

TUGAS AKHIR

KUAT TEKAN KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL C BENTUKAN DINGIN DENGAN BATANG PERANGKAI DIAGONAL

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat sarjana S-1 Teknik Sipil



Disusun Oleh:

Nama : L. Kholid Karyadi
No. Mhs : 97 511 229
NIRM : 970051013114120367

Nama : Yousef Al Azhar
No. Mhs : 97 511 205
NIRM : 970051013114120389

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

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**KUAT TEKAN KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL C
BENTUKAN DINGIN DENGAN BATANG
PERANGKAI DIAGONAL**

Disusun Oleh:

Nama : L. Kholid Karyadi
No. Mhs : 97 511 229
NIRM : 970051013114120367

Nama : Yousef Al-Azhar
No. Mhs : 97 511 205
NIRM : 970051013114120389

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. HM. Samsudin, MT.
Dosen Pembimbing I


Tanggal: 30/08-'03

Ir. Fatkhurrohman N., MT.
Dosen Pembimbing II


Tanggal: 30/08-2003

MOTTO

"Sesungguhnya bersama kesukaran pasti ada kemudahan"
Al-Qur'an (Asy-Syarh:5)

Karya ini kupersembahkan kepada yang tercinta:

*Kedua Orang Tuaku
Kakak-kakak dan Adik-Adikku*

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya hingga penyusun dapat melaksanakan serta menyusun laporan Tugas Akhir ini dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat menempuh jenjang pendidikan Strata Satu (S-1) pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam menyusun laporan Tugas Akhir ini, sebelumnya penyusun telah melakukan pengujian pada Laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama melaksanakan dan menyusun laporan Tugas Akhir, penyusun mendapatkan banyak bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
2. Ir. H. Munadhir, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
3. Bapak Ir. H. Samsudin, MT., selaku Dosen Pembimbing I,
4. Bapak Ir. Fatkhurrohman N., MT., selaku Dosen Pembimbing II,

5. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS., selaku Dosen Penguji,
6. Kedua Orang Tua Tercinta, atas segala bimbingan, nasehat dan dukungannya,
7. Kepada Ir. L. Makrup, MT., beserta keluarga atas segala dukungannya,
8. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga seluruh amal dan kebaikan yang diberikan dapat diterima dan mendapatkan ridho dari Allah SWT.

Penyusun menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini belum dapat dikatakan sempurna karena masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penyusun mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Penyusun berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu ' alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 17 Agustus 2003

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR SIMBOL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
ABSTRAKSI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Bagan Alir Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
BAB III LANDASAN TEORI	8
3.1. Kolom Tersusun	8
3.2. Panjang Efektif	10
3.3. Kuat Tekan	11
3.3.1. Tekuk lokal	12
3.3.2. Tekuk keseluruhan	16
3.3.3. Hubungan tekuk lokal dan tekuk lentur	18

3.3.4.. Tekuk inelastis	20
3.3.5. Tegangan kritis metode AISC	22
3.3.6. Pengaruh gaya geser pada kolom tersusun	24
3.5. Hipotesis	27
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	28
4.1. Metode Penelitian	28
4.2. Bahan dan Alat yang Digunakan	28
4.2.1. Bahan	28
4.2.2. Peralatan penelitian	29
4.3. Pembuatan Benda Uji	31
4.4. Pengujian Benda Uji	33
4.4.1. Uji pendahuluan	33
4.4.2. pengujian kolom tersusun	34
4.5. Analisis Hasil Pengujian	34
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	35
5.1. Hasil Pengujian	35
5.1.1. Hasil uji pendahuluan	35
5.1.1.1. Uji kuat tarik baja	35
5.1.1.2. Uji kuat geser sambungan las	36
5.1.1.3 Uji kuat tekan profil <i>light lipped channal</i>	38
5.1.2 Hasil pengujian kolom tersusun	41
5.2. Pembahasan	58
5.2.1. Pembahasan uji pendahuluan	58
5.2.1.1. Pembahasan uji kuat tarik baja	58
5.2.1.2. Pembahasan uji kuat geser sambungan las	59
5.2.1.3. Pembahasan uji kuat tekan profil <i>light lipped channal</i>	59
5.2.2. Pembahasan pengujian kolom tersusun	62
5.2.2.1. Beban kritis (Pcr)	62
5.2.2.2. Hubungan momen-kelengkungan (M- Φ)	70

5.2.2.3. Tegangan kritis (F_{cr})	72
5.2.2.4. Perhitungan koefisien tekuk plat (k)	74
5.2.2.4. Perhitungan modulus tangen dan modulus tereduksi ($E_r E_r$)	78
5.3. Perhitungan Teoritis	79
5.3.1. Perhitungan teoritis metode <i>Bleich</i>	79
5.3.2. Perhitungan teoritis metode AISC	82
5.4. Perbandingan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Teoritis	86
5.4.1. Perbandingan hasil pengujian dengan metode <i>Bleich</i>	86
5.4.2. Perbandingan hasil pengujian dengan metode AISC	89
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	91
6.1. Kesimpulan	91
6.2. Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	

DAFTAR SIMBOL

A	: Luas profil
A_d	: Luas penampang satu batang diagonal
A_b	: Luas penampang satu batang horisontal
a	: Jarak antar profil dari tepi terluar bahan
b	: Lebar profil
b/t	: Rasio lebar terhadap tebal
d	: panjang batang diagonal
E	: Modulus elastis
E_t	: Modulus tangen
E_r	: Modulus reduksi
F_{cr}	: Tegangan kritis
F_y	: Tegangan leleh
F_u	: Tegangan ultimit
h	: Panjang batang horisontal
k	: Koefisien tekuk plat
K	: Faktor tekuk keseluruhan
L	: Panjang batang keseluruhan
L_1	: Panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung
P	: Beban
P_{cr}	: Beban kritis
r	: Radius girasi
t_f	: Tebal profil
μ	: Angka poisson
I	: Inersia kolom tersusun
I_0	: Inersia batang perangkai
σ	: Tegangan
Φ	: Kekakuan
λ	: Kelangsingan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bagan alir prosedur penelitian	4
Gambar 3.1.	Sumbu bahan dan sumbu bebas bahan pada kolom tersusun	9
Gambar 3.2	Bentuk variasi batang tersusun	10
Gambar 3.3	Faktor panjang efektif untuk kolom dengan berbagai kondisi ideal	11
Gambar 3.4	Titil pusat beban sentris	12
Gambar 3.5	Koefisien tekuk elastis untuk tekan pada pelat segi empat datar	15
Gambar 3.6	Rasio tebal terhadap lebar berbagai tampang profil	16
Gambar 3.7	Batang Lurus yang dibebani gaya tekan aksial	16
Gambar 3.8	Teori modulus tangen <i>Engesser</i>	20
Gambar 3.9	Grafik tegangan berdasarkan persamaan <i>Euler</i> , tangen modulus dan modulus tereduksi.	21
Gambar 3.10	Grafik hubungan KL/r dengan F_a beberapa negara	24
Gambar 3.11	Gaya geser ideal	25
Gambar 3.12	Kolom tersusun yang dibebani gaya aksial	25
Gambar 4.1	<i>Universal Testing Material Shimatzu UMH30</i>	29
Gambar 4.2	Bentuk fisik <i>Loading Frame</i>	30
Gambar 4.3	<i>Hidrolic Jack</i>	30
Gambar 4.4	Benda uji kuat tarik baja	31
Gambar 4.5	Benda uji kuat geser las	31

Gambar 4.6	Sampel uji tekan profil <i>light lipped channel</i>	32
Gambar 4.7	Kolom tersusun perangkai diagonal dan horizontal	32
Gambar 4.8	Gambar pengujian tidur	34
Gambar 5.1	Grafik beban dan lendutan profil tanpa plat dasar	38
Gambar 5.2	Grafik beban dan lendutan profil dengan plat dasar	40
Gambar 5.3	Gambar pengujian tidur	41
Gambar 5.4	Grafik beban dan lendutan Dial 1	43
Gambar 5.5	Grafik beban dan lendutan Dial 2	45
Gambar 5.6	Grafik beban dan lendutan Dial 3	47
Gambar 5.7	Grafik beban dan lendutan Dial 4	49
Gambar 5.8	Grafik beban dan lendutan Dial 5	51
Gambar 5.9	Grafik beban dan lendutan Dial A	53
Gambar 5.10	Grafik beban dan lendutan Dial B	55
Gambar 5.11	Grafik beban dan lendutan Dial C	57
Gambar 5.12	Grafik Perbandingan beban krtiis (Pcr) hasil pengujian dan hasil regresi pada profil tanpa plat dasar	61
Gambar 5.13	Grafik Perbandingan beban krtiis (Pcr) hasil pengujian dan hasil regresi pada profil dengan plat dasar	61
Gambar 5.14	Grafik Perbandingan tegangan kritis (fcr) pada profil tanpa plat dasar dengan profil dengan plat dasar	62
Gambar 5.15	Grafik Perbandingan beban krtiis (Pcr) hasil pengujian dan hasil regresi pada kolom tersusun	63

Gambar 5.16	Grafik beban krtiis (P_{cr}) fungsi kelangsingan (L/r), untuk nilai (L/r) lebih dai 0 sampai dengan 300	64
Gambar 5.17	Deformasi kolom K1 pada saat kritis	65
Gambar 5.18	Deformasi kolom K2 pada saat kritis	66
Gambar 5.19	Deformasi kolom K3 pada saat kritis	66
Gambar 5.20	Deformasi kolom K4 pada saat kritis	67
Gambar 5.21	Deformasi kolom K5 pada saat kritis	67
Gambar 5.22	Deformasi kolom K6 pada saat kritis	68
Gambar 5.23	Deformasi kolom K7 pada saat kritis	68
Gambar 5.24	Deformasi kolom K8 pada saat kritis	69
Gambar 5.25	Grafik Hubungan momen-kelengkungan	71
Gambar 5.26	Grafik Perbandingan nilai tegangan kritis (F_{cr}) fungsi L/r pada kolom tersusun	73
Gambar 5.27	Grafik perbandingan nilai tegangan kritis (F_{cr})	74
Gambar 5.28	Grafik perbandingan nilai k	76
Gambar 5.29	Grafik perbandingan nilai rasio b/t	77
Gambar 5.30	Rasio tebal terhadap tebal berbagai tampang profil	77
Gambar 5.31	Grafik perbandingan nilai modulus tangen dan modulus terduksi	79
Gambar 5.32	Grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) dengan metode <i>Bleich</i>	83
Gambar 5.33	Grafik tegangan berdasarkan metode AISC	87

Gambar 5.34	Grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan tegangan kritis metode Bleich	89
Gambar 5.34	Grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan tegangan kritis metode AISC	91

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Hasil pengujian kuat tarik baja	36
Tabel 5.2	Hasil pengujian kuat geser sambungan las	36
Tabel 5.3	Hasil pengujian kuat tekan profil <i>light lipped channel</i> tanpa pelat dasar	37
Tabel 5.4	Hasil pengujian kuat tekan profil <i>light lipped channel</i> dengan pelat dasar	39
Tabel 5.5	Hasil pengujian Dial 1	42
Tabel 5.6	Hasil pengujian Dial 2	44
Tabel 5.7	Hasil pengujian Dial 3	46
Tabel 5.8	Hasil pengujian Dial 4	48
Tabel 5.9	Hasil pengujian Dial 5	50
Tabel 5.10	Hasil pengujian Dial A	52
Tabel 5.11	Hasil pengujian Dial B	54
Tabel 5.12	Hasil pengujian Dial C	56
Tabel. 5.13.	Analisa hasil uji kuat tarik baja	58
Tabel. 5.14.	Analisa hasil uji kuat geser sambungan las	59
Tabel 5.15	Perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan tegangan kritis (F_{cr}) profil tanpa plat dasar dan profil dengan plat dasar	60
Tabel 5.16	Regresi beban kritis (P_{cr}) kolom tersusun	63
Tabel 5.17	Hubungan momen dan kelengkungan	70
Tabel 5.18	Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan	71

Tabel 5.19	Perhitungan tegangan kritis hasil pengujian kolom tersusun	72
Tabel 5.20	Perbandingan hasil perhitungan tegangan kritis (F_{cr})	73
Tabel 5.21	Perbandingan koefisien tekuk plat dan rasio b/t	76
Tabel 5.22	Perhitungan modulus tangen dan modulus terduksi	79
Tabel 5.23	Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) metode Bleich dengan menggunakan modulus tangen	82
Tabel 5.24	Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) metode Bleich dengan menggunakan modulus tereduksi	82
Tabel 5.25	Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) dan tegangan ijin (F_a) metode AISC	86
Tabel 5.26	Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan hasil perhitungan metode Bleich	88
Tabel 5.27	Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan hasil perhitungan metode AISC	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hitungan properti dimensi benda uji.

Lampiran 2 : Hitungan regresi pembebanan.

Lampiran 3 : Gambar benda uji.

Lampiran 4 : Foto pengujian.

Lampiran 5 : Lembar konsultasi.

ABSTRAKSI

Profil lip chanal (*light lipped channal*) bentukan dingin (*cold-formed*) banyak dipakai terbatas sebagai komponen struktur ringan yang memikul beban kecil misalnya balok atap (*gording*). Pembentukan balok susun dari profil *light lipped channal* bentukan dingin dan pelat diharapkan mampu memikul beban aksial yang cukup besar dan efisien. Tinggi penampang profil *light lipped channal* bentukan dingin biasanya kurang dari 200 mm dan terbuat dari pelat tipis sehingga penampangnya mempunyai rasio kelangsingan (b/t) cukup besar. Kondisi di atas mengakibatkan penampang rawan akan instabilitas/tekuk sehingga mengalami kegagalan dini. Penggabungan profil *light lipped channal* bentukan dingin menjadi kolom tersusun perangkai diagonal dan horizontal, diharapkan meningkatkan kapasitas dari elemen-elemen penyusun kolom tersebut, sehingga perlu adanya penelitian eksperimental tentang kuat tekan dengan variasi jarak (L_1). Semakin panjang jarak batang yang dibatasi oleh elemen-elemen perangkai (L_1) maka kuat tekan kolom akan meningkat, akan tetapi semakin panjang batang perangkai diagonal kekuatan kolom akan semakin menurun.

Pada penelitian eksperimental ini menggunakan 8 buah benda uji dengan lebar kolom (a) konstan sebesar 120 mm, (b) rasio b/t konstan dan panjang bentang (L) konstan 3000 mm. Benda uji menggunakan variasi rasio $L_1/r_{\min} = 12,831, 19,247, 25,663, 32,494, 38,494, 44,910, 51,326, \text{ dan } 57,742$. Tumpuan yang digunakan berupa tumpuan sederhana dengan anggapan bahwa nilai $K=1$. Benda uji ditempatkan di *Loading Frame* dengan posisi tidur, kemudian ditekan dengan *Hidraulik Jack* dengan pembebanan *statik monotonik* dengan kenaikan sebesar 350 kg.

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan dapat diketahui bahwa beban kritis benda uji (kolom K1; $P_{cr} = 3675\text{kg}$, kolom K2; $P_{cr} = 3850\text{kg}$, kolom K3; $P_{cr} = 2975\text{ kg}$, kolom K4; $P_{cr} = 3150\text{ kg}$, kolom K5; $P_{cr} = 3150\text{ kg}$, kolom K6; $P_{cr} = 2975\text{ kg}$, kolom K7, $P_{cr} = 2625\text{ kg}$, kolom K8; $P_{cr} = 2625\text{ kg}$). Nilai koefisien tekuk (k) berkisar antara 1,131 sampai dengan 1,614. Pada pengujian ini nilai Tegangan kritis (F_{cr}) berdasarkan hasil pengujian laboratorium berada di bawah hitungan teoritis *Bleich* dengan menggunakan modulus tangen dan modulus tereduksi. Sedangkan bila dibandingkan dengan tegangan ijin metode AISC, tegangan kritis (F_{cr}) berdasarkan hasil pengujian laboratorium pada $L_1/r < 50$ masih lebih besar bila dibandingkan tegangan ijin perencanaan metode AISC, akan tetapi pada $L_1/r > 50$ tegangan kritis hasil pengujian berada di bawah tegangan ijin metode AISC.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kolom tersusun merupakan sebuah solusi untuk mendapatkan kolom yang lebih efisien pada kolom panjang yang menerima beban berat, karena dengan luas tampang yang sama dengan profil solid, kolom tersusun mempunyai inersia yang lebih besar sehingga kapasitas kolom tersusun menjadi lebih besar. Persoalan yang dihadapi pada kolom tersusun adalah peristiwa instabilitas/tekuk yang sering terjadi, hal ini disebabkan karena elemen kolom tersusun memiliki rasio b/t besar, sehingga memungkinkan terjadinya tekuk lokal. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung penambahan beban, dengan kata lain efisiensi penampang berkurang. Keruntuhan akibat tekuk lokal ini terjadi pada batang yang langsing di mana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki oleh pelat jauh di bawah tegangan lelehnya (F_y).

Penggunaan profil bentukan dingin lebih ekonomis dan lebih efisien untuk menahan beban yang ringan. Profil bentukan dingin (*cold formed*) dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk sehingga penggunaannya lebih fleksibel. Meskipun memiliki keunggulan seperti tersebut di atas penggunaan profil bentukan dingin sebagai komponen struktur bangunan di Indonesia masih kurang dan pedoman perencanaan profil bentukan dingin masih kurang.

Profil bentukan dingin memiliki beberapa kekurangan, proses pembentukannya 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. Dengan kondisi di atas maka perlu diadakan suatu penelitian tentang kuat tekan kolom tersusun dengan profil *light lipped channel* bentukan dingin perangkai diagonal dan horizontal dengan variasi jarak batang perangkai.

1.2 Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan kolom tersusun, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. untuk mendapatkan perbandingan kuat tekan kolom tersusun dari dua profil *light lipped channel* yang disatukan secara *front to front* dengan variasi jarak batang perangkai horizontal (L_t).
2. mengetahui koefisien tekuk plat kolom tersusun dari dua profil *light lipped channel* yang disatukan secara *front to front* dengan perangkai diagonal dan horizontal

3. mengetahui bentuk deformasi kolom tersusun 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 dari dua profil *light lipped channel* yang disatukan secara *front to front* dengan teori kapasitas kolom yang dikemukakan oleh *Bleich* dan pedoman perencanaan kolom metode AISC.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut,

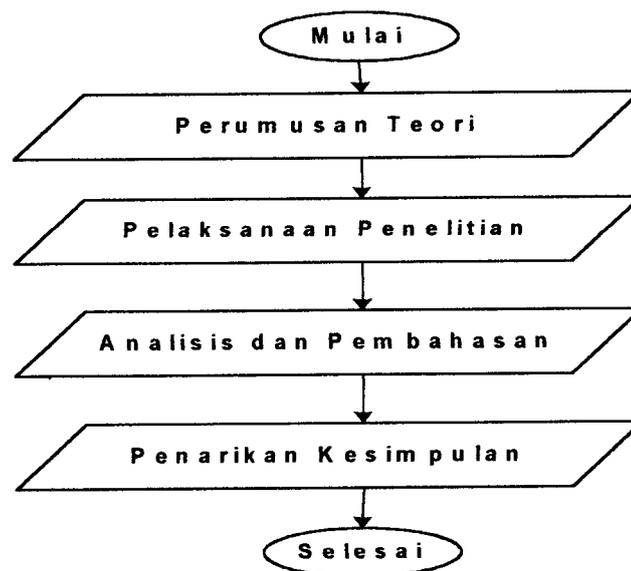
1. untuk mengetahui pengaruh kelangsingan pada kolom tersusun dari profil *light lipped channel* bentukan dingin perangkai diagonal.
2. mengetahui beban maksimal yang dapat ditahan oleh kolom kolom tersusun penampang kotak dari dua profil *light lipped channel* yang disatukan secara *front to front* pada tiap variasi L_1/r .
3. mengetahui tegangan kritis atau F_{cr} yang terjadi pada tiap variasi L_1/r kolom kolom tersusun dari dua profil *light lipped channel* yang disatukan secara *front to front*
4. mengetahui grafik hubungan F_{cr} fungsi L_1/r yang terjadi

1.4 Batasan Masalah

Supaya penelitian dapat terarah dan sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian maka diperlukan batasan sebagai berikut:

1. profil baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah profil *light lipped channel* 2C60x30x1,2 yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) menggunakan perangkai diagonal dan horizontal,
2. batang perangkai menggunakan plat baja 15x2,0 mm yang dirangkai menggunakan sambungan las,
3. tinggi benda uji adalah 3000 mm dengan lebar 120 mm,
4. kolom diasumsikan dengan tumpuan sendi-sendi ($K = 1$).
5. kolom dibebani dengan beban aksial sentris dengan dibebani statis monotonik,
6. rasio L/r dari profil *light lipped channel* ganda bervariasi yaitu: 12,831, 19,247, 25,663, 32,494, 38,494, 44,910, 51,326, dan 57,742.
7. tegangan residu dari bahan tidak ditinjau,
8. perhitungan tegangan kritis menggunakan teori *Bleich* dan metode AISC.

1.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 1.1. Bagan alir prosedur penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kolom dapat dikategorikan berdasarkan panjangnya, kolom pendek adalah jenis kolom yang kegagalannya berupa kegagalan material (ditentukan oleh kekuatan material). Kolom panjang adalah kolom yang kegagalannya ditentukan oleh tekuk (*buckling*), jadi kegagalannya adalah kegagalan karena ketidakstabilan, bukan karena kekuatannya. Pada kolom panjang, dimensi dalam arah memanjang jauh lebih besar bila dibandingkan dengan dimensi arah lateral. Karena adanya potensi menekuk pada jenis kolom ini, maka kapasitas pikul-bebannya menjadi lebih kecil (*Schodek, 1991*).

Pada beban dengan besar tertentu suatu batang yang lurus, homogen dan dibebani secara sentris akan menjadi tidak stabil. Hal ini berarti dengan beban tersebut suatu kolom mulai melentur, meskipun tidak ada beban lentur yang bekerja (*Gaylord and Gaylord, 1972*).

Kekuatan kolom dipengaruhi oleh faktor tekuk (*buckling*) atau lenturan mendadak akibat ketidakstabilan, terjadi sebelum kekuatan batang sepenuhnya tercapai (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Tekuk lokal (*local buckling*) dan tekuk keseluruhan (*bend buckling*) dari suatu kolom akan terjadi secara bersamaan apabila tegangan kritis pelat sama dengan tegangan kritis kolom secara keseluruhan (*Gaylord dan Gaylord, 1972*).

Panjang efektif untuk sebuah kolom adalah panjang kolom berujung sendi ekuivalen, baik riil maupun imajiner. (*Gere dan Timoshenko, 2000*)

Peristiwa tekuk pada komponen struktur dari pelat baja dapat terjadi dalam bentuk tekuk keseluruhan dan tekuk lokal (*local buckling*). Tekuk keseluruhan merupakan fungsi dari kelangsingan (KL/r). Tekuk setempat dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen penyusun penampang sebelum tegangan kritis terlampaui (*Salmon dan Johnson, 1990*).

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

Nilai k dipengaruhi oleh rasio a/b dan kondisi dari tepi-tepi pelat di mana semakin besar nilai a/b maka nilai k akan mendekati konstan. Tampak bila (b/t) kecil nilai k mendekati 0.425 untuk pelat yang tidak diperkuat, dalam hal ini nilai tersebut dimiliki oleh sayap dan nilai k untuk pelat yang diperkuat adalah 4, dalam hal ini dimiliki oleh badan. Dengan demikian tampak bahwa nilai k untuk pelat yang diperkuat naik sepuluh kali lipat dari nilai k untuk pelat yang tidak diperkuat (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Oleh karena profil tersusun terdiri dari elemen-elemen pelat, kekuatan penampang kolom yang didasarkan pada kelangsingan keseluruhan hanya dapat tercapai jika elemen pelat tersebut tidak tekuk setempat. Tekuk setempat elemen pelat dapat mengakibatkan kehancuran penampang keseluruhan yang terlalu dini, atau paling sedikit menyebabkan tegangan menjadi tidak merata dan mengurangi kekuatan keseluruhan (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Struktur kolom tersusun dari profil *light lipped channel* adalah salah satu elemen struktur bentukan dingin yaitu elemen struktur yang terbuat dari lembaran plat yang memiliki ketebalan kurang dari 4,5 mm 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. (Vazirani dan Ratwani, 1977).

Batang tersusun adalah dua batang atau lebih, satu dengan yang lainnya dihubungkan sedemikian rupa sehingga membentuk suatu kesatuan. Untuk membentuk batang tersusun diperlukan penghubung berupa pelat atau batang penghubung. Batang penghubung dapat disusun melintang, diagonal dan kombinasi melintang dengan diagonal. Selain itu penghubung dapat juga berupa pelat menerus. Hubungan batang dengan penghubungnya dapat dilaksanakan dengan baut, paku keling dan las (PADOSBAJAYO, 1992).

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

Fungsi penghubung ialah untuk menahan gaya lintang yang timbul sepanjang kolom, sehingga batang tersusun dapat membentuk satu kesatuan dalam hal mendukung beban (PADOSBAJAYO, 1992).

Kuat tekan kolom tersusun dipengaruhi oleh panjang batang diagonal dan luas penampang batang diagonal, semakin panjang batang perangkai diagonal maka kuat tekan kolom akan semakin menurun dan semakin besar luasan batang diagonal maka kekuatan kolom akan semakin besar (Bleich, 1952).

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Kolom Tersusun

Kolom merupakan batang desak karena beban yang bekerja adalah aksial desak sepanjang sumbu bahan. Kolom merupakan elemen struktur yang harus direncanakan dan dihitung secara cermat mengenai kekuatan terhadap beban yang bekerja karena elemen struktur ini berhubungan erat dengan kestabilan bangunan.

Ada beberapa hal yang menyebabkan kehancuran pada kolom, diantaranya adalah sifat kolom yang mengalami tekuk elastis atau tekuk inelastis. Sifat kolom yang mengalami suatu tekuk tertentu dipengaruhi oleh angka kelangsingan (*slenderness ratio*). Berdasarkan kelangsingannya, batang tekan atau kolom dapat digolongkan dalam 3 macam, yaitu kolom langsing (*slender column*), kolom sedang (*medium column*), dan kolom gemuk (*stocky column*).

Pada kolom atau batang tekan yang panjang dengan beban yang berat (misalnya pada rangka jembatan), kolom tersusun lebih banyak digunakan karena lebih hemat dibanding menggunakan profil tunggal. Pada profil tersusun, jarak antar profil dapat diatur, sehingga momen inersia (I) terhadap sumbu dapat memenuhi kebutuhan.

Profil tersusun dari profil-profil yang kecil, tipis dan ringan, tetapi dapat menghasilkan I yang besar. Pada komponen struktur tersusun yang terdiri dari beberapa elemen yang dihubungkan pada tempat-tempat tertentu, kekuatannya

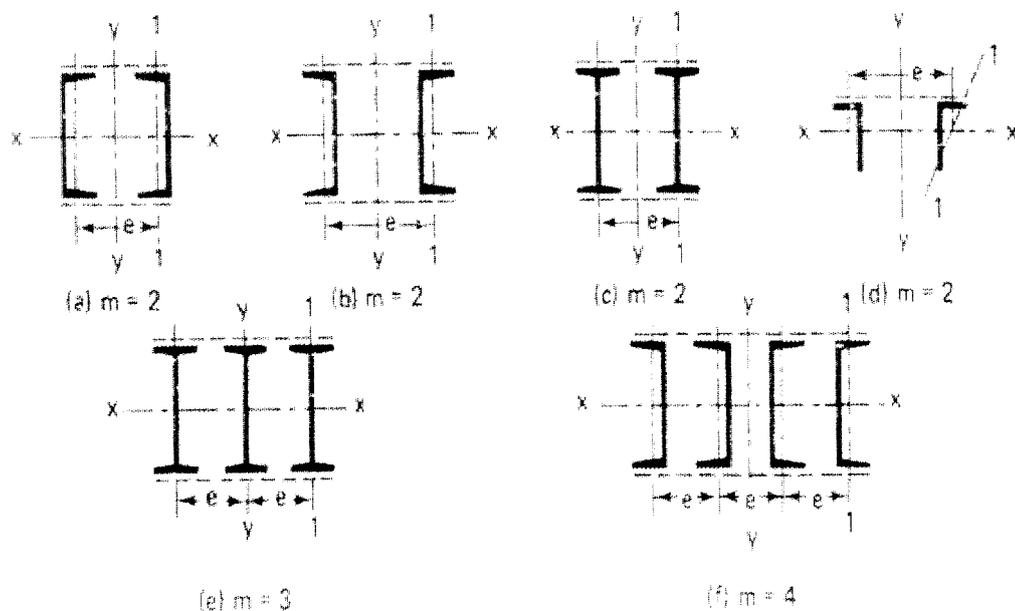
harus dihitung terhadap sumbu bahan dan sumbu bebas bahan. Sumbu bahan adalah sumbu yang memotong semua elemen komponen struktur itu; sedangkan, sumbu bebas bahan adalah sumbu yang sama sekali tidak, atau hanya memotong sebagian dari elemen komponen struktur itu. (lihat gambar 3.1):

$x - x$ adalah sumbu bahan,

$y - y$ adalah sumbu bebas bahan,

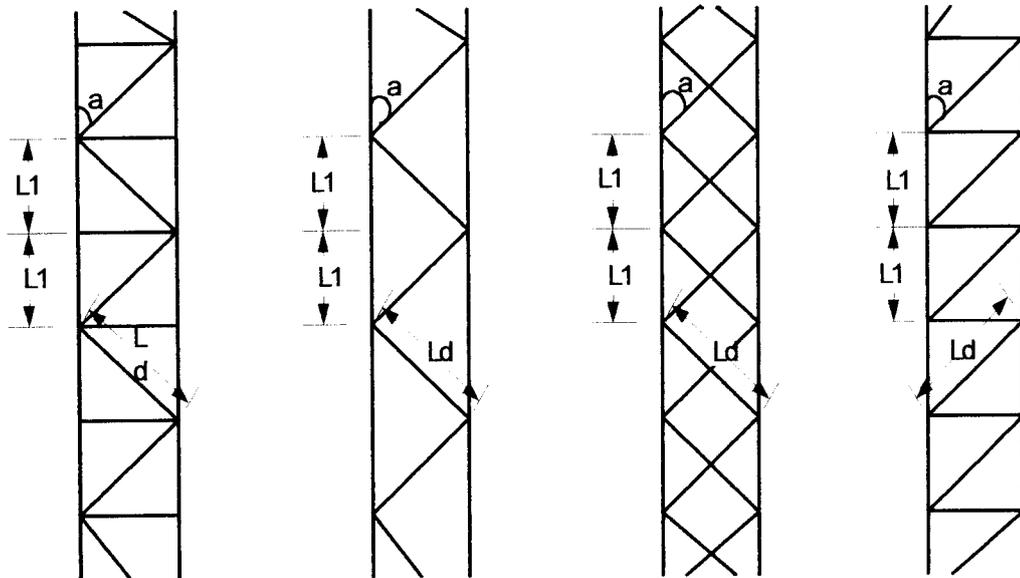
1 - 1 adalah sumbu minimum dari elemen komponen struktur,

— adalah pelat kopel.



