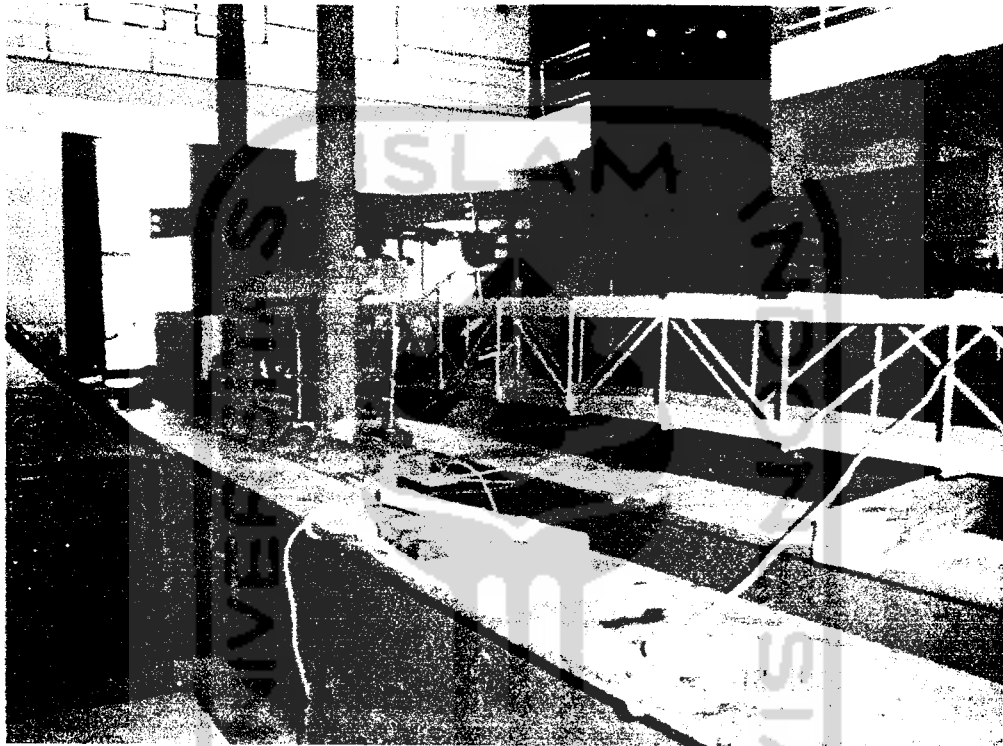
Gambar L4.1 Setting Peralatan Untuk Pengujian Sampel



