

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	29-5-2003
NO. JUDUL :	000419
NO. INV. :	5120000419001
NO. INDUK :	

TUGAS AKHIR

5120000419001

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL  
LIGHT LIPPED CHANNEL BENTUKAN DINGIN**

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi  
Sebagai Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil



Disusun oleh :

**BAMBANG KRISTIAWAN      98 511 145**  
**DHANANG TRI HADIONO      98 511 161**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA  
2003**

MILIK PERPUSTAKAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

**HALAMAN PENGESAHAN**

**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL  
*LIGHT LIPPED CHANNEL* BENTUKAN DINGIN**

Disusun oleh :

**BAMBANG KRISTIAWAN                      98 511 145**

**DHANANG TRI HADIONO                    98 511 161**



Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Ir. FATKHURROHMAN N, MT**  
Dosen Pembimbing I

  
Tanggal :

**Ir. H. SUHARYATMO, MT.**  
Dosen Pembimbing II

  
Tanggal: 21/4/03.

## MOTTO

*Bacalah! Dan Tuhanmu lah yang paling murah. Yang mengajar (manusia) dengan perantara kalam. Dia telah mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya.*

*(Q.S. Al Alaq : 3-5)*

*Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai mengerjakan suatu urusan, kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.*

*(Q.S. Alam Nasyrah : 6-8)*

## Persembahkanku

Puji syukur kepada Allah S.W.T atas anugerah yang diberikan pada kami, karena tanpa pertolongan-Nya usaha dan perjuangan kami dalam menyelesaikan tugas Akfir ini akan sia-sia

Kami persembahkan Tugas Akfir kami kepada keluarga kami, Universitas Islam Indonesia, bangsa Indonesia, dan Islam Agama kami. Semoga Tugas Akfir ini bermanfaat, Amin.

## KATA PENGANTAR

**Assalamu'alaikum Wr. Wb.**

Puji dan syukur kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita, karena dengan kasih sayang-Nyalah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Shalawat dan salam semoga terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat dan pengikutnya hingga akhir hayat.

Tugas Akhir dalam bentuk penelitian laboratorium dengan judul **“KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL *LIGHT LIPPED CHANNEL* BENTUKAN DINGIN”** ini kami ajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat strata satu (SI) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan serta sumbangan pikiran berbagai pihak yang selalu memberikan motivasi dalam menghadapi hambatan yang terjadi selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan. Untuk itu dengan segala keikhlasan hati penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT, selaku Dosen Pembimbing I,
3. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing II,

4. Bapak, Ibu, dan kakak-kakak tercinta, yang telah banyak memberikan bantuan dan doa serta dorongan moril maupun materiil.
5. Teman-teman kelas D '98 yang banyak memberikan masukan dan motivasi.
6. Anak-anak Otakita yang selalu memberikan semangat.
7. Mas Aris karyawan laboratorium Mekanika yang telah banyak membantu kami baik tenaga ataupun dorongan moril kepada kami.
8. Semua pihak yang telah membantu penyusun selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif dalam pengembangan dimasa mendatang. Penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa Teknik Sipil dan pembaca pada umumnya.

Akhir kata semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua, sehingga kita sebagai hamba-Nya bisa senantiasa mensyukuri nikmat yang telah diberikanNya dan kita dapat selalu berkreasi untuk mencapai hal yang lebih baik dari apa yang telah kita peroleh sekarang. Amiin...

**Wassalamu'alaikum Wr. Wb.**

Jogjakarta, April 2003

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>ABSTRAKSI</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
2.1 Kolom Profil Bentukan Dingin.....	8
2.2 Kapasitas Kolom.....	8
<b>BAB III LANDASAN TEORI.....</b>	<b>12</b>
3.1 Kolom Profil Bentukan Dingin.....	12
3.2 Kapasitas Kolom.....	13
3.2.1 Tekuk Keseluruhan .....	14
3.2.2 Tekuk Lokal.....	17
3.2.3 Tegangan Kritis Berdasar AISC.....	25
3.2.4 Hubungan Antara Tekuk Lokal dan Tekuk Lentur.....	27
3.3 Hipotesis.....	28
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>29</b>
4.1 Metode Penelitian.....	29
4.2 Bahan dan Alat yang Digunakan.....	29
4.2.1 Bahan.....	29
4.2.2 Peralatan Penelitian.....	30
4.3 Pembuatan Benda Uji.....	30
4.4 Pengujian Sampel.....	33
4.5 Analisa Hasil Pengujian.....	36
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>37</b>
5.1 Hasil Pengujian.....	37

5.1.1 Hasil Uji Pendahuluan.....	37
5.1.2 Hasil Pengujian Kolom Bentukan Dingin .....	38
5.2 Pembahasan.....	43
5.2.1 Pembahasan Uji Pendahuluan.....	43
5.2.2 Pembahasan Kolom Bentukan Dingin .....	44
5.2.2.1 Beban Kritis ( $P_{cr}$ ).....	44
5.2.2.2 Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ).....	51
5.2.2.3 Perhitungan Koefisien Tekuk Plat.....	52
5.2.2.4 Hitungan Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Teoritis.....	55
5.2.2.4.1 Hitungan Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Euler....	55
5.2.2.4.2 Hitungan Tegangan Berdasar AISC.....	56
5.2.2.5 Perbandingan Tegangan Teoritis dengan Hasil Pengujian.....	59
5.2.2.5.1 Perbandingan Tegangan Kritis Euler dengan Hasil Pengujian.....	59
5.2.2.5.2 Perbandingan Tegangan AISC dengan Hasil Pengujian.....	60
<b>BAB VI KESIMPULAN.....</b>	<b>62</b>
6.1 Kesimpulan.....	62
6.2 Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>IAMPIRAN</b>	

## DAFTAR SIMBOL

$P$	: Beban
$b$	: Lebar profil
$t$	: Tebal profil
$L$	: Panjang kolom
$r$	: Radius girasi
$D$	: Kekakuan lentur plat
$a$	: Panjang plat
$F_{cr}$	: Tegangan kritis
$k$	: Koefisien tekuk plat
$\mu$	: <i>Poisson's ratio</i>
$E$	: Modulus elastisitas
$\pi$	: <i>Phi (3,14)</i>
$\kappa$	: Kelengkungan
$\rho$	: Jari-jari kelengkungan
$M$	: Momen
$y$	: Pelenturan pada suatu titik
$L_k$	: Panjang tekuk
$\Delta$	: Defleksi maksimum
$P_{cr}$	: Beban kritis
$K$	: Faktor tekuk keseluruhan

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Profil <i>Light Lipped Channel</i> Ganda <i>Front to Front</i> .....	13
Gambar 3.2 Batang lurus dibebani gaya tekan aksial .....	15
Gambar 3.3 Grafik tegangan kritis Euler yang merupakan fungsi kelangsingan ( $L/r$ ).....	17
Gambar 3.4 Plat yang Ditekan Secara Merata.....	18
Gambar 3.5 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada plat segi empat datar.....	22
Gambar 3.6 Perubahan bentuk tampang yang dibebani secara bertahap.....	24
Gambar 3.7 Grafik hubungan $KL/r$ dengan $F_a$ beberapa Negara.....	27
Gambar 4.1 Benda uji kuat tarik baja.....	30
Gambar 4.2 Benda uji kuat geser las.....	31
Gambar 4.3 Penampang <i>Light Lipped Channel</i> ganda.....	32
Gambar 4.4 Profil dengan variasi panjang batang.....	32
Gambar 4.5 Gambar pengujian berdiri.....	35
Gambar 4.6 Gambar pengujian tidur.....	36
Gambar 5.1 Deformasi kolom K2 pada saat kritis.....	45
Gambar 5.2 Deformasi kolom K3 pada saat kritis.....	46
Gambar 5.3 Deformasi kolom K4 pada saat kritis.....	46
Gambar 5.4 Deformasi kolom K5 pada saat kritis.....	46
Gambar 5.5 Deformasi kolom K6 pada saat kritis.....	47

Gambar 5.6 Deformasi kolom K7 pada saat kritis.....	47
Gambar 5.7 Deformasi kolom K8 pada saat kritis.....	47
Gambar 5.8 Deformasi kolom K9 pada saat kritis.....	48
Gambar 5.9 Grafik $P_{cr}$ hasil pengujian .....	49
Gambar 5.10 Perbandingan beban pengujian dan beban regresi.....	50
Gambar 5.11 Grafik beban kritis ( $P_{cr}$ ) fungsi kelangsingan ( $L/r$ ) untuk nilai $L/r$ sama dengan 0 sampai dengan 300.....	51
Gambar 5.12 Grafik $F_{cr}$ fungsi kelangsingan $L/r$ .....	52
Gambar 5.13 Grafik tegangan-defleksi kolom K1.....	53
Gambar 5.14 Rasio tebal terhadap tebal berbagai penampang profil.....	55
Gambar 5.15 Grafik tegangan kritis Euler.....	56
Gambar 5.16 Grafik tegangan baerdasarkan AISC.....	59
Gambar 5.17 Perbandingan tegangan kritis Euler dengan hasil pengujian.....	60
Gambar 5.18 Perbandingan tegangan ijin AISC dengan hasil pengujian.....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel sample pengujian.....	33
Tabel 5.1	Hasil pengujian kolom K1.....	39
Tabel 5.2	Hasil pengujian kolom K2.....	39
Tabel 5.3	Hasil pengujian kolom K3.....	40
Tabel 5.4	Hasil pengujian kolom K4.....	40
Tabel 5.5	Hasil pengujian kolom K5.....	41
Tabel 5.6	Hasil pengujian kolom K6.....	41
Tabel 5.7	Hasil pengujian kolom K7.....	42
Tabel 5.8	Hasil pengujian kolom K8.....	42
Tabel 5.9	Hasil pengujian kolom K9.....	43
Tabel 5.10	Beban kritis ( $P_{cr}$ ) kolom.....	45
Tabel 5.11	Regresi beban.....	50
Tabel 5.12	Tegangan kritis ( $f_{cr}$ ) kolom.....	52

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1 : Hitungan properti dimensi benda uji
- Lampiran 2 : Hitungan regresi
- Lampiran 3 : Tabel hitungan perbandingan tegangan
- Lampiran 4 : Foto pengujian

### **Abstraksi**

Struktur kolom tersusun dari dua profil Light Lipped Channel yang disatukan front to front adalah salahsatu elemen kolom tersusun yang tersusundari elemen bentukan dingin. Kapasitas Struktur kolom tersusun dari profil Light Lipped Channel dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya dipengaruhi oleh tekuk lokal dan tekuk lentur yang terjadi pada kolom tersebut. Tekuk lentur berhubungan dengan kelangsingan kolom yang dipengaruhi oleh penampang kolom secara keseluruhan dan panjang kolom. sedangkan tekuk lokal berhubungan dengan stabilitas elemen penyusun kolom tersebut yang berupa elemen plat tipis.

Penelitian ini menitikberatkan pada kapasitas kolom tersusun dari profil Light Lipped Channel bentukan dingin yang dipengaruhi oleh tekuk keseluruhan dan tekuk lokal. Penelitian ini merupakan penelitian yang menggunakan uji laboratorium untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam menganalisis perilaku kolom.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan kolom dipengaruhi oleh angka kelangsingan. Semakin besar angka kelangsingan maka semakin kecil kapasitas kolom tersusun dari profil Light Lipped Channel bentukan dingin, sebaliknya semakin kecil angka kelangsingan maka semakin besar kapasitas kolom tersusun dari profil Light Lipped Channel bentukan dingin. Kapasitas kolom terbesar terjadi pada kolom yang yang memiliki angka kelangsingan sangat kecil, dalam penelitian ini terjadi pdakolom yang memiliki angka kelangsingan 11,04 (benda uji dengan tinggi 25cm). Nilai koefisien tekuk plat adalah 2,14 didapatkan berdasarkan kolom yang pendek (angka kelangsingan 11,04) karena kekuatan pengaruh angka kelangsingan kecil. Perbandingan dengan penelitian terdahulu (Barker dan Puckett, 1997) menunjukkan bahwa hasil penelitian ini mendekati teori yang dikemukakan oleh Barker dan Puckett (1997). Berdasarkan hasil penelitian tegangan kritis pengujian lebih besar dari tegangan ijin ditentukan oleh AISC.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

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

Jenis profil kolom berdasarkan proses pembentukannya adalah profil gilas (*Hot Rolled*) dan profil bentukan dingin (*Cold Formed*). Profil gilas adalah profil yang dibentuk dalam keadaan masih panas. Profil bentukan dingin tersusun dari plat tipis yang dibentuk menjadi profil pada saat plat tersebut dalam keadaan dingin, proses pembentukan bisa dengan cara ditekan, ditekuk, dirangkai, dan disambung (menggunakan alat sambung las, baut, dan alat sambung lainnya).

Penggunaan profil bentukan dingin lebih ekonomis dan lebih efisien untuk menahan beban yang ringan. Profil bentukan dingin dapat dibentuk menjadi berbagai

macam bentuk sehingga penggunaannya lebih fleksibel. Meskipun memiliki keunggulan seperti yang tersebut diatas penggunaan profil bentukan dingin sebagai komponen struktur bangunan di Indonesia masih kurang. Pedoman perencanaan profil bentukan dingin masih kurang.

Profil bentukan dingin memiliki beberapa kekurangan. Proses pembentukan profil bentukan dingin mengakibatkan salah satu bagian pada profil bentukan dingin sudah mengalami tegangan bahkan mencapai tegangan leleh. Kekurangan lainnya yang dimiliki profil bentukan dingin adalah elemen plat penyusun profil bentukan dingin memiliki ketebalan yang kecil sehingga kemungkinan terjadi tekuk lokal besar, tekuk lokal menyebabkan efisiensi penampang berkurang.

Penelitian ini meneliti tentang kapasitas kolom tersusun dari profil *Light Lipped Channel* yang merupakan salah satu profil bentukan dingin dan pengaruh kelangsingan kolom sebagai komponen struktur yang menerima beban aksial tekan. Penelitian ini dilakukan karena beberapa hal yang menarik tentang kelebihan dan kekurangan profil bentukan dingin seperti yang tersebut pada paragraf lain pada bagian ini.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. mengetahui kapasitas kolom tersusun penampang kotak dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan secara *front to front*
2. mengetahui koefisien tekuk plat kolom tersusun penampang kotak dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan secara *front to front*

3. mengetahui bentuk deformasi kolom tersusun penampang kotak dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan secara *front to front* yang dibebani beban aksial tekan sentris
4. mengetahui perbandingan kapasitas kolom kolom tersusun penampang kotak dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan secara *front to front* dengan teori kapasitas kolom yang dikemukakan oleh *Euler* dan pedoman perencanaan kolom menurut AISC.

### 1.3 Batasan Penelitian

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

1. profil baja yang digunakan adalah profil susun dari dua *Light Lipped Channel* yang dihubungkan dengan alat sambung las,
2. ujung – ujung batang dipandang sebagai sendi – sendi,
3. rasio  $I/r$  dari profil *Light Lipped Channel* ganda bervariasi yaitu : 11,04; 22,07; 33,11; 44,15; 55,19; 66,22; 88,30; 110,37 dan 132,45.
4. tegangan residu dari bahan tidak ditinjau,
5. kolom dibebani dengan beban aksial sentris,
6. pengujian beban dengan statis monotonik.,
7. tegangan kritis menggunakan teori *Euler* dan AISC.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. mengetahui beban maksimal yang dapat ditahan oleh kolom kolom tersusun penampang kotak dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan secara *front to front* pada tiap variasi  $l/r$ .
2. mengetahui tegangan kritis atau  $F_{cr}$  yang terjadi pada tiap variasi  $L/r$  kolom kolom tersusun penampang kotak dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan secara *front to front*
3. mengetahui grafik hubungan  $F_{cr}$  fungsi  $L/r$  yang terjadi
4. mengetahui keamanan perencanaan struktur kolom dengan mengetahui kekuatan yang sebenarnya.

