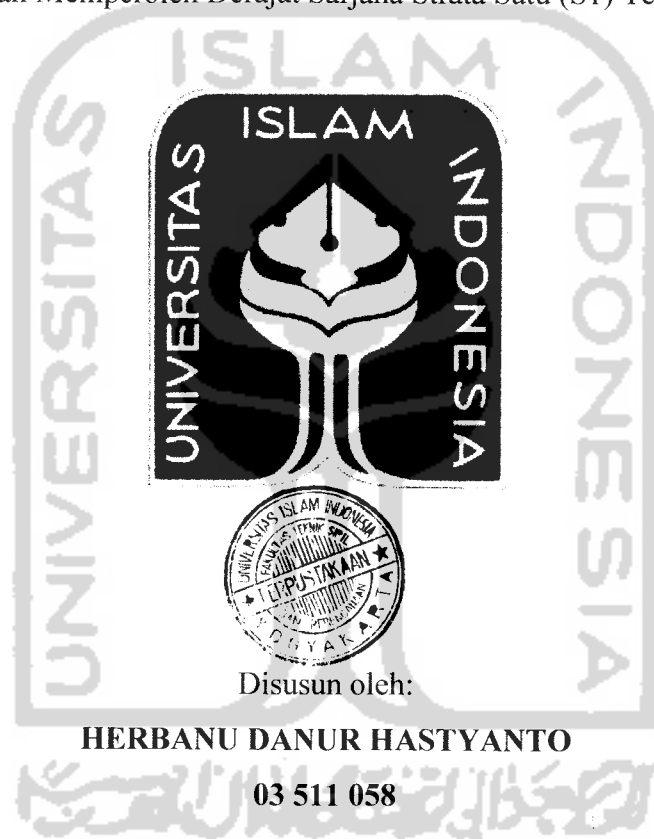


PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HABIS BIKELI	
TGL. TERIMA :	4-12-2007
NO. JUDUL :	2670
NO. INV. :	5120002670001
NO. INDUK :	002670

TUGAS AKHIR

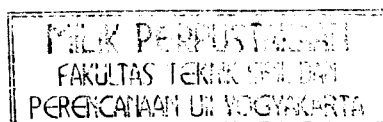
**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN PROFIL CANAI DINGIN
DENGAN BERBAGAI KELANGSINGAN AKIBAT BEBAN
EKSENTRIS**

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



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

2007



TUGAS AKHIR
KAPASITAS KOLOM TERSUSUN PROFIL CANAI DINGIN
DENGAN BERBAGAI KELANGSINGAN AKIBAT BEBAN
EKSENTRIS

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



Telah Diperiksa dan Disetujui

Pembimbing:


Ir. Fatkhurrohman. N, MT

Tanggal: 5/11 - 2007


Ir. H. Suharyatmo, MT

Tanggal: 5/11/07

MOTTO

*Dan kamu tidak mampu mewujudkan keinginanmu,
kecuali Allah Tuhan semesta alam menghendakinya.
(QS At Takwîir: 29)*

*... Allah Mahatahu akan segala hal.
(QS An Nuur: 35)*

*Sebaik-baik manusia di sisi Allah adalah mereka yang bermanfaat
untuk manusia lainnya, dan seburuk-buruk manusia di sisi Allah
adalah yang panjang umurnya dan buruk amal perbuatannya*

*Barang siapa yang jujur dalam segala perbuatan, maka Allah akan
marah kepada orang yang membuatnya marah*

*Orang yang cerdas itu memiliki tiga tanda: bersedia berhubungan
dengan orang yang memutuskan hubungannya, memberi
kepada orang yang mengisolasinya, dan memaafkan orang yang
menzalimnya*

Sesuatu yang besar berawal dari hal yang kecil

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

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

Pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Mamiku dan Babeku yang senantiasa memberikan dukungan tiap detik dalam hidupku ini.
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT selaku Dosen Pembimbing II.
4. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku dosen penguji.

5. Bapak Dr. Ir. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Ir. H. Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
7. Bapak Ir. H. Suharyatmo MT., selaku Sekretaris Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
8. Mas Aris yang telah membantu dalam pengujian.
9. Nenekku Landoeng yang paling ku cintai dan ku sayangi.
10. Lik Iis yang selalu memberikan dukungan spirit maupun materiil.
11. Pakdhe Nono, Budhe As, Pakdhe Yanto, Budhe Riezt, Pakdhe Wilman, Budhe Wilman kalian keluarga terbaikku. Aku sayang kalian semua.
12. Keluarga besar Sardjo. Simbah Sardjo, Lik Tatik, Lik Nanieng, Lik Meina, Om Dhono, Om Tondo semoga kita bisa lebih akrab.
13. Sodaraku yang baik Gilang, Tipong, Risa, Kiki, Akbar, Dita, Mida, Ipan, Iit, dan Toni.
14. Semua sahabat seperjuanganku, Pak Leo', Anin, Tissa, DheDhe, Ticca, PakDhe Dian, Paman Surya, Mirwan, Nopin, Ricky, dan Semua anak *Civil Engineering* '03 yang tidak bisa kusebut semuanya.
15. Semua sahabat seperjuangan *Mr. Fatur*: Adi, Danu, Ayip, Cipuy, Agie, dan mas Rizal.
16. Semua sahabat yang bantu saat pengujian di Lab. Mocca, Alam syeh, & Fikri.
17. Semua sahabat *kkn '33 khusus gempu jogja 27 May 2006*.
18. Semua sahabat praktek kerja Rusunawa.

19. Semua sahabat Spartax FC.
20. Semua sahabat *smu'ten*, Ndao Momon, Arief Erdem, Keen Chandra, Madhona, DhodhyLand.
21. Non Piepiet, seseorang yang selalu memberikan kejutan dalam hidupku ini.
22. 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. *Amien*.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Jogjakarta, September 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
ABSTRAKSI	xviii
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	4
BAB III LANDASAN TEORI	6
3.1. Kolom Tunggal	6
3.2. Tekuk Elastis	6

3.3. Tekuk Tidak Elastis	8
3.4. Panjang Tekuk	10
3.5. Pembebanan Eksentris pada Profil Tunggal	11
3.6. Pengaruh Gaya Geser terhadap Beban Kritis Kolom	14
3.7. Pembebanan Kosentris pada Kolom Tersusun	16
3.8. Pembebanan Eksentris pada Kolom Tersusun Bentukkan Dingin ..	20
3.9. Kegagalan pada Kolom Tersusun	22
3.9.1. Kegagalan Karena Leleh	22
3.9.2. Tekuk Lokal (<i>Local Buckling</i>)	22
3.9.3. Tekuk Keseluruhan (<i>Overall Buckling</i>)	24
3.10. Hubungan Tanpa Dimensi antara P_{cr}/P_y dengan KL/r	24
3.11. Hipotesis	25
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	26
4.1. Metode Penelitian	26
4.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	27
4.2.1. Bahan Penelitian	27
4.2.1.1. Benda Uji Pendahuluan	27
4.2.1.2. Benda Uji Penelitian	28
4.2.2. Peralatan Penelitian	29
4.3. Pelaksanaan Penelitian	32
4.3.1. Pembuatan Benda Uji	32
4.3.2. Uji Pendahuluan	34
4.3.2.1. Uji Kuat Tarik Profil	34

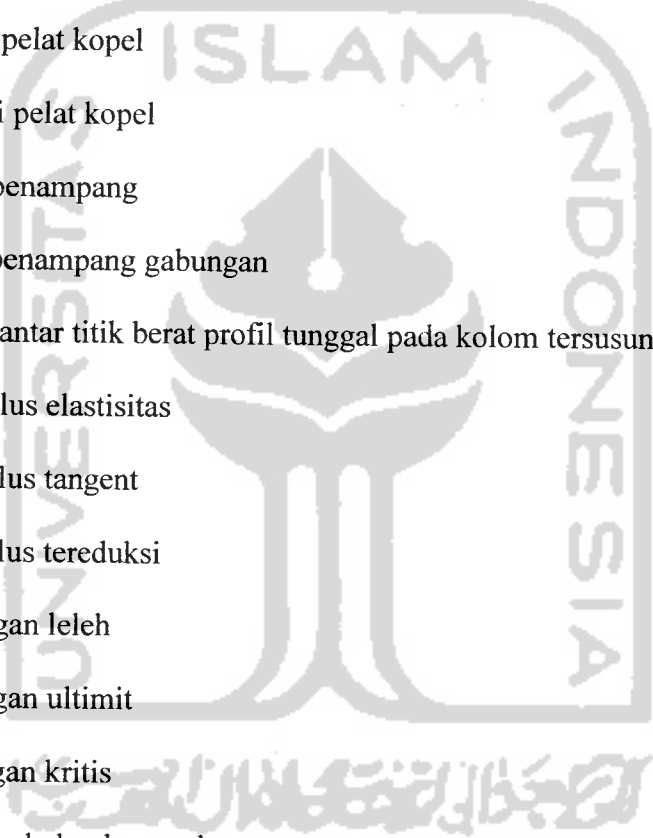
4.3.2.2. Pengujian Kuat Geser Sambungan Las	34
4.3.3. Setting Peralatan	35
4.3.4. Proses Pengujian Kapasitas Kolom Tersusun Akibat Pembebanan Eksentris	36
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
5.1. Uji Pendahuluan	37
5.1.1. Uji Tarik Baja Profil C	37
5.1.2. Uji Kuat Geser Sambungan Las	38
5.2. Hasil Penelitian	38
5.2.1. Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun	38
5.2.2. Hubungan Beban-Lendutan ($P-\Delta$) Hasil Penelitian	39
5.3. Pembahasan	41
5.3.1. Uji Pendahuluan	41
5.3.1.1. Uji Tarik Baja	41
5.3.1.2. Uji Kuat Geser Sambungan Las	42
5.3.2. Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun	44
5.3.3. Hubungan Beban (P) dengan Faktor Kelangsingan (KL/r)	44
5.3.4. Perbandingan Antara Perhitungan Teoritis dengan Hasil Pengujian	45
5.3.5. Pola Kegagalan	47
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	49
6.1. Kesimpulan	49
6.2. Saran	49

DAFTAR PUSTAKA 51

LAMPIRAN



DAFTAR SIMBOL



b	= lebar profil
h	= tinggi profil
t	= tebal profil
T	= tebal pelat kopel
H	= tinggi pelat kopel
A	= luas penampang
A_{gab}	= luas penampang gabungan
a	= jarak antar titik berat profil tunggal pada kolom tersusun
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 kelembaman betang tersusun
I_h	= momen kelembaman pelat kopel
I_c	= momen kelembaman batang tunggal
L	= panjang kolom
L_l	= jarak antar batang perangkai
L_k	= panjang tekuk

K	= faktor panjang tekuk
r	= jari-jari inersia
C_c	= rasio kelangsingan kritis
M	= momen
y	= jarak dari titik berat kolom tersusun sampai penampang terluar
P	= beban
P_e	= beban Euler
P_{cr}	= beban kritis
P_y	= beban leleh
P_d	= pengaruh geser kolom
V	= gaya geser
G	= modulus geser
δ	= defleksi
θ	= sudut rotasi
γ	= displacement/ pergeseran
β	= faktor bentuk
μ	= nilai banding poisson
k	= koefisien tekuk pelat
e	= eksentrisitas
π	= konstanta pi (nilai = 3,14)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Batang lurus dibebani gaya tekan aksial	6
Gambar 3.2	Kurva diagram tegangan terhadap rasio kelangsingan	8
Gambar 3.3	Grafik tegangan berdasar Euler, modulus tangen dan modulus reduksi	10
Gambar 3.4	Faktor panjang tekuk kolom ideal	11
Gambar 3.5	Kolom dengan beban (P) dan eksentrisitas (e)	12
Gambar 3.6	Grafik tegangan kritis terhadap fungsi kelangsingan dengan rumus secan (E.P. Popov, 1995)	14
Gambar 3.7	Kolom tunggal dengan pengaruh gaya geser	15
Gambar 3.8	Bentuk geometri kolom tersusun	17
Gambar 3.9	Kolom tersusun dengan beban tekan eksentris	20
Gambar 3.10	Kerusakan akibat tekuk lokal	23
Gambar 3.11	Hubungan antara P_{cr}/P_y dengan KL/r	24
Gambar 4.1	Flowchart pelaksanaan penelitian	26
Gambar 4.2	Benda uji tarik baja	27
Gambar 4.3	Benda uji sambungan las	28
Gambar 4.4	Detail sambungan las	28
Gambar 4.5	Bahan penelitian kolom tersusun	29
Gambar 4.6	Jangka sorong	29
Gambar 4.7	Loading frame	30

Gambar 4.9	Dial gauge	31
Gambar 4.10	Dukungan sendi	31
Gambar 4.11	Universal Testing Material Shimizu UMH-30	31
Gambar 4.12	Benda uji dengan nilai $KL/r = 21$	32
Gambar 4.13	Model benda uji dengan nilai $KL/r = 21$	33
Gambar 4.14	Model benda uji dengan nilai $KL/r = 43$	33
Gambar 4.15	Model benda uji dengan nilai $KL/r = 64$	33
Gambar 4.16	Model benda uji dengan nilai $KL/r = 86$	34
Gambar 4.17	Model benda uji dengan nilai $KL/r = 107$	34
Gambar 4.18	Seting benda uji	35
Gambar 4.19	Potongan melintang ujung kolom tersusun	36
Gambar 5.1	Grafik hubungan beban dengan lendutan kelima benda uji	40
Gambar 5.2	Grafik hubungan beban maksimum dengan faktor kelangsingan dengan nilai $e/r = 0,65$	45
Gambar 5.3	Grafik hubungan P_{cr}/P_y dan KL/r teoritis dengan hasil pengujian..	46
Gambar 5.4	Grafik hubungan F_{cr}/F_y dan KL/r hasil pengujian	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Perbandingan antara modulus tangen dengan modulus tereduksi (aluminium) (Chen dan Astuta, 1973)	9
Tabel 4.1	Ukuran benda uji kolom tersusun	33
Tabel 4.2	Benda uji tarik baja	34
Tabel 5.1	Hasil pengujian kuat tarik bahan	37
Tabel 5.2	Hasil pengujian kuat geser las	38
Tabel 5.3	Hasil pengujian kuat tekan kolom tersusun	39
Tabel 5.4	Tegangan leleh bahan hasil pengujian	41
Tabel 5.5	Hasil tegangan leleh las hasil pengujian	42
Tabel 5.6	Elektroda yang digunakan untuk pengelasan	43
Tabel 5.7	Perbandingan P_{cr}/P_y pengujian dengan teoritis	45
Tabel 5.8	Nilai koefisien tekuk pelat hasil penelitian	48

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perencanaan Kolom Tersusun
- Lampiran 2 Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kapasitas Kolom Tersusun dengan Berbagai Kelangsingan
- Lampiran 3 Uji Pendahuluan
- Lampiran 4 Gambar dan Dokumentasi Saat Pengujian dan Ragam Kegagalan pada Saat Pengujian



ABTRAKSI

Kapasitas tekan kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin yang dipasang *front to front* dengan perangkai batang melintang dipengaruhi oleh ukuran penampang, jarak antar profil tunggal, dan kelangsingan batang. Kapasitas tekan kolom tersusun berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu kolom maka kapasitasnya semakin kecil. Kapasitas kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin juga dipengaruhi oleh tekuk (instabilitas) yang dapat berupa tekuk lokal dan tekuk menyeluruh. Tekuk lokal terjadi pada batang yang mempunyai elemen penampang langsing (rasio b/t besar), sedangkan tekuk menyeluruh terjadi pada kolom langsing (rasio KL/r besar). Beban tekan eksentris yang bekerja pada kolom tersusun menimbulkan momen, oleh karena itu pada kolom bekerja kombinasi gaya tekan aksial dan momen. Interaksi momen dengan gaya aksial memperkecil kapasitas kolom.

Penelitian eksperimental lima benda uji kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin dengan batang perangkai pelat kopel dengan jarak batang perangkai (L_1), jarak antar profil (a), dan jarak eksentrisitas (e) yang tetap dengan perbedaan rasio kelangsingan (KL/r) sebesar 21, 43, 64, 86, 107 bertujuan untuk mengetahui kapasitas tekan masing-masing kolom tersusun, memperoleh grafik hubungan P_{cr}/P_y , dan mengetahui pola kegagalan pada kolom tersusun.

Rasio antara beban kritis (P_{cr}) dengan beban leleh (P_y) dari hasil penelitian eksperimental diperoleh untuk untuk kolom 1 dengan ($KL/r = 21$), $P_{cr}/P_y = 0,954$; kolom 2 dengan ($KL/r = 43$), $P_{cr}/P_y = 0,863$; kolom 3 dengan ($KL/r = 64$), $P_{cr}/P_y = 0,825$; kolom 4 dengan ($KL/r = 86$), $P_{cr}/P_y = 0,824$; dan kolom 5 dengan ($KL/r = 107$), $P_{cr}/P_y = 0,632$. Dari hasil penelitian eksperimental tersebut diketahui bahwa semakin besar kelangsingan kolom maka rasio beban kritis (P_{cr}) dengan beban leleh (P_y) akan semakin kecil. Pola kegagalan untuk kelima benda uji berupa tekuk lokal.

Kata Kunci: *Kolom Tersusun, Kelangsingan, Eksentrisitas, Beban Kritis, Tekuk Lokal dan Tekuk Menyeluruh*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kolom tersusun adalah gabungan dua batang atau lebih yang dirangkai sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan. Kolom tersusun dapat dibuat dari dua profil *C* bentukan dingin (*cold formed*) guna memperoleh komponen struktur yang mempunyai kapasitas tekan dan kekakuan batang yang besar. Kapasitas kolom tersusun dipengaruhi oleh kelangsingan batang, susunan profil, bentuk dan ukuran penampang, dan konfigurasi batang perangkai. Kegagalan yang mungkin terjadi pada kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin adalah kegagalan kolom karena tegangan lelehnya (F_y) terlampaui dan kegagalan karena tekuk (*buckling*). Kegagalan karena tekuk terdiri dari dua macam. Tekuk menyeluruh (*overall buckling*) terjadi pada kolom dengan rasio kelangsingan (KL/r) besar, sedangkan tekuk lokal (*local buckling*) terjadi pada kolom yang memiliki elemen penampang langsing (rasio b/t besar).

Kolom tersusun umumnya memikul gaya tekan eksentris akibat pembebanan yang tidak tepat melalui pusat berat penampang. Pembebanan kolom secara eksentris ini akan menimbulkan gaya lain berupa momen lentur (M). Tegangan yang terjadi pada penampang kolom merupakan interaksi antara tegangan desak dengan tegangan lentur. Interaksi tegangan ini mengakibatkan adanya gaya geser dan mengurangi instabilitas kolom yang dapat mengakibatkan penurunan kapasitas kolom.

Pengurangan kapasitas tekan kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin belum banyak dikemukakan, oleh karena itu penelitian ini menarik untuk diteliti untuk mengetahui kapasitas kolom tersusun (P_{cr}) dua profil *C* bentukan dingin akibat pembebanan eksentris dengan fungsi kelangsingan (KL/r) bervariasi.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian kapasitas tekan kolom tersusun adalah:

1. Mengetahui kapasitas kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin akibat pembebanan eksentris dengan variasi kelangsingan.
2. Mengetahui hubungan tanpa dimensi rasio P_{cr}/P_y terhadap fungsi kelangsingan KL/r .
3. Mengetahui ragam kegagalan kolom tersusun profil *C* bentukan dingin akibat pembebanan eksentris dengan variasi kelangsingan.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi tentang kapasitas dan perilaku kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin akibat pembebanan tekan eksentris dengan variasi kelangsingan.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam desain kolom baja.

1.4. Batasan Penelitian

Mengingat persoalan kolom sangat luas, maka penelitian ini menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Kolom tersusun dari profil *C* bentukan dingin yang dipasang *front to front*.
2. Beban statis eksentris (e).
3. Jarak sumbu elemen batang tersusun (a) = 75 mm.
4. Rasio eksentrisitas terhadap jari-jari inersia kolom adalah 0,65.
5. Kolom dengan rasio kelangsingan KL/r mulai dari 21, 43, 64, 86, dan 107.
6. Batang perangkai melintang (pelat kopel) dengan alat sambung las dengan asumsi las mempunyai kekuatan penuh atau disamakan dengan kekuatan bahan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kolom tersusun adalah gabungan dua batang atau lebih, satu dengan yang lain dihubungkan (dirangkai) sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan. Untuk membentuk batang tersusun diperlukan penghubung yang berupa pelat atau batang. Batang penghubung dapat disusun melintang, diagonal dan kombinasi melintang dengan diagonal. Penghubung dapat juga berupa pelat menerus. Hubungan batang dengan penghubungnya dapat dilaksanakan dengan baut, paku keling dan las (*Padosbajayo, 1994*).

Transisi antara kondisi stabil dan kondisi tidak stabil terjadi pada harga gaya aksial khusus yang disebut beban kritis (P_{cr}) (*Gere dan Timoshenko, 1997*).

Euler mengemukakan bahwa beban kritis untuk kolom yang bersendi di kedua ujungnya berbanding terbalik dengan kuadrat panjang batang dan berbanding lurus dengan modulus elastisitas batang (*Gaylord dan Stallmeyer, 1992*).

Kapasitas tekan kolom tersusun dipengaruhi oleh beban kritis Euler dan gaya geser yang terjadi pada batang saat menerima beban (*S Timoshenko, 1976*).

Rumus secan untuk beban kritis kolom dipengaruhi oleh eksentrisitas dan kelangsingan batang, semakin besar eksentrisitas dan kelangsingan batang maka beban kritis kolom akan semakin kecil (*E. P. Popov, 1995*).