Gambar 3.1. Sumbu bahan dan sumbu bebas bahan pada kolom tersusun
(Kuzmanovic and Willems, 1977)

Fungsi perangkat ialah untuk menahan gaya lintang yang timbul sepanjang kolom, sehingga batang tersusun dapat membentuk satu kesatuan dalam hal mendukung beban. Susunan batang-batang perangkat seperti pada Gambar 3.2



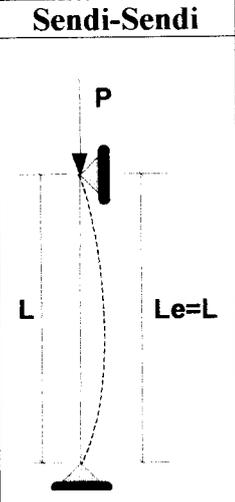
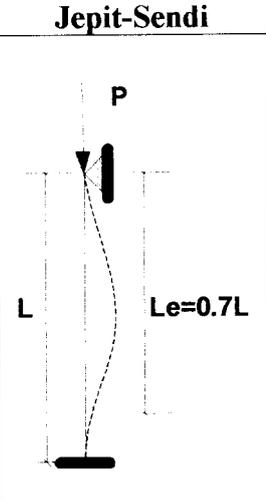
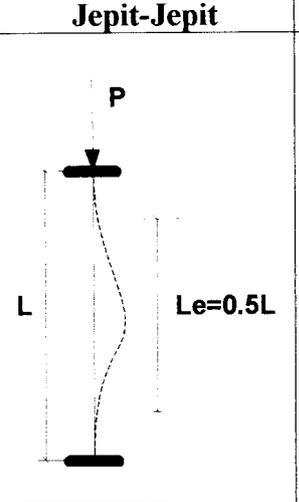
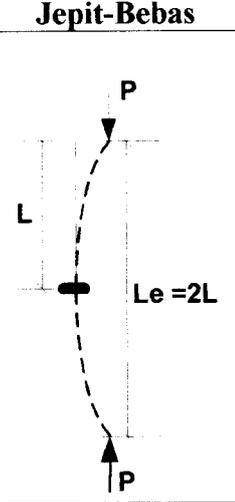
Gambar 3.2. Bentuk variasi batang tersusun

(Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, 2000)

3.2. Panjang Efektif

Pembahasan kekuatan kolom sampai saat ini menganggap bahwa kedua ujung kolom adalah sendi atau tidak mengekang momen. Ujung yang tidak mengekang momen merupakan keadaan terlemah untuk batang tekan bila translasi salah satu ujung terhadap ujung lainnya dicegah. Untuk kolom berujung sendi, panjang ujung sendi ekuivalen yang disebut *panjang efektif*, sama dengan panjang yang sesungguhnya, yakni $K = 1,0$.

Pada keadaan yang sesungguhnya, pengekangan momen diujung selalu ada dan titik belok pada kurva bentuk tekuk terjadi dititik yang bukan merupakan ujung batang. Jarak antara titik-titik belok, baik riil maupun imajiner adalah panjang efektif atau panjang ujung sendi ekuivalen untuk kolom. (Salmon dan Johnson, 1990)

Sendi-Sendi	Jepit-Sendi	Jepit-Jepit	Jepit-Bebas
			
K = 1	K = 0.7	K = 0.5	K = 2

Gambar 3.3 Faktor panjang efektif untuk kolom dengan berbagai kondisi ideal.
(Gere dan Timoshenko, 2000)

Dari Gambar 3.3 di atas tampak bahwa panjang efektif suatu kolom sangat dipengaruhi oleh dukungan yang diberikan pada kolom tersebut. Pada kolom dengan tumpuan sendi-sendi panjang efektif adalah sama dengan panjang sesungguhnya, sedangkan pada kolom dengan tumpuan jepit-bebas nilai panjang efektif adalah dua kali panjang sesungguhnya ($2L$).

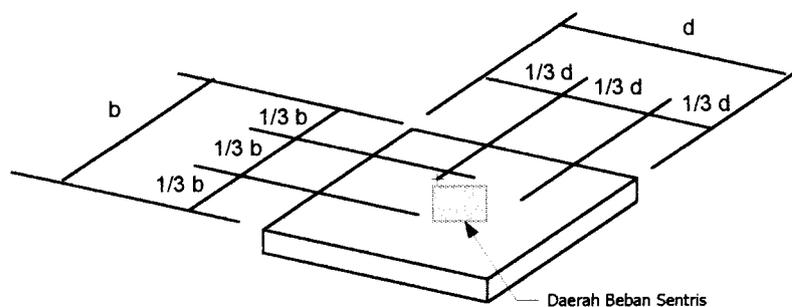
3.3. Kuat Tekan

Kekuatan tekan suatu 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 yang dibahas dalam penelitian ini adalah faktor geometri penampang yang diwakili dengan rasio b/t dan faktor kelangsingan yang diwakili

dengan rasio L_1/r . Rasio b/t berpengaruh pada kekuatan struktur kolom terhadap tekuk keseluruhan.

3.3.1. Tekuk lokal

Apabila beban bekerja eksentris (yaitu tidak bekerja di pusat berat penampang melintang), maka distribusi tegangan yang timbul tidak akan merata. Efek beban eksentris menimbulkan momen lentur pada elemen yang berintraksi dengan tegangan tekan langsung. Bahkan, apabila beban itu mempunyai eksentrisitas yang relatif besar, maka di seluruh bagian penampang yang bersangkutan dapat terjadi tegangan tekuk.



Gambar 3.4. Titik pusat beban sentris (*Schodek, 1991*)

Akan tetapi pada beban dengan besar tertentu suatu batang yang lurus, homogen dan dibebani secara sentris akan menjadi tidak stabil. Hal ini berarti dengan beban tersebut suatu kolom akan mulai melentur, meskipun tidak ada beban lentur yang bekerja.

Menurut *Lambert Tall (1974)*, tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Elemen kolom tersusun memiliki rasio b/t besar, sehingga memungkinkan terjadinya tekuk lokal. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung penambahan beban, dengan kata lain efisiensi penampang berkurang. Keruntuhan

akibat tekuk lokal ini terjadi pada batang yang langsing di mana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki oleh pelat jauh di bawah tegangan lelehnya (F_y).

Menurut *Vaziranidan dan 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,

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) (b/t)^2} \quad 3.1$$

di mana: F_{cr} adalah tegangan kritis (Mpa), k adalah koefisien tekuk kolom, E adalah modulus elastis baja ($2 \cdot 10^5$ Mpa), μ adalah angka poisson, dan b/t adalah rasio lebar terhadap tebal pelat.

Dari persamaan (3.1) tampak bahwa nilai F_{cr} dipengaruhi oleh koefisien tekuk (k) dan rasio lebar terhadap tebal (b/t). Semakin besar rasio b/t maka semakin kecil kekuatan pelat. Semakin besar nilai k maka semakin kecil kekuatan pelat, sehingga menyebabkan tekuk lokal baik pada sayap maupun badan. Kerusakan akibat tekuk dapat dicegah dengan cara memperkecil rasio lebar terhadap tebal (b/t) dan meningkatkan koefisien tekuk (k).

Sifat kekompakan suatu penampang dapat diketahui dengan menggunakan tegangan kritis (F_{cr}) pelat. Penampang dinamakan kompak apabila tegangan kritis

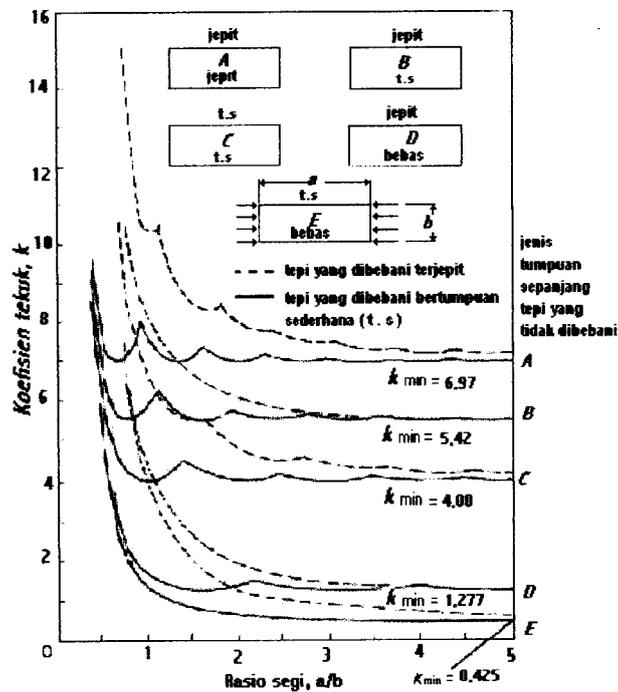
F_{cr} lebih dari tegangan bahan F_y . Apabila penampang yang memiliki F_{cr} kurang dari F_y tetapi masih lebih dari F_y dikurangi tegangan residu bahan F_r , maka penampang tersebut dinamakan setengah kompak. Apabila penampang yang memiliki F_{cr} kurang dari F_y dikurangi tegangan residu bahan F_r , maka penampang tersebut dinamakan tidak kompak.

Secara umum elemen-elemen tekan pelat dapat dibedakan atas dua kategori, yaitu:

1. Elemen yang diperkuat, yaitu: elemen yang bertumpu pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan.
2. Elemen yang tidak diperkuat, yaitu: elemen yang bertumpu pada satu tepi dan bebas ditepi lainnya yang sejajar arah tegangan tekan.

Koefisien tekuk plat k dipengaruhi oleh jenis dukungan pada plat tersebut.

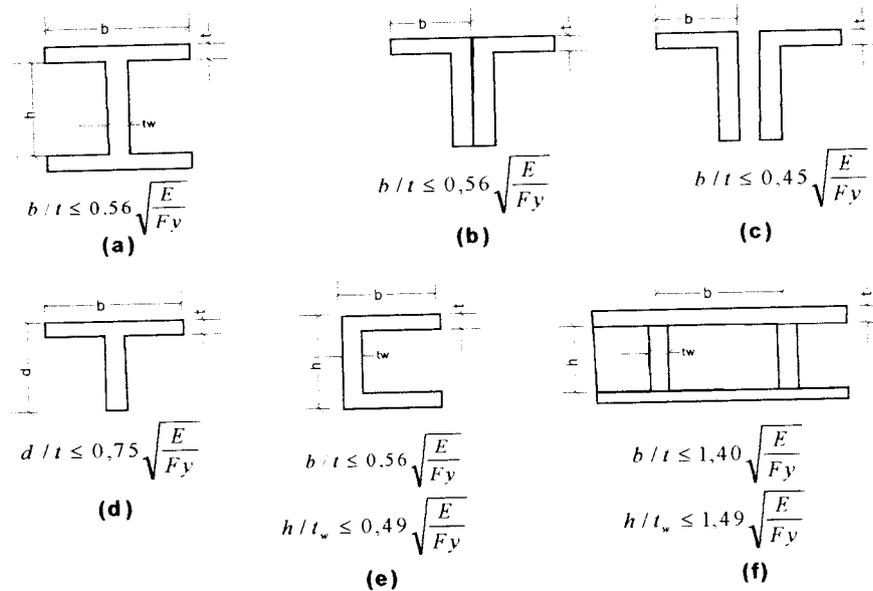
Secara umum, elemen tekan pelat dibedakan menjadi dua kategori yaitu, elemen yang diperkuat (elemen yang bertumpu pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan) dan elemen yang tidak diperkuat (elemen yang bertumpu pada satu tepi dan bebas satu sisi lainnya yang sejajar arah tegangan tekan).



Gambar 3.5. Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar
(*Salmon dan Johnson, 1990*)

Gambar 3.5 memperlihatkan variasi koefisien tekuk k terhadap rasio 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 $k = 0,425$.

Akan tetapi ada perbedaan antara nilai k teoritis dengan nilai k hasil penelitian seperti yang dikemukakan *RM Barker dan JA Pucket (1997)*. sebagai contoh nilai k pada sayap adalah $0,425$ tetapi pada penelitian nilai k adalah $0,56$.

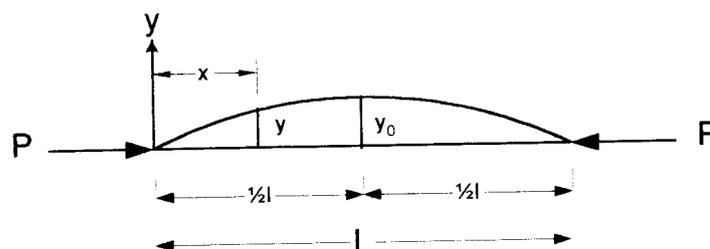


Gambar 3.6. Rasio tebal terhadap lebar berbagai tampang profil
(RM Barker dan JA Pucket, 1997)

3.3.2. 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 batang tersebut tidak mampu lagi menahan penambahan beban, batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya dan diberi gaya aksial tekan sentris.

Persamaan garis elastis untuk kolom yang ujungnya sendi-sendi ditunjukkan dengan persamaan (3.2) atau (3.9)



Gambar 3.7 Batang lurus dibebani gaya tekan aksial (*Lambert Tall*, 1972)

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

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

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

bila diasumsikan $k^2 = P_{cr} / EI$

substitusi k^2 kedalam persamaan (3.3) maka akan diperoleh:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + k^2 y = 0 \quad (3.4)$$

penyelesaian persamaan deferensial linear berordo dua ini dapat dinyatakan

sebagai

$$y = A \sin kx + B \cos kx \quad (3.5)$$

untuk $x = 0$, nilai $y = 0$, maka $0 = A \cdot 0 + B$, diperoleh $B = 0$

untuk $x = L$, nilai $y = 0$, diperoleh: $0 = A \sin (k \cdot L_k)$

untuk $\sin (k \cdot L_k) = 0$, diperoleh:

$$k \cdot L_k = N \pi \text{ atau } k = (N \cdot \pi) / L_k$$

substitusi nilai $k = (N \cdot \pi) / L_k$ ke persamaan (3.5), maka:

$$P_{cr} = \frac{N^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2} \quad (3.6)$$

Menurut *Lambert Tall (1972)*, beban kritis adalah beban terkecil yang mampu mengakibatkan kolom tersebut dalam kondisi kritis. Kondisi dapat terjadi bila defleksi merupakan lendutan berkelengkungan tunggal (*single curvature*), sehingga nilai $N=1$. Dengan demikian, beban kritis Euler untuk kolom yang berujung sendi-sendi adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2} \quad (3.7)$$

dengan L_k = panjang tekuk.

Bila masing-masing ruas persamaan (3.7) dibagi dengan luas penampang batang A , maka diperoleh:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{A \cdot L_k^2} \quad (3.8)$$

di mana, $I = A \cdot r^2$ atau $r^2 = I/A$, maka,

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(L_k / r)^2} \quad (3.9)$$

dengan r = jari-jari kelembaman.

Persamaan (3.9) di atas memperlihatkan dengan jelas 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.

3.3.3. Hubungan antara tekuk lokal dan tekuk lentur

Tekuk lokal dan tekuk lentur dapat terjadi secara bersamaan apabila tegangan kritis pelat sama dengan tegangan kritis kolom keseluruhan, seperti pada persamaan (3.10).

$$F_{cr \text{ pelat}} = F_{cr \text{ keseluruhan}} \quad (3.10)$$

Seperti pada persamaan 3.9 maka

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

Sehingga

$$(KL/r) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_{cr \text{ pelat}}}} \quad (3.12)$$

dengan memasukkan persamaan (3.1) kedalam persamaan (3.12), maka

$$(KL/r) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2}}} \quad (3.13)$$

$$KL/r = (b/t) \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k}} \quad (3.14)$$

Dengan μ baja 0,3, sehingga

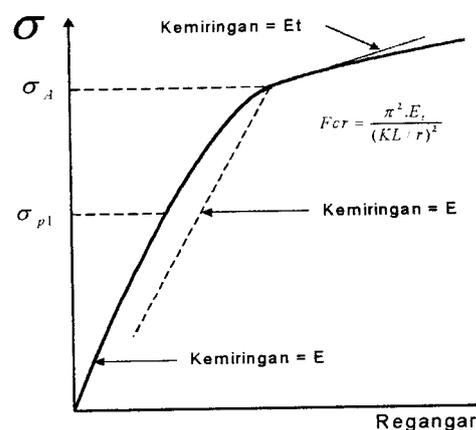
$$KL/r = \frac{3,3045(b/t)}{\sqrt{k}} \quad (3.15)$$

Dari persamaan (3.10) sampai persamaan (3.15) 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 $F_{cr \text{ pelat}}$, 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 $F_{cr \text{ pelat}}$, sehingga keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk lokal kolom.

3.3.4. Tekuk inelastis

Salmon dan Johnson (1990), oleh karena kolom dengan panjang yang umum tertekuk pada saat sejumlah seratnya menjadi inelastis, maka modulus elastisitas ketika tertekuk lebih kecil dari harga awalnya. Inilah dasar pemikiran dari *Engesser, Consider, dan Shanley*.

Menurut *Engesser (1889)* yang dikemukakan oleh *Gere dan Timoshenko*, kolom tetap lurus sampai sesaat sebelum runtuh dan modulus elastisitas pada saat runtuh adalah tangen sudut garis singgung pada kurva tegangan regangan, Hubungan tersebut tampak Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Teori modulus tangen *Engesser (Gere dan Timoshenko, 2000)*

Namun teori tersebut di atas tidak selaras dengan hasil percobaan, dan beban yang dihitung lebih kecil dari kapasitas batas hasil percobaan. Hal utama yang membuat teori modulus tangen dipandang salah adalah tidak terjadinya pembalikan regangan pada saat batang berubah bentuk dari posisi lurus ke posisi lengkung. Pada tahun 1895, *Engesser* merubah teorinya dengan alasan bahwa selama melentur, sejumlah serat mengalami kenaikan regangan (yang memperkecil modulus tangen) dan beberapa serat tidak dibebani (Modulus yang

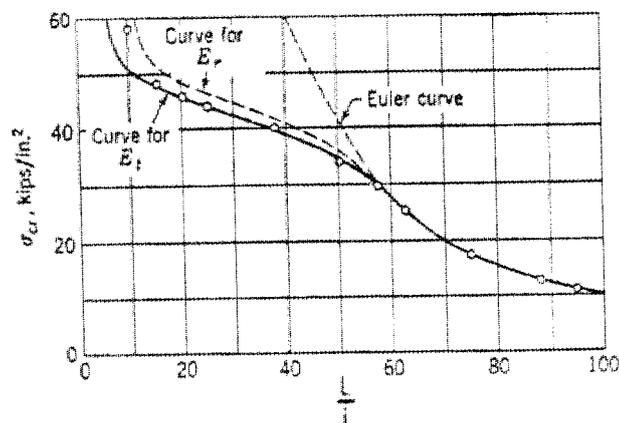
lebih tinggi pada regangan yang mengecil); oleh karena itu harga modulus yang berlainan harus digunakan.

Gere dan Timoshenko (2000), Teori modulus tereduksi lebih disukai karena sederhana dan mudah digunakan. Namun secara konseptual teori tersebut mempunyai kekurangan karena teori tersebut tidak memperhitungkankan perilaku kolom secara lengkap. Adapun persamaan modulus tereduksi dapat dilihat pada Persamaan 3.16 dan 3.17.

$$E_r = \frac{4E.Et}{(\sqrt{E.} + \sqrt{Et})^2} \quad 3.16$$

$$E_r = \frac{2E.Et}{E + Et} \quad 3.17$$

Perbandingan nilai E_t dan E_r pada perhitungan tegangan kritis dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Grafik tegangan berdasarkan persamaan Euler, modulus tangen dan modulus tereduksi (*PADOSBAJAYO, 1992*)

Dari Gambar 3.9 tampak bahwa tegangan kritis kolom yang menggunakan modulus tangen (E_t) berada di bawah tegangan kritis yang menggunakan modulus tereduksi (E_r).

3.3.5. Tegangan kritis metode AISC

AISC mengemukakan hitungan tegangan kritis yang mempertimbangkan tekuk lokal. Pengaruh tekuk lokal 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

$$Q = Q_a \cdot Q_s \quad 3.18$$

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

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{76}{\sqrt{F_y}}\right) \quad 3.19$$

Besar Q_s menurut AISC adalah,

$$Q_s = 1,340 - 0,00447\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{F_y} \quad 3.20$$

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,

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{238}{\sqrt{F_y}}\right) \quad 3.21$$

Besar Q_a menurut AISC adalah,

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_{bruto}} \quad 3.22$$

Luas efektif didapatkan dari lebar efektif, besar lebar efektif menurut penelitian

AISC yang dilakukan pada baja ringan adalah,

$$\frac{b_E}{t} = \frac{253}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{50,3}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \quad 3.23$$

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.

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{QF_y}{4\pi^2 E} \left(\frac{KL}{r} \right)^2 \right] \quad 3.24$$

Apabila

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}} \quad 3.25$$

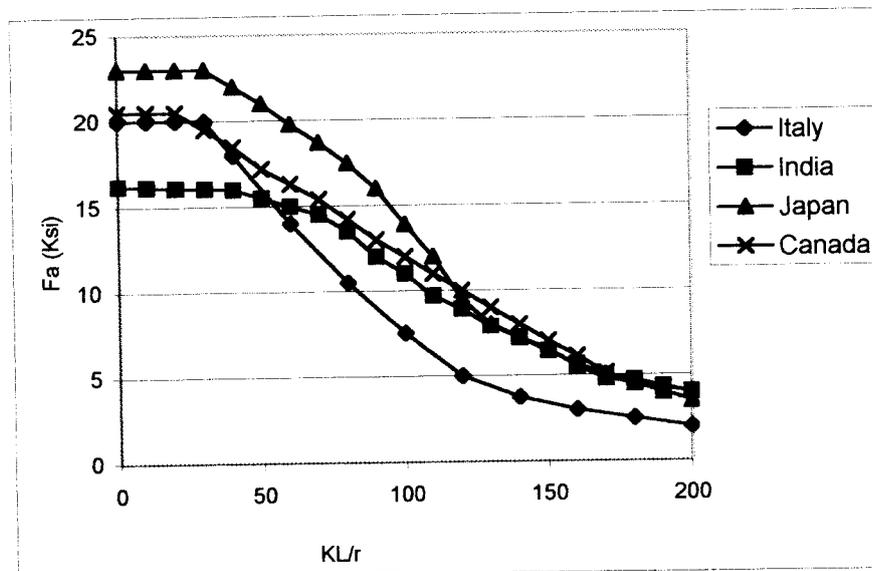
maka

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{KL/r^2}{2C_c^2} \right] \quad 3.26$$

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

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad 3.27$$

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 ± 40), penurunan tegangan kritis terjadi relatif besar seiring dengan penambahan KL/r untuk $KL/r = \pm 40$ sampai dengan ± 160 , dan kembali menjadi relatif datar untuk KL/r lebih dari ± 160 . Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.10.



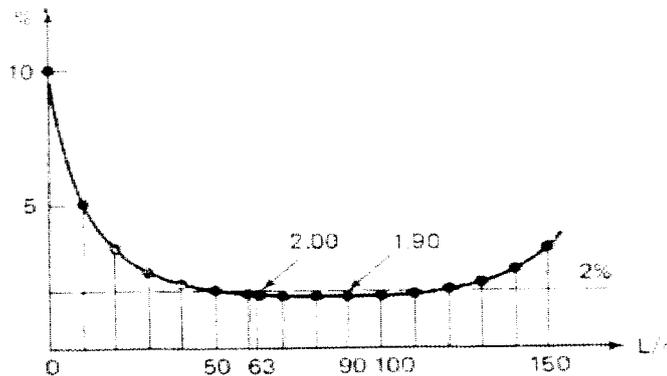
Gambar 3.10 Grafik hubungan KL/r dengan F_a beberapa negara
(Lambert Tall, 1974)

3.3.6. Pengaruh gaya geser pada kolom tersusun

Bila batang mengalami lentur akibat gaya tekan aksial, pada batang tersebut bekerja komponen gaya yang arahnya tegak lurus terhadap sumbu batang, komponen gaya ini disebut gaya lintang.

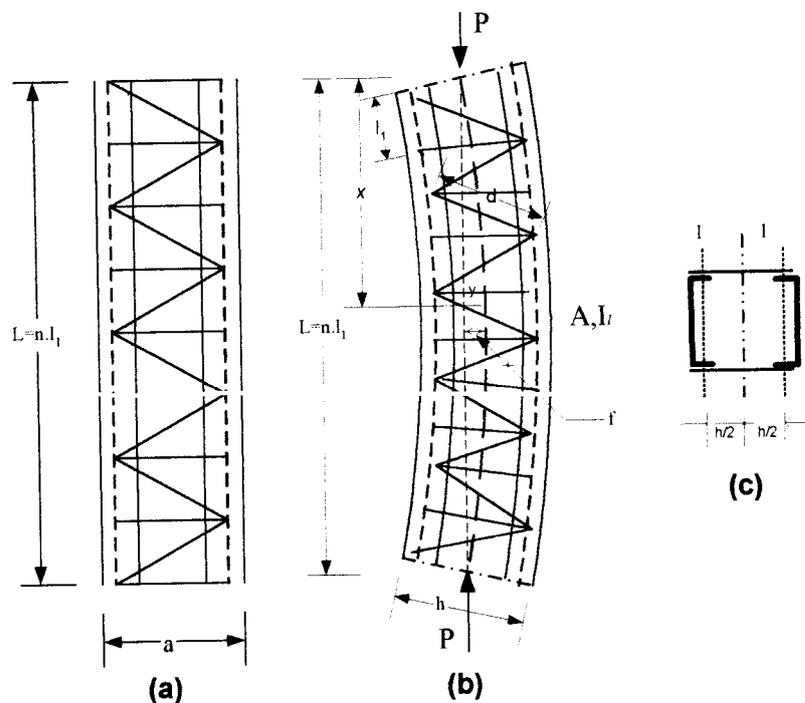
Penyambungan antara batang-batang tersusun dengan memakai batang ikat/diagonal bermanfaat agar semua komponen bekerja sebagai satu kesatuan. Komponen geser dari beban aksial timbul ketika batang tekan melentur. Besarnya pengaruh geser terhadap pengurangan kekuatan kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser.

Besarnya gaya geser yang terjadi pada kolom yang disyaratkan oleh AASHTO adalah sebesar 2% dari gaya aksial yang diterima oleh kolom, hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Gaya geser ideal (*Kuzmanovic and Willems, 1977*)

Pada Gambar 3.11 dapat dilihat bahwa besarnya gaya geser yang terjadi pada kolom berkisar antara 1,9% sampai dengan 2 % pada L/r 50 sampai dengan 100, sedangkan pada L/r 0 sampai dengan 50 gaya geser yang terjadi berkisar antara 10% sampai dengan 2% dari beban aksial yang diterima oleh kolom. (*Kuzmanovic and Willems, 1977*)



Gambar 3.12. Kolom tersusun yang dibebani gaya aksial (*Bleich, 1952*)

Menurut persamaan *Engsser (1889)* yang dikemukakan oleh *Bleich (1952)*, mengemukakan bahwa persamaan beban kritis untuk kolom tersusun dengan kombinasi perangkai horizontal dan diagonal adalah:

$$P_c = \frac{\pi^2 E_t I}{(kL)^2} \quad (3.28)$$

dengan:

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E_t I_0}{L^2} \frac{1}{E \cdot L_1 \cdot h^2} \left(\frac{d^3}{A_d} + \frac{h^3}{A_b} \right)} \quad (3.29)$$

di mana: E_t adalah modulus tangen kolom, L adalah panjang kolom, L_1 adalah panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung, I_0 adalah Inersia batang perangkai ($I_0 = Ah^2/2$), d adalah panjang batang diagonal, h adalah panjang batang horizontal, A_d adalah luas penampang satu batang diagonal, A_b luas penampang satu batang horizontal. I_1 adalah momen inersia sumbu 1-1 (lihat Gambar 3.12.c).

Karena kolom tersusun yang akan diteliti dalam penelitian ini hanya menggunakan batang perangkai diagonal dua arah dan batang perangkai horizontal, maka persamaan (3.29) menjadi:

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E_t I_0}{L^2} \frac{d^3}{E \cdot L_1 \cdot h^2 A_d}} \quad (3.30)$$

Dari persamaan (3.30) dapat kita lihat bahwa semakin besar luas penampang batang diagonal maka nilai k akan semakin kecil. Semakin panjang batang perangkai diagonal maka nilai k akan semakin besar sehingga kekuatan kolom akan menurun. Bila Persamaan 3.30 dimasukkan ke persamaan 3.28 maka persamaan akan menjadi,

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot I}{\left(\sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot L_o \cdot d^3}{L^2 \cdot E \cdot L_1 \cdot h \cdot A_d}} \cdot L \right)^2} \quad (3.31)$$

Dari persamaan (3.31) dapat kita lihat bahwa Perbedaan panjang batang perangkai diagonal (L_d) pada kolom tersusun akan mempengaruhi nilai kelangsingan kolom, sehingga akan turut mempengaruhi kuat tekan dan tegangan kritis kolom tersusun. Semakin panjang batang perangkai diagonal maka nilai k akan semakin besar dan P_c akan semakin kecil. Semakin panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung (L_l) maka nilai k akan semakin kecil dan P_c akan semakin besar dan tegangan kritis (F_{cr}) akan membesar. Semakin besar luas penampang batang diagonal maka nilai k akan semakin kecil sehingga nilai P_{cr} akan semakin besar dan tegangan kritis (F_{cr}) akan membesar.

3.4. Hipotesis

Berdasarkan landasan teori di atas, 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

PELAKSANAAN 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. Metode penelitian ini meliputi bahan dan alat, pembuatan benda uji, pengujian serta prosedur penelitian.

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

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

a. Baja profil dan perangkai

Baja profil yang digunakan adalah Profil 2C60x30x1,2 yang disambungkan pada kedua sisinya dengan cara *front to front* dan diberi perangkai horizontal dan diagonal berupa plat baja 15x2,0 mm, sehingga membentuk kolom tersusun.

b. Sambungan

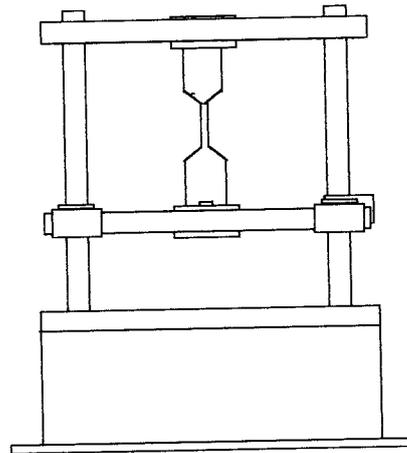
Untuk menyatukan batang perangkai dan profil digunakan sambungan las.

4.2.2 Peralatan penelitian

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

a. Mesin uji kuat tarik baja

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu *Universal Testing Material* (UTM) merk Shimadzu type UMH-30 dengan kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar (4.1).

