

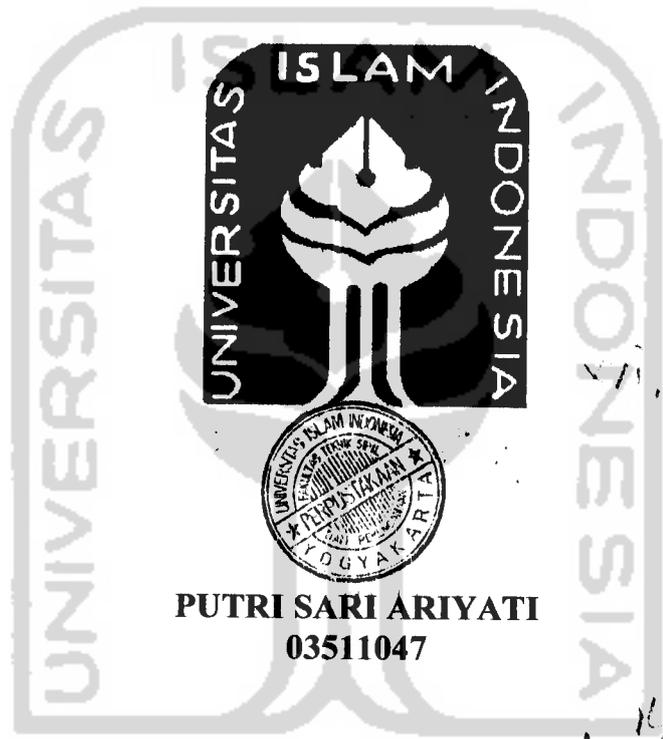
PERPUSTAKAAN FTSP UN	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	29-11-2007
NO. JUDUL :	2623
NO. INV. :	5120002623001
NO. INDUK :	002623

TUGAS AKHIR

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN EMPAT PROFIL
SIKU AKIBAT BEBAN EKSENTRIS**

12
6937
An
h
A

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

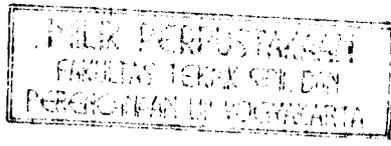


PUTRI SARI ARIYATI
03511047

vi. cgp hie . 28

Bagi...
Kolom...
...
...
...

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2007



TUGAS AKHIR
KAPASITAS KOLOM TERSUSUN EMPAT PROFIL
SIKU AKIBAT BEBAN EKSENTRIS

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



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2007

**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN EMPAT PROFIL
SIKU AKIBAT BEBAN EKSENTRIS**

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



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil



Ir. H. Faisol AM, MS.
Tanggal : 9 July 2009

Telah diperiksa dan disetujui oleh
Dosen Pembimbing



Ir. Fatkhurrohman N, MT
Tanggal : 9 July 2009

MOTTO JAM PERSEMBAHAN

"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."

(Al 'Imran : 104)

Dan tiadalah kehidupan dunia ini melainkan main-main dan permainan.
Dan sesungguhnya akhirat itulah yang sebenarnya kehidupan, kalau mereka mengetahui. (Al 'Ankabut : 64)

Anyone who has never made a mistake has never tried anything new. Albert Einstein

THIS THESIS PROUDLY dedicated to **LOVELY**
NOVA AZVAH SWT, Beloved **MUM, DAD** and also my **ONE**
and **ONLY** sister **NONO** for the support in every moment. And for
my **super_spirit**, my **sewa_mate**, and my **GREATEST**
inspiration **-SenO- i I©V6Ü**

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

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

Pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya menyampaikan terima kasih kepada :

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

6. Bapak Ir. Helmi Akbar Bale, MT., selaku Dosen Penguji II
7. Mama, Papa, dan Neno.. I Love You sooooww....makasi buat dukungan moril, materiil, dan doa-doanya.. Thank God i have u in my life...
8. My dearest soulmate... Seno. Thanx yah Bun-Bun buat semua dukungannya ☺. Phu phu phu. Sukses yhaaa Tugas Akhirna..... Let's prepare our future together...
9. Adi, teman sekelompokku yang sabar dan baik hati...hehehe...
10. Anak-anak baja semuanya.. Angie, Danu, Danur, Ayip....bangun pagi teyuss n' gak pake mandi, yang penting wangi.. Makasi udah ngajarin 'n belajar bareng-bareng, semoga kita bisa lulus bareng-bareng juga yach...
11. Bestfriends..Tisa dan dee-dee yang dah duluan lulus... Hwaaa,,akhirna daku nyusul juga... thankz ya 'Jeng buat supportna....
12. Bestfriend lagi, Anondoto, cepetan lah ngerjain TA na,,gak pake males-malesan yach..
13. Temen-temen kelas A 2003.. Farid, Rendy, Jojo, Uki, Aji, Reldung, Emma, Dini, dan laen-laennya yang banyak banget...
14. My lovely '7bc' Muhi 03. Phicka, Tata, Asa, Westri, Wiri, and Sari.
15. Mas Aris dan semua yang bantuin ngelab..thanks...
16. Semua pihak yang telah membantu didalam penyusunan Tugas Akhir.

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.



Yogyakarta, Juni 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO dan PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
ABSTRAKSI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
BAB III LANDASAN TEORI.....	7
3.1 Kolom.....	7
3.1.1 Kolom Tunggal.....	7
3.1.1.1 Tekuk Elastis.....	7
3.1.1.2 Faktor Panjang Tekuk.....	11
3.1.1.3 Pembebanan Eksentris Pada Kolom Tunggal....	12
3.1.1.4 Gaya Geser Pada Kolom Tunggal.....	15
3.1.2 Kolom Tersusun.....	18
3.1.2.1 Gaya Geser Pada Kolom Tersusun.....	18
3.1.2.2 Pembebanan Eksentris Pada Kolom Tersusun...	22
3.2. Hubungan Tanpa Dimensi antara (P/Py) dengan (kL/r)	25

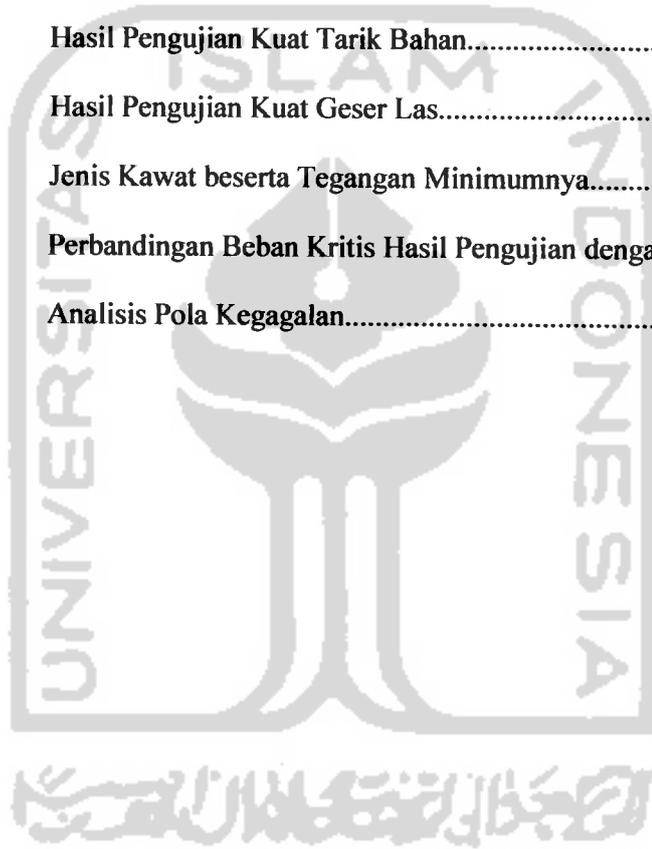
	3.3	Kegagalan Pada Kolom Tersusun.....	27
	3.3.1	Kegagalan Karena Leleh.....	27
	3.3.2	Tekuk Lokal.....	28
	3.3.3	Tekuk Keseluruhan.....	29
	3.4	Hipotesis.....	29
BAB IV		METODE PENELITIAN.....	31
	4.1	Metodologi Penelitian.....	31
	4.2	Bahan dan Alat yang Digunakan.....	33
	4.2.1	Bahan.....	33
	4.2.1.1	Benda Uji Pendahuluan.....	33
	4.2.1.2	Sampel Benda Uji.....	35
	4.2.2	Peralatan Penelitian.....	36
	4.3	Pelaksanaan Penelitian.....	38
	4.3.1.	Pembuatan Benda Uji.....	38
	4.3.2.	Setting Peralatan.....	42
	4.3.3	Proses Pengujian Kapasitas Kolom Tersusun Pembebanan Eksentris.....	43
BAB V		HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	45
	5.1	Hasil Penelitian.....	45
	5.1.1	Uji Pendahuluan.....	45
	5.1.1.1	Uji Tarik Baja Profil Siku.....	45
	5.1.1.2	Uji Kuat Geser Sambungan Las.....	46
	5.1.2	Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun.....	47
	5.2	Pembahasan.....	49
	5.2.1	Pembahasan Uji Pendahuluan.....	49
	5.2.1.1	Uji Tarik Baja.....	49
	5.2.1.2	Uji Kuat Geser Sambungan Las.....	50
	5.2.2	Pembahasan Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun.....	52
	5.2.2.1	Hubungan Beban Kritis (Pcr) dengan Kelangsingan.....	52
	5.2.2.2	Perbandingan Antara perhitungan Teoritis	

	degan Hasil Pengujian.....	53
	5.2.2.3 Pola Kegagalan.....	56
BAB VI	KESIMPULAN SARAN.....	58
	6.1 Kesimpulan	58
	6.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR TABEL

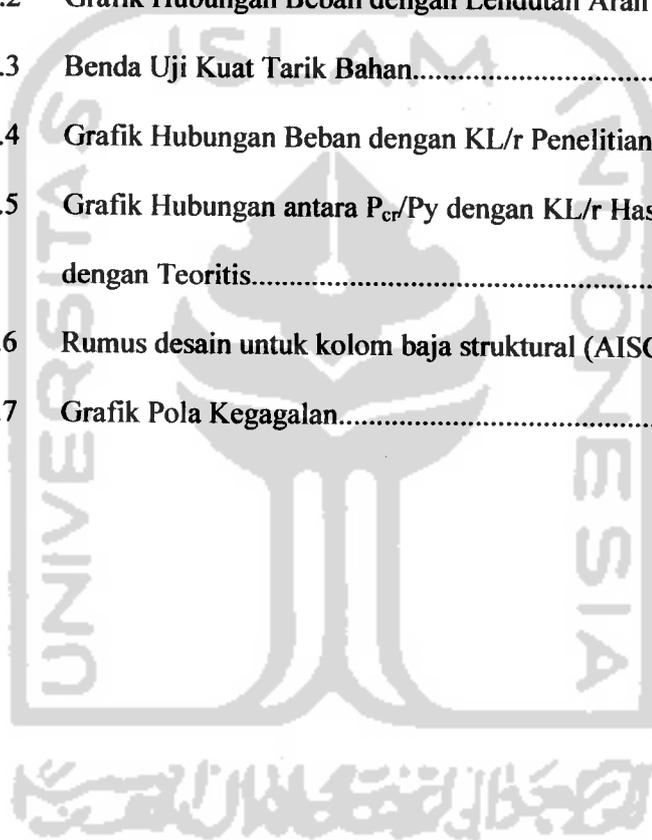
Tabel 3.1	Faktor Panjang Tekuk Kolom Ideal.....	12
Tabel 4.1	Jenis Kawat beserta Tegangan Minimumnya.....	35
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Profil Siku.....	46
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Kuat Geser Las.....	46
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun.....	47
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan.....	50
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Kuat Geser Las.....	51
Tabel 5.6	Jenis Kawat beserta Tegangan Minimumnya.....	51
Tabel 5.7	Perbandingan Beban Kritis Hasil Pengujian dengan Teoritis..	53
Tabel 5.8	Analisis Pola Kegagalan.....	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Batang lurus dibebani dengan gaya tekan aksial.....	8
Gambar 3.2	Kolom dengan Beban P dan Eksentris e.....	12
Gambar 3.3	Grafik Tegangan Kritis Fungsi KL/r berdasarkan Rumus Sekan.....	15
Gambar 3.4	Kolom Tunggal dengan Beban P menimbulkan gaya geser..	16
Gambar 3.5	Efek Geser pada Kolom Tersusun dengan Perangkai Diagonal.....	19
Gambar 3.6	Kolom Tersusun dengan Beban Eksentris.....	22
Gambar 3.7	Grafik Hubungan (P_{cr}/P_y) Teori dengan kelangsingan (KL/r).....	26
Gambar 3.8	Kerusakan Akibat Tekuk Lokal.....	28
Gambar 4.1	Bagan Alir Metodologi Penelitian.....	31
Gambar 4.2	Benda Uji Untuk Uji Kuat Tarik.....	33
Gambar 4.3	Benda Uji Sambungan Las.....	34
Gambar 4.4	Baja Profil Siku.....	35
Gambar 4.5	Baja Bulat Polos.....	36
Gambar 4.6	Dial Gauge.....	36
Gambar 4.7	Dukungan Sendi.....	37
Gambar 4.8	Hidraulic Jack.....	37
Gambar 4.9	Universal Testing Material.....	38
Gambar 4.10	Potongan Melintang Empat Profil Siku.....	39

Gambar 4.11	Sampel Kolom Tersusun.....	40
Gambar 4.12	Detail Sampel Kolom Tersusun.....	41
Gambar 4.13	Benda Uji Tampak Atas.....	42
Gambar 4.14	Benda Uji Tampak Samping.....	42
Gambar 4.15	Plat dengan Eksentrisitas 18 mm.....	43
Gambar 5.1	Penempatan Dial pada Benda Uji.....	47
Gambar 5.2	Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Arah Lateral.....	48
Gambar 5.3	Benda Uji Kuat Tarik Bahan.....	49
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Beban dengan KL/r Penelitian.....	52
Gambar 5.5	Grafik Hubungan antara P_{cr}/P_y dengan KL/r Hasil Pengujian dengan Teoritis.....	54
Gambar 5.6	Rumus desain untuk kolom baja struktural (AISC).....	55
Gambar 5.7	Grafik Pola Kegagalan.....	56



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perencanaan Kolom Tersusun
- Lampiran 2 Perhitungan Teoritis Kapasitas Kolom Tersusun dengan
Pembebanan Eksentris
- Lampiran 3 Uji Pendahuluan
- Lampiran 4 Gambar dan Dokumentasi Saat Pengujian



DAFTAR SIMBOL

A	= luas penampang
A_g	= luas penampang gabungan
A_d	= luas penampang batang diagonal
a	= jarak antar titik berat profil tunggal pada kolom tersusun
d	= panjang batang diagonal
E	= modulus elastisitas
F_y	= tegangan leleh
F_u	= tegangan ultimit
F_{cr}	= tegangan kritis
I	= momen inersia
L	= panjang kolom
L_e	= panjang efektif
L_1	= jarak antar batang perangkai
r	= radius girasi
KL/r	= kelangsingan
$(KL/r)_c$	= rasio kelangsingan kritis
M	= momen
C_x	= jarak dari titik berat kolom tersusun sampai penampang terluar
P	= beban
P_{cr0}	= beban kritis Euler
P_{cr1}	= beban kritis kolom tersusun

- P_y = beban leleh
- $1/S_v$ = kekakuan geser kolom
- V = gaya geser
- δ = perubahan tempat arah horizontal
- y = pelenturan
- Θ = sudut antara gaya geser dengan batang diagonal
- π = konstanta (3,141593)



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. Jarak antar profil berpengaruh kepada momen inersia penampang kolom tersusun sehingga berpengaruh kepada kelangsingan, kuat tekan dan kekakuan. Jarak batang perangkai yang cukup jauh mengakibatkan tekuk pada batang tunggal, guna mencegah peristiwa ini jarak batang perangkai dipasang cukup dekat. Pada umumnya kolom mengalami gaya tekan eksentris (e) sehingga kolom mengalami gaya tekan dengan momen (M). Besarnya momen berbanding lurus dengan gaya (P) dan eksentrisitasnya (e). Semakin besar eksentrisitas maka semakin besar pula momennya sehingga kolom dapat mengalami tekuk. Dengan tekuk ini, kapasitas tekan kolom tersusun (P_{cr}) menjadi berkurang.

Penelitian eksperimental 4 benda uji kolom tersusun dengan batang perangkai diagonal, jarak antar profil (a), eksentrisitas (e) sama. Nilai kelangsingan bervariasi untuk mengetahui kapasitas kuat tekan masing-masing kolom tersusun dan juga untuk mengetahui pola kegagalan kolom tersusun. Rasio kL/r yang digunakan adalah 100, 110, 120 dan 130.

Hasil penelitian P_{cr}/P_y dengan beban eksentris masing-masing benda uji adalah: kolom 1 ($kL/r = 100$), $P_{cr}/P_y = 0,582$; kolom 2 ($kL/r = 110$), $P_{cr}/P_y = 0,524$; kolom 3 ($kL/r = 120$), $P_{cr}/P_y = 0,466$, dan kolom 4 ($kL/r = 130$), $P_{cr}/P_y = 0,437$. Dari hasil eksperimen tersebut menunjukkan semua beban kritis dengan beban leleh (P_{cr}/P_y) berada diatas perhitungan teoritis dengan nilai $K=1$ tetapi dibawah perhitungan teoritis dengan nilai $K=0,7$. Pola kegagalan yang terjadi pada kolom 1 ($kL/r = 100$) adalah tekuk lokal. Kolom 2 ($kL/r = 110$), Kolom 3 ($kL/r = 120$), Kolom 4 ($kL/r = 130$) terjadi tekuk menyeluruh

Kata Kunci: kapasitas kolom tersusun, empat profil siku, kelangsingan, eksentrisitas, pola kegagalan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang menerima beban aksial tekan. Kolom tersusun adalah kolom yang dibentuk dari profil gabungan dengan dua batang atau lebih yang dihubungkan dengan batang perangkai melintang, batang perangkai diagonal atau kombinasi batang perangkai melintang diagonal. Kolom tersusun dari profil gabungan digunakan untuk mendapatkan kapasitas kolom yang besar. Pada umumnya kolom mengalami gaya tekan eksentris (e) sehingga kolom mengalami gaya tekan dengan momen (M). Besarnya momen berbanding lurus dengan gaya (P) dan eksentrisitasnya (e). Semakin besar eksentrisitas (e) maka semakin besar pula momennya sehingga kolom dapat mengalami tekuk. Dengan tekuk ini, kapasitas tekan kolom tersusun (P_{cr}) menjadi berkurang. Salah satu kolom tersusun yang banyak digunakan terbuat dari empat profil siku yang dirangkai dengan batang diagonal. Pada kolom tersusun kekuatannya dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain: luas dan jumlah profil susun, jarak antar profil, jarak antar batang perangkai, bentuk batang perangkai dan panjang kolom. Jarak antar profil berpengaruh terhadap luas dan momen inersia, jarak antar batang perangkai berpengaruh terhadap kestabilan kolom tersusun, panjang kolom berpengaruh terhadap tekuk dan bentuk batang perangkai berpengaruh terhadap kuat tekannya. Momen inersia kolom tersusun dipengaruhi oleh panjang batang, kondisi ujung dan jari-jari inersia. Momen inersia ini

berpengaruh terhadap kelangsingan. Nilai kelangsingan $\left(\frac{KL}{r}\right)$ berbanding terbalik dengan kuat tekan batang. Semakin besar kuat tekan batang maka kelangsingannya semakin kecil. Batang langsing akan melentur lebih besar jika dibandingkan dengan batang gemuk. Batang langsing akan mengalami kegagalan akibat tekuk dengan tegangan normal kecil. Semakin besar nilai kelangsingan kolom maka kolom tersebut akan mudah melentur.

Gaya geser pada kolom perlu diperhatikan karena efek gaya geser pada kolom sangat berpengaruh terhadap terhadap kekuatan kolom tersebut. Untuk kolom tunggal efek gaya geser dapat diabaikan karena nilainya sangat kecil. Pada kolom tersusun efek gaya geser sangat signifikan karena pada penampang batang tersebut bekerja komponen gaya yang arahnya tegak lurus terhadap sumbu batang yang dapat mengakibatkan pelenturan batang bertambah sehingga mempengaruhi kapasitas batang tersusun tersebut.

Penelitian ini meneliti tentang kapasitas kolom (P_{cr}) tersusun empat profil siku dengan kelangsingan (KL/r) bervariasi akibat beban eksentris.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kapasitas kolom tersusun empat profil siku dengan kelangsingan 100, 110, 120, dan 130 akibat beban eksentris dengan perangkai diagonal
2. Memperoleh grafik hubungan $\frac{KL}{r}$ dengan $\frac{P_{cr}}{P_y}$.
3. Mengetahui pola kegagalan kolom tersusun

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini antara lain adalah memberikan informasi tentang kapasitas kolom tersusun empat profil siku dengan kelangsingan yang bervariasi akibat beban eksentris. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan kolom tersusun.

