

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/RELI	
TGL. TERIMA :	23 Februari 2007
NO. JUDUL :	002250
NO. INV. :	5120002250001
NO. INDUK :	

TUGAS AKHIR

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN PRISMATIS DENGAN
VARIASI JARAK BATANG TRANSVERSAL**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai
gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Sipil
pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta

R.
6937
Kis
K
A



IV, 50 bab : lang. 28

Disusun oleh :

JOHN KISTORI

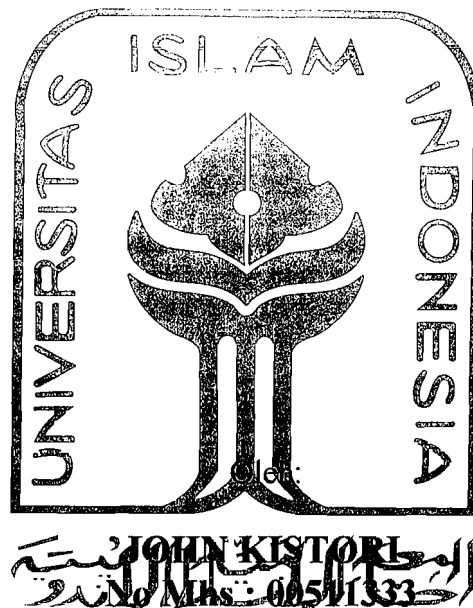
00 511 333

- Bryan
- Sya - katon
- ...
- ...
- ...

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

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

TUGAS AKHIR
KAPASITAS KOLOM TERSUSUN PRISMATIS
DENGAN VARIASI JARAK BATANG
TRANSVERSAL



Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Ir. Fathkurrohman N, MT

Dosen Pembimbing I

Tanggal : 14/11-2006 .

Ir. Helmy Akbar Bale, MT

Dosen Pembimbing II

Tanggal :

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DIALAH ALLAH, TIADA TUHAN SELAIN DIA.
YANG HIDUP DAN BERDIRI SENDIRI.
TAK PERNAH TERSENTUH KANTUK DAN
TIDAK TERSENTUH TIDUR.

BAGI-NYA SEGALA YANG DI LANGIT DAN DI BUMI.
TAK SATUPUN YANG MAMPU MEMBERIKAN PERTOLONGAN
KECUALI ATAS IZIN-NYA. IA MAHA TAHU SEGALA YANG
ADA DI DEPAN DAN DI BELAKANG MEREKA. TIDAK ADA
YANG DAPAT MERAIH SEBAGIAN ILMUNYA TANPA IZIN-
NYA. SINGGASANA-NYA SELUAS LANGIT DAN BUMI.
BUKANLAH BEBAN YANG BERAT BAGI-NYA UNTUK
MENGUASAI KEDUANYA. DIALAH YANG MAHATINGGI LAGI
MAHAAGUNG.

"Barangsiapa yang ingin mendapatkan kesuksesan hidup di dunia dituntut untuk menguasai ilmu pengetahuan, dan barangsiapa yang ingin mendapatkan kebahagiaan akhiratnya dituntut untuk menguasai ilmu pengetahuan, dan barangsiapa yang ingin mendapatkankesuksesan dan kebahagiaan keduanya juga dituntut untuk menguasai ilmu pengetahuan"

" Allah mengangkat orang-orang yang beriman dari golonganmu dan juga orang-orang yang dikaruniai ilmu pengetahuan hingga beberapa derajat"
(Q.5. AL-Mujaadilah; 58:11)

" maka, tanyalah pada ilmu pengetahuan apabila kamu semua tidak mengerti"
(Q.5. An-Nahl; 16:43)

Skripsi ini kupersembahkan teruntuk kedua orang tuaku yang tersayang
Ayahanda dan ibunda, yang telah berjuang untuk diriku
Yang telah memberikan dorongan dan doa yang begitu besar
Yang selalu bersamaku dalam suka dan duka
Terima kasih, semoga ananda dapat membalas kebaikan ayah dan ibu serta
dapat membahagiakan dan menjadi anak yang berbakti.
I love u mom and i love u dad
Teruntuk adik-adikku, desi, meri n bari thanks banget ya, atas doa dan
semangat dari kalian.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Peruntuk yang tersayang **MARIET MARIAWATI**, terima kasih atas dotongan dan doanya yang selalu hadir dalam suka dan duka, yang selalu ceria dan tersenyum dalam sedih dan gembira, yang selalu memberikan kebahagiaan selalu..... ! Lop u banget

Untuk anak2 kos al-kahfi(adi, febi, galih, adis, radit, botak, edi, wawan, indra, dian), aya_wawan, aswas, fame (thanks ya atas printernya), riski, thanks ya atas bantuan dan persahabatan kalian selama ini.....

Untuk teman-teman seperjuanganku, rini(so' habis ini mau kemana), ike(tetap ceria yo ade'), sulis(akhirnya.....) & finally kita lulus broooo
LULUS.....

Buat dosen2 teknik sipil, pak Fatkhur, pak Helmy, pak Ilman, pak Yaimo, pak ade, pak marzuko, pak luthfi, bu sri dan semuanya thanks banget ya atas ilmunya

Buat pak santoro dan pak hery (terimakasih atas bantuannya di pengajaran), mas haris trimakasih atas bantuan di lab.

buat anak2 sipil oo thanks banget atas kebersamaan selama ini.....



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadirat 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 I.
5. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT selaku Dosen Pembimbing II.

6. Ayah dan Ibu serta adik-adikku tercinta atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doa-nya.
7. Mariet M yang selalu percaya dan tak pernah lelah.
8. Teman-teman dekatku yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
9. 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, November 2006

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR SIMBOL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
INTISARI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB III LANDASAN TEORI	6
3.1 Kolom.....	6
3.1.1 Kolom Tersusun.....	6

3.1.2 Tekuk Elastik	8
3.2 Momen Inersia Maximum dan Minimum.....	11
3.2.1 Perkalian Kelebaman	11
3.2.2 Sumbu Utama dan Momen Kelebaman Utama.....	12
3.2.3 Momen Inersia Profil Siku	16
3.3 Efek Geser	18
3.3.1 Efek Geser Kolom Tunggal	18
3.3.2 Efek Geser Kolom Tersusun	20
3.4 Kegagalan Karena Leleh.....	24
3.5 Hubungan Beban dan Lendutan.....	24
3.6 Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (Φ).....	25
3.7 Hipotesis.....	28
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN.....	29
4.1 Metodologi Penelitian.....	29
4.2 Bahan Dan Alat	29
4.2.1 Bahan.....	29
4.2.2 Alat.....	30
4.3 Benda uji Pendahuluan.....	33
4.4 Pengujian Tekan Kolom.....	33
4.5 Bagan Alir Penelitian.....	35
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	36
5.1 Hasil Pengujian	36

5.1.1	Hasil Uji Pendahuluan.....	36
5.1.2	Uji Tarik Baja Siku.....	37
5.1.3	Uji Kuat Tarik Sambungan Las.....	37
5.1.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun.....	38
5.2	Pembahasan.....	41
5.2.1	Uji Pendahuluan.....	41
5.2.2	Uji Kuat Tarik Baja.....	41
5.2.3	Uji Kuat Tarik Sambungan Las.....	42
5.2.4	Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun.....	43
5.2.5	Perhitungan Teoritis Dengan Hasil Penelitian.....	43
5.2.6	Hubungan Beban-Lendutan ($P-\Delta$) Hasil Penelitian...	44
5.2.7	Hubungan Momen – Kelengkungan.....	46
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		49
6.1	Kesimpulan	49
6.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		51

DAFTAR SIMBOL

A	= luas penampang
a	= panjang batang transversal, mm
E	= modulus elastis, N/mm^2
EI	= factor kekakuan, $N.mm^2$
Fy	= tegangan leleh bahan, Mpa
Fcr	= tegangan kritis, N/mm^2
G	= modulus geser, N/mm^2
I	= momen inersia kolom tersusun, mm^4
I _c	= momen inersia profil, mm^4
I _b	= momen inersia batang transversal, mm^4
i	= radius girasi, mm
K	= kekakuan struktur, N/mm
L	= panjang kolom, mm
L ₁	= jarak antar batang transversal, mm
M	= momen, N.mm
m	= jumlah batang tunggal yang membentuk kolom tersusun
P	= beban, N
P _{cr0}	= beban kritis Euler, N

P_{cr1}	= modifikasi beban kritis Euler, N
S_v	= kekakuan geser kolom tersusun, 1/N
y	= pelenturan, mm
α	= sudut yang dibentuk grafik hubungan (M- Φ)
β	= factor bentuk
Δ	= lendutan, mm
Δ_x	= jarak antar dial, mm
μ	= angka poisson
π	= konstanta pi
Φ	= kelengkungan, 1/mm

DAFTAR GAMBAR

			Halaman
Gambar	3.1	Bentuk-bentuk penampang Tersusun	7
Gambar	3.2	Konfigurasi Dengan Batang Transversal	8
Gambar	3.3	Kolom Euler	9
Gambar	3.4	Perkalian Kelembaman dari Bidang A Terhadap Sumbu x dan y.....	11
Gambar	3.5	Luasan Bidang Tak Beraturan.....	12
Gambar	3.6	Lingkaran Jari-jari R	15
Gambar	3.7	Deformasi Kolom Akibat Pembebanan	18
Gambar	3.8	Grafik Fungsi dari P_{cr0} dan S_v	21
Gambar	3.9	Efek Geser pada Kolom Tersusun dengan Perangkai Transversal	21
Gambar	3.10	Grafik Hubungan P_{cr}/P_y dengan L_1/i_{min}	24
Gambar	3.11	Grafik Hubungan antara Beban (P) dan Lendutan (Δ)....	25
Gambar	3.12	Penurunan yang Terjadi Akibat Beban (P)	26
Gambar	3.13	Hubungan antara Momen (M) dan Kelengkungan (Φ)...	27
Gambar	4.1	Universal Testing Material Shimatzu UMH30	30
Gambar	4.2	Dukungan Sendi	31
Gambar	4.3	Loading Frame	31

Gambar	4.4	Dial Gauge	32
Gambar	4.5	Hidrolik Jack	32
Gambar	4.6	Benda Uji Kuat Tarik Bahan.....	33
Gambar	4.7	Benda Uji Kuat Tarik Las	33
Gambar	4.8	Pengujian Kolom Tersusun Prismatis	34
Gambar	4.9	Bagan Alir Penelitian.....	35
Gambar	5.1	Penempatan Dial Pada Benda Uji.....	38
Gambar	5.2	Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Maksimum Keenam Benda Uji	40
Gambar	5.3	Benda Uji Kuat Tarik Bahan.....	41
Gambar	5.4	Grafik Perbandingan Beban Kritis Dengan L_1 /imin Hasil Pengujian Sampel Dengan Beban Kritis Teoritis..	44
Gambar	5.5	Grafik Hubungan Jarak Batang Transversal (L_1)- Kekakuan.....	46
Gambar	5.6	Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Dari Keenam Sampel	48

DAFTAR TABEL

			Halaman
Tabel	5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Profil Siku	37
Tabel	5.2	Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Las	37
Tabel	5.3	Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun.....	39
Tabel	5.4	Analisis Hasil Uji Kuat Tarik Baja	42
Tabel	5.5	Hasil Pengujian Kuat Tari Las	42
Tabel	5.6	Perbandingan Beban Kritis Hasil Pengujian Dan Teoritis	43
Tabel	5.7	Analisis Kekakuan Dari Hubungan Beban - Lendutan...	45
Tabel	5.8	Hubungan Momen Dan Kelengkungan.....	46
Tabel	5.10	Analisa Kekakuan Dari Hubungan Momen-Kelengkungan	48

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1 PERENCANAAN KOLOM TERSUSUN
- LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS KOLOM TERSUSUN
DENGAN VARIASI JARAK ANTAR BATANG
TRANSVERSAL
- LAMPIRAN 3 TABEL DAN GRAFIK HASIL PENELITIAN
- LAMPIRAN 4 GAMBAR DAN DOKUMENTASI SAAT PENGUJIAN

INTISARI

Kolom tersusun dibuat dari dua profil siku atau lebih yang disatukan oleh batang-batang perangkai dengan sambungan las atau baut. Kolom tersusun dibuat untuk mendapatkan kolom dengan kapasitas dan kekakuan besar dengan mempertimbangkan faktor estetika. Kekuatan dan kekakuan kolom tersusun dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain : bentuk penampang dan ukuran profil tunggal, jarak antara profil tunggal, konfigurasi batang perangkai dan kondisi ujung. Panjang kolom dan kondisi ujung berpengaruh kepada kondisi batas tekuk menyeluruh, konfigurasi dan jarak batang perangkai berpengaruh kepada kondisi batas tekuk batang tunggal.

Penelitian eksperimental kolom tersusun empat profil siku dengan perangkai transversal dilakukan untuk mengetahui perilaku kolom yaitu kapasitas tekan, hubungan beban-deformasi lateral ($P-\Delta$), hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) dan rasio beban kritis terhadap beban leleh (P_{cr}/P_y).

Hasil eksperimental menunjukkan bahwa semakin besar rasio L_1/i_{min} maka, kapasitasnya akan mengecil. Semakin kecil beban yang dapat ditahan kolom tersusun maka, deformasinya akan semakin membesar. Semakin besar momen yang terjadi maka kelengkungannya semakin besar.

Kata kunci : kolom, profil siku, jari-jari girasi minimum, batang transversal.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan baja sebagai komponen suatu struktur bangunan salah satunya adalah sebagai elemen tekan. Elemen tekan adalah suatu elemen struktur yang memikul atau menerima beban aksial yang bekerja pada elemen tersebut. Elemen yang menerima gaya aksial ini kemudian biasa disebut sebagai kolom. Kolom tersusun mempunyai inersia yang lebih besar sehingga kapasitas kolom tersusun menjadi lebih besar. Kolom berfungsi menahan gaya-gaya yang bekerja pada kolom itu sendiri dan menyalurkan gaya-gaya yang bekerja pada balok ke pondasi, sehingga desain dan perencanaan kolom sangat perlu diperhitungkan karena berhubungan erat dengan kestabilan suatu bangunan.

Pada kolom tersusun, peristiwa tekuk dapat terjadi yang mengakibatkan efisiensi penampang pada kolom tersusun berkurang. Keruntuhan akibat tekuk terjadi pada batang yang langsing, dimana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki oleh pelat jauh dibawah tegangan lelehnya (F_y).

Untuk mendapatkan struktur tekan dengan kapasitas besar, digunakan kolom dengan profil gabungan (tersusun) dengan memperhatikan antar jarak batang transversal untuk memperkecil terjadinya tekuk yang memiliki inersia yang

lebih besar. Beban kritis menunjukkan batas antara kondisi stabil dan tidak stabil.

Jika ($P < P_{cr}$), maka struktur stabil, jika ($P > P_{cr}$), maka struktur tidak stabil.

Penelitian ini meneliti tentang kapasitas kolom tersusun prismatis sebagai komponen struktur yang menerima beban aksial tekan dengan kondisi diatas maka perlu diadakan suatu penelitian tentang kapasiatas kolom tersusun prismatis dengan variasi jarak batang transversal sehingga apakah kolom tersusun prismatis tersebut aman untuk digunakan sebagai komponen struktur bangunan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kapasitas tekan kolom tersusun prismatis empat profil siku dengan jarak batang transversal bervariasi.
2. Mendapatkan diagram beban – deformasi transversal.
3. Mendapatkan kekakuan kolom tersusun prismatis empat profil siku yang disusun menggunakan perangkai transversal.

1.3 Manfaat penelitian

Manfaat yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan ilmu pengetahuan tentang kolom tersusun prismatis dengan jarak batang transversal bervariasi.
2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan kolom tersusun.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Kolom dengan beban tekan sentris.
2. Profil baja yang digunakan adalah empat profil siku 23 x 23 x 2,3 mm yang disusun menggunakan perangkai transversal tulangan \varnothing 10 mm, dengan alat sambung las.
3. Variasi jarak batang transversal (L_t) yaitu: $\frac{1}{5}L = 88,47$ mm,
 $\frac{1}{6}L = 73,72$ mm, $\frac{1}{7}L = 285,71$ mm, $\frac{1}{8}L = 250$ mm, $\frac{1}{9}L = 222,22$ mm,
dan $\frac{1}{10}L = 200$ mm.
4. Tinggi kolom $L = 2$ m.
5. Ujung-ujung batang dipandang sebagai sendi-sendi
6. Tegangan residu dari bahan tidak ditinjau.
7. Pengamatan di laboratorium terbatas pada beban tekan kolom.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang menerima beban aksial tekan (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Kapasitas kolom dipengaruhi oleh stabilitas kolom terhadap tekuk. Tekuk yang terjadi pada kolom yang tersusun dari profil siku adalah tekuk keseluruhan dan tekuk lokal (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Kolom tersusun adalah dua batang atau lebih, satu dengan yang lainnya dihubungkan sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan. Untuk membentuk batang tersusun diperlukan penghubung pelat atau batang penghubung. Batang penghubung dapat dipasang melintang, diagonal dan kombinasi melintang dan diagonal. Hubungan dengan penghubungnya dapat dilaksanakan dengan baut, paku keling dan las (*Padosbajayo, 1991*).

Penghubung antara batang-batang tersusun dengan memakai batang transversal 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 adalah untuk menahan gaya lintang yang timbul sepanjang kolom, sehingga batang tersusun dapat membentuk satu kesatuan dalam hal mendukung beban (*Padosbajayo, 1991*).

Analisis untuk kuat tekan batang secara matematis dilakukan pertama kali oleh *Leonhard Euler (1744)*, dimana Euler menyelidiki tekuk kolom langsing dan menentukan beban kritisnya. Beban kritis (P_{cr}) adalah kuadrat phi berbanding lurus dengan modulus elastis, berbanding lurus juga dengan inersia batang tersusun dan berbanding terbalik dengan kuadrat panjang batang. Beban kritis menunjukkan batas antara kondisi stabil dan tidak stabil. Jika ($P < P_{cr}$), maka struktur stabil, jika ($P > P_{cr}$), maka struktur tidak stabil (*Gere dan Timoshenko, 2000*).

Beban kritis yang dikemukakan oleh Euler adalah bahwa kapasitas pikul-beban suatu kolom selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang elemen, sebanding dengan modulus elastis material, dan sebanding dengan momen inersia penampang melintang (*Schodek, 1991*)

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*).

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

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Kolom

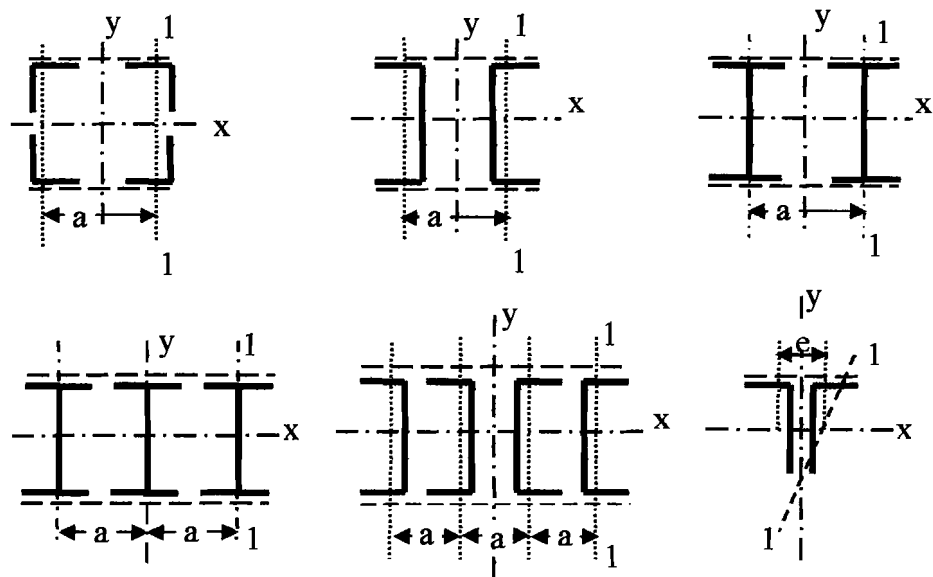
Kolom merupakan batang desak karena beban yang bekerja adalah aksial desak sepanjang sumbu bahan. Kolom merupakan elemen struktur yang harus direncanakan dan dihitung secara cermat mengenai kekuatan terhadap beban yang bekerja karena elemen struktur ini berhubungan erat dengan kestabilan bangunan.

