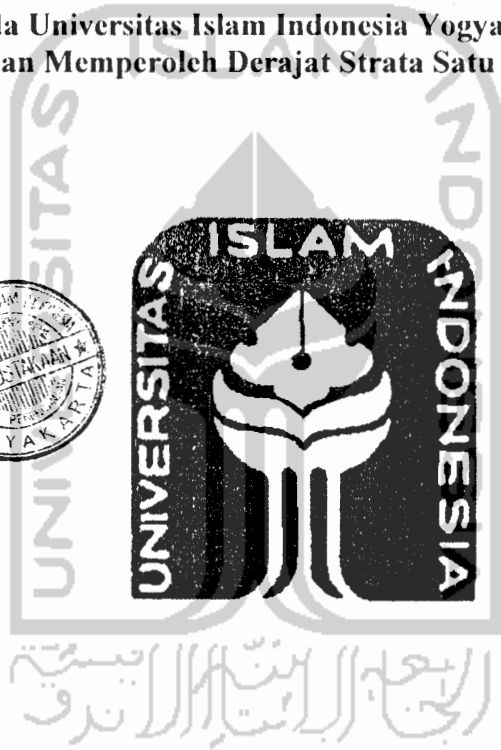


PERPUSTAKAAN FISIP UIN	
MADIAN/DELI	
TGL. TERIMA :	06-12-2007
NO. JUDUL :	2729
NO. INV. :	5120002729001
NO. INDUK. :	002729

TUGAS AKHIR

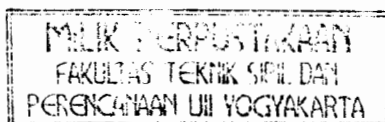
**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN
EMPAT PROFIL SIKU
PERANGKAI DOBEL DIAGONAL
AKIBAT BEBAN EKSENTRIS DENGAN
BERBAGAI KELANGSINGAN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Strata Satu (S1) Teknik Sipil**



**ADI SETIABUDI BAWONO
03 511 063**

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



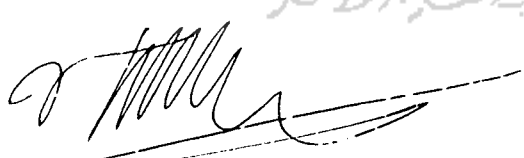
HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
KAPASITAS KOLOM TERSUSUN
EMPAT PROFIL SIKU
PERANGKAI DOBEL DIAGONAL
AKIBAT BEBAN EKSENTRIS DENGAN
BERBAGAI KELANGSINGAN


Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Strata Satu (S1) Teknik Sipil



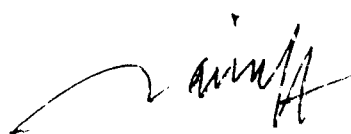
Disusun oleh :
ADI SETIABUDI BAWONG
03 511 063

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh :
Pembimbing :


Ir. Fakhurrohman. N, MT
Tanggal : 09 - 07 - 07


Ir. H. Suharyatno, MT
Tanggal : 9/7/07

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil :


Ir. H. Faisal AM, MS
Tanggal : 09-07-07

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

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

Pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. H. Suharyatno 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. H. Suharyatmo, MT selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT selaku dosen penguji
7. Bapak, ibu dosen dan guru yang telah membimbing dan memberikan ilmu pada saya, semoga amal bapak dan ibu mendapat pahala yang berlimpah dari ALLAH SWT. Amin
8. Mas Aris Yang telah membantu dalam pengujian.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

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

Pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. 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. H. Suharyatmo, MT selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT selaku dosen penguji
7. Bapak, ibu dosen dan guru yang telah membimbing dan memberikan ilmu pada saya, semoga amal bapak dan ibu mendapat pahala yang berlimpah dari ALLAH SWT. Amin
8. Mas Aris Yang telah membantu dalam pengujian.

9. Bapak dan Mama atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doa-nya.
10. Pakde, Bude, Tante, Om, Sepupu2ku, dan semua saudara-saudaraku Thanks banyak atas doa dan dukungannya...
11. Temen-temenku yang baik hati, arip, putri, anggi, surya, pak leo, ade, farid, nuri dan semuanya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
12. Sahabat-sahabat seperjuanganku danu, danur, mirwan, tisa (udah ST duluan nie..), dian pakde (ayo tetap semangat...) sebuah kisah klasik untuk masa depan jangan pernah terlupakan... thanx bro... (don't forget me...)
13. Temen – temen KP Rusunawa UII (Alam, Fikri, Riki, De2, Johan, deelel..) Thanx a lot friends...
14. Temen - temen KKNku (Fibran n Yudi) thanks for everything..
15. Temen – temen di Ndukuh thanx tempatnya buat kknku...
16. Temen-temen ex TK AL Ittihad, SD Muhammadiyah Sokonandi, ex SMP 1 (DEPARA Jogja), Ex Moehi 2000... apa kabar semua ??
17. Anak- anak FTSP, Civil Engineering, terutama angkatan 2003 kelas B (kompak selalu...)
18. Semua pihak yang telah membantu di dalam 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, Juli, 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTTO	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR SIMBOL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAKSI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
BAB III LANDASAN TEORI	5
3.1. Kolom	5
3.1.1 Kolom Tunggal	5
3.1.2 Kolom Tersusun	5

3.2. Tekuk.....	5
3.2.1 Tekuk Elastis.....	6
3.2.2 Tekuk Inelastis.....	8
3.3. Panjang Efektif	10
3.4. Rumus Sekan	10
3.5. Pengaruh Gaya Geser terhadap Kolom Tunggal.....	13
3.6. Pengaruh Gaya Geser terhadap Kapasitas Kolom Tersusun.....	16
3.7. Pembebanan Eksentris pada Kolom Tersusun	19
3.8. Hubungan Tanpa Dimensional antara P_{cr}/P_y dengan KL/r	21
3.9. Kegagalan pada Kolom Tersusun	22
3.9.1. Kegagalan karena Leleh	23
3.9.2. Tekuk Lokal	23
3.9.3. Tekuk Keseluruhan	25
3.10. Hipotesis	25
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	26
4.1. Metode Penelitian	26
4.2. Bahan dan Alat yang Digunakan	27
4.2.1. Bahan	27
4.2.1.1 Benda Uji Pendahuluan.....	27
4.2.1.2 Sample Benda Uji	29
4.2.2. Peralatan Penelitian.....	30
4.3. Pelaksanaan Penelitian	32
4.3.1. Pembuatan Benda Uji	32

4.3.2. Setting Peralatan	34
4.3.3. Proses Pengujian Kolom Tersusun Pembebanan Eksentris	34
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	36
5.1 Hasil Penelitian	36
5.1.1 Uji Pendahuluan	36
5.1.1.1 Uji Tarik Baja Profil Siku	36
5.1.1.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las	37
5.1.2 Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun	37
5.2. Pembahasan	40
5.2.1 Pembahasan Uji Pendahuluan	40
5.2.1.1 Uji Tarik Baja	41
5.2.1.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las	42
5.2.2 Pembahasan Uji Kolom Tersusun	43
5.2.2.1 Hubungan Beban Kritis dengan Kelangsingan	43
5.2.2.2 Perbandingan P_{cr}/P_y dengan KL/r	44
5.2.2.3 Pola Kegagalan	46
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	49
6.1. Kesimpulan	49
6.2. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

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
E_t	= modulus tangent
E_r	= modulus tereduksi
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	= jari-jari inersia
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
 V = gaya geser
 I/S_v = kekakuan geser kolom
 δ = perubahan tempat arah horizontal
 y = pelenturan
 θ = sudut antara gaya geser dengan batang diagonal
 π = konstanta (3,141593)

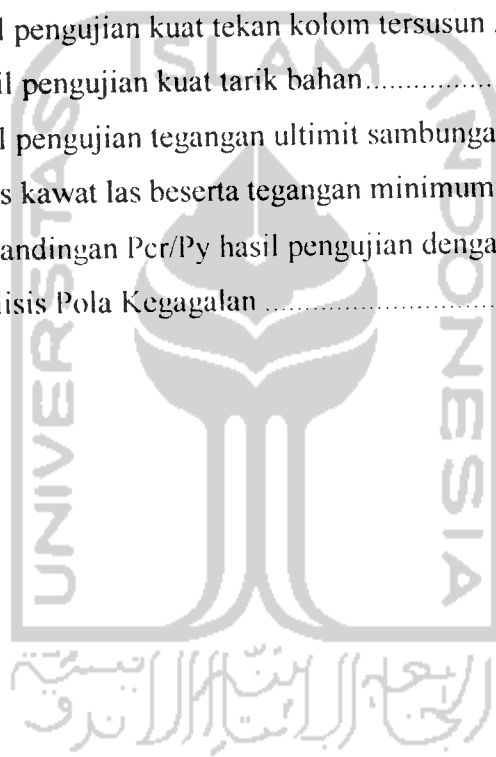


DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Batang lurus dibebani gaya tekan aksial	6
Gambar 3.2	Grafik tegangan berdasar euler, modulus tangen dan modulus reduksi	9
Gambar 3.3	Kolom dengan beban tekan P dan eksentrisitas e	11
Gambar 3.4	Grafik rumus Sekan	13
Gambar 3.5	Pengaruh beban P yang menyebabkan geser	13
Gambar 3.6	Efek geser pada kolom tersusun dengan perangkai dobel diagonal ...	16
Gambar 3.7	Kolom tersusun dengan beban eksentris	19
Gambar 3.8	Grafik hubungan P_{cr}/P_y dengan kelangsingan (KL/r)	22
Gambar 3.9	Kerusakan akibat tekuk lokal	23
Gambar 4.1	Flowchart metodologi penelitian	26
Gambar 4.2	Sample uji tarik bahan	28
Gambar 4.3	Benda uji sambungan las	28
Gambar 4.4	Baja profil siku	29
Gambar 4.5	Baja bulat polos	30
Gambar 4.6	Dial gauge	30
Gambar 4.7	Dukungan sendi	31
Gambar 4.8	Hydraulic jack	31
Gambar 4.9	Mesin uji tarik	31
Gambar 4.10	Potongan melintang 4 profil siku	32
Gambar 4.11	Benda uji dengan berbagai kelangsingan	33
Gambar 4.12	Benda uji tampak atas	34
Gambar 4.13	Benda uji tampak samping	34
Gambar 4.14	Plat dengan eksentrisitas 8 mm	35
Gambar 5.1	Penempatan dial pada Benda Uji	38
Gambar 5.2	Grafik Hubungan Beban – Lendutan	40
Gambar 5.3	Grafik Hubungan Beban Maksimum dengan Kelangsingan	43
Gambar 5.4	Grafik Hubungan P_c/P_y dengan KL/r	45
Gambar 5.5	Rumus desain kolom baja struktural	46
Gambar 5.6	Grafik Pola Kegagalan	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Perbandingan antara modulus tangen dengan modulus tereduksi.....	9
Tabel 3.2	Faktor panjang tekuk kolom ideal.....	10
Tabel 4.1	Jenis kawat las beserta tegangan minimumnya.....	29
Tabel 5.1	Hasil pengujian kuat tarik profil siku.....	36
Tabel 5.2	Hasil pengujian kuat tarik las.....	37
Tabel 5.3	Hasil pengujian kuat tekan kolom tersusun	38
Tabel 5.4	Hasil pengujian kuat tarik bahan.....	41
Tabel 5.5	Hasil pengujian tegangan ultimit sambungan las.....	42
Tabel 5.6	Jenis kawat las beserta tegangan minimumnya.....	42
Tabel 5.7	Perbandingan P_{cr}/P_y hasil pengujian dengan teoritis	44
Tabel 5.8	Analisis Pola Kegagalan	45



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perencanaan Kolom Tersusun
Lampiran 2 Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kapasitas Kolom Tersusun dengan Berbagai Kelangsingan
Lampiran 3 Hasil Pengujian
Lampiran 4 Gambar Foto Pengujian



ABSTRAKSI

Kolom tersusun merupakan gabungan dua profil atau lebih yang dirangkai menggunakan batang-batang perangkai. Kapasitas tekan dan kekakuan kolom tersusun dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain bentuk, ukuran penampang, jarak profil tunggal, konfigurasi perangkai dan kelangsingan. Kelangsingan kuadrat berbanding terbalik dengan kuat tekan batang. Semakin besar kuat tekan batang maka kelangsingannya semakin kecil. Kolom dengan kelangsingan kecil akan mengalami kegagalan karena leleh, sedangkan untuk kolom dengan kelangsingan besar akan mengalami kegagalan akibat tekuk (*buckling*). Kolom tersusun umumnya memikul gaya tekan eksentris, tegangan pada penampang kolom yang memikul beban eksentris merupakan interaksi antara tegangan desak dengan tegangan lentur, interaksi menimbulkan ketidakstabilan kolom.

Penelitian eksperimental 4 benda uji kolom tersusun dengan batang perangkai dobel diagonal dengan jarak batang perangkai (L_1) tetap, jarak antar profil (a) tetap dengan perbedaan kelangsingan (panjang kolom (L) bervariasi) dengan jarak eksentrisitas (e) yang tetap guna untuk mengetahui kapasitas tekan masing-masing kolom tersusun, memperoleh grafik hubungan P_{cr}/P_y dan mengetahui pola kegagalan pada kolom tersusun akibat beban eksentris dengan berbagai kelangsingan.

Hasil eksperimen beban kritis masing-masing benda uji adalah: kolom 1 ($KL/r = 20$), $P_{cr} = 168,73$ kN; kolom 2 ($KL/r = 40$), $P_{cr} = 164,81$ kN; kolom 3 ($KL/r = 60$), $P_{cr} = 148,13$ kN dan kolom 4 ($KL/r = 80$), $P_{cr} = 108,89$ kN. Dari hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kelangsingan maka beban yang dapat ditahan oleh kolom semakin kecil dan apabila beban kritis (P_{cr}) dibandingkan dengan beban leleh (P_y) untuk kolom 1 dengan ($KL/r = 20$), $P_{cr}/P_y = 1,252$; kolom 2 dengan ($KL/r = 40$), $P_{cr}/P_y = 1,222$; kolom 3 dengan ($KL/r = 60$), $P_{cr}/P_y = 1,099$ dan kolom 4 dengan ($KL/r = 80$), $P_{cr}/P_y = 0,808$. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa hasil eksperimen sesuai tren penelitian lain (misalnya rumus sekan). Ragam kegagalan untuk kolom dengan kelangsingan 20,40,60 adalah tekuk lokal setelah mengalami leleh, sedangkan untuk kelangsingan 80 adalah tekuk lokal sebelum tegangan leleh terlampaui.

Kata Kunci: Kuat Tekan Kolom Tersusun, Empat Profil Siku, Kelangsingan, Beban Eksentris

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kolom tersusun sebagai komponen struktur bangunan sipil digunakan untuk mendapatkan kapasitas tekan dengan kekakuan besar juga karena faktor estetika. Kapasitas tekan dan kekakuan kolom tersusun dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain bentuk, ukuran penampang, jarak profil tunggal, konfigurasi perangkai dan kelangsingan. Salah satu bentuk kolom tersusun dibuat dari empat profil siku dengan perangkai dobel diagonal. Bentuk, ukuran penampang, susunan profil maupun jari-jari inersia berpengaruh terhadap momen inersia suatu kolom tersusun. Momen inersia ini berpengaruh terhadap kelangsingan.

Kelangsingan kuadrat berbanding terbalik dengan kuat tekan batang. Semakin besar kuat tekan batang maka kelangsingannya semakin kecil. Kolom dengan kelangsingan kecil akan mengalami kegagalan karena leleh yaitu apabila tegangan kritisnya melampaui tegangan leleh material ($F_{cr} \geq F_y$). Sedangkan untuk kolom dengan kelangsingan besar akan mengalami kegagalan akibat tekuk (*buckling*) karena ketidakstabilan kolom. Kolom tersusun umumnya memikul gaya tekan eksentris tidak tepat berada pada sumbu batang), akibat pembebanan yang tidak tepat melalui pusat berat penampang. Pembebanan kolom secara eksentris ini akan menimbulkan gaya lain berupa momen lentur (M). Tegangan pada penampang kolom yang memikul beban eksentris merupakan interaksi antara tegangan desak dengan tegangan lentur. Interaksi tegangan ini mengakibatkan adanya gaya geser dan mengurangi instabilitas atau tekuk kolom tersusun sehingga dapat mengurangi kapasitas tekan kolom (P_{cr}).

Penelitian ini menarik dilakukan karena permasalahan tentang kapasitas kolom tersusun empat profil siku dengan perangkai dobel diagonal akibat beban eksentris dengan berbagai kelangsingan belum banyak dilakukan.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kapasitas tekan kolom tersusun empat profil siku dengan perangkai diagonal akibat pembebanan eksentrisitas dengan berbagai kelangsingan.
2. Memperoleh grafik hubungan beban kritis (P_{cr}) dengan kelangsingan (KL/r) dan grafik non dimensional (P_{cr}/P_y) dengan kelangsingan (KL/r).
3. Mengetahui pola kegagalan dari hubungan F_{cr} plat dengan F_{cr} keseluruhan.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Pengembangan pengetahuan tentang kapasitas kolom yang telah ada.
2. Memberikan informasi tentang kapasitas kolom tersusun empat profil siku perangkai diagonal akibat pembebanan eksentris dengan berbagai kelangsingan.
3. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain kolom

1.4. Batasan Penelitian

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

1. Kolom tersusun empat profil siku dengan perangkai double diagonal (X) tanpa perangkai transversal dengan alat sambung las
2. Ukuran penampang profil tunggal siku 25 mm x 25 mm x 2,3 mm
3. Perangkai menggunakan batang bulat polos dengan diameter 0,4 cm.
4. Jenis struktur adalah kolom dengan kedua ujungnya ditumpu sederhana (sendi), kolom tidak bergoyang ($k=1$)
5. Nilai eksentrisitas berbanding dengan jari-jari inersia tampang ($\frac{e}{r} = 0,5$) tetap dengan variasi kelangsingan 20,40,60,80
6. Tegangan residu dari bahan tidak ditinjau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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*).

Tegangan kritis berbanding lurus dengan sifat bahan dan berbanding terbalik dengan kelangsingan. Kelangsingan batang dipengaruhi oleh panjang batang dan jari-jari inersia tampang. Semakin kecil angka kelangsingan suatu batang, akan semakin kaku batang tersebut. (*Gere dan Timoshenko, 1985*)

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

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*)

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

Tekuk pada sebuah kolom dengan ujung sendi biasanya dipandang sebagai kasus tekuk yang paling dasar. Namun dalam praktek kita menjumpai banyak kondisi ujung lainnya, seperti ujung jepit, ujung bebas dan tumpuan elastis, yang

mengakibatkan adanya perbedaan nilai k (faktor panjang efektif). (Gere dan Timoshenko, 1985)

Kapasitas pikul beban pada elemen struktur tekan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti beban eksentris, ketidaksempurnaan material dan ketidaksempurnaan awal pada elemen. (Leonard Spiegel dan George F. Limbrunner, 1986)

Harga rasio kelangsingan terkecil di daerah berlakunya kurva Euler diperoleh dengan menetapkan tegangan kritis sama dengan batas proporsional tegangan leleh. (Gere dan Timoshenko, 1985)

Kolom langsing akan mengalami tekuk pada daerah elastis dan modulus elastis (E) bersifat konstan. Pada kolom pendek batas elastis akan terlampaui sebelum terjadi tekuk (*buckling*) atau dengan kata lain kolom tidak akan tekuk pada daerah elastis, tetapi hanya akan terjadi pelepasan awal. Sehingga setelah masuk batas inelastis, nilai modulus elastis (E) tidak konstan. (WF Chen dan T Atsuta, 1973)

Menurut Engesser (1889), kolom tetap lurus sampai sesaat sebelum runtuh dan modulus elastisitas pada saat runtuh adalah tangen sudut garis singgung pada kurva tegangan regangan.

Sebagai kajian pustaka adalah penelitian yang dilakukan oleh **Radyo Wijoyo Danubroto (03511082)**. Dimana tujuan penelitian ini diantaranya adalah mencari kuat tekan maksimum kolom tersusun dengan nilai eksentrisitas yang bervariasi

Penelitian yang dilakukan oleh **Sulistiono (00511348)**. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jarak antar profil terhadap kekuatan kolom tersusun dari empat profil siku dengan batang penghubung melintang dengan beban tekan aksial konsentris.

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

Kolom tunggal adalah kolom yang terdiri dari satu profil (batang). Jika beban yang didukung relatif kecil dan kapasitas profil tunggal sudah memenuhi, umumnya dipilih profil tunggal. Jika beban yang harus didukung relatif besar, sedangkan kapasitas profil tunggal yang tersedia tidak memenuhi, dapat digunakan kolom tersusun.

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 memiliki kapasitas kolom yang lebih besar daripada kolom tunggal. Kolom tersusun dapat dibuat dari berbagai bentuk penampang salah satunya dibentuk dari gabungan empat profil siku.

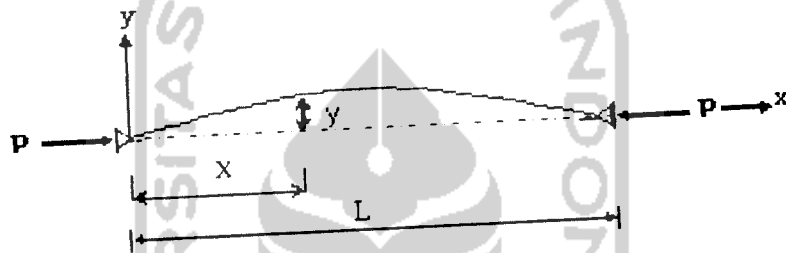
3.2 Tekuk

Kapasitas kolom dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satu diantaranya adalah kelangsingan. Semakin langsing suatu kolom, maka kuat tekan kolom 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.

3.2. 1 Tekuk Elastis

Tekuk elastis terjadi pada kolom langsing. Analisis kuat tekan kolom langsing secara matematis pertama kali dikemukakan oleh matematikawan Swiss Euler tahun 1759. (Padosbujayo, 1992)



Gambar 3.1 Batang lurus dibebani gaya tekan aksial

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

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

Karena $M = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$, maka Persamaan (3.1) menjadi :

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -P \cdot y \dots \dots \dots (3.2)$$

masing-masing ruas Persamaan (3.2) dikalikan dengan 2 dy diperoleh :

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

jika masing-masing ruas Persamaan (3.3) diintegalkan, diperoleh :

$$EI \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) = -P \cdot y^2 + C_1 \dots \dots \dots (3.4)$$

pada $y = \delta$, $\frac{dy}{dx} = 0$, sehingga $0 = -P \cdot y^2 + C_1$ dan

$$C_1 = P \cdot y^2$$

Substitusi C_1 ke dalam Persamaan (3.4), maka :

$$E.I \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = P.(\delta^2 - y^2)$$

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{\frac{P}{E.I}} \cdot \sqrt{\delta^2 - y^2}$$

$$\frac{dy}{\sqrt{\delta^2 - y^2}} = \sqrt{\frac{P}{E.I}} dx \dots\dots\dots(3.5)$$

Masing-masing ruas Persamaan (3.5) diintegalkan, diperoleh

$$\arcsin \frac{y}{\delta} = x \sqrt{\frac{P}{E.I}} + C_2 \dots\dots\dots(3.6)$$

Pada $x = 0$, pelenturan $(y) = 0$; sehingga $C_2 = 0$, dan Persamaan (3.6) menjadi :

$$\arcsin \frac{y}{\delta} = x \sqrt{\frac{P}{E.I}} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\sin x \sqrt{\frac{P}{E.I}} = \frac{y}{\delta} \dots\dots\dots(3.8)$$

Pada $x = L$, pelenturan $(y) = 0$; sehingga $C_2 = 0$, dan Persamaan (3.8) menjadi :

$$\sin L \sqrt{\frac{P}{E.I}} = 0 \text{ atau } L \sqrt{\frac{P}{E.I}} = n.\pi \text{ dan}$$

$$P = \frac{n^2 . E.I}{L^2} \dots\dots\dots(3.9)$$

nilai n yang sesuai dengan Persamaan (3.9) adalah :

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

Untuk $n = 0$ Persamaan (3.9) tidak berarti, karena $P = 0$, nilai (P) terkecil diperoleh bila $n = 1$, sedangkan (P) disebut beban kritis (P_{cr}), jadi :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E.I}{(KL)^2} \dots\dots\dots(3.10)$$

Dari Persamaan (3.10) dapat dilihat bahwa beban kritis (P_{cr}) berbanding lurus dengan inersia (I) dan modulus elastisitas (E) serta berbanding terbalik dengan panjang kolom (L).