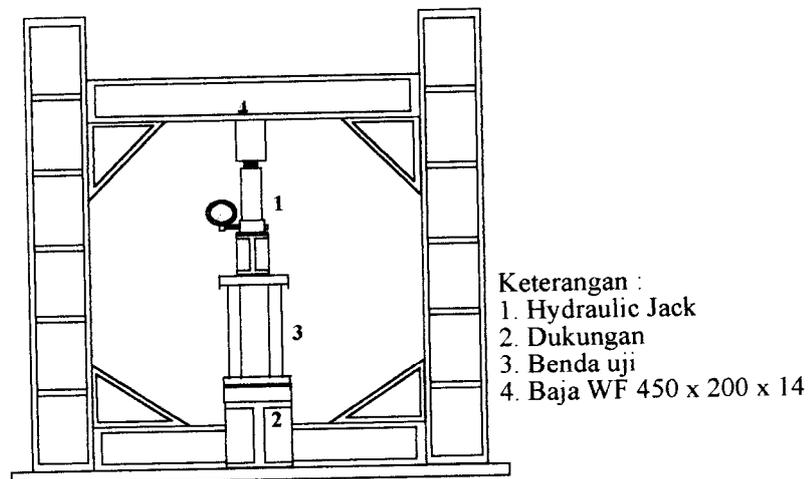


Gambar 4.1. *Universal Testing Material Shimadzu UMH30*

b. *Loading Frame*

Untuk keperluan uji pembebanan digunakan *Loading Frame*, dari bahan baja profil WF 450x200x9x14, seperti pada Gambar (4.2). Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, pelat dasar dibaut ke

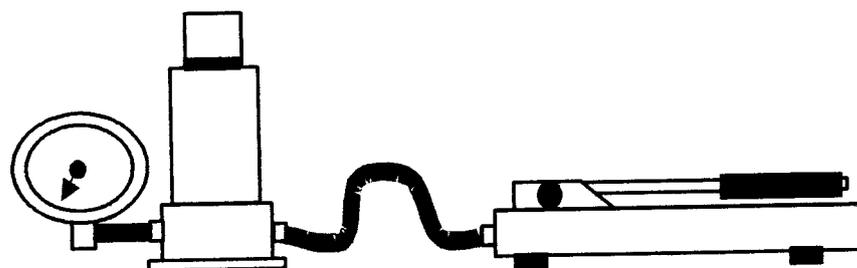
lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 50x200x9x14. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji.



Gambar 4.2. Bentuk fisik *Loading Frame*

c. *Hydraulic Jack*

Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian kuat tekan benda uji dengan beban sentris P yang mempunyai kapasitas maksimum 30 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,25 ton. Alat tersebut dapat dilihat pada gambar (4.3)

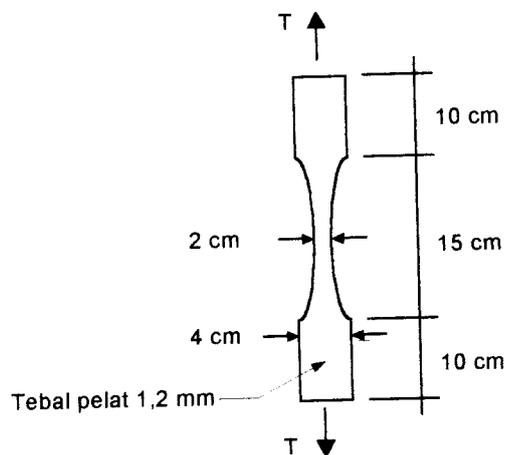


Gambar 4.3. *Hydraulic Jack*

4.3. Pembuatan Benda Uji

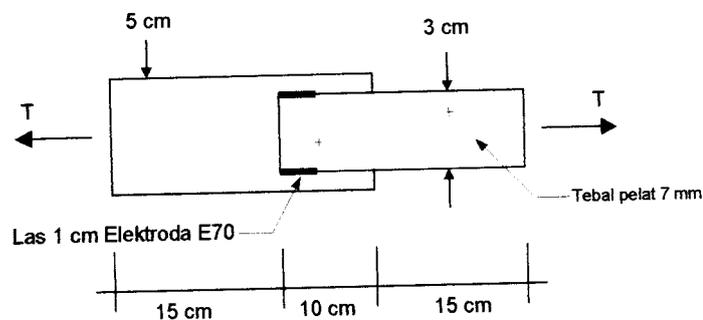
Benda Uji yang akan digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian diuji di laboratorium, benda uji tersebut berupa:

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



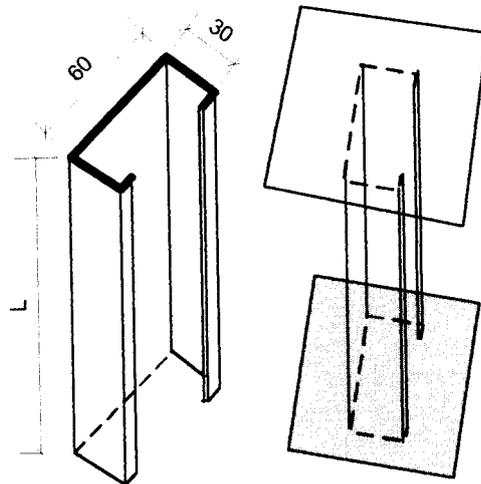
Gambar 4.4. Benda uji kuat tarik baja

- b. Tiga benda uji kuat sambungan las



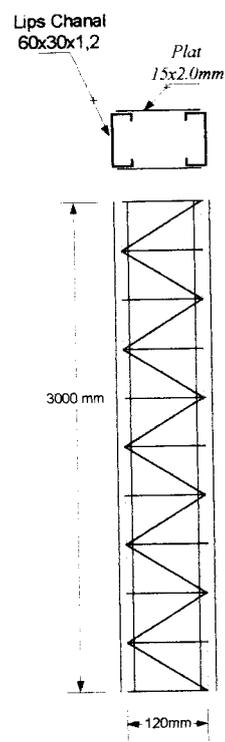
Gambar 4.5. Benda uji kuat geser las

- c. 16 benda uji kuat tekan profil *light lipped channel*, terdiri dari: 8 benda uji profil *Light Lipped channel* tanpa plat dasar, dan 8 benda uji profil *light lipped channel* dengan plat dasar. Panjang benda uji bervariasi, diatur sesuai dengan panjang L_1 (jarak antara batang yang dibatasi elemen-elemen perangkat) pada pengujian kolom tersusun.



Gambar 4.6. Sampel uji tekan profil *light lipped channel*

- d. Delapan benda uji kolom tersusun yang terbuat dari dua *Profil C* yang hubungkan dengan batang diagonal dan batang horizontal, dengan tinggi konstan, yaitu 3000 mm. Disatukan dengan alat sambung las pada tempat-tempat tertentu, dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Kolom tersusun dengan perangkat diagonal dan horizontal

4.4 Pengujian Benda Uji

Tahap-tahap pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini ada dua macam pengujian, yaitu: a) uji pendahuluan, dan b) pengujian kolom tersusun.

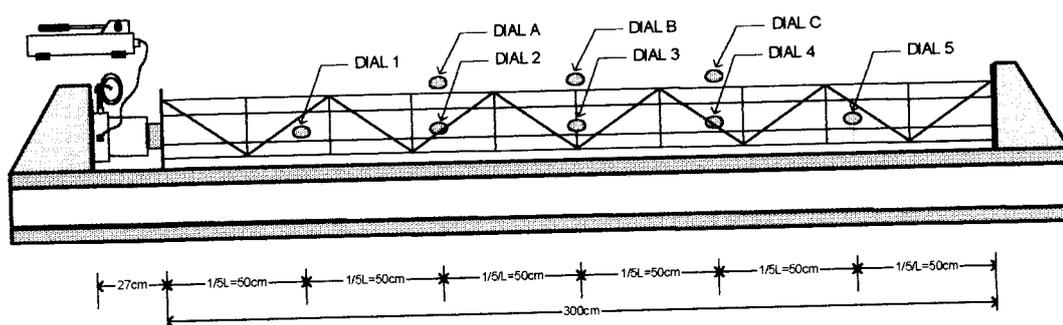
4.4.1. Uji pendahuluan

Pada uji pendahuluan ini ada tiga macam pengujian, yaitu pengujian kuat tarik baja, pengujian kuat sambungan las, dan pengujian kuat tekan profil *light lipped channal*.

- 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 4.2.
- 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 tersusun, sampel tidak rusak pada lasnya. Sampel untuk uji kuat geser las dapat dilihat pada gambar 4.5.
- c. pengujian kuat tekan profil *light lipped channal* ini dilakukan untuk mengetahui koefisien tekuk (k) dari profil yang digunakan. Pada pengujian ini ada dua macam benda uji yang digunakan, yaitu: a) pengujian kuat tekan profil *light lipped channal* tanpa plat dasar, dan b) pengujian profil *light lipped channal* dengan plat dasar. Benda uji yang digunakan pada pengujian ini seperti tampak pada Gambar 4.6.

4.4.2. Pengujian kolom tersusun

Setelah uji pendahuluan dilakukan, kemudian sampel kolom tersusun yang telah dibuat dengan variasi jarak perangkai diuji kekuatan tekannya. Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan aksial sentris secara bertahap untuk mengetahui kekuatan tekan pada kolom tersusun. Agar sampel dapat terbebani secara aksial sentris, sebelum sampel diuji terlebih dahulu plat pada sampel tersebut ditandai untuk untuk mendapatkan titik tengah dari sampel tersebut, dan dial diletakkan pada tempat-tempat yang telah direncanakan. Setelah *hidrolik jack* dan dial terpasang dan pembebanan benda uji tersebut sudah dianggap sentris maka pengujian tekan dapat dilakukan. Pemasangan alat ukur (dial) diletakkan pada sumbu lemah dan sumbu kuat dari benda uji tersebut, untuk mengantisipasi terjadinya tekuk pada kedua arah sumbu tersebut.. Pengujian sampel pada penelitian ini dilakukan dengan cara uji tidur, seperti tampak pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Gambar pengujian tidur

4.5 Analisis Hasil Pengujian

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

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian pendahuluan dan uji kuat tekan kolom tersusun. Adapun uji pendahuluan berupa uji kuat tarik baja, uji kuat geser sambungan las, dan kuat tekan profil *light lipped channal* yang sesuai dengan elemen yang digunakan dalam menyusun kolom tersusun. Pengujian ini berguna untuk menentukan kekuatan bahan yang dipakai, dan hasil pengujian akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom bentukan dingin yang menerima beban aksial 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 bentukan dingin. Uji pendahuluan juga meliputi pengujian kekuatan sambungan las dan kuat tekan profil *light lipped channal* yang digunakan untuk mengetahui koefisien tekuk plat (k).

5.1.1.1 Uji kuat tarik baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan dengan tiga buah sampel uji berupa plat dari profil *light lipped channal* yang dibentuk sesuai dengan standar pengujian kuat tarik baja. Adapun hasil uji pendahuluan kuat tarik baja disajikan dalam bentuk tabel berikut ini,

Tabel 5.1 Hasil Pengujian kuat tarik baja

Benda Uji	Beban Leleh (Py)	Beban Ultimit (Pu)	Beban Putus
Sampel 1	335.0 kg	460.0 kg	155.0 kg
Sampel 2	362.5 kg	480.0 kg	175.0 kg
Sampel 3	362.5 kg	502.0 kg	190.0 kg

5.1.1.2. Uji kuat geser sambungan las

Kekuatan las diuji dengan menggunakan tiga benda uji, masing-masing benda uji memiliki panjang las 1 cm. Adapun hasil pengujian sambungan las sebagai berikut,

Tabel 5.2. Hasil pengujian kuat geser sambungan las

Benda Uji	Beban Maksimum
Sampel 1	2345 kg
Sampel 2	3280 kg
Sampel 3	3720 kg

5.1.1.3. Hasil pengujian kuat tekan profil *light lipped channal*

Pengujian kuat tekan profil *light lipped channal* dilakukan dengan dua macam benda uji yaitu: a) profil tanpa plat dasar, dan b) profil dengan plat dasar. Pada masing-masing pengujian menggunakan 8 buah sampel benda uji, masing-masing benda uji memiliki panjang sesuai dengan panjang variasi L_1 dari kolom tersusun yang direncanakan.

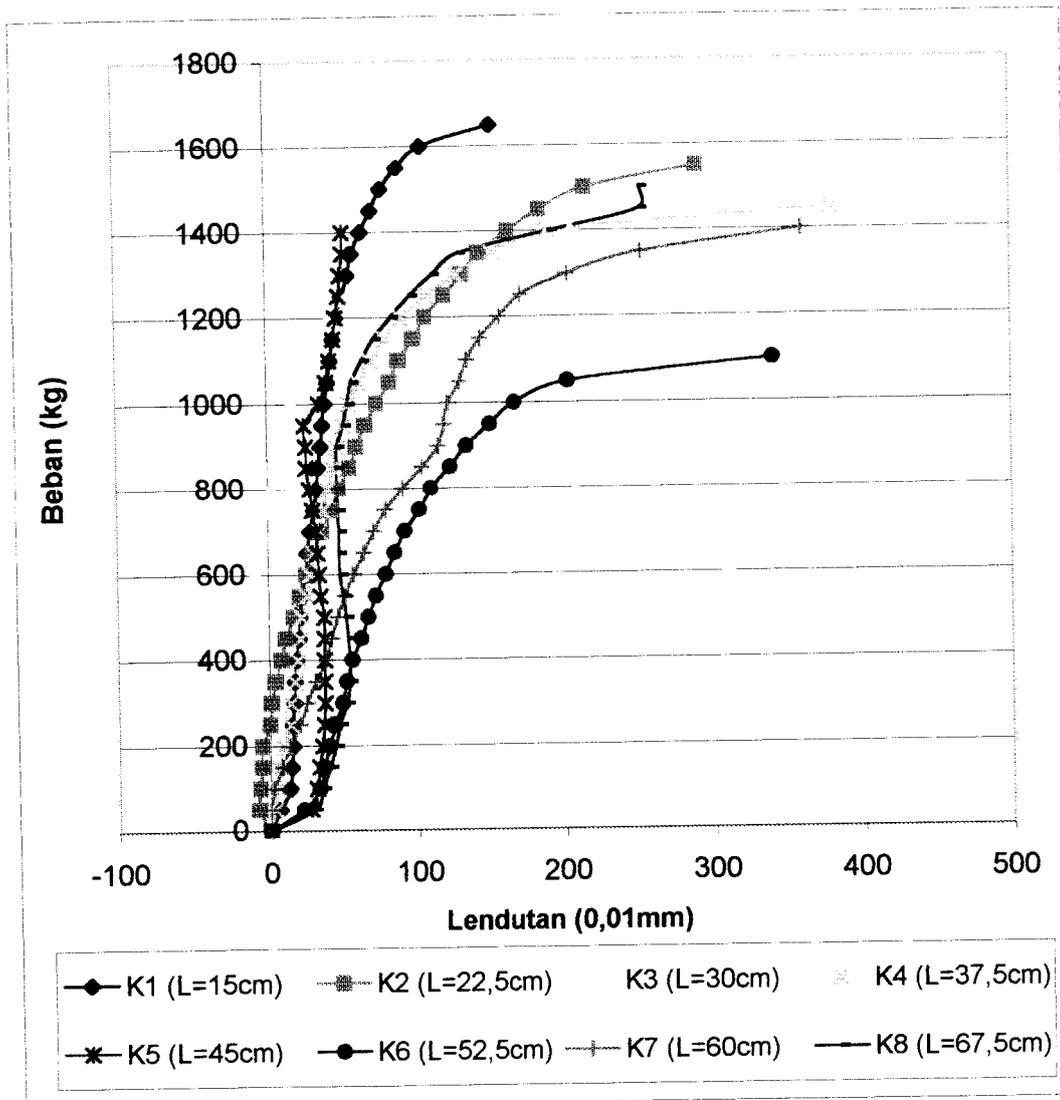
a. Hasil uji kuat tekan profil *light lipped channel* tanpa plat dasar

Hasil pengujian kuat tekan profil *light lipped channel* tanpa plat dasar disajikan dalam bentuk tabel dan grafik sebagai berikut,

Tabel 5.3. Hasil pengujian kuat tekan profil *light lipped channel* tanpa plat dasar.

BEBAN	LENDUTAN							
	K1 $\lambda_1=12,831$	K2 $\lambda_1=19,247$	K3 $\lambda_1=25,663$	K4 $\lambda_1=32,079$	K5 $\lambda_1=38,494$	K6 $\lambda_1=44,910$	K7 $\lambda_1=51,326$	K8 $\lambda_1=57,742$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	6	-8	-26	3	27	22	0	29
100	13	-7	-24	5	31	33	2	35
150	14	-6	-24	6	33	36	8	40
200	15	-5	-23	9	35	40	13	44
250	15	0	-22	14	36.5	44	20	47
300	16	1	-20	14	37	49	25	52
350	17	4	-19	17	37	52	31	54
400	18	8	-18	19	37	56	38	54.5
450	20	11	-16	21	37	62	42	53
500	21	16	-14	22	37	67	46	52
550	22	20	-11	26	35	72	51	50
600	25	25	-9	28	34	79	57	48
650	26	29	-6	31	33	85	64	47.5
700	28	36	-5	34	32	92	71	47.5
750	31	43	-2	37	30	102	79	47
800	33	48	2	40	28	110	91	46.5
850	34	55	4	44	26	123	104	46.5
900	36	60	7	47	26	134	115	47
950	37	66	12	51	25	150	119	51
1000	39	74	16	55	35	167	122	54
1050	41	83	22	62	40	203	130	57
1100	43	89	27	70	42	340	135	64
1150	45	99	33	80	45		144	72
1200	47	107	43	91	47		157	84
1250	51	120	54	108	49		172	97
1300	55	132	73	128	50		203	112
1350	58	144	106	153	52		252	130
1400	64	163	206	190	52		360	192
1450	71	185		380				252
1500	78	215						252
1550	89	290						
1600	105							
1650	152							

Data dari Tabel 5.3 dapat ditampilkan dalam bentuk gambar grafik beban dan lendutan, seperti pada Gambar 5.1 di bawah ini,



Gambar 5.1 Grafik beban dan lendutan uji kuat tekan profil tanpa plat

b. dasar Hasil uji kuat tekan profil *light lipped channel* dengan plat dasar

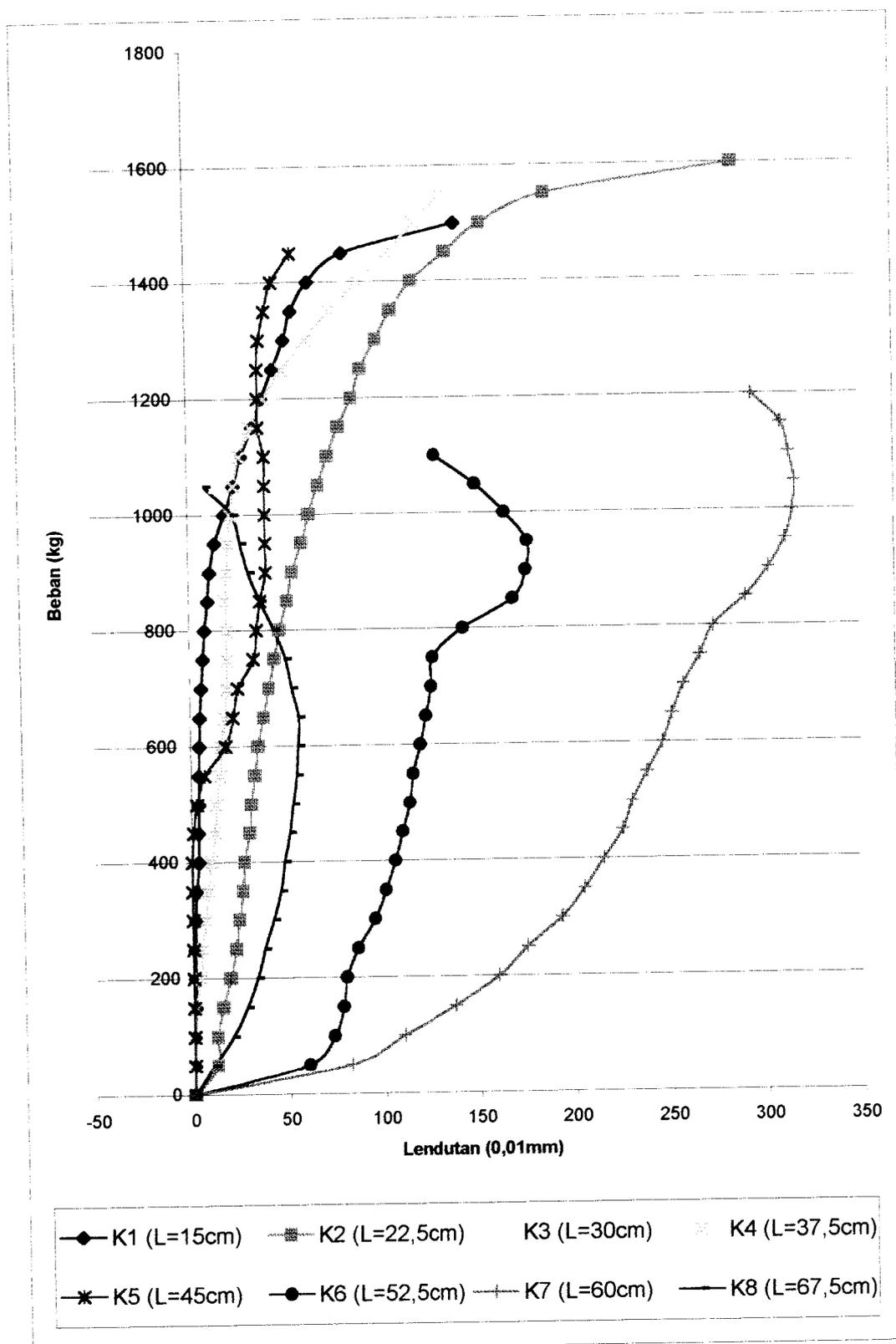
Pengujian kuat tekan profil *light lipped channel* dengan plat dasar juga menggunakan 8 buah benda uji, masing-masing benda uji memiliki panjang sesuai dengan panjang variasi L_1 (panjang batang yang dibatasi oleh elemen-elemen batang) dari kolom tersusun yang direncanakan. Hasil

pengujian kuat tekan profil *light lipped channel* dengan plat dasar ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik sebagai berikut,

Tabel 5.4. Hasil pengujian kuat tekan profil *light lipped channel* dengan plat dasar

BEBAN	LENDUTAN							
	K1 $\lambda_1=12,831$	K2 $\lambda_1=19,247$	K3 $\lambda_1=25,663$	K4 $\lambda_1=32,079$	K5 $\lambda_1=38,494$	K6 $\lambda_1=44,910$	K7 $\lambda_1=51,326$	K8 $\lambda_1=57,742$
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	12.0	-3.0	0.0	0.0	60.0	82.0	10.0
100	0.0	12.0	-3.5	0.0	0.0	73.0	110.0	20.0
150	1.0	15.0	-4.0	1.0	0.0	78.0	137.0	27.5
200	1.0	19.0	-5.0	3.5	0.0	80.0	160.0	33.0
250	1.0	22.0	-5.5	5.0	0.0	86.0	175.0	37.0
300	1.5	24.0	-5.5	6.5	0.0	95.0	193.0	42.0
350	2.0	26.0	-5.5	8.0	0.0	101.0	205.0	46.0
400	3.5	27.0	-5.5	10.0	0.0	106.0	215.0	48.0
450	3.5	30.0	-5.5	12.0	1.0	110.0	225.0	51.0
500	4.0	31.0	-5.5	13.0	3.0	114.0	230.0	53.0
550	4.0	33.0	-5.0	15.0	7.0	116.0	238.0	55.0
600	4.5	35.0	-3.5	16.0	18.0	120.0	246.0	56.0
650	5.0	38.0	-2.0	18.0	22.0	123.0	251.0	56.5
700	6.0	41.0	-1.0	19.0	25.0	126.0	257.0	53.0
750	7.0	44.0	0.5	19.0	33.0	127.0	266.0	50.0
800	8.0	47.0	2.0	19.0	35.0	143.0	273.0	44.0
850	10.0	51.0	3.0	19.0	37.0	169.0	290.0	37.0
900	11.0	54.0	4.5	20.0	40.0	176.0	302.0	31.0
950	14.0	59.0	5.5	21.0	40.0	177.0	311.0	27.0
1000	19.0	63.0	10.0	22.0	40.0	165.0	315.0	23.0
1050	24.0	68.0	15.0	24.0	40.0	150.0	316.0	9.0
1100	28.0	73.0	23.0	27.0	40.0	129.0	313.0	
1150	34.0	79.0	36.0	33.0	37.0		309.0	
1200	39.0	86.0	45.0	40.0	37.0		294.0	
1250	45.0	91.0	54.0	50.0	37.0			
1300	51.0	99.0	65.0	62.0	38.0			
1350	55.0	107.0	82.0	75.0	41.0			
1400	64.0	118.0	184.0	90.0	45.0			
1450	82.0	136.0		105.0	55.0			
1500	141.0	154.0		120.0				
1550		188.0		134.0				
1600		285.0						

Data dari Tabel 5.4 dapat ditampilkan dalam bentuk gambar grafik beban dan lendutan, seperti pada Gambar 5.2 di bawah ini,

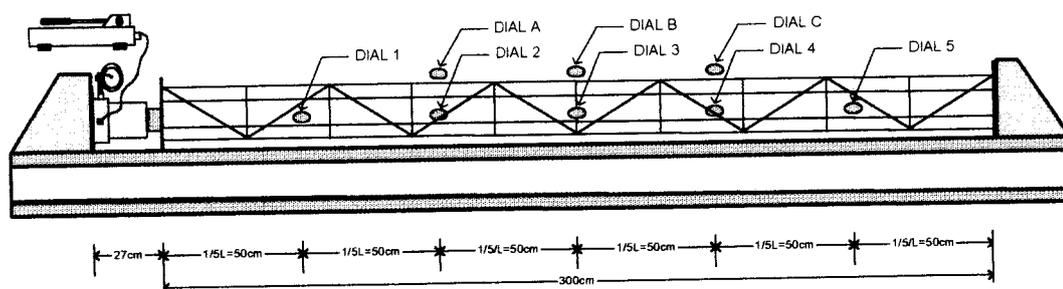


Gambar 5.2 Grafik beban dan lendutan uji kuat profil dengan plat dasar

5.1.2. Hasil pengujian kolom tersusun

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 $1/6L$. Dial pertama (Dial 1) diletakkan pada jarak $1/6L$ dari tepi yang langsung menerima beban (ujung yang terdapat dongkrak), dial kedua (Dial 2) diletakkan pada jarak $2/6L$ dari tepi yang langsung menerima beban, dial ketiga (Dial 3) diletakkan pada jarak $3/6L$ dari tepi (plat dasar dukungan), dial keempat (Dial 4) diletakkan $4/6L$ dari plat dasar yang menerima beban, dan dial kelima (Dial 5) diletakkan pada jarak $1/6L$ dari plat dasar yang tidak menerima beban. Sebagai antisipasi apabila kerusakan terjadi pada sumbu kuat bahan diletakkan juga tiga dial pada arah sumbu kuat bahan. Dial pertama (Dial A) diletakkan pada jarak $1/4L$ dari plat dasar yang dibebani, dial kedua (Dial B) diletakkan di tengah-tengah bentang kolom, dan dial ketiga (Dial C) pada jarak $1/4L$ dari plat dasar yang tidak dibebani. Letak penempatan Dial dapat dilihat dalam Gambar 5.3 di bawah ini,



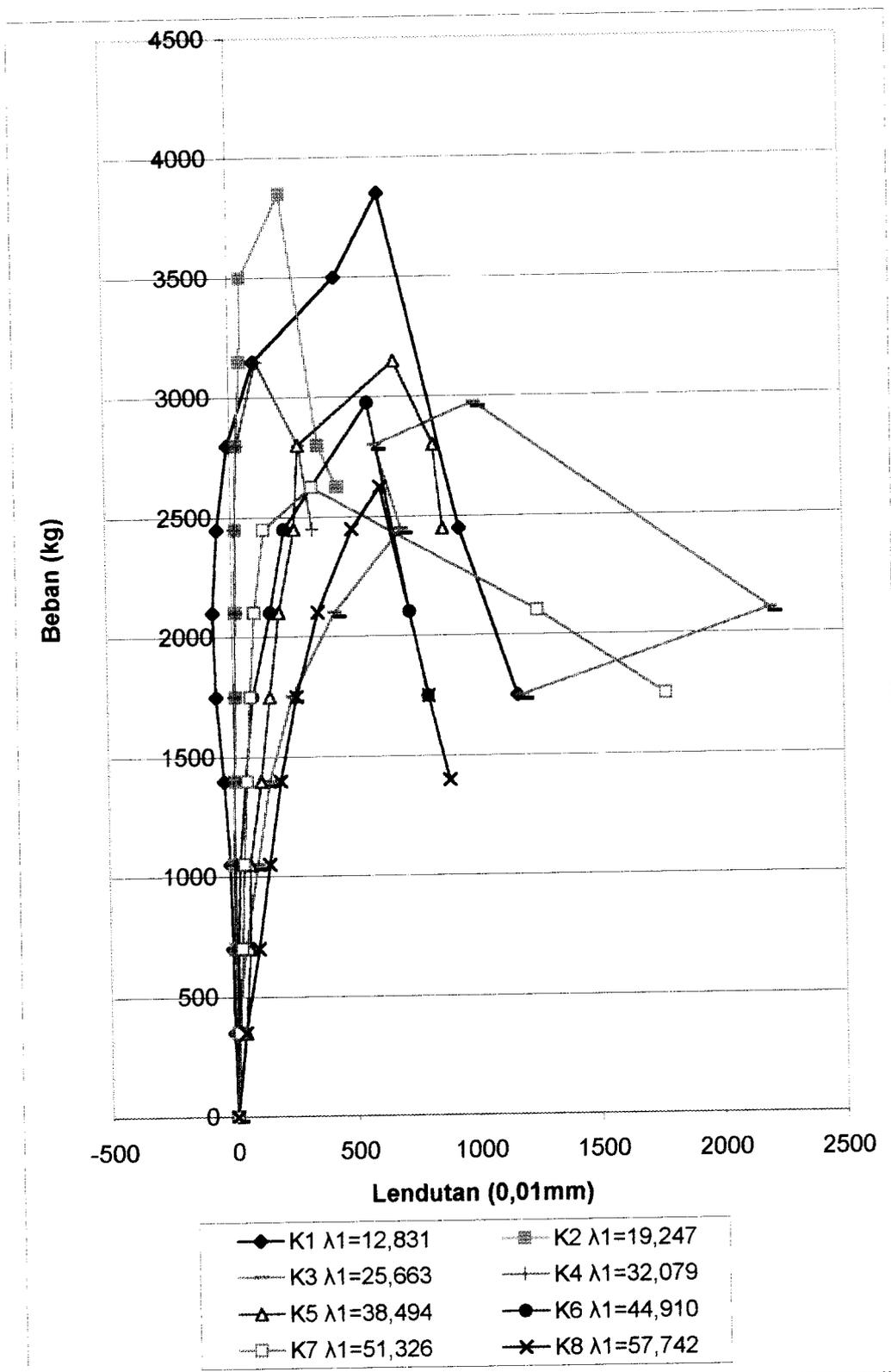
Gambar 5.3. Letak penempatan Dial

1. Hasil pengujian Dial 1

Tabel 5.5. Hasil pengujian Dial 1

BEBAN & LENDUTAN															
K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8	
$\hat{\lambda}_1=12,831$		$\hat{\lambda}_1=19,247$		$\hat{\lambda}_1=25,663$		$\hat{\lambda}_1=32,079$		$\hat{\lambda}_1=38,494$		$\hat{\lambda}_1=44,910$		$\hat{\lambda}_1=51,326$		$\hat{\lambda}_1=57,742$	
Beban	Dial 1	Beban	Dial 1	Beban	Dial 1	Beban	Dial 1	Beban	Dial 1	Beban	Dial 1	Beban	Dial 1	Beban	Dial 1
Kg	0,01mm	kg	0,01mm	Kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	-9	350	4	350	5	350	0	350	38	350	8	350	14	350	36
700	-12	700	-1	700	41	700	1	700	59	700	10	700	28	700	95
1050	-18	1050	-3	1050	96	1050	1	1050	64	1050	21	1050	39	1050	144
1400	-38	1400	5	1400	148	1400	1	1400	112	1400	48	1400	53	1400	193
1750	-68	1750	10	1750	244	1750	9	1750	152	1750	83	1750	70	1750	261
2100	-77	2100	14	2100	425	2100	14	2100	194	2100	157	2100	91	2100	355
2450	-55	2450	18	2450	700	2450	16	2450	260	2450	219	2450	135	2450	498
2800	-10	2800	26	2800	595	2800	27	2800	278	2975	567	2625	333	2625	615
3150	100	3150	44	2975	1003	3150	110	3150	676	2100	731	2100	1255	1750	807
3500	435	3500	50	2100	2203	2800	283	2800	834	1750	804	1750	1774	1400	891
3650	617	3850	214	1750	1188	2450	335	2450	873						
2450	939	2800	362												
1750	1170	2625	440												

Tabel 5.5 (Tabel beban dan lendutan Dial 1) dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan. Dari Gambar 5.4 (Grafik beban dan lendutan Dial 1) dapat dibandingkan besarnya lendutan yang terjadi pada kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 pada Dial 1, sehingga kekuatan kolom tersusun secara kasar bisa dibandingkan dari besar lendutan yang terjadi. Gambar grafik beban dan lendutan Dial 1 dapat dilihat pada Gambar 5.4.



