

PERPUSTAKAAN FTSP UII

HADIAH/SELI

TGL. TERIMA : 06-12-2007  
NO. JUDUL : 2716  
NO. INV. : 5120002716001  
NO. INDIK. : 002716

TUGAS AKHIR

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN  
DENGAN KELANGSINGAN MODERAT  
AKIBAT PEMBEBANAN EKSENTRIS**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Jogjakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil



Disusun Oleh :

**RADYO WIJOYO DANUBROTO**  
03 511 082

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA  
2007**

MILIK PERPUSTAKAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

**HALAMAN PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR  
KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DENGAN  
KELANGSINGAN MODERAT AKIBAT  
PEMBEBANAN EKSENTRIS**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Jogjakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil



Disusun Oleh :

**Radyo Wijoyo Danubroto**  
03 511 082

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Sipil

**Ir. H. Faisol AM, MS.**

Tanggal :

Telah diperiksa dan disetujui oleh  
Dosen Pembimbing

**Ir. Fatkhurrohman N, MT**

Tanggal :

## MOTTO

“ Bila pergi membawa bekal, bila mati membawa amal”

“Dan tiadalah kehidupan dunia ini melainkan senda gurau dan main-main. Dan sesungguhnya akhirat itulah yang sebenarnya kehidupan, kalau mereka mengetahui”. ( Al 'Ankabuut : 64)

“Dan hendaklah ada di antara kamu segolongan umat yang menyeru kepada kebajikan, menyuruh kepada yang ma'ruf dan mencegah dari yang munkar, merekalah orang-orang yang beruntung. “. (Ali 'Imran : 104)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada tuhanmulah hendaknya kamu berharap”. (Alam Nasyrah 5-8)

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya laporan tugas akhir dengan judul “Kapasitas Kolom Tersusun Dengan Kelangsingan Moderat Akibat Pembebanan Eksentris” dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkakan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu prasyarat untuk menyelesaikan jenjang strata satu (S1) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Selain itu, sebagai sarana bagi mahasiswa untuk dapat mengaplikasikan ilmu dan pengetahuan yang telah didapat selama mengikuti perkuliahan di Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan jurusan Teknik Sipil.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari sumbangan pemikiran berbagai pihak yang sangat membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penyusunan hingga selesainya tugas akhir ini. Maka pada kesempatan ini dengan penuh hormat dan kerendahan hati penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu:

1. Bapak Ir Fatkhurrohman N, MT selaku Dosen Pembimbing yang banyak memberikan arahan-arahan dan motivasi sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
2. Ayahnda dan Ibunda yang selalu senantiasa memberikan Do'a dan memberikan motivasi baik riil maupun Nonriil hingga laporan ini terselesaikan.
3. Prof. Dr. Edi Suandi Hamid, MEd, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia Jogjakarta
4. Bapak DR. Ir. H. Ruzardi, MS, Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ir H Faizol AM, MS Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
6. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph D. selaku Dosen Penguji I.
7. Bapak Ir. H. Suharyatmo MT selaku Dosen Penguji II.
8. Mas Aris Yang telah membantu dalam pengujian.
9. Staf Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
10. Eyang Putri, Bu Nina, Bu Ambar, Om Agus, Om Edo serta adik – adiku (Angga, Dea, Nisa, Fadel, Dila, Fauzan, Naura) yang selalu mendoakan dan memberi semangat hingga Tugas Akhir ini terselesaikan.
11. Miranda Ade Rastanti Siregar, yang selalu menemani dan melewati semua ini dan tak kenal lelah memberikan perhatian, kasih sayang,

dorongan, semangat dan doa dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

12. Temen-temen satu perjuangan TA, Adi, Arif, Putri, Anggi..Akhirnya kita Lulus juga Pren!!! Perjuangan “06.00 - 07.00” Kita tidak sia-sia. Danur, ayo tetap semangat..!! dan kawan-kawan kampus yang banyak membantu melaksanakan uji laboratorium.
13. Pak Dhe “dian Aw” -03511083-, temenQ dari SD,SMP,SMA, hingga Perguruan tinggi..
14. Anak-anak Depara (SMP 1 Yk Angk 2000), Anak-anak GANZA (SMA N 9 Yk Angk 2003)
15. Temen-temen KKN Khusus Gempa Unit 4, akhirnya aku lulus..!!
16. Temen-temen Kerja Praktek RUSUNNAWA.
17. Keluarga Besar Abankirenk Creative, Thx atas dorongan dan semangat.
18. Semua pihak yang telah membantu didalam penyusunan Tugas Akhir.

Akhirnya besar harapan penyusunan laporan ini dapat berguna bagi pembaca pada umumnya. Jika ada kesalahan-kesalahan dalam penulisan laporan mohon dimaafkan. Besar harapan penyusun dari pembaca untuk memberikan kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan ini.

***Wassalamu'alaikum Wr.Wb***

Yogyakarta, 7 Juli 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>MOTTO</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>ABSTRAKSI</b> .....	xvi
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian.....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>BAB III. LANDASAN TEORI</b> .....	7
3.1 Pembebanan Sentris Pada Profil Tunggal.....	7

3.2	Faktor Panjang Tekuk.....	12
3.3	Rumus Secant.....	12
3.4	Persamaan Batang Tekan AISC.....	16
3.5	Gaya Geser Pada Kolom Tunggal.....	20
3.6	Gaya Geser Pada Kolom Tersusun .....	22
3.7	Pembebanan Eksentris Pada Kolom Tersusun.....	26
3.8	Kegagalan Pada Kolom Tersusun.....	28
3.8.1	Kegagalan Kerena Leleh.....	28
3.8.2	Kegagalan Kerana Tekuk.....	29
3.9	Hubungan Tanpa Dimensi Antara $P/Py - e/r$ .....	31
3.10	Hipotesis .....	32
<b>BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>33</b>
4.1	Metodologi Penelitian.....	33
4.2	Bahan Dan Alat Yang Digunakan.....	34
4.2.1	Bahan .....	34
4.2.2	Peralatan Penelitian.....	36
4.3	Model Benda Uji.....	39
4.3.1	Benda Uji Pendahuluan.....	40
4.3.1.1	Uji Tarik Profil.....	40
4.3.1.2	Uji Geser Sambungan Las .....	41
4.4	Variasi Pembebanan Pada Benda Uji .....	41
4.5	Pengujian Benda Uji .....	42

4.6 Analisis Hasil Pengujian .....	43
<b>BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
5.1 Hasil Pengujian .....	44
5.1.1 Uji Tarik Baja Profil Siku .....	44
5.1.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las .....	45
5.1.3 Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun .....	46
5.1.4 Hubungan Beban Lendutan Hasil Penelitian .....	47
5.2 Pembahasan .....	50
5.2.1 Uji Pendahuluan .....	50
5.2.2 Uji Tarik Baja .....	50
5.2.3 Uji Kuat geser Sambungan Las .....	51
5.2.4 Uji Kuat tekan Kolom Tersusun .....	53
5.2.5 Hubungan Beban Kritis dengan Eksentrisitas .....	54
5.2.6 Perbandingan Antara Perhitungan Teoritis Dengan Hasil Pengujian .....	55
5.2.7 Pola Kegagalan .....	58
<b>BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>60</b>
6.1 Kesimpulan .....	60
6.2 Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>PENUTUP</b>	

## DAFTAR SIMBOL



$A$	= luas penampang
$A_d$	= luas penampang batang diagonal
$a$	= jarak antar titik berat profil tunggal
$d$	= panjang batang diagonal
$E$	= modulus elastis
$E_t$	= modulus tangent
$F_y$	= tegangan leleh bahan
$V$	= Gaya geser
$I$	= momen inersia
$L$	= panjang kolom
$L_1$	= jarak antar batang perangkai
$M$	= momen
$m$	= jumlah batang tunggal yang membentuk kolom tersusun
$P$	= beban
$P_{cr0}$	= beban kritis Euler
$P_{cr1}$	= modifikasi beban kritis Euler
$r$	= radius girasi
$r_y$	= jari-jari kelembaman batang terhadap sumbu y-y

- $r_x$  = jari-jari kelembaman batang terhadap sumbu x-x
- $r_{\text{mni}}$  = jari-jari kelembaman batang tunggal yang terkecil
- $t$  = tebal profil
- $\Delta_x$  = jarak antar dial, mm
- $\mu$  = angka poisson
- $\pi$  = konstanta pi



## DAFTAR GAMBAR

			Halaman
Gambar	3.1	Kolom Euler .....	7
Gambar	3.2	Grafik tegangan menurut persamaan Euler, modulus tangen dan modulus tereduksi ( <i>Padosbajayo, 1991</i> ) .....	11
Gambar	3.3	Kolom dengan beban P dan eksentris e .....	13
Gambar	3.4	Pengaruh Beban (P) yang menyebabkan Gaya Geser.....	20
Gambar	3.5	Efek geser pada kolom tersusun dengan perangkai diagonal .....	23
Gambar	3.6	Kolom tersusun dengan beban tekan Eksentris .....	26
Gambar	3.7	Kerusakan akibat tekuk lokal.....	30
Gambar	3.8	Grafik hubungan antara $\frac{P}{P_y}$ dengan $\frac{e}{r}$ .....	32
Gambar	4.1	Bagan Alir Prosedur Penelitian.....	33
Gambar	4.2	Model Benda Uji.....	35
Gambar	4.3	Loading Frame.....	37
Gambar	4.4	Dial Gauge .....	37
Gambar	4.5	Dukungan Sendi.....	38
Gambar	4.6	Hidraulic Jack .....	38
Gambar	4.7	Universal Testing Material Shimtzu UMH30.....	39
Gambar	4.8	Benda Uji Untuk Uji Kuat Tarik Baja .....	40

Gambar	4.9	Benda Uji Untuk kuat Tarik Las.....	41
Gambar	4.10	Pembebaan Pada Saat $e = 130$ mm.....	42
Gambar	4.11	Pembebaan Pada Saat $e = 140$ mm.....	42
Gambar	4.12	Pembebaan Pada Saat $e = 150$ mm.....	42
Gambar	4.13	Pembebaan Pada Saat $e = 160$ mm.....	42
Gambar	4.14	Alat pengujian kolom.....	43
Gambar	5.1	Benda Uji Kuat Tarik Bahan.....	45
Gambar	5.2	Benda Uji Geser Las.....	46
Gambar	5.3	Penempatan Dial Pada Benda Uji.....	47
Gambar	5.4	Grafik Hubungan Beban – Lendutan Maksimum.....	49
Gambar	5.5	Grafik Hubungan Beban Maksimum dan Eksentrisitas Beban.....	55
Gambar	5.6	Grafik hubungan antara $P/P_y$ dan $e/a$ Hasil pengujian sample dengan teoritis dengan $KL/r = 50$ .....	56
Gambar	5.7	Grafik Hubungan $F_{cr}/F_y$ dan $e/r$ hasil pengujian.....	59



## DAFTAR TABEL

		<b>Halaman</b>
Tabel	3.1 Tekuk Plastis aluminium.....	11
Tabel	3.2 Faktor panjang tekuk kolom ideal.....	12
Tabel	4.1 Ukuran Benda Uji Kolom Tersusun .....	36
Tabel	5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan .....	46
Tabel	5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....	47
Tabel	5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun.....	49
Tabel	5.4 Analisis Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan .....	51
Tabel	5.5 Analisis Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....	52
Tabel	5.6 Elektrode Untuk Las ( <i>Salmon dan Johnson, 1992</i> ).....	53
Tabel	5.7 Perbandingan Beban Kritis Hasil Pengujian dengan Teoritis .....	56
Tabel	5.8 Analisis Pola Kegagalan .....	59

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perencanaan Kolom Tersusun
- Lampiran 2 Perhitungan Teoritis Kapasitas Kolom Tersusun  
Dengan Kelangsingan Moderat Akibat Pembebanan Eksentris
- Lampiran 3 Uji Pendahuluan
- Lampiran 4 Gambar Dan Dokumentasi Saat Pengujian dan Ragam Kegagalan  
pada saat pengujian.



## ABSTRAKSI

Kolom tersusun (*built up*) merupakan gabungan dua profil atau lebih yang dirangkai menggunakan batang-batang perangkai. Kekuatan kolom tersusun dipengaruhi oleh: bentuk dan ukuran penampang profil tunggal, jarak antar profil tunggal, konfigurasi batang perangkai, panjang kolom dan kondisi ujung-ujung kolom. Kelangsingan Moderat adalah nilai kelangsingan kolom yang berada dibawah kelangsingan kritis. Beban tekan eksentris yang bekerja pada kolom tersusun menimbulkan momen yang besarnya sama dengan perkalian gaya ( $P$ ) dengan eksentrisitas ( $e$ ). Momen yang terjadi pada kolom tersusun mengakibatkan kapasitas kolom tersusun menjadi berkurang.

Penelitian eksperimental kolom tersusun dari empat profil siku dengan kelangsingan moderat yang menerima beban eksentris bertujuan untuk mengetahui perilaku kolom tersusun, yaitu besarnya kapasitas desak kolom ( $P_{cr}$ ). Selain itu juga untuk mendapatkan grafik non dimensional hubungan  $P_{cr}/P_y$  dengan  $e/r$ , juga untuk mengetahui pola kegagalan yang terjadi.

Hasil eksperimental menunjukkan bahwa untuk eksentrisitas semakin besar maka daya dukung kolom semakin berkurang. Hal ini ditunjukkan dengan hubungan non dimensional yang diperoleh dari hasil penelitian  $e/r$  2.167, 2.33, 2.5, 2.67 didapatkan  $P_{cr}/P_y$  0.745, 0.663, 0.547, 0.364. Pola kegagalan yang terjadi berupa tekuk lokal pada keseluruhan benda uji.

**Kata kunci :** kolom tersusun, eksentrisitas ( $e$ ), kapasitas desak.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Kolom tersusun adalah gabungan dua batang atau lebih yang dirangkai sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan. Guna mendapatkan kolom dengan kapasitas kolom yang besar, maka dibuat kolom tersusun atau kolom dari profil gabungan. Salah satu dari kolom tersusun yang banyak digunakan terbuat dari empat profil siku yang dirangkai dengan batang diagonal. Kapasitas pada kolom tersusun dipengaruhi oleh bentuk profil, susunan profil, konfigurasi batang perangkai, panjang kolom, dan kondisi ujung.

Persoalan yang mungkin timbul dari kolom tersusun empat profil siku adalah kegagalan kolom baja yang diakibatkan oleh tegangan lelehnya ( $F_y$ ) terlampaui. Selain itu kolom tersusun ini rawan tekuk. Kegagalan yang diakibatkan oleh tekuk terdiri dari dua macam, yang pertama tekuk total (*overall buckling*), yaitu batang tekan mengalami tekuk total bila penampang batang kompak dan langsing ( $KL/r$  besar), yang kedua tekuk lokal (*local buckling*), batang yang mengalami tekuk lokal memiliki penampang yang tidak kompak dan elemen penampangnya langsing (rasio  $b/t$  besar) terhadap tekuk keseluruhan maupun tekuk batang tunggal atau tekuk lokal.

Sebagian besar kolom memikul gaya tekan eksentris ( $e$ ), sehingga kolom tersebut memikul gaya tekan dengan momen ( $M$ ) yang besarnya berbanding lurus dengan gaya ( $P$ ) dan eksentris ( $e$ ). Semakin besar nilai eksentrisitas ( $e$ ), semakin

besar pula momen ( $M$ ) yang bekerja, sehingga kolom dapat mengalami kegagalan dini berupa pembengkokan atau tekuk. Tekuk inilah yang biasanya merusak suatu elemen struktur yang mengalami gaya desak, sehingga daya dukung atau kapasitas tekan kolom tersusun ( $P_{cr}$ ) menjadi berkurang.

Penelitian tentang kapasitas kolom tersusun dengan kelangsingan moderat akibat pembebanan eksentris belum banyak dikemukakan, sehingga menarik untuk diteliti.

## 1.2 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan kapasitas kolom tersusun dari empat profil siku yang dirangkai dengan batang perangkai diagonal akibat pembebanan eksentrisitas.
2. Memperoleh grafik non dimensional hubungan  $\frac{P_{cr}}{P_y}$  dengan  $\frac{e}{r}$
3. Mengetahui pola kegagalan pada kolom tersusun akibat pembebanan eksentris.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah untuk memberikan informasi tentang kapasitas kolom tersusun dari empat profil siku perangkai diagonal akibat pembebanan eksentris. Selain itu penelitian ini merupakan pengembangan ilmu pengetahuan tentang kolom dengan pembebanan

eksentris. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam desain kolom.

#### 1.4 Batasan Penelitian

Mengingat persoalan kolom tersebut cukup luas maka penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Kolom moderat dengan nilai  $\frac{kL}{r} = 50$ .
2. Kolom tersusun dengan perangkai doble diagonal (X) tanpa perangkai transversal.
3. Perangkai menggunakan batang bulat dengan rasio diameter 0,7 cm.
4. Jarak sumbu elemen batang tersusun ( $a$ ) = 120mm
5. Jari-jari girasi ( $r$ ) = 60 mm
6. Rasio eksentrisitas ( $e$ ) dengan jarak jari-jari girasi  $\left(\frac{e}{r}\right)$  yaitu 2.166; 2.33; 2.50; 2.67
7. Tinggi kolom menyeluruh ( $L$ ) = 3000mm
8. Tegangan residu dari bahan tidak ditinjau.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

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 las (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).

Gere dan Thimosenko (2000) mengemukakan bahwa besarnya tegangan kritis kolom sebanding dengan modulus elastis, dan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan batang.

Akibat pembebanan eksentris yaitu beban bekerja tidak tepat pada titik berat penampang kolom, mengakibatkan terjadinya momen lentur disamping gaya

aksial. Momen yang timbul akibat beban eksentris tersebut sebesar  $M$ , yang didapat dari beban ( $P$ ) dikalikan jarak beban ke pusat berat penampang kolom ( $e$ ). Momen lentur dapat bersumbu tunggal (uniaxial) seperti kolom eksterior bangunan bertingkat banyak dan kolom bersumbu banyak (biaksial) apabila lenturnya terjadi terhadap sumbu X dan sumbu Y seperti kolom yang terletak di pojok bangunan. (Salmon, Charles G)

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).

Menurut Salmon dan Johnson, 1990 Kegagalan pada kolom tersusun dapat berupa tekuk lokal atau tekuk keseluruhan., dimana tekuk keseluruhan terjadi apabila tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) kolom tersusun  $<$  tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) plat. Tekuk keseluruhan pada kolom dipengaruhi oleh harga kelangsingan batang ( $kl/r$ ). Tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung penambahan beban, dengan kata lain efisiensi penampang berkurang. Keruntuhan akibat tekuk lokal ini terjadi pada batang yang langsing dimana tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) yang dimiliki oleh pelat jauh dibawah tegangan lelehnya.

*WF Chan and T Astuta* mengemukakan hubungan tanpa dimensi beban kolom dibanding dengan beban kritis versus nilai eksentrisitas dibanding dengan jari-jari kelembaman. Semakin besar nilai eksentrisitas maka semakin kecil daya dukung kolom tersebut.

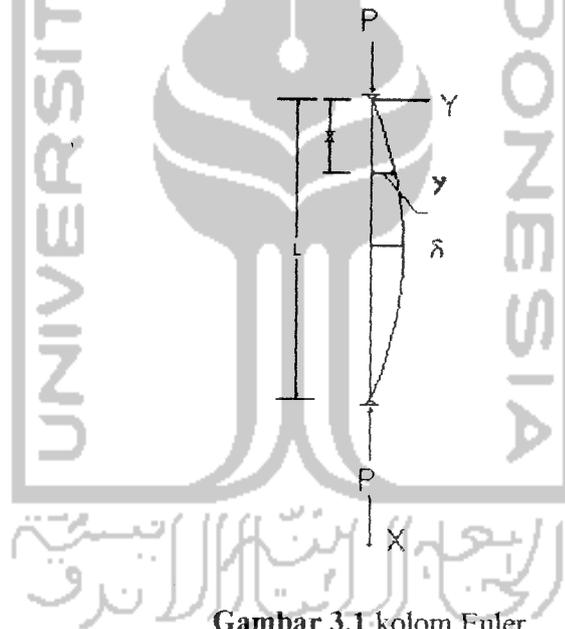


## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Pembebanan Sentrisitas Pada Profil Tunggal

*Gere dan Timoshenko, ( 2000 )* menyatakan Leonard Euler adalah orang yang pertamakali memformulasikan ekspresi beban tekuk kritis elastis pada kolom langsing yang penampangnya solid dengan kedua ujungnya sendi. Kolom yang dibebani gaya tekan aksial dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 kolom Euler

Sebuah batang lurus yang panjangnya  $L$ , dan kedua ujungnya dibebani gaya aksial ( $P$ ), akan mengakibatkan batang yang semula lurus menjadi melengkung seperti Gambar 3.1.