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

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

BAB III

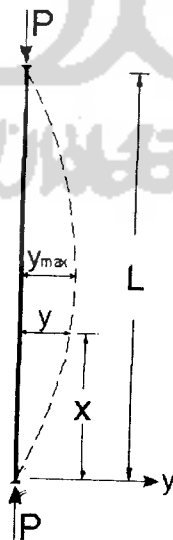
LANDASAN TEORI

3.1 Kolom Tunggal

Kapasitas kolom tunggal dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satu diantaranya adalah kelangsingan batang (KL/r). Semakin langsing suatu kolom kapasitas tekannya akan semakin kecil. Kelangsingan juga berpengaruh terhadap ragam keruntuhan kolom. Kolom berdasarkan kelangsingan dapat dikelompokkan menjadi tiga, 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 tekuk pada kolom sedang disebut tekuk inelastis.

3.2 Tekuk Elastis

Teori tekuk kolom pertama dikemukakan oleh *Euler* (1759). Batang dengan beban kosentris yang semula lurus dan semua seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi akan mengalami lengkungan yang kecil. Gambar 3.1 menunjukkan batang yang dibebani di kedua ujungnya (*Salmon dan Johnson, 1990*).



Gambar 3.1 Batang lurus dibebani gaya tekan aksial

Pada sembarang lokasi x , momen lentur M_x dihitung dari kiri pada batang yang sedikit terbelokkan terhadap sumbu utama x , sehingga persamaan diferensialnya adalah (Salmon dan Johnson, 1990):

$$M_x = P.y \quad (3.1)$$

Karena

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

Substitusi Persamaan 3.1 ke Persamaan 3.2 menjadi:

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

Bila $k^2 = P/(EI)$, penyelesaian persamaan diferensial linear dapat dinyatakan sebagai (Salmon dan Johnson, 1990):

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

Persamaan 3.4 dapat diselesaikan dengan menerapkan syarat batas: (a) $y = 0$ di $x = 0$; dan (b) $y = 0$ di $x = L$, diperoleh dari syarat (a), $B = 0$; dan dari syarat (b),

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

Persamaan (3.5) dapat dipenuhi oleh tiga keadaan; (a) konstanta $A = 0$, yaitu tidak ada lendutan; (b) $kL = 0$, yaitu tidak ada beban luar; dan (c) $kL = N\pi$, yakni persyaratan terjadi tekuk (Salmon dan Johnson, 1990), jadi:

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

Tetapi karena yang dicari adalah harga terkecil dari beban kritis atau beban Euler maka N dari Persamaan 3.6 diambil 1. Persamaan beban kritis (P_{cr}) elastis adalah sebagai berikut:

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

dengan: E (modulus elastis baja), I (momen inersia), L (panjang kolom dari ujung sendi ke ujung sendi), K (faktor panjang efektif), π (konstanta = 3,14).

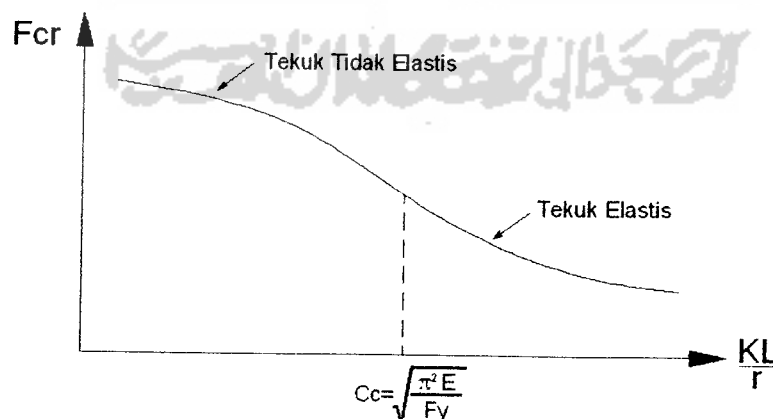
Persamaan 3.7 memperlihatkan bahwa beban kritis (P_{cr}) suatu kolom berbanding terbalik dengan kuadrat panjang elemen (L) serta berbanding lurus dengan modulus elastisitas material (E) dan momen inersia penampang melintang (I). Hal tersebut berarti jika kolom semakin panjang maka beban kritis yang dapat ditahan semakin kecil.

3.3 Tekuk Tidak Elastis

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 (*Gere dan Timoshenko, 2000*). Rasio kelangsingan kritis didapatkan dengan Persamaan 3.8 berikut:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = C_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_y}} \quad (3.8)$$

Kolom dengan kelangsingan $KL/r > C_c$ akan mengalami tekuk elastis, sebaliknya kolom dengan kelangsingan $KL/r < C_c$ akan mengalami tekuk tidak elastis (inelastis). Kurva tegangan kritis (F_{cr}) terhadap fungsi kelangsingan (KL/r) ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Kurva diagram tegangan terhadap rasio kelangsingan

Beban tekuk kolom inelastis dapat dihitung dengan teori modulus tangen (E_t) dan modulus tereduksi (E_r). Teori modulus tangen (E_t) 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 (E_r). Dimana beban tekuk kritis kolom pada saat inelastis adalah:

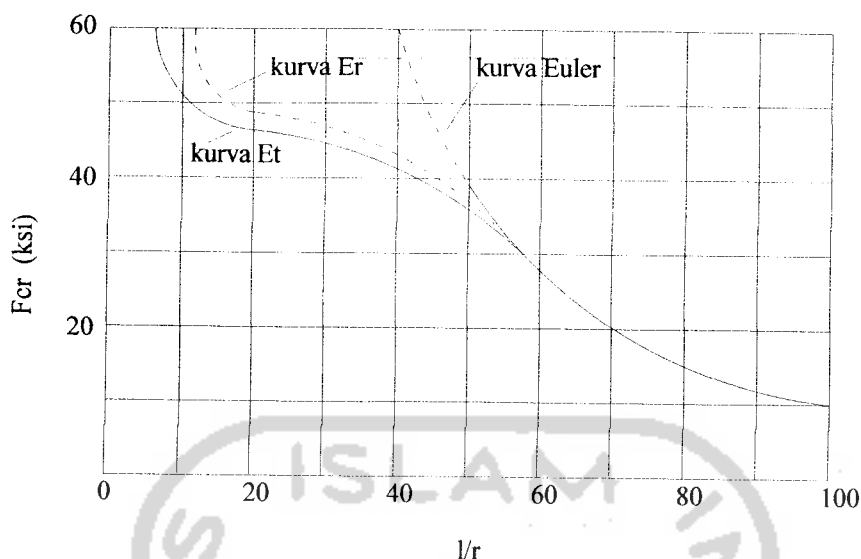
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_r I}{L_k^2} \quad (3.9)$$

Perbandingan E_t dan E_r dikutip dari *plastic buckling of columns Chen dan Atsuta (1973)*, dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Perbandingan antara modulus tangen dengan modulus tereduksi (*aluminium*) (*Chen dan Atsuta, 1973*)

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 3.3 berikut ini:



Gambar 3.3 Grafik tegangan berdasarkan Euler, modulus tangen dan modulus tereduksi

Gambar 3.3 tampak bahwa tegangan kritis kolom yang menggunakan modulus tangen (E_t) berada dibawah tegangan kritis yang menggunakan modulus tereduksi (E_r).

Rumus *AISC* (*American Institute of Steel Construction*) untuk tekuk tidak elastis didapatkan dari hasil penelitian. Hubungan tegangan kritis-kelangsingan dianggap memenuhi persamaan parabola dan tegangan kritis maksimum ditetapkan sama dengan tegangan leleh. Tegangan kritis dengan beban eksentris dapat dinyatakan Persamaan 3.10 berikut (*Padosbajayo, 1994*):

$$F_{cr} = F_y \left(1 - \frac{(L_k / r)^2}{2.C_c^2} \right) \quad (3.10)$$

3.4 Panjang Tekuk

Kuat tekan batang dapat ditentukan setelah kelangsingan batang diketahui, sedangkan kelangsingan batang dapat ditentukan setelah panjang tekuknya diketahui. Panjang tekuk batang adalah jarak antar titik balik batang tersebut, yaitu jarak antar ujung-ujung sendi ekuivalen. Panjang tekuk (L_k) dinyatakan dengan Persamaan (3.11)

$$L_k = K \times L \quad (3.11)$$

K adalah faktor panjang tekuk dan L adalah panjang batang.

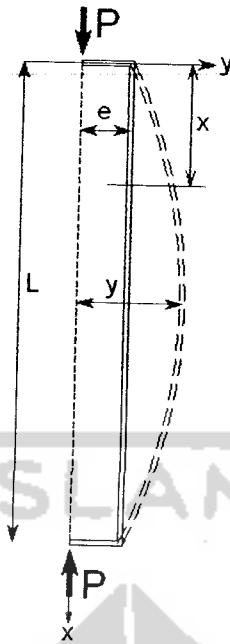
Faktor panjang tekuk untuk kolom portal tidak bergoyang lebih kecil atau samadengan satu ($K \leq 1$), sedangkan faktor panjang tekuk kolom bergoyang lebih besar satu ($K \geq 1$). Faktor panjang tekuk kolom ideal, yaitu kolom yang berdiri sendiri dengan ujung-ujung sendi, jepit, dan bebas yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Bentuk kelengkungan				
Nilai k teoritis	0,5	0,7	1,0	2,0
Kondisi ujung				
		Jepit	Sendi	Bebas

Gambar 3.4 Faktor panjang tekuk kolom ideal

3.5 Pembebanan Eksentris pada Profil Tunggal

Gaya tekan eksentris suatu batang yang diukur dari sumbu batang, maka beban tekan aksial eksentris ini ekuivalen dengan beban sentris (P) dan momen ($M=P.e$). Momen ini ada sejak beban tersebut diterapkan sehingga kolom mulai terdefleksi pada saat mulai diberi beban. Untuk menganalisis batang yang diberi beban eksentris dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Kolom dengan beban (P) dan eksentrisitas (e)

Salah satu rumus batang tekan yang memperhitungkan pengaruh eksentrisitas awal (Gambar 3.5) adalah rumus *Secan*, (E.P.Popov, 1995). Persamaan diferensial untuk kurva elastis adalah:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} = -\frac{P \cdot y}{EI} \quad (3.12)$$

dengan mengambil $k = \sqrt{\frac{P}{EI}}$, maka Persamaan 3.12 berubah menjadi:

$$y = A \sin kx + B \cos kx \quad (3.13)$$

Persamaan 3.13 dapat diselesaikan dengan menetapkan kondisi batas yaitu pada saat $x = 0$, maka lendutan (δ) = e . Kondisi batas $x = 0$ maka $B = e$, Persamaan 3.13 menjadi:

$$y = A \sin kx + e \cos kx \quad (3.14)$$

dengan memperhatikan bahwa kurva elastis mempunyai garis singgung vertikal pada setengah tinggi kolom $y'(L/2) = 0$, maka turunan dari Persamaan 3.14 sama dengan nol pada $x = \frac{L}{2}$.

$$A = e \frac{\sin k(L/2)}{\cos k(L/2)} \quad (3.15)$$

$$y = e \left(\frac{\sin k(L/2)}{\cos k(L/2)} \cdot \sin kx + \cos kx \right) \quad (3.16)$$

Defleksi maksimum (y_{max}) ini terjadi pada $L/2$ karena pada titik ini turunan Persamaan 3.16 sama dengan nol, menjadi:

$$y(L/2) = y_{max} = e \left(\frac{\sin^2 k(L/2)}{\cos k(L/2)} + \cos k(L/2) \right) = e \cdot \sec \frac{kL}{2} \quad (3.17)$$

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

$$F_{max} = \frac{P}{A} + \frac{M \cdot y}{I} = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot y_{max} \cdot y}{A \cdot r^2} \quad (3.18)$$

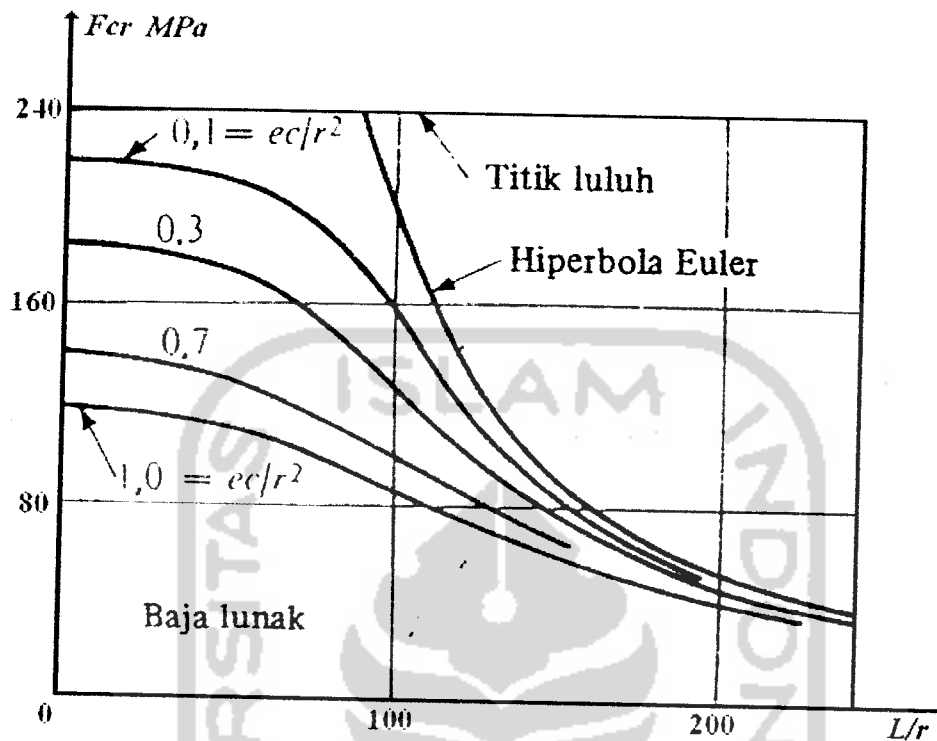
$$F_{max} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{e \cdot y}{r^2} \sec \frac{kL}{2} \right) \quad (3.19)$$

tetapi: $k = \sqrt{P/(EI)} = \sqrt{P/(EA r^2)}$

$$F_{cr} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{e \cdot y}{r^2} \sec \frac{L}{r} \left(\sqrt{\frac{P}{4EA}} \right) \right) \quad (3.20)$$

$$P_{cr} = \frac{F_{cr} \cdot A}{\left(1 + \frac{e \cdot y}{r^2} \cdot \sec \frac{L}{r} \sqrt{P/4EA} \right)} \quad (3.21)$$

Persamaan 3.21 kurang praktis karena terdapat variabel P di sisi kanan dan kiri, sehingga penyelesaiannya menggunakan "trial and error". Teori secant juga dikemukakan oleh *Salmon and Jhonson* (1990) dan *S Timoshenko* (1976). Rumus Secant dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 3.6 berikut (*E.P. Popov, 1995*):



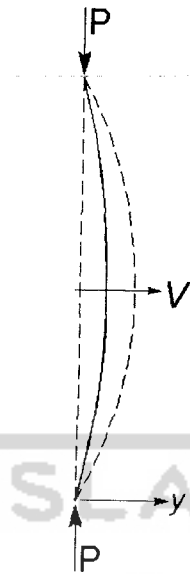
Gambar 3.6 Grafik tegangan kritis terhadap fungsi kelangsingan dengan rumus secan (E.P. Popov, 1995)

Dari Gambar 3.4 diatas menunjukkan bahwa tegangan kritis sebuah kolom sangat berkurang apabila rasio kelangsingan (L/r) bertambah. Dan juga tampak bahwa tegangan kritis berkurang apabila eksentrisitas bertambah.

3.6 Pengaruh Gaya Geser terhadap Beban Kritis Kolom

Batang yang tertekan akan mengalami deformasi arah lentur, di dalam penampang batang tersebut timbul komponen gaya dengan arah tegak lurus dengan sumbu batang yang disebut gaya geser. Akibat gaya geser, pelenturan bertambah dan berpengaruh terhadap beban kritis kolom (Padosbajayo, 1994).

Kolom tunggal yang diberi beban aksial sebesar (P), sehingga menimbulkan gaya geser (V) seperti pada Gambar 3.7 berikut:



Gambar 3.7 Kolom tunggal dengan pengaruh gaya geser

Ditinjau penampang batang yang letaknya x dari ujung bawah, pelenturan akibat beban (P) dinyatakan dengan Persamaan 3.22 berikut:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} y \quad (3.22)$$

Gaya geser (V) yang timbul pada penampang batang adalah (S. Timoshenko, 1976):

$$V = \frac{M_x}{dx} = P \frac{dy}{dx} \quad (3.23)$$

Kemiringan (*slope*) yang terjadi akibat gaya geser adalah (Salmon dan Johnson, 1990):

$$\theta = \frac{\text{Tegangan Geser}}{\text{Modulus Geser}} \quad (3.24)$$

dengan: G (modulus geser) yang nilainya $= E/[2(1+\mu)]$, F_v (Tegangan Geser) $= V/A$, μ adalah nilai banding poison (*poison ratio*).

Dengan memperhitungkan faktor bentuk (β), maka diperoleh:

$$\theta = \frac{\beta V}{AG} \quad (3.25)$$

$$\theta = \frac{\beta}{AG} \cdot P \frac{dy}{dx} \quad (3.26)$$

Pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dalam Persamaan 3.27 berikut:

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{AG} \cdot P \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.27)$$

Pelenturan total (akibat P dan V) adalah:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{P}{EI}y + \frac{\beta P}{AG} \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.28)$$

Beban kritis kolom dengan memasukkan pengaruh gaya geser dapat dinyatakan dengan (Padosbajayo, 1994):

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{\beta \pi^2 EI}{AG L_k^2}\right)} \quad (3.29)$$

dengan $\frac{\pi^2 EI}{L_k^2}$ adalah beban tekuk Euler (P_e). Jika $\beta/AG = 1/P_d$, Persamaan 3.29 dapat dinyatakan dengan:

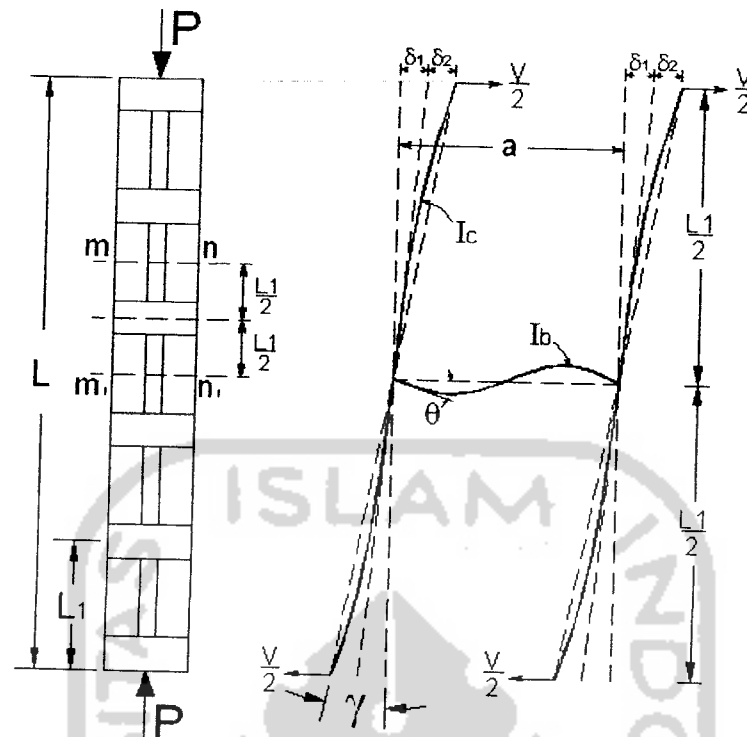
$$P_{cr} = \frac{P_e}{1 + P_e/P_d} \quad (3.30)$$

dengan P_d merupakan pengaruh geser pada kolom.

3.7 Pembebanan Kosentris pada Kolom Tersusun

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.

Prinsip tegangan yang dihasilkan oleh perilaku beban yang bekerja secara kosentris pada kolom tersusun ditunjukkan pada Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3.8 Bentuk geometri kolom tersusun

Sebuah batang tersusun terdiri dari dua buah profil C bentukan dingin dengan batang penghubung berupa plat melintang atau plat kopel (Gambar 3.8), batang tersebut dibebani beban aksial P dan pengaruh P pada penampang batang timbul pengaruh lintang atau geser (V). Untuk mengetahui perubahan tempat akibat V ditinjau potongan $m-n$ sampai dengan potongan m_1-n_1 dianggap profil mempunyai titik belok dipotongan tersebut, (Padosbajayo, 1994). Pelenturan total dapat dinyatakan dengan:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \quad (3.31)$$

dengan: δ_1 adalah defleksi akibat momen pada plat melintang (plat kopel), dan δ_2

adalah defleksi akibat momen pada profil

Pada ujung-ujung plat melintang bekerja kopel gaya ($VL/2$). Sehingga dapat dihasilkan persamaan untuk sudut rotasi di ujung-ujung plat adalah (Padosbajayo, 1994):

$$\theta = \frac{V.L_1}{2} \frac{a}{3E.I_h} - \frac{V.L_1}{2} \frac{a}{6E.I_h} \quad (3.32)$$

$$\theta = \frac{V.L_1 \cdot a}{12E.I_h} \quad (3.33)$$

EI_h adalah kekakuan batang melintang (plat kopel), dan I_h adalah momen kelembaman plat kopel. Untuk plat kopel dimuka dan dibelakang yang tebalnya (T), maka persamaan momen kelembaman plat kopel (I_h) adalah:

$$I_h = 2 \left(\frac{1}{12} T.H^3 \right) \quad (3.34)$$

Perubahan tempat akibat momen plat kopel adalah:

$$\delta_1 = \frac{\theta.L_1}{2} = \frac{V.L_1^2 a}{24E.I_h} \quad (3.35)$$

Perubahan tempat akibat momen pada profil, diperoleh dengan anggapan balok sepanjang ($L_1/2$) sebagai kantilever. Sehingga persamaannya adalah (Padosbajayo, 1994):

$$\delta_2 = \frac{V}{2} \left(\frac{L_1}{2} \right)^3 \frac{1}{3E.I_c} = \frac{V.L_1^3}{48E.I_c} \quad (3.36)$$

dengan: EI_c adalah kekakuan lentur profil C , dan I_c adalah momen kelembaman batang tunggal.