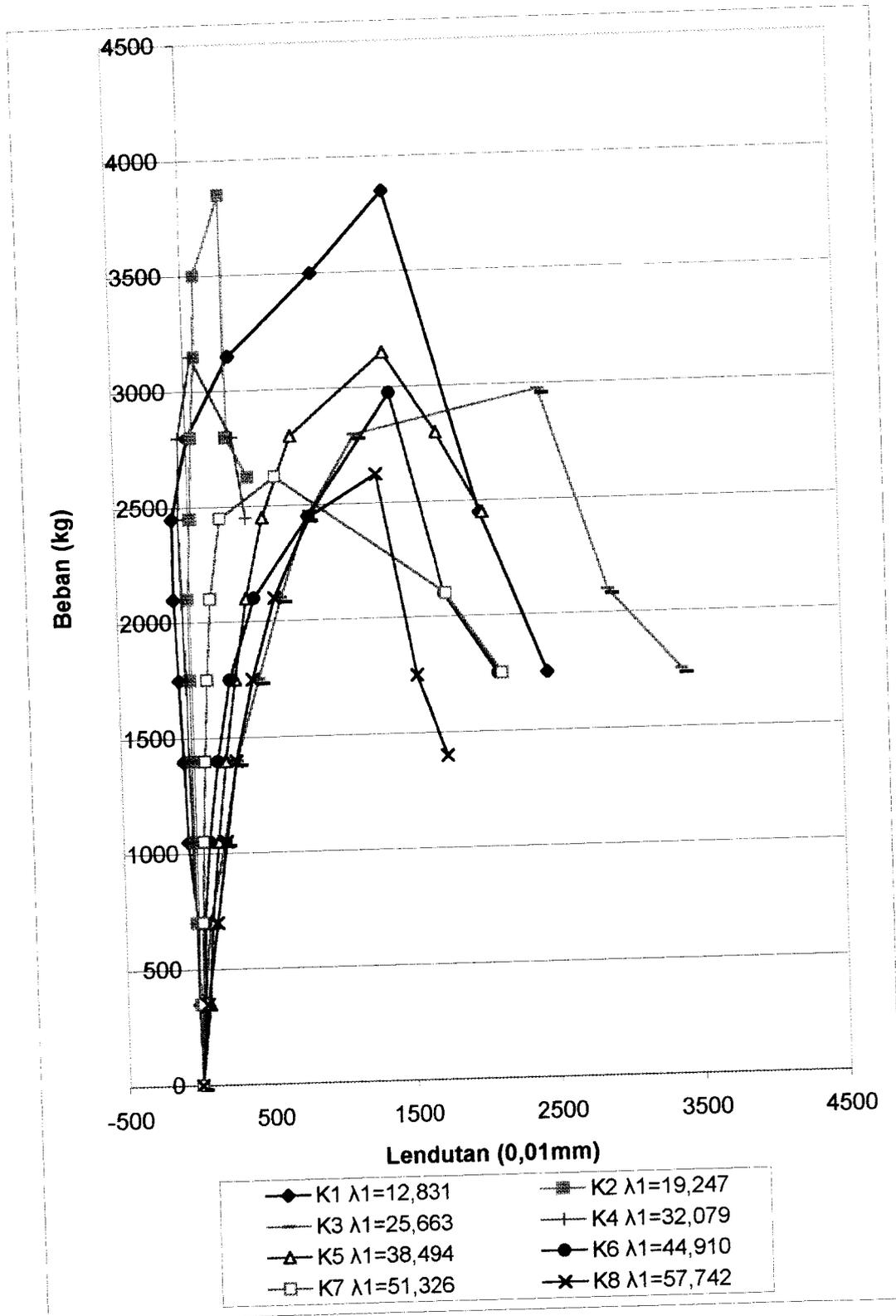
Gambar 5.4. Grafik beban dan lendutan Dial 1

2. Hasil pengujian Dial 2

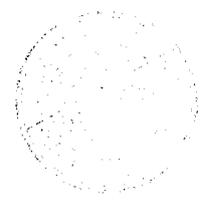
Tabel 5.6. Hasil pengujian Dial 2

BEBAN & LENDUTAN															
K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8	
$\lambda_1=12,831$		$\lambda_1=19,247$		$\lambda_1=25,663$		$\lambda_1=32,079$		$\lambda_1=38,494$		$\lambda_1=44,910$		$\lambda_1=51,326$		$\lambda_1=57,742$	
Beban	Dial 2	Beban	Dial 2	Beban	Dial 2	Beban	Dial 2	Beban	Dial 2	Beban	Dial 2	Beban	Dial 2	Beban	Dial 2
kg	0,01mm	kg	0,01mm	Kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	Kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	-1	350	6	350	29	350	-9	350	65	350	38	350	18	350	50
700	-1	700	-11	700	80	700	-14	700	96	700	45	700	32	700	132
1050	-56	1050	-12	1050	195	1050	-25	1050	153	1050	90	1050	51	1050	207
1400	-70	1400	-14	1400	291	1400	-34	1400	217	1400	161	1400	75	1400	289
1750	-90	1750	-16	1750	460	1750	-41	1750	294	1750	258	1750	102	1750	414
2100	-111	2100	-13	2100	630	2100	-54	2100	383	2100	439	2100	140	2100	581
2450	-106	2450	16	2450	828	2450	-61	2450	511	2450	837	2450	222	2450	846
2800	9	2800	39	2800	1170	2800	-50	2800	721	2975	1417	2625	607	2625	1312
3150	307	3150	75	2975	2450	3150	50	3150	1378	2100	1766	2100	1780	1750	1562
3500	895	3500	84	2100	2900	2800	315	2800	1736	1750	2128	1750	2157	1400	1768
3650	1405	3850	274	1750	3400	2450	398	2450	2045						
2450	2027	2800	280												
1750	2468	2625	418												

Tabel 5.6 (Tabel beban dan lendutan Dial 2) dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan. Dari Gambar 5.5 (Grafik beban dan Lendutan Dial 2) dapat dibandingkan besarnya lendutan yang terjadi pada kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 pada Dial 2, sehingga kekuatan kolom tersusun secara kasar bisa dibandingkan dari besar lendutan yang terjadi. Gambar grafik beban dan lendutan Dial 2 dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Grafik beban dan lendutan Dial 2

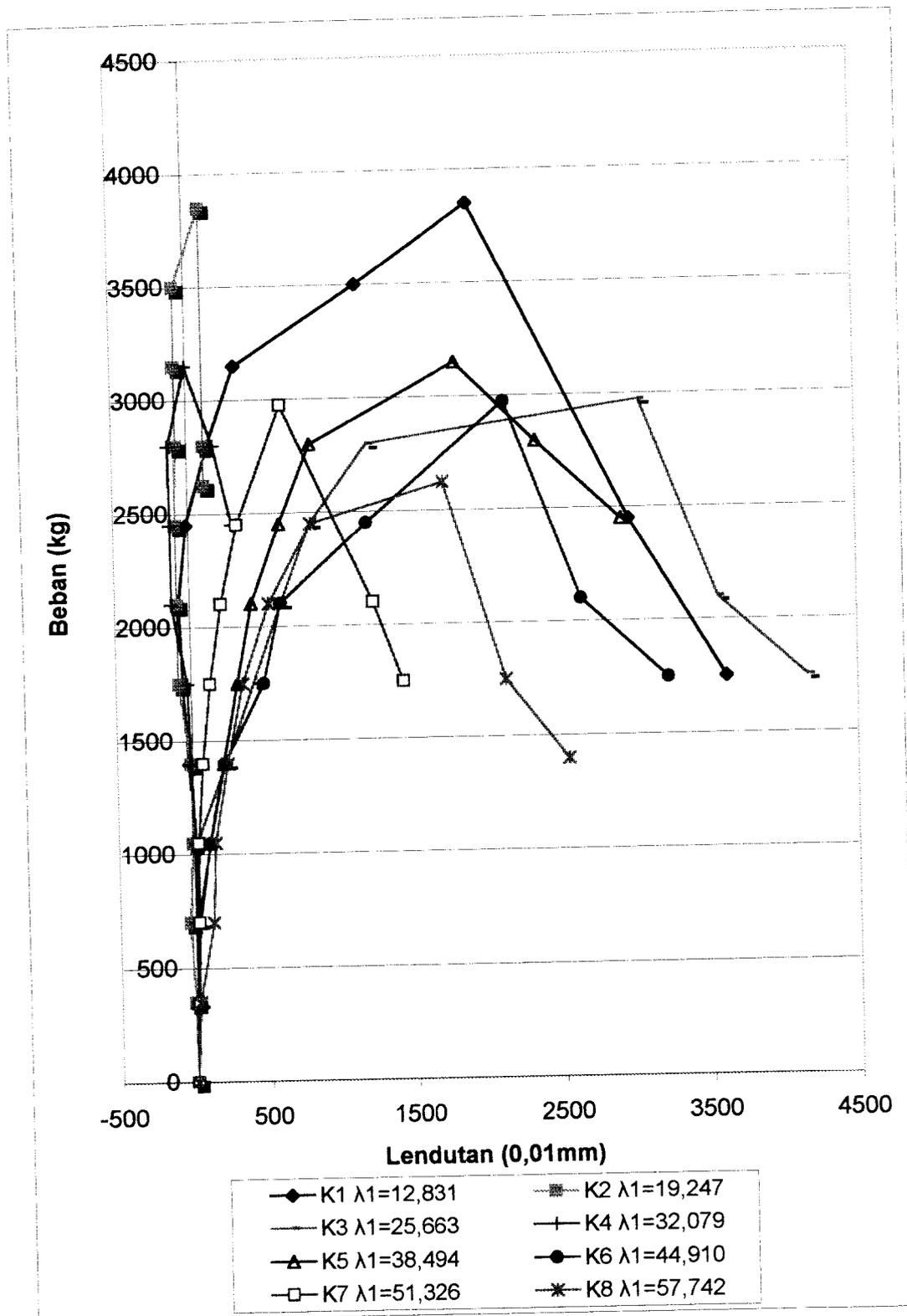


3. Hasil pengujian Dial 3

Tabel 5.7. Hasil pengujian Dial 3

BEBAN & LENDUTAN															
K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8	
$\lambda_1=12,831$		$\lambda_1=19,247$		$\lambda_1=25,663$		$\lambda_1=32,079$		$\lambda_1=38,494$		$\lambda_1=44,910$		$\lambda_1=51,326$		$\lambda_1=57,742$	
Beban	Dial 3	Beban	Dial 3	Beban	Dial 3	Beban	Dial 3	Beban	Dial 3	Beban	Dial 3	Beban	Dial 3	Beban	Dial 3
Kg	0,01mm	kg	0,01mm	Kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	10	350	-10	350	1	350	18	350	3	350	9	350	14	350	20
700	14	700	-35	700	10	700	6	700	29	700	16	700	22	700	121
1050	7	1050	-11	1050	17	1050	12	1050	106	1050	108	1050	30	1050	142
1400	-25	1400	-13	1400	220	1400	-14	1400	206	1400	209	1400	66	1400	234
1750	-57	1750	-84	1750	417	1750	-25	1750	306	1750	485	1750	123	1750	342
2100	-74	2100	-85	2100	611	2100	-123	2100	409	2100	609	2100	205	2100	529
2450	-15	2450	-85	2450	819	2450	-124	2450	609	2450	1200	2450	322	2450	825
2800	132	2800	-78	2800	1210	2800	-125	2800	823	2975	2140	2625	630	2625	1727
3150	323	3150	-78	2975	3050	3150	-5	3150	1815	2100	2643	2100	1239	1750	2128
3500	1153	3500	-71	2100	3565	2800	173	2800	2350	1750	3225	1750	1436	1400	2549
3650	1916	3850	110	1750	4164	2450	292	2450	2920						
2450	2971	2800	110												
1750	3617	2625	110												

Tabel 5.7 (Tabel beban dan lendutan Dial 3) dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan. Dari Gambar 5.6 (Grafik beban dan Lendutan Dial 3) dapat dibandingkan besarnya lendutan yang terjadi pada kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 pada Dial 3, sehingga kekuatan kolom tersusun secara kasar bisa dibandingkan dari besar lendutan yang terjadi. Gambar grafik beban dan lendutan Dial 3 dapat dilihat pada Gambar 5.6.



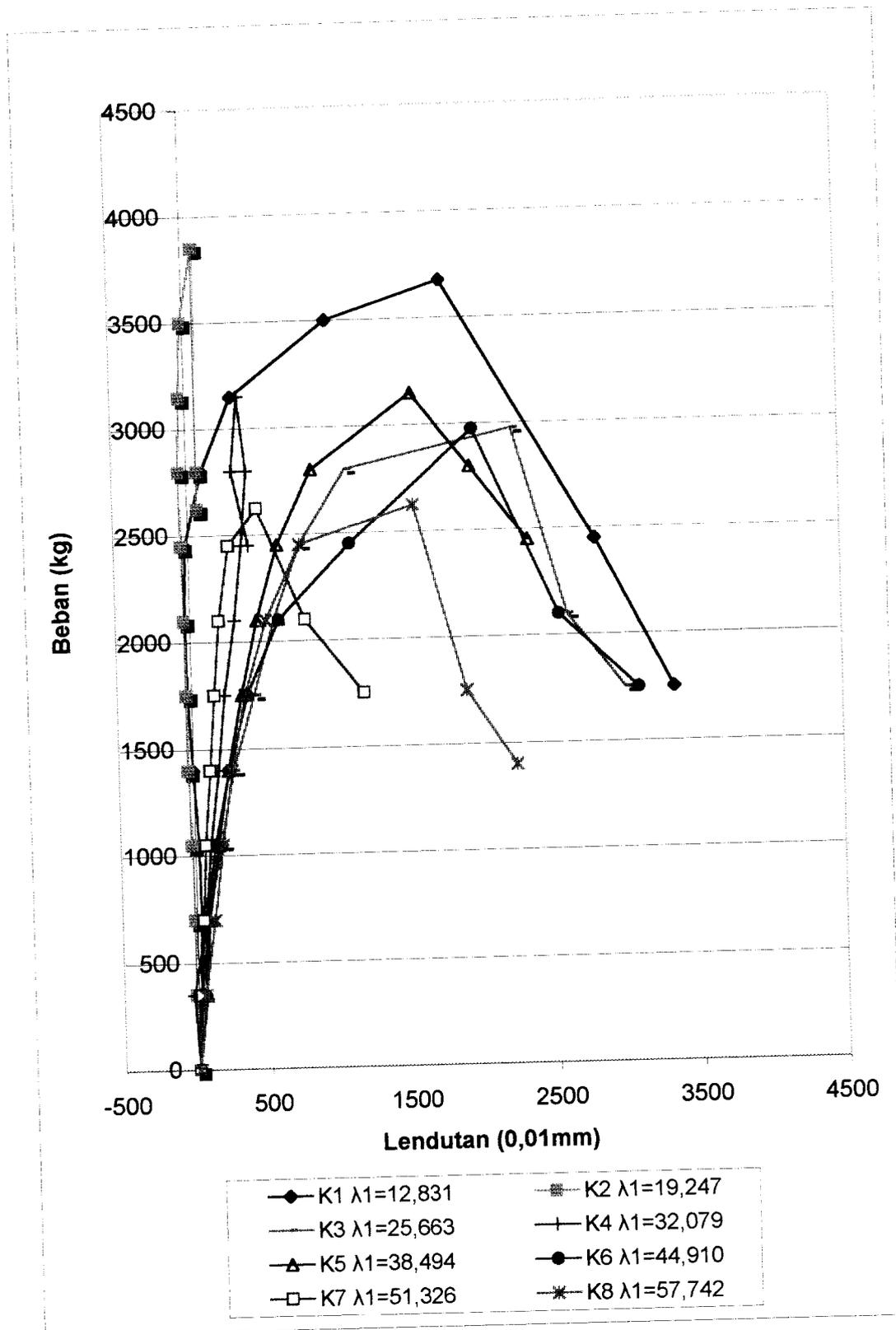
Gambar 5.6. Grafik beban dan lendutan Dial 3

4. Hasil pengujian Dial 4

Tabel 5.8. Hasil pengujian Dial 4

BEBAN & LENDUTAN															
K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8	
$\lambda_1=12,831$		$\lambda_1=19,247$		$\lambda_1=25,663$		$\lambda_1=32,079$		$\lambda_1=38,494$		$\lambda_1=44,910$		$\lambda_1=51,326$		$\lambda_1=57,742$	
Beban	Dial4	Beban	Dial4	Beban	Dial4	Beban	Dial4	Beban	Dial4	Beban	Dial4	Beban	Dial4	Beban	Dial4
kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	Kg	0,01mm	Kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	15	350	-15	350	25	350	-28	350	55	350	51	350	21	350	48
700	32	700	-12	700	75	700	63	700	86	700	66	700	46	700	122
1050	27	1050	-19	1050	182	1050	107	1050	159	1050	140	1050	72	1050	191
1400	-3	1400	-34	1400	273	1400	173	1400	241	1400	246	1400	113	1400	265
1750	-25	1750	-36	1750	428	1750	223	1750	341	1750	381	1750	153	1750	365
2100	-32	2100	-43	2100	576	2100	303	2100	457	2100	610	2100	196	2100	520
2450	-19	2450	-45	2450	766	2450	362	2450	609	2450	1114	2450	272	2450	765
2800	103	2800	-53	2800	1093	2800	407	2800	858	2975	1981	2625	472	2625	1559
3150	313	3150	-40	2975	2250	3150	355	3150	1556	2100	2552	2100	793	1750	1908
3500	979	3500	-16	2100	2611	2800	307	2800	1958	1750	3094	1750	1192	1400	2247
3650	1777	3850	75	1750	3005	2450	410	2450	2347						
2450	2810	2800	71												
1750	3335	2625	67												

Tabel 5.8 (Tabel beban dan lendutan Dial 4) dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan. Dari Gambar 5.7 (Grafik beban dan Lendutan Dial 4) dapat dibandingkan besarnya lendutan yang terjadi pada kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 pada Dial 4, sehingga kekuatan kolom tersusun secara kasar bisa dibandingkan dari besar lendutan yang terjadi. Gambar grafik beban dan lendutan Dial 4 dapat dilihat pada Gambar 5.7.



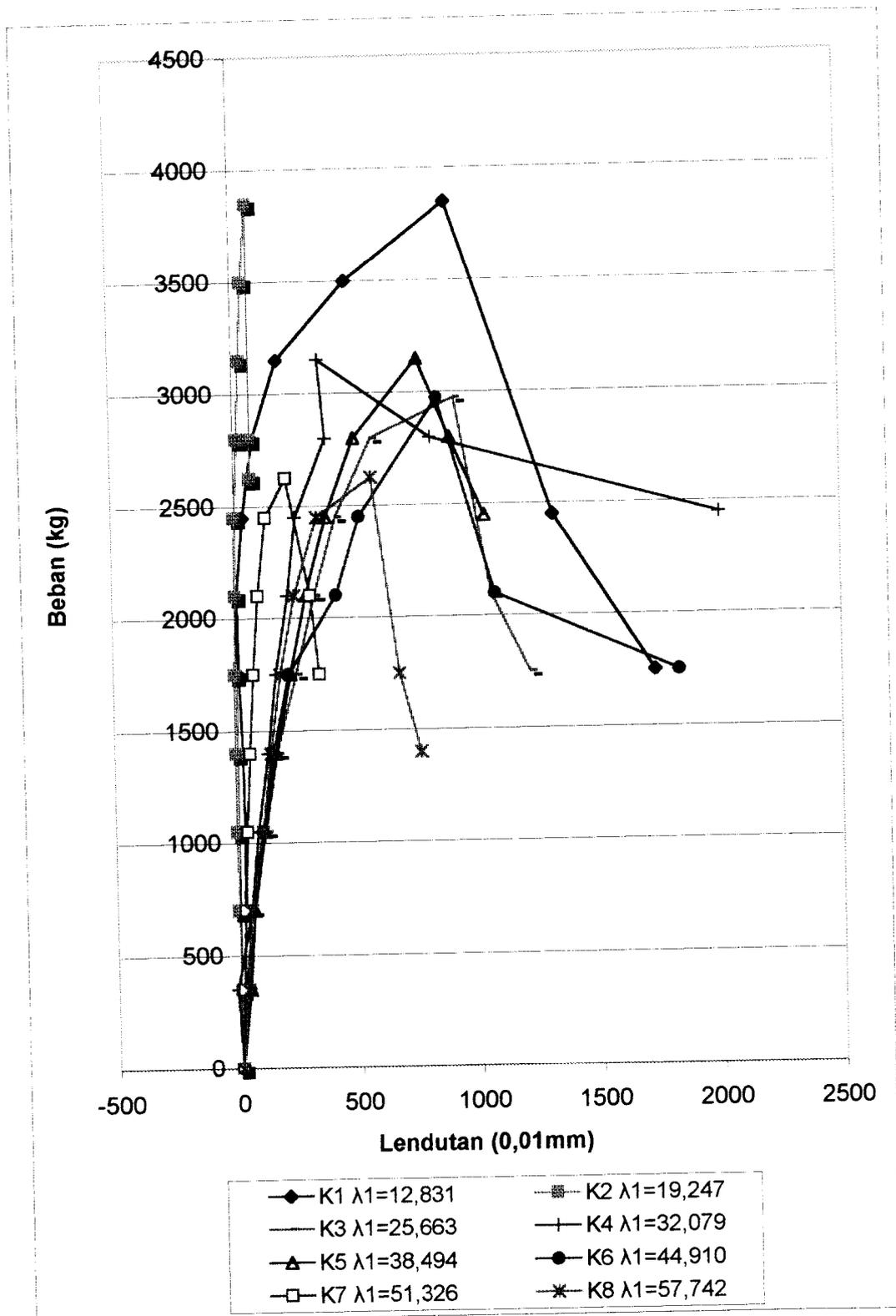
Gambar 5.7. Grafik beban dan lendutan Dial 4

5. Hasil pengujian Dial 5

Tabel 5.9. Hasil pengujian Dial 5

BEBAN & LENDUTAN															
K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8	
$\lambda_1=12,831$		$\lambda_1=19,247$		$\lambda_1=25,663$		$\lambda_1=32,079$		$\lambda_1=38,494$		$\lambda_1=44,910$		$\lambda_1=51,326$		$\lambda_1=57,742$	
Beban Kg	Dial5 0,01mm	Beban kg	Dial5 0,01mm	Beban kg	Dial5 0,01mm	Beban kg	Dial5 0,01mm	Beban kg	Dial5 0,01mm	Beban Kg	Dial5 0,01mm	Beban kg	Dial5 0,01mm	Beban kg	Dial5 0,01mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	9	350	-4	350	15	350	-19	350	35	350	32	350	8	350	25
700	19	700	-8	700	47	700	45	700	57	700	43	700	20	700	42
1050	22	1050	-9	1050	110	1050	78	1050	106	1050	96	1050	31	1050	99
1400	18	1400	-9	1400	161	1400	124	1400	159	1400	146	1400	49	1400	135
1750	7	1750	-9	1750	246	1750	161	1750	222	1750	214	1750	67	1750	180
2100	3	2100	-4	2100	325	2100	215	2100	291	2100	417	2100	90	2100	242
2450	33	2450	0	2450	419	2450	252	2450	377	2450	516	2450	128	2450	341
2800	80	2800	14	2800	571	2800	382	2800	499	2975	847	2625	215	2625	568
3150	186	3150	28	2975	919	3150	356	3150	764	2100	1076	2100	310	1750	675
3500	473	3500	45	2100	1061	2800	817	2800	899	1750	1829	1750	342	1400	761
3650	893	3850	69	1750	1218	2450	2001	2450	1037						
2450	1318	2800	69												
1750	1731	2625	67												

Tabel 5.9 (Tabel beban dan lendutan Dial 5) dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan. Dari Gambar 5.8 (Grafik beban dan Lendutan Dial 5) dapat dibandingkan besarnya lendutan yang terjadi pada kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 pada Dial 5, sehingga kekuatan kolom tersusun secara kasar bisa dibandingkan dari besar lendutan yang terjadi. Gambar grafik beban dan lendutan Dial 5 dapat dilihat pada Gambar 5.8.



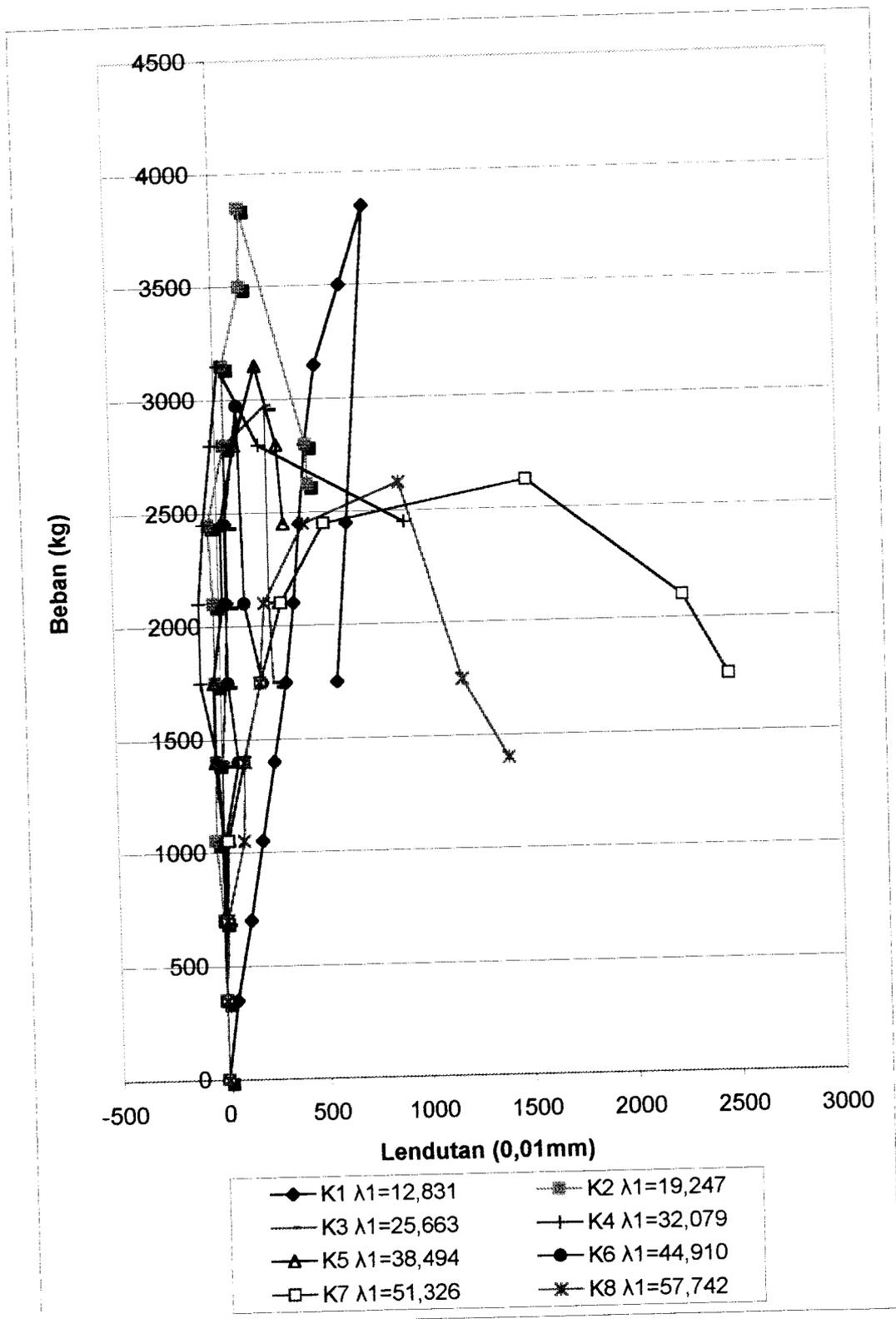
Gambar 5.8. Grafik beban dan lendutan Dial 5

6. Hasil pengujian Dial A

Tabel 5.10. Hasil pengujian Dial A

BEBAN & LENDUTAN															
K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8	
$\lambda_1=12,831$		$\lambda_1=19,247$		$\lambda_1=25,663$		$\lambda_1=32,079$		$\lambda_1=38,494$		$\lambda_1=44,910$		$\lambda_1=51,326$		$\lambda_1=57,742$	
Beban kg	DialA 0,01mm	Beban kg	DialA 0,01mm	Beban kg	DialA 0,01mm	Beban kg	DialA 0,01mm	Beban kg	DialA 0,01mm	Beban Kg	DialA 0,01mm	Beban kg	DialA 0,01mm	Beban kg	DialA 0,01mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	50	350	-1	350	0	350	0	350	0	350	0	350	0	350	1
700	125	700	-5	700	0	700	-1	700	0	700	8	700	9	700	11
1050	190	1050	-35	1050	3	1050	-4	1050	0	1050	9	1050	23	1050	98
1400	255	1400	-25	1400	4	1400	-18	1400	-32	1400	78	1400	105	1400	110
1750	320	1750	-26	1750	27	1750	-95	1750	-32	1750	37	1750	194	1750	191
2100	365	2100	-25	2100	42	2100	-95	2100	18	2100	36	2100	302	2100	221
2450	400	2450	-43	2450	42	2450	-65	2450	18	2450	37	2450	520	2450	419
2800	435	2800	42	2800	42	2800	-21	2800	90	2975	108	2625	1505	2625	888
3150	490	3150	42	2975	246	3150	23	3150	200	2100	125	2100	2250	1750	1178
3500	620	3500	135	2100	246	2800	210	2800	295	1750	205	1750	2465	1400	1398
3650	740	3850	138	1750	259	2450	910	2450	322						
2450	630	2800	440												
1750	570	2625	445												

Tabel 5.10 (Tabel beban dan lendutan Dial A) dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan. Dari Gambar 5.9 (Grafik beban dan Lendutan Dial 5) dapat dibandingkan besarnya lendutan yang terjadi pada kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 pada Dial A, sehingga kekuatan kolom tersusun secara kasar bisa dibandingkan dari besar lendutan yang terjadi. Gambar grafik beban dan lendutan Dial A dapat dilihat pada Gambar 5.9.