#### 1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tahapan yang saling berurutan meliputi :

1. Tahap perumusan masalah

Pada tahap ini terdapat kegiatan berupa perumusan topik penelitian yang termasuk didalamnya perumusan tujuan dan pembatasan terhadap permasalahan.

2. Tahap peninjauan pustaka

Pada tahap ini terdapat kegiatan berupa pengkajian terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam melaksanakan penelitian.

3. Tahap landasan teori

Pada tahap ini terdapat kegiatan berupa penjabaran dari tahap peninjauan pustaka yang dituangkan dalam bentuk teori atau rumus yang dipakai dalam penelitian yang akan dilakukan.

4. Tahap hipotesis

Pada tahap ini terdapat kegiatan mencari jawaban sementara terhadap permasalahan dalam penelitian yang akan dilakukan

5. Tahap metode pelaksanaan

Pada tahap ini berisikan kegiatan menetapkan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian sesuai dengan hasil yang ingin dicapai.

6. Tahap hasil dan pembahasan

Pada tahap ini berisikan kegiatan pelaksanaan penelitian yang telah ditetapkan dalam tahap metode pelaksanaan, mencatat hasil penelitian, dan menganalisis dengan menggunakan rumus-rumus yang telah ditetapkan dalam tahap landasan teori, lalu membandingkannya dengan hipotesis yang telah dibuat pada tahap hipotesis.

7. Tahap kesimpulan

Pada tahap ini terdapat kegiatan berupa penarikan kesimpulan dari tahap hasil dan pembahasan dalam penelitian yang telah dilaksanakan dan kesimpulan ini merupakan jawaban dari permasalahan yang dihadapi dalam penelitian.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk melakukan penulisan laporan dari penelitian yang telah dilakukan menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini memuat hal tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini memuat hal tentang teori-teori peneliti yang terdahulu yang bersifat umum dan berhubungan erat dengan penelitian yang dilakukan sekarang.

### **BAB III LANDASAN TEORI**

Pada bab ini berisi tentang teori-teori yang digunakan sebagai bahan acuan dalam menganalisa hasil penelitian Dalam Landasan teori ini diambil dari tinjauan pustaka dengan penjabaran-penjabaran yang lebih detail.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bab ini memuat hal tentang langkah-langkah atau tahapan-tahapan dalam pelaksanaan penelitian.

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini memuat hal tentang hasil yang diperoleh dari penelitian serta pembahasan terhadap hasil penelitian menggunakan rumus yang terdapat dalam bab tinjauan pustaka.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini memuat hal tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dibahas pada bab sebelumnya serta saran-saran untuk melengkapi penelitian demi kesempurnaan dari penelitian tersebut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kolom Profil Bentuk Dingin**

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang menerima beban aksial tekan (Salmon dan Johnson, 1994). Elemen bentuk dingin adalah elemen yang dibentuk dalam keadaan sudah dingin tidak dalam keadaan panas seperti yang dilakukan dalam pembentukan profil gelas. Proses pembentukan dingin mengakibatkan perubahan properti material, Lambert Tall (1974).

Struktur kolom tersusun dari *Light Lipped Channel* adalah salah satu elemen struktur bentuk dingin yaitu elemen struktur yang terbuat dari lembaran plat yang memiliki ketebalan kurang dari 4,5mm yang dibentuk dalam keadaan dingin dan digunakan untuk menahan beban aksial tekan. Seperti elemen struktur berdinding tipis lainnya, kolom berdinding tipis memiliki rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ) besar. Pendapat tersebut dikemukakan oleh Vazirani dan Ratwani, 1977.

#### **2.2 Kapasitas Kolom**

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

Beban kritis *Euler* kolom yang menyebabkan tekuk keseluruhan diturunkan dari persamaan pelenturan sebuah batang lurus yang semua seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi. Batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya (Lambert Tall, 1974). Persamaan kelengkungan yang merupakan fungsi dari lendutan  $y$  berlaku untuk segala jenis material, dengan syarat rotasi yang terjadi kecil (Gere dan Timoshenko, 1985). Beban kritis atau beban *Euler* adalah beban terkecil yang mampu mengakibatkan kolom tersebut dalam kondisi kritis. Kondisi tersebut dapat terjadi bila defleksi merupakan lendutan berkelengkungan tunggal (*single curvature*). Kondisi tersebut merupakan kondisi yang memiliki nilai  $N = 1$  (Lambert Tall, 1974).

Kapasitas pikul beban suatu kolom selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang tekuk, sebanding dengan modulus elastis material dan momen inersia penampang. Semakin panjang kolom maka semakin kecil beban yang dapat menyebabkan kolom tersebut tertekuk, sebaliknya semakin pendek kolom maka semakin besar beban yang dapat menyebabkan kolom tersebut tertekuk (Salmon dan Johnson, 1994).

Tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Elemen plat penyusun kolom bentukan dingin memiliki rasio  $b/t$  besar, sehingga mungkin terjadi tekuk lokal. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat menerima penambahan beban, dengan kata lain efisiensi penampang berkurang (Lambert Tall, 1974). Tekuk lokal yang perlu ditinjau adalah stabilitas lentur plat. Penurunan persamaan tekuk plat menggunakan persamaan diferensial tekuk plat homogen (Salmon dan Johnson, 1994).

Kekuatan plat tergantung pada rasio  $b/t$  dan koefisien tekuk plat  $k$ . Semakin besar rasio  $b/t$  maka semakin kecil kekuatan plat, semakin kecil rasio  $b/t$  maka semakin besar kekuatan plat. Semakin besar nilai  $k$  maka semakin besar kekuatan plat, semakin kecil nilai  $k$  maka semakin kecil kekuatan plat (Salmon dan Johnson, 1994).

Kekuatan plat tergantung pada rasio  $b/t$  dan koefisien tekuk plat  $k$ . Koefisien tekuk plat  $k$  tergantung pada jenis tumpuan pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan (Gaylord dan Gaylord, 1972). Jenis tumpuan pada kedua sisi mempengaruhi besar nilai  $k$ . Secara umum, elemen tekan plat dibedakan menjadi dua kategori yaitu, elemen yang diperkuat (elemen yang bertumpu pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan) dan elemen yang tidak diperkuat (elemen yang bertumpu pada satu tepi dan bebas satu sisi lainnya yang sejajar arah tegangan tekan) (Salmon dan Johnson, 1994). Nilai kekakuan terbesar terjadi pada kondisi tumpuan berupa tumpuan jepit-jepit sedangkan nilai kekakuan terkecil terjadi pada kombinasi tumpuan sederhana dan bebas (Lambert Tall, 1974).

Pada profil, yang memiliki dua macam atau lebih rasio  $b/t$ , kolom yang dibebani beban aksial tekan sentris lendutan terbesar terjadi pada bagian plat penyusun kolom yang memiliki rasio  $b/t$  terbesar. Pada plat penyusun kolom yang memiliki rasio  $b/t$  lebih kecil lendutan hanya terjadi pada saat beban mencapai beban kritis (beban terbesar yang mampu ditahan kolom) (Loughlan dan Rhodes, 19..).

AISC mengemukakan hitungan tegangan kritis yang mempertimbangkan tekuk lokal. Pengaruh tekuk setempat yang terjadi sebelum kekuatan kolom

keseluruhan tercapai diperhitungkan dengan mengalikan tegangan maksimum yang dapat dicapai dengan faktor bentuk  $Q$  (Salmon dan Johnson ,1994).

Tekuk lokal dan tekuk lentur dapat terjadi secara bersamaan apabila tegangan kritis plat sama dengan tegangan kritis kolom keseluruhan. Apabila semakin panjang batang keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk keseluruhan kolom. Sebaliknya, pada profil baja yang sama apabila semakin pendek batang keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk lokal kolom (Gaylord dan Gaylord, 1972).

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

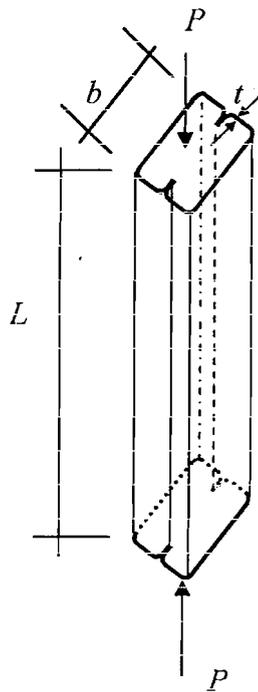
#### **3.1. Kolom Profil Bentukan Dingin**

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang menerima beban aksial tekan. Elemen bentukan dingin adalah elemen yang dibentuk dalam keadaan sudah dingin tidak dalam keadaan panas seperti yang dilakukan dalam pembentukan profil gilas. Struktur kolom bentukan dingin dapat disusun dalam berbagai macam variasi bentuk tampang, sesuai dengan fungsi tampang tersebut, dengan menggunakan alat sambung las, baut, dan alat sambung lainnya (Lambert Tall, 1974).

Lambert Tall (1974) juga mengemukakan bahwa proses pembentukan dingin mengakibatkan perubahan properti material, biasanya proses pembentukan dingin meningkatkan titik leleh. Perubahan properti material selama proses pembentukan dingin tergantung pada banyak faktor, antara lain, kandungan bahan kimia dalam baja, jumlah pengerjaan dingin selama proses pengerjaan, tipe pengerjaan dingin (ditarik atau ditekan), properti material awal, dan lain-lain.

Struktur kolom tersusun dari *Light Lipped Channel* adalah salah satu elemen struktur ber dinding tipis yaitu elemen struktur yang terbuat dari lembaran plat yang memiliki ketebalan kurang dari 4,5mm dan digunakan untuk menahan beban aksial tekan. Seperti elemen struktur ber dinding tipis lainnya, kolom

berdinding tipis memiliki rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ) besar. Pendapat tersebut dikemukakan oleh Vazirani dan Ratwani, 1977.



Gambar 3.1 Profil *Light Lipped Channel* ganda front to front

Gambar 3.1 menunjukkan profil bentukan dingin yang tersusun dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan pada sisi depannya dan disatukan dengan alat sambung las pada seluruh titik temu kedua profil *Light Lipped Channel*. Kolom yang tersusun dari dua profil *Light Lipped Channel* dibebani dengan beban aksial sentris ( $P$ ) pada kedua ujungnya.

### 3.2 Kapasitas Kolom

Kapasitas struktur kolom dalam menahan gaya tekan dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain, sifat bahan (meliputi tegangan leleh, tegangan residu,

modulus elastisitas, dan lain-lain), geometri penampang (luas tampang, inersia tampang, bentuk tampang, rasio  $b/t$ , dan lain-lain), dan kelangsingan. Faktor geometri dan kelangsingan mempengaruhi stabilitas kolom terhadap tekuk. Tekuk yang dibahas dalam penelitian ini adalah tekuk keseluruhan yang dipengaruhi kelangsingan yang diwakili dengan rasio  $L/r$  dan tekuk lokal yang dipengaruhi oleh geometri penampang yang diwakili dengan rasio  $b/t$ .

### 3.2.1 Tekuk Keseluruhan

Menurut persamaan *Euler* yang dikemukakan oleh Lambert Tall, 1974, beban kritis kolom diturunkan dari persamaan pelenturan sebuah batang lurus yang semua seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi, batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya seperti pada Gambar 3.2 dan diberi gaya aksial tekan sentris.

Di suatu titik yang berjarak  $x$ , momen lentur  $M_x$  pada batang yang sedikit melengkung adalah

$$M_x = P \cdot y \quad 3.1$$

Gere dan Timoshenko, 1985, mengemukakan persamaan kelengkungan yang merupakan fungsi dari lendutan  $y$  berlaku untuk segala jenis material, dengan syarat rotasi yang terjadi kecil. Persamaan tersebut adalah,

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad 3.2$$

dengan  $\rho$  adalah jari-jari kelengkungan. Karena material kolom masih dalam kondisi elastis linier dan mengikuti hukum Hooke, maka

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = -\frac{M}{EI} \quad 3.3$$

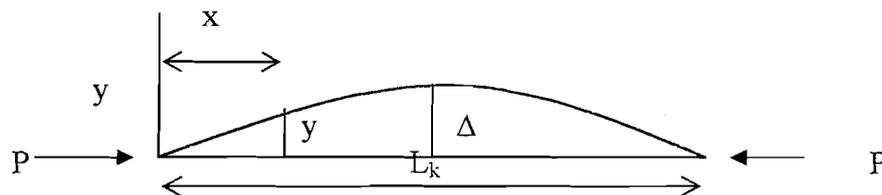
Substitusi Persamaan 3.2 dengan Persamaan 3.3 menghasilkan,

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M_x}{E.I} \quad 3.4$$

Substitusi Persamaan 3.2 dengan Persamaan 3.4 menghasilkan,

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{P.y}{E.I} = 0 \quad 3.5$$

dengan  $E$  = modulus elastis,  $I$  = inersia,  $P$  = gaya aksial,  $y$  = pelenturan



Gambar 3.2 Batang lurus dibebani gaya tekan aksial

bila diasumsikan

$$k^2 = P/EI \quad 3.6$$

, maka Persamaan 3.5 menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + k^2 y = 0 \quad 3.7$$

penyelesaian persamaan diferensial linear berordo dua ini dapat dinyatakan sebagai

$$y = A \sin kx + B \cos kx \quad 3.8$$

dengan menetapkan syarat batas:

a.  $y = 0$  pada  $x = 0$

b.  $y = 0$  pada  $x = L_k$

dari syarat "a" diperoleh  $B = 0$ , dan dari syarat "b" diperoleh persamaan

$$A \sin (k.L_k) = 0 \quad 3.9$$

Persamaan 3.9 dapat dipenuhi bila diterapkan pada kondisi:

- a. konstanta  $A = 0$ , yaitu kondisi tanpa lendutan
- b.  $kL_k = 0$ , yaitu tidak ada beban luar
- c.  $kL_k = N\pi$ , yaitu syarat terjadinya tekuk sehingga  $k = (N.\pi)/L_k$

substitusi nilai  $k = (N.\pi)/L_k$  dari kondisi kedalam Persamaan 3.6, maka

$$\frac{P}{EI} = \left( \frac{N\pi}{L_k} \right)^2$$

atau

$$P = \frac{N^2 \pi^2 EI}{L_k^2} \quad 3.10$$

Menurut Lambert Tall (1974), beban kritis adalah beban terkecil yang mampu mengakibatkan kolom tersebut dalam kondisi kritis. Kondisi tersebut dapat terjadi bila defleksi merupakan lendutan berkelengkungan tunggal (*single curvature*), sehingga nilai  $N = 1$ . Dengan demikian, beban kritis Euler untuk kolom yang berujung-ujung sendi adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 . E . I}{L_k^2} \quad 3.11$$

dengan  $L_k =$  Panjang tekuk

Bila masing-masing ruas Persamaan 3.25 dibagi dengan luas penampang batang “A” diperoleh:

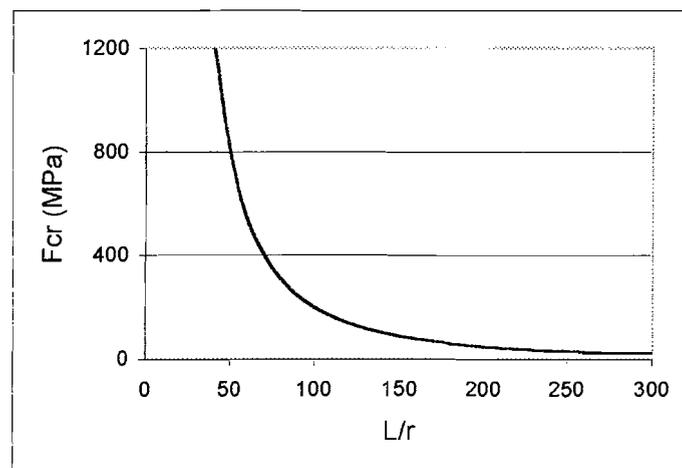
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 . E . I}{A . L_k^2} \quad 3.12$$

dimana,  $I = A . r^2$  atau  $r^2 = I/A$ , maka,

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(L_k/r)^2} \quad 3.13$$

dengan  $r$  = Jari-jari kelembaman

Persamaan 3.13 diatas memperlihatkan dengan jelas kapasitas pikul beban suatu kolom selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang tekuk, sebanding dengan modulus elastis material dan momen inersia penampang.