Displacement total yang diakibatkan gaya gasar (V) dapat dinyatakan dengan (S.Timoshenko, 1976):

$$\gamma = \frac{\delta_1 + \delta_2}{L_1/2} \quad (3.37)$$

dengan, $V/P_d = \gamma$, maka:

$$\frac{1}{P_d} = \frac{L_1 \cdot a}{12E.I_h} + \frac{L_1^2}{24E.I_c} \quad (3.38)$$

Pengaruh gaya lintang terhadap beban kritis kolom tersusun dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.39.

$$P_{cr} = \frac{P_{euler}}{1 + \frac{P_{euler}}{P_d}} \quad (3.39)$$

Substitusi Persamaan 3.38 ke dalam Persamaan 3.39 diperoleh:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_k^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \left[\frac{L_1 \cdot a}{12 EI_h} + \frac{L_1^2}{24 EI_c} \right]} \quad (3.40)$$

dengan: $P_{euler} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2}$

Untuk persamaan gaya lintang pada plat kopel adalah $(V \cdot L_1)/a$, dan persamaan untuk regangan geser pada plat kopel adalah $\frac{\beta \cdot V \cdot L_1}{a \cdot A_h \cdot G}$.

dengan: A_h adalah luas dua plat kopel, dan β adalah faktor bentuk.

Persamaan beban kritis untuk kolom tersusun dengan memasukkan pengaruh geser pada perangkai horisontal/ plat kopel adalah (Padosbajayo, 1994):

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \left[\frac{L_1 \cdot a}{12 EI_h} + \frac{L_1^2}{24 EI_c} + \frac{\beta \cdot L_1 \cdot 2(1 + \mu)}{a \cdot A_h \cdot E} \right]} \quad (3.41)$$

Untuk kolom pendek dengan kelangsingan di bawah C_c (kelangsingan kritis) maka modulus elastis baja (E) diganti dengan modulus tereduksi (E_r) sehingga beban kritis kolom menjadi:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_r I}{L_k^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_r I}{L_k^2} \left[\frac{L_1 \cdot a}{12 EI_h} + \frac{L_1^2}{24 EI_c} + \frac{\beta \cdot L_1 \cdot 2(1 + \mu)}{a \cdot A_h \cdot E} \right]} \quad (3.42)$$

Persamaan (3.41) dan (3.42) memperlihatkan bahwa beban kritis kolom tersusun dipengaruhi oleh modulus elastis (E), inersia penampang (I), panjang batang (L), jarak antar plat kopel (L_1), jarak antar pusat berat profil (a), dan inersia plat kopel (I_h).

Tegangan kritis kolom didapat dengan membagi Persamaan 3.41 dengan luas penampang (A) menjadi (Padosbajayo, 1994):

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AL_k^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \left[\frac{L_1 \cdot a}{12 EI_h} + \frac{L_1^2}{24 EI_c} + \frac{\beta \cdot L_1 \cdot 2(1 + \mu)}{a \cdot A_h \cdot E} \right]} \quad (3.43)$$

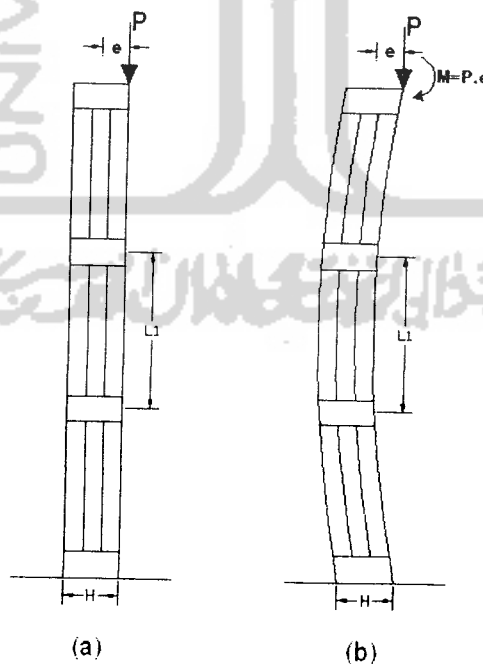
Untuk kolom pendek dengan kelangsingan di bawah C_c (kelangsingan kritis) maka tegangan kritis kolom menjadi:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E_r I}{AL_k^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_r I}{L_k^2} \left[\frac{L_1 \cdot a}{12 EI_h} + \frac{L_1^2}{24 EI_c} + \frac{\beta \cdot L_1 \cdot 2(1 + \mu)}{a \cdot A_h \cdot E} \right]} \quad (3.44)$$

Persamaan 3.41 dan 3.43 digunakan untuk menghitung beban kritis (P_{cr}) dan tegangan kritis (F_{cr}) pada saat kolom menerima beban secara terpusat (konsentris). Untuk kolom yang menerima beban secara eksentris maka besarnya momen yang terjadi harus diperhitungkan.

3.8 Pembebanan Eksentris pada Kolom Tersusun Bentuk Dingin

Prinsip tegangan yang dihasilkan oleh perilaku beban yang bekerja secara eksentris pada kolom tersusun ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Kolom tersusun dengan beban tekan eksentris

Pada saat kolom tersusun diberi beban sebesar P dan sejauh e dari pusat berat penampang, sehingga pada penampang $m-n$ bekerja interaksi gaya antara tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan aksial (F_a) dan momen yang terjadi (F_b). Tegangan yang terjadi pada kolom yang memikul gaya tekan adalah:

$$F_a = \frac{P}{A} \quad (3.45)$$

Tegangan yang ditimbulkan akibat momen lentur adalah:

$$F_b = \frac{M \cdot y}{I_y} \quad (3.46)$$

dengan $M = P \cdot e$, maka Persamaan 3.46 berubah menjadi:

$$F_b = \frac{P \cdot e \cdot y}{I_y} \quad (3.47)$$

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

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} + \left(\frac{P \cdot e \cdot y}{I_y} \right) \quad (3.48)$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \times \left(1 + \frac{e \cdot y}{r^2} \right) \quad (3.49)$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \times \left(\frac{r^2}{r^2} + \frac{e \cdot y}{r^2} \right) \quad (3.50)$$

Beban kritis kolom tersusun (P_{cr}) dapat diperoleh dengan mengasumsikan Persamaan 3.50 sama dengan Persamaan 3.43, maka untuk berbagai nilai eksentrisitas, Persamaan 3.43 menjadi:

$$\frac{P_{cr}}{A} \left(\frac{r^2 + e \cdot y}{r^2} \right) = \frac{\pi^2 \cdot EI}{AL_k^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \left[\frac{L_1 \cdot a}{12 EI_h} + \frac{L_1^2}{24 EI_c} + \frac{\beta \cdot L_1 \cdot 2(1 + \mu)}{a \cdot A_h \cdot E} \right]} \quad (3.51)$$

Sehingga besar beban kritis kolom (P_{cr}) adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_k^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \left[\frac{L_1 \cdot a}{12 EI_h} + \frac{L_1^2}{24 EI_c} + \frac{\beta \cdot L_1 \cdot 2(1 + \mu)}{a \cdot A_h \cdot E} \right]} \frac{r^2}{(r^2 + e \cdot y)} \quad (3.52)$$

Untuk kolom tersusun dengan kelangsingan di bawah C_c (kelangsingan kritis) maka beban kritis kolom menjadi:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_r I}{L_k^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_r I}{L_k^2} \left[\frac{L_1 \cdot a}{12 EI_h} + \frac{L_1^2}{24 EI_c} + \frac{\beta \cdot L_1 \cdot 2(1 + \mu)}{a \cdot A_h \cdot E} \right]} \left(r^2 + e \cdot y \right) \quad (3.53)$$

Dari Persamaan (3.52) dan (5.53) dapat dilihat bahwa kapasitas kolom tersusun (P_{cr}) dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain: kondisi awal kolom, jumlah batang perangkai, jarak antar perangkai, jarak antar profil, bentuk batang perangkai, dan panjang kolom. Semakin besar nilai eksentrisitas (e) maka beban kritis kolom (P_{cr}) semakin kecil.

3.9 Kegagalan pada Kolom Tersusun

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

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:

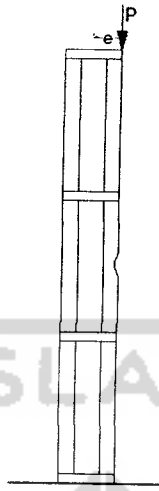
$$P_y = A_g \cdot F_y \quad (3.54)$$

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

3.9.2 Tekuk Lokal (*Local Buckling*)

Profil tersusun terdiri dari elemen-elemen plat, kekuatan penampang kolom yang didasarkan pada angka kelangsingan keseluruhan hanya dapat tercapai jika elemen plat tersebut tidak tertekuk setempat. Tekuk setempat elemen plat dapat mengakibatkan kehancuran penampang keseluruhan yang terlalu dini, atau paling

sedikit menyebabkan tegangan menjadi tak merata dan mengurangi kekuatan keseluruhan. Kerusakan kolom akibat tekuk lokal dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kerusakan akibat tekuk lokal

Tekuk lokal yang perlu ditinjau adalah stabilitas lentur plat. Persamaan diferensial umum tekuk plat homogen yang dikemukakan oleh *Salmon dan Johnson (1990)*, adalah:

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (3.55)$$

dimana k adalah konstanta yang tergantung pada distribusi tegangan, kondisi tepi dan rasio panjang dengan lebar plat, sedangkan μ adalah rasio poisson, dan b/t adalah rasio lebar dengan ketebalan. Prinsip dasar perencanaan pelat adalah tegangan kritis akibat tekuk pelat harus lebih besar dari tegangan leleh bahan pelatnya.

$$F_{cr}(\text{elemenplat}) \geq F_{cr}(\text{kolomkeseluruhan}) \quad (3.56)$$

berarti:

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \geq F_{cr} \quad (3.57)$$

Dengan $\mu = 0,3$ untuk baja, dan $E = 200.000$ MPa serta F_y dalam MPa

$$\left(\frac{b}{t}\right) \leq 425,16 \sqrt{\frac{k}{F_y}} \quad (3.58)$$

Pada Persamaan 3.57 terlihat bahwa nilai F_{cr} sangat dipengaruhi oleh koefisien tekuk pelat (k) dan nilai rasio lebar terhadap tebal (b/t). Semakin besar rasio lebar profil terhadap tebal profil (b/t) maka tegangan kritis pelat akan semakin kecil, sehingga menyebabkan terjadi tekuk lokal.

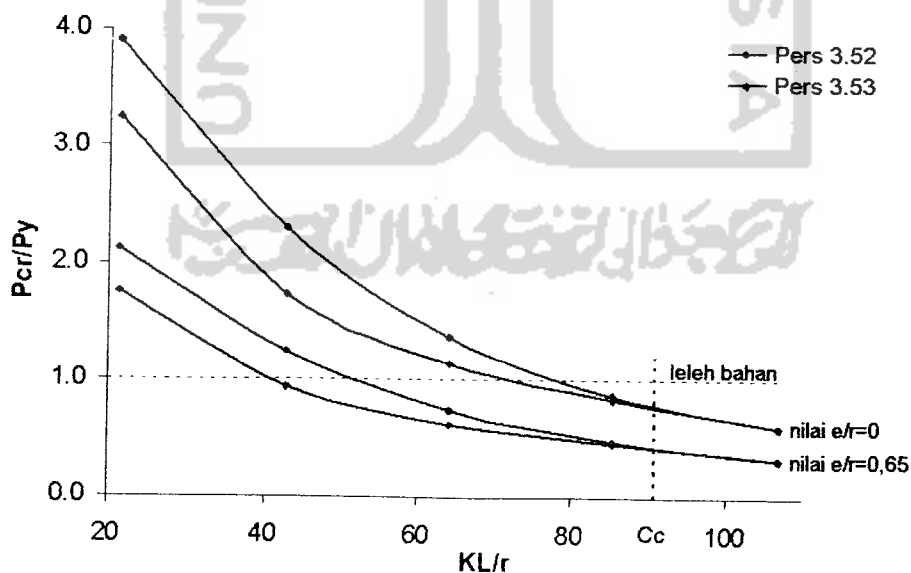
3.9.3 Tekuk Keseluruhan (Overall Buckling)

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.

3.10 Hubungan Tanpa Dimensi antara P_{cr}/P_y dengan KL/r

Hasil perhitungan beban (P_{cr}) kolom untuk variasi eksentrisitas dibandingkan dengan nilai beban pada saat leleh (P_y), maka akan didapat rasio P_{cr}/P_y dengan rasio KL/r ,

Dalam penelitian ini nilai tegangan kritis (F_{cr}) yang digunakan sebagai batasan yaitu Tegangan kritis kolom (F_{cr}) akibat leleh bahan ($F_y = 240$ Mpa). Grafik hubungan antara P_{cr}/P_y dengan KL/r dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Hubungan antara P_{cr}/P_y dengan KL/r

Dari Gambar 3.11 dapat diketahui bahwa semakin besar rasio kelangsingan (KL/r) kolom maka besarnya beban kritis (P_{cr}) yang dapat diterima kolom semakin kecil.

3.11 Hipotesis

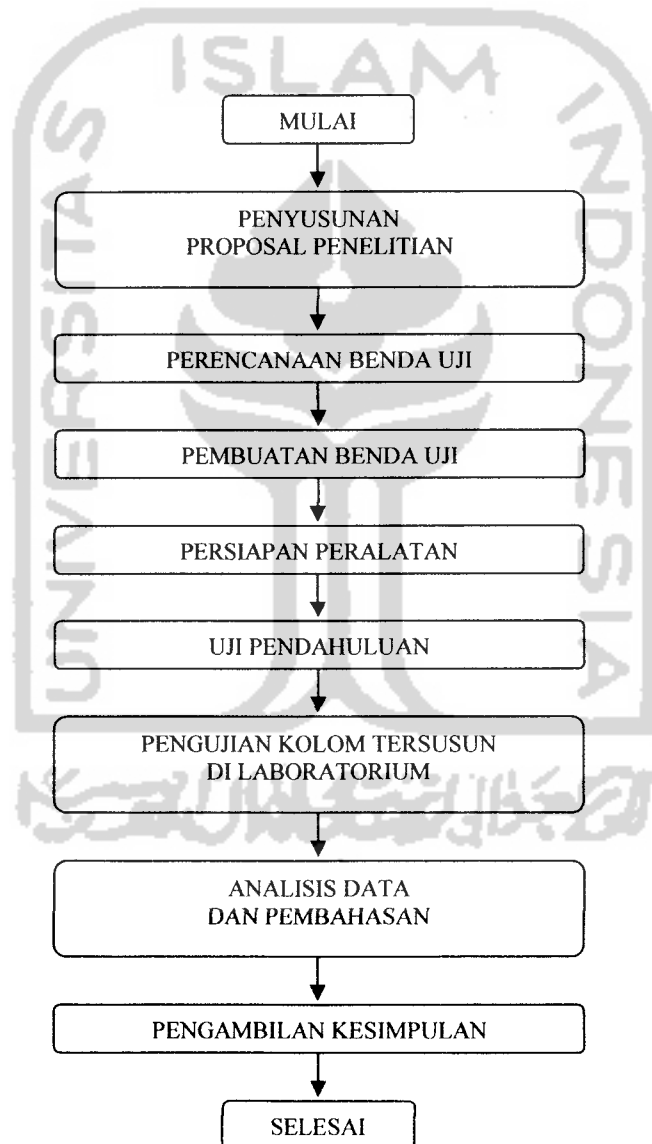
Pembebanan kolom secara eksentris (e) dapat mempengaruhi kapasitas kolom, semakin besar nilai eksentrisitas maka besarnya beban kritis (P_{cr}) yang dapat diterima oleh kolom semakin kecil. Semakin besar nilai rasio kelangsingan (KL/r) suatu kolom maka besarnya beban kritis (P_{cr}) yang dapat diterima oleh kolom juga akan semakin kecil.



BAB IV METODELOGI PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah urutan pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir.



Gambar 4.1 Flowchart pelaksanaan penelitian

4.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

Sebelum melaksanakan penelitian perlu diadakan persiapan bahan dan alat yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian.

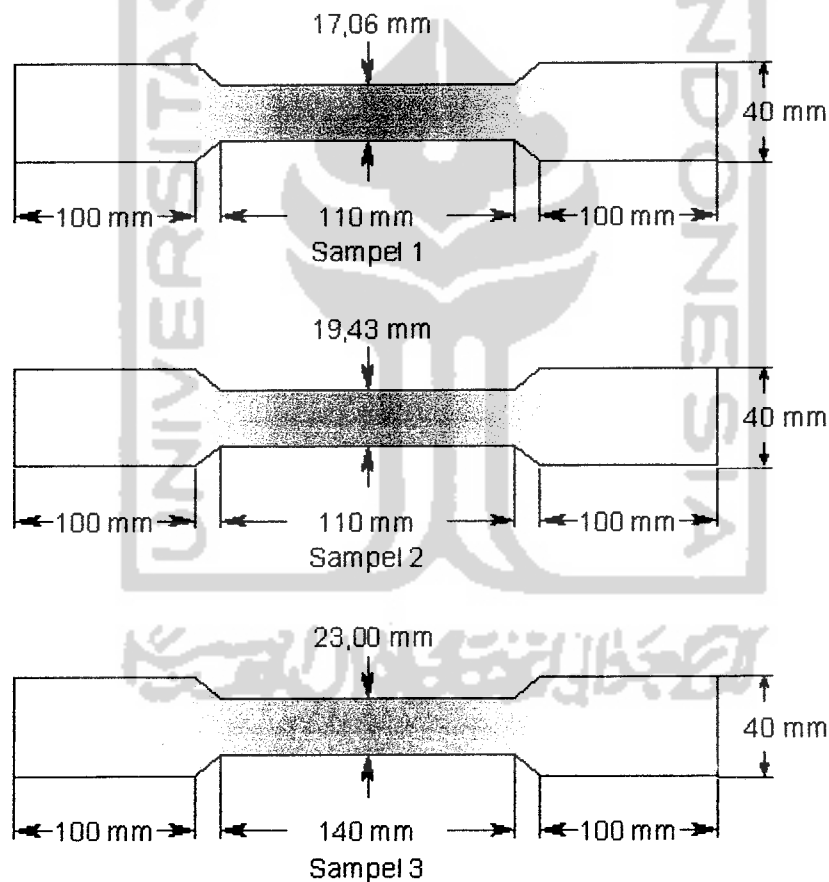
4.2.1 Bahan Penelitian

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 tiga buah. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh baja (F_y) serta tegangan ultimit baja (F_u).