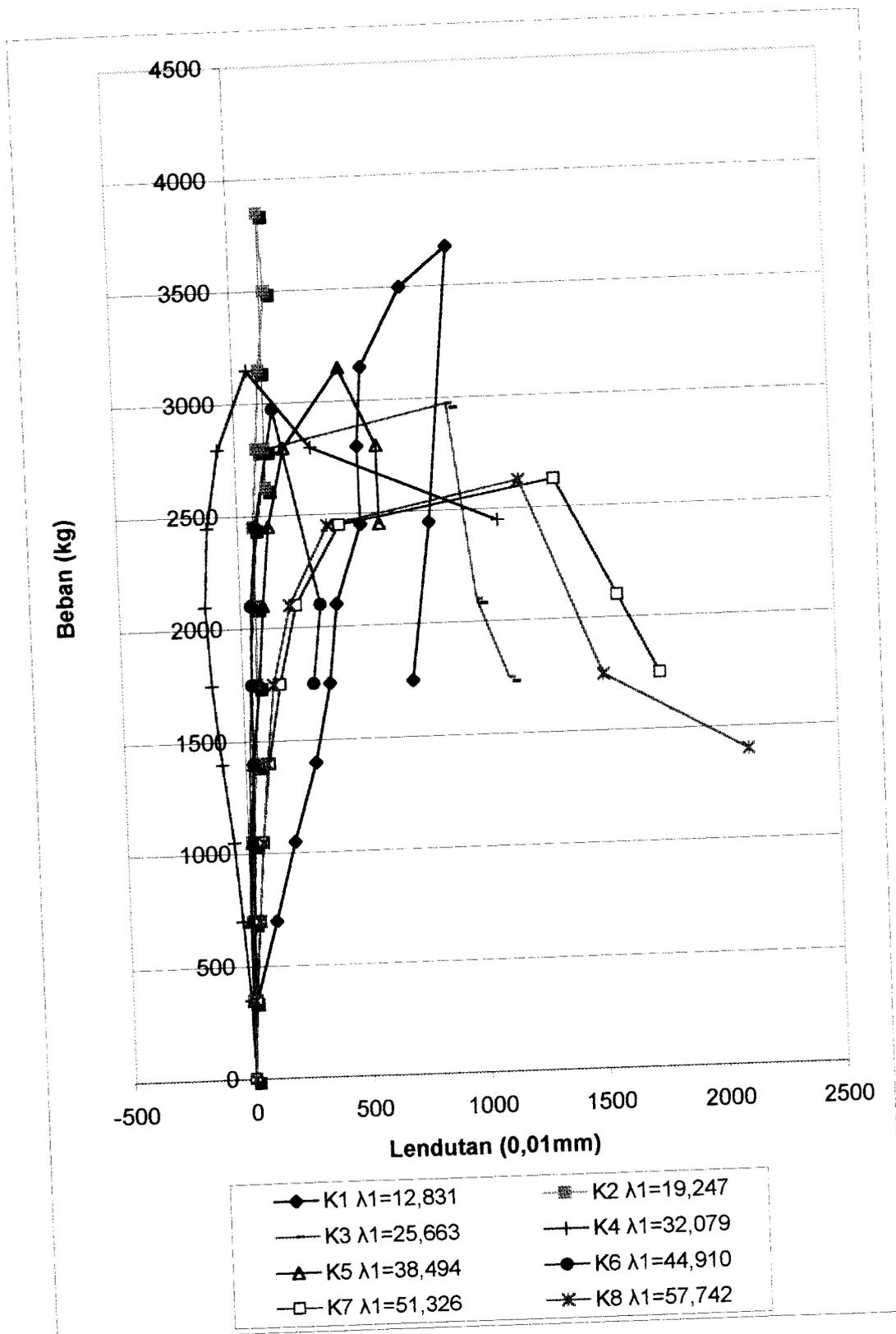
Gambar 5.9. Grafik beban dan lendutan Dial A

7. Hasil pengujian Dial B

Tabel 5.11. Hasil pengujian Dial B

BEBAN & LENDUTAN															
K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8	
$\hat{\lambda}_1=12,831$		$\hat{\lambda}_1=19,247$		$\hat{\lambda}_1=25,663$		$\hat{\lambda}_1=32,079$		$\hat{\lambda}_1=38,494$		$\hat{\lambda}_1=44,910$		$\hat{\lambda}_1=51,326$		$\hat{\lambda}_1=57,742$	
Beban	DialB	Beban	DialB	Beban	DialB	Beban	DialB	Beban	DialB	Beban	DialB	Beban	DialB	Beban	DialB
kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	15	350	2	350	0	350	-9	350	0	350	12	350	15	350	11
700	110	700	11	700	0	700	-33	700	0	700	18	700	40	700	39
1050	200	1050	20	1050	9	1050	-59	1050	16	1050	29	1050	64	1050	65
1400	300	1400	48	1400	19	1400	-96	1400	35	1400	35	1400	101	1400	94
1750	370	1750	63	1750	35	1750	-128	1750	72	1750	38	1750	158	1750	130
2100	410	2100	64	2100	54	2100	-143	2100	98	2100	45	2100	237	2100	210
2450	520	2450	65	2450	82	2450	-125	2450	131	2450	75	2450	430	2450	380
2800	516	2800	90	2800	135	2800	-70	2800	205	2975	165	2625	1340	2625	1192
3150	540	3150	110	2975	898	3150	60	3150	447	2100	340	2100	1590	1750	1522
3500	717	3500	145	2100	1001	2800	320	2800	597	1750	301	1750	1760	1400	2122
3650	920	3850	125	1750	1128	2450	1100	2450	599						
2450	810	2800	125												
1750	720	2625	127												

Tabel 5.11 (Tabel beban dan lendutan Dial B) dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan. Dari Gambar 5.10 (Grafik beban dan Lendutan Dial B) dapat dibandingkan besarnya lendutan yang terjadi pada kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 pada Dial B, sehingga kekuatan kolom tersusun secara kasar bisa dibandingkan dari besar lendutan yang terjadi. Gambar grafik beban dan lendutan Dial B dapat dilihat pada Gambar 5.10.



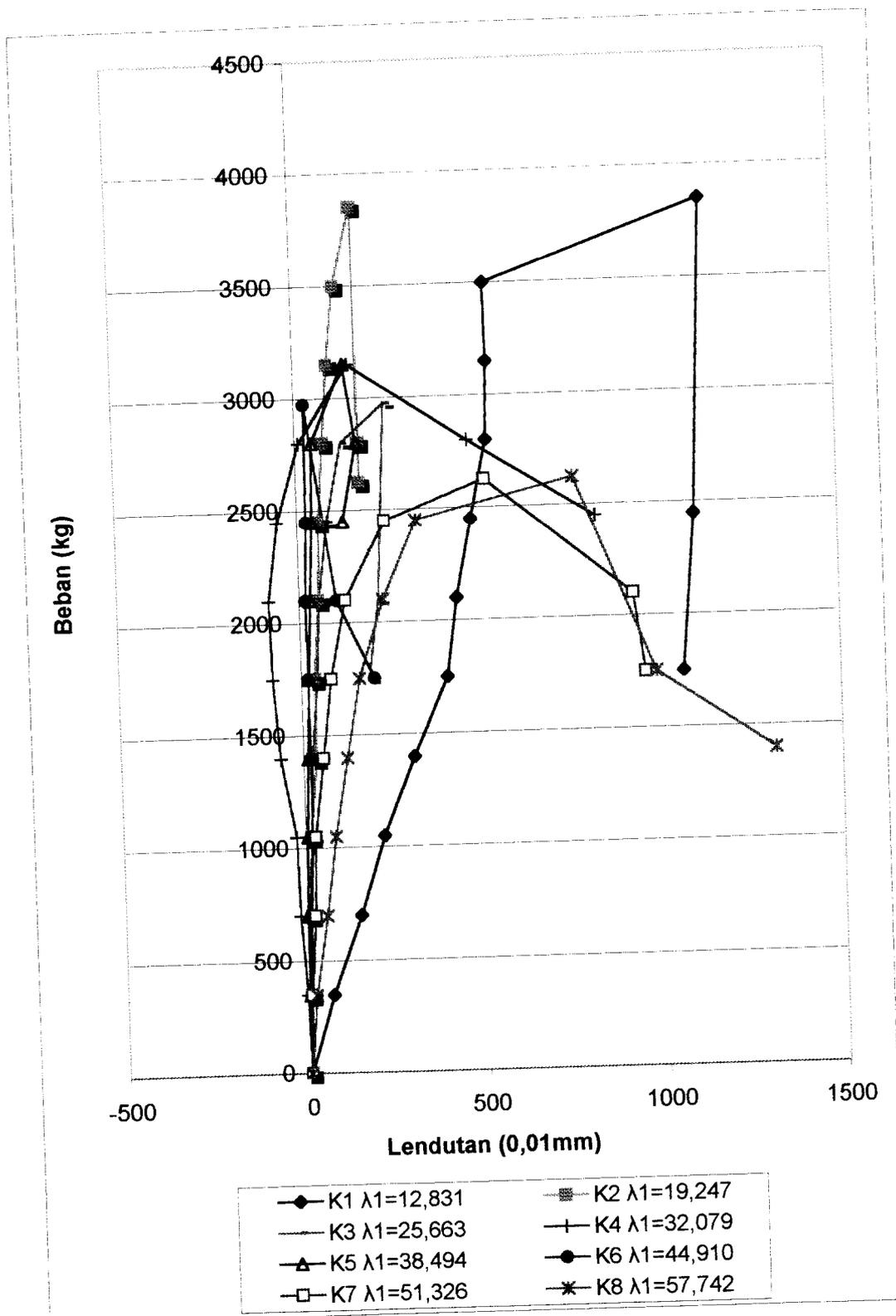
Gambar 5.10. Grafik beban dan lendutan Dial B

8. Hasil pengujian Dial C

Tabel 5.12. Hasil pengujian Dial C

BEBAN & LENDUTAN															
K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8	
$\hat{\lambda}_1=12,831$		$\hat{\lambda}_1=19,247$		$\hat{\lambda}_1=25,663$		$\hat{\lambda}_1=32,079$		$\hat{\lambda}_1=38,494$		$\hat{\lambda}_1=44,910$		$\hat{\lambda}_1=51,326$		$\hat{\lambda}_1=57,742$	
Beban	DialC	Beban	DialC	Beban	DialC	Beban	DialC	Beban	DialC	Beban	DialC	Beban	DialC	Beban	DialC
kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm	Kg	0,01mm	kg	0,01mm	kg	0,01mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	68	350	4	350	0	350	-5	350	0	350	6	350	7	350	19
700	150	700	9	700	6	700	-20	700	0	700	10	700	22	700	55
1050	221	1050	15	1050	17	1050	-26	1050	5	1050	19	1050	28	1050	85
1400	310	1400	36	1400	25	1400	-64	1400	13	1400	20	1400	57	1400	123
1750	410	1750	38	1750	45	1750	-80	1750	22	1750	19	1750	84	1750	163
2100	440	2100	55	2100	57	2100	-85	2100	32	2100	18	2100	128	2100	233
2450	485	2450	60	2450	84	2450	-55	2450	41	2450	25	2450	243	2450	330
2800	532	2800	78	2800	128	2800	10	2800	47	2975	28	2625	525	2625	770
3150	538	3150	95	2975	250	3150	152	3150	140	2100	105	2100	930	1750	990
3500	536	3500	118	2100	221	2800	480	2800	170	1750	205	1750	960	1400	1317
3650	1140	3850	172	1750	190	2450	830	2450	128						
2450	1104	2800	177												
1750	1065	2625	177												

Tabel 5.12 (Tabel beban dan lendutan Dial C) dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan. Dari Gambar 5.11 (Grafik beban dan Lendutan Dial C) dapat dibandingkan besarnya lendutan yang terjadi pada kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 pada Dial C, sehingga kekuatan kolom tersusun secara kasar bisa dibandingkan dari besar lendutan yang terjadi. Gambar grafik beban dan lendutan Dial C dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11. Grafik beban dan lendutan Dial C

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 panjang las, sehingga kekuatan las per satuan panjang (per milimeter) diketahui dengan cara tersebut.

5.2.1.1. Pembahasan uji kuat tarik baja

Hasil yang didapat dari uji kuat tarik baja disajikan dalam bentuk tabel berikut ini,

Tabel. 5.13. Analisa hasil uji kuat tarik baja

Benda Uji	Tegangan Leleh (F_y) Mpa	Tegangan Ultimit (F_u) Mpa	Tegangan Putus Mpa
I	136.931	188.025	63.356
II	148.172	196.200	71.531
III	148.172	205.193	77.663

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

1. Tegangan leleh (F_y) = 144,425 MPa
2. Tegangan ultimit (F_u) = 196,473 MPa
3. Tegangan putus = 70,917 Mpa.

Hasil pengujian tarik baja di atas 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) 170 Mpa.

5.2.1.2. Pembahasan uji kuat geser sambungan las

Kekuatan las diuji dengan menggunakan tiga benda uji. Semua benda uji memiliki panjang las 10 mm, Hasil yang didapat dari uji kuat geser disajikan dalam bentuk tabel berikut ini,

Tabel. 5.14. Analisa hasil uji kuat geser sambungan las

Benda Uji	Beban Maksimum (kg)	Tegangan Maksimum (Mpa)
Sampel 1	2345	230.0445
Sampel 2	3280	321.768
Sampel 3	3720	364.932

Jadi, rerata kekuatan las (F_u) adalah 305.582 Mpa. Tebal plat benda uji adalah 3 mm dengan proses SMAW diketahui tebal efektif (t_e) adalah 2,121 mm ($t_e = 0,707 a$). Rerata kekuatan gaya geser ijin adalah 194.442 kN/mm.

5.2.1.3. Pembahasan uji kuat tekan profil *light lipped channal*.

Data yang diperoleh dari uji pendahuluan ini berguna untuk mengetahui perilaku profil *light lipped channal* bentukan dingin. Dari pengujian ini bisa didapatkan nilai beban kritis dan tegangan kritis sehingga bisa mendapatkan nilai k (koefisien tekuk) profil *light lipped channal* dan dari pengujian ini juga diharapkan

mampu memberikan penjelasan mengenai pengaruh pengelasan pada proses penyambungan perangkat pada kolom tersusun profil *light lipped channel*.

Karena nilai beban kritis (P_{cr}) hasil pengujian masih sangat kasar maka nilai-nilai yang didapatkan diregresi terlebih dahulu. Perhitungan regresi beban kritis menggunakan regresi lengkung (eksponensial) karena data yang diperoleh dari hasil pengujian profil Sampel K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 pada profil tanpa plat dasar dan profil dengan plat dasar mendekati bentuk lengkung. Persamaan regresi eksponensial dapat dilihat pada Persamaan 5.1. dan 5.2.

$$P_{cr} = 1615.48419 * e^{(-0.0035942596 * L/r)} \quad 5.1$$

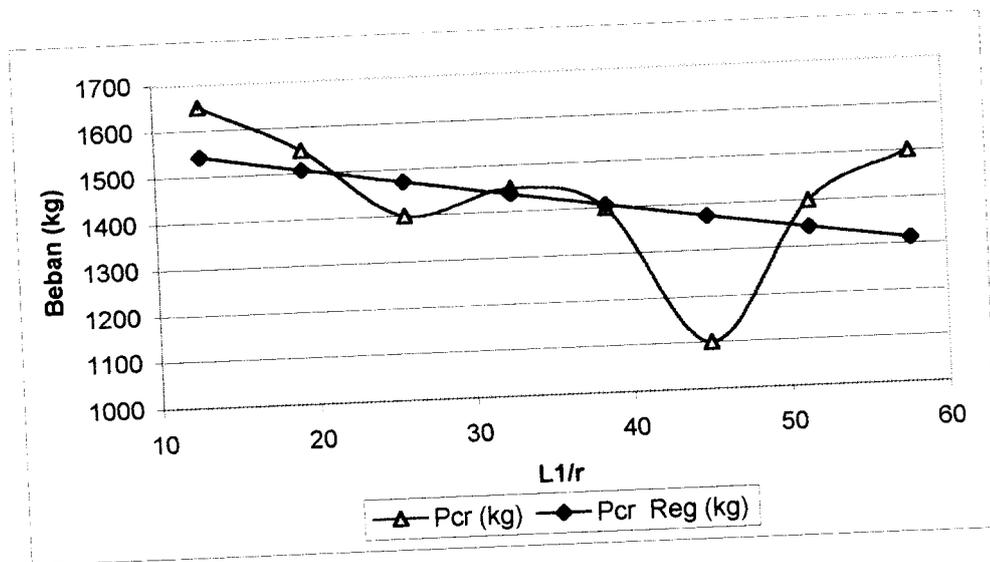
$$P_{cr} = 1710.70324 * e^{(-0.00689779246 * L/r)} \quad 5.2$$

Persamaan 5.1 adalah persamaan regresi untuk beban profil tanpa plat dasar, sedangkan Persamaan 5.2 adalah persamaan beban untuk profil dengan plat dasar. Adapun hasil perhitungan regresi pembebanan dan tegangan kritis (F_{cr}) pada profil *light lipped channel* disajikan dalam bentuk tabel di bawah ini,

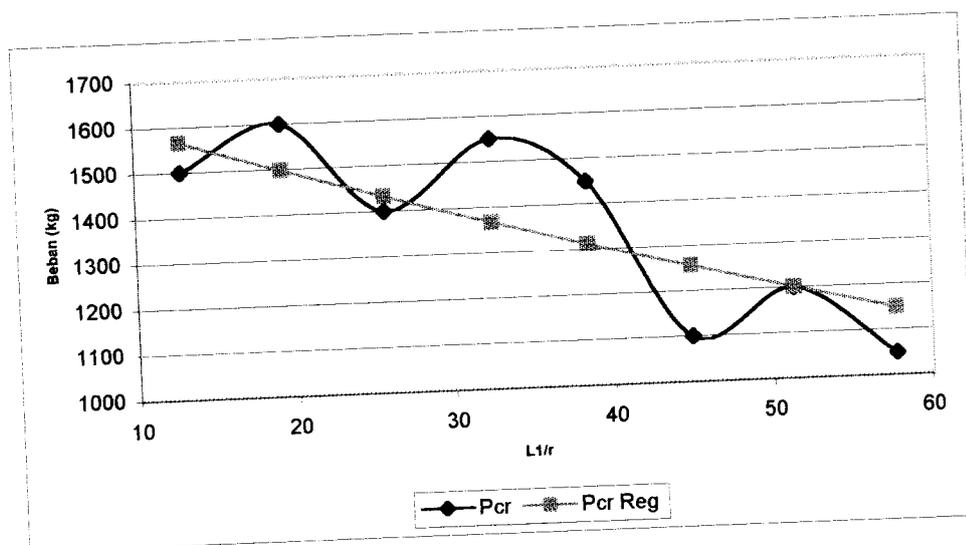
Tabel 5.15. Perbandingan beban kritis pengujian (P_{cr}) dan tegangan kritis (F_{cr}) profil tanpa plat dasar dengan profil dengan plat dasar

Benda Uji	L_1/r	PROFIL TANPA PLAT DASAR			PROFIL DENGAN PLAT DASAR		
		P_{cr} (kg)	P_{cr} Reg (kg)	F_{cr} (Mpa)	P_{cr} (kg)	P_{cr} Reg (kg)	F_{cr} (Mpa)
K1	12.831	1650	1542.671	97.1	1500	1565.798	98.591
K2	19.247	1550	1507.504	94.9	1600	1498.015	94.323
K3	25.663	1400	1473.139	92.8	1400	1433.167	90.240
K4	32.079	1450	1439.557	90.6	1550	1371.126	86.333
K5	38.494	1400	1406.741	88.6	1450	1311.771	82.596
K6	44.910	1100	1374.673	86.6	1100	1254.985	79.021
K7	51.326	1400	1343.336	84.6	1200	1200.657	75.600
K8	57.742	1500	1312.713	82.7	1050	1148.681	72.327

Dari Tabel 5.15 di atas dapat digambarkan perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan beban kritis hasil regresi. Gambar perbandingan beban kritis hasil pengujian dengan beban kritis hasil regresi ditampilkan dalam bentuk grafik di bawah ini,

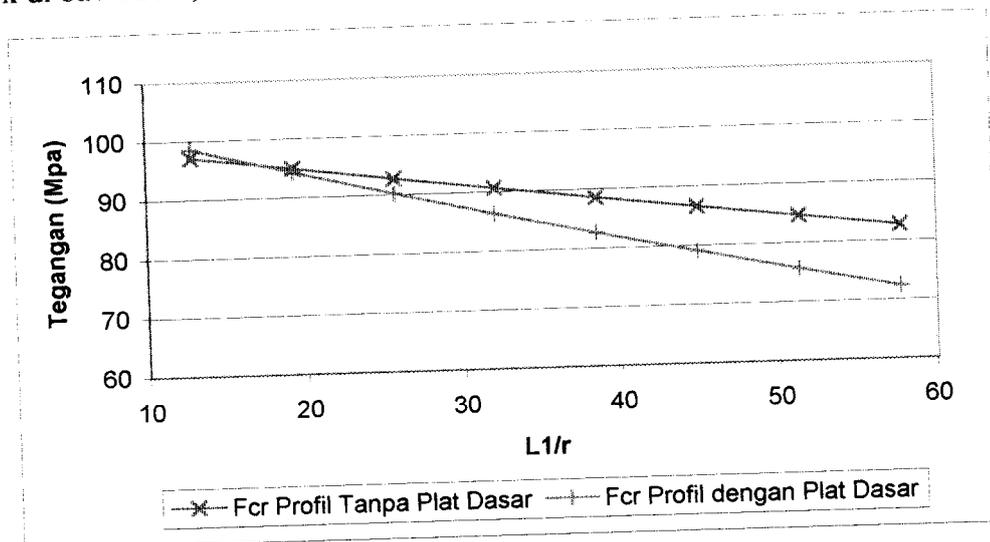


Gambar 5.12. Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) hasil pengujian dan hasil regresi pada profil dengan plat dasar



Gambar 5.13. Grafik perbandingan tegangan kritis (f_{cr}) hasil pengujian dan hasil regresi pada profil dengan plat dasar

Data dari Tabel 5.15 di atas dapat digambarkan perbandingan tegangan kritis hasil pengujian dengan tegangan kritis hasil regresi. Gambar perbandingan tegangan kritis hasil pengujian dengan tegangan kritis hasil regresi ditampilkan dalam bentuk grafik di bawah ini,



Gambar 5.14. Grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) profil tanpa plat dasar dengan profil dengan plat dasar

5.2.2 Pembahasan kolom tersusun

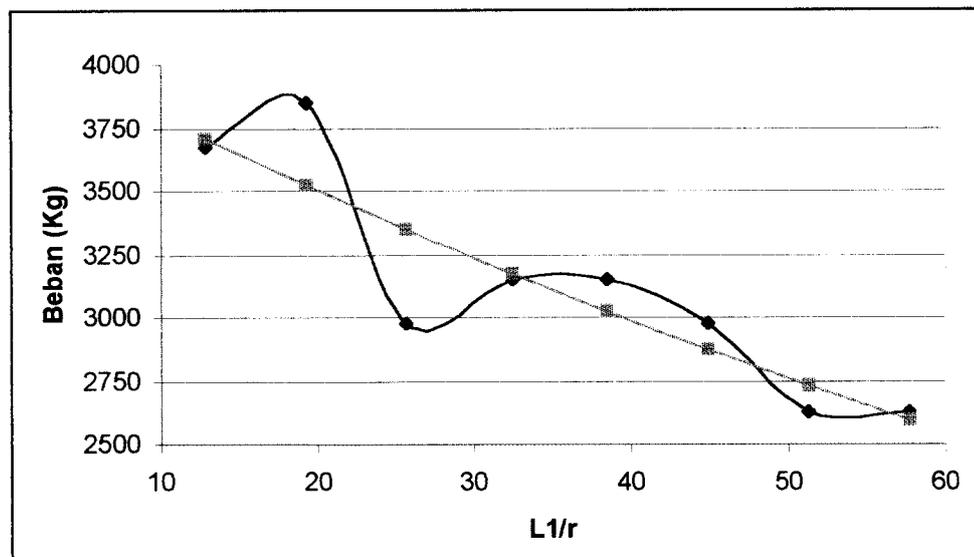
5.2.2.1 Beban kritis (P_{cr})

Beban kritis (P_{cr}) yang terjadi pada masing-masing kolom ditentukan berdasarkan hasil pengujian pada (Tabel 5.5 sampai dengan Tabel 5.2), karena beban kritis yang terjadi pada kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 masih sangat kasar dan mendekati bentuk lengkung, maka dilakukan regresi data hasil pengujian dengan regresi fungsi eksponensial. Persamaan regresi eksponensial yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 5.3.

$$p = 4104.457675 * e^{(-0.007929167*(L/r))}$$

Tabel 5.16. Regresi beban kritis (P_{cr}) kolom tersusun

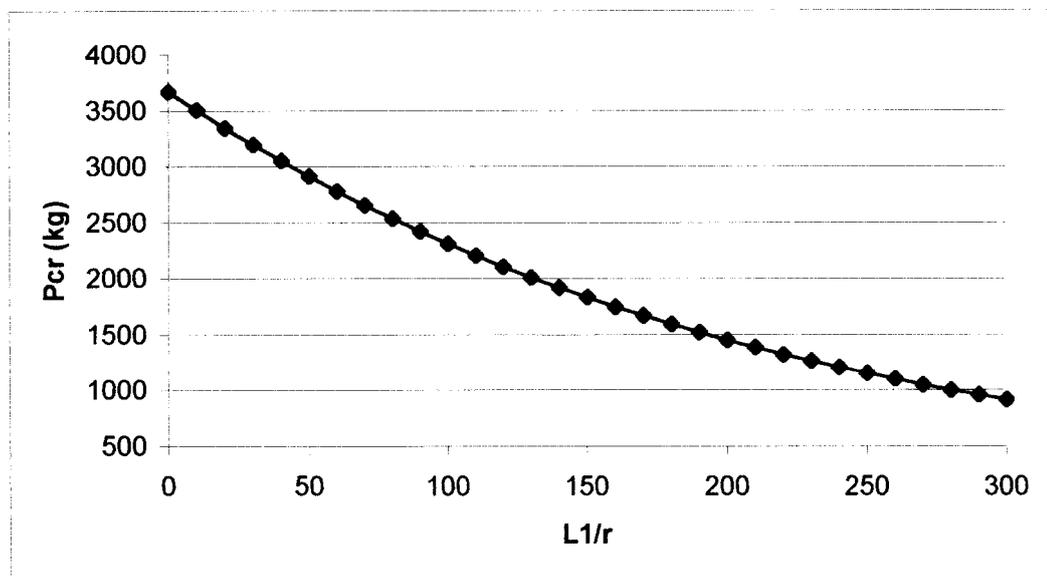
Benda Uji	L_1/r	P_{cr} (kg)	P_{cr} Reg (kg)
K1	12.831	3675	3707.414
K2	19.247	3850	3523.522
K3	25.663	2975	3348.751
K4	32.494	3150	3172.193
K5	38.494	3150	3024.810
K6	44.910	2975	2874.776
K7	51.326	2625	2732.184
K8	57.742	2625	2596.664

**Gambar 5.15.** Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) hasil pengujian dan beban kritis hasil (P_{cr}) hasil regresi pada kolom tersusun

Berdasarkan Gambar 5.15, tampak bahwa nilai P_{cr} berubah tidak sebanding dengan pertambahan L_1/r . Perubahan beban kritis (P_{cr}) tersebut terjadi secara acak pada L_1/r kecil kemudian terjadi perubahan besar dan kemudian kembali terjadi perubahan yang relatif kecil untuk L_1/r besar. Bentuk grafik hubungan kelangsingan

(L_1/r) dengan beban kritis (P_{cr}) hampir tidak sama dengan bentuk grafik penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan di beberapa negara.

Pada Gambar 5.16 tampak bahwa beban kritis yang merupakan data teregresi ditunjukkan oleh garis lengkung beraturan sedangkan beban kritis yang merupakan data hasil pengujian laboratorium ditunjukkan oleh garis lengkung tak beraturan. Persamaan 5.3. dapat digunakan untuk menentukan beban kritis (P_{cr}) untuk setiap angka kelangsingan L_1/r . Gambar 5.16 menampilkan beban kritis untuk angka kelangsingan L_1/r lebih dari 0 sampai dengan 300.