Ada beberapa hal yang menyebabkan kehancuran pada kolom diantaranya adalah sifat kolom yang mengalami tekuk elastik atau tekuk inelastik. Sifat kolom yang mengalami suatu tekuk tertentu dipengaruhi oleh angka kelangsingan (*slenderness ratio*). Berdasarkan kelangsingannya, batang tekan atau kolom dapat digolongkan dalam 3 macam, yaitu kolom langsing (*slenderness column*), kolom sedang (*medium column*), dan kolom gemuk (*stocky column*).

3.1.1 Kolom tersusun

Profil tersusun dari profil-profil yang kecil, tipis, dan ringan, tetapi dapat menghasilkan I yang besar. Pada komponen struktur tersusun yang terdiri dari beberapa elemen yang dihubungkan pada tempat-tempat tertentu, kekuatannya harus dihitung terhadap sumbu bahan dan sumbu bebas bahan. Sumbu bahan adalah sumbu yang memotong semua elemen struktur itu, sedangkan sumbu bebas

bahan adalah sumbu yang sama sekali tidak, atau hanya memotong sebagian dari elemen komponen struktur itu. (lihat **Gambar 3.1**)



Gambar 3.1 Bentuk-bentuk Penampang Tersusun

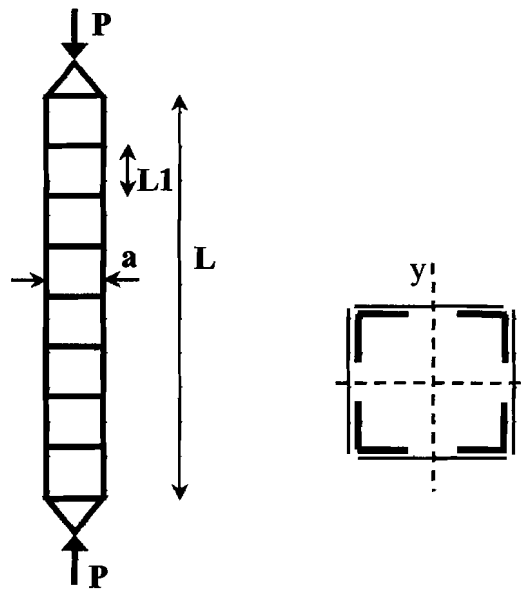
x - x adalah sumbu bahan

y - y adalah sumbu bebas bahan

1 - 1 adalah sumbu minimum dari elemen batang (satu profil)

--- adalah pelat kopel

Untuk membentuk kolom tersusun diperlukan perangkat yang berupa profil atau batang. Susunan profil atau batang tersusun dengan profil siku dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Konfigurasi Dengan Batang Transversal

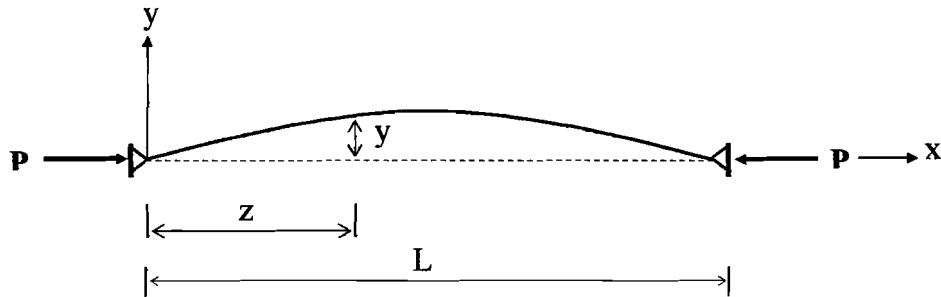
Pada kolom atau batang tekan yang panjang dengan beban yang berat, kolom tersusun lebih banyak di gunakan karena lebih hemat di banding menggunakan profil tunggal. Pada profil tersusun, jarak antar batang transversal dapat diatur, sehingga dapat memenuhi kebutuhan kolom yang dipakai.

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan kegagalan pada kolom, diantaranya adalah peristiwa tekuk. Sifat kolom yang mengalami suatu tekuk tertentu di pengaruhi oleh angka kelangsingan.

3.1.2 Tekuk Elastik

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

Gambar 3.3 menunjukkan profil siku yang dibebani kedua ujungnya..



Gambar 3.3 Kolom Euler

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

$$M_z = P y \quad (3.1)$$

dan karena:

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

Maka, Persamaan diferensialnya menjadi:

$$\frac{d^2 y}{dz^2} + \frac{P}{EI} y = 0 \quad (3.3)$$

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 (a), $B = 0$; dan 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 kritik Euler untuk kolom dengan dua ujung sendi adalah:

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

atau dinyatakan dalam tegangan tekan rata – rata, dengan $I = A_g r^2$:

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_g} = \frac{\pi^2 E}{(L/i)^2} \quad (3.8)$$

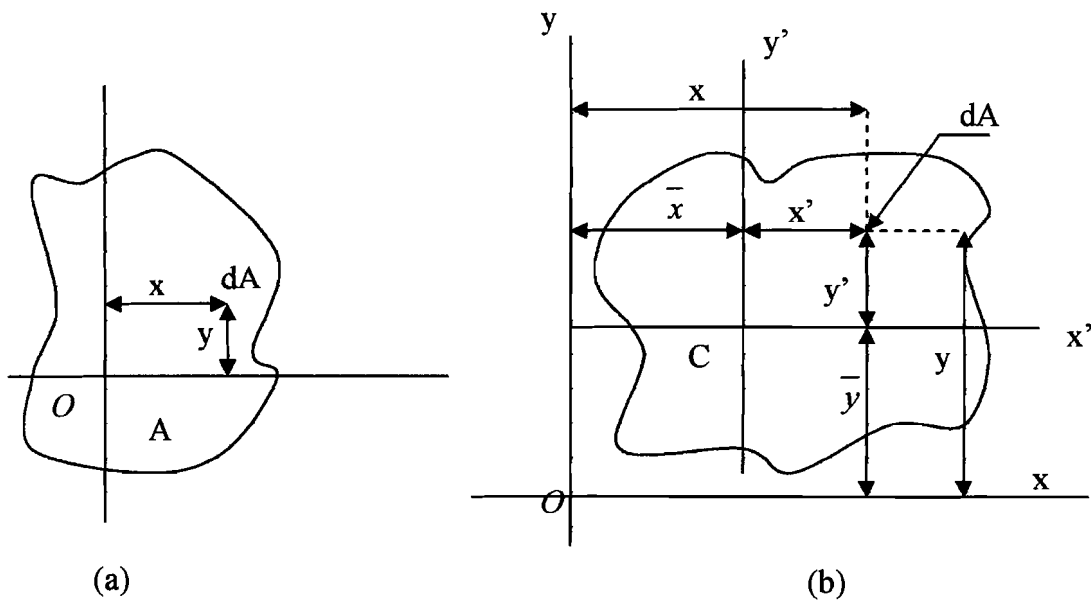
Pendekatan Euler pada umumnya tidak dipakai dalam desain karena tidak sesuai dengan hasil percobaan, kolom dengan panjang yang biasa digunakan dalam desain tidak sekuat yang ditunjukkan oleh Persamaan (3.7).

3.2 Momen Inersia Maksimum dan Minimum

3.2.1 Perkalian Kelembaman

Integral

$$P_{xy} = \int xy \, dA \quad (3.9)$$



Gambar 3.4 Perkalian Kelembaman dari bidang A terhadap Sumbu x dan y

Perkalian kelembaman (P_{xy}) dari bidang A terhadap sumbu x dan y adalah diperoleh dengan mengalikan masing-masing elemen dA dari luas A dengan koordinatnya x dan y dan mengintegrasikannya ke seluruh bidang (**Gambar 3.4(a)**).

Di tinjau dari bidang A dan sistem koordinat cartesian x dan y (**Gambar 3.2(b)**), melalui titik berat C dari bidang itu yang berkoordinat \bar{x} dan \bar{y} , kita tarik sumbu titik berat x' dan y' yang sejajar, berturutan, pada sumbu x dan y . Beri tanda x dan y sebagai koordinat elemen luas dA terhadap sumbu semula, dan

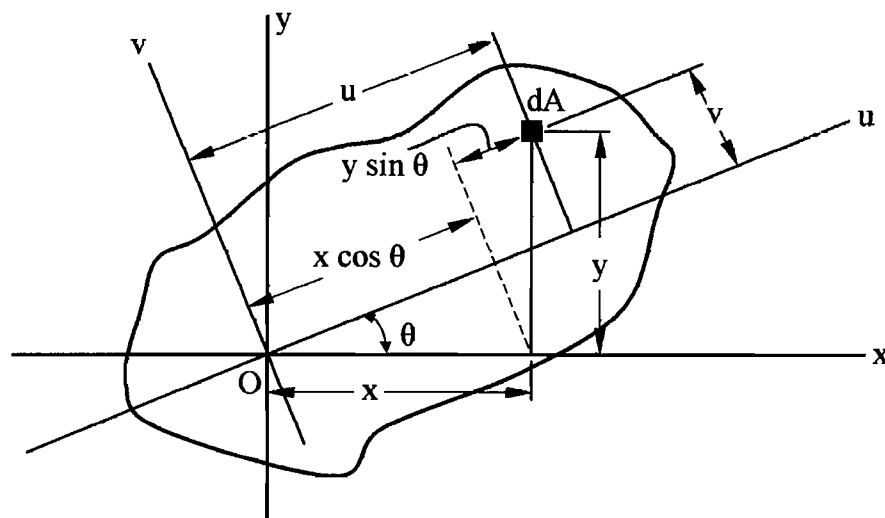
dengan \bar{x} dan \bar{y} koordiat elemen yang sama terhadap sumbu titik berat, kita tulis $x = x' + \bar{x}$ dan $y = y' + \bar{y}$, substitusikan kedalam persamaan (3.9), kita peroleh rumus untuk perkalian kelembaman P_{xy} :

$$\begin{aligned} P_{xy} &= \int xy \, dA = \int (x' + \bar{x})(y' + \bar{y}) dA \\ &= \int x'y' \, dA + \bar{y} \int x' dA + \bar{x} \int y' dA + \bar{x}\bar{y} \int dA \end{aligned} \quad (3.10)$$

integral yang pertama menyatakan perkalian kelembaman $\bar{P}_{x'y'}$ dari bidang A terhadap sumbu titik berat x' dan y' . Dua integral menyatakan momen pertama dari bidang itu terhadap sumbu titik berat; integral ini tereduksi menjadi nol, karena titik berat C terletak pada sumbu ini. Akhirnya, kita lihat bahwa integral yang terakhir sama dengan luas total A. Jadi, kita bisa menuliskan:

$$P_{xy} = \bar{P}_{x'y'} + \bar{x}\bar{y}A \quad (3.11)$$

3.2.2 Sumbu Utama Dan Momen Kelembaman Utama



Gambar 3.5 Luasan Bidang Tak Beraturan

Tinjau bidang yang luasnya A dan sumbu koordinat x dan y (**Gambar 3.5**), anggap bahwa momen dan perkalian kelembaman :

$$I_x = \int y^2 dA \quad I_y = \int x^2 dA \quad P_{xy} = \int xy dA \quad (3.12)$$

Dari bidang A diketahui, dapat ditentukan momen dan perkalian kelembaman I_u , I_v dan P_{uv} dari terhadap sumbu baru u dan v yang diperoleh dengan memutar sumbu semula terhadap titik asal melalui sudut θ .

Hubungan antara koordinat u , v dan x , y dari elemen luas dA :

$$u = x \cos \theta + y \sin \theta \quad v = y \cos \theta - x \sin \theta \quad (3.13)$$

Substitusi v ke dalam rumusan untuk I_u , kita peroleh

$$\begin{aligned} I_u &= \int v^2 dA = \int (y \cos \theta - x \sin \theta)^2 dA \\ &= \cos^2 \theta \int y^2 dA - 2 \sin \theta \cos \theta \int xy dA + \sin^2 \theta \int x^2 dA \end{aligned} \quad (3.14)$$

Perhitungan rumusan (3.12) didapatkan :

$$I_u = I_x \cos^2 \theta - 2P_{xy} \sin \theta \cos \theta + I_y \sin^2 \theta \quad (3.15)$$

Dengan cara serupa, didapatkan rumusan untuk I_v dan P_{uv} :

$$I_v = I_x \sin^2 \theta + 2P_{xy} \sin \theta \cos \theta + I_y \cos^2 \theta \quad (3.16)$$

$$P_{uv} = I_x \sin \theta \cos \theta + P_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) - I_y \sin \theta \cos \theta \quad (3.17)$$

Dengan menjumlahkan persamaan (3.15) dan (3.16) suku demi suku, didapatkan :

$$I_u + I_v = I_x + I_y \quad (3.18)$$

Dengan memakai hubungan trigonometrik $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$ dan $\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$, bisa dituliskan persamaan (3.15), (3.16) dan (3.17) sebagai berikut :

$$I_u = \frac{I_x + I_y}{2} + \frac{I_x - I_y}{2} \cos 2\theta - P_{xy} \sin 2\theta \quad (3.19)$$

$$I_v = \frac{I_x + I_y}{2} - \frac{I_x - I_y}{2} \cos 2\theta + P_{xy} \sin 2\theta \quad (3.20)$$

$$P_{uv} = \frac{I_x - I_y}{2} \sin 2\theta + P_{xy} \cos 2\theta \quad (3.21)$$

Eliminasi dari persamaan (3.19) dan (3.21), hal ini dilakukan dengan mentranspose $(I_x + I_y)/2$ dalam persamaan (3.19), mengkuadratkan kedua bagian persamaan (3.19) dan (3.21) dan menjumlahkannya, dapat ditulis :

$$\left(I_u - \frac{I_x + I_y}{2} \right)^2 + P_{uv}^2 = \left(\frac{I_x - I_y}{2} \right)^2 + P_{xy}^2 \quad (3.22)$$

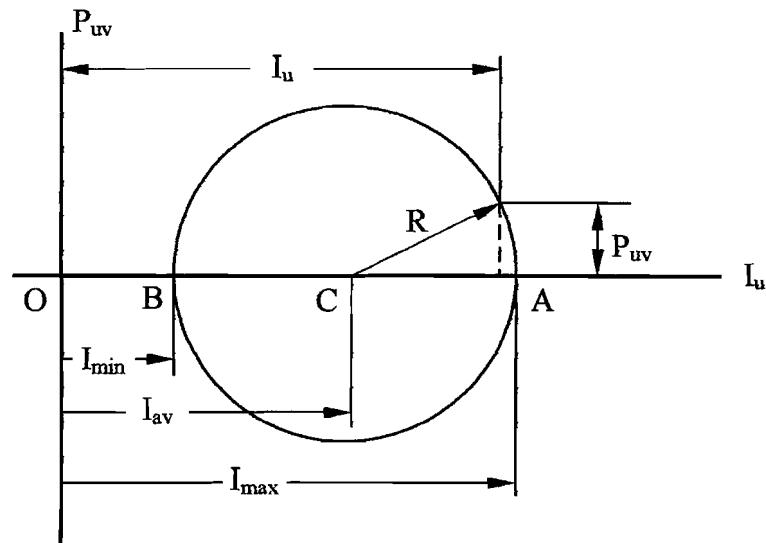
Ambil

$$I_{av} = \frac{I_x + I_y}{2} \quad \text{dan} \quad R = \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2} \right)^2 + P_{xy}^2} \quad (3.23)$$

Dapat ditulis persamaan (3.22) dalam bentuk :

$$(I_u - I_{av})^2 + P_{uv}^2 = R^2 \quad (3.24)$$

Yang merupakan persamaan lingkaran berjari R yang berpusat di titik C yang berabsis I_{av} dan ordinat O (Gambar 3.5).



Gambar 3.6 Lingkaran Jari-Jari R

Titik A bersesuaian dengan harga maksimum momen kelembaman I_u , sedangkan titik B bersesuaian dengan harga minimumnya. Harga θ_m dari parameter θ yang bersesuaian dengan titik A dan B diperoleh dengan mengambil $P_{uv} = 0$ dalam persamaan (3.21), maka didapat :

$$\tan 2\theta_m = -\frac{2P_{xy}}{I_x - I_y} \quad (3.25)$$

Hubungan diatas diperoleh dengan mendiferensialkan I_u dalam persamaan (3.19) dan mengambil $dI_u / d\theta = 0$.

Dari **Gambar 3.6**

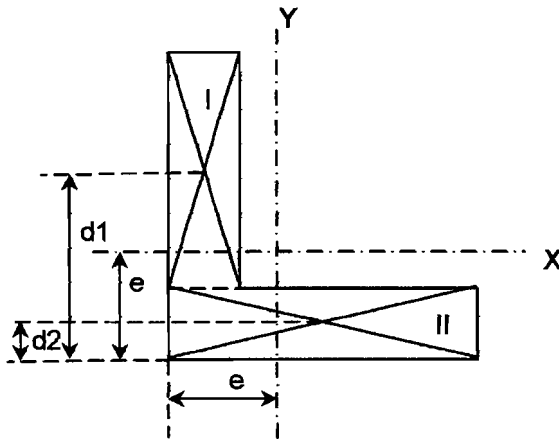
$$I_{max} = I_{av} + R \quad \text{dan} \quad I_{min} = I_{av} - R \quad (3.26)$$

Substitusi persamaan (3.23) ke persamaan (3.26), maka diperoleh :

$$I_{max,min} = \frac{I_x - I_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + P_{xy}^2} \quad (3.27)$$

3.2.3 Momen Inersia Profil Siku

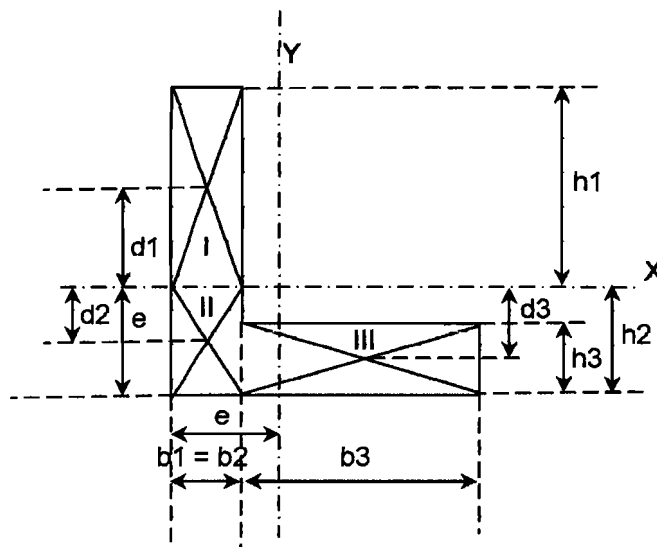
- Garis netral (e) terhadap sisi bawah



$$e = \frac{\sum A.d^2}{\sum A}$$

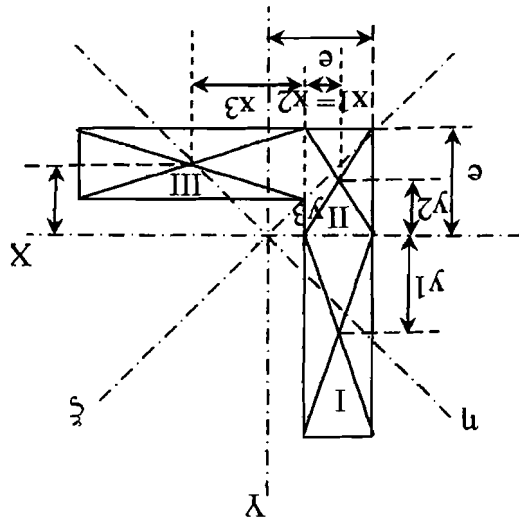
A = luasan setiap bidang

- Inersia ($I_x = I_y$)



$$I_x = I_y = \sum \left(A.d^2 + \frac{1}{12}.b.h^3 \right)$$

Momen Inersia Minimum (I_{min})



$$I_{min} = \frac{I_x + I_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + \left(\sum x \cdot y \cdot A\right)^2}$$

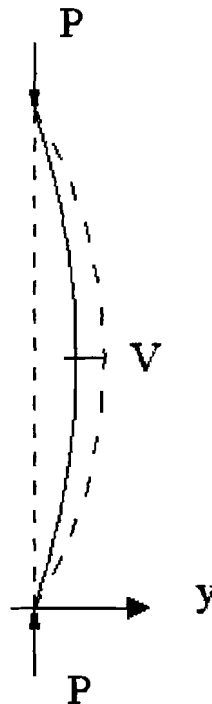
Jari-jari Girasi Minimum (i_{min})

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

3.3 Efek Geser

3.3.1 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 3.7** Akibat pengaruh beban (P), kolom melentur dan didalam penampangnya timbul gaya geser.