Menurut *Padosbajayo1992* apabila ditinjau penampang yang terletak pada jarak ( $x$ ) dari ujung atas dengan pelenturan ( $y$ ), maka gaya tekan aksial ( $P$ ) dan

pelenturan ( $y$ ) pada penampang batang tersebut akan menimbulkan momen .  
Besarnya momen yang terjadi adalah : Di suatu titik yang berjarak  $x$  dari ujung  
kiri, momen lentur  $M_x$  pada batang yang sedikit melengkung adalah

$$M_x = -P.y \quad 3.1$$

Karena

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad 3.2$$

maka persamaan (3.1) menjadi :

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -P.y \quad 3.3$$

Masing-masing ruas persamaan (3.3) dikalikan dengan  $2 dy$  diperoleh :

$$EI \frac{d}{dx} \frac{dy}{dx} 2.dy = -2P.y.dy \quad 3.4$$

Jika masing-masing ruas persamaan (3.4) diintegrasikan, diperoleh :

$$EI \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 = -P.y^2 + C_1 \quad 3.5$$

Pada  $y = \delta$ ,  $\frac{dy}{dx} = 0$ , dimana  $\delta$  adalah defleksi sehingga  $0 = -P.y^2 + C_1$  dan

$C_1 = P.y^2$  . Substitusi  $C_1$  ke dalam persamaan (3.5) maka :

$$EI \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 = -P(\delta^2 - y^2) \quad 3.6$$

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{\frac{P}{EI}} \sqrt{(\delta^2 - y^2)} \quad 3.7$$

$$\frac{dy}{\sqrt{(\delta^2 - y^2)}} = \sqrt{\frac{P}{EI}} dx \quad 3.8$$

Masing-masing ruas persamaan (3.8) diintegalkan, diperoleh :

$$\arcsin \frac{y}{\delta} = x \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} + C_2 \quad 3.9$$

Pada  $x=0$ , pelenturan ( $y$ ) = 0 ; sehingga  $C_2 = 0$  , dan persamaan (3.9) menjadi :

$$\arcsin \frac{y}{\delta} = x \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad 3.10$$

$$\sin x \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} = \frac{y}{\delta} \quad 3.11$$

Pada  $x = L$ , pelenturan ( $y$ ) = 0 ; persamaan (3.11) menjadi :

$$\sin L \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} = 0 \text{ atau } L \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} = n \cdot \pi \text{ dan } \sin L \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} = 0 \quad 3.12$$

Nilai  $n$  yang sesuai dengan persamaan (3.12) adalah

$$n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

untuk  $n = 0$  persamaan (3.12) tidak berarti, karena  $P = 0$ , nilai ( $P$ ) terkecil diperoleh bila  $n = 1$ , sedangkan ( $P$ ) disebut beban kritis ( $P_{cr}$ ), jadi :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad 3.13$$

dimana  $P_{cr}$  = beban kritis;  $E$  = modulus elastis;  $I$  = momen inersia;  $L$  = panjang kolom;  $r$  = jari-jari girasi.

Persamaan (3.13) memperlihatkan dengan jelas bahwa kapasitas tekan suatu kolom berbanding terbalik dengan kuadrat panjang elemen, berbanding lurus dengan modulus elastisitas material dan momen inersia penampang melintang. Menggunakan persamaan (3.13) dapat diprediksi bahwa apabila suatu kolom menjadi semakin panjang, beban yang dapat menimbulkan tekuk pada kolom menjadi semakin kecil .

Persamaan Euler selalu menggunakan modulus elastis yang harganya tetap, sedangkan keruntuhan kolom pendek dan kolom sedang, terjadi setelah penampangnya tidak elastis, ini berarti terdapat perubahan nilai modulus, dari modulus elastis yang harganya tetap ke modulus elastis yang harganya berubah-ubah. Karena persamaan Euler selalu menggunakan modulus elastis, maka batas berlakunya sampai dengan batas proporsional, diatas batas tersebut persamaan Euler tidak dapat digunakan, dan berlaku rumus teori tangen modulus.

Teori tangen modulus membahas keruntuhan kolom di atas batas proporsional (kondisi inelastis). Teori ini dikemukakan oleh *Friedrick enggeser (Salmon dan Johnson,1990)* dengan memodifikasi rumus Euler. Dimana beban tekuk kritis kolom pada saat inelastis adalah :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{L^2} \quad 3.14$$

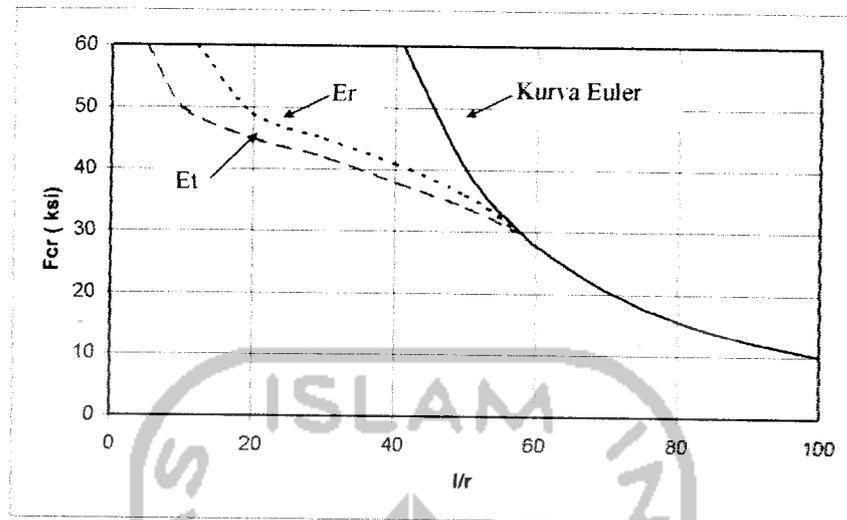
dengan  $E_t$  = modulus elastis tangen

Pada teori tangen modulus ini mengabaikan pembalikan regangan yang terjadi pada penampang kolom, sehingga teori ini diperbaiki dengan teori modulus ganda yang dikemukakan *Engesser (Salmon dan Johnson,1990)* , yaitu :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_r \cdot I}{L^2} \quad 3.15$$

dengan  $E_r$  = modulus elastis tereduksi

Perbandingan nilai  $E$ ,  $E_t$  dan  $E_r$  pada perhitungan tegangan kritis dapat dilihat pada gambar 3.2..



Gambar 3.2. Grafik tegangan menurut persamaan Euler, modulus tangen dan modulus tereduksi (Padosbajayo, 1991)

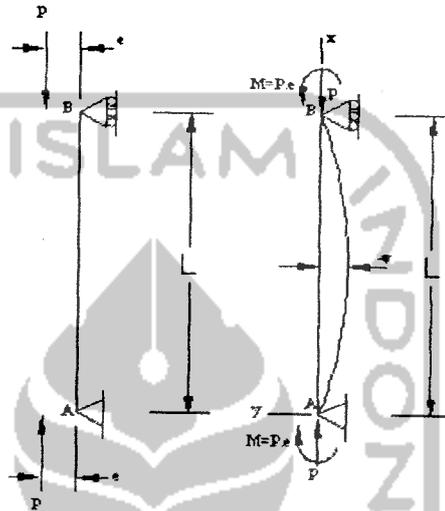
Dari gambar 3.2 tampak bahwa tegangan kritis kolom yang menggunakan modulus tangen ( $E_t$ ) berada di bawah tegangan yang menggunakan modulus tereduksi.

Dikarenakan sifat baja menyerupai sifat almunium, maka modulus tangen dan modulus reduksi baja dapat juga dicari dari perbandingan kelangsingan baja terhadap almunium. Perbandingan nilai  $E_t$  dan  $E_r$  pada perhitungan tegangan kritis dikutip dari Plastic Buckling of Column WF. Chen dan T. Atsuta dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

**Tabel 3.1** tekuk plastis almunium:

Sterss $\sigma$ (ksi)	Modulus Tangen		Modulus Tereduksi	
	$E_t$ (ksi)	L/r	$E_r$ (ksi)	L/r
10	10600	105	10600	105
20	10600	72.5	10600	72.5
30	10600	59	10600	59
40	10600	51	10600	51
45	3000	26	5100	33.5
50	1000	14	2300	21.3
55	500	9.5	1300	15.3
60	400	8.1	1100	13.3

ekuivalen dengan beban sentris ( $P$ ) dan momen ( $M=P.e$ ). Momen ini ada sejak beban tersebut diterapkan sehingga kolom mulai terdefleksi pada saat mulai diberi beban. Untuk menganalisis batang yang diberi beban eksentris dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini :



**Gambar 3.3.** Kolom dengan beban  $P$  dan eksentris  $e$

Salah satu rumus batang tekan yang memperhitungkan pengaruh eksentrisitas awal (Gambar 3.3) adalah rumus Secant, (PADOSBAJAYO, 1992). Persamaan diferensial untuk kurva elastis adalah :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} = -\frac{P \cdot y}{EI} \quad 3.17$$

Dengan mengambil  $k^2 = \frac{P}{EI}$ , maka diferensial orde dua persamaan 3.17 berubah menjadi :

$$y = A \sin kx + B \cos kx + e \quad 3.18$$

Kondisi batas untuk menentukan konstanta  $A$  dan  $B$  diperoleh dari defleksi di kedua ujung kolom  $y(0) = 0$  dan  $y(L) = 0$ . Kondisi ini menghasilkan :

$$B = -e \quad A = -\frac{e(1 - \cos kL)}{\sin kL} = -e \tan \frac{kL}{2} \quad 3.19$$

Dengan demikian, persamaan kurva defleksi adalah

$$y = -e \left( \tan \frac{kL}{2} \sin kx + \cos kx - 1 \right) \quad 3.20$$

Defleksi maksimum ( $\delta$ ) yang dihasilkan oleh beban eksentris terjadi pada titik tengah kolom dan diperoleh dengan menetapkan harga  $x = L/2$  di dalam persamaan 3.20:

$$\delta = -v_{x=L/2} = e \left( \tan \frac{kL}{2} \sin \frac{kL}{2} + \cos \frac{kL}{2} - 1 \right) \quad 3.21$$

atau dengan menyederhanakan persamaan diatas menjadi :

$$\delta = e \left( \sec \frac{kL}{2} - 1 \right) \quad 3.22$$

Persamaan ini dapat ditulis dalam bentuk yang sedikit berbeda dengan mengganti besaran  $k$  dengan bentuk ekivalen yang dinyatakan dalam beban kritis :

$$k = \sqrt{\frac{P}{EI}} = \sqrt{\frac{P \pi^2}{P_{cr} L^2}} = \frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{P}{P_{cr}}} \quad 3.23$$

Jadi, suku tak berdimensi  $kL$  menjadi :

$$kL = \pi \sqrt{\frac{P}{P_{cr}}} \quad 3.24$$

Persamaan untuk defleksi maksimum menjadi :

$$\delta = e \left( \sec \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_{cr}}} - 1 \right) \quad 3.25$$

Momen lentur maksimum pada kolom yang dibebani secara eksentris terjadi di titik tengah di mana defleksi maksimum :

$$M_{maks} = P (e + \delta) \quad 3.26$$

dengan mensubstitusikan  $\delta$  dari persamaan (3.25) dan (3.26), maka:

$$M_{mak} = Pe \sec \frac{kL}{2} = Pe \left( \sec \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_{cr}}} \right) \quad 3.27$$

Karena  $P_{cr} = \pi^2 EI/L^2$  untuk kolom berujung sendi, dan karena  $I = A \cdot r^2$ , di mana  $r$  adalah radius girasi di dalam bidang lentur, maka persamaan diatas menjadi

$$M_{mak} = Pe \sec \left( \frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right) \quad 3.28$$

Tegangan maksimum yang terjadi pada kolom yang dibebani eksentris terdiri dari tegangan akibat tekan dan lentur :

$$F_{max} = \frac{P}{A} + \frac{M_{maks} \cdot Y}{I} \quad 3.29$$

karena  $I = A \cdot r^2$  maka dengan menggunakan  $M$  pada persamaan 3.29 dan menganggap bahwa kolom tersusun satu kesatuan didekati dengan persamaan 3.30 :

$$F_{max} = \frac{P}{A} \left( 1 + \frac{e \cdot y}{r^2} \cdot \sec \left( \frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right) \right) \quad 3.30$$

dengan  $y$  merupakan jarak pusat berat ke serat terluar penampang. Maka untuk mencari kapasitas kolom tersusun dengan mengabaikan faktor perangkai dapat didekati dengan persamaan 3.31 :

$$P_{cr} = \frac{F_{cr} \cdot A}{\left( 1 + \frac{e \cdot y}{r^2} \cdot \sec \left( \frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right) \right)} \quad 3.31$$

Persamaan pada 3.31 sukar digunakan karena variabel  $P$  berada diruas kiri dan diruas kanan, padahal variabel tersebut baru akan dicari sehingga penyelesaiannya dilakukan dengan “trial and error”.

### 3.4 Persamaan Batang Tekan AISC

Di dalam AISC manual (1980), rumus batang tekan digolongkan menjadi dua, yaitu rumus untuk tekuk elastis (*elastic buckling*) dan rumus untuk tekuk tidak elastis (*inelastic buckling*). Rumus batang tekan AISC diturunkan dari hasil penelitian. Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ), pada kondisi tekuk elastis maupun tidak elastis dapat dinyatakan dengan tegangan rata-rata, yaitu beban kritis atau beban tekuk ( $P_{cr}$ ) bagi luas penampang ( $A$ ).

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad 3.32$$

#### a. Tekuk Elastis

Tekuk elastis terjadi pada kolom langsing. Kolom langsing adalah kolom yang mempunyai kelangsingan lebih besar dari kelangsingan batas ( $C_c$ ). Kelangsingan batas ditentukan berdasarkan asumsi bahwa, tegangan kritis maksimum ( $F_{cr}$ ) sama dengan tegangan leleh (*Gere dan Timoshenko*).

$$F_{cr} = F_y \quad 3.33$$

Karena penampang kolom masih elastis, maka berlaku modulus elastis ( $E$ ). Kelangsingan kolom minimum agar terjadi tekuk elastis, dinyatakan dengan kelangsingan kritis ( $C_c$ ). Sesuai persamaan Euler, untuk kondisi tekuk elastis berlaku :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L_k / r)^2} \quad 3.34$$

atau

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

karena pada tekuk elastic, tegangan kritis maksimum sama dengan tegangan leleh, maka persamaan 3.35 menjadi :

$$F_y = \frac{\pi^2 E}{(L_k / r)^2} \quad 3.36$$

Pada keadaan batas, kelangsingan batang ( $KL/r$ ) sama dengan ( $C_c$ ), maka persamaan 3.36 menjadi :

$$F_y = \frac{\pi^2 E}{(C_c)^2} \quad 3.37$$

Dari persamaan 3.37, diperoleh kelangsingan batas ( $C_c$ ).

$$C_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_y}} \quad 3.38$$

#### b. Tekuk Tidak Elastis

Tekuk tidak elastis (inelastis) terjadi pada kolom yang mempunyai kelangsingan lebih kecil dari kelangsingan batas, yaitu:

$$\frac{L_k}{r} \leq C_c \quad 3.39$$

Tegangan kritis untuk keruntuhan tekuk inelastis, dapat ditentukan dengan konsep modulus efektif maupun modulus tangent. Namun nilai yang pasti dari dua

modulus tersebut tidak mudah ditentukan. Tegangan kritis yang diijinkan untuk kondisi ini umumnya diturunkan dari hasil penelitian.

Rumus AISC untuk tekuk inelastis diturunkan dari hasil penelitian. Hubungan tegangan kritis kelangsingan dianggap memenuhi persamaan parabola dan tegangan kritis maksimum ditetapkan sama dengan tegangan leleh. Didalam buku *Padosbajayo 1992*, Bentuk umum tegangan kritis, dinyatakan dengan persamaan :

$$F_{cr} = F_y - k \left[ \frac{L_k}{r} \right]^n \quad 3.40$$

dengan:  $k$  dan  $n$  adalah konstanta.

Turunan persamaan 3.40 ke perubahan  $(L_k/r)$ , adalah:

$$\frac{dF_{cr}}{d(L_k/r)} = -k \cdot n \left[ \frac{L_k}{r} \right]^{n-1} \quad 3.41$$

Turunan persamaan 3.34 ke perubahan  $(L_k/r)$ , adalah:

$$\frac{dF_{cr}}{d(L_k/r)} = -2 \frac{\pi^2 E}{(L_k/r)^2} \quad \text{untuk } (L_k/r) \geq C_c \quad 3.42$$

Untuk  $(L_k/r) = C_c$  dapat di cari dengan mensubsitusikan persamaan (3.40) dengan persamaan (3.34) maka :

$$k \cdot C_c^n + \frac{\pi^2 E}{C_c^2} - F_y = 0 \quad 3.43$$

Turunan persamaan 3.43 ke perubahan  $(L_k/r)$ , adalah:

$$\frac{dF_{cr}}{d(L_k/r)} = -k \cdot n [C_c]^{n-1} \quad 3.44$$

Dari persamaan 3.42 dan persamaan 3.44 diperoleh :

$$-k.n C_c^{n-1} = -2 \frac{\pi^2 E}{C_c^3} \quad 3.45$$

atau

$$k.n C_c^{n-1} - 2 \frac{\pi^2 E}{C_c^3} = 0 \quad 3.46$$

Berdasarkan hasil tes, nilai n yang sesuai untuk kolom baja adalah 2. Nilai k dan  $C_c$  dapat ditentukan dengan persamaan 3.43 dan persamaan 3.46

$$2.k C_c^{n-1} - 2 \frac{\pi^2 E}{C_c^3} = 0 \quad 3.47$$

diperoleh

$$k = \frac{\pi^2 E}{C_c^4} \quad 3.48$$

Substitusi persamaan 3.45 ke dalam persamaan 3.43, diperoleh :

$$C_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{(F_y)^2}} \quad 3.49$$

Substitusi k dan  $\lambda_c$  ke dalam persamaan 3.40 untuk  $(L_k/r) = C_c$  diperoleh :

$$F_{cr} = F_y - \frac{\pi^2 E}{C_c^4} C_c^2 \quad \text{atau} \quad F_{cr} = F_y - \frac{\pi^2 E}{C_c^2} \quad 3.50$$

$$F_{cr} = F_y - \frac{\pi^2 E F_y}{2 \pi^2 E}$$

$$F_{cr} = 0.5 F_y$$

$$0.5 F_{cr} = F_y - k.F_{cr}$$

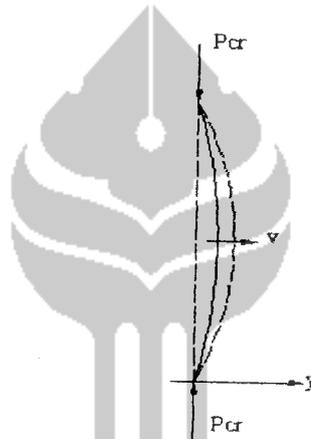
diperoleh  $k = 0.5$ .

Persamaan tegangan kritis untuk kolom dengan kelangsingan  $0 \leq (L_k/r) \leq C_c$  yang mendapat pengaruh eksentrisitas adalah

$$F_{cr} = F_y \left( 1 - \frac{(L_k/r)^2}{2 C_c^2} \right) \left( \frac{1}{1 + \frac{e \cdot y}{r^2}} \right) \quad 3.51$$

### 3.5 Gaya Geser Pada Kolom Tunggal

Gambar 3.4 menunjukkan sebuah kolom batang tunggal yang dibebani gaya tekan (P). Akibat pengaruh beban (P), kolom melentur dan di dalam penampangnya timbul gaya geser.



**Gambar 3.4** Pengaruh Beban (P) yang menyebabkan Gaya Geser

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 akibat beban (P), dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = - \frac{P \cdot y}{EI} \quad 3.52$$

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

$$V = \frac{Mx}{dx} \quad \text{atau} \quad V = P \cdot \frac{dy}{dx} \quad 3.53$$

Kemiringan (slope) yang terjadi akibat gaya geser adalah :

$$\theta = \frac{\text{Tegangan Geser}}{\text{regangan Geser}} \quad 3.54$$

dengan memperhtungkan faktor bentuk ( $\beta$ ) diperoleh :

$$\theta = \frac{\beta \cdot y}{A \cdot G} \quad \text{atau} \quad \theta = \frac{\beta}{A \cdot G} P \cdot \frac{dy}{dx} \quad 3.55$$

dengan:

$G$  = Modulus Geser

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

$\mu$  = nilai bandingpoison (poison ratio)

Pelenturan akiba gaya lintang dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{A \cdot G} P \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad 3.56$$

Pelenturan total (akibat P dan V) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} y + \frac{\beta P}{A \cdot G} \frac{d^2 y}{dx^2} \quad 3.57$$

atau

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{EI \left( 1 - \frac{\beta P}{A \cdot G} \right)} y = 0 \quad 3.58$$

Penyelesaian persamaan diatas adalah :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} + \frac{1}{\left(1 + \frac{\beta}{A.G} \frac{\pi^2 EI}{L^2}\right)} \quad 3.59$$

dengan :  $\frac{\pi^2 EI}{L^2} = P_e$  (beban tekuk euler) andaikan  $\frac{\beta}{A.G} = \frac{1}{S_v}$  ; persamaan 3.59

dapat dinyatakan dengan persamaan 3.60,

$$P_{cr} = P_e + \frac{1}{\left(1 + \frac{P_e}{S_v}\right)} \quad 3.60$$

### 3.6 Gaya Geser Pada Kolom Tersusun

Pengaruh gaya lintang terhadap beban kritis kolom tersusun dengan penghubung double diagonal dinyatakan dengan persamaan :

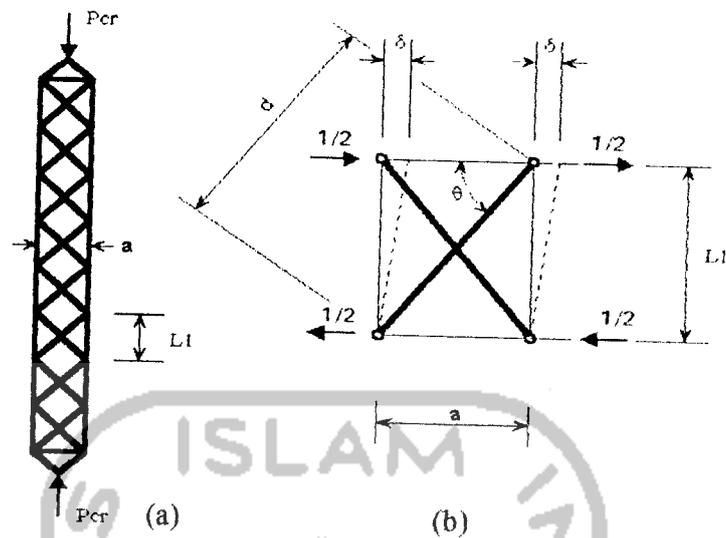
$$P_{cr1} = P_{cr0} \frac{1}{1 + \frac{P_{cr0}}{S_v}} \quad 3.61$$

dimana :

$P_{cr0}$  = Persamaan euler

$S_v$  = kekakuan geser dari kolom

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



**Gambar 3.5** Efek geser pada kolom tersusun dengan perangkat diagonal

*Salmon dan Johnson ( 1990 )* mengemukakan bahwa bila batang mengalami lentur akibat gaya tekan aksial, pada penampang batang tersebut bekerja komponen gaya yang arahnya tegak lurus terhadap sumbu batang. Komponen gaya ini disebut gaya geser. Besarnya pengaruh geser terhadap pengurangan kekuatan kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser. Untuk penampang berbadan pejal atau solid pengaruh geser sangat kecil sehingga dapat diabaikan, sedangkan pada kolom tersusun geser mempengaruhi besarnya kapasitas kolom sehingga pengaruh geser pada kolom tersusun perlu diperhitungkan.