Gambar 3.3 Grafik tegangan kritis Euler yang merupakan fungsi kelangsingan ( $L/r$ ) (Lambert Tall,1974)

Gambar 3.3 menunjukkan persamaan tekuk *Euler* (Persamaan 3.13) dapat digunakan untuk memprediksi beban kritis kolom untuk setiap angka kelangsingan ( $L/r$ ). Berdasarkan Gambar 3.3 bahwa semakin panjang kolom maka semakin kecil beban yang dapat menyebabkan kolom tersebut tertekuk, sebaliknya semakin pendek kolom maka semakin besar beban yang dapat menyebabkan kolom tersebut tertekuk.

### 3.2.2 Tekuk Lokal

Menurut Lambert Tall, 1974, tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Elemen plat penyusun kolom bentukan dingin memiliki rasio  $b/t$  besar, sehingga mungkin terjadi tekuk lokal.

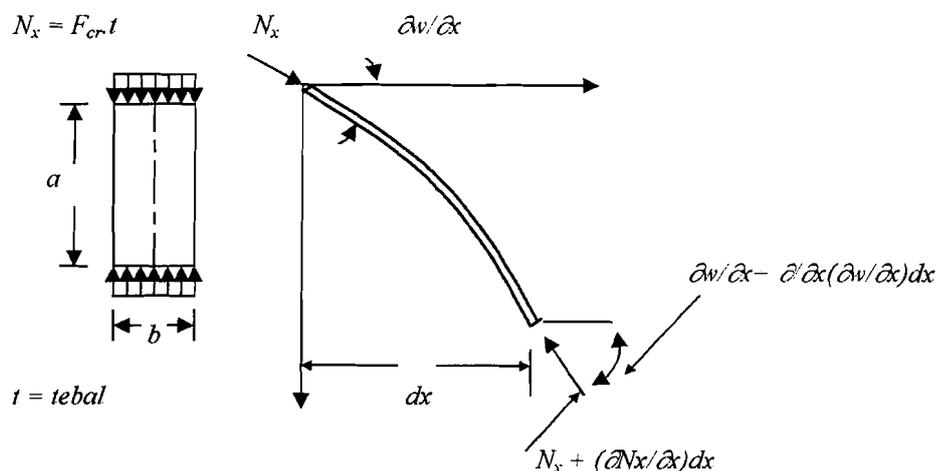
Tekuk setempat menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat menerima penambahan beban, dengan kata lain efisiensi penampang berkurang.

Menurut Vaziranidan Ratwani, 1977, secara umum hitungan kekuatan struktur kolom bentukan dingin pada dasarnya hampir sama dengan dengan struktur kolom profil gilas, tetapi ada beberapa perubahan yang perlu dilakukan. Perubahan tersebut perlu dilakukan karena ketebalan plat yang digunakan untuk menyusun struktur kolom bentukan dingin sangat kecil.

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

$$D \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = q \quad 3.14$$

dengan  $D$  adalah kekakuan lentur plat, dimana  $D = Et^3 / (12 (1 - \mu^2))$



Gambar 3.4 Plat yang ditekan secara merata

Berdasarkan uraian Salmon dan Johnson, 1994, suku  $q$  yang menyatakan komponen beban transversal akibat lenturan plat, komponen transversal dari gaya tekan  $N_x$  ketika plat melendut ke posisi tertekuk perlu ditinjau. Penjumlahan gaya-gaya dalam arah  $z$  pada elemen plat pada Gambar 3.4 memberikan

$$N_x dy \frac{\partial w}{\partial x} - \left( N_x + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \right) dy \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx \right) = q dx dy$$

$$- \left( N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial N_x}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) dy dx = q dx dy \quad 3.15$$

Mengabaikan suku berordo tinggi yang sangat kecil, maka diperoleh

$$q = -N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad 3.16$$

Substitusi Persamaan 3.16 kedalam Persamaan 3.14 menghasilkan

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = -\frac{N_x}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad 3.17$$

Persamaan 3.17 merupakan persamaan diferensial parsial dengan  $w$  sebagai fungsi dari  $x$  dan  $y$ . Lenturan  $w$  dapat dinyatakan sebagai perkalian fungsi  $x(X)$  dan fungsi  $y(Y)$ . Juga, tekuk dapat dianggap menimbulkan lendutan yang berbentuk kurva sinus dalam arah  $x$ . Jadi,

$$w = X(x)Y(y) \quad 3.18$$

misalkan,  $X(x) = \sin(m\pi x/a)$  dan  $m$  adalah jumlah setengah gelombang lendutan plat terhadap sumbu  $x$ .

Dimana fungsi  $X$  memenuhi syarat lendutan nol dan momen nol tumpuan sederhana di  $x = 0$  dan  $x = a$ , Substitusi Persamaan 3.18 ke Persamaan 3.17 dan eliminasi suku umum  $\sin(m\pi x/a)$  menjadi

$$\begin{aligned} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 Y - 2\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \frac{d^2 Y}{dy^2} + \frac{d^4 Y}{dy^4} &= \frac{N_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 Y \\ \frac{d^4 Y}{dy^4} - 2\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \frac{d^2 Y}{dy^2} + \left[\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \frac{N_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2\right] Y &= 0 \end{aligned} \quad 3.19$$

yang merupakan persamaan diferensial homogen biasa berordo empat.

Penyelesaian Persamaan 3.19 dapat dinyatakan dalam bentuk

$$Y = C_1 \sinh \alpha y + C_2 \cosh \alpha y + C_3 \sin \beta y + C_4 \cos \beta y \quad 3.20$$

dengan

$$\alpha = \sqrt{\left(\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{N_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2\right)}\right)} \quad 3.21$$

$$\text{dan } \beta = \sqrt{\left(-\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{N_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2\right)}\right)} \quad 3.22$$

jadi, persamaan lendutan plat keseluruhan adalah

$$w = \left(\sin \frac{m\pi x}{a}\right) (C_1 \sinh \alpha y + C_2 \cosh \alpha y + C_3 \sin \beta y + C_4 \cos \beta y) \quad 3.23$$

yang harus memenuhi kondisi tepi (syarat batas). Bila sumbu simetri plat atau kondisi tumpuan sepanjang dua tepi yang sejajar arah pembebanan identik, maka koefisien fungsi ganjil  $C_1$  dan  $C_3$  harus nol. Jadi,

$$w = (C_2 \cosh \alpha y + C_4 \cos \beta y) \sin \frac{m\pi x}{a} \quad 3.24$$

Bila kondisi tumpuan di  $y = b/2$  dan  $y = -b/2$  bersifat sederhana, syarat di  $y = \pm b/2$  adalah

$$w = 0 = \left( C_2 \cosh \alpha \frac{b}{2} + C_4 \cos \beta \frac{b}{2} \right) \sin \frac{m\pi x}{a}$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 = \left( C_2 \alpha^2 \cosh \alpha \frac{b}{2} - C_4 \beta^2 \cos \beta \frac{b}{2} \right) \sin \frac{m\pi x}{a} \quad 3.25$$

Untuk penyelesaian selain  $C_2 = C_4 = 0$ , determinan koefisien-koefisien harus sama

$$\text{dengan nol. Jadi, } (\alpha^2 + \beta^2) \cosh \alpha \frac{b}{2} \cos \beta \frac{b}{2} = 0 \quad 3.26$$

Karena  $\alpha^2 \neq -\beta^2$  kecuali  $N_x = 0$  (penyelesaian trivial/tak berarti) dan  $\cos \alpha(b/2)$

$> 1$ , dalam masalah yang riil Persamaan 3.26 hanya dapat dipenuhi bila

$$\cos \beta \frac{b}{2} = 0$$

dengan demikian,  $\beta b/2 = \pi/2, 3\pi/2, 5\pi/2$ , dan seterusnya

Pemakaian harga  $\beta(b/2)$  terkecil dan substitusi ke Persamaan 3.22 menghasilkan

$$\frac{b}{2} \sqrt{\left( -\left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 + \sqrt{\left( \frac{N_x}{D} \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 \right)} \right)} = \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{N_x}{D} \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 = \left[ \frac{\pi^2}{b^2} + \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 \right]^2$$

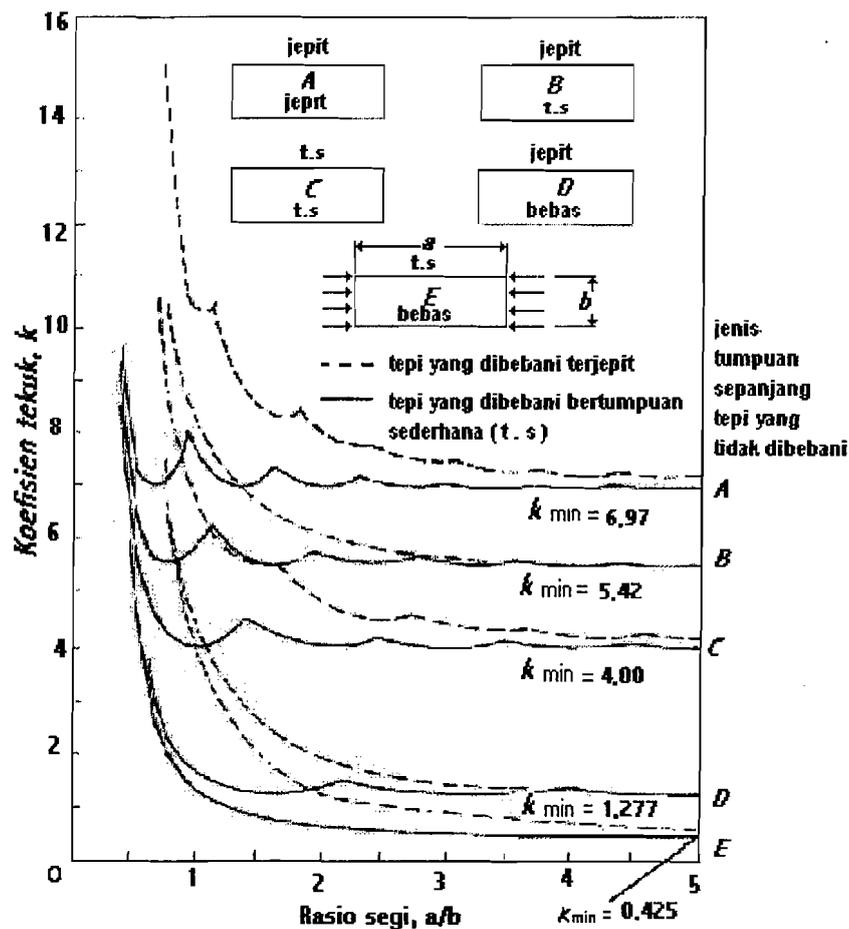
$$N_x = D \left[ \frac{\pi^2 a}{b^2 m \pi} + \frac{m \pi}{a} \right]^2$$

$$N_x = \frac{D \pi^2}{b^2} \left[ \frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad 3.27$$

Karena  $N_x = F_{cr} l$  dan  $D = Et^3 / (12 (1 - \mu^2))$ , tegangan tekuk elastis dapat dituliskan sebagai

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad 3.28$$

Koefisien tekuk plat  $k$  dipengaruhi oleh jenis dukungan pada plat tersebut. Secara umum, elemen tekan plat dibedakan menjadi dua kategori yaitu, elemen yang diperkuat (elemen yang bertumpu pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan) dan elemen yang tidak diperkuat (elemen yang bertumpu pada satu tepi dan bebas satu sisi lainnya yang sejajar arah tegangan tekan).



Gambar 3.5 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada plat segi empat datar (Salmon Johnson, 1994)

Gambar 3.5 memperlihatkan variasi koefisien tekuk  $k$  terhadap rasio segi  $a/b$  untuk kondisi tepi yang berbeda-beda, yaitu beberapa kombinasi jepit, tumpuan sederhana, dan bebas. Nilai kekakuan terbesar terjadi pada kondisi tumpuan berupa tumpuan jepit-jepit seperti pada grafik A dengan nilai  $k = 6,97$ , nilai kekakuan pada kondisi tumpuan berupa tumpuan jepit-tumpuan sederhana seperti pada grafik B dengan nilai  $k = 5,42$ , nilai kekakuan pada kondisi tumpuan berupa tumpuan jepit-bebas seperti pada grafik D dengan nilai  $k = 1,277$ , sedangkan nilai kekakuan terkecil terjadi pada kombinasi tumpuan sederhana dan bebas seperti pada grafik E dengan nilai  $k = 0,425$ .

Sifat kekompakan suatu penampang dapat diketahui dengan menggunakan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) plat yang didapatkan dari Persamaan 3.28. Penampang dinamakan kompak apabila tegangan kritis  $F_{cr}$  lebih besar dari tegangan leleh bahan  $F_y$ . Apabila penampang yang memiliki  $F_{cr}$  lebih kecil dari  $F_y$  tetapi masih lebih besar dari  $F_y$  dikurangi tegangan residu bahan  $F_r$ , maka penampang tersebut dinamakan setengah kompak. Apabila penampang yang memiliki  $F_{cr}$  kurang dari  $F_y$  dikurangi tegangan residu bahan  $F_r$ , maka penampang tersebut dinamakan tidak kompak. Pada profil, yang memiliki dua macam atau lebih rasio  $b/t$ , kolom yang dibebani beban aksial tekan sentris lendutan terbesar terjadi pada bagian plat penyusun kolom yang memiliki rasio  $b/t$  terbesar. Pada plat penyusun kolom yang memiliki rasio  $b/t$  lebih kecil lendutan hanya terjadi pada saat beban mencapai beban kritis (beban terbesar yang mampu ditahan kolom). Pernyataan tersebut dikemukakan oleh Loughlan dan Rhodes (19..).



### 3.2.3 Tegangan Kritis Berdasar AISC

AISC mengemukakan hitungan tegangan kritis yang mempertimbangkan tekuk lokal. Pengaruh tekuk setempat yang terjadi sebelum kekuatan kolom keseluruhan tercapai diperhitungkan dengan mengalikan tegangan maksimum yang dapat dicapai dengan faktor bentuk  $Q$ . Faktor bentuk  $Q$  dipengaruhi oleh bentuk penampang, dimana

$$Q = Q_a \cdot Q_s \quad 3.30$$

Faktor bentuk untuk elemen penampang yang tidak diperkuat adalah  $Q_s$ . Faktor bentuk  $Q_s$  diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{76}{\sqrt{F_y}}\right) \quad 3.31$$

Besar  $Q_s$  menurut AISC adalah,

$$Q_s = 1,340 - 0,00447\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{F_y} \quad 3.32$$

Apabila semua elemen penampang diperkuat maka nilai  $Q_s = 1,0$ .