Gambar 3.7 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 (3.28) berikut:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{E.I} \cdot y \quad (3.28)$$

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

$$V = \frac{dM}{dx} \quad \text{atau} \quad V = P \cdot \frac{dy}{dx} \quad (3.29)$$

Kemiringan (slop) yang terjadi akibat gaya geser adalah :

$$\theta = \frac{\text{tegangan.geser}}{\text{mod ulus.geser}} \quad (3.30)$$

Dengan memperhitungkan factor bentuk (β), diperoleh :

$$\theta = \frac{\beta V}{AG} \quad (3.31)$$

Dengan :

G = modulus geser

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

μ = nilai banding poison (untuk baja = 0,3)

β = 1,2 untuk profil siku

Pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan Persamaan :

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{A.G} \cdot P \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.32)$$

Pelenturan total (akibat P dan V) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{E.I} \cdot y + \frac{\beta.P}{AG} \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.33)$$

atau:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{P}{EI} \left[\frac{1}{1 - P\beta/AG} \right] y = 0 \quad (3.34)$$

Maka penyelesaian persamaan beban kritik Eulernya adalah :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\beta \pi^2 EI}{AG L^2} \right]} \quad (3.35)$$

3.3.2 Efek Geser Kolom Tersusun

Efek geser kolom tersusun dengan perangkai transversal pada pembebanan kritis yang dijelaskan oleh *Kulewven* ditunjukkan dengan Persamaan 3.36 berikut :

$$P_{cr1} = \frac{1}{\frac{1}{P_{cr0}} + \frac{1}{S_v}} = P_{cr0} \frac{1}{1 + \frac{P_{cr0}}{S_v}} \quad (3.36)$$

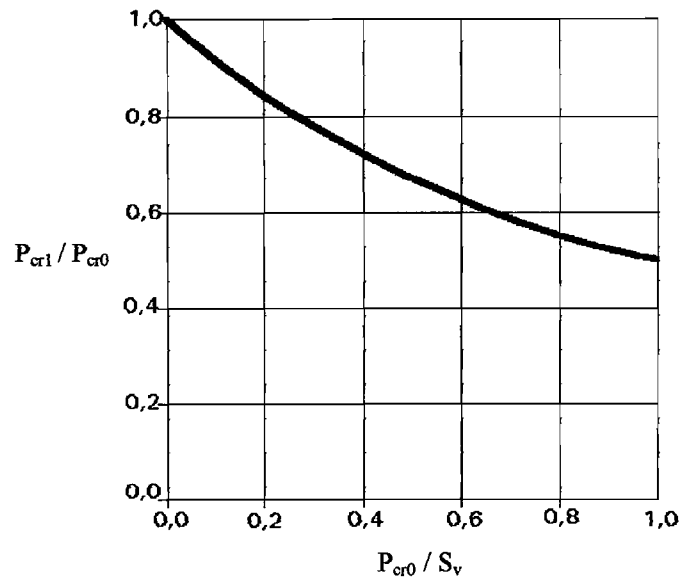
dimana :

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

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

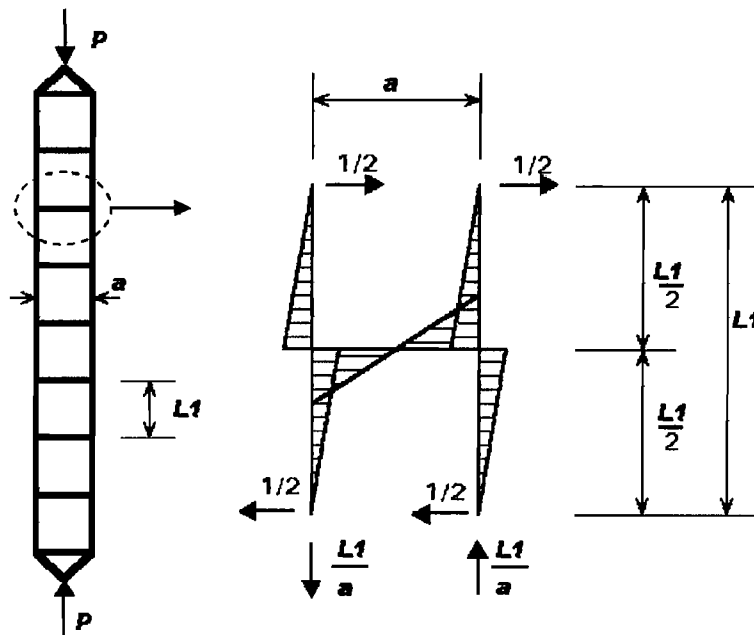
Dari Persamaan diatas dapat diketahui bahwa $P_{cr1} < P_{cr0}$, semakin besar rasio P_{cr0} / S_v , maka semakin kecil rasio $P_{cr1} / P_{cr0} < 1$.

Dari Persamaan 3.36 didapat grafik yang menunjukkan fungsi dari rasio P_{cr0} / S_v



Gambar 3.8 Grafik Fungsi Dari P_{cr0} / S_v

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



Gambar 3.9 Efek Geser Pada Kolom Tersusun Dengan Perangkat Transversal

Sehingga deformasi akibat gaya geser dapat di tulis:

$$\delta = 4 \int_0^{L/2} \frac{1}{2} \frac{x}{EI_c} \frac{1}{2} x dx + 2 \int_0^{a/2} \frac{L_1}{a} \frac{y}{EI_b} \frac{L_1}{a} y dy = \frac{L_1^3}{24EI_c} + \frac{L_1^2 a}{12EI_b} \quad (3.37)$$

Maka kekakuan gaya geser :

$$\frac{1}{S_v} = \frac{\delta}{L_1} = \frac{L_1^2}{24EI_c} + \frac{L_1 a}{12EI_b} \quad (3.38)$$

Substitusi persamaan 3.38 ke dalam Persamaan 3.36, maka didapatkan persamaan beban kritis :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \left(\frac{L_1^2}{24EI_c} + \frac{L_1 a}{12EI_b} \right) \right]} \quad (3.39)$$

Jika batang transversal sangat kaku, maka $\frac{L_1 a}{12EI_b} = 0$ dapat diabaikan.

Kemudian Persamaannya dapat ditulis :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \left(\frac{L_1^2}{24EI_c} \right) \right]} \quad (3.40)$$

Dari persamaan (3.40) dapat dilihat bahwa jika semakin besar jarak batang transversal maka, beban kritis yang terjadi akan semakin kecil.

Kapasitas kolom tersusun dapat dihitung dengan membandingkan beban kritis dengan beban lelehnya :

$$\frac{P_{cr}}{P_y} = \frac{P_{cr}}{A_g \cdot F_y} \quad (3.41)$$

Untuk menghitung kelangsingan pada komponen tersusun yang dihubungkan dengan unsur transversal berlaku persamaan :

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4A_c L^2}{I_{gab}} + \frac{\pi^2 A_c}{6} \left(\frac{L_1^2}{2I_c} + \frac{L_1 a}{I_b} \right)} \quad (3.41)$$

A_c = luas penampang satu profil

I_b = Inersia batang transversal

Jika batang transversal sangat kaku, maka kelengkungan deformasinya dapat diabaikan.

$$\frac{L_1 a}{I_b} = 0, \text{ pada persamaan (3.41)}$$

Sehingga kelangsingannya menjadi:

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4A_c L^2}{I_{gab}} + \frac{\pi^2 A_c L^2}{12I_c}} \quad (3.42)$$

Kelangsingan ideal dari komponen struktur tersusun dapat dihitung sebagai persamaan berikut :

$$\lambda_r = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \quad (3.43)$$

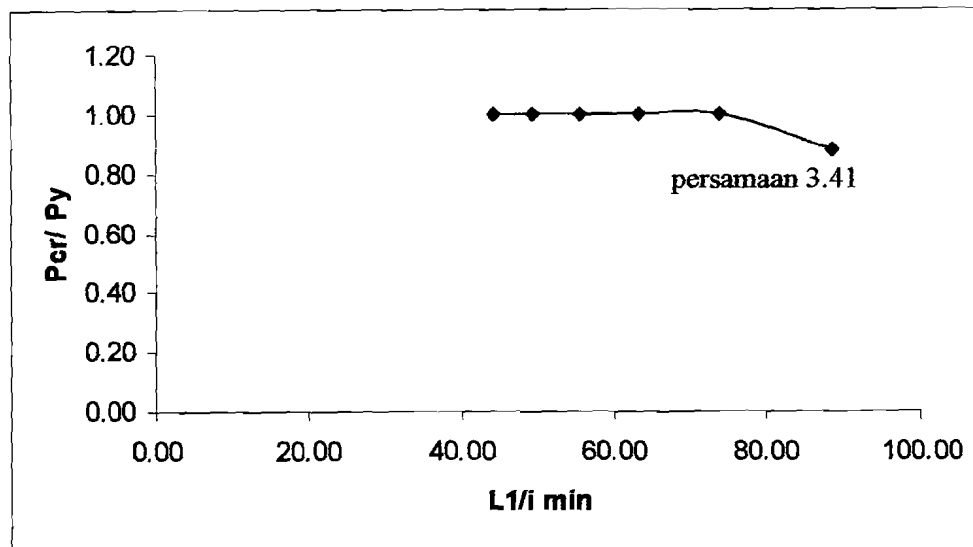
Untuk menjamin stabilitas komponen struktur, maka harus memenuhi :

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

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

$$\lambda_1 \leq 50$$

Dari Persamaan 3.40 dapat dilihat hubungan antara beban kritis dengan rasio L_1/i min, dapat dilihat pada **Gambar 3.10**



Gambar 3.10 Grafik Hubungan P_{cr}/P_y Dengan L_1/i_{min}

3.4 Kegagalan Karena Leleh

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

$$P_y = A_g \cdot F_y \quad (3.44)$$

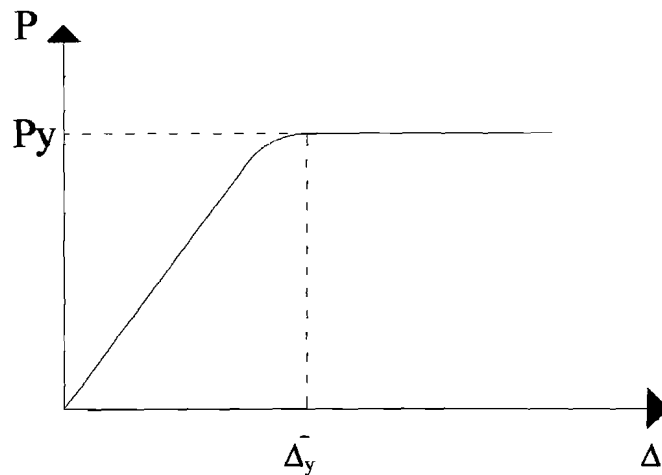
3.5 Hubungan antara Beban dan Lendutan

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

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad (3.45)$$

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).



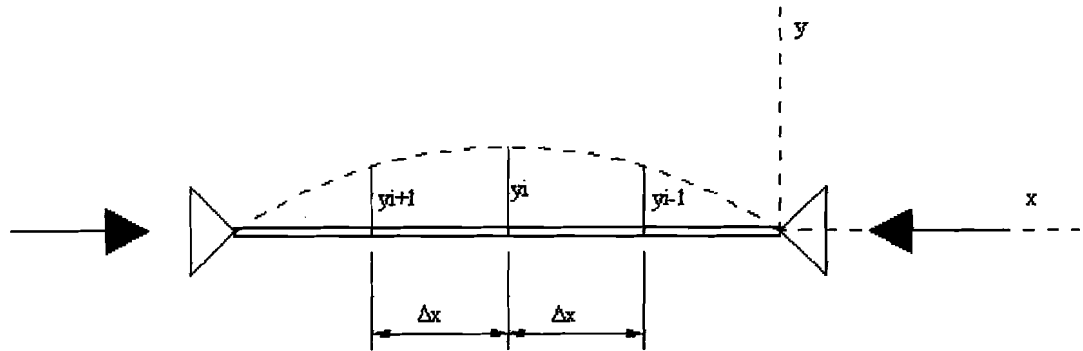
Gambar 3.11 Grafik Hubungan Antara Beban (P) dan Lendutan (Δ)

3.6 Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (Φ)

Faktor kekakuan didefinisikan sebagai rasio momen dan kelengkungan (*Bruneau dkk, 1978; Beedle, 1958*) yang dinyatakan dengan Persamaan berikut :

$$EI = \frac{M}{\Phi} \quad (3.46)$$

Pemberian beban aksial (P) dari struktur akan didapatkan perpindahan yang diukur pada tiga titik yang berurutan dengan jarak yang sama (Δ_x) dimana tiga titik distrik tersebut diberi notasi y_{i+1} , y_i dan y_{i-1} seperti terlihat pada **Gambar 3.12** berikut :



Gambar 3.12 Penurunan Yang Terjadi Akibat Beban (P)

Dari **Gambar 3.12** dapat diketahui besarnya dy dan dx dengan Persamaan:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.47)$$

Turunan kedua dari Persamaan 3.47 adalah :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx} (2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.48)$$

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

3.48 menjadi :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} \left(\frac{y_{i+2} - y_i}{2\Delta x} \right) - (y_i - y_{i-2})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.49)$$

dari Persamaan 3.49 didapatkan :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{(\Delta x)^2} \quad (3.50)$$

dimana nilai $\frac{d^2y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI}$, sehingga Persamaan kelengkungan dapat dicari

dengan rumus :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (3.51)$$

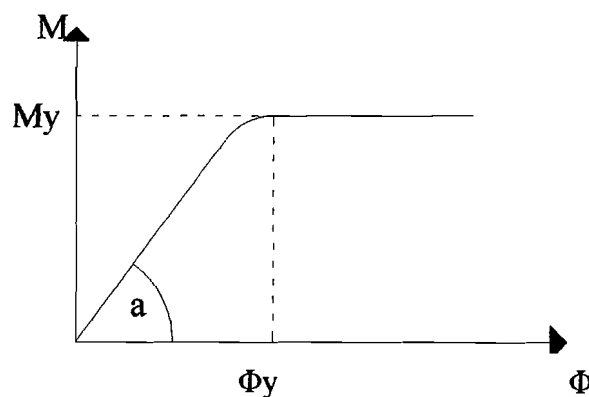
karena $\frac{dy}{dx}$ kecil, maka dengan menggunakan metode *central difference* dianggap

mendekati nol, sehingga didapat kelengkungan dengan rumus :

$$\Phi = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.52)$$

Dari Persamaan 3.52, maka dapat dicari factor kekakuan EI setelah momen (M) dan kelengkungan (ϕ) diketahui.

Grafik hubungan momen dan kelengkungan ditunjukkan pada **Gambar 3.13** sebagai berikut :



Gambar 3.13 Hubungan Antara Momen (M) dan Kelengkungan (ϕ)

Gambar 3.13 menunjukkan hubungan antara momen-kelengkungan. Tampak bahwa pada grafik hubungan momen-kelengkungan akan membentuk sudut (α), dimana :

$$tg\alpha = \frac{M}{\Phi} \quad (3.53)$$

$$EI = tg\alpha \quad (3.54)$$

3.7 Hipotesis

Berdasarkan kajian dari tinjauan pustaka dan landasan teori dapat dikemukakan hipotesis bahwa pada kolom tersusun prismatis dengan variasi jarak batang transversal (L_1), jika rasio (L_1/i_{\min}) besar maka besarnya beban kritis (P_{cr}) yang dapat diterima oleh kolom akan kecil dan sebaliknya jika rasio (L_1/i_{\min}) kecil maka beban kritisnya akan besar.

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1 Metodologi Penelitian

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

4.2 Bahan dan Alat

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 4 profil siku 23 x 23 x 2,3 mm dengan batang penghubung \varnothing 10 mm, dengan menggunakan sambungan las.

4.2.2 Alat

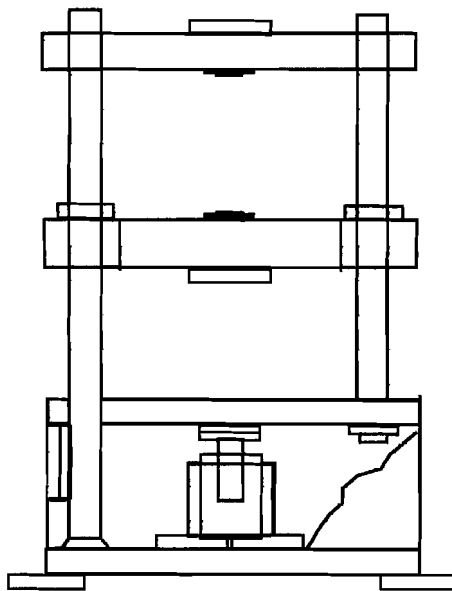
Peralatan-peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Alat Pengukur

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur dimensi kolom benda uji.

b. Mesin Uji Tarik

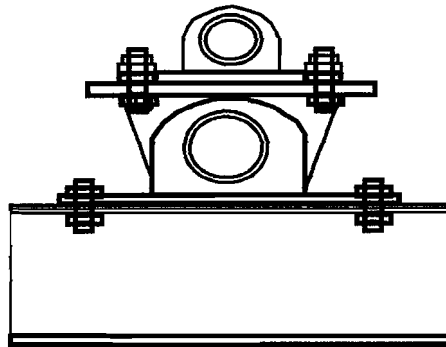
Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Pada penelitian ini digunakan Universal Testing Material (UTM) merk Shimatsu, type UMH-330, kapasitas 30 ton (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Universal Testing Material Shimatzu UMH30

c. Dukungan Sendi

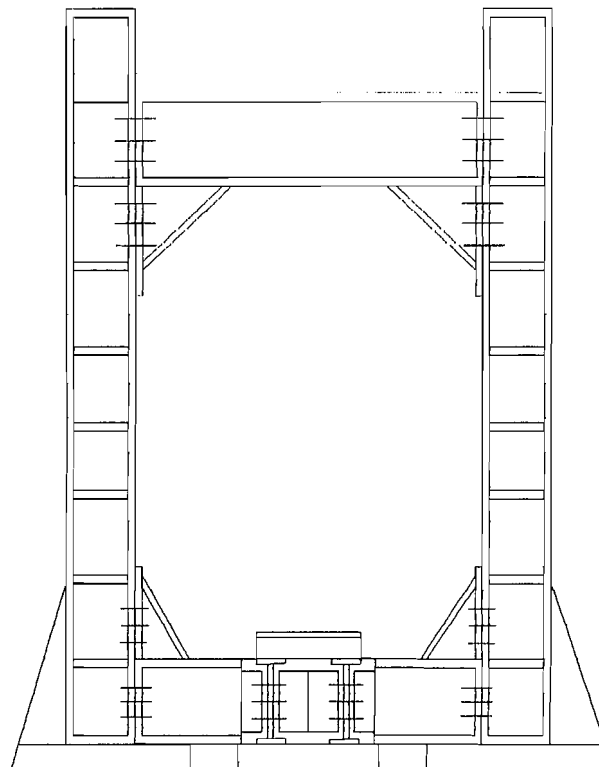
Dukungan sendi dipasang pada kedua dukungan kolom (Gambar 4.2).