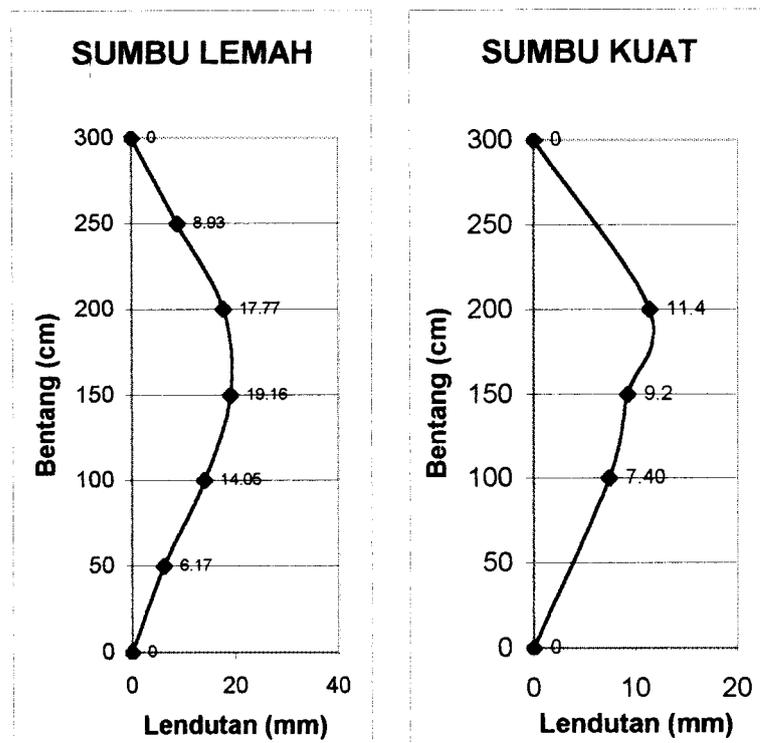


Gambar 5.16. Grafik beban kritis (P_{cr}) fungsi kelangsingan (L_1/r) untuk nilai L_1/r lebih dari 0 sampai dengan 300

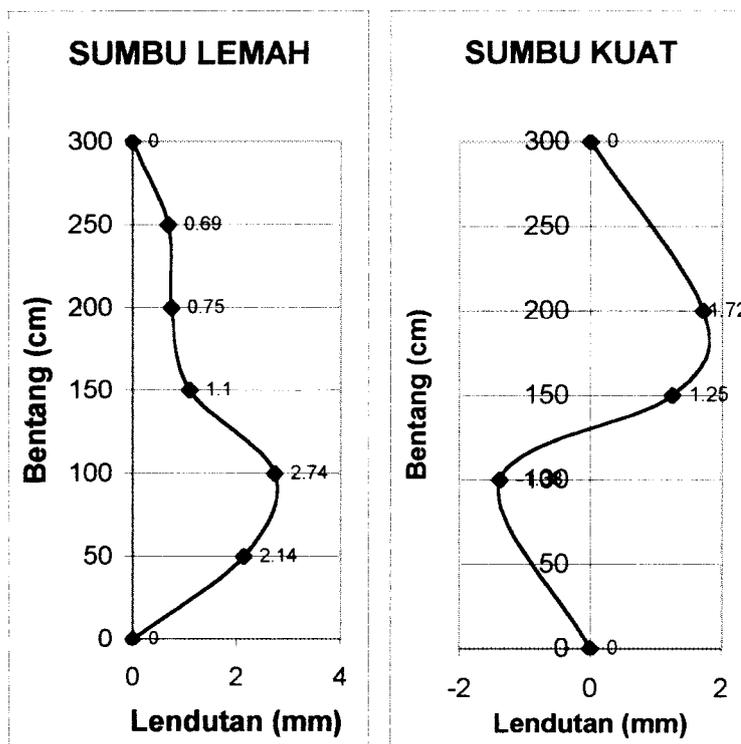
Pada Gambar 5.16 tampak bahwa grafik beban kritis (P_{cr}) fungsi kelangsingan (L_1/r) untuk nilai L_1/r lebih dari 0 sampai dengan 300 tidak sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh beberapa negara (lihat Gambar 3.10). Hal ini disebabkan oleh tipisnya plat dasar profil *light lipped channel* yang digunakan sehingga menyebabkan terjadinya lengkungan awal pada kolom sebelum

dibebani, yang menyebabkan terjadinya tekuk lokal sebagaimana diungkapkan oleh *Lambert Tall (1974)* dan *Gaylord dan Gaylord (1972)*.

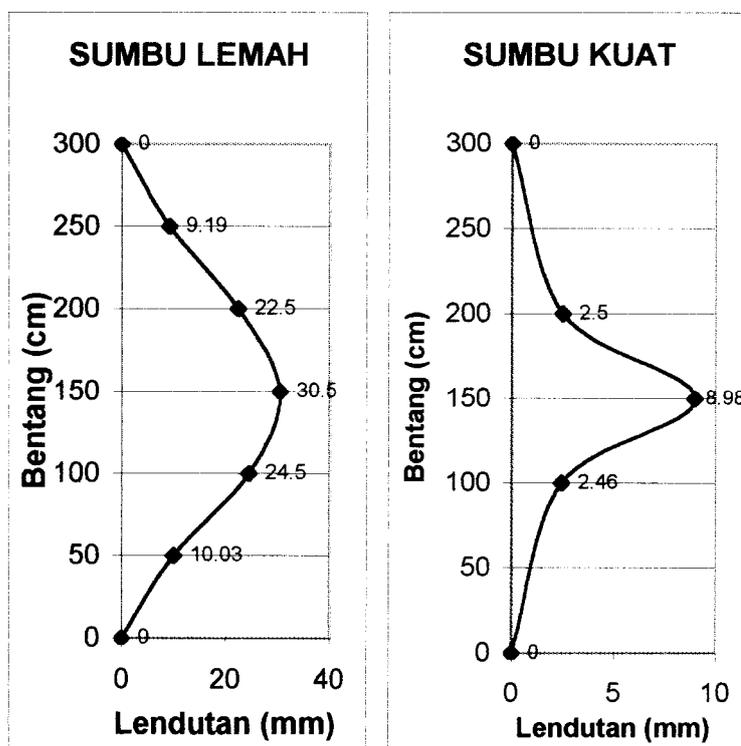
Pada saat terjadi beban kritis (P_{cr}) bentuk deformasi kolom dapat ditentukan dengan cara memilih defleksi yang terbaca pada masing-masing dial pada saat terjadi beban kritis, kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga dapat dilihat bentuk deformasi kolom. Bentuk deformasi kolom dapat dilihat pada Gambar 5.17 sampai dengan Gambar 5.24.



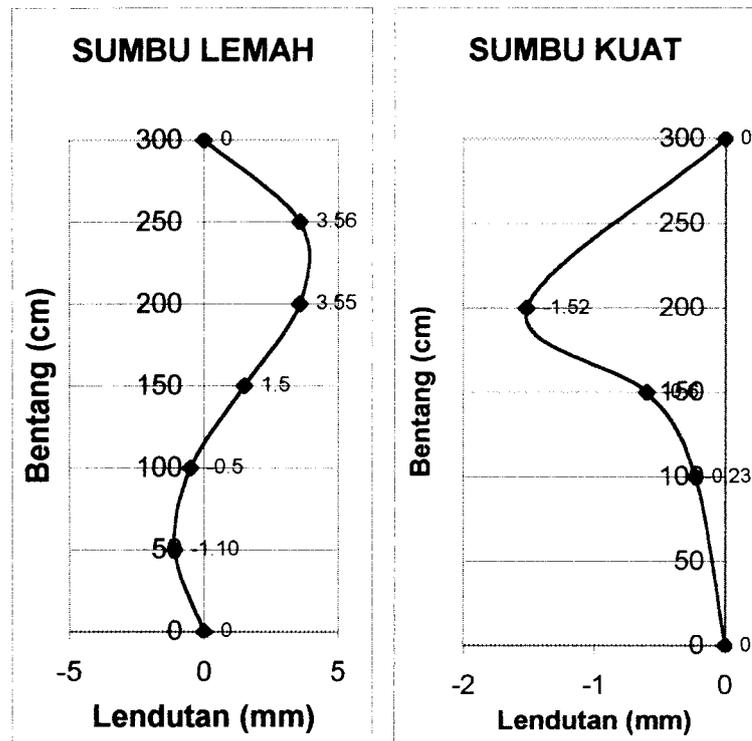
Gambar 5.17. Deformasi kolom K1 pada saat kritis.



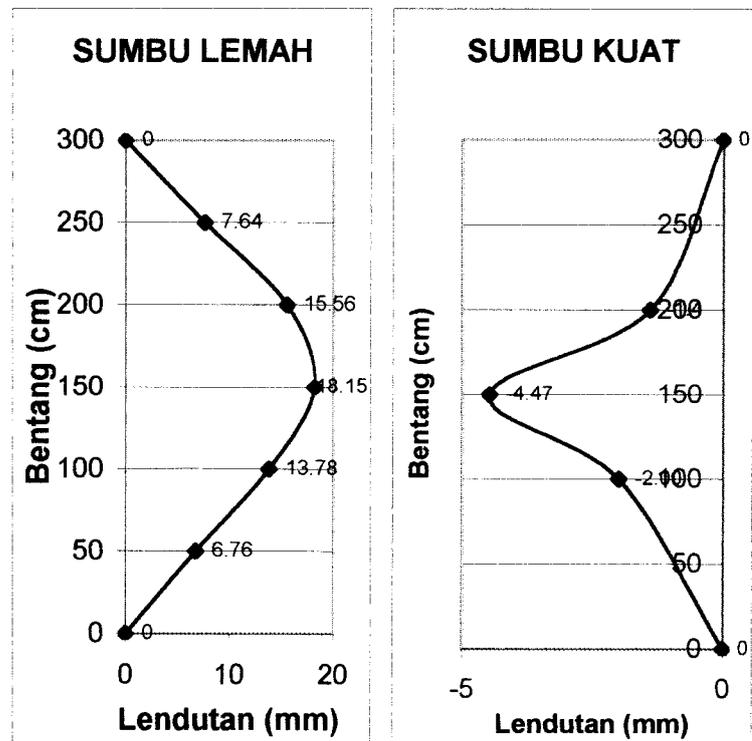
Gambar 5.18 Deformasi kolom K2 pada saat kritis.



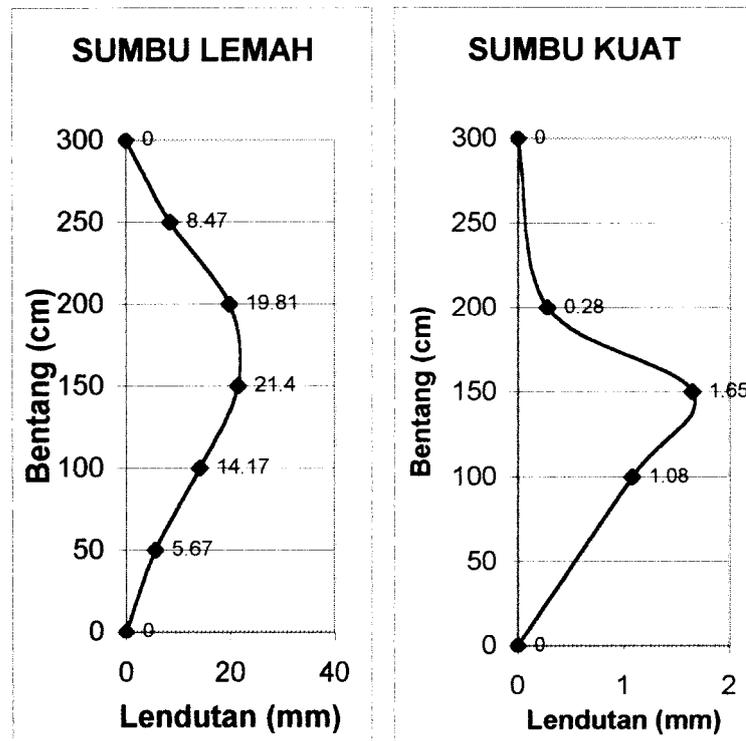
Gambar 5.19 Deformasi kolom K3 pada saat kritis.



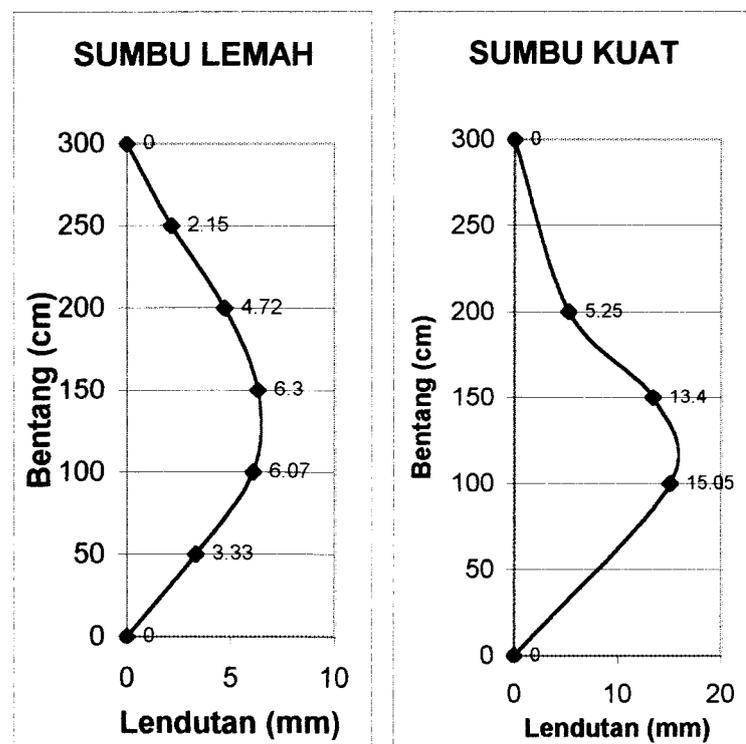
Gambar 5.20 Deformasi kolom K4 pada saat kritis.



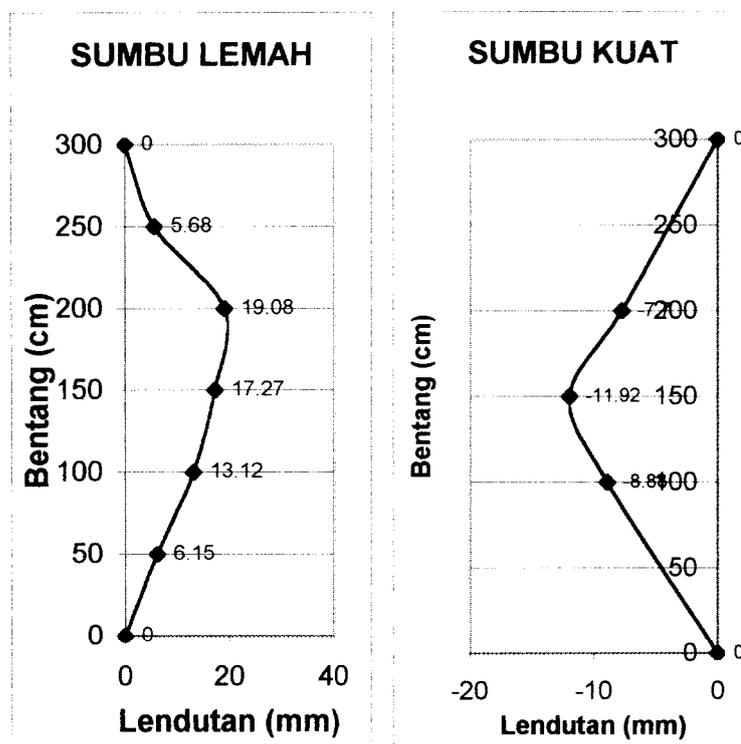
Gambar 5.21 Deformasi kolom K5 pada saat kritis.



Gambar 5.22 Deformasi kolom K6 pada saat kritis.

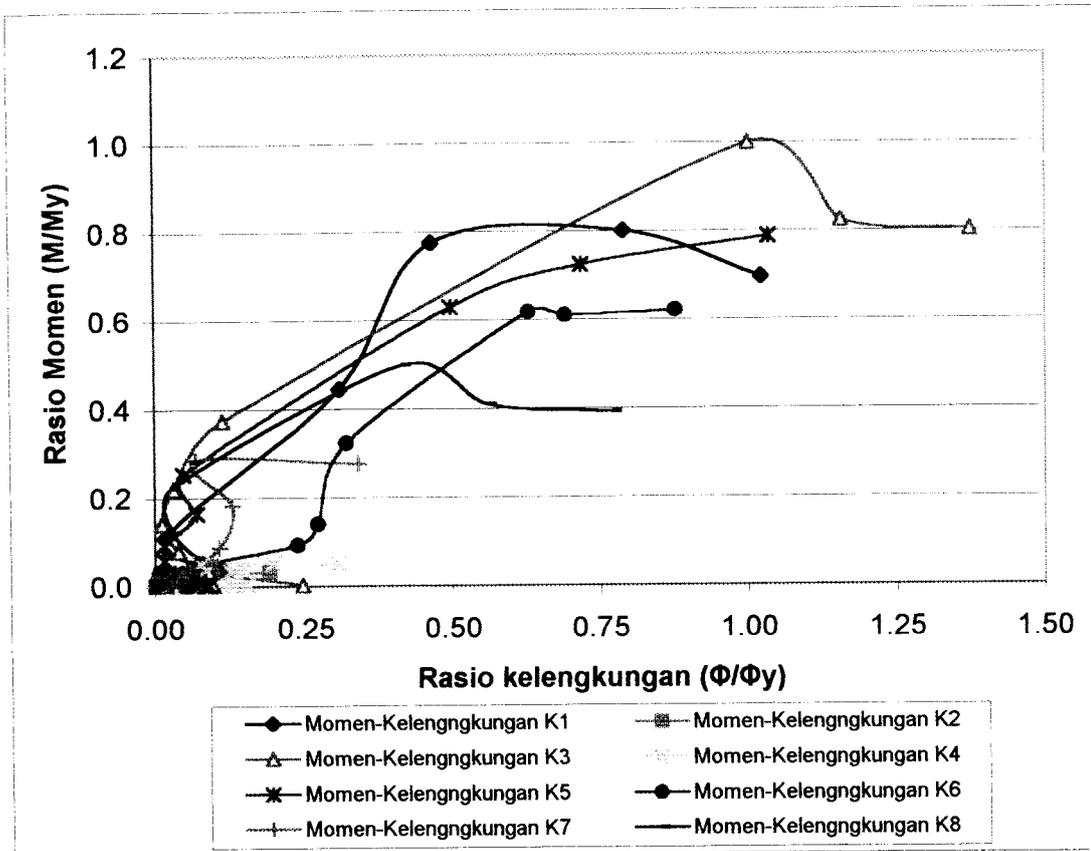


Gambar 5.23 Deformasi kolom K7 pada saat kritis.



Gambar 5.24 Deformasi kolom K8 pada saat kritis.

Berdasarkan grafik deformasi kolom pada Gambar 5.17 sampai dengan Gambar 5.24 dapat dilihat bahwa tidak ada bentuk deformasi kolom yang tetap untuk semua benda uji. Kolom K1, K2, K3, K5, K6, K7, dan K8 bentuk deformasi merupakan kelengkungan tunggal sedangkan pada kolom K4 bentuk deformasinya merupakan kelengkungan ganda. Ketidaksamaan bentuk deformasi terjadi karena kondisi tumpuan tidak sama dengan asumsi sendi-sendi. Berdasarkan Gambar 5.18 dapat dilihat adanya pengekangan pada salah satu tumpuan sehingga memiliki sifat jepit. Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa asumsi kondisi sendi-sendi tidak memenuhi persyaratan yang disebabkan oleh keterbatasan alat yang digunakan dalam pengujian. Ketidaksamaan bentuk deformasi tersebut disebabkan faktor panjang efektif K setiap benda uji tidak sama. Karena



Gambar 5.25 Grafik hubungan momen-kelengkungan

Dari data hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) pada Tabel 5.17 dapat dicari faktor kekakuan kolom tersusun profil *light lipped channel* pada masing masing benda uji seperti pada Tabel 5.18 di bawah ini,

Tabel 5.18 Analisa kekakuan dari hubungan Momen-Kelengkungan

Benda Uji	L_1/r	Momen KN.m	Kelengkungan 1/m	EI KN.m ²
K1	12.831	70.413	2.60E-08	2.71E+09
K2	19.247	4.235	5.16E-09	8.21E+08
K3	25.663	90.738	5.60E-08	1.62E+09
K4	32.494	4.725	4.20E-09	1.13E+09
K5	38.494	57.173	2.78E-08	2.05E+09
K6	44.910	56.175	3.87E-08	1.45E+09
K7	51.326	16.538	3.80E-09	4.35E+09
K8	57.742	45.334	3.14E-08	1.44E+09

5.2.2.3 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 $\lambda_1 = 12,381 \text{ cm}$ pada pengujian profil tanpa plat dasar.

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

dimana $P_{cr} = 3707.414 \text{ kg}$, Luas tampang $A = 311,6 \text{ mm}^2$, maka,

$$F_{cr} = \frac{3707.414 \times 9,81}{311,6}$$

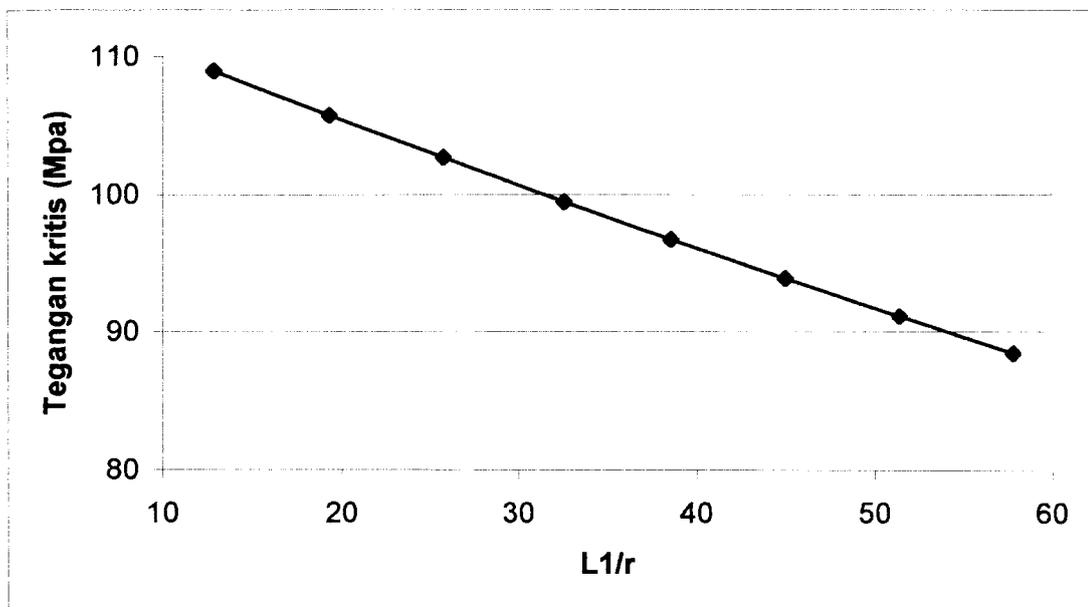
$$F_{cr} = 116.719 \text{ Mpa}$$

Hasil perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) untuk kolom K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8, ditampilkan pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19. Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian kolom tersusun

Benda Uji	L_1/r	P_{cr} (kg)	P_{cr} Reg (kg)	F_{cr} (MPa)
K1	12.831	3675	3707.414	116.719
K2	19.247	3850	3523.522	110.930
K3	25.663	2975	3348.751	105.428
K4	32.494	3150	3172.193	99.869
K5	38.494	3150	3024.810	95.229
K6	44.910	2975	2874.776	90.506
K7	51.326	2625	2732.184	86.016
K8	57.742	2625	2596.664	81.750

Tabel 5.19 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan kelangsingan (L/r) dengan tegangan kritis (F_{cr}) seperti pada Gambar 5.26.



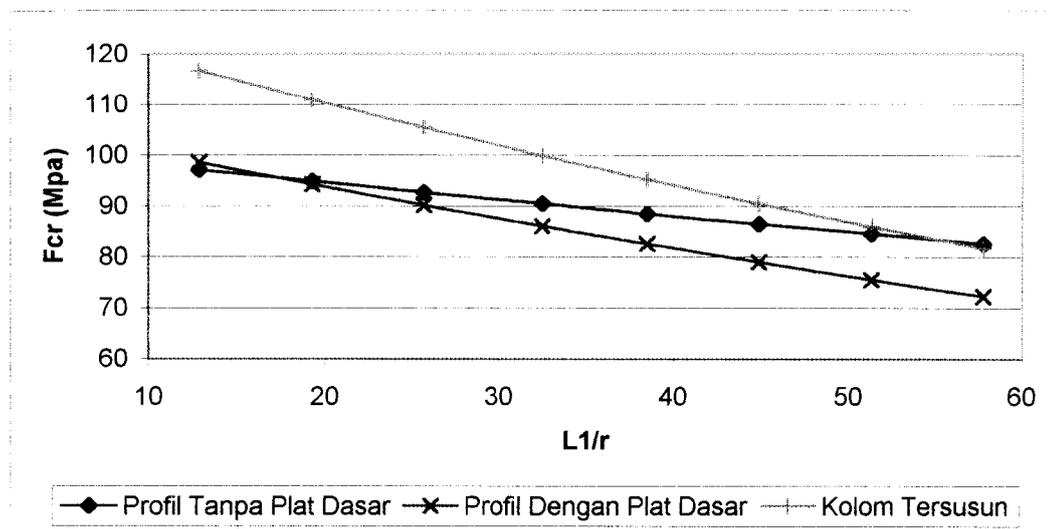
Gambar 5.26 Grafik F_{cr} fungsi L_1/r pada kolom tersusun

Data dari Tabel 5.19 dapat dibandingkan dengan Tabel 5.15 (tabel perbandingan tegangan kritis F_{cr} pengujian kuat tekan profil *light lipped channel*) seperti pada tabel 5.20.

Tabel 5.20 Perbandingan Hasil perhitungan Tegangan Kritis (F_{cr})

Benda Uji	L_1/r	Profil Tanpa Plat Dasar		Profil Dengan Plat Dasar		Kolom Tersusun	
		P_{cr} Reg (kg)	F_{cr} (Mpa)	P_{cr} Reg (kg)	F_{cr} (Mpa)	P_{cr} Reg (kg)	F_{cr} (Mpa)
K1	12.831	1542.673	97.135	1565.803	98.591	3707.414	116.719
K2	19.247	1507.505	94.921	1498.018	94.323	3523.522	110.930
K3	25.663	1473.139	92.757	1433.167	90.240	3348.751	105.428
K4	32.494	1437.41	90.507	1367.204	86.086	3172.193	99.869
K5	38.494	1406.743	88.576	1311.775	82.596	3024.81	95.229
K6	44.910	1374.674	86.557	1254.986	79.021	2874.776	90.506
K7	51.326	1343.336	84.584	1200.656	75.600	2732.184	86.016
K8	57.742	1312.712	82.655	1148.679	72.327	2596.664	81.750

Data dari Tabel 5.20 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) antara pengujian kuat tekan profil dengan tegangan kritis kolom tersusun seperti pada Gambar 5.27.



Gambar 5.27 Grafik perbandingan nilai tegangan kritis (F_{cr})

5.2.2.3 Perhitungan koefisien tekuk plat

Besar nilai koefisien tekuk plat dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.1, dan telah diketahui besar tegangan kritis (F_{cr}) dan rasio b/t . Pada penelitian ini hitungan koefisien tekuk plat dilakukan pada tiga macam sampel benda uji, yaitu: a) pengujian koefisien tekuk plat pada pengujian kuat tekan profil *light lipped channel* tanpa plat dasar, b) pengujian koefisien tekuk plat pada pengujian kuat tekan profil *light lipped channel* dengan plat dasar, dan c) pengujian koefisien tekuk plat pada pengujian kuat tekan kolom tersusun perangkat diagonal dan horizontal.

Kolom $\lambda_1=12,831$ pada pengujian kuat tekan kolom tersusun perangkai diagonal dan horizontal memiliki $F_{cr} = 116.719$ MPa, lebar $b = 60$ mm dan tebal $t = 1,2$ mm sehingga rasio $b/t = 50$, maka,

$$k = \frac{12F_{cr}(1-\mu^2)(b/t)^2}{\pi^2 E} \quad 5.4$$

$$k = \frac{12 \cdot 116.719(1-\mu^2)(50)^2}{\pi^2 E}$$

$$k = 1.614$$

Nilai $k = 1.614$ dimasukkan ke dalam persamaan tegangan kritis plat (Persamaan 3.1). Persamaan 3.1 menjadi,

$$F_{cr} = 1.614 \frac{\pi^2 E}{12(1-0,3^2)(b/t)^2} \quad 5.4$$

$$F_{cr} = 1,459 \frac{E}{(b/t)^2}$$

$$(b/t)^2 = 1,459 \frac{E}{F_{cr}} \quad 5.5$$

Diasumsikan bahwa nilai F_{cr} sama dengan nilai F_y , Persamaan 5.3 menjadi

$$(b/t)^2 = 1,459 \frac{E}{F_y} \quad 5.6$$

nilai (b/t) dapat diketahui dengan Persamaan 5.7

$$b/t = \sqrt{1,459 \frac{E}{F_y}}$$

atau

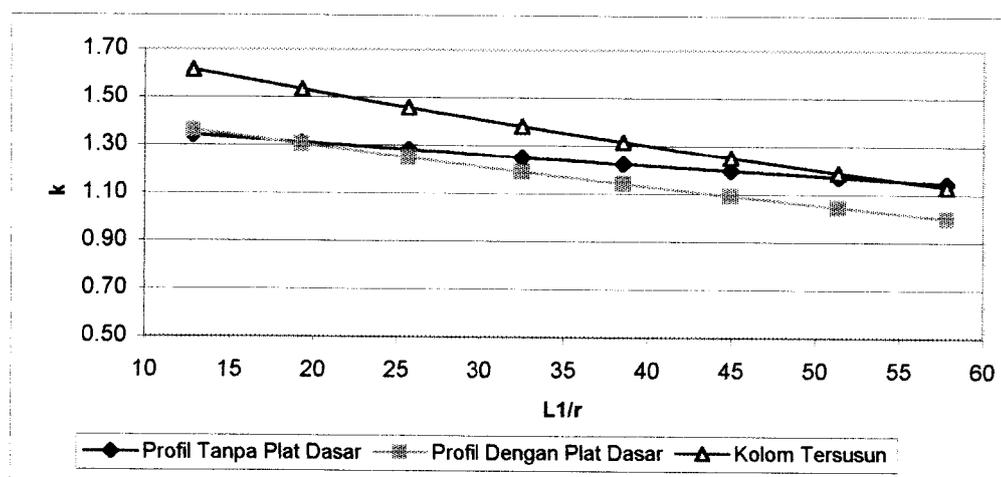
$$b/t = 1,208 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad 5.7$$

Dengan cara yang sama didapat koefisien tekuk plat dan rasio b/t pada masing-masing sampel benda uji, seperti tampak pada Tabel 5.21 berikut ini:

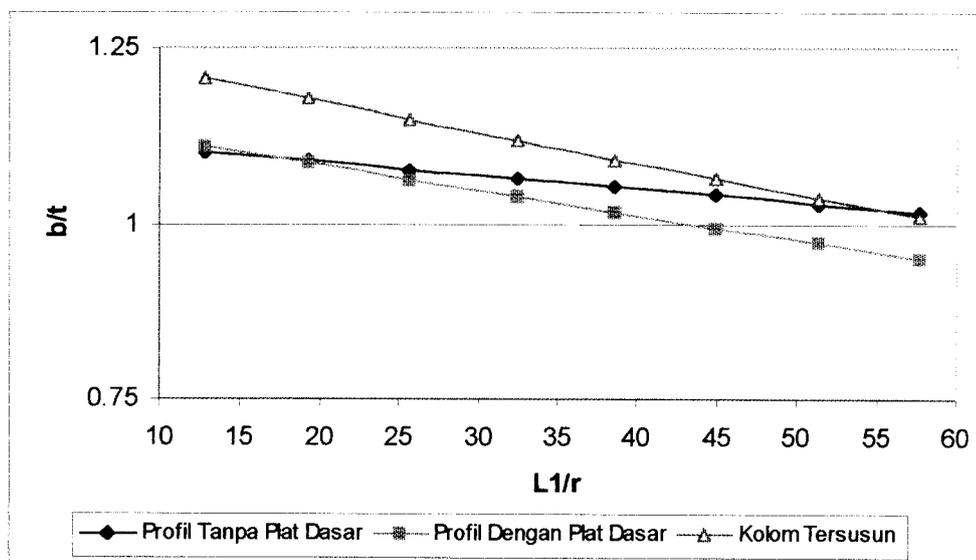
Tabel 5.21 Perhitungan koefisien tekuk (k) dan rasio b/t

Benda	L_1/r	Profil Tanpa Plat Dasar			Profil Dengan Plat Dasar			Kolom Tersusun		
		F_{cr} (Mpa)	k	$\frac{(b/t)}{x\sqrt{E/F_y}}$	F_{cr} (Mpa)	k	$\frac{(b/t)}{x\sqrt{E/F_y}}$	F_{cr} (Mpa)	k	$\frac{(b/t)}{x\sqrt{E/F_y}}$
K1	12.831	97.135	1.343	1.102	98.591	1.364	1.110	116.719	1.614	1.208
K2	19.247	94.921	1.313	1.089	94.323	1.305	1.086	110.930	1.534	1.178
K3	25.663	92.757	1.283	1.077	90.240	1.248	1.062	105.428	1.458	1.148
K4	32.494	90.507	1.252	1.064	86.086	1.191	1.037	99.869	1.381	1.117
K5	38.494	88.576	1.225	1.052	82.596	1.142	1.016	95.229	1.317	1.091
K6	44.910	86.557	1.197	1.040	79.021	1.093	0.994	90.506	1.252	1.064
K7	51.326	84.584	1.170	1.028	75.600	1.046	0.972	86.016	1.190	1.037
K8	57.742	82.655	1.143	1.016	72.327	1.000	0.951	81.750	1.131	1.011

Data dari Tabel 5.21 dapat ditampilkan dalam bentuk Perbandingan koefisien tekuk (k) dan rasio b/t antara pengujian kuat tekan profil dengan tegangan kritis kolom tersusun seperti pada Gambar 5.28. dan Gambar 5.29.