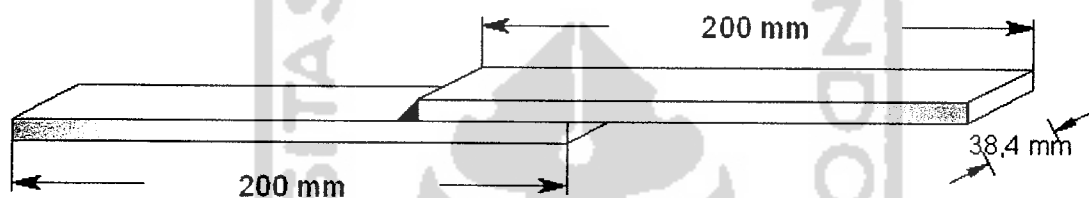
Gambar 4.2 Benda uji tarik baja

Berdasarkan besar tegangan leleh, *ASTM* (*American Society for Testing and Materials*) membagi baja dalam empat kelompok (*Padosbajayo, 1994*) yaitu:

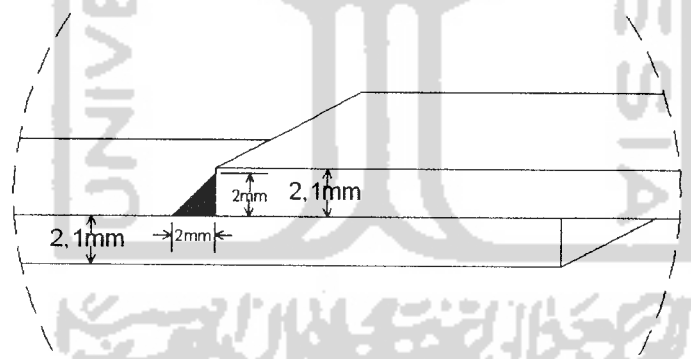
- a. *Carbon steels*, tegangan leleh 210 – 260 Mpa
- b. *High-strength low-alloy steels*, tegangan leleh 280-490 Mpa
- c. *Heat treated carbon and high-strength low alloy steels*, tegangan leleh 322-700 Mpa
- d. *Heat-treated constructional alloy steels*, tegangan leleh 630-700 Mpa

b. Benda Uji Sambungan Las

Benda uji yang digunakan sebanyak satu buah. Pengujian ini untuk mengetahui kekuatan batas (F_u) sambungan las dan juga untuk mengetahui jenis elektroda yang dipakai. Adapun bentuk benda uji seperti pada Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Benda uji sambungan las

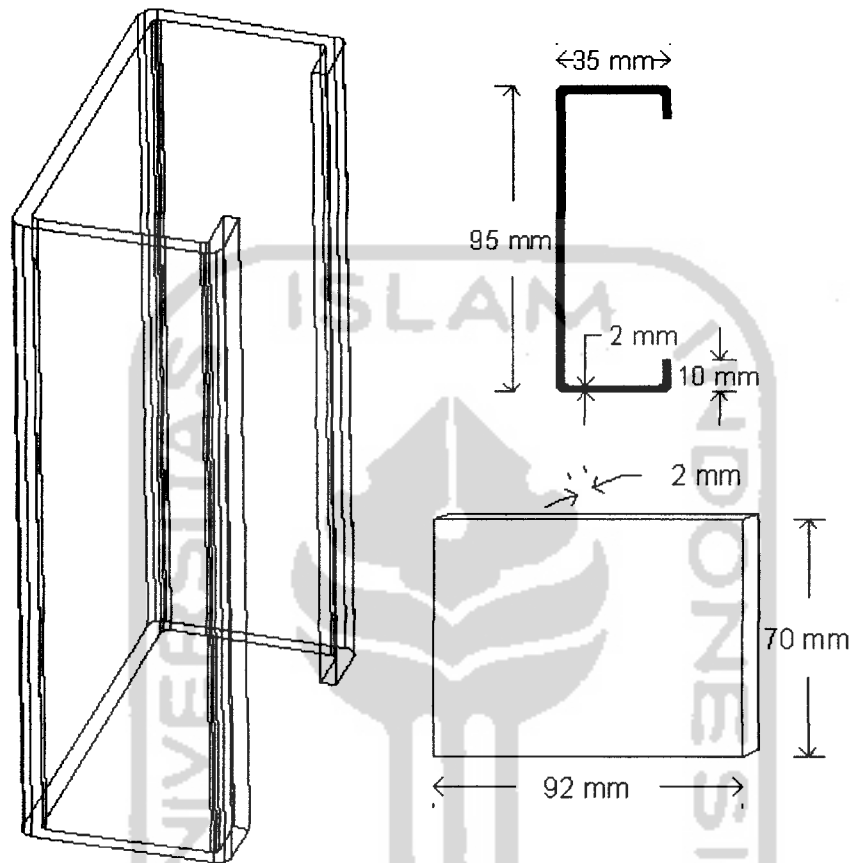


Gambar 4.4 Detail sambungan las

4.2.1.2 Benda Uji Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kolom yang menggunakan dua baja profil C (95x35x10x2) mm dengan batang perangkat melintang berupa plat baja dengan tebal (T) 2 mm, tinggi (H) 70 mm, dan lebar (B) 90 mm. Sambungan

yang digunakan berupa alat sambung las. Sampel pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini:

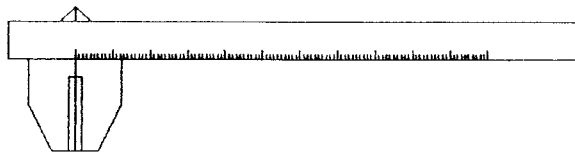


Gambar 4.5 Bahan penelitian kolom tersusun

4.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

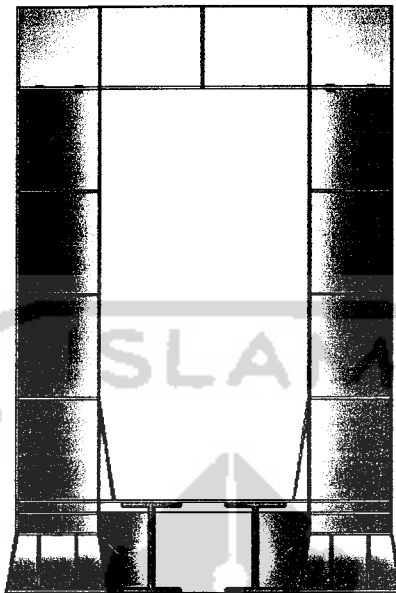
- a. Jangka Sorong



Gambar 4.6 Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur ketebalan profil dan plat (benda uji).

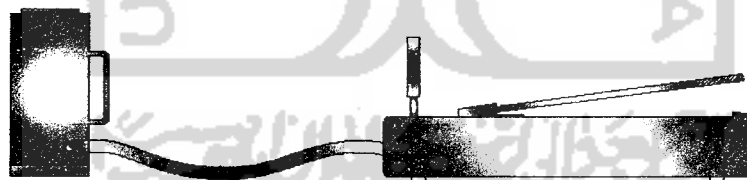
b. Loading Frame



Gambar 4.7 Loading frame

Alat ini digunakan untuk menempatkan benda uji, pada penelitian ini digunakan *Loading Frame* dari bahan baja profil *WF 450x200x9x14*.

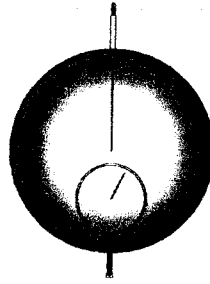
c. Hidroulic Jack



Gambar 4.8 Hidroulic jack

Hidroulic Jack digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian kuat tekan kolom dengan beban sentris P yang mempunyai kapasitas maksimum 38 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,25 ton.

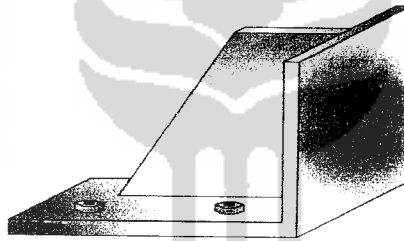
d. Dial Gauge



Gambar 4.9 Dial gauge

Dial gauge digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dengan ketelitian pembacaan dial 0,01 mm.

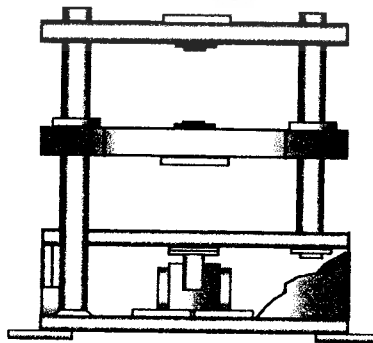
e. Dukungan sendi



Gambar 4.10 Dukungan sendi

Dukungan sendi dipasang pada ujung kolom.

f. Mesin Uji Kuat Tarik



Gambar 4.11 Universal Testing Material Shimizu UMH30

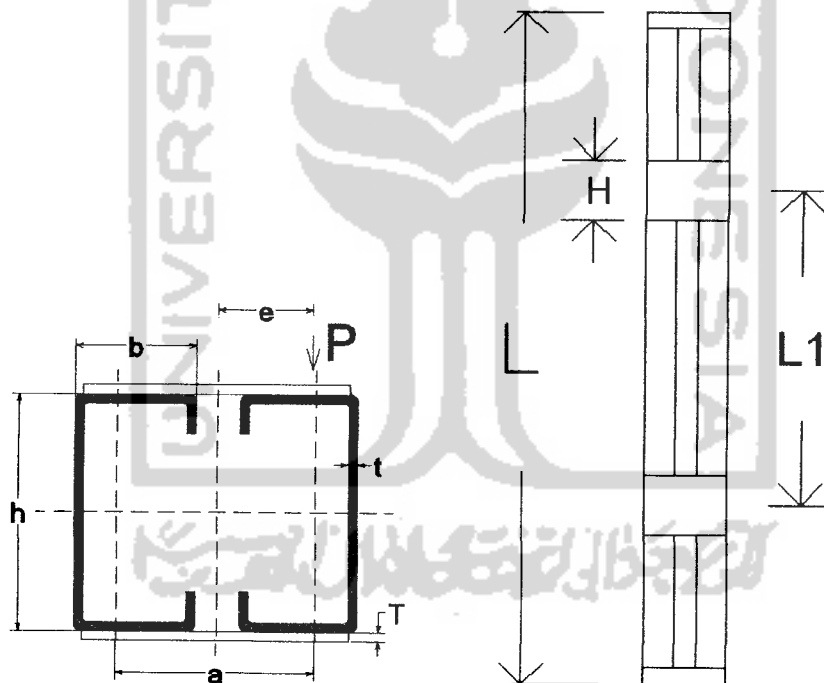
Mesin uji kuat tarik digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan adalah *Universal Testing Material (UTM)* merk *Shimitzu* tipe *UMH-30* dengan kapasitas 30 ton.

4.3 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut:

4.3.1 Pembuatan Benda Uji

Benda uji berupa kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin dengan variasi panjang kolom (L) sebanyak lima buah. Eksentrisitas, penampang kolom, dan jarak antara pusat berat profil adalah sama.



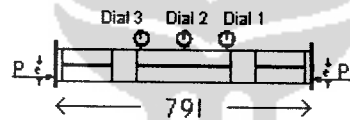
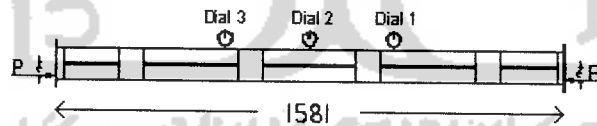
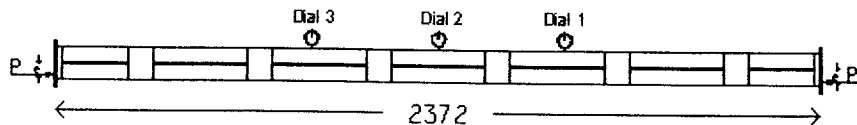
Gambar 4.12 Benda uji dengan nilai $KL/r = 21$

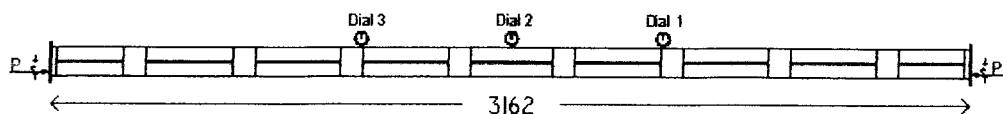
Ukuran kelima benda uji kolom tersusun dapat di lihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Ukuran benda uji kolom tersusun

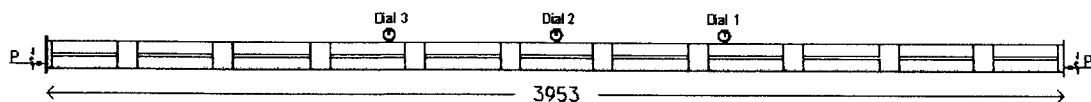
Benda Uji	Profil Canai Bentukan Dingin				Pelat Kopel		L_i (mm)	a (mm)	e (mm)
	L (mm)	b (mm)	h (mm)	t (mm)	H (mm)	T (mm)			
$KL/r=21$	791	35	95	2	70	2	370	75	24
$KL/r=43$	1581	35	95	2	70	2	370	75	24
$KL/r=64$	2372	35	95	2	70	2	370	75	24
$KL/r=86$	3162	35	95	2	70	2	370	75	24
$KL/r=107$	3953	35	95	2	70	2	370	75	24

Kolom tersusun dari dua batang profil C bentukan dingin yang dirangkai dengan plat-plat yang berfungsi sebagai plat kopel. Model benda uji dapat dilihat pada gambar berikut:

**Gambar 4.13** Model benda uji dengan nilai $KL/r = 21$ **Gambar 4.14** Model benda uji dengan nilai $KL/r = 43$ **Gambar 4.15** Model benda uji dengan nilai $KL/r = 64$



Gambar 4.16 Model benda uji dengan nilai $KL/r = 86$



Gambar 4.17 Model benda uji dengan nilai $KL/r = 107$

Foto kelima benda uji dapat dilihat pada lampiran empat Gambar L4.1.

4.3.2 Uji Pendahuluan

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

4.3.2.1 Uji Kuat Tarik Profil

Pengujian kuat tarik profil bertujuan untuk mengetahui tegangan leleh dan tegangan ultimate profil, sehingga dapat diketahui jenis baja yang digunakan dalam penelitian. Benda uji yang digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian diuji di laboratorium. Ukuran benda uji tarik baja ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Benda uji tarik baja

Benda Uji	Tebal Profil	Lebar Bidang Tarik
Benda Uji 1	2 mm	17,06 mm
Benda Uji 2	2 mm	19,43 mm
Benda Uji 3	2 mm	23 mm

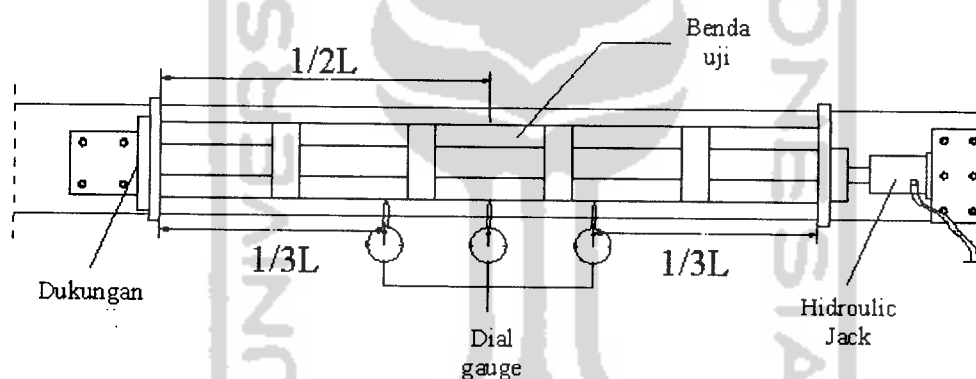
4.3.2.2 Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

Pengujian kuat geser sambungan las bertujuan untuk mengetahui tegangan ultimate dari elektroda sehingga dapat diketahui elektroda sambungan las yang digunakan dalam penelitian ini. Benda uji kuat geser las ini menggunakan pelat

dengan tebal 2,1 mm, sedangkan ukuran las 2 mm dan lebar las sama dengan lebar pelat yaitu 38,4 mm.

4.3.3 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 *Hidrolik Jack*. *Dial Gauge* diletakkan pada dua sisi yaitu bagian badan dan sayap 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 .

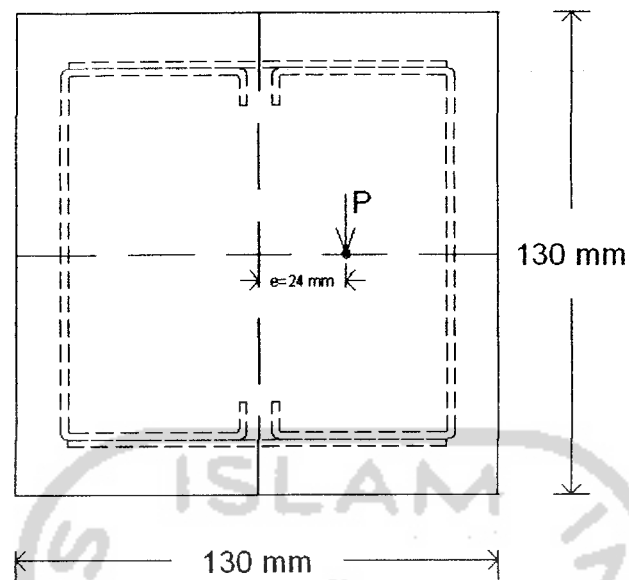


Gambar 4.18 Seting benda uji

Foto seting benda uji dapat dilihat pada Lampiran 4 Gambar L4.2.

4.3.4 Proses Pengujian Kapasitas Kolom Tersusun Akibat Pembebanan Eksentris

Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan eksentris tetap yaitu 24 mm dengan variasi panjang kolom (L) secara bertahap. Sample pertama yang diuji adalah kolom dengan kelangsingan 21. 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 4.19 Potongan melintang ujung kolom tersusun

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 4.18.

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 21.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Uji Pendahuluan

Pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tarik baja dan uji sambungan las. Pengujian ini berguna untuk mengetahui kekuatan bahan yang dipakai dan akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom akibat menerima beban tekan aksial secara eksentris.

5.1.1. Uji Tarik Baja Profil C

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

Pelaksanaan pengujian kuat tarik profil C dan pelat dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Foto pengujian kuat tarik baja profil dapat dilihat pada lampiran empat Gambar L4.9. Dari hasil pengujian kuat tarik didapat hasil pada tabel 5.1 sebagai berikut:

Tabel 5.1 Hasil pengujian kuat tarik bahan

Benda Uji	Luas Penampang (A_0) (mm ²)	Beban Leleh (P_y) (KN)	Beban Ultimate (P_u) (KN)	Tegangan Leleh (F_y) (MPa)	Tegangan Ultimate (F_u) (MPa)
Benda Uji 1	34,12	6,43	9,17	188,32	268,83
Benda Uji 2	38,86	8,73	12,46	224,68	320,60
Benda Uji 3	46	16,68	17,46	362,54	379,60
Rata-rata	-	-	-	258,51	323,01

Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tekan kolom tersusun

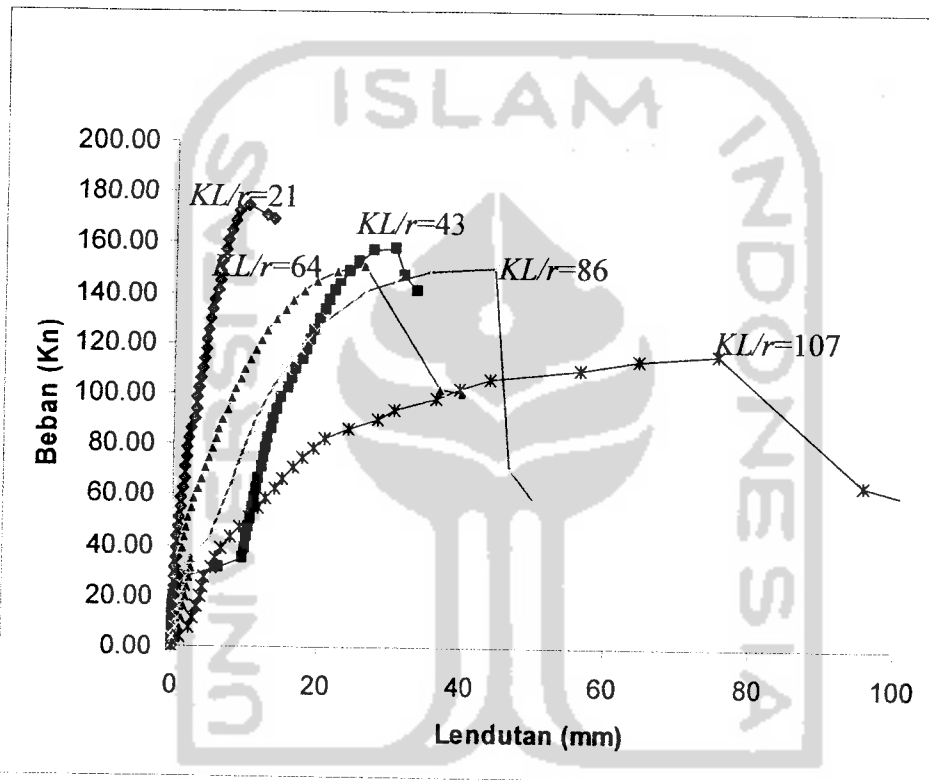
KL/r=20				KL/r=40				KL/r=60				KL/r=80				KL/r=100			
P (kN)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	P (kN)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	P (kN)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	P (kN)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	P (kN)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.924	0.000	0.010	0.000	3.924	0.000	0.000	0.000	3.924	0.490	0.280	0.300	3.924	0.000	0.040	0.040	3.924	1.050	0.950	0.530
7.848	0.240	0.300	0.150	7.848	0.000	0.000	0.000	7.848	0.900	0.710	0.680	7.848	0.350	0.460	0.330	7.848	2.460	2.200	1.510
11.772	0.245	0.325	0.195	11.772	0.000	0.000	0.000	11.772	1.200	1.020	0.950	11.772	0.610	0.740	0.570	11.772	3.050	2.800	1.900
15.696	0.245	0.345	0.220	15.696	0.060	0.000	0.000	15.696	1.540	1.390	1.270	15.696	0.880	0.980	0.780	15.696	3.450	3.270	2.380
19.620	0.245	0.365	0.270	19.620	0.320	0.100	0.000	19.620	1.780	1.680	1.510	19.620	1.030	1.160	0.930	19.620	3.840	3.680	2.740
23.544	0.275	0.410	0.320	23.544	0.750	0.410	0.160	23.544	2.100	2.020	1.810	23.544	1.260	1.410	1.120	23.544	4.250	4.110	3.120
27.468	0.315	0.460	0.370	27.468	1.550	1.050	0.590	27.468	2.340	2.320	2.080	27.468	1.550	1.660	1.345	27.468	4.810	4.300	3.580
31.392	0.355	0.520	0.420	31.392	6.400	4.760	3.190	31.392	2.530	2.580	2.320	31.392	1.900	2.000	1.570	31.392	5.320	5.220	4.000
35.316	0.420	0.590	0.470	35.316	9.650	7.420	5.152	35.316	2.650	2.780	2.550	35.316	2.480	2.490	1.930	35.316	6.000	5.890	4.520
39.240	0.510	0.675	0.555	39.240	9.890	7.620	5.300	39.240	1.200	2.850	2.120	39.240	4.070	3.780	2.820	39.240	6.710	6.600	5.130
43.164	0.630	0.760	0.620	43.164	10.150	7.850	5.460	43.164	1.400	2.050	2.300	43.164	5.470	4.950	3.660	43.164	7.950	7.730	5.950
47.088	0.745	0.850	0.710	47.088	10.410	8.100	5.660	47.088	1.700	2.300	2.550	47.088	6.150	5.600	4.170	47.088	9.330	8.990	6.890
51.012	0.860	0.942	0.790	51.012	10.690	8.360	5.850	51.012	2.100	2.750	2.840	51.012	6.730	6.160	4.620	51.012	10.810	10.310	7.890
54.936	0.990	1.060	0.870	54.936	10.900	8.540	5.980	54.936	2.480	3.150	3.180	54.936	7.150	6.590	4.960	54.936	12.170	11.580	8.850
58.860	1.130	1.190	0.950	58.860	11.160	8.770	6.170	58.860	2.890	3.500	3.450	58.860	7.600	7.040	5.310	58.860	13.250	12.580	9.590
62.784	1.275	1.300	1.030	62.784	11.420	9.050	6.380	62.784	3.350	3.940	3.810	62.784	8.080	7.520	5.700	62.784	14.650	13.940	10.660
66.708	1.410	1.390	1.100	66.708	11.750	9.290	6.560	66.708	3.780	4.380	4.150	66.708	8.590	8.030	6.100	66.708	15.770	15.050	11.540
70.632	1.520	1.485	1.180	70.632	12.050	9.580	6.760	70.632	4.270	4.860	4.520	70.632	9.060	8.490	6.450	70.632	17.050	16.340	12.560
74.556	1.720	1.620	1.300	74.556	12.400	9.860	7.020	74.556	4.720	5.300	4.870	74.556	9.640	9.040	6.870	74.556	18.330	17.640	13.600
78.480	1.860	1.745	1.380	78.480	12.680	10.110	7.200	78.480	5.220	5.770	4.230	78.480	10.150	9.570	7.260	78.480	19.810	19.180	14.830
82.404	2.090	1.910	1.490	82.404	12.980	10.400	7.400	82.404	5.710	6.250	5.600	82.404	10.730	10.140	7.700	82.404	21.370	20.750	16.160
86.328	2.350	2.100	1.610	86.328	13.350	10.710	7.630	86.328	6.200	6.730	6.000	86.328	11.230	10.620	8.090	86.328	24.350	24.150	19.260
90.252	2.740	2.395	1.780	90.252	13.700	11.000	7.830	90.252	6.700	7.230	6.370	90.252	11.870	11.250	8.560	90.252	28.010	28.220	22.900
94.176	2.920	2.520	1.850	94.176	14.080	11.350	8.130	94.176	7.250	7.780	6.790	94.176	12.940	11.980	9.160	94.176	30.460	30.470	24.850
98.100	3.110	2.650	1.950	98.100	14.560	11.780	8.510	98.100	7.750	8.260	7.180	98.100	13.310	12.660	9.660	98.100	35.510	36.120	29.770
102.024	3.370	2.840	2.100	102.024	15.590	12.905	9.640	102.024	8.370	8.880	7.640	102.024	14.070	13.390	10.250	102.024	38.710	39.370	32.280
105.948	3.620	3.050	2.220	105.948	16.100	13.380	10.100	105.948	9.000	9.470	8.120	105.948	14.810	14.150	10.830	105.948	43.810	43.720	35.920
109.872	3.810	3.190	2.330	109.872	16.700	13.910	10.430	109.872	9.680	10.110	8.580	109.872	15.770	15.120	11.550	109.872	54.510	56.370	46.250
113.796	4.040	3.350	2.440	113.796	17.600	14.740	11.130	113.796	10.400	10.790	9.120	113.796	16.770	16.110	12.320	113.796	62.810	64.670	51.400
117.720	4.220	3.495	2.560	117.720	18.180	15.220	11.460	117.720	11.170	11.500	9.610	117.720	17.790	17.160	13.130	117.720	73.510	75.370	62.250
121.644	4.400	3.635	2.660	121.644	18.750	15.650	11.740	121.644	11.900	12.180	10.180	121.644	18.950	18.330	14.000	121.644	83.640	85.640	68.590
125.568	4.640	3.805	2.780	125.568	19.350	16.120	12.090	125.568	12.770	13.020	10.800	125.568	20.200	19.580	14.970	125.568	97.840	100.820	72.210
129.492	4.810	3.950	2.900	129.492	19.920	16.595	12.360	129.492	13.800	13.990	11.500	129.492	21.620	21.040	16.090				
133.416	5.080	4.160	3.100	133.416	20.780	17.260	12.800	133.416	15.250	15.400	12.530	133.416	23.300	22.840	17.380				
137.340	5.360	4.390	3.230	137.340	21.350	17.720	13.120	137.340	16.220	16.330	13.230	137.340	25.050	24.600	18.660				
141.264	5.700	4.640	3.450	141.264	22.020	18.260	13.460	141.264	17.730	17.720	14.230	141.264	27.900	26.440	20.800				
145.188	5.950	4.830	3.600	145.188	22.810	18.870	13.860	145.188	19.440	19.260	15.330	145.188	30.950	30.500	23.180				
149.112	6.150	4.995	3.710	149.112	23.950	19.760	14.420	149.112	22.300	21.850	17.150	149.112	35.450	35.200	26.440				
153.036	6.450	5.520	3.900	153.036	25.250	20.730	15.050	151.074	26.000	27.600	19.900	150.093	43.450	44.200	30.440				
156.960	6.750	5.550	4.070	156.960	27.280	22.230	15.970	102.024	36.800	29.980	20.680	70.632	46.350	46.640	32.340				
160.884	7.090	5.690	4.230	157.941	30.300	24.550	17.345	101.043	39.650	31.750	21.680	56.898	50.150	50.500	34.800				
164.808	7.480	5.970	4.430	147.150	31.700	25.170	17.700												
168.732	8.020	6.390	4.680	141.264	33.300	26.150	18.230												
172.656	8.600	6.830	4.950																
174.618	9.760	7.650	5.480																
170.694	12.480	9.600	6.650																
169.713	13.400	10.330	6.130																

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

Pengujian kuat tekan kolom tersusun diberikan beban aksial eksentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 400 Kg (3,92 KN), kemudian pada setiap tahap

pembebanan besarnya pembebanan dan lendutan dicatat. Pencatatan besarnya lendutan yang terjadi dilakukan pada pembacaan masing-masing *dial gauge* yang dipasang dengan jarak $1/3 L$, $1/2 L$, dan $2/3 L$ pada masing-masing benda uji. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 2.

Data hasil penelitian kelima benda uji dapat dibuat grafik hubungan beban dengan lendutan seperti pada Gambar 5.1 berikut:



Gambar 5.1 Grafik hubungan beban dengan lendutan kelima benda uji

Hasil pengujian terhadap lima benda uji yang berupa kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin dengan perangkat pelat kopel terlihat bahwa semakin besar faktor kelangsingan KL/r batang, maka kapasitas dukung kolom semakin menurun. Hal tersebut dipengaruhi oleh panjang kolom yang dapat mempengaruhi kapasitas kolom. Selain itu terlihat bahwa semakin besar faktor kelangsingan batang maka lendutan yang terjadi juga semakin besar.

Lendutan maksimum pada benda uji 1, 2, dan 3 berada pada dial 1 ($1/3 L$ dari Hidrolic Jack), sedangkan lendutan maksimum pada benda uji 4 dan 5 berada pada dial 2 ($1/2 L$ dari Hidrolic Jack).

5.3. Pembahasan

5.3.1. Uji Pendahuluan

Data yang diperoleh dari uji tarik digunakan untuk mendapatkan beban leleh (P_y) dan beban ultimate (P_u). Tegangan leleh (F_y) didapatkan dengan membagi beban leleh (P_y) dengan luas penampang (A). Tegangan ultimate (F_u) didapatkan dengan membagi beban maksimum (P_u) dengan luas penampang (A). Kekuatan las diperoleh dengan membagi beban maksimum las dengan panjang las, sehingga kekuatan las per satuan panjang (per mm) dapat diketahui.

5.3.1.1 Uji Tarik Baja

Uji kuat tarik baja bertujuan untuk mengetahui tegangan leleh (F_y) bahan serta mengetahui jenis bahan yang digunakan. Hasil uji tarik baja ditunjukkan melalui Tabel 5.8 berikut:

Tabel 5.4 Tegangan leleh bahan hasil pengujian

Benda Uji	Luas Penampang (A_0) (mm ²)	Beban Leleh (P_y) (KN)	Beban Ultimate (P_u) (KN)	Tegangan Leleh (F_y) (MPa)	Tegangan Ultimate (F_u) (MPa)
Benda Uji 1	34,12	6,43	9,17	188,32	268,83
Benda Uji 2	38,86	8,73	12,46	224,68	320,60
Benda Uji 3	46	16,68	17,46	362,54	379,60
Rata-rata	-	-	-	258,51	323,01

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

Berdasarkan besar tegangan leleh, *ASTM (American Society for Testing and Materials)* membagi baja dalam empat kelompok (*Padosbajayo, 1994*), antara lain:

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

Berdasarkan uraian di atas, baja yang digunakan di dalam penelitian termasuk ke dalam golongan *Carbon steels*.

5.3.1.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las

Uji las geser dilakukuan guna mengetahui kuat geser las yang digunakan pada sambungan benda uji. Hasil uji geser las ditunjukkan dalam Tabel 5.9.

Tabel 5.5 Hasil tegangan leleh las hasil pengujian

Benda Uji	Luas Bidang Geser (A_0) (mm ²)	Beban Ultimate (P_u) (N)	Tegangan Ultimate (F_u) (MPa)
Benda Uji 1	54,30	25113,60	462,52

Dari tabel diatas diperoleh bahwa tegangan leleh pada sambungan las lebih besar jika dibandingkan dengan tegangan leleh profil baja. Hal ini menunjukkan bahwa sambungan las yang digunakan lebih kuat dibandingkan profil baja.

AWS (American Welding Society) mengelompokkan elektroda yang dipakai untuk pengelasan menjadi beberapa kelompok seperti pada Tabel 5.10 berikut (*Salmon and Johnson, 1990*):

Tabel 5.6 Elektroda yang digunakan untuk pengelasan

Proses				Tegangan Leleh Minimum (MPa)	Kekuatan Tarik Minimum (MPa)
Pengelasan Busur Nyala Terlindung (SMAW) AWS A5.1 & A5.5	Pengelasan Busur Nyala Tenggelam (SAW) AWS A5.17 & A5.23	Pengelasan Busur Nyala Logam Gas (GMAW) AWS A5.18	Pengelasan Busur Nyala Berinti Fluks (FCAW) AWS A5.20		
E60XX				345	460
	F6X-EXXX			345	425-550
			E60T-X	345	425
E70XX				395	485
	F7X-EXXX			415	485-655
		E70S-X	E70-X	415	495
E80XX				460	495
	F8X-EXXX			470	550-690
		Mutu E80S		450	550
			Mutu E80T	470	550-655
E100XX				600	690
	F10X-EXXX			605	690-895
		Mutu E110S		620	690
			Mutu E100T	605	690-790
E110XX				670	790
	F11X-EXXX			675	760-895
		Mutu E100S		675	760
			Mutu E110T	675	760-860

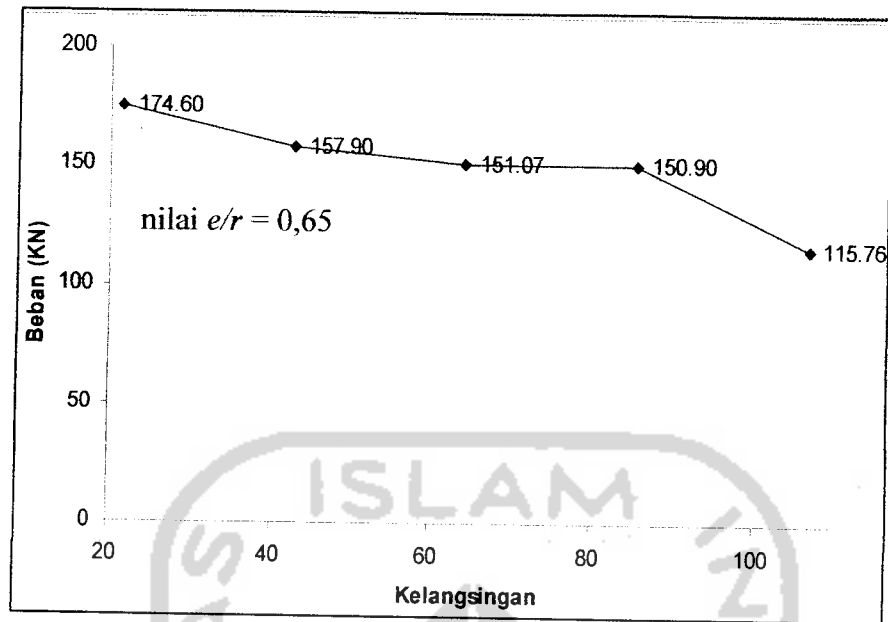
Berdasarkan Tabel 5.6 di atas, elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda E60XX.

5.3.2. Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun

Pengujian kuat tekan kolom tersusun dilakukan dengan menggunakan alat dukungan *Loading Frame* dan alat pembebanan *Hidraulic Jack* di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Kolom tersusun diberikan beban aksial eksentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 400 Kg (3,92 KN), kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya pembebanan dan lendutan dicatat. Pencatatan besarnya lendutan yang terjadi dilakukan pada pembacaan masing-masing *dial gauge* yang dipasang dengan jarak $1/3 L$, $1/2 L$, dan $2/3 L$ pada masing-masing benda uji. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian keempat sampel, diperoleh bahwa semua benda uji mengalami tekuk lokal, dan besarnya beban maksimum yang dapat ditahan pada masing-masing benda uji 1, 2, 3, 4, dan 5 berturut-turut adalah: 174,618 KN; 157,941 KN; 151,074 KN; 150,093 KN; 115,758 KN.

5.3.3. Hubungan Beban (P) dengan Faktor Kelangsingan (KL/r)

Berdasarkan grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian kuat tekan kolom tersusun dengan variasi kelangsingan pada kelima benda uji terlihat bahwa semakin besar nilai faktor kelangsingan maka semakin kecil kemampuan kolom menahan beban. Hal ini ditunjukkan dengan turunnya beban maksimum dari benda uji pertama sampai dengan benda uji kelima. Untuk benda uji pertama dengan $KL/r = 21$ mampu menahan beban 174,618 KN, benda uji kedua dengan $KL/r = 43$ mampu menahan beban 157,941 KN, benda uji ketiga dengan $KL/r = 64$ mampu menahan beban 151,074 KN, benda uji keempat dengan $KL/r = 86$ mampu menahan beban 150,093 KN, dan untuk benda uji kelima dengan $KL/r = 107$ mampu menahan beban 115,758 KN. Hubungan nilai beban dengan faktor kelangsingan dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut:



Gambar 5.2 Grafik hubungan beban maksimum dengan faktor kelangsingan dengan nilai $e/r = 0,65$

Berdasar Gambar 5.2 terlihat bahwa besarnya beban kritis (P_{cr}) dipengaruhi oleh kelangsingan batang (KL/r), semakin besar kelangsingan batang maka beban yang dapat ditahan oleh kolom semakin kecil.

5.3.4. Perbandingan Antara Perhitungan Teoritis dengan Hasil Pengujian.

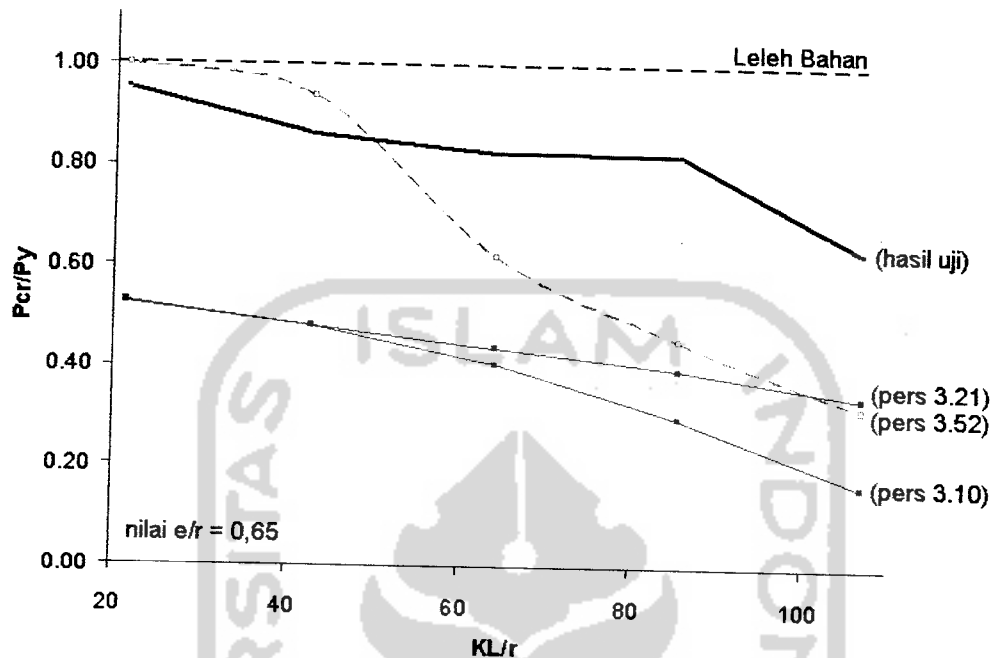
Perbandingan antara beban kritis teoritis dengan hasil pengujian dapat ditunjukkan dalam bentuk Tabel 5.11 berikut:

Tabel 5.7 Perbandingan P_{cr}/P_y pengujian dengan teoritis

KL/r	Penelitian			Pers 3.10		Pers 3.21		Pers 3.52	
	P_{cr} (KN)	P_y (KN)	P_{cr}/P_y	P_{cr} (KN)	P_{cr}/P_y	P_{cr} (KN)	P_{cr}/P_y	P_{cr} (KN)	P_{cr}/P_y
21	174,60	183,03	0,954	96,47	0,53	95,86	0,52	321,46	1,76
43	157,90	183,03	0,863	88,18	0,48	88,00	0,48	171,57	0,94
64	151,07	183,03	0,825	74,35	0,41	79,97	0,44	113,18	0,62
86	150,90	183,03	0,824	54,99	0,30	72,32	0,40	83,04	0,45
107	115,76	183,03	0,632	30,10	0,16	62,22	0,34	58,57	0,32



Dari Tabel 5.11 dapat ditampilkan grafik perbandingan P_{cr}/P_y pengujian dengan teoritis pada Gambar 5.3 berikut:



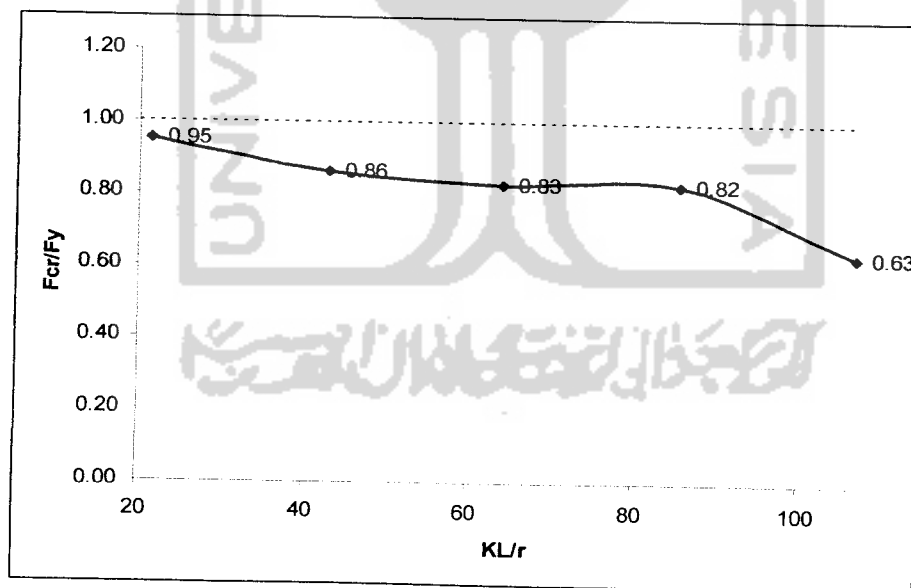
Gambar 5.3 Grafik hubungan P_{cr}/P_y dan KL/r teoritis dengan hasil pengujian

Berdasarkan Gambar 5.3 di atas terlihat bahwa pola beban kritis yang didapat dari hasil pengujian lebih besar dibandingkan dengan beban kritis teoritis (Persamaan 3.52) kondisi sendi-sendi pada rasio kelangsingan (KL/r) diatas 60, sedangkan pada $KL/r = 20$ dan $KL/r = 40$ beban kritis hasil pengujian lebih kecil dibanding beban kritis teoritis. Pada $KL/r = 20$ dan $KL/r = 40$ kemungkinan pada batang yang mengalami tekuk lokal memiliki tegangan leleh bahan (F_y) yang lebih kecil dibandingkan tegangan leleh bahan (F_y) rata-rata hasil uji tarik bahan. Kemungkinan yang lain adanya tegangan residu yang cukup besar. Sedangkan pada KL/r diatas 60 kemungkinan yang terjadi adalah kondisi ujung saat pengujian bukan berupa sendi-sendi. Kemungkinan yang lain adalah Persamaan 3.52 memiliki unsur faktor keamanan yang besar, sehingga ada kemungkinan persamaan tersebut aman digunakan dalam perencanaan struktur kolom.