Gambar 4.2 Dukungan Sendi

d. Loading Frame

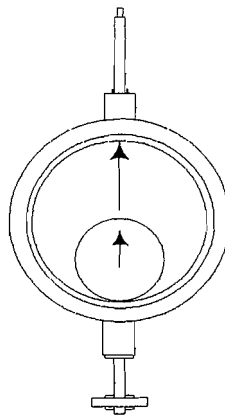
Untuk menempatkan benda uji pada pengujian tekan dalam penelitian ini digunakan Loading Frame. Seperti pada (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Loading Frame

e. Dial Gauge

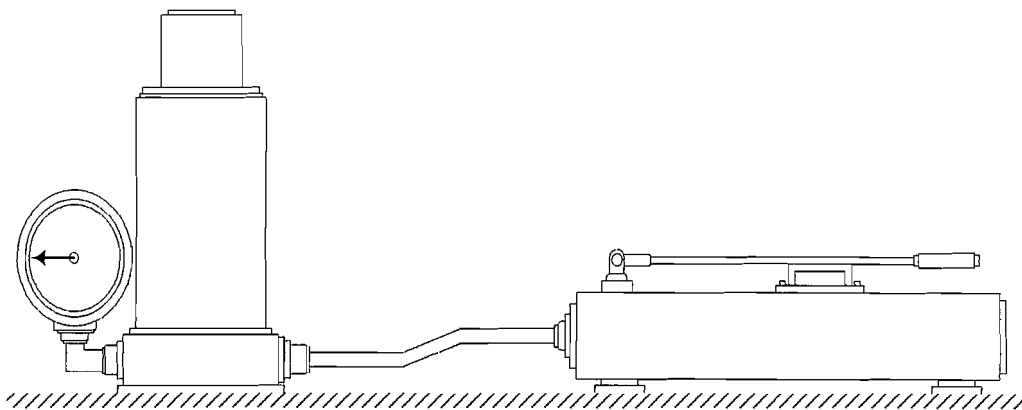
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian kolom kecil dipakai dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 30 mm – ketelitian 0,01 (Gambar 4.4).



Gambar 4.4 Dial Gauge

f. Hidraulic Jack

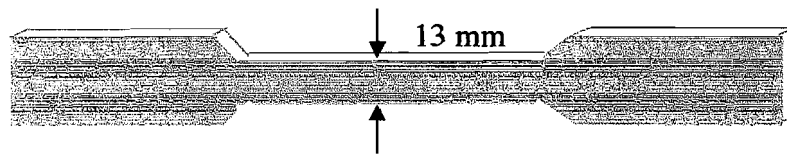
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian kolom dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton (Gambar 4.5).



Gambar 4.5 Hidraulic Jack

4.3. Benda Uji Pendahuluan

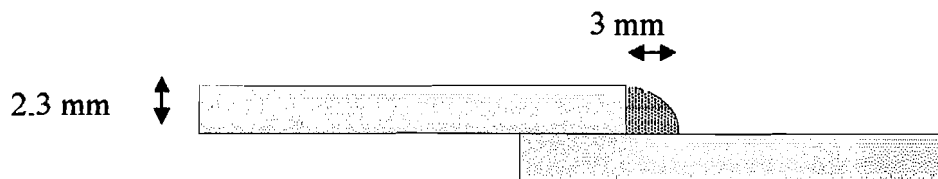
Benda uji kuat tarik bahan yang digunakan sebanyak dua buah, adapun bentuk dari benda uji seperti gambar berikut :



Gambar 4.6 Benda Uji Kuat Tarik Bahan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh baja (F_y), tegangan ultimit baja (F_u).

Pengujian las yang digunakan sebanyak 2 buah, bentuk dari benda uji seperti gambar berikut:

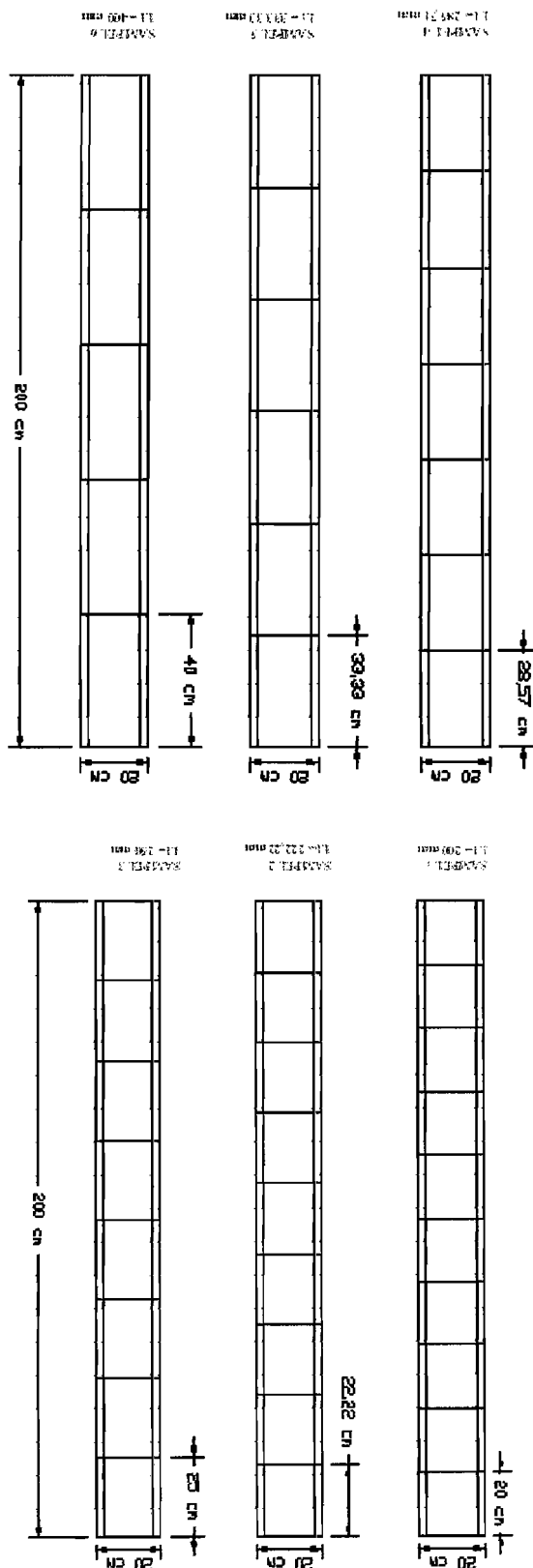


Gambar 4.7 Benda Uji Kuat Tarik Las

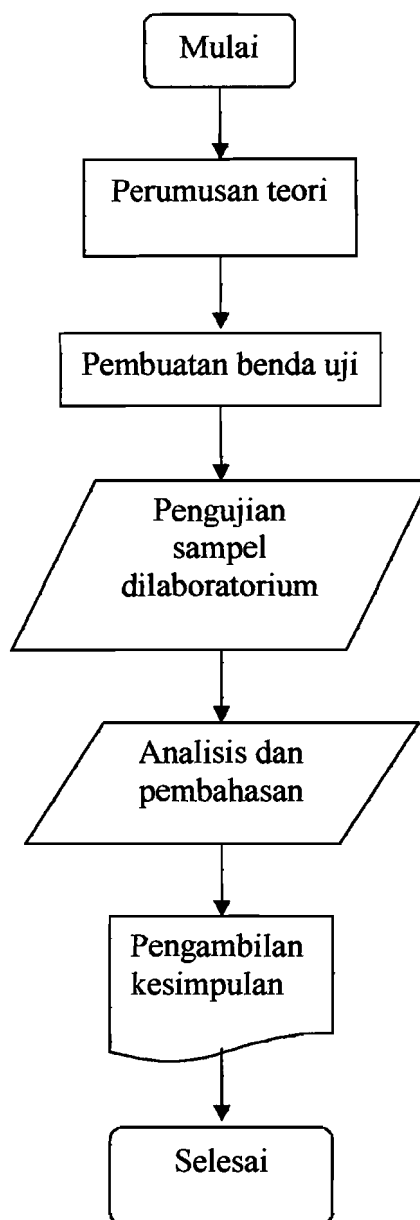
4.4 Pengujian Tekan Kolom

Pengujian kuat tekan baja ini dilakukan di labolatoriun. Data yang diambil pada pengujian ini adalah beban maksimum dan lendutan yang terjadi.

Gambar 4.8 Pengujian Kolom Tersusun Prismatis



4.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.9 Bagan Alir Prosedur Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian pendahuluan dan uji kuat tekan kolom tersusun. Adapun uji pendahuluan berupa uji kuat tarik baja, uji kuat geser sambungan las, dan uji tekan profil siku yang sesuai dengan elemen yang digunakan dalam menyusun kolom tersusun prismatis. Pengujian ini berguna untuk menentukan kekuatan bahan yang dipakai, dan hasil pengujian akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom tersusun prismatis untuk menerima beban aksial tekan sentris.

5.1.1 Hasil Uji Pendahuluan

Hasil uji pendahuluan meliputi dimensi benda uji, beban leleh (F_y), beban maksimum atau beban ultimit (P_u), dan beban pada saat putus. Hasil uji pendahuluan digunakan untuk menentukan tegangan leleh (F_y) dan tegangan ultimit (F_u) yang berguna untuk mengetahui perilaku kolom. Uji pendahuluan juga meliputi pengujian kekuatan sambungan las dan kuat tekan profil siku.

5.1.2 Uji Tarik Baja Siku

Pengujian kuat tarik material baja siku dilakukan dengan dua buah sampel uji berupa plat dari profil siku yang dibentuk dengan standar pengujian kuat tarik baja.

Adapun pengujian kuat tarik baja dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut :

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Profil Siku

Benda Uji	Luas Penampang (mm ²)	Beban Leleh (Py) (N)
1	29.9	11698
2	29.9	11895

5.1.3 Uji Kuat Tarik Sambungan Las

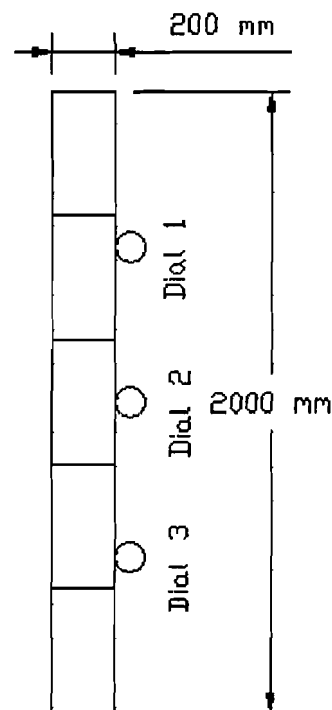
Uji las geser dilakukan guna mengetahui kekuatan las yang digunakan pada sambungan benda uji, hasil uji las ditunjukkan dalam Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Las

Benda Uji	P Maks (N)
1	12557
2	13341

5.1.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun

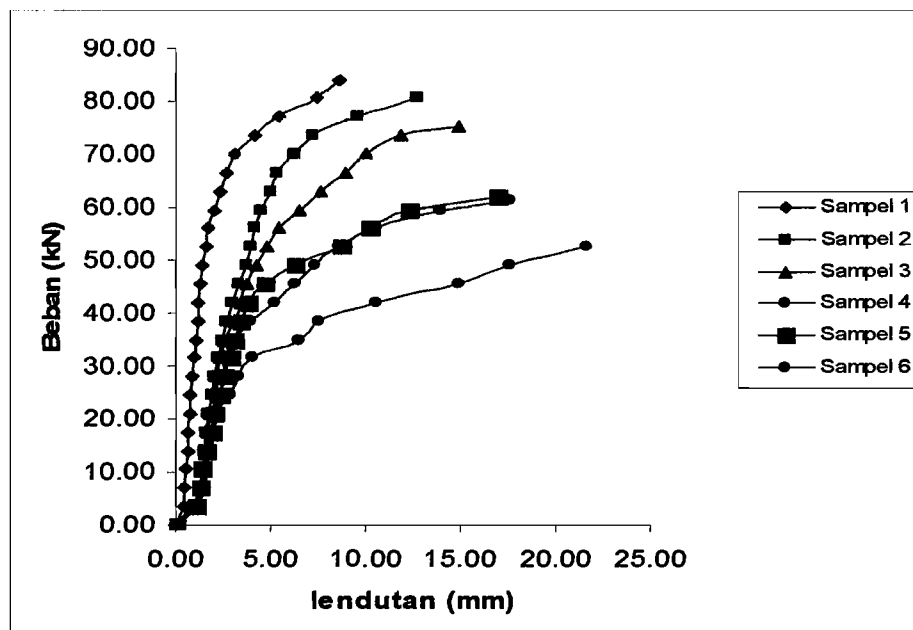
Pengujian kuat tekan kolom tersusun dilakukan dengan alat dukungan Loading Frame dan alat pembangkit beban berupa Hidraulic Jack di Laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Struktur dibebani tekan aksial sentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 3,5 kN. Pada setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi pada tempat-tempat yang telah ditentukan diukur dengan cara melalui pembacaan skala pada dial gauge, dial gauge dipasang pada tengah panjang bentang benda uji dan atas-bawah dari tengah bentang panjang benda uji sejarak 500 mm, pemasangan dial dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan tabel hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.3



Gambar 5.1 Penempatan Dial Pada Benda uji

Hasil Uji Sampel 4				Hasil Uji Sampel 5				Hasil Uji Sampel 6			
Beban (kN)	Lendutan (mm)			Beban (kN)	Lendutan (mm)			Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		Dial 1	Dial 2	Dial 3		Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.40	0.89	0.52	3.50	0.91	1.10	0.81	3.50	0.15	1.15	0.22
7.00	0.61	1.48	0.68	7.00	0.98	1.25	1.05	7.00	0.32	1.35	0.46
10.50	0.96	1.64	0.86	10.50	1.05	1.44	1.23	10.50	0.40	1.46	0.58
14.00	1.32	1.81	1.21	14.00	1.12	1.65	1.43	14.00	0.46	1.70	0.61
17.50	1.61	1.99	1.46	17.50	1.21	1.87	1.54	17.50	0.61	1.96	0.77
21.00	1.80	2.10	1.66	21.00	1.24	2.05	1.79	21.00	0.98	2.15	1.03
24.50	1.99	2.34	1.82	24.50	1.42	2.37	1.89	24.50	1.38	2.88	1.42
28.00	2.15	2.51	2.17	28.00	1.55	2.59	2.21	28.00	1.66	3.28	2.46
31.50	2.26	2.72	2.30	31.50	1.59	2.86	2.34	31.50	2.08	4.02	3.29
35.00	2.36	2.99	2.44	35.00	1.74	3.15	2.58	35.00	3.58	6.55	4.56
38.50	2.59	3.98	2.61	38.50	1.93	3.40	2.77	38.50	4.79	7.54	5.28
42.00	4.52	5.24	3.08	42.00	2.14	3.86	3.55	42.00	6.73	10.58	7.29
45.50	5.16	6.27	3.98	45.50	3.86	4.72	4.38	45.50	9.28	14.87	11.59
49.00	6.44	7.35	4.87	49.00	4.15	6.28	5.44	49.00	13.58	17.54	15.30
52.50	7.48	8.64	6.24	52.50	5.18	8.75	7.38	52.50	16.22	21.63	17.77
56.00	9.35	10.58	8.75	56.00	6.84	10.21	8.12	-	-	-	-
59.50	12.84	13.86	10.32	59.50	9.81	12.25	10.28	-	-	-	-
61.25	15.86	17.55	14.25	61.95	12.95	16.89	13.59	-	-	-	-

Data dari Tabel 5.3 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan maksimum, seperti pada Gambar 5.2



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Maksimum Keenam Benda Uji

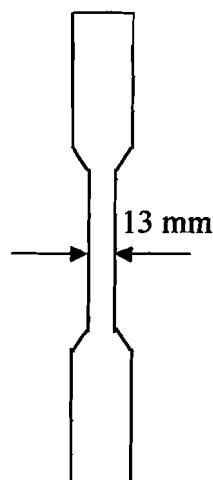
Pada semua benda uji lendutan maksimum berada di dial 2, karena dalam pengujiannya lendutan terbesar berada di dial 2 maka dial 2 dapat disebut sebagai lendutan maksimum.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Uji Pendahuluan

Data yang diperoleh dari hasil uji tarik digunakan untuk mendapatkan beban leleh (P_y), dan beban maksimum atau beban ultimit (P_u). Tegangan leleh (F_y) didapatkan dengan membagi beban leleh dengan luas penampang ($F_y = P_y/A$). Tegangan ultimit (F_u) didapatkan dengan membagi beban maksimum dengan luas penampang ($F_u = P_u/A$). Kekuatan las didapatkan dengan membagi beban maksimum dengan panjang las, sehingga kekuatan las persatuan panjang (per millimeter) diketahui dengan cara tersebut.

5.2.2 Uji Kuat Tarik Baja



Gambar 5.2 Benda Uji Kuat Tarik Bahan

Dari hasil pengujian kuat tarik didapat hasil pada Tabel 5.4 sebagai berikut

Tabel 5.4 Analisis Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Benda Uji	Beban Leleh (Py) (N)	Beban Ultimit (Pu) (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Leleh (Fy) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Fu) (Mpa)
Sampel 1 Profil Siku	11698	14396	29.9	391.24	481.47
Sampel 2 Profil Siku	11895	12213	29.9	397.83	408.46
Rata-rata	-	-	-	394.53	444.97

Hasil pengujian kuat tarik dan tegangan maksimum baja rata-rata diatas menunjukkan mutu baja yang digunakan dalam penelitian.

5.2.3 Uji Kuat Tarik Sambungan Las

Uji kuat tarik las dilakukan guna mengetahui kuat tarik las yang digunakan pada sambungan benda uji, hasil uji kuat tarik las ditunjukkan dalam Tabel 5.5

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

Benda uji	Luas Las (mm ²)	Beban ultimit(Pu) (N)	Tegangan Leleh (Fy)
Sampel 1	69	12557	181.99
Sampel 2	69	13342	193.36
Rata-rata	-	-	187.66

Dari tabel di atas didapat bahwa tegangan leleh pada sambungan las lebih kecil bila dibandingkan dengan tegangan leleh pada profil. Hal ini menunjukkan bahwa profil lebih kuat daripada sambungan las.

5.2.4 Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun

Data yang diperoleh dari uji pendahuluan ini berguna untuk mengetahui perilaku profil gabungan empat profil siku dengan jarak L_1 bervariasi. Dari hasil pengujian ini bisa didapatkan nilai beban kritis.

Berdasarkan dari keenam hasil pengujian sample dilaboratorium didapatkan bahwa semua benda uji mengalami tekuk keseluruhan (all buckling) dan pada benda uji 1 dengan variasi $L_1/i_{min} = 44,23$ dapat menahan beban terbesar yang diberikan pada waktu pengujian. Pada benda uji 5 dapat menahan beban lebih besar dibandingkan dengan benda uji 4, hal ini disebabkan oleh pengaruh proses pembuatan benda uji dan pengaruh proses pengujian yang dilakukan.

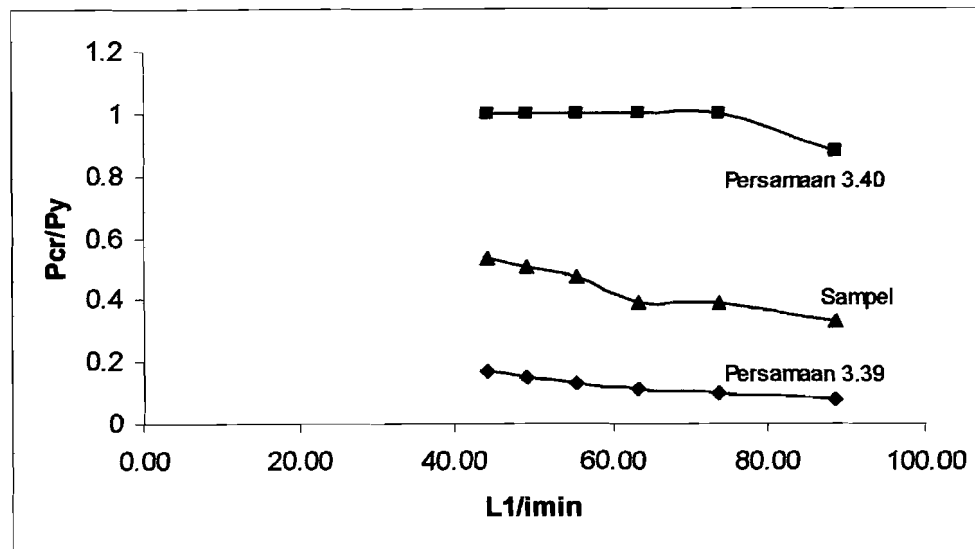
5.2.5 Perhitungan Teoritis dengan Hasil Pengujian

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

Tabel 5.6 Perbandingan Beban Kritis Hasil Pengujian Dengan Teoritis

L_1/i_{min}	Teori				Pengujian	
	Persamaan 3.39		Persamaan 3.40		Pcr (N)	Pcr/Py
	Pcr (N)	Pcr/Py	Pcr (N)	Pcr/Py		
44.25	26435	0.17	448532	1.00	84000	0.53
49.16	23599	0.15	382040	1.00	80500	0.51
55.31	20757	0.13	316445	1.00	75300	0.47
63.21	17915	0.11	253079	1.00	61300	0.39
73.75	15074	0.10	193401	1.00	62000	0.39
88.50	12240	0.08	139029	0.88	52500	0.33

Dari Tabel 5.6 dapat ditampilkan dalam grafik perbandingan beban kritis (Pcr) antara beban kritis pengujian dengan beban kritis teoritis.



Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Beban Kritis Dengan Rasio L_1/i_{min} Hasil Pengujian Sampel Dengan Beban Kritis Teoritis.

Dari Gambar 5.4 tampak bahwa beban kritis pengujian yang terjadi berada dibawah beban kritis pada teori, mengalami penurunan hal ini disebabkan karena pengaruh variasi L_1/i_{min} . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian dan teori beda kekuatannya, hal ini disebabkan oleh pengaruh proses pembuatan benda uji dan pengaruh proses pengujian yang dilakukan.

5.2.6 Hubungan Beban – Lendutan (P – Δ) Hasil Penelitian

Pengujian kuat tekan kolom tersusun diberikan beban aksial sentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 3,5 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 50 cm pada masing-masing benda uji. Dari hasil

penelitian keenam benda uji dapat dibuat grafik hubungan beban – lendutan seperti pada gambar 5.2.

Data hasil pengamatan grafik hubungan beban – lendutan keenam benda uji seperti gambar 5.2 dapat disimpulkan tentang kekakuan kolom tersusun dari profil siku dengan variasi jarak antar batang transversal dalam tabel 5.7

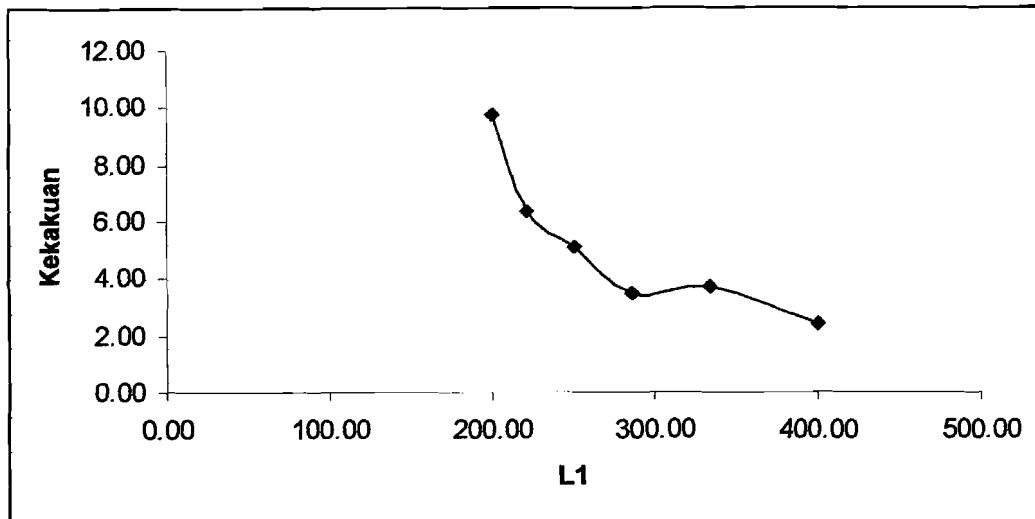
Tabel 5.7 Analisis Kekakuan dari Hubungan Beban-Lendutan

L1 m(mm)	L1/i min	Beban Max (Pmax) (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	kekakuan (P/ Δ) (kN/mm)
200.00	44.23	84.00	8.65	9.71
222.22	49.15	80.50	12.68	6.35
250.00	55.29	75.25	14.88	5.06
285.71	63.19	61.25	17.55	3.49
333.33	73.72	61.95	16.89	3.67
400.00	88.47	52.50	21.63	2.43

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio L_1/i_{min} maka, beban yang dapat ditahan kolom tersusun akan semakin mengecil dan lendutannya akan semakin membesar.

Dari Tabel 5.7 dapat dibuat grafik perbandingan antara kekakuan dengan jarak batang transversal.





Gambar 5.5 Grafik Hubungan Jarak Batang Transversal (L_1) – Kekakuan

5.2.7 Hubungan Momen-Kelengkungan

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) sehingga dapat dicari momen (M) dan kelengkungan (Φ). Hubungan momen dan kelengkungan ($M-\Phi$) pada masing-masing benda uji tampak pada tabel 5.9.

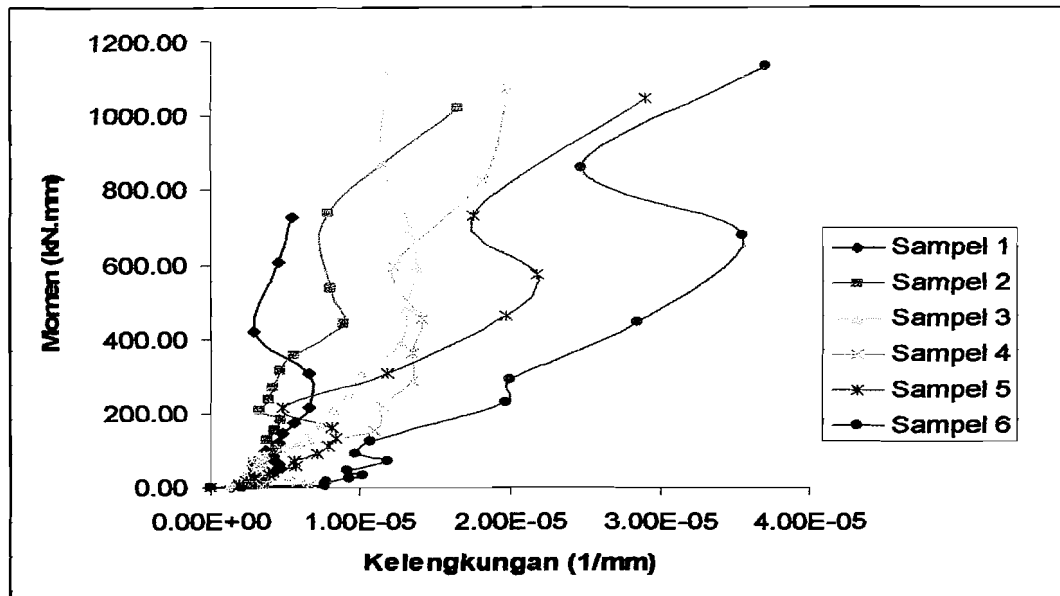
Tabel 5.8 Hubungan Momen Dan Kelengkungan

Momen dan Kelengkungan					
Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3	
Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0.00	0.00E+00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00E+00
1.37	1.44E-06	3.82	2.88E-06	3.78	1.32E-06
3.29	1.88E-06	9.03	3.56E-06	9.45	1.68E-06
5.78	2.12E-06	15.75	3.00E-06	14.91	1.76E-06
8.40	2.36E-06	21.56	2.88E-06	22.12	2.24E-06
11.38	2.36E-06	27.65	3.00E-06	30.10	2.08E-06
14.91	2.40E-06	35.70	3.12E-06	39.06	2.16E-06
19.60	2.92E-06	46.55	3.24E-06	51.45	3.40E-06
24.08	3.16E-06	57.40	2.88E-06	61.32	3.20E-06
29.30	3.28E-06	69.93	3.36E-06	73.71	3.56E-06
35.70	3.76E-06	85.05	3.92E-06	89.25	3.56E-06
43.51	4.40E-06	104.72	4.44E-06	118.97	5.72E-06
50.82	4.72E-06	126.84	3.80E-06	142.80	6.36E-06
60.52	4.60E-06	152.43	4.36E-06	171.99	7.24E-06
70.56	4.32E-06	180.81	4.68E-06	210.21	8.12E-06

Momen dan Kelengkungan					
Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3	
Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm
82.43	4.20E-06	205.80	3.36E-06	253.58	9.28E-06
98.56	3.68E-06	234.64	4.00E-06	305.20	1.00E-05
120.19	4.64E-06	268.94	4.20E-06	389.73	1.28E-05
146.79	4.92E-06	315.00	4.76E-06	486.99	1.32E-05
176.23	5.68E-06	358.44	5.56E-06	595.18	1.38E-05
217.00	6.60E-06	441.00	8.96E-06	699.30	1.34E-05
307.23	6.60E-06	533.61	8.04E-06	871.71	1.14E-05
418.88	2.92E-06	737.66	7.88E-06	1119.72	1.18E-05
604.56	4.56E-06	1020.74	1.66E-05	-	-
726.60	5.44E-06	-	-	-	-

Momen dan Kelengkungan					
Sampel 4		Sampel 5		Sampel 6	
Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0.00	0.00E+00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00E+00
3.12	3.44E-06	3.85	1.92E-06	4.03	7.72E-06
10.36	6.68E-06	8.75	1.88E-06	9.45	7.68E-06
17.22	5.84E-06	15.12	2.40E-06	15.33	7.76E-06
25.34	4.36E-06	23.10	3.00E-06	23.80	9.32E-06
34.83	3.64E-06	32.73	3.96E-06	34.30	1.02E-05
44.10	2.96E-06	43.05	4.28E-06	45.15	9.16E-06
57.33	3.48E-06	58.07	5.72E-06	70.56	1.18E-05
70.28	2.80E-06	72.52	5.68E-06	91.84	9.76E-06
85.68	3.52E-06	90.09	7.16E-06	126.63	1.07E-05
104.65	4.72E-06	110.25	7.92E-06	229.25	1.98E-05
153.23	1.10E-05	130.90	8.40E-06	290.29	2.00E-05
220.08	1.15E-05	162.12	8.12E-06	444.36	2.86E-05
285.29	1.36E-05	214.76	4.80E-06	676.59	3.55E-05
360.15	1.36E-05	307.72	1.19E-05	859.46	2.48E-05
453.60	1.42E-05	459.38	1.98E-05	1135.58	3.71E-05
592.48	1.22E-05	571.76	2.18E-05	-	-
824.67	1.82E-05	728.88	1.76E-05	-	-
1074.94	2.00E-05	1046.34	2.90E-05	-	-

Dari tabel hubungan momen dan kelengkungan di atas dapat dibuat grafik di bawah ini.



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Dari Keenam Sampel

Dari data hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) pada table 5.8 dapat dicari faktor kekakuan kolom tersusun profil siku pada masing-masing benda uji seperti pada tabel 5.9 dibawah ini :

Tabel 5.9 Analisa Kekakuan Dari Hubungan Momen-Kelengkungan

Sampel	L1/imin	Momen (kN.mm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kN.mm ²)
1	44.23	726.60	0.54E-05	1.34E+08
2	49.15	1020.74	1.66E-05	6.13E+07
3	55.29	1119.72	1.18E-05	9.46E+07
4	63.19	1074.94	2.00E-05	5.39E+07
5	73.72	1046.34	2.90E-05	3.61E+07
6	88.47	1135.58	3.71E-05	3.06E+07

Berdasarkan tabel 5.9 di atas semakin besar momen yang terjadi maka, kelengkungannya akan semakin besar.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kolom tersusun dari empat profil siku dengan perangkai transversal diambil kesimpulan sebagai berikut yaitu :

1. Kapasitas kolom tersusun prismatis dari empat profil siku akan semakin mengecil dengan bertambahnya jarak batang transversal.
2. Deformasi yang terjadi pada kolom tersusun prismatis dengan variasi jarak batang transversal akan besar jika, beban yang dapat ditahan oleh kolom tersusun kecil.
3. Dengan penggunaan variasi jarak batang transversal pada kolom tersusun dari empat profil siku kelengkungannya akan besar jika momen yang terjadi juga besar.

6.2 Saran

Agar penelitian kolom tersusun yang dirangkai dari empat profil siku lebih akurat maka diharapkan lebih banyak menambahkan variasi-variasi pada penelitian selanjutnya. Adapun saran-saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut yaitu :

1. Penggunaan variasi bentuk penampang dari batang perangkai yang digunakan agar dapat mengetahui efisiensi dari penggunaan bentuk penampang batang perangkai,

2. Perlu diadakan penelitian untuk bentuk penampang yang sama tetapi memiliki dimensi penampang yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira,1994, **STRUKTUR BAJA**,
Erlangga, Jakarta.

Lambert Tall, 1997, **STRUCTURAL IS STEEL DESIGN**, Second Edition, The
Real Press Company, New York.

Friedrich Bleich, 1952, **BUCKLING STRENGTH OF METAL
STRUCTURES**, Mc Graw Hill Book Company inc, NewYork.

PADOSBAJAYO,1991, **PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA**, edisi
kedua ,Yogyakarta

Edwin H. Gaylord dan Charles N. Gaylord,1972, **DESIGN OF STEEL
STRUCTURES**, Mc Graw Hill Kogusuka,Ltd.

James M. Gere dan Stephen P. Timoshenko, Hans J. Wospakrik,1987,
MEKANIKA BAHAN, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.

Johsep E. Bowles, 1985, **STRUCTURAL STEEL DESIGN**, Mc Graw Hill Book
Company Inc. NewYork.

V.N Vazirani dan M.M Ratwani,1997, **STEEL STRUCTURES**, Khanna
Publisher, Delhi.

Ferdinand P Beer, 1983, **MEKANIKA UNTUK INSINYUR**, edisi ketiga,
Erlangga, Jakarta

PERENCANAAN KOLOM TERSUSUN

LAMPIRAN 1

KUAT TEKAN KOLOM TERSUSUN PRISMATIS DENGAN VARIASI JARAK BATANG TRANSVERSAL

A. Data Perencanaan Benda Uji

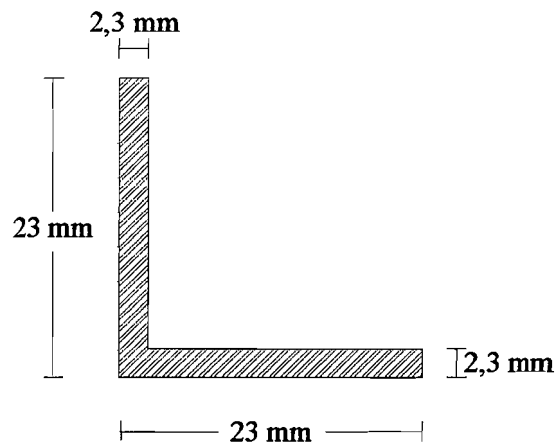
Ketentuan-ketentuan dalam perencanaan kolom tersusun pada keenam benda uji untuk penelitian pengujian kuat tekan, adalah sebagai berikut :

1. Profil baja yang digunakan untuk perencanaan kolom tersusun adalah profil baja siku 4 (23 x 23 x 2,3) mm dengan panjang 2000 mm dan tulangan ukuran \varnothing 10 mm.
2. Variasi pada keenam benda uji terletak pada variasi jarak antar batang transversal (L_1), dimana panjang kolom (L), jarak antar profil (a) dan penampang profil gabungan adalah konstan. Variasi jarak antar batang transversal untuk tiap benda uji adalah :
 - a. Benda uji I dengan jarak antar batang transversal (L_1) = 20 cm.
 - b. Benda uji II dengan jarak antar batang transversal (L_1) = 22,22 cm.
 - c. Benda uji III dengan jarak antar batang transversal (L_1) = 25 cm.
 - d. Benda uji IV dengan jarak antar batang transversal (L_1) = 28,57 cm.
 - e. Benda uji IV dengan jarak antar batang transversal (L_1) = 33,33 cm.
 - f. Benda uji IV dengan jarak antar batang transversal (L_1) = 40 cm.
3. Perletakan dukungan berupa sendi dikedua ujungnya.
4. Pengujian menggunakan pembebanan tekan sentris.

B. Perhitungan Momen Inersia Batang Tunggal

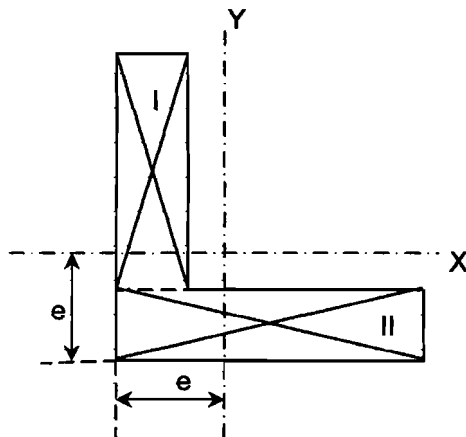
1. Spesifikasi Tampang Profil Siku

Penggunaan profil siku menyesuaikan ukuran yang umum dipasaran, untuk memudahkan pembuatan benda uji. Untuk memahami ukuran data dari profil siku yang digunakan, dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar L.1.1 Spesifikasi Ukuran Profil Siku

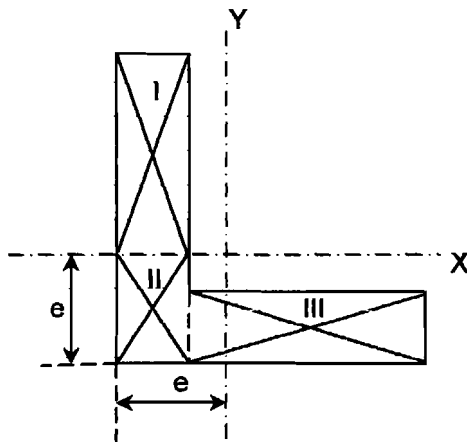
2. Perhitungan garis netral (e) terhadap sisi bawah



Bagian	A (mm ²)	d (mm ²)	∑A.d
I	47.61	12.65	602.27
II	52.90	1.15	60.84
	100.51		663.10

$$e = \frac{\sum A.d^2}{\sum A} = \frac{663.10}{100.51} = 6,60 \text{ mm}$$

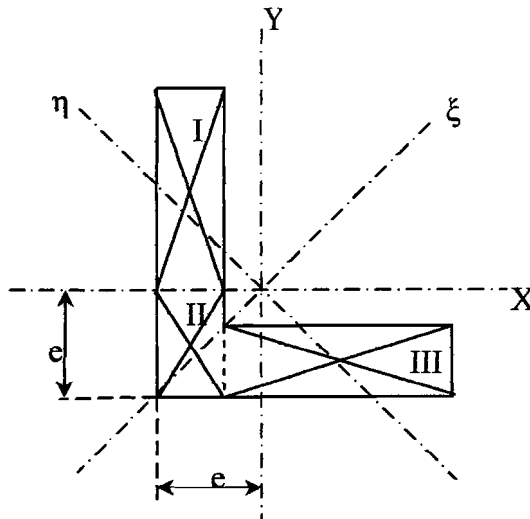
3. Perhitungan Momen Inersia (Ix = Iy)



Bagian	A (mm ²)	d ² (mm ²)	A.d ² (mm ⁴)	1/12.b.h ³ (mm ⁴)	Inersia (I) A.d ² +1/12.b.h ³ (mm ⁴)
I	37.73	67.26	2537.51	845.84	3383.35
II	15.17	10.88	165.11	55.04	220.15
III	47.61	29.67	1412.77	20.99	1433.76
	100.51				5037.261

$$I_x = I_y = 5037.261 \text{ mm}^4$$

4. Menghitung i_{\min}



Bagian	A (mm ²)	x (mm ²)	y (mm ²)	Σx.y.A (mm ⁴)
I	37.72605	-5.45	8.20	-1685.43
II	15.17395	-5.45	-3.30	272.66
III	47.61	6.05	-5.45	-1569.75
	100.51			-2982.52

$$I_{\min} = \frac{Ix + Iy}{2} - \sqrt{\left(\frac{Ix - Iy}{2}\right)^2 + (\sum x.y.A)^2}$$

$$I_{\min} = \frac{5037,261 + 5037,261}{2} - \sqrt{\left(\frac{5037,261 + 5037,261}{2}\right)^2 + (-2982.52)^2}$$

$$I_{\min} = 2054,12 \text{ mm}^4$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{2054,12}{100,51}} = 4,51 \text{ mm}$$