Perubahan panjang ( $\Delta_L$ ) yang terjadi pada batang diagonal (gambar 3.5b) adalah :

$$\Delta_L = \frac{V \cdot L_1}{A_d \cdot E \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \quad 3.62$$

dengan :

$\theta$  = Sudut antara arah gaya geser dengan batang diagonal

$\frac{V}{\cos \theta}$  = Gaya tarik pada batang diagonal

$\frac{L_1}{\sin \theta}$  = Panjang batang diagonal

$A_d$  = Luas penampang diagonal

Perubahan tempat arah horisontal akibat perpanjangan batang diagonal

adalah :

$$\delta = \frac{V \cdot L_1}{A_d \cdot E \cdot \sin \theta \cdot \cos^2 \theta} \quad 3.63$$

dari gambar 3.5b dapat diketahui bahwa :

$$\cos^2 \theta = \frac{a^2}{d^2} \quad 3.64$$

$$\sin \theta = \frac{L_1}{d} \quad 3.65$$

Maka persamaan 3.65 menjadi :

$$\delta = \frac{V \cdot d^3}{A_d \cdot E \cdot a^2} \quad 3.66$$

dengan menganggap  $V = \frac{1}{2}$  maka persamaan diatas menjadi :

$$\delta = \frac{1/2 \cdot d^3}{A_d \cdot E \cdot a^2} \quad 3.67$$

dimana  $d$  = panjang batang perangkai diagonal dan  $a$  = jarak sumbu elemen maka gaya geser kolom tersusun dikemukakan oleh *kuleven 2006*:

$$\frac{1}{S_r} = \frac{\delta}{L_1} \quad 3.68$$

$$\frac{\delta}{L_1} = \frac{1}{L_1} \frac{1}{2} \frac{d^3}{a^2 E A_d} = \frac{1}{2 L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \quad 3.69$$

Efek geser kolom tersusun dengan perangkai diagonal pada pembebanan kritis yang dijelaskan *PADOSBAJAYO* dengan memasukkan Persamaan 3.69 ke dalam Persamaan 3.61, maka didapatkan Persamaan beban kritis :

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{2 L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right]} \quad 3.70$$

dimana :

$P_{cr1}$  = beban kritis kolom tersusun dengan perangkai diagonal

$E$  = modulus elastis

$I$  = momen inersia

$L$  = panjang kolom

$d$  = panjang batang diagonal

$L_1$  = jarak antar batang perangkai

$a$  = jarak sumbu elemen batang tersusun

$A_d$  = luas penampang batang diagonal

Tegangan kritis kolom didapat dengan membagi persamaan 3.70 dengan luas penampang ( $A$ ) menjadi :

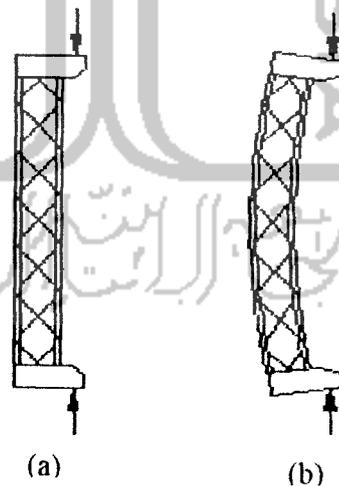
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{A \cdot L^2} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{2 L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right]} \quad 3.71$$

Persamaan 3.70 dan 3.71 digunakan untuk menghitung beban kritis ( $P_{cr}$ ) dan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) pada saat kolom menerima beban secara terpusat (konsentris). Untuk kolom yang menerima beban secara eksentris maka besarnya momen yang terjadi harus diperhitungkan.

### 3.7 Pembebanan Eksentris pada Kolom Tersusun

*Ferdinand L.Singer dan Andrew Pytel, (1985)* mengemukakan perilaku pembebanan yang bekerja pada kolom mempengaruhi timbulnya gaya – gaya yang bekerja pada penampang kolom. Beban aksial yang bekerja secara eksentris akan menimbulkan gaya lain selain gaya aksial berupa gaya momen yang disebabkan oleh eksentrisitas.

Prinsip tegangan yang dihasilkan oleh perilaku beban yang bekerja secara eksentris pada kolom tersusun ditunjukkan pada gambar 3.6 berikut ini :



**Gambar 3.6.** Kolom tersusun dengan beban tekan Eksentris

Pada saat tersusun diberi beban sebesar  $P$  dan sejauh  $e$  dari pusat berat panampang, sehingga pada panampang (m-n) bekerja interaksi gaya antara

tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan aksial ( $f_a$ ) dan momen yang terjadi ( $f_b$ ). Besarnya gaya yang ditimbulkan oleh  $P$  adalah :

$$f_a = \frac{P}{A} \quad 3.72$$

Tegangan yang ditimbulkan akibat momen lentur adalah :

$$f_b = \frac{M \cdot y}{I_y} \quad 3.73$$

dengan  $M = P \cdot e$ , maka persamaan 3.73 berubah menjadi

$$f_b = \frac{P \cdot e \cdot y}{I_y} \quad 3.74$$

Besarnya tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) pada penampang kolom yang bekerja beban secara eksentris adalah:

$$F = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot e \cdot y}{I_y} \quad 3.75$$

dengan mengasumsikan bahwa tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) maksimum yang terjadi adalah tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) kolom pada saat menerima beban secara sentris (persamaan 3.75), maka untuk berbagai macam nilai eksentrisitas persamaan 3.75 menjadi:

$$\frac{\pi^2 EI}{L^2 A} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{2 L_1 a^2 E A_d}} \right] = P \left( \frac{1}{A} + \frac{e \cdot y}{I_y} \right) \quad 3.76$$

Untuk mencari besarnya nilai beban kritis kolom ( $P_{cr}$ ) maka persamaan 3.76 menjadi:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{A.L^2} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right]} \left( \frac{1}{A} + \frac{e.y}{I_y} \right) \quad 3.77$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right]} \frac{1}{\left( 1 + \frac{e.y}{r^2} \right)} \quad 3.78$$

Dari persamaan 3.78 terlihat bahwa kapasitas kolom tersusun ( $P_{cr}$ ) dipengaruhi oleh banyak factor antara lain jarak antar profil, bentuk batang perangkai, tinggi kolom dan panjang batang perangkai. Semakin besar eksentrisitas ( $e$ ), maka beban kritis ( $P_{cr}$ ) kolom semakin kecil.

*WF Chan and T Astuta* mengemukakan bahwa kolom pendek dengan kelangsingan dibawah  $C_c$  (kelangsingan batas) maka modulus elastisitas ( $E$ ) diganti dengan Modulus tangent ( $E_t$ ) yang nilainya berubah sesuai dengan kelangsingan kolom. Sesuai dengan *WF Chan and T Astuta* maka persamaan 3.78 menjadi:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I}{L^2} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{\pi^2 E_t I}{L^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right]} \frac{1}{\left( 1 + \frac{e.y}{r^2} \right)} \quad 3.79$$

### 3.8 Kegagalan Pada Kolom Tersusun

#### 3.8.1 Kegagalan Karena Leleh

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

$$P_y = A_g \cdot F_y \quad 3.80$$

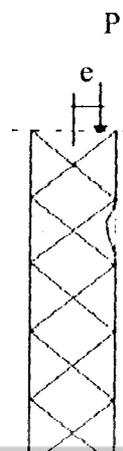
Jenis kegagalan ini hanya terjadi pada kolom pendek. Sedangkan pada kolom panjang kegagalannya ditentukan oleh tekuk karena ketidakstabilan kolom.

### 3.8.2 Kegagalan Akibat Tekuk

Suatu kolom bila mendapat beban yang terus bertambah maka pada saat beban mencapai taraf tertentu maka elemen tersebut akan mengalami ketidakstabilan sehingga terjadi tekuk. Pada saat terjadi tekuk kolom tidak mempunyai kemampuan lagi untuk menerima beban tambahan. Sedikit saja penambahan beban akan menyebabkan kolom tersebut runtuh. Dengan demikian kapasitas kolom adalah besarnya beban yang menyebabkan kolom tersebut mengalami tekuk. Macam tekuk (kegagalan) pada kolom dapat berupa :

#### a. Tekuk Lokal

Oleh karena profil tersusun terdiri dari elemen – elemen plat, kekuatan penampang kolom yang didasarkan pada angka kelangsingan keseluruhan hanya dapat tercapai jika elemen plat tersebut tidak tertekuk setempat. Tekuk setempat elemen plat dapat mengakibatkan kehancuran penampang keseluruhan yang terlalu dini, atau paling sedikit menyebabkan tegangan menjadi tak merata dan mengurangi kekuatan keseluruhan. Kerusakan kolom akibat tekuk lokal dapat dilihat pada gambar 3.6 sebagai berikut :



**Gambar 3.7.** Kerusakan akibat tekuk lokal

Tekuk lokal yang perlu ditinjau adalah stabilitas lentur plat. Persamaan diferensial umum tekuk plat homogen yang dikemukakan oleh *Salmon dan Johnson (1994)*, adalah :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad 3.81$$

dimana  $k$  adalah konstanta yang tergantung pada distribusi tegangan, kondisi tepi dan rasio panjang dengan lebar plat, sedangkan  $\mu$  adalah rasio poisson, dan  $b/t$  adalah rasio lebar dengan ketebalan. Syarat terjadi tekuk lokal adalah :

$$F_{cr \text{ plat}} < F_{cr \text{ tekuk keseluruhan}}$$

$$k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} < F_{cr} \quad 3.82$$

Pada persamaan 3.82 terlihat bahwa nilai  $F_{cr}$  sangat dipengaruhi oleh koefisien tekuk ( $k$ ) dan nilai rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ). Semakin besar rasio  $b/t$  maka semakin kecil kekuatan plat, sehingga menyebabkan tekuk lokal baik pada sayap maupun pada badan.

### b. Tekuk Menyeluruh

*Salmon dan Johnson, (1990)* mengemukakan bahwa tekuk keseluruhan terjadi pada kolom apabila tidak terjadi tekuk lokal sebelum kekuatan penuh kolom berdasarkan rasio kelangsingan ( $kL/r$ ) keseluruhan tercapai. Tekuk keseluruhan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.79

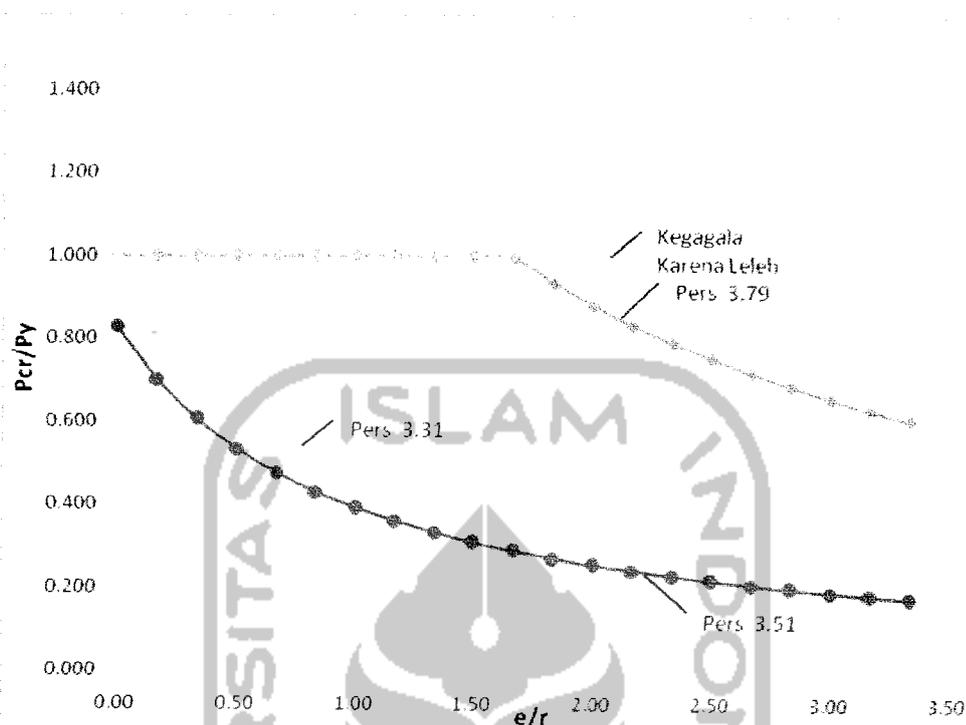
### 3.9 Hubungan Tanpa dimensi Antara $\frac{P}{P_y}$ Versus $\frac{e}{r}$ Dengan $\frac{kL}{r} = 50$

Hasil perhitungan beban ( $P$ ) kolom dengan  $\frac{kL}{r} = 50$ , untuk variasi eksentrisitas dibandingkan dengan nilai beban pada saat leleh ( $P_y$ ), maka akan didapat rasio  $\frac{P}{P_y}$  dengan rasio  $\frac{e}{r}$ . Rasio  $\frac{e}{r}$  didapat dari besarnya eksentrisitas ( $e$ ) beban dibagi radius girasi ( $r=60$  mm).

Dalam penelitian ini nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) yang digunakan sebagai batasan yaitu :Tegangan kritis kolom ( $F_{cr}$ ) akibat leleh bahan (tegangan leleh bahan sesuai dengan hasil penelitian).

Grafik hubungan antara  $\frac{P}{P_y}$  dengan  $\frac{e}{r}$  dapat dilihat pada gambar 3.7 sebagai

berikut :



**Gambar 3.8.** Grafik hubungan antara  $P_{cr}/P_y$  dengan  $e/r$  dengan  $KL/r$  50

Dari gambar 3.8 dapat diketahui bahwa semakin besar eksentrisitas beban maka besarnya beban kritis yang dapat diterima kolom semakin kecil.

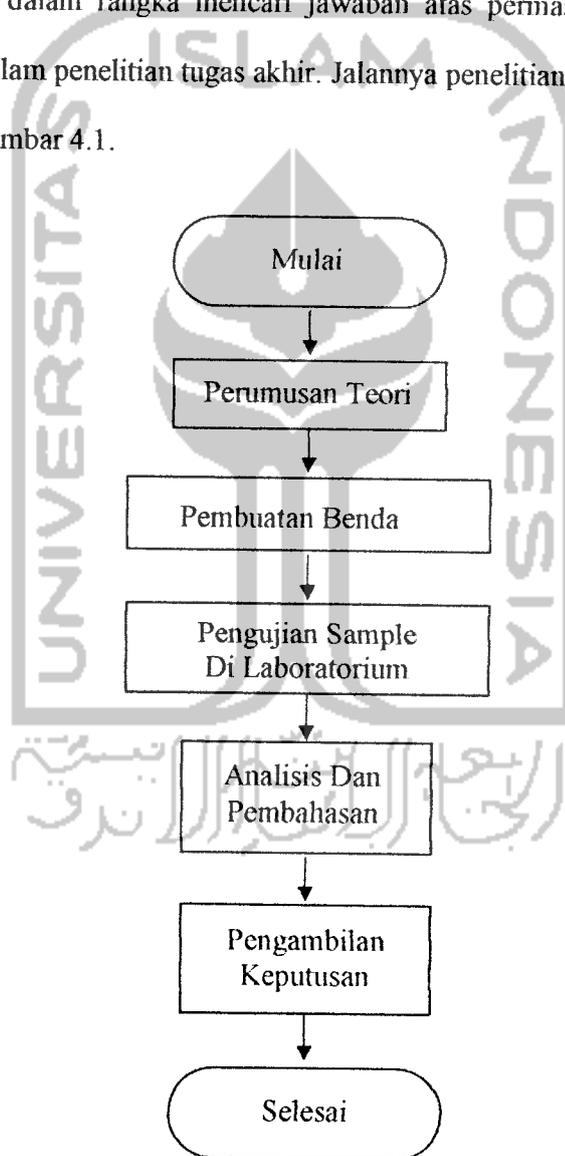
### 3.10 Hipotesis

Berdasarkan kajian dari tinjauan pustaka dan landasan teori dapat dikemukakan hipotesis bahwa kapasitas kolom tersusun dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain : jarak antar profil, bentuk batang perangkai, tinggi kolom dan panjang batang perangkai. Pembebanan kolom secara eksentris ( $e$ ) dapat mempengaruhi kapasitas suatu kolom. Semakin besar nilai eksentrisitas maka besarnya beban kritis ( $P_{cr}$ ) yang dapat diterima suatu kolom semakin kecil.

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penelitian tugas akhir. Jalannya penelitian dapat dilihat dari bagan alir pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Bagan Alir Prosedur Penelitian

## 4.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

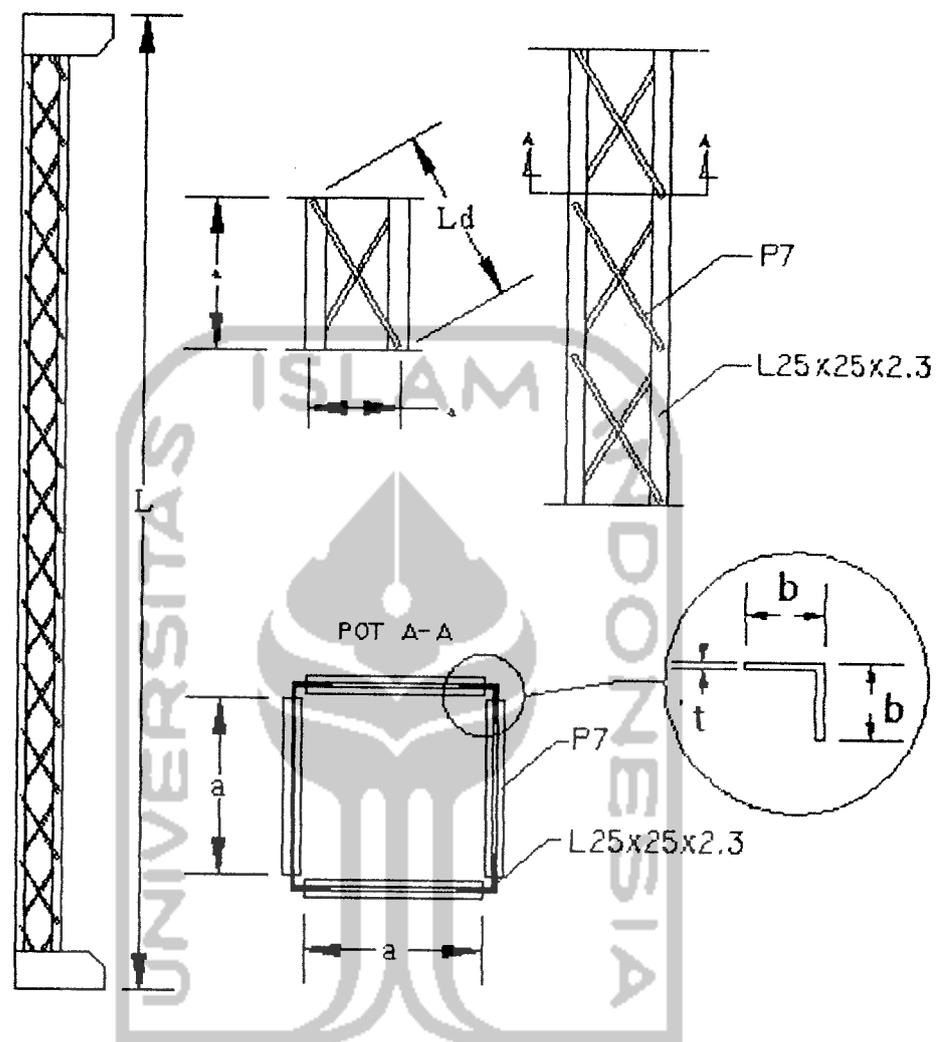
Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan dan bahan yang digunakan sebagai sarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun bahan dan alat yang dipergunakan adalah sebagai berikut.