Hal lain dari Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa teori Persamaan 3.21 (rumus *secan*) dan Persamaan 3.10 (modifikasi *AISC*) memiliki perhitungan teoritis yang hampir sama, namun beban kritis hasil pengujian lebih tinggi dibandingkan dengan teori Persamaan (3.21) dan (3.10). Kemungkinan yang terjadi adalah Persamaan (3.21) dan (3.10) memiliki faktor keamanan yang cukup besar.

5.3.5. Pola Kegagalan

Pola kegagalan yang terjadi pada kolom tersusun dapat diketahui dan dilihat pada pengujian di laboratorium. Pola kegagalan pada kelima benda uji adalah mengalami tekuk lokal (*local buckling*). Terlihat dalam Gambar 5.4 bahwa hasil pengujian yang dilakukan tegangan kritis kolom berada di bawah tegangan leleh bahan. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah tegangan residu yang tidak diperhitungkan. Foto ragam kegagalan kolom dapat dilihat pada Lampiran 4 Gambar (L4.4) sampai (L4.8). Hal ini sesuai dengan syarat tekuk lokal, yaitu $F_{cr \text{ plat}} < F_{cr \text{ kolom keseluruhan}}$.



Gambar 5.4 Grafik hubungan F_{cr}/F_y dan KL/r hasil pengujian

Besar koefisien tekuk lokal pelat (k) hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut:

Tabel 5.8 Nilai koefisien tekuk pelat hasil penelitian

KL/r	E_r (MPa)	$F_{cr.Kolom}$ (MPa) $\frac{\pi^2 E_r}{(L/r)^2}$	P_{cr} (KN)	A_{gab} (mm ²)	b/t	k	$F_{cr.Pelat}$ (MPa) $\frac{k\pi^2 E_r}{12(1-\mu)^2 (b/t)^2}$	Pola kegagalan
21	106982,76	2308,05	174,60	708	47,5	5,75	246,61	Tekuk lokal
43	125566,50	677,24	157,90	708	47,5	4,43	223,02	Tekuk lokal
64	157371,23	380,09	151,07	708	47,5	3,36	213,38	Tekuk lokal
86	192030,65	258,93	150,90	708	47,5	2,77	213,14	Tekuk lokal
107	200000	172,59	115,76	708	47,5	2,04	163,50	Tekuk lokal

Berdasarkan tabel di atas semakin besar nilai rasio kelangsingan (KL/r) batang maka semakin kecil nilai koefisien tekuk pelat (k). Hal ini disebabkan karena beban yang dapat ditahan oleh benda uji berbeda.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan tentang kuat tekan kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin dengan variasi rasio kelangsingan (KL/r), eksentrisitas beban (e) dan jarak pusat berat kedua profil (a) konstan adalah sebagai berikut:

1. Semakin besar rasio kelangsingan (KL/r) maka beban kritis (P_{cr}) yang dapat ditahan oleh kolom dua profil *C* bentukan dingin semakin kecil. Benda uji pertama dengan nilai rasio kelangsingan 21 mampu menahan beban 174,618 KN, benda uji kedua dengan nilai rasio kelangsingan 43 mampu menahan beban 157,941 KN, benda uji ketiga dengan nilai rasio kelangsingan 64 mampu menahan beban 151,074 KN, benda uji keempat dengan nilai rasio kelangsingan 86 mampu menahan beban 150,093 KN, benda uji kelima dengan nilai rasio kelangsingan 107 mampu menahan beban 115,758 KN.
2. Semakin besar nilai KL/r , maka P_{cr}/P_y akan semakin kecil. Untuk benda uji dengan KL/r 21; 43; 64; 86; dan 107 maka besarnya P_{cr}/P_y untuk masing-masing adalah 0,954; 0,863; 0,825; 0,824; 0,632.
3. Kegagalan pada kelima benda uji berupa tekuk lokal.

6.2. Saran

Pada penelitian ini masih banyak kekurangan, banyak hal yang masih bisa diteliti lebih lanjut. Kekurangan yang perlu diperhatikan pada penelitian eksperimental lebih lanjut tentang kuat tekan kolom tersusun dari dua profil *C* bentukan dingin dengan nilai rasio kelangsingan adalah:

1. Perlu diadakan penelitian untuk kolom tersusun dua profil *C* bentukan dingin dengan beban kosentris dan variasi pada rasio kelangsingan kolom (KL/r).

2. Perlu diadakan penelitian untuk kolom tersusun dua profil C bentukan dingin dengan beban eksentris yang bervariasi.



DAFTAR PUSTAKA

PADOSBAJAYO, *Pengetahuan Dasar Struktur Baja*, Nafiri, Yogyakarta, 1994.

Salmon, C.G., Jnhnson, J.E., *Struktur Baja Desain dan Perilaku*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 1990.

Timoshenko, S., *Strength of Materials*, Third Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1976.

Gere dan Timoshenko, *Mekanika Bahan*, Jilid dua, Erlangga, Jakarta, 1997.

Popov, E.P., *Mekanika Teknik*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 1995.

Gaylord, E.H., Gaylord, C.N., Stallmeyer, *Design of Steel Steel Structures*, Mc Graw Hill Kogusuka, Ltd., 1992.

Vazirani, V.N., and Ratmawati, M.M., *Steel Structures and Timber Structures*, Khanna Publishers, Sarak, Delhi, 1977.

WF. Chen dan T Astuta, 1973, *Theory of Beam Column*, Vol 2, Mc Graw Hill Inc, New York.

LAMPIRAN 1

Perencanaan Kolom Tersusun

جامعة إندونيسيا الإسلامية

KAPASITAS KOLOM TERSUSUN PROFIL CANAI DINGIN DENGAN KELANGSINGAN AKIBAT BEBAN EKSENTRIS

A. Data Perencanaan Benda Uji

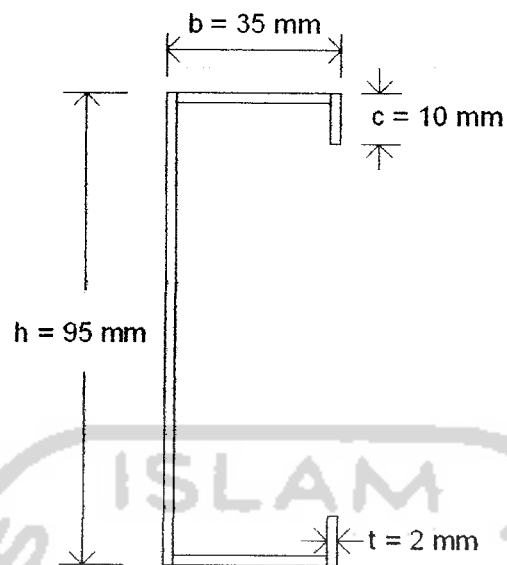
Ketentuan-ketentuan dalam perencanaan kolom tersusun pada kelima benda uji untuk penelitian pengujian kuat tekan, adalah sebagai berikut:

1. Profil baja yang digunakan untuk perencanaan kolom tersusun adalah dua profil baja C bentukan dingin 2 (95 x 35 x 10 x 2) mm dan plat baja ukuran (70 x 2) mm.
2. Variasi pada kelima benda uji terletak pada nilai faktor kelangsingan batang, dimana jarak eksentrisitas beban terhadap pusat berat profil gabungan (e) dan penampang profil gabungan adalah konstan. Variasi kelangsingan batang untuk tiap benda uji adalah:
 - a. Benda uji I dengan nilai $KL/r = 21$
 - b. Benda uji I dengan nilai $KL/r = 43$
 - c. Benda uji I dengan nilai $KL/r = 64$
 - d. Benda uji I dengan nilai $KL/r = 86$
 - e. Benda uji I dengan nilai $KL/r = 107$
3. Perletakan dukungan berupa sendi di kedua ujungnya.
4. Pengujian menggunakan pembebanan aksial desak eksentris dan bekerja secara bertahap.

B. Perhitungan Momen Inersia Batang Tunggal

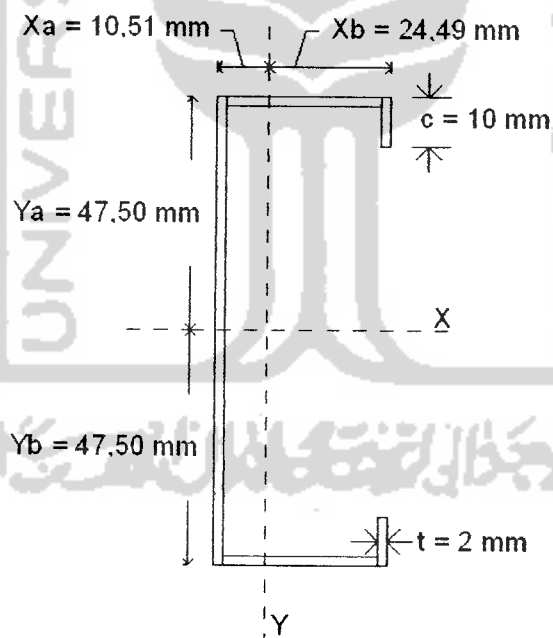
1. Spesifikasi Tampang Profil C Bentukan Dingin

Penggunaan profil C menyesuaikan ukuran yang umum tersedia di pasaran, untuk memudahkan pembuatan benda uji. Untuk memahami ukuran data dari profil C bentukan dingin yang digunakan, dapat dilihat pada gambar L1.1.



Gambar L1.1 Spesifikasi ukuran profil C bentukan dingin

2. Perhitungan Titik Berat Penampang



Gambar L1.2 Titik berat profil C bentukan dingin

$$Y_a = Y_b$$

$$Y_a = \frac{95}{2} = 47,50 \text{ mm}$$

$$X_a = \frac{Q_y}{A} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n \Delta A_i}$$

$$X_a = \frac{[(95 \times 2) \times 1] + [2(31 \times 2) \times 17,5] + [2(10 \times 2) \times 34]}{[(95 \times 2) + 2(31 \times 2) + 2(10 \times 2)]}$$

$$= \frac{3720}{354} = 10,51 \text{ mm}$$

$$X_b = 35 \text{ mm} - X_a$$

$$= 35 \text{ mm} - 10,51 \text{ mm} = 24,49 \text{ mm}$$

3. Perhitungan Momen Inersia

a. Momen Inersia terhadap sumbu x - x

$$I_x = \left(\frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h \right) + \left[A \cdot (\text{jarak titik berat ke pusat penampang})^2 \right]$$

$$I_x = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 95^3 \right) + 2 \left[\frac{1}{12} \cdot 31 \cdot 2^3 + (31 \cdot 2) \left(47,50 - \frac{2}{2} \right)^2 \right]$$

$$+ 2 \left[\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 10^3 + (2 \cdot 10) \left(47,50 - \frac{10}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_x = 483639,50 \text{ mm}^4$$

$$\text{Luas penampang } (A_1) = (2 \times 95) + 2(31 \times 2) + 2(2 \times 10)$$

$$= 354 \text{ mm}^2$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_1}} = \sqrt{\frac{483639,50}{354}} = 36,96 \text{ mm}$$

b. Momen Inersia terhadap sumbu y - y

$$I_y = \left(\frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h \right) + \left[A \cdot (\text{jarak titik berat ke pusat penampang})^2 \right]$$

$$I_x = \left[\frac{1}{12} \cdot 2^3 \cdot 95 + (2 \cdot 95) \left(10,51 - \frac{2}{2} \right)^2 \right] + 2 \left[\frac{1}{12} \cdot 31^3 \cdot 2 + (31 \cdot 2) \left(24,49 - \frac{35}{2} \right)^2 \right]$$

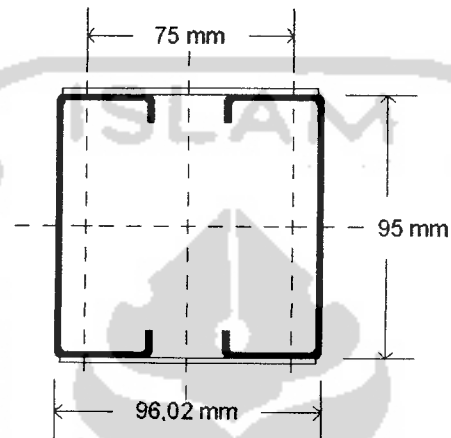
$$+ 2 \left[\frac{1}{12} \cdot 2^3 \cdot 10 + (2 \cdot 10) \left(24,49 - \frac{2}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_y = 55320,47 \text{ mm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_1}} = \sqrt{\frac{55320,47}{354}} = 12,50 \text{ mm}$$

C. Perencanaan Batang Tersusun

1. Perhitungan Inersia Batang Tersusun



Gambar L1.3 Jarak pusat berat profil gabungan

- a. Tekuk tegak lurus sumbu bahan (sumbu x - x)

$$I_{x.gab} = 2 \times I_x = 2 \times 483639,50 = 967279 \text{ mm}^4$$

$$r_{x.gab} = \sqrt{\frac{I_{x.gab}}{2A_1}} = \sqrt{\frac{967279}{2 \times 354}} = 36,96 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{L_x}{r_{x.gab}} = \frac{1581}{36,96} = 42,78$$

- b. Tekuk tegak lurus sumbu bebas bahan (sumbu y - y)

$$I_{y.gab} = 2 \left[I_y + \{ A \times y^2 \} \right]$$

$$I_{y.gab} = 2 \left[55320,47 + \{ 354 \times \left(\frac{75}{2} \right)^2 \} \right]$$

$$I_{y.gab} = 1106265,94 \text{ mm}^4$$

$$r_{y.gab} = \sqrt{\frac{I_{y.gab}}{2A_1}} = \sqrt{\frac{1106265,94}{2 \times 354}} = 39,53 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{r_{y.gab}} = \frac{1581}{39,53} = 39,99$$

direncanakan menggunakan 4 pelat kopel dan $L_1 = 370$ mm, sehingga diperoleh:

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{\min}} = \frac{370}{12,5} = 29,60$$

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \text{ dengan } m = 2, \text{ maka:}$$

$$\lambda_{iy} = \sqrt{39,99^2 + \frac{2}{2} \times 29,60^2} = 49,76$$

Karena $\lambda_{iy} > \lambda_x$, maka tekuk yang terjadi adalah tekuk lurus sumbu bebas bahan.

2. Perencanaan Plat Kopel

Dengan mengacu pada PPBBG (1991), dimana pada perencanaan plat melintang (plat kopel) harus cukup kaku, sehingga memenuhi persamaan:

$$\frac{I_p}{a} \geq 10 \frac{I_1}{L_1}$$

$$a = 75 \text{ mm}$$

$$I_1 = I_y = 55320,47 \text{ mm}^4$$

$$L_1 = 370 \text{ mm}$$

Pada penelitian ini tebal plat kopel (T) yang dipakai adalah 2 mm, sehingga tinggi plat yang dipakai adalah :

$$\frac{I_p}{a} = 10 \frac{I_1}{L_1} \rightarrow \frac{2 \cdot 1/12 \cdot T \cdot H^3}{a} \geq \frac{10 \cdot I_1}{L_1}$$

$$H^3 \geq \frac{60 \cdot a \cdot I_1}{T \cdot L_1}$$

$$H^3 \geq \frac{60 \times 75 \times 55320,47}{2 \times 370}$$

$$H = 69,55 \text{ mm}$$

jadi dipakai pelat kopel dengan $H = 70$ mm

3. Kontrol Kestabilan Dari Elemen-Elemen Batang Tersusun

Syarat: $\lambda_1 \leq 50$, $\lambda_x \geq 1,2 \cdot \lambda_1$, $\lambda_{iy} \geq 1,2 \cdot \lambda_1$

Perhitungan :

a. Syarat $\lambda_1 \leq 50$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{\min}} = \frac{370}{12,50} = 29,60 \leq 50 \text{ (OK)}$$

b. Syarat $\lambda_x \geq 1,2 \cdot \lambda_1$

$$\lambda_x = \frac{L_x}{r_x} = \frac{1581}{36,96} = 42,77$$

$$1,2 \cdot \lambda_1 = 1,2 \times 29,60 = 35,52 < \lambda_x = 42,77 \text{ (OK)}$$

c. Syarat $\lambda_{iy} \geq 1,2 \cdot \lambda_1$

Kelangsingan ideal pada arah tegak lurus sumbu bebas bahan y-y (λ_{iy})

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \geq 1,2 \cdot \lambda_1$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{r_y} = \frac{1581}{39,53} = 39,99$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{\min}} = \frac{370}{12,50} = 29,60$$

$$\lambda_{iy} = \sqrt{39,99^2 + \frac{2}{2} \times 29,60^2} = 49,76$$

$$1,2 \cdot \lambda_1 = 1,2 \times 29,60 = 35,52 < \lambda_{iy} = 49,76 \text{ (OK)}$$



LAMPIRAN 2

Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kapasitas Kolom

Tersusun dengan Berbagai Kelangsingan

**PERHITUNGAN TEORITIS KAPASITAS KOLOM TERSUSUN PROFIL C
BENTUKAN DINGIN AKIBAT PEMBEBANAN EKSENTRIS**

A. Perhitungan Rasio Kelangsingan Kritis $(KL/r)_c$

Dengan mengambil $E = 200000$ MPa dan $F_y = 240$ MPa

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

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

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

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

Tabel L2.1 Hasil Konversi Isotropis Alumunium-Baja

Alumunium			Baja		
E (Ksi)	E (MPa)	KL/r	E (Ksi)	E (MPa)	KL/r
10600	73103,45	105	29000	200000	187
10600	73103,45	72,5	29000	200000	129
10600	73103,45	59	29000	200000	105
10600	73103,45	51	29000	200000	91
3000	20689,66	26	8208	56604	46
1000	6896,55	14	2736	18868	25
500	3448,28	9,5	1368	9434	17
400	2758,62	8,1	1094	7547	14

Tabel L2.2 Nilai Modulus Tangen (E_t) pada berbagai kelangsingan

KL/r	E_t (MPa)
107	200000
86	184067,08
64	113962,26
43	51212,94
21	14150,94

C. Perhitungan Nilai Modulus Tereduksi (E_r) (Padosbajayo, 1994)

$$E_r = \frac{E_t \cdot I_x + E \cdot I_x}{I_{x,gab}}$$

$KL/r = 43$; $E_t = 51212,94$ MPa; $E = 200000$ MPa; $I_x = 483639,50$ mm⁴; $I_{x,gab} = 967279$ mm⁴.

$$E_r = \frac{51212,94 \times 483639,5 + 200000 \times 483639,5}{967279} = 125606,47 \text{ MPa}$$

Tabel L2.3 Nilai Modulus Tangen (E_t) dan Modulus Tereduksi (E_r)

KL/r	E_t (MPa)	E_r (I_x)
107	200000	200000
86	184067,08	192033,54
64	113962,26	156981,13
43	51212,94	125606,47
21	14150,94	107075,47

D. Perhitungan Teoritis Beban Kritis AISC

Tegangan kritis pada saat tekuk keseluruhan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.10:

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

Benda uji ($e/r = 0,65$) menggunakan profil 2C (95x35x10x2) mm dengan perangkat plat melintang dimana nilai $KL/r = 43$; $L = 1581$ mm; $\pi = 3,14$; $E_r = 125606,47$ MPa; $E = 200000$ MPa; $F_y = 240$ MPa; $A = 708$ mm²; $r = 36,96$ mm; $e = 24$ mm.

karena

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

$$C_c = \sqrt{\frac{3,14^2 \times 200000}{240}} = 90,64$$

maka rumus AISC menggunakan:

$$F_{cr} = 256,51 \left(1 - \frac{(43)^2}{2 \times 90,64^2} \right) \left(\frac{36,96^2}{36,96^2 + 24 \times 48,01} \right)$$

$$F_{cr} = 124,55 \text{ MPa}$$

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

$$P_{cr} = 124,55 \text{ MPa} \times 708 \text{ mm}^2$$

$$P_{cr} = 88,18 \text{ KN}$$

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

Tabel L2.4 Hasil perhitungan teoritis beban kritis menurut AISC

Benda Uji	P_{cr} (KN)
$KL/r = 21$	96,47
$KL/r = 43$	88,18
$KL/r = 64$	74,35
$KL/r = 86$	54,99
$KL/r = 107$	30,10

E. Perhitungan Teoritis Beban Kritis *Secan*

Tegangan kritis pada saat tekuk keseluruhan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.21:

$$P_{cr} = \frac{F_{cr} \cdot A}{\left(1 + \frac{e \cdot y}{r^2} \cdot \text{Sec} \frac{L}{r} \sqrt{\frac{P}{4EA}}\right)}$$

Benda uji ($e/r = 0,65$) menggunakan profil 2C (95x35x10x2) mm dengan perangkatai plat melintang dimana nilai $KL/r = 43$; $L = 1581$ mm; $\pi = 3,14$; $E_r = 125606,47$ MPa; $E = 200000$ MPa; $F_y = 258,51$ MPa; $A = 708$ mm²; $r = 36,96$ mm; $e = 24$ mm; $y = 48,01$ mm.

$$P_{cr} = \frac{258,51 \times 708}{\left(1 + \frac{24 \times 48,01}{39,96^2} \cdot \text{Sec} \frac{1581}{39,96} \sqrt{\frac{P}{4 \times 125566,5 \times 708}}\right)}$$

$$P_{cr} = 88008,20 \text{ N}$$

$$P_{cr} = 88,00 \text{ KN}$$

Tabel L2.5 Hasil perhitungan teoritis beban kritis rumus secan

Benda Uji	P_{cr} (KN)
$KL/r = 21$	95,86
$KL/r = 43$	88,00
$KL/r = 64$	79,97
$KL/r = 86$	72,32
$KL/r = 107$	62,22