5. Perencanaan Batang Tersusun

Perhitungan Inersia Batang Tersusun

$$\begin{aligned}A_{gab} &= 4 * A_{tunggal} \\ &= 4 * 100,51 \\ &= 402,04 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$e = 6,60 \text{ mm}$$

a. Sampel I

Momen Inersia batang tersusun

$$\begin{aligned}I_{gab} &= 4.I + 4.A.(a/2-e)^2 \\ &= (4 * 5037,26) + 4 * 100,51 * (200/2-6,60)^2 \\ &= 3527368 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Harga kelangsingan batang tersusun

$$\begin{aligned}r_{gab} &= \sqrt{\frac{I_{gab}}{A_{gab}}} \\ &= \sqrt{\frac{3527368}{402,04}} = 93,67 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{(1)(2000)}{93,67} = 21,35$$

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

$$\leq 40$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4A_c L^2}{I_{gab}} + \frac{\pi^2 A_c L^2}{12I_c}}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4 * 100,51 * 2000^2}{3527368} + \frac{\pi^2 * 100,51 * 200^2}{12 * 5037}}$$

$$= 33,34$$

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

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

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

$$\lambda_r = \sqrt{21,35^2 + \frac{2}{2} 33,34^2}$$

$$= 40$$

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

$$= 40$$

b. sampel II

Momen Inersia batang tersusun

$$I_{gab} = 4.I + 4.A.(a/2-e)^2$$

$$= (4 * 5037,26) + 4 * 100,51 * (200/2 - 6,60)^2$$

$$= 3527368 \text{ mm}^4$$

Harga kelangsingan batang tersusun

$$\bar{r}_{gab} = \sqrt{\frac{I_{gab}}{A_{gab}}}$$

$$= \sqrt{\frac{3527368}{402,04}} = 93,67 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{kL}{\bar{r}} = \frac{(1)(2000)}{93,67} = 21,35$$

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

$$\leq 42,68$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4A_c L^2}{I_{gab}} + \frac{\pi^2 A_c L^2}{12I_c}}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4 * 100,51 * 2000^2}{3527368} + \frac{\pi^2 * 100,51 * 222,22^2}{12 * 5037}}$$

$$= 35,57$$

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

kelangsingan ideal dari komponen struktur tersusun dapat dihitung dengan

persamaan berikut :

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

$$\lambda_r = \sqrt{21,35^2 + \frac{2}{2} 35,57^2}$$

$$= 41,49$$

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

$$\leq 42,68$$

c. sampel III

Momen Inersia batang tersusun

$$I_{gab} = 4.I + 4.A.(a/2-e)^2$$

$$= (4 * 5037,26) + 4 * 100,51 * (200/2-6,60)^2$$

$$= 3527368 \text{ mm}^4$$

Harga kelangsingan batang tersusun



$$\begin{aligned} i_{gab} &= \sqrt{\frac{I_{gab}}{A_{gab}}} \\ &= \sqrt{\frac{3527368}{402,04}} = 93,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{kL}{i} = \frac{(1)(2000)}{93,67} = 21,35$$

$$\begin{aligned} \lambda &\geq 1,2 * \lambda_1 \\ &\leq 46,18 \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4A_c L^2}{I_{gab}} + \frac{\pi^2 A_c L^2}{12I_c}}$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \sqrt{\frac{4 * 100,51 * 2000^2}{3527368} + \frac{\pi^2 * 100,51 * 250^2}{12 * 5037}} \\ &= 38,48 \end{aligned}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \lambda_r &= \sqrt{21,35^2 + \frac{2}{2} 38,48^2} \\ &= 44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_r &\geq 1,2 * \lambda_1 \\ &\leq 46,18 \end{aligned}$$

d. sampel IV

Momen Inersia batang tersusun

$$\begin{aligned}
 I_{gab} &= 4.I + 4.A.(a/2-e)^2 \\
 &= (4 * 5037,26) + 4 * 100,51 * (200/2-6,60)^2 \\
 &= 3527368 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Harga kelangsingan batang tersusun

$$\begin{aligned}
 \dot{r}_{gab} &= \sqrt{\frac{I_{gab}}{A_{gab}}} \\
 &= \sqrt{\frac{3527368}{402,04}} = 93,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{kL}{\dot{r}} = \frac{(1)(2000)}{93,67} = 21,35$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &\geq 1,2 * \lambda_1 \\
 &\leq 50,83
 \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4A_c L^2}{I_{gab}} + \frac{\pi^2 A_c L^2}{12I_c}}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 &= \sqrt{\frac{4 * 100,51 * 2000^2}{3527368} + \frac{\pi^2 * 100,51 * 285,71^2}{12 * 5037}} \\
 &= 42,36
 \end{aligned}$$

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

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

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

$$\lambda_r = \sqrt{21,35^2 + \frac{2}{2} 42,36^2}$$

$$= 42,61$$

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

$$\leq 50,83$$

e. sampel V

Momen Inersia batang tersusun

$$\begin{aligned} I_{gab} &= 4.I + 4.A.(a/2-e)^2 \\ &= (4 * 5037,26) + 4 * 100,51 * (200/2-6,60)^2 \\ &= 3527368 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Harga kelangsingan batang tersusun

$$\begin{aligned} \dot{r}_{gab} &= \sqrt{\frac{I_{gab}}{A_{gab}}} \\ &= \sqrt{\frac{3527368}{402,04}} = 93,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{kL}{\dot{r}} = \frac{(1)(2000)}{93,67} = 21,35$$

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

$$\leq 57,28$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4A_c L^2}{I_{gab}} + \frac{\pi^2 A_c L_1^2}{12I_c}}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4 * 100,51 * 2000^2}{3527368} + \frac{\pi^2 * 100,51 * 333,33^2}{12 * 5037}}$$

$$= 47,73$$

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

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

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

$$\lambda_r = \sqrt{21,35^2 + \frac{2}{2} 47,73^2}$$

$$= 52,29$$

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

$$\leq 57,28$$

d. sampel VI

Momen Inersia batang tersusun

$$\begin{aligned} I_{gab} &= 4.I + 4.A.(a/2-e)^2 \\ &= (4 * 5037,26) + 4 * 100,51 * (200/2-6,60)^2 \\ &= 3527368 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Harga kelangsingan batang tersusun

$$\begin{aligned} r_{gab} &= \sqrt{\frac{I_{gab}}{A_{gab}}} \\ &= \sqrt{\frac{3527368}{402,04}} = 93,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{(1)(2000)}{93,67} = 21,35$$

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

$$\leq 66,59$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4A_c L^2}{I_{gab}} + \frac{\pi^2 A_c L^2}{12I_c}}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{4 * 100,51 * 2000^2}{3527368} + \frac{\pi^2 * 100,51 * 400^2}{12 * 5037}}$$

$$= 55,49$$

$$\lambda_1 \geq 50$$

kelangsingan ideal dari komponen struktur tersusun dapat dihitung dengan

persamaan berikut :

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

$$\lambda_r = \sqrt{21,35^2 + \frac{2}{2} 55,49^2}$$

$$= 59,46$$

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

$$\leq 66,59$$

LAMPIRAN 2

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

PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS KOLOM TERSUSUN
PROFIL SIKU DENGAN VARIASI
JARAK ANTAR BATANG TRANSVERSAL

A. Perhitungan Teoritis Beban Kritis

- Beban kritis dihitung dengan menggunakan persamaan (3.39)

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \left(\frac{L_1^2}{24EI_c} + \frac{L_1 a}{12EI_b} \right) \right]}$$

Dimana benda uji menggunakan empat profil siku 23 x 23 x 2,3 mm dengan perangkat transversal tulangan \varnothing 10 mm. Diketahui $\pi = 3,14$, $E = 200000$ Mpa, $A = 100,05 \text{ mm}^2$, $e = 6,60$ mm, $a = 200$ mm, $L = 2000$ mm.

Sampel I

$$P_y = 4 * A * F_y = 4 * 100,05 * 394,53 = 157891 \text{ N}$$

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

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

$$I_b = \frac{1}{4} * \pi * r^4 = \frac{1}{4} * 3,14 * 5^4 = 491 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} I_{gab} &= 4.I + 4.A.(a/2-e)^2 \\ &= (4 * 5037,26) + 4 * 100,51 * (200/2-6,60)^2 \\ &= 3527368 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

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

$$= \sqrt{\frac{3527368}{402,04}} = 93,67 \text{ mm}$$

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 * 200000 * 3527368}{2000^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 * 200000 * 3527368}{2000^2} \left(\frac{200^2}{24 * 200000 * 5037} + \frac{200 * 200}{12 * 200000 * 491} \right) \right]}$$

$$P_{cr1} = 1738921.88 * \frac{1}{\left[1 + 1738921.88 * (0.00000165 + 0.0000339) \right]}$$

$$P_{cr1} = 26435 \text{ N}$$

- Beban kritis dihitung dengan menggunakan persamaan (3.40)

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \left(\frac{L_1^2}{24EI_c} \right) \right]}$$

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 * 200000 * 3527368}{2000^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 * 200000 * 3527368}{2000^2} \left(\frac{200^2}{24 * 200000 * 5037} \right) \right]}$$

$$P_{cr1} = 1738921.88 * \frac{1}{\left[1 + 1738921.88 * 0.00000165 \right]}$$

$$P_{cr} = 448532 \text{ N}$$

Didapat besarnya beban kritis teoritis sebagai berikut :

Tabel L2.1 Hasil Perhitungan Beban Kritis Teoritis

L1 (mm)	π	E (Mpa)	A (mm ²)	e (mm)	a (mm)	L (mm)	Ic (mm ⁴)	Ib (mm ⁴)	Igab (mm ⁴)	Pcr(3.39) (N)	Pcr(3.40) (N)
200.00	3.14	200000	101	6.6	200	2000	5037	491	3527368	26435	448532
222.22	3.14	200000	101	6.6	200	2000	5037	491	3527368	23599	382040
250.00	3.14	200000	101	6.6	200	2000	5037	491	3527368	20757	316445
285.71	3.14	200000	101	6.6	200	2000	5037	491	3527368	17915	253079
333.33	3.14	200000	101	6.6	200	2000	5037	491	3527368	15074	193401
400.00	3.14	200000	101	6.6	200	2000	5037	491	3527368	12240	139029

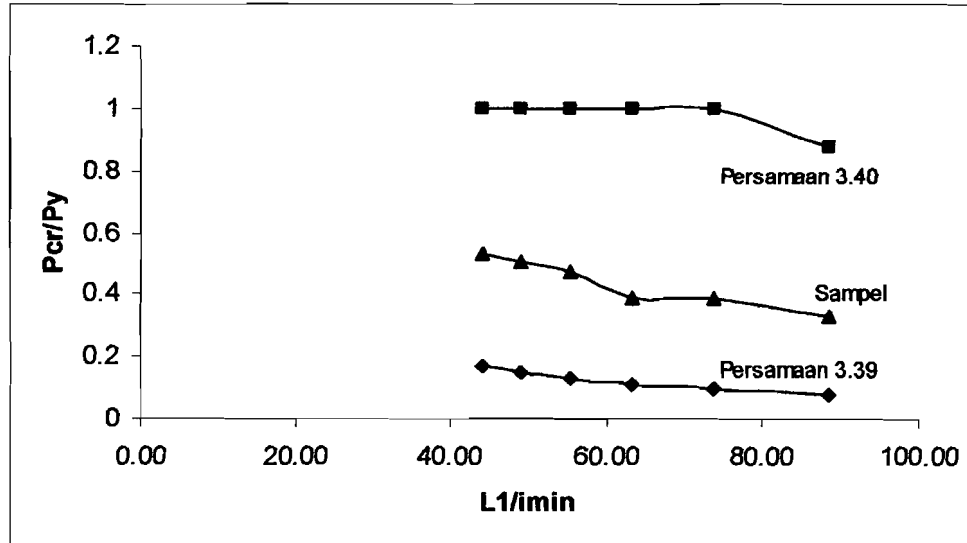
B. Perbandingan Beban Kritis (P_{cr}) Hasil Pengujian dengan Teoritis

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

L_1/i_{min}	Teori				Pengujian	
	Persamaan 3.39		Persamaan 3.40		Pcr (N)	Pcr/Py
	Pcr (N)	Pcr/Py	Pcr (N)	Pcr/Py		
44.25	26435	0.17	448532	1.00	84000	0.53
49.16	23599	0.15	382040	1.00	80500	0.51
55.31	20757	0.13	316445	1.00	75300	0.47
63.21	17915	0.11	253079	1.00	61300	0.39
73.75	15074	0.10	193401	1.00	62000	0.39
88.50	12240	0.08	139029	0.88	52500	0.33

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 variasi jarak batang transversal

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

$$M = P * \Delta$$

$$\Phi = \frac{y_{i+1} - (2 * y_i) + y_{i-1}}{\Delta_x^2}$$

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

TABEL DAN GRAFIK HASIL PENELITIAN

LAMPIRAN 3

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

1. Hasil Pengujian Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Profil Siku

Tabel L3.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Tegangan Leleh (Fy) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Fu) (Mpa)
Profil Siku	394,54	444,97

a. Sampel 1

$$\begin{aligned} \text{Beban Leleh} &= 1192,5 \text{ kgf} \\ &= 9,81 * 1192,5 = 11698 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban maksimum} &= 1467,5 \text{ kgf} \\ &= 9,81 * 1467,5 = 14396 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan

$$\text{Lebar (b)} = 13 \text{ mm}$$

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

$$A_0 = b \times t = 13 * 2,3 = 29,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tegangan leleh baja (Fy)} = \frac{Py}{A_0}$$

$$= \frac{11698}{29,9}$$

$$= 391,24 \text{ N/mm}^2 = 391,24 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan ultimit baja (Fu)} = \frac{Pu}{A_o}$$

$$= \frac{14396}{29,9}$$

$$= 481,47 \text{ N/mm}^2 = 481,47 \text{ MPa}$$

b. Sampel 2

$$\text{Beban Leleh} = 1212,5 \text{ kgf}$$

$$= 9,81 * 1212,5 = 11895 \text{ N}$$

$$\text{Beban maksimum} = 1245 \text{ kgf}$$

$$= 9,81 * 1245 = 12213 \text{ N}$$

Perhitungan

$$\text{Lebar (b)} = 13 \text{ mm}$$

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

$$A_0 = b \times t = 13 * 2,3 = 29,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tegangan leleh baja (Fy)} = \frac{Py}{A_0}$$

$$= \frac{11895}{29,9}$$

$$= 397,83 \text{ N/mm}^2 = 397,83 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan ultimit baja (Fu)} &= \frac{Pu}{A_o} \\
 &= \frac{12213}{29,9} \\
 &= 408,46 \text{ N/mm}^2 = 408,46 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Las

Tabel L3.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Sambungan Las

Benda Uji	P Maks (N)
1	12557
2	13341

3. Tabel Beban - Lendutan Benda Uji

Tabel L3.3 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($L_1=200$ mm)

Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.23	0.39	0.19
7.00	0.26	0.47	0.21
10.50	0.31	0.55	0.26
14.00	0.33	0.60	0.28
17.50	0.38	0.65	0.33
21.00	0.44	0.71	0.38
24.50	0.46	0.80	0.41
28.00	0.49	0.86	0.44
31.50	0.55	0.93	0.49
35.00	0.57	1.02	0.53
38.50	0.61	1.13	0.55
42.00	0.66	1.21	0.58
45.50	0.71	1.33	0.80
49.00	0.86	1.44	0.94
52.50	1.03	1.57	1.06
56.00	1.42	1.76	1.18
59.50	1.51	2.02	1.37
63.00	1.84	2.33	1.59

Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
66.50	2.06	2.65	1.82
70.00	2.40	3.10	2.15
73.50	3.25	4.18	3.46
77.00	5.28	5.44	4.87
80.50	6.96	7.51	6.92
84.00	7.93	8.65	8.01

Tabel L3.4 Beban Lendutan Benda Uji 2 ($L_1=222,22$ mm)

Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.71	1.09	0.75
7.00	0.80	1.29	0.89
10.50	1.09	1.50	1.16
14.00	1.17	1.54	1.19
17.50	1.19	1.58	1.22
21.00	1.25	1.70	1.37
24.50	1.45	1.90	1.54
28.00	1.61	2.05	1.77
31.50	1.78	2.22	1.82
35.00	1.83	2.43	2.05
38.50	2.02	2.72	2.31
42.00	2.49	3.02	2.60
45.50	2.78	3.35	2.83
49.00	3.06	3.69	3.15
52.50	3.44	3.92	3.56
56.00	3.60	4.19	3.78
59.50	3.82	4.52	4.17
63.00	4.26	5.00	4.55
66.50	4.62	5.39	4.77
70.00	5.15	6.30	5.21
73.50	6.19	7.26	6.32
77.00	8.23	9.58	8.96
80.50	10.39	12.68	10.81

Tabel L3.5 Beban Lendutan Benda Uji 3 ($L_1=250$ mm)

Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	1.00	1.08	0.83
7.00	1.20	1.35	1.08
10.50	1.25	1.42	1.15

Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
14.00	1.35	1.58	1.25
17.50	1.55	1.72	1.37
21.00	1.69	1.86	1.49
24.50	1.76	2.10	1.59
28.00	1.83	2.19	1.75
31.50	1.92	2.34	1.87
35.00	2.19	2.55	2.02
38.50	2.43	3.09	2.32
42.00	2.62	3.40	2.59
45.50	2.93	3.78	2.82
49.00	3.40	4.29	3.15
52.50	3.87	4.83	3.47
56.00	4.56	5.45	3.83
59.50	5.44	6.55	4.47
63.00	6.95	7.73	5.22
66.50	8.02	8.95	6.43
70.00	8.90	9.99	7.73
73.50	10.58	11.86	10.28
75.25	13.58	14.88	13.22

Tabel L3.6 Beban Lendutan Benda Uji 4 ($L_1=285,71$ mm)

Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.40	0.89	0.52
7.00	0.61	1.48	0.68
10.50	0.96	1.64	0.86
14.00	1.32	1.81	1.21
17.50	1.61	1.99	1.46
21.00	1.80	2.10	1.66
24.50	1.99	2.34	1.82
28.00	2.15	2.51	2.17
31.50	2.26	2.72	2.30
35.00	2.36	2.99	2.44
38.50	2.59	3.98	2.61
42.00	4.52	5.24	3.08
45.50	5.16	6.27	3.98
49.00	6.44	7.35	4.87
52.50	7.48	8.64	6.24
56.00	9.35	10.58	8.75
59.50	12.84	13.86	10.32
61.25	15.86	17.55	14.25

Tabel L3.7 Beban Lendutan Benda Uji 5 ($L_1=333,33$ mm)

Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.91	1.10	0.81
7.00	0.98	1.25	1.05
10.50	1.05	1.44	1.23
14.00	1.12	1.65	1.43
17.50	1.21	1.87	1.54
21.00	1.24	2.05	1.79
24.50	1.42	2.37	1.89
28.00	1.55	2.59	2.21
31.50	1.59	2.86	2.34
35.00	1.74	3.15	2.58
38.50	1.93	3.40	2.77
42.00	2.14	3.86	3.55
45.50	3.86	4.72	4.38
49.00	4.15	6.28	5.44
52.50	5.18	8.75	7.38
56.00	6.84	10.21	8.12
59.50	9.81	12.25	10.28
61.95	12.95	16.89	13.59

Tabel L3.8 Beban Lendutan Benda Uji 6 ($L_1=400$ mm)

Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.15	1.15	0.22
7.00	0.32	1.35	0.46
10.50	0.40	1.46	0.58
14.00	0.46	1.70	0.61
17.50	0.61	1.96	0.77
21.00	0.98	2.15	1.03
24.50	1.38	2.88	1.42
28.00	1.66	3.28	2.46
31.50	2.08	4.02	3.29
35.00	3.58	6.55	4.56
38.50	4.79	7.54	5.28
42.00	6.73	10.58	7.29
45.50	9.28	14.87	11.59
49.00	13.58	17.54	15.30
52.50	16.22	21.63	17.77

