

TUGAS AKHIR

PERILAKU KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL *LIP CHANNAL* BENTUKAN DINGIN

*(Behavior of Latticed Columns Composed of Cold-formed
Lip Channal Profiles)*

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil



Disusun oleh:

Nama : Nani Rahayu
No. Mhs : 97 511 324
Nama : Lika Mustika Hasan
No. Mhs : 97 511 347

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

**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PERILAKU KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL
LIP CHANNAL BENTUKAN DINGIN**

*(Behavior of Latticed Columns Composed of Cold-formed
Lip Channal Profiles)*

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil

Disusun oleh :


**Nama : Nani Rahayu
No. Mhs : 97 511 324**

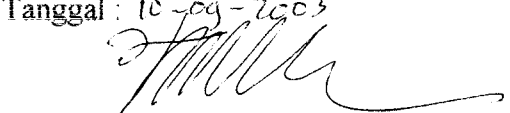
**Nama : Lika Mustika Hasan
No. Mhs : 97 511 347**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. H. SARWIDI, MSCE, PhD
Dosen Pembimbing I

Ir. FATKHURROHMAN N.S., MT
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 10-09-2003


Tanggal : 10-09-2003

HALAMAN PERSEMBAHAN

Ayu...

Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk :

Bapak Ibu-ku tersayang,; gelar ini kupersembahkan untuk kalian yang selalu mendoakan dan merestui tiap langkahku. Sekarang saatnya aku membahagiakan kalian.

Kak Ichank tersayang, terimakasih banyak telah memberiku kesempatan untuk menyelesaikan sekolahku, maapin aku ya kalo lama banget.

Adek-adekku (Yanto, Yanti dan Hendro) tersayang kalian sangat membantuku, semoga kalian bisa lebih baik dari kakak. Jadilah kebanggaan orang tua dan keluarga!!!

Special Anakku tercinta A.M RJKI, ibu chayang banget ama Cikfi... Sekarang lagi ngapain ?

My Best Friend (Idris, Gita, Piet, Deni, Nopiet, Heri dan Iqbal), Kalian adalah teman terbaikku. Sekarang kita udah terpisah oleh jarak. Jangan lupakan persahabatan kita ya??..."Hubungin aku terus okay"...

Lika thanks ya atas dukungan and pengertianmu selama ini.

Mas Heru, Mas Bayu, Kholid n Yousef, Thanks ya atas kerjasamanya.

Cah-cah kost mbah Sosro (Angga, Anto and yudi), kalian baek banget... thanks ya.

Civil "F97" and semua orang yang baek ama aku.....

Lika....

Tugas akhir ini kupersembahkan kepada:

Kedua orang tuaku yang paling kusayangi, terimakasih banyak atas semua yang telah kalian beri selama ini, dengan do'a dan restumu akhirnya anakmu ini bisa menyelesaikan sebagian harapanmu.

Kakak-kakakku tercinta, A. Edwin, Teh Liza, Teh Lina dan Mas Monag akhirnya akupun bisa seperti kalian, mendapat gelar yang selama ini aku cita-citakan....semoga kita bisa menjadi kebanggaan kedua orang tua kita selamanya.

Mas Nonoku terkasih, makasih banyak atas segalanya, makasih telah sabar menunggu menunda pernikahan ini sampai aku selesai kuliah....Akhirnya kita menikah juga....

Keluargaku di Demak, terima kasih atas segala dukungan dan do'anya...

Ayu, makasih atas segala bantuannya, pengertiannya dan kesabarannya....

Teman-teman seperjuanganku, Mas Heru, Mas Bayu, Kholid dan Yousef, thanx banget ya....

Anak kost Wisma Sakinah, temanku Anie dan Lina (kapan kalian menyusul aku jadi ST...?)

Semua orang yang telah banyak membantuku... thanx atas kebaikan kalian.

MOTTO

....” Allah meninggikan orang yang beriman diantara kamu dan orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat “....

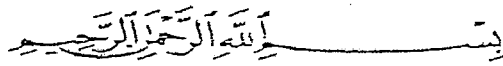
(QS. Mujadilah 11)

....”Katakanlah”. “Apakah sama orang yang mengetahui dengan orang yang tidak mengetahui ?” sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran.

(QS. Az-Zumar 9)

....Ketahuilah....”Sesungguhnya tangan diatas lebih baik dari pada tangan dibawah”.

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum Wr.Wb.

Segala puji bagi Allah S.W.T. atas karunia ilmu dan nikmat kesempatan yang diberikan-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul "KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL *LIPS CHANNAL* BENTUKAN DINGIN".

Tugas akhir ini diselesaikan untuk memperoleh derajat kesarjanaan pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Selama penyusunan tugas akhir ini, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. bapak Prof Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. bapak Ir. H. Munadhir, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
3. bapak Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir,

4. bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT. , selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir,
5. kedua orang tua kami dan segenap keluarga serta teman-teman terdekat atas segala bantuannya dan
6. semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Semoga Allah memberikan imbalan yang lebih baik atas kebaikan semuanya, serta mandapatkan ridho dari Allah S.W.T.

Penyusun menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, maka dengan segala kerendahan hati penyusun menerima kritik dan saran yang bersifat membangun. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua. *Amin.*

Wassalamu 'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, Agustus 2003

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN..... | iii |
| HALAMAN MOTO | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR NOTASI | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xxi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxv |
| ABSTRAKSI | xxvi |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

| | |
|------------------------------------|---|
| 2.1 Profil Bentuk Dingin | 5 |
| 2.2 Kolom Tersusun | 5 |
| 2.3 Kapasitas Kolom Tersusun | 6 |

BAB III LANDASAN TEORI

| | |
|---|----|
| 3.1 Elemen-elemen Bentuk Dingin | 10 |
| 3.2 Kolom Tersusun | 11 |
| 3.3 Kuat Tekan | 13 |
| 3.3.1 Tekuk lokal | 14 |
| 3.3.2. Tekuk keseluruhan | 17 |
| 3.3.3. Tekuk inelastis | 20 |
| 3.3.4. Hubungan antara tekuk lokal dan tekuk keseluruhan | 22 |
| 3.4 Pengaruh Gaya Lintang Terhadap Beban Kritis Kolom Tersusun | 24 |
| 3.5 Hubungan Momen Dan Kelengkungan | 27 |
| 3.6 Beban dan Deformasi | 30 |
| 3.7 Tegangan Kritis Berdasarkan AISC | 32 |
| 3.8 Hipotesis | 35 |

BAB IV METODE PENELITIAN

| | |
|---|----|
| 4.1 Bahan dan Alat yang Digunakan | 36 |
| 4.1.1 Bahan | 36 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 4.1.2 Peralatan penelitian | 37 |
| 4.2 Pembuatan Benda Uji | 39 |
| 4.3 Pengujian Sampel | 41 |
| 4.4 Prosedur Penelitian | 43 |
| 4.5 Bagan Alir Penelitian | 46 |

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|-----|
| 5.1 Hasil Pengujian | 46 |
| 5.1.1 Hasil uji pendahuluan | 46 |
| 5.1.2 Hasil pengujian kolom bentukan dingin | 48 |
| 5.2 Pembahasan | 66 |
| 5.2.1. Pembahasan uji pendahuluan | 66 |
| 5.2.2. Pembahasan kolom bentukan dingin | 69 |
| 5.2.2.1 Beban dan lendutan | 69 |
| 5.2.2.2 Momen dan kelengkungan | 90 |
| 5.2.2.3 Beban kritis (P_{cr}) | 95 |
| 5.2.2.4 Tegangan Kritis (F_{cr}) | 105 |
| 5.2.2.5 Perhitungan koefisien tekuk pelat | 107 |
| 5.2.2.6 Perhitungan modulus tangen | 111 |
| 5.3 Perhitungan Teoritis | 112 |
| 5.3.1 Perhitungan dengan metode <i>Bleich</i> | 113 |
| 5.3.2 Perhitungan tegangan berdasarkan AISC | 114 |

| | |
|---|------------|
| 5.3.3 Perbandingan tegangan teoritis dengan tegangan hasil pengujian dan tegangan AISC | 116 |
| 5.4 Hubungan Tegangan Kritis (F_{cr}) Dengan Faktor-faktor Yang Mempengaruhinya..... | 121 |
| BAB VI KESIMPULAN | |
| 6.1 Kesimpulan | 125 |
| 6.2 Saran | 127 |
| DAFTAR PUSTAKA | 128 |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR NOTASI

| | |
|-------------|---|
| A | = Luas penampang, mm ² . |
| A_d | = Luas penampang satu batang diagonal, mm ² . |
| A_{gab} | = Luas gabungan penampang, mm ² . |
| A_{bruto} | = Luas bruto, mm ² . |
| a | = Jarak sumbu elemen batang tersusun, mm. |
| b | = Panjang sayap penampang, mm. |
| C_y | = Titik pusat terhadap sumbu y |
| d | = Panjang batang diagonal, mm. |
| E | = Modulus elastisitas, MPa. |
| E_t | = Modulus elastisitas tangensial, MPa. |
| F_a | = Tegangan ijin, MPa. |
| F_{cr} | = Tegangan kritis, MPa. |
| F_u | = Tegangan ultimit, MPa. |
| F_y | = Tegangan leleh, MPa. |
| f | = Tegangan yang bekerja pada elemen, MPa. |
| g | = Percepatan gravitasi. |
| h | = Jarak antara dua garis pusat profil tunggal, mm. |
| I | = Momen inersia, mm ⁴ . |
| I_l | = Momen inersia sumbu lemah batang tunggal, mm ⁴ . |
| I_x | = Momen inersia arah sumbu kuat penampang kolom, mm ⁴ . |
| I_y | = Momen inersia arah sumbu lemah penampang kolom, mm ⁴ . |

| | |
|------------------|---|
| K | = Faktor panjang efektif untuk sebuah kolom. |
| k | = Faktor tekuk. |
| L, l | = Panjang kolom, mm. |
| L_l | = Panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung, mm. |
| L_d | = Panjang batang diagonal, mm. |
| L_k | = Panjang tekuk, mm. |
| M | = Momen, kg.m. |
| M_y | = Momen pada saat leleh, kg.m. |
| P | = Beban, kg. |
| P_{cr} | = Beban kritis, kg. |
| P_u | = Beban ultimit, kg. |
| P_y | = Beban leleh, kg. |
| Q | = Faktor bentuk. |
| Q_a | = Faktor bentuk untuk elemen batang yang diperkuat. |
| Q_s | = Faktor bentuk untuk elemen yang tidak diperkuat. |
| r | = Radius girasi. |
| T | = Gaya tarik, kg. |
| t | = tebal penampang, mm. |
| V | = Gaya lintang, kg. |
| α | = Sudut. |
| Δ, δ | = Defleksi, lendutan. |
| λ_l | = Angka kelangsingan. |

- μ = Angka poisson.
- σ_{cr} = Tegangan kritis, MPa.
- ϕ = Kelengkungan, 1/m.

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------|--|----|
| 3.1 | Elemen-elemen bentukan dingin | 11 |
| 3.2 | Penampang profil tersusun dengan profil <i>Lips Channal</i> | 12 |
| 3.3 | Bentuk susunan batang perangkai | 12 |
| 3.4 | Kolom tersusun dari profil tersusun dari profil <i>Lips Channal</i> dengan perangkai silang ganda..... | 13 |
| 3.5 | Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar..... | 16 |
| 3.6 | Rasio tebal terhadap tebal berbagai penampang profil | 17 |
| 3.7 | Batang lurus dibebani gaya tekan aksial | 18 |
| 3.8 | Diagram tegangan tekan untuk material kolom | 21 |
| 3.9 | Diagram tegangan kritis terhadap rasio kelangsingan | 22 |
| 3.10 | Gaya geser ideal..... | 24 |
| 3.11 | Kolom tersusun yang dibebani gaya aksial | 25 |
| 3.12 | Momen yang terjadi pada kolom tersusun dengan tumpuan pada kedua ujung sendi | 27 |
| 3.13 | Penurunan yang terjadi akibat beban (P) | 28 |
| 3.14 | Grafik hubungan momen (M) - kelengkungan (Φ)..... | 39 |
| 3.15 | Garis pusat kolom dalam keadaan setimbang | 30 |
| 3.16 | Grafik hubungan KL/r dengan F_a beberapa negara | 34 |
| 4.1 | <i>Universal Testing Material Shimatsu UMH-30</i> | 37 |
| 4.2 | Bentuk fisik <i>Loading Frame</i> | 38 |
| 4.3 | <i>Hdraulic Jack</i> | 38 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.4 | Benda uji kuat tekan..... | 40 |
| 4.5 | Benda uji kuat tarik baja | 40 |
| 4.6 | Benda uji kuat geser las | 41 |
| 4.7 | Benda uji kolom tersusun..... | 41 |
| 4.8 | Pengujian sampel..... | 43 |
| 4.9 | Bagan alir prosedur penelitian..... | 45 |
| 5.1 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 1..... | 50 |
| 5.2 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 2..... | 51 |
| 5.3 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 3..... | 52 |
| 5.4 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 4..... | 53 |
| 5.5 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 5..... | 54 |
| 5.6 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial A..... | 55 |
| 5.7 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial B..... | 56 |
| 5.8 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial C..... | 57 |
| 5.9 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 1 | 59 |
| 5.10 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 2..... | 60 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.11 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 3 | 61 |
| 5.12 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 4 | 62 |
| 5.13 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 5 | 63 |
| 5.14 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial A | 64 |
| 5.15 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial B | 65 |
| 5.16 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial C | 66 |
| 5.17.a | Grafik hubungan λ_1 dan F_{cr} untuk benda uji profil <i>Lips Channal</i> dengan pelat..... | 68 |
| 5.17.b | Grafik hubungan λ_1 dan F_{cr} untuk benda uji profil <i>Lips Channal</i> tanpa pelat | 68 |
| 5.18 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 1 yang telah direvisi | 71 |
| 5.19 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 2 yang telah direvisi | 72 |
| 5.20 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 3 yang telah direvisi | 73 |
| 5.21 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 4 yang telah direvisi | 74 |
| 5.22 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 5 yang telah direvisi | 75 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.23 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial A yang telah direvisi | 77 |
| 5.24 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial B yang telah direvisi..... | 78 |
| 5.25 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial C yang telah direvisi..... | 79 |
| 5.26 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 1 yang telah direvisi..... | 81 |
| 5.27 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 2 yang telah direvisi..... | 82 |
| 5.28 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 3 yang telah direvisi..... | 83 |
| 5.29 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 4 yang telah direvisi..... | 85 |
| 5.30 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 5 yang telah direvisi..... | 86 |
| 5.31 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial A yang telah direvisi..... | 87 |
| 5.32 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial B yang telah direvisi..... | 88 |
| 5.33 | Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial C yang telah direvisi..... | 90 |
| 5.34 | Grafik hubungan momen dan kelengkungan kolom tersusun <i>front to front</i> | 91 |
| 5.35 | Grafik hubungan momen dan kelengkungan kolom tersusun <i>back to back</i> | 91 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.36 | Grafik hubungan momen dan kelengkungan hasil regresi untuk kolom tersusun <i>front to front</i> | 92 |
| 5.37 | Grafik hubungan momen dan kelengkungan hasil regresi untuk kolom tersusun <i>back to back</i> | 92 |
| 5.38 | Deformasi sampel kolom 1, $\lambda_1=25,66$ FF pada saat kritis..... | 97 |
| 5.39 | Deformasi sampel kolom 2, $\lambda_1=34,22$ FF pada saat kritis..... | 97 |
| 5.40 | Deformasi sampel kolom 3, $\lambda_1=42,77$ FF pada saat kritis..... | 98 |
| 5.41 | Deformasi sampel kolom 4, $\lambda_1=51,33$ FF pada saat kritis..... | 98 |
| 5.42 | Deformasi sampel kolom 5, $\lambda_1=25,66$ FF pada saat kritis..... | 99 |
| 5.43 | Deformasi sampel kolom 6, $\lambda_1=34,22$ BB pada saat kritis..... | 99 |
| 5.44 | Deformasi sampel kolom 7, $\lambda_1=42,77$ BB pada saat kritis..... | 100 |
| 5.45 | Deformasi sampel kolom 8, $\lambda_1=51,33$ BB pada saat kritis..... | 100 |
| 5.46.a | Grafik P_{cr} hasil pengujian benda uji kolom tersusun <i>front to front</i> | 101 |
| 5.46.b | Grafik P_{cr} hasil pengujian benda uji kolom tersusun <i>back to back</i> | 102 |
| 5.47.a | Perbandingan P_{cr} pengujian dan P_{cr} regresi benda uji <i>front to front</i> | 104 |
| 5.47.b | Perbandingan P_{cr} pengujian dan P_{cr} regresi benda uji <i>back to back</i> | 104 |
| 5.48 | Grafik beban kritis (P_{cr}) dan fungsi kelangsingan (λ_1) untuk nilai λ_1 antara 0 sampai 300 | 105 |
| 5.49.a | Grafik F_{cr} fungsi λ_1 kolom tersusun <i>front to front</i> | 106 |
| 5.49.b | Grafik F_{cr} fungsi λ_1 kolom tersusun <i>back to back</i> | 107 |
| 5.50 | Grafik perbandingan nilai k profil <i>Lips Channal</i> | 108 |
| 5.51 | Grafik perbandingan nilai rasio b/t profil <i>Lips Channal</i> | 109 |
| 5.52 | Grafik perbandingan nilai k kolom tersusun silang ganda | 110 |
| 5.53 | Grafik perbandingan nilai rasio b/t kolom tersusun silang ganda | 110 |

| | | |
|------|--|-----|
| 5.54 | Grafik perbandingan modulus tangen (E_t) kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> dengan <i>back to back</i> | 112 |
| 5.55 | Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> dengan <i>back to back</i> | 114 |
| 5.56 | Grafik tegangan berdasarkan AISC | 116 |
| 5.57 | Grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan F_{cr} teori <i>Bleich</i> dan F_{cr} AISC untuk kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> | 118 |
| 5.58 | Grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan F_{cr} teori <i>Bleich</i> dan F_{cr} AISC untuk kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> | 120 |
| 5.59 | Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan luas penampang (A)..... | 121 |
| 5.60 | Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung (L_1)..... | 122 |
| 5.61 | Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan faktor tekuk (k)..... | 123 |
| 5.62 | Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan angka kelangsingan (λ_1).... | 123 |
| 5.63 | Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan momen inersia (I) | 124 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1 | Hasil pengujian tarik baja..... | 47 |
| 5.2.a | Hasil uji kuat tekan profil <i>Lips Channal</i> dengan pelat | 47 |
| 5.2.b | Hasil uji kuat tekan profil <i>Lips Channal</i> tanpa pelat | 48 |
| 5.3 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 1 | 50 |
| 5.4 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 2 | 51 |
| 5.5 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 3 | 52 |
| 5.6 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 4 | 53 |
| 5.7 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 5 | 54 |
| 5.8 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial A..... | 55 |
| 5.9 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial B..... | 56 |
| 5.10 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial C..... | 57 |
| 5.11 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 1..... | 58 |
| 5.12 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 2..... | 59 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.13 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 3 | 60 |
| 5.14 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 4 | 61 |
| 5.15 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 5 | 62 |
| 5.16 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial A | 63 |
| 5.17 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial B | 64 |
| 5.18 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial C | 65 |
| 5.19 | Hasil perhitungan benda uji tarik..... | 67 |
| 5.20 | Kuat tekan profil <i>Lips Chammal</i> | 67 |
| 5.21 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 1 yang telah direvisi | 70 |
| 5.22 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 2 yang telah direvisi | 71 |
| 5.23 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 3 yang telah direvisi | 72 |
| 5.24 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 4 yang telah direvisi | 73 |
| 5.25 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial 5 yang telah direvisi | 75 |
| 5.26 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial A yang telah direvisi | 76 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.27 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial B yang telah direvisi | 78 |
| 5.28 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> pada dial C yang telah direvisi | 79 |
| 5.29 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 1 yang telah direvisi..... | 80 |
| 5.30 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 2 yang telah direvisi..... | 82 |
| 5.31 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 3 yang telah direvisi..... | 83 |
| 5.32 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 4 yang telah direvisi..... | 84 |
| 5.33 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial 5 yang telah direvisi..... | 85 |
| 5.34 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial A yang telah direvisi..... | 86 |
| 5.35 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial B yang telah direvisi | 88 |
| 5.36 | Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> pada dial C yang telah direvisi | 89 |
| 5.37.a | Nilai faktor kekakuan untuk benda uji <i>front to front</i> | 93 |
| 5.37.b | Nilai faktor kekakuan untuk benda uji <i>back to back</i> | 93 |
| 5.38 | Momen maksimum kolom tersusun silang ganda | 94 |
| 5.39.a | Nilai daktilitas untuk benda uji <i>front to front</i> | 94 |
| 5.39.b | Nilai daktilitas untuk benda uji <i>back to back</i> | 95 |
| 5.40 | Beban Kritis (P_{cr}) kolom..... | 96 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.41.a | Regresi beban kritis (P_{cr} reg) benda uji <i>front to front</i> | 103 |
| 5.41.b | Regresi beban kritis (P_{cr} reg) benda uji <i>back to back</i> | 103 |
| 5.42.a | Tegangan kritis (F_{cr}) kolom tersusun <i>front to front</i> | 105 |
| 5.42.b | Tegangan kritis (F_{cr}) kolom tersusun <i>back to back</i> | 106 |
| 5.43 | Perhitungan koefisien tekuk pelat pada pengujian kuat tekan profil <i>Lips Chamal</i> | 108 |
| 5.44 | Perhitungan koefisien tekuk pelat pada pengujian kolom tersusun perangkai silang ganda..... | 109 |
| 5.45.a | Perhitungan modulus tangen (E_t) untuk kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> | 111 |
| 5.45.b | Perhitungan modulus tangen (E_t) untuk kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> | 111 |
| 5.46.a | Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) dengan metode <i>Bleich</i> untuk kolom tersusun <i>front to front</i> | 113 |
| 5.46.b | Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) dengan metode <i>Bleich</i> untuk kolom tersusun <i>back to back</i> | 113 |
| 5.47 | Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) dengan sistem perencanaan AISC ... | 115 |
| 5.48 | Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan F_{cr} teori <i>Bleich</i> dan F_{cr} AISC untuk kolom tersusun silang ganda <i>front to front</i> | 117 |
| 5.49 | Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan F_{cr} teori <i>Bleich</i> dan F_{cr} AISC untuk kolom tersusun silang ganda <i>back to back</i> | 119 |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Lembar Konsultasi Tugas Akhir
- Lampiran 2** Properti Dimensi Benda Uji
- Lampiran 3** Benda Uji
- Lampiran 4** Perhitungan koefisien tekuk pelat (k)
- Lampiran 5** Perhitungan Modulus Tangen (E_t)
- Lampiran 6** Perhitungan Dengan Metode *Bleich*
- Lampiran 7** Perhitungan Tegangan Berdasarkan AISC
- Lampiran 8** Dokumentasi Hasil Penelitian di Laboratorium

Abstraksi

Kolom tersusun dari profil C bentukan dingin dengan variasi jarak batang perangkai (L_1) dibuat untuk mendapatkan struktur ringan yang mempunyai kapasitas pikul beban yang cukup besar. Pada kolom tersusun dengan variasi batang perangkai, jarak antar profil dapat diatur, sehingga dapat diperoleh momen inersia (I) yang besar. Persoalan yang mungkin timbul pada profil C bentukan dingin sebagai struktur tekan adalah masalah instabilitas, dimana rasio kelangsingan batang tunggal (λ_1) berpengaruh pada peristiwa tekuk batang tunggal.

Penelitian eksperimental kuat tekan kolom tersusun dari profil C bentukan dingin dengan variasi jarak batang perangkai (L_1) dilakukan untuk mengetahui perilaku kolom tersusun yaitu kekakuan, kekuatan dan daktilitas berdasarkan hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$).

Penelitian ini menggunakan uji laboratorium untuk memperoleh data yang diperlukan dalam menganalisa perilaku kolom tersusun dengan perangkai silang ganda.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolom tersusun yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) mempunyai kuat tekan (P_{cr}) yang lebih besar dibanding kolom tersusun yang dirangkai saling membelakangi (*back to back*). Hal tersebut dipengaruhi oleh momen inersia (I), faktor tekuk (k), angka kelangsingan (λ_1). Selain itu kolom *front to front* lebih kaku daripada kolom *back to back*. Namun kolom *back to back* lebih daktil daripada kolom *front to front*. Berdasarkan hasil penelitian tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian berada dibawah tegangan kritis (F_{cr}) teoritis, hal ini menunjukkan terjadi tekuk lokal pada benda uji kolom tersusun.

Tekuk lokal yang terjadi pada benda uji disebabkan karena elemen pembentuk kolom tersusun terdiri dari pelat yang tipis dan pelenturan akibat pengelasan.

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan manfaat penelitian.

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini penggunaan profil baja bentukan dingin masih terbatas sebagai komponen struktur yang memikul beban kecil atau ringan, misalnya gording, balok lantai dengan bentang kecil atau joist dengan bentang kecil. Keterbatasan profil tersebut terutama disebabkan oleh ukuran penampang yang tersedia atau kapasitas yang kecil.

Untuk mendapatkan profil bentukan dingin yang mempunyai kapasitas tekan yang cukup besar dibuat batang tersusun dari profil bentukan dingin dengan berbagai konfigurasi batang perangkai, diantaranya profil *Lips Charnal* yang dirancang saling berhadapan (*front to front*) dan saling membelakangi (*back to back*). Karena profil bentukan dingin terdiri dari elemen-elemen yang langsing, maka kekuatan elemen dibatasi oleh instabilitas atau tekuk, yang berupa tekuk lokal (*local buckling*) maupun tekuk keseluruhan (*lateral buckling*).

Perilaku kolom tersusun dengan variasi batang diagonal menarik untuk diteliti karena kondisi batas kekuatan profil tersebut dibatasi oleh masalah instabilitas yang berupa tekuk lokal maupun tekuk keseluruhan dan profil tersebut dapat mengalami kegagalan dini. Selain itu, terdapat perbedaan antara koefisien

tekuk (k) elemen pelat secara teoritis dengan tekuk pelat secara eksperimen untuk profil individu. Nilai k berpengaruh terhadap tegangan kritis (F_{cr}) akan mempengaruhi kapasitas tekan profil individu, sehingga kolom tersusun yang terdiri dari profil-profil individu akan terpengaruh.

Kolom adalah elemen yang menahan gaya tekan, sehingga kekuatan kolom sangat tergantung dengan faktor tekuk. Tekuk ditinjau berdasarkan angka kelangsingan untuk penampang lintang keseluruhan, yang diwakili oleh KL/r . Dengan demikian, semakin langsing kolom tersebut, kemungkinan terjadi tekuk keseluruhan semakin besar. Semua profil baja yang digunakan dalam struktur baja, baik itu penampang profil giling maupun penampang profil tersusun, terdiri dari elemen-elemen plat. Oleh karena itu, meninjau kekuatan kolom hanya berdasarkan angka kelangsingan penampang keseluruhan kolom kurang memadai dan kurang tepat. Tekuk lokal dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen pembentuk penampang kolom yang terbuat dari plat tipis baja. Tekuk lokal dapat menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat memikul lagi bagian beban yang harus diterimanya jika kolom harus menerima beban tambahan, dengan kata lain efisiensi penampang lintang berkurang.

Efisiensi penggunaan baja dapat diperoleh dengan menggantikan profil baja struktural dengan merangkaikan baja non-struktural, dalam hal ini *Cold-formed*, yaitu profil yang dibentuk secara dingin dari pelat yang relatif tipis dengan kombinasi perangkai dari baja tulangan.

Penelitian ini dititikberatkan pada hubungan perilaku tekuk keseluruhan kolom yang diwakili dengan KL/r dan tekuk lokal pada elemen pelat baja

penyusun kolom yang diwakili oleh b/t , yang dibebani aksial sentris secara bertahap.

1.2 Rumusan Masalah

Meninjau kekuatan kolom hanya berdasarkan angka kelangsingan penampang keseluruhan (L/r) kolom kurang memadai dan kurang tepat. Tekuk lokal dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen pembentuk penampang kolom yang terbuat dari pelat tipis baja. Salah satu cara mengetahui perilaku kolom tersusun dari profil *Light Lips Chamal* diperlukan penelitian laboratorium, sehingga didapatkan beban kritis (P_{cr}) dan tegangan kritis (F_{cr}) kolom tersusun.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perilaku (kekakuan, kekuatan dan daktilitas) kolom tersusun dari profil *Lips Chamal* bentukan dingin yang disusun saling berhadapan (*front to front*) dan saling membelakangi (*back to back*) dengan perangkai silang ganda berdasarkan hubungan momen dan kelengkungan.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi persoalan penelitian agar penelitian dapat terarah maka batasan masalah dibuat sebagai berikut ini.

1. Struktur kolom tersusun dibuat dari profil *Lips Chammal* 2C 60 x 30 x 1,2 mm dan pelat baja 15 x 0,2 mm, yang dirangkai menggunakan sambungan las.
2. Profil *Lips Chammal* dirancang saling berhadapan (*front to front*) dan saling membelakangi (*back to back*),
3. Beban yang bekerja pada kolom adalah aksial sentris.
4. Jenis tumpuan adalah sendi-sendi ($k=1$).
5. Tinggi kolom adalah 3000 mm dan lebar adalah 120 mm.
6. Jarak antara tengah-tengah pelat melintang (l_1), adalah 300 mm, 400 mm, 500 mm dan 600 mm.
7. Rangka kolom ditumpu oleh pelat dasar kolom.
8. Tegangan residu tidak diperhitungkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini mempunyai manfaat:

1. sebagai salah satu pertimbangan dalam perencanaan struktur kolom tersusun menggunakan profil *Lips Chammal* bentukan dingin dan
2. untuk mendapatkan data perencanaan dan permodelan yang lebih akurat pada perancangan struktur kolom tersusun yang menggunakan profil *Lips Chammal* bentukan dingin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini berisi tentang profil bentukan dingin, kolom tersusun dan kapasitas kolom tersusun.

2.1 Profil Bentukan Dingin

Elemen bentukan dingin adalah elemen yang dibentuk dalam keadaan sudah dingin tidak dalam keadaan panas seperti yang dilakukan dalam pembentukan profil gelas (Tall, 1974).

2.2 Kolom Tersusun

Batang tersusun adalah gabungan dua batang tunggal atau lebih, satu dengan yang lain dihubungkan bersama-sama dengan menggunakan batang penghubung. Batang-batang penghubung dapat berupa batang diagonal, batang transversal atau kombinasi batang diagonal dan transversal (PADOSBAJAYO, 1991).

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

Profil tersusun terdiri dari elemen-elemen pelat, kekuatan penampang kolom yang didasarkan pada angka kelangsingan keseluruhan (kl/r) hanya dapat

tercapai jika elemen pelat tersebut tidak tertekuk 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).

2.3 Kapasitas Kolom Tersusun

Kekuatan kolom dipengaruhi oleh faktor tekuk (*buckling*), atau lenturan mendadak akibat ketidakstabilan, terjadi sebelum kekuatan batang sepenuhnya tercapai (Salmon dan Johnson, 1994).

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 dan Gaylord, 1972).

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).

Tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung penambahan beban (Tall, 1974).

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

Tegangan kritis pelat dipengaruhi oleh koefisien tekuk (k), modulus elastis (E), kondisi tumpuan tepi, rasio panjang dengan lebar (a/b) pelat, angka poisson (μ), dan rasio lebar dengan tebal (b/t) (Salmon dan Johnson, 1990).

Koefisien tekuk pelat segi empat dipengaruhi oleh aspek rasio (a/b) dan kondisi tepi yang berbeda-beda, yaitu beberapa kombinasi jepit, tumpuan sederhana dan bebas. Nilai koefisien tekuk terbesar terjadi pada kondisi tumpuan berupa jepit-jepit dengan nilai $k = 6,97$, pada kondisi tumpuan berupa jepit – tumpuan sederhana mempunyai nilai $k = 5,42$, nilai koefisien tekuk pada kondisi tumpuan berupa tumpuan sederhana-tumpuan sederhana mempunyai nilai $k = 4$, pada kondisi tumpuan berupa jepit-bebas mempunyai nilai $k = 1,277$, sedangkan nilai koefisien tekuk terkecil terjadi pada kombinasi tumpuan sederhana-bebas dengan nilai $k = 0,425$ (Salmon dan Johnson, 1994).

Pada kolom tersusun gaya gesernya lebih besar jika dibandingkan dengan kolom berbadan solid. Pengurangan kuat tekuk pada geser defleksi akan lebih besar jika dibandingkan dengan kolom berbadan solid (Bleich, 1952).

Considere dan Engesser (1889) menemukan bahwa sebagian dari kolom dengan panjang yang umum menjadi tidak elastis (inelastis) sebelum tekuk terjadi. Pada teori modulus tangen Engesser kolom tetap lurus sampai sesaat sebelum runtuh dan modulus elastisitas pada saat runtuh adalah tangen sudut garis singgung pada kurva tegangan regangan (Salmon dan Johnson, 1994).

Fatkhurrohman (1991) mengatakan bahwa pengaruh gaya lintang terhadap beban kritis kolom tunggal dan kolom solid relatif kecil sehingga untuk tujuan praktis sering diabaikan. Namun pengaruh gaya lintang terhadap beban kritis kolom tersusun cukup berarti, sehingga harus diperhitungkan. Beban kritis kolom tersusun lebih kecil daripada beban kritis kolom solid yang mempunyai luas penampang dan kelangsingan sama (Syarifah dan Tony, 2002).

Koefisien tekuk kolom tersusun dipengaruhi oleh luas penampang batang diagonal (A_d) dan batang transversal (A_b), semakin besar luas penampang batang diagonal dan batang transversal maka nilai k akan semakin kecil. Semakin panjang batang perangkai diagonal (d), nilai k akan semakin besar dan P_c akan semakin kecil. Semakin panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung (L_l), nilai k akan semakin kecil dan P_c akan semakin besar dan tegangan kritis (F_{cr}) akan membesar (Bleich, 1952)

Faktor kekakuan (EI) berbanding terbalik dengan kelengkungan (Φ) dan berbanding lurus dengan momen (M), sehingga semakin besar kelengkungan maka kekakuan suatu struktur akan semakin kecil dan momen akan semakin besar (Bruneau dkk, 1978).