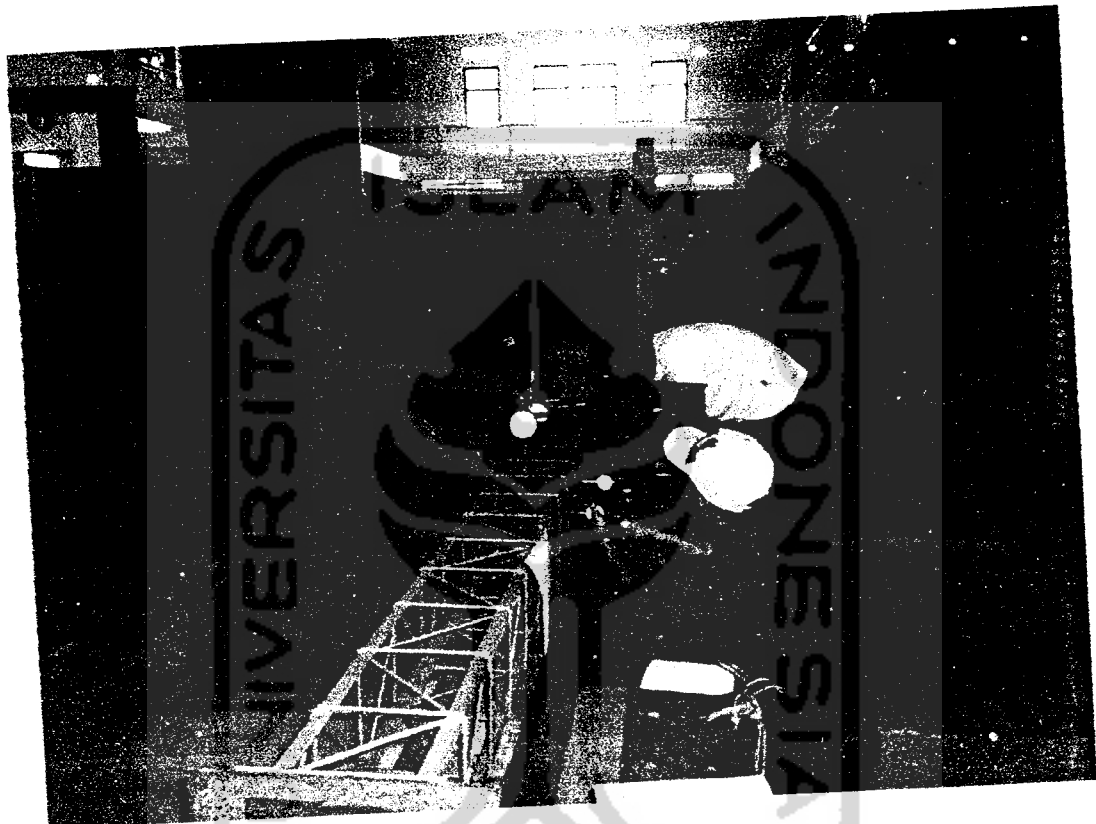
Gambar L4.2 Pengujian Sampel 1



Gambar 1.3.3 Pengujian Sampel 2

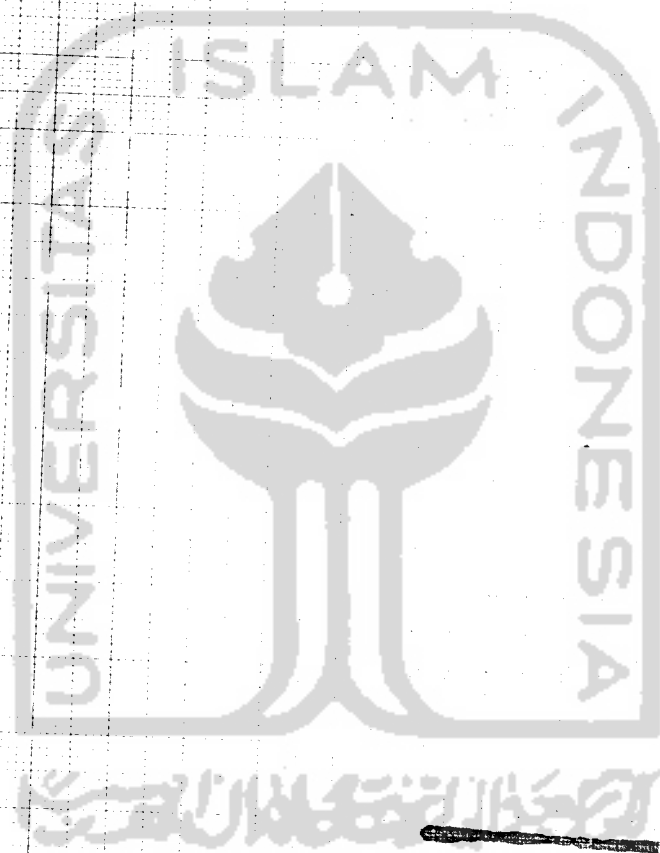


L3.4 Pengujian Sampel 3

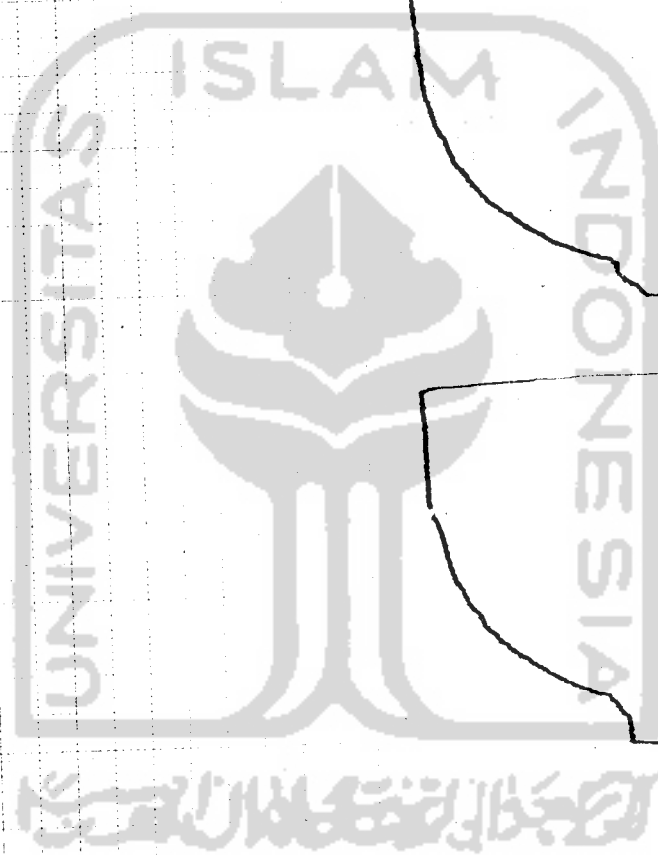


L3.5 Pengujian Sampel 4

K31 TARIK PROFIL SIKU 23 x 23 x 2,3 mm



USI TARIK TULANGAN Ø 7 mm



USI TARIK LAS