1.4 Batasan Penelitian

Agar penelitian dapat terarah terhadap tujuan penelitian, maka penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Kolom dengan nilai kelangsingan $\frac{KL}{r} = 100, 110, 120$ dan 130
2. Jenis struktur adalah kolom dengan kedua ujungnya sendi-sendii ($K=1$)
3. Profil baja yang digunakan adalah empat profil siku $25 \times 25 \times 2,3$ mm
4. Kolom tersusun dengan perangkai diagonal transversal, tulangan ϕ 4mm.
5. Jarak sumbu elemen batang tersusun (a) 70 mm
6. Rasio eksentrisitas (e) dengan jari-jari girasi adalah $\frac{e}{r}$, yaitu 0,5
7. Tinggi kolom (L) = 3584 mm, 3942 mm, 4300 mm, dan 4659 mm
8. Tegangan residu dari bahan tidak ditinjau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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

Kolom tersusun adalah profil gabungan dua batang atau lebih dimana batang satu dengan yang lain dihubungkan bersama-sama menggunakan batang penghubung sedemikian sehingga membentuk satu kesatuan. (*Padosbajayo, 1991*)

Penyambungan antar batang-batang tersusun dengan memakai batang ikat/diagonal (lacing) beranfaat agar semua komponen dapat bekerja sebagai satu kesatuan. Komponen geser dari beban aksial timbul ketika batang tekan melentur. Besarnya pengaruh geser terhadap pengurangan kekuatan kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser. (*Salmon dan Johnson, 1994*)

Fungsi penghubung ialah untuk menahan gaya lintang yang timbul sepanjang kolom, sehingga batang tersusun dapat membentuk suatu kesatuan dalam hal mendukung beban. (*Padosbajayo, 1994*)

Pengaruh geser terhadap pengurangan kekuatan kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser. Gaya geser kecil pengaruhnya terhadap pengurangan kekuatan kolom dengan profil berbadan pejal (solid-webbed) dan dapat diabaikan dengan aman. Namun pengaruh geser sebaiknya tidak diabaikan untuk kolom tersusun. (*Salmon dan Johnson, 1994*)

Efek geser pada kolom tersusun dengan perangkai diagonal dipengaruhi oleh jarak antar batang perangkai, modulus elastis bahan, luas penampang batang diagonal maupun panjang batang diagonal. (*Katholieke Universite Leuven, 2006*)

Harga rasio kelangsingan terkecil di daerah berlakunya kurva Euler diperoleh dengan menetapkan tegangan kritis sama dengan limit proporsional tegangan leleh. (*Gere dan Timoshenko, 2000*)

Sebuah kolom yang panjang dan langsing akan mempunyai rasio kelangsingan yang tinggi sehingga mempunyai tegangan kritis rendah. Sebuah kolom yang pendek dan gemuk akan mempunyai rasio kelangsingan rendah sehingga akan menekuk pada tegangan yang tinggi. (*Gere dan Timoshenko, 2000*)

Panjang tekuk batang adalah jarak antar titik balik batang tersebut. Secara umum dapat dikemukakan bahwa faktor panjang tekuk untuk kolom portal tidak bergoyang lebih kecil atau sama dengan 1 ($K \leq 1$), sedangkan faktor panjang tekuk kolom yang bergoyang lebih besar satu ($K > 1$). (*Padosbajayo, 1994*)

Dalam praktek, batang struktur tidak ada yang lurus sempurna, idealisasi batang prisatik sulit untuk dipenuhi, sifat homogin batang juga tidak pernah ada. Tidak ada sumbu batang yang lurus. Gaya tekan aksial tidak akan berimpit dengan sumbu batang yang lurus, sehingga gaya tekan akan bekerja secara eksentris. Eksentrisitas gaya akan menimbulkan momen lentur. Dengan gaya aksial tertentu, batang tekan langsing akan melentur lebih besar jika dibandingkan dengan batang gemuk. (*Padosbajayo, 1994*).

Menurut Salmon dan Johnson, 1994 Kegagalan pada kolom terusun 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.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Kolom

Menurut *Salmon dan Johnson (1990)*, kolom adalah komponen struktur yang fungsi utamanya memikul gaya tekan. Kolom baja berdasarkan jumlah elemen penyusunnya dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Kolom tunggal
2. Kolom tersusun

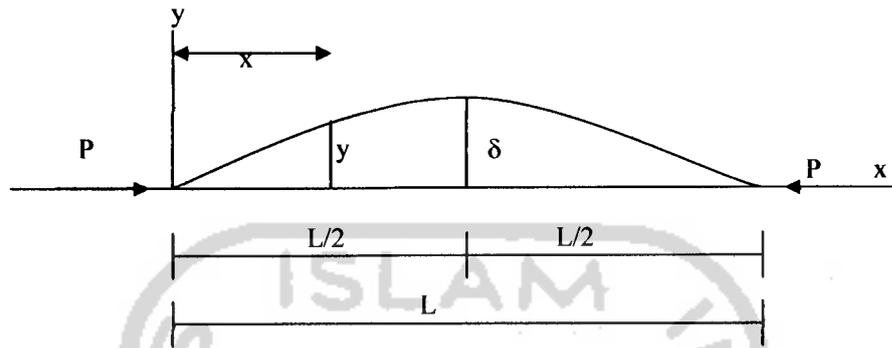
3.1.1 Kolom Tunggal

Kapasitas kolom tunggal dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain adalah kelangsingannya. Semakin langsing suatu kolom, kuat tekannya juga semakin kecil. Kelangsingan juga berpengaruh terhadap ragam keruntuhan kolom. Berdasarkan ragam keruntuhan, kolom dapat dibagi 3 yaitu kolom langsing, kolom sedang dan kolom pendek. Kolom pendek mengalami kegagalan karena tegangan lelehnya terlampaui. Sedangkan pada kolom langsing dan sedang mengalami kegagalan karena tekuk. Tekuk pada kolom langsing disebut tekuk elastis, sedangkan pada kolom sedang disebut tekuk inelastis.

3.1.1.1 Tekuk Elastis

Analisis kuat tekan kolom tunggal langsing secara matematis pertama kali dikemukakan oleh matematikawan Swiss *Leonhardt Euler*. (*Padosbajayo,1994*).

Batang dengan beban konsentris yang semula lurus dan semua seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi akan mengalami lengkungan yang kecil.



Gambar 3.1 Batang lurus dibebani dengan gaya tekan aksial

Beban aksial pada kedua ujung batang pada Gambar 3.1 menimbulkan momen sesuai persamaan *Padosbajayo* yaitu:

$$M = -P \cdot y \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

dan karena

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{Mx}{EI} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

Persamaan 3.1 menjadi :

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -P \cdot y \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

Persamaan diatas dikalikan dengan $2dy$ maka persamaan diatas menjadi :

$$EI \frac{d}{dx} \frac{dy}{dx} 2 \cdot dy = -2 \cdot P \cdot y \cdot dy \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

Jika masing-masing ruas Persamaan 3.4 diintegalkan, diperoleh:

$$EI \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) = -P \cdot y^2 + C_1 \dots\dots\dots(3.5)$$

Pada $y=\delta$, $\frac{dy}{dx} = 0$, sehingga $0 = -P \cdot \delta^2 + C_1$ dan $C_1 = P \cdot \delta^2$. Nilai C_1 disubstitusi ke

Persamaan 3.5 :

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

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

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

Masing-masing ruas Persamaan 3.8 diintegalkan, menjadi :

$$\text{arc sin } \frac{y}{\delta} = x \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} + C_2 \dots\dots\dots(3.9)$$

Pada $x=0$, pelenturan $y=0$, sehingga $C_2=0$. Persamaan 3.9 menjadi :

$$\text{arc sin } \frac{y}{\delta} = x \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$\frac{y}{\delta} = \text{sin } x \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} \dots\dots\dots(3.11)$$

Pada $x=L$, pelenturan $y=0$, Persamaan 3.11 menjadi :

$$\text{sin } L \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} = 0 \text{ atau } L \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} = n\pi \dots\dots\dots(3.12)$$

$$P = \frac{(n\pi)^2 \cdot EI}{L^2} \dots\dots\dots(3.13)$$

Untuk $n=0$, nilai $P=0$. nilai P terkecil diperoleh jika harga $n=1$, sedangkan P disebut beban kritis (P_{cr}), jadi:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} \dots\dots\dots(3.14)$$

dengan :

P_{cr} = beban kritis

π = konstanta =3.141593,

E = modulus elastisitas

I = momen inersia

L = panjang kolom dari ujung sendi ke ujung sendi

Dari Persamaan 3.14 dapat dilihat bahwa beban kritis (P_{cr}) berbanding lurus dengan inersia (I) dan modulus elastisitas (E) serta berbanding terbalik dengan panjang kolom (L).

Jika ruas kiri dan ruas kanan pada Persamaan 3.14 dibagi dengan luas penampang (A) diperoleh tegangan kritis (F_{cr}):

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \dots\dots\dots(3.15)$$

dengan :

F_{cr} = tegangan kritis

E = modulus elastis

π = konstanta =3.141593,

KL/r = kelangsingan

Tampak bahwa tegangan kritis batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu batang maka tegangan kritisnya semakin kecil.

Persamaan Euler diatas berlaku untuk kolom langsing. Kolom langsing adalah kolom dengan nilai kelangsingan (KL/r) lebih besar dari kelangsingan batas $(KL/r)_c$. (Gere dan Timoshenko, 2000)

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_y}} \dots\dots\dots(3.16)$$

Jika nilai kelangsingan (KL/r) lebih kecil dari kelangsingan batas $(KL/r)_c$ maka yang terjadi adalah tekuk inelastis.

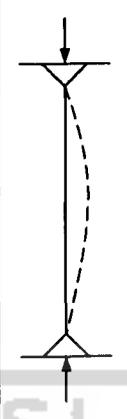
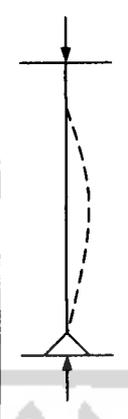
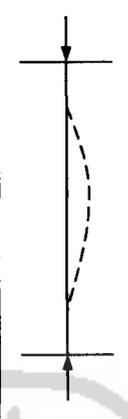
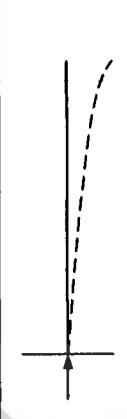
3.1.1.2 Faktor Panjang Tekuk

Panjang Tekuk batang adalah jarak antar titik balik batang tersebut, yaitu jarak antar ujung-ujung sendi ekuivalen, baik riil maupun majiner. Panjang tekuk (L_k) dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.17

$$L_k = K \cdot L \dots\dots\dots(3.17)$$

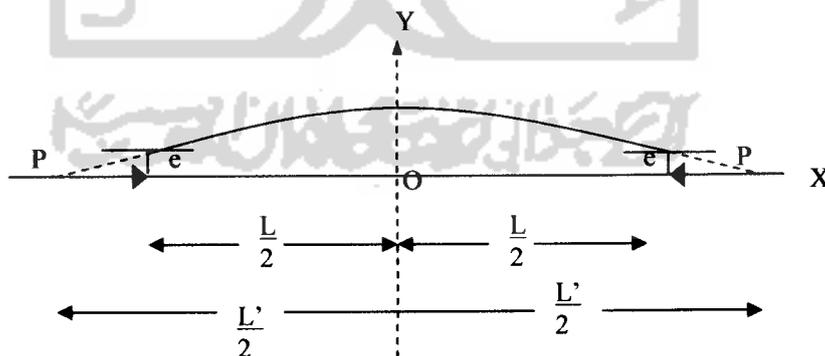
Faktor panjang tekuk untuk kondisi ujung sendi-sendi, jepit-sendi, jepit jepit dapat dilihat didalam tabel berikut ini :

Tabel 3.1 Faktor Panjang Tekuk Kolom Ideal

BENTUK KELENGKUNGAN				
KONDISI UJUNG	SENDI-SENDI	SENDI-JEPIT	JEPIT-JEPIT	JEPIT-BEBAS
NILAI K	1,0	0,7	0,5	2,0

3.1.1.3 Pembebanan Eksentrisitas Pada Kolom Tunggal

Bila pada suatu batang diberi beban dengan eksentrisitas (e) yang diukur dari sumbu batang, maka beban tekan aksial eksentrisitas ini sebanding 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. Gambar 3.2 dibawah ini menunjukkan kolom yang diberi beban eksentris.

**Gambar 3.2.** Kolom dengan Beban P dan Eksentris e

Salah satu rumus batang tekan yang memperhitungkan pengaruh eksentrisitas awal (Gambar 3.2) adalah rumus Secant, (Padosbajayo,1994). Persamaan pelenturan kolom diatas adalah :

$$y = \delta \sin x \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} \dots\dots\dots(3.18)$$

dan karena

$$\sqrt{\frac{P}{EI}} = \frac{\pi}{L} \dots\dots\dots(3.19)$$

Persamaan 3.18 menjadi :

$$y = \delta \sin\left(x \cdot \frac{\pi}{L}\right) \dots\dots\dots(3.20)$$

Jika sumbu koordinat melalui tengah-tengah kolom, maka panjang kolom ekuivalen (L') menjadi :

$$y = \delta \cos\left(x \cdot \frac{\pi}{L'}\right) \dots\dots\dots(3.21)$$

Pada $y=e$ maka $x = \frac{L}{2}$, sehingga :

$$e = \delta \cos\left(\frac{\pi \cdot L}{2L'}\right) \dots\dots\dots(3.22)$$

atau :

$$\delta = \frac{e}{\cos\left(\frac{\pi \cdot L}{2L'}\right)} \dots\dots\dots(3.23)$$

Persamaan 3.23 disubstitusikan ke Persamaan 3.20 menjadi :

$$y = e^{\frac{\cos \frac{\pi x}{L'}}{\cos \left(\frac{\pi L'}{2L'} \right)}} \dots \dots \dots (3.24)$$

Harga L' diperoleh dengan bantuan persamaan Euler

$$L' = \pi \sqrt{\frac{EI}{P}} \text{ atau } \frac{\pi}{L'} = \sqrt{\frac{P}{EI}} \dots \dots \dots (3.25)$$

Bila $\frac{\pi}{L'}$ disubstitusikan ke Persamaan 3.24, menjadi :

$$y = e^{\frac{\cos x \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}}}{\cos \left(\frac{L}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}} \right)}} \dots \dots \dots (3.26)$$

Dari persamaan garis elastis, momen lentur maksimum terjadi saat $x=0$

$$M = EI \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)_{x=0} = - \frac{e \cdot P}{\cos \left(\frac{L}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}} \right)}$$

$$M = -P \cdot e \cdot \sec \left(\frac{L}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}} \right) \dots \dots \dots (3.27)$$

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

$$F_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M_{\max} \cdot c}{I} \dots \dots \dots (3.28)$$

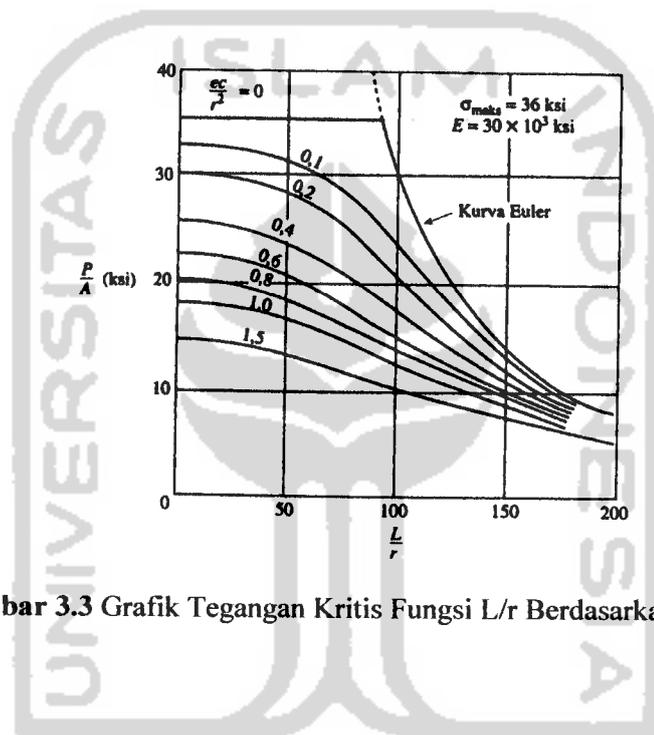
karena $I = A \cdot r^2$ maka dengan menggunakan (M) pada Persamaan 3.27, Persamaan 3.28 menjadi :

$$F_{cr} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{e \cdot c}{r^2} \cdot \sec \left(\frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right) \right) \dots \dots \dots (3.29)$$

$$P = \frac{F \cdot A}{1 + \frac{e \cdot c}{r^2} \sec\left(\frac{KL}{2r}\right) \sqrt{\frac{P}{A \cdot E}}} \dots\dots\dots(3.30)$$

c merupakan jarak pusat berat ke serat terluar penampang dan e merupakan jarak eksentrisitas. Semakin besar beban P maka nilai eksentrisitas semakin kecil.

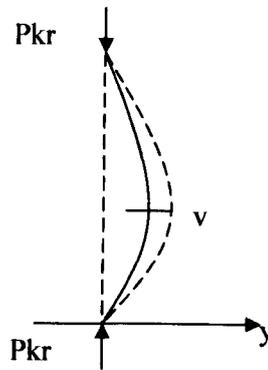
Untuk mendapatkan nilai P dilakukan dengan cara *trial and error* karena variabel P berada pada ruas kiri dan kanan.



Gambar 3.3 Grafik Tegangan Kritis Fungsi L/r Berdasarkan Rumus Sekan

3.1.1.4 Gaya Geser Pada Kolom Tunggal

Sebuah kolom batang tunggal jika dibebani gaya tekan (P) maka kolom tersebut akan melentur dan didalam penampangnya timbul gaya geser seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kolom Tunggal dengan Beban (P) Menimbulkan Gaya Geser

Pelenturan akibat beban (P) ditunjukkan dengan garis lengkung penuh sedangkan pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan garis putus-putus.

(Padosbajayo, 1994)

Pelenturan akibat beban (P) dinyatakan dalam persamaan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} y \dots\dots\dots(3.31)$$

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

$$V = \frac{Mx}{dx} \text{ atau } V = P \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots(3.32)$$

Kemiringan (slop) yang terjadi akibat gaya geser adalah :

$$\theta = \frac{\text{tegangan geser}}{\text{modulus geser}} \dots\dots\dots(3.33)$$

Dengan memperhitungkan faktor bentuk (β) diperoleh :

$$\theta = \frac{\beta V}{A.G} \text{ atau } \theta = \frac{\beta}{A.G} P \cdot \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots(3.34)$$

dengan :

G = modulus geser

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

μ = nilai banding poison (*poison ratio*)

Pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{A.G} \cdot P \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \dots \dots \dots (3.35)$$

Pelenturan total akibat P dan V adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{P}{EI} y + \frac{\beta \cdot P}{A.G} \frac{d^2 y}{dx^2} \dots \dots \dots (3.36)$$

atau

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{EI \left(1 - \frac{\beta P}{A.G} \right)} \dots \dots \dots (3.37)$$

Penyelesaian Persamaan 3.37 adalah :

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\beta}{A.G} \cdot \frac{\pi^2 EI}{L^2} \right)} \dots \dots \dots (3.38)$$

dimana beban tekuk Euler adalah $Pe = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$

jika $\frac{\beta}{A.G} = \frac{1}{S_v}$; Persamaan 3.38 dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P_{kr} = \frac{Pe}{1 + \frac{Pe}{S_v}} \dots \dots \dots (3.39)$$

3.1.2 Kolom Tersusun

Kolom tersusun adalah profil gabungan dua batang atau lebih dimana batang yang satu dengan batang yang lain dihubungkan bersama-sama menggunakan batang penghubung sedemikian rupa membentuk satu kesatuan. Kolom tersusun dapat dibuat dari berbagai bentuk penampang yang salah satunya adalah dibentuk dari empat profil siku.

3.1.2.1 Gaya Geser Pada Kolom Tersusun

Beban P menimbulkan adanya suatu deformasi menyebabkan adanya gaya geser. Efek gaya geser pada kolom tersusun pada pembebanan kritis adalah sama dengan efek gaya geser pada kolom tunggal namun oleh *Kuleuven* pada Persamaan 3.39 dimodifikasi menjadi persamaan berikut (*Katholik Universite Leuven, 2006*) :

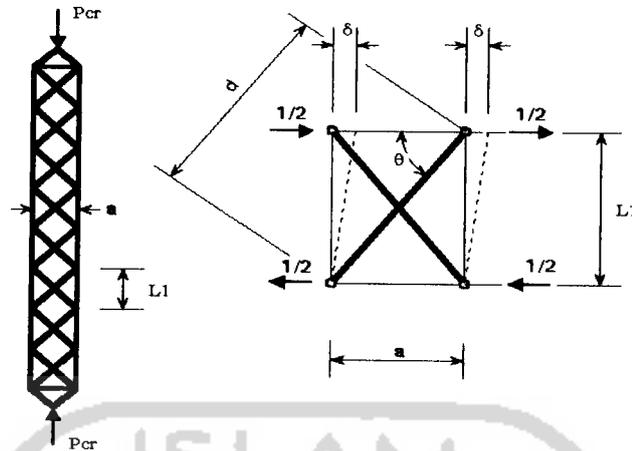
$$P_{cr1} = P_{cr0} \frac{1}{1 + P_{cr0} \frac{1}{S_v}} \dots\dots\dots(3.40)$$

dengan :

$$P_{cr0} = \text{Beban tekuk Euler kolom tunggal} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

$$\frac{1}{S_v} = \text{Kekakuan geser dari kolom} = \frac{\beta}{A.G}$$

Pada kolom tersusun Gambar 3.5 dengan perangkatai dobel diagonal, perpanjangan elastis pada batang diagonal harus diperhatikan untuk mendapatkan kekakuan geser ($1/S_v$).