F. Perhitungan Teoritis Beban Kritis *Timoshenko*

Tegangan kritis pada saat tekuk keseluruhan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.44:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_r \cdot I}{A L_k^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_r \cdot I}{L_k^2} \left[\frac{L_1 \cdot a}{12 EI_h} + \frac{L_1^2}{24 EI_c} + \frac{\beta \cdot L_1 \cdot 2(1 + \mu)}{a \cdot A_h \cdot E} \right]}$$

Benda uji menggunakan profil 2C (95x35x10x2) mm dengan perangkatai plat melintang dimana nilai $KL/r = 43$; $L_1 = 370$ mm; $\pi = 3,14$; $\beta = 2$; $\mu = 0,30$;

$E_r = 125606,47 \text{ MPa}$; $E = 200000 \text{ MPa}$; $A = 708 \text{ mm}^2$; $I_{x.gab} = 967279 \text{ mm}^4$;
 $L = 1581 \text{ mm}$, $a = 75 \text{ mm}$.

$$I_h = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} T \cdot H^3 \right) \rightarrow T = 2 \text{ mm}, H = 70 \text{ mm}$$

$$= 2 \left(\frac{1}{12} \times 2 \times 70^3 \right) = 114333,33 \text{ mm}^4$$

$$I_c = I_x = 483639,50 \text{ mm}^4$$

$$A_h = 2(2 \times 70) = 280 \text{ mm}^2$$

$$F_{cr} = 446,92 \text{ MPa}$$

Untuk menentukan beban kritis untuk masing-masing benda uji menggunakan persamaan 3.53:

$$P_{cr} = F_{cr} \cdot A \cdot \frac{r^2}{(r^2 + e \cdot y)}$$

Contoh Perhitungan untuk benda uji 2:

dengan nilai $e/r = 0,65$, sehingga nilai $e = 0,65 \times 36,96 = 24,02 \text{ mm}$.
 $y = 48,01 \text{ mm}$, $A = 708 \text{ mm}^2$, dan $I_{x.gab} = 967279 \text{ mm}^4$.

$$P_{cr} = 446,92 \times 708 \cdot \frac{36,96^2}{(36,96^2 + 24,02 \times 48,01)}$$

$$P_{cr} = 171,57 \text{ KN (dengan nilai } K = 1)$$

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

Tabel L2.6 Hasil perhitungan teoritis beban kritis pada saat tekuk keseluruhan

Benda Uji	P_{cr} (KN) ($K = 1$)	P_{cr} (KN) ($K = 0,7$)	P_{cr} (KN) ($K = 0,5$)
$KL/r = 21$	321,46	394,45	441,63
$KL/r = 43$	171,57	258,61	339,70
$KL/r = 64$	113,18	187,25	270,60
$KL/r = 86$	83,04	144,68	222,36
$KL/r = 107$	58,57	106,64	173,75

G. Hubungan P_{cr}/P_y Terhadap KL/r Hasil Pengujian dengan Teoritis

Dari data hubungan beban (P) dengan fungsi kelangsingan batang (KL/r) diatas dapat dibuat hubungan antara P_{cr}/P_y dengan KL/r . Dimana r merupakan jari-jari inersia dari penampang (36,96 mm) dan P_y merupakan beban leleh dari kolom.

Perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan beban kritis yang dikemukakan *Timoshenko* dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik berikut ini:

Tabel L2.7 Nilai P_{cr}/P_y menurut *Timoshenko* ($K=1$)

Benda Uji	P_{cr} (KN)	P_y (KN)	P_{cr}/P_y
$KL/r = 21$	321,46	183,03	1,76
$KL/r = 43$	171,57	183,03	0,94
$KL/r = 64$	113,18	183,03	0,62
$KL/r = 86$	83,04	183,03	0,45
$KL/r = 107$	58,57	183,03	0,32

Tabel L2.8 Nilai P_{cr}/P_y menurut *Timoshenko* ($K=0,7$)

Benda Uji	P_{cr} (KN)	P_y (KN)	P_{cr}/P_y
$KL/r = 21$	394,45	183,03	2,16
$KL/r = 43$	258,61	183,03	1,41
$KL/r = 64$	187,25	183,03	1,02
$KL/r = 86$	144,68	183,03	0,79
$KL/r = 107$	106,64	183,03	0,58

Tabel L2.9 Nilai P_{cr}/P_y menurut *Timoshenko* ($K=0,5$)

Benda Uji	P_{cr} (KN)	P_y (KN)	P_{cr}/P_y
$KL/r = 21$	441,63	183,03	2,41
$KL/r = 43$	339,70	183,03	1,86
$KL/r = 64$	270,60	183,03	1,46
$KL/r = 86$	222,36	183,03	1,21
$KL/r = 107$	173,75	183,03	0,95

Tabel L2.10 Nilai P_{cr}/P_y menurut *AISC*

Benda Uji	P_{cr} (KN)	P_y (KN)	P_{cr}/P_y
$KL/r = 21$	96,47	183,03	0,53
$KL/r = 43$	88,18	183,03	0,48
$KL/r = 64$	74,35	183,03	0,41
$KL/r = 86$	54,99	183,03	0,30
$KL/r = 107$	30,10	183,03	0,16

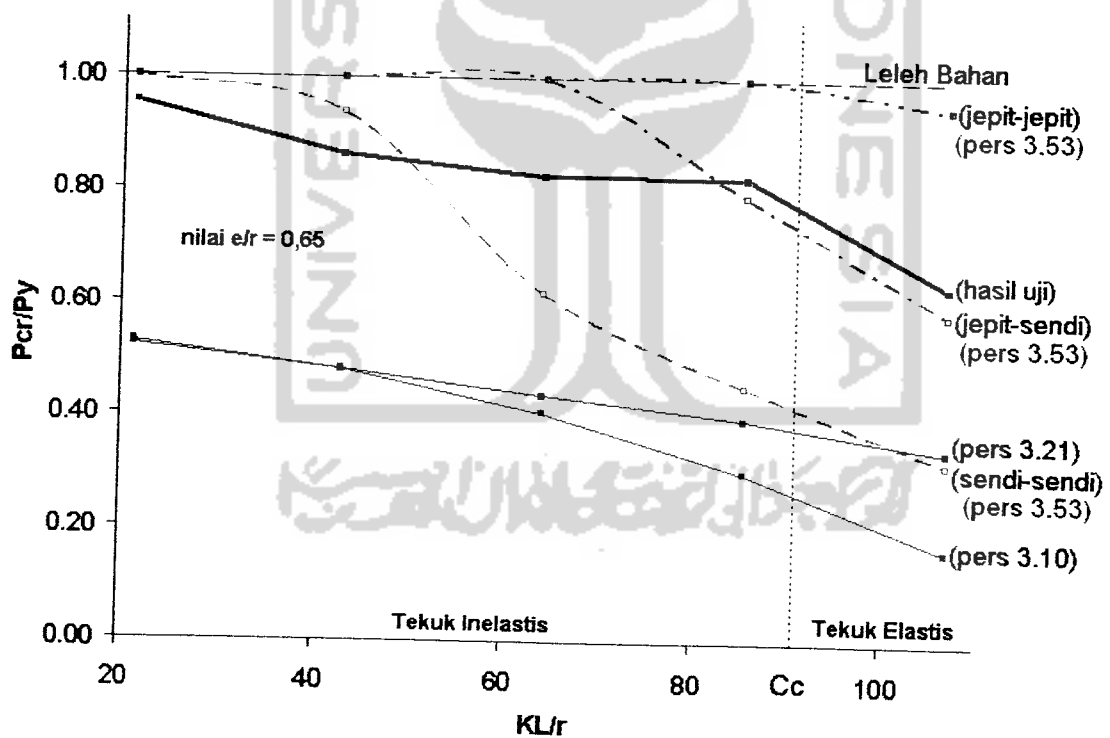
Tabel L2.11 Nilai P_{cr}/P_y menurut rumus *secan*

Benda Uji	P_{cr} (KN)	P_y (KN)	P_{cr}/P_y
$KL/r = 21$	95,86	183,03	0,52
$KL/r = 43$	88,00	183,03	0,48
$KL/r = 64$	79,97	183,03	0,44
$KL/r = 86$	72,32	183,03	0,40
$KL/r = 107$	62,22	183,03	0,34

Tabel L2.12 Nilai P_{cr}/P_y hasil penelitian

Benda Uji	P_{cr} (KN)	P_y (KN)	P_{cr}/P_y
$KL/r = 21$	174,60	183,03	0,954
$KL/r = 43$	157,90	183,03	0,863
$KL/r = 64$	151,07	183,03	0,825
$KL/r = 86$	150,90	183,03	0,824
$KL/r = 107$	115,76	183,03	0,632

Berdasarkan tabel L2.7 sampai L2.12 dapat dibuat grafik hubungan antara P_{cr}/P_y dengan KL/r sebagai berikut:



Gambar L2.1 Grafik hubungan P_{cr}/P_y dengan KL/r teoritis dengan hasil pengujian

LAMPIRAN 3

Uji Pendahuluan

وَمَا كُنَّا بِمُعْجِزِينَ لَكَ مِنْ شَيْءٍ

UJI PENDAHULUAN

1. Hasil Pengujian Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Profil C

a. Benda Uji I

$$\text{Beban Leleh} = 655 \text{ kg} = 6425,55 \text{ N}$$

$$\text{Beban maksimum} = 935 \text{ kg} = 9172,35 \text{ N}$$

Perhitungan:

$$\text{Lebar (l)} = 17,06 \text{ mm}$$

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

$$A_0 = l \times t = 34,12 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baja } (\sigma_y) &= \frac{P_y}{A_0} \\ &= \frac{6425,55}{34,12} = 188,32 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit baja } (\sigma_u) &= \frac{P_u}{A_0} \\ &= \frac{9172,35}{34,12} = 268,83 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Benda Uji II

$$\text{Beban Leleh} = 890 \text{ kg} = 8730,90 \text{ N}$$

$$\text{Beban maksimum} = 1270 \text{ kg} = 12458,70 \text{ N}$$

Perhitungan:

$$\text{Lebar (l)} = 19,43 \text{ mm}$$

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

$$A_0 = l \times t = 38,86 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baja } (\sigma_y) &= \frac{P_y}{A_0} \\ &= \frac{8730,90}{38,86} = 224,68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ultimit baja } (\sigma_u) &= \frac{P_u}{A_o} \\ &= \frac{12458,70}{38,86} = 320,60 \text{ MPa}\end{aligned}$$

c. Benda Uji III

$$\text{Beban Leleh} = 1700 \text{ kg} = 16677 \text{ N}$$

$$\text{Beban maksimum} = 1780 \text{ kg} = 17461,80 \text{ N}$$

Perhitungan:

$$\text{Lebar (l)} = 23 \text{ mm}$$

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

$$A_0 = l \times t = 46,00 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan leleh baja } (\sigma_y) &= \frac{P_y}{A_o} \\ &= \frac{16677}{46} = 362,54 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ultimit baja } (\sigma_u) &= \frac{P_u}{A_o} \\ &= \frac{17461,80}{46} = 379,60 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tabel L3.1 Hasil pengujian tegangan leleh bahan

Benda Uji	Beban Leleh (P_y) (KN)	Beban Ultimate (P_u) (KN)	Luas Penampang (A_0) (mm^2)	Tegangan Leleh (σ_y) (Mpa)
Benda Uji 1	6,43	9,17	34,12	188,32
Benda Uji 2	8,73	12,46	38,86	224,68
Benda Uji 3	16,68	17,46	46	362,54
Rata-rata	-	-	-	258,51



Tabel L3.2 Hasil pengujian tegangan ultimate bahan

Benda Uji	Beban Leleh (P_y) (KN)	Beban Ultimate (P_u) (KN)	Luas Penampang (A_0) (mm ²)	Tegangan Leleh (σ_u) (Mpa)
Benda Uji 1	6,43	9,17	34,12	268,83
Benda Uji 2	8,73	12,46	38,86	320,60
Benda Uji 3	16,68	17,46	46	379,60
Rata-rata	-	-	-	323,01

2. Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

a. Sampel I

Beban maksimum = 2560 kg = 25113,6 N

Perhitungan:

$$\text{Lebar (l)} = 38,4 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 1,414 \text{ mm}$$

$$A_0 = l \times t = 54,30 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan leleh baja } (\sigma_y) &= \frac{P_y}{A_0} \\ &= \frac{25113,6}{54,30} = 462,52 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Tabel Beban-Lendutan Benda Uji

Tabel L3.3 Hubungan beban-lendutan kolom tersusun benda uji 1 ($KL/r = 21$)

KL/r=20			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
0.000	0.000	0.000	0.000
3.924	0.000	0.010	0.000
7.848	0.240	0.300	0.150
11.772	0.245	0.325	0.185
15.696	0.245	0.345	0.220
19.620	0.245	0.365	0.270
23.544	0.275	0.410	0.320
27.468	0.315	0.460	0.370
31.392	0.355	0.520	0.420
35.316	0.420	0.590	0.470
39.240	0.510	0.675	0.555
43.164	0.630	0.760	0.620
47.088	0.745	0.850	0.710
51.012	0.860	0.942	0.790
54.936	0.990	1.060	0.870
58.860	1.130	1.190	0.950
62.784	1.275	1.300	1.030
66.708	1.410	1.390	1.100
70.632	1.520	1.485	1.180
74.556	1.720	1.620	1.300
78.480	1.860	1.745	1.380
82.404	2.090	1.910	1.490
86.328	2.350	2.100	1.610
90.252	2.740	2.395	1.780
94.176	2.920	2.520	1.850
98.100	3.110	2.650	1.950
102.024	3.370	2.840	2.100
105.948	3.620	3.050	2.220
109.872	3.810	3.190	2.330
113.796	4.040	3.350	2.440

lanjutan			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
117.720	4.220	3.495	2.560
121.644	4.400	3.635	2.660
125.568	4.640	3.805	2.780
129.492	4.810	3.950	2.900
133.416	5.080	4.160	3.100
137.340	5.360	4.390	3.230
141.264	5.700	4.640	3.450
145.188	5.950	4.830	3.600
149.112	6.150	4.995	3.710
153.036	6.450	5.520	3.900
156.960	6.750	5.550	4.070
160.884	7.090	5.690	4.230
164.808	7.480	5.970	4.430
168.732	8.020	6.390	4.680
172.656	8.600	6.830	4.950
174.618	9.760	7.650	5.480
170.694	12.480	9.600	6.650
169.713	13.400	10.330	6.130

Tabel L3.4 Hubungan beban-lendutan kolom tersusun benda uji 2 ($KL/r = 43$)

KL/r=40			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
0.000	0.000	0.000	0.000
3.924	0.000	0.000	0.000
7.848	0.000	0.000	0.000
11.772	0.000	0.000	0.000
15.696	0.060	0.000	0.000
19.620	0.320	0.100	0.000
23.544	0.750	0.410	0.160
27.468	1.550	1.050	0.590
31.392	6.400	4.760	3.190

lanjutan			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
35.316	9.650	7.420	5.152
39.240	9.890	7.620	5.300
43.164	10.150	7.850	5.460
47.088	10.410	8.100	5.660
51.012	10.690	8.360	5.850
54.936	10.900	8.540	5.980
58.860	11.160	8.770	6.170
62.784	11.420	9.050	6.380
66.708	11.750	9.290	6.560
70.632	12.050	9.580	6.760
74.556	12.400	9.860	7.020
78.480	12.680	10.110	7.200
82.404	12.980	10.400	7.400
86.328	13.350	10.710	7.630
90.252	13.700	11.000	7.830
94.176	14.080	11.350	8.130
98.100	14.560	11.780	8.510
102.024	15.590	12.905	9.640
105.948	16.100	13.380	10.100
109.872	16.700	13.910	10.430
113.796	17.600	14.740	11.130
117.720	18.180	15.220	11.460
121.644	18.750	15.650	11.740
125.568	19.350	16.120	12.090
129.492	19.920	16.595	12.360
133.416	20.780	17.260	12.800
137.340	21.350	17.720	13.120
141.264	22.020	18.260	13.460
145.188	22.810	18.870	13.860
149.112	23.950	19.760	14.420
153.036	25.250	20.730	15.050
156.960	27.280	22.230	15.970

lanjutan			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
157.941	30.300	24.550	17.345
147.150	31.700	25.170	17.700
141.264	33.300	26.150	18.230

Tabel L3.5 Hubungan beban-lendutan kolom tersusun benda uji 3 ($KL/r = 64$)

KL/r=60			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
0.000	0.000	0.000	0.000
3.924	0.490	0.280	0.300
7.848	0.900	0.710	0.680
11.772	1.200	1.020	0.950
15.696	1.540	1.390	1.270
19.620	1.780	1.680	1.510
23.544	2.100	2.020	1.810
27.468	2.340	2.320	2.080
31.392	2.530	2.580	2.320
35.316	2.650	2.780	2.550
39.240	1.200	2.850	2.120
43.164	1.400	2.050	2.300
47.088	1.700	2.300	2.550
51.012	2.100	2.750	2.840
54.936	2.480	3.150	3.180
58.860	2.890	3.500	3.450
62.784	3.350	3.940	3.810
66.708	3.780	4.380	4.150
70.632	4.270	4.860	4.520
74.556	4.720	5.300	4.870
78.480	5.220	5.770	4.230
82.404	5.710	6.250	5.600
86.328	6.200	6.730	6.000
90.252	6.700	7.230	6.370

lanjutan			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
94.176	7.250	7.780	6.790
98.100	7.750	8.260	7.180
102.024	8.370	8.880	7.640
105.948	9.000	9.470	8.120
109.872	9.680	10.110	8.580
113.796	10.400	10.790	9.120
117.720	11.170	11.500	9.610
121.644	11.900	12.180	10.180
125.568	12.770	13.020	10.800
129.492	13.800	13.990	11.500
133.416	15.250	15.400	12.530
137.340	16.220	16.330	13.230
141.264	17.730	17.720	14.230
145.188	19.440	19.260	15.330
149.112	22.300	21.850	17.150
151.074	26.000	27.600	19.900
102.024	36.800	29.980	20.680
101.043	39.650	31.750	21.680

Tabel L3.6 Hubungan beban-lendutan kolom tersusun benda uji 4 ($KL/r = 86$)

KL/r=80			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
0.000	0.000	0.000	0.000
3.924	0.000	0.040	0.040
7.848	0.350	0.460	0.330
11.772	0.610	0.740	0.570
15.696	0.880	0.980	0.780
19.620	1.030	1.160	0.930
23.544	1.260	1.410	1.120
27.468	1.550	1.660	1.345
31.392	1.900	2.000	1.570

lanjutan			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
35.316	2.480	2.490	1.930
39.240	4.070	3.780	2.820
43.164	5.470	4.950	3.660
47.088	6.150	5.600	4.170
51.012	6.730	6.160	4.620
54.936	7.150	6.590	4.960
58.860	7.600	7.040	5.310
62.784	8.080	7.520	5.700
66.708	8.590	8.030	6.100
70.632	9.060	8.490	6.450
74.556	9.640	9.040	6.870
78.480	10.150	9.570	7.260
82.404	10.730	10.140	7.700
86.328	11.230	10.620	8.090
90.252	11.870	11.250	8.560
94.176	12.940	11.980	9.160
98.100	13.310	12.660	9.660
102.024	14.070	13.390	10.250
105.948	14.810	14.150	10.830
109.872	15.770	15.120	11.550
113.796	16.770	16.110	12.320
117.720	17.790	17.160	13.130
121.644	18.950	18.330	14.000
125.568	20.200	19.580	14.970
129.492	21.620	21.040	16.090
133.416	23.300	22.840	17.380
137.340	25.050	24.600	18.660
141.264	27.900	26.440	20.800
145.188	30.950	30.500	23.180
149.112	35.450	35.200	26.440
150.093	43.450	44.200	30.440
70.632	46.350	46.640	32.340

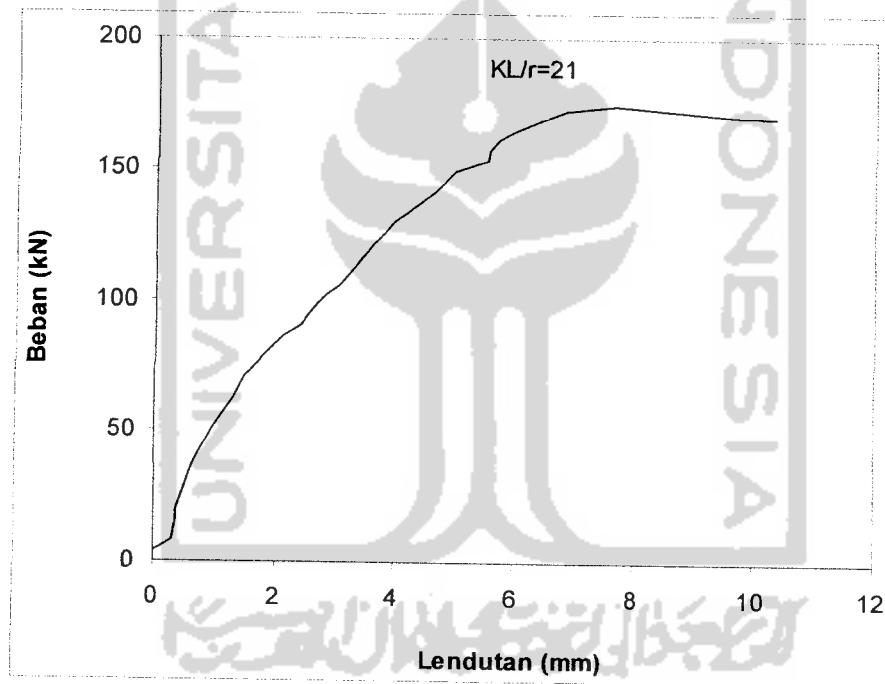
lanjutan			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
56.898	50.150	50.500	34.800