Faktor bentuk untuk elemen penampang yang diperkuat adalah  $Q_a$ . Faktor bentuk  $Q_a$  diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{238}{\sqrt{F_y}}\right) \quad 3.33$$

Besar  $Q_a$  menurut AISC adalah,

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_{bruto}} \quad 3.34$$

Luas efektif didapatkan dari lebar efektif, besar lebar efektif menurut penelitian AISC yang dilakukan pada baja ringan adalah,

$$\frac{b_E}{t} = \frac{253}{\sqrt{f}} \left( 1 - \frac{50,3}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \quad 3.35$$

dengan  $f$  adalah tegangan yang bekerja pada elemen.

Besar tegangan kritis menurut AISC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan tegangan kritis kolom seperti pada persamaan dibawah ini.

$$F_{cr} = QF_y \left[ 1 - \frac{QF_y}{4\pi^2 E} \left( \frac{KL}{r} \right)^2 \right] \quad 3.36$$

Apabila

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}} \quad 3.37$$

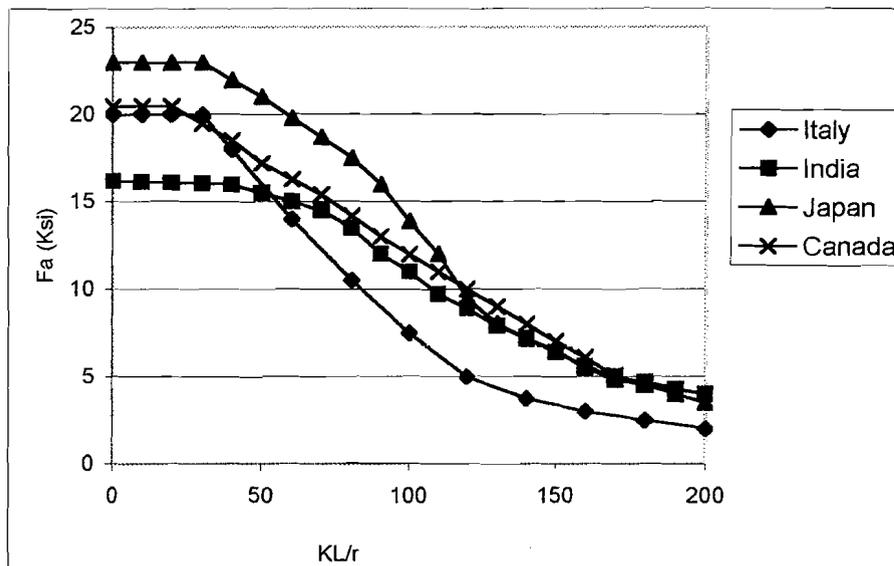
maka

$$F_{cr} = QF_y \left[ 1 - \frac{KL/r^2}{2C_c^2} \right] \quad 3.38$$

Apabila  $KL/r$  lebih dari  $C_c$  maka tegangan kritis yang terjadi adalah,

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad 3.39$$

Penelitian tentang hubungan antara tegangan yang terjadi pada kolom dengan kelangsingan ( $KL/r$ ) yang pernah dilakukan di beberapa negara memiliki bentuk grafik yang hampir sama. Penurunan tegangan kritis relatif kecil pada  $KL/r$  kecil ( $0$  s/d  $\pm 40$ ), penurunan tegangan kritis terjadi relatif besar seiring dengan pertambahan  $KL/r$  untuk  $KL/r = \pm 40$  sampai dengan  $\pm 160$ , dan kembali menjadi relatif datar untuk  $KL/r$  lebih dari  $\pm 160$ . Grafik tersebut terdapat pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Grafik hubungan  $KL/r$  dengan  $F_a$  beberapa negara( Lambert Tall,1974)

### 3.2.3. Hubungan Antara Tekuk Lokal dan Tekuk Lentur

Tekuk lokal dan tekuk lentur dapat terjadi secara bersamaan apabila tegangan kritis plat sama dengan tegangan kritis kolom keseluruhan, seperti pada Persamaan 3.40

$$F_{cr \text{ plat}} = F_{cr \text{ keseluruhan}} \quad 3.40$$

Seperti pada Persamaan 3.13 dan Persamaan 3.18, maka

$$F_{cr \text{ plat}} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad 3.41$$

sehingga,

$$(KL/r) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_{cr \text{ plat}}}} \quad 3.42$$

dengan memasukkan Persamaan 3.28 kedalam Persamaan 3.42, maka

$$(KL/r) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{k\pi^2 E}} \sqrt{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad 3.43$$

$$KL/r = (b/t) \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k}} \quad 3.44$$

dengan  $\mu$  baja = 0,3 , sehingga

$$KL/r = \frac{3,3045(b/t)}{\sqrt{k}} \quad 3.45$$

Dari Persamaan 3.40 sampai Persamaan 3.45 dapat diambil kesimpulan bahwa pada profil baja yang sama apabila semakin panjang batang tersebut maka  $KL/r$  akan semakin besar sehingga  $F_{cr \text{ keseluruhan}}$  akan semakin kecil bahkan bisa lebih kecil dari  $F_{cr \text{ plat}}$ , sehingga keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk keseluruhan kolom. Sebaliknya, pada profil baja yang sama apabila semakin pendek batang tersebut maka  $KL/r$  akan semakin kecil sehingga  $F_{cr \text{ keseluruhan}}$  akan semakin besar bahkan bisa lebih besar dari  $F_{cr \text{ plat}}$ , sehingga keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk lokal kolom.

### 3.2 Hipotesis

Berdasarkan landasan teori dapat diambil hipotesis sebagai berikut:

1. kapasitas kolom bentukan dingin berbanding terbalik dengan besar angka kelangsingan
2. kapasitas kolom bentukan dingin tidak melebihi kapasitas tekuk plat penyusun kolom
3. kapasitas kolom bentukan dingin sebenarnya masih lebih besar dari tegangan ijin rencana.

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 4.1 Metode Penelitian

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

#### 4.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

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

##### 4.2.1 Bahan

a. Baja profil

baja profil yang digunakan adalah *Light Lipped Channel* yang disambungkan pada kedua sisinya dengan cara *front to front*, sehingga membentuk profil *Light Lipped Channel* ganda. Profil *Light Lipped Channel* yang dipakai berdimensi 60x30x10x1,2 mm.

b. Sambungan baja

Sambungan baja profil *Light Lipped Channel* menggunakan alat sambung las.

#### 4.2.2 Peralatan Penelitian

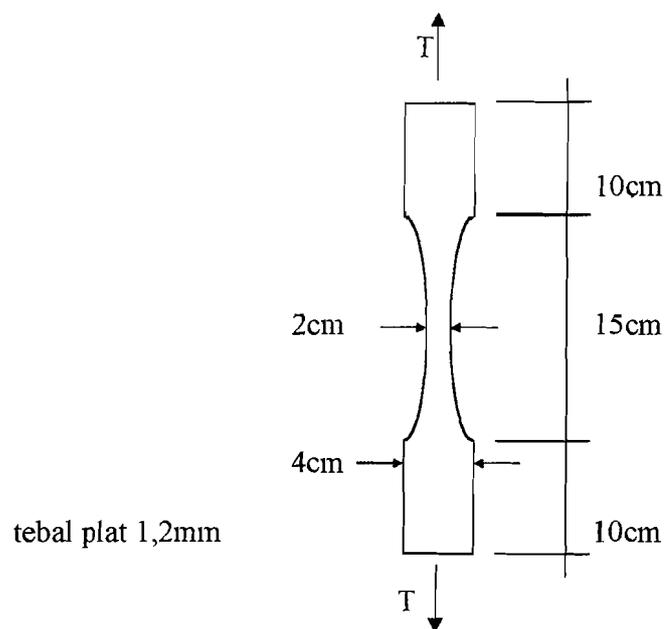
Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- a. Alat pengukur
- b. Mesin uji kuat tarik
- c. Dukungan plat dasar
- d. Loading Frame
- e. Hydraulic jack

#### 4.3 Pembuatan Benda Uji

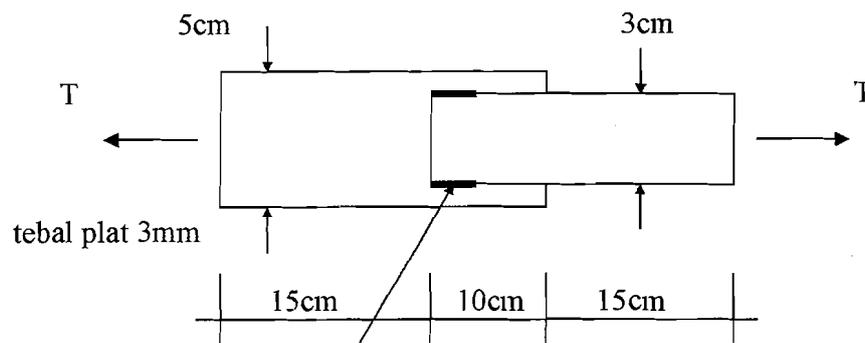
Benda Uji yang akan digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian diuji di laboratorium, benda uji tersebut berupa,

- a. Dua benda uji kuat tarik baja yang diambil dari profil



Gambar 4.1. benda uji kuat tarik baja

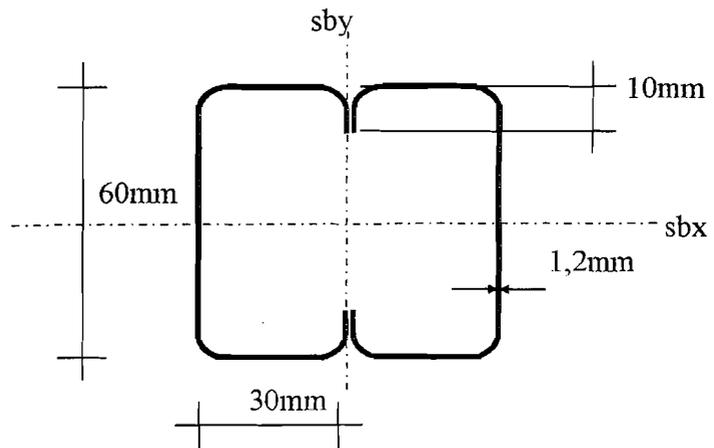
b. Dua benda uji kuat sambungan las



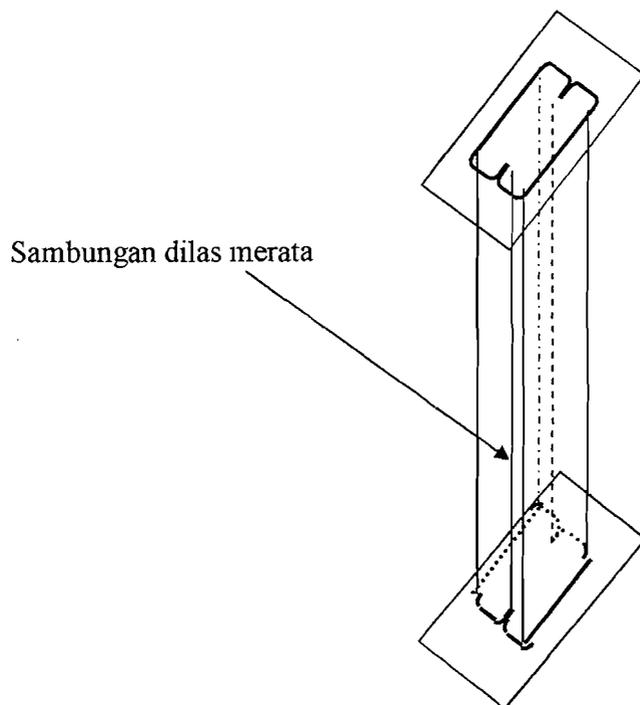
Las 1 cm elektroda E70  
Gambar 4.2. benda uji kuat geser las

Ketebalan dari plat baja yang digunakan dalam pengujian kuat geser las ini berbeda dengan tebal plat penyusun profil *Light Lipped Channel* yang diuji. Plat baja yang digunakan dalam pengujian kuat geser las ini memiliki tebal 3mm, sedangkan pada plat penyusun profil *Light Lipped Channel* yang diuji memiliki ketebalan 1,2 mm. Hal ini dilakukan agar pada waktu pengujian kuat geser las, yang mengalami kerusakan adalah lasnya bukan plat baja yang digunakan.

c. Sembilan benda uji kolom yang terbuat dari dua profil *Light Lipped Channel* dengan ukuran 60x30x10x1,2mm sehingga didapatkan  $I_x=18,63$ ;  $I_y=15,987$ ; luas=3,116 cm<sup>2</sup>;  $r_x=2,445$ ;  $r_y=2,265$  yang dapat dilihat pada gambar 4.3. dengan tinggi masing-masing benda uji adalah 25cm; 50cm; 75cm; 100cm; 125cm; 150cm; 200cm; 250cm; 300cm.yang disatukan dengan alat sambung las merata pada setiap tiap sisi sambungan, seperti pada gambar 4.4.



Gambar 4.3 Penampang *Light Lipped Channel* ganda



Gambar 4.4 Profil dengan variasi panjang batang

Tabel 4.1 Tabel Sampel Pengujian

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom (mm)	Panjang Kolom Uji (mm)
1.	K1	60x30x10x1,2	250
2.	K2	60x30x10x1,2	500
3.	K3	60x30x10x1,2	750
4.	K4	60x30x10x1,2	1000
5.	K5	60x30x10x1,2	1250
6.	K6	60x30x10x1,2	1500
7.	K7	60x30x10x1,2	2000
8.	K8	60x30x10x1,2	2500
9	K9	60x30x10x1,2	3000

#### 4.4 Pengujian Sampel

Tahap-tahap pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini ada dua macam pengujian.

##### 1. Pengujian awal sampel

Pada pengujian awal sampel ini ada dua macam pengujian, yaitu pengujian kuat tarik baja dan pengujian kuat sambungan las baja per sentimeter.

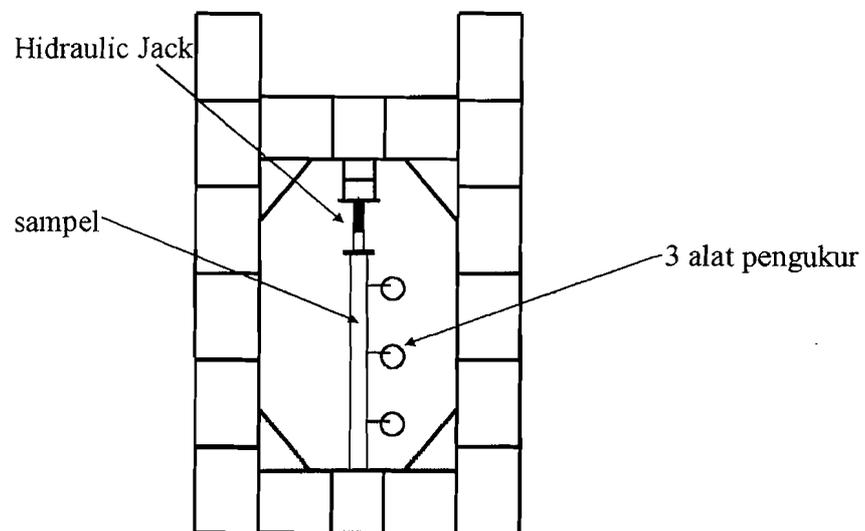
- a. Pengujian kuat tarik baja. Pengujian kuat tarik baja ini dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh baja ( $F_y$ ), tegangan ultimit baja ( $F_u$ ), dan modulus elastis baja ( $E$ ). Pada pengujian ini sampel baja yang diuji adalah seperti pada gambar 4.1.

b. Pengujian kuat sambungan las baja per sentimeter. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan geser las per sentimeter, sehingga akan didapatkan kekuatan las yang sesuai agar pada waktu pengujian sampel kolom bentukan dingin, sampel tidak rusak pada lasnya. Sampel untuk uji kuat geser las dapat dilihat pada gambar 4.2.