Gambar 3.5 Efek Geser pada Kolom Tersusun dengan Perangkai 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 yang terjadi pada batang diagonal pada Gambar 3.5 adalah sebagai berikut :

$$\frac{V \cdot L_1}{A_d \cdot E \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \dots \dots \dots (3.41)$$

dengan :

θ = Sudut antara arah gaya geser dengan batang diagonal

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

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

$$Ad = \text{Luas penampang batang diagonal}$$

Perubahan tempat arah horisontal akibat perpanjangan batang diagonal adalah :

$$\delta = \frac{V \cdot L_1}{Ad \cdot E \cdot \sin \theta \cdot \cos^2 \theta} \dots \dots \dots (3.42)$$

dari Gambar 3.5b dapat diketahui bahwa :

$$\cos^2 \theta = \frac{a^2}{d^2} \dots \dots \dots (3.43)$$

$$\sin \theta = \frac{L_1}{d} \dots \dots \dots (3.44)$$

maka persamaan 3.42 menjadi :

$$\delta = \frac{V \cdot d^3}{Ad \cdot E \cdot a^2} \dots \dots \dots (3.45)$$

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

$$\delta = \frac{1/2 \cdot d^3}{Ad \cdot E \cdot a^2} \dots \dots \dots (3.46)$$

d adalah panjang batang perangkai diagonal dan a = jarak sumbu elemen maka gaya geser kolom tersusun:

$$\frac{1}{S_v} = \frac{\delta}{L_1} \dots \dots \dots (3.47)$$

$$\frac{\delta}{Ll} = \frac{1}{L_1} \frac{1}{2} \frac{d^3}{a^2 E A_d} = \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \dots\dots\dots(3.48)$$

Jika Persamaan 3.48 disubstitusi ke Persamaan 3.40, maka didapatkan Persamaan beban kritis :

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 EI}{KL^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{KL^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right]} \dots\dots\dots(3.49)$$

dimana :

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

E = modulus elastisitas

I = momen inersia

L = tinggi kolom

L_1 = jarak antar batang perangkai

d = panjang batang diagonal

a = jarak sumbu elemen batang tersusun

A_d = luas penampang batang diagonal

Bila Persamaan 3.49 ruas kiri dan kanan dibagi dengan luas penampang (A), maka tegangan kritis menjadi :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{KL^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right]} \dots\dots\dots(3.50)$$

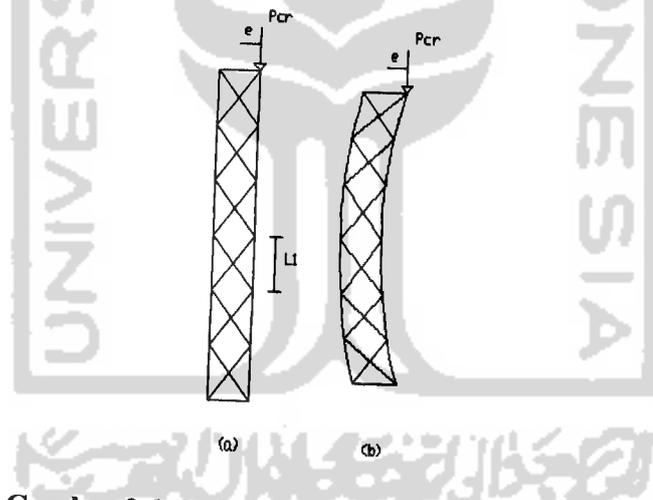
Persamaan 3.49 dan 3.50 dipakai untuk menghitung beban kritis (P_{cr}) dan tegangan kritis (F_{cr}) saat kolom menerima beban secara terpusat. Jika kolom

tersusun menerima beban eksentris, maka besar momen yang terjadi harus diperhitungkan.

3.1.2.2 Pembebanan Eksentris pada Kolom Tersusun

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 Eksentris

Saat kolom tersusun diberi beban sebesar P dan sejauh e dari pusat berat panampang, bekerja interaksi gaya antara tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan aksial (f_a) dan momen lentur yang terjadi (f_b). Tegangan yang ditimbulkan oleh gaya aksial (P) adalah :

$$f_a = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.51)$$

Sedangkan tegangan yang timbul akibat adanya momen lentur adalah :

$$f_b = \frac{M.C}{I} \dots\dots\dots(3.52)$$

$M=P.e$, maka persamaan diatas berubah menjadi :

$$f_b = \frac{P.e.C}{I} \dots\dots\dots(3.53)$$

C merupakan jarak pusat berat ke serat terluar penampang dan e merupakan jarak eksentrisitas.

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

$$F_{cr} = \frac{P}{A} + \frac{P.e.C}{I} \dots\dots\dots(3.54)$$

jika $I = A.r^2$ maka persamaan 3.54 menjadi :

$$F_{cr} = \frac{P}{A} + \frac{P.e.C}{A.r^2} \dots\dots\dots(3.55)$$

$$F_{cr} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{e.C}{r^2} \right) \dots\dots\dots(3.55)$$

Menggunakan asumsi bahwa tegangan kritis (F_{cr}) maksimum yang terjadi adalah tegangan kritis (F_{cr}) kolom pada saat menerima beban secara sentris (Persamaan 3.50) , maka untuk berbagai macam eksentrisitas Persamaan 3.55 menjadi:

$$\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 EA_d} \right]} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{e.C}{r^2} \right) \dots\dots\dots(3.56)$$

$$\frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 EA_d}\right]} = P \left(1 + \frac{e.C}{r^2}\right) \dots\dots\dots(3.57)$$

P dipindah keruas kiri sehingga nilai P dapat dicari :

$$P = \frac{\frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 EA_d}\right]}}{\left(1 + \frac{e.C}{r^2}\right)} \dots\dots\dots(3.58)$$

Besarnya nilai beban kritis kolom (P_{cr}) pada persamaan diatas menjadi :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 EA_d}\right]} \frac{1}{\left(1 + \frac{e.C}{r^2}\right)} \dots\dots\dots(3.59)$$

dengan :

- P_{cr} = beban kritis kolom tersusun dengan perangkai double diagonal
- E = modulus elastisitas
- A = luas profil gabungan kolom tersusun
- I = momen inersia
- K = kondisi ujung kolom ($K=1$, sendi-sendi)
- L = tinggi kolom
- KL/r = kelangsingan
- L_1 = jarak antar batang perangkai
- d = panjang batang diagonal
- a = jarak sumbu elemen batang tersusun
- A_d = luas penampang batang diagonal

e = jarak ekesntritas

r = jari-jari inersia

Dari Persamaan 3.59 terlihat bahwa kapasitas kolom tersusun (P_{cr}) dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain kelangsingan, jarak antar profil, bentuk batang perangkai, tinggi kolom dan panjang batang perangkai. Semakin besar kelangsingan ($\frac{KL}{r}$), maka beban kritis (P_{cr}) kolom semakin kecil.

3.2 Hubungan Tanpa dimensi Antara $\frac{P_{cr}}{P_y}$ teori dengan $\frac{KL}{r}$

Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) teori kolom tersusun empat profil siku untuk variasi kelangsingan dibandingkan dengan nilai beban pada saat leleh (P_y), maka akan didapat rasio $\frac{P_{cr}}{P_y}$ teori dengan berbagai rasio kelangsingan $\frac{KL}{r}$.

Tinggi kolom (L) akan mempengaruhi rasio $\frac{KL}{r}$. Perhitungan P_{cr} berdasarkan Persamaan 3.59, yaitu :

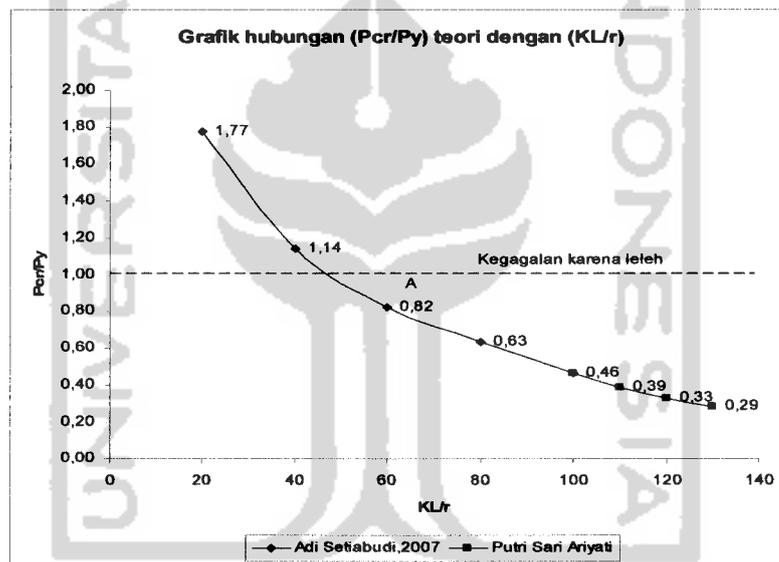
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d}} \right] \left(1 + \frac{e.C}{r^2} \right)$$

Persamaan diatas jika dibagi dengan beban leleh bahan (P_y) maka akan didapatkan rasio beban kritis terhadap beban leleh (P_{cr}/P_y) teori yaitu :

$$\frac{P_{cr}}{P_y} = \frac{\frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 EA_d} \right] \left(1 + \frac{e.C}{r^2} \right)}{F_y \times A} \dots\dots\dots(3.60)$$

Dalam penelitian ini nilai tegangan kritis (F_{cr}) yang digunakan sebagai batasan yaitu :Tegangan kritis kolom (F_{cr}) akibat leleh bahan ($F_y = 240$ Mpa).

Grafik hubungan antara $\frac{P_{cr}}{P_y}$ teori dengan $\frac{KL}{r}$ dapat dilihat pada gambar 3.8 sebagai berikut :



Gambar 3.7 Grafik Hubungan $\frac{P_{cr}}{P_y}$ teori versus Kelangsingan ($\frac{KL}{r}$)

Dari Gambar 3.7 dapat diketahui bahwa semakin besar kelangsingan kolom ($\frac{KL}{r}$) maka besarnya perbandingan beban kritis dengan beban leleh ($\frac{P_{cr}}{P_y}$) yang diterima kolom akan semakin kecil.

3.3 Kegagalan Pada Kolom Tersusun

Kegagalan kolom dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Kegagalan kolom baja yang diakibatkan oleh tegangan lelehnya terlampaui, kegagalan semacam ini terjadi pada batang tekan yang pendek (*stocky column*) dan penampangnya kompak
2. Kegagalan yang diakibatkan oleh tekuk. Kegagalan yang diakibatkan oleh tekuk terdiri dari dua macam yaitu :
 - (1) Tekuk lokal (*local buckling*), batang yang mengalami tekuk lokal memiliki penampang yang tidak kompak dan elemen penampangnya langsing (rasio b/t besar).
 - (2) Tekuk total (*overall buckling*), batang tekan mengalami tekuk total bila penampang batang kompak dan langsing (KL/r besar).

3.3.1 Kegagalan Karena Leleh

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

$$P_y = A_g \cdot F_y \dots\dots\dots(3.61)$$

dengan:

P_y = Beban leleh

A_g = Luas gabungan kolom tersusun

F_y = Tegangan leleh bahan

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

3.3.2 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 lokal. Tekuk lokal 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 berikut :



Gambar 3.8. Kerusakan akibat tekuk lokal

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

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \dots\dots\dots(3.62)$$

k adalah konstanta yang tergantung pada distribusi tegangan, kondisi tepi dan rasio panjang dengan lebar plat. Harga k untuk lentur berkisar antara 23,9 hingga 39,6 dan nilai k untuk tekan antara 0,425 sampai 4. Sedangkan μ adalah rasio poisson, dan b/t adalah rasio lebar dengan ketebalan. Syarat terjadi tekuk lokal adalah :

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

$$k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} < F_{cr} \dots\dots\dots(3.63)$$

3.3.3. Tekuk Keseluruhan

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 3.61 dengan harga F_{cr} keseluruhan adalah tegangan kritis pada kolom tersusun akibat pembebanan eksentris seperti pada Persamaan 3.59.

3.4 Hipotesis

Berdasarkan kajian dari tinjauan pustaka dan landasan teori dapat dikemukakan hipotesis bahwa pembebanan kolom secara eksentris (e) dengan kelangsingan berbeda dapat mempengaruhi kapasitas suatu kolom. Semakin besar

nilai $\frac{KL}{r}$ maka besarnya beban kritis (P_{cr}) yang dapat diterima suatu kolom semakin kecil.

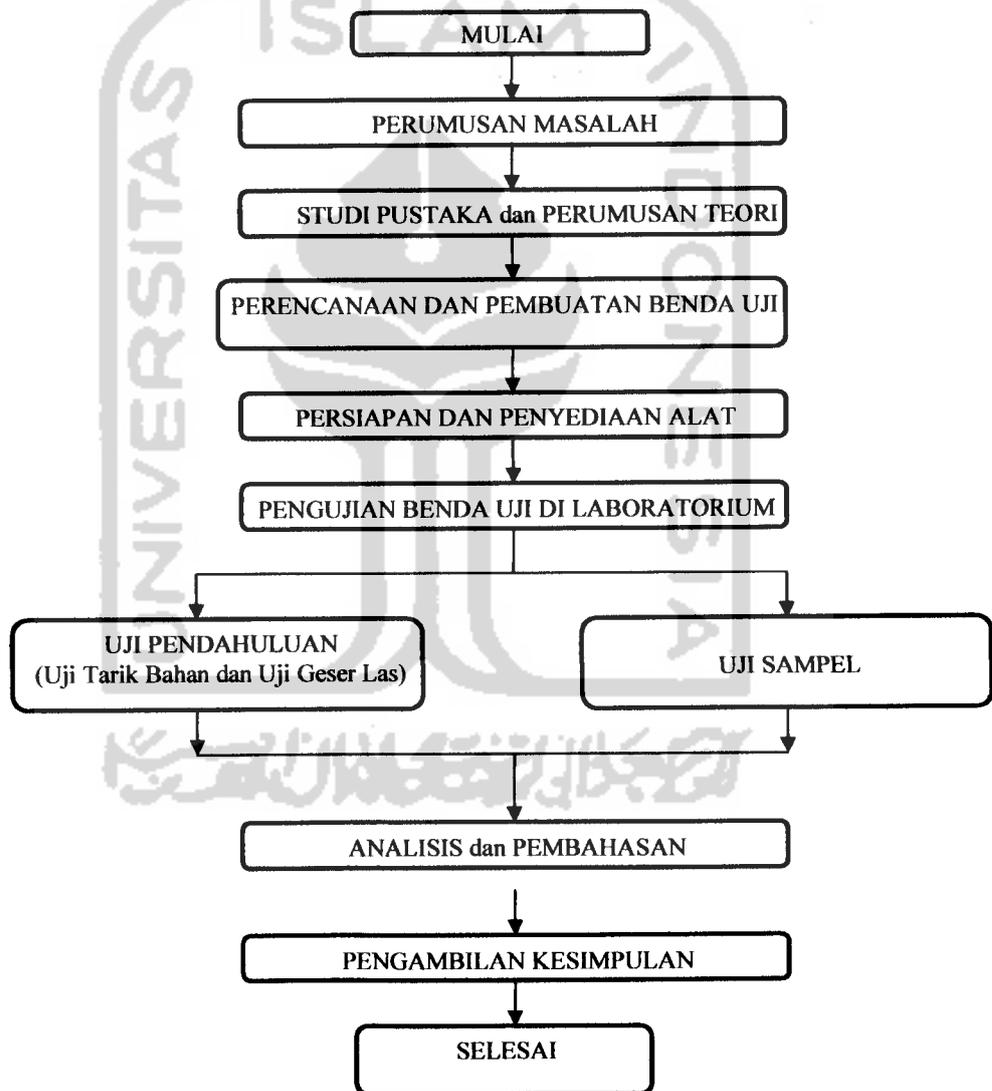


BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metodologi Penelitian

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



Gambar 4.1 Bagan Alir Metodologi Penelitian

Tahap – tahap penelitian adalah sebagai berikut :

1. Tahap perumusan masalah

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan, dan pembatasan masalah.

2. Tahap perumusan teori

Tahap ini merupakan tahap pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan–ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian.

3. Tahap pelaksanaan penelitian

- a. Pengumpulan bahan
- b. Pembuatan benda uji
- c. Persiapan peralatan
- d. Pengujian benda uji di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII
- e. Pengujian dilaksanakan dengan cara memberikan beban statis dengan eksentris tetap terhadap benda uji sampai terjadi kerusakan / keruntuhan pada benda uji.

4. Tahap Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan dengan pengamatan pada dial gauge yang dipasangkan kemudian pencatatan hasil uji berupa lendutan yang terjadi dan pengolahan data.

5. Tahap penarikan kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan untuk memberikan jawaban terhadap permasalahan.

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.

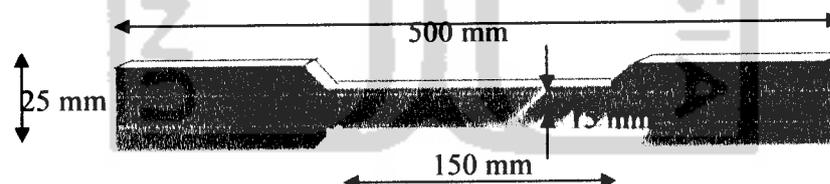
4.2.1 Bahan

4.2.1.1 Benda Uji Pendahuluan

Benda uji pendahuluan berupa benda uji kuat tarik bahan dan kuat geser las dari profil siku yang digunakan.

a. Benda Uji Tarik Bahan

Benda uji yang digunakan sebanyak dua buah. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh baja (F_y), tegangan ultimit baja (F_u), dan Modulus Elastis baja (E), adapun bentuk dari benda uji seperti gambar berikut :



Gambar 4.2 Benda Uji Untuk Uji Kuat Tarik

Berdasarkan besar tegangan leleh, ASTM membagi baja dalam empat kelompok yaitu : (Padosbajayo, 1994)

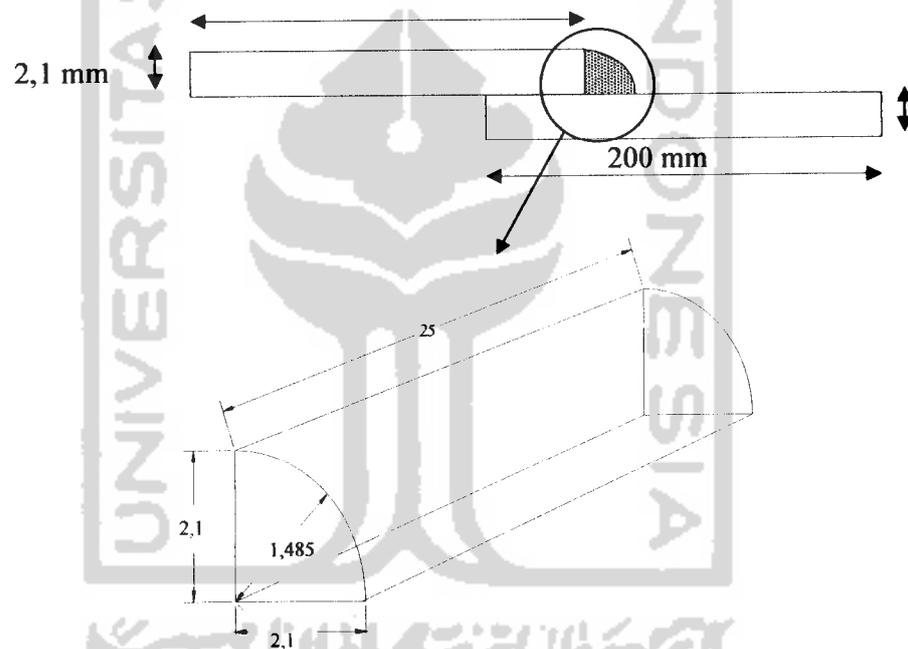
- a. *Carbon steels*, tegangan leleh 210 – 260 Mpa
- b. *High-strength low-alloy steels*, tegangan leleh 280-490 Mpa

c. *Heat treated carbon and high-strength low alloy steels*, tegangan leleh 322-700 Mpa

d. *Heat-treated constructional alloy steels*, tegangan leleh 630-700 Mpa

b. Benda Uji Sambungan Las

Benda uji yang digunakan sebanyak dua buah. Pengujian ini untuk mengetahui kekuatan batas (F_u) sambungan las dan juga untuk mengetahui jenis elektroda yang dipakai. Adapun bentuk benda ujinya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Benda uji sambungan las

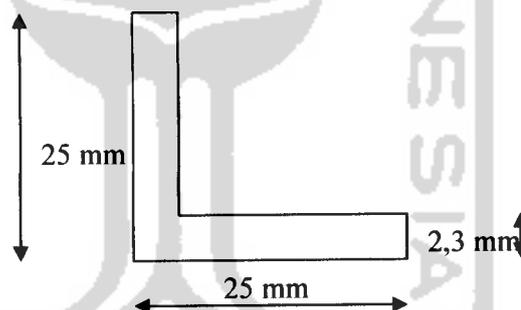
Berdasarkan ASTM jenis kawat las beserta tegangan minimumnya elektroda las dibedakan menjadi : (Padosbajayo, 1992)

Tabel 4.1 Jenis Kawat Las beserta Tegangan Minimumnya

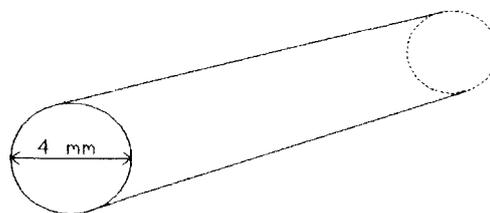
Elektroda	Tegangan Leleh Minimum		Kuat Tarik Minimum	
	(Ksi)	(Mpa)	(Ksi)	(Mpa)
E 60 $\alpha\beta$	50	345	67	460
E 70 $\alpha\beta$	57	395	70	485
E 80 $\alpha\beta$	67	460	72	495
E100 $\alpha\beta$	87	600	100	690
E110 $\alpha\beta$	97	670	110	760

4.2.1.2 Sampel Benda Uji**a. Baja profil**

Baja profil yang digunakan adalah baja profil siku 25 x 25 x 2.3 mm sebagai kolom tersusun dengan variasi panjang kolom (L). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :

**Gambar 4.4 Baja profil siku****b. Batang Perangkai**

Batang perangkai diagonal menggunakan baja bulat polos diameter 4 mm.