Lendutan maksimal (δ) sangat kecil sehingga tidak ada perbedaan berarti antara panjang asli kolom dan proyeksinya pada bidang tegak (Singger dan Pytel, 1985).

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

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

BAB III

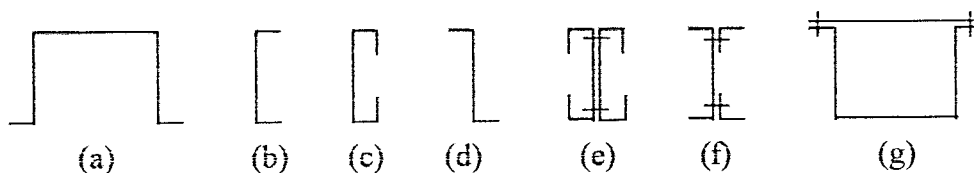
LANDASAN TEORI

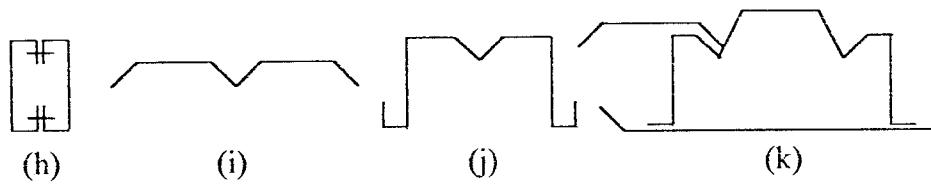
Sebagai dasar teori dalam penelitian ini, akan dijelaskan mengenai elemen-elemen bentukan dingin, kolom tersusun, kuat tekan, pengaruh gaya lintang terhadap beban kritis kolom tersusun, momen dan kelengkungan dan hipotesa.

3.1 Elemen – elemen Bentukan Dingin

Tall (1974) mengemukakan, bahwa elemen bentukan dingin yaitu, elemen yang dibentuk dalam keadaan sudah dingin tidak dalam keadaan panas seperti yang dilakukan dalam pembentukan profil gilas. Proses pembentukan dingin mengakibatkan perubahan properti, biasanya proses pembentukan dingin meningkatkan titik leleh. Perubahan properti material selama proses pembentukan dingin tergantung pada banyak faktor, antara lain : kandungan bahan kimia dalam baja, jumlah pengerjaan dingin selama proses pengerjaan, tipe pengerjaan dingin (ditarik atau ditekan), properti material awal, dan lain-lain.

Beberapa profil bentukan dingin ditunjukkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Elemen-elemen bentukan dingin (Tall, 1974)

3.2 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.

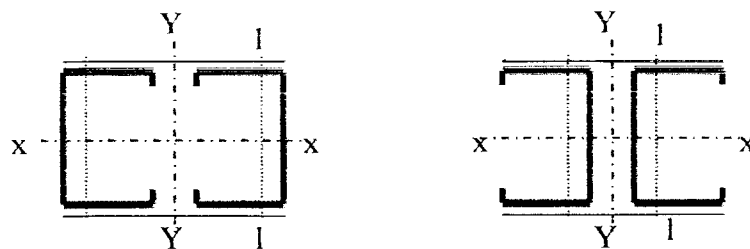
Profil tersusun dari profil-profil yang kecil, tipis dan ringan, tetapi dapat menghasilkan I yang besar. Pada komponen struktur tersusun yang terdiri dari beberapa elemen yang dihubungkan pada tempat-tempat tertentu, kekuatannya harus dihitung terhadap sumbu bahan dan sumbu bebas bahan. Sumbu bahan adalah 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 3.2), dimana:

x-x adalah sumbu bahan,

y-y adalah sumbu bebas bahan,

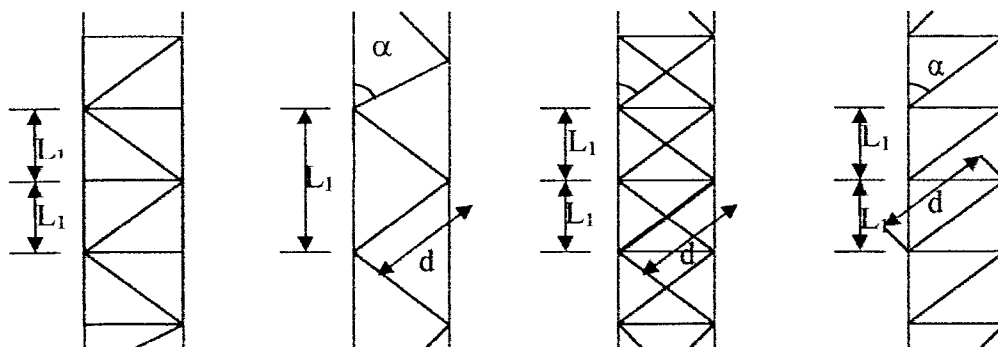
l-l adalah sumbu minimum dari elemen komponen struktur, dan

— adalah pelat kopel.



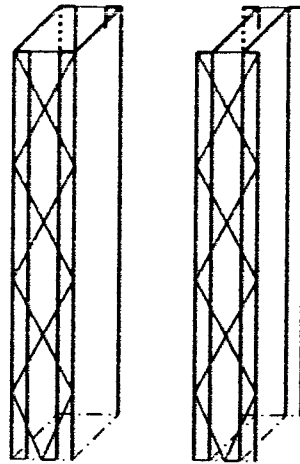
Gambar 3.2 Penampang profil tersusun dengan profil *Lips Channel*

Fungsi perangkai ialah untuk menahan gaya lintang yang timbul sepanjang kolom, sehingga batang tersusun dapat membentuk satu kesatuan dalam hal mendukung beban. Susunan batang-batang perangkai seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bentuk susunan batang perangkai

Dalam penelitian ini bentuk perangkai yang digunakan adalah silang ganda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kolom tersusun dari profil *Lips Channel* dengan perangkat silang ganda

Gambar 3.4 menunjukkan profil bentukan dingin yang tersusun dari dua profil *Lips Channel* yang disambung pada sisi depannya dengan perangkat dan disatukan dengan alat sambung las pada tempat-tempat tertentu. Kolom tersusun dibebani dengan beban aksial sentris (P) pada kedua ujungnya.

3.3 Kuat Tekan

Kekuatan tekan kolom langsing dibatasi oleh masalah instabilitas yang dapat terjadi dalam bentuk tekuk lokal maupun tekuk menyeluruh. 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/r . Rasio b/t berpengaruh pada kekuatan struktur kolom terhadap tekuk keseluruhan.

3.3.1 Tekuk lokal

Menurut Tali (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 dimana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki oleh pelat jauh dibawah tegangan lelehnya (F_y).

Salmon dan Johnson (1990), mengemukakan tegangan tekuk elastik teoritik untuk pelat dinyatakan sebagai:

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

Dengan: F_{cr} = tegangan kritis (MPa),

k = koefisien tekuk,

E = modulus elastis baja ($2 \cdot 10^5$ MPa),

μ = angka poisson dan

b/t = rasio lebar terhadap tebal.

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 besar kekuatan pelat, sehingga menyebabkan tekuk lokal baik pada sayap maupun badan. Kerusakan

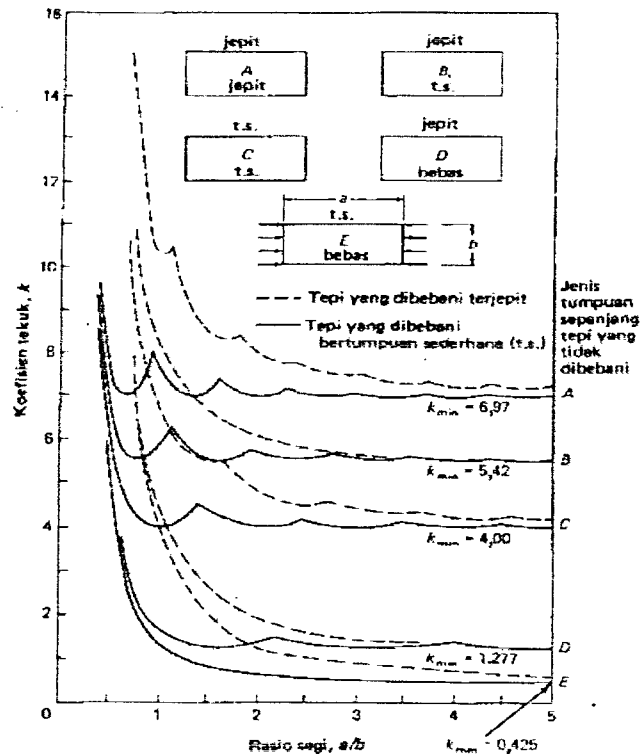
akibat tekuk dapat dicegah dengan cara memperkecil rasio lebar terhadap tebal (b/t) dan meningkatkan koefisien tekuk (k).

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.

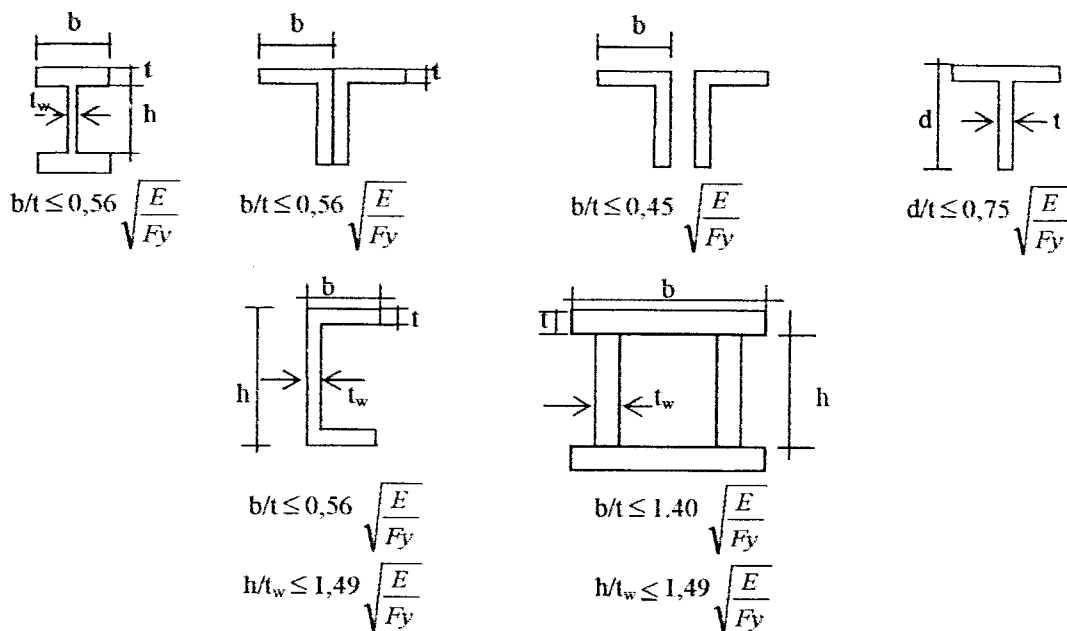
Menurut Gerard dan Becker yang dikemukakan oleh Salmon dan Johnson (1994), koefisien tekuk (k) merupakan konstanta yang tergantung pada jenis tegangan (tekanan merata pada dua tepi berlawanan) dan kondisi tumpuan tepi (tumpuan sederhana pada keempat tepi), serta rasio panjang dengan lebar (rasio segi, a/b). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



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

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 koefisien tekuk terbesar terjadi pada kondisi tumpuan berupa tumpuan jepit-jepit seperti pada grafik A dengan nilai $k=6,97$, nilai koefisien tekuk pada kondisi tumpuan berupa tumpuan jepit-tumpuan sederhana seperti pada grafik B dengan nilai $k=5,42$. Pelat dengan tumpuan sederhana yang ditekan secara merata tepi longitudinal seperti pada grafik C memiliki koefisien tekuk minimum sebesar 4. Kondisi ini terjadi pada rasio a/b merupakan kelipatan bulat (bukan pecahan). Nilai k menjadi lebih datar dan mendekati nilai konstan 4 untuk rasio a/b yang besar. Nilai koefisien tekuk pada kondisi tumpuan berupa

tumpuan jepit-bebas seperti pada grafik D dengan nilai $k = 1,277$, sedangkan nilai koefisien tekuk terkecil terjadi pada kombinasi tumpuan sederhana dan bebas seperti pada grafik E dengan nilai $k=0,425$. Tetapi ada perbedaan antara nilai k teoritis dengan nilai k hasil penelitian seperti yang dikemukakan Barker dan 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 tebal berbagai penampang profil
(Barker dan Pucket dalam Kristiawan dan Hadiono, 2003)

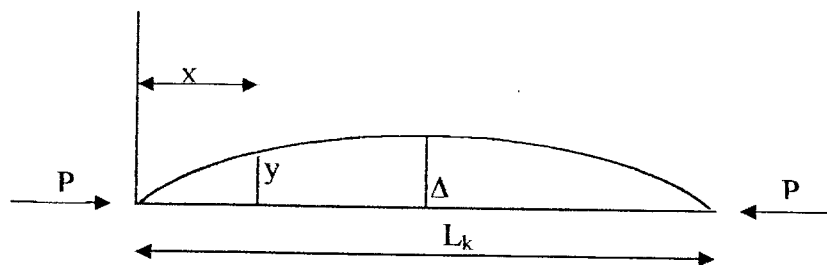
Gambar 3.6 menunjukkan adanya perbedaan nilai k pada masing masing profil.

3.3.2 Tekuk keseluruhan

Menurut persamaan Euler yang dikemukakan oleh Tall (1974), beban kritis kolom diturunkan dari persamaan pelenturan sebuah batang lurus yang

semua seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi, batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya dan diberi gaya aksial tekan sentris.

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



Gambar 3.7 Batang lurus dibebani gaya tekan aksial

Disuatu titik sejarak x , momen lentur M_x (terhadap sumbu x) pada batang yang sedikit melengkung adalah

$$M_x = P \cdot y \quad (3.2)$$

Dan karena

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

Persamaan differensialnya menjadi

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

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

bila diasumsikan $k^2 = P_{cr} / EI$ (3.5)

substitusi k^2 kedalam persamaan (3.4) maka akan diperoleh:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + k^2 y = 0 \quad (3.6)$$

penyelesaian persamaan diferensial linear berordo dua ini dapat dinyatakan sebagai :

$$y = A \sin kx + B \cos kx \quad (3.7)$$

dengan menerapkan syarat batas:

- a. untuk $x = 0$, nilai $y = 0$, maka $0 = A + B$, diperoleh $B = -A$ dan
- b. untuk $x = L$, nilai $y = 0$, diperoleh: $0 = A \sin (k.L)$.

Untuk $A \sin (k.L) = 0$, dapat dipenuhi oleh tiga keadaan: (a) konstanta $A=0$, yaitu tidak ada lendutan, (b) $kL=0$, yaitu tidak ada beban luar dan (c) $k.L=N\pi$, yakni syarat terjadinya tekuk.

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

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

Menurut Talli (1974), 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:

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

dengan L_k = panjang tekuk.

Bila masing-masing ruas persamaan (3.9) dibagi dengan luas penampang batang A , maka diperoleh:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{A L_k^2} \quad (3.10)$$

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

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(L_k / r)^2} \quad (3.11)$$

dengan r = jari-jari kelembaman,

$$E = \text{Modulus Elastisitas} = 2.10^5 \text{ MPa.}$$

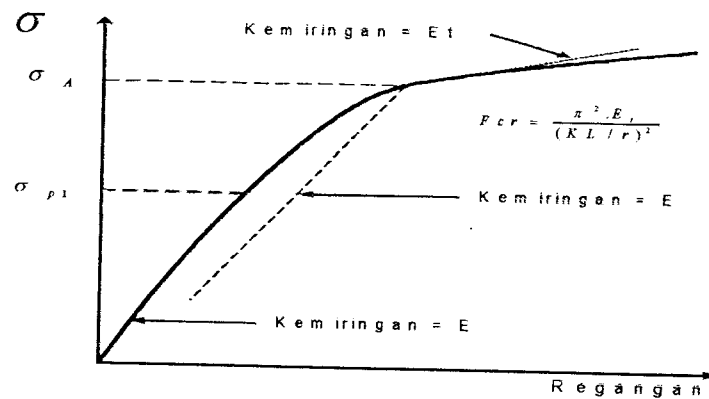
Persamaan (3.10) diatas memperlihatkan dengan jelas kapasitas pikul beban suatu kolom selaiu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang tekuk, sebanding dengan modulus elastis material dan momen inersia penampang. Semakin panjang kolom maka semakin kecil beban yang dapat menyebabkan kolom tersebut tertekuk, sebaliknya semakin pendek kolom maka semakin besar beban yang dapat menyebabkan kolom tersebut tertekuk

3.3.3 Tekuk inelastis

Menurut Salmon dan Johnson (1994), pendekatan Euler umumnya tidak digunakan untuk perencanaan karena tidak sesuai dengan hasil percobaan, dalam praktek kolom dengan panjang yang umum tidak sekuat seperti yang dinyatakan oleh persamaan (3.9).

Menurut Salmon dan Johnson (1994), Considere dan Engesser (1889) menemukan bahwa, sebagian dari kolom dengan panjang yang umum menjadi tidak elastis (inelastis) sebelum tekuk terjadi. Pada teori modulus tangen Engesser kolom tetap lurus sampai sesaat sebelum runtuh dan modulus elastisitas pada saat runtuh adalah tangen sudut garis singgung pada kurva tegangan regangan. Diagram tegangan-regangan tekan untuk bahan kolom tersebut ditunjukkan dalam

Gambar 3.8. Limit proporsional untuk bahan ditunjukkan dengan σ_{pl} dan tegangan aktual σ_A di kolom.



Gambar 3.8 Diagram tegangan tekan untuk material kolom
(Gere dan Timoshenko, 2000)

Persamaan Euler dimodifikasi oleh Engesser dengan mengganti harga E (modulus elastisitas) pada persamaan (3.9) dengan harga E_t (modulus tangen). Seperti pada persamaan (3.12).

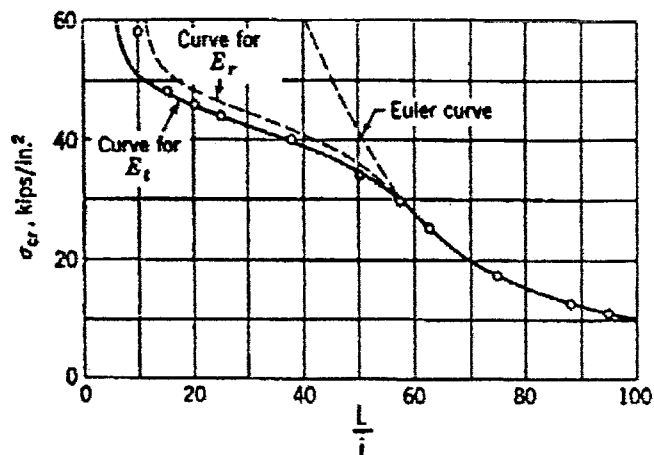
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I}{L^2} \quad (3.12)$$

Beban ini menyatakan beban kritis untuk kolom menurut teori modulus tangen, maka tegangan kritis modulus tangen adalah

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E_t}{(KL/r)^2} \quad (3.13)$$

Pada tahun 1895, Engesser merubah teorinya dengan alasan, bahwa selama melentur sejumlah serat mengalami kenaikan regangan (yang memperkecil modulus tangen), sehingga harga modulus yang berlainan harus digunakan. Pada Gambar 3.9 menunjukkan perbandingan diagram tegangan kritis kolom F_{cr}

terhadap rasio kelangsingan, dengan menggunakan rumus euler dan teori modulus tangen.



Gambar 3.9 Diagram tegangan kritis terhadap rasio kelangsingan
(Gere dan Timoshenko, 2000)

Menurut Shanley (1946) yang dikemukakan oleh Salmon dan Johnson (1990) menyatakan, bahwa pada hakekatnya kolom masih mampu memikul beban aksial yang lebih besar walaupun telah melentur, tetapi kolom mulai melentur pada saat mencapai beban yang disebut *beban tekuk*.

3.3.4 Hubungan antara tekuk lokal dan tekuk keseluruhan

Tekuk lokal dan tekuk keseluruhan dapat terjadi secara bersamaan apabila tegangan kritis pelat sama dengan tegangan kritis kolom keseluruhan, seperti pada persamaan (3.14).

$$F_{cr \text{ pelat}} = F_{cr \text{ keseluruhan}} \quad (3.14)$$

Dengan memasukkan persamaan (3.11) ke dalam persamaan (3.14), maka

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

sehingga

$$(KL/r) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_{cr\text{ pelat}}}} \quad (3.16)$$

dengan memasukkan persamaan (3.1) kedalam persamaan (3.16), maka

$$(KL/r) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2}}} \quad (3.17)$$

$$KL/r = (b/t) \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k}} \quad (3.18)$$

Dengan μ baja 0,3, sehingga

$$KL/r = \frac{3,3045(b/t)}{\sqrt{k}} \quad (3.19)$$

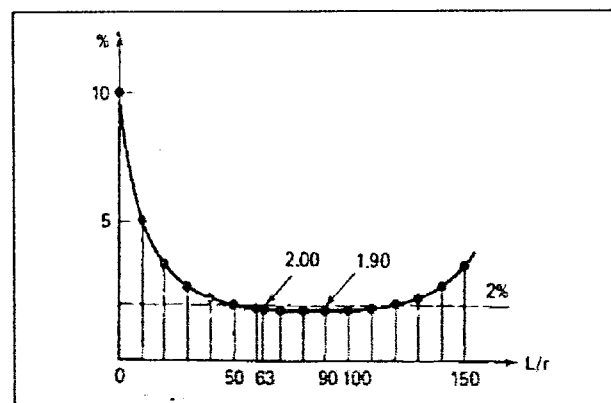
Dari persamaan (3.14) sampai persamaan (3.19) dapat diambil kesimpulan bahwa pada profil baja yang sama apabila semakin panjang batang tersebut, maka KL/r akan semakin besar, sehingga $F_{cr\text{ keseluruhan}}$ akan semakin kecil bahkan bisa lebih kecil dari $F_{cr\text{ pelat}}$, sehingga keruntuhan 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 $F_{cr\text{ pelat}}$. Dengan demikian apabila $F_{cr\text{ pelat}}$ lebih kecil dari $F_{cr\text{ keseluruhan}}$, maka dapat disimpulkan, bahwa keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk lokal kolom.

3.4 Pengaruh Gaya Lintang Terhadap Beban Kritis Kolom Tersusun

Bila batang mengalami lentur akibat gaya tekan aksial, maka 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.

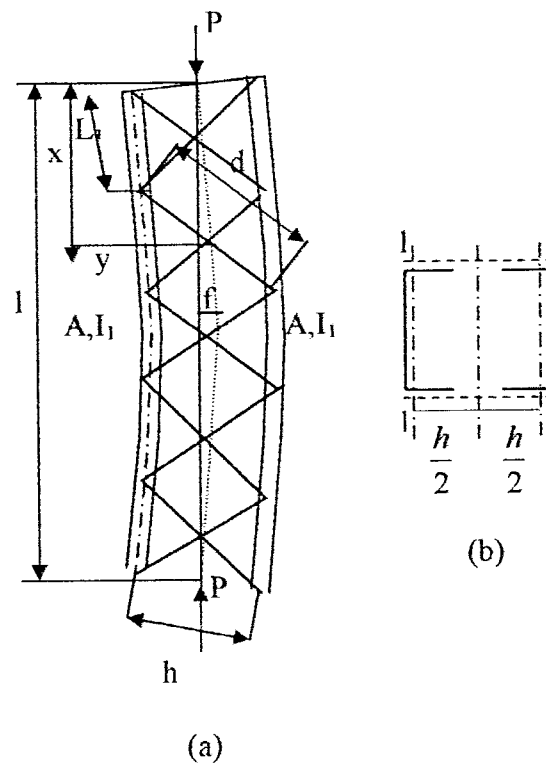
Besarnya gaya geser yang terjadi pada kolom yang disyaratkan oleh AASHTO yang dikemukakan oleh Trahair dan Bradford (1977) adalah sebesar 2 % dari gaya aksial yang diterima oleh kolom, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Gaya geser ideal (AASHTO,1973)

Gambar 3.10 memperlihatkan pada $L/r = 90$, pengaruh gaya geser mempunyai harga minimum yaitu sebesar 1,9 %. Namun dalam praktek sering digunakan pendekatan pengaruh gaya geser sebesar 2 %, sehingga diasumsikan $V = 0,02.P$.

Bila pada satu panel ada dua batang diagonal, maka sebagai akibat pengaruh gaya lintang satu batang diagonal berfungsi sebagai tarik, sedangkan batang diagonal lain berfungsi sebagai batang tekan. Untuk keadaan ini, batang transversal dianggap tidak menahan gaya lintang.



Gambar 3.11 Kolom tersusun yang dibebani gaya aksial
(Bleich, 1952)

Bleich (1952) mengemukakan, bahwa dengan memasukkan pengaruh geser, maka beban kritis kolom akan menjadi:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I}{l^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_t I_0}{l^2} \frac{1}{E L_1} \frac{d}{2 A_d}} \quad (3.20)$$

dengan $I = I_0 + 2I_1$

dengan :

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E_t I_0}{l^2} \frac{1}{E L_1} \frac{d}{2 A_d}} \quad (3.21)$$

dengan : E_t = modulus elastis kolom,

l = panjang kolom,

L_1 = panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung,

$I_0 = Ah^2/2$, I_1 adalah momen inersia sumbu $I-I$ (lihat Gambar 3.11.b),

d = panjang batang diagonal,

h = jarak antara dua garis pusat profil tunggal dan

A_d = luas penampang satu batang diagonal.

Dari persamaan (3.21) dapat kita lihat, bahwa semakin besar luas penampang batang diagonal (A_d) maka nilai k akan semakin kecil. Semakin panjang batang perangkai diagonal (d) maka nilai k akan semakin besar dan P_{cr} akan semakin kecil. Semakin panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung (h) maka nilai k akan semakin kecil dan P_{cr} akan semakin besar dan tegangan kritis (F_{cr}) akan membesar.

3.5 Hubungan Momen Dan Kelengkungan

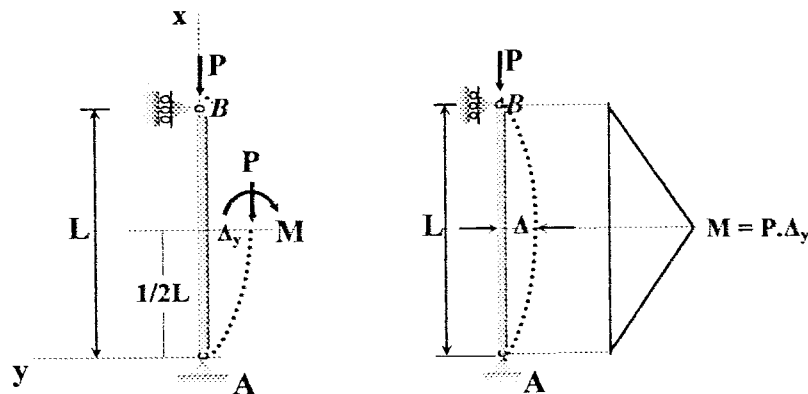
Faktor kekakuan (EI) didefinisikan sebagai rasio momen dan kelengkungan (Bruneau dkk, 1978), yang dinyatakan dengan persamaan (3.22).

$$EI = \frac{M}{\phi} \quad (3.22)$$

Persamaan (3.22) menunjukkan bahwa faktor kekakuan berbanding terbalik dengan kelengkungan, sehingga semakin besar kelengkungan maka kekakuan suatu struktur semakin kecil.

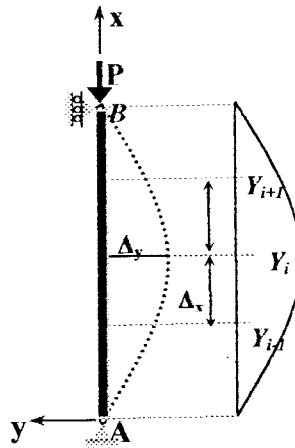
Struktur yang diberi beban transversal P seperti pada Gambar 3.12 akan mengakibatkan terjadinya momen sebesar:

$$M = P \cdot \Delta_y \quad (3.23)$$



Gambar 3.12 Momen yang terjadi pada kolom tersusun dengan tumpuan pada kedua ujung sendi

Pemberian beban aksial (P) dari struktur akan didapatkan perpindahan yang diukur pada tiga titik distrik yang berurutan dengan jarak yang sama (Δ_x), dimana tiga titik distrik tersebut diberi notasi y_{i+1} , y_i dan y_{i-1} seperti terlihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Penurunan yang terjadi akibat beban (P)

Dengan mengacu pada Gambar (3.13) dy dan dx didekati dengan persamaan (3.24).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta_x} \quad (3.24)$$

Turunan kedua dari Persamaan (3.24) adalah,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.25)$$

dimana $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka nilai dari

$$\frac{d}{dx}(2\Delta_x) = 0 \quad (3.26)$$

maka persamaan (3.26) menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx} \left(\frac{y_{i+2} - y_i}{2\Delta_x} - \frac{y_i - y_{i-2}}{2\Delta_x} \right)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.27)$$

Selanjutnya dari persamaan (3.27) didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.28)$$

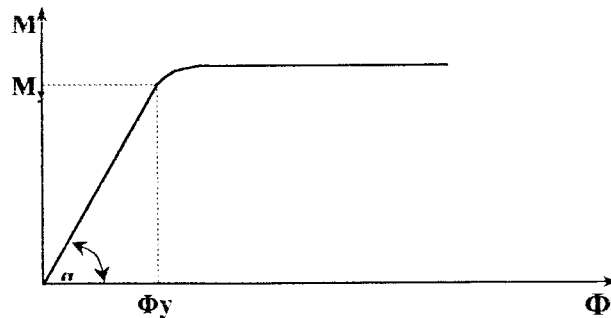
kemudian pada persamaan disederhanakan, menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2}$$

dengan nilai $\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI}$ (3.29)

dari persamaan (3.29) dapat dicari faktor kekakuan EI setelah momen (M) dan kelengkungan (ϕ) diketahui.

Grafik hubungan momen dan kelengkungan ditunjukkan pada Gambar 3.14 berikut.

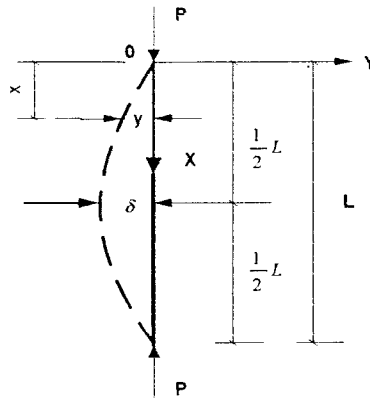


Gambar 3.14 Grafik hubungan Momen (P) – Kelengkungan (Φ)

Gambar 3.14 menunjukkan hubungan antara momen-kelengkungan. Tampak bahwa pada grafik hubungan momen kelengkungan akan membentuk sudut (α), dimana

$$tg\alpha = \frac{M}{\phi} \quad (3.30)$$

3.6 Beban Dan Deformasi



Gambar 3.15 Garis pusat kolom dalam keadaan setimbang
(Singger dan Pytel, 1985)

Gambar 3.15 memperlihatkan garis pusat kolom dalam keadaan setimbang akibat kerja beban kritis P . Kolom dianggap mempunyai ujung berengsel (kadang kala disebut bulat, pivot, atau peniti) dijepit melawan gerakan lateral. Lendutan maksimal (δ) sangat kecil sehingga tidak ada perbedaan berarti antara panjang asli kolom dan proyeksinya pada bidang tegak (Singger dan Pytel, 1985).

Dengan kondisi kemiringan dy/dx sangat kecil sehingga kita bisa mempergunakan pendekatan persamaan diferensial kurva elastis batang, yaitu

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

Persamaan (3.31) tidak dapat diintegrasikan langsung, seperti yang dilakukan pada persamaan kurva elastis balok, karena di sini M bukanlah fungsi x . Untuk dapat menyelesaikan persamaan (3.31), persamaan di atas kita tulis kembali dalam bentuk,

$$EI \frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx} \right) = -P \cdot y \quad (3.32)$$

setelah mengalikannya dengan $2dy$ kita memperoleh diferensial sempurna, dengan integrasi,

$$EI \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = -P \cdot y^2 + C_1 \quad (3.33)$$

Karena menurut Gambar 3.15, $y = \delta$ bila $dy/dx = 0$, maka substitusi harga itu ke Persamaan (3.33), maka menghasilkan $C_1 = P \cdot \delta^2$, dan Persamaan (3.33) menjadi,

$$EI \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = P \cdot (\delta^2 - y^2) \quad (3.34)$$

atau dapat ditulis,

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{\frac{P}{EI}} \cdot \sqrt{(\delta^2 - y^2)} \quad (3.35)$$

pisahkan variabelnya, maka didapat

$$\frac{dy}{\sqrt{\delta^2 - y^2}} = \sqrt{\frac{P}{EI}} \cdot dx \quad (3.36)$$

bila persamaan di atas diintegrasikan, menghasilkan

$$\sin^{-1} \frac{y}{\delta} = x \sqrt{\frac{P}{EI}} + C_2 \quad (3.37)$$

untuk mengevaluasi C_2 kita gunakan hubungan $y = 0$ pada $x = 0$, oleh karena itu $C_2 = 0$, jadi

$$\sin^{-1} \frac{y}{\delta} = x \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad (3.38)$$

atau

$$y = \delta \cdot \sin \left(x \sqrt{\frac{P}{EI}} \right) \quad (3.39)$$

Dari Persamaan (3.39) tampak bahwa kolom mempunyai bentuk deformasi kurva sinus. Hal ini sesuai dengan anggapan bahwa ujung-ujung kolom tidak mengalami deformasi, sehingga nilai lendutan diujung-ujung kolom sama dengan nol ($y = 0$).

3.7 Tegangan Kritis Berdasarkan 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

$$Q = Q_a \cdot Q_s \quad (3.40)$$

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

$$\left(\frac{b}{t} \right) > \left(\frac{76}{\sqrt{F_y}} \right) \quad (3.41)$$

Besar Q_s menurut AISC adalah,

$$Q_s = 1,340 - 0,00447 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y} \quad (3.42)$$

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,

$$\left(\frac{b}{t} \right) > \left(\frac{238}{\sqrt{F_y}} \right) \quad (3.43)$$

Besar Q_a menurut AISC adalah,

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_{bruto}} \quad (3.44)$$

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

$$\frac{b_E}{t} = \frac{253}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{50,3}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \quad (3.45)$$

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.