Tabel L3.7 Hubungan beban-lendutan kolom tersusun benda uji 5 ($KL/r = 107$)

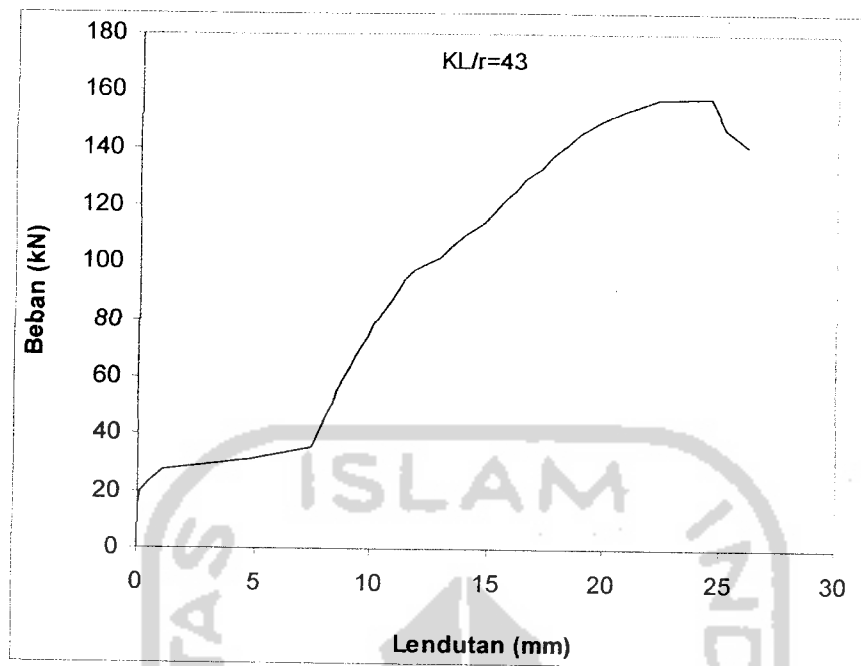
KL/r=100			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
0.000	0.000	0.000	0.000
3.924	1.050	0.950	0.530
7.848	2.460	2.200	1.510
11.772	3.050	2.800	1.900
15.696	3.450	3.270	2.380
19.620	3.840	3.680	2.740
23.544	4.250	4.110	3.120
27.468	4.810	4.300	3.580
31.392	5.320	5.220	4.000
35.316	6.000	5.890	4.520
39.240	6.710	6.600	5.130
43.164	7.950	7.730	5.950
47.088	9.330	8.990	6.890
51.012	10.810	10.310	7.890
54.936	12.170	11.580	8.850
58.860	13.250	12.580	9.590
62.784	14.650	13.940	10.660
66.708	15.770	15.050	11.540
70.632	17.050	16.340	12.560
74.556	18.330	17.640	13.600
78.480	19.810	19.180	14.830
82.404	21.370	20.750	16.160
86.328	24.350	24.150	19.260
90.252	28.010	28.220	22.900
94.176	30.460	30.470	24.850
98.100	35.510	36.120	29.770

lanjutan			
P (kN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
	mm	mm	mm
102.024	38.710	39.370	32.280
105.948	43.810	43.720	35.920
109.872	54.510	56.370	46.250
113.796	62.810	64.670	51.400
115.758	73.510	75.370	62.250
64.746	93.640	95.640	68.590
60.822	97.840	100.820	72.210

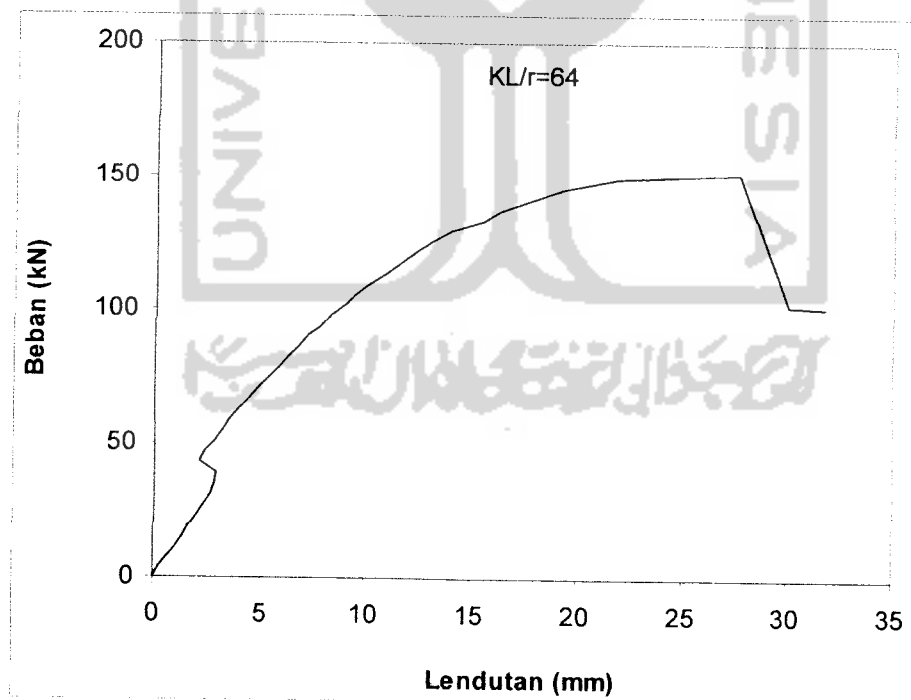
4. Grafik Beban-Lendutan Benda Uji



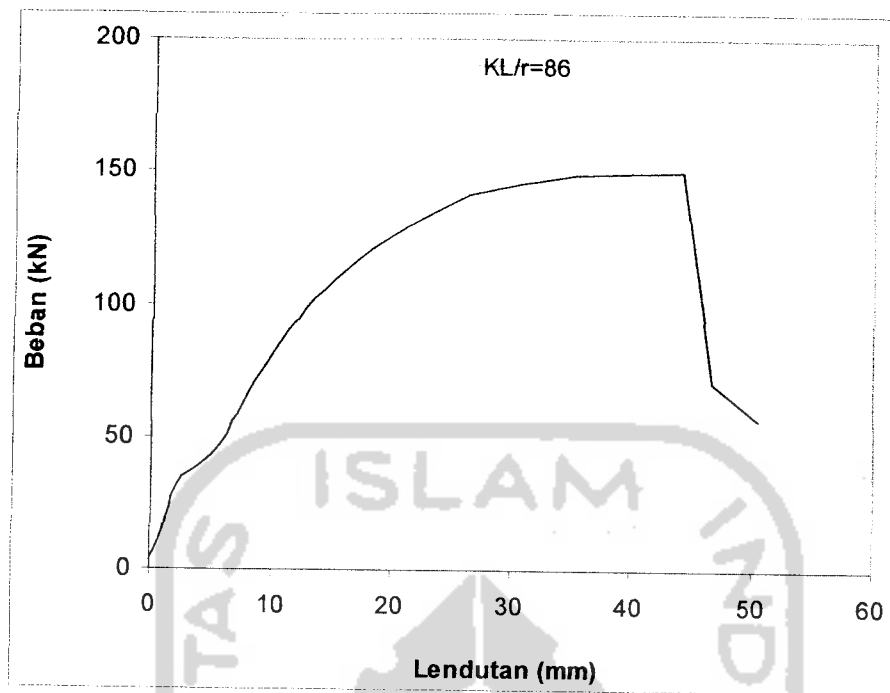
Gambar L3.1 Grafik hubungan beban-lendutan benda uji 1
($KL/r = 21$)



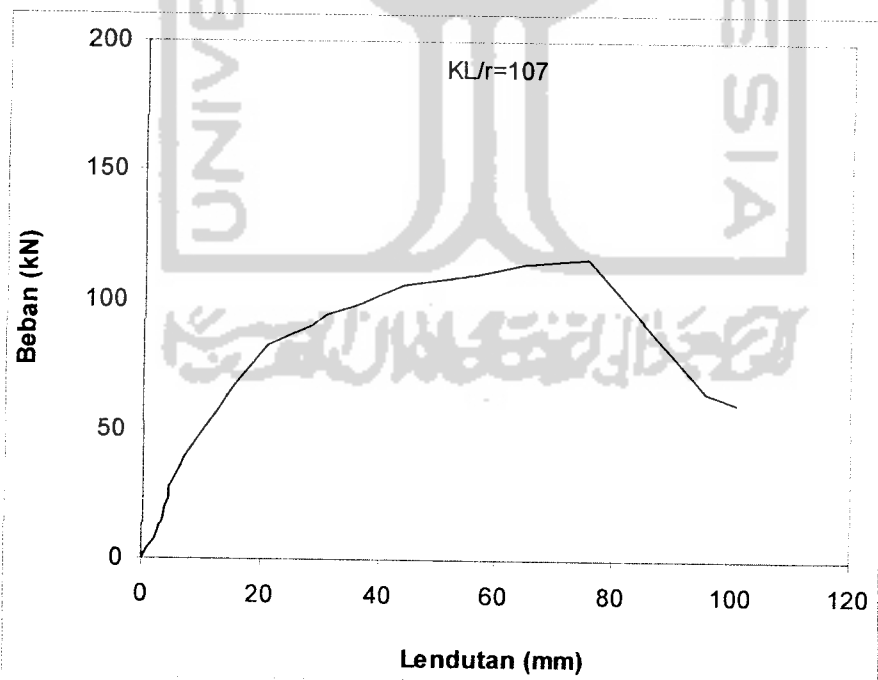
Gambar L3.2 Grafik hubungan beban-lendutan benda uji 2
($KL/r = 43$)



Gambar L3.3 Grafik hubungan beban-lendutan benda uji 3
($KL/r = 64$)



Gambar L3.4 Grafik hubungan beban-lendutan benda uji 4
($KL/r = 86$)



Gambar L3.5 Grafik hubungan beban-lendutan benda uji 5
($KL/r = 107$)

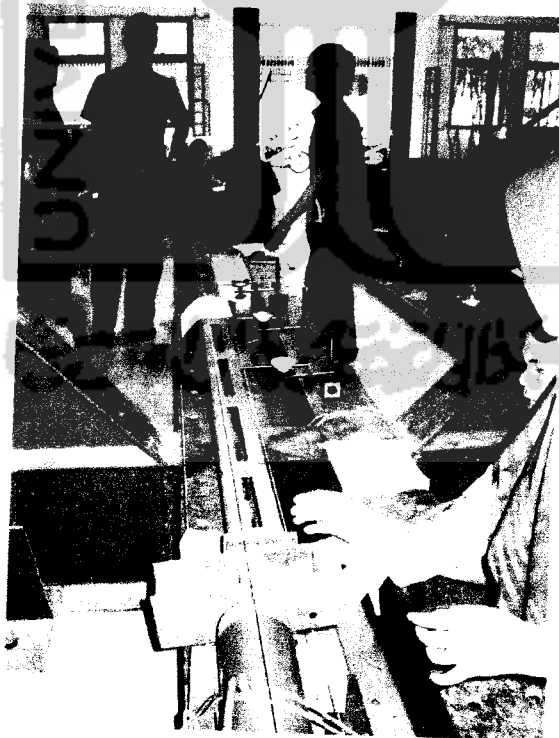


LAMPIRAN 4

*Gambar dan Dokumentasi Saat Pengujian dan Ragam
Kegagalan pada Saat Pengujian*



Gambar L4.1 Lima benda uji



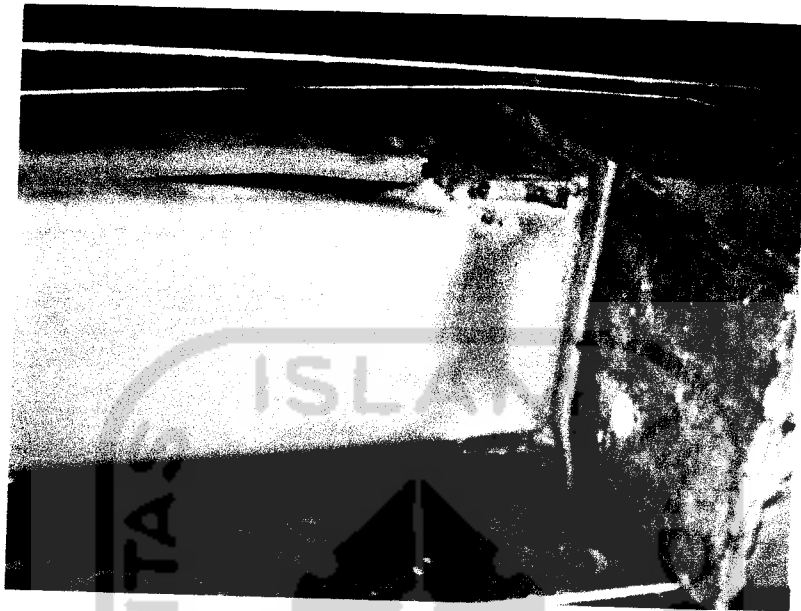
Gambar L4.2 Seting benda uji



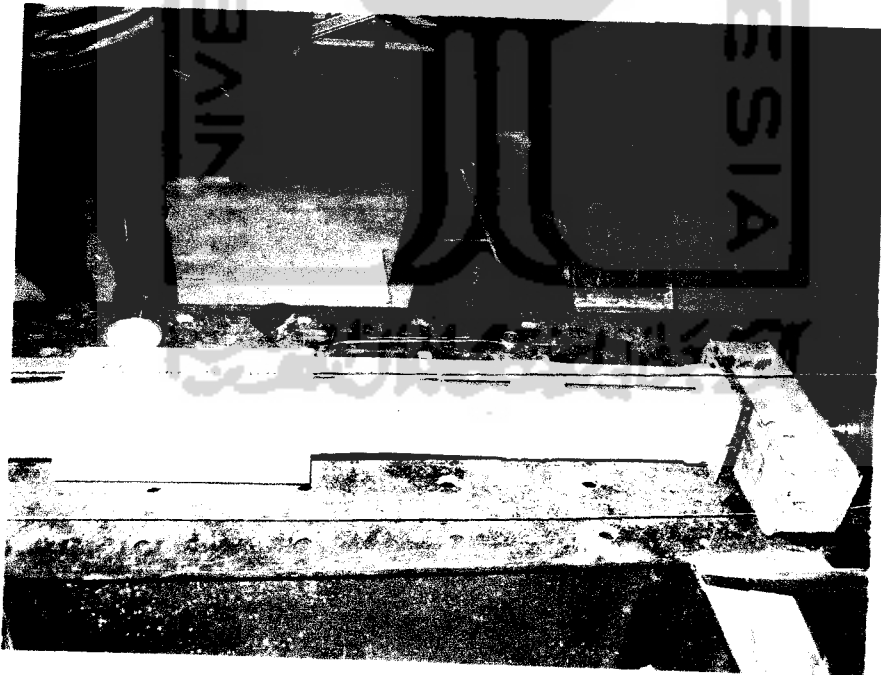
Gambar L4.3 Pengujian benda uji 1



Gambar L4.4 Pola kegagalan benda uji 1



Gambar L4.5 Pola kegagalan benda uji 2



Gambar L4.6 Pola kegagalan benda uji 3



Gambar L4.7 Pola kegagalan benda uji 4



Gambar L4.8 Pola kegagalan benda uji 5



Gambar L4.9 Foto pengujian kuat tarik baja profil



Gambar L4.10 Foto pengujian kuat geser las



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 : : 130 /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	: Herbanu Danur Hastyanto
No. Mhs.	: 03 511 058
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 :


tersusun
 Kapasitas Kolom Profil Canai Dingin Akibat Beban Eksentris

Dengan Kelangsingan

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Bervariasi -

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

An.Dekan
 Ketua Jurusan Teknik Sipil

 Ir.H. Faisol AM,MS

Tembusan

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



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 : : 130 /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 : Suharyatmo,Ir,H,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	: Herbanu Danur Hastyanto
No. Mhs.	: 03 511 058
Bidang Studi	: Teknik Sipil
Tahun Akademi	: 2006 - 2007

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

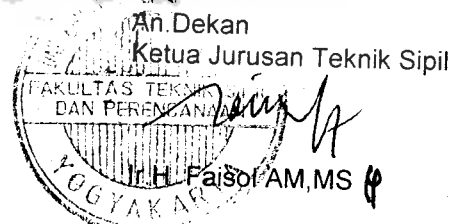
Dosen Pembimbing I	: FatKhurrohman N,Ir,MT
Dosen Pembimbing II	: Suharyatmo,Ir,H,MT

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Kapasitas Kolom Profil Canai Dingin Akibat Beban Eksentris

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.



Tembusan

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

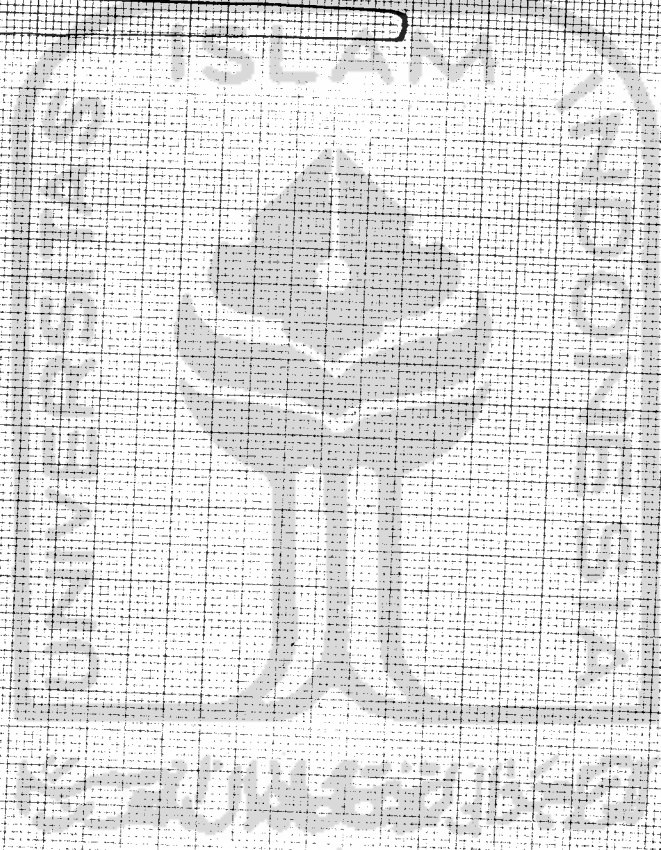
Empiran surat No: /ka.Lab/ /LBKT/ /

Catatan:

RAFIK TARIK BAJA

Projek : _____

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





KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	NAMA	NO.MHS.	BID. STUDI
1.	Herbanu Danur Hastyanto	03 511 058	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR

Kapasitas Kolom Profil Canai Dingin Akibat Beban Eksentris

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

[Signature]
 M.H. Faisol AM, MS (p)

catatan	:	
seminar	:	
sidang	:	
pendadaran	:	



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.	Herbanu Danur Hastyanto	03 511 058	Teknik Sipil
JUDUL TUGAS AKHIR			
Kapasitas Kolom Profil Canai Dingin Akibat Beban Eksentris			

Dosen Pembimbing I : FatKhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Suharyatmo,Ir,H,MT



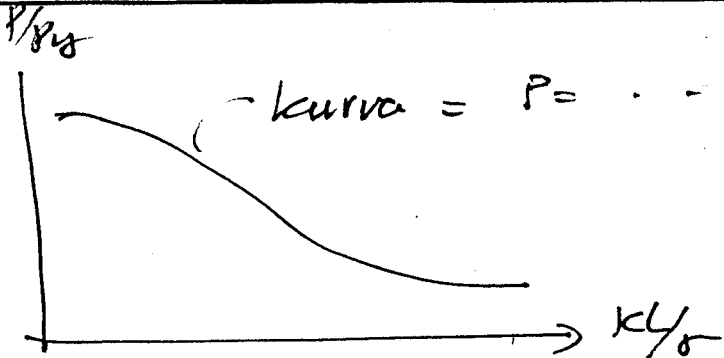
Jogjakarta , 19-Dec-06
 a.d. Dekan



H. Faisol AM, MS

Catatan	:	
Seminar	:	
Sidang	:	
Pendadaran	:	

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	KONSULTASI KE :	TA TAH
5/7/07	Perbaiki <u>ku</u>		<u>ML</u>
10/7/07	Perbaiki <u>ku</u>	<p>Hati-hati cara menyebarkan Per S Debu kritis. (Sebut etch gaya qm dan juga strap. Unabla yg berpasang.</p>	
12/7/07	Perbaiki <u>ku</u>	<p>Kalimat superengket tuisa ceteruata</p>	<u>ML</u> 26/01/2
13/7/07	Perbaiki <u>ku</u>	<p>ulis * faktor² yg berpasang servis jaring Tudi ceteruata, Postal yg servis -</p>	<u>ML</u> 1/0
16/7/07	Siapa si yang	<p>* Tulis Sumber bila fi kal uelle puydon</p>	<u>ML</u>
2/8/07	Perbaiki perbaikan <u>V</u>	<p>* Buat landas teori lags <u>but</u></p> <p>Semin-proposal</p>	<u>ML</u> 24/02-

Cara menulis tugas Postal → Landas teori ML
27/05-2