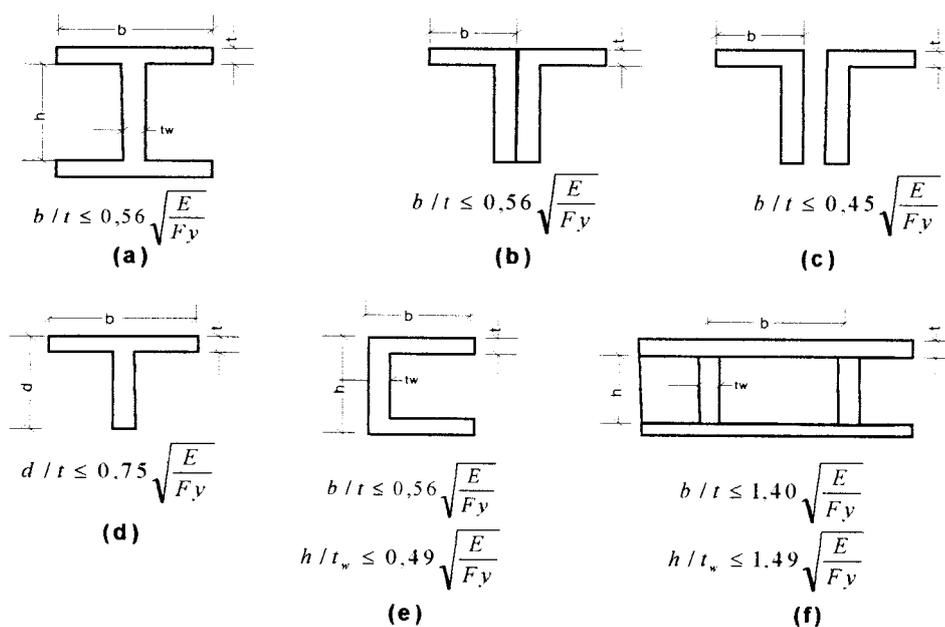


Gambar 5.28 Grafik perbandingan nilai k



Gambar 5.29 Grafik perbandingan nilai rasio b/t

Persyaratan rasio b/t berdasarkan penelitian yang dikemukakan oleh Barker dan Puckett (1997) terdapat pada Gambar 5.30.



Gambar 5.30 Rasio tebal terhadap tebal berbagai penampang profil
(Barker dan Pucket, 1997)

Dari data yang yang diperoleh di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa profil *light lipped cannal* mempunyai nilai koefisien tekuk k dan rasio b/t yang lebih besar daripada profil *channal*, sedangkan nilai koefisien tekuk k dan rasio b/t pada kolom tersusun profil *light lipped channal* masih mendekati nilai koefisien tekuk k dan rasio b/t profil I, hal ini sesuai dengan hasil pengujian yang dilakukan *Barker dan Puckett* (1997) seperti pada Gambar 5.30.

5.2.2.4 Perhitungan modulus tangen dan modulus tereduksi

Beban kritis untuk tekuk elastis hanya berlaku untuk kolom yang relatif panjang, sedangkan pada kolom dengan panjang menengah kita membutuhkan teori tekuk inelastis untuk mendapatkan modulus tangen dan modulus tereduksi. Adapun perhitungan modulus tangen dan modulus tereduksi didapatkan dari persamaan 3.12.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t}{(K \cdot L / r)^2}$$

maka,

$$E_t = \frac{F_{cr} \cdot (K L / r)^2}{\pi^2}$$

Untuk mendapatkan nilai Modulus Tangen nilai F_{cr} diasumsikan sama dengan F_y , maka persamaan di atas menjadi:

$$E_t = \frac{F_y \cdot (K L / r)^2}{\pi^2}$$

Pada pengujian kuat tekan kolom tersusun perangkai diagonal dan horizontal, tegangan leleh benda uji $F_y = 144.625$ MPa, profil yang digunakan memiliki lebar $b = 60$ mm dan tebal $t = 1,2$ mm sehingga rasio $b/t = 50$ dan tumpuan dianggap sendi-sendiri ($K=1$), maka,

$$E_t = \frac{F_y \cdot (KL/r)^2}{\pi^2}$$

$$E_t = \frac{144.625 \cdot (3000/50.765)^2}{\pi^2}$$

$$E_t = 51161.673 \text{ Mpa}$$

sedangkan nilai E_t adalah:

$$E_r = \frac{2E \cdot E_t}{E + E_t}$$

$$E_r = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 51161.673}{2 \cdot 10^5 + 51161.673}$$

$$E_r = 81480.064 \text{ Mpa}$$

Dari hasil di atas tampak bahwa modulus tereduksi lebih besar dari modulus tangen, hal ini disebabkan karena modulus tereduksi merupakan pembaharuan dari modulus tangen yang menganggap bahwa terjadinya pembalikan regangan pada saat batang berubah bentuk dari posisi lurus ke posisi lengkung. Hal ini selaras dengan perubahan yang dilakukan oleh *Engesser* terhadap perhitungan modulus tangen. (*Salmon dan Johnson, 1990*).

5.3. Perhitungan Teoritis

5.3.1. Perhitungan teoritis dengan metode *Bleich*

Tegangan kritis (F_{cr}) secara teori dapat ditentukan berdasarkan kekuatan kolom menahan tekuk keseluruhan dengan menggunakan persamaan tekuk *Bleich*. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui tegangan kritis (F_{cr}) pada metode *Bleich* adalah Persamaan 3.33

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I}{(kl)^2}$$

Kolom K1 ($\lambda_1=12,381$) menggunakan Profil 2C60x30x10X1.2mm dengan perangkat pelat 15x2.0 mm, $A = 155.8 \text{ mm}^2$, $E = 2.10^5 \text{ Mpa}$, $E_t = 51161.673 \text{ Mpa}$, $L = 3000 \text{ mm}$, $A_d = 30 \text{ mm}^2$, $L_1 = 150 \text{ mm}$, $L_d = 192.094 \text{ mm}$, $C_y = 10.60 \text{ mm}$, $a = 120 \text{ mm}$, $I_y = 21300 \text{ mm}^4$, $I_x = 93140 \text{ mm}^4$, dan $r_{\min} = 11.69 \text{ mm}$, maka:

$$\begin{aligned} h &= a - 2 \cdot c_y \\ &= 120 - 2 \cdot 10,60 \\ &= 98,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_0 &= \frac{A \cdot h^2}{2} \\ &= 155,8 \cdot 98,8^2 / 2 \\ &= 760416,176 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= I_0 + 2 \cdot I_1 \\ &= 760416,176 + 2 \cdot 21300 \\ &= 803016,176 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I_0 \cdot d^3}{l^2 \cdot E \cdot L_1 \cdot h^2 \cdot A_d}} \\ k &= \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot 51161.673 \cdot 760416.176 \cdot 192.09^3}{3000^2 \cdot 2.10^5 \cdot 150 \cdot 98.8^2 \cdot 30}} \\ k &= \sqrt{1 + (0,02779044)} \\ &= 1.0171 \end{aligned}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I}{(kl)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 51161.673 \cdot 803016.176}{(1.0138.3000)^2}$$

$$= 440.873 \text{ kg}$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr} \times 9,81}{A_{gab}}$$

$$F_{cr} = \frac{440.873 \times 9,81}{311.6}$$

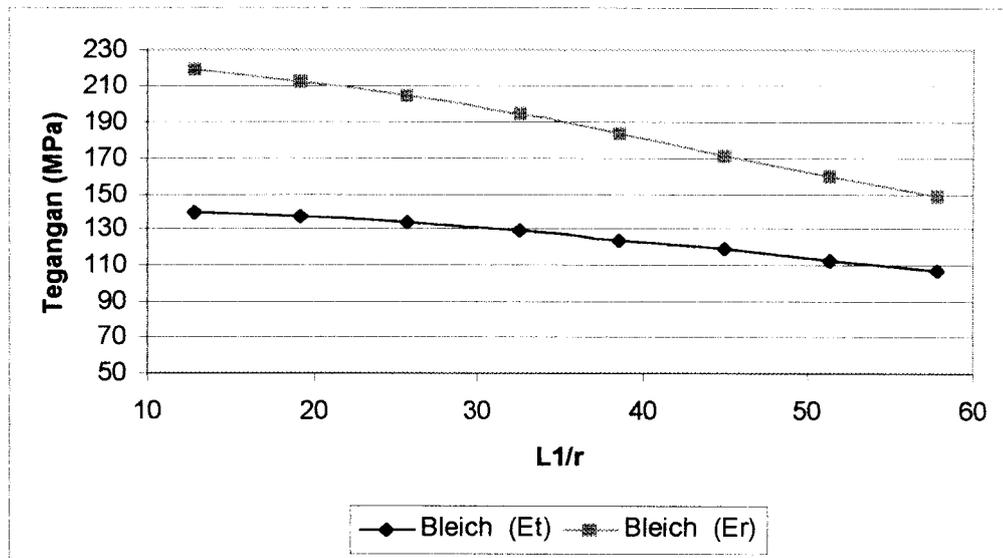
$$= 139.811 \text{ Mpa}$$

Dengan cara yang sama didapat:

Tabel 5.23. Hitungan tegangan kritis dengan metode *Bleich* dengan menggunakan modulus tangen (E_t) dan modulus tereduksi (E_r)

Benda Uji	L_1/r	Metode Bleich dengan Modulus Tangen				Metode Bleich dengan Modulus Tereduksi			
		E_t Mpa	k	P_{cr} Kg	F_{cr} Mpa	E_r Mpa	k	P_{cr} Kg	F_{cr} Mpa
K1	12.831	51161.673	1.0171	4440.873	139.811	81480.064	1.0271	6935.728	218.355
K2	19.247	51161.673	1.0265	4359.681	137.254	81480.064	1.0419	6739.698	212.184
K3	25.663	51161.673	1.0402	4245.919	133.673	81480.064	1.0632	6471.641	203.745
K4	32.494	51161.673	1.0576	4106.732	129.291	81480.064	1.0904	6153.747	193.736
K5	38.494	51161.673	1.0787	3948.035	124.295	81480.064	1.1227	5804.148	182.730
K6	44.910	51161.673	1.1031	3775.393	118.859	81480.064	1.1598	5438.534	171.220
K7	51.326	51161.673	1.1306	3593.949	113.147	81480.064	1.2013	5069.824	159.612
K8	57.742	51161.673	1.1610	3408.253	107.301	81480.064	1.2466	4707.976	148.220

Tegangan kritis *Bleich* berdasarkan Tabel 5.23 dan Tabel 5.24 ditampilkan dalam grafik pada Gambar 5.31.



Gambar 5.31 Grafik tegangan kritis (F_{cr}) dengan metode Bleich

Dari grafik di atas tampak bahwa perhitungan tegangan kritis Bleich dengan menggunakan teori modulus tangen lebih kecil dari tegangan kritis dengan menggunakan modulus tereduksi.

5.3.2. Perhitungan teoritis dengan metode AISC

Sebagai bahan perbandingan perhitungan perencanaan pada penelitian ini, perencanaan hitungan tegangan juga menggunakan perencanaan metode AISC. Pada perencanaan AISC hitungan tegangan ijin sangat mempertimbangkan pengaruh tekuk lokal, terbukti dengan tingginya faktor keamanan yang yang dianjurkan. 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,

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

$$\left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{76}{\sqrt{20.965}}\right)$$

$$50 > 16,598$$

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 menggunakan profil *light lipped channel* ganda yang disatukan secara *front to front* dengan batang perangkai diagonal dan horizontal. Dianggap bahwa semua elemen diperkuat, sehingga memiliki nilai $Q_s = 1$.

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

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

Profil yang digunakan memiliki tegangan leleh $F_y = 20,965$ Ksi dan rasio b/t sebesar 50 (lebar profil 60mm dan tebal 1,2mm),

$$\left(\frac{60}{1,2}\right) > \left(\frac{238}{\sqrt{20.965}}\right)$$

$$b/t = 50 < 51,9792$$

Berdasarkan hitungan di atas 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 .

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

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

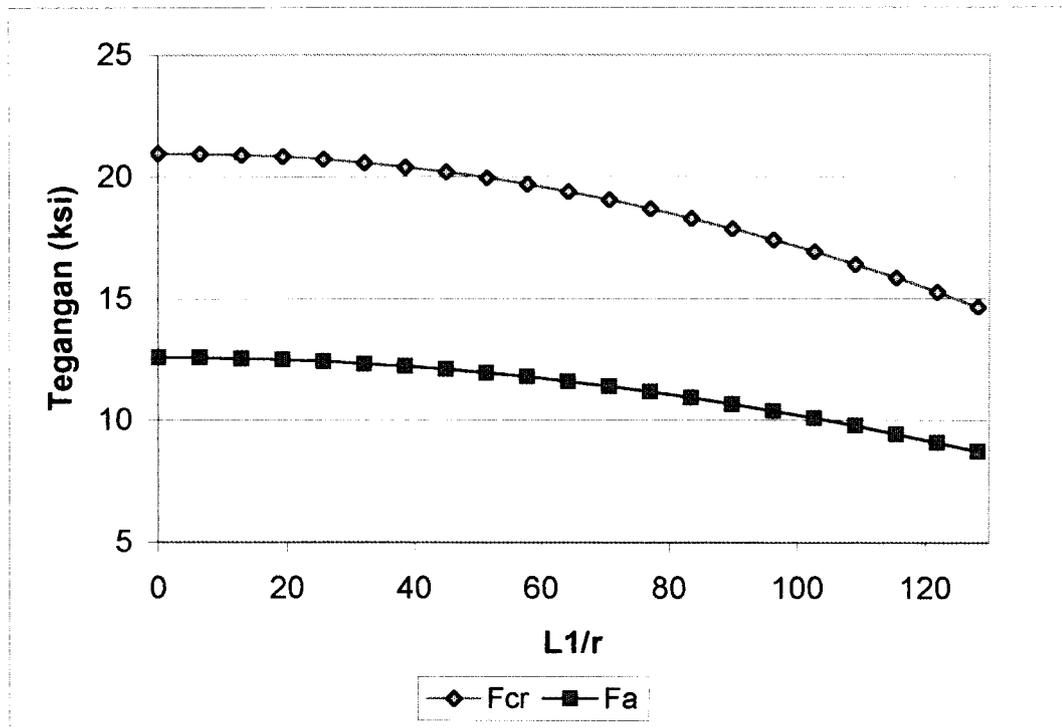
$$F_a = F_{cr} / FS$$

Hitungan selanjutnya dapat dilakukan untuk semua nilai L/r . Besar tegangan kritis F_{cr} dan tegangan ijin F_a ditampilkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 5.25 Perhitungan tegangan kritis dengan metode AISC

L_1 (Inc)	L_1/r	F_y (ksi)	Q	Cc	F_{cr} (ksi)	Fs	Fa (ksi)
0.000	0.000	20.965	1.00	165.1567	20.965	1.6667	12.579
2.953	6.416	20.965	1.00	165.1567	20.949	1.6672	12.565
5.906	12.831	20.965	1.00	165.1567	6.618	1.6673	3.970
8.859	19.247	20.965	1.00	165.1567	6.593	1.6676	3.954
11.812	25.663	20.965	1.00	165.1567	6.558	1.6680	3.932
14.765	32.079	20.965	1.00	165.1567	6.513	1.6683	3.904
17.718	38.494	20.965	1.00	165.1567	6.458	1.6686	3.870
20.671	44.910	20.965	1.00	165.1567	6.393	1.6689	3.831
23.624	51.326	20.965	1.00	165.1567	6.318	1.6692	3.785
26.577	57.742	20.965	1.00	165.1567	6.233	1.6696	3.733
29.530	64.157	20.965	1.00	165.1567	6.138	1.6699	3.675
32.483	70.573	20.965	1.00	165.1567	6.032	1.6702	3.612
35.436	76.989	20.965	1.00	165.1567	5.917	1.6705	3.542
38.389	83.405	20.965	1.00	165.1567	5.792	1.6709	3.466
41.342	89.820	20.965	1.00	165.1567	5.657	1.6712	3.385
44.295	96.236	20.965	1.00	165.1567	5.511	1.6715	3.297
47.248	102.652	20.965	1.00	165.1567	5.356	1.6718	3.204
50.201	109.068	20.965	1.00	165.1567	5.191	1.6722	3.104
53.154	115.483	20.965	1.00	165.1567	5.015	1.6725	2.999
56.107	121.899	20.965	1.00	165.1567	4.830	1.6728	2.887
59.060	128.315	20.965	1.00	165.1567	4.635	1.6731	2.770

Data dari Tabel 5.25 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan antara tegangan kritis (F_{cr}) dengan tegangan kritis yang diijinkan, seperti pada Gambar 5.32.



Gambar 5.32 Grafik tegangan berdasarkan metode AISC

Grafik A pada Gambar 5.32 adalah tegangan kritis F_{cr} berdasarkan AISC yang tidak menyertakan faktor reduksi tegangan (faktor keamanan FS). Grafik B pada Gambar 5.32 adalah tegangan ijin F_a berdasarkan AISC yang telah direduksi oleh faktor keamanan FS sehingga nilainya lebih kecil dari Grafik A.

5.4. Perbandingan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Teoritis

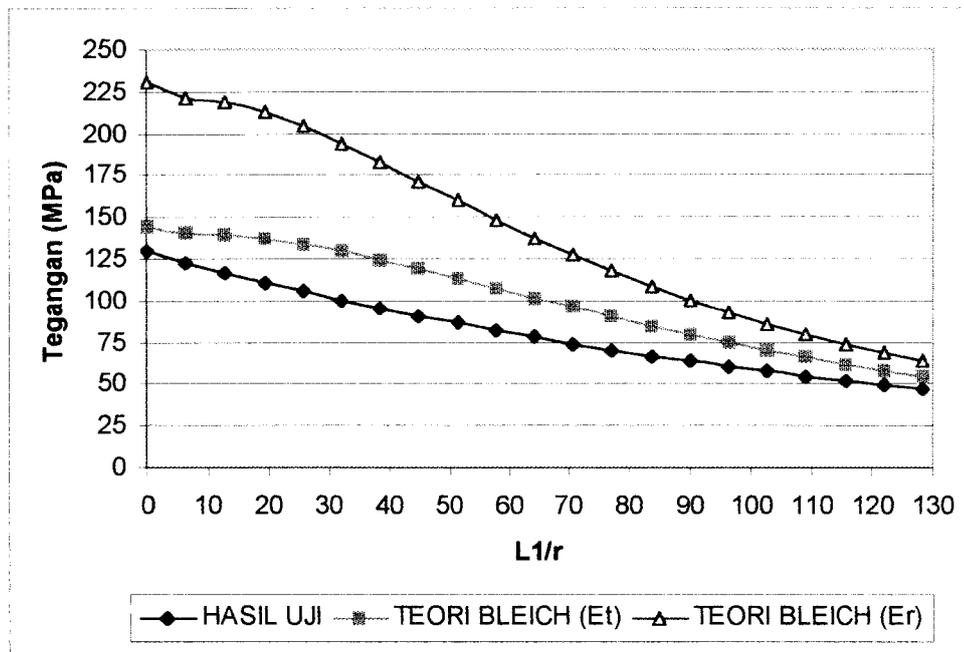
5.4.1. Perbandingan hasil pengujian dengan perhitungan metode Bleich

Perbandingan tegangan kritis hasil pengujian dengan tegangan kritis teoritis metode Bleich ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik berikut ini,

Tabel 5.26. Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) pengujian dengan teori Bleich

BENDA UJI	L	L_1/r	HASIL UJI		TEORI BLEICH (E_t)		TEORI BLEICH (E_r)	
			Pcr Kg	Fcr Mpa	Pcr kg	Fcr Mpa	Pcr kg	Fcr Mpa
K1	0	0.000	4104.458	129.219	4593.777	144.624	7316.047	230.329
K2	75	6.416	3900.872	122.810	4470.701	140.750	7008.759	220.654
K3	150	12.831	3707.414	116.719	4440.873	139.811	6935.728	218.355
K4	225	19.247	3523.522	110.930	4359.681	137.254	6739.698	212.184
K5	300	25.663	3348.751	105.428	4245.919	133.673	6471.641	203.745
K6	375	32.079	3182.649	100.198	4106.732	129.291	6153.747	193.736
K7	450	38.494	3024.810	95.229	3948.035	124.295	5804.148	182.730
K8	525	44.910	2874.776	90.506	3775.393	118.859	5438.534	171.220
K9	600	51.326	2732.184	86.016	3593.949	113.147	5069.824	159.612
K10	675	57.742	2596.664	81.750	3408.253	107.301	4707.976	148.220
K11	750	64.157	2467.886	77.696	3222.150	101.442	4360.113	137.268
K12	825	70.573	2345.476	73.842	3038.739	95.668	4030.895	126.903
K13	900	76.989	2229.138	70.179	2860.402	90.053	3722.992	117.210
K14	975	83.405	2118.570	66.698	2688.870	84.653	3437.566	108.224
K15	1050	89.820	2013.503	63.390	2525.312	79.504	3174.697	99.948
K16	1125	96.236	1913.631	60.246	2370.441	74.628	2933.734	92.362
K17	1200	102.652	1818.712	57.258	2224.600	70.036	2713.565	85.430
K18	1275	109.068	1728.502	54.418	2087.857	65.731	2512.815	79.110
K19	1350	115.483	1642.780	51.719	1960.071	61.708	2329.995	73.354
K20	1425	121.899	1561.296	49.154	1840.958	57.958	2163.586	68.115
K21	1500	128.315	1483.854	46.716	1730.134	54.469	2012.113	63.347

Data dari Tabel 5.25 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) antara tegangan kritis kolom tersusun hasil perhitungan teoritis metode Bleich dengan tegangan kritis hasil pengujian, seperti pada Gambar 5.33.



Gambar 5.33 Perbandingan tegangan kritis hasil pengujian dengan tegangan kritis metode Bleich

Dari Gambar 5.33 tampak bahwa tegangan kritis yang terjadi berada di bawah tegangan teoritis *Bleich* dengan menggunakan modulus tangen, demikian juga dengan tegangan kritis hasil perhitungan teoritis *Bleich* yang menggunakan modulus tereduksi berada di atas tegangan kritis yang terjadi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada seluruh sampel uji terjadi tekuk lokal karena tegangan kritis yang terjadi berada di bawah tegangan kritis hasil hitungan dengan menggunakan modulus tangen, hal ini disebabkan karena tipisnya bahan yang digunakan sehingga menyebabkan terjadinya lengkungan awal sebelum dilakukan pembebanan dan pengaruh proses pengelasan pada penyambungan batang perangkai yang menyebabkan terjadinya tegangan residu.

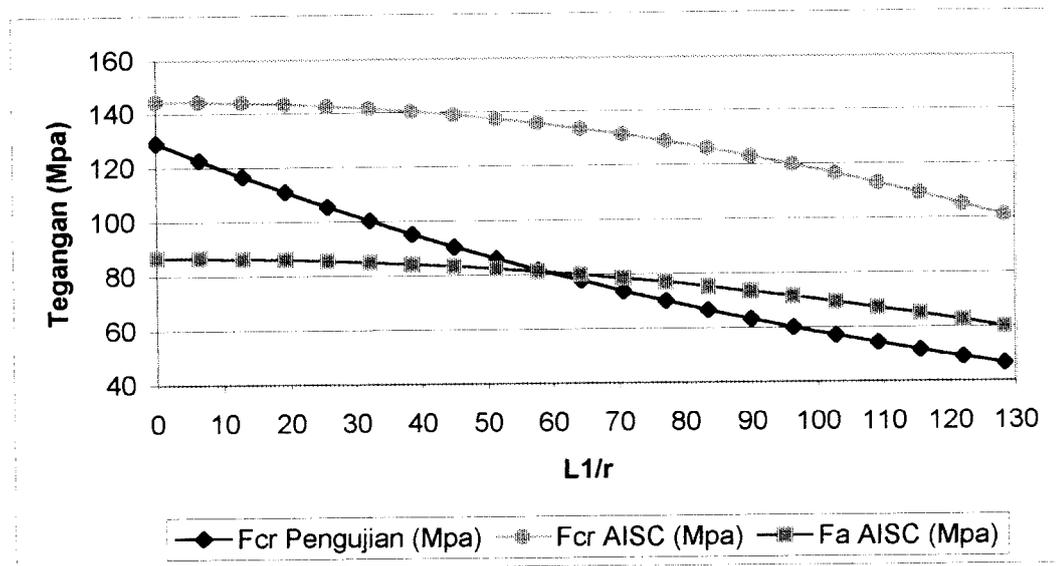
5.4.2 Perbandingan hasil pengujian dengan perhitungan metode AISC

Perbandingan tegangan kritis dan tegangan ijin metode AISC dengan hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik seperti di bawah ini:

Tabel 5.27. Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) pengujian dengan AISC

Benda Uji	L_1 mm	L_1/r	PENGUJIAN		AISC	
			P_{cr} (kg)	F_{cr} (Mpa)	F_{cr} (Mpa)	F_a (Mpa)
K1	0	0.00	4104.458	129.219	144.425	86.655
K2	75	6.42	3900.880	122.810	144.316	86.560
K3	150	12.83	3707.399	116.719	143.989	86.334
K4	225	19.25	3523.515	110.930	143.444	85.978
K5	300	25.66	3348.752	105.428	142.682	85.491
K6	375	32.08	3182.657	100.199	141.701	84.874
K7	450	38.49	3024.799	95.229	140.502	84.127
K8	525	44.91	2874.772	90.505	139.085	83.250
K9	600	51.33	2732.185	86.016	137.45	82.244
K10	675	57.74	2596.671	81.750	135.597	81.107
K11	750	64.16	2467.879	77.695	133.526	79.841
K12	825	70.57	2345.474	73.842	131.238	78.446
K13	900	76.99	2229.140	70.179	128.731	76.921
K14	975	83.40	2118.577	66.698	126.006	75.267
K15	1050	89.82	2013.497	63.390	123.063	73.484
K16	1125	96.24	1913.629	60.246	119.903	71.572
K17	1200	102.65	1818.715	57.258	116.524	69.532
K18	1275	109.07	1728.508	54.418	112.927	67.362
K19	1350	115.48	1642.775	51.719	109.112	65.065
K20	1425	121.90	1561.295	49.154	105.08	62.638
K21	1500	128.31	1483.856	46.716	100.829	60.084

Data dari Tabel 5.27 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) antara tegangan kritis kolom tersusun hasil perhitungan teoritis AISC dengan tegangan kritis hasil pengujian, seperti pada Gambar 5.34.



Gambar 5.34 Perbandingan tegangan kritis hasil pengujian dengan tegangan ijin metode AISC

Grafik A (F_{cr} pengujian) pada Gambar 5.34 menunjukkan tegangan kritis F_{cr} berdasarkan pengujian dan grafik B adalah grafik tegangan kritis berdasarkan perhitungan AISC, sedangkan Grafik C adalah tegangan ijin berdasarkan hasil perhitungan AISC. Gambar 5.34 menunjukkan bahwa tegangan sebenarnya (berdasarkan hasil pengujian) pada angka kelangsingan (L_1/r) di bawah 50 masih berada di atas tegangan ijin AISC. Akan tetapi pada angka kelangsingan lebih dari 50 tegangan yang terjadi berada di bawah tegangan ijin AISC. Hal ini selaras dengan persyaratan stabilitas elemen batang tersusun bahwa $L_1/r \leq 50$, untuk tetap menjamin kestabilan elemen batang tersusun.

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. Kuat tekan kolom tersusun dari dua profil *light lipped channel* yang disatukan secara *front to front* perangkai diagonal dan horizontal dipengaruhi oleh kelangsingan L/r , semakin besar nilai kelangsingan semakin kecil kapasitas kolom, dan kapasitas (tegangan kritis F_{cr}) terbesar berada di bawah tegangan leleh F_y . Hal ini disebabkan karena semua benda uji mengalami tekuk lokal.
2. 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.
3. Koefisien tekuk plat k kolom tersusun profil *light lipped channel* yang disatukan secara *front to front* bervariasi antara 1.131 sampai dengan 1,614. Sedangkan nilai rasio b/t berkisar antara $1,011\sqrt{E/F_y}$ sampai dengan $1,208\sqrt{E/F_y}$.
4. Tegangan kritis yang terjadi berdasarkan hasil pengujian laboratorium berada di bawah hitungan teoritis *Bleich* menggunakan modulus tangen dan modulus

tereduksi. Hal ini disebabkan karena perhitungan teoritis *Bleich* tidak memperhitungkan faktor tekuk lokal.

5. Tegangan kritis yang terjadi berdasarkan hasil pengujian laboratorium pada $L_1/r < 50$ masih lebih besar bila dibandingkan tegangan ijin perencanaan berdasarkan metode AISC, akan tetapi pada $L_1/r > 50$ tegangan kritis hasil pengujian berada di bawah tegangan ijin metode AISC.

6.2 Saran

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

1. Benda uji yang digunakan masih kurang, sehingga data yang diperoleh dari hasil pengujian masih kurang.
2. Perlu diadakan penelitian untuk kolom yang tersusun dari dua profil *light lipped channel* yang disatukan secara *back to back*.
3. Perlu diadakan penelitian untuk bentuk penampang yang sama tetapi memiliki dimensi penampang berbeda.
4. Perlunya penggunaan alat bantu pengujian yang lebih baik yang sesuai dengan asumsi kondisi tumpuan sendi-sendi.