$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{QF_y}{4\pi^2 E} \left(\frac{KL}{r} \right)^2 \right] \quad (3.46)$$

Apabila

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}} \quad (3.47)$$

maka

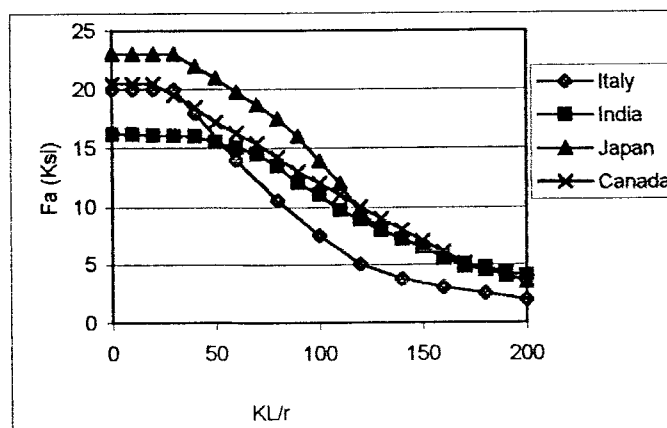
$$F_{cr} = QF_y \left[1 - \frac{KL/r^2}{2C_c^2} \right]$$

(3.48)

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

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.49)$$

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 pertambahan KL/r untuk $KL/r = \pm 40$ sampai dengan ± 160 , dan kembali menjadi relatif datar untuk KL/r lebih dari ± 160 . Grafik tersebut terdapat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Grafik hubungan KL/r dengan F_a beberapa Negara
(Tall,1974)

3.8 Hipotesis

Perbedaan penampang kolom tersusun akan mempengaruhi Inersia kolom tersusun, sehingga akan turut mempengaruhi kuat tekan dan tegangan kritis kolom tersusun. Dengan membandingkan P_{cr} profil *Lips Channel* bentukan dingin yang disusun saling berhadapan (*front to front*) dan saling membelakangi (*back to back*) dapat diketahui bahwa kolom tersusun dengan penampang yang disusun saling berhadapan mempunyai kuat tekan yang lebih besar.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian adalah urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Metode yang dipergunakan dalam penulisan ini adalah dengan mengadakan penelitian di laboratorium untuk mendapatkan data yang diperlukan kemudian membahasnya. Pada bab metode penelitian ini akan diuraikan mengenai bahan dan alat yang digunakan didalam penelitian, pembuatan benda uji, pengujian sampel dan prosedur penelitian.

4.1 Bahan dan Alat yang Digunakan

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan dan bahan yang digunakan sebagai sarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian.

4.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan meliputi baja profil dan sambungan baja.

a. Baja profil

Baja profil yang digunakan adalah *Lips Channal* yang disambungkan pada kedua sisinya dengan cara *front to front* dan *back to back* yang diberi perangkai transversal dan diagonal, sehingga membentuk profil tersusun.

b. Sambungan baja

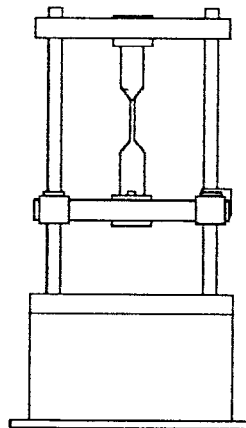
Sambungan baja profil *Lips Channal* menggunakan alat sambung las.

4.1.2 Peralatan penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan, yaitu mesin uji kuat tarik, loading frame, hidraulic jack, alat pengukur, dial gauge dan dukungan tempat dial.

a. Mesin uji kuat tarik

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

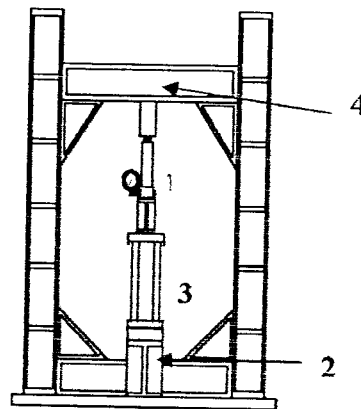


Gambar 4.1 *Universal Testing Material Shimatzu UMH- 30*

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 450x200x9x14. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji.



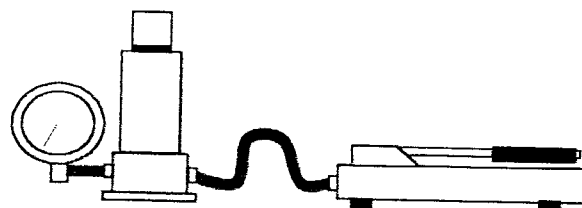
Gambar 4.2 Bentuk fisik *Loading Frame*

Keterangan :

1. Hydraulic Jack
2. Dukungan
3. Benda uji
4. Baja WF 450 x 200 x14

c. *Hydraulic Jack*

Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak rangka jembatan skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,25 ton. Alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Hydraulic Jack*

d. Alat pengukur

Alat ukur digunakan untuk mengukur dimensi kolom tersusun.

e. *Dial Gauge*

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi.

Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm.

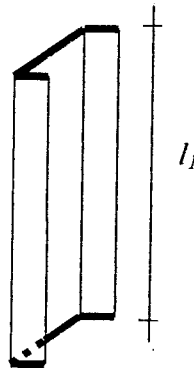
f. Dukungan tempat dial

Dukungan ini menggunakan pelat baja yang berfungsi untuk menaruh dial-dial pada waktu pengujian.

4.2 Pembuatan Benda Uji

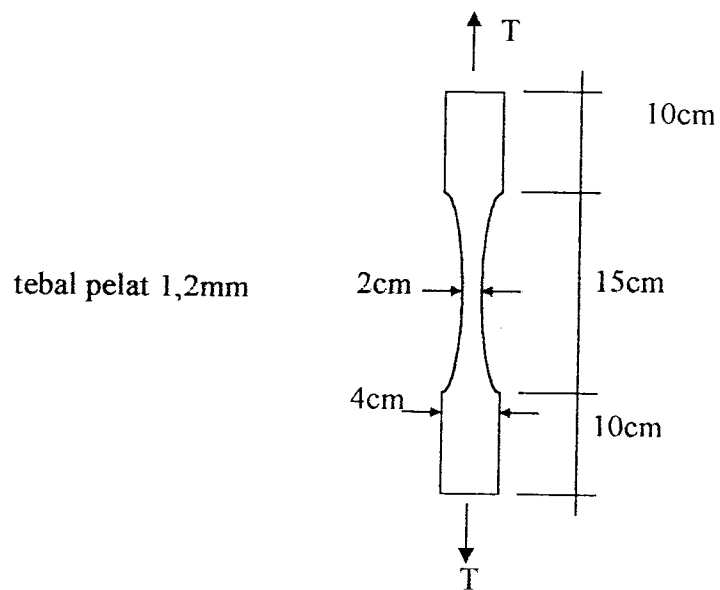
Benda Uji yang akan digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian diuji di laboratorium, benda uji tersebut berupa empat benda uji kuat tekan baja, tiga buah benda uji kuat tarik baja, tiga buah benda uji kuat sambungan las dan delapan buah benda uji kolom tersusun. Sebagaimana yang akan diterangkan sebagai berikut ini.

- a. Empat benda uji kuat tekan baja yang diambil dari profil *Light Lips Channel*, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.4.



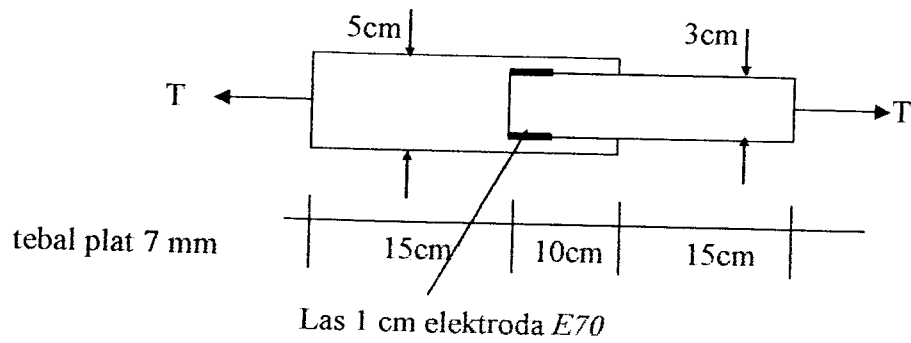
Gambar 4.4 Benda uji kuat tekan

- b. Tiga benda uji kuat tarik baja yang diambil dari profil *Light Lips Channel*, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.5.



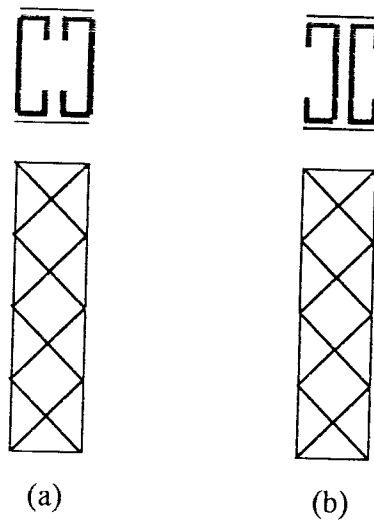
Gambar 4.5 Benda uji kuat tarik baja

- c. Tiga benda uji kuat sambungan las, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Benda uji kuat geser las

- d. Delapan buah sampel kolom tersusun terbuat dari profil *Lips Channel* yang saling berhadapan (*front to front*) dan saling membelakangi (*back to back*). Bentuk-bentuk benda uji kolom tersusun dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Benda uji kolom tersusun

4.3 Pengujian Sampel

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

1. Pengujian awal sampel

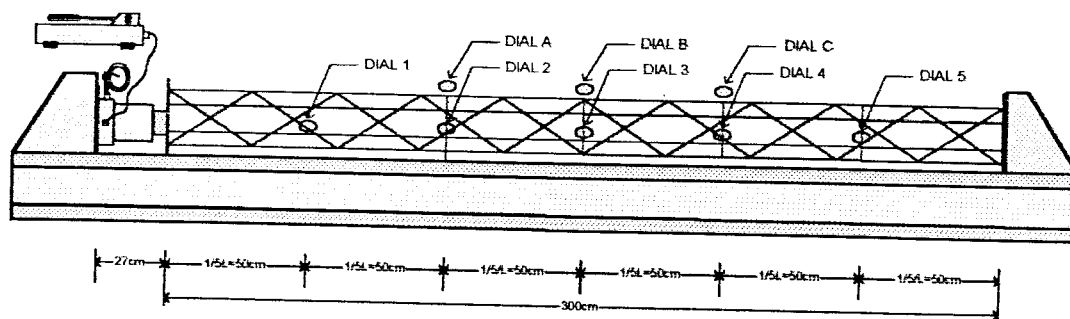
Pada pengujian awal sampel ini ada tiga macam pengujian, yaitu pengujian kuat tarik baja dan pengujian kuat sambungan las baja per sentimeter.

- a. Pengujian kuat tekan baja. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat ditanggung oleh profil baja.
- b. 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 4.5.
- c. 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 4.6.

2. Pengujian sampel

Setelah pengujian awal dilakukan, kemudian sampel kolom tersusun yang telah dibuat diuji kekuatan tekannya. Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan aksial sentris secara bertahap untuk mengetahui kekuatan tekan pada kolom tersusun. Pemasangan

alat ukur diletakkan pada sumbu terlemah dari benda uji tersebut, dimana pada benda uji tersebut sumbu terlemah terletak pada sumbu Y. Pengujian sampel pada penelitian ini dilakukan dengan cara diuji berdiri. Ilustrasi pengujian sampel dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengujian sampel

4.4 Prosedur penelitian

Prosedur dari penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu tahap perumusan masalah, perumusan teori, pelaksanaan penelitian, analisis dan pembahasan serta penarikan kesimpulan. Untuk lebih jelasnya, tahap penelitian ini akan dijabarkan lebih rinci yang kemudian disertai dengan bagan alir. Prosedur penelitiannya sebagai berikut ini (lihat Gambar 4.9).

1. Tahap Perumusan masalah

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan, serta pembahasan masalah.

2. Tahap Perumusan Teori

Pada tahap ini dilakukan pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian ini.

3. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, yang meliputi:

- a. pengumpulan bahan,
- b. pembuatan benda uji, pembuatan benda uji dilakukan di bengkel las,
- c. persiapan peralatan,
- d. pengujian benda uji.

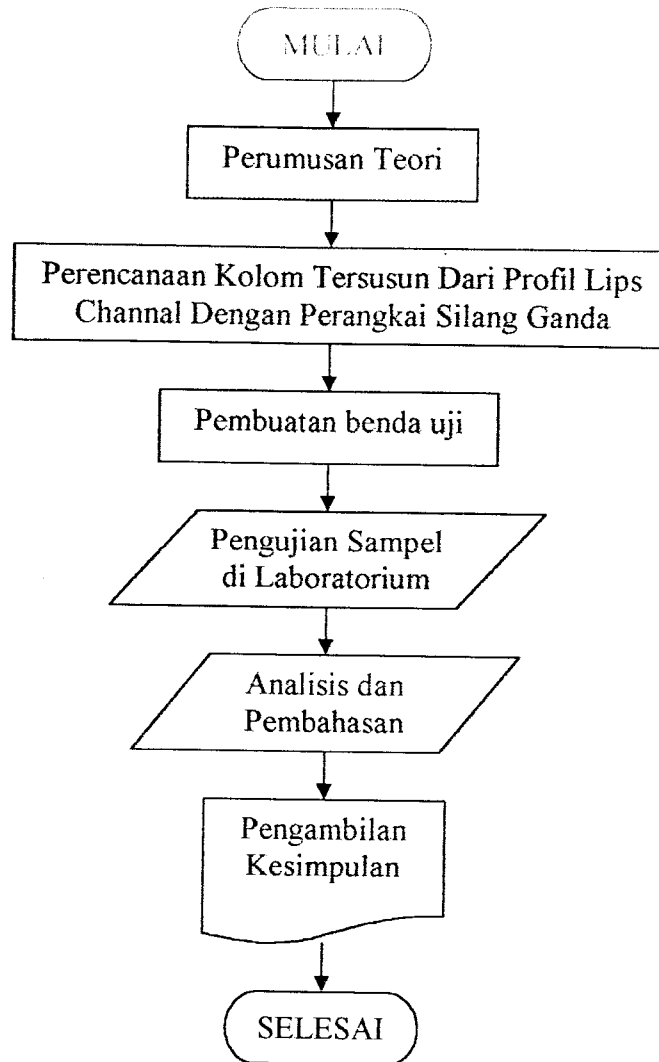
4. Tahap Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan dengan mencatat hasil uji di laboratorium berupa beban dan lendutan yang terjadi, kemudian membandingkan dengan hasil perhitungan analitis.

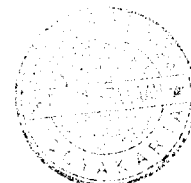
5. Tahap Penarikan kesimpulan

Dari penelitian dapat diambil kesimpulan berdasarkan teori yang digunakan untuk menjawab permasalahan .

4.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.9 Bagan alir prosedur penelitian



BAB V

PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis terhadap hasil pengujian yang meliputi hasil pengujian pendahuluan dan hasil pengujian kolom tersusun bentukan dingin. Selanjutnya hasil uji akan dibahas yang meliputi pembahasan uji pendahuluan dan pembahasan kolom bentukan dingin.

5.1 Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian pendahuluan yang berguna untuk mengetahui kapasitas tekan profil *C* bentukan dingin sebagai elemen yang dipergunakan. Pengujian pendahuluan meliputi uji kuat tarik, uji kuat tekan dan uji sambungan las. Pengujian sampel kolom tersusun untuk mengetahui kapasitas tekan kolom tersusun dengan perangkat silang ganda. Hasil pengujian akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom tersusun dalam menerima beban aksial tekan sentris.

5.1.1 Hasil uji pendahuluan

Hasil uji pendahuluan meliputi dimensi benda uji, beban leleh (P_y) dan beban maksimum atau beban ultimit (P_u). Hasil pengujian digunakan untuk menentukan tegangan leleh (F_y) dan tegangan ultimit (F_u) yang berguna mengetahui perilaku kolom tersusun. Uji pendahuluan meliputi uji tarik profil *Lips Channal* bentukan dingin, uji tekan dan uji sambungan las.

1. Hasil uji tarik profil *Lips Channal* bentukan dingin.

Hasil dari uji tarik profil *Lips Channal* bentukan dingin di laboratorium disajikan dalam bentuk Tabel berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil pengujian tarik baja

| Benda uji | Luas penampang (mm ²) | Beban leleh (kg) | Beban Ultimit (kg) | Beban putus (kg) |
|-----------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Sampel 1 | 24 | 335 | 460 | 155 |
| Sampel 2 | 24 | 362,5 | 480 | 175 |
| Sampel 3 | 24 | 362,5 | 502 | 190 |

2. Hasil uji tekan profil *Lips Channal* bentukan dingin.

Hasil dari uji tekan profil *Lips Channal* bentukan dingin dengan pelat dan tanpa pelat disajikan dalam Tabel berikut ini.

Tabel 5.2.a Hasil uji kuat tekan profil *Lips Channal* dengan pelat

| Benda uji | $\lambda_f = L_f/r_f$ | Luas penampang (mm ²) | Beban maksimum (kg) |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Sampel 1 | 25,66 | 155,8 | 1385 |
| Sampel 2 | 34,22 | 155,8 | 1205 |
| Sampel 3 | 42,77 | 155,8 | 1385 |
| Sampel 4 | 51,33 | 155,8 | 1190 |

Tabel 5.2.b Hasil uji kuat tekan profil *Lips Channal* tanpa pelat

| Benda uji | $\lambda_1 = L_1/r_1$ | Luas penampang (mm ²) | Beban maksimum (kg) |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Sampel 1 | 25,66 | 155,8 | 1385 |
| Sampel 2 | 34,22 | 155,8 | 1355 |
| Sampel 3 | 42,77 | 155,8 | 1255 |
| Sampel 4 | 51,33 | 155,8 | 1360 |

3. Hasil uji sambungan las.

Kekuatan las diuji dengan menggunakan tiga benda uji. Ketiga benda uji mempunyai panjang las 1cm. Benda uji pertama mempunyai beban maksimum 2345 kg, benda uji kedua mempunyai beban maksimum 3280 kg dan benda uji ketiga mempunyai beban maksimum 2720 kg.

5.1.2 Hasil pengujian kolom tersusun bentukan dingin

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

Pengukuran lendutan yang terjadi pada kolom dilakukan pada delapan titik yang masing-masing titik berjarak 50 cm. Dial pertama (Dial 1) diletakkan pada jarak 50 cm dari tepi yang langsung menerima beban (ujung yang terdapat dongkrak), dial kedua (Dial 2) diletakkan pada jarak 100 cm dari tepi yang langsung menerima beban, dial ketiga (Dial 3) diletakkan ditengah kolom. Dial keempat (Dial 4) diletakkan pada jarak 100 cm dari tepi yang tidak menerima beban (pelat dasar dukungan) dan dial kelima (Dial 5) diletakkan pada jarak 50

cm dari tepi yang tidak menerima beban. Dial A, dial B dan dial C diletakkan pada profil *Lips Channel* dengan jarak antar dial 50 cm. Dial A diletak pada jarak 100 cm dari tepi yang langsung menerima beban, dial B diletakkan pada tengah-tengah kolom dan dial C diletakkan pada jarak 100 cm dari tepi yang tidak menerima beban. Semua sampel diuji dengan posisi tidur.

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk Tabel dan grafik hubungan beban lendutan, yaitu :

1. Kolom tersusun silang ganda yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*).

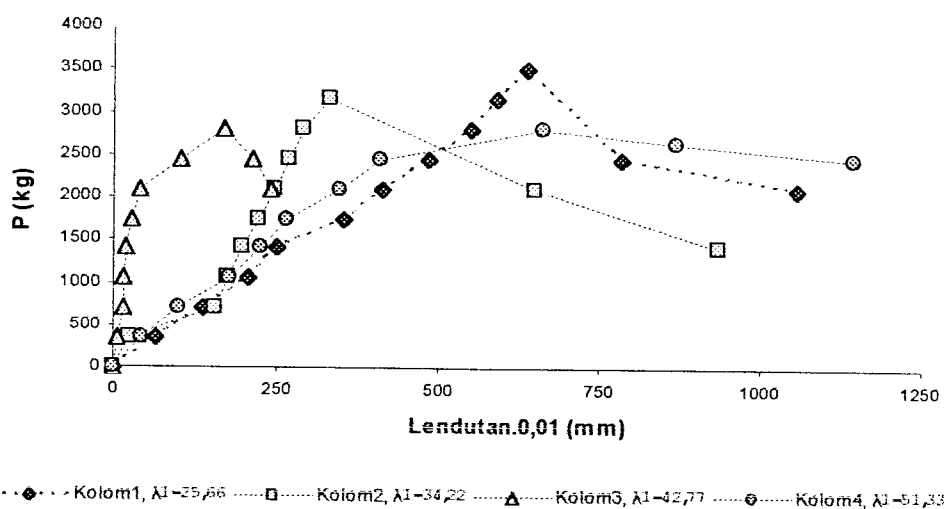
Hasil dari pengujian tekan kolom tersusun yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) disajikan dalam Tabel 5.3 sampai dengan Tabel 5.10. Kemudian dari data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik yang seperti pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.8.

- a. Hasil pengujian pada dial 1 disajikan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial 1

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 1 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom2, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom3, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom4, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 66 | 350 | 26 | 350 | 7 | 350 | 44 |
| 700 | 139 | 700 | 155 | 700 | 16 | 700 | 101 |
| 1050 | 205 | 1050 | 174 | 1050 | 16 | 1050 | 178 |
| 1400 | 251 | 1400 | 198 | 1400 | 19 | 1400 | 224 |
| 1750 | 352 | 1750 | 221 | 1750 | 28 | 1750 | 266 |
| 2100 | 413 | 2100 | 248 | 2100 | 42 | 2100 | 348 |
| 2450 | 483 | 2450 | 268 | 2450 | 102 | 2450 | 410 |
| 2800 | 552 | 2800 | 292 | 2800 | 169 | 2800 | 663 |
| 3150 | 590 | 3150 | 330 | 2450 | 212 | 2625 | 868 |
| 3500 | 639 | 2100 | 650 | 2100 | 241 | 2450 | 1145 |
| 2450 | 783 | 1400 | 933 | | | | |
| 2100 | 1056 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.3 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.1.



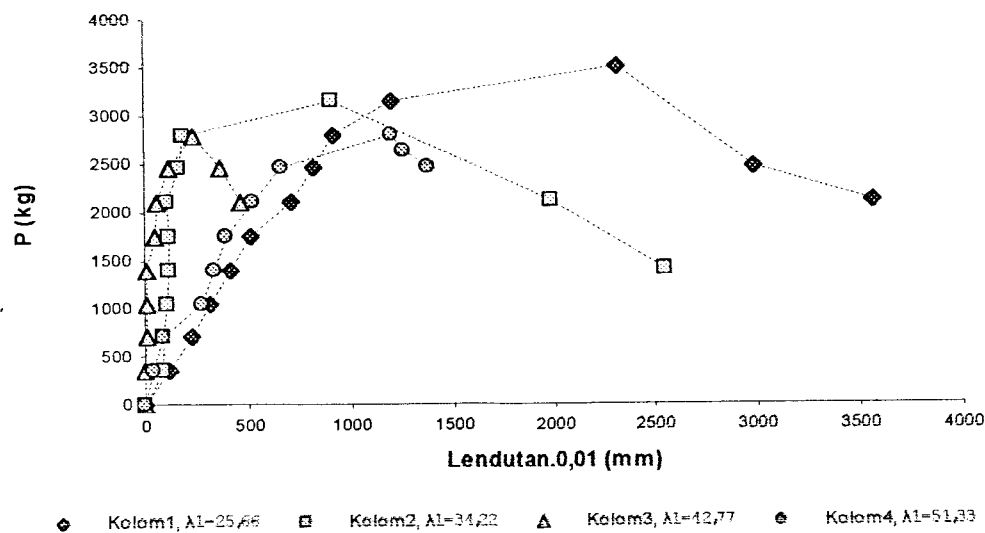
Gambar 5.1 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial 1

b. Hasil pengujian pada dial 2 disajikan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial 2

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 2 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $A_1=25,66$ | | Kolom2, $A_1=34,22$ | | Kolom3, $A_1=42,77$ | | Kolom4, $A_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 120 | 350 | 86 | 350 | 0 | 350 | 36 |
| 700 | 222 | 700 | 90 | 700 | 11 | 700 | 87 |
| 1050 | 319 | 1050 | 112 | 1050 | 12 | 1050 | 275 |
| 1400 | 411 | 1400 | 114 | 1400 | 14 | 1400 | 334 |
| 1750 | 512 | 1750 | 116 | 1750 | 48 | 1750 | 398 |
| 2100 | 707 | 2100 | 105 | 2100 | 60 | 2100 | 516 |
| 2450 | 815 | 2450 | 170 | 2450 | 121 | 2450 | 659 |
| 2800 | 912 | 2800 | 187 | 2800 | 239 | 2800 | 1198 |
| 3150 | 1202 | 3150 | 904 | 2450 | 366 | 2625 | 1256 |
| 3500 | 2305 | 2100 | 1985 | 2100 | 464 | 2450 | 1375 |
| 2450 | 2981 | 1400 | 2544 | | | | |
| 2100 | 3558 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.4 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.2.



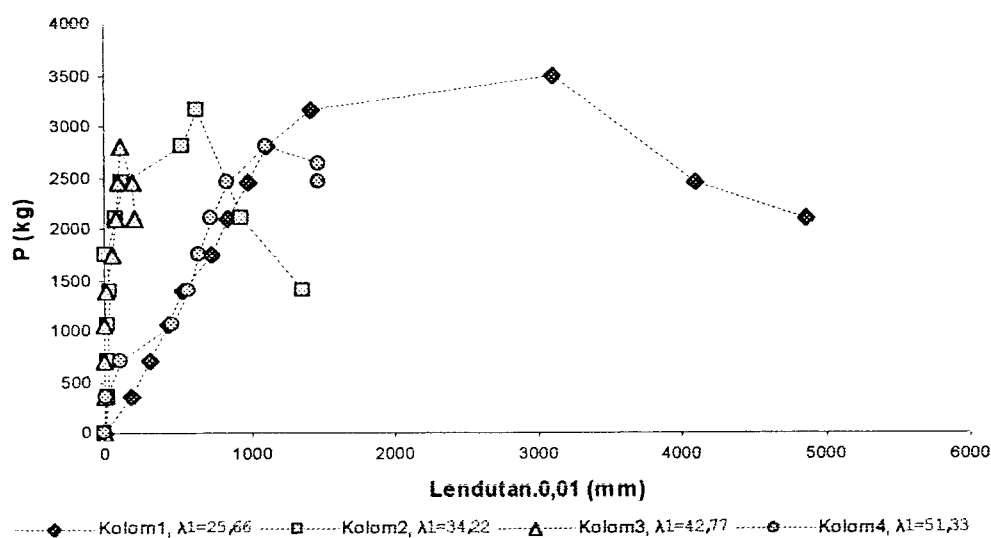
Gambar 5.2 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial 2

c. Hasil pengujian pada dial 3 disajikan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial 3

| BEBAN & LENDUTAN <i>FRONT TO FRONT</i> PADA DIAL 3 | | | | | | | |
|--|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom2, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom3, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom4, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 180 | 350 | 26 | 350 | 0 | 350 | 13 |
| 700 | 314 | 700 | 27 | 700 | 0 | 700 | 110 |
| 1050 | 432 | 1050 | 31 | 1050 | 0 | 1050 | 457 |
| 1400 | 538 | 1400 | 37 | 1400 | 14 | 1400 | 569 |
| 1750 | 731 | 1750 | 15 | 1750 | 62 | 1750 | 637 |
| 2100 | 844 | 2100 | 82 | 2100 | 84 | 2100 | 734 |
| 2450 | 974 | 2450 | 123 | 2450 | 104 | 2450 | 845 |
| 2800 | 1106 | 2800 | 538 | 2800 | 112 | 2800 | 1107 |
| 3150 | 1419 | 3150 | 629 | 2450 | 189 | 2625 | 1465 |
| 3500 | 3100 | 2100 | 935 | 2100 | 203 | 2450 | 1472 |
| 2450 | 4094 | 1400 | 1355 | | | | |
| 2100 | 4872 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.5 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial 3

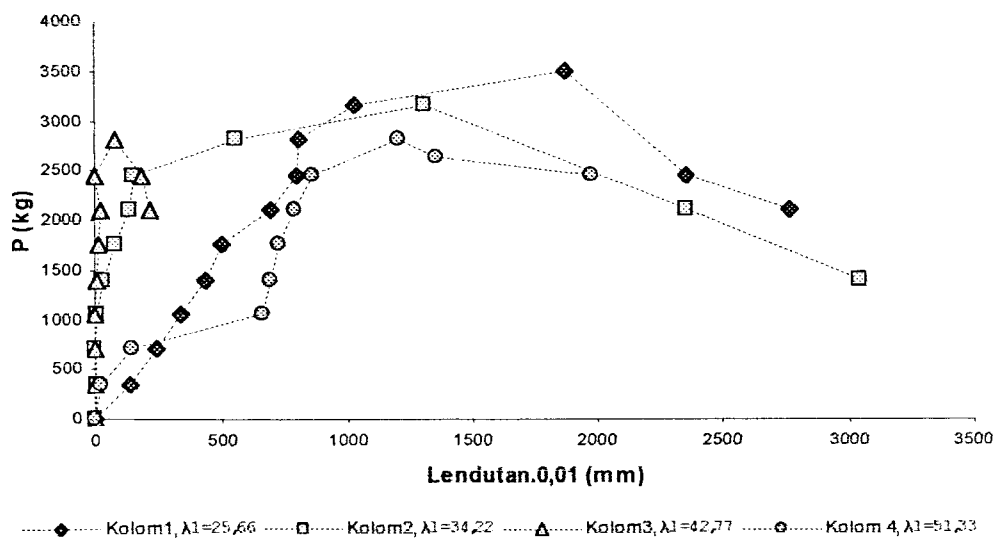
d. Hasil pengujian pada dial 4 disajikan dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda

Front to Front pada dial 4

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 4 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $\lambda_r=25,66$ | | Kolom2, $\lambda_r=34,22$ | | Kolom3, $\lambda_r=42,77$ | | Kolom 4, $\lambda_r=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 135 | 350 | 12 | 350 | 0 | 350 | 25 |
| 700 | 241 | 700 | 0 | 700 | 0 | 700 | 147 |
| 1050 | 337 | 1050 | 12 | 1050 | 1 | 1050 | 657 |
| 1400 | 430 | 1400 | 31 | 1400 | 6 | 1400 | 691 |
| 1750 | 501 | 1750 | 78 | 1750 | 18 | 1750 | 722 |
| 2100 | 693 | 2100 | 139 | 2100 | 26 | 2100 | 783 |
| 2450 | 796 | 2450 | 149 | 2450 | 2 | 2450 | 857 |
| 2800 | 801 | 2800 | 557 | 2800 | 83 | 2800 | 1205 |
| 3150 | 1028 | 3150 | 1311 | 2450 | 182 | 2625 | 1359 |
| 3500 | 1868 | 2100 | 2350 | 2100 | 218 | 2450 | 1972 |
| 2450 | 2350 | 1400 | 3040 | | | | |
| 2100 | 2759 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.6 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda

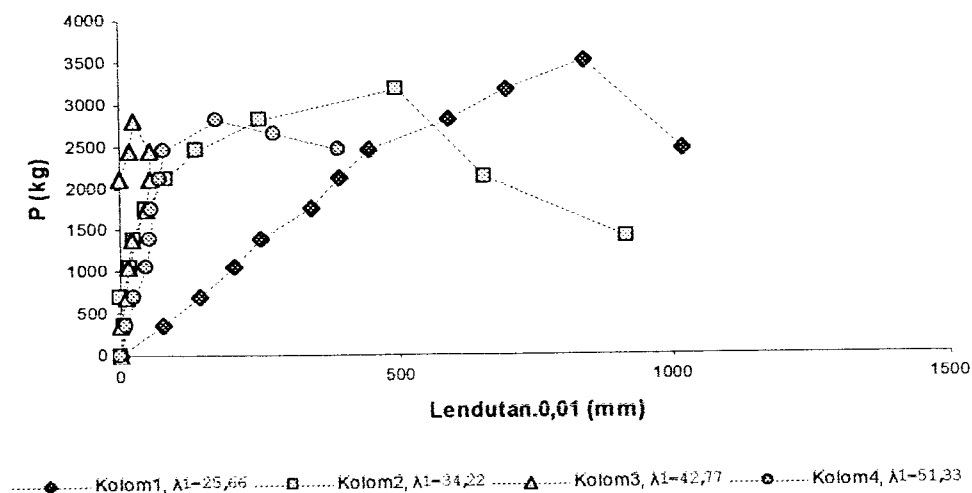
Front to Front pada dial 4

e. Hasil pengujian pada dial 5 disajikan dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 5

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 5 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom2, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom3, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom4, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 78 | 350 | 6 | 350 | 0 | 350 | 12 |
| 700 | 140 | 700 | 0 | 700 | 10 | 700 | 27 |
| 1050 | 204 | 1050 | 17 | 1050 | 13 | 1050 | 48 |
| 1400 | 250 | 1400 | 27 | 1400 | 20 | 1400 | 54 |
| 1750 | 343 | 1750 | 49 | 1750 | 46 | 1750 | 59 |
| 2100 | 394 | 2100 | 84 | 2100 | 55 | 2100 | 71 |
| 2450 | 448 | 2450 | 138 | 2450 | 56 | 2450 | 80 |
| 2800 | 591 | 2800 | 252 | 2800 | 25 | 2800 | 173 |
| 3150 | 699 | 3150 | 499 | 2450 | 19 | 2625 | 277 |
| 3500 | 838 | 2100 | 657 | 2100 | 1 | 2450 | 393 |
| 2450 | 1017 | 1400 | 916 | | | | |
| 2100 | 1159 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.7 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.5.