4. Tabel Momen-Kelengkungan Benda Uji

Tabel L3.9 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 1

Beban (kN)	Lendutan (mm)			Momen kN.mm	Φ 1/mm
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
3.50	0.23	0.39	0.19	1.37	1.44E-06
7.00	0.26	0.47	0.21	3.29	1.88E-06
10.50	0.31	0.55	0.26	5.78	2.12E-06
14.00	0.33	0.60	0.28	8.40	2.36E-06
17.50	0.38	0.65	0.33	11.38	2.36E-06
21.00	0.44	0.71	0.38	14.91	2.40E-06
24.50	0.46	0.80	0.41	19.60	2.92E-06
28.00	0.49	0.86	0.44	24.08	3.16E-06
31.50	0.55	0.93	0.49	29.30	3.28E-06
35.00	0.57	1.02	0.53	35.70	3.76E-06
38.50	0.61	1.13	0.55	43.51	4.40E-06
42.00	0.66	1.21	0.58	50.82	4.72E-06
45.50	0.71	1.33	0.80	60.52	4.60E-06
49.00	0.86	1.44	0.94	70.56	4.32E-06
52.50	1.03	1.57	1.06	82.43	4.20E-06
56.00	1.42	1.76	1.18	98.56	3.68E-06
59.50	1.51	2.02	1.37	120.19	4.64E-06
63.00	1.84	2.33	1.59	146.79	4.92E-06
66.50	2.06	2.65	1.82	176.23	5.68E-06
70.00	2.40	3.10	2.15	217.00	6.60E-06
73.50	3.25	4.18	3.46	307.23	6.60E-06
77.00	5.28	5.44	4.87	418.88	2.92E-06
80.50	6.96	7.51	6.92	604.56	4.56E-06
84.00	7.93	8.65	8.01	726.60	5.44E-06

Tabel L3.10 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 2

Beban (kN)	Lendutan (mm)			Momen kN.mm	Φ 1/mm
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
3.50	0.71	1.09	0.75	3.82	2.88E-06
7.00	0.80	1.29	0.89	9.03	3.56E-06
10.50	1.09	1.50	1.16	15.75	3.00E-06
14.00	1.17	1.54	1.19	21.56	2.88E-06
17.50	1.19	1.58	1.22	27.65	3.00E-06
21.00	1.25	1.70	1.37	35.70	3.12E-06
24.50	1.45	1.90	1.54	46.55	3.24E-06
28.00	1.61	2.05	1.77	57.40	2.88E-06
31.50	1.78	2.22	1.82	69.93	3.36E-06

Beban (kN)	Lendutan (mm)			Momen kN.mm	Φ 1/mm
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
35.00	1.83	2.43	2.05	85.05	3.92E-06
38.50	2.02	2.72	2.31	104.72	4.44E-06
42.00	2.49	3.02	2.60	126.84	3.80E-06
45.50	2.78	3.35	2.83	152.43	4.36E-06
49.00	3.06	3.69	3.15	180.81	4.68E-06
52.50	3.44	3.92	3.56	205.80	3.36E-06
56.00	3.60	4.19	3.78	234.64	4.00E-06
59.50	3.82	4.52	4.17	268.94	4.20E-06
63.00	4.26	5.00	4.55	315.00	4.76E-06
66.50	4.62	5.39	4.77	358.44	5.56E-06
70.00	5.15	6.30	5.21	441.00	8.96E-06
73.50	6.19	7.26	6.32	533.61	8.04E-06
77.00	8.23	9.58	8.96	737.66	7.88E-06
80.50	10.39	12.68	10.81	1020.74	1.66E-05

Tabel L3.11 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 3

Beban (kN)	Lendutan (mm)			Momen kN.mm	Φ 1/mm
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00E+00
3.50	1.00	1.08	0.83	3.78	1.32E-06
7.00	1.20	1.35	1.08	9.45	1.68E-06
10.50	1.25	1.42	1.15	14.91	1.76E-06
14.00	1.35	1.58	1.25	22.12	2.24E-06
17.50	1.55	1.72	1.37	30.1	2.08E-06
21.00	1.69	1.86	1.49	39.06	2.16E-06
24.50	1.76	2.10	1.59	51.45	3.40E-06
28.00	1.83	2.19	1.75	61.32	3.20E-06
31.50	1.92	2.34	1.87	73.71	3.56E-06
35.00	2.19	2.55	2.02	89.25	3.56E-06
38.50	2.43	3.09	2.32	118.965	5.72E-06
42.00	2.62	3.40	2.59	142.8	6.36E-06
45.50	2.93	3.78	2.82	171.99	7.24E-06
49.00	3.40	4.29	3.15	210.21	8.12E-06
52.50	3.87	4.83	3.47	253.575	9.28E-06
56.00	4.56	5.45	3.83	305.2	1.00E-05
59.50	5.44	6.55	4.47	389.725	1.28E-05
63.00	6.95	7.73	5.22	486.99	1.32E-05
66.50	8.02	8.95	6.43	595.175	1.38E-05
70.00	8.90	9.99	7.73	699.3	1.34E-05
73.50	10.58	11.86	10.28	871.71	1.14E-05
75.25	13.58	14.88	13.22	1119.72	1.18E-05

Tabel L3.12 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 4

Beban (kN)	Lendutan (mm)			Momen kN.mm	Φ 1/mm
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
3.50	0.40	0.89	0.52	3.12	3.44E-06
7.00	0.61	1.48	0.68	10.36	6.68E-06
10.50	0.96	1.64	0.86	17.22	5.84E-06
14.00	1.32	1.81	1.21	25.34	4.36E-06
17.50	1.61	1.99	1.46	34.83	3.64E-06
21.00	1.80	2.10	1.66	44.10	2.96E-06
24.50	1.99	2.34	1.82	57.33	3.48E-06
28.00	2.15	2.51	2.17	70.28	2.80E-06
31.50	2.26	2.72	2.30	85.68	3.52E-06
35.00	2.36	2.99	2.44	104.65	4.72E-06
38.50	2.59	3.98	2.61	153.23	1.10E-05
42.00	4.52	5.24	3.08	220.08	1.15E-05
45.50	5.16	6.27	3.98	285.29	1.36E-05
49.00	6.44	7.35	4.87	360.15	1.36E-05
52.50	7.48	8.64	6.24	453.60	1.42E-05
56.00	9.35	10.58	8.75	592.48	1.22E-05
59.50	12.84	13.86	10.32	824.67	1.82E-05
61.25	15.86	17.55	14.25	1074.94	2.00E-05

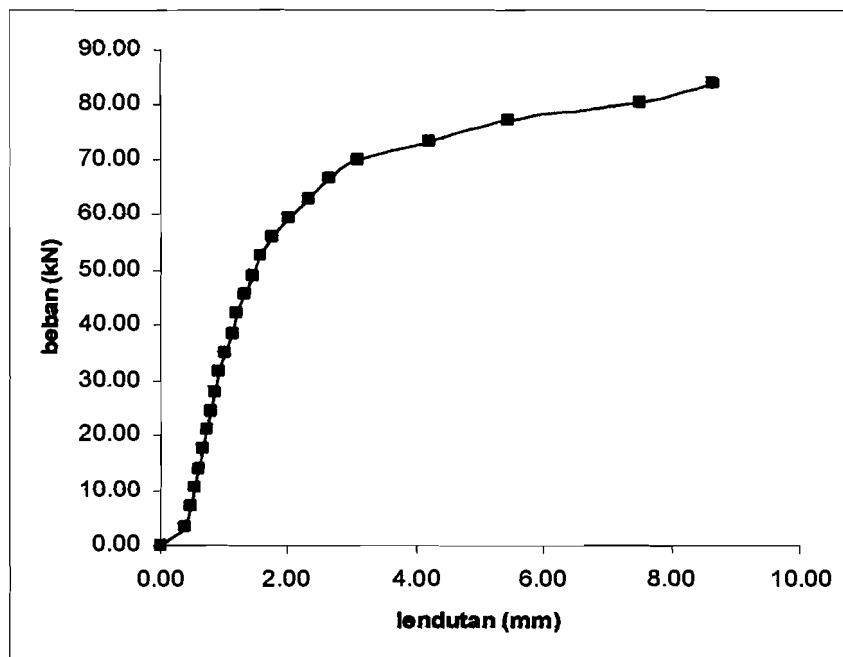
Tabel L3.13 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 5

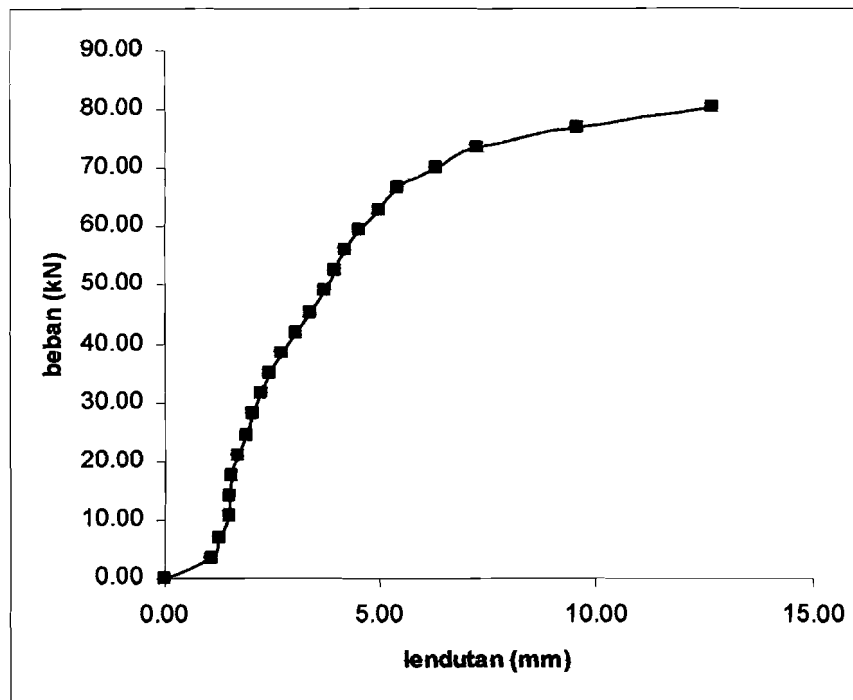
Beban (kN)	Lendutan (mm)			Momen kN.mm	Φ 1/mm
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
3.50	0.91	1.10	0.81	3.85	1.92E-06
7.00	0.98	1.25	1.05	8.75	1.88E-06
10.50	1.05	1.44	1.23	15.12	2.40E-06
14.00	1.12	1.65	1.43	23.10	3.00E-06
17.50	1.21	1.87	1.54	32.73	3.96E-06
21.00	1.24	2.05	1.79	43.05	4.28E-06
24.50	1.42	2.37	1.89	58.07	5.72E-06
28.00	1.55	2.59	2.21	72.52	5.68E-06
31.50	1.59	2.86	2.34	90.09	7.16E-06
35.00	1.74	3.15	2.58	110.25	7.92E-06
38.50	1.93	3.40	2.77	130.90	8.40E-06
42.00	2.14	3.86	3.55	162.12	8.12E-06
45.50	3.86	4.72	4.38	214.76	4.80E-06
49.00	4.15	6.28	5.44	307.72	1.19E-05
52.50	5.18	8.75	7.38	459.38	1.98E-05
56.00	6.84	10.21	8.12	571.76	2.18E-05
59.50	9.81	12.25	10.28	728.88	1.76E-05
61.95	12.95	16.89	13.59	1046.34	2.90E-05

Tabel L3.14 Beban Momen-Kelengkungan Sampel 6

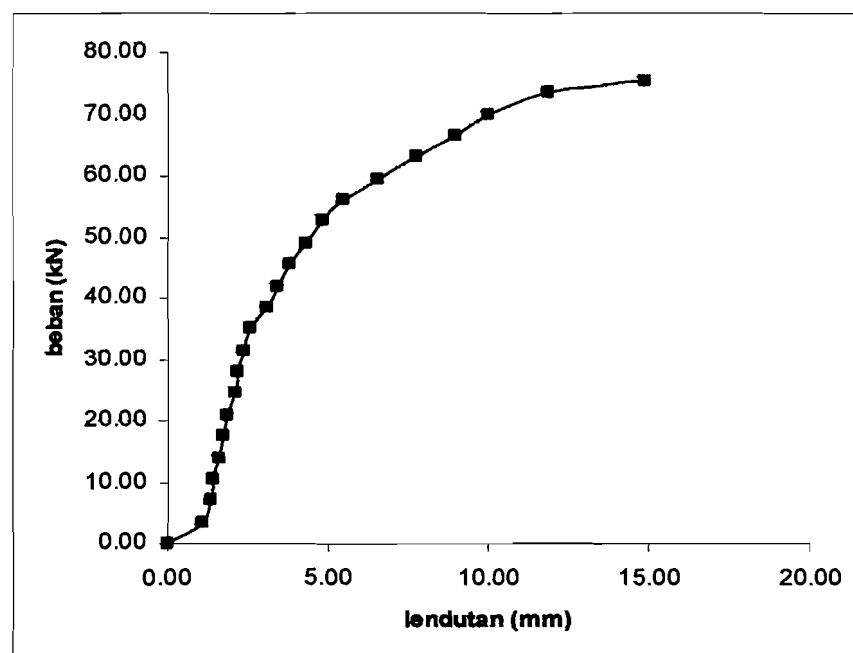
Beban (kN)	Lendutan (mm)			Momen kN.mm	Φ 1/mm
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
3.50	0.15	1.15	0.22	4.03	7.72E-06
7.00	0.32	1.35	0.46	9.45	7.68E-06
10.50	0.40	1.46	0.58	15.33	7.76E-06
14.00	0.46	1.70	0.61	23.80	9.32E-06
17.50	0.61	1.96	0.77	34.30	1.02E-05
21.00	0.98	2.15	1.03	45.15	9.16E-06
24.50	1.38	2.88	1.42	70.56	1.18E-05
28.00	1.66	3.28	2.46	91.84	9.76E-06
31.50	2.08	4.02	3.29	126.63	1.07E-05
35.00	3.58	6.55	4.56	229.25	1.98E-05
38.50	4.79	7.54	5.28	290.29	2.00E-05
42.00	6.73	10.58	7.29	444.36	2.86E-05
45.50	9.28	14.87	11.59	676.59	3.55E-05
49.00	13.58	17.54	15.30	859.46	2.48E-05
52.50	16.22	21.63	17.77	1135.58	3.71E-05

5. Grafik Beban Lendutan Benda Uji

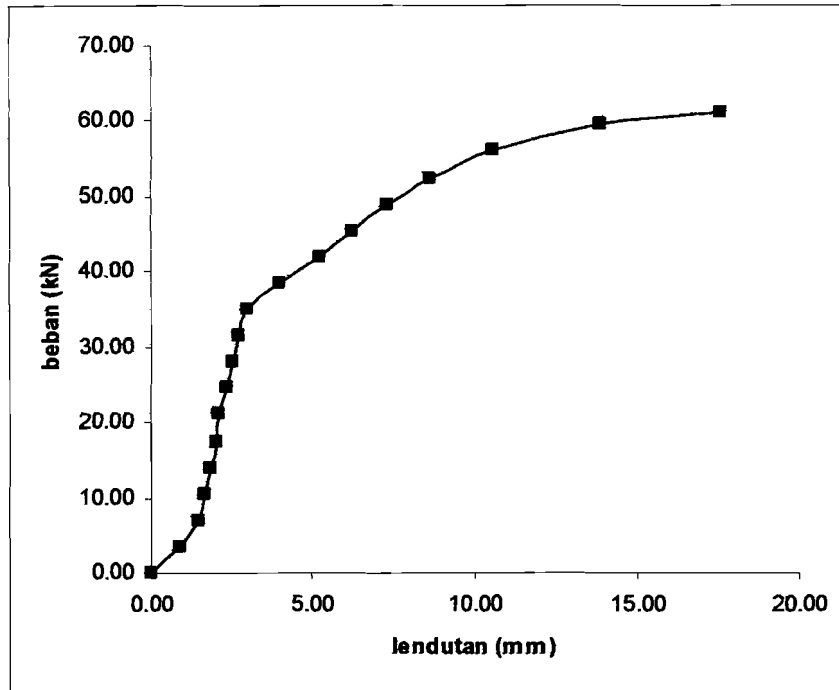
**Gambar L3.1** Grafik hubungan beban-lendutan sample 1



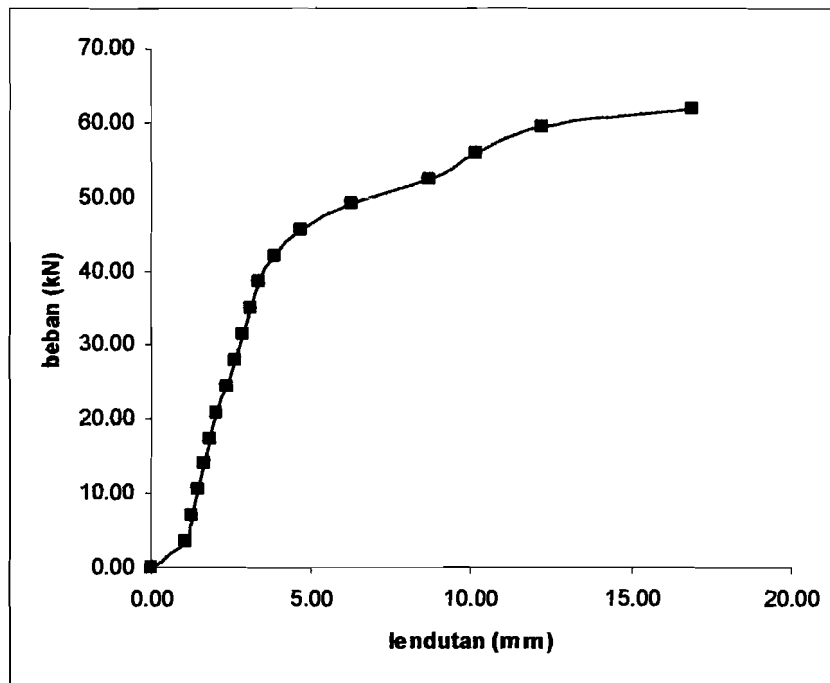
Gambar L3.2 Grafik hubungan beban-lendutan sample 2



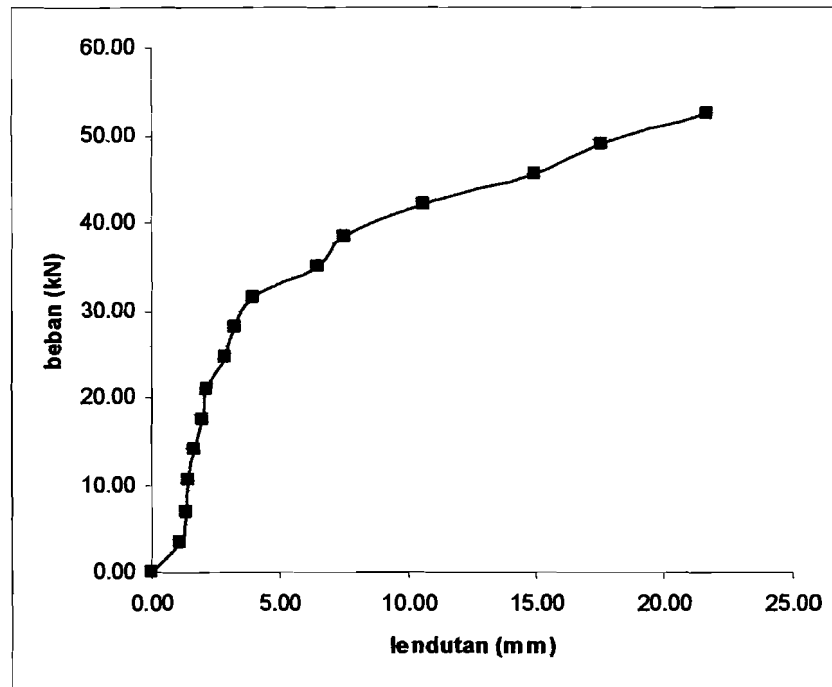
Gambar L3.3 Grafik hubungan beban-lendutan sample 3