### 4.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan sebagai benda uji adalah kolom yang menggunakan baja profil siku 25 x 25 x 2,3 mm yang dirangkai menggunakan perangkai baja beton dengan diameter 7 mm. Perangkai disusun berbetuk double diagonal dan di hubungkan dengan baja profil siku menggunakan las.

Jumlah benda uji yang akan dibuat berjumlah empat buah. Dalam pembuatan seluruh benda uji, ukuran dan bentuk dari benda uji dibuat sama. Sedangkan yang membedakan keempat benda uji terletak dalam pengujian di laboratorium. Pengujian benda uji dilaksanakan dengan variasi jarak pembebanan terhadap titik pusat kolom (eksentrisitas).

Selain itu, bahan untuk uji pendahuluan (uji tarik baja) dibuat dari potongan profil benda uji tersebut. Hal ini dikarenakan agar hasil yang didapat dari benda uji tarik baja dapat digunakan sebagai dasar perhitungan. Untuk benda uji geser las digunakan jenis las yang sama dengan yang digunakan untuk merangkai benda uji.



Gambar 4.2 Model Benda Uji

**Tabel 4.1** Ukuran Benda Uji Kolom Tersusun

Benda Uji	Profil L (25 x 25 x 2.3)			Batang Perangkai		L1 (mm)	a (mm)	e (mm)
	L (mm)	b (mm)	t (mm)	∅ (mm)	Ld (mm)			
I	3000	25	2.3	7	23	20	120	130
II	3000	25	2.3	7	23	20	120	140
III	3000	25	2.3	7	23	20	120	150
IV	3000	25	2.3	7	23	20	120	160

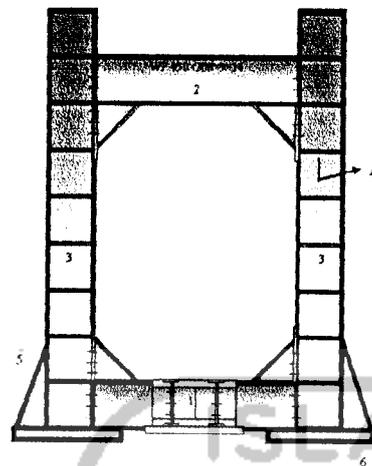
#### 4.2.2. Peralatan penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan. Adapun peralatan tersebut terdiri dari:

##### a. Loading Frame

*Loading Frame* adalah alat yang terbuat dari baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm, dengan bentuk dasar berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar alat tersebut stabil, pelat dasar dibaut kelantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan di uji dengan cara melepas sambungan baut. Sketsa fisik *Loading Frame* dapat dilihat pada Gambar

4.3



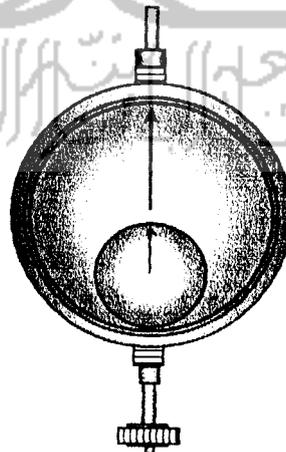
Keterangan :

1. Balok Lintang
2. Balok Portal (bisa digeser)
3. Kolom
4. Pengaku
5. Angkur
6. Pelat Dasar

Gambar 4.3 Loading Frame

**b. Dial Gauge**

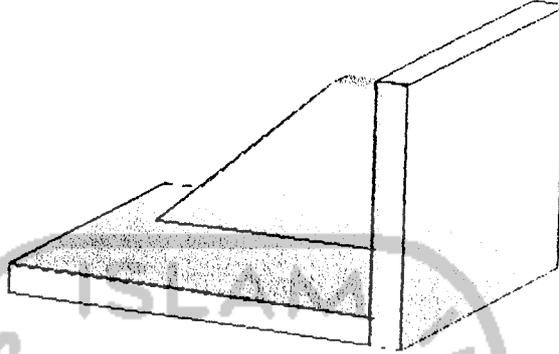
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm. Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah ( Gambar 4.4)



Gambar 4.4 *Dial Gauge*

**c. Dukungan Sendi**

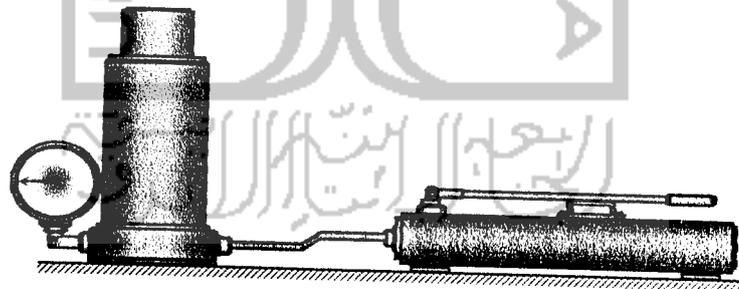
Dukungan sendi dipasang pada kedua dukungan kolom, seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Dukungan Sendi

**d. Hydraulic Jack**

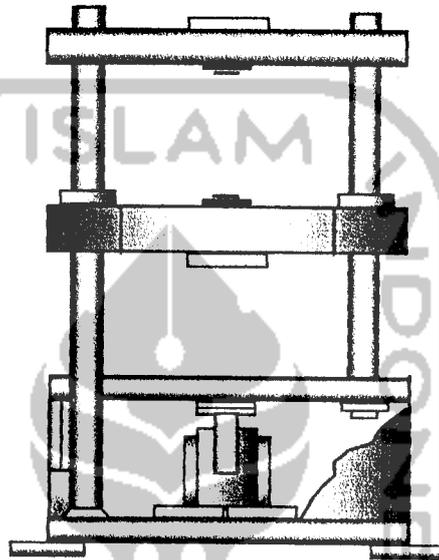
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian kolom skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton. ( lihat Gambar 4.6. )



Gambar 4.6. Hydraulic Jack

*e. Mesin Uji Kuat Tarik*

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu universal Testing Material (UTM) merk Shimizu type UMH-330 dengan kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7.** *Universal Testing Material Shimizu UMH30*

*f. Jangka Sorong*

Digunakan untuk mengukur ketebalan profil dan plat (benda uji).

**4.3. Model Benda Uji**

Benda uji berupa kolom tersusun profil L dengan variasi letak eksentrisitas beban terhadap pusat berat dengan panjang kolom 3.00 m sebanyak 4 buah. Panjang kolom, penampang kolom dan jarak antara pusat berat profil adalah sama.

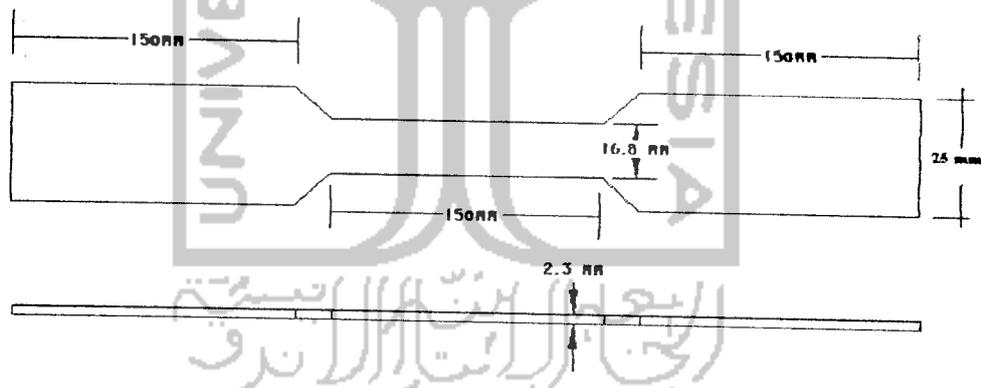
### 4.3.1. Benda Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Uji pendahuluan ini berupa uji tarik baja dan uji geser las.

#### 4.3.1.1 Uji Kuat Tarik Profil

Uji kuat tarik profil bertujuan untuk mengetahui tegangan leleh dan tegangan ultimate profil, sehingga dapat diketahui jenis baja yang digunakan dalam penelitian. Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian diuji di laboratorium, benda uji tersebut berupa :

1. Sampel I dengan tebal profil 2.3 mm dan lebar 16.8 mm
2. Sampel II dengan tebal profil 2.3 mm dan lebar 17 mm.

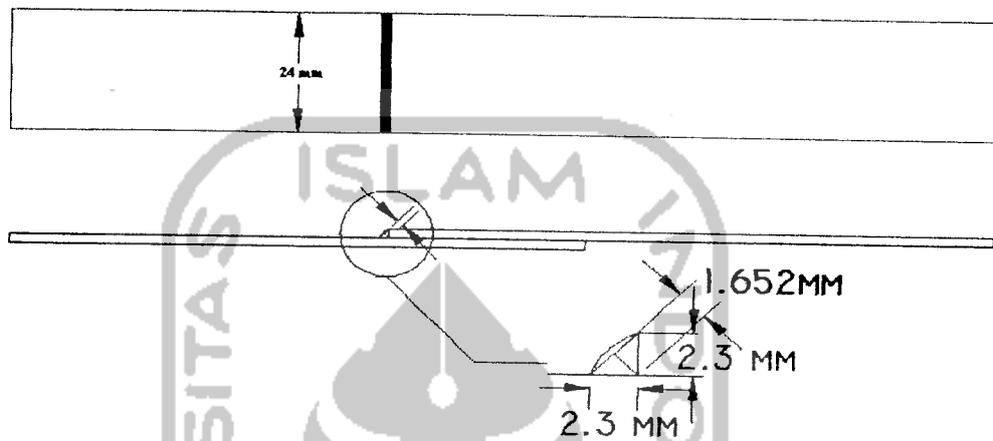


**Gambar 4.8** Benda Uji Untuk kuat Tarik Baja

#### 4.3.1.2 Uji Geser Sambungan Las

Uji kuat geser sambungan las bertujuan untuk mengetahui tegangan ultimate dari elektrode sehingga dapat diketahui elektrode sambungan las yang

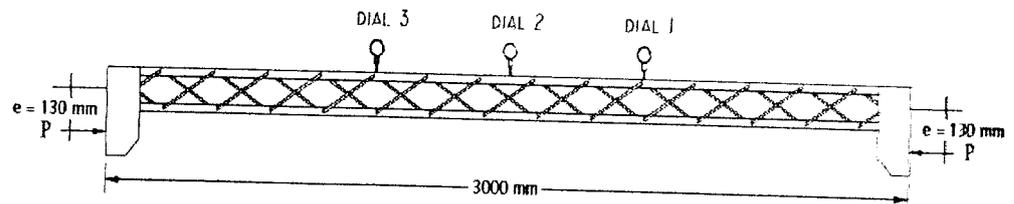
digunakan dalam penelitian ini. Benda uji kuat geser las ini menggunakan pelat dengan tebal 2,3 mm dan tebal las dapat dicari dengan cara  $t = 0.707 k$ , dengan nilai  $k = 2.3$  mm, maka didapat tebal las adalah 1.652 mm, sedangkan lebar las sama dengan lebar plat yaitu 24 mm.



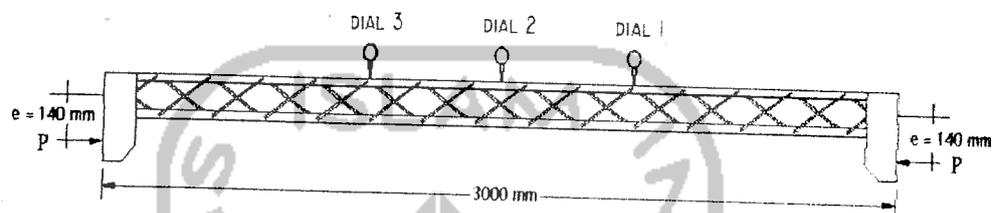
Gambar 4.9 Benda Uji Untuk kuat Tarik Las

#### 4.4 Variasi Pembebanan pada Benda Uji

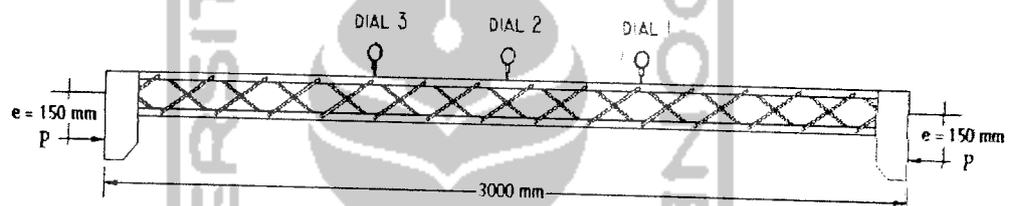
Kolom tersusun dari empat batang profil siku yang dirangkai dengan batang perangkai berupa besi beton diameter ( $\emptyset$ ) 7 mm, dengan variasi jarak eksentrisitas beban terhadap pusat beratnya ( $e$ ). Pada penelitian ini digunakan 4 model benda uji dimana panjang batang ( $L$ ), bentuk penampang ( $b,t$ ) dan jarak antara pusat berat penampang batang tunggal ( $a$ ) konstan.



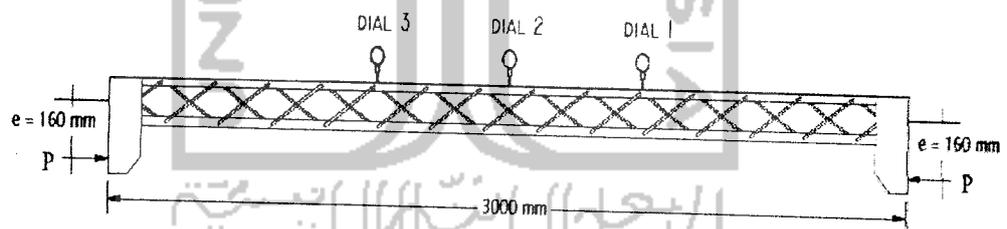
**Gambar 4.10** Pembebanan pada saat  $e = 130$  mm



**Gambar 4.11** Pembebanan pada saat  $e = 140$  mm



**Gambar 4.12** Pembebanan pada saat  $e = 150$  mm

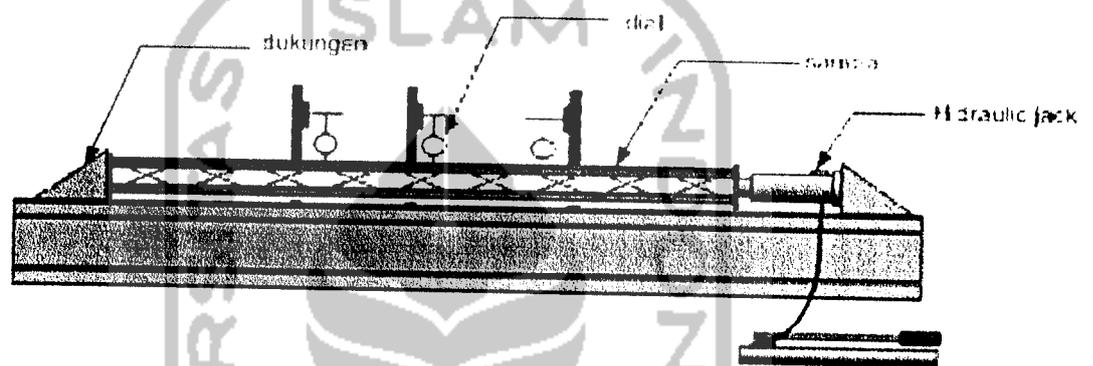


**Gambar 4.13** Pembebanan pada saat  $e = 160$  mm

#### 4.5. Pengujian Benda Uji

Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan eksentris secara bertahap untuk mengetahui kekuatan tekan pada kolom tersusun. Agar benda uji

dapat terbebani secara eksentris, sebelum benda uji 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 benda uji pada penelitian ini dilakukan dengan cara uji tidur, seperti tampak pada **gambar 4.14**



**Gambar 4.14.** Gambar alat pengujian kolom

#### 4.6. Analisis hasil pengujian

Hasil dari pengujian akan dijadikan data dalam menganalisis perilaku kolom tersusun dengan perangkat double diagonal akibat variasi pembebanan eksentris.

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

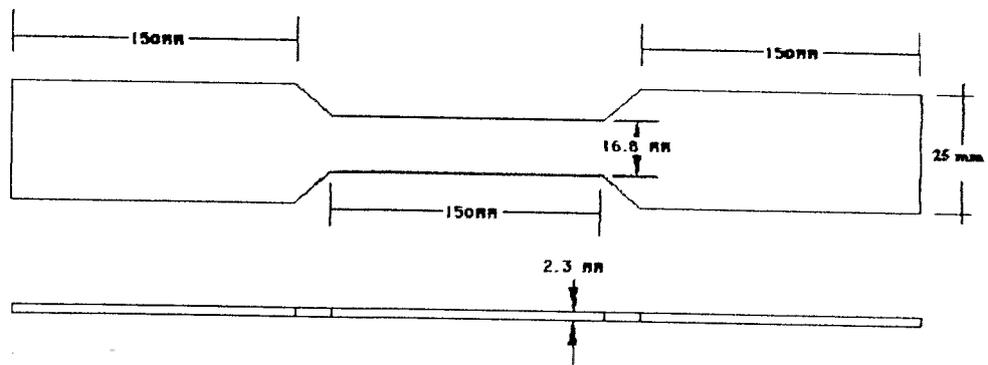
#### **5.1 Hasil Pengujian**

Pengujian yang dilakukan meliputi uji 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. Pengujian ini berguna untuk mengetahui kekuatan bahan yang dipakai, dan hasil pengujian akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom yang menerima beban aksial tekan eksentris.

##### **5.1.1 Uji Tarik Baja 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. Bentuk dan hasil pengujian kuat tarik didapat hasil pada gambar 5.1 dan tabel 5.1 sebagai berikut :



Gambar 5.1 Benda Uji Kuat Tarik Bahan

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Penampang			Beban Leleh ( $P_y$ ) (kN)	Beban Ultimit ( $P_u$ ) (kN)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas ( $\text{mm}^2$ )		
I	16.8	2.3	38.64	9957.15	12458.7
II	17	2.3	39.1	11036.25	13488.75

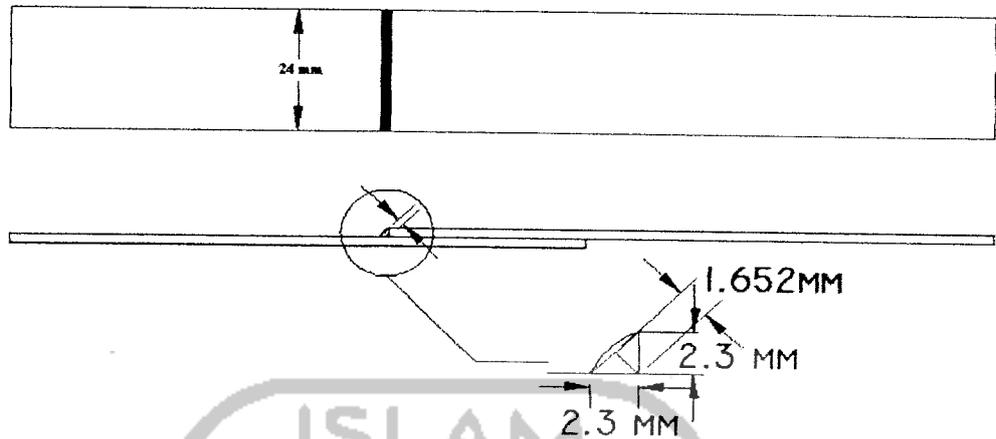
Tegangan leleh ( $F_y$ ) didapatkan dengan membagi beban leleh dengan luas penampang ( $F_y = P_y / A$ ). Tegangan ultimit ( $F_u$ ) didapat dengan membagi beban maksimum dengan luas penampang ( $F_u = P_u / A$ ).

### 5.1.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las

Uji las geser dilakukan guna mengetahui kuat geser las yang digunakan pada sambungan benda uji, benda uji dan hasil uji geser las ditunjukkan dalam

Tabel 5.2





Gambar 5.2 Benda Uji Gesar Las

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

Benda Uji	Penampang			Beban Ultimit (Pu) (kN)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	
I	24.6	1.652	40.64	9535.32
II	24.61	1.652	40.66	8730.9

### 5.1.3 Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun

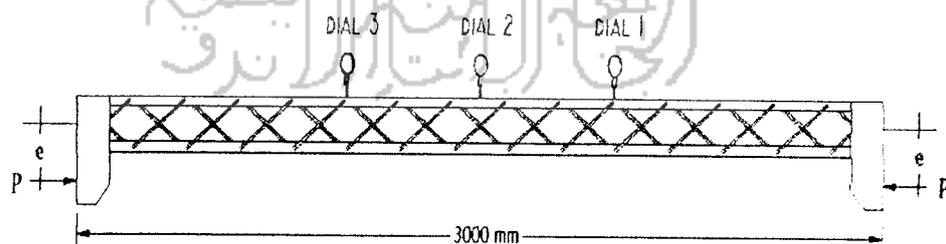
Pengujian kuat tekan kolom tersusun dilakukan menggunakan alat dukungan Loading Frame dan alat pembebanan Hidraulic jack di laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Struktur dibebani beban aksial eksentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 1,962 kN (200 kg), kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya pembebanan dan lendutan dicatat. Nilai jari-jari kelembaman ( $r$ ) digunakan sebagai nilai pembagi dalam menentukan rasio  $e/r$  untuk mencari grafik non dimensional hubungan  $P_{cr}/P_y$  dengan  $e/r$  sesuai yang di kemukakan oleh *WF Chan and T Astuta* didalam buku *Theory of Beam Column*. Nilai jari-jari

kelembaman yang digunakan adalah 60 mm, sedangkan nilai eksentrisitas pada keempat benda uji adalah sebagai berikut :

- Benda uji I :  $e = 130 \text{ mm}$  ( $e/r = 2.167$  )
- Benda uji II :  $e = 140 \text{ mm}$  ( $e/r = 2.333$  )
- Benda uji III :  $e = 150 \text{ mm}$  ( $e/r = 2.500$  )
- Benda uji IV :  $e = 160 \text{ mm}$  ( $e/r = 2.667$  )

#### 5.1.4 Hubungan Beban Lendutan ( $P - \Delta$ ) Hasil Penelitian

Pengujian kuat tekan kolom tersusun diberikan beban aksial eksentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 1,962 kN (200 kg), kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya pembebanan dan lendutan dicatat. Pencatatan besarnya lendutan yang terjadi dilakukan pada pembacaan masing-masing dial gauge yang dipasang pada masing-masing benda uji. Dial gauge dipasang pada tengah panjang bentang benda uji dan kanan kiri dari tengah bentang benda uji sejarak 500 mm. Pemasangan dial dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan tabel hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.3.