Gambar 4.5 Baja bulat polos

c. Las

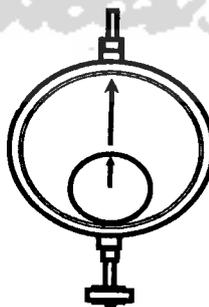
Sambungan las menggunakan kekuatan tarik maksimal.

4.2.2. Peralatan penelitian

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

a. *Dial Gauge*

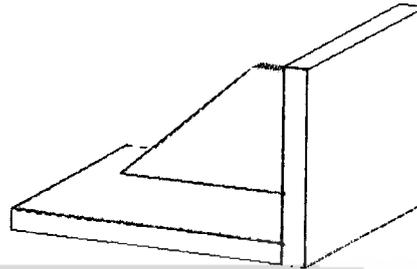
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm. Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah (Gambar 4.6)



Gambar 4.6 *Dial Gauge*

b. *Dukungan Sendi*

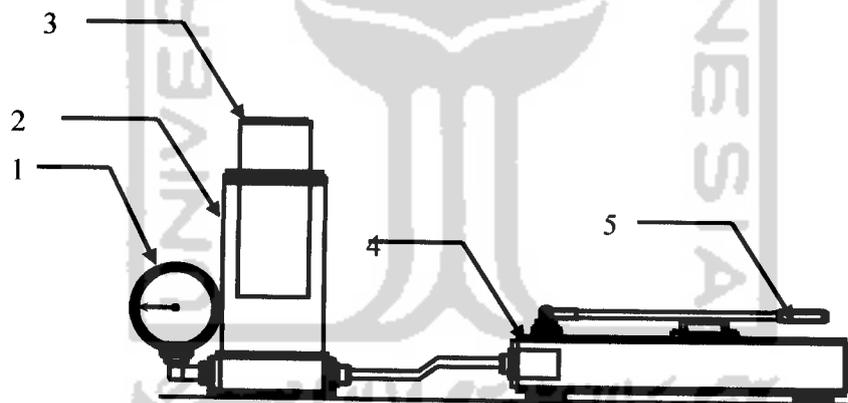
Dukungan sendi dipasang pada kedua dukungan kolom, seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Dukungan Sendi*

c. *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 4.8).



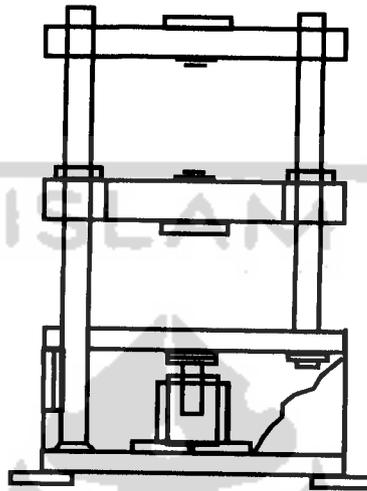
Keterangan :

1. Load sell
2. Hydraulic jack
3. Pembebanan Titik
4. Transducer Indicator
5. Tuas

Gambar 4.8 *Hidraulic Jack*

d. *Mesin Uji Kuat Tarik*

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu universal Testing Material (UTM) merk Shimadzu type UMH-330 dengan kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 *Universal Testing Material Shimadzu UMH30*

e. *Jangka Sorong*

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

4.3 Pelaksanaan Penelitian

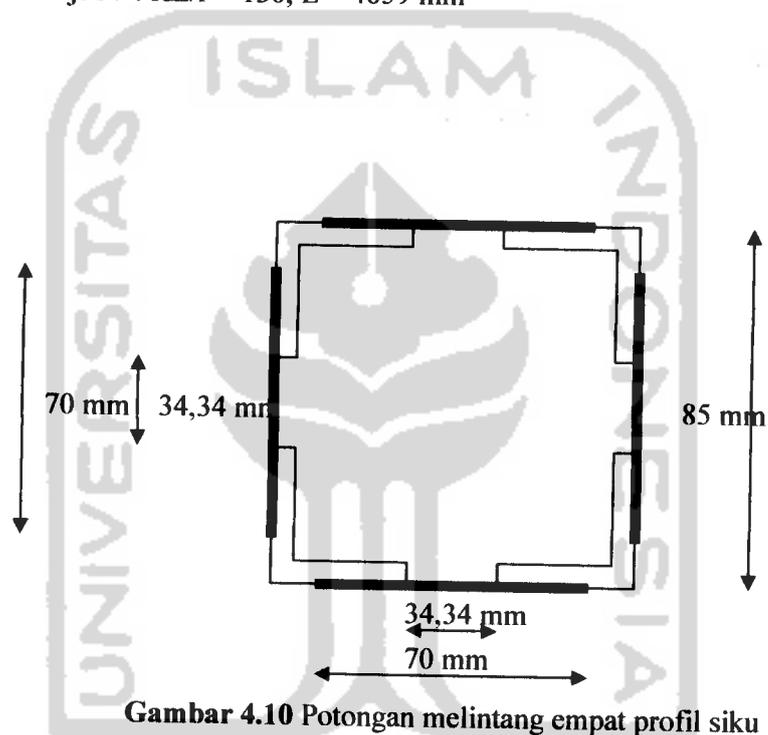
Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut :

4.3.1. Pembuatan Benda Uji

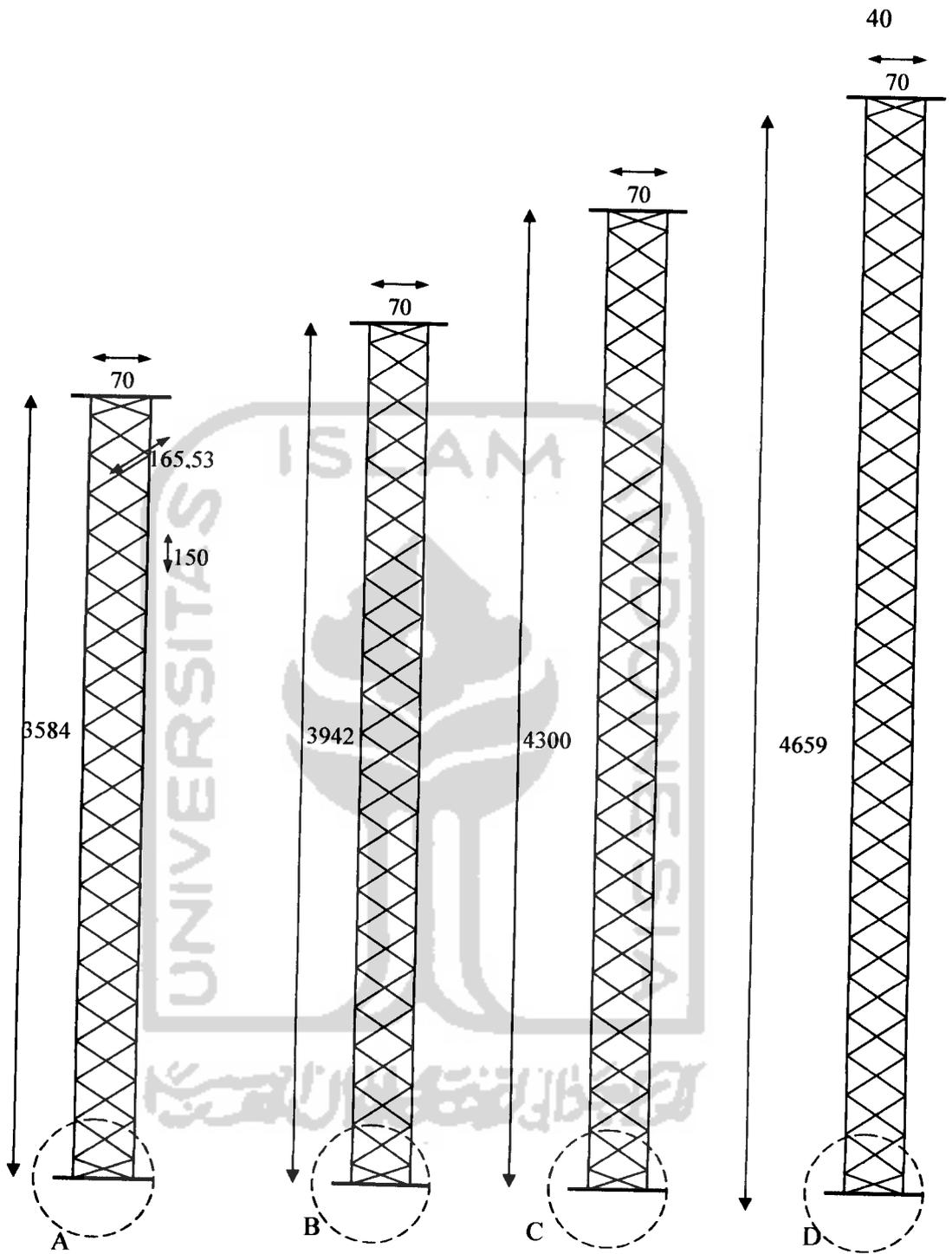
Benda uji ini terbuat dari empat batang profil L seperti Gambar 4.4 dirangkai dengan baja tulangan P4. Jarak eksentrisitas beban terhadap pusat berat konstan

yaitu 18 mm. Pada penelitian ini digunakan 4 model benda uji dimana jarak tinggi perangkat (L_1) tetap yaitu 150 mm, jarak antar profil (a) tetap yaitu 70 mm.

- a. Benda uji I : $KL/r = 100$, $L = 3584$ mm
- b. Benda uji II : $KL/r = 110$, $L = 3942$ mm
- c. Benda uji III : $KL/r = 120$, $L = 4300$ mm
- d. Benda uji IV : $KL/r = 130$, $L = 4659$ mm



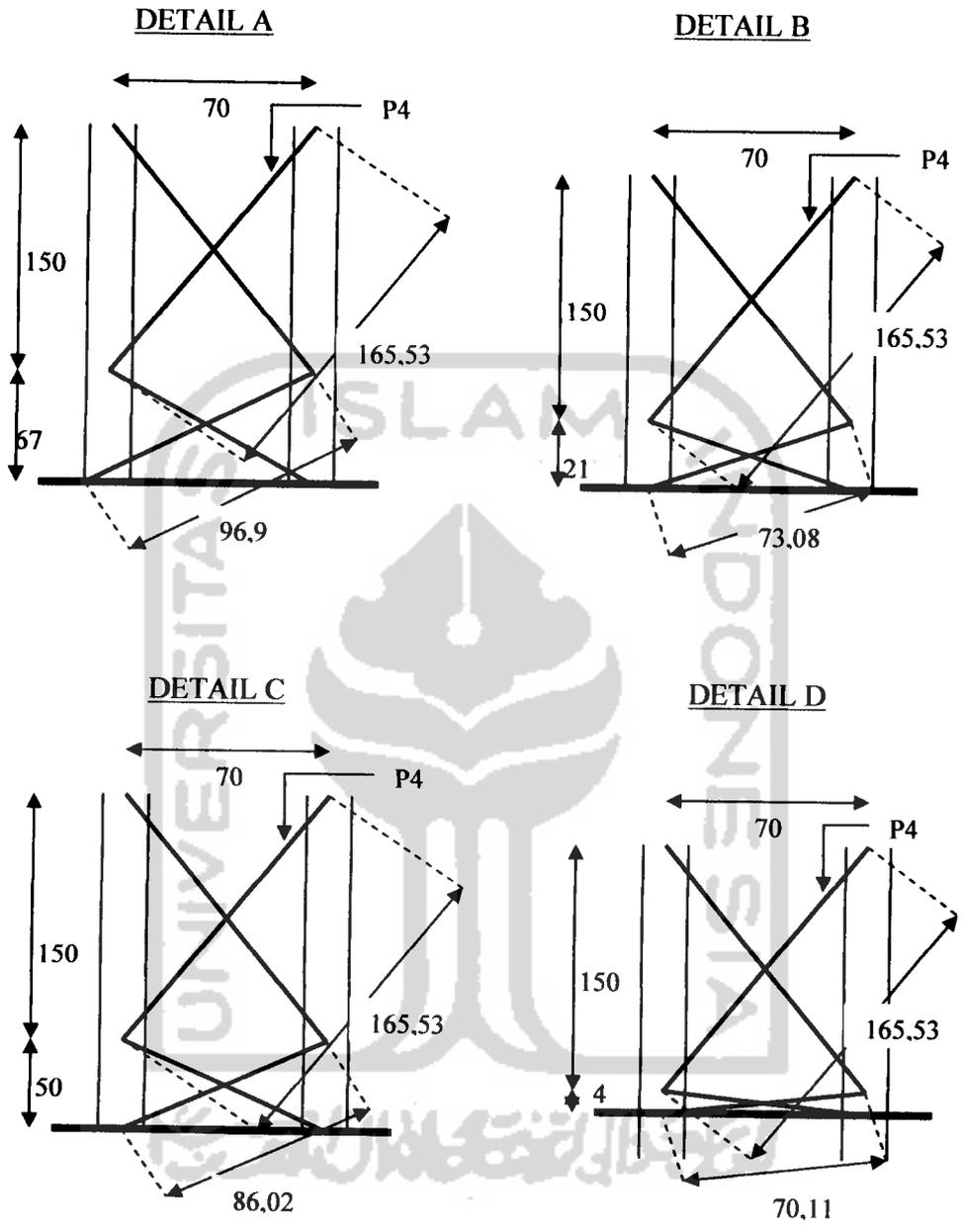
Gambar 4.10 Potongan melintang empat profil siku



Sampel 1, $KL/r=100$ Sampel 1, $KL/r=110$ Sampel 1, $KL/r=120$ Sampel 1, $KL/r=130$

satuan : mm

Gambar 4.11 Sampel kolom tersusun

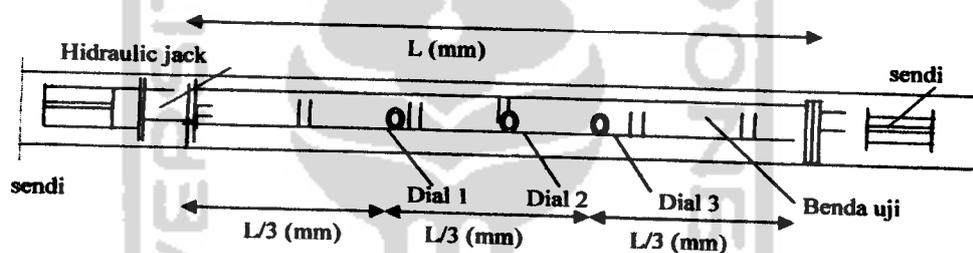


satuan : mm

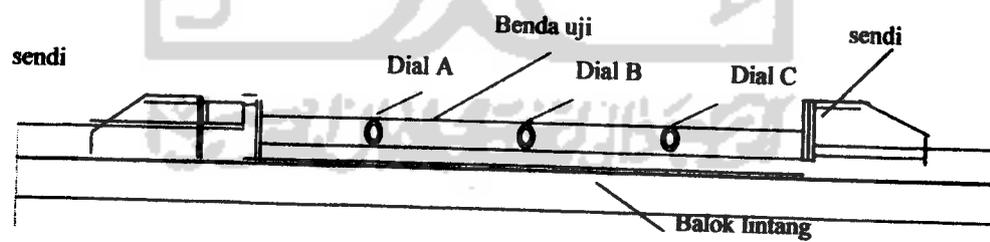
Gambar 4.12 Detail Sampel Kolom Tersusun

4.3.2. Setting Peralatan

Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan setting terhadap peralatan yang akan dipergunakan sebagai berikut: Benda uji diletakkan diantara dukungan sendi dengan posisi tidur. Perletakan benda uji dengan posisi tidur dikarenakan terbatasnya tinggi dari *Loading Frame* yang kurang dari 3 meter. Selanjutnya pada salah satu dukungan sendi dipasang *Hydrolik Jack*. *Dial Gauge* diletakkan pada 3 tempat, tiap $1/3$ bentang kolom, hal ini dilakukan untuk menjaga tekuk yang terjadi, dimana arah tekuk kolom yang terjadi pada penampang ada kemungkinan yaitu searah sumbu x atau searah sumbu y.



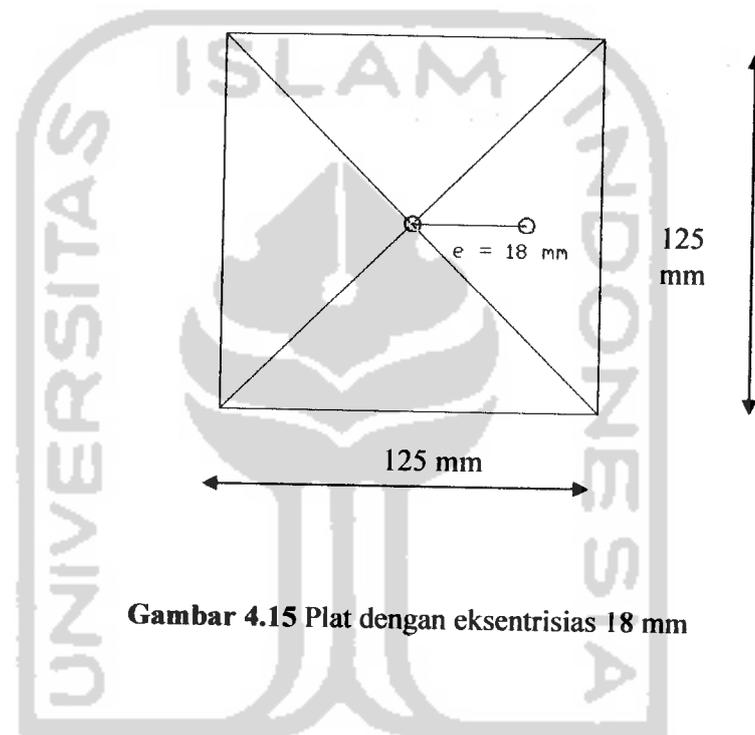
Gambar 4.13 Benda uji tampak atas



Gambar 4.14 Benda uji tampak samping

4.3.3. Proses Pengujian Kapasitas Kolom Tersusun Pembebanan Eksentris

Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan eksentris 18 mm tetap dengan variasi panjang kolom (L) secara bertahap untuk mengetahui kekuatan tekan pada kolom tersusun. Sebelum sampel diuji terlebih dahulu plat pada sampel tersebut ditandai untuk mendapatkan titik tengah dan juga titik eksentris ($e=18$ mm) dari sampel tersebut, seperti gambar berikut :



Gambar 4.15 Plat dengan eksentrisitas 18 mm

Setelah *dial gauge* dipasang dan *hydraulic jack* siap dipompa saat pembebanan eksentris benda uji tersebut sudah dianggap tepat maka pengujian tekan dapat dilakukan. Pengujian sampel pada penelitian ini dilakukan dengan cara uji tidur, seperti tampak pada gambar 4.14.

Pengujian dengan menggunakan *dial gauge* yang dilakukan untuk mendapatkan lendutan dan beban maksimum yang terjadi. Proses pelaksanaan pengujian ini dengan cara memompa *hydraulic jack* secara bertahap setiap



BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Uji Pendahuluan

Pengujian yang dilakukan meliputi uji pendahuluan dan uji kuat tekan kolom tersusun. Adapun uji pendahuluan berupa uji kuat tarik baja dan uji kuat geser sambungan las. Pengujian ini berguna untuk mengetahui kekuatan bahan yang dipakai guna mengetahui perilaku kolom tersusun dengan kelangsingan bervariasi yang menerima beban eksentris, serta untuk mengetahui jenis baja dan elektroda yang dipakai berdasarkan ASTM.