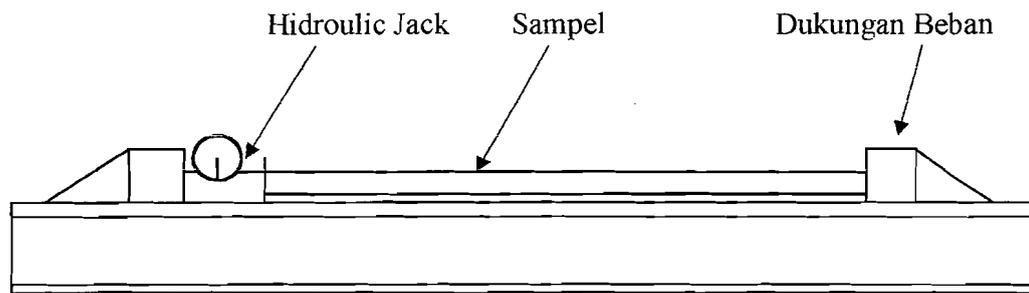
## 2. pengujian sampel

Setelah pengujian awal dilakukan, kemudian sampel kolom bentukan dingin yang telah dibuat dengan variasi tinggi diuji kekuatan tekannya. Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan aksial sentris secara bertahap untuk mengetahui kekuatan tekan pada kolom bentukan dingin. Agar sampel dapat terbebani secara aksial sentris, sebelum sampel diuji terlebih dahulu sampel diberi unting-unting untuk mendapatkan titik tengah dari sampel tersebut., dan dengan unting-unting tadi maka akan diketahui sentris atau tidak benda uji tersebut. Setelah benda uji tersebut sentris maka pengujian tekan dapat dilakukan. Pemasangan alat ukur diletakkan pada sumbu terlemah dari benda uji tersebut, dimana pada benda uji tersebut sumbu terlemah terletak pada sumbu Y. Pengujian sampel pada penelitian ini dilakukan dengan dua cara, yang pertama adalah dengan cara benda uji diuji berdiri. Sampel yang diuji berdiri ini adalah K1,K2,K3,K4,K5,K6. Gambar pengujian berdiri sampel dapat dilihat pada gambar 4.5. Untuk sampel kolom yang

mempunyai tinggi lebih dari 1,5 meter pengujian sampel kolom dilakukan dengan cara tidur. Hal ini dikarenakan tinggi dari alat uji Loading Frame dilaboratorium Mekanika hanya dapat melakukan pengujian sampel sampai dengan tinggi 1,5 meter saja. Prinsip pengujian dengan cara tidur pada dasarnya sama dengan cara berdiri, yaitu pengujian sampel dengan cara pembebanan aksial sentris. Gambar pengujian sampel dengan cara tidur dapat dilihat pada Gambar 4.6. Sampel yang diuji tidur yaitu sampel K7, K8, K9.



Gambar 4.5 Gambar pengujian berdiri



Gambar 4.6 Gambar pengujian tidur

#### 4.5 Analisis Hasil Pengujian

Hasil dari pengujian akan dijadikan data dalam menganalisis perilaku kolom bentukan dingin yang dibebani gaya aksial tekan, dan hubungan antara tekuk lokal dan tekuk lentur kolom berdinding tipis.

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Hasil Pengujian**

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian pendahuluan yang berguna untuk menentukan kekuatan bahan yang dipakai dan pengujian benda uji yang sebenarnya untuk mengetahui kekuatan kolom berdinding tipis. Hasil hasil pengujian akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom berdinding tipis yang menerima beban aksial tekan sentris.

##### **5.1.1 Hasil Uji Pendahuluan**

Hasil uji pendahuluan meliputi dimensi benda uji, beban leleh ( $P_y$ ), beban maksimum atau beban ultimit ( $P_u$ ), dan beban pada saat putus. Hasil uji pendahuluan digunakan untuk menentukan tegangan leleh ( $F_y$ ) dan tegangan ultimit ( $F_u$ ) yang berguna untuk mengetahui perilaku kolom berdinding tipis. Uji pendahuluan juga menguji kekuatan sambungan las.

Hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut,

1. Benda uji tarik I
  - a. luas penampang benda uji =  $24,75\text{mm}^2$
  - b. beban leleh ( $P_y$ ) =  $397,5\text{kg}$
  - c. beban ultimit ( $P_u$ ) =  $527,5\text{kg}$

- d. beban putus = 200kg
2. Benda uji tarik II
- a. luas penampang benda uji =  $23,65\text{mm}^2$
  - b. beban leleh ( $P_y$ ) = 380kg
  - c. beban ultimit ( $P_u$ ) = 532,5kg
  - d. beban putus = 125kg

Kekuatan las diuji dengan menggunakan dua benda uji. Benda uji pertama memiliki panjang las 2,5cm dan beban maksimum 1570kg. Benda uji kedua memiliki panjang las 3cm dan beban maksimum 1770kg.

### 5.1.2 Hasil Pengujian Kolom Bentukan dingin

Hasil yang didapatkan dari pengujian berupa besarnya beban yang bekerja dan defleksi dari kolom. Dari pengujian juga didapatkan beban maksimum yang mampu ditahan oleh kolom yang selanjutnya disebut beban kritis ( $P_{cr}$ ).

Pengukuran lendutan yang terjadi pada kolom dilakukan pada tiga titik yang masing masing titik berjarak  $1/4L$ . Dial pertama (Dial 1) diletakkan pada jarak  $1/4L$  dari tepi yang langsung menerima beban (ujung yang terdapat dongkrak), dial kedua (Dial 2) diletakkan pada jarak  $2/4L$  dari tepi yang langsung menerima beban, dan dial ketiga (Dial 3) diletakkan pada jarak  $1/4L$  dari tepi yang tidak menerima beban (plat dasar dukungan). Untuk kolom yang memiliki panjang 25cm ( $L/r = 11,04$ ) pengukuran hanya dilakukan dengan menggunakan satu dial yang dipasang pada arah vertikal, hal ini dilakukan karena kolom terlalu pendek sehingga tidak memungkinkan apabila digunakan tiga dial untuk mengukur kelengkungan, jadi yang diukur adalah pemendekan kolom bentukan dingin.

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

1. Kolom I (panjang kolom 25cm dan  $L/r = 11,04$ )

Tabel 5.1 Hasil pengujian kolom K1

Beban TON	Pemendekan Vertikal mm
0,0	0
0,5	1,7
1,0	3,4
1,5	6,2
2,0	9,0
2,5	10,6
3,0	12,2
3,5	14,9
4,0	17,6
4,5	20,3
5,0	24,3
5,0	32,0
4,0	41,0

2. Kolom II (panjang kolom 50cm dan  $L/r = 22,07$ )

Tabel 5.2 Hasil pengujian kolom K2

BEBAN TON	Pengukuran defleksi Horisontal (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	3,0	0,8	1,5
1,0	6,6	2,1	2,5
1,5	12,5	6,0	6,2
2,0	19,0	13,0	11,5
2,5	24,5	19,8	16,5
3,0	26,5	21,5	19,0
3,5	25,5	22,0	20,1
4,0	11,0	16,8	19,2
4,5	8,0	14,8	18,0
4,9	-39,0	-19,0	18,0
3,0	-66,0	-38,0	-1,0

3. Kolom III (panjang kolom 75cm dan  $L/r = 33,11$  )

Tabel 5.3 Hasil pengujian kolom K3

BEBAN TON	Pengukuran defleksi Horisontal (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,5	0,1	0,6
1,0	0,6	0,1	1,2
1,5	0,8	0,6	2,5
2,0	1,0	1,4	3,7
2,5	1,1	1,9	6,2
3,0	-0,9	2,0	6,9
3,5	-10,5	-0,9	5,8
4,0	-45,0	-31,0	5,8
4,5	-113,0	-72,0	5,8
4,8	-179,5	-103,5	5,8
3,0	-190,4	-125,5	0,3

4. Kolom IV (panjang kolom 100cm dan  $L/r = 44,15$ )

Tabel 5.4 Hasil pengujian kolom K4

BEBAN TON	Pengukuran defleksi Horisontal (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,0	0,0	0,0
1,0	0,0	0,5	0,0
1,5	0,0	2,0	0,3
2,0	0,2	3,2	0,8
2,5	5,0	7,5	2,8
3,0	7,9	9,5	3,4
3,5	14,2	4,0	4,0
4,0	19,5	9,0	3,0
4,5	20,1	24,6	-1,0
4,8	32,0	39,5	-4,0
4,0	54,0	51,0	14,0
3,5	105,0	166,5	30,8
3,0	163,5	238,0	47,0

5. Kolom V (panjang kolom 125cm dan  $L/r = 55,19$ )

Tabel 5.5 Hasil pengujian kolom K5

BEBAN TON	Pengukuran defleksi Horizontal (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,4	0,0	0,0
1,0	0,5	-0,5	0,0
1,5	0,5	-2,0	-2,2
2,0	0,7	-2,8	-4,9
2,5	4,5	-3,4	-24,8
3,0	16,5	10,7	-33,0
3,5	57,0	35,0	-34,0
4,0	88,0	55,0	-37,5
4,5	151,0	91,0	-24,0
4,5	199,0	128,0	-3,0

6. Kolom VI (panjang kolom 150cm dan  $L/r = 66,22$ )

Tabel 5.6 Hasil pengujian kolom K6

BEBAN TON	Pengukuran defleksi Horizontal (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	10,0	2,7	2,5
1,0	21,5	13,6	7,3
1,5	45,8	31,4	15,6
2,0	61,0	42,0	20,7
2,5	148,0	111,0	53,5
3,0	245,5	172,0	81,1
3,0	334,5	232,0	93,7

7. Kolom VII (panjang kolom 200cm dan  $L/r = 88,3$ )

Tabel 5.7 Hasil pengujian kolom K7

BEBAN TON	Pengukuran defleksi Horizontal (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,00	0,0	0,0	0,0
0,25	-4,4	-5,0	-1,0
0,50	-6,0	-8,2	-3,5
0,75	-6,7	-10,0	-4,0
1,00	-7,8	-12,0	-7,0
1,25	-8,6	-17,0	-18,0
1,50	-5,0	-16,5	-19,2
1,75	-3,5	-16,5	-19,4
2,00	3,0	-16,5	-19,6
2,25	9,5	-10,0	-20,5
2,50	25,0	-2,0	-20,0
2,50	63,5	21,5	-15,0
2,50	124,0	114,0	18,0
2,25	192,0	219,0	59,5
2,00	314,5	336,0	178,5
1,50	339,0	375,0	207,5

8. Kolom VIII (panjang kolom 250cm dan  $L/r = 110,37$ )

Tabel 5.8 Hasil pengujian kolom K8

BEBAN TON	Pengukuran defleksi Horizontal (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,00	0,0	0,0	0,0
0,25	-8,3	-36,3	-7,0
0,50	-0,6	-19,5	6,0
0,75	5,7	-7,0	17,5
1,00	5,7	-0,2	26,0
1,25	9,0	21,0	47,0
1,50	19,2	46,3	66,3
1,75	25,4	47,8	72,5
2,00	33,0	79,7	103,0
2,25	55,0	193,5	150,0
2,00	119,0	325,0	181,0
2,00	169,0	390,0	216,0

9. Kolom IX (panjang kolom 300cm dan  $L/r = 132,45$ )

Tabel 5.9 Hasil pengujian kolom K9

BEBAN TON	Pengukuran defleksi Horizontal (mm)		
	Dial 1	Dial 2	Dial 3
0,00	0,0	0,0	0,0
0,25	-21,0	-10,0	1,0
0,50	-19,8	-8,2	1,2
0,75	-18,7	-7,9	1,2
1,00	-15,3	-1,2	2,2
1,25	-12,5	3,8	4,0
1,50	-10,5	8,0	13,0
1,75	-3,5	22,0	20,5
2,00	4,9	60,5	42,0
2,00	55,0	132,0	85,5
2,00	111,0	244,5	142,8

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Pembahasan Uji Pendahuluan

Data yang diperoleh dari uji pendahuluan berguna untuk mendapatkan properti dari baja yang digunakan dalam pengujian. Tegangan leleh ( $F_y$ ) didapatkan dengan membagi beban leleh dengan luas penampang ( $F_y = P_y/A$ ). Tegangan ultimit ( $F_u$ ) didapatkan dengan membagi beban maksimum dengan luas penampang ( $F_u = P_u/A$ ). Kekuatan las didapatkan dengan membagi beban maksimum dengan luas efektif las, sehingga tegangan las diketahui dengan cara tersebut.

Hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut,

1. Benda uji tarik I
  - a. tegangan leleh ( $F_y$ ) = 157,55Mpa
  - b. tegangan ultimit ( $F_u$ ) = 209,08Mpa
  - c. tegangan putus = 79,27Mpa.
2. Benda uji tarik II

- a. tegangan leleh ( $F_y$ ) = 157,62MPa
- b. tegangan ultimit ( $F_u$ ) = 220,88MPa
- c. tegangan putus = 51,84MPa.

Rerata hasil kedua benda uji tarik adalah yang digunakan sebagai mutu bahan benda uji yang digunakan. Rerata kedua benda uji tersebut adalah sebagai berikut,

1. Tegangan leleh ( $F_y$ ) = 157,59MPa
2. Tegangan ultimit ( $F_u$ ) = 214,98MPa
3. Tegangan putus = 65,56Mpa.

Hasil pengujian tarik baja diatas menunjukkan mutu baja yang digunakan dalam penelitian. Mutu baja yang digunakan dalam penelitian tidak memenuhi syarat untuk masuk sebagai baja struktur spesifikasi ASTM. Berdasarkan spesifikasi ASTM mutu baja terendah adalah A570 yang memiliki tegangan leleh ( $F_y$ ) 170Mpa.

Kekuatan las diuji dengan menggunakan dua benda uji. Benda uji pertama memiliki panjang las 2,5cm dan beban maksimum 1570kg, sehingga kekuatan las 5,79KN/cm. Benda uji kedua memiliki panjang las 3cm dan beban maksimum 1770kg, sehingga kekuatan las 6,16KN/cm. Jadi, rerata kekuatan las adalah 5,97KN/cm. Tebal plat benda uji adalah 3mm dengan proses SMAW diketahui tebal efektif ( $t_e$ ) adalah 2,121mm ( $t_e = 0,707 a$ ). Rerata tegangan ultimit las  $F_u$  adalah 281,67Mpa.