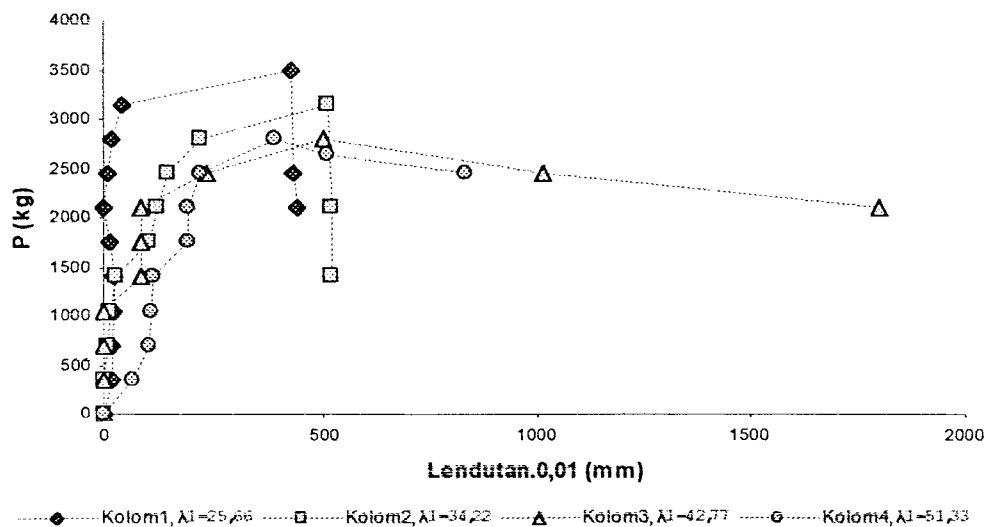
Gambar 5.5 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 5

f. Hasil pengujian pada dial A disajikan dalam Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial A

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL A | | | | | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| Kolom 1, $\lambda_r=25,66$ | | Kolom 2, $\lambda_r=34,22$ | | Kolom 3, $\lambda_r=42,77$ | | Kolom 4, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 21 | 350 | 2 | 350 | 0 | 350 | 65 |
| 700 | 21 | 700 | 10 | 700 | 0 | 700 | 103 |
| 1050 | 22 | 1050 | 15 | 1050 | 0 | 1050 | 107 |
| 1400 | 22 | 1400 | 29 | 1400 | 85 | 1400 | 112 |
| 1750 | 12 | 1750 | 105 | 1750 | 84 | 1750 | 190 |
| 2100 | 1 | 2100 | 120 | 2100 | 85 | 2100 | 193 |
| 2450 | 9 | 2450 | 145 | 2450 | 232 | 2450 | 219 |
| 2800 | 18 | 2800 | 220 | 2800 | 503 | 2800 | 389 |
| 3150 | 40 | 3150 | 510 | 2450 | 1015 | 2625 | 512 |
| 3500 | 425 | 2100 | 518 | 2100 | 1800 | 2450 | 836 |
| 2450 | 432 | 1400 | 518 | | | | |
| 2100 | 439 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.8 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.6.



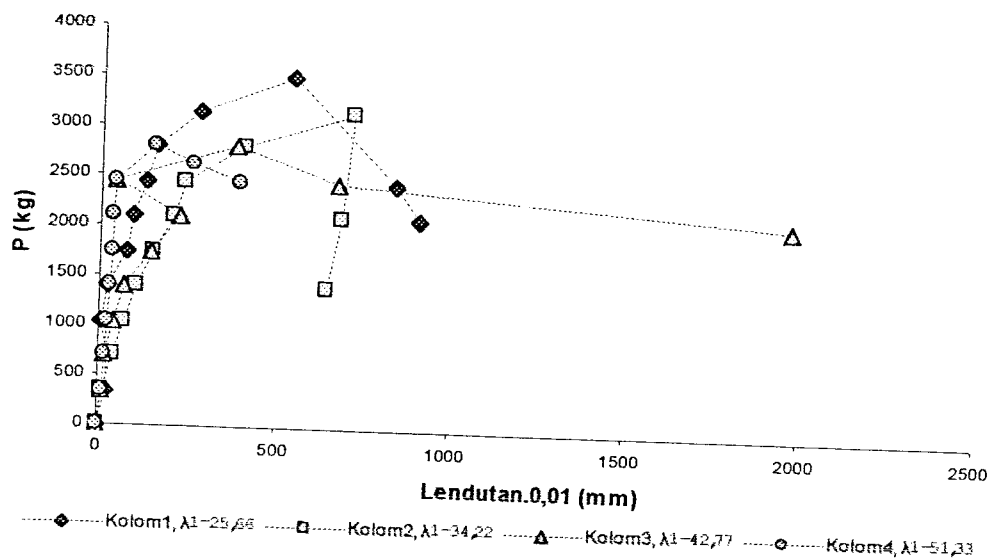
Gambar 5.6 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial A

g. Hasil pengujian pada dial B disajikan dalam Tabel 5.9

Tabel 5.9 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial B

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL B | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Kolom1, $A_r=25,66$ | | Kolom2, $A_r=34,22$ | | Kolom3, $A_r=42,77$ | | Kolom4, $A_r=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 21 | 350 | 12 | 350 | 10 | 350 | 10 |
| 700 | 25 | 700 | 40 | 700 | 16 | 700 | 17 |
| 1050 | 3 | 1050 | 72 | 1050 | 40 | 1050 | 24 |
| 1400 | 24 | 1400 | 105 | 1400 | 70 | 1400 | 30 |
| 1750 | 75 | 1750 | 153 | 1750 | 142 | 1750 | 34 |
| 2100 | 95 | 2100 | 210 | 2100 | 224 | 2100 | 32 |
| 2450 | 126 | 2450 | 235 | 2450 | 40 | 2450 | 42 |
| 2800 | 157 | 2800 | 402 | 2800 | 380 | 2800 | 152 |
| 3150 | 278 | 3150 | 710 | 2450 | 670 | 2625 | 260 |
| 3500 | 536 | 2100 | 683 | 2100 | 1975 | 2450 | 395 |
| 2450 | 835 | 1400 | 643 | | | | |
| 2100 | 907 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.9 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.7.



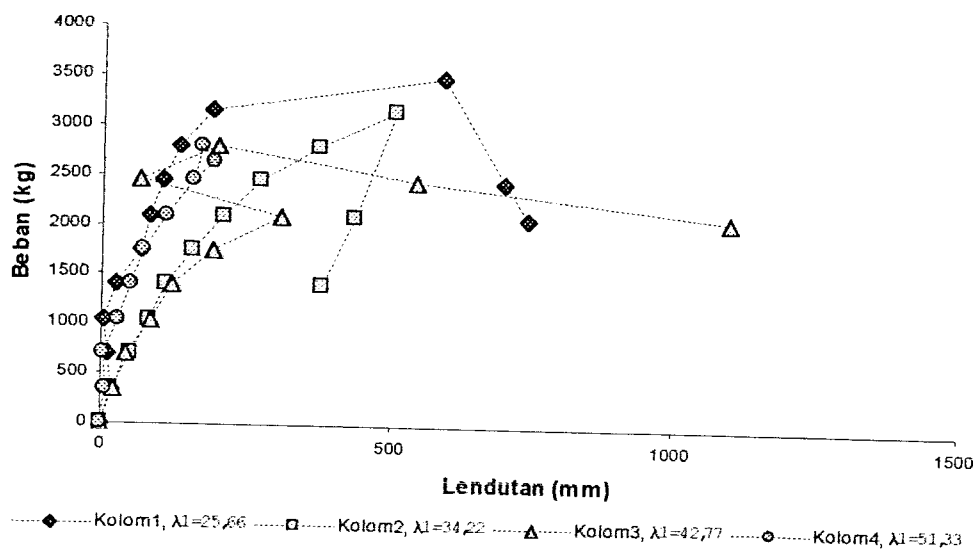
Gambar 5.7 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda
Front to Front pada dial B

h. Hasil pengujian pada dial C disajikan dalam Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial C

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL C | | | | | | | |
|---|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| Kolom1, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom2, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom3, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom4, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 18 | 350 | 16 | 350 | 22 | 350 | 8 |
| 700 | 12 | 700 | 49 | 700 | 43 | 700 | 2 |
| 1050 | 5 | 1050 | 82 | 1050 | 85 | 1050 | 28 |
| 1400 | 25 | 1400 | 110 | 1400 | 119 | 1400 | 51 |
| 1750 | 66 | 1750 | 155 | 1750 | 190 | 1750 | 70 |
| 2100 | 81 | 2100 | 207 | 2100 | 308 | 2100 | 110 |
| 2450 | 102 | 2450 | 270 | 2450 | 65 | 2450 | 155 |
| 2800 | 130 | 2800 | 370 | 2800 | 198 | 2800 | 170 |
| 3150 | 186 | 3150 | 503 | 2450 | 545 | 2625 | 192 |
| 3500 | 590 | 2100 | 433 | 2100 | 1098 | 2450 | 155 |
| 2450 | 700 | 1400 | 376 | | | | |
| 2100 | 740 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.10 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial C

2. Kolom tersusun silang ganda yang dirancang saling membelakangi (*back to back*).

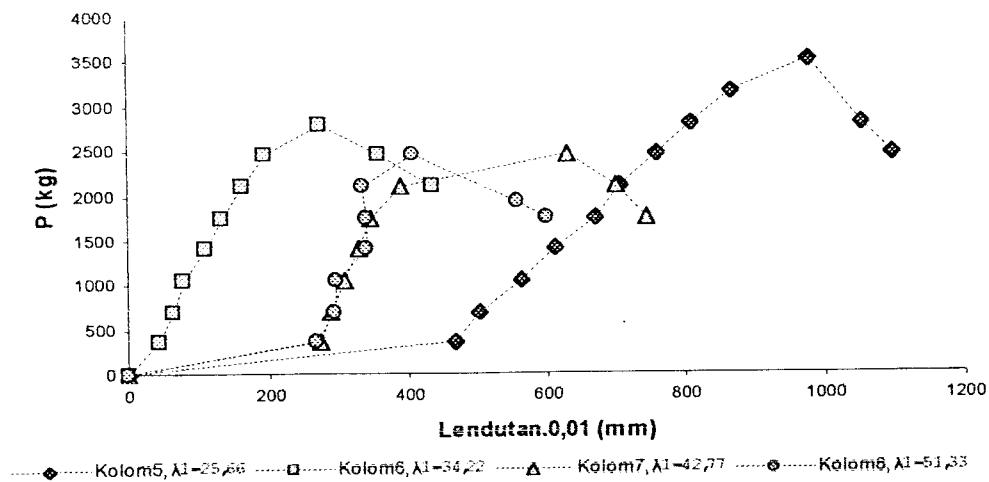
Hasil dari pengujian tekan kolom tersusun yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) disajikan dalam Tabel 5.11 sampai dengan Tabel 5.18. Kemudian dari data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik yang seperti pada Gambar 5.9 sampai dengan Gambar 5.16.

- a. Hasil pengujian pada dial 1 disajikan dalam Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 1

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 1 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom5, $A_r=25,66$ | | Kolom6, $A_r=34,22$ | | Kolom7, $A_r=42,77$ | | Kolom8, $A_r=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 467 | 350 | 43 | 350 | 274 | 350 | 268 |
| 700 | 503 | 700 | 64 | 700 | 289 | 700 | 294 |
| 1050 | 564 | 1050 | 79 | 1050 | 307 | 1050 | 295 |
| 1400 | 613 | 1400 | 109 | 1400 | 328 | 1400 | 340 |
| 1750 | 671 | 1750 | 134 | 1750 | 346 | 1750 | 341 |
| 2100 | 706 | 2100 | 164 | 2100 | 389 | 2100 | 335 |
| 2450 | 757 | 2450 | 196 | 2450 | 631 | 2450 | 408 |
| 2800 | 808 | 2800 | 272 | 2100 | 700 | 1925 | 558 |
| 3150 | 866 | 2450 | 356 | 1750 | 745 | 1750 | 600 |
| 3500 | 975 | 2100 | 437 | | | | |
| 2800 | 1053 | | | | | | |
| 2450 | 1096 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.11 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.9.



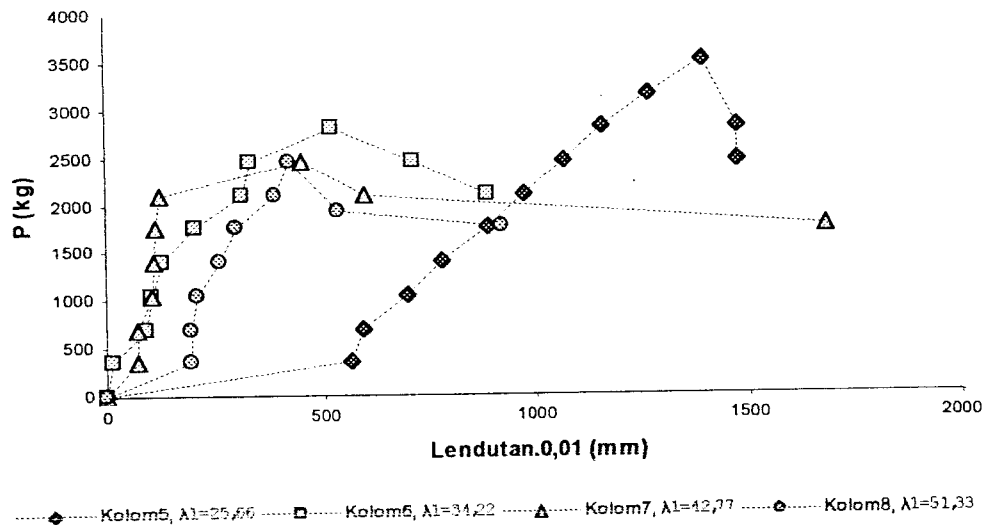
Gambar 5.9 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 1

b. Hasil pengujian pada dial 2 disajikan dalam Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 2

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 2 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom5, $A_1=25,66$ | | Kolom6, $A_1=34,22$ | | Kolom7, $A_1=42,77$ | | Kolom8, $A_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 566 | 350 | 15 | 350 | 71 | 350 | 194 |
| 700 | 591 | 700 | 89 | 700 | 71 | 700 | 195 |
| 1050 | 698 | 1050 | 103 | 1050 | 103 | 1050 | 208 |
| 1400 | 778 | 1400 | 127 | 1400 | 108 | 1400 | 261 |
| 1750 | 886 | 1750 | 205 | 1750 | 112 | 1750 | 300 |
| 2100 | 971 | 2100 | 311 | 2100 | 123 | 2100 | 389 |
| 2450 | 1066 | 2450 | 331 | 2450 | 450 | 2450 | 420 |
| 2800 | 1157 | 2800 | 521 | 2100 | 596 | 1925 | 536 |
| 3150 | 1266 | 2450 | 711 | 1750 | 1683 | 1750 | 921 |
| 3500 | 1391 | 2100 | 885 | | | | |
| 2800 | 1475 | | | | | | |
| 2450 | 1476 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.12 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.10.



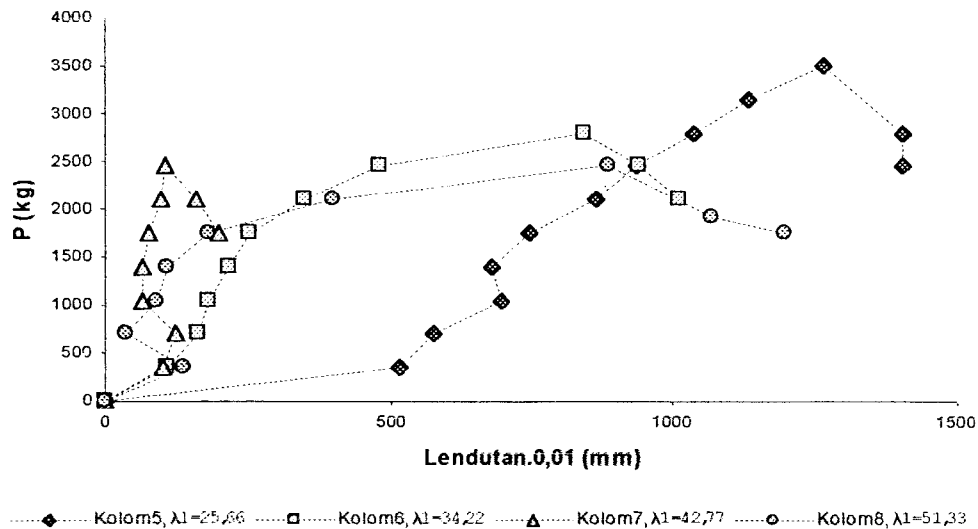
Gambar 5.10 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 2

c. Hasil pengujian pada dial 3 disajikan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 3

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 3 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom5, $A_1=25,66$ | | Kolom6, $A_1=34,22$ | | Kolom7, $A_1=42,77$ | | Kolom8, $A_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 515 | 350 | 106 | 350 | 101 | 350 | 135 |
| 700 | 574 | 700 | 160 | 700 | 121 | 700 | 36 |
| 1050 | 698 | 1050 | 177 | 1050 | 63 | 1050 | 91 |
| 1400 | 678 | 1400 | 213 | 1400 | 64 | 1400 | 106 |
| 1750 | 746 | 1750 | 250 | 1750 | 76 | 1750 | 177 |
| 2100 | 866 | 2100 | 345 | 2100 | 98 | 2100 | 396 |
| 2450 | 935 | 2450 | 478 | 2450 | 104 | 2450 | 885 |
| 2800 | 1034 | 2800 | 843 | 2100 | 157 | 1925 | 1068 |
| 3150 | 1131 | 2450 | 940 | 1750 | 195 | 1750 | 1198 |
| 3500 | 1264 | 2100 | 1011 | | | | |
| 2800 | 1402 | | | | | | |
| 2450 | 1405 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.13 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.11.



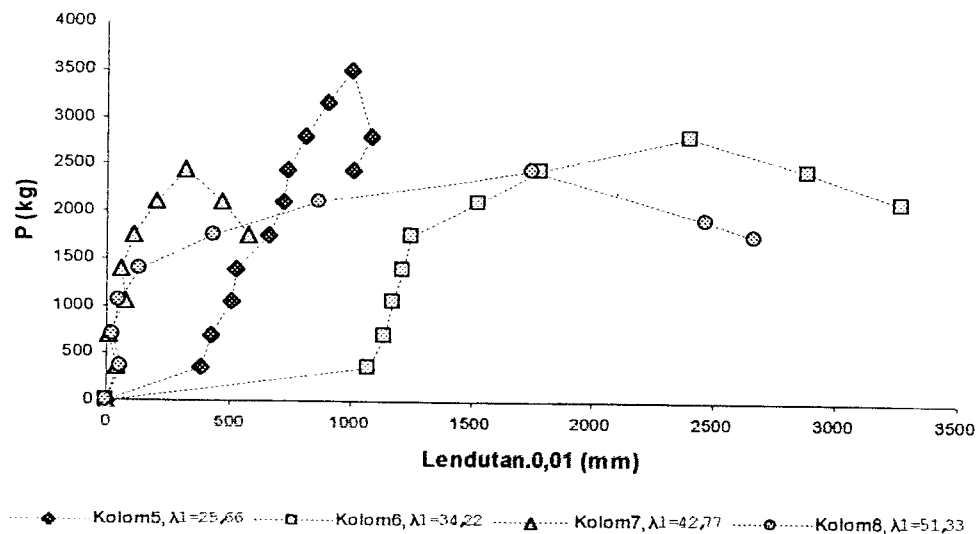
Gambar 5.11 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 3

d. Hasil pengujian pada dial 4 disajikan dalam Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 4

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 4 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom5, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom6, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom7, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom8, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 385 | 350 | 1075 | 350 | 41 | 350 | 55 |
| 700 | 429 | 700 | 1143 | 700 | 5 | 700 | 25 |
| 1050 | 506 | 1050 | 1171 | 1050 | 76 | 1050 | 53 |
| 1400 | 523 | 1400 | 1214 | 1400 | 60 | 1400 | 133 |
| 1750 | 657 | 1750 | 1247 | 1750 | 109 | 1750 | 432 |
| 2100 | 714 | 2100 | 1527 | 2100 | 198 | 2100 | 865 |
| 2450 | 736 | 2450 | 1787 | 2450 | 318 | 2450 | 1749 |
| 2800 | 811 | 2800 | 2404 | 2100 | 463 | 1925 | 2467 |
| 3150 | 896 | 2450 | 2886 | 1750 | 578 | 1750 | 2667 |
| 3500 | 1004 | 2100 | 3270 | | | | |
| 2800 | 1080 | | | | | | |
| 2450 | 1007 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.14 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.12.



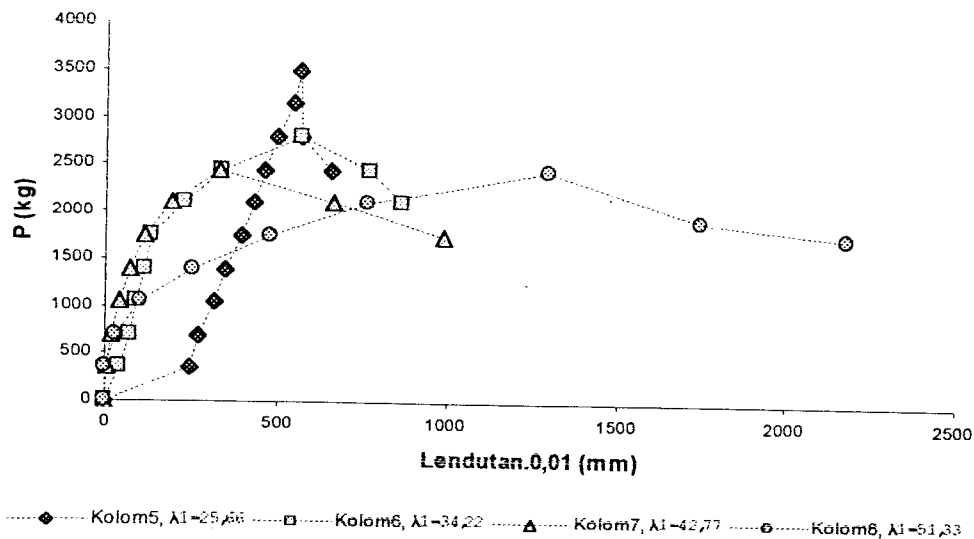
Gambar 5.12 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 4

e. Hasil pengujian pada dial 5 disajikan dalam Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 5

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 5 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom5, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom6, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom7, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom8, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 245 | 350 | 39 | 350 | 7 | 350 | 1 |
| 700 | 269 | 700 | 74 | 700 | 20 | 700 | 31 |
| 1050 | 312 | 1050 | 89 | 1050 | 41 | 1050 | 102 |
| 1400 | 342 | 1400 | 110 | 1400 | 73 | 1400 | 248 |
| 1750 | 394 | 1750 | 133 | 1750 | 114 | 1750 | 473 |
| 2100 | 426 | 2100 | 225 | 2100 | 190 | 2100 | 761 |
| 2450 | 458 | 2450 | 332 | 2450 | 328 | 2450 | 1295 |
| 2800 | 495 | 2800 | 567 | 2100 | 657 | 1925 | 1745 |
| 3150 | 538 | 2450 | 766 | 1750 | 986 | 1750 | 2180 |
| 3500 | 559 | 2100 | 863 | | | | |
| 2800 | 562 | | | | | | |
| 2450 | 656 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.15 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.13.



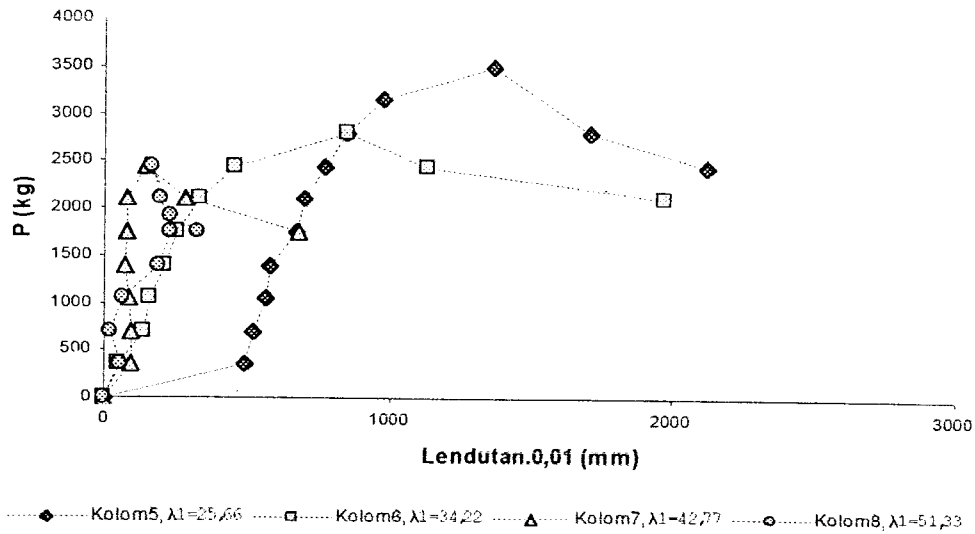
Gambar 5.13 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 5

f. Hasil pengujian pada dial 5 disajikan dalam Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial A

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL A | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom5, $A_1=25,66$ | | Kolom6, $A_1=34,22$ | | Kolom7, $A_1=42,77$ | | Kolom8, $A_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 542 | 350 | 37 | 350 | 147 | 350 | 80 |
| 700 | 547 | 700 | 97 | 700 | 147 | 700 | 99 |
| 1050 | 570 | 1050 | 122 | 1050 | 147 | 1050 | 56 |
| 1400 | 586 | 1400 | 160 | 1400 | 142 | 1400 | 21 |
| 1750 | 580 | 1750 | 191 | 1750 | 143 | 1750 | 34 |
| 2100 | 693 | 2100 | 230 | 2100 | 157 | 2100 | 64 |
| 2450 | 788 | 2450 | 274 | 2450 | 166 | 2450 | 136 |
| 2800 | 885 | 2800 | 487 | 2100 | 138 | 1925 | 97 |
| 3150 | 1050 | 2450 | 1180 | 1750 | 542 | 1750 | 36 |
| 3500 | 1510 | 2100 | 1917 | | | | |
| 2800 | 1860 | | | | | | |
| 2450 | 2710 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.17 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.15.



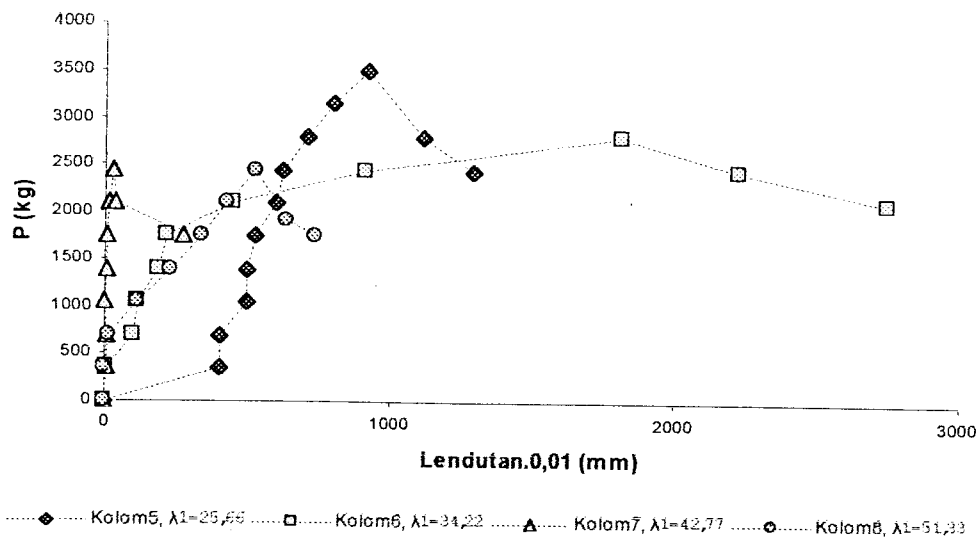
Gambar 5.15 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial B

h. Hasil pengujian pada dial C disajikan dalam Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial C

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL C | | | | | | | |
|---|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| Kolom5, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom6, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom7, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom8, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 397 | 350 | 9 | 350 | 9 | 350 | 2 |
| 700 | 400 | 700 | 103 | 700 | 8 | 700 | 12 |
| 1050 | 490 | 1050 | 113 | 1050 | 3 | 1050 | 112 |
| 1400 | 491 | 1400 | 182 | 1400 | 4 | 1400 | 230 |
| 1750 | 520 | 1750 | 214 | 1750 | 9 | 1750 | 338 |
| 2100 | 591 | 2100 | 443 | 2100 | 17 | 2100 | 419 |
| 2450 | 613 | 2450 | 908 | 2450 | 32 | 2450 | 517 |
| 2800 | 695 | 2800 | 1809 | 2100 | 39 | 1925 | 627 |
| 3150 | 790 | 2450 | 2222 | 1750 | 274 | 1750 | 725 |
| 3500 | 914 | 2100 | 2740 | | | | |
| 2800 | 1110 | | | | | | |
| 2450 | 1290 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.18 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial C

5.2 Pembahasan

Hasil pengujian pendahuluan dan hasil pengujian sampel kolom tersusun akan dibahas untuk mengetahui kapasitas profil *Lips Channel* bentukan dingin dan kapasitas kolom tersusun. Pembahasan ini akan meliputi pembahasan uji pendahuluan dan pembahasan kolom bentukan dingin.

5.2.1 Pembahasan uji pendahuluan

Data yang diperoleh dari uji pendahuluan berguna untuk mendapatkan properti dari profil 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 ($F_u = P_u/A$). Tegangan kritis (F_{cr}) diperoleh dengan membagi beban maksimum dengan luas penampang ($F_{cr} = P_{cr}/A$). Kekuatan las didapatkan dengan membagi beban maksimum dengan luas efektif las, sehingga tegangan las diketahui dengan cara tersebut.

1. Hasil pengujian tarik .

Hasil perhitungan pada pengujian tarik baja disajikan dalam Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Hasil perhitungan benda uji tarik

| Benda uji | Tegangan leleh (F_y) (MPa) | Tegangan Ultimit (F_u) (MPa) | Tegangan putus (MPa) |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Sampel 1 | 139,6 | 191,7 | 63,36 |
| Sampel 2 | 151 | 200 | 71,53 |
| Sampel 3 | 151 | 209,2 | 77,66 |
| Rata-rata | 147,2 | 200,3 | 70,85 |

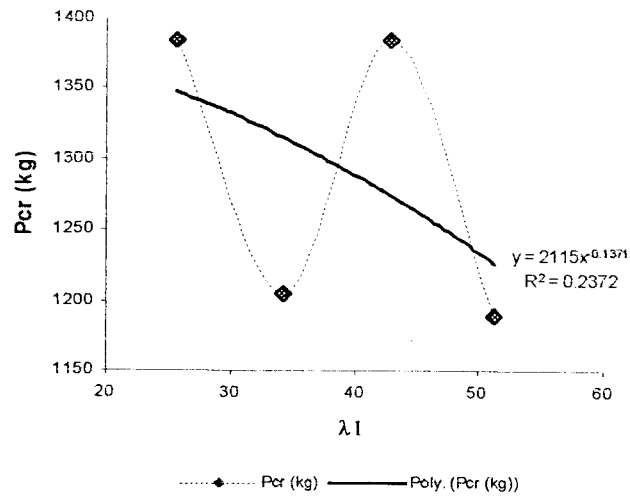
2. Hasil pengujian tekan.

Hasil perhitungan pada pengujian tekan profil *Lips Channal* dengan pelat dan tanpa pelat disajikan dalam Tabel 5.20.

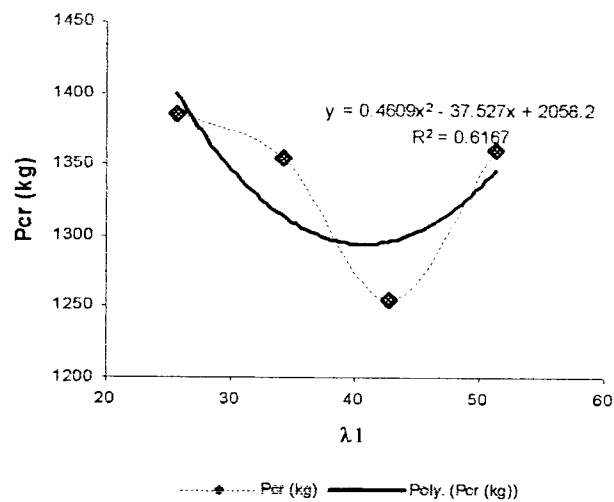
Tabel 5.20 Kuat tekan profil *Lips Channal*

| No | Profil dengan pelat dasar | | | | Profil tanpa pelat | | |
|----|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-----------------|
| | L_1/r_1 | P_{cr} (kg) | P_{cr} reg (kg) | F_{cr} Mpa | P_{cr} (kg) | P_{cr} reg (kg) | F_{cr} Mpa |
| 1 | 25.660 | 1385.000 | 1355.506 | 85.350 | 1385.000 | 1398.730 | 88.072 |
| 2 | 34.220 | 1205.000 | 1303.049 | 82.047 | 1355.000 | 1313.744 | 82.720 |
| 3 | 42.770 | 1385.000 | 1263.808 | 79.576 | 1255.000 | 1296.282 | 81.621 |
| 4 | 51.330 | 1190.000 | 1232.590 | 77.610 | 1360.000 | 1346.304 | 84.770 |

Dari Tabel 5.20 dapat dibuat grafik hubungan L_1/r_1 dengan F_{cr} seperti yang terlihat pada Gambar 5.17.a dan Gambar 5.17.b.



Gambar 5.17.a Grafik hubungan λ_1 dan F_{cr} untuk benda uji profil *Lips Channal* dengan pelat



Gambar 5.17.b Grafik hubungan λ_1 dan F_{cr} untuk benda uji profil *Lips Channal* tanpa pelat

3. Hasil pengujian sambungan las

Kekuatan las diuji dengan menggunakan 3 benda uji. Benda uji pertama memiliki panjang las 1cm dan beban maksimum 2345 kg, sehingga kekuatan las 2345 kg/cm. Benda uji kedua memiliki panjang las 1cm dan

beban maksimum 3280 kg, sehingga kekuatan las 3280 kg/cm. Benda uji ketiga mempunyai panjang las 1cm dan beban maksimum 2720 kg, sehingga kekuatan las 2720 kg/cm. Sehingga rerata kekuatan las adalah 2781,67 kg/cm. Tebal pelat benda uji adalah 3 mm, dengan proses SMAW diketahui tebal efektif (t_e) adalah 2,121 mm ($t_e=0,707.\alpha$).