Karena $I = A.r^2$, jika ruas kiri dan ruas kanan pada Persamaan (3.10) dibagi dengan luas penampang (A) diperoleh tegangan kritis (F_{cr}):

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan:

- E = modulus elastisitas
- I = momen inersia
- L = panjang kolom dari ujung sendi ke ujung sendi
- π = konstanta = 3,141593
- KL/r = kelangsingan

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

Persamaan Euler selalu menggunakan modulus elastis yang nilainya tetap, sedangkan keruntuhan kolom pendek dan kolom sedang, terjadi setelah penampangnya tidak elastis (mencapai batas proporsional), ini berarti terdapat perubahan nilai modulus, dari modulus elastis yang harganya tetap ke modulus yang nilainya berubah-ubah. Untuk menghitung beban kritis di dalam daerah ini digunakan teori inelastis.

3.2.2 Tekuk Inelastis

Pada tekuk inelastis sebagian serat penampangnya sudah mencapai tegangan leleh, sedangkan sisanya masih elastis atau dapat dikatakan tekuk inelastis adalah tekuk saat batas proporsional dilampaui. Harga rasio kelangsingan terkecil kolom yang mengalami tekuk inelastis berada di daerah berlakunya kurva Euler, diperoleh dengan menetapkan tegangan kritis (F_{cr}) sama dengan batas proporsional (F_y) dan memecahkannya untuk mendapatkan rasio kelangsingan. Rasio kelangsingan kritis didapatkan dengan Persamaan 3.12 berikut : (Gere dan Timoshenko, 2000)

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = \sqrt{\pi^2 E / f_y} \dots\dots\dots(3.12)$$

Nilai rasio kelangsingan kritis = 90,7 perhitungannya pada lampiran 2. Di atas harga ini kolom ideal menekuk secara elastis dan beban euler berlaku. Di bawah harga ini, tegangan di kolom melebihi batas proporsional dan kolom menekuk secara inelastis.

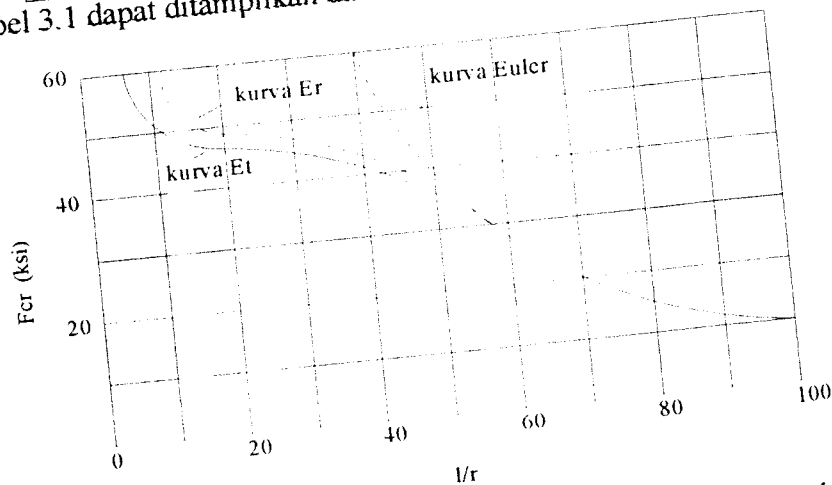
Untuk menghitung beban tekuk inelastis, salah satu teori yang dipakai adalah teori modulus tangen. Teori ini membahas keruntuhan kolom diatas proposional. Proses tekuk diatas batas proposional oleh Enggeser terus diteliti. Pada teori modulus tangen, Enggeser mengabaikan pembalikan regangan yang terjadi pada penampang kolom. Oleh karena itu teori modulus tangen dianggap kurang tepat yang kemudian diperbaiki dengan teori yang lebih baru, yang dikenal dengan teori modulus tereduksi.

Perbandingan nilai E_t dan E_r dikutip dari *plastic buckling of columns WF. Chen dan T. Atsuta*, dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Perbandingan antara modulus tangen dengan modulus tereduksi (*aluminium*)

Stress F (ksi)	Modulus Tangen		Modulus Tereduksi	
	E_t (ksi)	L/r	E_r (ksi)	L/r
10	10600	105.0	10600	105.0
20	10600	72.5	10600	72.5
30	10600	59.0	10600	59.0
40	10600	51.0	10600	51.0
45	3000	26.0	5100	33.5
50	1000	14.0	2300	21.3
55	500	9.5	1300	15.3
60	400	8.1	1100	13.5

data dari Tabel 3.1 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Grafik Tegangan Berdasarkan Euler, Modulus Tangen dan Tereduksi

Gambar 3.2 tampak bahwa tegangan kritis kolom yang menggunakan modulus tangen (E_t) berada dibawah tegangan kritis yang menggunakan modulus tereduksi (E_r).

Sehingga untuk kolom dengan nilai kelangsingan dibawah rasio kelangsingan kritis, nilai modulus elastis (E) diganti dengan modulus tereduksi (E_r) menjadi :

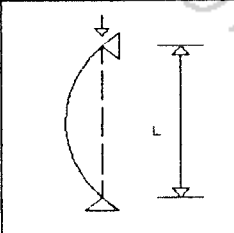
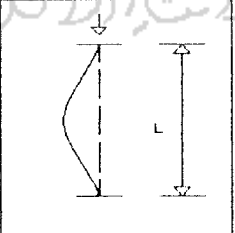
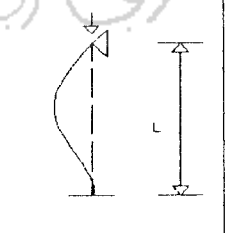
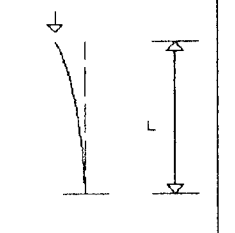
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_r \cdot I}{(KL)^2} \dots\dots\dots(3.13)$$

3.3 Panjang Efektif

Pembahasan kekuatan menganggap bahwa kedua ujung kolom adalah sendi. Untuk kolom berujung sendi ini, panjang ujung sendi ekuivalen yang disebut *panjang efektif* sama dengan panjang sesungguhnya, karena memiliki nilai koefisien panjang efektif ($K=1,0$). Tapi dalam kenyataannya koefisien panjang efektif tersebut berbeda-beda tergantung kondisi ujungnya antara lain bila kolom dengan ujung jepit-jepit memiliki nilai ($K=0,5$), kolom dengan ujung jepit-sendid memiliki nilai ($K=0,7$) dan sebagainya. Koefisien ini berpengaruh terhadap panjang efektif kolom, sesuai persamaan :

$$L_e = KL \dots\dots\dots(3.14)$$

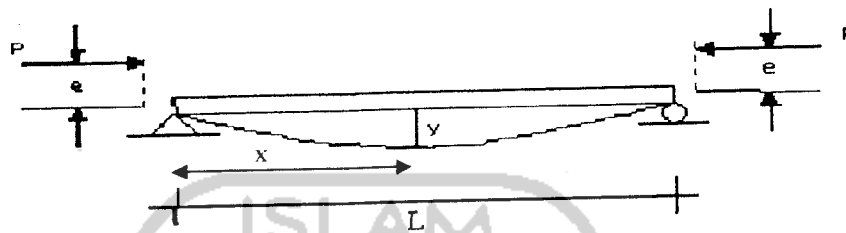
Tabel 3.2 Faktor Panjang Tekuk Kolom Ideal

KOLOM SENDI-SENDI	KOLOM JEPIT-JEPIT	KOLOM JEPIT-SENDI	KOLOM JEPIT-BEBAS
			
K = 1	K = 0.5	K = 0.7	K = 2

3.4 Rumus Sekan

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_{cr}) dan momen maksimal $M = P(e+y)$. Momen ini ada sejak beban tersebut

diterapkan sehingga kolom mulai terdefleksi pada saat mulai diberi beban. Pembebanan eksentris ini berlaku secara umum, untuk kolom tersusun perhitungannya mengabaikan perangkai yang digunakan. Gambar 3.2 dibawah ini menunjukkan kolom yang diberi beban eksentris.



Gambar 3.3 Kolom dengan beban tekan P dan eksentris e

Salah satu rumus batang tekan yang memperhitungkan pengaruh eksentrisitas awal adalah rumus sekan, (*Gere dan Timoshenko, 2000*).

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

Diambil $k = \sqrt{\frac{P}{EI}}$, maka Persamaan 3.15 berubah menjadi :

$$y = A \sin kx + B \cos kx \dots\dots\dots(3.16)$$

Persamaan 3.16 dapat diselesaikan dengan menetapkan kondisi batas yaitu pada saat $x = 0$, maka lendutan (y) = e. Kondisi batas $x = 0$ maka $B = e$, Persamaan 3.16 menjadi :

$$y = A \sin kx + e \cos kx \dots\dots\dots(3.17)$$

Memperhatikan bahwa kurva elastis mempunyai garis singgung vertikal pada setengah tinggi kolom $x'(\frac{L}{2}) = 0$, turunan dari Persamaan (3.17) = 0 pada $x = \frac{L}{2}$.

$$x' = kA \cos k\left(\frac{L}{2}\right) - k e \sin . k\left(\frac{L}{2}\right) = 0 \dots\dots\dots(3.18)$$

$$A = e \frac{\sin k\left(\frac{L}{2}\right)}{\cos k\left(\frac{L}{2}\right)} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$y = e \left(\frac{\sin k \left(\frac{L}{2} \right)}{\cos k \left(\frac{L}{2} \right)} \cdot \sin k x + \cos k x \right) \dots\dots\dots (3.20)$$

Defleksi maksimum ini terjadi pada $L/2$ karena pada titik ini turunan Persamaan (3.20) sama dengan nol, jadi :

$$y_{\max} = e \left(\frac{\sin^2 k \left(\frac{L}{2} \right)}{\cos k \left(\frac{L}{2} \right)} + \cos k \left(\frac{L}{2} \right) \right) = e \cdot \sec \frac{k L}{2} \dots\dots\dots (3.21)$$

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

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} + \frac{P_{cr} \cdot e \cdot C}{I} = \frac{P_{cr}}{A} + \frac{P_{cr} \cdot y_{\max} \cdot C}{A \cdot r^2} \dots\dots\dots (3.22)$$

$$= \frac{P_{cr}}{A} \left(1 + \frac{y_{\max} \cdot C}{r^2} \right) \dots\dots\dots (3.23)$$

$$= \frac{P_{cr}}{A} \left(1 + \frac{e \cdot C}{r^2} \cdot \sec \left(\sqrt{\frac{P_{cr}}{EI}} \cdot \frac{L}{2} \right) \right) \dots\dots\dots (3.24)$$

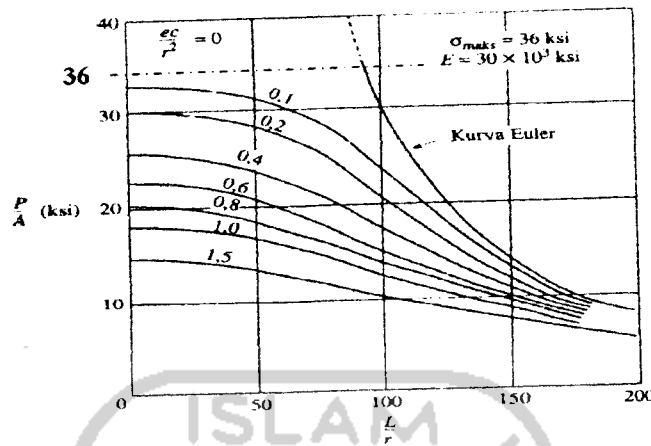
karena $I = A \cdot r^2$, maka Persamaan 3.24 dapat ditulis :

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \left(1 + \frac{e \cdot C}{r^2} \cdot \sec \left(\sqrt{\frac{P_{cr}}{EA}} \cdot \frac{L}{2r} \right) \right) \dots\dots\dots (3.25)$$

atau dapat ditulis :

$$P_{cr} = \frac{F_{cr} \cdot A}{1 + \frac{e c}{r^2} \sec \left(\frac{L}{2r} \right) \sqrt{\frac{P_{cr}}{EA}}} \dots\dots\dots (3.26)$$

Dari buku *Mekanika Bahan Gere dan Timoshenko, 2000* diperoleh gambar grafik hubungan antara P_{cr}/A dengan L/r pada berbagai variasi rasio eksentrisitas ec/r^2 seperti di bawah ini :

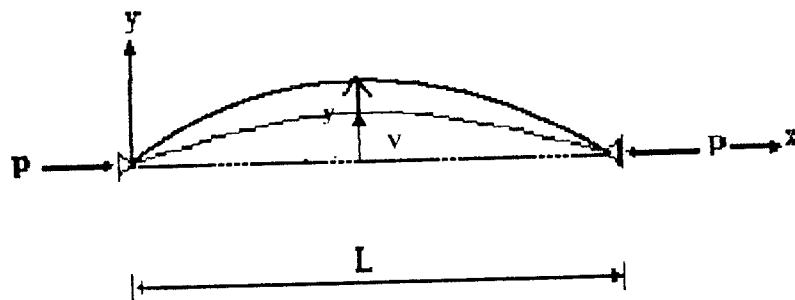


Gambar 3.4 Grafik Rumus Sekan

Dari Gambar 3.4 diatas diasumsikan tegangan leleh bahan sama dengan tegangan kritis yang dipilih yaitu 36 ksi. Garis putus-putus horizontal menunjukkan batas dari kurva sekan bila eksentrisitas mendekati nol. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tegangan kritis sebuah kolom sangat berkurang apabila rasio L/r bertambah. Dan juga tampak bahwa tegangan kritis berkurang apabila eksentrisitas bertambah.

3.5 Pengaruh gaya geser terhadap kolom tunggal

Gambar 3.5 di bawah ini adalah sebuah kolom tunggal yang dibebani gaya tekan (P). Akibat pengaruh beban (P), kolom melentur dan di dalam penampangnya timbul gaya geser.



Gambar 3.5 Pengaruh Beban (P) yang menyebabkan Gaya Geser

Pelenturan akibat gaya tekan ditunjukkan dengan garis lengkung penuh sedangkan pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan garis putus-putus.

Ditinjau penampang batang yang letaknya x dari ujung bawah. Andaikan pelenturan ditempat tersebut adalah y . Maka pelenturan akibat beban (P), dinyatakan dengan persamaan (Padosbajayo, 1992):

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P \cdot y}{EI} \dots\dots\dots(3.27)$$

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

$$V = \frac{Mx}{dx} \text{ atau } V = P \cdot \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots(3.28)$$

Kemiringan (slop) yang terjadi akibat gaya geser adalah :

$$\theta = \frac{\text{Tegangan Geser}}{\text{Re gangan Geser}} \dots\dots\dots(3.29)$$

dengan memperhtungkan faktor bentuk (β) diperoleh :

$$\theta = \frac{\beta \cdot V}{A \cdot G} \text{ atau } \theta = \frac{\beta}{A \cdot G} P \cdot \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots(3.30)$$

dengan:

β = Faktor Bentuk

A = Luas Penampang

G = Modulus Geser

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

μ = nilai banding poison (poison ratio)

Pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{A \cdot G} P \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots(3.31)$$

Pelenturan total (akibat P dan V) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} y + \frac{\beta P}{A \cdot G} \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots(3.32)$$

atau

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{EI \left(1 - \frac{\beta P}{A \cdot G} \right)} \dots\dots\dots(3.33)$$

Penyelesaian persamaan diatas adalah :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} + \frac{1}{\left(1 + \frac{\beta \pi^2 EI}{A.G L^2}\right)} \dots\dots\dots (3.34)$$

dengan : $\frac{\pi^2 EI}{L^2} = P_e$ (beban tekuk euler)

andaikan $\frac{\beta}{A.G} = \frac{1}{S_v}$; Persamaan 3.34 dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah

ini :

$$P_{cr} = P_e + \frac{1}{\left(1 + \frac{P_e}{S_v}\right)} \dots\dots\dots (3.35)$$

dengan :

P_{cr} = beban kritis kolom tunggal

P_e = persamaan euler

$\frac{1}{S_v}$ = kekakuan geser kolom

Masing-masing ruas Persamaan 3.34 dibagi dengan luas (A) diperoleh persamaan :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} + \frac{1}{\left(1 + \frac{\beta \pi^2 EI}{A.G L^2}\right)} \dots\dots\dots (3.36)$$

karena $I = A.r^2$, maka Persamaan 3.36 dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL/r)^2} + \frac{1}{\left(1 + \frac{\beta \pi^2 EI}{A.G L^2}\right)} \dots\dots\dots (3.37)$$

Persamaan 3.37 dapat dinyatakan dalam bentuk yang sederhana sebagai berikut :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\alpha.KL/r)^2} \dots\dots\dots (3.38)$$

dengan $\alpha = \sqrt{1 + 2(1 + \mu)\pi^2 \beta (KL/r)^2}$

untuk baja $\mu = 0,3$ dan $\beta = 2$, hubungan kelangsingan pada kelangsingan 50 dan 70, adalah sebagai berikut :

$$(KL/r) = 50 \quad \alpha = 1,01$$

$$(KL/r) = 70 \quad \alpha = 1,005$$

Tampak bahwa, pengaruh gaya lintang terhadap beban kritis profil tunggal relatif kecil. Untuk kelangsingan 50 pengaruh gaya lintang lebih kurang satu persen, sedangkan pada kelangsingan 70, pengaruhnya setengah persen, sehingga sering diabaikan. Sedangkan untuk kolom tersusun pengaruh gaya lintang cukup berarti seperti pada uraian berikut.

3.6 Pengaruh gaya geser terhadap kapasitas kolom tersusun

Pengaruh gaya lintang terhadap beban kritis kolom tersusun dengan penghubung double diagonal dinyatakan dengan persamaan (*Padoshajayo, 2000*) :

$$P_{cr1} = P_{cr0} \frac{1}{1 + \frac{P_{cr0}}{S_v}} \dots\dots\dots(3.39)$$

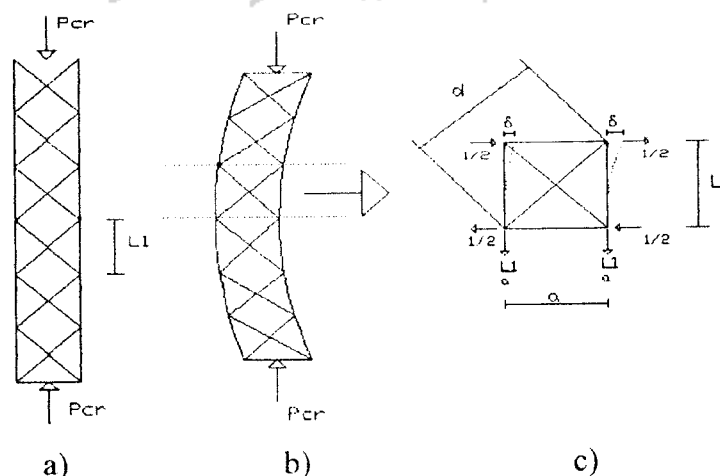
dengan :

P_{cr0} = persamaan beban tekuk euler

P_{cr1} = beban kritis pada kolom tersusun

$\frac{1}{S_v}$ = kekakuan geser dari kolom

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



Gambar 3.6 Efek geser pada kolom tersusun perangkat dobel 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 (ΔL) Gambar 3.6b adalah :

$$\Delta L = \frac{V \cdot L_1}{A_d \cdot E \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \dots \dots \dots (3.40)$$

dengan :

θ = Sudut antara arah gaya geser dengan batang diagonal

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

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

A_d = Luas penampang batang diagonal

Perubahan tempat arah horisontal akibat perpanjangan batang diagonal (δ) adalah :

$$\delta = \frac{V \cdot L_1}{A_d \cdot E \cdot \sin \theta \cdot \cos^2 \theta} \dots \dots \dots (3.41)$$

dari Gambar 3.4b dengan sudut sebesar (θ) dapat diketahui bahwa :

$$\cos^2 \theta = \frac{a^2}{d^2} \dots \dots \dots (3.42)$$

$$\sin \theta = \frac{L_1}{d} \dots \dots \dots (3.43)$$

dengan mensubstitusikan Persamaan 3.42 dan 3.43 ke Persamaan 3.41 diperoleh nilai (δ) :

$$\delta = \frac{V \cdot d^3}{A_d \cdot E \cdot a^2} \dots \dots \dots (3.44)$$

dengan mengasumsikan bahwa gaya geser (V) yang bekerja sesuai Gambar 3.6c

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

$$\delta = \frac{\frac{1}{2} \cdot d^3}{A_d \cdot E \cdot a^2} \dots\dots\dots (3.45)$$

dimana d adalah panjang batang perangkai diagonal dan a adalah jarak sumbu elemen. Kekakuan geser kolom tersusun menurut *Kuleuven, 2006* adalah :

$$\frac{1}{S_v} = \frac{\delta}{L_1} \dots\dots\dots (3.46)$$

dengan mensubstitusikan Persamaan 3.45 ke Persamaan 3.46 maka diperoleh persamaan sbb :

$$\frac{\delta}{L_1} = \frac{1}{L_1} \frac{1}{2} \frac{d^3}{a^2 E A_d} = \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \dots\dots\dots (3.47)$$

dari persamaan 3.47 bila disubstitusi ke dalam Persamaan 3.39, maka didapatkan persamaan beban kritis kolom tersusun dengan memperhitungkan efek geser sbb :

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d}} \dots\dots\dots (3.48)$$

dengan :

- P_{cr1} = beban kritis kolom tersusun dengan perangkai dobel diagonal
- E = modulus elastis
- I = momen inersia
- L = panjang kolom
- d = panjang batang diagonal
- L_1 = jarak antar batang perangkai
- a = jarak antar titik berat profil tunggal pada kolom tersusun.
- A_d = luas penampang batang diagonal

Tegangan kritis kolom didapat dengan membagi ruas kiri dan kanan pada persamaan 3.48 dengan luas penampang (A) menjadi :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 E I}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d}\right]} \quad (3.49)$$

Persamaan 3.48 dan 3.49 digunakan untuk menghitung beban kritis (P_{cr}) dan tegangan kritis (F_{cr}) saat kolom tersusun menerima beban secara terpusat (konsentris). Untuk kolom dibawah rasio kelangsingan kritis persamaan 3.48 dan 3.49 menjadi :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_r I}{(KL)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 E_r I}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d}\right]} \quad (3.50)$$

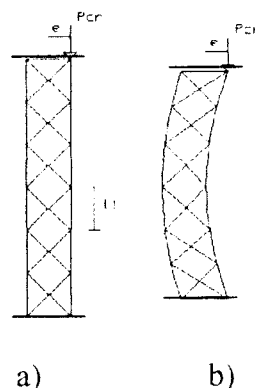
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E_r}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 E_r I}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d}\right]} \quad (3.51)$$

Kolom yang menerima beban secara eksentris, momen yang terjadi harus dihitung.