5.1.1.1 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. Dari hasil pengujian kuat tarik didapat hasil pada Tabel 5.1.

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 ($F_u = P_u / A$).

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Profil Siku

Benda Uji	Beban Leleh (P_y) (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Leleh (F_y) (Mpa)
Sampel 1 Profil Siku	8829	34,5	255,91
Sampel 2 Profil Siku	13194	36,8	358,54
Rata – Rata	-	-	307,23

Benda Uji	Beban Ultimit (P_u) (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Ultimit (F_u) (Mpa)
Sampel 1 Profil Siku	12312	34,5	356,87
Sampel 2 Profil Siku	19571	36,8	531,83
Rata – Rata	-	-	444,35

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 ($F_u = P_u / A$).

5.1.1.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las

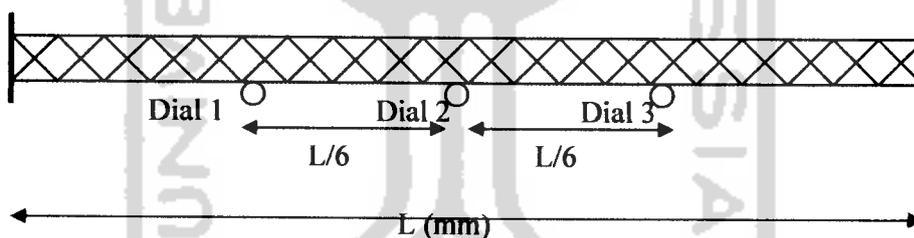
Uji kuat geser sambungan las dilakukan guna mengetahui kekuatan maksimum geser las yang digunakan pada sambungan benda uji, serta jenis elektroda yang digunakan. Hasil uji geser las ditunjukkan dalam Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Geser Las

Benda Uji	Luas Las (mm ²)	Beban Maksimum(N)	Tegangan Ultimit (F_u) (Mpa)
Sampel 1	37,13	13783,05	371,21
Sampel 2	37,13	9270,45	249,66
Rata - Rata	-	-	310,44

5.1.2 Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun

Pengujian kuat tekan kolom tersusun dilakukan menggunakan alat dukungan Loading Frame dan alat pembebanan *Hidraulic jack* di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Struktur dibebani beban aksial eksentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 3,924 kN (400 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 dengan jarak $\frac{L}{6}$ mm. Pemasangan dial dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan tabel hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.3.



Gambar 5.1 Penempatan Dial Pada Benda Uji

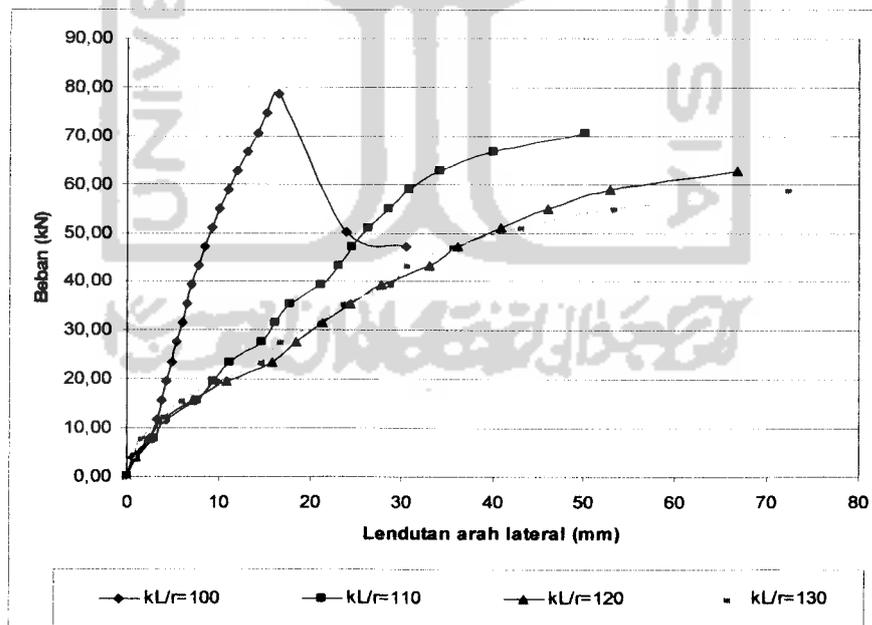
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun

BENDA UJI 1 KL/r = 100				BENDA UJI 2 KL/r = 110				BENDA UJI 3 KL/r = 120				BENDA UJI 4 KL/r = 130			
beban	dial 1	dial 2	dial 3	beban	dial 1	dial 2	dial 3	beban	dial 1	dial 2	dial 3	beban	dial 1	dial 2	dial 3
kN	mm	mm	mm												
0,00	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0	0	0
3,92	0,24	0,71	0,58	3,92	0,89	1,02	1,12	3,92	0,78	1,01	0,78	3,92	0,34	0,73	0,42
7,85	1,66	2,41	2,04	7,85	2,41	2,92	3,03	7,85	1,92	2,38	2,10	7,85	1,14	1,53	1,09
11,77	2,07	3,16	2,59	11,77	3,65	4,27	4,41	11,77	3,14	3,87	3,50	11,77	3,24	3,74	2,92

Lanjutan Tabel 5.3

15,70	2,45	3,75	3,07	15,70	5,71	7,55	8,89	15,70	5,88	7,12	6,51	15,70	5,36	5,84	4,62
19,62	2,80	4,27	3,50	19,62	8,67	9,33	10,55	19,62	9,02	10,81	9,89	19,62	9,85	9,80	7,60
23,54	3,20	4,89	3,97	23,54	9,45	11,12	12,18	23,54	13,40	15,89	14,54	23,54	14,96	14,57	10,90
27,47	3,55	5,36	4,35	27,47	12,62	14,65	15,25	27,47	15,75	18,43	16,85	27,47	17,01	16,72	12,55
31,39	3,95	5,96	4,80	31,39	13,90	16,12	16,55	31,39	18,30	21,41	19,47	31,39	21,19	20,97	15,85
35,32	4,34	6,50	5,25	35,32	15,56	17,85	18,03	35,32	20,92	24,40	22,03	35,32	23,87	23,63	17,89
39,24	4,76	6,95	5,68	39,24	18,50	21,22	20,85	39,24	23,92	27,74	24,63	39,24	26,95	28,76	23,09
43,16	5,25	7,77	6,28	43,16	20,30	23,11	22,45	43,16	28,79	33,17	29,23	43,16	29,40	30,57	23,15
47,09	5,79	8,45	6,85	47,09	21,70	24,63	23,67	47,09	30,42	36,16	32,70	47,09	33,67	35,57	27,70
51,01	6,40	9,24	7,51	51,01	23,17	26,38	25,03	51,01	34,35	40,81	35,38	51,01	40,25	43,03	34,50
54,94	7,00	9,95	8,13	54,94	25,22	28,58	26,70	54,94	39,17	46,09	39,47	54,94	46,89	53,12	41,47
58,86	7,79	10,98	9,02	58,86	27,45	30,82	28,41	58,86	45,49	52,83	44,71	58,86	61,68	72,31	54,59
62,78	8,65	12,04	9,97	62,78	29,55	34,22	32,01	62,78	57,94	66,68	55,34				
66,71	9,42	13,03	10,82	66,71	36,98	40,12	35,41								
70,63	10,33	14,16	11,81	70,63	42,60	50,12	45,65								
74,56	11,28	15,26	12,76												
78,48	12,22	16,51	13,73												
50,03	19,02	23,97	19,17												
47,09	25,82	30,56	23,79												

Dari Tabel 5.3 dapat dibuat grafik beban dengan lendutan arah lateral seperti pada Gambar 5.2



Gambar 5.2 Grafik hubungan beban dengan lendutan arah lateral

Dari Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa grafik semakin landai sesuai meningkatnya kelangsingan kolom. Semakin besar kelangsingan kolom maka semakin besar lendutan yang terjadi tetapi beban yang dapat ditahan kolom semakin kecil. Hal ini berarti kekakuan kolom tersebut semakin rendah.

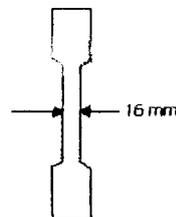
5.2 Pembahasan

5.2.1 Pembahasan 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 cara membagi beban maksimum dengan panjang las, sehingga kekuatan las persatuan panjang (per millimeter) diketahui dengan cara tersebut.

5.2.1.1 Uji Tarik Baja

Uji tarik baja untuk menentukan berapa besar tegangan leleh (F_y) dari benda uji tersebut dan juga jenis baja menurut ASTM. Berikut ini adalah contoh benda uji



Gambar 5.3 Benda Uji Kuat Tarik Bahan

Data hasil pengujian kuat tarik bahan dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini :

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Beban Leleh (P_y) (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Leleh (F_y) (Mpa)
Sampel 1 Profil Siku	8829	34,5	255,91
Sampel 2 Profil Siku	13194	36,8	358,54
Rata – Rata	-	-	307,23

Benda Uji	Beban Ultimit (P_u) (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Ultimit (F_u) (Mpa)
Sampel 1 Profil Siku	12312	34,5	356,87
Sampel 2 Profil Siku	19571	36,8	531,83
Rata – Rata	-	-	444,35

Hasil pengujian kuat tarik dan tegangan maksimum baja rata-rata diatas menunjukkan mutu baja yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan ketentuan ASTM (halaman 33, Bab IV) dapat diketahui bahwa mutu baja yang dipakai adalah *High-strength low-alloy steels*

5.2.1.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las

Uji kuat geser sambungan las dilakukan guna mengetahui kekuatan maksimum geser las yang digunakan pada sambungan benda uji, serta jenis elektroda yang digunakan, hasil uji geser las ditunjukkan dalam Tabel 5.5

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Kuat Geser Las

Benda Uji	Luas Las (mm ²)	Beban Maksimum(N)	Tegangan Ultimit (Fu) (Mpa)
Sampel 1	37,13	13783,05	371,21
Sampel 2	37,13	9270,45	249,66
Rata - Rata	-	-	310,44

Dari tabel diatas berdasarkan ASTM sesuai ketentuan berikut :

Tabel 5.6 Jenis Kawat Las beserta Tegangan Minimumnya

Elektroda	Tegangan Leleh Minimum		Kuat Tarik Minimum	
	(Ksi)	(Mpa)	(Ksi)	(Mpa)
E 60 $\alpha\beta$	50	345	67	460
E 70 $\alpha\beta$	57	395	70	485
E 80 $\alpha\beta$	67	460	72	495
E100 $\alpha\beta$	87	600	100	690
E110 $\alpha\beta$	97	670	110	760

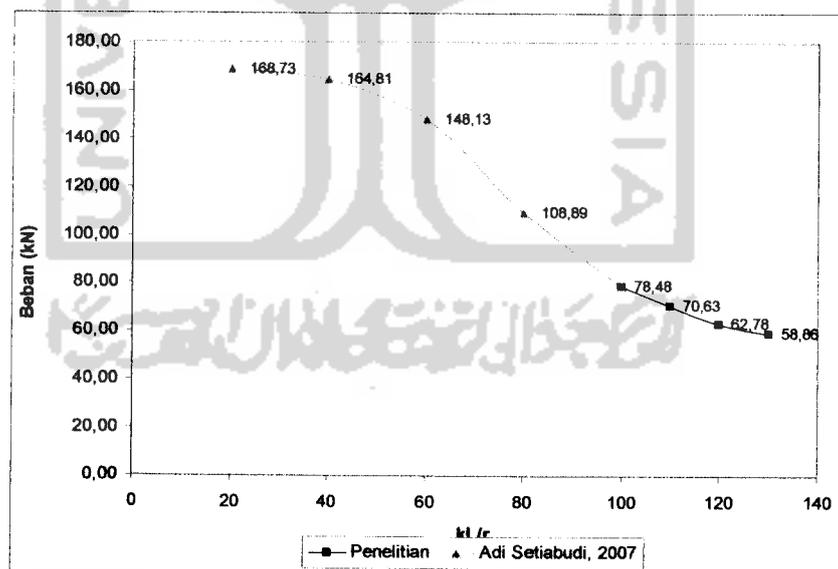
Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa jenis elektroda yang dipakai tidak termasuk kedalam klasifikasi ASTM diatas. Karena nilai tegangan ultimit las berada dibawah klasifikasi elektroda E60 (345 Mpa) yaitu 310,44 MPa. Hal ini dapat disebabkan karena kurang teliti dalam perhitungan luasan, terjadi porositas pada las, dsb. Nilai tegangan ultimit las ini menunjukkan bahwa sambungan las yang digunakan lebih kuat daripada profil baja sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada pada profil baja.dan bukan pada sambungan las.

5.2.2 Pembahasan Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun

5.2.2.1 Hubungan Beban Kritis (P_{cr}) dengan Kelangsingan (KL/r)

Dari grafik hubungan beban lendutan hasil pengujian kuat tekan kolom tersusun dengan variasi kelangsingan benda uji terlihat bahwa semakin besar nilai kelangsingannya 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 kelangsingan (KL/r) 100 mampu menahan beban 78,48 kN, benda uji kedua dengan kelangsingan (KL/r) 110 mampu menahan beban 70,632 kN, benda uji ketiga dengan kelangsingan (KL/r) 120 mampu menahan beban 62,784 kN, dan untuk benda uji keempat dengan kelangsingan (KL/r) 130 mampu menahan beban dan 58,86 kN Hubungan antara kelangsingan (KL/r) dengan beban dapat dilihat pada gambar 5.4 sebagai berikut :



Gambar 5.4 Grafik hubungan beban dengan KL/r penelitian

Dari Gambar 5.4 terlihat bahwa besarnya beban kritis (P_{cr}) dipengaruhi oleh nilai kelangsingan (KL/r), semakin besar nilai kelangsingan maka beban yang dapat ditahan oleh kolom semakin kecil. Hal ini sesuai dengan persamaan 3.59, dari persamaan itu nampak bahwa beban kritis (P_{cr}) berbanding dengan kelangsingan kuadrat ($(KL/r)^2$), semakin besar nilai kelangsingan maka beban kritis akan semakin kecil. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di Lampiran 2.

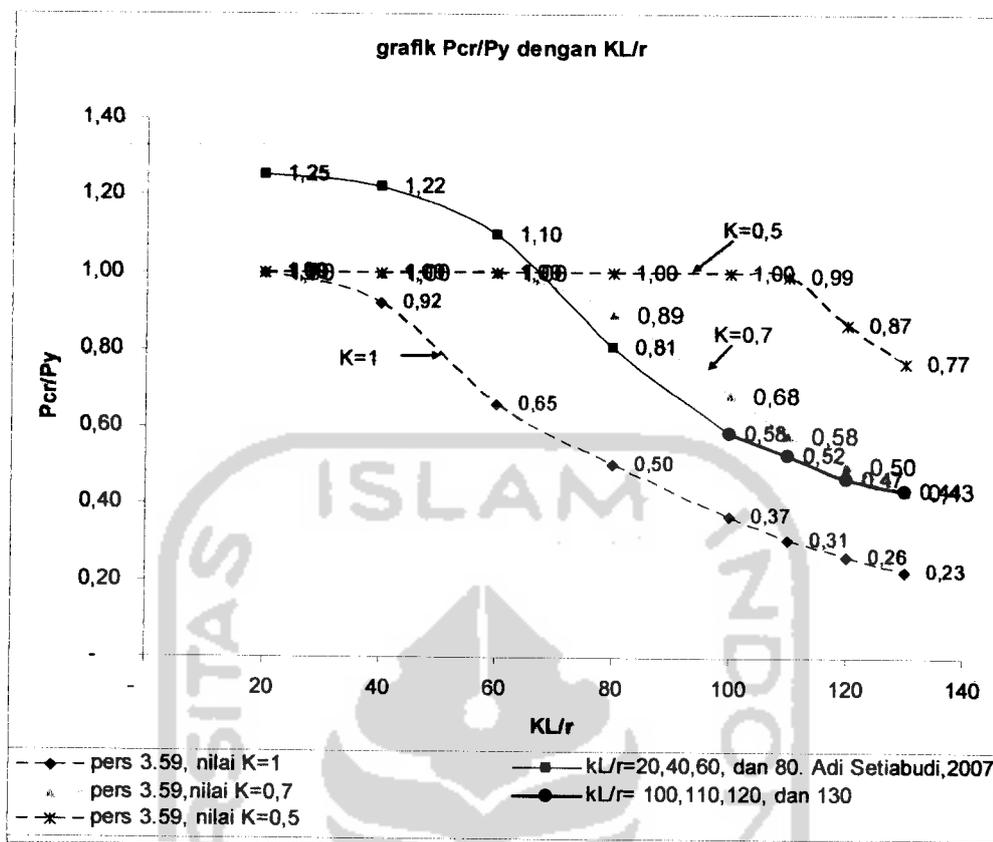
5.2.2.2 Perbandingan Antara Perhitungan Teoritis (Persamaan 3.59) Dengan Hasil Pengujian

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

Benda uji kL/r	P_{cr} penelitian	P_y penelitian	P_{cr}/P_y	P_{cr} teoritis	P_y teoritis	P_{cr}/P_y K=1	P_{cr}/P_y K=0,7	P_{cr}/P_y K=0,5
100	78,48	134,82	0,58	49,33	134,82	0,37	0,68	1,14
110	70,63	134,82	0,52	41,46	134,82	0,31	0,58	0,99
120	62,78	134,82	0,47	35,29	134,82	0,26	0,50	0,87
130	58,86	134,82	0,44	30,38	134,82	0,23	0,43	0,77

Dari Tabel 5.7 dapat ditampilkan dalam grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) antara beban kritis pengujian dengan beban kritis teoritis dengan nilai K (=kondisi ujung) yang berbeda beda. K = 1 untuk kondisi ujung sendi-sendii, K = 0,7 untuk kondisi ujung sendi-jepit sedangkan K = 0,5 untuk kondisi ujung jepit-jepit.



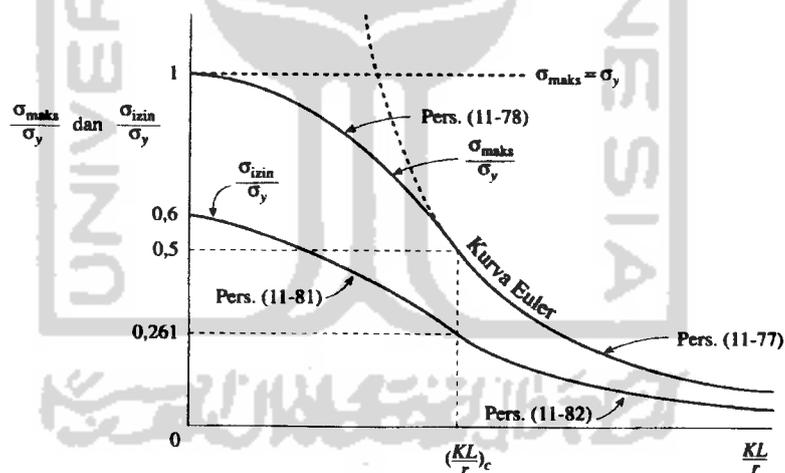
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara P_{cr}/P_y dengan KL/r . Hasil Pengujian dengan Teoritis.

Berdasarkan pada Gambar 5.5 menunjukkan bahwa beban yang dapat diterima kolom sudah mendekati teori pada persamaan 3.59 dengan nilai $K=1$ tetapi hasil penelitian lebih besar daripada teori pada persamaan 3.59. Hal ini disebabkan karena :

- a. Kolom yang harusnya didukung dengan dukungan sendi-sendi dengan nilai $K = 1$, bisa tidak murni sendi-sendi, karena jarak diantara sendi dengan kolom diberi plat tambahan yang bisa mengubah perilaku dukungan sendi-sendi menjadi jepit-sendi atau jepit-jepit sehingga nilai $K < 1$ dan membuat kolom bisa menerima beban lebih besar daripada teori

pada persamaan (3.42). Berdasarkan pada gambar 5.5 terlihat bahwa hasil penelitian mendekati grafik dengan nilai $K=0,7$ (sendi-jepit). Grafik hasil penelitian tersebut berada dibawah grafik teori dengan nilai $K=0,7$, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantara adalah karena kurang teliti dalam membaca dial, alat yang jarang dikalibrasi, terjadi tegangan residu akibat pengelasan, dsb. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran 2 (Perhitungan Teoritis Kapasitas Kolom Tersusun dengan Berbagai Kelangsingan).