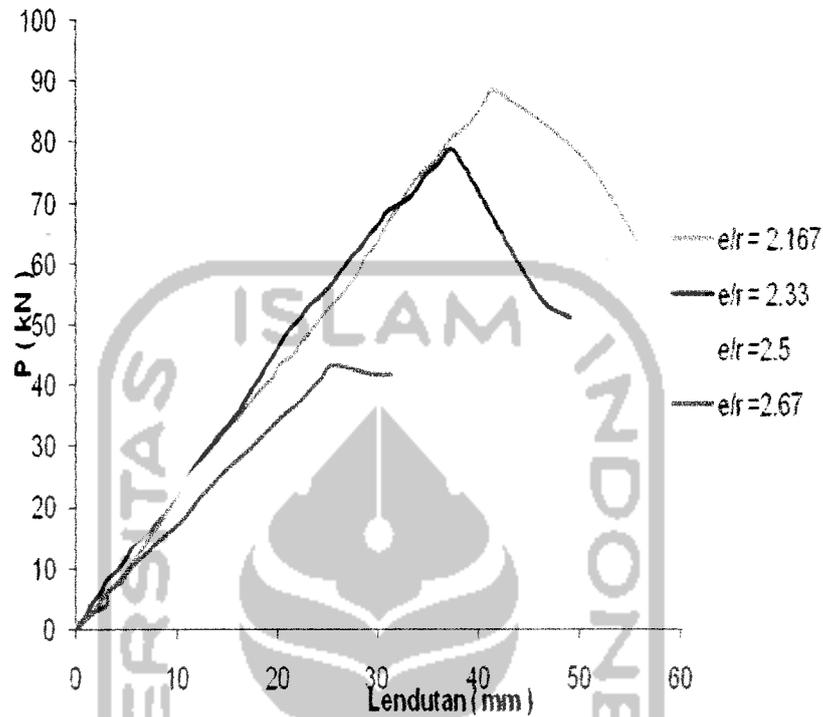


**Gambar 5.3** Penempatan Dial Pada Benda Uji

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun

Hasil Uji Sample 1 (e/r=2.167)				Hasil Uji Sample 2 (e/r=2.333)				Hasil Uji Sample 3 (e/r=2.500)				Hasil Uji Sample 4 (e/r=2.667)			
P kN	Dial 1	Dial 2	Dial 3												
	Mm	Mm	mm												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.96	1.29	1.42	1.35	1.96	0.88	0.96	0.48	1.96	0.39	0.6	0.48	1.96	0.98	1.05	0.73
3.92	2.1	2.29	2.12	3.92	1.46	1.58	1	3.92	0.97	1.04	0.7	3.92	2	3.08	1.69
5.89	2.89	3.08	2.8	5.89	2.32	2.48	1.77	5.89	1.56	1.61	1.12	5.89	2.99	3.21	2.63
7.85	3.59	4.27	4.23	7.85	2.9	3.06	2.27	7.85	2.21	2.36	1.95	7.85	4.29	4.59	3.78
9.81	4.84	5.12	4.61	9.81	3.94	4.21	3.23	9.81	3.19	3.37	2.66	9.81	4.48	5.31	4.38
11.8	5.57	6	5.37	11.8	4.71	5.02	3.96	11.8	4.11	4.31	3.66	11.8	6.16	6.54	5.43
13.7	6.33	6.82	6.09	13.7	5.34	5.71	4.49	13.7	4.91	5.17	4.36	13.7	7.33	7.76	6.42
15.7	7.08	7.57	6.79	15.7	6.44	6.87	5.46	15.7	6.96	6.76	5.3	15.7	8.7	9.13	7.57
17.7	8.02	8.55	7.58	17.7	7.5	7.96	6.4	17.7	7.14	7.52	6.35	17.7	9.99	10.5	8.6
19.6	8.73	9.2	8.13	19.6	8.22	8.71	7.05	19.6	8.18	8.64	7.28	19.6	10.9	11.4	9.46
21.6	9.37	9.95	8.99	21.6	9.1	9.63	7.83	21.6	9.05	9.51	7.95	21.6	11.8	12.3	10.2
23.5	9.92	10.5	9.53	23.5	9.94	10.4	8.49	23.5	10	10.5	8.8	23.5	12.8	13.5	11.2
25.5	10.8	11.4	10.3	25.5	10.8	11.3	9.17	25.5	11.1	11.6	9.72	25.5	13.8	14.5	12
27.5	11.7	12.2	10.9	27.5	11.8	12.2	9.92	27.5	12.2	12.8	10.8	27.5	15.1	15.8	13.1
29.4	13.1	13.4	11.5	29.4	12.6	13.1	10.7	29.4	13.2	13.9	11.6	29.4	16.4	17.2	14.4
31.4	13.5	14.1	12.2	31.4	13.6	14.2	11.6	31.4	14.2	14.9	12.6	31.4	17.4	18.4	15.4
35.3	15.7	16.6	14.9	35.3	15.5	16.1	13.1	35.3	15.4	17.1	14.7	35.3	19.7	20.8	17.5
37.3	16.4	17.5	15.9	37.3	16.2	16.8	13.7	37.3	16.6	18.5	15.6	37.3	21.1	22.2	18.8
39.2	17.1	18.5	16.9	39.2	16.9	17.5	14.3	39.2	17.4	19.5	16.3	39.2	22.1	23.3	19.7
41.2	18.6	19.7	17.8	41.2	17.7	18.3	14.9	41.2	18.9	20.3	16.3	41.2	23.1	24.4	20.4
43.2	19.2	20.2	18.2	43.2	18.3	19	15.3	43.2	19.3	21.4	18	43.2	23.8	25.5	21.4
45.1	20.9	21.7	19.3	45.1	19.1	19.7	15.9	45.1	20.3	22.5	18.9	41.69	25.67	29.53	23.34
47.1	21.3	22.5	20.4	47.1	19.8	20.4	16.5	47.1	21.2	23.5	19.7	41.69	27.4	31.42	24.24
49.1	22.4	23.5	21.3	49.1	20.5	21.1	17.1	49.1	22	24.3	20.3	41.69	25.67	29.53	23.34
51	23.3	24.4	22.2	51	21.5	22.3	18.1	51	23.2	25.5	21.3				
53	24.3	25.4	23.2	53	22.3	23.1	18.9	53	24.3	26.7	22.3				
54.9	25.3	26.6	24.5	54.9	23.6	24.5	20	54.9	25.5	27.8	23.3				
56.9	26.3	27.5	25.2	56.9	24.6	25.5	21.1	56.9	26.3	28.8	24.1				
58.9	28.8	28.3	26.3	58.9	25.5	26.4	21.7	58.9	29	31.2	26				
60.8	27.1	28.8	26.9	60.8	26.4	27.3	22.1	60.8	29.5	31.8	26.3				
62.8	28	29.8	28.1	62.8	27.4	28.4	22.9	62.8	30.8	33.3	27.5				
64.7	28.3	30.4	28.9	64.7	28.2	29.2	23.6	64.7	31.9	34.7	29				
66.7	29.1	31.1	29.4	66.7	29.2	30.3	24.5	62.78	32.04	36.2	32.23				
68.7	30.3	32	30	68.7	30	31	25.2	43.16	38.2	41.7	37.15				
70.6	30.9	32.6	30.6	70.6	32	33.1	26.7	41.2	42.56	47.75	39.35				
72.6	31.2	33.4	31.6	72.6	32.7	34	27.3								
74.6	32.1	34.3	32.4	74.6	33.4	34.8	27.9								
76.5	33.8	35.6	33.4	76.5	34.2	36.2	29.2								
78.5	34.7	36.5	34	78.5	36.2	37.6	29.8								
80.4	35.1	37.4	35.4	54.9	43.7	45.87	35.44								
82.4	37	38.9	36.5	51	46.32	49.15	37.88								
84.4	37.5	39.9	37.9												
86.3	38.7	40.7	38.2												
88.3	39.5	41.6	39.1												
77.5	47.98	50.18	48.3												
63.8	49.17	55.73	50.6												

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



**Gambar 5.4** Grafik Hubungan Beban - Lendutan Maksimum

Hasil pengujian terhadap empat benda uji yang berupa kolom tersusun empat profil siku dengan perangkat diagonal terlihat bahwa semakin besar variasi  $e/r$  maka kapasitas dukung kolom semakin menurun. Hal ini dipengaruhi oleh nilai eksintrisitas yang menyebabkan terjadinya momen. Momen yang bekerja pada kolom mempengaruhi nilai kapasitas dari kolom. Selain itu terlihat bahwa setelah kolom mengalami beban maksimum maka daya dukung kolom mengalami penurunan, tetapi lendutan terus bertambah besar.

Pada semua benda uji lendutan maksimum berada di dial 2, karena dalam pengujiannya lendutan terbesar berada di dial 2, maka dial 2 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 Tarik Baja

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Penampang			Beban Leleh ( $P_y$ ) (kN)	Beban Ultimit ( $P_u$ ) (kN)	Tegangan Leleh ( $F_y$ ) (MPa)	Tegangan Ultimit ( $F_u$ ) (MPa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas ( $\text{mm}^2$ )				
I	16.8	2.3	38.64	9957.15	12458.7	257.69	322.43
II	17	2.3	39.1	11036.25	13488.75	282.26	344.98
						269.97	333.71

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

yang dilakukan maka didapatkan nilai tegangan leleh baja ( $F_y$ ) 269.975 Mpa dan tegangan ultimate ( $F_u$ ) 333.71 Mpa.

ASTM membagi baja dalam empat kelompok berdasarkan tegangan leleh, antara lain (Padosbajayo, 1992) :

1. *Carbon steels*, dengan tegangan leleh antara 210-280 Mpa.
2. *High-strength low-alloy steels*, dengan tegangan leleh antara 280-490 Mpa.
3. *Heat treated carbon and high-strength low-alloy steels*, dengan tegangan leleh antara 322-700 MPa.
4. *Heat-treated constructional alloy steels*, dengan tegangan leleh antara 630-700 MPa.

Berdasarkan uraian diatas, baja yang digunakan dalam penelitian termasuk ke dalam golongan *Carbon Steels*.

### 5.2.3 Uji Kuat Geser Sambungan Las

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

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

Benda Uji	Penampang			Beban Ultimit (Pu) (kN)	Tegangan Ultimate (Fu) (MPa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )		
I	24.6	1.652	40.64	9535.32	234.63
II	24.61	1.652	40.66	8730.9	214.75
					224.69

Dari tabel diatas didapat bahwa tegangan ultimate pada sambungan las lebih kecil bila dibandingkan dengan tegangan ultimate baja profil. Hal ini menunjukkan bahwa profil baja yang digunakan lebih kuat daripada sambungan las. Hasil pengujian geser las rata-rata diatas menunjukkan jenis las yang digunakan dalam penelitian. Dari hasil pengujian yang dilakukan maka didapatkan nilai tegangan ultimate las ( $F_u$ ) 224.69 Mpa. Dari tabel diatas diperoleh bahwa tegangan ultimate pada sambungan las lebih besar jika dibandingkan dengan tegangan leleh baja profil. Hal ini menunjukkan bahwa sambungan las yang digunakan lebih kuat dibandingkan profil baja.

AWS mengelompokkan elektrode-elektrode untuk las menjadi beberapa kelompok seperti pada tabel berikut :

**Tabel 5.6** Elektrode-elektrode untuk Las (*Salmon dan Johnson, 1992*)

Proses				Tegangan Leleh Minimum (Mpa)	Kekuatan Tarik Minimum (Mpa)
Shield Metal Arc Welding (SMAW) AWS A5.1 atau A5.5	Submerged Arc Welding (SAW) A5.17 atau A5.23	Gas Metal Arc Welding (GMAW) AWS A5.18 atau A5.28	Flux Cored Arc Welding (FCAW) AWS A5.20 atau A5.29		
E60XX			E6XT-X	345	425
	F6X-EXXX			345	425-450
E79XX		ER70S-X	E7XT-X	415	495
	F7X-EXXX			415	485-655
E80XX				460	550
	F8X-EXXX		E8XT	470	550-690
		ER80S		450	550
E100XX				600	690
	F10X- EXXX			605	690-895
		ER100S		620	690

*lanjutan*

			E10XT	605	690-830
E110X				670	760
	F11X- EXXX			675	760-895
		ER110S		675	760
			E11XT	675	760-860

Berdasarkan Tabel 5.6 diatas, elektrode yang digunakan pada penelitian ini tidak masuk didalam tabel elektrode yang di kemukakan oleh *Salmon dan Johnson, 1992*, kerana hal ini disebabkan oleh mutu las yang sangat rendah. Selain itu luasan las pada pengujian yang sukar ditentukan sehingga tegangan ultimate tidak masuk dalam tabel yan dikemukakan *Salmon dan Johnson, 1992*.

#### 5.2.4 Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun

Data yang diperoleh dari uji pendahuluan ini berguna untuk mengetahui perilaku profil gabungan empat prifil siku dengan pembebanan eksentris. Dari pengujian ini bisa didapatkan nilai beban kritis.

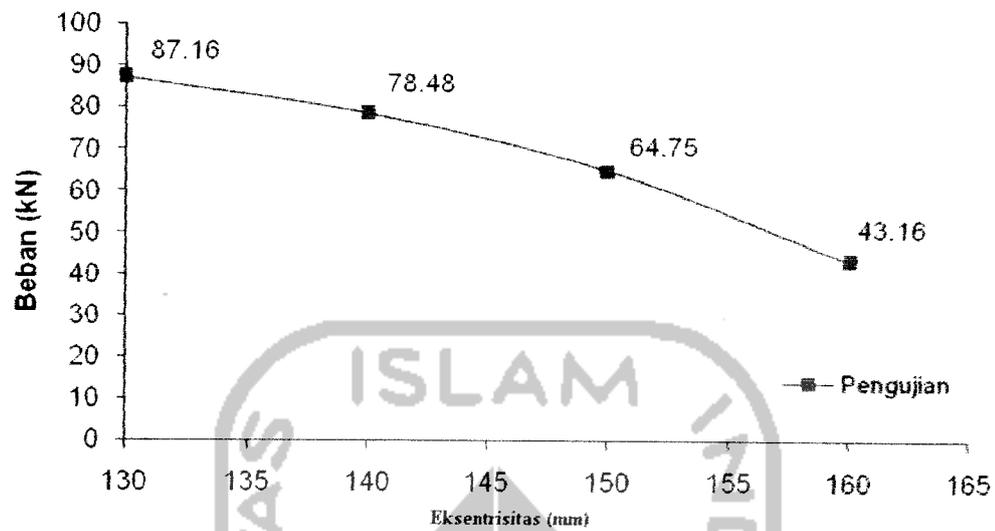
Pengujian kuat tekan kolom tersusun dilakukan menggunakan alat dukungan Loading Frame dan alat pembebanan Hidraulic jack di laboratorium Mekanika Rekayasa Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Struktur dibebani beban aksial eksentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 1,962 kN (200 kg), 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 500 mm pada masing-masing benda uji. Berdasarkan dari keempat

hasil pengujian sample dilaboratorium didapatkan bahwa semua benda uji mengalami tekuk lokal (*local buckling*), dan beban kritis yang dapat ditahan pada sampel 1, 2, 3 dan 4 berturut-turut adalah 87,16 kN, 78,48 kN, 64,75 kN dan 43,164 kN.

#### 5.2.5. Hubungan Beban Kritis (P) dengan Eksentrisitas (e)

Dari grafik hubungan beban lendutan hasil pengujian kuat tekan kolom tersusun dengan variasi letak beban terhadap pusat beratnya pada keempat benda uji terlihat bahwa semakin besar nilai eksentrisitas beban terhadap pusat beratnya maka semakin kecil kemampuan kolom menahan beban.

Hal ini ditunjukkan dengan turunnya beban maksimum dari benda uji pertama sampai dengan benda uji keempat. Untuk benda uji pertama dengan eksentrisitas 130 mm mampu menahan beban 88,29 kN, benda uji kedua dengan eksentrisitas 140 mm mampu menahan beban 78,48 kN, benda uji ketiga dengan eksentrisitas 150 mm mampu menahan beban 64,75 kN, dan untuk benda uji keempat dengan eksentrisitas beban 160 mm mampu menahan beban 43,164 kN. Hubungan eksentrisitas dengan beban dapat dilihat pada gambar 5.5 sebagai berikut :



**Gambar 5.5.** Grafik Hubungan Beban Maksimum dan Eksentrisitas Beban

Dari gambar 5.5 terlihat bahwa besarnya beban kritis ( $P_{cr}$ ) dipengaruhi oleh nilai eksentrisitas, semakin besar eksentrisitas maka beban yang dapat ditahan oleh kolom semakin kecil. Hal ini sesuai dengan persamaan 3.79. Dalam persamaan 3.79 terlihat bahwa faktor eksentrisitas ( $e$ ) adalah faktor pembagi  $>1$  yang menyebabkan nilai beban kritis ( $P_{cr}$ ) menjadi turun atau berkurang bersamaan dengan naiknya nilai eksentrisitas.

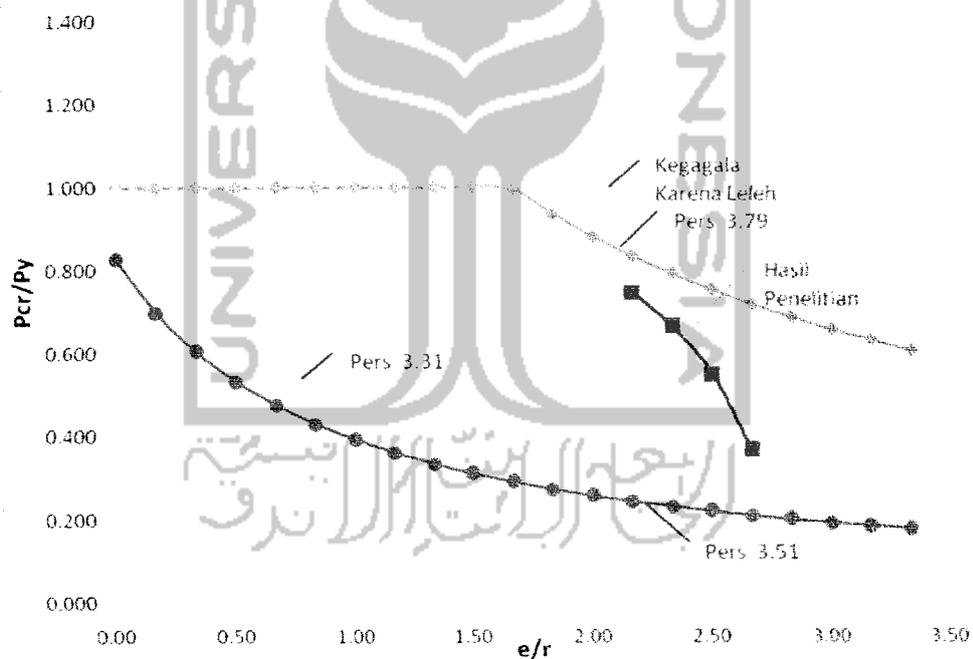
### 5.2.6 Perbandingan Antara Perhitungan Teoritis Dengan Hasil Pengujian

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

**Tabel 5.7** Perbandingan Beban Kritis Hasil Pengujian Dengan Teoritis

e/r	Teoritis									Penelitian		
	Persamaan 3.31			Persamaan 3.51			Persamaan 3.79					
	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py
2.167	35.049	118.46	0.296	28.70	118.46	0.242	98.71	118.46	0.833	88.3	118.432	0.745
2.333	33.248	118.46	0.281	27.21	118.46	0.230	93.63	118.46	0.790	78.5	118.432	0.663
2.500	31.624	118.46	0.267	25.88	118.46	0.218	89.05	118.46	0.752	64.7	118.432	0.547
2.667	30.150	118.46	0.255	24.67	118.46	0.208	84.90	118.46	0.717	43.2	118.432	0.364

Dari **Tabel 5.7** dapat ditampilkan dalam grafik perbandingan beban kritis (Pcr) antara beban kritis pengujian dengan beban kritis teoritis.