3.7 Pembebanan Eksentris pada Kolom Tersusun

Spiegel dan Limbrunner, 1986 mengemukakan bahwa kolom dapat mengalami berbagai kombinasi beban. 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 3.7 berikut ini :



Gambar 3.7 Kolom tersusun dengan beban Eksentris

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

$$f_a = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.52)$$

Sedangkan tegangan yang timbul akibat adanya momen lentur adalah :

$$f_b = \frac{M.C_x}{I} \dots\dots\dots(3.53)$$

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

$$f_b = \frac{P.e.C_x}{I} \dots\dots\dots(3.54)$$

Tegangan kritis (F_{cr}) pada penampang kolom yang memikul gaya aksial dan eksentris adalah:

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} + \frac{P_{cr}.e.C_x}{I} \dots\dots\dots(3.55)$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \left(1 + \frac{e.C_x}{I}\right) \dots\dots\dots(3.56)$$

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan kritis (F_{cr}) maksimum yang terjadi adalah tegangan kritis (F_{cr}) kolom pada saat menerima beban secara sentris (persamaan 3.49), maka untuk berbagai macam kelangsingan persamaan 3.56 menjadi :

$$\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right] = \frac{P_{cr}}{A} \left(1 + \frac{e.C_x}{I}\right) \dots\dots\dots(3.57)$$

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

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right] \dots\dots\dots(3.58)$$

$$\left(\frac{1}{A} + \frac{e.C_x}{I} \right)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E A_d} \right] \frac{A.I}{[I + A.e.C_x]} \dots\dots\dots(3.59)$$

dengan $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$, maka $I = r^2 \cdot A$, persamaan 3.59 dapat disederhanakan menjadi :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 EAd}\right]} \frac{r^2}{\left[r^2 + eC_x\right]} \dots\dots\dots(3.60)$$

Dari persamaan 3.60 terlihat bahwa kapasitas kolom tersusun (P_{cr}) dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain kelangsingan (KL/r), jarak antar batang perangkai (L_1), panjang kolom (L), panjang batang diagonal (d) dan sebagainya. Semakin besar kelangsingan batang (KL/r) maka beban kritis (P_{cr}) semakin kecil.

Karena kelangsingan berada dibawah nilai kelangsingan kritis maka nilai modulus elastis (E) persamaan 3.60 diganti dengan modulus yang lain misalnya modulus tereduksi (E_r) menjadi :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_r A}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 E_r I}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E_r Ad}\right]} \frac{r^2}{\left[r^2 + eC_x\right]} \dots\dots\dots(3.61)$$

3.8 Hubungan Tanpa Dimensi Antara P_{cr}/P_y dengan KL/r

Persamaan 3.61 bila dibagi dengan P_y (tegangan leleh) pada ruas kiri dan kanan maka akan didapat rasio persamaan nondimensional P_{cr}/P_y dengan berbagai kelangsingan KL/r seperti persamaan dibawah ini :

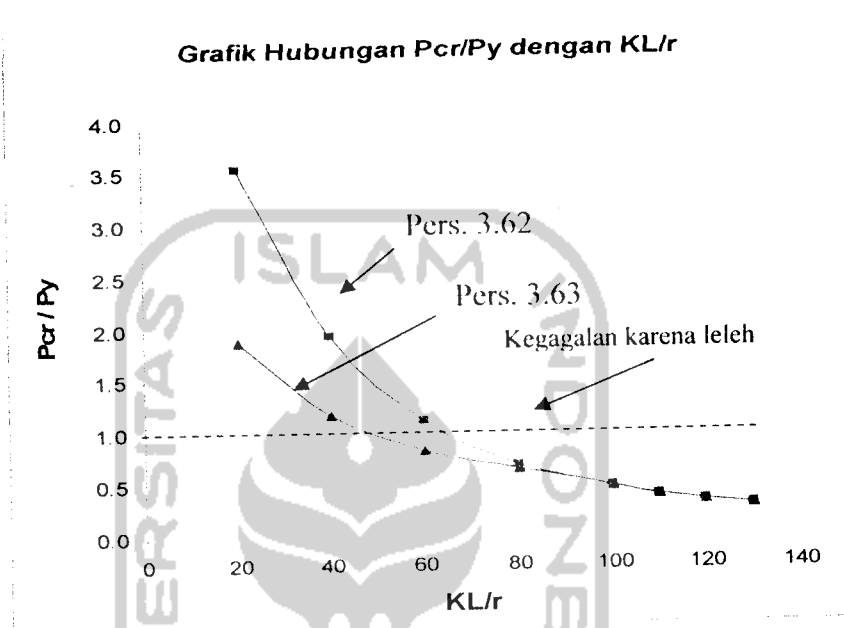
$$\frac{P_{cr}}{P_y} = \frac{\pi^2 \cdot E_r \cdot F_y}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 \cdot E_r \cdot I}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 \cdot E_r \cdot Ad}\right]} \frac{r^2}{\left[r^2 + eC_x\right]} \dots\dots\dots(3.62)$$

Karena kelangsingan berada di bawah nilai batas kelangsingan kritis maka nilai modulus elastis (E) diganti dengan modulus tereduksi (E_r) persamaan 3.62 menjadi :

$$\frac{P_{cr}}{P_y} = \frac{\pi^2 E_r F_y}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 E_r I}{(KL)^2} \frac{1}{2L_1} \frac{d^3}{a^2 E_r Ad}\right]} \frac{r^2}{\left[r^2 + eC_x\right]} \dots\dots\dots(3.63)$$

Rasio KL/r akan mempengaruhi panjang kolom (L) yang bervariasi dengan nilai a (jarak titik berat antar profil tunggal) tetap.

Berikut ini adalah grafik hubungan antara P_{cr}/P_y dengan KL/r :



Gambar 3.8 Grafik hubungan P_{cr}/P_y dengan kelangsingan (KL/r)

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa persamaan yang memakai modulus tereduksi (E_r) berada dibawah persamaan euler dengan modulus elastisitas (E) tetap. Dari grafk juga dapat diketahui bahwa semakin besar kelangsingan kolom (KL/r) maka besarnya perbandingan beban kritis dengan beban leleh (P_{cr}/P_y) yang diterima kolom semakin kecil.

3.9 Kegagalan Pada Kolom Tersusun

Kegagalan batang tekan (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 (*stokly column*) dan penampangnya kompak
2. Kegagalan yang diakibatkan oleh tekuk. Kegagalan yang diakibatkan oleh tekuk terdiri dari dua macam yaitu : (1) tekuk total (*overall buckling*), batang tekan mengalami tekuk total bila penampang batang kompak dan langsing (KL/r besar); (2) tekuk lokal (*local buckling*), batang yang mengalami tekuk lokal

memiliki penampang yang tidak kompak dan elemen penampangnya langsing (rasio b/t besar).

3.9.1 Kegagalan Karena Leleh

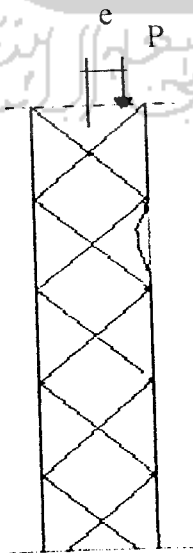
Kegagalan ini akan terjadi apabila tegangan kritis kolom melebihi tegangan hancur (leleh) material (F_y). Besarnya beban leleh adalah :

$$P_y = A_g \cdot F_y \quad (3.64)$$

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

3.9.2 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 setempat. Tekuk setempat elemen plat dapat mengakibatkan kehancuran penampang keseluruhan yang terlalu dini, atau paling sedikit menyebabkan tegangan menjadi tak merata dan mengurangi kekuatan keseluruhan. Kerusakan kolom akibat tekuk lokal dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.9. 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 :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{t}\right)^2} \dots\dots\dots(3.65)$$

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

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

$$k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{t}\right)^2} < F_{cr} \dots\dots\dots(3.66)$$

Pada persamaan terlihat bahwa nilai F_{cr} sangat dipengaruhi oleh koefisien tekuk (k) dan nilai rasio lebar terhadap tebal (b/t).

Sedangkan untuk mencegah terjadinya tekuk komponen tunggal,

$$\lambda_1 \leq 50 \dots\dots\dots(3.67)$$

$$\frac{\pi^2 E}{(KL/r_{\min})^2} \leq 50 \dots\dots\dots(3.68)$$

sesuai persyaratan *SNI BAJA (9.3-7) Hal 59* :

a). $\lambda_{ix} \geq 1,2\lambda$

b). $\lambda_{iy} \geq 1,2\lambda$

c). $\lambda_1 \leq 50$

dengan :

λ = kelangsingan kolom tersusun

λ_{ix} = kelangsingan arah tegak lurus sumbu bahan (sumbu x-x)

λ_{iy} = kelangsingan arah tegak lurus sumbu bahan (sumbu y-y)

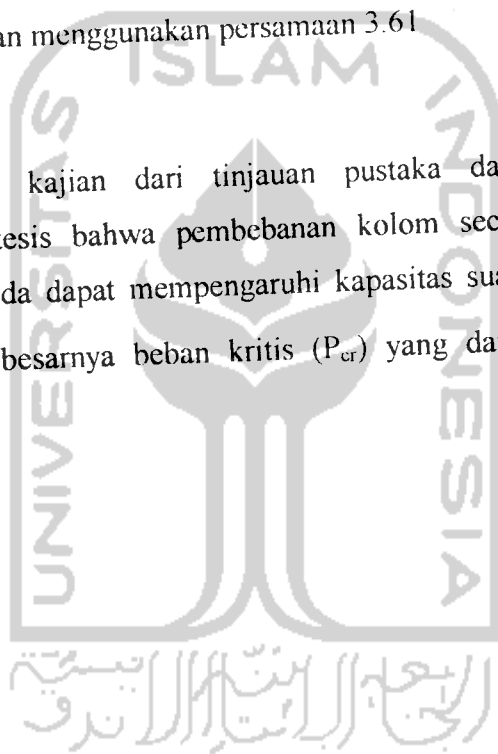
λ_1 = kelangsingan kolom tersusun pengaruh L_1

3.9.3 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

3.10 Hipotesis

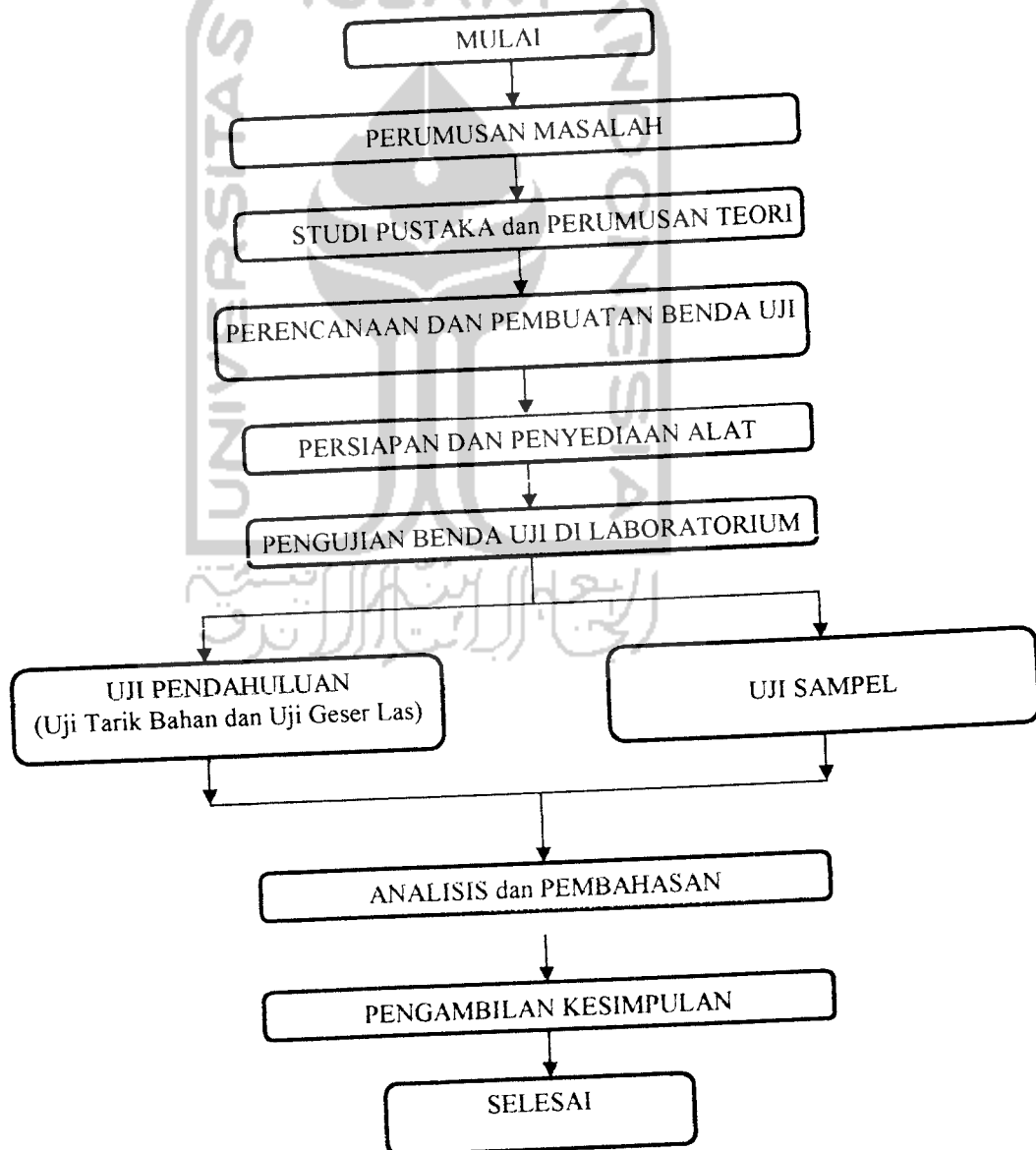
Berdasarkan kajian dari tinjauan pustaka dan landasan teori dapat dikemukakan hipotesis bahwa pembebanan kolom secara eksentris (e) dengan kelangsingan berbeda dapat mempengaruhi kapasitas suatu kolom. Semakin besar nilai KL/r maka besarnya beban kritis (P_{cr}) yang dapat diterima suatu kolom semakin kecil.



BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian adalah urutan pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Prosedur penelitian seperti pada flowchart Gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1 Bagan Alir Metodologi Penelitian

Tahap – tahap penelitian adalah sebagai berikut :

1. Tahap perumusan masalah

Tahan ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan, dan pembatasan masalah.
2. Tahap studi pustaka dan 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. Perencanaan dan pembuatan benda uji
 - b. Persiapan peralatan
 - c. Pengujian benda uji di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII
 - d. Pengujian dilaksanakan dengan cara memberikan beban statis dengan eksentris tetap terhadap benda uji sampai terjadi kerusakan pada benda uji.
4. Tahap Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan dengan mencatat hasil uji berupa pembacaan dial yang terjadi dan melakukan 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 :

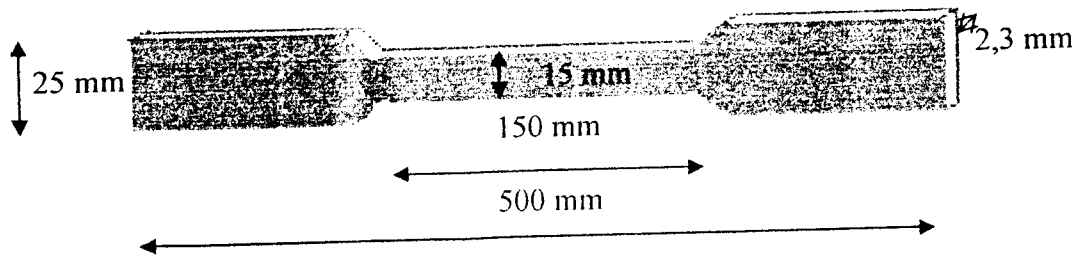
4.2.1 Bahan

4.2.1.1 Benda Uji Pendahuluan

Benda uji pendahuluan berupa sampel uji sambungan las dan tarik bahan

a. Benda Uji Tarik Bahan

Benda uji yang digunakan sebanyak dua buah. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh baja (f_y) serta tegangan ultimit baja (F_u).



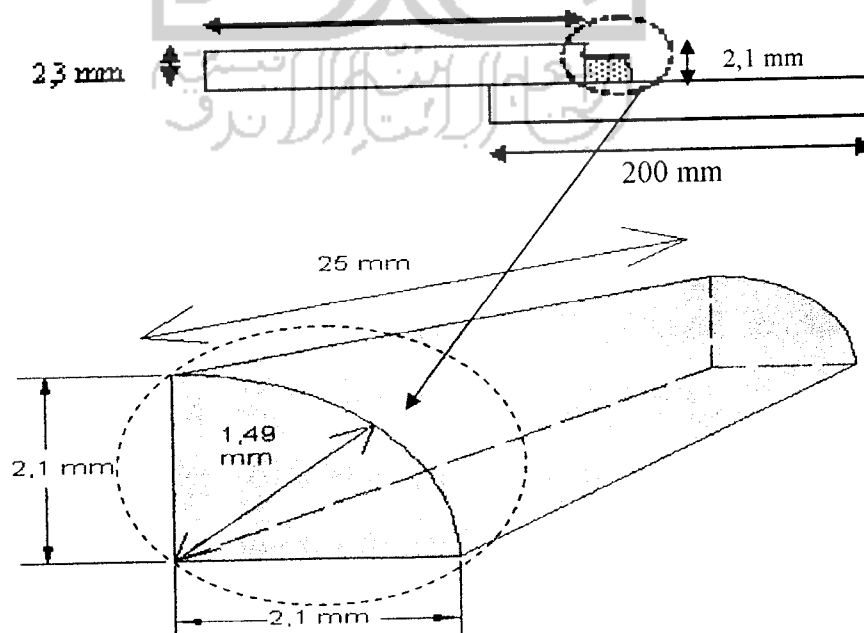
Gambar 4.2 Sample Uji Tarik Bahan

Berdasarkan besar tegangan leleh, ASTM membagi baja dalam empat kelompok yaitu : (Padoshajayo, 1992)

- Carbon steels*, tegangan leleh 210 – 260 Mpa
- High-strength low-alloy steels*, tegangan leleh 280-490 Mpa
- Heat treated carbon and high-strength low alloy steels*, tegangan leleh 322-700 Mpa
- 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 (*l'u*) sambungan las dan juga untuk mengetahui jenis elektroda yang dipakai. Adapun bentuk benda ujinya adalah sbb :



Gambar 4.3 Gambar Benda Uji Sambungan Las

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

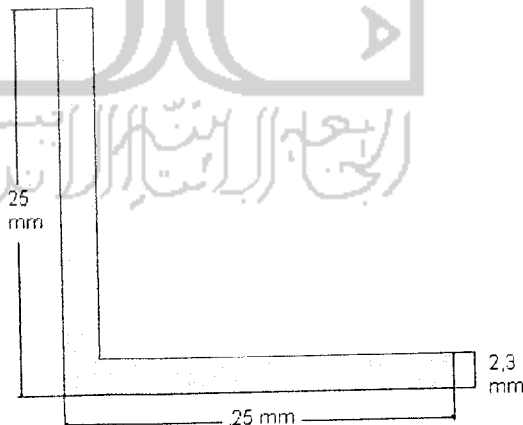
Tabel 4.1 Jenis Kawat Las beserta Tegangan Minimumnya

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. Sample Benda Uji

a. Baja profil

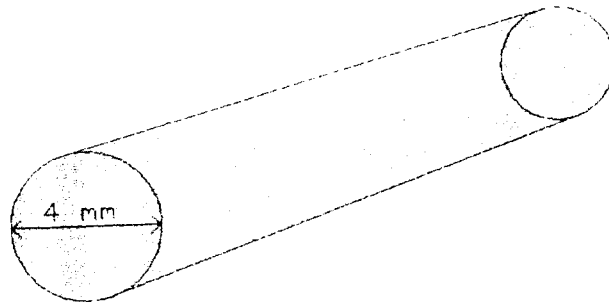
Baja profil yang digunakan adalah baja profil siku 25 x 25 x 2,3 mm sebagai kolom tersusun dengan variasi panjang kolom (L). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut :



Gambar 4.4 Baja Profil Siku

b. Batang Perangkai

Batang perangkai diagonal menggunakan baja bulat polos diameter 4 mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut :



Gambar 4.5 Baja Bulat Polos

c. Las

Sambungan las menggunakan kekuatan tarik maksimal.

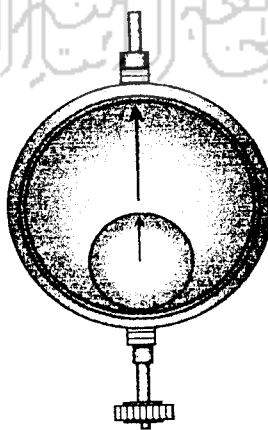
4.2.2. Peralatan penelitian

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.