## **5.2.2 Pembahasan Kolom Bentuk dingin**

### **5.2.2.1 Beban Kritis ( $P_{cr}$ )**

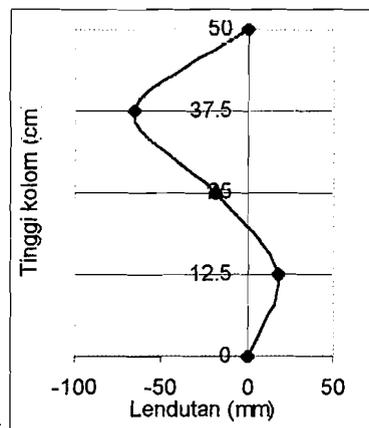
Beban kritis ( $P_{cr}$ ) yang terjadi pada masing-masing kolom dan bentuk deformasi kolom pada saat terjadi beban kritis ( $P_{cr}$ ) ditentukan berdasarkan hasil

pengujian (Tabel 5.1 sampai dengan Tabel 5.9). Beban kritis ( $P_{cr}$ ) yang terjadi pada masing-masing kolom ditampilkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Beban kritis ( $P_{cr}$ ) kolom

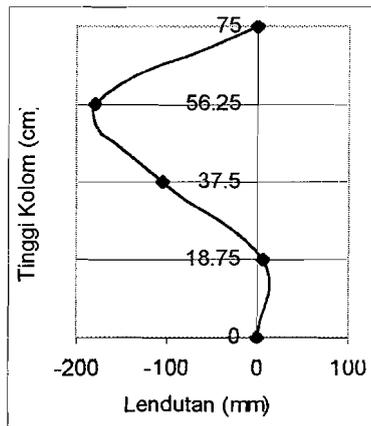
No	Sampel	L/r	P <sub>cr</sub> (ton)
1	K1	11,04	5,00
2	K2	22,07	4,90
3	K3	33,11	4,80
4	K4	44,15	4,75
5	K5	55,19	4,50
6	K6	66,22	3,00
7	K7	88,3	2,50
8	K8	110,37	2,25
9	K9	132,45	2,00

Pada saat terjadi beban kritis ( $P_{cr}$ ) bentuk deformasi kolom dapat ditentukan dengan cara memilih defleksi yang terbaca pada masing-masing dial pada saat terjadi beban kritis kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga dapat dilihat bentuk deformasi kolom. Bentuk deformasi kolom dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.8.

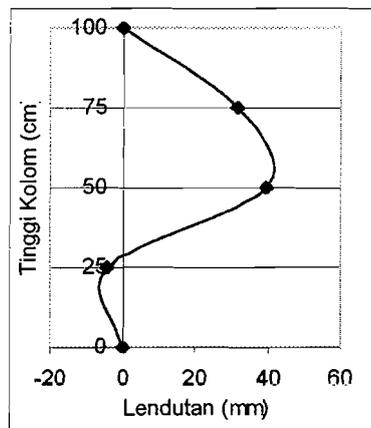


Gambar 5.1 Deformasi kolom K2 pada saat kritis.

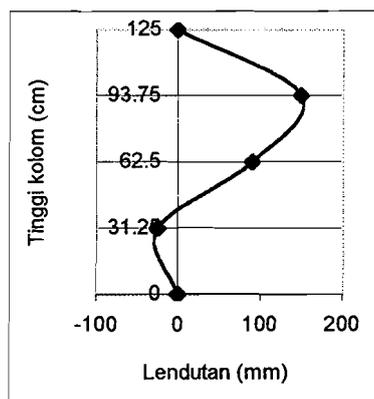




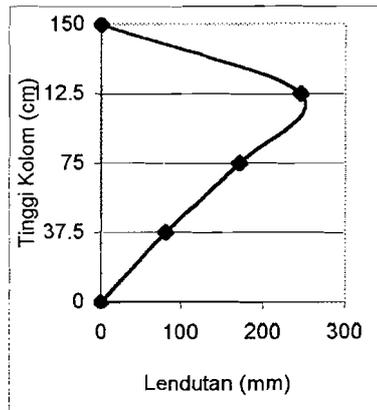
Gambar 5.2 Deformasi kolom K3 pada saat kritis.



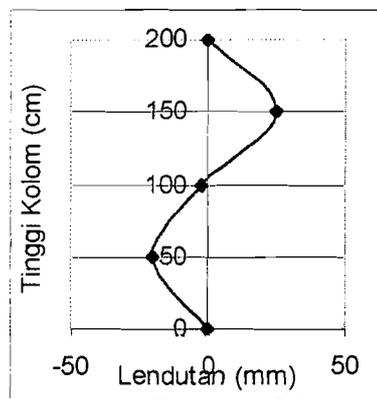
Gambar 5.3 Deformasi kolom K4 pada saat kritis.



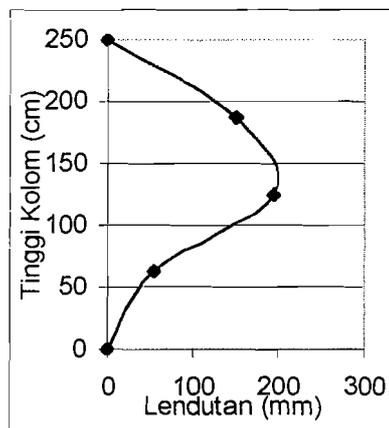
Gambar 5.4 Deformasi kolom K5 pada saat kritis.



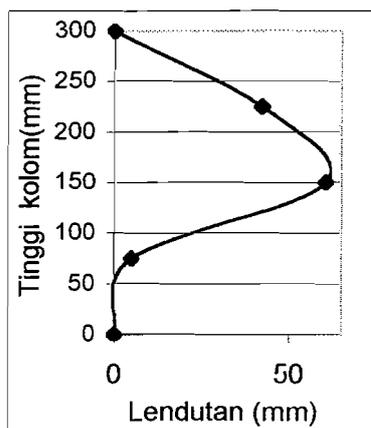
Gambar 5.5 Deformasi kolom K6 pada saat kritis.



Gambar 5.6 Deformasi kolom K7 pada saat kritis.



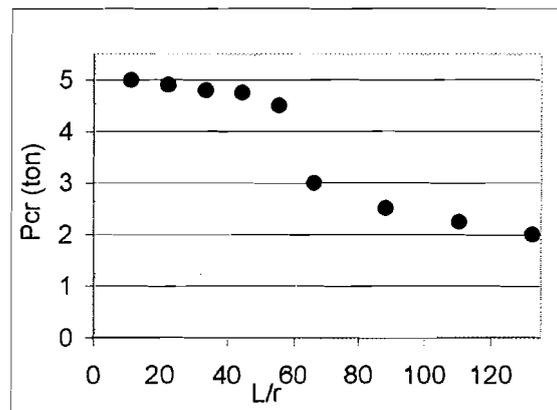
Gambar 5.7 Deformasi kolom K8 pada saat kritis.



Gambar 5.8 Deformasi kolom K9 pada saat kritis.

Berdasarkan grafik deformasi pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa tidak ada bentuk deformasi kolom yang tetap untuk semua benda uji. Kolom K2, K3, K4, K5, dan K7 bentuk deformasi merupakan kelengkungan ganda, sedangkan kolom K6, K8, dan K9 bentuk deformasi merupakan kelengkungan tunggal. Ketidaksamaan bentuk deformasi terjadi karena kondisi tumpuan tidak bisa seperti asumsi sendi-sendi. Berdasarkan Gambar 5.8 dapat dilihat ada pengekangan pada salah satu tumpuan sehingga tumpuan memiliki sifat jepit. Berdasarkan hal tersebut maka dapat diambil kesimpulan bahwa asumsi kondisi tumpuan yang merupakan tumpuan sendi-sendi tidak memenuhi syarat yang disebabkan oleh keterbatasan alat yang digunakan dalam pengujian. Ketidaksamaan bentuk deformasi tersebut menyebabkan faktor panjang efektif  $K$  pada setiap benda uji kolom tidak sama. Karena tidak faktor panjang efektif  $K$  maka untuk pembahasan selanjutnya kelangsingan hanya ditunjukkan dengan rasio  $L/r$ .

Data Beban kritis  $P_{cr}$  pada Tabel 5.10 dapat disajikan dalam bentuk grafik  $P_{cr}$  yang merupakan fungsi dari  $L/r$ . Gambar grafik  $P_{cr}$  yang merupakan fungsi dari  $L/r$  dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik  $P_{cr}$  hasil pengujian.

Berdasarkan Gambar 5.9,  $P_{cr}$  berubah sebanding dengan pertambahan  $L/r$ . Perubahan beban kritis ( $P_{cr}$ ) tersebut terjadi secara perlahan pada  $L/r$  kecil kemudian terjadi perubahan besar dan kemudian kembali terjadi perubahan yang relatif kecil untuk  $L/r$  besar. Bentuk grafik hubungan kelangsingan ( $L/r$ ) dengan beban kritis ( $P_{cr}$ ) hampir sama dengan bentuk grafik penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan di beberapa negara (Gambar 3.8).

Grafik pada Gambar 5.9 masih kasar sehingga perlu diperhalus dengan regresi. Regresi dapat digunakan untuk memperkirakan beban kritis ( $P_{cr}$ ) untuk setiap angka kelangsingan. Regresi yang digunakan adalah regresi linier untuk  $L/r$  yang kurang dari 50 dan untuk  $L/r$  lebih dari 50 menggunakan regresi fungsi eksponensial. Persamaan regresi linier seperti pada Persamaan 5.1 dan regresi eksponensial Persamaan 5.2.

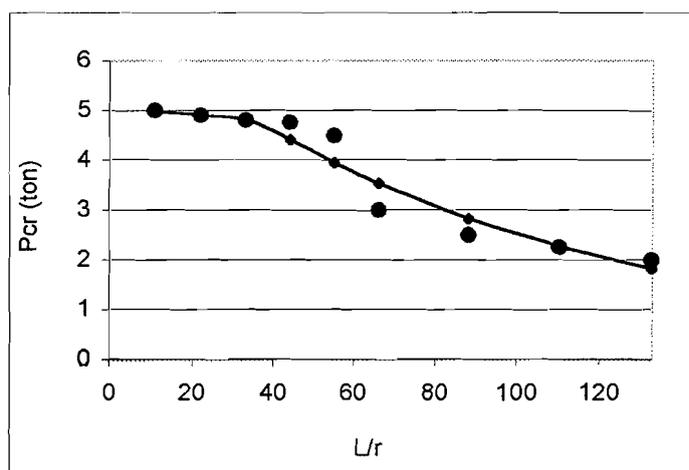
$$P_{cr} = 5,074995 - 0,0077 \left( \frac{L}{r} \right) \quad 5.1$$

$$P_{cr} = 6.868224e^{-0,010027 \left( \frac{L}{r} \right)} \quad 5.2$$

Tabel 5.11 Regresi beban

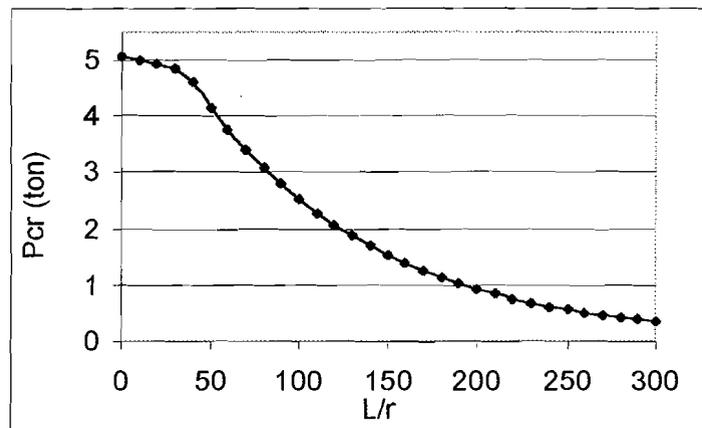
No	BENDA UJI	L/r	Beban (ton)	Beban Reg (ton)
1	K1	11,04	5,0	4,99
2	K2	22,07	4,9	4,91
3	K3	33,11	4,8	4,82
4	K4	44,15	4,75	4,41
5	K5	55,19	4,5	3,95
6	K6	66,22	3,0	3,54
7	K7	88,3	2,5	2,83
8	K8	110,37	2,25	2,27
9	K9	132,45	2,0	1,82

Setelah diregresi hasil pengujian menjadi seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 5.10 Perbandingan beban pengujian dan beban regresi

Beban kritis yang merupakan data tereregresi ditunjukkan oleh garis pada Gambar 5.10 sedangkan beban kritis yang merupakan data hasil pengujian laboratorium ditunjukkan oleh titik-titik bulat pada Gambar 5.10. Persamaan 5.1 dan 5.2 dapat digunakan untuk menentukan beban kritis ( $P_{cr}$ ) untuk setiap angka kelangsingan  $L/r$ . Gambar 5.11 menampilkan beban kritis untuk angka kelangsingan  $L/r$  lebih dari 0 sampai dengan 300.



Gambar 5.11 Grafik beban kritis ( $P_{cr}$ ) fungsi kelangsingan ( $L/r$ ) untuk nilai  $L/r$  lebih dari 0 sampai dengan 300

#### 5.2.2.2 Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ )

Tegangan yang terjadi pada masing-masing kolom dapat diketahui dengan membagi beban yang terjadi dengan luas penampang kolom ( $F = P / A$ ). Salah satu contoh perhitungan tegangan kritis adalah sebagai berikut,

Kolom K1

$$F_{cr} = \frac{P}{A}$$

dimana  $P_{cr} = 4,99$  ton, Luas tampang  $A = 3.116 \text{ cm}^2$ , maka,

$$F_{cr} = \frac{4,99 \times 1000 \times 9,81}{3.116 \times 10^{-4}}$$

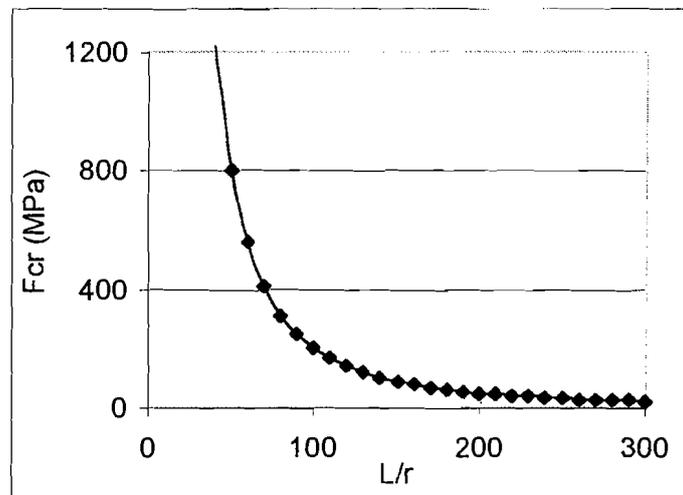
$$F_{cr} = 157098114,473684 \text{ Pa}$$

$$F_{cr} = 157,10 \text{ Mpa}$$

Proses penghitungan tegangan kritis untuk kolom K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, dan K9 sama seperti contoh dan kemudian disajikan dalam bentuk tabel. Tabel tegangan kritis untuk semua kolom terdapat pada Tabel 5.12,

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) tekuk keseluruhan adalah Persamaan 3.30. Persamaan 3.30 Besar  $F_{cr}$  tergantung kelangsingan  $L/r$  sehingga  $F_{cr}$  besarnya selalu berubah sebanding dengan pertambahan angka kelangsingan ( $L/r$ ).

Tegangan kritis *Euler* berdasarkan Persamaan 3.30 ditampilkan dalam Gambar 5.15



Gambar 5.15 Grafik Tegangan kritis *Euler*

#### 5.2.2.4.2. Hitungan Tegangan Berdasar AISC

AISC mengemukakan hitungan tegangan ijin yang mempertimbangkan tekuk lokal. Pengaruh tekuk setempat yang terjadi sebelum kekuatan kolom keseluruhan tercapai diperhitungkan dengan mengalikan tegangan maksimum yang dapat dicapai dengan faktor bentuk  $Q$ . Faktor bentuk  $Q$  dipengaruhi oleh bentuk penampang, dimana

$$Q = Q_a \cdot Q_s$$

Faktor bentuk untuk elemen penampang yang tidak diperkuat adalah  $Q_s$ . Faktor bentuk  $Q_s$  diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{76}{\sqrt{F_y}}\right)$$

Besar  $Q_s$  menurut AISC adalah,

$$Q_s = 1,340 - 0,00447\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{F_y}$$

Apabila semua elemen penampang diperkuat maka nilai  $Q_s = 1,0$ . Penelitian ini profil yang menggunakan profil *Light Lipped Channel* ganda yang disatukan secara *front to front* hingga membentuk penampang kotak. Semua elemen plat pembentuknya merupakan elemen yang diperkuat sehingga memiliki nilai  $Q_s = 1,0$ .