DAFTAR PUSTAKA

- AISC, **MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION**, Seventh Edition, American Institute of Steel Construction Inc, New York, 1973.
- Bogdan O. Kuzmanovic and Nicholas Willem, **STEEL DESIGN STRUCTURAL ENGINEER**, Prentice-Hall, New Jersey, 1977.
- Charles G. Salmon, John E. Johnson, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU**, Jilid 1 - Edisi Kedua, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1990.
- Daniel L. Schodek, **STRUKTUR**, Cetakan Pertama, PT. Eresco, Bandung, 1991.
- Edwin H. Gaylord, Jr. and Charles N. Gaylord, **DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, 2nd Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 1972.
- Friedrich Bleich, **BUCKLING STRENGTH OF METAL STRUCTURES**, McGraw-Hill Books Company Inc, New York, 1952.
- Gere dan Timoshenko, **MEKANIKA BAHAN**, Jilid I dan II Edisi keempat, Airlangga, Jakarta, 2000.
- Gideon Hadi Kusuma, **PERENCANAAN BANGUNAN BAJA**, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 1983.
- Joseph E. Bowles, **DISAIN BAJA KONSTRUKSI**, Erlangga, Jakarta, 1985.
- J. Rhodes and A.C. Walker, **THIN-WALLED STRUCTURES**, Granada, London, 1980.
- Lambert Tall, **STRUCTURAL STEEL DESIGN**, 2nd Edition, The Ronald Press Company, New York, 1972.
- Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, **PERATURAN PERENCANAAN BANGUNAN BAJA INDONESIA (PPBBI)**, Cet. II, Bandung, 1984.
- NS. Trahair and M.A. Bradford, **THE BEHAVIOUR AND DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, 2nd Edition, Chapman and Hall, New York, 1977.

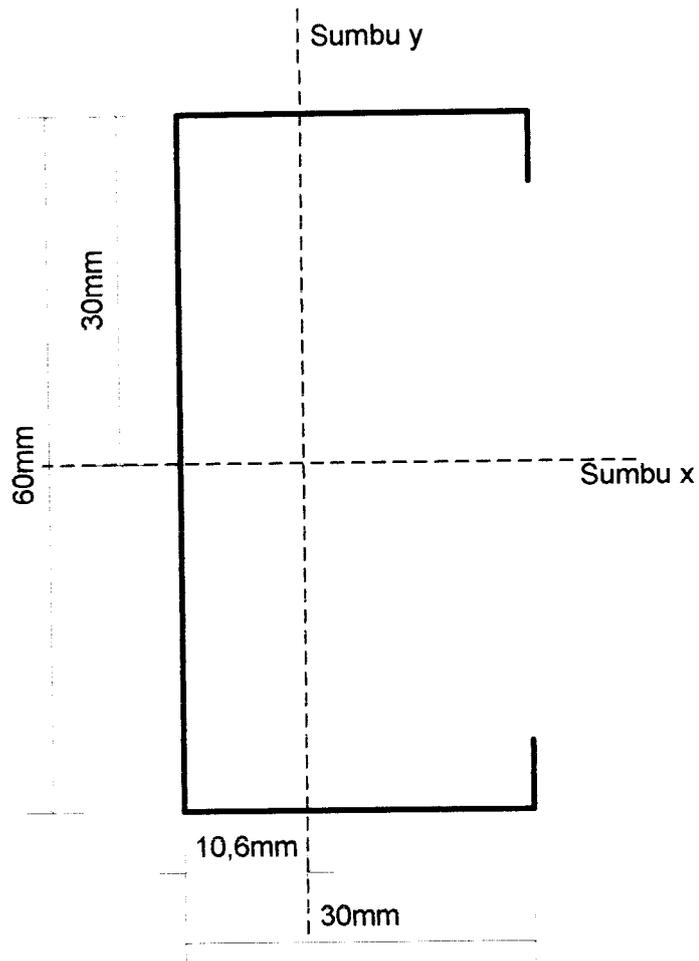
PADOSBAJAYO, *PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA*, Edisi ke-2,
Yogyakarta, 1992.

*TATA CARA PERENCANAAN STRUKTUR BAJA UNTUK BANGUNAN
GEDUNG*, Bandung, 2000.

V.N Vazirani and M.M Ratwani, *STEEL STRUCTURES* , Khanna Publishers,
Dehli, 1997.

LAMPIRAN 1

HITUNGAN PROPERTI DIMENSI BENDA UJI



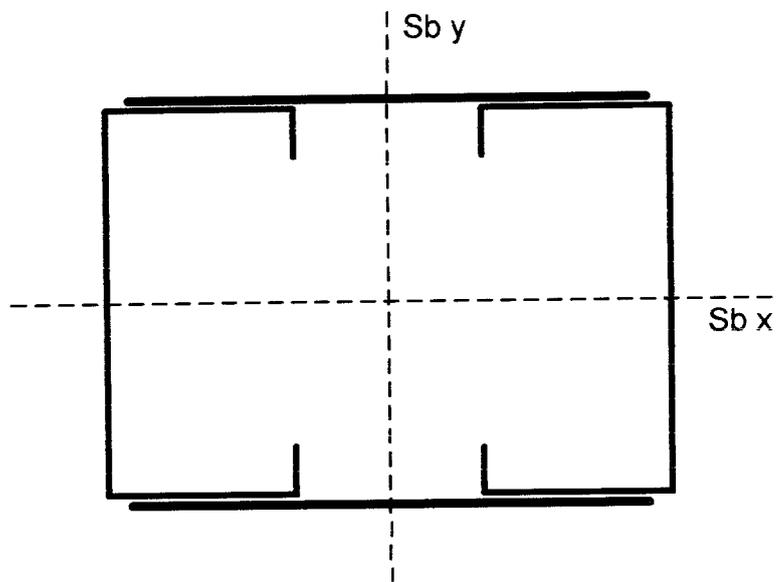
Properti profil Light Lipped Channal

Luas penampang (A) : 155,8 mm²

I_x : 93140 mm⁴

I_y : 21300 mm⁴

r_{min} : 11,69 mm



Properti profil *Lihgt Lipped Channal* ganda *Front to Front*

- Luas gabungan

$$A_{gab} = 311,6 \text{ mm}^2$$

- Inersia gabungan

$$I_x = 2 \cdot I_x$$

$$= 186280 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 2 \cdot I_y + 2 \cdot A \cdot (30 + r_{\min})^2$$

$$= 2 \cdot 21300 + 2 \cdot 155,8 \cdot (30 - 11,69)^2$$

$$= 159873,776 \text{ mm}^4$$

- Radius girasi

$$r_x = 24,450 \text{ mm}$$

$$r_y = 22,651 \text{ mm}$$

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN REGRESI PEMBEBANAN

A. Perhitungan Regresi Hasil Pengujian Kuat Tekan Profil *Light Lipped Channal* Tanpa Plat Dasar

Karena nilai beban kritis (P_{cr}) dan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian masih sangat kasar maka nilai-nilai yang didapatkan diregresi terlebih dahulu. Perhitungan regresi beban kritis dan tegangan kritis menggunakan regresi lengkung (eksponensial) menggunakan data dari hasil pengujian Sampel K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 karena semua data tersebut mendekati bentuk lengkung. Persamaan regresi adalah:

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

Tabel perhitungan regresi hasil pengujian profil tanpa plat dasar

Benda Uji	x=L	y=P	x ²	ln y	x*ln y
K1	12.831	1650	164.635	7.409	95.0589
K2	19.247	1550	370.447	7.346	141.3887
K3	25.663	1400	658.590	7.244	185.9086
K4	32.494	1450	1055.860	7.279	236.5342
K5	38.494	1400	1481.788	7.244	278.8593
K6	44.910	1100	2016.908	7.003	314.5077
K7	51.326	1400	2634.358	7.244	371.8172
K8	57.742	1500	3334.139	7.313	422.2800
jumlah	282.707	11450	11716.724	58.083	2046.354

Dari tabel di atas dimasukkan kepersamaan:

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

$$\begin{bmatrix} 8 & 282.707 \\ 282.707 & 11450 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 58.083 \\ 2266.384 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.38739 \\ -0.0035942596 \end{bmatrix}$$

karena

$$a = \ln k_1$$

maka:

$$\begin{aligned} K_1 &= e^a \\ &= e^{7.38739} \\ &= 1615.48419 \end{aligned}$$

karena

$$k_2 = -b$$

maka:

$$k_2 = 0.0035942596$$

sehingga persamaan regresi lengkung menjadi:

$$P = 1615.48419 * e^{(-0.0035942596 * L/r)}$$

Tabel perhitungan regresi beban kritis (Pcr) dan tegangan kritis (Fcr) hasil pengujian propil tanpa plat dasar

Benda Uji	L/r	Pcr (kg)	Pcr Reg (kg)	Fcr Mpa
K1	12.831	1650	1542.673	97.135
K2	19.247	1550	1507.505	94.921
K3	25.663	1400	1473.139	92.757
K4	32.494	1450	1437.410	90.507
K5	38.494	1400	1406.743	88.576
K6	44.910	1100	1374.674	86.557
K7	51.326	1400	1343.336	84.584
K8	57.742	1500	1312.712	82.655

B. Perhitungan Regresi Hasil Pengujian Kuat Tekan Profil *Light Lipped Channal* Dengan Plat Dasar

Karena nilai beban kritis (P_{cr}) dan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian masih sangat kasar maka nilai-nilai yang didapatkan diregresi terlebih dahulu. Perhitungan regresi beban kritis dan tegangan kritis menggunakan regresi lengkung (eksponensial) menggunakan data dari hasil pengujian Sampel K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 karena semua data tersebut mendekati bentuk lengkung. Persamaan regresi adalah:

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

Tabel Perhitungan regresi hasil pengujian profil dengan plat dasar

Benda Uji	X=l	p=y	x ²	ln y	x*ln y
K1	12.831	1500	164.635	7.313	93.8359
K2	19.247	1600	370.447	7.378	141.9997
K3	25.663	1400	658.590	7.244	185.9086
K4	32.494	1550	1055.860	7.346	238.7013
K5	38.494	1450	1481.788	7.279	280.2101
K6	44.910	1100	2016.908	7.003	314.5077
K7	51.326	1200	2634.358	7.090	363.9053
K8	57.742	1050	3334.139	6.957	401.6848
Jumlah	282.707	10850	11716.724	57.610	2020.753

Dari tabel di atas dimasukkan kepersamaan:

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

$$\begin{bmatrix} 8 & 282.707 \\ 282.707 & 11450 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 57.610 \\ 2020.753 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.444659816 \\ -0.068977924642596 \end{bmatrix}$$

karena

$$a = \ln k_1$$

maka:

$$\begin{aligned} K_1 &= e^a \\ &= e^{7.444659816} \\ &= 1710.70324 \end{aligned}$$

karena

$$k_2 = -b$$

maka:

$$k_2 = 0.00689779246$$

sehingga persamaan regresi lengkung menjadi:

$$P = 1710.70324 * e^{(-0.00689779246 * L/r)}$$

Tabel perhitungan regresi beban kritis (Pcr) dan tegangan kritis (Fcr) hasil pengujian profil dengan plat dasar

Benda Uji	L/r	Pcr (kg)	Pcr Reg (kg)	Fcr Mpa
K1	12.831	1500	1565.803	98.591
K2	19.247	1600	1498.018	94.323
K3	25.663	1400	1433.167	90.240
K4	32.494	1550	1367.204	86.086
K5	38.494	1450	1311.775	82.596
K6	44.910	1100	1254.986	79.021
K7	51.326	1200	1200.656	75.600
K8	57.742	1050	1148.679	72.327

C. Perhitungan Regresi Hasil Pengujian Kolom Tersusun

Karena nilai beban kritis (Pcr) dan tegangan kritis (Fcr) hasil pengujian masih sangat kasar maka nilai-nilai yang didapatkan diregresi terlebih dahulu. Perhitungan regresi beban kritis dan tegangan kritis menggunakan regresi lengkung (eksponensial) menggunakan data dari hasil pengujian Sampel K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, dan K8 karena semua data tersebut mendekati bentuk lengkung. Persamaan regresi adalah:

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

Tabel perhitungan regresi hasil pengujian kolom tersusun

Benda Uji	x=L	y=P	x ²	ln y	x*ln y
K1	12.831	3675	164.635	8.209	105.3336
K2	19.247	3850	370.447	8.256	158.8999
K3	25.663	2975	658.590	7.998	205.2527
K4	32.494	3150	1055.860	8.055	261.7443
K5	38.494	3150	1481.788	8.055	310.0752
K6	44.910	2975	2016.908	7.998	359.1901
K7	51.326	2625	2634.358	7.873	404.0812
K8	57.742	2625	3334.139	7.873	454.5933
jumlah	282.707	25025	11716.724	64.317	2259.170

Dari tabel di atas dimasukkan kepersamaan:

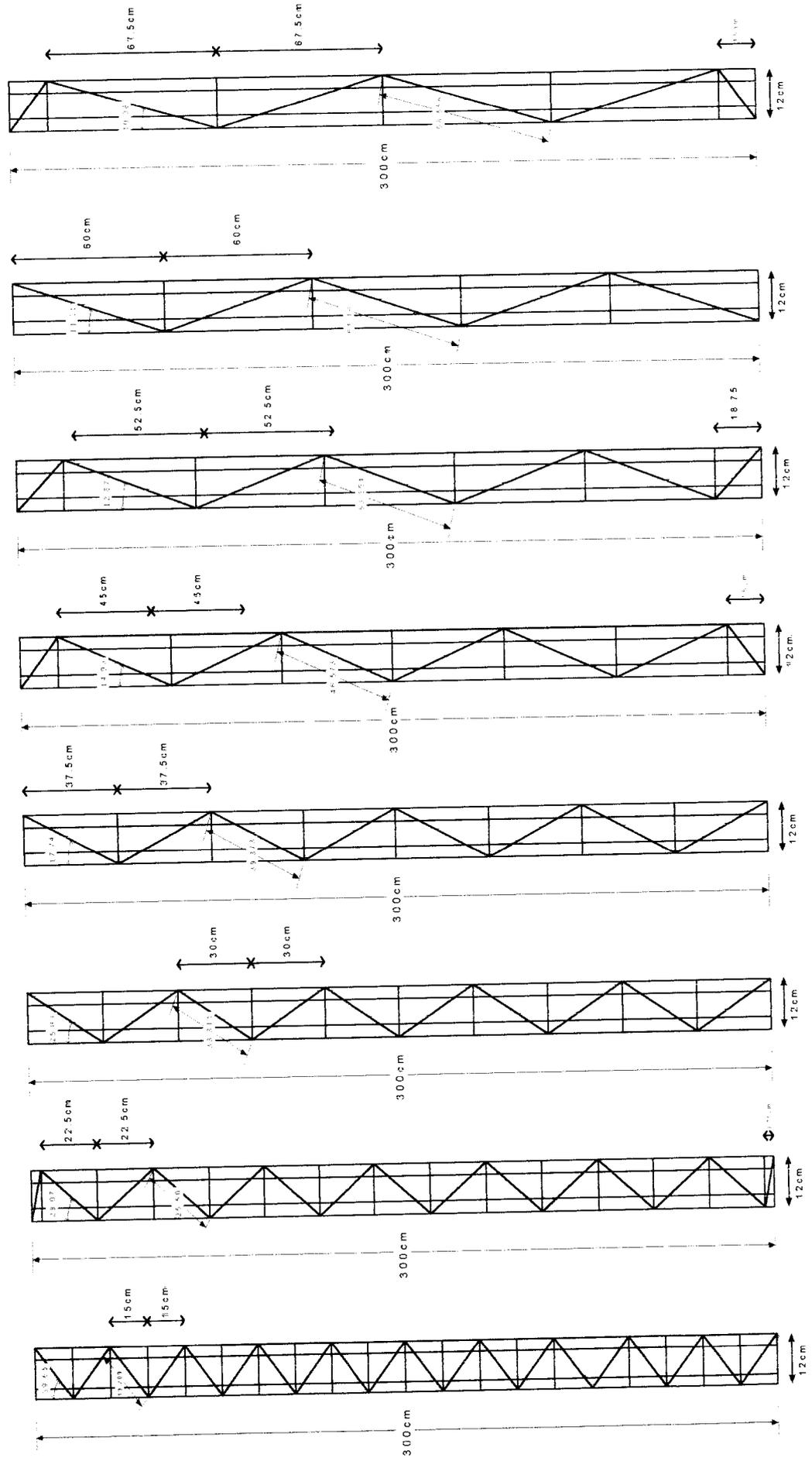
$$\begin{bmatrix} \sum n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum \ln y \\ \sum x \cdot \ln y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 8 & 282.707 \\ 282.707 & 11716.72 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 64.317 \\ 2259.170 \end{bmatrix}$$

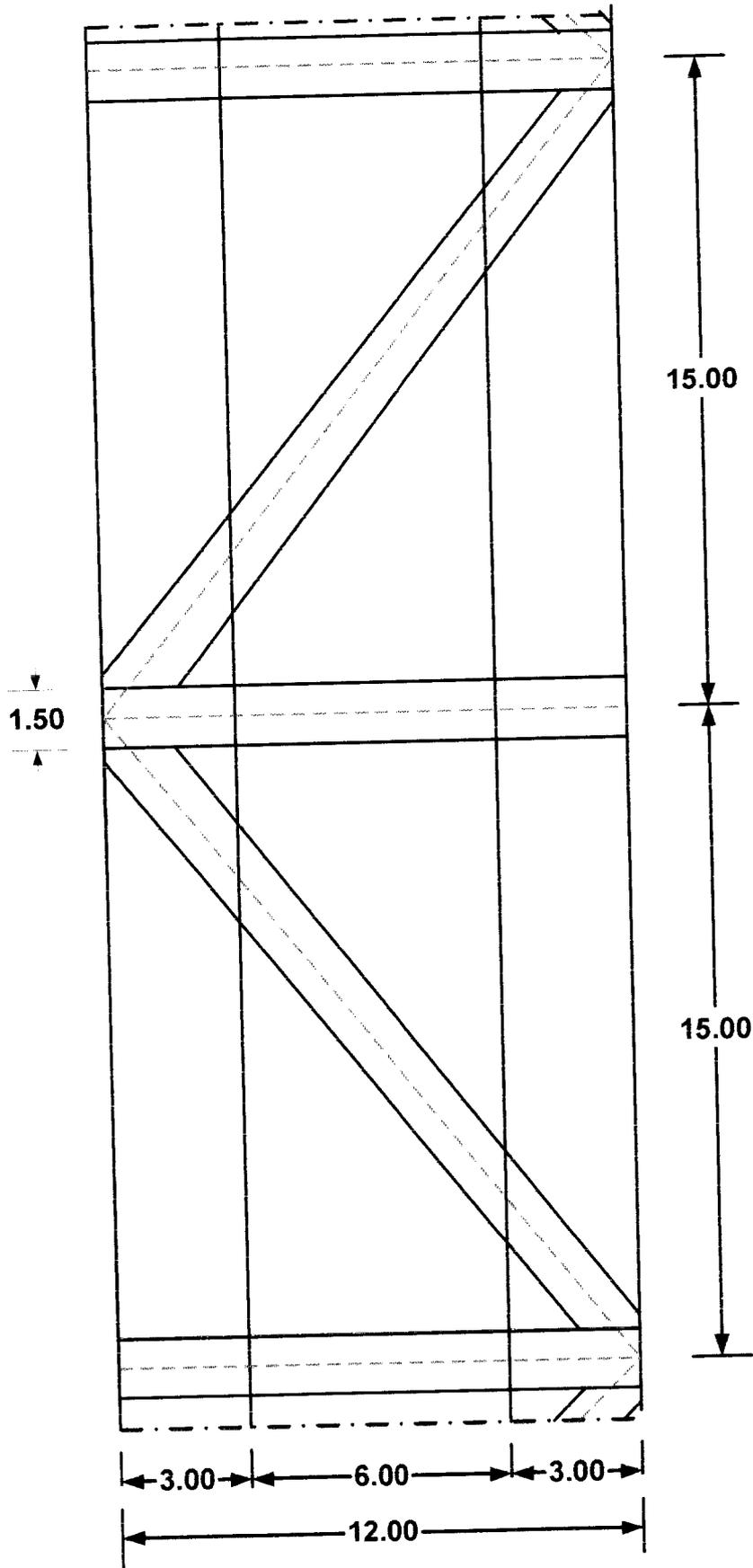
$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8.8319826 \\ -0.007929167 \end{bmatrix}$$

LAMPIRAN 3

GAMBAR BENDA UJI KOLOM TERSUSUN



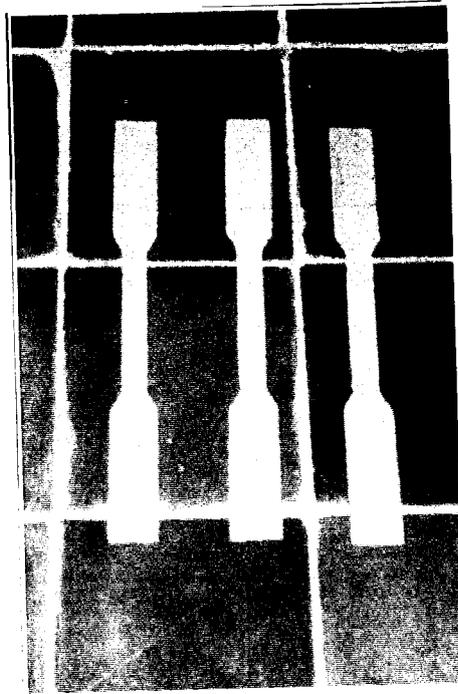
Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5	Sampel 6	Sampel 7	Sampel 8
$\frac{L_1}{r_{\min}} = 12.831$	$\frac{L_1}{r_{\min}} = 19.247$	$\frac{L_1}{r_{\min}} = 25.663$	$\frac{L_1}{r_{\min}} = 32.079$	$\frac{L_1}{r_{\min}} = 38.494$	$\frac{L_1}{r_{\min}} = 44.910$	$\frac{L_1}{r_{\min}} = 51.326$	$\frac{L_1}{r_{\min}} = 57.742$



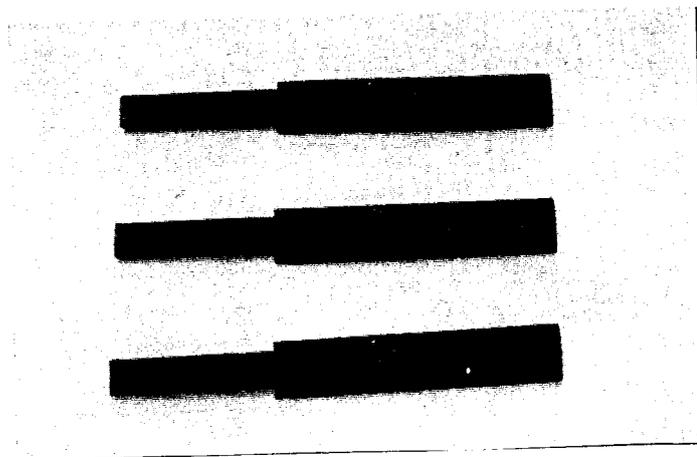
Gambar Detail Sambungan Las

LAMPIRAN 4

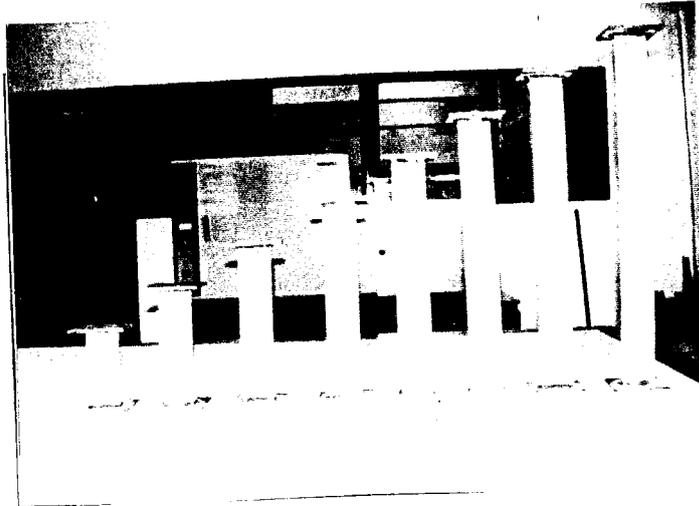
FOTO - FOTO PENGUJIAN



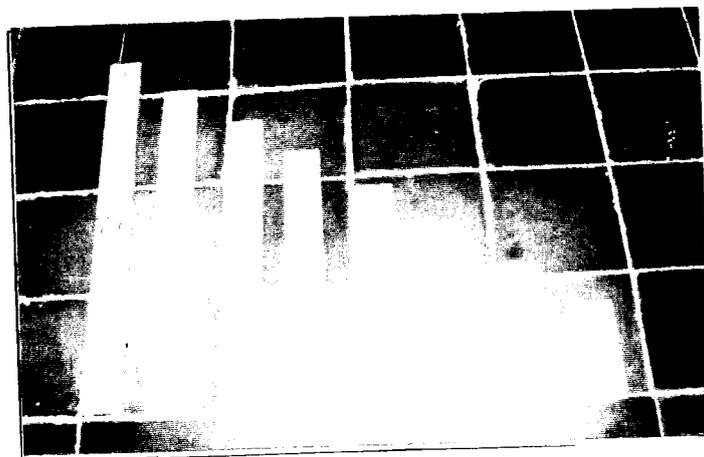
Benda uji kuat tarik baja



Benda uji kuat sambungan las



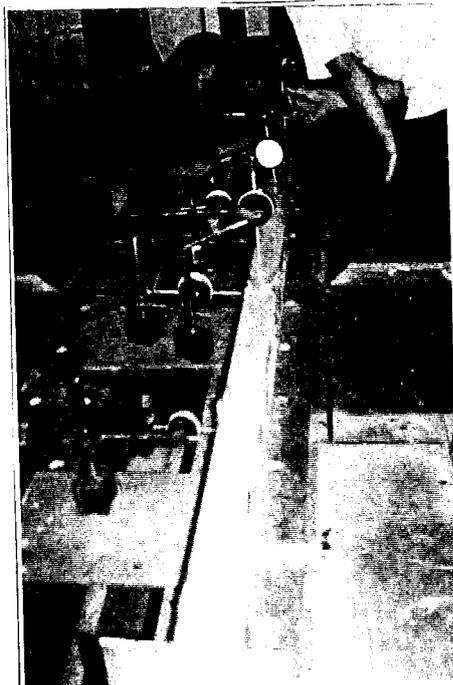
Benda uji kuat tekan profil C dengan plat dasar



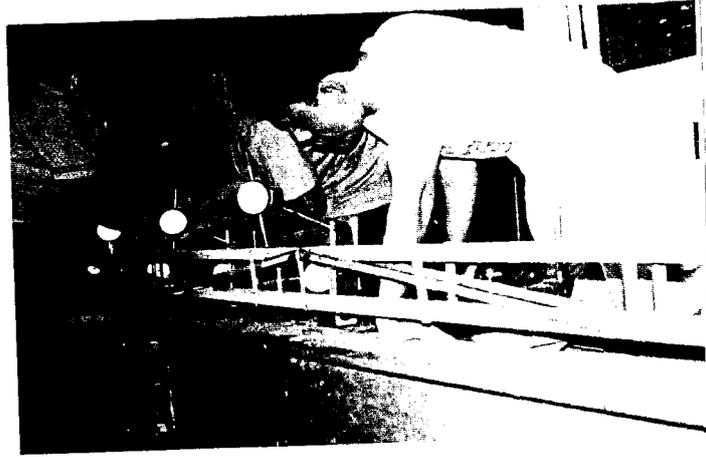
Benda uji kuat tekan profil C tanpa plat dasar



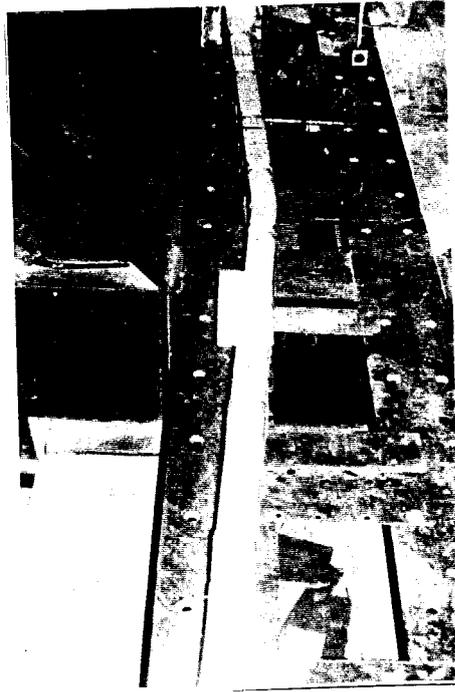
Hasil pengujian kuat tekan profil C tanpa plat dasar



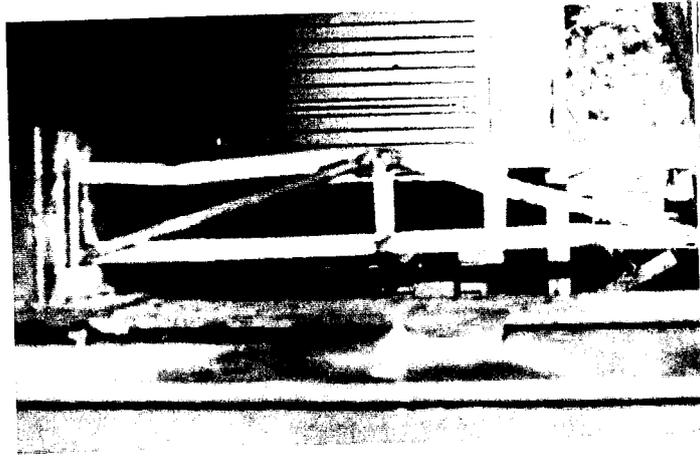
Persiapan pengujian kuat tekan kolom tersusun



Penyetelan dial untuk pengujian kuat tekan kolom tersusun



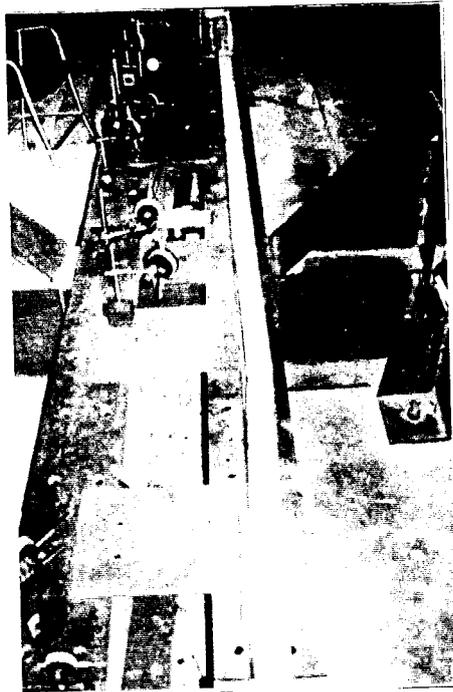
Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom tersusun



Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom tersusun



Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom tersusun



Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom tersusun



Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom tersusun



Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom tersusun



Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom tersusun



Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom tersusun



Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom tersusun

LAMPIRAN 5

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	NAMA	NO. MHS.	BID. STUDI
1	L. Eholid Karyadi	97511229	Teknik Sipil
2	Yousef Alazhar	97511205	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR :

Kuat tekan kolom tersusun dari profil C bentukan dingin dengan batang perangkai diagonal

PERIODE III : MARET - AGUSTUS
TAHUN : 2002 / 2003

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

DOSEN PEMBIMBING I : *Ir. HM. Samsudin, MT.*
 DOSEN PEMBIMBING II : *Ir. Fatkhurrohman N., MT.*



Yogyakarta, ...19 Maret 2003
 a.n. Dekan,
[Signature]
 (.....*Ir. H. Munadhir, MS*.....)

Catatan.

Seminar :
 Sidang :
 Pendadaran :