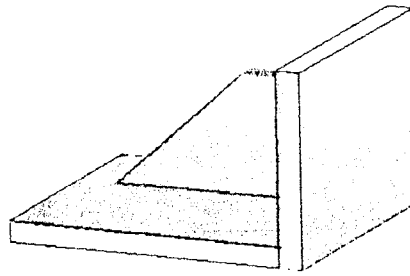
Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah (Gambar 4.11)



Gambar 4.6 *Dial Gauge*

b. *Dukungan Sendi*

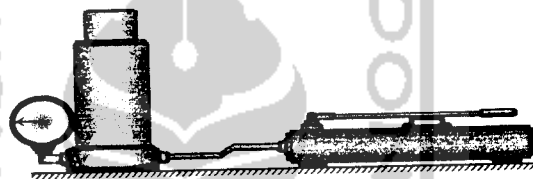
Dukungan sendi dipasang pada kedua dukungan kolom, seperti pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 *Dukungan Sendi*

c. *Hydraulic Jack*

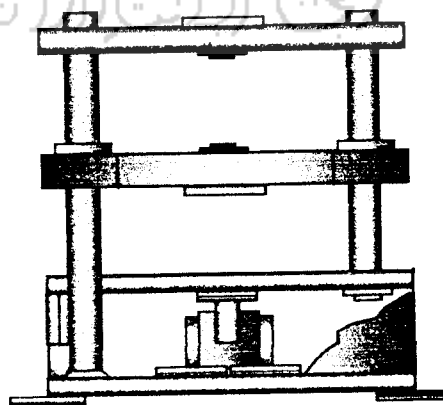
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian kolom skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton. (lihat Gambar 4.8)



Gambar 4.8 *Hydraulic Jack*

d. *Mesin Uji Kuat Tarik*

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



Gambar 4.9 *Universal Testing Material Shimizu UMH30*

e. *Jangka Sorong*

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

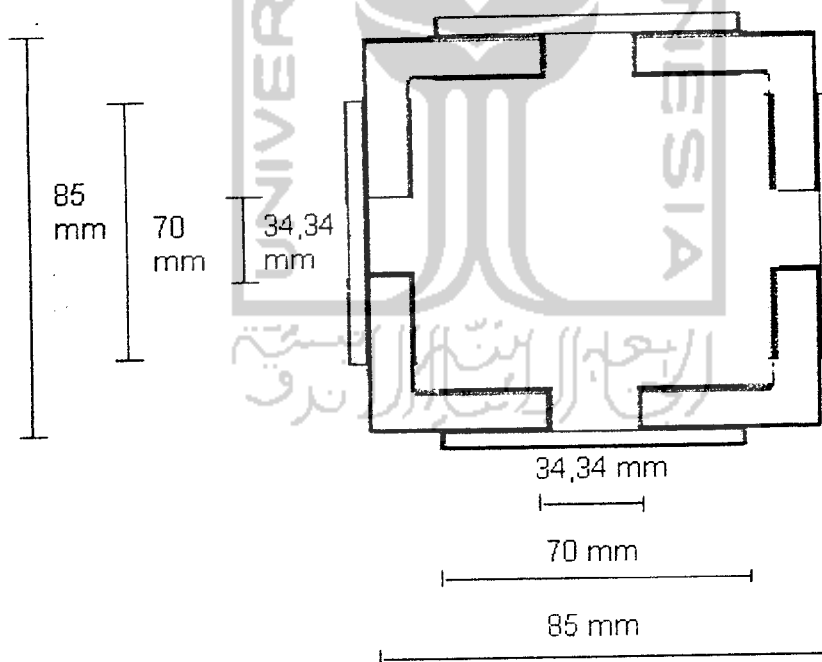
4.3 Pelaksanaan Penelitian

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 yang dirangkai dengan baja tulangan P4, dengan jarak eksentrisitas beban terhadap pusat beratnya tetap yaitu 18 mm. Pada penelitian ini digunakan 4 model benda uji dimana jarak tinggi perangkai (L_1) tetap yaitu 150 mm, jarak antar profil (a) tetap yaitu 70 mm. Sedangkan panjang kolom (L) masing-masing benda uji adalah :

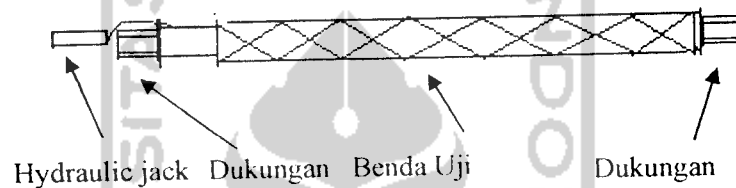
- i. Benda uji I : $KL/r = 20$, $L = 717$ mm
- ii. Benda uji II : $KL/r = 40$, $L = 1434$ mm
- iii. Benda uji III : $KL/r = 60$, $L = 2151$ mm
- iv. Benda uji IV : $KL/r = 80$, $L = 2867$ mm



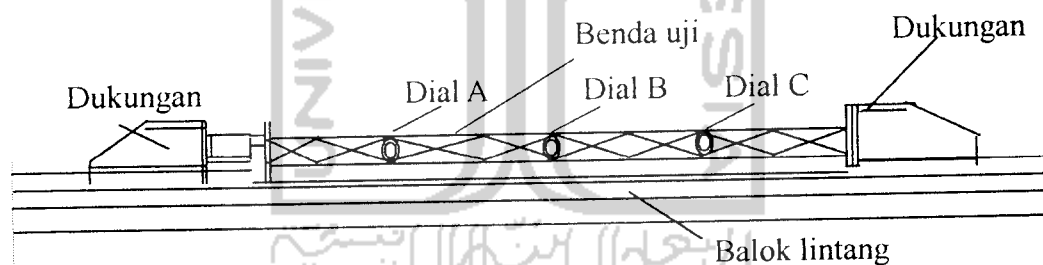
Gambar 4.10 Potongan melintang 4 profil siku

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 *Hydraulic 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 4.12 Benda uji tampak atas

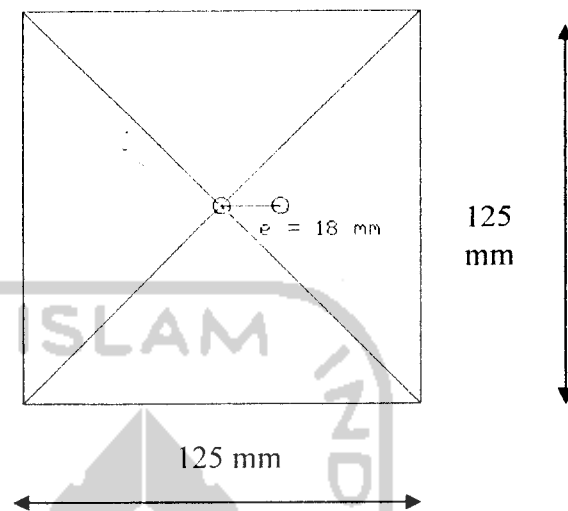


Gambar 4.13 Benda uji tampak samping

4.3.3. Proses Pengujian Kapasitas Kolom Tersusun Pembebanan Eksentris Tetap dengan Berbagai Kelangsingan

Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan eksentris tetap yaitu 18 mm dengan variasi panjang kolom (L) secara bertahap. Sample pertama yang diuji adalah kolom dengan kelangsingan 20 karena pada kelangsingan ini kuat tekan yang diperoleh sesuai persamaan 3.61 adalah yang terbesar, bila kuat tekan besar dan plat pada ujung kolom saat diuji tidak rusak maka untuk kelangsingan selanjutnya plat tersebut dapat dipakai, dalam perencanaan ini memakai plat dengan tebal 0,5 cm. 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 4.14 Plat dengan eksentrisitas 18 mm

Setelah *dial gauge* dipasang dan *hydraulic jack* siap dipompa maka pengujian tekan dapat dilakukan. Pengujian sampel pada penelitian ini dilakukan dengan cara uji tidur, seperti tampak pada gambar 4.16

Proses pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan cara memompa *hydraulic jack* secara bertahap setiap kelipatan 3,92 kN (400 Kg). Pembacaan lendutan pada *dial gauge* dilakukan setiap kenaikan pembebanan 3,92 kN (400 Kg). Proses ini dilakukan berulang kali sampai *hydraulic jack* tidak bisa dipompa sebagai tanda sudah mencapai beban maksimum. Untuk kolom-kolom selanjutnya cara pelaksanaan pengujiannya sama dengan kelangsingan 20.

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

Pelaksanaan pengujian kuat tarik baja profil siku dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Tujuan uji tarik ini untuk mengetahui tegangan leleh (F_y) maupun tegangan batas (F_u) profil siku guna mengetahui perilaku kolom tersusun dengan kelangsingan bervariasi yang menerima beban eksentris.

Dari hasil pengujian kuat tarik didapat hasil pada tabel 5.1 sebagai berikut :

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 (Pu) (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Ultimit (Fu) (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.

Data hasil uji geser las ditunjukkan dalam Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

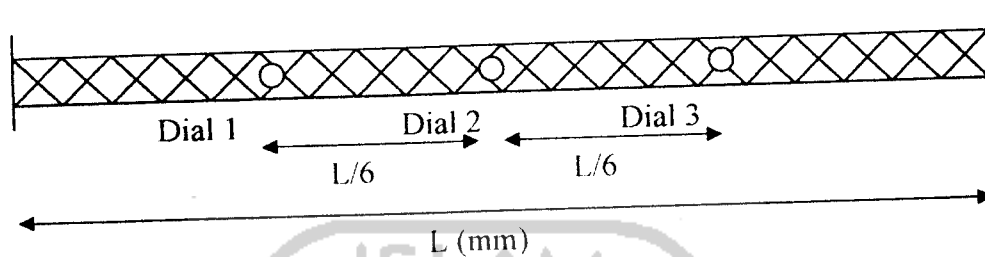
Benda Uji	Luas Las (mm ²)	Beban Maksimum(N)	Tegangan Ultimit (Fu) (Mpa)
Sampel 1	37,12	13783,05	371,31
Sampel 2	37,12	9270,45	249,74
Rata - Rata	-	-	310,525

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

5.1.2 Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun

Pengujian kuat tekan kolom tersusun diberikan beban aksial eksentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 3,92 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 $L/6$ mm.
Pemasangan dial dapat dilihat pada Gambar 5.1

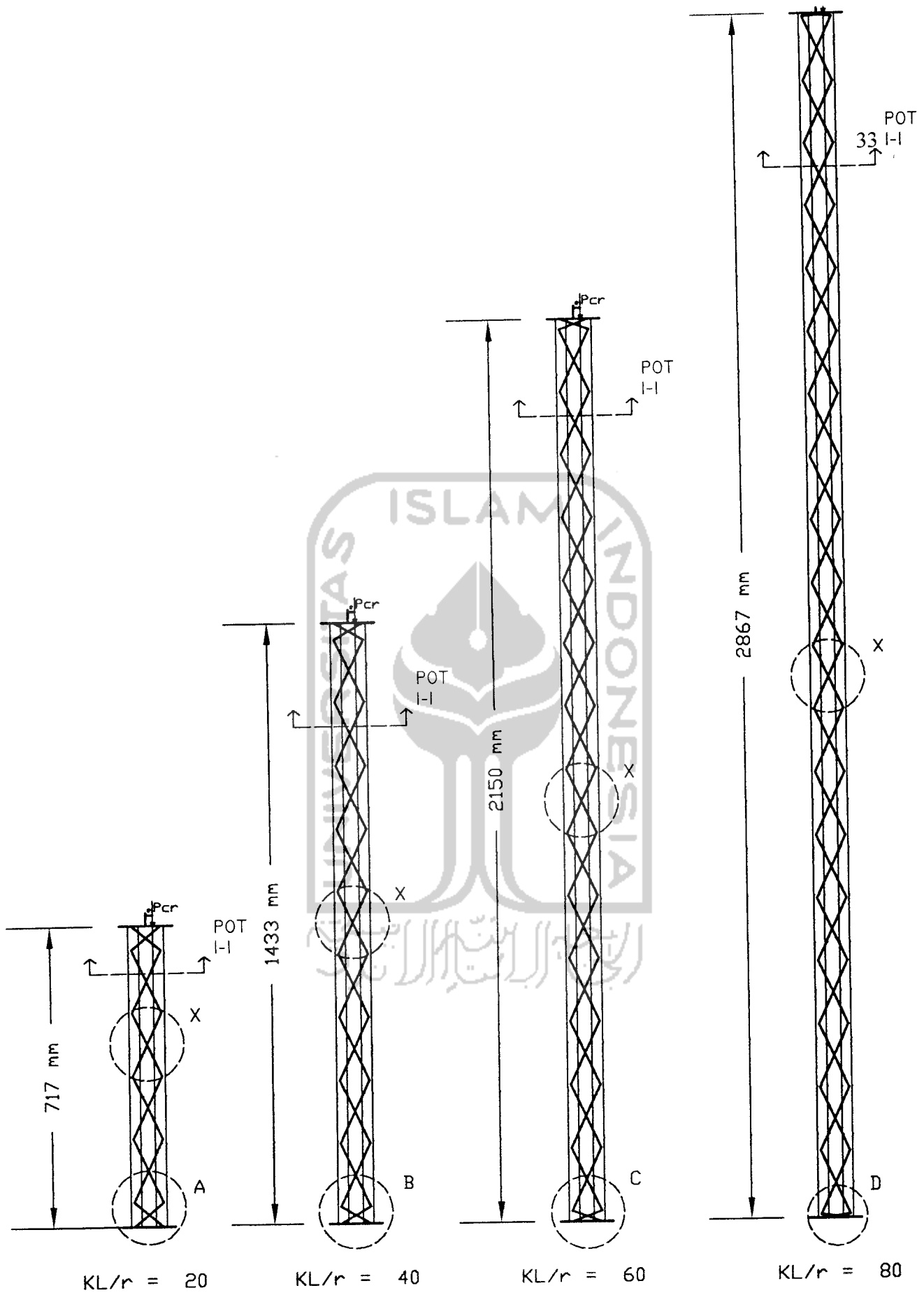


Gambar 5.1 Penempatan Dial Pada Benda Uji

Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut :

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun

BENDA UJI 1 $kL/r = 20$				BENDA UJI 2 $kL/r = 40$				BENDA UJI 3 $kL/r = 60$				BENDA UJI 4 $kL/r = 80$			
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	kN	mm	mm	mm	kN	mm	mm	mm	kn	mm	mm	mm
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
3.92	0.00	0.00	0.00	3.92	0.00	0.00	0.00	3.92	2.72	1.93	1.02	3.92	0.45	0.51	0.44
7.85	0.00	0.00	0.00	7.85	0.00	0.00	0.00	7.85	2.80	1.97	0.99	7.85	0.99	1.12	1.01
11.77	0.00	0.00	0.00	11.77	0.00	0.05	0.00	11.77	3.00	2.18	1.07	11.77	1.51	1.70	1.55
15.70	0.00	0.00	0.00	15.70	0.00	0.04	0.00	15.70	3.27	2.46	1.26	15.70	2.01	2.27	2.10
19.62	0.00	0.00	0.03	19.62	0.05	0.20	0.00	19.62	3.50	2.69	1.40	19.62	2.49	2.84	2.63
23.54	0.00	0.00	0.07	23.54	0.40	0.45	0.12	23.54	3.75	2.92	1.58	23.54	3.04	3.45	3.17
27.47	0.00	0.00	0.12	27.47	0.59	0.63	0.25	27.47	4.95	3.52	1.96	27.47	3.61	4.09	3.78
31.39	0.00	0.00	0.18	31.39	0.70	0.74	0.34	31.39	6.78	5.31	3.13	31.39	4.19	4.67	4.27
35.32	0.00	0.02	0.22	35.32	0.84	0.84	0.47	35.32	7.10	5.59	3.34	35.32	6.55	6.78	5.85
39.24	0.00	0.05	0.26	39.24	0.92	0.92	0.59	39.24	7.41	5.91	3.59	39.24	7.43	7.65	6.54
43.16	0.00	0.08	0.30	43.16	1.00	1.00	0.66	43.16	7.75	6.22	3.80	43.16	11.51	11.10	9.07
47.09	0.00	0.10	0.34	47.09	1.06	1.06	0.73	47.09	8.07	6.54	4.01	47.09	13.11	12.60	10.20
51.01	0.00	0.13	0.37	51.01	1.10	1.12	0.79	51.01	8.33	6.78	4.19	51.01	13.57	13.24	10.76
54.94	0.00	0.14	0.40	54.94	1.17	1.23	0.87	54.94	8.65	7.09	4.44	54.94	14.60	14.13	11.47
58.86	0.00	0.15	0.43	58.86	1.18	1.27	0.91	58.86	8.97	7.36	4.64	58.86	15.33	14.90	12.11
62.78	0.00	0.15	0.45	62.78	1.23	1.35	0.96	62.78	9.25	7.64	4.83	62.78	16.22	15.84	12.90
66.71	0.00	0.15	0.48	66.71	1.28	1.44	1.01	66.71	9.64	7.98	5.06	66.71	17.18	16.80	13.73

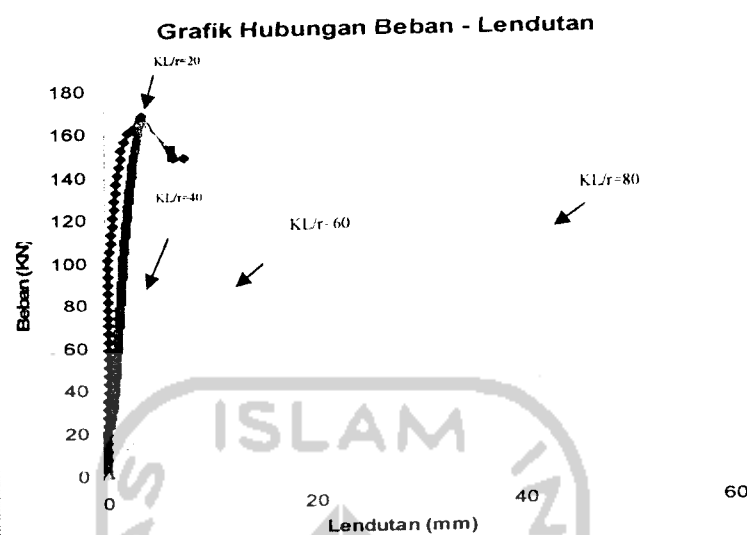


Gambar 4.11 Benda uji dengan berbagai kelangsingan

Perhitungan dan gambar benda uji lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

70.63	0.00	0.15	0.49	70.63	1.31	1.49	1.07	70.63	9.88	8.24	5.24	70.63	18.03	17.74	14.47
74.56	0.00	0.14	0.51	74.56	1.36	1.57	1.12	74.56	10.26	8.58	5.52	74.56	19.00	18.75	15.33
78.48	0.00	0.13	0.52	78.48	1.40	1.60	1.18	78.48	10.63	8.97	5.80	78.48	19.90	19.72	16.14
82.40	0.00	0.10	0.52	82.40	1.43	1.65	1.23	82.40	11.02	9.32	6.06	82.40	20.97	20.86	17.11
86.33	0.00	0.09	0.54	86.33	1.49	1.71	1.29	86.33	11.41	9.69	6.34	86.33	22.12	22.10	18.15
90.25	0.00	0.10	0.58	90.25	1.52	1.77	1.35	90.25	11.77	10.02	6.58	90.25	23.31	23.40	19.30
94.18	0.00	0.00	0.58	94.18	1.58	1.85	1.43	94.18	12.25	10.48	6.92	94.18	26.13	26.68	22.33
98.10	0.00	0.00	0.59	98.10	1.60	1.92	1.51	98.10	12.63	10.85	7.15	98.10	28.04	28.85	24.25
102.02	0.02	0.04	0.60	102.02	1.63	2.00	1.58	102.02	13.12	11.30	7.53	102.02	29.66	30.70	25.85
105.95	0.08	0.15	0.71	105.95	1.70	2.10	1.67	105.95	13.67	11.82	7.89	105.95	32.70	34.20	28.90
109.87	0.21	0.27	0.84	109.87	1.73	2.20	1.75	109.87	14.18	12.29	8.21	108.89	37.60	39.10	32.80
113.80	0.28	0.35	0.93	113.80	1.88	2.30	1.80	113.80	14.80	12.90	8.70	98.10	48.80	53.95	37.80
117.72	0.42	0.45	1.02	117.72	1.91	2.38	1.88	117.72	15.30	13.37	9.01	74.56	52.27	57.70	43.00
121.64	0.47	0.52	1.08	121.64	1.99	2.45	1.94	121.64	15.92	13.96	9.45				
125.57	0.54	0.61	1.18	125.57	2.10	2.59	2.02	125.57	16.65	14.67	9.95				
129.49	0.62	0.73	1.26	129.49	2.17	2.70	2.10	129.49	17.37	15.35	10.48				
133.42	0.69	0.82	1.35	133.42	2.26	2.82	2.20	133.42	18.18	16.18	11.03				
137.34	0.82	0.94	1.48	137.34	2.34	2.91	2.31	137.34	19.15	17.15	11.75				
141.26	0.93	1.07	1.60	141.26	2.45	3.05	2.40	141.26	20.30	19.30	12.52				
145.19	1.06	1.20	1.73	145.19	2.55	3.14	2.50	145.19	21.80	20.80	13.60				
149.11	1.21	1.34	1.83	149.11	2.66	3.28	2.60	148.13	23.30	24.40	16.40				
153.04	1.32	1.49	1.97	153.04	2.85	3.45	2.75	141.26	26.75	26.75	18.25				
156.96	1.54	1.65	2.12	156.96	3.00	3.60	2.86	139.30	29.00	29.90	20.40				
160.88	2.00	2.18	2.58	160.88	3.24	3.85	3.03								
162.85	2.60	2.70	2.65	164.81	3.55	4.15	3.23								
168.73	3.27	3.50	3.60	153.04	7.50	6.80	4.85								
149.11	7.45	6.70	5.65	149.11	7.75	7.00	4.93								
149.11	8.40	7.38	6.95												

Dari Tabel 5.3 ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara beban yang diberikan pada kolom tersusun dengan lendutan pada berbagai kelangsingan dengan nilai eksentrisitas yang tetap seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Beban - Lendutan

Dari hasil pengujian terhadap empat benda uji yang berupa kolom tersusun empat profil siku dengan perangkai dobel diagonal dengan berbagai kelangsingan yang jarak eksentrisnya tetap (18 mm), terlihat bahwa semakin besar variasi kelangsingan (KL/r) maka kapasitas dukung kolom semakin menurun, setelah kolom mengalami beban maksimum maka daya dukung kolom mengalami penurunan tetapi lendutan terus bertambah besar, selain itu dari grafik dapat terlihat bahwa semakin besar kelangsingan grafik semakin turun yang berarti nilai kekakuannya mengecil.

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 luas penampang bidang las , sehingga kekuatan maksimum las dapat diketahui dengan cara tersebut.

5.2.1.1 Uji Tarik Baja

Uji tarik baja untuk menentukan berapa besar tegangan leleh (F_y) dan tegangan ultimit (F_u) dari benda uji tersebut dan juga jenis baja menurut ASTM.

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. Untuk lebih jelasnya perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 3.

Berdasarkan ketentuan ASTM (*Padoshajayo, 1992*) seperti berikut :

- Carbon steels*, tegangan leleh 210 – 260 Mpa
- High-strength low-alloy steels*, tegangan leleh 280-490 Mpa
- Heat treated carbon and high-strength low alloy steels*, tegangan leleh 322-700 Mpa
- Heat-treated constructional alloy steels*, tegangan leleh 630-700 Mpa

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.

Data hasil uji geser las ditunjukkan dalam tabel 5.5

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Tegangan Ultimit Las

Benda Uji	Luas Las (mm ²)	Beban Maksimum(N)	Tegangan Ultimit (Fu) (Mpa)
Sampel 1	37,12	13783,05	371,31
Sampel 2	37,12	9270,45	249,74
Rata - Rata			310,525

Hasil pengujian kuat geser sambungan las rata-rata diatas menunjukkan jenis elektroda yang digunakan dalam penelitian. Untuk lebih jelasnya perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 3.

Berdasarkan ketentuan ASTM (Padosbajayo, 1992) 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

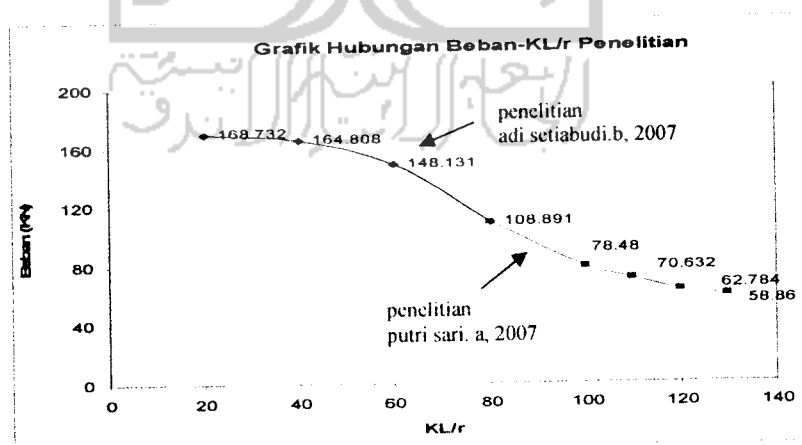
Dapat diketahui bahwa jenis elektroda yang dipakai tidak termasuk dalam tabel diatas karena kemungkinan mutu las yang dipakai sangat rendah, kurang teliti dalam pengukuran luasan, atau karena permukaan bidang yang las saat dilas kurang bersih (berkarat) yang dapat menurunkan mutu las.