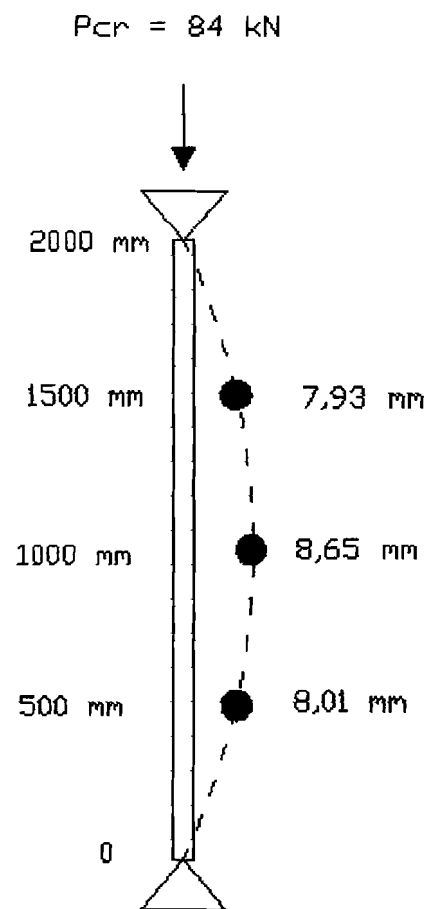
Gambar L3.4 Grafik hubungan beban-lendutan sampel 4



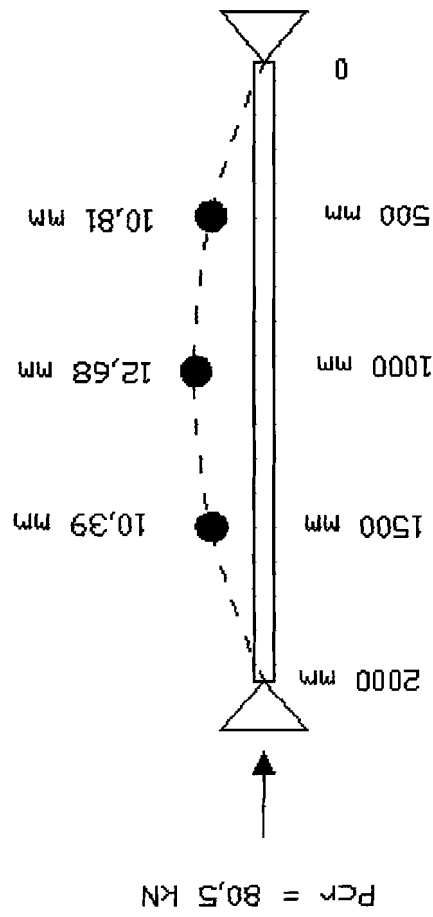
Gambar L3.5 Grafik hubungan beban-lendutan sample 5

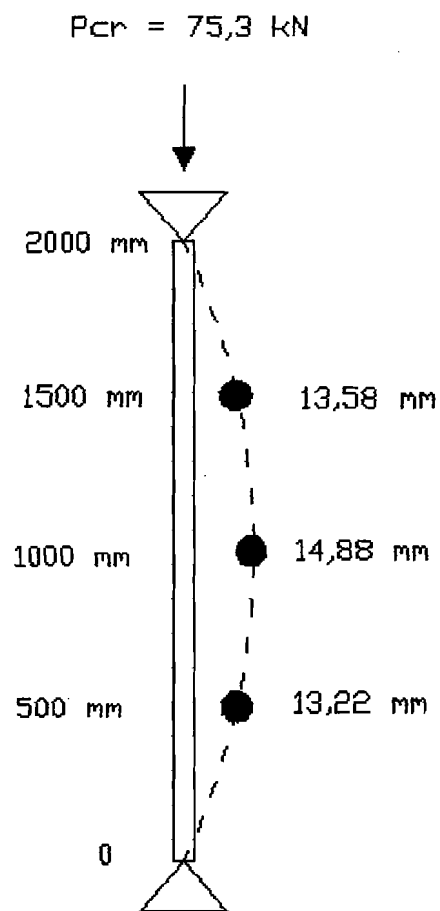


Gambar L3.6 Grafik hubungan beban-lendutan sample 6

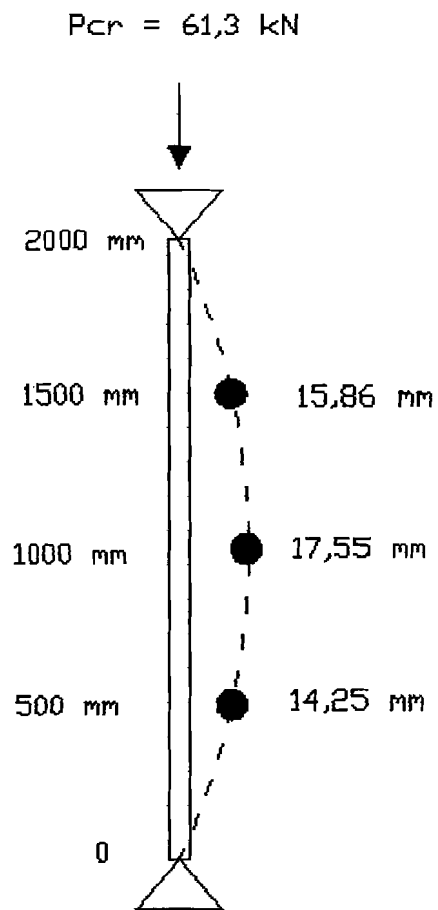
6. Gambar Beban Lendutan Benda Uji**Gambar L3.7 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 1**

Gambar L3.8 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 2

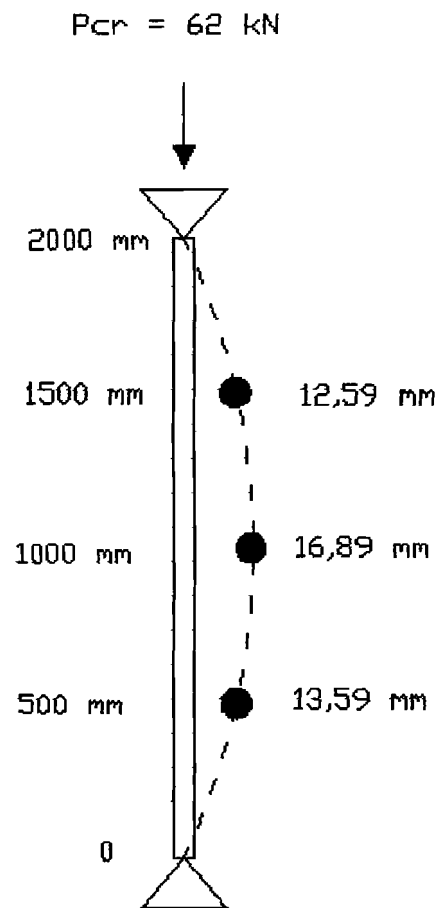




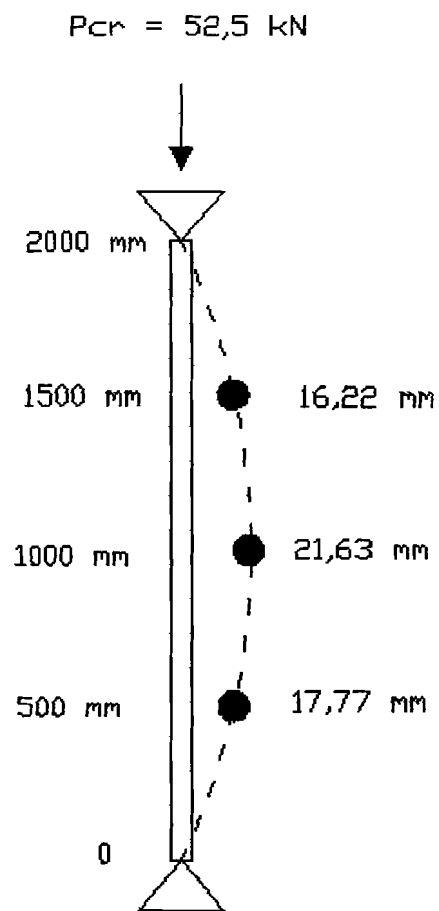
Gambar L3.9 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 3



Gambar L3.10 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 4



Gambar L3.11 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 5

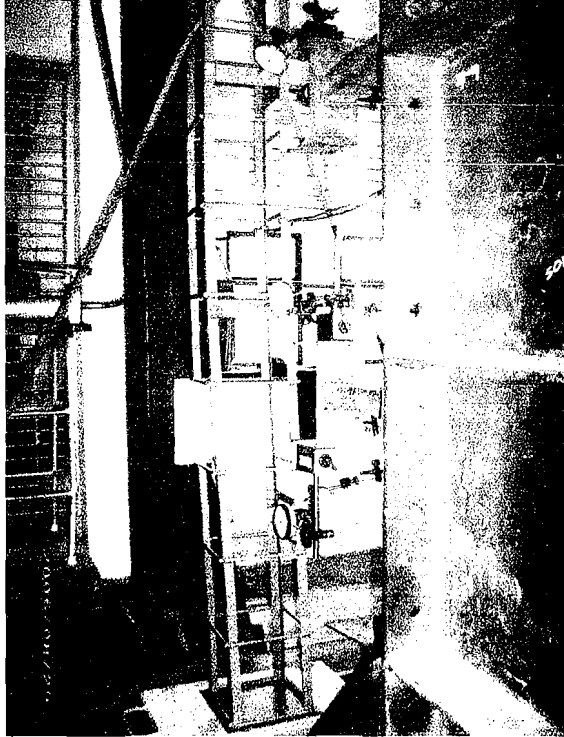


Gambar L3.12 Kurva Lendutan Maksimal Benda Uji 6

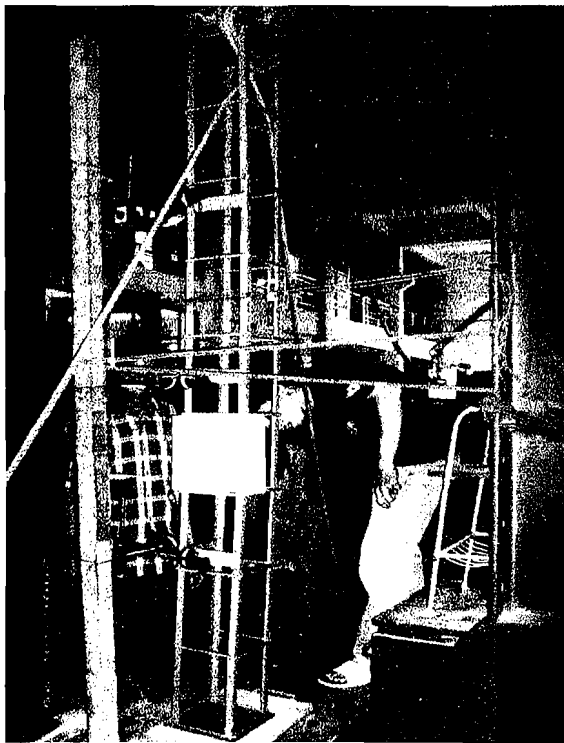
PENGUJIAN

GAMBAR DAN DOKUMENTASI SAAT

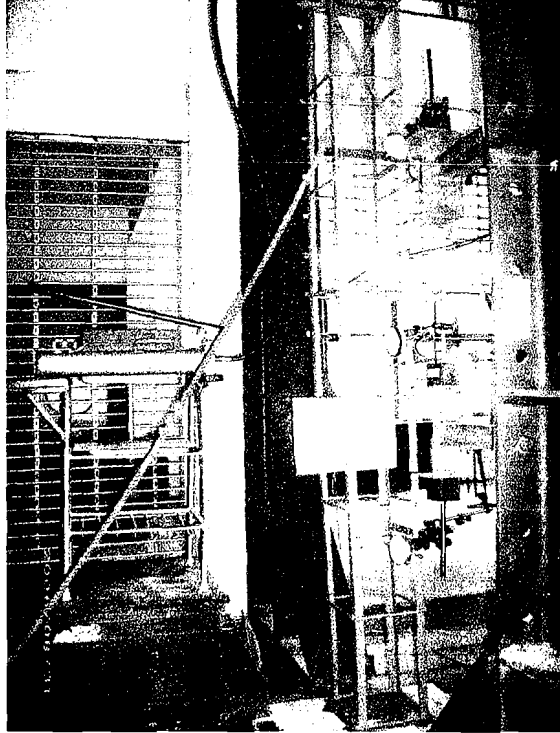
LAMPIRAN 4



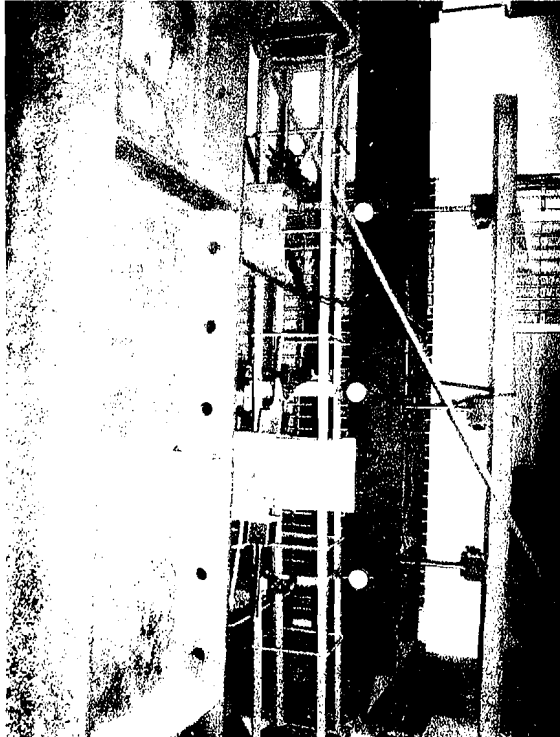
Gambar L.4.1 Benda Uji 1 Setelah Diberi Pembebanan



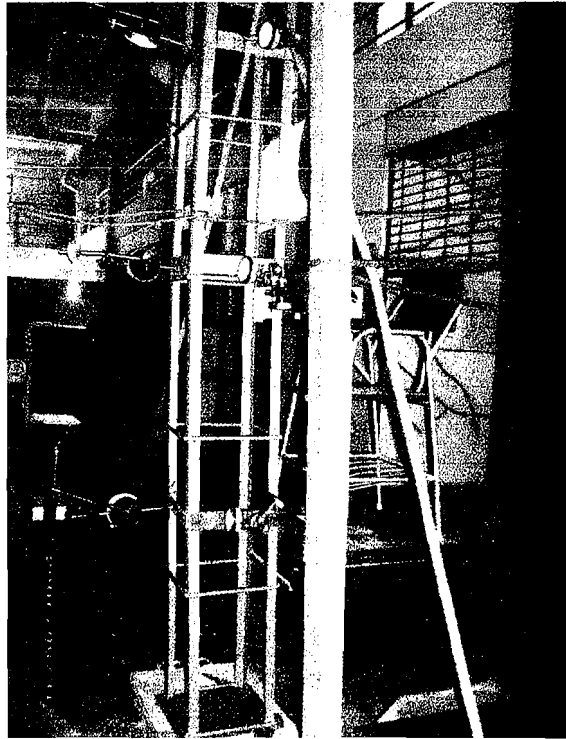
Gambar L.4.2 Benda Uji 2 Setelah Diberi Pembebanan



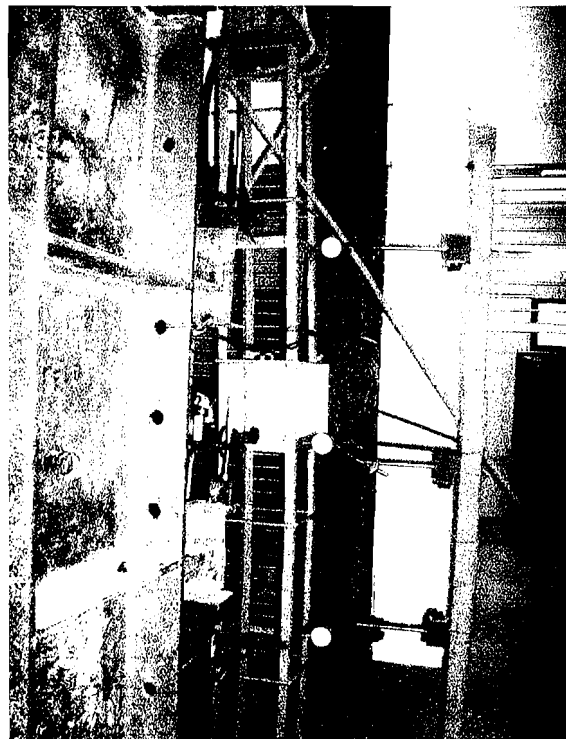
Gambar L.4.3 Benda Uji 3 Setelah Diberi Pembebanan



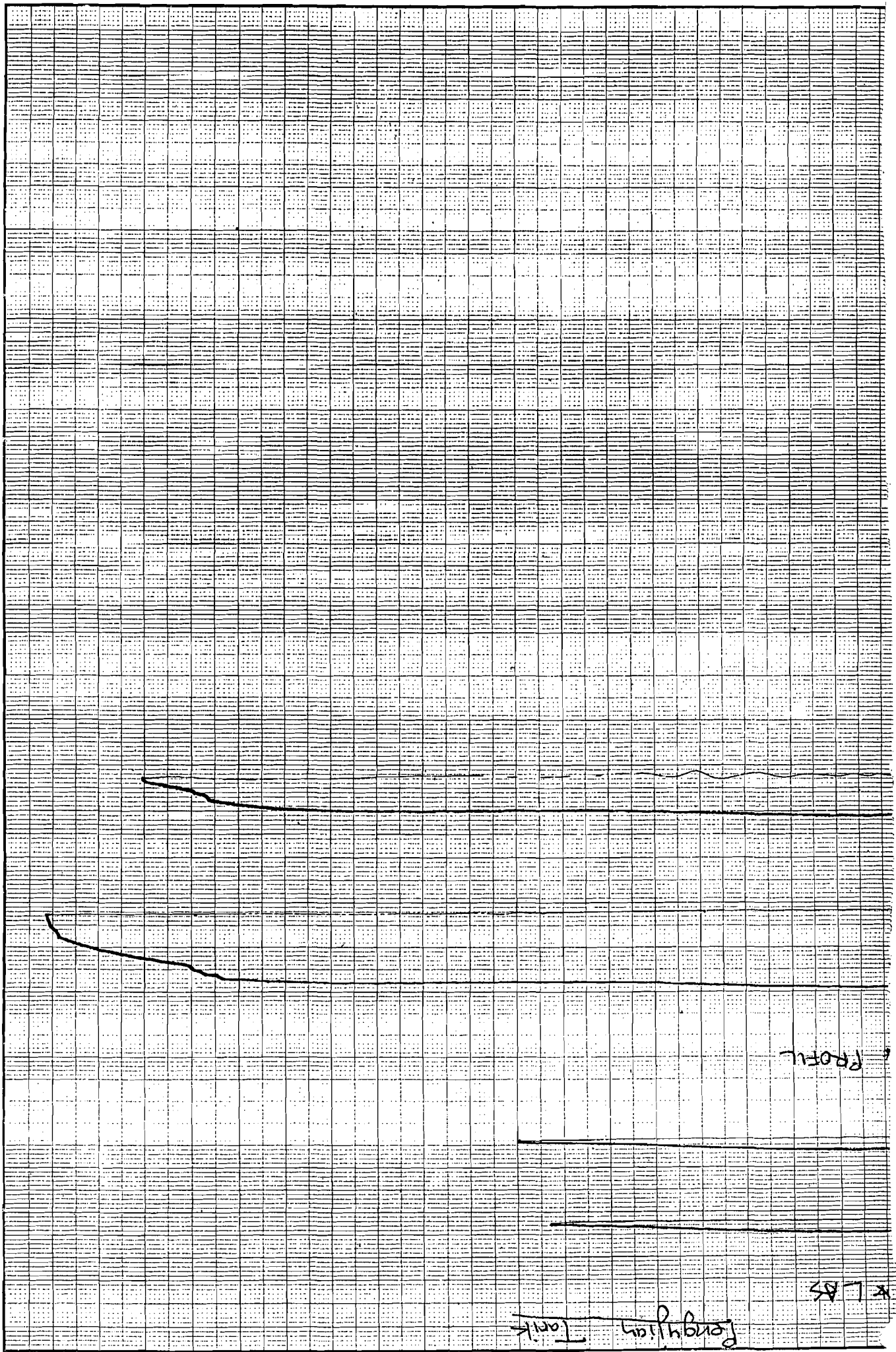
Gambar L.4.4 Benda Uji 4 Setelah Diberi Pembebanan



Gambar L.4.5 Benda Uji 5 Setelah Diberi Pembebanan



Gambar L.4.6 Benda Uji 6 Setelah Diberi Pembebanan



PROFIL

x LAS

Longman
Lark