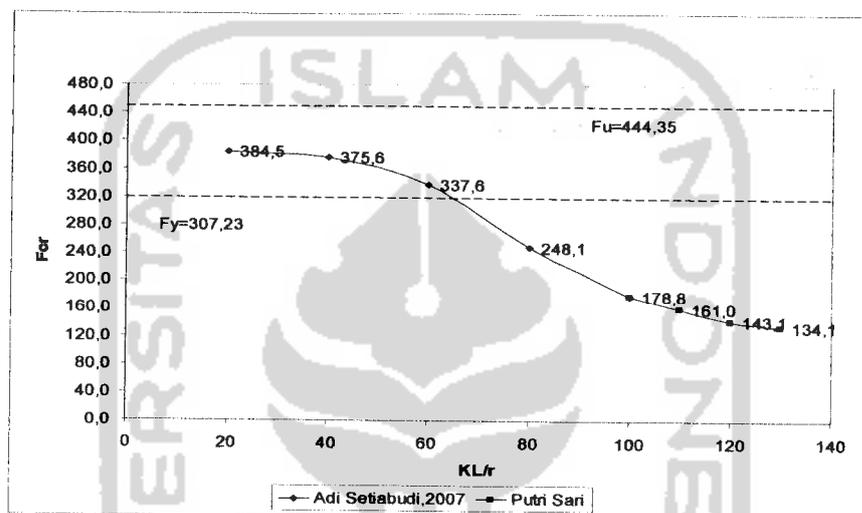
Pada Gambar 5.5 juga terlihat bahwa tren grafik hasil penelitian menyerupai Grafik Sekan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3 maupun Grafik AISC (*Gere dan Timoshenko, 2000*) seperti berikut :



Gambar 5.6 Rumus desain untuk kolom baja-struktural (AISC)

5.2.2.3 Pola Kegagalan

Pola kegagalan yang terjadi pada kolom dapat diketahui dan dilihat pada pengujian tekan di laboratorium. Pada pengujian tersebut, pola kegagalan yang terjadi pada benda uji pertama dengan kelangsingan (KL/r) 100 adalah tekuk lokal (*local buckling*). Sedangkan benda uji dengan kelangsingan (KL/r) 110, 120 dan 130, pola kegagalan yang terjadi adalah tekuk menyeluruh (*overall buckling*).



Gambar 5.7 Grafik Pola Kegagalan

Dari Gambar 5.7 nampak bahwa pada kelangsingan 100, 110, 120 dan 130 terjadi kegagalan tekuk sebelum mencapai tegangan leleh.

Hal ini dapat terjadi karena semakin kecil nilai kelangsingan (KL/r) maka F_{cr} plat akan semakin besar bahkan bisa lebih dari F_{cr} keseluruhan, sehingga keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk lokal kolom. Sebaliknya, jika kelangsingan (KL/r) semakin bertambah maka F_{cr} plat akan semakin kecil bahkan bisa lebih kecil dari F_{cr} keseluruhan, sehingga keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk keseluruhan kolom. Hal ini sesuai syarat terjadinya tekuk lokal, yaitu F_{cr}

plat < F_{cr} keseluruhan. Untuk lebih jelasnya tekuk yang terjadi pada kolom dapat dilihat pada foto saat pengujian (Lampiran 4). Pada tabel berikut ditampilkan analisa pola kegagalan.

Tabel 5.8 Analisis Pola Kegagalan

kL/r	E (Mpa)	F_{cr} keseluruhan : $\pi^2 E / (kL/r)^2$ (Mpa)	P (N)	A (mm ²)	k	F_{cr} plat : $k\pi^2 E / (12*(1-\mu^2)(b/t)^2)$ (Mpa)	pola kegagalan
100	200000	197,39	78480	438,84	0,117	178,8	local buckling
110	200000	160,21	70632	438,84	0,105	161,0	overall buckling
120	200000	137,08	62784	438,84	0,094	143,1	overall buckling
130	200000	116,80	58860	438,84	0,088	134,1	overall buckling

Dari Tabel 5.8 dapat diketahui bahwa semakin besar kelangsingan maka semakin kecil koefisien tekuk plat akibat tekan (k). Semakin besar kelangsingan maka F_{cr} keseluruhan semakin kecil bahkan lebih kecil dari F_{cr} plat sehingga menyebabkan tekuk keseluruhan.

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 dengan variasi nilai kelangsingan (KL/r) serta pembebanan eksentris (e) adalah sebagai berikut :

1. Kapasitas kolom dipengaruhi oleh nilai kelangsingan (KL/r). Semakin besar nilai kelangsingan maka beban yang dapat ditahan oleh kolom semakin kecil. Hal ini sesuai dengan persamaan 3.59. Dalam persamaan 3.59 terlihat bahwa kelangsingan (KL/r) adalah faktor pembagi kuadrat yang menyebabkan nilai beban kritis (P_{cr}) menjadi turun atau berkurang bersamaan dengan naiknya nilai kelangsingan. Beban yang dapat ditahan untuk kolom dengan nilai kelangsingan $\left(\frac{KL}{r}\right)$ 100, 110, 120 dan 130 berturut-turut adalah 78,48 kN; 70,63 kN; 62,78 kN dan 58,86 kN.

2. Semakin besar nilai $\frac{KL}{r}$ maka $\frac{P_{cr}}{P}$ akan semakin kecil. Untuk benda uji dengan nilai kelangsingan 100, 110, 120 dan 130 maka besarnya $\frac{P_{cr}}{P}$ untuk masing-masing adalah 0,582; 0,524; 0,466; dan 0,437.

3. Kegagalan pada benda uji dengan nilai kelangsingan 100 adalah tekuk lokal. Benda uji dengan nilai kelangsingan diatas 100 kegagalan yang terjadi berupa tekuk menyeluruh.

6.2. Saran

Penelitian ini masih banyak kekurangan, banyak hal yang masih bisa diteliti lebih lanjut. Kekurangan yang perlu diperhatikan pada penelitian selanjutnya tentang kuat tekan kolom tersusun dari empat profil siku dengan pembebanan eksentris adalah :

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan nilai eksentrisitas bervariasi untuk mendapatkan berbagai grafik penelitian dengan berbagai kelangsingan.
2. Perlu diadakan penelitian untuk bentuk penampang yang sama tetapi memiliki dimensi penampang yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

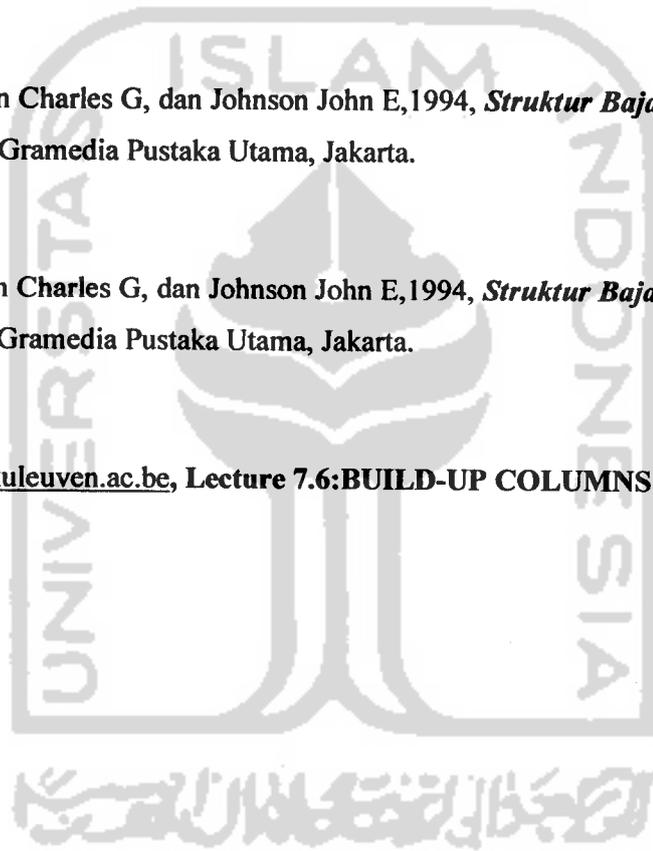
Gere dan Timoshenko,2000, *Mekanika Bahan*,Penerbit Erlangga Jakarta.

PADOSBAJAYO,1994, *Bahan Kuliah Pengetahuan Dasar Struktur Baja*,
PADOSBAJAYO,Yogyakarta.

Salmon Charles G, dan Johnson John E,1994, *Struktur Baja Disain dan Perilaku 1*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Salmon Charles G, dan Johnson John E,1994, *Struktur Baja Disain dan Perilaku 2*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

www.kuleuven.ac.be, Lecture 7.6:BUILD-UP COLUMNS





UNTUK MAHASISWA

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA	NO. MHS.	BIDANG STUDI
PUTRI SARI ARIYATI	03511047	TEKNIK SIPIL

PERIODE KE : 3 (Maret 2007 - Ags 2007)

No.	Kegiatan	BULAN KE:					
		MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS
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 NURSODIK, Ir. MT.
Dosen Pembimbing II : FATKHURROHMAN NURSODIK, Ir. MT.

JUDUL TUGAS AKHIR

Kapasitas Kolom Tersusun Empat Profil Siku Dengan Kelangsingan 60 Akibat Beban Eksentris



Jogyakarta, 3/1/2007

an. Dekan

Ir. H. Fatso, AM, MS.

Catatan:

Seminar :

Sidang :

Pendadaran :



LAMPIRAN 1

PERENCANAAN KOLOM TERSUSUN

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN EMPAT PROFIL SIKU
DENGAN
PEMBEBANAN EKSENTRIS**

A. Data Perencanaan Benda Uji

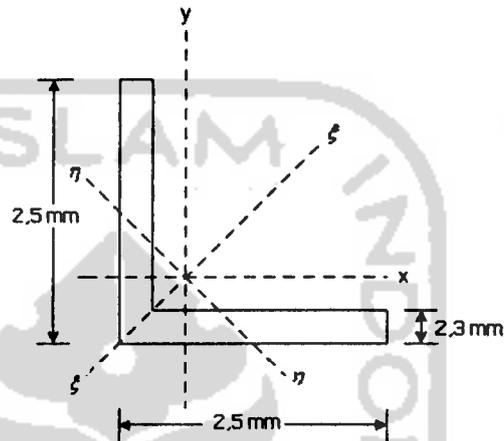
Ketentuan-ketentuan dalam perencanaan kolom tersusun pada keempat benda uji untuk penelitian pengujian kuat tekan, adalah sebagai berikut :

1. Profil baja yang digunakan untuk perencanaan kolom tersusun adalah profil baja siku 4 (25 x 25 x 2,3) mm dan tulangan ukuran \varnothing 4 mm.
2. Variasi pada keempat benda uji terletak pada variasi kelangsingan ($\frac{kL}{r}$), dimana jarak antar profil (a), jarak antar batang perangkai (L_1) dan penampang profil gabungan adalah konstan. Variasi kelangsingan untuk tiap benda uji adalah :
 - a. Benda uji I dengan kelangsingan ($\frac{kL}{r}$) = 100
 - b. Benda uji II dengan kelangsingan ($\frac{kL}{r}$) = 110
 - c. Benda uji III dengan kelangsingan ($\frac{kL}{r}$) = 120
 - d. Benda uji IV dengan kelangsingan ($\frac{kL}{r}$) = 130
3. Perletakan dukungan berupa sendi di kedua ujungnya.

B. Perhitungan Momen Inersia Batang Tunggal

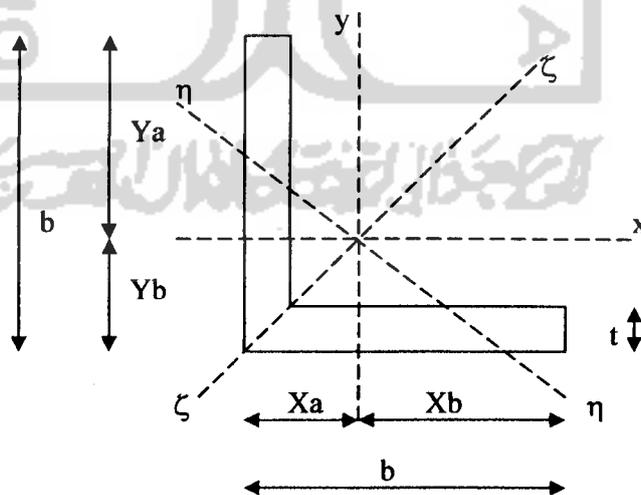
1. Spesifikasi Tampang Profil Siku

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 :

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

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

$$\begin{aligned} A &= ((b-t)xt) + (bxt) \\ &= (22,7 \times 2,3) + (25 \times 2,3) \\ &= 109,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Statis Momen terhadap sisi atas

$$\begin{aligned} X_a = Y_a &= \frac{((b-t)xt) \frac{b-t}{2} + (bxt) \left((b-t) + \frac{t}{2} \right)}{((b-t)xt) + (bxt)} \\ &= \frac{(22,7 \times 2,3) \frac{22,7}{2} + (25 \times 2,3) \left(22,7 + \frac{2,3}{2} \right)}{(22,7 \times 2,3) + (2,5 \times 2,3)} \\ &= 17,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Statis Momen terhadap sisi bawah

$$\begin{aligned} X_b = Y_b &= \frac{((b-t)xt) \left(\frac{b-t}{2} + t \right) + (bxt) \left(\frac{t}{2} \right)}{((b-t)xt) + (bxt)} \\ &= \frac{(22,7 \times 2,3) \left(\frac{22,7}{2} + 2,3 \right) + (25 \times 2,3) \left(\frac{2,3}{2} \right)}{(22,7 \times 2,3) + (25 \times 2,3)} \\ &= 7,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Momen Inersia

Menentukan Momen Inersia (I_x dan I_y)

$$\begin{aligned} I_x = I_y &= \left(\frac{1}{12} b \cdot t^3 \right) + (b \cdot t) \cdot \left(Y_b - \frac{1}{2} t \right)^2 + \left(\frac{1}{12} t \cdot (b-t)^3 \right) + ((b-t) \cdot t) \cdot \left(Y_a - \frac{1}{2} (b-t) \right)^2 \\ &= \left(\frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 2,3^3 \right) + (25 \cdot 2,3) \cdot (5,95)^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot 23 \cdot (22,7)^3 \right) + (22,7 \cdot 2,3) \cdot (6,55)^2 \end{aligned}$$

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

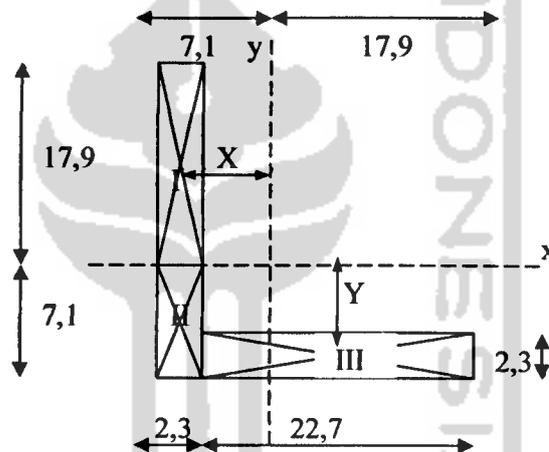
$$= 6542,87 \text{ mm}^4$$

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

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

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

Menentukan I_y dan I_z berdasarkan sumbu kuat dan sumbu lemah bahan.



	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	A*X ₁ *Y ₁ (mm ⁴)
I	17,9*2,3 = 41,17	-(7,1- ¹ / ₂ *2,3) = -5,95	¹ / ₂ *17,9 = 8,95	-2192,41
II	7,1*2,3 = 16,33	-(7,1- ¹ / ₂ *2,3) = -5,95	- ¹ / ₂ *7,1 = -3,55	344,93
III	22,7*2,3 = 52,21	(17,9- ¹ / ₂ *22,7) = 6,55	-(7,1- ¹ / ₂ *2,3) = 5,95	-2034,75
I _{xy} =				-3882,23

$$I_{xy} = -3882,23 \text{ mm}^4$$

$$\tan 2\alpha = \frac{-2I_{xy}}{I_x - I_y}$$

$$\tan 2\alpha = \frac{-2 \cdot (-3882,23)}{0}$$

$$\tan 2\alpha = \infty$$

$$2\alpha = 90^\circ \rightarrow \alpha = 45^\circ$$

$$\begin{aligned} I_\eta &= \frac{I_x + I_y}{2} - \sqrt{I_{xy}^2 + \left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2} \\ &= \frac{6542,87 + 6542,87}{2} - \sqrt{(-3882,23)^2 + \left(\frac{6542,87 - 6542,87}{2}\right)^2} \\ &= 2660,64 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_\eta &= \sqrt{\frac{I_\eta}{A_{\text{tunggal}}}} \\ &= \sqrt{\frac{2660,64}{109,71}} = 4,92 \text{ mm} \end{aligned}$$

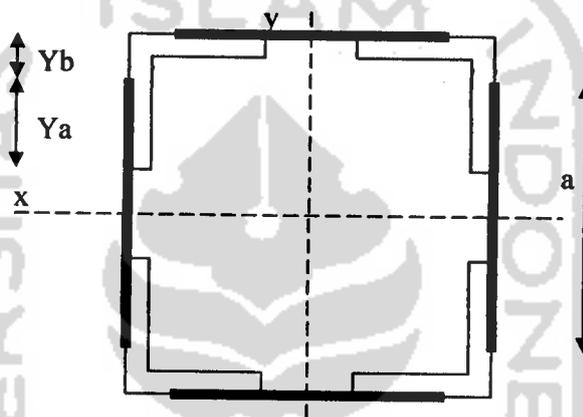
$$\begin{aligned} I_\xi &= \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{I_{xy}^2 + \left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2} \\ &= \frac{6542,87 + 6542,87}{2} + \sqrt{(-3882,23)^2 + \left(\frac{6542,87 - 6542,87}{2}\right)^2} \\ &= 10425,1 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

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

$$= \sqrt{\frac{10425,1}{109,71}} = 9,75 \text{ mm}$$

4. Perencanaan Batang Tersusun

Perhitungan tinggi kolom (L)



Gambar L1.3 Potongan melintang empat profil siku

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

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

$$a = 70 \text{ mm}$$

$$k = l$$

$$\frac{k \cdot L}{r} = 100$$

...(1)

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

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

$$I_{gab} = 4 \cdot 6613,52 + 4 \cdot 109,71 \left(\frac{70}{2}\right)^2$$

$$= 564033,08 \text{ mm}^2$$

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

$$r_{gabungan} = \sqrt{\frac{564033,08}{438,84}}$$

$$r_{gabungan} = 35,84 \text{ mm}$$

Nilai $r_{gabungan}$ dimasukkan ke persamaan (1)

$$\frac{kL}{r} = 100$$

$$\frac{1 \times L}{35,84} = 100$$

$$L = 3584 \text{ mm}$$

KL/r	Igab (mm ⁴)	Agab (mm ²)	a (mm)	r (mm)	L (mm)
100	563750.5	438,84	70	35,842	3584
110	563750.5	438,84	70	35,842	3943
120	563750.5	438,84	70	35,842	4301
130	563750.5	438,84	70	35,842	4659

5. Kontrol Kestabilan Dari Batang Tersusun

Data Profil, sampel 1

$$L_{kx} = 3584 \text{ mm}$$

$$Z = 4$$

$$r_x = 35,84 \text{ mm}$$

$$A_d = 12,57 \text{ mm}^2$$

$$\begin{array}{ll}
 A & = 438,4 \text{ mm}^2 & L_l & = 150 \text{ mm} \\
 L_d & = 165,53 \text{ mm}^2 & a & = 70 \text{ mm} \\
 m & = 2 & &
 \end{array}$$

Kelangsingan pada arah tegak lurus sumbu x-x

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

$$\lambda_x = \frac{3584}{35,84} = 100$$

Kelangsingan batang tersusun yang dihubungkan dengan batang diagonal

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

$$\lambda_l = \pi \sqrt{\frac{438,84 \times 165,53^3}{4 \times 12,57 \times 150 \times 70^2}}$$

$$= 23,056$$

kelangsingan ideal dari batang tersusun terhadap sumbu x dan y:

$$\lambda_{ix} = \lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m}{2} \lambda_l^2}$$

$$= \sqrt{100^2 + \frac{2}{2} 23,044^2}$$

$$= 102,62$$

Untuk menjaga kestabilan elemen-elemen batang tersusun, maka :

$$\lambda_{ix} \geq 1,2 \lambda_l$$

$$\lambda_{ix} \geq 1,2 \times 23,056$$

$$\lambda_{ix} \geq 27,667 \rightarrow \text{ok}$$

$$\lambda_{ix} \geq 1,2 \lambda_y$$

$$\lambda_{ix} \geq 1,2 \times 23,056$$

$$\lambda_{ix} \geq 27,667 \rightarrow ok$$

KL/r	L_{xx} (mm)	λ_x	λ_y	$1,2\lambda_y$	λ_{ix}	Stabil / tidak	λ_{iy}	Stabil / tidak
100	3584	100,01	23,06	27,667	102,63	stabil	102,63	stabil
110	3943	110,01	23,06	27,667	112,40	stabil	112,40	stabil
120	4301	120,01	23,06	27,667	122,20	stabil	122,20	stabil
130	4659	130,01	23,06	27,667	132,04	stabil	132,04	stabil