5.2.2 Pembahasan Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun

5.2.2.1 Hubungan Beban Kritis (P) dengan Kelangsingan (KL/r)

Dari grafik hubungan beban lendutan (Gambar 5.2) 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) 20 mampu menahan beban 168,73 kN, benda uji kedua dengan kelangsingan (KL/r) 40 mampu menahan beban 164,81 kN, benda uji ketiga dengan kelangsingan (KL/r) 60 mampu menahan beban 148,13 kN, dan untuk benda uji keempat dengan kelangsingan (KL/r) 80 mampu menahan beban 108,89 kN. Hubungan antara kelangsingan (KL/r) dengan beban dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut :



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Beban Maksimum dengan Kelangsingan

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 3.61, 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 3

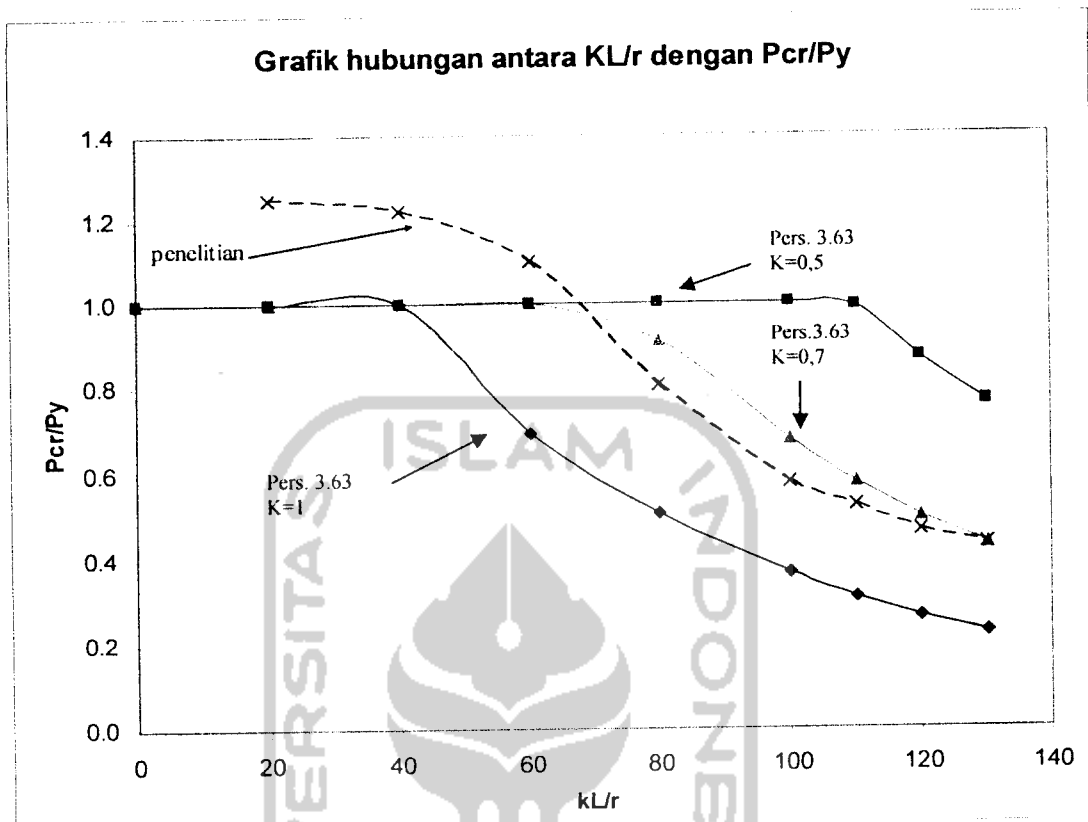
5.2.2.2 Perbandingan Antara (P_{cr}/P_y) dengan Kelangsingan (KL/r) antara Teoritis dengan Hasil Pengujian

Perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan beban kritis teoritis (Persamaan 3.61) dapat ditampilkan dalam bentuk tabel berikut :

Tabel 5.7 Perbandingan (P_{cr}/P_y) Hasil Pengujian dengan Teoritis

Benda uji, KL/r	P_{cr} teoritis	P_{cr} penelitian	P_y penelitian	P_{cr}/P_y Penelitian	P_{cr}/P_y ($K=1$)	P_{cr}/P_y ($K=0,7$)	P_{cr}/P_y ($K=0,5$)
20	300.490	168.732	134.823	1.252	2.229	2.826	3.234
40	147.053	164.808	134.823	1.222	1.091	1.714	2.344
60	93.483	148.131	134.823	1.099	0.693	1.190	1.793
80	68.368	108.891	134.823	0.808	0.507	0.909	1.449

Dari Tabel 5.7 ditampilkan grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dengan tegangan leleh (P_y) antara pengujian dengan teoritis. Dengan memasukkan perbedaan nilai K (= kondisi ujung) yang berbeda akan nampak kecenderungan asumsi dukungan pada penelitian yang dipakai sesuai atau tidak dengan asumsi awal yang berupa sendi-sendi ($K=1$). Berikut ini adalah gambar grafik hubungan antara (P_{cr}/P_y) dengan kelangsingan (KL/r) pada berbagai kondisi ujung :

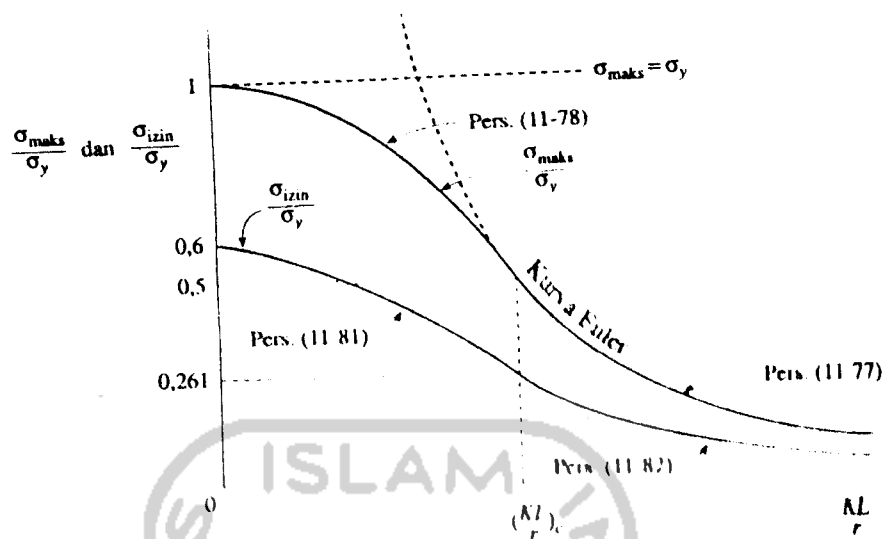


Gambar 5.4 Grafik Hubungan Antara P_{cr}/P_y dengan KL/r .

Berdasarkan pada gambar 5.5 terlihat bahwa hasil penelitian mendekati teori pada persamaan (3.48) dengan kondisi ujung berupa sendi-sendi ($K=1$) dan jepit sendi ($K=0,7$) tetapi lebih cenderung mendekati grafik dengan kondisi ujung berupa jepit sendi ($K=0,7$). Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain : kurang teliti dalam pembacaan dial gauge, dial gauge yang jarang dikalibrasi, adanya pengaruh tegangan residu, dsb. sehingga asumsi awal peneliti bisa saja berbeda.

Hal lain yang nampak dalam grafik penelitian terlihat bahwa bentuknya menyerupai Grafik Sekan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4, ataupun Grafik AISC (*Gere dan Timoshenko, 2000*) seperti berikut :



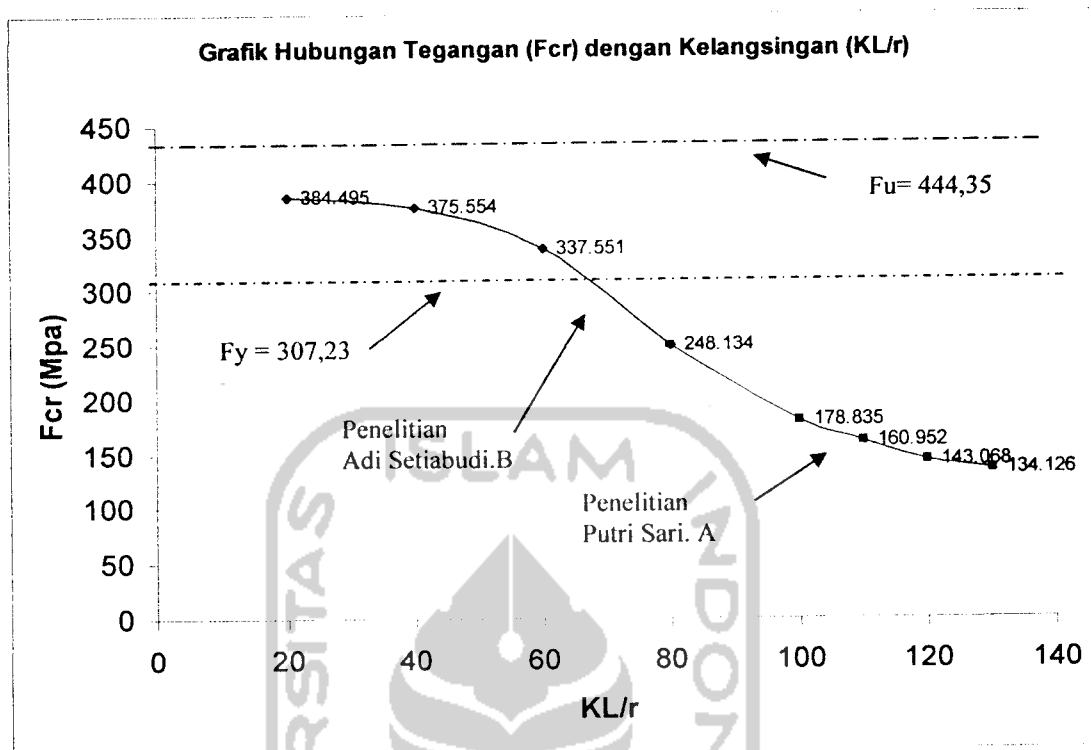


Gambar 5.5 Rumus desain untuk kolom baja-struktural (AISC)

Berarti hasil penelitian hampir sama dengan tren penelitian-penelitian sebelumnya. Untuk kolom langsing rumus Euler dapat dipakai, tetapi untuk kolom pendek dan sedang seharusnya memakai rumus lain, misalnya AISC. Untuk perhitungannya dapat dilihat di Lampiran 2

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 benda uji dengan kelangsingan 20, 40, 60 adalah tekuk lokal (*local buckling*) setelah tegangan lelehnya terlampaui (kegagalan leleh). Untuk kelangsingan 80 mengalami tekuk lokal sebelum tegangan lelehnya terlampaui. Berikut ini ditampilkan grafik hubungan antara tegangan (F_{cr}) dengan kelangsingan (KL/r) yang berbeda. Dari grafik ini juga ditampilkan nilai tegangan leleh (F_y) dari hasil pengujian dan juga tegangan ultimit (F_u) yang nilainya lebih besar daripada tegangan leleh (F_y).



Gambar 5.6 Grafik Pola Kegagalan

Dari Gambar 5.6 nampak bahwa pada kelangsingan 20,40 dan 60 terjadi kegagalan berupa tekuk lokal setelah tegangan leleh terlampaui karena tegangan kritis penelitian melebihi besarnya tegangan leleh uji tarik bahan. Sedangkan pada kelangsingan 80 terjadi tekuk lokal sebelum mencapai tegangan leleh.

Hal ini dapat terjadi karena semakin kecil nilai kelangsingan (KL/r) maka $F_{cr \text{ plat}}$ akan semakin besar bahkan bisa lebih dari $F_{cr \text{ keseluruhan}}$, sehingga keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk lokal kolom.. Hal ini sesuai syarat terjadinya tekuk lokal, yaitu : $F_{cr \text{ plat}} < F_{cr \text{ keseluruhan}}$. Untuk lebih jelasnya tekuk yang terjadi pada kolom dapat dilihat di Lampiran 4 (foto pengujian). Pada tabel berikut ditampilkan analisa pola kegagalan.

Tabel 5.8 Analisis Pola Kegagalan

kL/r	E_r (Mpa)	Fcr keseluruhan : $\pi^2 E_r / (kL/r)^2$	P (N)	A_{gab} (mm ²)	k	Fcr plat : $k\pi^2 E_r / (12 \cdot (1 - \mu^2) (b/t)^2)$	pola kegagalan
20	106280	2622,35	168732	438,84	0,2546	384,50	tekuk lokal
40	121135	747,22	164808	438,84	0,2182	375,55	tekuk lokal
60	150805	413,44	148131	438,84	0,1576	337,55	tekuk lokal
80	185000	285,29	108891	438,84	0,0944	248,13	tekuk lokal

Dari tabel terlihat bahwa semakin turun nilai P maka nilai k juga semakin kecil. Selain itu tekuk lokal juga disebabkan karena penampang ukuran dari profil yang digunakan pada benda uji tidak sesuai dengan standar teoritis, sehingga menyebabkan rasio b/t profil baja yang digunakan $\geq 10,8$.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kolom tersusun dari empat profil siku yang dirangkai dengan perangkai dobel diagonal dapat diambil kesimpulan sebagai berikut yaitu :

1. Kolom tersusun profil siku dengan menggunakan perangkai dobel diagonal dengan beban maksimum yang dapat ditahan dengan berbagai kelangsingan mampu menahan beban sebesar 168,73 kN saat kelangsingan (KL/r) 20, mampu menahan beban 164,81 kN saat kelangsingan (KL/r) 40, mampu menahan beban sebesar 148,13 kN saat kelangsingan (KL/r) 60 dan mampu menahan beban 108,89 KN saat kelangsingan (KL/r) 80. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin kecil kelangsingan semakin besar beban maksimum yang dapat dipikul
2. Dari grafik hubungan beban dan lendutan saat beban mencapai maksimum mengalami penurunan daya dukung kolom, sedangkan lendutannya makin bertambah. Semakin besar nilai kelangsingan nilai kekakuan semakin kecil.
3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban yang dapat diterima kolom mendekati teori dengan nilai pada persamaan (3.63) dengan nilai $K=0,7$ (sendi-sendiri) hal ini disebabkan karena kondisi dukungan yang belum jelas, kurang teliti dalam pembacaan dial gauge, dial gauge yang jarang dikalibrasi, adanya pengaruh tegangan residu, dsb.
4. Grafik hubungan antara (P_{cr}/P_y) dengan Kelangsingan (KL/r) menunjukkan hasil penelitian hampir sama dengan tren penelitian-penelitian sebelumnya. Untuk kolom langsing rumus Euler dapat dipakai, tetapi untuk kolom pendek dan sedang seharusnya memakai rumus lain, misalnya AISC.
5. Pola kegagalan dari semua kelangsingan yang diteliti adalah tekuk lokal semua karena besarnya $F_{cr,plat} < F_{cr}$ keseluruhan untuk kelangsingan 80 mengalami kegagalan karena leleh sedangkan kelangsingan 20,40,60 mengalami kegagalan sebelum leleh. Nampak ada perbedaan nilai k, makin kecil P nilai k juga mengecil

6.2 Saran

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

1. Pengaruh eksentrisitas pada kolom tersusun empat profil siku makin divariasikan guna membandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya.
2. Perlu diadakan penelitian untuk bentuk penampang yang sama tetapi memiliki dimensi penampang yang berbeda.





The logo of Universitas Islam Indonesia is a watermark in the background. It features a stylized green and white emblem resembling a flame or a flower, with the word 'ISLAM' at the top and 'UNIVERSITAS INDONESIA' written vertically on either side. Below the emblem is the Arabic calligraphy 'جامعة الإسلام في اندونيسيا'.

LAMPIRAN 1

PERENCANAAN KOLOM TERSUSUN

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN EMPAT PROFIL SIKU
PERANGKAI DOBEL DIAGONAL
AKIBAT BEBAN EKSENTRIS DENGAN
BERBAGAI KELANGSINGAN**

A. Data Perencanaan Benda Uji

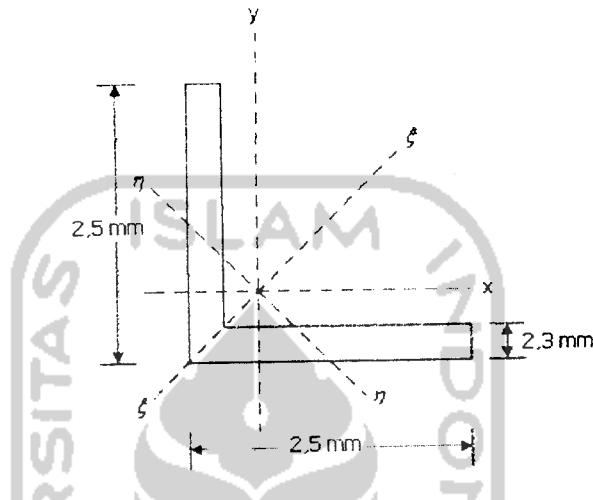
Ketentuan-ketentuan dalam perencanaan kolom tersusun pada keempat benda uji untuk penelitian pengujian kuat tekan, adalah sebagai berikut :

1. Profil baja yang digunakan untuk perencanaan kolom tersusun adalah profil baja siku 4 (25 x 25 x 2,3) mm dengan eksentris tetap (18 mm) dan tulangan polos ukuran \varnothing 4 mm.
2. Variasi pada keempat benda uji terletak pada kelangsingannya (KL/r) yang berpengaruh terhadap panjang kolom (L), dimana eksentrisitas (e), jarak antar profil (a), jarak antar batang perangkai (L_1) adalah konstan. Variasi kelangsingan dan panjang kolom untuk tiap benda uji adalah :
 - a. Benda uji I dengan kelangsingan (KL/r) = 20
panjang kolom (L) = 717 mm.
 - b. Benda uji II dengan kelangsingan (KL/r) = 40
panjang kolom (L) = 1433 mm.
 - c. Benda uji III dengan kelangsingan (KL/r) = 60
panjang kolom (L) = 2150 mm.
 - d. Benda uji IV dengan kelangsingan (KL/r) = 80
panjang kolom (L) = 2867 mm.
3. Perletakan dukungan diasumsikan berupa sendi dikedua ujungnya.

B. Perhitungan Momen Inersia Batang Tunggal

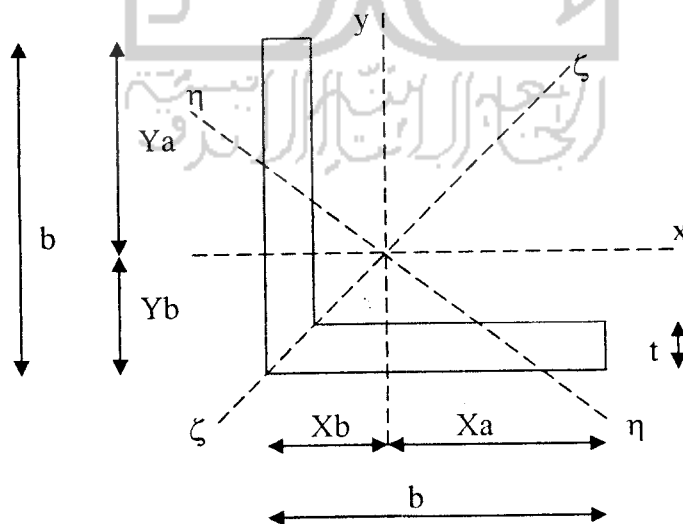
1. Spesifikasi Tampang Profil Siku

Penggunaan profil siku menyesuaikan ukuran yang umum dipasaran, untuk memudahkan pembuatan benda uji. Untuk memahami ukuran data dari profil siku yang digunakan, dapat dilihat pada gambar L.1.1.