**Gambar 5.6** Grafik Hubungan Antara P/Py dan e/r Hasil Pengujian Sample Dengan Teoritis dengan nilai KL/r 50

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa teori persamaan 3.31 (rumus secant) dan persamaan 3.51 (modifikasi AISC) memiliki hasil perhitungan teoritis yang

hampir sama, tetapi beban kritis teoritis memiliki perbedaan dengan hasil pengujian. Beban kritis hasil pengujian lebih tinggi dari pada teori persamaan 3.51 dan persamaan 3.31, tetapi hasil penelitian lebih rendah dari persamaan persamaan 3.79 (Euler). Berdasar grafik diatas terlihat bahwa:

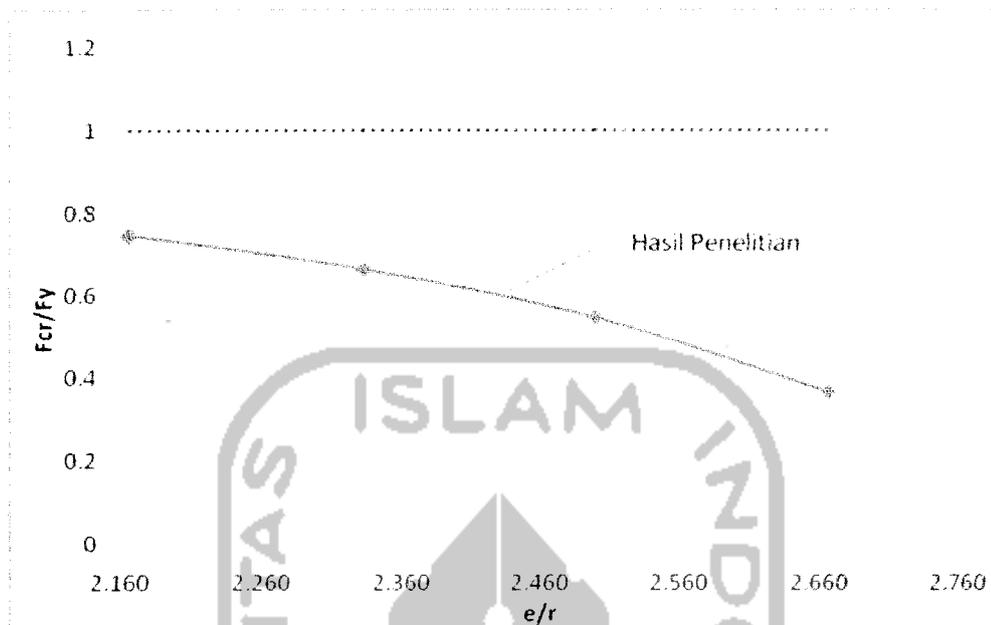
1. Semakin besar nilai eksentrisitas maka hasil pengujian mendekati teoritis (persamaan 3.31 dan persamaan 3.51), sedangkan untuk nilai eksentrisitas yang kecil didapatkan hasil pengujian yang menjauhi hasil teoritis (persamaan 3.31 dan persamaan 3.51).
2. Hasil pengujian lebih rendah daripada persamaan 3.79 (persamaan Euler), hal itu disebabkan karena ada kemungkinan ketidak tepatan dalam menentukan nilai modulus tangent dan modulus tereduksi. Pada dasarnya persamaan Euler hanya dapat di gunakan pada kolom langsing, atau kolom dengan kelangsingan diatas kelangsingan kritis.
3. Perhitungan teoritis yang berbeda antara persamaan 3.31 dan persamaan 3.51 dengan persamaan 3,79. Hal ini disebabkan persamaan 3.31 (persamaan Secant) dan persamaan 3.51 (persamaan modifikasi AISC) adalah persamaan umum kolom tunggal maupun kolom tersusun dengan mengabaikan pengaruh faktor perangkai. Sedangkan persamaan 3,79 adalah persamaan kolom tersusun Euler yang mendapat pengaruh dari factor perangkai. Sehingga hasil teoritis persamaan 3.79 lebih besar daripada persamaan 3.31 dan persamaan 3.51.
4. Pengambilan asumsi kondisi ujung yang tidak sesuai dengan kondisi ujung yang ada di laboratorium.

5. Efek tegangan residu yang tidak diperhitungkan. Semakin langsing sebuah kolom maka efek dari tegangan residu menjadi besar.

Grafik penelitian dan teoritis memiliki pola grafik yang sama ditandai dengan semakin bertambahnya nilai rasio  $e/r$  maka nilai  $P_{cr}/P_y$  semakin turun.

#### 5.2.7. Pola Kegagalan

Pola kegagalan yang terjadi pada kolom dapat diketahui dan dilihat pada pengujian tekan di laboratorium. Pada pengujian tersebut, kegagalan benda uji terjadi sebelum mencapai leleh bahan. Terlihat didalam grafik 5.7 bahwa hasil pengujian yang dilakukan tegangan kritis kolom berada dibawah tegangan leleh bahan. Hal ini disebabkan karena beberapa factor yang memengaruhi kondisi dari benda uji tersebut. Antara lain tegangan residu yang tidak diperhitungkan. Pola kegagalan yang terjadi pada keempat benda uji adalah tekuk local (*local buckling*). Pola kegagalan pada kolom dapat dilihat pada lampiran 4. Hal ini sesuai syarat terjadinya tekuk local, yaitu  $F_{cr \text{ plat}} < F_{cr \text{ keseluruhan}}$ . Selain itu tekuk lokal terjadi karena rasio  $b/t$  pada benda uji lebih dari 10,8 (penampang dari profil tunggal untuk kolom tersusun yang dibuat tidak kompak).



**Gambar 5.7** Grafik Hubungan Antara  $F_{cr}/F_y$  dan  $e/r$  Hasil Pengujian Sample

**Tabel 5.8** Analisis Pola Kegagalan

Sample	$kL/r$	$E_t$ (Mpa)	$F_{cr}$ keseluruhan $:\pi^2E/(kL/r)^2$	P (N)	A (mm <sup>2</sup> )	K	$F_{cr}$ plat $:\frac{k\pi^2E}{(12*(1-\mu^2)(b/l)^2)}$	pola kegagalan
I	50	194264	271.73	88290	438.84	0.135532	201.19	local buckling
II	50	194264	271.73	78480	438.84	0.120472	178.84	local buckling
III	50	194264	271.73	64746	438.84	0.09939	147.54	local buckling
IV	50	194264	271.73	43164	438.84	0.06626	98.36	local buckling

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai k (koefisien tekuk pelat) pada setiap benda uji berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena beban yang dapat ditahan benda uji berbeda.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan tentang kuat tekan kolom tersusun dari empat profil siku variasi eksentrisitas beban ( $e$ ), panjang kolom dan jarak pusat berat kedua profil ( $a$ ) konstan adalah sebagai berikut :

1. Semakin besar eksentrisitas maka beban kritis kolom ( $P_{cr}$ ) akan semakin kecil.
2. Semakin besar nilai  $\frac{e}{r}$ , maka  $\frac{P_{cr}}{P_y}$  akan semakin kecil. Untuk benda uji dengan eksentrisitas 130 mm, 140 mm, 150 mm, 160 mm maka besarnya  $P_{cr}/P_y$  untuk masing-masing adalah 0.745, 0.663, 0.530, 0.364.
3. Kegagalan pada semua benda uji berupa tekuk lokal pada dating tunggal. (dapat dilihat pada lampiran 4).

#### 6.2. Saran

Pada penelitian ini masih banyak kekurangan, banyak hal yang masih bisa diteliti lebih lanjut. Kekurangan yang perlu diperhatikan pada penelitian eksperimental lebih lanjut tentang kuat tekan kolom tersusun dari empat profil siku dengan nilai eksentrisitas beban adalah :

1. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan nilai  $e/r$  bervariasi untuk mendapatkan berbagai grafik penelitian dengan berbagai kelangsingan.
2. Perlu diadakan penelitian untuk kolom tersusun dari empat profil siku dengan penampang kompak berbagai macam bentuk perangkai dengan pembebanan eksentrisitas.



## DAFTAR PUSTAKA

AISC, **MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION**, Ninth Edition, American Institute of Steel Construction Inc, New York, 1989.

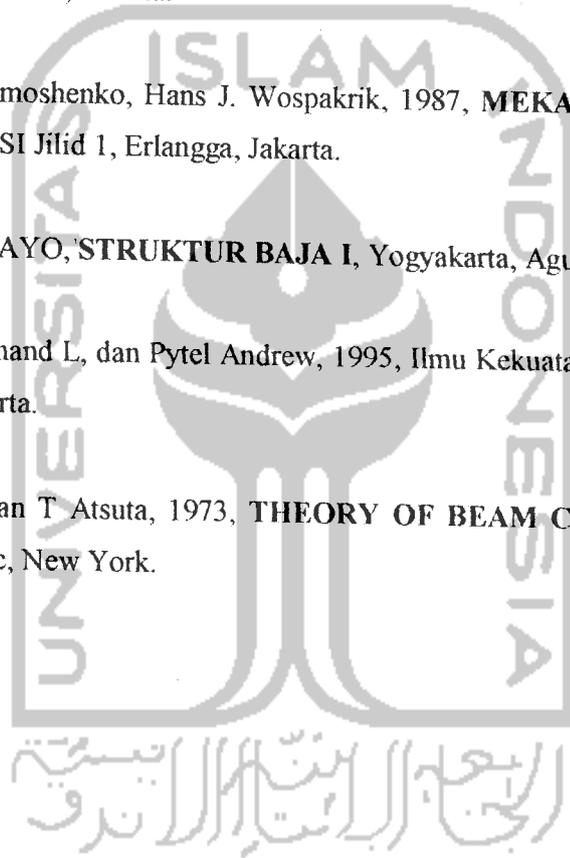
Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1996, **STRUKTUR BAJA** Edisi Ketiga, Gramedia, Jakarta.

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

PADASBAJAYO, **STRUKTUR BAJA I**, Yogyakarta, Agustus 1991

Singer Ferdinand L, dan Pytel Andrew, 1995, **Ilmu Kekuatan Bahan**, Edisi kedua, Erlangga Jkarta.

WF. Chen dan T Atsuta, 1973, **THEORY OF BEAM COLUMN**, Vol 2, Mc Graw Hill Inc, New York.





# LAMPIRAN 1

PERENCANAAN KOLOM TERSUSUN

الجامعة الإسلامية  
الابن سفيان الأندلسي

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN EMPAT PROFIL SIKU  
DENGAN PERANGKAI DIAGONAL AKIBAT  
PEMBEBANAN EKSENTRIS**

**A. Data Perencanaan Benda Uji**

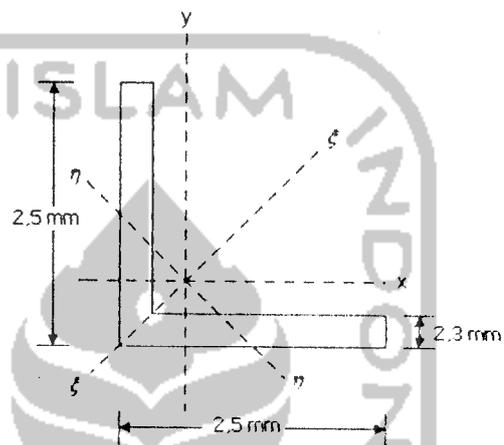
Ketentuan-ketentuan dalam perencanaan kolom tersusun pada keempat benda uji untuk penelitian pengujian kuat tekan, adalah sebagai berikut :

1. Profil baja yang digunakan untuk perencanaan kolom tersusun adalah profil baja siku 4 ( 25 x 25 x 2,3 ) mm dengan panjang 3000 mm dan tulangan ukuran  $\varnothing$  7 mm.
2. Variasi pada keempat benda uji terletak pada variasi jarak eksentrisitas (e), dimana panjang kolom (L), jarak antar profil (a), jarak antar batang perangkai ( $L_1$ ) dan penampang profil gabungan adalah konstan. Variasi jarak eksentrisitas untuk tiap benda uji adalah :
  - a. Benda uji I dengan jarak eksentrisitas (e) = 130 mm.
  - b. Benda uji II dengan jarak eksentrisitas (e) = 140 mm.
  - c. Benda uji III dengan jarak eksentrisitas (e) = 150 mm.
  - d. Benda uji IV dengan jarak eksentrisitas (e) = 160 mm.
3. Perletakan dukungan berupa sendi dikedua ujungnya.

## B. Perhitungan Momen Inersia Batang Tunggal

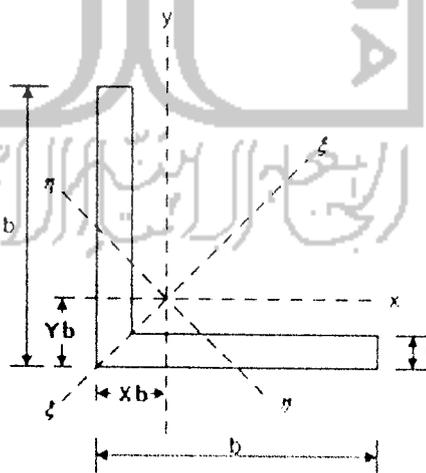
### 1. Spesifikasi Tampang Profil Siku

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 L.1.1.



Gambar L.1.1 Spesifikasi Ukuran Profil Siku

### 2. Perhitungan Titik Berat Penampang



Gambar L.1.2 Titik Berat Profil Siku

dimana :

$$b = 25 \text{ mm}$$

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

Statis Momen terhadap sisi atas

$$X_a = Y_a = \frac{((b-t) \cdot x t) \frac{b-t}{2} + (b \cdot x t) \left( (b-t) + \frac{t}{2} \right)}{((b-t) \cdot x t) + (b \cdot x t)}$$

$$= \frac{(22,7 \times 2,3) \frac{22,7}{2} + (25 \times 2,3) \left( 22,7 + \frac{2,3}{2} \right)}{(22,7 \times 2,3) + (25 \times 2,3)}$$

$$= 17,9 \text{ mm}$$

Statis Momen terhadap sisi bawah

$$X_b = Y_b = \frac{((b-t) \cdot x t) \left( \frac{b-t}{2} + t \right) + (b \cdot x t) \left( \frac{t}{2} \right)}{((b-t) \cdot x t) + (b \cdot x t)}$$

$$= \frac{(22,7 \times 2,3) \left( \frac{22,7}{2} + 2,3 \right) + (25 \times 2,3) \left( \frac{2,3}{2} \right)}{(22,7 \times 2,3) + (25 \times 2,3)}$$

$$= 7,1 \text{ mm}$$

$$A = ((b-t) \cdot x t) + (b \cdot x t)$$

$$= (22,7 \times 2,3) + (25 \times 2,3)$$

$$= 109,71 \text{ mm}^2$$

### 3. Perhitungan Momen Inersia

Menentukan Momen Inersia ( $I_x$  dan  $I_y$ )

$$I_x = I_y = \left( \frac{1}{12} b \cdot t^3 \right) + (b \cdot t) \left( Y_b - \frac{1}{2} t \right)^2 + \left( \frac{1}{12} t \cdot (b-t)^3 \right) + ((b-t) \cdot t) \left( Y_a - \frac{1}{2} (b-t) \right)^2$$

$$= \left( \frac{1}{12} 25 \cdot 2,3^3 \right) + (25 \cdot 2,3) \cdot (5,95)^2 + \left( \frac{1}{12} 2,3 \cdot (22,7)^3 \right) + (22,7 \cdot 2,3) \cdot (6,5)^2$$

$$= 25,35 + 2035,64 + 2241,94 + 2239,94$$

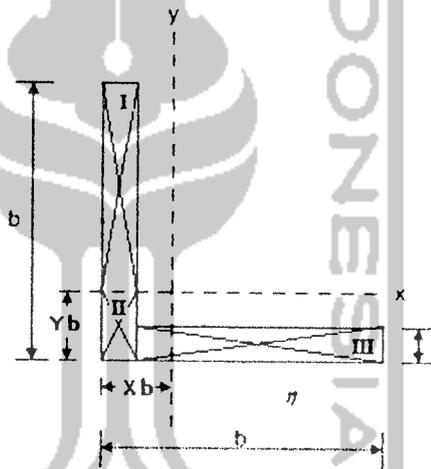
$$= 6542,87 \text{ mm}^4$$

$$r_{\text{ tunggal}} = \sqrt{\frac{I_{\text{ tunggal}}}{A_{\text{ tunggal}}}}$$

$$= \sqrt{\frac{6542,87}{109,71}}$$

$$= 7,73 \text{ mm}$$

Menentukan  $I_{\eta}$  dan  $I_{\xi}$  berdasarkan sumbu kuat dan sumbu lemah bahan.



Bagian	A	X	Y	XYA
I	17.9 x 2.3 = 41.17	7.1-(2.3/2) = -5.95	17.9/2 = 8.95	-2192.4
II	7.1 x 2.3 = 16.33	7.1-(2.3/2) = -5.95	7.1/2 = -3.55	344.94
III	22.7 x 2.3 = 52.21	25-7.1- 22.7/2 = 6.55	7.1-(2.3/2) = -5.95	-2034.75
			$\Sigma XYA$	-3882.21

$$\begin{aligned}
 I_{\eta} &= \frac{I_x + I_y}{2} - \sqrt{\Sigma xy A^2 + \left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2} \\
 &= \frac{6542.87 + 6542.87}{2} - \sqrt{(-3882.21)^2 + \left(\frac{6542.87 - 6542.87}{2}\right)^2} \\
 &= 2660.66 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

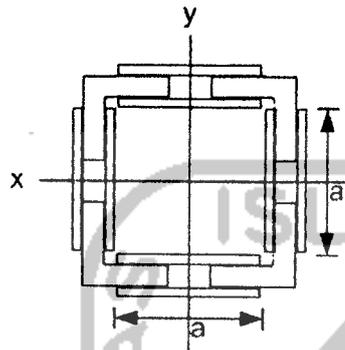
$$\begin{aligned}
 r_{\eta} &= \sqrt{\frac{I_{\eta}}{A_{\text{tunggal}}}} \\
 &= \sqrt{\frac{2660.66}{109,71}} = 4.924 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\xi} &= \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{I_{xy}^2 + \left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2} \\
 &= \frac{6542.87 + 6542.87}{2} + \sqrt{(-3882.21)^2 + \left(\frac{6542.87 - 6542.87}{2}\right)^2} \\
 &= 10425.08 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_{\xi} &= \sqrt{\frac{I_{\xi}}{A_{\text{tunggal}}}} \\
 &= \sqrt{\frac{10425.08}{109,71}} = 9.748 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4. Perencanaan Batang Tersusun

Perhitungan Jarak antar profil tunggal (a).



$$A_{gab} = 4 \times 109,71 \text{ mm}^2$$

$$= 438,84 \text{ mm}^2$$

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$k = 1$$

$$\frac{k \cdot L}{r} = 50$$

$$r = \frac{1 \cdot 3000}{50} = 60 \text{ mm}$$

$$I_{gab} = A_{gab} \times r^2$$

$$= 438,84 \times 60^2$$

$$= 1579824 \text{ mm}^4 \dots\dots(1)$$

$$I_{gab} = 4 \cdot I_{tunggal} + 4 \cdot A \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2$$

$$I_{gab} = 4 \cdot 6613,52 + 4 \cdot 109,71 \left(\frac{a}{2}\right)^2 \dots\dots(2)$$

Persamaan (1) dan (2)

$$1579824 = 4 \cdot 6613,52 + 4 \cdot 109,71 \left(\frac{a}{2}\right)^2$$

$$\left(\frac{a}{2}\right)^2 = 3539,72$$

$$a = 118,99 \text{ mm} \sim 120 \text{ mm}$$

### 5. Kontrol Kestabilan Dari Batang Tersusun

Data Profil

$L_{kx}$	= 3000 mm	$Z$	= 4
$r_x$	= 60 mm	$A_d$	= 38,465 mm <sup>2</sup>
$A$	= 438,4 mm <sup>2</sup>	$L_1$	= 200 mm
$L_d$	= 233,24 mm <sup>2</sup>	$a$	= 120 mm
$m$	= 2		

Kelangsingan pada arah tegak lurus sumbu x-x

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x}$$

$$\lambda_x = \frac{3000}{60} = 50$$

Kelangsingan batang tersusun yang dihubungkan dengan batang diagonal

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A \cdot L_d^3}{Z \cdot A_d \cdot L_1 \cdot a^2}}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{438,4 \cdot 233,24^3}{4 \cdot 38,465 \cdot 200 \cdot 120^2}}$$

$$=11,130$$

kelangsingan ideal dari batang tersusun terhadap sumbu x dan y:

$$\begin{aligned}\lambda_{ix} = \lambda_{iy} &= \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m}{2} \lambda_y^2} \\ &= \sqrt{50^2 + \frac{2}{2} 11,130^2} \\ &= 51,223\end{aligned}$$

Untuk menjaga kestabilan elemen-elemen batang tersusun, maka :

$$\begin{aligned}\lambda_{ix} &\geq 1,2 \lambda_y \\ \lambda_{ix} &\geq 1,2 \cdot 11,130 \\ \lambda_{ix} &\geq 13,356 \rightarrow ok \\ \lambda_{iy} &\geq 1,2 \lambda_y \\ \lambda_{iy} &\geq 1,2 \cdot 11,130 \\ \lambda_{iy} &\geq 13,356 \rightarrow ok\end{aligned}$$

#### 6. Menentukan Panjang L<sub>1</sub>

$$\frac{L_1}{r_\eta} \leq 50$$

Dari data :

$$\begin{aligned}r_\eta &= 4,924 \text{ mm} \\ &= 0,4924 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_1 &= r_\eta \cdot 50 \\ &= 0,4924 \times 50\end{aligned}$$

$$L_1 = 26,6 \text{ cm}$$

Dipakai  $L_1 = 20 \text{ cm}$

Cek.

$$\frac{L_1}{r_g} \leq 50$$

$$\frac{20}{0.4924} \leq 50 \rightarrow \text{untuk menjaga kestabilan kolom}$$





# LAMPIRAN 2

**PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DENGAN  
KELANGSINGAN MODERAT AKIBAT  
PEMBEBANAN EKSENTRIS**

الجامعة الإسلامية  
الاندونيسية

**PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DENGAN  
KELANGSINGAN MODERAT AKIBAT  
PEMBEBANAN EKSENTRIS**

**A. Perhitungan Teoritis Kelangsingan Kritis ( $C_c$ )**

Dengan  $\pi = 3.142857$ ,  $F_y = 269.97$ ,  $E = 200000$ .