5.2.2 Pembahasan kolom bentukan dingin

Pembahasan kolom bentukan dingin meliputi hubungan beban dan lendutan hasil penelitian, hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ), beban kritis hasil pengujian (P_{cr}), tegangan kritis hasil pengujian (F_{cr}), perhitungan koefisien tekuk pelat (k), hitungan tegangan kritis teoritis dengan metode *Bleich* dan AISC dan perbandingan hitungan tegangan teoritis dengan hasil pengujian.

5.2.2.1 Beban dan lendutan

Dari hasil pengujian tekan terhadap kolom tersusun silang ganda diperoleh hasil yang kurang realistis, karena data dimulai dari nilai 0. Hal tersebut dianggap tidak realistis karena pada saat alat diset beban sudah berjalan dan kolom sudah mengalami lendutan. Oleh karena itu data pengujian yang digunakan dimulai dari beban (P) = 350 kg. Hasil pengujian yang telah direvisi disajikan dalam bentuk Tabel dan grafik hubungan beban lendutan berikut ini.

1. Kolom tersusun silang ganda yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*).

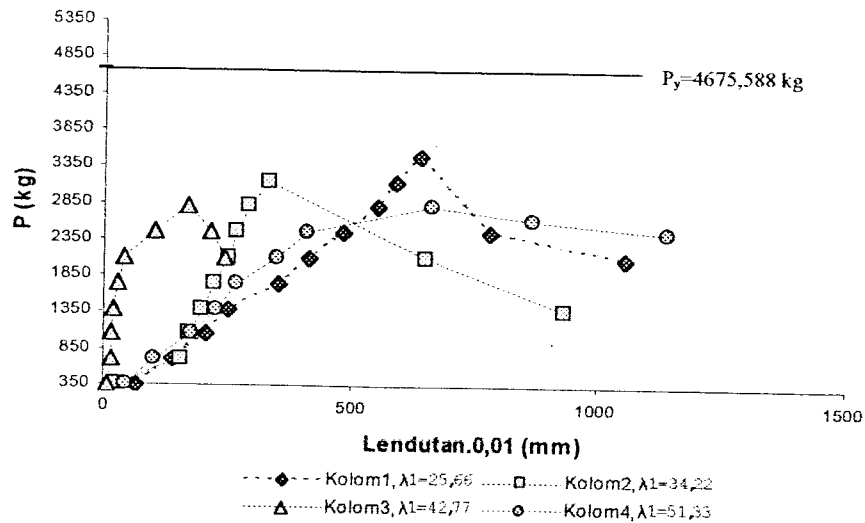
Data hasil pengujian tekan kolom tersusun yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.21 sampai dengan Tabel 5.28, kemudian data hasil pengujian yang telah direvisi ditampilkan dalam bentuk grafik yang seperti pada Gambar 5.18 sampai dengan Gambar 5.25.

- a. Data hasil pengujian pada dial 1 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 1 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 1 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $A_r=25,66$ | | Kolom2, $A_r=34,22$ | | Kolom3, $A_r=42,77$ | | Kolom4, $A_r=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 66 | 350 | 26 | 350 | 7 | 350 | 44 |
| 700 | 139 | 700 | 155 | 700 | 16 | 700 | 101 |
| 1050 | 205 | 1050 | 174 | 1050 | 16 | 1050 | 178 |
| 1400 | 251 | 1400 | 198 | 1400 | 19 | 1400 | 224 |
| 1750 | 352 | 1750 | 221 | 1750 | 28 | 1750 | 266 |
| 2100 | 413 | 2100 | 248 | 2100 | 42 | 2100 | 348 |
| 2450 | 483 | 2450 | 268 | 2450 | 102 | 2450 | 410 |
| 2800 | 552 | 2800 | 292 | 2800 | 169 | 2800 | 663 |
| 3150 | 590 | 3150 | 330 | 2450 | 212 | 2625 | 868 |
| 3500 | 639 | 2100 | 650 | 2100 | 241 | 2450 | 1145 |
| 2450 | 783 | 1400 | 933 | | | | |
| 2100 | 1056 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.21 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.18.



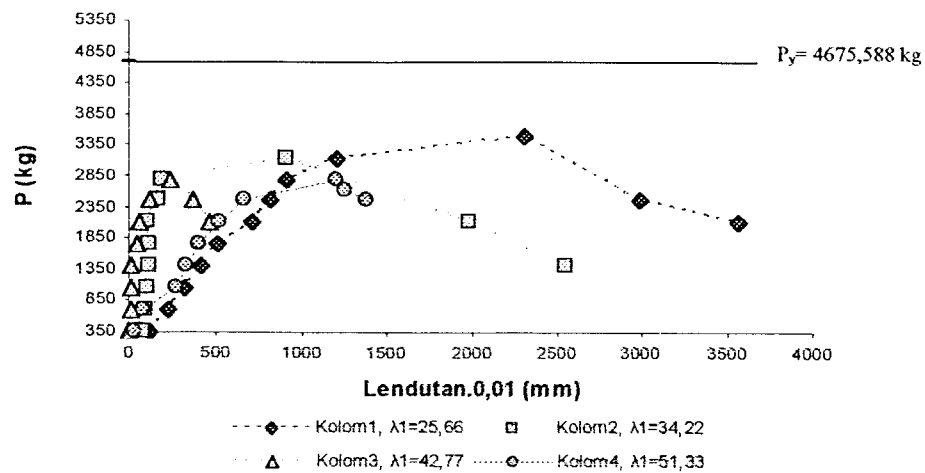
Gambar 5.18 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 1 yang telah direvisi

- b. Data hasil pengujian pada dial 2 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 2 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 2 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom2, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom3, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom4, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 120 | 350 | 86 | 350 | 0 | 350 | 36 |
| 700 | 222 | 700 | 90 | 700 | 11 | 700 | 87 |
| 1050 | 319 | 1050 | 112 | 1050 | 12 | 1050 | 275 |
| 1400 | 411 | 1400 | 114 | 1400 | 14 | 1400 | 334 |
| 1750 | 512 | 1750 | 116 | 1750 | 48 | 1750 | 398 |
| 2100 | 707 | 2100 | 105 | 2100 | 60 | 2100 | 516 |
| 2450 | 815 | 2450 | 170 | 2450 | 121 | 2450 | 659 |
| 2800 | 912 | 2800 | 187 | 2800 | 239 | 2800 | 1198 |
| 3150 | 1202 | 3150 | 904 | 2450 | 366 | 2625 | 1256 |
| 3500 | 2305 | 2100 | 1985 | 2100 | 464 | 2450 | 1375 |
| 2450 | 2981 | 1400 | 2544 | | | | |
| 2100 | 3558 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.22 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.19.



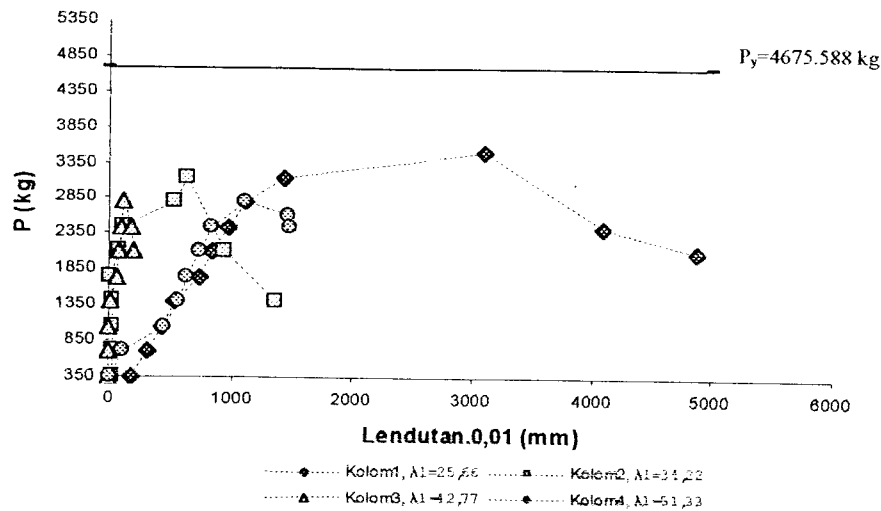
Gambar 5.19 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 2 yang telah direvisi

- c. Data hasil pengujian pada dial 3 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.23 seperti berikut

Tabel 5.23 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 3 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 3 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom2, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom3, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom4, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 180 | 350 | 26 | 350 | 0 | 350 | 13 |
| 700 | 314 | 700 | 27 | 700 | 0 | 700 | 110 |
| 1050 | 432 | 1050 | 31 | 1050 | 0 | 1050 | 457 |
| 1400 | 538 | 1400 | 37 | 1400 | 14 | 1400 | 569 |
| 1750 | 731 | 1750 | 15 | 1750 | 62 | 1750 | 637 |
| 2100 | 844 | 2100 | 82 | 2100 | 84 | 2100 | 734 |
| 2450 | 974 | 2450 | 123 | 2450 | 104 | 2450 | 845 |
| 2800 | 1106 | 2800 | 536 | 2800 | 112 | 2800 | 1107 |
| 3150 | 1419 | 3150 | 629 | 2450 | 189 | 2625 | 1465 |
| 3500 | 3100 | 2100 | 935 | 2100 | 203 | 2450 | 1472 |
| 2450 | 4094 | 1400 | 1355 | | | | |
| 2100 | 4872 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.23 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.20.



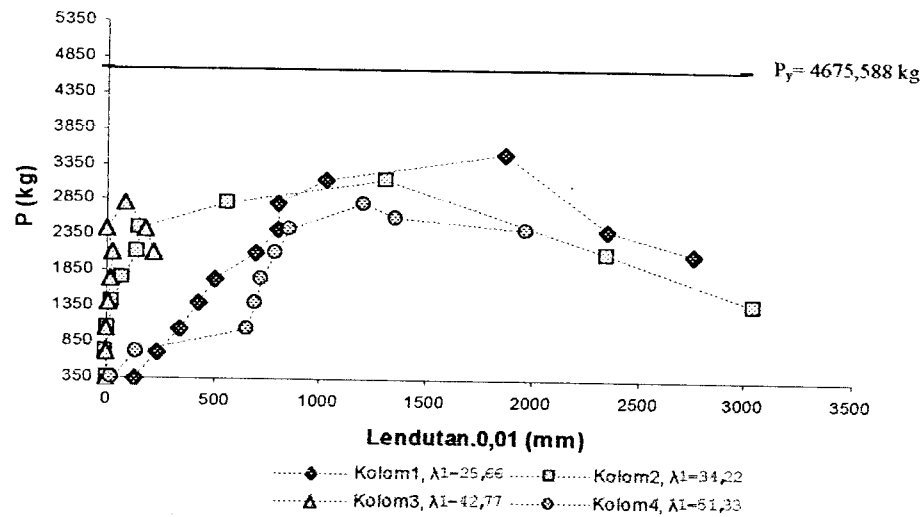
Gambar 5.20 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 3 yang telah direvisi

- d. Data hasil pengujian pada dial 4 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.24.

Tabel 5.24 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 4 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 4 | | | | | | | |
|---|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Kolom1, $A_1=25,66$ | | Kolom2, $A_1=34,22$ | | Kolom3, $A_1=42,77$ | | Kolom4, $A_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta.0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta.0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta.0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta.0,01$ (mm) |
| 350 | 135 | 350 | 12 | 350 | 0 | 350 | 25 |
| 700 | 241 | 700 | 0 | 700 | 0 | 700 | 147 |
| 1050 | 337 | 1050 | 12 | 1050 | 1 | 1050 | 657 |
| 1400 | 430 | 1400 | 31 | 1400 | 6 | 1400 | 691 |
| 1750 | 501 | 1750 | 78 | 1750 | 18 | 1750 | 722 |
| 2100 | 693 | 2100 | 139 | 2100 | 26 | 2100 | 783 |
| 2450 | 796 | 2450 | 149 | 2450 | 2 | 2450 | 857 |
| 2800 | 801 | 2800 | 557 | 2800 | 83 | 2800 | 1205 |
| 3150 | 1028 | 3150 | 1311 | 2450 | 182 | 2625 | 1359 |
| 3500 | 1868 | 2100 | 2350 | 2100 | 218 | 2450 | 1972 |
| 2450 | 2350 | 1400 | 3040 | | | | |
| 2100 | 2759 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.24 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.21.



Gambar 5.21 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 4 yang telah direvisi

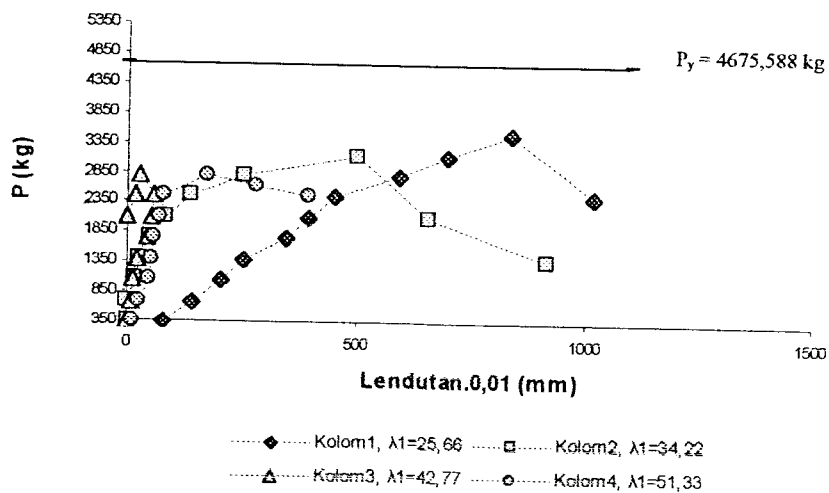
Dari Gambar 5.21 nampak bahwa grafik kolom 2 pada beban 700 kg dan kolom 3 pada beban 2450 kg mengalami penurunan lendutan.

- e. Data hasil pengujian pada dial 5 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.25.

Tabel 5.25 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 5 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 5 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom2, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom3, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom4, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 78 | 350 | 6 | 350 | 0 | 350 | 12 |
| 700 | 140 | 700 | 0 | 700 | 10 | 700 | 27 |
| 1050 | 204 | 1050 | 17 | 1050 | 13 | 1050 | 48 |
| 1400 | 250 | 1400 | 27 | 1400 | 20 | 1400 | 54 |
| 1750 | 343 | 1750 | 49 | 1750 | 46 | 1750 | 59 |
| 2100 | 394 | 2100 | 84 | 2100 | 55 | 2100 | 71 |
| 2450 | 448 | 2450 | 138 | 2450 | 56 | 2450 | 80 |
| 2800 | 591 | 2800 | 252 | 2800 | 25 | 2800 | 173 |
| 3150 | 699 | 3150 | 499 | 2450 | 19 | 2625 | 277 |
| 3500 | 838 | 2100 | 657 | 2100 | 1 | 2450 | 393 |
| 2450 | 1017 | 1400 | 916 | | | | |
| 2100 | 1159 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.25 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.22.



Gambar 5.22 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 5 yang telah direvisi

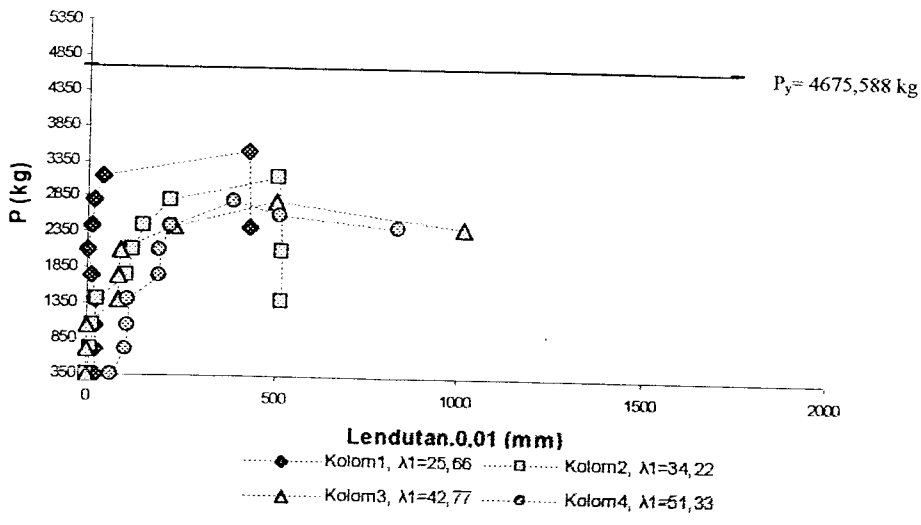
Pada Gambar 5.22 nampak bahwa grafik kolom 2 mengalami penurunan lendutan pada beban setelah beban 700 kg.

- f. Data hasil pengujian pada dial A yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.26.

Tabel 5.26 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial A yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL A | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $A_f=25,66$ | | Kolom2, $A_f=34,22$ | | Kolom3, $A_f=42,77$ | | Kolom4, $A_f=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta,0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta,0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta,0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta,0,01$ (mm) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 21 | 350 | 2 | 350 | 0 | 350 | 65 |
| 700 | 21 | 700 | 10 | 700 | 0 | 700 | 103 |
| 1050 | 22 | 1050 | 15 | 1050 | 0 | 1050 | 107 |
| 1400 | 22 | 1400 | 29 | 1400 | 85 | 1400 | 112 |
| 1750 | 12 | 1750 | 105 | 1750 | 84 | 1750 | 190 |
| 2100 | 1 | 2100 | 120 | 2100 | 85 | 2100 | 193 |
| 2450 | 9 | 2450 | 145 | 2450 | 232 | 2450 | 219 |
| 2800 | 18 | 2800 | 220 | 2800 | 503 | 2800 | 389 |
| 3150 | 40 | 3150 | 510 | 2450 | 1015 | 2625 | 512 |
| 3500 | 425 | 2100 | 518 | 2100 | 1800 | 2450 | 836 |
| 2450 | 432 | 1400 | 518 | | | | |
| 2100 | 439 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.26 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial A yang telah direvisi

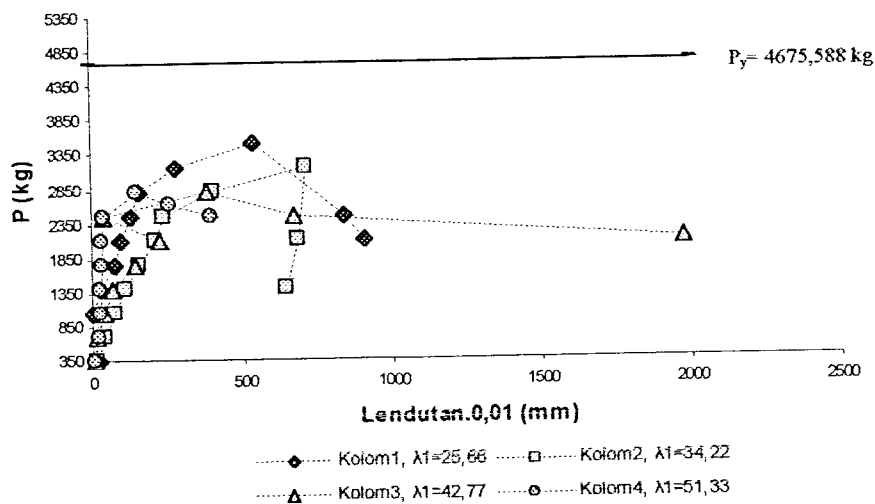
Dari Gambar 5.23 nampak bahwa grafik kolom 1 dan kolom 3 mengalami penurunan lendutan pada beban 1750 kg.

g. Data hasil pengujian pada dial B yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.27.

Tabel 5.27 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial B yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL B | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Kolom1, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom2, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom3, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom4, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) |
| 350 | 21 | 350 | 12 | 350 | 10 | 350 | 10 |
| 700 | 25 | 700 | 40 | 700 | 16 | 700 | 17 |
| 1050 | 3 | 1050 | 72 | 1050 | 40 | 1050 | 24 |
| 1400 | 24 | 1400 | 105 | 1400 | 70 | 1400 | 30 |
| 1750 | 75 | 1750 | 153 | 1750 | 142 | 1750 | 34 |
| 2100 | 95 | 2100 | 210 | 2100 | 224 | 2100 | 32 |
| 2450 | 126 | 2450 | 235 | 2450 | 40 | 2450 | 42 |
| 2800 | 157 | 2800 | 402 | 2800 | 380 | 2800 | 152 |
| 3150 | 278 | 3150 | 710 | 2450 | 670 | 2625 | 260 |
| 3500 | 536 | 2100 | 683 | 2100 | 1975 | 2450 | 395 |
| 2450 | 835 | 1400 | 643 | | | | |
| 2100 | 907 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.27 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.24.



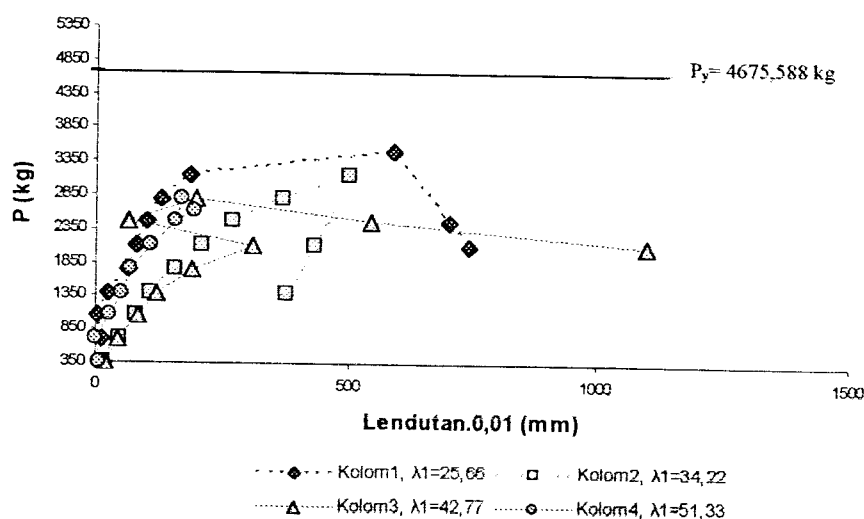
Gambar 5.24 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial B yang telah direvisi

h. Data hasil pengujian pada dial C yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.28.

Tabel 5.28 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial C yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL C | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom1, $A_1=25,66$ | | Kolom2, $A_1=34,22$ | | Kolom3, $A_1=42,77$ | | Kolom4, $A_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 18 | 350 | 16 | 350 | 22 | 350 | 8 |
| 700 | 12 | 700 | 49 | 700 | 43 | 700 | 2 |
| 1050 | 5 | 1050 | 82 | 1050 | 85 | 1050 | 28 |
| 1400 | 25 | 1400 | 110 | 1400 | 119 | 1400 | 51 |
| 1750 | 66 | 1750 | 155 | 1750 | 190 | 1750 | 70 |
| 2100 | 81 | 2100 | 207 | 2100 | 308 | 2100 | 110 |
| 2450 | 102 | 2450 | 270 | 2450 | 65 | 2450 | 155 |
| 2800 | 130 | 2800 | 370 | 2800 | 198 | 2800 | 170 |
| 3150 | 186 | 3150 | 503 | 2450 | 545 | 2625 | 192 |
| 3500 | 590 | 2100 | 433 | 2100 | 1098 | 2450 | 155 |
| 2450 | 700 | 1400 | 376 | | | | |
| 2100 | 740 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.28 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.25.



Gambar 5.25 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial C yang telah direvisi

Dari Gambar 5.25 nampak bahwa grafik kolom 3 mengalami penurunan lendutan pada beban 2450 kg.

2. Kolom tersusun silang ganda yang dirancang saling membelakangi (*back to back*)

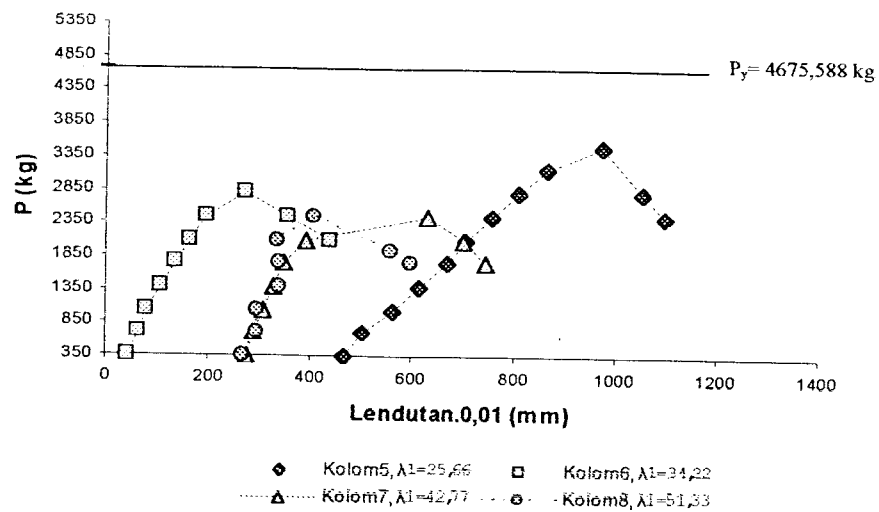
Data hasil pengujian tekan kolom tersusun yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.29 sampai dengan Tabel 5.36. Dari data hasil pengujian yang telah direvisi ditampilkan dalam bentuk grafik yang seperti pada Gambar 5.26 sampai dengan Gambar 5.31.

- a. Data hasil pengujian dial 1 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.29.

Tabel 5.29 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 1 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 1 | | | | | | | |
|---|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Kolom5, $A_f=25,66$ | | Kolom6, $A_f=34,22$ | | Kolom7, $A_f=42,77$ | | Kolom8, $A_f=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 467 | 350 | 43 | 350 | 274 | 350 | 268 |
| 700 | 503 | 700 | 64 | 700 | 289 | 700 | 294 |
| 1050 | 564 | 1050 | 79 | 1050 | 307 | 1050 | 295 |
| 1400 | 613 | 1400 | 109 | 1400 | 328 | 1400 | 340 |
| 1750 | 671 | 1750 | 134 | 1750 | 346 | 1750 | 341 |
| 2100 | 706 | 2100 | 164 | 2100 | 389 | 2100 | 335 |
| 2450 | 757 | 2450 | 196 | 2450 | 631 | 2450 | 408 |
| 2800 | 808 | 2800 | 272 | 2100 | 700 | 1925 | 558 |
| 3150 | 866 | 2450 | 356 | 1750 | 745 | 1750 | 600 |
| 3500 | 975 | 2100 | 437 | | | | |
| 2800 | 1053 | | | | | | |
| 2450 | 1096 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.29 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.26.



Gambar 5.26 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 1 yang telah direvisi

Pada Gambar 5.26 nampak bahwa kolom 8 mengalami penurunan lendutan pada beban 2100 kg.

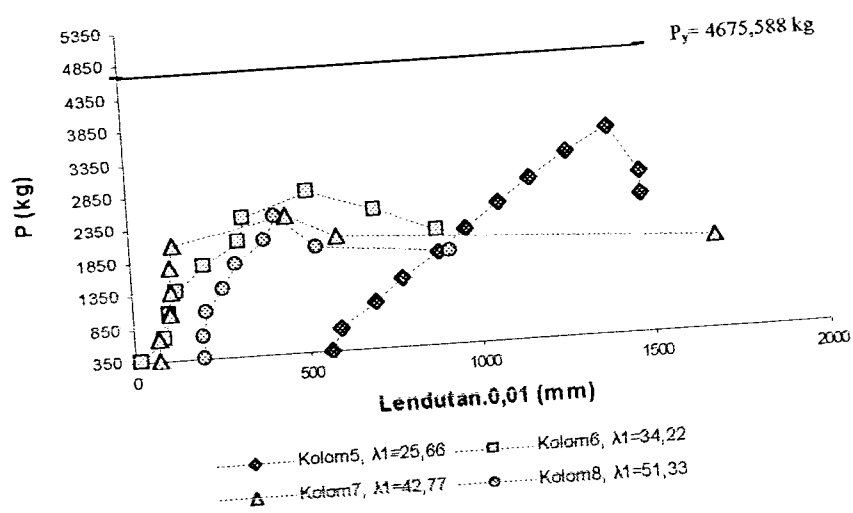
b. Data hasil pengujian pada dial 2 yang telah direvisi disajikan dalam

Tabel 5.30.

Tabel 5.30 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 2 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 2 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom6, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom6, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom7, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom8, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 566 | 350 | 15 | 350 | 71 | 350 | 194 |
| 700 | 591 | 700 | 89 | 700 | 71 | 700 | 195 |
| 1050 | 698 | 1050 | 103 | 1050 | 103 | 1050 | 208 |
| 1400 | 778 | 1400 | 127 | 1400 | 108 | 1400 | 261 |
| 1750 | 886 | 1750 | 205 | 1750 | 112 | 1750 | 300 |
| 2100 | 971 | 2100 | 311 | 2100 | 123 | 2100 | 389 |
| 2450 | 1066 | 2450 | 331 | 2450 | 450 | 2450 | 420 |
| 2800 | 1157 | 2800 | 521 | 2100 | 596 | 1925 | 536 |
| 3150 | 1266 | 2450 | 711 | 1750 | 1683 | 1750 | 921 |
| 3500 | 1391 | 2100 | 885 | | | | |
| 2800 | 1475 | | | | | | |
| 2450 | 1476 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.30 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.27.



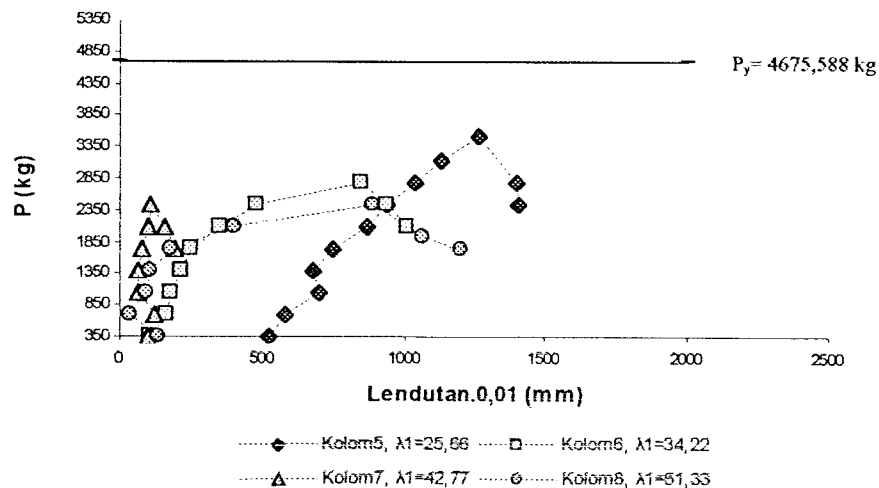
Gambar 5.27 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 2 yang telah direvisi

- c. Data hasil pengujian pada dial 3 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.31.

Tabel 5.31 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 3 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 3 | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Kolom5, $A_1=25,66$ | | Kolom6, $A_1=34,22$ | | Kolom7, $A_1=42,77$ | | Kolom8, $A_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) |
| 350 | 515 | 350 | 106 | 350 | 101 | 350 | 135 |
| 700 | 574 | 700 | 160 | 700 | 121 | 700 | 36 |
| 1050 | 698 | 1050 | 177 | 1050 | 63 | 1050 | 91 |
| 1400 | 678 | 1400 | 213 | 1400 | 64 | 1400 | 106 |
| 1750 | 746 | 1750 | 250 | 1750 | 76 | 1750 | 177 |
| 2100 | 866 | 2100 | 345 | 2100 | 98 | 2100 | 396 |
| 2450 | 935 | 2450 | 478 | 2450 | 104 | 2450 | 885 |
| 2800 | 1034 | 2800 | 843 | 2100 | 157 | 1925 | 1068 |
| 3150 | 1131 | 2450 | 940 | 1750 | 195 | 1750 | 1198 |
| 3500 | 1264 | 2100 | 1011 | | | | |
| 2800 | 1402 | | | | | | |
| 2450 | 1405 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.31 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.28.



Gambar 5.28 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 3 yang telah direvisi

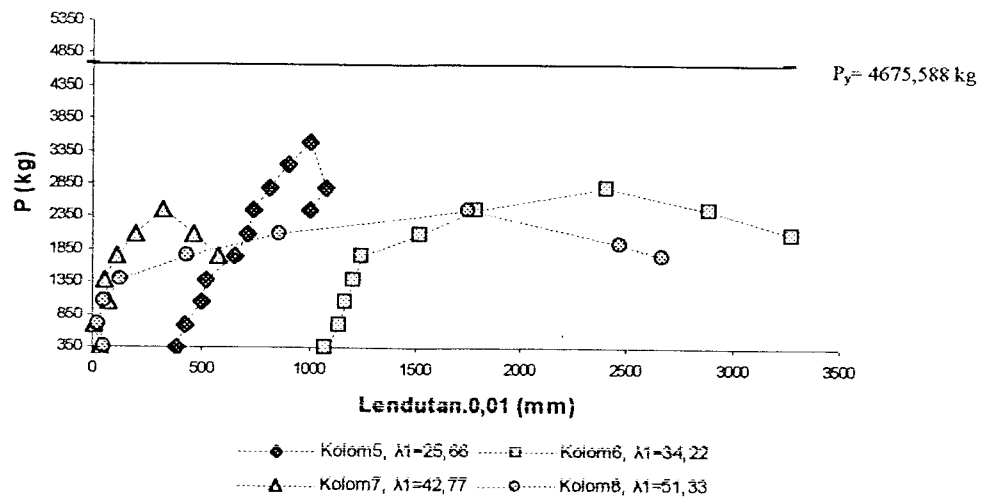
Dari Gambar 5.28 nampak bahwa grafik kolom 7 mengalami penurunan lendutan pada beban 1050 kg. Sedangkan grafik kolom 8 mengalami penurunan lendutan pada beban 700 kg.

- d. Data hasil pengujian pada dial 4 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.32.