Gambar L.1.1 Spesifikasi Ukuran Profil Siku

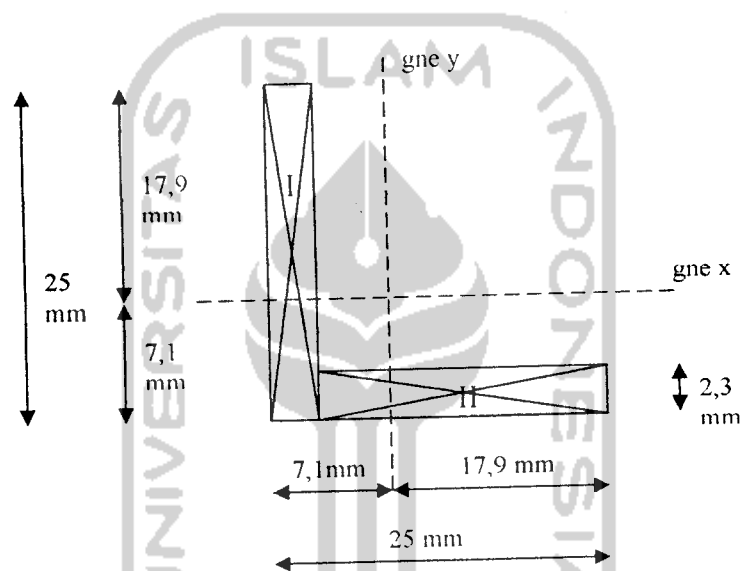
2. Perhitungan Titik Berat Penampang



Gambar L.1.2 Titik Berat Profil Siku

dimana :

$$\begin{aligned}
 r_{\text{tunggal}} &= \sqrt{\frac{(I_{\text{tunggal}})}{A_{\text{tunggal}}}} \\
 &= \sqrt{\frac{6542,87}{109,71}} \\
 &= 7,73 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar L.1.3 Profil Siku untuk mencari I_{η} dan I_{ξ}

Tabel L.1.3 Perhitungan I_{xy}

Bagian	Luas penampang tiap bagian (A)	Jarak terhadap sumbu gne y (X)	Jarak terhadap sumbu gne x (Y)	A. X. Y (I_{xy})
I	$(25 \cdot 2,3) =$ $57,5 \text{ mm}^2$	$(7,1 - (0,5 \cdot 2,3))$ $= - 5,95 \text{ mm}$	$(17,9 - (0,5 \cdot 25)) =$ $5,4 \text{ mm}$	$57,5 \cdot 5,95 \cdot 5,4 =$ $-1847,475 \text{ mm}^4$
II	$(25 - 2,3) \cdot 2,3 =$ $52,21 \text{ mm}^2$	$17,9 - (0,5 \cdot (17,9 -$ $2,3)) = 6,55 \text{ mm}$	$7,1 - (0,5 \cdot 2,3)$ $= - 5,95 \text{ mm}$	$52,21 \cdot 6,55 \cdot -5,95$ $= -2034,754 \text{ mm}^4$
			$\sum A \cdot X \cdot Y$ (I_{xy}) =	$-3882,23 \text{ mm}^4$

Menentukan I_η dan I_ξ berdasarkan sumbu kuat dan sumbu lemah bahan.

$$I_\eta = \frac{I_x + I_y}{2} - \sqrt{I_{xy}^2 + \left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2}$$

$$= \frac{6542,87 + 6542,87}{2} - \sqrt{(-3882,23)^2 + \left(\frac{6542,87 - 6542,87}{2}\right)^2}$$

$$= 2660,64 \text{ mm}^4$$

$$r_\eta = \sqrt{\frac{I_\eta}{A_{\text{tungal}}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2660,64}{109,71}} = 4,92 \text{ mm}$$

$$I_\xi = \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{I_{xy}^2 + \left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2}$$

$$= \frac{6542,87 + 6542,87}{2} + \sqrt{(-3882,23)^2 + \left(\frac{6542,87 - 6542,87}{2}\right)^2}$$

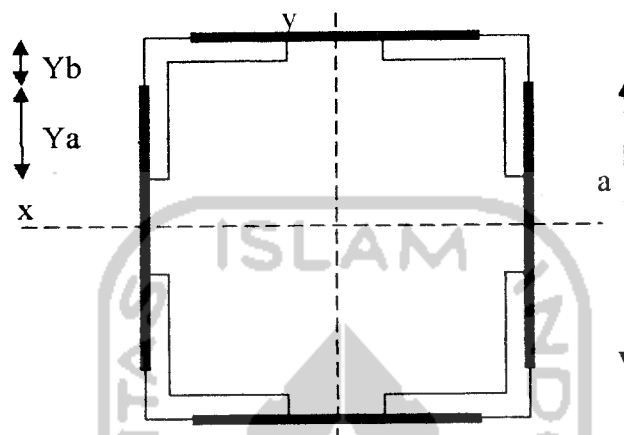
$$= 10425,1 \text{ mm}^4$$

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

$$= \sqrt{\frac{10425,1}{109,71}} = 9,748 \text{ mm}$$

4. Perencanaan Batang Tersusun

Perhitungan tinggi kolom (L)



Gambar L.1.4 Potongan Melintang Kolom Tersusun

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

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

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

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

$$k = 1$$

contoh perhitungan :

$$\frac{k \cdot L}{r} = 20$$

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

$$I_{gab} = 4 \cdot 6542,87 + 4 \cdot 109,71 \cdot \left(\frac{70}{2}\right)^2$$

$$I_{gab} = 563750,5 \text{ mm}^4$$

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

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

$$r = \sqrt{\frac{563750,5}{438,84}}$$

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

$$\frac{k \cdot L}{r} = 20$$

$$L = \frac{20 \cdot r}{K}$$

$$L = \frac{20 \cdot 35,84}{1}$$

$$L = 716,8 \text{ mm} \sim 717 \text{ mm}$$

Tabel L.1.2 Panjang Kolom (L)

KL/r	I _{gab} (mm ⁴)	A _{gab} (mm ²)	a (mm)	r (mm)	L (mm)
20	563750.5	438.84	70	35.842	717
40	563750.5	438.84	70	35.842	1434
60	563750.5	438.84	70	35.842	2151
80	563750.5	438.84	70	35.842	2867

5. Kontrol Kestabilan Dari Batang Tersusun

Data Profil

$$L_{kx} = 717 \text{ mm}$$

$$Z = 4$$

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

$$A_d = 38,465 \text{ mm}^2$$

$$A = 438,4 \text{ mm}^2$$

$$L_l = 150 \text{ mm}$$

$$L_d = 165,53 \text{ mm}^2$$

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

$$m = 2$$

Contoh hitungan :

Kelangsingan pada arah tegak lurus sumbu x-x

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

$$\lambda_x = \frac{717}{35,84} = 20$$

Kelangsingan batang tersusun yang dihubungkan dengan batang diagonal

$$\lambda_l = \pi \sqrt{\frac{A \cdot L_d^3}{Z \cdot A_d \cdot I_1 \cdot \alpha^2}}$$

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

$$= 23,06$$

Kelangsingan ideal dari batang tersusun terhadap sumbu x dan y:

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

$$= \sqrt{20^2 + \frac{2}{2} 23,06^2}$$

$$= 30,52$$

Untuk menjaga kestabilan elemen-elemen batang tersusun, maka :

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

$$\lambda_{ix} \geq 1,2 \cdot 23,06$$

$$\lambda_{ix} \geq 27,67 \rightarrow ok$$

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

$$\lambda_{iy} \geq 1,2 \cdot 23,06$$

$$\lambda_{iy} \geq 27,67 \rightarrow ok$$

Tabel L.1.3 Kontrol Kestabilan

KL/r	L _{kx} (mm)	λ _x	λ _l	1.2λ _l	λ _{ix}	Stabil / tidak	λ _{iy}	Stabil / tidak
20	717	20	23.06	27.67	30.52	stabil	30.52	stabil
40	1434	40	23.06	27.67	46.18	stabil	46.18	stabil

Lanjutan Tabel L.1.3

60	2151	60	23.06	27.67	64.29	stabil	64.29	stabil
80	2867	80	23.06	27.67	83.25	stabil	83.25	stabil

6. Menentukan Panjang L1

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

Dari data :

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

$$= 0,492 \text{ cm}$$

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

$$= 0,492 \times 50$$

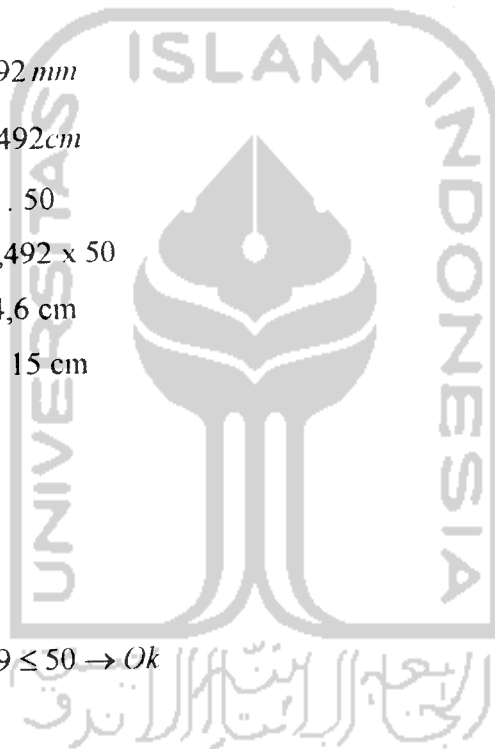
$$L_1 = 24,6 \text{ cm}$$

Dipakai $L_1 = 15 \text{ cm}$

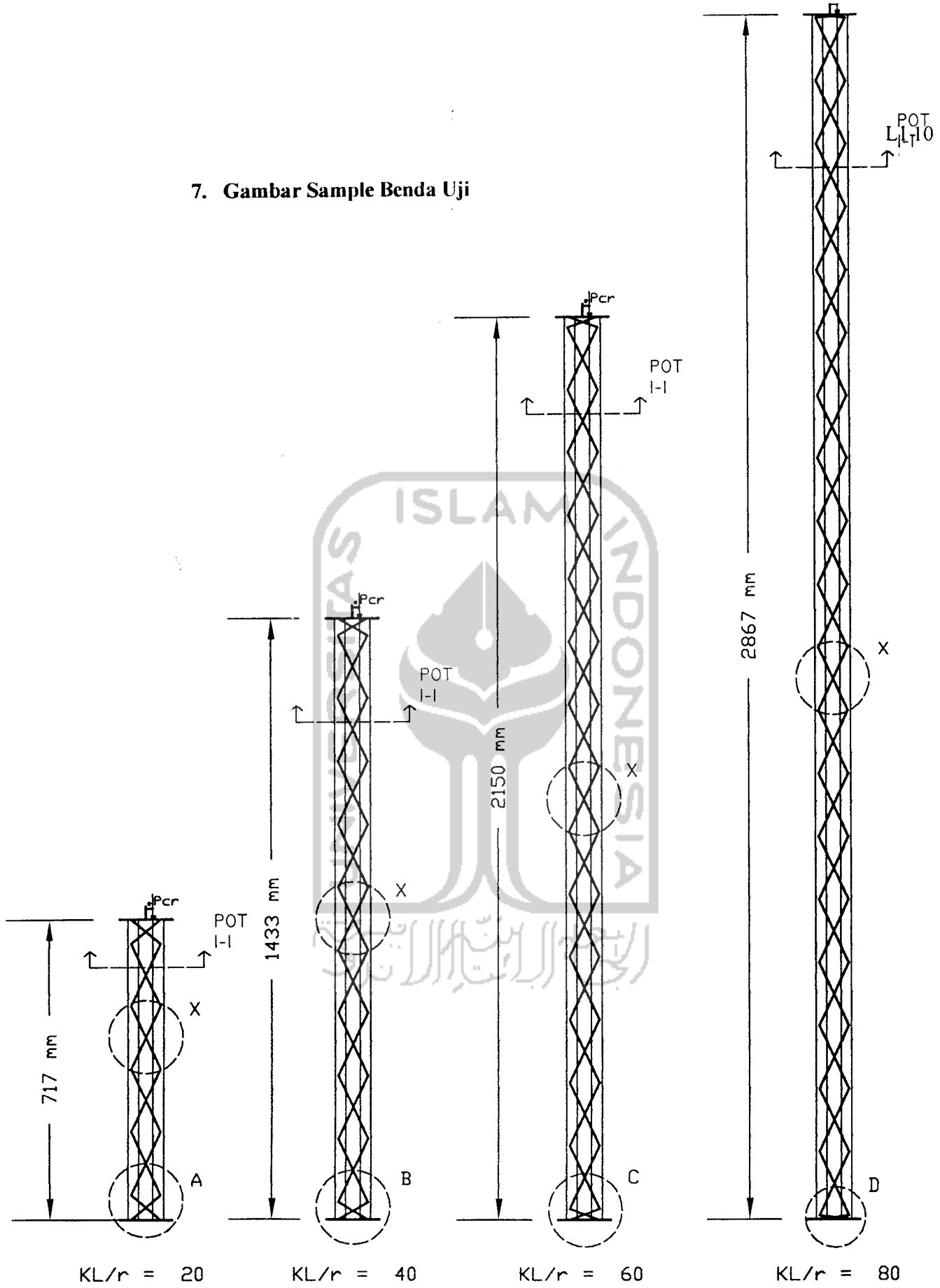
Cek :

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

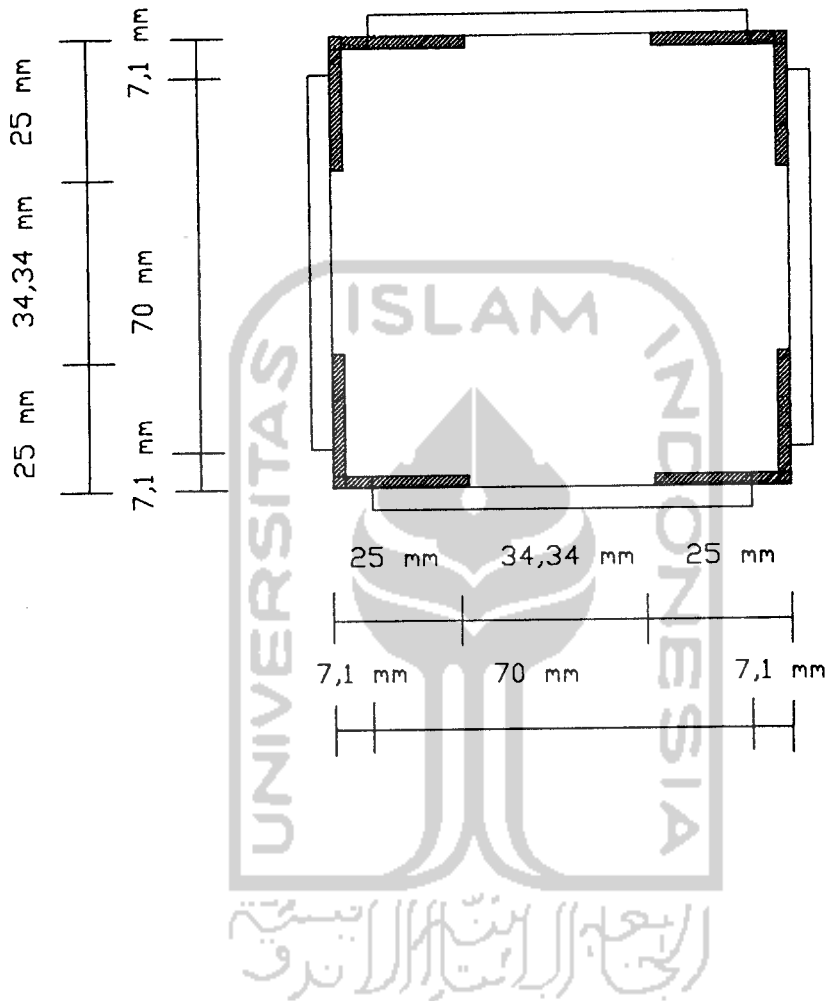
$$\frac{15}{0,492} = 30,49 \leq 50 \rightarrow \text{Ok}$$