6. Menentukan Panjang L_1

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

Dari data :

$$r_{min} = 4,92 \text{ mm}$$

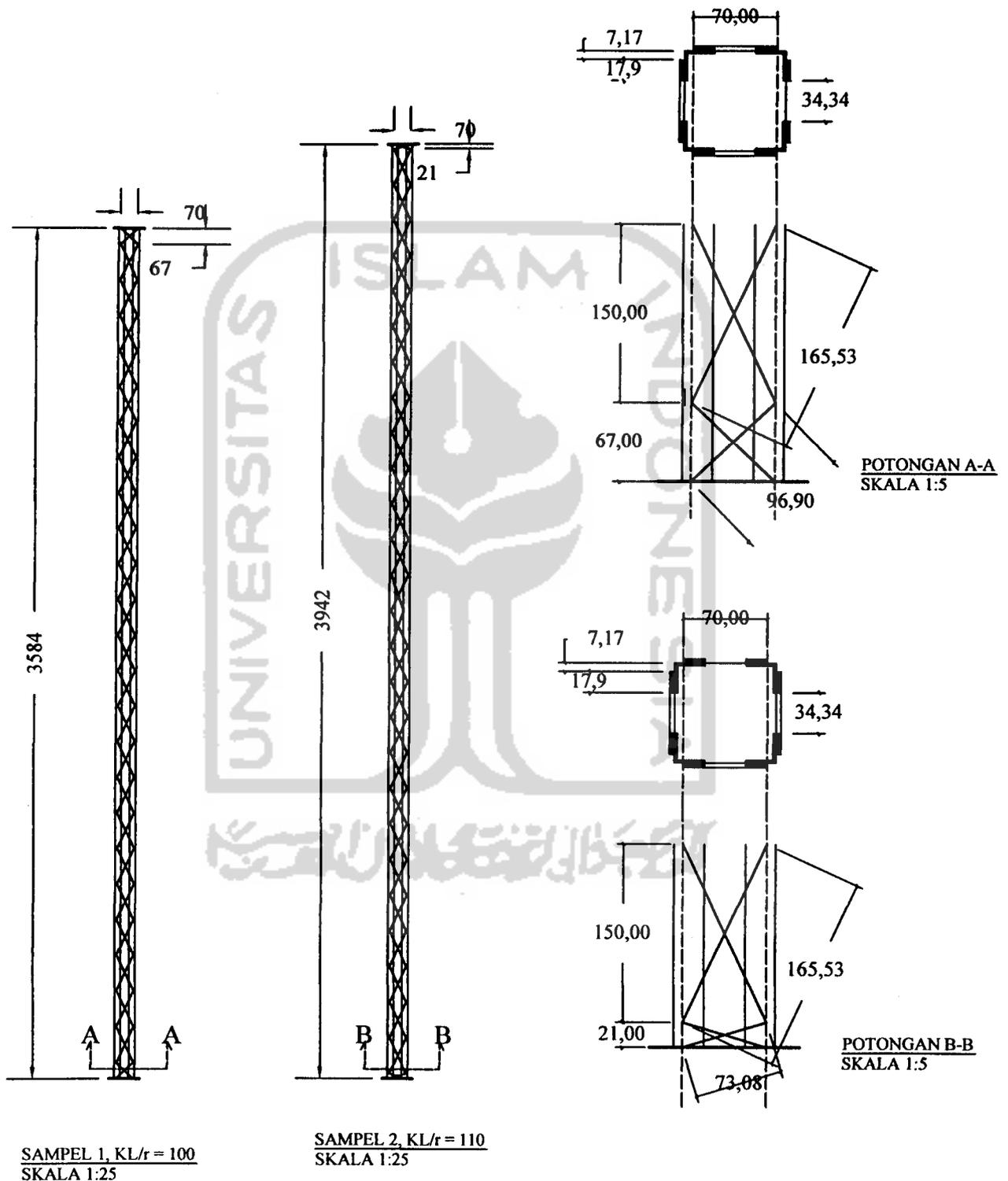
$$L_1 = r_{\eta} \cdot 50$$

$$= 4,92 \times 50$$

$$L_1 = 246 \text{ mm}$$

$$= 24,6 \text{ cm}$$

Dipakai $L_1 = 15 \text{ cm}$



TUGAS AKHIR

KAPASITAS KOLOM TERSUSUN EMPAT
PROFIL SIKU AKIBAT BEBAN EKSENTRIS

GAMBAR L1.4

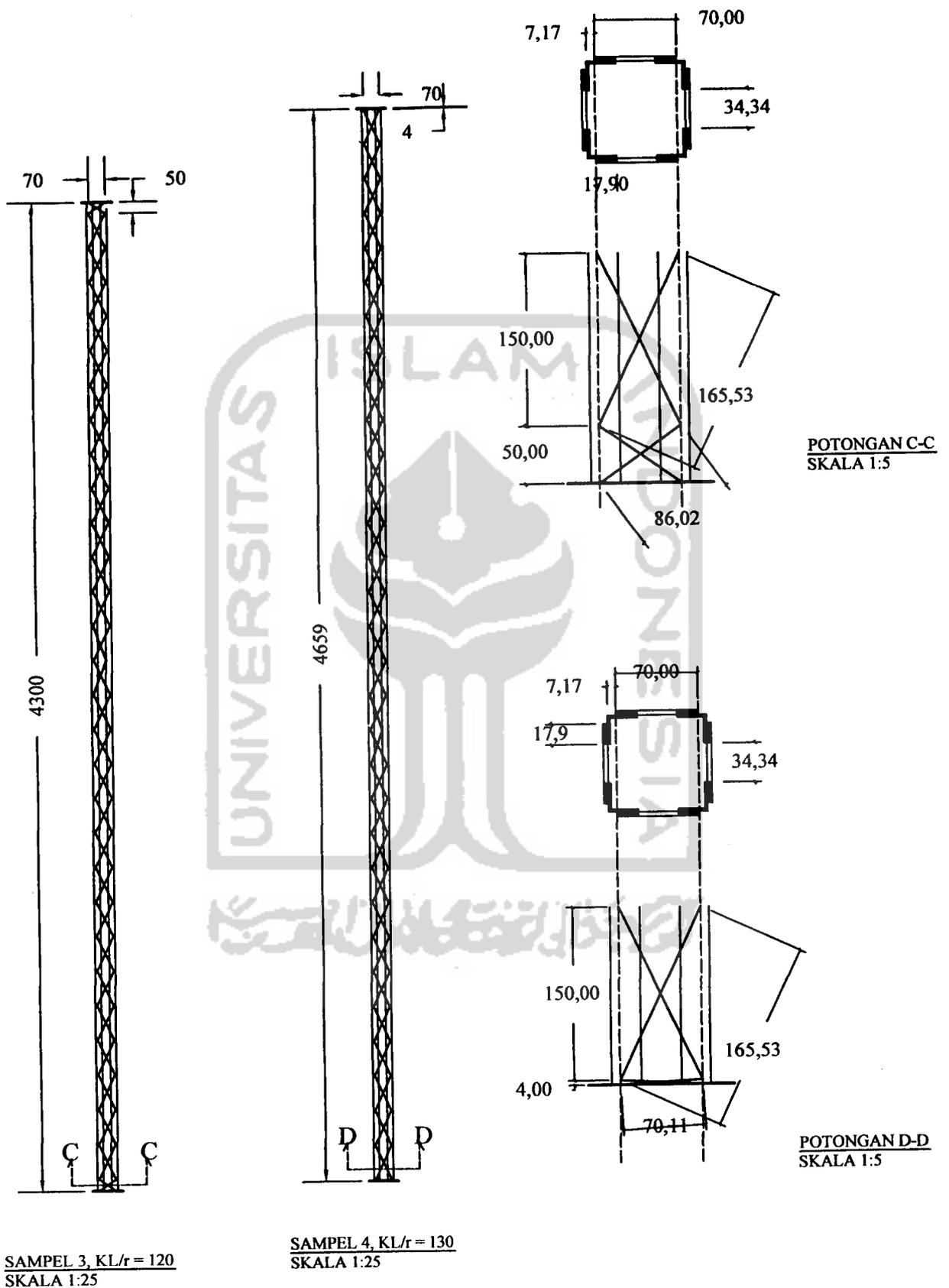
SAMPEL KOLOM

PERENCANA :

PUTRI SARI ARIYATI
03 511 047

SATUAN :

mm



TUGAS AKHIR
KAPASITAS KOLOM TERSUSUN EMPAT
PROFIL SIKU AKIBAT BEBAN EKSENTRIS

GAMBAR L1.5

SAMPEL KOLOM

PERENCANA :

PUTRI SARI ARIYATI
 03 511 047

SATUAN :
 mm



LAMPIRAN 2

**PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DENGAN
BERBAGAI KELANGSINGAN**

**PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DENGAN
PEMBEBANAN EKSENTRIS**

A. Perhitungan Teoritis Beban Kritis

Sampel 1 ($\frac{kL}{r} = 100$) menggunakan 4 profil siku 25x25x2,3mm, $A_{gab} = 438,84$

mm^2 , $E = 200000$ Mpa, $L = 3584$ mm, $L_1 = 150$ mm, $a = 70$ mm, $I_{gab} = 563750,49$

mm^4 , $r = 35,84$ mm, $e = 18$ mm, $\frac{e}{r} = 0,5$ perangkai melintang P4,

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} \left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{\alpha^2 E A_d} \right] \left(1 + \frac{e \cdot C_x}{r^2} \right)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 2.10^5 \times 438,84}{100^2} \left[1 + \frac{\pi^2 \cdot 2.10^5 \times 563750,49}{3584^2} \frac{1}{2 \times 150} \frac{165,53^3}{70^2 \times 2.10^5 \times 12,57} \right] \left(1 + \frac{18 \times 42,1}{35,84^2} \right)$$

$$P_{cr} = 49,328 \text{ kN}$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_{gab}}$$

$$F_{cr} = \frac{49,328 \times 1000}{438,84}$$

$$= 112,41 \text{ Mpa} < F_y (307,24 \text{ Mpa}) \text{ ok}$$

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

Tabel L2.1 Hasil Perhitungan Teoritis Beban kritis

Benda uji	Beban Kritis (kN)
$kL/r = 100 \text{ mm}$	49,328
$kL/r = 110 \text{ mm}$	41,458
$kL/r = 120 \text{ mm}$	35,292
$kL/r = 130 \text{ mm}$	30,380

B. Hubungan $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ dengan $\left(\frac{kL}{r}\right)$ Teoritis

Dari data hubungan beban (P) dengan kelangsingan kolom $\left(\frac{kL}{r}\right)$ diatas dapat dibuat hubungan antara $\left(\frac{kL}{r}\right)$ dengan $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$. Dengan rasio eksentrisitas terhadap jari-jari kelembaman $\left(\frac{e}{r} = 0,5\right)$ 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 = 0,30723 kN/mm² dan

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

$$P_y = 0,30723 \times 438,8 = 134,824 \text{ kN}$$

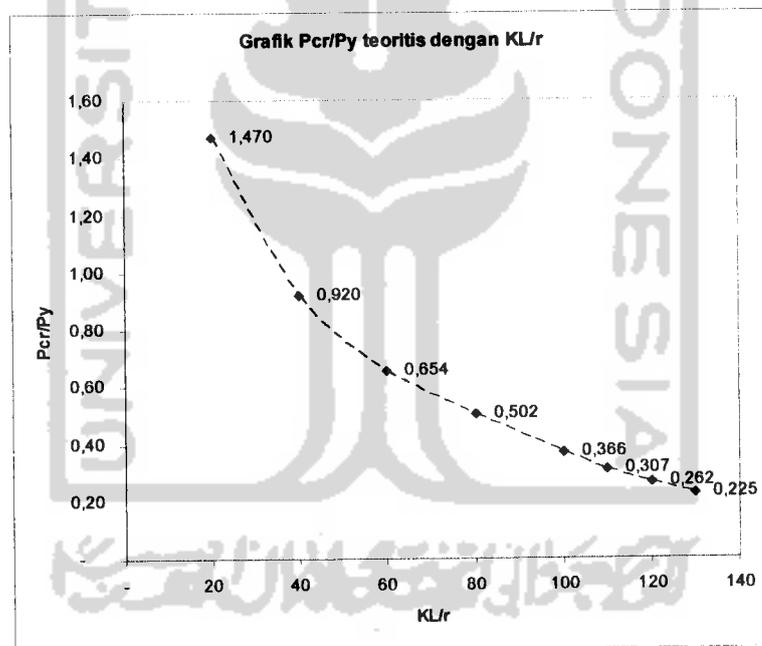
Hasil perhitungan $\frac{kL}{r}$ dengan $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ untuk masing – masing kolom

ditampilkan pada tabel L2.2.

Tabel L2.2 Perhitungan Teoritis $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ dengan $\left(\frac{kL}{r}\right)$

Benda uji	$\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$
$kL/r = 100 \text{ mm}$	0,366
$kL/r = 110 \text{ mm}$	0,307
$kL/r = 120 \text{ mm}$	0,262
$kL/r = 130 \text{ mm}$	0,225

Dari tabel L2.2 dapat dibuat grafik hubungan antara $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ dengan $\left(\frac{kL}{r}\right)$ sebagai berikut :



Gambar L2.1. Grafik hubungan antara P/P_y teoritis dengan kL/r

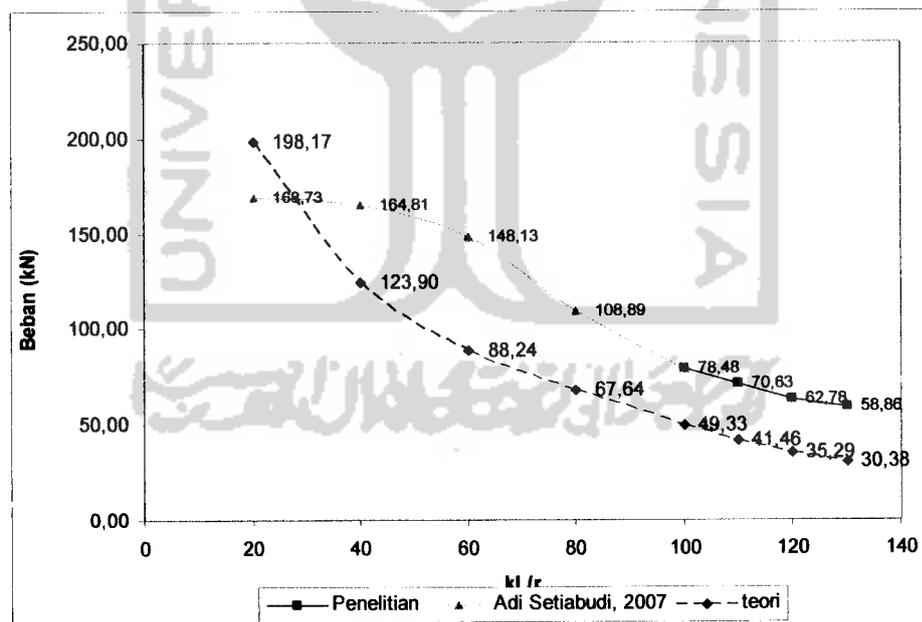
C. Perbandingan Beban Kritis (Pcr) Hasil Pengujian dengan Teoritis

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

Tabel L2.3 Perbandingan Beban kritis hasil lapangan dengan teoritis

Benda uji	Pcr penelitian (kN)	Pcr teoritis (kN)
$kL/r = 100 \text{ mm}$	78,84	49,328
$kL/r = 110 \text{ mm}$	70,632	41,458
$kL/r = 120 \text{ mm}$	62,784	35,292
$kL/r = 130 \text{ mm}$	58,86	30,380

Dari tabel L2.3 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

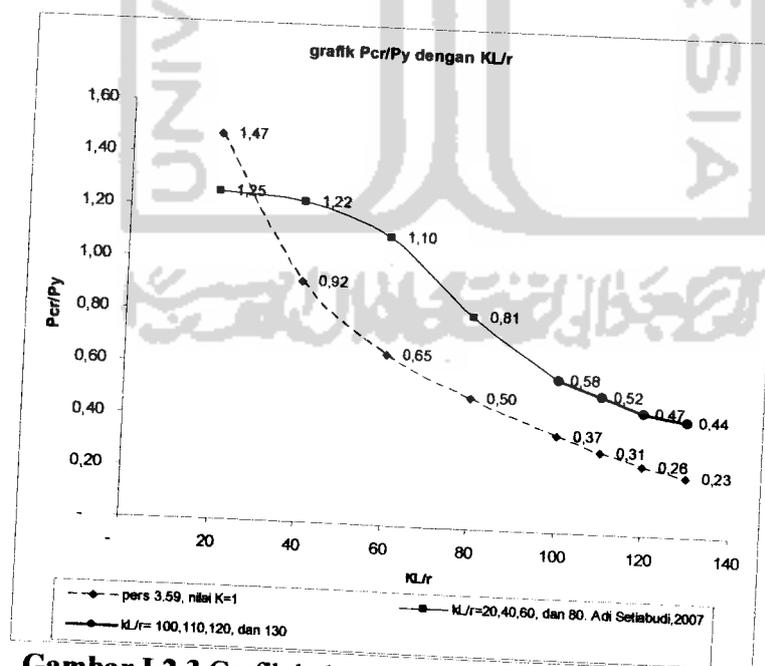
D. Perbandingan $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ dan $\left(\frac{kL}{r}\right)$ Hasil Pengujian dengan Teoritis

Perbandingan $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ dan $\left(\frac{kL}{r}\right)$ hasil pengujian dengan teoritis dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik berikut ini :

Tabel L2.4. Perbandingan $\frac{P_{cr}}{P_y}$ hasil uji lapangan dengan teoritis

Benda uji	Pcr/Py	
	Teoritis, K=1	Pengujian
kL/r = 100 mm	0,366	0,582
kL/r = 110 mm	0,307	0,524
kL/r = 120 mm	0,262	0,466
kL/r = 130 mm	0,225	0,437

Dari tabel L2.4 dapat dibuat grafik hubungan antara P/Py dengan KL/r sebagai berikut :



Gambar L2.3 Grafik hubungan antara Pcr/Py dengan KL/r

E. Perbandingan perbedaan nilai K (kondisi ujung) $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ dan $\left(\frac{kL}{r}\right)$ Teoritis

dengan Hasil Pengujian

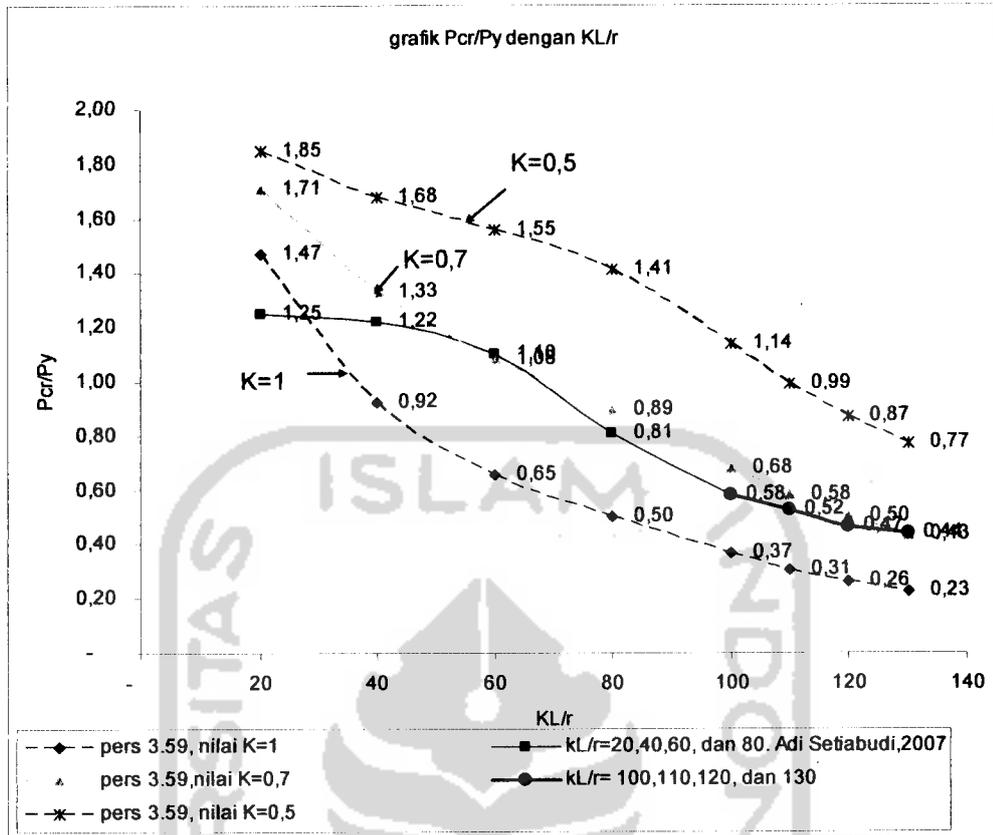
Perbandingan $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ dan $\left(\frac{kL}{r}\right)$ tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk

tabel dan grafik berikut ini :

Tabel L2.5 Perbandingan $\frac{P_{cr}}{P_y}$ hasil uji lapangan dengan teoritis

Benda uji	P _{cr} /P _y			Penelitian
	Teoritis bila K = 1	Teoritis bila K = 0.7	Teoritis bila K = 0.5	
20	1,470	1,708	1,849	1.252
40	0,920	1,327	1,675	1.222
60	0,654	1,079	1,554	1.099
80	0,502	0,892	1,406	0.808
100	0,366	0,679	1,136	0.582
110	0,307	0,579	0,990	0.524
120	0,262	0,499	0,868	0.466
130	0,225	0,433	0,765	0.437