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

$$C_c = \sqrt{\frac{3.1428^2 \cdot 200000}{269.97}}$$

$$C_c = 85.46$$

**B. Perhitungan Teoritis Modulus Tangen Dan Modulus Ganda**

Nilai modulus tangen dan modulus ganda baja dapat dicari dari perbandingan kelangsingan baja terhadap almunium, karena sifat baja menyerupai sifat almunium, Seperti pada tabel 3.1 tekuk plastis almunium:

**Tabel L2.1** Tekuk plastis almunium:

Sterss $\sigma$ ( ksi )	Modulus Tangen		Modulus Tereduksi	
	Et (ksi)	L/r	Er (ksi)	L/r
10	10600	105	10600	105
20	10600	72.5	10600	72.5
30	10600	59	10600	59
40	10600	51	10600	51
45	3000	26	5100	33.5
50	1000	14	2300	21.3
55	500	9.5	1300	15.3
60	400	8.1	1100	13.3

Dari tabel diatas didapatkan nilai  $E_t = 194264$  Mpa.

### C. Perhitungan Teoritis Beban Kritis (Persamaan 3.79)

Sample 1 ( $e/a = 2.166$ ) menggunakan 4 profil siku 25x25x2,3 mm,  $A_{gab} = 438,84 \text{ mm}^2$ ,  $E_t = 194264 \text{ Mpa}$ ,  $L = 3000 \text{ mm}$ ,  $L1 = 200 \text{ mm}$ ,  $a = 120 \text{ mm}$ ,  $I_{gab} = 1579824 \text{ mm}^4$ ,  $r = 60 \text{ mm}$ , perangkai melintang  $\varnothing 7 \text{ mm}$ ,

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I}{L^2} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{\pi^2 E_t I}{L^2} \frac{1}{2 L_1 a^2 E A_d} \right]} \frac{1}{\left( 1 + \frac{e \cdot a/2}{r^2} \right)}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 194264 \cdot 1579824}{3000^2} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{\pi^2 \cdot 194264 \cdot I}{3000^2} \frac{1}{2 \cdot 200 \cdot 120^2 \cdot 200000 \cdot 307.72} \right]} \frac{1}{\left( 1 + \frac{130 \cdot 60}{60^2} \right)}$$

$$P_{cr} = 98.71 \text{ kN}$$

Dengan cara yang sama akan didapat besarnya beban kritis untuk masing-masing benda uji sebagai berikut :

**Tabel L2.3 Hasil Perhitungan Teoritis Beban kritis**

Benda uji	Beban Kritis (kN)
e = 130 mm	98.71
e = 140 mm	93.63
e = 150 mm	89.05
e = 160 mm	84.9

### D. Perhitungan Teoritis Beban Kritis (Persamaan 3.31)

Sample 1 ( $e/a = 2.166$ ) menggunakan 4 profil siku 25x25x2,3 mm,  $A_{gab} = 438,84 \text{ mm}^2$ ,  $E_t = 194264 \text{ Mpa}$ ,  $L = 3000 \text{ mm}$ ,  $L1 = 200 \text{ mm}$ ,  $a = 120$

mm,  $I_{gab} = 1579824 \text{ mm}^4$ ,  $r = 60 \text{ mm}$ , perangkai melintang  $\varnothing 7 \text{ mm}$ ,  $F_y = 269,97 \text{ Mpa}$ .

$$P_{cr} = \frac{F_{cr} \cdot A}{\left(1 + \frac{e \cdot y}{r^2} \cdot \text{Sec} \left( \frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right)\right)}$$

$$P_{cr} = \frac{269,97 \cdot 438,84}{\left(1 + \frac{130 \cdot 60}{60^2} \cdot \text{Sec} \left( \frac{3000}{260} \sqrt{\frac{P}{194264 \cdot 438,84}} \right)\right)}$$

$$P_{cr} = 35,05 \text{ kN}$$

Dengan cara yang sama akan didapat besarnya beban kritis untuk masing-masing benda uji sebagai berikut :

**Tabel L2.4 Hasil Perhitungan Teoritis Beban kritis**

Benda uji	Beban Kritis (kN)
e = 130 mm	35,05
e = 140 mm	33,25
e = 150 mm	31,62
e = 160 mm	30,15

#### E. Perhitungan Teoritis Beban Kritis (Persamaan 3.51)

Sample 1 ( $\frac{e}{a} = 2,166$ ) menggunakan 4 profil siku  $25 \times 25 \times 2,3 \text{ mm}$ ,  $A_{gab} = 438,84 \text{ mm}^2$ ,  $E = 200000 \text{ MPa}$ ,  $L = 3000 \text{ mm}$ ,  $L_1 = 200 \text{ mm}$ ,  $a = 120 \text{ mm}$ ,  $I_{gab} = 1579824 \text{ mm}^4$ ,  $r = 60 \text{ mm}$ , perangkai melintang  $\varnothing 7 \text{ mm}$ ,  $F_y = 269,97 \text{ Mpa}$ .

Karena

$$\frac{KL}{r} \leq C_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_y}}$$

Maka rumus AISC menggunakan rumus:

$$F_{cr} = F_y \left( 1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right) \left( \frac{1}{1 + \frac{e \cdot y}{r^2}} \right)$$

$$F_{cr} = 269.97 \left( 1 - \frac{(50)^2}{2.85.46^2} \right) \left( \frac{1}{1 + \frac{130.67,1}{60^2}} \right)$$

$$F_{cr} = 65.37 \text{ kN}$$

$$P_{cr} = 65.37 \cdot A$$

$$= 28.7 \text{ kN}$$

Dengan cara yang sama akan didapat besarnya beban kritis untuk masing-masing benda uji sebagai berikut :

**Tabel L2.5 Hasil Perhitungan Teoritis Beban kritis**

Benda uji	Beban Kritis (kN)
e = 130 mm	28.7
e = 140 mm	27.21
e = 150 mm	25.88
e = 160 mm	24.67

### F. Hubungan $\left(\frac{P}{P_y}\right)$ dengan $\left(\frac{e}{r}\right)$ Teoritis

Dari data hubungan beban ( P ) dengan eksentrisitas beban ( e ) diatas

dapat dibuat hubungan antara  $\left(\frac{e}{r}\right)$  dengan  $\left(\frac{P}{P_y}\right)$ . Dimana r merupakan

jari-jari kelembaman ( 60 mm ) dan  $P_y$  merupakan beban leleh dari

kolom. Beban leleh ( $P_y$ ) dicari dengan menggunakan rumus :

$$P_y = F_y \times A$$

Dimana Tegangan leleh ( $F_y$ ) baja = MPa = 0,26997 kN/mm<sup>2</sup> dan

$$A = \text{Luas penampang} = 438,8 \text{ mm}^2$$

$$P_y = 0,26997 \times 438,8 = 118,5 \text{ kN}$$

Hasil perhitungan  $\frac{e}{r}$  dengan  $\left(\frac{P}{P_y}\right)$  untuk masing – masing kolom

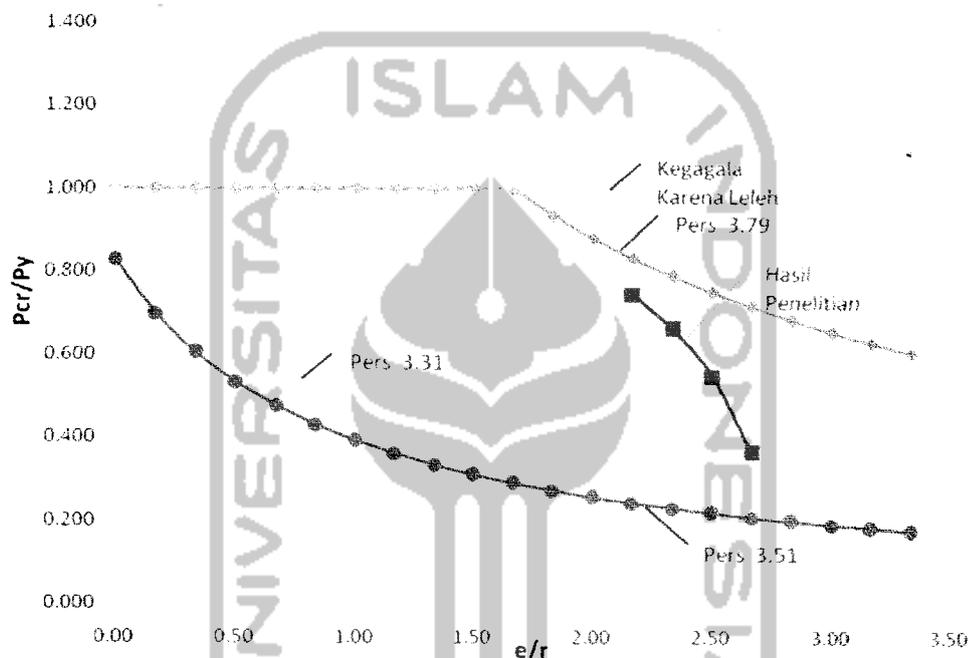
ditampilkan pada tabel L2.6.

**Tabel L2.6.** Perhitungan Teoritis  $\left(\frac{P}{P_y}\right)$  dengan  $\left(\frac{e}{r}\right)$

e/r	Teoritis									Penelitian		
	Persamaan 3.31			Persamaan 3.51			Persamaan 3.79					
	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py
2.167	35.049	118.46	0.296	28.70	118.46	0.242	98.71	118.46	0.833	88.3	118.432	0.745
2.333	33.248	118.46	0.281	27.21	118.46	0.230	93.63	118.46	0.790	78.5	118.432	0.663
2.500	31.624	118.46	0.267	25.88	118.46	0.218	89.05	118.46	0.752	64.7	118.432	0.547
2.667	30.150	118.46	0.255	24.67	118.46	0.208	84.90	118.46	0.717	43.2	118.432	0.364

Dari tabel L2.6 dapat dibuat grafik hubungan antara  $\left(\frac{P}{P_y}\right)$  dengan  $\left(\frac{e}{r}\right)$

sebagai berikut :



Gambar L2.1. Grafik hubungan antara  $P/P_y$  dan  $e/r$

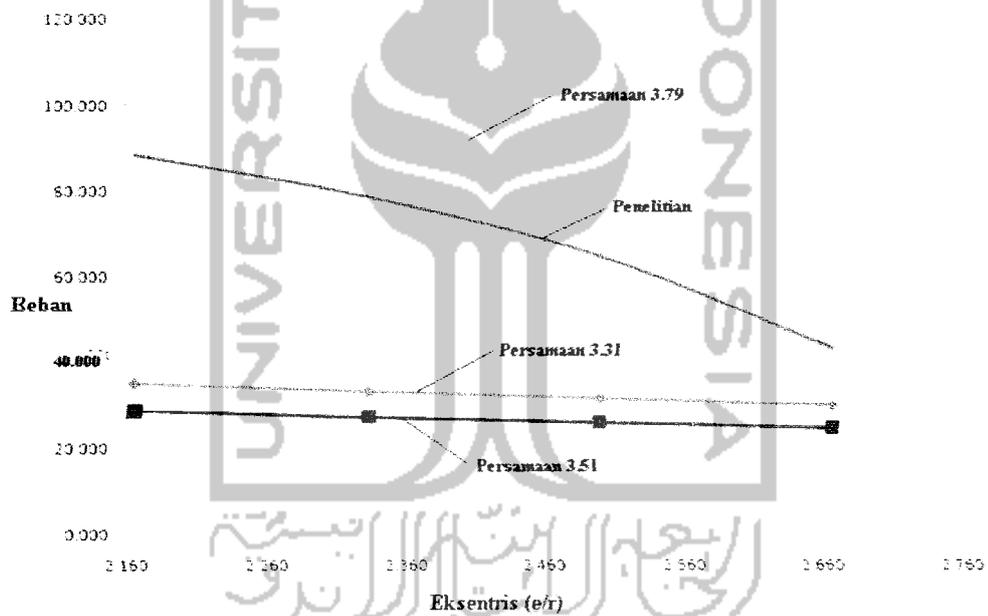
### G. Perbandingan Beban Kritis (P) Hasil Pengujian dengan Teoritis

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

**Tabel L2.7** Perbandingan Beban kritis hasil Penelitian dengan teoritis

e/r	Teoritis									Penelitian		
	Persamaan 3.31			Persamaan 3.51			Persamaan 3.79			Per (kN)	Py (kN)	Per/Py
	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py	Per (kN)	Py (kN)	Per/Py			
2.167	34.802	105.31	0.330	16.32	105.31	0.155	38.39	105.31	0.365	88.3	118.432	0.745
2.333	33.072	105.31	0.314	15.48	105.31	0.147	36.48	105.31	0.346	78.5	118.432	0.663
2.500	31.505	105.31	0.299	14.72	105.31	0.140	34.75	105.31	0.330	64.7	118.432	0.547
2.667	30.080	105.31	0.286	14.03	105.31	0.133	33.18	105.31	0.315	43.2	118.432	0.364

Dari tabel L2.7 dapat ditampilkan dalam grafik perbandingan beban kritis (Pcr) antara beban kritis lapangan dengan beban kritis teoritis.



**Gambar L2.2** Perbandingan Beban kritis hasil pengujian dengan beban kritis teoritis



# LAMPIRAN 3

Uji Pendahuluan

الجامعة الإسلامية  
الابن سينا الاندونيسية

## UJI PENDAHULUAN

### 1. Hasil Pengujian Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Profil L

#### a. Sampel I

$$\begin{aligned} \text{Beban Leleh} &= 1015 \text{ kgf} \\ &= 1015 \times 9,81 = 9957,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban maksimum} &= 1270 \text{ kgf} \\ &= 1270 \times 9,81 = 12458,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan

$$\text{Lebar (l)} = 16,8 \text{ mm}$$

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

$$A_0 = l \times t = 38,64 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baja (F}_y) &= \frac{P_y}{A_0} \\ &= \frac{9957,15}{38,64} = 257,69 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja (F}_u) &= \frac{P_u}{A_0} = \frac{12458,7}{38,64} \\ &= 322,43 \text{ MPa} \end{aligned}$$

#### b. Sampel II

$$\begin{aligned} \text{Beban Leleh} &= 1125 \text{ kgf} \\ &= 1125 \times 9,81 = 11036,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban maksimum} &= 1375 \text{ kgf} \\ &= 1375 \times 9,81 = 13488,75 \text{ N} \end{aligned}$$

## Perhitungan

$$\text{Lebar (l)} = 17 \text{ mm}$$

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

$$A_0 = l \times t = 39,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tegangan leleh baja (F}_y) = \frac{P_y}{A_0}$$

$$= \frac{11036,25}{39,1} = 282,26 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan ultimit baja (F}_u) = \frac{P_u}{A_0} = \frac{13488,75}{39,1}$$

$$= 344,98 \text{ MPa}$$

**Tabel L3.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan**

Benda Uji	Tegangan Leleh (F <sub>y</sub> ) (Mpa)	Tegangan Ultimit (F <sub>u</sub> ) (Mpa)
Sample 1	257,69	322,43
Sample 2	282,26	344,98
Rata – Rata	269,975	333,705

## 2. Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

**Tabel L3.2 Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las**

Benda Uji	Beban Maksimum
Sampel 1	972 kg
Sampel 2	890 kg

### 3. Tabel Beban Lendutan Benda Uji

Kolom tersusun dengan perangkai double diagonal

#### a. Benda Uji 1

Tabel L3.3 Beban Lendutan Benda Uji 1 ( $e/r=2.167$ )

P kg	P kN	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	Rata2 mm
0	0	0	0	0	0.000
200	1.962	1.29	1.42	1.35	1.353
400	3.924	2.1	2.285	2.115	2.167
600	5.886	2.89	3.075	2.795	2.920
800	7.848	3.59	4.27	4.23	4.030
1000	9.81	4.84	5.12	4.605	4.855
1200	11.77	5.57	5.995	5.37	5.645
1400	13.73	6.33	6.82	6.09	6.413
1600	15.7	7.08	7.57	6.73	7.127
1800	17.66	8.02	8.55	7.575	8.048
2000	19.62	8.73	9.195	8.125	8.683
2200	21.58	9.37	9.95	8.925	9.415
2400	23.54	9.92	10.535	9.525	9.993
2600	25.51	10.84	11.395	10.275	10.837
2800	27.47	11.72	12.195	10.865	11.593
3000	29.43	13.13	13.4	11.475	12.668
3200	31.39	13.52	13.95	12.165	13.212
3400	33.35	14.65	15.305	13.495	14.483
3600	35.32	15.7	16.552	14.925	15.726
3800	37.28	16.39	17.452	15.925	16.589
4000	39.24	17.145	18.46	16.925	17.510
4200	41.2	18.58	19.66	17.845	18.695
4400	43.16	19.18	20.19	18.195	19.188
4600	45.13	20.91	21.655	19.275	20.613
4800	47.09	21.34	22.452	20.415	21.402
5000	49.05	22.43	23.49	21.315	22.412
5200	51.01	23.31	24.406	22.205	23.307
5400	52.97	24.29	25.405	23.215	24.303
5600	54.94	25.292	26.554	24.451	25.432
5800	56.9	26.305	27.49	25.225	26.340
6000	58.86	26.805	28.289	26.305	27.133
6200	60.82	27.105	28.785	26.925	27.605
6400	62.78	27.98	29.815	28.055	28.617
6600	64.75	28.34	30.435	28.925	29.233
6800	66.71	29.05	31.083	29.4	29.844
7000	68.67	30.27	31.983	29.955	30.736
7200	70.63	30.859	32.61	30.58	31.350
7400	72.59	31.23	33.36	31.57	32.053
7600	74.56	32.05	34.25	32.444	32.915

7800	76.52	33.78	35.6	33.385	34.255
8000	78.48	34.7	36.45	34.04	35.063
8200	80.44	35.11	37.384	35.44	35.978
8400	82.4	36.95	38.88	36.53	37.453
8600	84.37	37.5	39.895	37.85	38.415
8800	86.33	38.65	40.696	38.22	39.189
9000	88.29	39.45	41.63	39.1	40.060
7900	77.5	47.98	50.18	48.295	48.818
6500	63.77	49.17	55.73	50.595	51.832

**b. Benda Uji 2**

**Tabel L3.4 Beban Lendutan Benda Uji 1 ( $e/r=2.33$ )**

P kg	P kN	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Rata2
		mm	mm	Mm	mm
0	0	0	0	0	0.000
200	1.962	0.88	0.96	0.48	0.773
400	3.924	1.46	1.58	1	1.347
600	5.886	2.32	2.48	1.77	2.190
800	7.848	2.9	3.06	2.27	2.743
1000	9.81	3.935	4.21	3.23	3.792
1200	11.77	4.705	5.02	3.96	4.562
1400	13.73	5.335	5.71	4.49	5.178
1600	15.7	6.435	6.87	5.46	6.255
1800	17.66	7.5	7.955	6.395	7.283
2000	19.62	8.22	8.71	7.05	7.993
2200	21.58	9.1	9.63	7.833	8.854
2400	23.54	9.94	10.43	8.49	9.620
2600	25.51	10.76	11.32	9.17	10.417
2800	27.47	11.6	12.18	9.92	11.233
3000	29.43	12.56	13.11	10.71	12.127
3200	31.39	13.61	14.18	11.56	13.117
3400	33.35	14.54	15.12	12.32	13.993
3600	35.32	15.45	16.05	13.1	14.867
3800	37.28	16.16	16.77	13.67	15.533
4000	39.24	16.9	17.48	14.3	16.227
4200	41.2	17.71	18.31	14.865	16.962
4400	43.16	18.32	18.95	15.32	17.530
4600	45.13	19.05	19.69	15.945	18.228
4800	47.09	19.75	20.39	16.49	18.877
5000	49.05	20.48	21.13	17.11	19.573
5200	51.01	21.54	22.26	18.09	20.630
5400	52.97	22.32	23.1	18.87	21.430
5600	54.94	23.58	24.45	20	22.677
5800	56.9	24.64	25.53	21.05	23.740
6000	58.86	25.45	26.4	21.67	24.507
6200	60.82	26.36	27.29	22.07	25.240
6400	62.78	27.35	28.38	22.91	26.213
6600	64.75	28.18	29.2	23.61	26.997