7. Gambar Sample Benda Uji

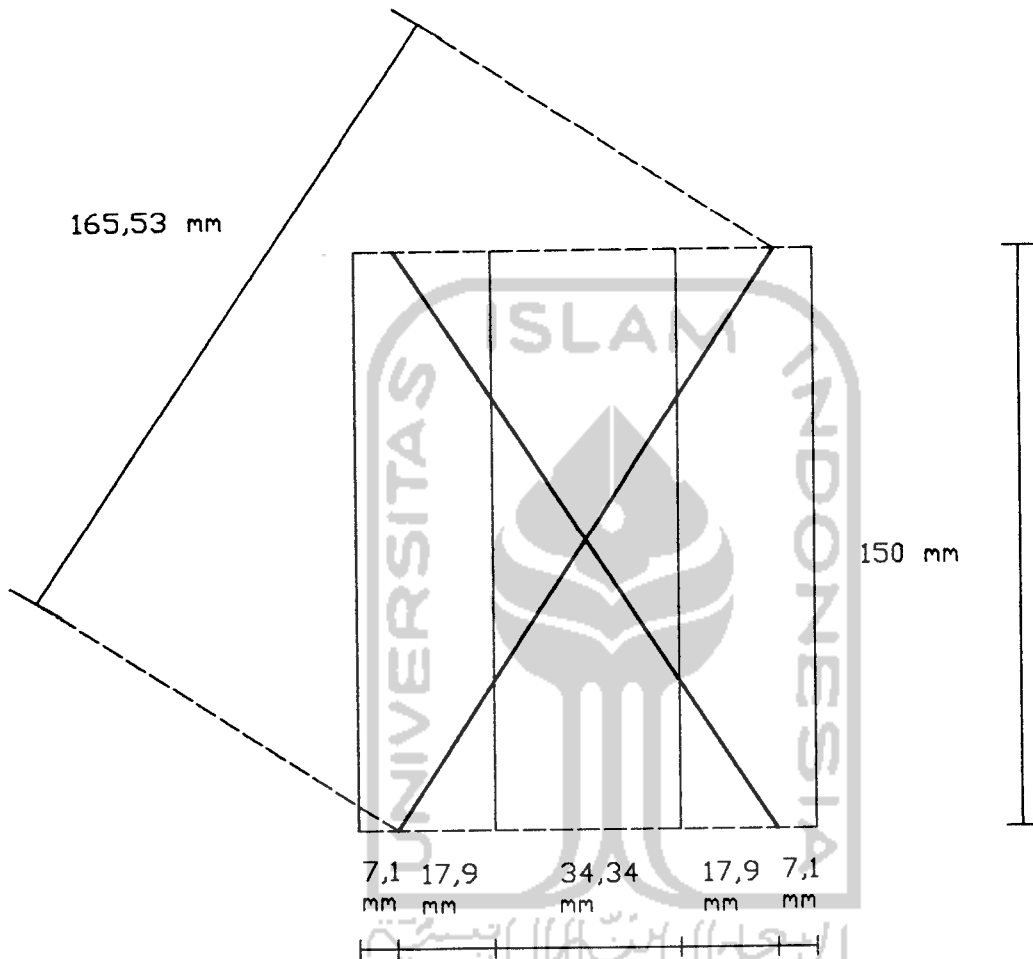


Gambar L.1.5 Sample benda uji dengan berbagai kelangsingan



Gambar L.1.6 Potongan melintang I-I pada berbagai kelangsingan

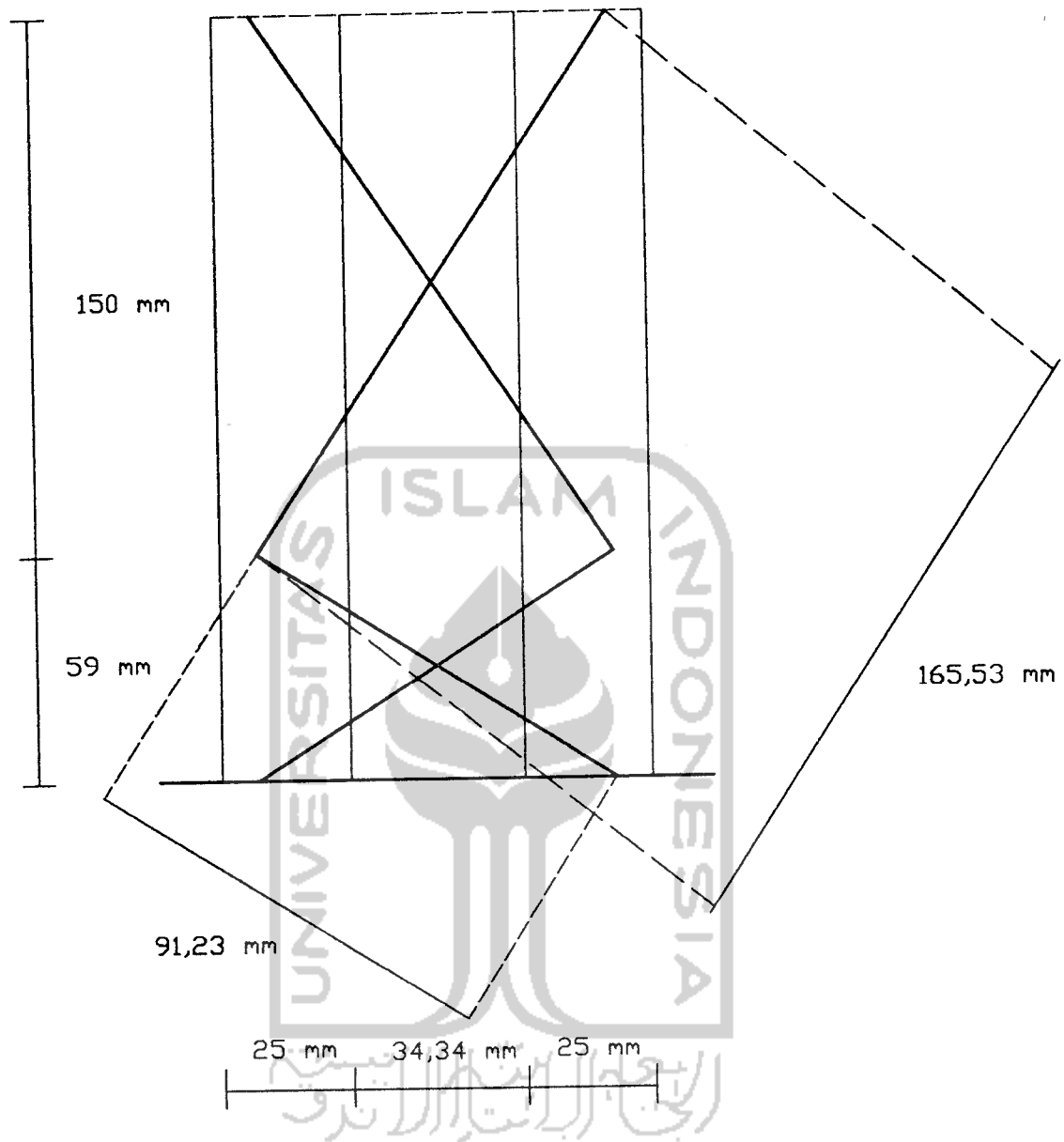
Detail Gambar X



Gambar L.1.7 Detail gambar X pada berbagai kelangsingan

Detail Gambar A

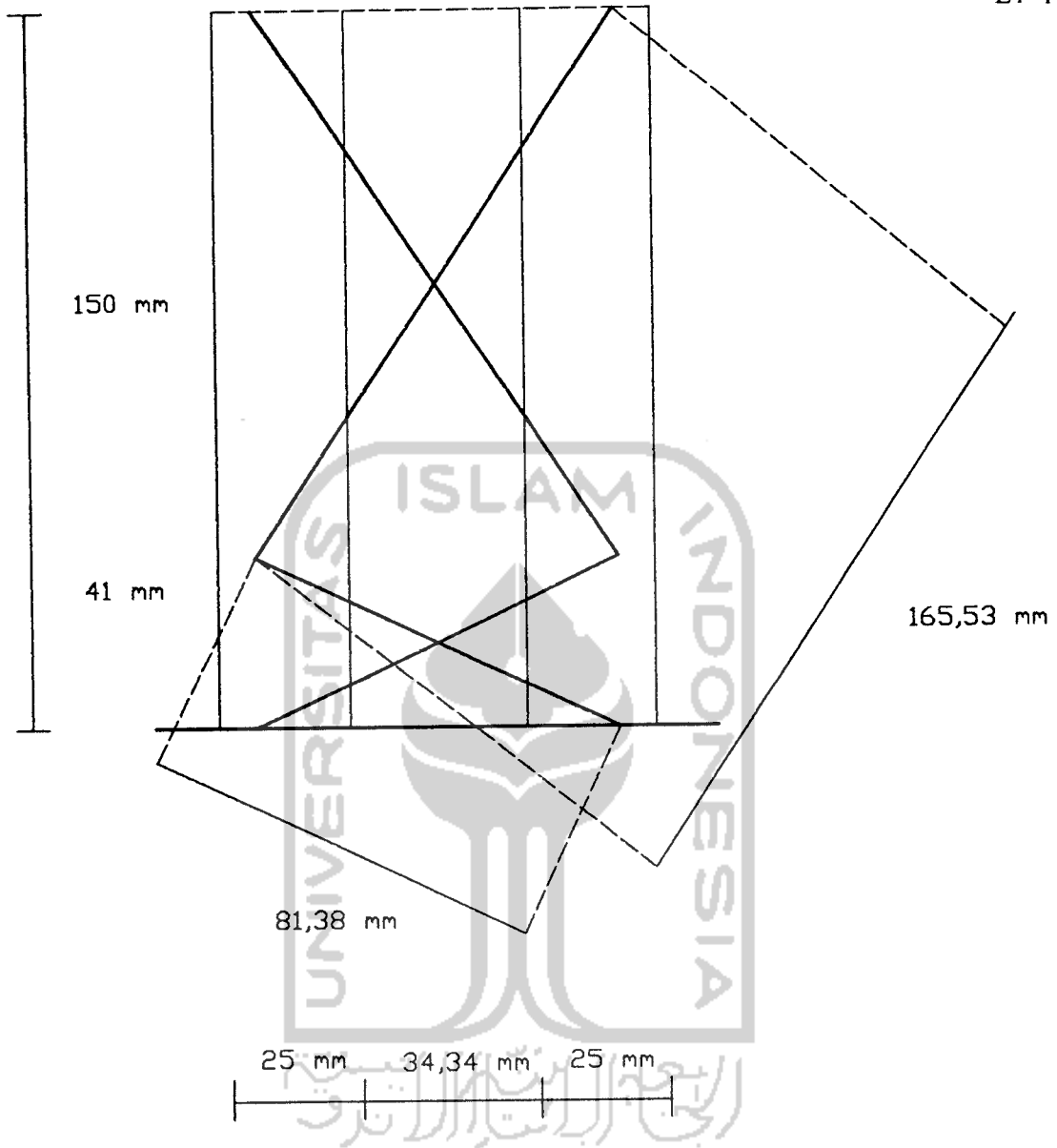
LI-13



Gambar L.1.8 Detail gambar A pada kelangsingan 20

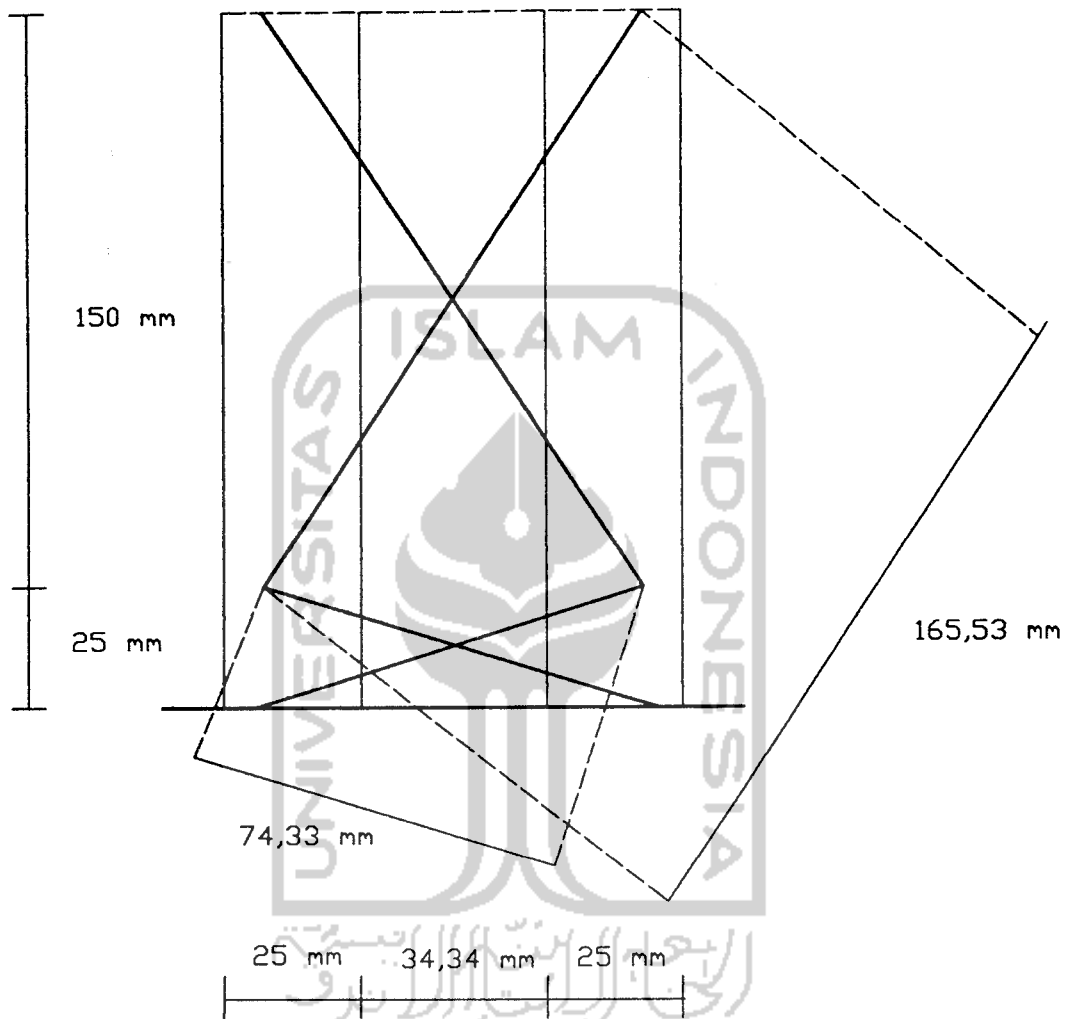
Detail Gambar B

LI-14



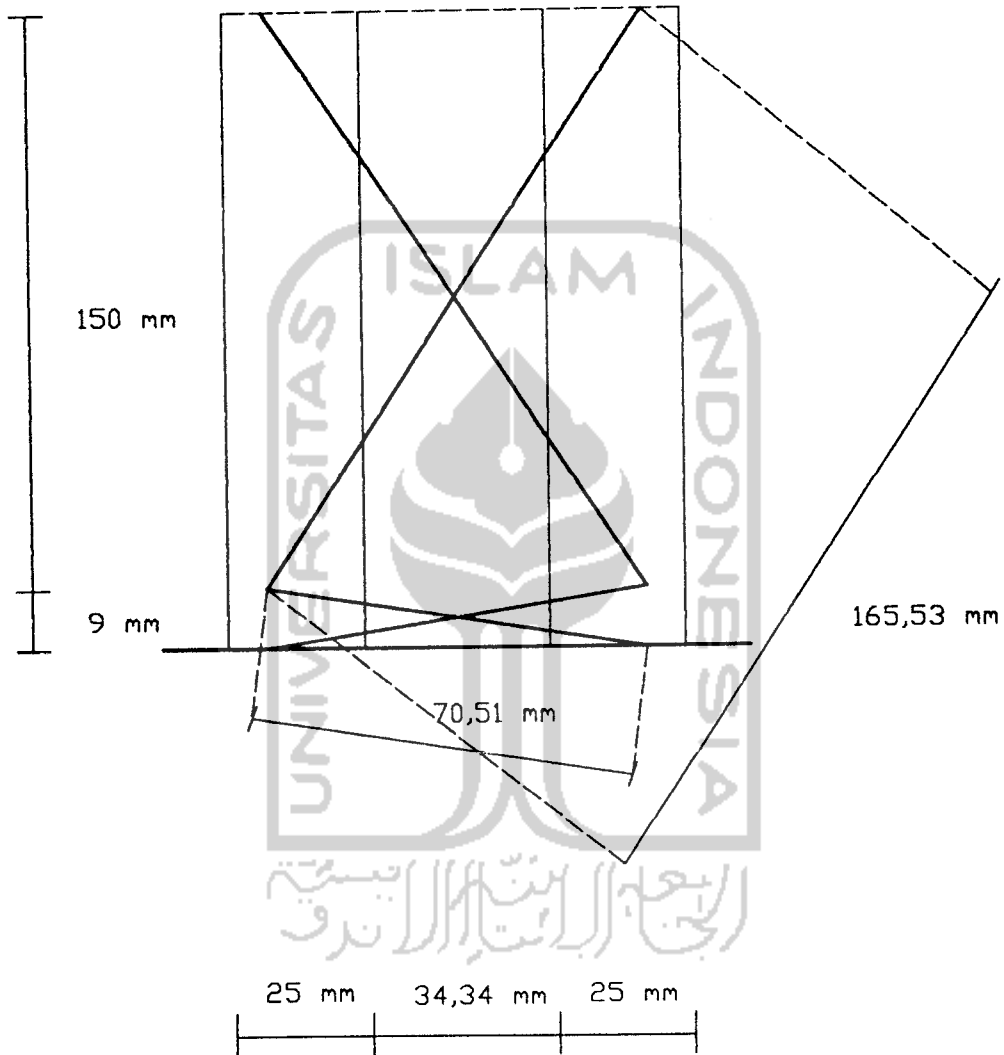
Gambar L.1.9 Detail gambar B pada kelangsingan 40

Detail Gambar C



Gambar I.1.10 Detail gambar C pada kelangingan 60

Detail Gambar D



Gambar L.1.11 Detail gambar D pada kelangsingan 80



LAMPIRAN 2

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

الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

PERHITUNGAN TEORITIS DAN PENELITIAN KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DENGAN BERBAGAI KELANGSINGAN

- A. Perhitungan Rasio Kelangsingan Kritis (KL/r)_c sesuai persamaan 3.10**
Dengan mengambil nilai suatu baja struktural $E= 200000$ Mpa dan $F_y= 240$ Mpa

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = \sqrt{\pi^2 E / f_y}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = \sqrt{3,14^2 \cdot 200000 / 240}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = 90,7$$

- B. Hasil Konversi Modulus Tangen (E_t) Anggapan Sifat Alumunium Isotropis dengan Baja (Tabel 3.1 *WF Chan dan T Atsuta*) :**

Tabel L.2.1 Hasil Konversi Isotropis Alumunium - Baja

Alumunium			Baja		
E_t (Ksi)	E_t (Mpa)	KL/r	E_t (Ksi)	E_t (Mpa)	KL/r
10600	73103.45	105	29000	200000	185
10600	73103.45	72.5	29000	200000	128
10600	73103.45	59	29000	200000	104
10600	73103.45	51	29000	200000	90
3000	20689.66	26	8200	56551.72	46
1000	6896.55	14	2700	18620.69	25
500	3448.28	9.5	1350	9310.34	17
400	2758.62	8.1	100	689.66	15

Tabel L.2.2 Nilai Modulus Tangen (E_t) pada berbagai kelangsingan

E_t (Mpa)	KL/r
12560	20
42270	40
101610	60
170000	80

C. Perhitungan Nilai Modulus Tereduksi (E_r) (Padosbajayo, 1992)

$$E_r \cdot I_{gab} = (E_t \cdot 0,5 I_{gab}) + (E \cdot 0,5 I_{gab})$$

$$E_r = \frac{(E_t \cdot 0,5 I_{gab}) + (E \cdot 0,5 I_{gab})}{I_{gab}}$$

contoh : $KL/r = 20$, $E_t = 12560$ Mpa, $E = 200000$ Mpa

$$E_r = \frac{(12560 \cdot 0,5 \cdot 563750,5) + (200000 \cdot 0,5 \cdot 563750,5)}{563750,5} = 106280 \text{ Mpa}$$

Tabel L.2.3 Nilai Modulus Tangen (E_t) dan Modulus Tereduksi (E_r)

E_t (Mpa)	E_r (Mpa)	KL/r
12560	106280	20
42270	121135	40
101610	150805	60
170000	185000	80

D. Perhitungan Teoritis Beban Kritis

Sample 1 ($\frac{kL}{r} = 20$) menggunakan 4 profil siku 25x25x2,3mm, $A_{gab} = 438,84 \text{ mm}^2$,

$E_r = 106280$ Mpa, $L = 717$ mm, $L_1 = 150$ mm, $a = 70$ mm, $I_{gab} = 563750,49 \text{ mm}^4$, $r =$

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

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

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 106280 \times 438,84}{20^2} \frac{1}{\left[1 + \frac{\pi^2 \times 106280 \times 563750,49}{1.717^2} \frac{1}{2 \times 150} \frac{165,53^3}{70^2 \times 200000 \times 12,57} \right]} \left(1 + \frac{18 \times 42,1}{35,84^2} \right)$$

$$P_{cr} = 168,732 \text{ kN}$$

$$= 168732 \text{ N}$$

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

$$F_{cr} = \frac{168732}{438.84}$$

$$= 384,5 \text{ Mpa}$$

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

Tabel L2.4 Hasil Perhitungan Teoritis Beban kritis (P_{cr})

Benda uji	P_{cr} (N)	F_{cr} (Mpa)
KL/r = 20	168732	384.5
KL/r = 40	164808	375.55
KL/r = 60	148131	337.55
KL/r = 80	108891	248.13

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

Dari data hubungan beban (P_{cr}) dengan kelangsingan kolom ($\frac{KL}{r}$) diatas dapat dibuat hubungan antara $\left(\frac{KL}{r}\right)$ dengan $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$. Dengan P_y merupakan beban leleh dari kolom. Beban leleh (P_y) dicari dengan menggunakan rumus :

$$P_y = F_y \times A$$

$$\text{Dimana Tegangan leleh } (F_y) \text{ baja} = 307,23 \text{ MPa} = 0,307 \text{ kN/mm}^2 \text{ dan}$$

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

$$P_y = 0,307 \times 438,84 = 134,823 \text{ kN}$$

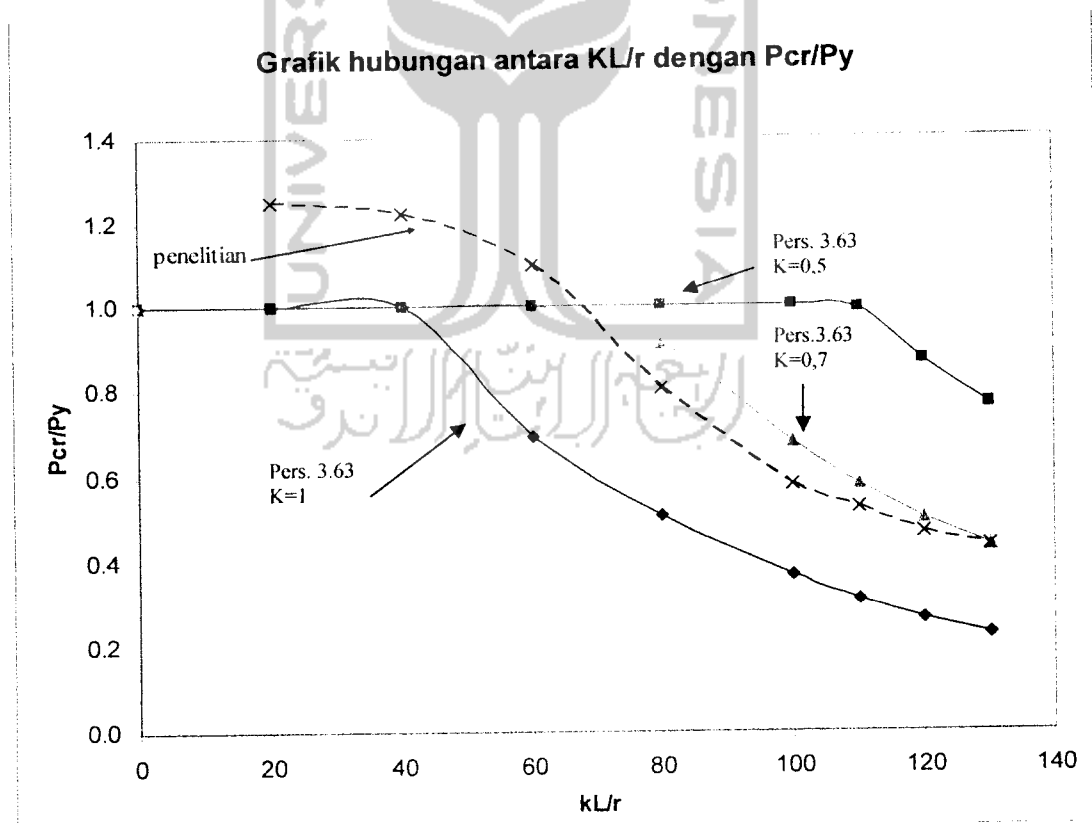
Hasil perhitungan $\frac{KL}{r}$ dengan $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ untuk masing – masing kolom

dengan variasi kondisi ujung (K) ditampilkan pada tabel L2.5

Tabel L2.5. Perhitungan Teoritis $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ dengan $\left(\frac{KL}{r}\right)$

Benda uji	$\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ K = 1	$\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ K = 0,7	$\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ K = 0,5
KL/r = 20	2.229	2.826	3.234
KL/r = 40	1.091	1.714	2.344
KL/r = 60	0.693	1.190	1.793
KL/r = 80	0.507	0.909	1.449

Dari tabel L2.5 dapat dibuat grafik hubungan antara $\left(\frac{P_{cr}}{P_y}\right)$ dengan $\left(\frac{kL}{r}\right)$ dengan kondisi ujung (K) berbeda sebagai berikut :



Gambar L2.1. Grafik hubungan antara P_{cr}/P_y dan kL/r

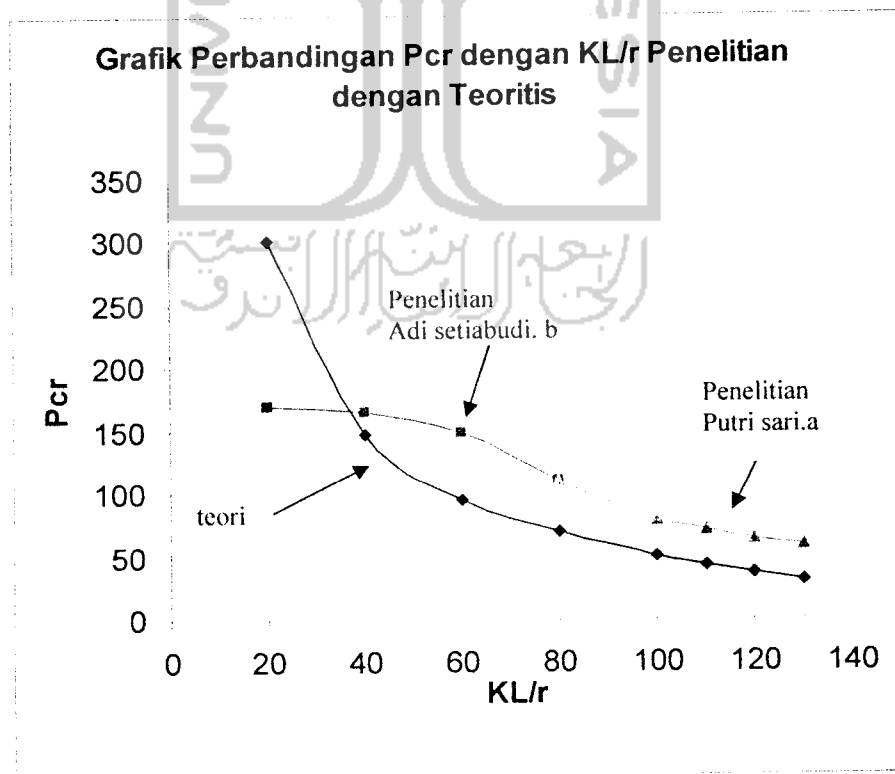
C. Perbandingan Beban Kritis (P_{cr}) Hasil Pengujian dengan Teoritis

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

Tabel L2.6 Perbandingan Beban kritis hasil lapangan dengan teoritis

Benda uji	P_{cr} penelitian (N)	P_{cr} teoritis (N)
KL/r = 20	168.732	300.490
KL/r = 40	164.808	147.053
KL/r = 60	148.131	93.483
KL/r = 80	108.891	68.368

Dari tabel L2.3 dapat ditampilkan dalam grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) antara beban kritis lapangan dengan beban kritis teoritis.



Gambar L2.6 Perbandingan Beban kritis hasil pengujian dengan beban kritis teoritis

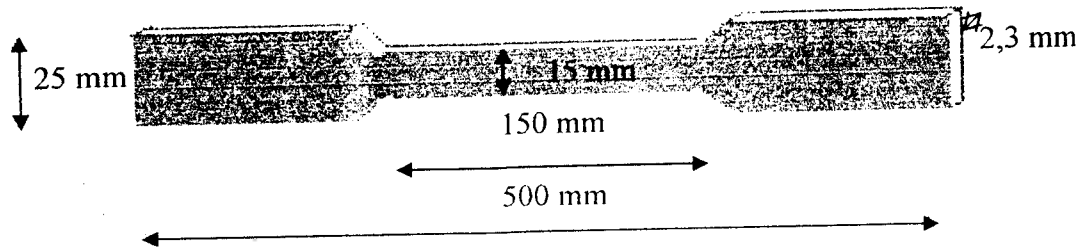


LAMPIRAN 3

HASIL PENGUJIAN

HASIL PENGUJIAN

1. Hasil Pengujian Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Profil L



Gambar L.3.1 Sample Uji Tarik Bahan

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

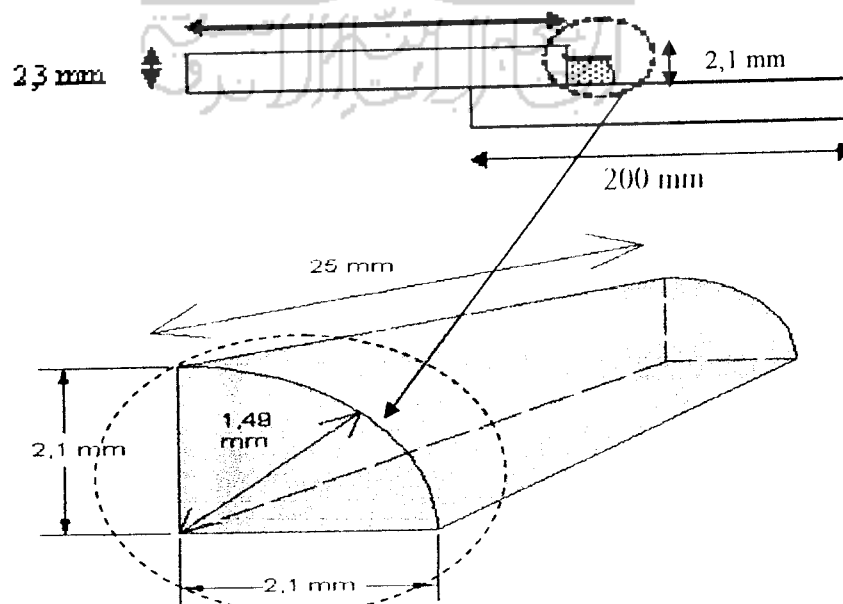
$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baja (Fy)} &= \frac{P_y}{A_0} \\ &= \frac{13194,45}{36,8} = 358,54 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

Tabel L3.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Tegangan Leleh (Fy) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Fu) (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



Gambar L.3.2 Gambar Benda Uji Sambungan Las

a. Sampel I

$$\begin{aligned} \text{Beban maksimum} &= 1405 \text{ kgf} \\ &= 1405 \times 9,81 = 13783,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Lebar (l)} &= 25 \text{ mm} \\ \text{K} &= 2,1 \text{ mm} \\ \text{Tebal (t)} &= 0,707 \times k = 0,707 \times 2,1 = 1,49 \text{ mm} \\ A_0 = l \times t &= 37,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja (Fu)} &= \frac{P_u}{A_0} = \frac{13783,05}{37,12} \\ &= 371,31 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

b. Sampel II

$$\begin{aligned} \text{Beban maksimum} &= 945 \text{ kgf} \\ &= 945 \times 9,81 = 9270,45 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Lebar (l)} &= 25 \text{ mm} \\ \text{K} &= 2,1 \text{ mm} \\ \text{Tebal (t)} &= 0,707 \times k = 0,707 \times 2,1 = 1,49 \text{ mm} \\ A_0 = l \times t &= 37,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja (Fu)} &= \frac{P_u}{A_0} = \frac{9270,45}{37,12} \\ &= 249,74 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel L3.2 Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

Benda Uji	Tegangan Ultimit (Fu) (Mpa)
Sample 1	371,31
Sample 2	249,74
Rata-Rata	310,525

3. Tabel Beban Lendutan Benda Uji

Kolom tersusun dengan perangkai double diagonal

a. Benda Uji 1

Tabel L3.3 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($e/r = 0,5$ $KL/r = 20$)