Tabel 5.32 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 4 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 4 | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom5, $\lambda_r=25,66$ | | Kolom6, $\lambda_r=34,22$ | | Kolom7, $\lambda_r=42,77$ | | Kolom8, $\lambda_r=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 385 | 350 | 1075 | 350 | 41 | 350 | 55 |
| 700 | 429 | 700 | 1143 | 700 | 5 | 700 | 25 |
| 1050 | 506 | 1050 | 1171 | 1050 | 76 | 1050 | 53 |
| 1400 | 523 | 1400 | 1214 | 1400 | 60 | 1400 | 133 |
| 1750 | 657 | 1750 | 1247 | 1750 | 109 | 1750 | 432 |
| 2100 | 714 | 2100 | 1527 | 2100 | 198 | 2100 | 865 |
| 2450 | 736 | 2450 | 1787 | 2450 | 318 | 2450 | 1749 |
| 2800 | 811 | 2800 | 2404 | 2100 | 463 | 1925 | 2467 |
| 3150 | 896 | 2450 | 2886 | 1750 | 578 | 1750 | 2667 |
| 3500 | 1004 | 2100 | 3270 | | | | |
| 2800 | 1080 | | | | | | |
| 2450 | 1007 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.32 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.29.



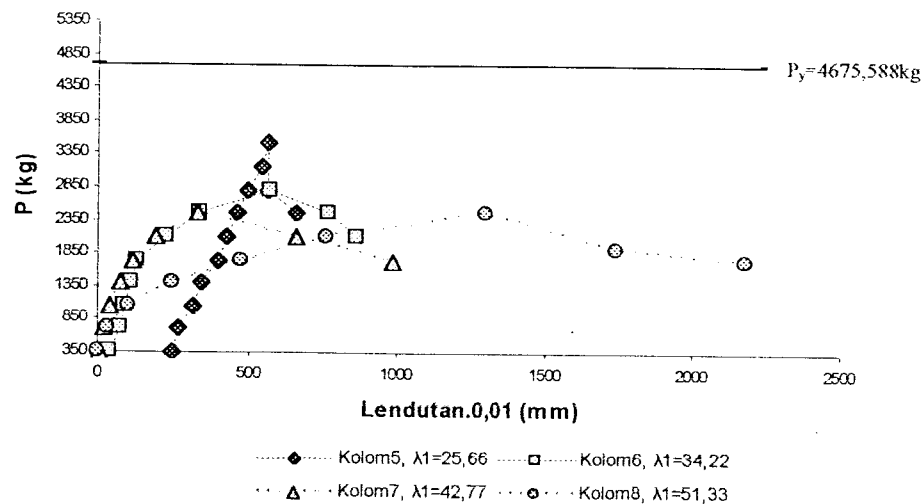
Gambar 5.29 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 4 yang telah direvisi

- e. Data hasil pengujian pada dial 5 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.33.

Tabel 5.33 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 5 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 5 | | | | | | | |
|---|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| Kolom5, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom6, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom7, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom8, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta_{0,01}$ (mm) |
| 350 | 245 | 350 | 39 | 350 | 7 | 350 | 1 |
| 700 | 269 | 700 | 74 | 700 | 20 | 700 | 31 |
| 1050 | 312 | 1050 | 89 | 1050 | 41 | 1050 | 102 |
| 1400 | 342 | 1400 | 110 | 1400 | 73 | 1400 | 246 |
| 1750 | 394 | 1750 | 133 | 1750 | 114 | 1750 | 473 |
| 2100 | 426 | 2100 | 225 | 2100 | 190 | 2100 | 781 |
| 2450 | 458 | 2450 | 332 | 2450 | 328 | 2450 | 1295 |
| 2800 | 495 | 2800 | 567 | 2100 | 657 | 1925 | 1745 |
| 3150 | 538 | 2450 | 766 | 1750 | 986 | 1750 | 2180 |
| 3500 | 559 | 2100 | 863 | | | | |
| 2800 | 562 | | | | | | |
| 2450 | 656 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.33 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.30.



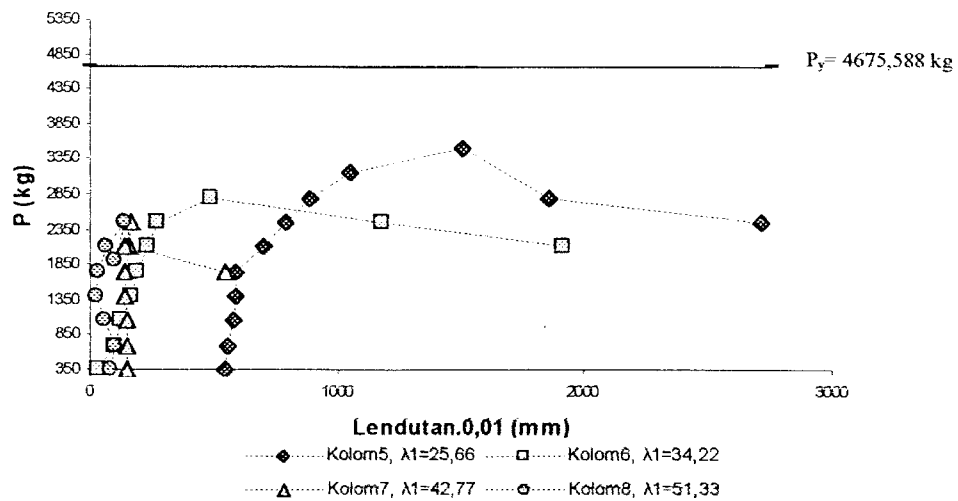
Gambar 5.30 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 5 yang telah direvisi

- f. Data hasil pengujian pada dial 5 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.34.

Tabel 5.34 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial A yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL A | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom5, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom6, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom7, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom8, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 542 | 350 | 37 | 350 | 147 | 350 | 80 |
| 700 | 547 | 700 | 97 | 700 | 147 | 700 | 99 |
| 1050 | 570 | 1050 | 122 | 1050 | 147 | 1050 | 56 |
| 1400 | 586 | 1400 | 160 | 1400 | 142 | 1400 | 21 |
| 1750 | 580 | 1750 | 191 | 1750 | 143 | 1750 | 34 |
| 2100 | 693 | 2100 | 230 | 2100 | 157 | 2100 | 64 |
| 2450 | 788 | 2450 | 274 | 2450 | 166 | 2450 | 136 |
| 2800 | 885 | 2800 | 487 | 2100 | 138 | 1925 | 97 |
| 3150 | 1050 | 2450 | 1180 | 1750 | 542 | 1750 | 36 |
| 3500 | 1510 | 2100 | 1917 | | | | |
| 2800 | 1860 | | | | | | |
| 2450 | 2710 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.34 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.31.



Gambar 5.31 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial A yang telah direvisi

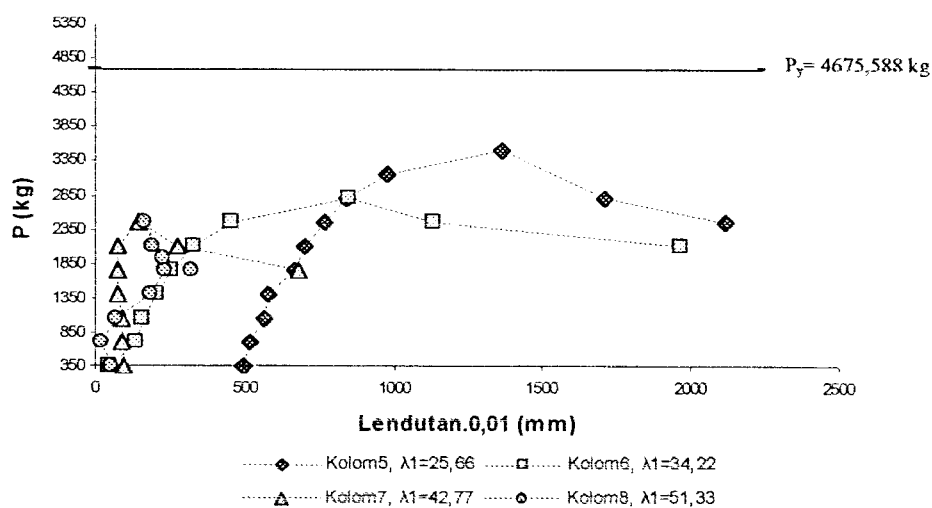
Dari Gambar 5.31 nampak bahwa grafik kolom 7 mengalami penurunan lendutan pada beban 1400 kg. Sedangkan grafik kolom 8 mengalami penurunan lendutan pada beban 1050

g. Data hasil pengujian pada dial B yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.35.

Tabel 5.35 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial B yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN <i>BACK TO BACK</i> PADA DIAL B | | | | | | | |
|--|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| Kolom5, $\lambda_1=25,66$ | | Kolom6, $\lambda_1=34,22$ | | Kolom7, $\lambda_1=42,77$ | | Kolom8, $\lambda_1=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 489 | 350 | 48 | 350 | 94 | 350 | 57 |
| 700 | 511 | 700 | 136 | 700 | 90 | 700 | 19 |
| 1050 | 556 | 1050 | 158 | 1050 | 86 | 1050 | 66 |
| 1400 | 574 | 1400 | 207 | 1400 | 73 | 1400 | 184 |
| 1750 | 662 | 1750 | 251 | 1750 | 77 | 1750 | 231 |
| 2100 | 694 | 2100 | 329 | 2100 | 77 | 2100 | 192 |
| 2450 | 761 | 2450 | 451 | 2450 | 146 | 2450 | 163 |
| 2800 | 840 | 2800 | 842 | 2100 | 275 | 1925 | 225 |
| 3150 | 974 | 2450 | 1132 | 1750 | 672 | 1750 | 319 |
| 3500 | 1363 | 2100 | 1971 | | | | |
| 2800 | 1708 | | | | | | |
| 2450 | 2119 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.35 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.32.



Gambar 5.32 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial B yang telah direvisi

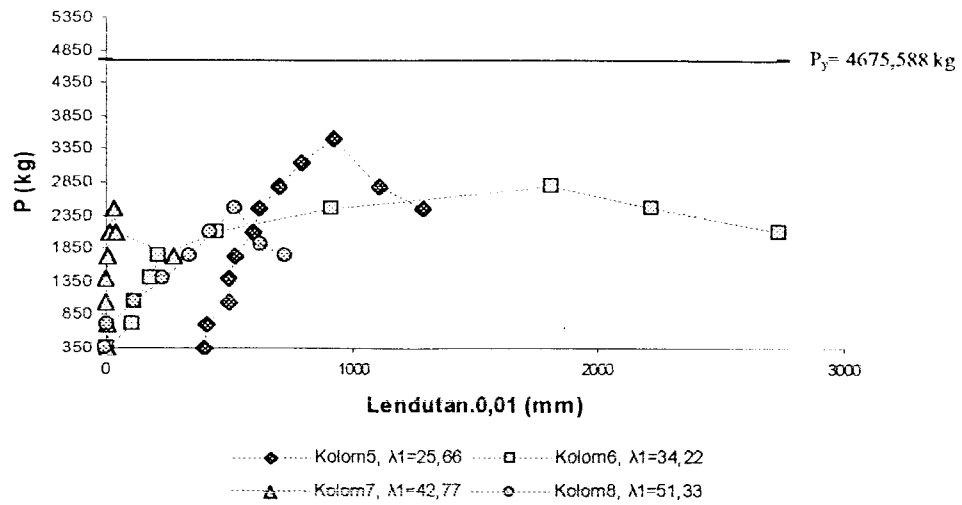
Dari Gambar 5.32 nampak bahwa grafik kolom 8 mengalami penurunan lendutan pada beban 700 kg,

- h. Data hasil pengujian pada dial C yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.36.

Tabel 5.36 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial C yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN <i>BACK TO BACK</i> PADA DIAL C | | | | | | | |
|--|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom5, $\lambda_r=25,66$ | | Kolom6, $\lambda_r=34,22$ | | Kolom7, $\lambda_r=42,77$ | | Kolom8, $\lambda_r=51,33$ | |
| Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg) | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350 | 397 | 350 | 9 | 350 | 9 | 350 | 2 |
| 700 | 400 | 700 | 103 | 700 | 8 | 700 | 12 |
| 1050 | 490 | 1050 | 113 | 1050 | 3 | 1050 | 112 |
| 1400 | 491 | 1400 | 182 | 1400 | 4 | 1400 | 230 |
| 1750 | 520 | 1750 | 214 | 1750 | 9 | 1750 | 338 |
| 2100 | 591 | 2100 | 443 | 2100 | 17 | 2100 | 419 |
| 2450 | 613 | 2450 | 908 | 2450 | 32 | 2450 | 517 |
| 2800 | 695 | 2800 | 1809 | 2100 | 39 | 1925 | 627 |
| 3150 | 790 | 2450 | 2222 | 1750 | 274 | 1750 | 725 |
| 3500 | 914 | 2100 | 2740 | | | | |
| 2800 | 1110 | | | | | | |
| 2450 | 1290 | | | | | | |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.36 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.33.

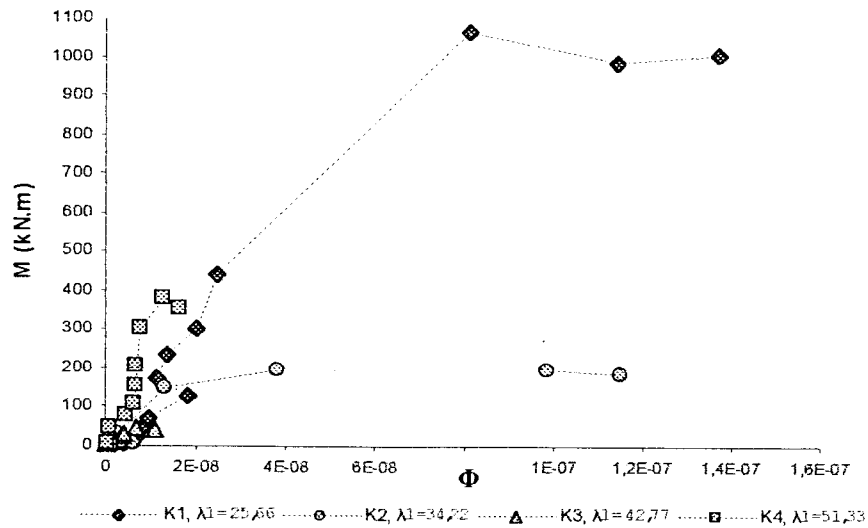


Gambar 5.33 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial C yang telah direvisi

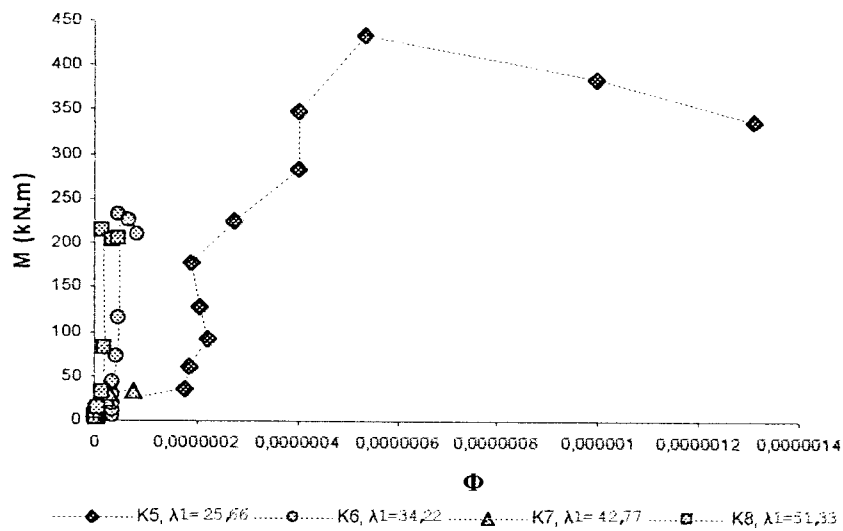
Dari Gambar 5.33 nampak bahwa grafik kolom 7 mengalami penurunan lendutan pada beban 700 kg.

5.2.2.2 Momen dan Kelengkungan

Dari hubungan beban dan lendutan diperoleh hubungan momen kelengkungan yang tersaji dalam Gambar 5.34 dan Gambar 5.35.

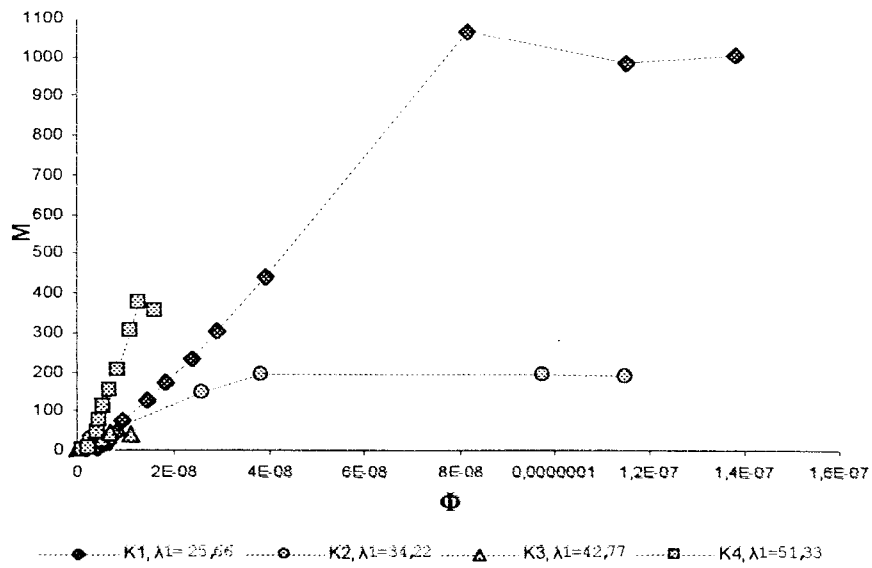


Gambar 5.34 Grafik hubungan momen dan kelengkungan kolom tersusun *front to front*

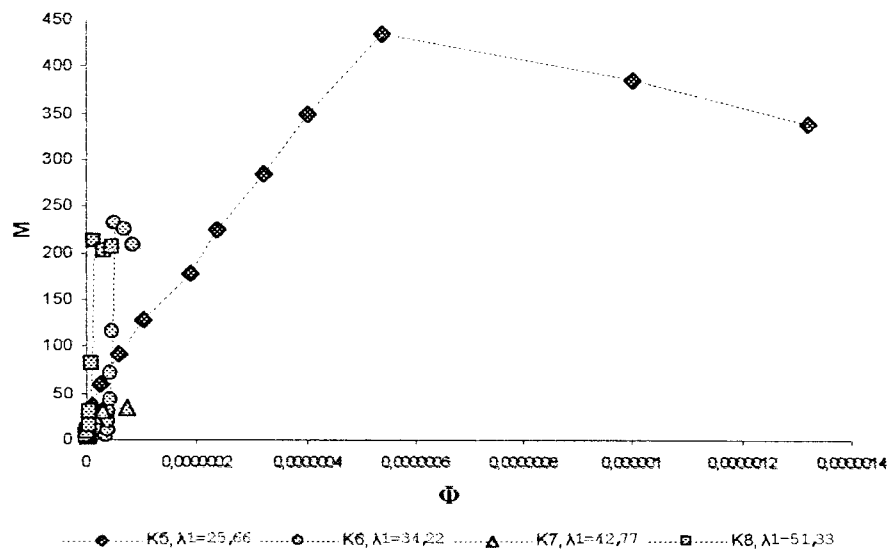


Gambar 5.35 Grafik hubungan momen dan kelengkungan kolom tersusun *back to back*

Grafik momen dan kelengkungan kemudian diregresi yang disajikan dalam Gambar 5.36 dan Gambar 6.37.



Gambar 5.36 Grafik momen dan kelengkungan hasil regresi untuk kolom tersusun *front to front*



Gambar 5.37 Grafik momen dan kelengkungan hasil regresi untuk kolom tersusun *back to back*

Dari grafik hubungan momen dan kelengkungan hasil regresi yang ditunjukkan pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 dapat dicari perilaku kolom

tersusun silang ganda. Perilaku tersebut meliputi nilai faktor kekakuan, kekuatan dan daktilitas kolom.

1. Kekakuan

Hasil perhitungan nilai faktor kekakuan ditunjukkan pada Tabel 5.37.a dan Tabel 5.37.b.

Tabel 5.37.a Nilai faktor kekakuan untuk benda uji *front to front*

| Benda uji | Momen | Kelengkungan | EI |
|----------------|----------|--------------|-------------------|
| Front to Front | (KN.m) | (1/m) | KN.m ² |
| K1 | 73,88892 | 9,33254E-09 | 7917340422 |
| K2 | 29,56244 | 2,95121E-09 | 1,0017E+10 |
| K3 | 17,30484 | 3,31131E-09 | 5225978133 |
| K4 | 78,14646 | 4,57088E-09 | 1,7097E+10 |

Berdasarkan Tabel 5.37.a, benda uji kolom 4 dengan $\lambda_1=51,33$ mempunyai angka kekakuan yang paling besar, hal ini menunjukkan bahwa kolom 4 merupakan kolom dengan kekakuan paling besar.

Tabel 5.37.b Nilai faktor kekakuan untuk benda uji *back to back*

| Benda uji | Momen | Kelengkungan | EI |
|--------------|----------|--------------|-------------------|
| Back to Back | (KN.m) | (1/m) | KN.m ² |
| K5 | 178,4047 | 1,86209E-07 | 958089750 |
| K6 | 71,07345 | 4,57088E-08 | 1554917664 |
| K7 | 20,18898 | 5,01187E-09 | 1028231097 |
| K8 | 14,55804 | 7,24436E-09 | 2009568934 |

Berdasarkan Tabel 5.37.b, benda uji kolom 8 dengan $\lambda_1=51,33$ mempunyai angka kekakuan yang paling besar, hal ini menunjukkan bahwa kolom 8 merupakan kolom dengan kekakuan terbesar.

Dari Tabel 5.37.a dan Tabel 5.37.b dapat disimpulkan bahwa angka kekakuan kolom yang dirancang saling berhadapan (*front to front*) lebih besar

daripada angka kekakuan untuk kolom yang dirancang saling membelakangi (*back to back*).

2. Kekuatan

Dari grafik hubungan momen dan kelengkungan pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 dapat diperoleh nilai momen maksimum masing-masing kolom yang disajikan dalam Tabel 5.38.

Tabel 5.38 Momen maksimum kolom tersusun silang ganda

| Benda uji | Momen | Benda uji | Momen |
|----------------|----------|--------------|------------|
| Front to Front | (KN.m) | Back to Back | (KN.m) |
| K1 | 1064,385 | K5 | 433,9944 |
| K2 | 194,3704 | K6 | 231,55524 |
| K3 | 45,425 | K7 | 33,476625 |
| K4 | 377,2558 | K8 | 212,705325 |

Berdasarkan Tabel 5.38 nampak bahwa kolom dengan kekuatan paling besar adalah kolom dengan $\lambda_1 = 25,66$. Selain itu dari Tabel 5.38 juga dapat disimpulkan bahwa kolom *front to front* lebih kuat dari pada kolom *back to back*.

3. Daktilitas (keliatan)

Berdasarkan Grafik hubungan momen dan kelengkungan pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 dapat diperoleh nilai daktilitas bagi kolom tersusun silang ganda yang disajikan dalam Tabel 5.39.a dan Tabel 5.39.b.

Tabel 5.39.a Nilai daktilitas untuk benda uji *front to front*

| Benda uji | Φ_{maks} | Φ_y | μ |
|----------------|---------------|----------|----------|
| Front to Front | (1/m) | (1/m) | |
| K1 | 1,38E-07 | 8,13E-08 | 1,698244 |
| K2 | 1,15E-07 | 3,8E-08 | 3,019952 |
| K3 | 1,1E-08 | 6,76E-09 | 1,62181 |
| K4 | 1,62E-08 | 1,26E-08 | 1,28825 |

Berdasarkan Tabel 5.39.a nampak bahwa kolom 2 dengan $\lambda_1 = 34,22$ mempunyai daktilitas paling tinggi dibanding dengan benda uji kolom *front to front* yang lain.

Tabel 5.39.b Nilai daktilitas untuk benda uji *back to back*

| Benda uji | Φ_{maks} | Φ_y | μ |
|--------------|---------------|----------|----------|
| Back to Back | (1/m) | (1/m) | |
| K5 | 1,32E-06 | 5,37E-07 | 2,454709 |
| K6 | 8,51E-08 | 5,01E-08 | 1,698244 |
| K7 | 7,41E-08 | 2,95E-08 | 2,511886 |
| K8 | 4,79E-08 | 1,58E-08 | 3,019952 |

Berdasarkan Tabel 5.39.b nampak bahwa kolom 8 dengan $\lambda_1 = 51,33$ mempunyai daktilitas paling tinggi dibanding dengan benda uji kolom *back to back* yang lain.

Dari Tabel 5.39.a dan Tabel 5.39.b dapat disimpulkan bahwa kolom tersusun yang dirancang saling membelakangi lebih daktil dibandingkan dengan kolom tersusun yang dirancang saling berhadapan.

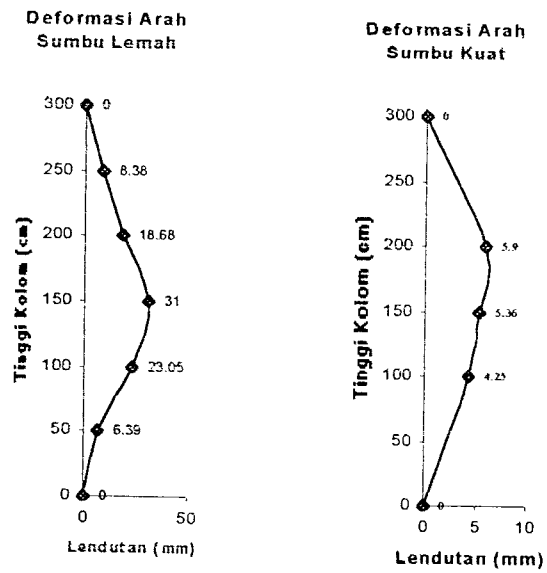
5.2.2.3 Beban kritis (P_{cr})

Beban Kritis (P_{cr}) yang terjadi pada masing-masing kolom dan bentuk deformasi kolom pada saat terjadi beban kritis (P_{cr}) ditentukan berdasarkan hasil pengujian (Tabel 5.3 sampai dengan Tabel 5.18). Beban kritis (P_{cr}) yang terjadi pada masing-masing kolom ditampilkan pada Tabel 5.40.

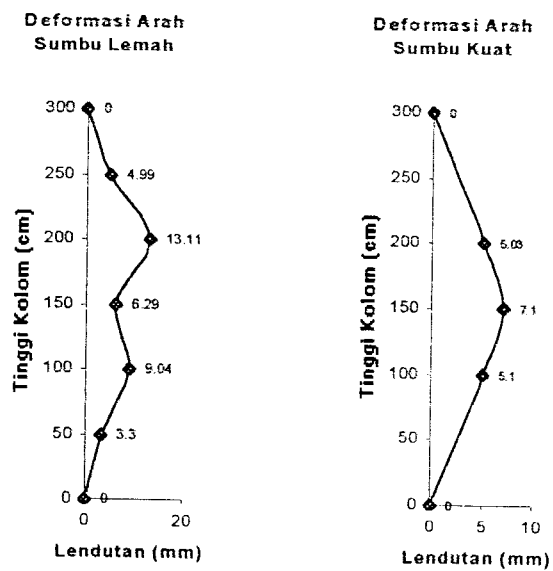
Tabel 5.40 Beban kritis (P_{cr}) kolom

| No | Sampel | L_f/r_f | P_{cr} (kg) |
|----|--|-----------|------------------|
| 1 | Sampel 1, $L_f=30$ cm <i>front to front</i> | 25,66 | 3500 |
| 2 | Sampel 2, $L_f=40$ cm <i>front to front</i> | 34,22 | 3150 |
| 3 | Sampel 3, $L_f=50$ cm <i>front to front</i> | 42,77 | 2800 |
| 4 | Sampel 4, $L_f=60$ cm <i>front to front</i> | 51,33 | 2800 |
| 5 | Sampel 5, $L_f=30$ cm <i>back to back</i> | 25,66 | 3500 |
| 6 | Sampel 6, $L_f=40$ cm <i>back to back</i> | 34,22 | 2800 |
| 7 | Sampel 7, $L_f=50$ cm <i>back to back</i> | 42,77 | 2450 |
| 8 | Sampel 8, $L_f=60$ cm <i>back to back</i> | 51,33 | 2450 |

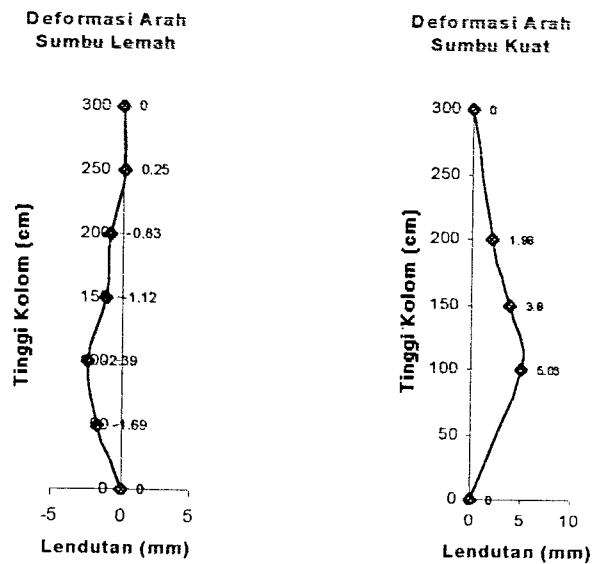
Pada saat terjadi beban kritis (P_{cr}) bentuk deformasi kolom dapat ditentukan dengan cara memilih defleksi yang terbaca pada masing-masing dial pada saat terjadi beban kritis kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga dapat dilihat bentuk deformasi kolom. Bentuk deformasi kolom dapat dilihat pada Gambar 5.38 sampai Gambar 5.45.