6800	66.71	29.2	30.25	24.495	27.982
7000	68.67	30	31.01	25.15	28.720
7200	70.63	31.97	33.05	26.705	30.575
7400	72.59	32.71	34.015	27.33	31.352
7600	74.56	33.409	34.78	27.87	32.020
7800	76.52	34.226	36.15	29.24	33.205
8000	78.48	36.24	37.61	29.75	34.533
5600	54.94	43.7	45.87	35.44	41.67
5200	51.01	46.32	49.15	37.88	44.45

## c. Benda Uji 3

Tabel L3.5 Beban Lendutan Benda Uji 1 ( $e/r=2.5$ )

P kg	P kN	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	Rata2 mm
0	0	0	0	0	0.000
200	1.962	0.39	0.6	0.46	0.483
400	3.924	0.97	1.04	0.7	0.903
600	5.886	1.56	1.61	1.12	1.430
800	7.848	2.21	2.355	1.95	2.172
1000	9.81	3.19	3.37	2.86	3.140
1200	11.77	4.11	4.31	3.66	4.027
1400	13.73	4.91	5.17	4.36	4.813
1600	15.7	6.955	6.76	5.295	6.337
1800	17.66	7.135	7.52	6.35	7.002
2000	19.62	8.18	8.64	7.28	8.033
2200	21.58	9.05	9.51	7.95	8.837
2400	23.54	10.02	10.53	8.8	9.783
2600	25.51	11.08	11.6	9.72	10.800
2800	27.47	12.235	12.8	10.75	11.928
3000	29.43	13.195	13.9	11.62	12.905
3200	31.39	14.24	14.9	12.55	13.897
3400	33.35	15.305	16.07	13.52	14.965
3600	35.32	15.415	17.05	14.69	15.718
3800	37.28	16.555	18.45	15.58	16.862
4000	39.24	17.375	19.47	16.32	17.722
4200	41.2	18.875	20.29	16.25	18.472
4400	43.16	19.275	21.42	17.97	19.555
4600	45.13	20.335	22.5	18.9	20.578
4800	47.09	21.225	23.46	19.65	21.445
5000	49.05	22.02	24.28	20.32	22.207
5200	51.01	23.195	25.45	21.34	23.328
5400	52.97	24.325	26.67	22.32	24.438
5600	54.94	25.45	27.82	23.25	25.507
5800	56.9	26.345	28.76	24.07	26.392
6000	58.86	28.975	31.2	25.985	28.720
6200	60.82	29.465	31.82	26.34	29.208

6400	62.78	30.845	33.3	27.45	30.532
6600	64.75	31.855	34.72	29.03	31.868
6400	62.78	32.035	36.2	32.23	33.488
4400	43.16	38.195	41.7	37.15	39.015
4200	41.2	42.555	47.75	39.35	43.218

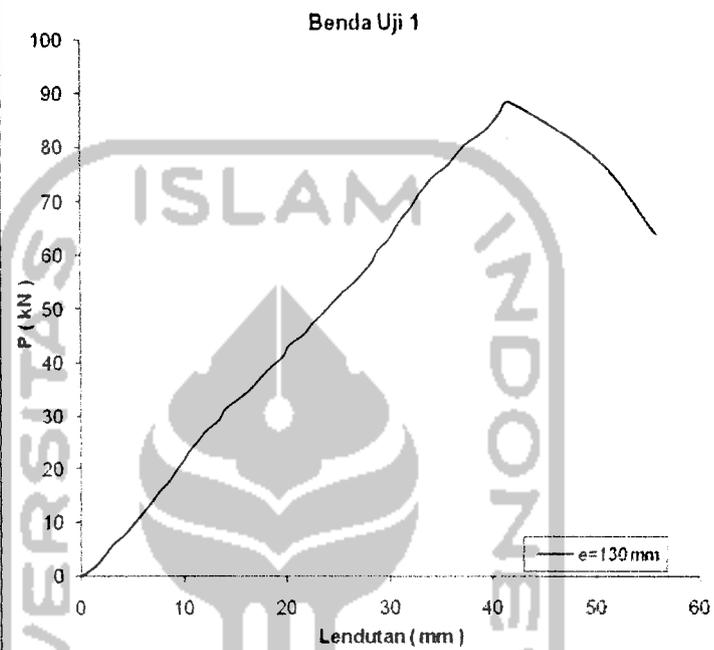
d. Benda Uji 4

Tabel L3.6 Beban Lendutan Benda Uji 1 ( $e/r=2.67$ )

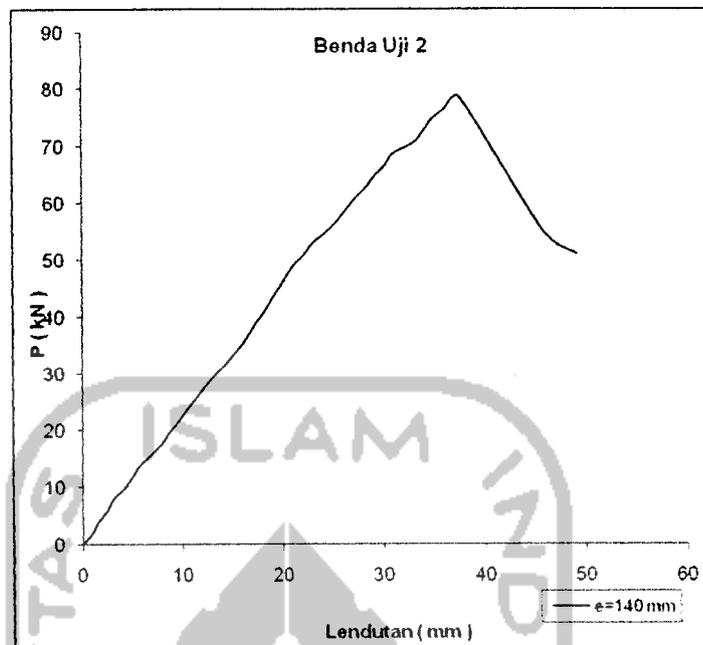
P kg	P kN	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Rata2 mm
		mm	mm	mm	
0	0	0	0	0	0.000
200	1.962	0.975	1.05	0.73	0.918
400	3.924	2	3.08	1.69	2.257
600	5.886	2.99	3.21	2.63	2.943
800	7.848	4.29	4.59	3.78	4.220
1000	9.81	4.475	5.31	4.38	4.722
1200	11.77	6.16	6.54	5.43	6.043
1400	13.73	7.33	7.76	6.42	7.170
1600	15.7	8.7	9.13	7.57	8.467
1800	17.66	9.99	10.45	8.6	9.680
2000	19.62	10.91	11.41	9.46	10.593
2200	21.58	11.76	12.32	10.22	11.433
2400	23.54	12.82	13.45	11.2	12.490
2600	25.51	13.84	14.54	12	13.460
2800	27.47	15.05	15.84	13.1	14.663
3000	29.43	16.35	17.24	14.4	15.997
3200	31.39	17.4	18.38	15.38	17.053
3400	33.35	18.54	19.57	16.45	18.187
3600	35.32	19.7	20.8	17.5	19.333
3800	37.28	21.1	22.23	18.8	20.710
4000	39.24	22.1	23.28	19.74	21.707
4200	41.2	23.13	24.42	20.42	22.657
4400	43.16	23.83	25.5	21.42	23.583
4250	41.69	25.67	29.53	23.34	26.180
4250	41.69	27.4	31.42	24.24	27.687

#### 4. Grafik Beban Lendutan Benda Uji

##### a. Benda Uji

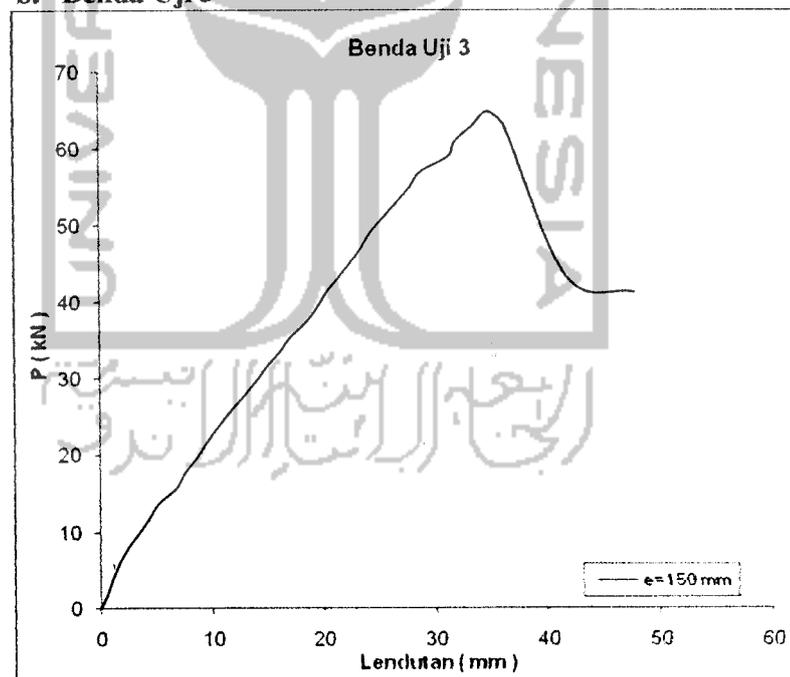


Gambar Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan  $e/r = 2.167$  Benda Uji



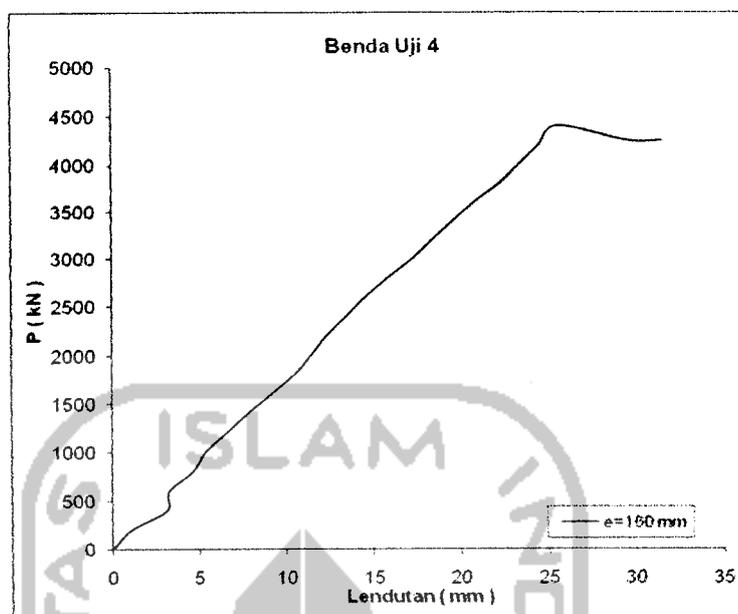
Gambar Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan  $e/r = 2.33$

b. Benda Uji 3



Gambar Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan  $e/r = 2.5$

c. Benda Uji 2

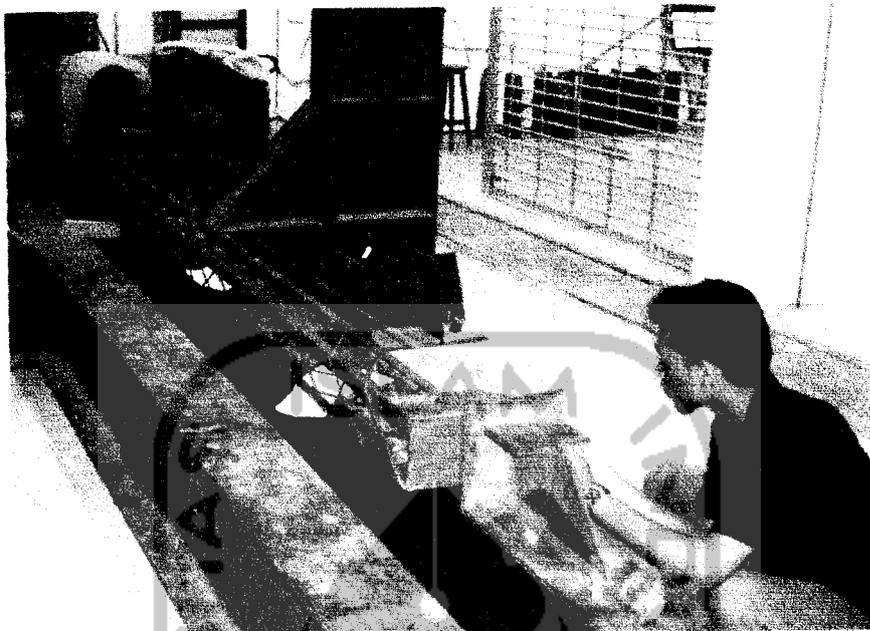


Gambar Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan  $e/r = 2.667$

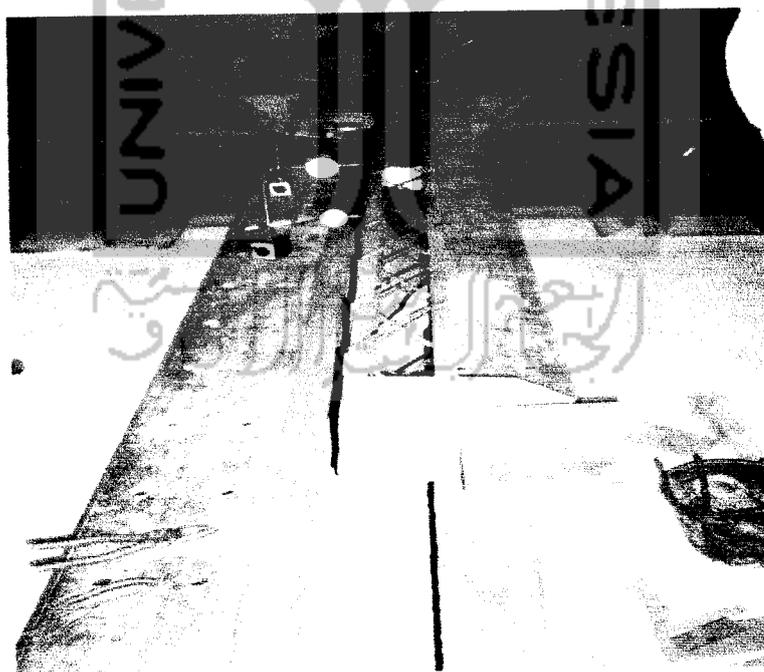


## **LAMPIRAN 4**

**GAMBAR DAN DOKUMENTASI SAAT PENGUJIAN**



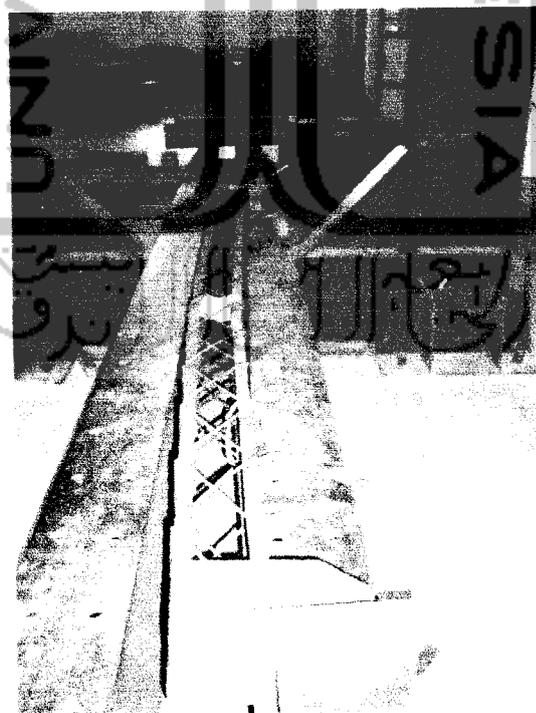
Gambar L4.1 Setting benda uji



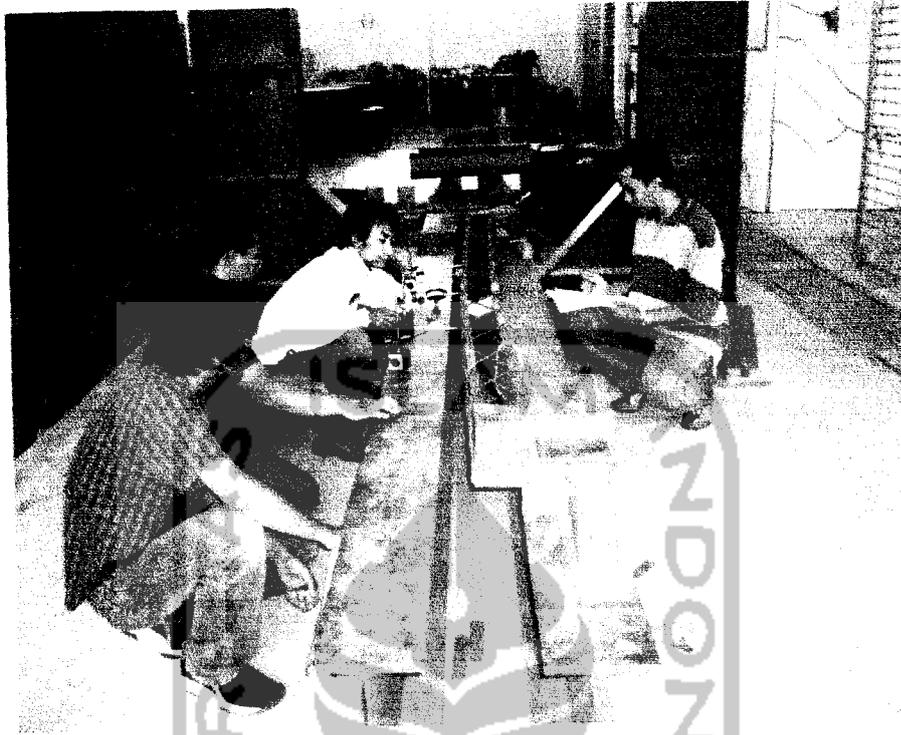
Gambar L4.2 Pengujian Sampel 1



Gambar L4.3 Pengujian Sampel 2



L4.4 Pengujian Sampel 3



L4.5 Pengujian Sampel 4



L4.6 Pola Kegagalan Pada Sampel 1



L4.7 Pola Kegagalan Pada Sampel 2



L4.8 Pola Kegagalan Pada Sampel 3



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JURUSAN : TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN  
KAMPUS : Jalan Kaliurang KM 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, 896440. Fax: 895330  
E-mail : dekanat@fpp.uii.ac.id, Yogyakarta Kode Pos. 55584

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : : 129 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ XII /2006  
Lamp. : -  
Hal : : BIMBINGAN TUGAS AKHIR  
Periode Ke : : II ( Des.06- Mei.07 )

Jogjakarta, 28-Dec-06

Kepada :  
Yth. Bapak / Ibu : FatKhurrohman N,Ir,MT  
di -

Jogjakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu Agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut di bawah ini :

Na m a	:	Radyo Wijoyo Danubroto
No. Mhs.	:	03 511 082
Bidang Studi	:	Teknik Sipil
Tahun Akademi	:	2006 - 2007

dapat diberikan petunjuk- petunjuk, pengarahan serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir. Kedua Mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok dengan dosen pembimbing sebagai berikut :

Dosen Pembimbing I	:	FatKhurrohman N,Ir,MT
Dosen Pembimbing II	:	FatKhurrohman N,Ir,MT

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Kapasitas Kolom Tersusun Empat Profil Siku Dengan Perangkai Diagonal Akibat Pembebanan Eksentris

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

An: Dekan  
Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Ir. H. Faisol AM, MS

Tembusan

- 1) Dosen Pembimbing ybs
- 2) Mahasiswa ybs
- 3) Arsip 28-Dec-06
- 4) Sampai Akhir Mei 2007

**KARTU PRESENSI KONSULIASI**  
**TUGAS AKHIR MAHASISWA**

PERIODE KE	: II ( Des.06- Mei.07 )
TAHUN	: 2006 - 2007
Sampai Akhir Mei 2007	

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
.	Radyo Wijoyo Danubroto	03 511 082	Teknik Sipil

**JUDUL TUGAS AKHIR**

apasitas Kolom Tersusun Empat Profil Siku Dengan Perangkai Diagonal Akibat Pembebanan Eksentris

osen Pembimbing I : FatKhurrohman N,Ir,MT

osen Pembimbing II : FatKhurrohman N,Ir,MT



Jogjakarta , 28-Dec-06  
a.n. Dekan

*(Signature)*  
Ir.H.Faisol AM, MS

Catatan	:	
seminar	:	
sidang	:	
pendadaran	:	



**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Radyo Wijoyo Danubroto	03 511 082	Teknik Sipil

**JUDUL TUGAS AKHIR**

Kapasitas Kolom Tersusun Empat Profil Siku Dengan Perangkai Diagonal Akibat Pembebanan Eksentris

<b>PERIODE KE</b>	: II ( Des.06- Mei.07 )
<b>TAHUN</b>	: 2006 - 2007
Sampai Akhir Mei 2007	

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Des.	Jan.	Peb.	Mar.	Apr.	Mei.
1	Pendaftaran	■					
2	Penentuan Dosen Pembimbing		■				
3	Pembuatan Proposal			■			
4	Seminar Proposal				■		
5	Konsultasi Penyusunan TA.					■	
6	Sidang - Sidang						■
7	Pendadaran						■

Dosen Pembimbing I : FatKhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : FatKhurrohman N,Ir,MT



Jogjakarta ,28-Dec-06  
 a.n. Dekan



F.H.Faisol AM, MS

<b>Catatan</b>	:	
seminar	:	
sidang	:	
pendadaran	:	