P (Kg)	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial Rata2
0	0	0	0	0	0
400	3.924	0	0	0	0
800	7.848	0	0	0	0
1200	11.772	0	0	0	0
1600	15.696	0	0	0	0
2000	19.620	0	0	0.030	0.010
2400	23.544	0	0	0.070	0.023
2800	27.468	0	0	0.120	0.040
3200	31.392	0	0	0.180	0.060
3600	35.316	0	0.020	0.220	0.080
4000	39.240	0	0.050	0.260	0.103
4400	43.164	0	0.080	0.300	0.127
4800	47.088	0	0.100	0.340	0.147
5200	51.012	0	0.130	0.370	0.167
5600	54.936	0	0.140	0.400	0.180
6000	58.860	0	0.150	0.430	0.193
6400	62.784	0	0.150	0.450	0.200
6800	66.708	0	0.150	0.480	0.210
7200	70.632	0	0.150	0.485	0.212
7600	74.556	0	0.140	0.510	0.217
8000	78.480	0	0.130	0.515	0.215
8400	82.404	0	0.100	0.520	0.207
8800	86.328	0	0.090	0.540	0.210
9200	90.252	0	0.100	0.580	0.227
9600	94.176	0	0	0.580	0.193

10000	98.100	0	0	0.590	0.197
10400	102.024	0.020	0.040	0.600	0.220
10800	105.948	0.080	0.150	0.710	0.313
11200	109.872	0.210	0.270	0.840	0.440
11600	113.796	0.275	0.350	0.930	0.518
12000	117.720	0.420	0.450	1.020	0.630
12400	121.644	0.470	0.520	1.080	0.690
12800	125.568	0.540	0.610	1.180	0.777
13200	129.492	0.620	0.730	1.260	0.870
13600	133.416	0.690	0.820	1.350	0.953
14000	137.340	0.820	0.940	1.480	1.080
14400	141.264	0.930	1.070	1.600	1.200
14800	145.188	1.060	1.200	1.730	1.330
15200	149.112	1.210	1.340	1.830	1.460
15600	153.036	1.320	1.490	1.970	1.593
16000	156.960	1.540	1.650	2.120	1.770
16400	160.884	2.000	2.180	2.580	2.253
16600	162.846	2.600	2.700	2.650	2.650
17200	168.732	3.270	3.500	3.600	3.457
15200	149.112	7.450	6.700	5.650	6.600
15200	149.112	8.400	7.380	6.950	7.577

b. Benda Uji 2

Tabel L3.4 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($e/r=0,5$ $KL/r=40$)

P (Kg)	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial Rata2
0	0	0	0	0	0
400	3.924	0	0	0	0
800	7.848	0	0	0	0
1200	11.772	0	0.050	0	0.017
1600	15.696	0	0.040	0	0.013

Lanjutan Tabel L.3.4

2000	19.620	0.050	0.200	0	0.083
2400	23.544	0.400	0.450	0.120	0.323
2800	27.468	0.590	0.630	0.250	0.490
3200	31.392	0.700	0.740	0.340	0.593
3600	35.316	0.835	0.840	0.465	0.713
4000	39.240	0.920	0.920	0.590	0.810
4400	43.164	1.000	0.995	0.660	0.885
4800	47.088	1.055	1.055	0.730	0.947
5200	51.012	1.100	1.120	0.785	1.002
5600	54.936	1.170	1.230	0.865	1.088
6000	58.860	1.180	1.270	0.910	1.120
6400	62.784	1.225	1.345	0.955	1.175
6800	66.708	1.280	1.440	1.010	1.243
7200	70.632	1.310	1.490	1.065	1.288
7600	74.556	1.360	1.570	1.120	1.350
8000	78.480	1.400	1.600	1.175	1.392
8400	82.404	1.430	1.650	1.230	1.437
8800	86.328	1.490	1.710	1.290	1.497
9200	90.252	1.520	1.770	1.350	1.547
9600	94.176	1.580	1.850	1.430	1.620
10000	98.100	1.600	1.920	1.505	1.675
10400	102.024	1.630	2.000	1.575	1.735
10800	105.948	1.700	2.100	1.665	1.822
11200	109.872	1.730	2.200	1.745	1.892
11600	113.796	1.880	2.300	1.800	1.993
12000	117.720	1.910	2.380	1.880	2.057
12400	121.644	1.990	2.450	1.940	2.127
12800	125.568	2.100	2.590	2.020	2.237
13200	129.492	2.170	2.700	2.095	2.322
13600	133.416	2.260	2.820	2.200	2.427

14000	137.340	2.340	2.910	2.305	2.518
14400	141.264	2.450	3.050	2.400	2.633
14800	145.188	2.550	3.140	2.500	2.730
15200	149.112	2.660	3.280	2.600	2.847
15600	153.036	2.850	3.450	2.745	3.015
16000	156.960	3.000	3.600	2.860	3.153
16400	160.884	3.240	3.850	3.030	3.373
16800	164.808	3.550	4.150	3.230	3.643
15600	153.036	7.500	6.800	4.850	6.383
15200	149.112	7.750	7.000	4.930	6.560

c. Benda Uji 3

Tabel L3.5 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($e/r=0,5$ $KL/r=60$)

P (Kg)	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial Rata2
0	0	0	0	0	0
400	3.924	2.720	1.930	1.020	1.890
800	7.848	2.800	1.970	0.990	1.920
1200	11.772	3.000	2.180	1.070	2.083
1600	15.696	3.270	2.460	1.260	2.330
2000	19.620	3.500	2.690	1.400	2.530
2400	23.544	3.750	2.920	1.580	2.750
2800	27.468	4.950	3.520	1.960	3.477
3200	31.392	6.780	5.310	3.130	5.073
3600	35.316	7.100	5.590	3.340	5.343
4000	39.240	7.410	5.910	3.590	5.637
4400	43.164	7.750	6.220	3.800	5.923
4800	47.088	8.070	6.540	4.010	6.207
5200	51.012	8.330	6.780	4.190	6.433
5600	54.936	8.650	7.090	4.440	6.727
6000	58.860	8.970	7.360	4.640	6.990

6400	62.784	9.250	7.640	4.830	7.240
6800	66.708	9.640	7.980	5.060	7.560
7200	70.632	9.880	8.240	5.240	7.787
7600	74.556	10.260	8.580	5.520	8.120
8000	78.480	10.630	8.970	5.800	8.467
8400	82.404	11.015	9.320	6.060	8.798
8800	86.328	11.410	9.690	6.340	9.147
9200	90.252	11.770	10.020	6.580	9.457
9600	94.176	12.250	10.480	6.915	9.882
10000	98.100	12.630	10.850	7.145	10.208
10400	102.024	13.120	11.300	7.530	10.650
10800	105.948	13.670	11.820	7.890	11.127
11200	109.872	14.180	12.290	8.210	11.560
11600	113.796	14.800	12.900	8.700	12.133
12000	117.720	15.300	13.370	9.010	12.560
12400	121.644	15.920	13.960	9.450	13.110
12800	125.568	16.650	14.670	9.950	13.757
13200	129.492	17.370	15.350	10.480	14.400
13600	133.416	18.180	16.180	11.030	15.130
14000	137.340	19.150	17.150	11.750	16.017
14400	141.264	20.300	19.300	12.520	17.373
14800	145.188	21.800	20.800	13.600	18.733
15100	148.131	23.300	24.400	16.400	21.367
14400	141.264	26.750	26.750	18.250	23.917
14200	139.302	29.000	29.900	20.400	26.433

d. Benda Uji 4

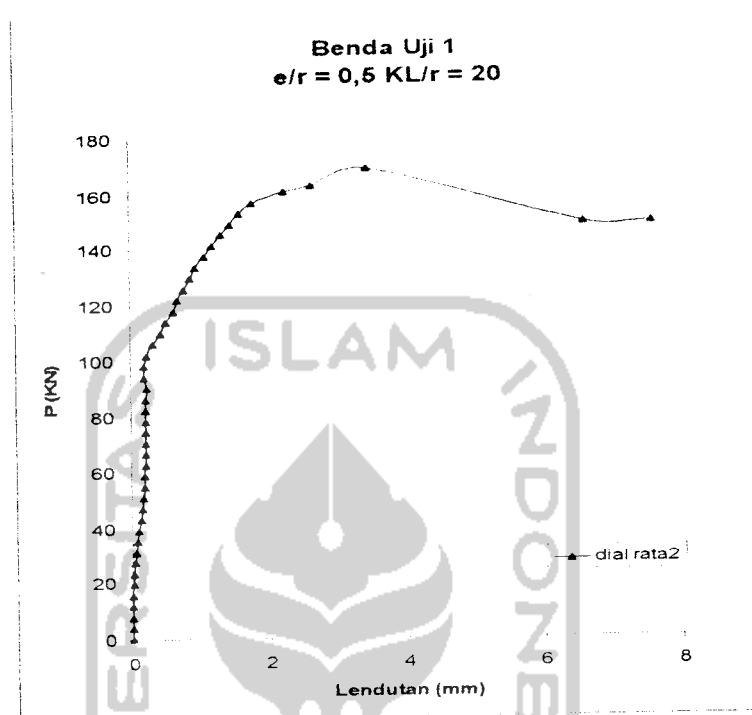
Tabel L3.6 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($e/r=0,5$ $KL/r=80$)

P (Kg)	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial Rata2
0	0	0	0	0	0

400	3.924	0.450	0.510	0.440	0.467
800	7.848	0.990	1.120	1.010	1.040
1200	11.772	1.510	1.700	1.550	1.587
1600	15.696	2.010	2.270	2.095	2.125
2000	19.620	2.490	2.840	2.625	2.652
2400	23.544	3.040	3.450	3.170	3.220
2800	27.468	3.610	4.090	3.780	3.827
3200	31.392	4.185	4.670	4.270	4.375
3600	35.316	6.550	6.780	5.850	6.393
4000	39.240	7.430	7.650	6.540	7.207
4400	43.164	11.510	11.100	9.070	10.560
4800	47.088	13.110	12.600	10.200	11.970
5200	51.012	13.570	13.240	10.760	12.523
5600	54.936	14.600	14.130	11.470	13.400
6000	58.860	15.330	14.900	12.110	14.113
6400	62.784	16.220	15.840	12.900	14.987
6800	66.708	17.180	16.800	13.730	15.903
7200	70.632	18.030	17.740	14.470	16.747
7600	74.556	19.000	18.750	15.330	17.693
8000	78.480	19.900	19.720	16.140	18.587
8400	82.404	20.970	20.860	17.110	19.647
8800	86.328	22.120	22.100	18.150	20.790
9200	90.252	23.310	23.400	19.300	22.003
9600	94.176	26.130	26.680	22.330	25.047
10000	98.100	28.040	28.850	24.250	27.047
10400	102.024	29.660	30.700	25.850	28.737
10800	105.948	32.700	34.200	28.900	31.933
11100	108.891	37.600	39.100	32.800	36.500
10000	98.100	48.800	53.950	37.800	46.850
7600	74.556	52.270	57.700	43.000	50.990

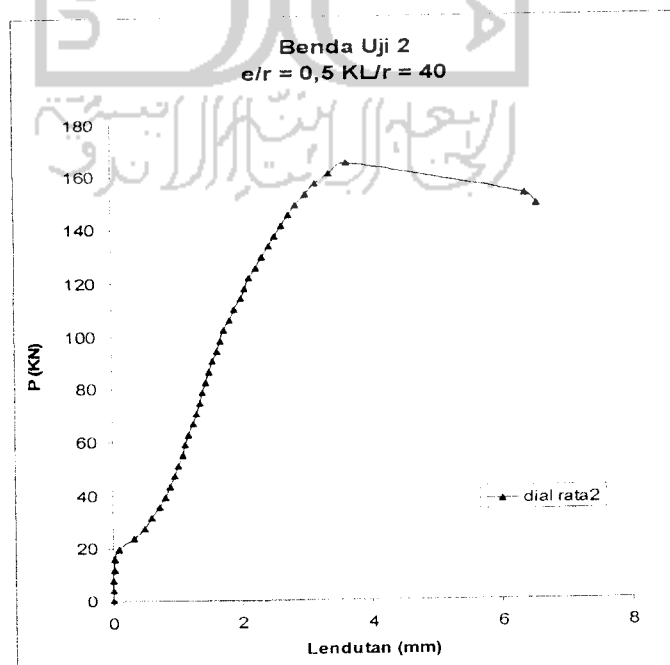
4. Grafik Beban Lendutan Benda Uji

a. Benda Uji 1



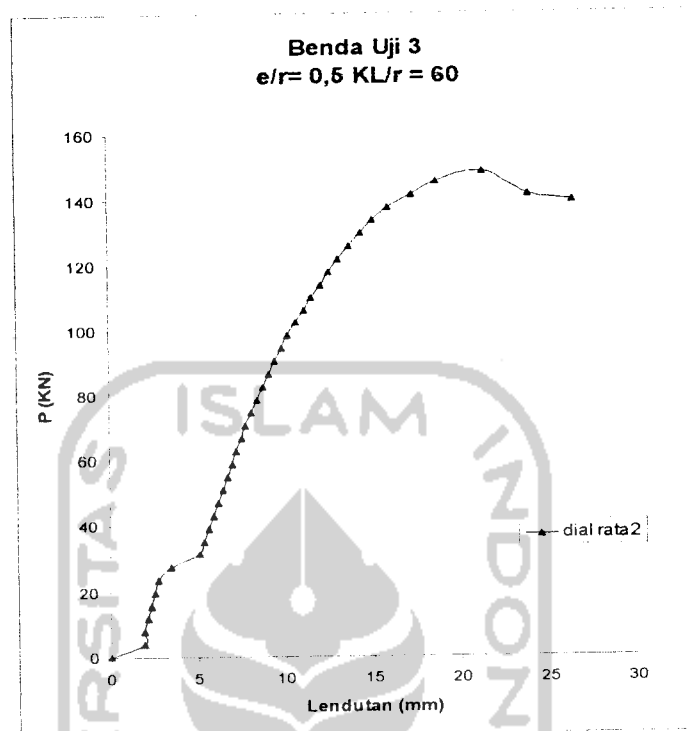
Gambar L3.3 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan $KL/r = 20$

b. Benda Uji 2

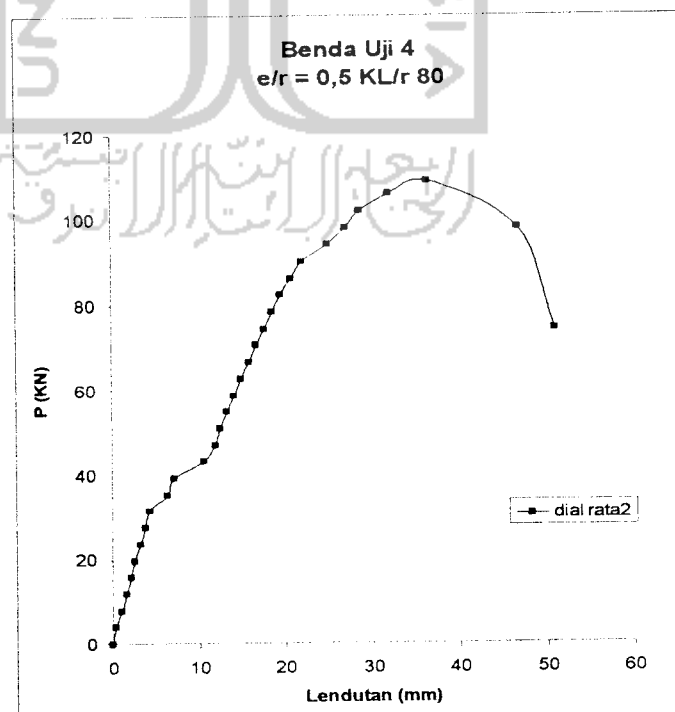


Gambar L3.4 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan $KL/r = 40$

c. Benda Uji 3

Gambar L3.5 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan $KL/r = 60$

d. Benda Uji 4

Gambar L3.6 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun dengan $KL/r = 80$



LAMPIRAN 4

GAMBAR FOTO PENGUJIAN

الجامعة الإسلامية
الاندونيسية



Gambar L4.1 Setting Peralatan Untuk Pengujian Sampel



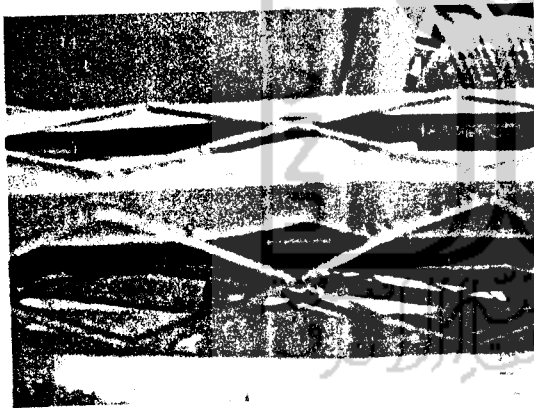
Gambar L4.2 Pengujian Sampel



(Kerusakan kolom $KL/r = 20$)



(Kerusakan kolom $KL/r = 40$)



(Kerusakan kolom $KL/r = 60$)

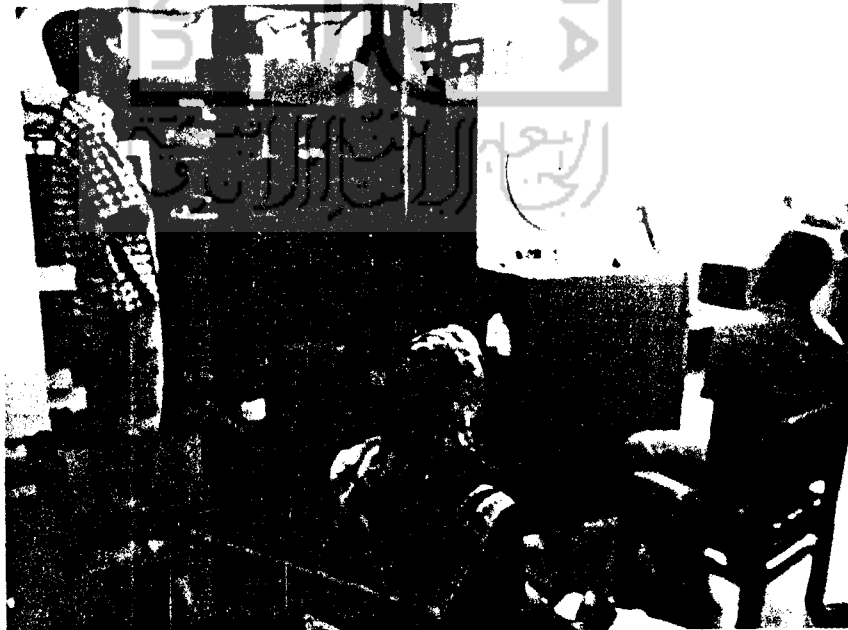


(Kerusakan kolom $KL/r = 80$)

Gambar L.4.3 Kerusakan Pada Kolom



L4.4 Pengujian Sambungan Las



L4.5 Pengujian Tarik Baja

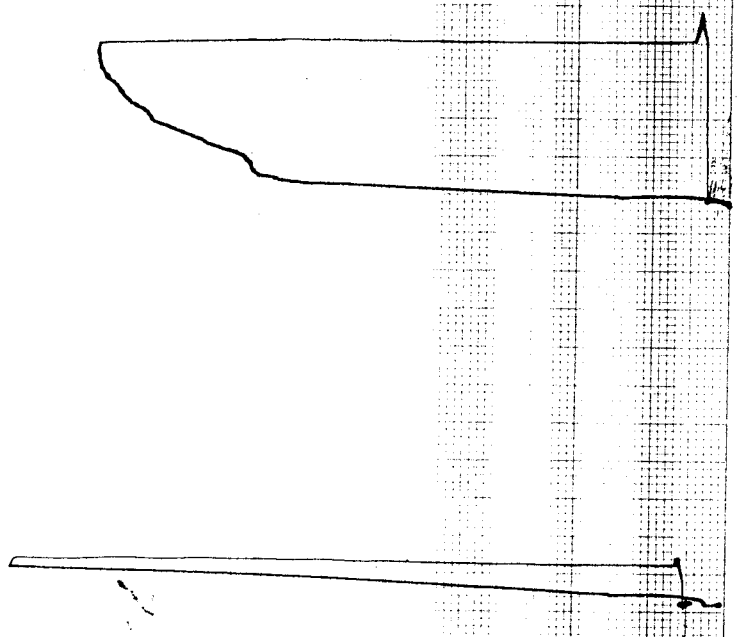
Nomor surat No: /ka.Lab/ /LBKT/ /

MAFIK TARIK BAJA

Deskripsi: _____

Catatan:

2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20





الجامعة الإسلامية الإندونيسية

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

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

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : : 131 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ XII /2006
Lamp. : -
Hal : BIMBINGAN TUGAS AKHIR
Periode Ke : II (Des.06- Mei.07)

Jogjakarta, 19-Dec-06

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

Jogjakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

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

Na m a	:	Adi Setibudi Bawono
No. Mhs.	:	03 511 063
Bidang Studi	:	Teknik Sipil
Tahun Akademi	:	2006 - 2007

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

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

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Kapasitas Kolom Tersusun Akibat Beban Eksentris Dengan Berbagai Kelangsingan

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

An.Dekan
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir.H. Faisol AM,MSA

Tembusan

- 1) Dosen Pembimbing ybs
- 2) Mahasiswa ybs
- 3) Arsip. 19-Dec-06
- 4) Sampai Akhir Mei 2007



UNTUK DOSEN

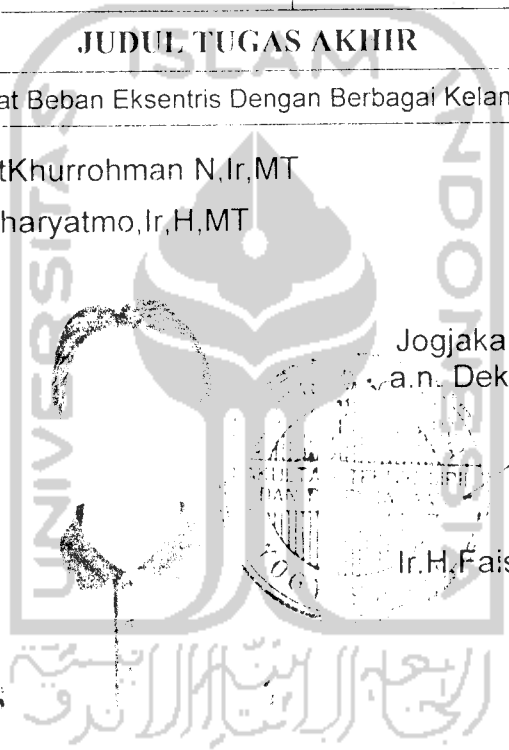
KARTU PRESENSI KONSULTASI
TUGAS AKHIR MAHASISWA

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

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Adi Setibudi Bawono	03 511 063	Teknik Sipil
JUDUL TUGAS AKHIR			
Kapasitas Kolom Tersusun Akibat Beban Eksentris Dengan Berbagai Kelangsingan			

Dosen Pembimbing I : FatKhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Suharyatmo,Ir,H,MT



Jogyakarta , 19-Dec-06
 a.n. Dekan

(Signature)
 Ir.H.Faisol AM, MS

Catatan	:	
Seminar	:	
Sidang	:	
Pendadaran	:	

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Adi Setibudi Bawono	03 511 063	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR
 Kapasitas Kolom Tersusun Akibat Beban Eksentris Dengan Berbagai Kelangsingan

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

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

Dosen Pembimbing I : FatKhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Suharyatmo,Ir,H,MT



Jogjakarta , 19-Dec-06
 a.n. Dekan



(Handwritten signature)

Ir.H.Faisol AM, MS

Catatan	:	
Seminar	:	
Sidang	:	
Pendadaran	:	