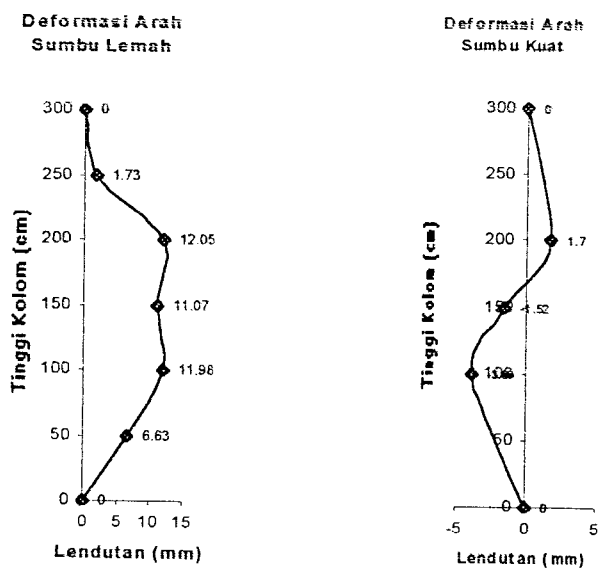
Gambar 5.38 Deformasi sampel kolom 1, $\lambda_1 = 25,66$ FF pada saat kritis



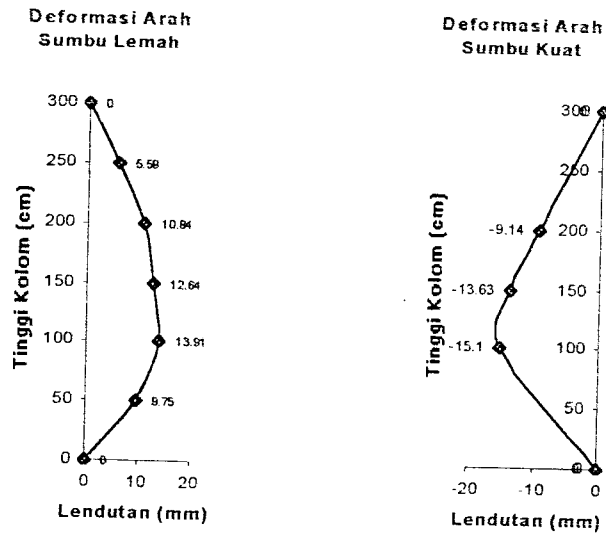
Gambar 5.39 Deformasi sampel kolom 2, $\lambda_1 = 34,22$ FF pada saat kritis



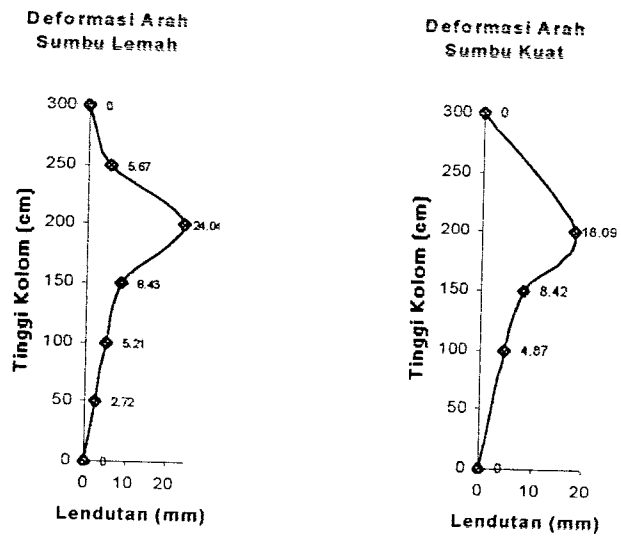
Gambar 5.40 Deformasi sampel kolom 3, $\lambda_1 = 42,77$ FF pada saat kritis



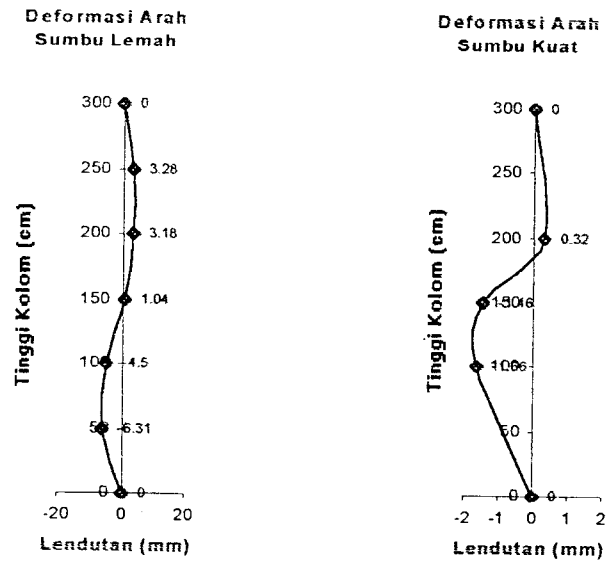
Gambar 5.41 Deformasi sampel kolom 4, $\lambda_1 = 51,33$ FF pada saat kritis



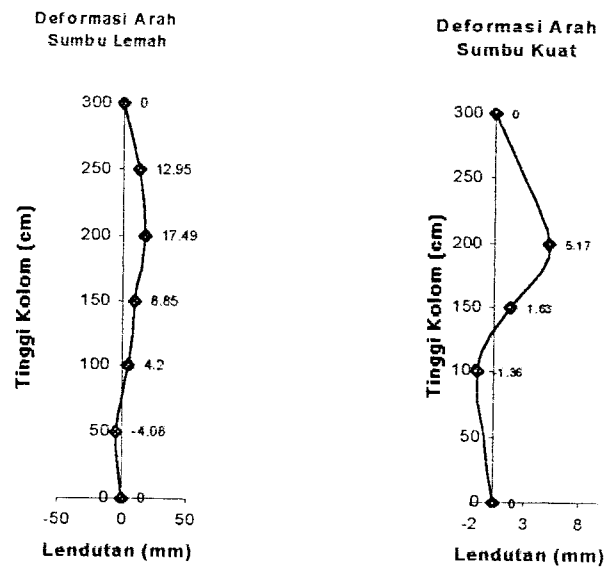
Gambar 5.42 Deformasi sampel kolom 5, $\lambda_1=25,66$ BB pada saat kritis



Gambar 5.43 Deformasi sampel kolom 6, $\lambda_1=34,22$ BB pada saat kritis



Gambar 5.44 Deformasi sampel kolom 7, $\lambda_1=42,77$ BB pada saat kritis

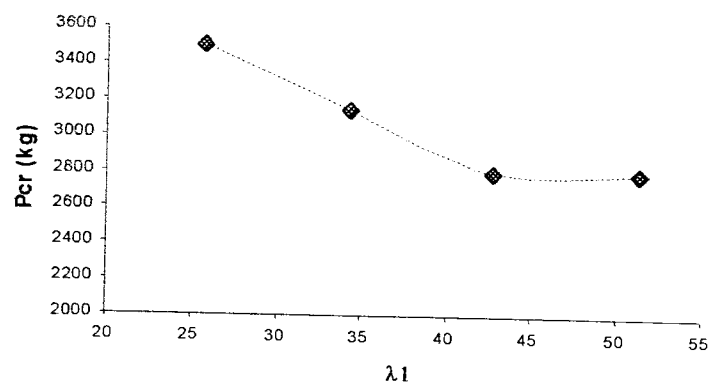


Gambar 5.45 Deformasi sampel kolom 8, $\lambda_1= 51,33$ BB pada saat kritis

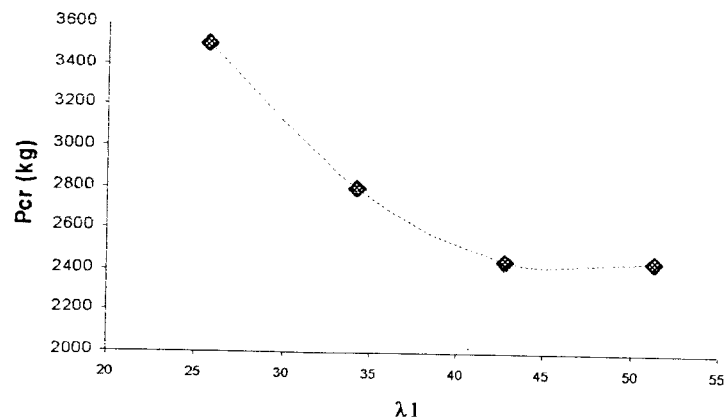
Berdasarkan grafik deformasi pada Gambar 5.38 sampai dengan Gambar 5.45 dapat dilihat tidak ada bentuk deformasi kolom yang tetap untuk semua benda uji, sebagian mengalami lengkung simetris dan tidak simetris. Sampel

kolom 3, sampel kolom 7 dan sampel kolom 8 mengalami kelengkungan ganda. Seperti pada Gambar 5.40, Gambar 5.44 dan Gambar 5.45 dapat dilihat ada pengekangan pada salah satu tumpuan sehingga asumsi tumpuan sendi-sendi tidak dapat memenuhi syarat. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan alat yang digunakan dalam pengujian. Ketidaksamaan bentuk deformasi tersebut menyebabkan faktor panjang efektif (K) pada setiap benda uji kolom tidak sama. Karena faktor panjang efektif (K) tidak sama, maka untuk pembahasan selanjutnya kelangsingan hanya ditunjukkan dengan λ_1 atau rasio L_1/r_1 .

Data Beban kritis P_{cr} pada Tabel 5.40 dapat disajikan dalam bentuk grafik P_{cr} yang merupakan fungsi dari λ_1 . Gambar grafik P_{cr} yang merupakan fungsi dari λ_1 dapat dilihat pada Gambar 5.46.a dan Gambar 5.46.b.



Gambar 5.46.a Grafik P_{cr} hasil pengujian benda uji kolom tersusun *front to front*



Gambar 5.46.b Grafik P_{cr} hasil pengujian benda uji kolom tersusun *back to back*

Grafik pada Gambar 5.46.a dan Gambar 5.46.b masih kasar sehingga perlu diperhalus dengan regresi. Regresi dapat digunakan untuk memperkirakan beban kritis untuk setiap angka kelangsingan. Persamaan regresi yang mempunyai nilai $R \leq 1$ adalah persamaan polinomial.

Persamaan regresi untuk kolom tersusun *front to front* ditunjukkan pada persamaan (5.1).

$$P_{cr} = 1,1949.\lambda_1^2 - 120,63.\lambda_1 + 5826 \quad (5.1)$$

Persamaan regresi untuk kolom tersusun *back to back* ditunjukkan pada persamaan (5.2).

$$P_{cr} = 2,3897.\lambda_1^2 - 224,89.\lambda_1 + 7697,3 \quad (5.2)$$

Namun persamaan (5.1) dan persamaan (5.2) apabila dipakai didalam perhitungan beban kritis (P_{cr}) mempunyai hasil yang tidak realistis. Hal tersebut disebabkan pada $\lambda_1 \geq 50$ kekuatan kolom kembali bertambah. Oleh karena itu dalam mencari beban kritis regresi ($P_{cr reg}$) digunakan persamaan eksponensial.

Persamaan regresi untuk kolom tersusun *front to front* ditunjukkan pada persamaan (5.3).

$$P_{cr} = 4345,3.e^{0.0092.\lambda_1} \quad (5.3)$$

Persamaan regresi untuk kolom tersusun *back to back* ditunjukkan pada persamaan (5.4).

$$P_{cr} = 4760.e^{-0.0141.\lambda_1} \quad (5.4)$$

Dengan menggunakan persamaan (5.3) dan persamaan (5.4), maka diperoleh beban kritis hasil regresi yang disajikan dalam Tabel 5.41.a dan Tabel 5.41.b.

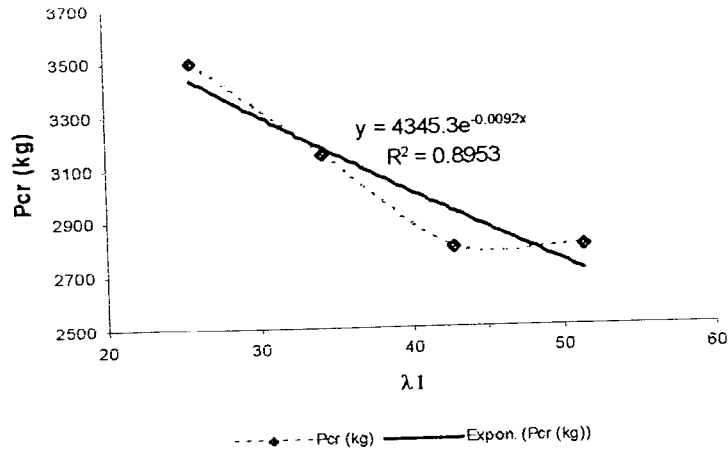
Tabel 5.41.a Regresi beban (P_{cr} reg) benda uji *front to front*

| Benda uji | λ_1 | P_{cr} (kg) | P_{cr} reg (kg) |
|-----------|-------------|---------------|-------------------|
| Kolom 1 | 25.663 | 3500 | 3431.493 |
| Kolom 2 | 34.217 | 3150 | 3171.789 |
| Kolom 3 | 42.772 | 2800 | 2931.740 |
| Kolom 4 | 51.326 | 2800 | 2709.858 |

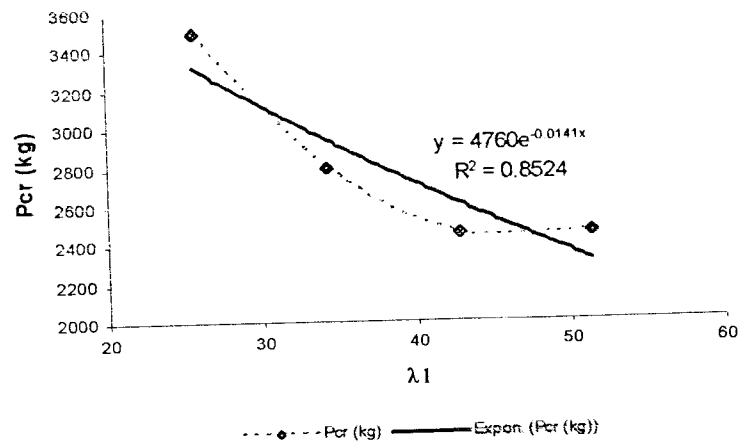
Tabel 5.41.b Regresi beban (P_{cr} reg) benda uji *back to back*

| Benda uji | λ_1 | P_{cr} (kg) | P_{cr} reg (kg) |
|-----------|-------------|---------------|-------------------|
| Kolom 5 | 25.663 | 3500 | 3314.809 |
| Kolom 6 | 34.217 | 2800 | 2938.161 |
| Kolom 7 | 42.772 | 2450 | 2604.311 |
| Kolom 8 | 51.326 | 2450 | 2308.394 |

Dari Tabel 5.41.a dan Tabel 5.41.b disajikan pada Gambar 5.47.a dan Gambar 5.47.b.

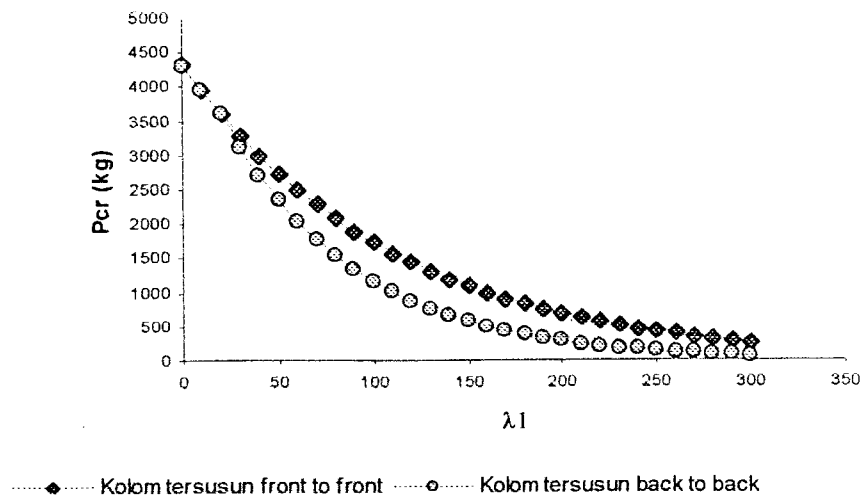


Gambar 5.47.a Perbandingan P_{cr} pengujian dan P_{cr} regresi benda uji *front to front*



Gambar 5.47.b Perbandingan P_{cr} pengujian dan P_{cr} regresi benda uji *back to back*

Persamaan (5.3) dan persamaan (5.4) dapat digunakan untuk menentukan beban kritis (P_{cr}) untuk setiap angka kelangsingan λ_1 . Gambar 5.48 menampilkan beban kritis untuk angka kelangsingan λ_1 antara 0 sampai dengan 300.



Gambar 5.48 Grafik beban kritis (P_{cr}) dan Fungsi kelangsingan (λ_1) untuk nilai λ_1 antara 0 sampai dengan 300

5.2.2.4 Tegangan kritis (F_{cr})

Tegangan yang terjadi pada masing-masing kolom dapat diketahui dengan membagi beban yang terjadi dengan luas penampang kolom ($F = P/A$).

Hasil perhitungan tegangan kritis untuk sampel kolom tersusun silang ganda disajikan dalam bentuk Tabel 5.42.a dan Tabel 5.42.b.

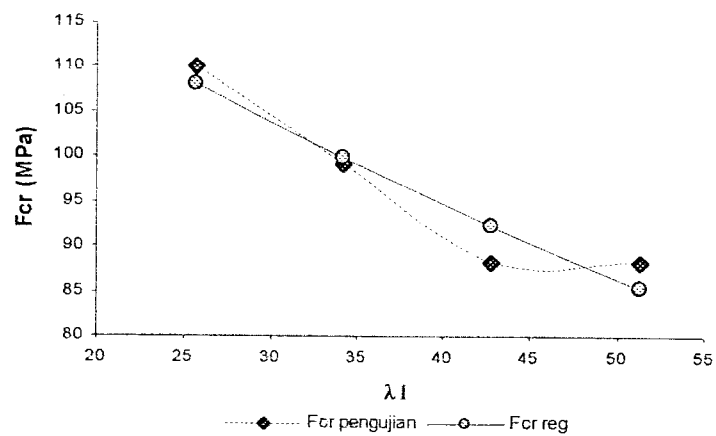
Tabel 5.42.a Tegangan Kritis (F_{cr}) kolom tersusun *front to front*

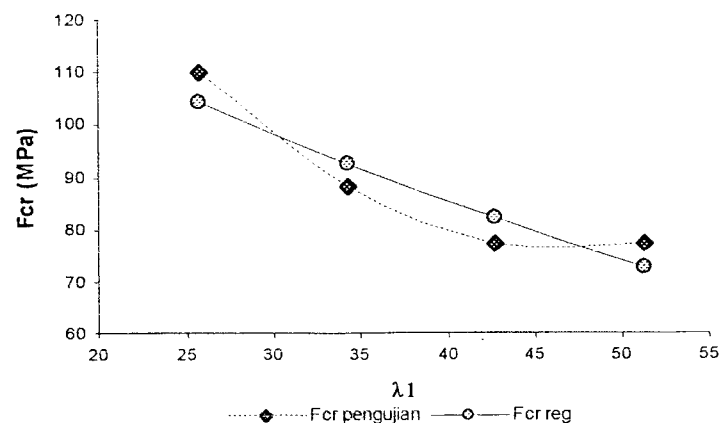
| Benda uji | λ_1 | P_{cr} (kg) | P_{cr} reg (kg) | F_{cr} (MPa) | F_{cr} reg (MPa) |
|-----------|-------------|---------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Kolom 1 | 25.663 | 3500 | 3431.493 | 110.189 | 108.033 |
| Kolom 2 | 34.217 | 3150 | 3171.789 | 99.170 | 99.856 |
| Kolom 3 | 42.772 | 2800 | 2931.740 | 88.151 | 92.299 |
| Kolom 4 | 51.326 | 2800 | 2709.858 | 88.151 | 85.314 |

Tabel 5.42.b Tegangan Kritis (F_{cr}) kolom tersusun *back to back*

| Benda uji | λ_1 | P_{cr} (kg) | P_{cr} reg (kg) | F_{cr} (MPa) | F_{cr} reg (MPa) |
|-----------|-------------|---------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Kolom 5 | 25.66 | 3500 | 3062.73689 | 110.1893 | 96.42313 |
| Kolom 6 | 34.22 | 2800 | 2863.21325 | 88.15148 | 90.1416 |
| Kolom 7 | 42.77 | 2450 | 2676.89834 | 77.13254 | 84.27591 |
| Kolom 8 | 51.33 | 2450 | 2502.51036 | 77.13254 | 78.78571 |

Tabel 5.42.a dan Tabel 5.42.b dapat ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan kelangsingan (λ_1) dengan tegangan kritis (F_{cr}) seperti pada Gambar 5.49.a dan Gambar 5.49.b.

Gambar 5.49.a Grafik F_{cr} fungsi λ_1 kolom tersusun *front to front*



Gambar 5.49.b Grafik F_{cr} fungsi λ_1 kolom tersusun *back to back*

5.2.2.5 Perhitungan koefisien tekuk pelat

Besar nilai koefisien tekuk pelat 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 pelat dilakukan pada tiga macam sampel benda uji, yaitu: a) pengujian koefisien tekuk pelat pada pengujian kuat tekan profil *Lips Channal* tanpa pelat dasar, b) pengujian koefisien tekuk pelat pada pengujian kuat tekan profil *Lips Channal* dengan pelat dasar, dan c) pengujian koefisien tekuk pelat pada pengujian kuat tekan kolom tersusun perangkat silang ganda.

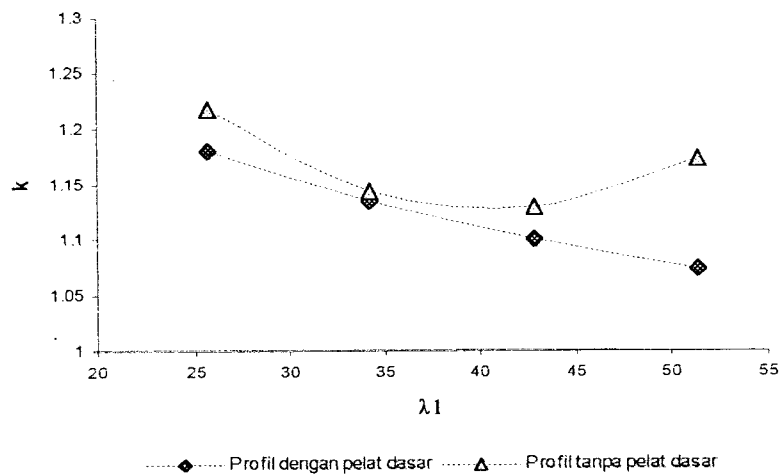
Hasil perhitungan koefisien tekuk pelat pada masing-masing sampel kuat tekan profil *Lips Channal* bentukan dingin disajikan dalam bentuk Tabel 5.43.

Tabel 5.43 Perhitungan koefisien tekuk pelat pada pengujian kuat tekan profil

Lips Channal

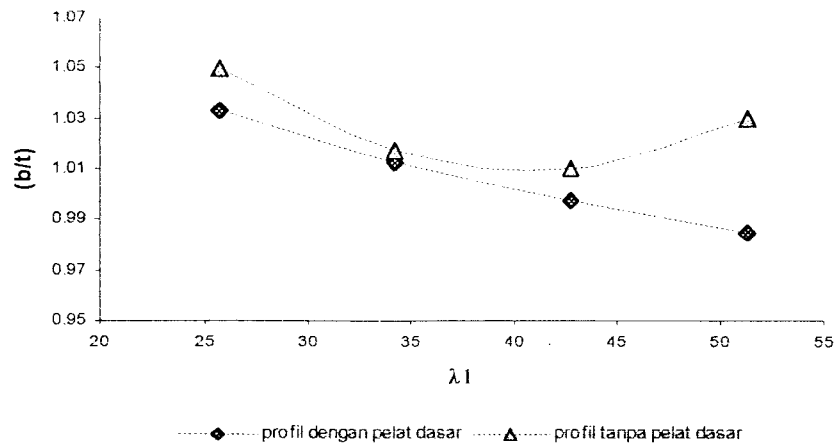
| No | L_y/r_y | Kuat tekan profil dengan pelat dasar | | | | Kuat tekan profil tanpa pelat dasar | | | |
|----|-----------|--------------------------------------|----------|--------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|--------|-------------------------------|
| | | P_{cr} | F_{cr} | k | $(b/t) \times \sqrt{E / F_y}$ | P_{cr} | F_{cr} | k | $(b/t) \times \sqrt{E / F_y}$ |
| | | (kg) | Mpa | | | (kg) | Mpa | | |
| 1 | 25.66 | 1355.5055 | 85.3499 | 1.1801 | 1.0329 | 1398.7301 | 88.0715 | 1.2177 | 1.0492 |
| 2 | 34.22 | 1303.0485 | 82.0469 | 1.1344 | 1.0127 | 1313.7438 | 82.7203 | 1.1438 | 1.0169 |
| 3 | 42.77 | 1263.8082 | 79.5761 | 1.1003 | 0.9973 | 1296.2821 | 81.6208 | 1.1286 | 1.0101 |
| 4 | 51.33 | 1232.5895 | 77.6104 | 1.0731 | 0.9850 | 1346.3041 | 84.7705 | 1.1721 | 1.0294 |

Dari data koefisien tekuk pelat pada Tabel 5.43 disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.54.



Gambar 5.50 Grafik Perbandingan nilai k profil *Lips Channal*

Dari data rasio b/t disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.51.



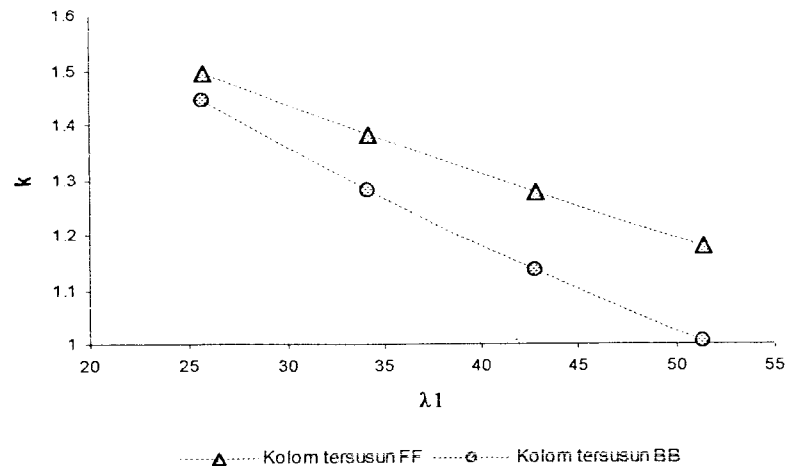
Gambar 5.51 Grafik perbandingan nilai rasio b/t profil *Lips Channel*

Hasil perhitungan koefisien tekuk pelat pada masing-masing sampel kuat tekan kolom tersusun silang ganda disajikan dalam bentuk Tabel 5.44.

Tabel 5.44 Perhitungan koefisien tekuk pelat pada pengujian kolom tersusun perangkat silang ganda

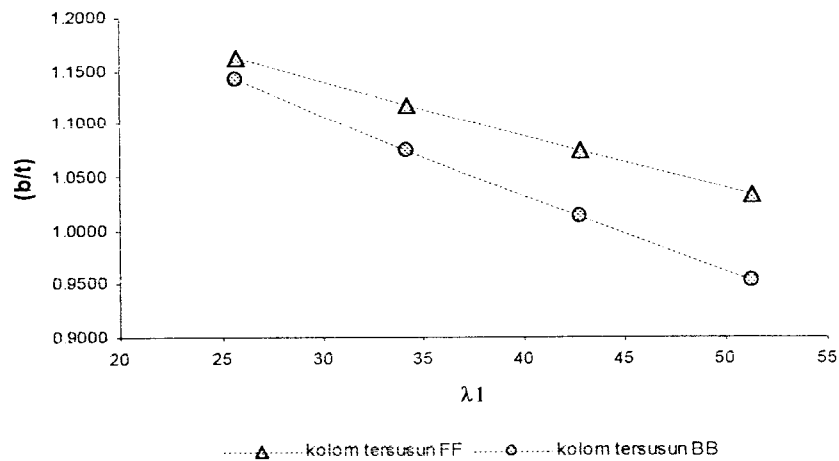
| No | λ_1 | kolom tersusun <i>front to front</i> | | | | kolom tersusun <i>back to back</i> | | | |
|----|-------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------|------------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------|
| | | P_{cr} (kg) | F_{cr} (MPa) | k $\times \sqrt{E / E_y}$ | (b/t) | P_{cr} (kg) | F_{cr} (MPa) | k $\times \sqrt{E / E_y}$ | (b/t) |
| 1 | 25.66 | 3431.4934 | 108.0326 | 1.4937 | 1.1621 | 3314.8087 | 104.3590 | 1.4429 | 1.1421 |
| 2 | 34.22 | 3171.7891 | 99.8564 | 1.3807 | 1.1172 | 2938.1613 | 92.5012 | 1.2790 | 1.0753 |
| 3 | 42.77 | 2931.7399 | 92.2990 | 1.2762 | 1.0741 | 2604.3108 | 81.9907 | 1.1337 | 1.0124 |
| 4 | 51.33 | 2709.8582 | 85.3136 | 1.1796 | 1.0327 | 2308.3943 | 72.6744 | 1.0049 | 0.9531 |

Dari data koefisien tekuk pelat pada Tabel 5.44 disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.52.



Gambar 5.52 Grafik Perbandingan nilai k kolom tersusun silang ganda

Dari data rasio b/t disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.53.



Gambar 5.53 Grafik perbandingan nilai rasio b/t kolom tersusun silang ganda

Persyaratan rasio b/t berdasarkan penelitian yang dikemukakan oleh Barker dan Puckett (1997) terdapat pada Gambar 3.6.

Hasil perhitungan pada Tabel 5.44 mendekati sama dengan persyaratan yang dikemukakan Barker dan Puckett (1997) untuk kolom berpenampang kotak seperti pada Gambar 3.6. Berdasarkan kondisi tersebut dapat diambil kesimpulan, bahwa profil yang digunakan memenuhi syarat, nilai koefisien tekuk pelat k sesuai dengan asumsi berdasarkan teori.

5.2.2.6 Perhitungan modulus tangen

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.

Hasil dari perhitungan modulus tangen kolom tersusun silang ganda disajikan dalam Tabel 5.45.a dan Tabel 5.45.b.

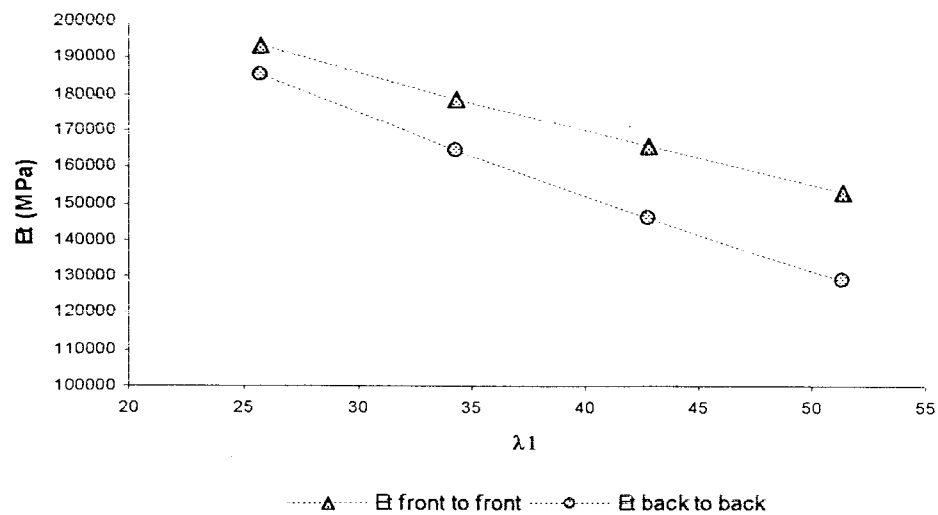
Tabel 5.45.a Perhitungan modulus tangen (E_t) untuk kolom tersusun silang ganda
front to front

| Benda Uji | λ_t | P_{cr} (kg) | $F_{cr\ gab}$ (MPa) | E_t (MPa) |
|-----------|-------------|---------------|---------------------|-------------|
| Kolom 1 | 25.663 | 3431.4934 | 108.03 | 193511.46 |
| Kolom 2 | 34.217 | 3171.7891 | 99.86 | 178866.01 |
| Kolom 3 | 42.772 | 2931.7399 | 92.30 | 165328.97 |
| Kolom 4 | 51.326 | 2709.8582 | 85.31 | 152816.44 |

Tabel 5.45.b Perhitungan modulus tangen (E_t) untuk kolom tersusun silang ganda
back to back

| Benda Uji | λ_t | P_{cr} (kg) | $F_{cr\ gab}$ (MPa) | E_t (MPa) |
|-----------|-------------|---------------|---------------------|-------------|
| Kolom 5 | 25.663 | 3314.81 | 104.36 | 185448.69 |
| Kolom 6 | 34.217 | 2938.16 | 92.50 | 164376.96 |
| Kolom 7 | 42.772 | 2604.31 | 81.99 | 145699.52 |
| Kolom 8 | 51.326 | 2308.39 | 72.67 | 129144.31 |

Data hasil perhitungan modulus tangen kolom tersusun pada Tabel 5.45.a dan Tabel 5.45.b disajikan dalam bentuk grafik perbandingan modulus tangen untuk kedua penampang kolom berikut ini.



Gambar 5.54 Grafik perbandingan modulus tangen (E_t) kolom tersusun silang ganda *front to front* dengan *back to back*

Dari Gambar 5.54 nampak bahwa modulus tangen *front to front* mempunyai nilai yang lebih besar dibanding modulus tangen *back to back*, hal ini disebabkan Tegangan maksimum yang terjadi pada kolom tersusun *front to front* lebih besar dibandingkan dengan kolom tersusun *back to back*.

5.3 Perhitungan teoritis

Perhitungan teoritis dilakukan dengan menggunakan metode *Bleich* dan metode AISC.

5.3.1 Perhitungan 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}) tekuk keseluruhan adalah persamaan (3.10). Besar F_{cr} tergantung kelangsingan L/r sehingga F_{cr} selalu berubah sebanding dengan pertambahan angka kelangsingan (L/r).

Dari hasil perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) kolom tersusun dengan menggunakan metode *Bleich*, diperoleh data yang disajikan dalam Tabel 5.46.a dan Tabel 5.46.b.

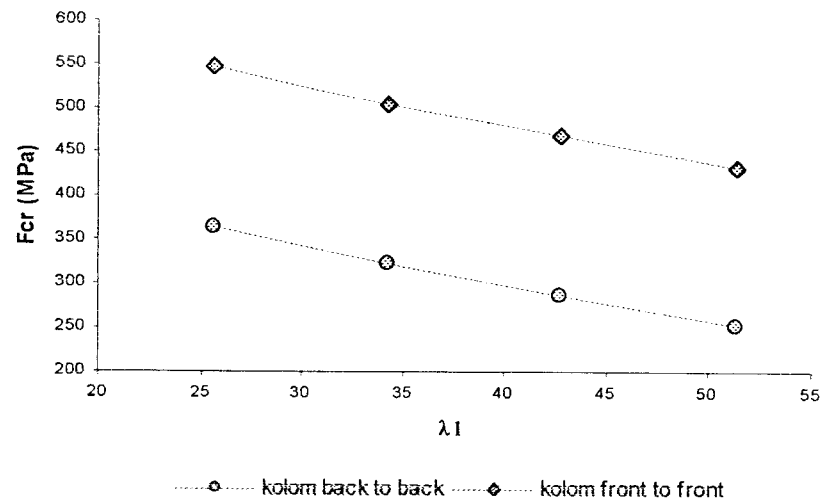
Tabel 5.46.a Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) dengan metode *Bleich* untuk kolom tersusun *front to front*

| Benda uji | λ_t | E_t (MPa) | k | P_{cr} (kg) | F_{cr} (MPa) |
|-----------|-------------|-------------|----------------|---------------|----------------|
| Kolom 1 | 25.663 | 193511.46 | 1.000000742047 | 17375.25456 | 547.0194 |
| Kolom 2 | 34.217 | 178866.01 | 1.000000664870 | 16060.25278 | 505.6196 |
| Kolom 3 | 42.772 | 165328.97 | 1.000000605349 | 14844.77303 | 467.3531 |
| Kolom 4 | 51.326 | 152816.44 | 1.000000554859 | 13721.28355 | 431.9826 |

Tabel 5.46.b Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) dengan metode *Bleich* untuk kolom tersusun *back to back*

| Benda uji | λ_t | E_t (MPa) | k | P_{cr} (kg) | F_{cr} (MPa) |
|-----------|-------------|-------------|----------------|---------------|----------------|
| Kolom 5 | 25.663 | 185448.69 | 1.000000711129 | 11533.9376 | 363.1192 |
| Kolom 6 | 34.217 | 164376.96 | 1.000000611013 | 10223.3883 | 321.8596 |
| Kolom 7 | 42.772 | 145699.52 | 1.000000533476 | 9061.75043 | 285.2881 |
| Kolom 8 | 51.326 | 129144.31 | 1.000000468908 | 8032.10404 | 252.8721 |

Dari data pada Tabel 5.46.a dan Tabel 5.46.b disajikan dalam grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) kolom tersusun yang ditunjukkan pada Gambar 5.55.



Gambar 5.55 Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) kolom tersusun silang ganda *front to front* dengan *back to back*

Dari Grafik di atas, nampak bahwa kolom tersusun silang ganda yang dirancang saling berhadapan (*front to front*) mempunyai kapasitas yang lebih besar dalam menahan gaya tekan aksial dibandingkan dengan kolom tersusun silang ganda yang dirancang saling membelakangi (*back to back*).

5.3.2 Perhitungan tegangan berdasarkan AISC

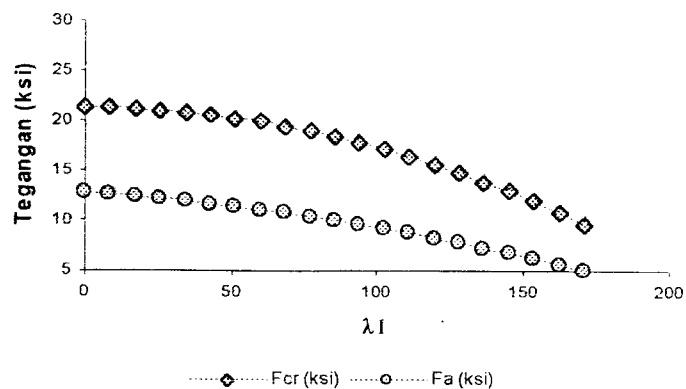
Sebagai bahan perbandingan pada penelitian ini, perencanaan hitungan tegangan juga menggunakan perencanaan AISC. Pada perencanaan AISC hitungan tegangan ijin sangat mempertimbangkan pengaruh tekuk lokal. Hal ini dibuktikan dengan tingginya faktor keamanan yang dianjurkan.