Dari Tabel L2.5 dapat dibuat grafik hubungan antara P_{cr}/P_y dengan KL/r sebagai berikut :



Gambar L2.4 Grafik hubungan antara P_{cr}/P_y dan KL/r



LAMPIRAN 3

Uji Pendahuluan

UJI PENDAHULUAN

1. Hasil Pengujian Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Profil L

a. Sampel I

$$\begin{aligned} \text{Beban Leleh} &= 900 \text{ kgf} \\ &= 900 \times 9,81 = 8829 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban maksimum} &= 1255 \text{ kgf} \\ &= 1255 \times 9,81 = 12311,55 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan

$$\text{Lebar (l)} = 15 \text{ mm}$$

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

$$A_0 = l \times t = 34,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baja (F}_y) &= \frac{P_y}{A_0} \\ &= \frac{8829}{34,5} = 255,91 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja (F}_u) &= \frac{P_u}{A_0} = \frac{12311,55}{34,5} \\ &= 356,86 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Sampel II

$$\begin{aligned} \text{Beban Leleh} &= 1345 \text{ kgf} \\ &= 1345 \times 9,81 = 13194,45 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban maksimum} &= 1995 \text{ kgf} \\ &= 1995 \times 9,81 = 19570,95 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan

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

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

$$A_0 = l \times t = 36,8 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baja (F}_y\text{)} &= \frac{P_y}{A_0} \\ &= \frac{13194,45}{36,8} = 358,54 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja (F}_u\text{)} &= \frac{P_u}{A_0} = \frac{19570,95}{36,8} \\ &= 531,81 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel L3.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Tegangan Leleh (F _y) (Mpa)	Tegangan Ultimit (F _u) (Mpa)
Sample 1	255,91	356,86
Sample 2	358,54	531,81
Rata – Rata	307,225	444,335

2. Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

a. Sampel I

Beban maksimum = 1405 kgf

$$= 1405 \times 9,81 = 13783,05 \text{ N}$$

Perhitungan

$$\text{Lebar (l)} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 1,485 \text{ mm}$$

$$A_0 = l \times t = 37,125 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja } (F_u) &= \frac{P_u}{A_0} = \frac{13783,05}{37,125} \\ &= 371,21 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Sampel II

Beban maksimum = 945 kgf

$$= 945 \times 9,81 = 9270,45 \text{ N}$$

Perhitungan

$$\text{Lebar } (l) = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal } (t) = 1,485 \text{ mm}$$

$$A_0 = l \times t = 37,125 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja } (F_u) &= \frac{P_u}{A_0} = \frac{9270,45}{40,75} \\ &= 249,66 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel L3.2 Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

Benda Uji	Tegangan Ultimit (F_u) (Mpa)
Sample 1	371,21
Sample 2	249,66
Rata-Rata	310,44

Lampiran surat No: /ka.Lab/ /LBKT/ /

GRAFIK TARIK BAJA

Proyek : _____

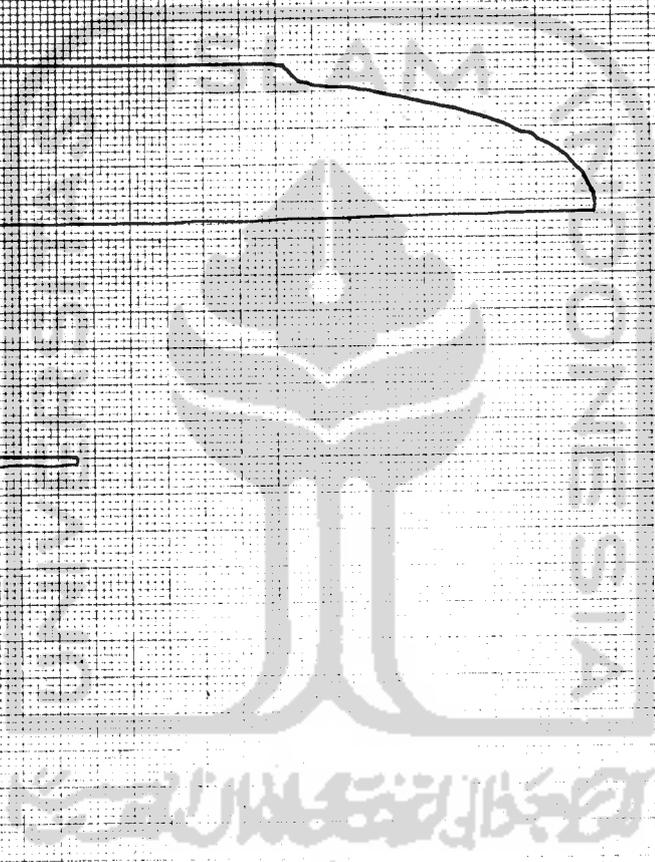
Catatan:

L3-4

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

PLAT

LAS



3. Tabel Beban Lendutan Benda Uji

Kolom tersusun dengan perangkai double diagonal

a. Benda Uji 1

Tabel L3.3 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($\frac{kL}{r} = 100$)

beban	dial 1	dial 2	dial 3
kN	mm	mm	mm
0,00	0	0	0
3,92	0,24	0,71	0,58
7,85	1,66	2,41	2,04
11,77	2,07	3,16	2,59
15,70	2,45	3,75	3,07
19,62	2,8	4,27	3,5
23,54	3,2	4,89	3,97
27,47	3,55	5,36	4,35
31,39	3,95	5,96	4,8
35,32	4,34	6,5	5,25
39,24	4,76	6,95	5,68
43,16	5,25	7,77	6,28
47,09	5,79	8,45	6,85
51,01	6,4	9,24	7,51
54,94	7	9,95	8,13
58,86	7,79	10,98	9,02
62,78	8,65	12,04	9,97
66,71	9,42	13,03	10,82
70,63	10,33	14,16	11,81
74,56	11,28	15,26	12,76
78,48	12,22	16,51	13,73
50,03	19,02	23,97	19,17
47,09	25,82	30,56	23,79

b. Benda Uji 2

Tabel L3.4 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($\frac{kL}{r} = 110$)

beban	dial 1	dial 2	dial 3
kN	mm	mm	mm
0	0	0	0
3,92	0,89	1,02	1,12
7,85	2,41	2,92	3,03
11,77	3,65	4,27	4,41
15,70	5,71	7,55	8,89
19,62	8,67	9,33	10,55

23,54	9,45	11,12	12,18
27,47	12,62	14,65	15,25
31,39	13,9	16,12	16,55
35,32	15,56	17,85	18,03
39,24	18,5	21,22	20,85
43,16	20,3	23,11	22,45
47,09	21,7	24,63	23,67
51,01	23,17	26,38	25,03
54,94	25,22	28,58	26,7
58,86	27,45	30,82	28,41
62,78	29,55	34,22	32,01
66,71	36,98	40,12	35,41
70,63	42,6	50,12	45,65

c. Benda Uji 3

Tabel L3.5 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($\frac{kL}{r} = 120$)

beban	dial 1	dial 2	dial 3
kN	mm	mm	mm
0	0	0	0
3,92	0,78	1,01	0,78
7,85	1,92	2,38	2,10
11,77	3,14	3,87	3,50
15,70	5,88	7,12	6,51
19,62	9,02	10,81	9,89
23,54	13,40	15,89	14,54
27,47	15,75	18,43	16,85
31,39	18,30	21,41	19,47
35,32	20,92	24,40	22,03
39,24	23,92	27,74	24,63
43,16	28,79	33,17	29,23
47,09	30,42	36,16	32,70
51,01	34,35	40,81	35,38
54,94	39,17	46,09	39,47
58,86	45,49	52,83	44,71
62,78	57,94	66,68	55,34

d. Benda Uji 4

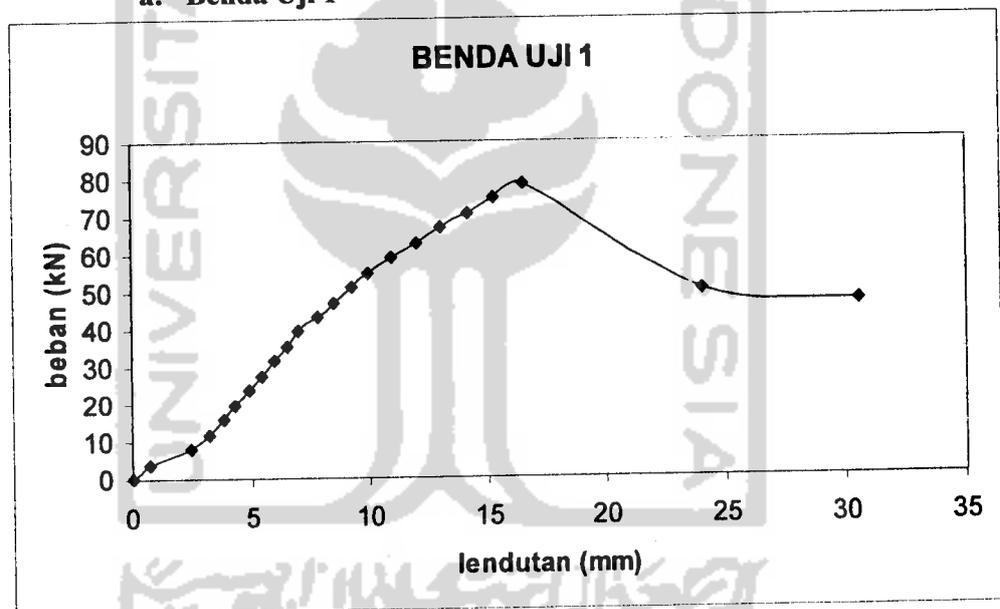
Tabel L3.6 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($\frac{kL}{r} = 130$)

beban	dial 1	dial 2	dial 3
kn	mm	mm	mm
0,000	0	0	0
3,92	0,34	0,73	0,42

7,85	1,14	1,53	1,09
11,77	3,24	3,74	2,92
15,70	5,36	5,84	4,62
19,62	9,85	9,80	7,60
23,54	14,96	14,57	10,90
27,47	17,01	16,72	12,55
31,39	21,19	20,97	15,85
35,32	23,87	23,63	17,89
39,24	26,95	28,76	23,09
43,16	29,40	30,57	23,15
47,09	33,67	35,57	27,70
51,01	40,25	43,03	34,50
54,94	46,89	53,12	41,47
58,86	61,68	72,31	54,59

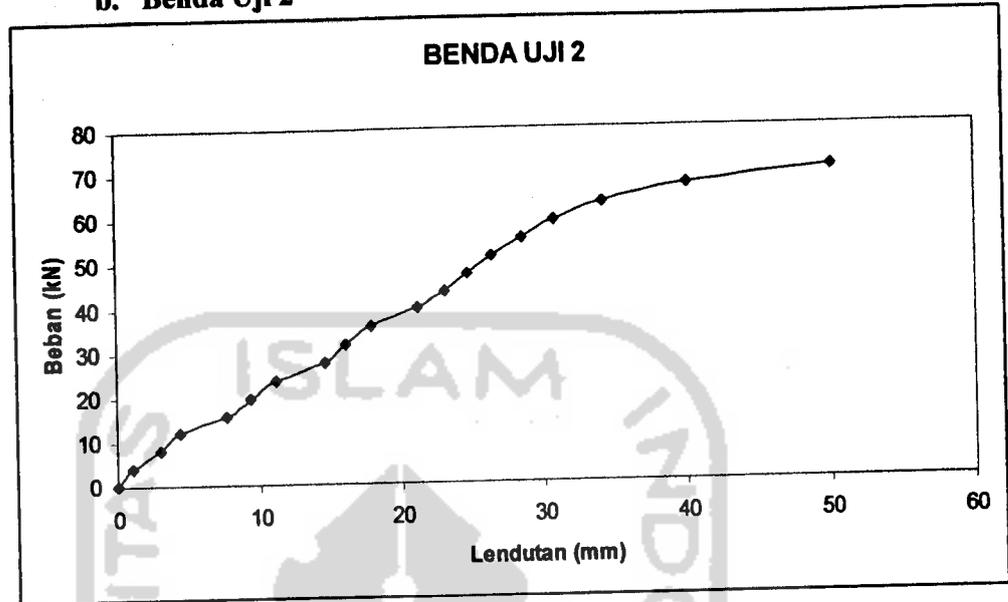
4. Grafik Beban Lendutan Benda Uji

a. Benda Uji 1



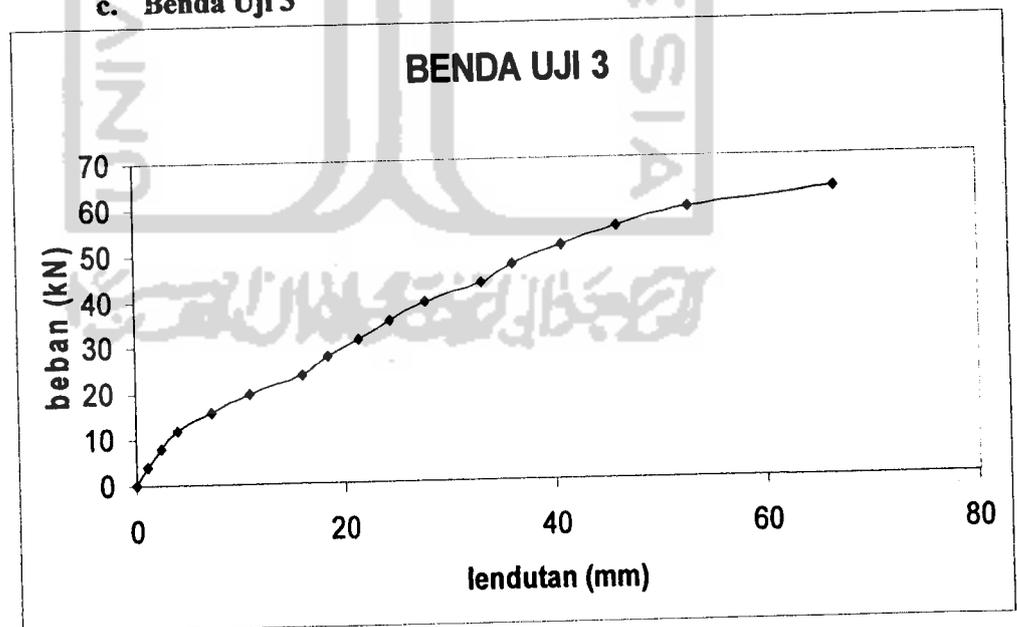
Gambar L3.1 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan $\frac{kL}{r} = 100$

b. Benda Uji 2



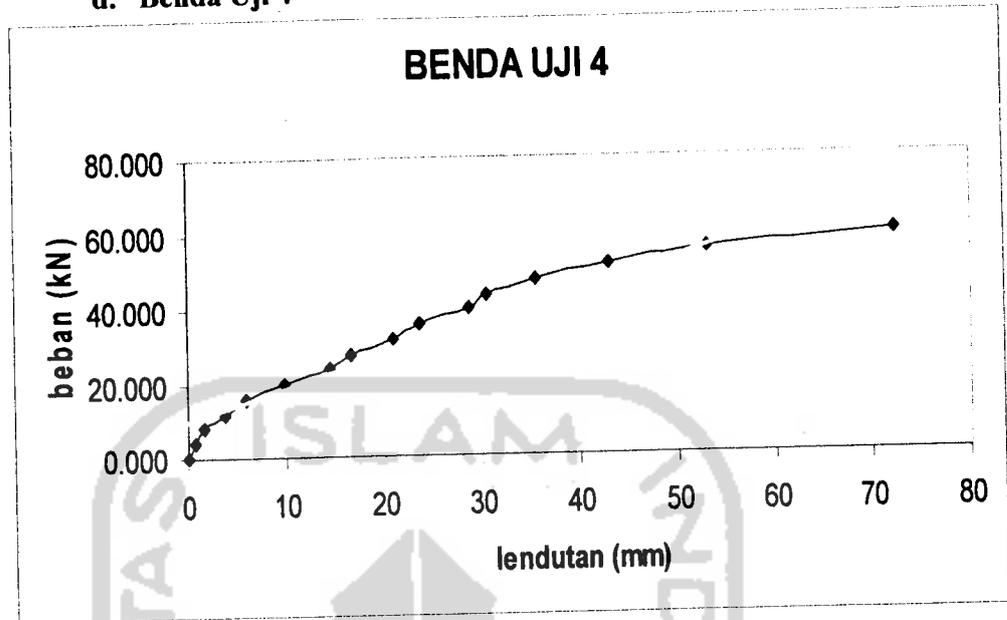
Gambar L3.2 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan $\frac{kL}{r} = 110$

c. Benda Uji 3



Gambar L3.3 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan $\frac{kL}{r} = 120$

d. Benda Uji 4

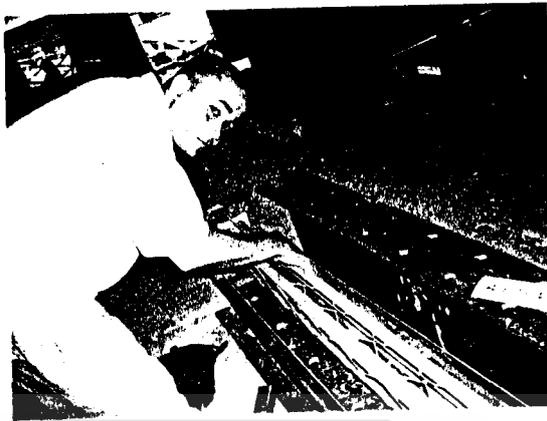


Gambar L3.4 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan $\frac{kL}{r} = 130$



LAMPIRAN 4

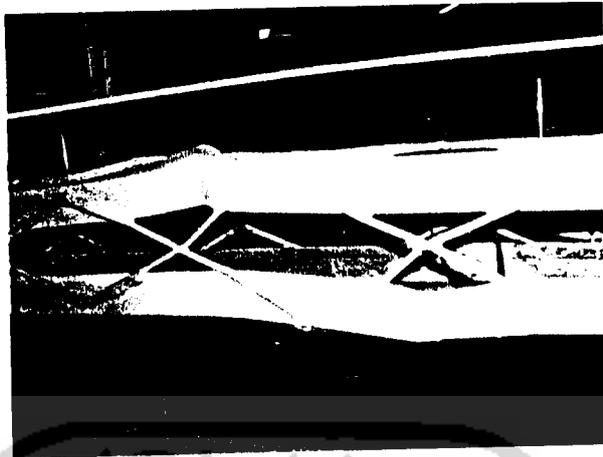
GAMBAR DAN DOKUMENTASI SAAT PENGUJIAN



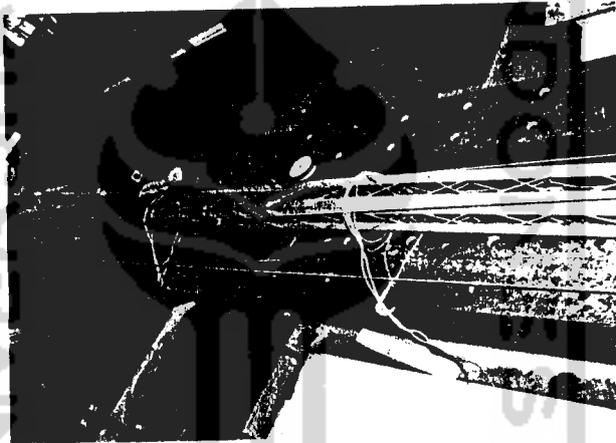
Gambar L4.1 Setting benda uji



Gambar L4.2 Pengujian Sampel 1



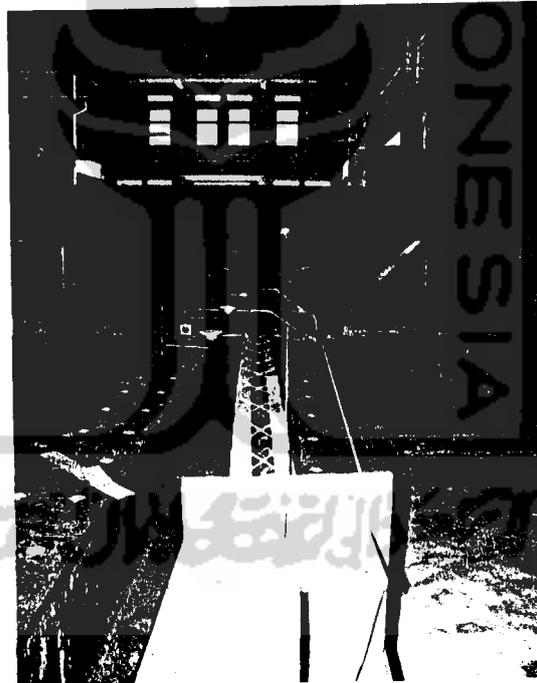
Gambar L4.3 Tekuk Lokal yang Terjadi pada Sampel 1



Gambar L4.4 Pengujian Sampel 2



Gambar L4.5 Pengujian Sampel 3



Gambar L4.6 Pengujian Sampel 4