Faktor bentuk untuk elemen penampang yang diperkuat adalah  $Q_a$ . Faktor bentuk  $Q_a$  diperhitungkan apabila,

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{238}{\sqrt{F_y}}\right)$$

Penelitian ini penampang yang digunakan tegangan leleh  $F_y = 22,51$  Ksi memiliki rasio  $b/t$  terbesar adalah 50 (lebar profil 60mm dan tebal 1,2mm),

$$\left(\frac{60}{1,2}\right) > \left(\frac{238}{\sqrt{22,51}}\right)$$

$$b/t = 50 < 50,16$$

Berdasarkan hitungan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa tekuk setempat tidak mengurangi efisiensi penampang, sehingga  $Q_a = 1$ .

Besar tegangan kritis menurut AISC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan tegangan kritis kolom seperti pada persamaan dibawah ini.

$$F_{cr} = QF_y \left[ 1 - \frac{QF_y}{4\pi^2 E} \left( \frac{KL}{r} \right)^2 \right]$$

Apabila

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

maka

$$F_{cr} = QF_y \left[ 1 - \frac{KL/r^2}{2C_c^2} \right]$$

Apabila  $KL/r$  lebih dari  $C_c$  maka tegangan kritis yang terjadi adalah,

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

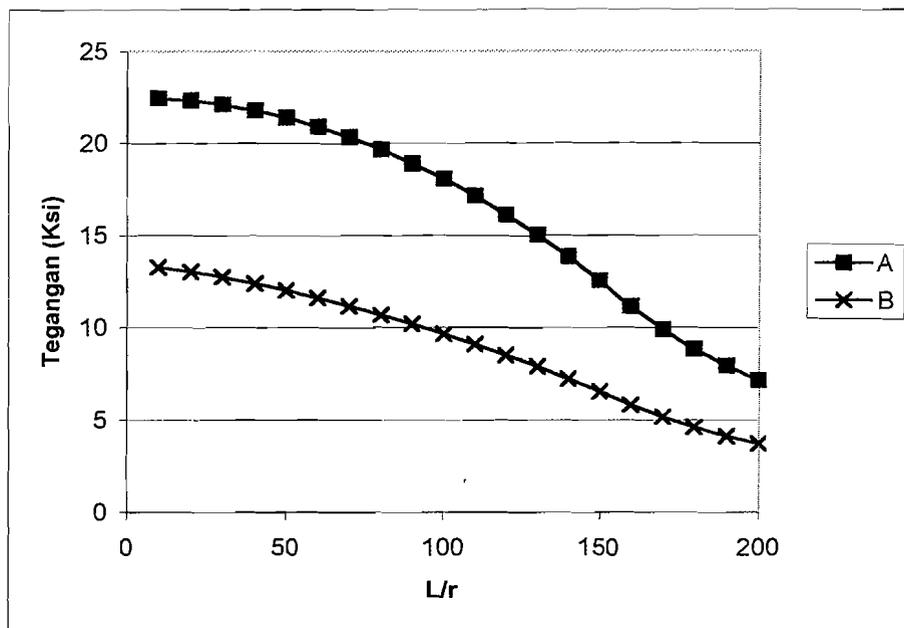
Tegangan ijin  $F_a$  menurut AISC dapat ditentukan dengan mereduksi tegangan kritis dengan faktor keamanan  $FS$ . Tegangan kritis  $F_{cr}$  dan tegangan ijin  $F_a$  dihitung karena akan dibandingkan dengan tegangan kritis  $F_{cr}$  pengujian.

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left( \frac{KL/r}{C_c} \right) - \frac{1}{8} \left( \frac{KL/r}{C_c} \right)^3$$

Apabila  $KL/r$  lebih dari  $C_c$ , AISC menetapkan faktor keamanan  $FS$  sebesar 23/12 ( $FS = 23/12$  atau 1,92). Tegangan ijin menurut AISC adalah

$$F_a = F_{cr} / FS$$

Hitungan selanjutnya dapat dilakukan untuk semua nilai  $L/r$ . Besar tegangan kritis  $F_{cr}$  dan tegangan ijin  $F_a$  ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik yang menampilkan tegangan kritis  $F_{cr}$  dan tegangan ijin  $F_a$  dapat dilihat pada Gambar 5.16.



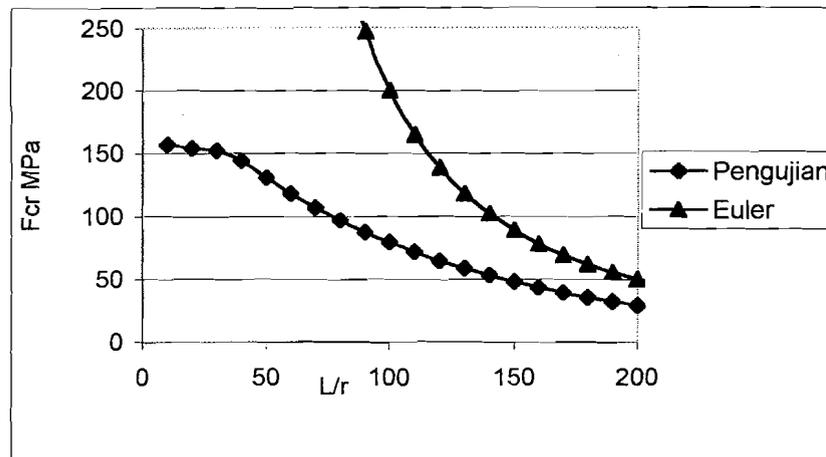
Gambar 5.16 Grafik Tegangan berdasarkan AISC

Grafik A pada Gambar 5.16 adalah tegangan kritis  $F_{cr}$  berdasarkan AISC yang tidak menyertakan faktor reduksi tegangan (faktor keamanan  $FS$ ). Grafik B pada Gambar 3.16 adalah tegangan ijin  $F_a$  berdasarkan AISC yang telah direduksi oleh faktor keamanan  $FS$  sehingga nilainya lebih kecil dari Grafik A.

### 5.2.2.5. Perbandingan Tegangan Teoritis dengan Hasil Pengujian

#### 5.2.2.5.1 Perbandingan Tegangan Kritis *Euler* dengan Hasil Pengujian

Tegangan yang mampu ditahan oleh kolom bentukan dingin adalah seperti hasil dari pengujian, sedangkan tegangan berdasarkan *Euler* didapatkan berdasarkan hitungan. Perbandingan tegangan Euler dan tegangan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.17.



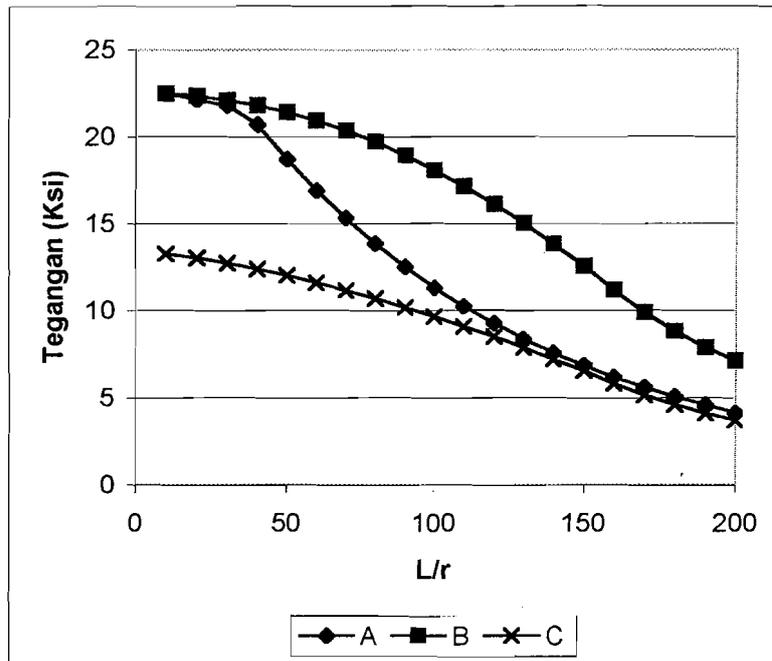
Gambar 5.17 Perbandingan tegangan kritis Euler dengan hasil pengujian

Persamaan Euler menghasilkan tegangan yang sangat besar. Seperti pada Gambar 5.17, tegangan Euler lebih besar dari tegangan yang sebenarnya mampu ditahan oleh kolom bentukan dingin. Hal ini terjadi karena dalam persamaan Euler tidak memperhitungkan tegangan leleh ( $F_y$ ), besar tegangan Euler hanya dipengaruhi oleh angka kelangsingan ( $L/r$ ) dan modulus elastisitas baja ( $E$ ).

Kolom dengan angka kelangsingan  $L/r$  kecil memiliki tegangan kritis Euler sangat besar bahkan mendekati tak terhingga sedangkan pada pengujian kolom tersebut memiliki tegangan kritis yang besarnya hampir sama dengan tegangan leleh ( $F_y$ ) bahan penyusun kolom tersebut. Hal ini membuktikan bahwa kemungkinan besar tegangan kritis kolom mendekati besar tegangan kritis Euler sangat kecil.

#### 5.2.2.5.2 Perbandingan Tegangan AISC dengan Hasil Pengujian

Perbandingan tegangan ijin AISC dengan hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 5.18



Gambar 5.18 Perbandingan tegangan ijin AISC dengan hasil pengujian

Grafik B pada Gambar 5.18 menunjukkan tegangan kritis  $F_{cr}$  berdasarkan AISC dan grafik C adalah grafik tegangan ijin  $F_a$  berdasarkan AISC, sedangkan Grafik A adalah tegangan yang berdasarkan hasil pengujian. Gambar 5.18 menunjukkan bahwa tegangan sebenarnya (berdasarkan hasil pengujian) yang dapat ditahan oleh kolom bentukan dingin (grafik A) lebih rendah dari tegangan kritis  $F_{cr}$  AISC (grafik B). Gambar 5.18 menunjukkan bahwa tegangan sebenarnya (berdasarkan hasil pengujian) yang dapat ditahan oleh kolom bentukan dingin (grafik A) lebih besar dari tegangan ijin  $F_a$  AISC (grafik C), hal ini menunjukkan bahwa angka keamanan yang digunakan masih memadai untuk digunakan.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan pengolahan data hasil pengujian. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Kapasitas kolom tersusun penampang kotak dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan secara *front to front* dipengaruhi oleh kelangsingan  $L/r$ , semakin besar nilai kelangsingan semakin kecil kapasitas kolom, dan kapasitas (tegangan kritis  $F_{cr}$ ) terbesar adalah mendekati/sama dengan tegangan leleh  $F_y$ .
2. Koefisien tekuk plat  $k$  kolom tersusun penampang kotak dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan secara *front to front* adalah 2,14.
3. Tidak ada keseragaman bentuk deformasi kolom yang disebabkan oleh kondisi dukungan pada saat pengujian tidak sesuai dengan asumsi sendi-sendi karena keterbatasan alat pendukung pengujian.
4. Tegangan kritis yang terjadi berdasarkan hasil pengujian laboratorium masih lebih besar dibandingkan tegangan ijin perencanaan berdasarkan pedoman AISC.

## 6.2 Saran

Penelitian ini masih banyak kekurangan, banyak hal yang masih diteliti lebih lanjut. Kekurangan yang masih perlu diperhatikan pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Benda uji yang digunakan masih kurang banyak.
2. Perlu diadakan penelitian untuk kolom dengan angka kelangsingan yang lebih besar.
3. Perlu diadakan penelitian untuk kolom yang tersusun dari dua profil *Light Lipped Channel* yang disatukan secara *back to back*.
4. Perlu diadakan penelitian untuk bentuk penampang yang sama tetapi memiliki dimensi penampang berbeda.
5. Perlunya penggunaan alat bantu pengujian yang lebih baik yang sesuai dengan asumsi kondisi tumpuan sendi-sendi.

## DAFTAR PUSTAKA

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

Edwin H. Gaylord dan Charles N. Gaylord, 1972, **DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, McGraw-Hill Kogasuka, Ltd.

Joseph E. Bowles, 1985, **STRUCTURAL STEEL DESIGN**, McGraw-Hill Book Company, Inc.

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

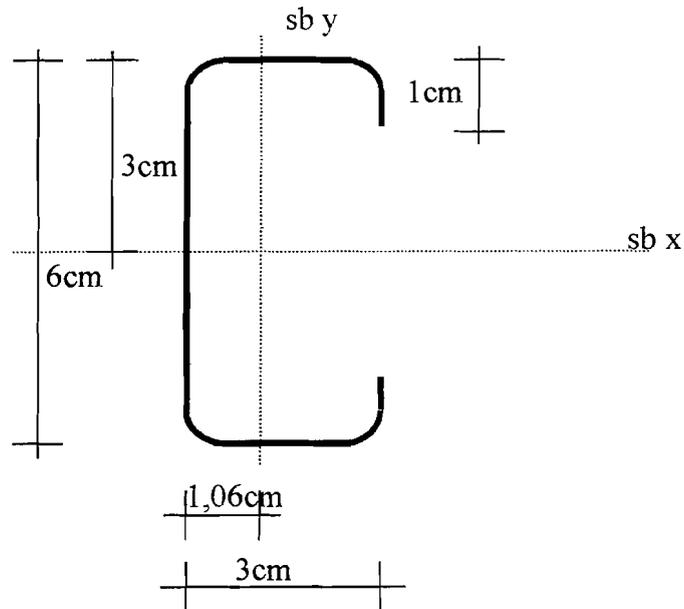
Lambert Tall, 1977, **STRUCTURAL SREEL DESIGN** Second Edition, The Ronald Press Company, NewYork.

V.N. Vazirani dan M.M. Ratwani, 1977, **STEEL STRUCTURES**, Khanna Publishers, Delhi.

J. Louhglan dan J. Rodhes, 19.., **THE INTERACTIVE BUCLKING OF LIPPED CHANNEL UNDER CONCENTRIC OR ECCENTRIC LOADING**, Ward Brothers (Sherburn) Ltd, Yorkshire, University of Strathcyle.

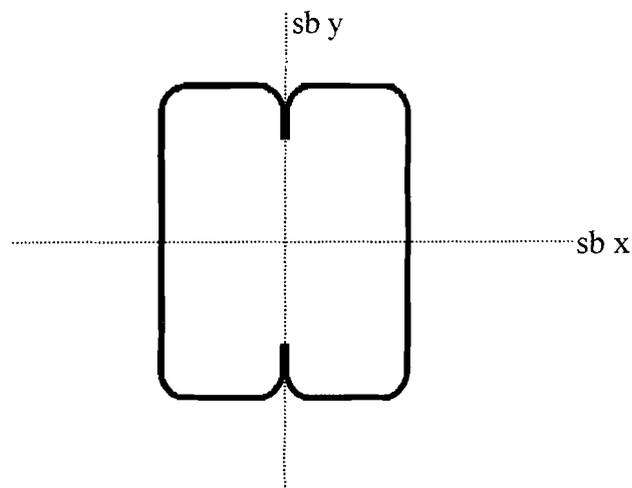
# Lampiran I

## Hitungan Properti Dimensi Benda Uji



Properti *Light Lipped Channel*

Luas penampang (A) : 1,558cm<sup>2</sup>  
Ix : 9,314cm<sup>4</sup>  
Iy : 2,13cm<sup>4</sup>



Properti *Light Lipped Channel* ganda front to front

Luas penampang gabungan ( $A_{gab}$ )

$$\begin{aligned} A_{gab} &= 2 \cdot A \\ &= 2 \cdot 1,558 \\ &= 3,116\text{cm}^2 \end{aligned}$$

Inersia gabungan

$$\begin{aligned} I_{x_{gab}} &= 2 \cdot I_x \\ &= 18,63 \text{ cm}^4 \\ I_{y_{gab}} &= 2(I_y + A(3-1,06)^2) \\ &= 2(2,13 + 1,558 \cdot 1,94^2) \\ &= 15,987 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

radius girasi

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

radius girasi terhadap sumbu x

$$\begin{aligned} r_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\ &= 2,445 \text{ cm} \end{aligned}$$

radius girasi terhadap sumbu y

$$\begin{aligned} r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} \\ &= 2,265 \text{ cm} \end{aligned}$$

# Lampiran 2

## Regresi Linear

Regresi linear menggunakan data dari hasil pengujian kolom K1, K2, K3, dan K4 karena data tersebut mendekati bentuk linear. Persamaan regresi adalah,

$$y = a + bx$$

Benda uji	$x = L/r$	$y = P$	$X^2$	$xy$
K1	11,04	5,00	121,8816	55,2
K2	22,07	4,90	487,0849	108,143
K3	33,11	4,80	1096,272	158,928
K4	44,15	4,75	1949,223	209,7125
Jumlah	110,37	19,45	3654,461	531,9835

Dari tabel diatas dimasukkan persamaan

$$\begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \end{bmatrix}$$

$n$  = jumlah data

sehingga

$$\begin{bmatrix} 4 & 110,37 \\ 110,37 & 3654,461 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19,45 \\ 531,9835 \end{bmatrix}$$

maka

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5,074995 \\ -0,0077 \end{bmatrix}$$

persamaan regresi menjadi,

$$P = 5,074995 - 0,0077 (L/r)$$

## Regresi Lengkung

Regresi lengkung menggunakan data dari hasil pengujian kolom K4, K5, K6, K7, K8, dan K9 karena data tersebut mendekati bentuk lengkung. Persamaan regresi adalah,

$$y = k_1 e^{-k_2 x}$$

Benda uji	$x$	$y$	$\ln(y)$	$x^2$	$(x \cdot \ln y)$
K4	44,15	4,75	1,558145	1949,223	68,79208
K5	55,19	4,50	1,504077	3045,936	83,01003
K6	66,22	3,00	1,098612	4385,088	72,75011
K7	88,3	2,50	0,916291	7796,89	80,90847
K8	110,37	2,25	0,81093	12181,54	89,50237
K9	132,45	2,00	0,693147	17543,00	91,80734
Jumlah	496,68		6,581202	46901,68	486,7704

Dari tabel diatas dimasukkan persamaan

$$\begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum (\ln y) \\ \sum x(\ln y) \end{bmatrix}$$

$n$  = jumlah data

sehingga

$$\begin{bmatrix} 6 & 496,68 \\ 496,68 & 46901,68 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6,581202 \\ 486,7704 \end{bmatrix}$$

maka

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,956906 \\ -0,010027 \end{bmatrix}$$

karena

$$a = \ln k_1$$

maka

$$\begin{aligned} k_1 &= e^a \\ &= e^{1,926906} \\ &= 6,868224 \end{aligned}$$

karena

$$k_2 = -b$$

maka

$$k_2 = 0,010027$$

sehingga persamaan regresi menjadi

$$P = 6,868224e^{-0,010027(L/r)}$$

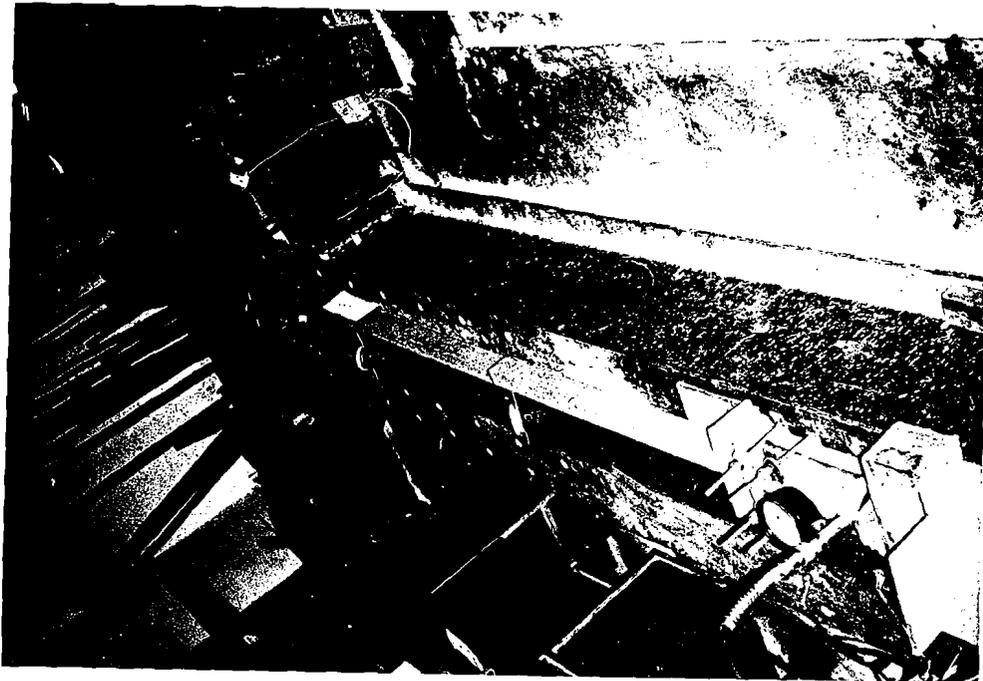
# Lampiran 3

**Tabel Hitungan Perbandingan Tegangan**

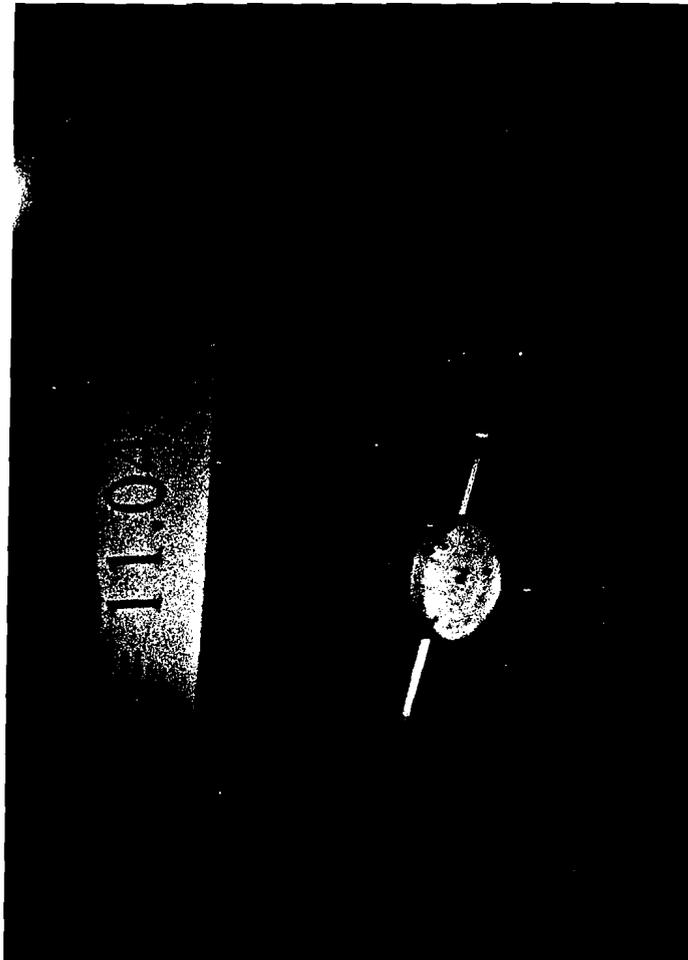
L/r	Fy Ksi	Fcr Lab Ksi	Fcr AISC Ksi	FS	Fa AISC Ksi	Euler Ksi
0	22.51	22.82	22.51	1.67	13.51	-
10	22.51	22.48	22.47	1.69	13.29	2859.28
20	22.51	22.13	22.34	1.71	13.04	714.82
30	22.51	21.79	22.11	1.74	12.74	317.70
40	22.51	20.68	21.80	1.76	12.40	178.71
50	22.51	18.71	21.40	1.78	12.02	114.37
60	22.51	16.93	20.92	1.80	11.61	79.42
70	22.51	15.31	20.34	1.82	11.17	58.35
80	22.51	13.85	19.68	1.84	10.70	44.68
90	22.51	12.53	18.92	1.86	10.20	35.30
100	22.51	11.33	18.08	1.87	9.66	28.59
110	22.51	10.25	17.15	1.88	9.10	23.63
120	22.51	9.27	16.13	1.90	8.51	19.86
130	22.51	8.39	15.02	1.90	7.89	16.92
140	22.51	7.59	13.83	1.91	7.23	14.59
150	22.51	6.86	12.54	1.92	6.55	12.71
160	22.51	6.21	11.17	1.92	5.83	11.17
170	22.51	5.62	9.89	1.91	5.16	9.89
180	22.51	5.08	8.82	1.91	4.60	8.82
190	22.51	4.60	7.92	1.90	4.13	7.92
200	22.51	4.16	7.15	1.89	3.73	7.15

# Lampiran 4

Gambar pengujian kolom dengan  $L_p = 132,45$  (panjang 3m)



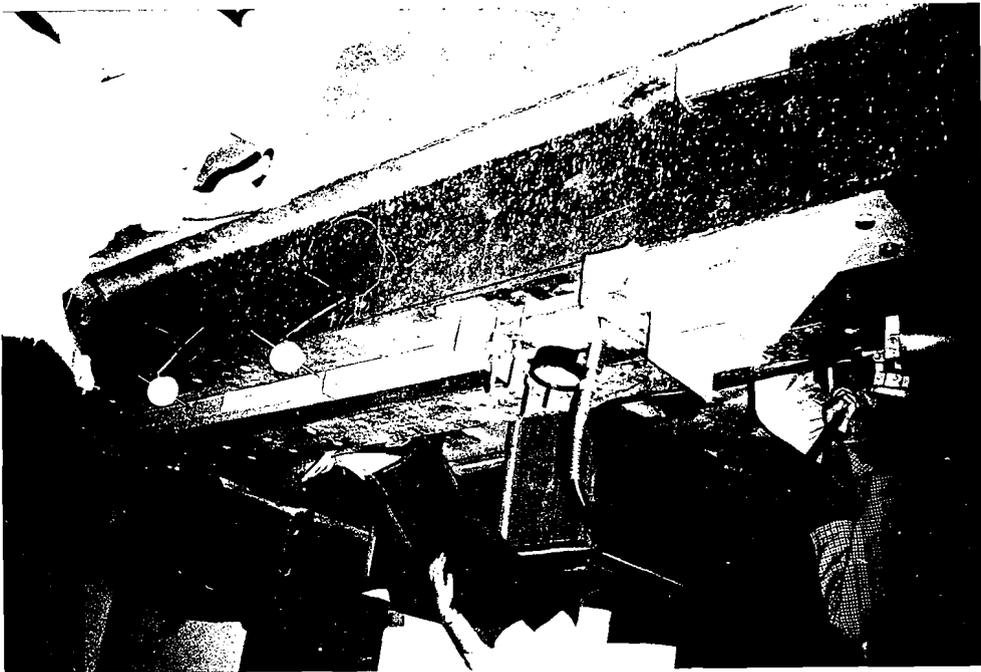
Gambar pengujian kolom dengan  $k_r = 11,04$



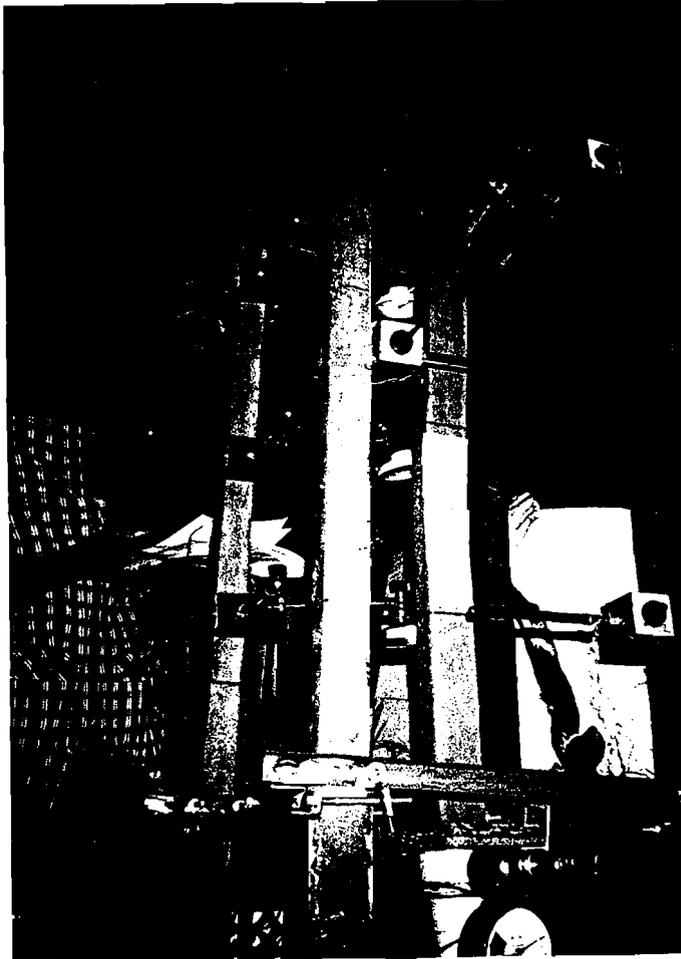
Gambar pengujian kolom dengan  $L_r = 110,37$  (panjang 2,5m)



Gambar pengujian kolom dengan  $L_r = 88,30$  (panjang 2m)



Gambar pengujian kolom dengan  $L/r = 44,15$



**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID. STUDI
1	Bambang Kristiawan	98511145	Teknik Sipil
2	Dhanang Tri Hadiono	98511161	Teknik Sipil

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

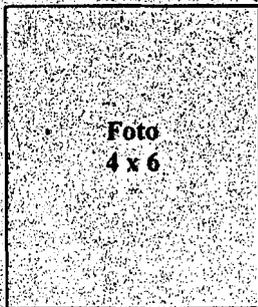
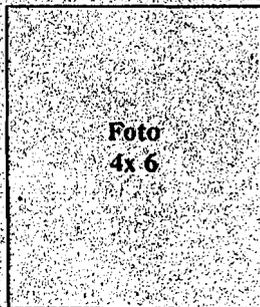
Kombinasi tekuk lokal dan tekuk lentur pada kolom berdimensi torsi

**PERIODE I : SEPTEMBER - FEBRUARI**  
**TAHUN : 2002 / 2003**

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

DOSEN PEMBIMBING I  
 DOSEN PEMBIMBING II

Ir. Fatkhurrohman N., MT.  
 Ir. H. Subaryatno, MT.



Yogyakarta, 07 Okt 2002  
 Dean  
  
 (H. H. Munandar, MS.)

**Catatan.**

Seminar : .....  
 Sidang : .....  
 Pendadaran : .....