Hasil perhitungan dilakukan untuk semua nilai L_1/r_1 . Besar tegangan kritis F_{cr} dan tegangan ijin F_a ditampilkan dalam Tabel 5.47 dibawah ini.

Tabel 5.47 Perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) dengan sistem perencanaan AISC

| L_1 (inch) | λ_1 | F_y (ksi) | Q_x | Q_y | Q | C_c | F_{cr} (ksi) | FS | F_a (ksi) |
|-----------------|-------------|----------------|-------|-------|-------|---------|-------------------|-------|----------------|
| 0.000 | 0.000 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 21.349 | 1.667 | 12.809 |
| 0.394 | 8.554 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 21.320 | 1.686 | 12.643 |
| 0.787 | 17.109 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 21.232 | 1.706 | 12.448 |
| 1.181 | 25.663 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 21.087 | 1.725 | 12.224 |
| 1.575 | 34.217 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 20.882 | 1.744 | 11.974 |
| 1.969 | 42.772 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 20.620 | 1.762 | 11.700 |
| 2.362 | 51.326 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 20.299 | 1.780 | 11.401 |
| 2.756 | 59.880 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 19.920 | 1.798 | 11.081 |
| 3.150 | 68.435 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 19.483 | 1.814 | 10.738 |
| 3.543 | 76.989 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 18.987 | 1.830 | 10.375 |
| 3.937 | 85.543 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 18.433 | 1.845 | 9.992 |
| 4.331 | 94.098 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 17.820 | 1.859 | 9.589 |
| 4.724 | 102.652 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 17.150 | 1.871 | 9.166 |
| 5.118 | 111.206 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 16.421 | 1.882 | 8.724 |
| 5.512 | 119.760 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 15.633 | 1.892 | 8.262 |
| 5.906 | 128.315 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 14.788 | 1.900 | 7.781 |
| 6.299 | 136.869 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 13.884 | 1.907 | 7.280 |
| 6.693 | 145.423 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 12.921 | 1.912 | 6.757 |
| 7.087 | 153.978 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 11.901 | 1.915 | 6.213 |
| 7.480 | 162.532 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 10.822 | 1.917 | 5.646 |
| 7.874 | 171.086 | 21.349 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 9.684 | 1.916 | 5.055 |

Data pada Tabel 5.47 disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.56.



Gambar 5.56 Grafik tegangan berdasarkan AISC

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

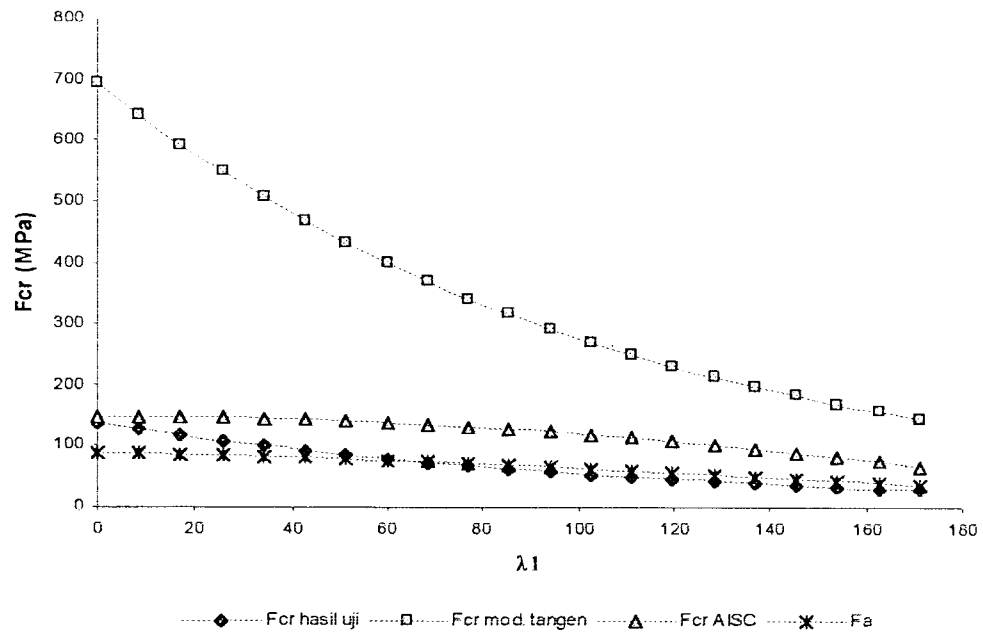
5.3.3 Perbandingan tegangan teoritis dengan tegangan hasil pengujian dan tegangan AISC

Tegangan yang mampu ditahan oleh kolom bentukan dingin adalah seperti hasil dari pengujian, sedangkan tegangan teoritis didapat berdasarkan hitungan dengan menggunakan metode *Bleich*, kemudian keduanya dibandingkan dengan tegangan AISC dan tegangan ijin berdasarkan AISC. Perbandingan tegangan hasil pengujian, tegangan metode *Bleich*, tegangan AISC dan tegangan ijin AISC untuk kolom tersusun silang ganda *front to front* disajikan dalam bentuk Tabel 5.48 dan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.57.

Tabel 5.48 Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan F_{cr} teori *Bleich* dan F_{cr} AISC untuk kolom tersusun silang ganda *front to front*

| L_1/r_1 | Pengujian Front to Front | | Metode Bleich | | AISC | |
|-----------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-----------|
| | P_{cr} (kg) | F_{cr} (MPa) | Modulus tangen | | F_{cr} MPa | F_a MPa |
| | | | P_{cr} (kg) | F_{cr} (MPa) | | |
| 0.000 | 4345.000 | 136.792 | 22000.798 | 692.644 | 147.167 | 88.300 |
| 8.554 | 4016.159 | 126.439 | 20335.669 | 640.221 | 146.966 | 87.156 |
| 17.109 | 3712.206 | 116.870 | 18796.628 | 591.768 | 146.363 | 85.807 |
| 25.663 | 3431.256 | 108.025 | 17374.055 | 546.982 | 145.358 | 84.267 |
| 34.217 | 3171.570 | 99.849 | 16059.144 | 505.585 | 143.951 | 82.545 |
| 42.772 | 2931.537 | 92.293 | 14843.748 | 467.321 | 142.143 | 80.652 |
| 51.326 | 2709.671 | 85.308 | 13720.336 | 431.953 | 139.932 | 78.596 |
| 59.880 | 2504.596 | 78.851 | 12681.947 | 399.262 | 137.319 | 76.385 |
| 68.435 | 2315.042 | 72.884 | 11722.145 | 369.044 | 134.305 | 74.025 |
| 76.989 | 2139.834 | 67.368 | 10834.984 | 341.114 | 130.888 | 71.522 |
| 85.543 | 1977.885 | 62.269 | 10014.965 | 315.298 | 127.069 | 68.880 |
| 94.098 | 1828.194 | 57.556 | 9257.007 | 291.435 | 122.849 | 66.101 |
| 102.652 | 1689.831 | 53.200 | 8556.413 | 269.379 | 118.227 | 63.189 |
| 111.206 | 1561.941 | 49.174 | 7908.842 | 248.991 | 113.202 | 60.142 |
| 119.760 | 1443.729 | 45.452 | 7310.281 | 230.147 | 107.776 | 56.962 |
| 128.315 | 1334.464 | 42.012 | 6757.020 | 212.729 | 101.948 | 53.645 |
| 136.869 | 1233.468 | 38.833 | 6245.631 | 196.629 | 95.718 | 50.189 |
| 145.423 | 1140.116 | 35.894 | 5772.946 | 181.748 | 89.085 | 46.589 |
| 153.978 | 1053.829 | 33.177 | 5336.035 | 167.993 | 82.051 | 42.838 |
| 162.532 | 974.073 | 30.666 | 4932.190 | 155.279 | 74.615 | 38.930 |
| 171.086 | 900.352 | 28.345 | 4558.909 | 143.527 | 66.777 | 34.855 |

Data pada Tabel 5.48 dapat disajikan dalam bentuk grafik perbandingan antara F_{cr} hasil pengujian dengan F_{cr} hasil analisis dengan menggunakan metode *Bleich* dan F_{cr} hasil analisis dengan menggunakan metode AISC. Grafik tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.57.



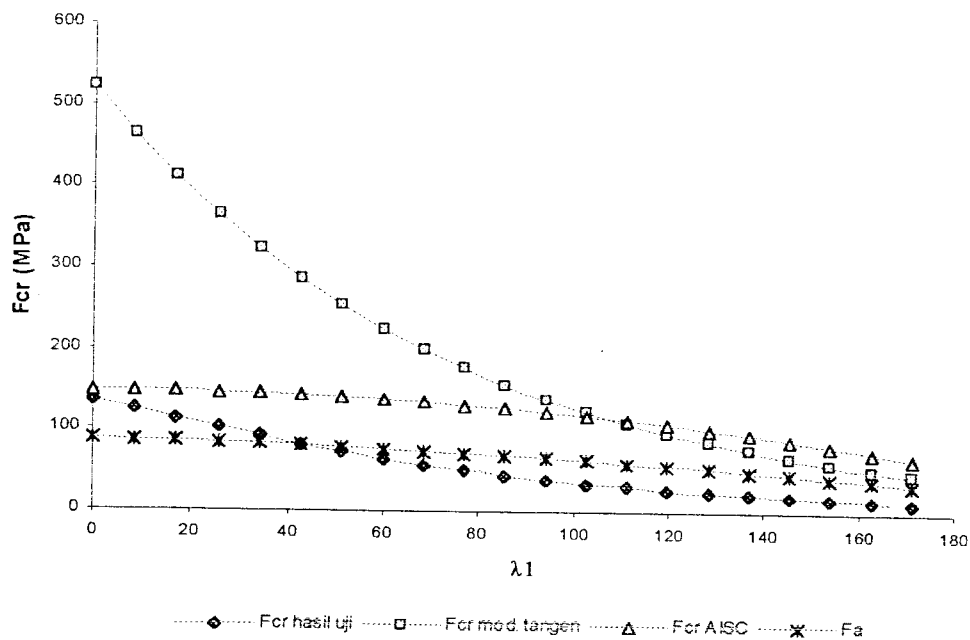
Gambar 5.57 Grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan F_{cr} teori *Bleich* dan F_{cr} AISC untuk kolom tersusun silang ganda *front to front*

Perbandingan tegangan hasil pengujian, tegangan metode *Bleich*, tegangan AISC dan tegangan ijin AISC untuk kolom tersusun silang ganda *back to back* disajikan dalam bentuk Tabel 5.49 dan grafik pada Gambar 5.58.

Tabel 5.49 Perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan F_{cr} teori *Bleich* dan F_{cr} AISC untuk kolom tersusun silang ganda *back to back*

| L_1 | A_1 | Pengujian Back to Back | | Metode Bleich | | AISC | |
|-------|---------|------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-----------|
| | | P_{cr} (kg) | F_{cr} (MPa) | Modulus tangen | | F_{cr} MPa | F_a MPa |
| | | | | P_{cr} (kg) | F_{cr} (MPa) | | |
| 0 | 0.000 | 4307.300 | 135.605 | 16560.791 | 521.378 | 147.167 | 88.300 |
| 10 | 8.554 | 3950.370 | 124.368 | 14679.022 | 462.135 | 146.966 | 87.156 |
| 20 | 17.109 | 3595.100 | 113.183 | 13011.120 | 409.625 | 146.363 | 85.807 |
| 30 | 25.663 | 3314.460 | 104.348 | 11532.726 | 363.081 | 145.358 | 84.267 |
| 40 | 34.217 | 2937.853 | 92.491 | 10222.314 | 321.826 | 143.951 | 82.545 |
| 50 | 42.772 | 2604.037 | 81.982 | 9060.799 | 285.258 | 142.143 | 80.652 |
| 60 | 51.326 | 2308.152 | 72.667 | 8031.260 | 252.846 | 139.932 | 78.596 |
| 70 | 59.880 | 2045.886 | 64.410 | 7118.704 | 224.116 | 137.319 | 76.385 |
| 80 | 68.435 | 1813.421 | 57.091 | 6309.837 | 198.651 | 134.305 | 74.025 |
| 90 | 76.989 | 1607.370 | 50.604 | 5592.878 | 176.079 | 130.888 | 71.522 |
| 100 | 85.543 | 1424.732 | 44.854 | 4957.384 | 156.072 | 127.069 | 68.880 |
| 110 | 94.098 | 1262.846 | 39.758 | 4394.098 | 138.338 | 122.849 | 66.101 |
| 120 | 102.652 | 1119.354 | 35.240 | 3894.816 | 122.619 | 118.227 | 63.189 |
| 130 | 111.206 | 992.167 | 31.236 | 3452.265 | 108.687 | 113.202 | 60.142 |
| 140 | 119.760 | 879.431 | 27.687 | 3059.999 | 96.337 | 107.776 | 56.962 |
| 150 | 128.315 | 779.505 | 24.541 | 2712.305 | 85.391 | 101.948 | 53.645 |
| 160 | 136.869 | 690.933 | 21.752 | 2404.118 | 75.688 | 95.718 | 50.189 |
| 170 | 145.423 | 612.425 | 19.281 | 2130.948 | 67.088 | 89.085 | 46.589 |
| 180 | 153.978 | 542.838 | 17.090 | 1888.818 | 59.465 | 82.051 | 42.838 |
| 190 | 162.532 | 481.158 | 15.148 | 1674.200 | 52.708 | 74.615 | 38.930 |
| 200 | 171.086 | 426.486 | 13.427 | 1483.968 | 46.719 | 66.777 | 34.855 |

Data pada Tabel 5.49 dapat disajikan dalam bentuk grafik perbandingan antara F_{cr} hasil pengujian dengan F_{cr} hasil analisis dengan menggunakan metode *Bleich* dan F_{cr} hasil analisis dengan menggunakan metode AISC. Grafik tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.58.



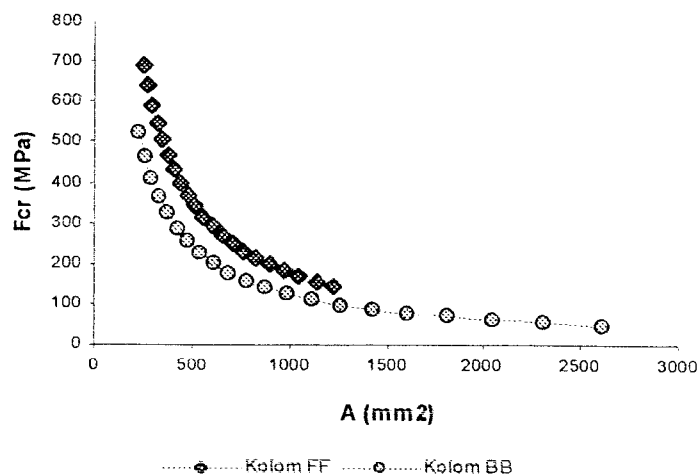
Gambar 5.58 Grafik perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian dengan F_{cr} teori *Bleich* dan F_{cr} AISC untuk kolom tersusun silang ganda *back to back*

Pada Gambar 5.57 dan Gambar 5.58 nampak bahwa nilai F_{cr} hasil pengujian berada dibawah nilai F_{cr} metode *Bleich* dengan menggunakan modulus tangen. Hal tersebut dikarenakan teori tegangan kritis (F_{cr}) *Bleich* tidak memperhatikan tekuk lokal pada elemen pembentuk kolom tersusun. Hasil penelitian dan analisis menunjukkan bahwa benda uji kolom tersusun silang ganda *front to front* dan *back to back* mengalami tekuk lokal. Gambar 5.57 dan Gambar 5.58 menunjukkan bahwa tegangan kritis (F_{cr}) berdasarkan hasil pengujian yang dapat di tahan oleh kolom tersusun silang ganda *front to front* dan *back to back* lebih rendah dari tegangan kritis (F_{cr}) AISC. Gambar 5.57 dan Gambar 5.58 juga memperlihatkan bahwa tegangan kritis (F_{cr}) hasil pengujian diatas tegangan ijin

(F_a) AISC hal ini menunjukkan bahwa angka keamanan masih memadai untuk digunakan, namun setelah $L_1/r_1 > 50 F_{cr}$ hasil pengujian berada dibawah F_a hal tersebut menunjukkan bahwa kolom dengan $\lambda_1 > 50$ sudah tidak layak digunakan dalam konstruksi.

5.4 Hubungan Tegangan Kritis (F_{cr}) Dengan Faktor-faktor Yang Mempengaruhinya

Berdasarkan rumus *Euler* pada persamaan (3.8) sampai dengan persamaan (3.10) dapat diperoleh grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dengan luas penampang (A), panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung (L_1), faktor tekuk (k), angka kelangsingan (λ_1) dan momen inersia (I). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.59 sampai dengan Gambar 5.63.



Gambar 5.59 Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan luas penampang (A)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran guna melengkapi penelitian ini.

6.1. Kesimpulan

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

1. Kapasitas kolom tersusun profil *Light Lipped Channal* yang dirangkai secara *front to front* dan *back to back* dipengaruhi oleh kelangsingan L_1/r_1 , semakin besar nilai kelangsingan (λ_1) semakin kecil kapasitas kolom.
2. Tidak ada keseragaman bentuk deformasi kolom yang disebabkan oleh kondisi dukungan pada saat pengujian, hal ini tidak sesuai dengan asumsi sendi-sendi karena keterbatasan alat pendukung pengujian.
3. Kapasitas (tegangan kritis F_{cr}) terbesar adalah mendekati atau sama dengan tegangan leleh $F_y = 147,2$ MPa. Perbandingan antara tegangan kritis (F_{cr}) kolom tersusun *front to front* dengan tegangan kritis (F_{cr}) kolom tersusun *back to back* adalah 1,2313: 1.
4. Angka kekakuan paling besar bagi kolom *front to front* dimiliki oleh benda uji kolom 4 dengan $\lambda_1 = 51,33$ dengan angka kekakuan sebesar $1,7097 \cdot 10^{10}$, sedangkan angka kekakuan paling besar bagi kolom *back to*

back dimiliki oleh benda uji kolom 8 dengan $\lambda_1 = 51,33$ dengan angka kekakuan sebesar $0,20096 \cdot 10^{10}$. Perbandingan kekakuan antara kolom tersusun *front to front* dengan kekakuan kolom tersusun *back to back* adalah 5,683:1.

5. Kolom 1 dengan $\lambda_1 = 25,66$ mempunyai kekuatan yang lebih besar daripada benda uji kolom *front to front* yang lain dengan momen sebesar 1064,385 kN.m. Sedangkan kolom 5 dengan $\lambda_1 = 25,66$ mempunyai kekuatan yang lebih besar daripada benda uji kolom *back to back* yang lain dengan momen sebesar 433,9944 kN.m. Perbandingan kekuatan antara kolom tersusun *front to front* dengan kekakuan kolom tersusun *back to back* adalah 1,8442:1.
6. Kolom 2 dengan $\lambda_1 = 34,22$ mempunyai daktilitas paling besar dibanding benda uji kolom *front to front* yang lain, yaitu sebesar 3,019952. Sedangkan kolom 8 dengan $\lambda_1 = 51,33$ mempunyai daktilitas paling besar dibanding benda uji kolom *back to back* yang lain, yaitu sebesar 3,019952. Perbandingan daktilitas antara kolom tersusun *front to front* dengan kekakuan kolom tersusun *back to back* adalah 0,78765:1.
7. Tegangan kritis yang terjadi berdasarkan hasil pengujian laboratorium berada dibawah hitungan teoritis *Bleich*, sehingga dapat disimpulkan bahwa tekuk yang terjadi pada benda uji kolom tersusun adalah tekuk lokal.

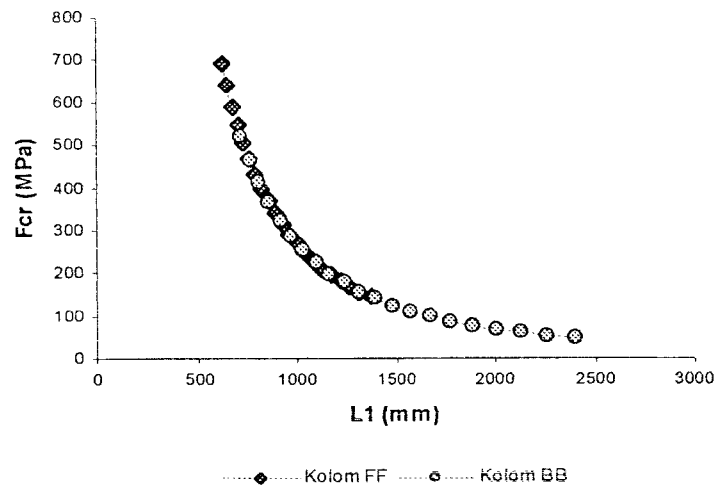
8. Tekuk lokal yang terjadi pada benda uji kolom tersusun disebabkan elemen pelat yang tipis dan sampel telah mengalami lentur akibat pengelasan.

6.2. Saran

Untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang analisis perbandingan struktur kolom tersusun silang ganda yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut ini.

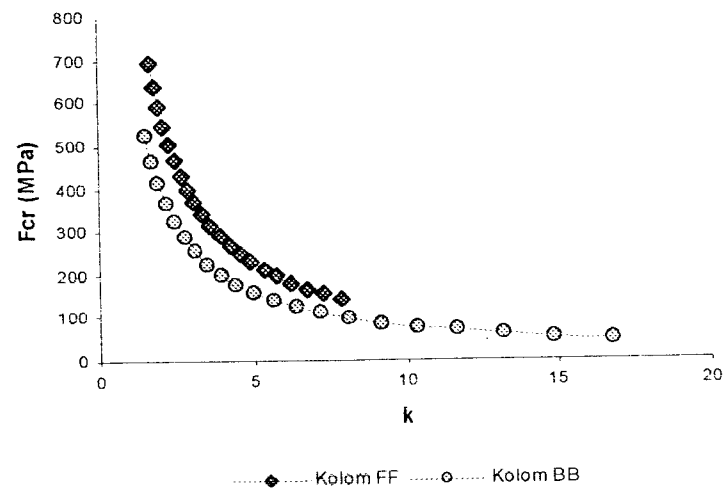
1. Pembuatan benda uji dilakukan oleh tukang, maka pada pelaksanaan pembuatan sebaiknya diawasi untuk menghindari terjadinya kesalahan.
2. Pada pelaksanaan pengujian sebaiknya peletakan *dial gauge* harus tepat.
3. Pada pelaksanaan pengujian perlu diperhatikan ketelitian pembacaan pembebanan dan dial lendutan.
4. Sebaiknya pembebanan dilakukan sampai terjadinya patah pada elemen baja.
5. Penelitian ini baru menggunakan data lendutan sehingga belum diketahui diagram tegangan-regangan belum diketahui, disarankan dipasang *Strain Gauge* untuk mengetahui distribusi tegangan-regangan.

Berdasarkan Gambar 5.59 dapat disimpulkan, bahwa semakin luas penampang kolom (A), maka tegangan kritis (F_{cr}) yang terjadi pada kolom semakin kecil.



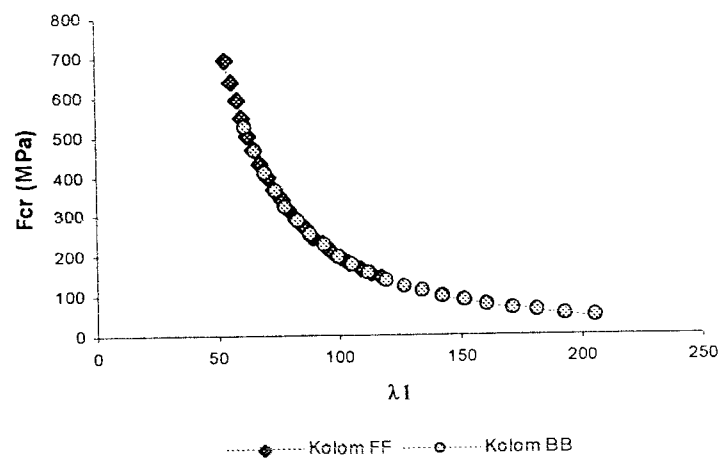
Gambar 5.60 Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung (L_1)

Berdasarkan Gambar 5.60 dapat disimpulkan, bahwa semakin panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung (L_1), maka tegangan kritis (F_{cr}) yang terjadi pada kolom semakin kecil.



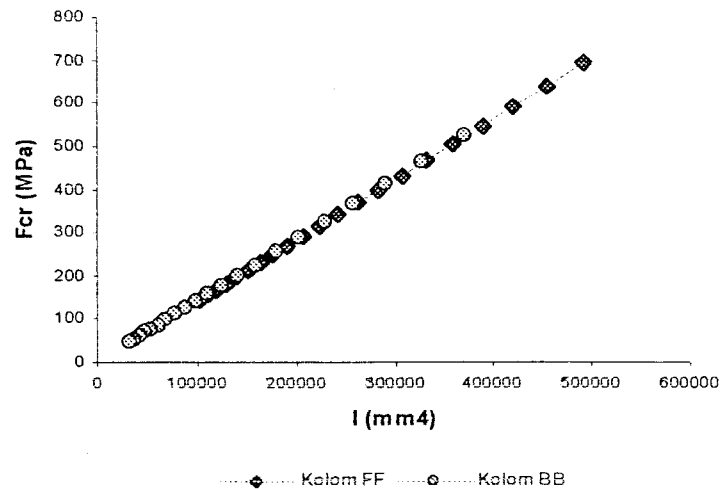
Gambar 5.61 Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan faktor tekuk (k)

Berdasarkan Gambar 5.61 dapat disimpulkan, bahwa semakin besar factor tekuk (k), maka tegangan kritis (F_{cr}) yang terjadi pada kolom semakin kecil.



Gambar 5.62 Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan angka kelangsingan (λ_1)

Berdasarkan Gambar 5.62 dapat disimpulkan, bahwa semakin besar angka kelangsingan (λ_1), maka tegangan kritis (F_{cr}) yang terjadi pada kolom akan semakin kecil.



Gambar 5.63 Grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dan momen inersia (I)

Berdasarkan Gambar 5.63 dapat disimpulkan, bahwa semakin besar momen inersia (I) yang terjadi pada kolom, maka tegangan kritis (F_{cr}) yang terjadi pada kolom akan semakin besar pula.

DAFTAR PUSTAKA

- _____ (1973), **Manual of Steel Construction** Seventh Edition, American Institute of Steel Construction Inc 1973, New York.
- _____ (2000), **Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung**, Bandung.
- Bleich, F. (1952), **Buckling Strength of Metal Structures**, Mc Graw-Hill Books Company Inc, New York.
- Bruneau, M. dkk. (1978), **Ductile Design of Steel Structure**. McGraw-Hill, USA.
- Gaylord, E. H. Jr. and Charles N. Gaylord (1972), **Design of Steel Structures** Second Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo.
- Gere, J. M. dan S. P. Timoshenko (2000), **Mekanika Bahan** Jilid II Edisi Keempat, Airlangga, Jakarta.
- Kristiawan, B. dan D. T. Hadiono (2003), **Kapasitas Kolom Tersusun Dari Profil Light Lipped Channal Bentuk Dingin**, Tugas Akhir Strata I, Jurusan Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- PADOSBAJAYO (1992), **Pengetahuan Dasar Struktur Baja** Edisi Kedua, Yogyakarta.
- Salmon, C. G. dan J. E. Johnson (1990), **Struktur Baja Desain Dan Perilaku** Jilid 1 Edisi Kedua, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Singer, F. L. dan Andrew, P. (1985), **Kekuatan Bahan** Edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.

Syarifah, A. dan T. Haryanto (2002), **Pengaruh Batang Perangkai Terhadap Kuat Tekan Kolom Tersusun Profil Siku**, Tugas Akhir Strata I, Jurusan Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Tall, L. (1972), **Structural Steel design** Second Edition, The Ronald Press Company, New York.

Trahair, N.S. and M. A. Bradford (1977), **The Behaviour And Design of Steel Structures** Second Edition, Chapman and Hall, New York.

LAMPIRAN 1

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

| NO. | N A M A | NO. MHS. | BID.STUDI |
|-----|--------------------|----------|--------------|
| 1 | Nani Rahayu | 97511324 | Teknik Sipil |
| 2 | Lika Mustika Hasan | 97511347 | Teknik Sipil |

JUDUL TUGAS AKHIR :

.....
 .Kapasitas kolom tersusun dari profil Lips Chanal bentukan dingin.

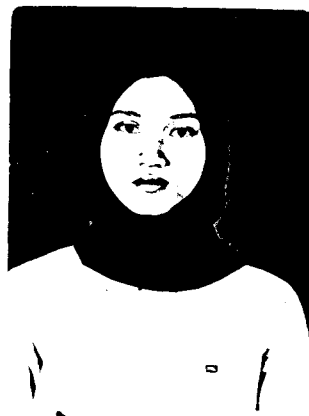
PERIODE II : DESEMBER - MEI

TAHUN : 2002 / 2003

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

DOSEN PEMBIMBING I : ..Jr. H. Sarwidi, MSc E, PhD.

DOSEN PEMBIMBING II : ..Ir. Fatkhurrahman N., MS.



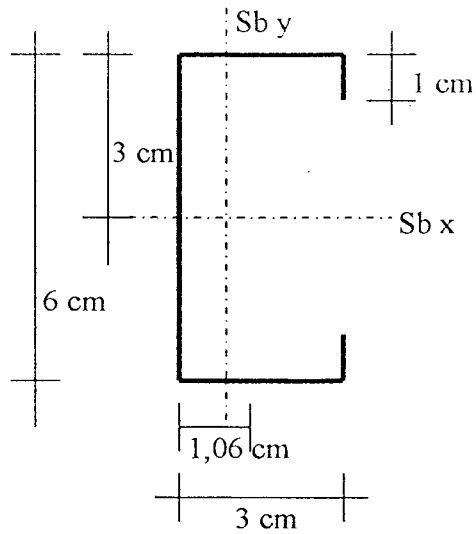
Yogyakarta, ...27, Feb. 2003....
 a.n. Dekan,

(Signature)
 (.....Ir. H. Munachir, MS.....)

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

LAMPIRAN 2

Properti Dimensi Benda Uji



Properti *Light Lips Channal*:

$$\text{luas penampang } (A) : 155,8 \text{ mm}^2,$$

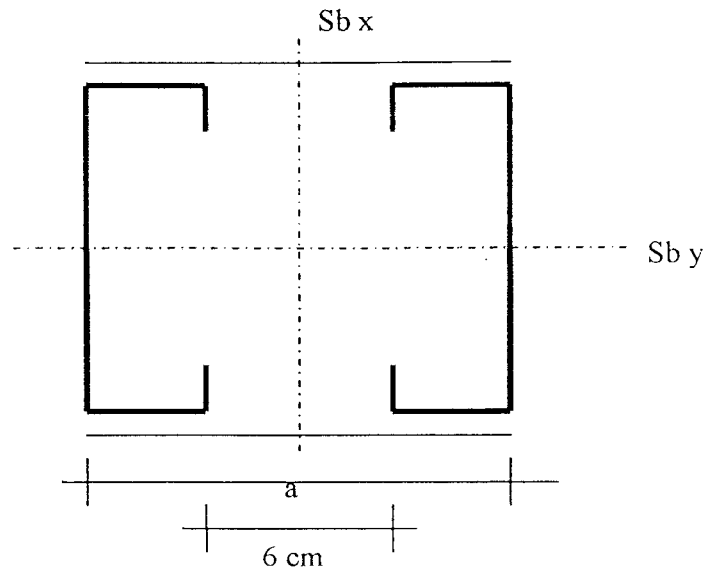
$$I_x : 93140 \text{ mm}^4,$$

$$I_y : 21300 \text{ mm}^4,$$

$$\text{radius girasi } (r) = \sqrt{\frac{I}{A}},$$

$$\begin{aligned} \text{radius girasi terhadap sumbu } x (r_x) &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{93140}{155,8}} \\ &= 24,4503 \text{ mm}, \end{aligned}$$

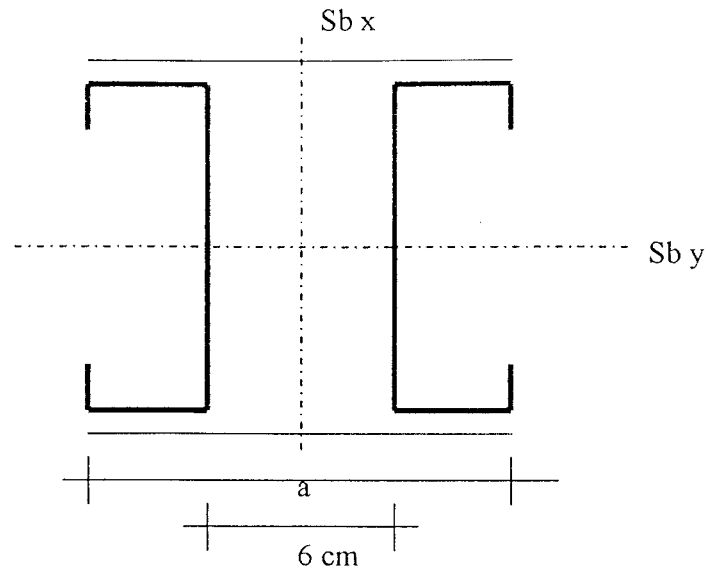
$$\begin{aligned} \text{radius girasi terhadap sumbu } y (r_y) &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{21300}{155,8}} \\ &= 11,69 \text{ mm}. \end{aligned}$$



Properti *Light Lips Channal* ganda *Front to Front* :

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang gabungan } (A_{gab}) &= 2.A \\
 &= 2.155,8 \\
 &= 311,6 \text{ mm}^2 \\
 h &= a - 2C_y \\
 &= 120 - 2.10,6 \\
 &= 98,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen Inersia } I_o &= \frac{A.h^2}{2} \\
 &= (155,8.98,8^2)/2 \\
 &= 760416,176 \text{ mm}^4 \\
 I &= I_o + 2I_1 \\
 &= 760416,176 + 2.21300 \\
 &= 803016,176 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$



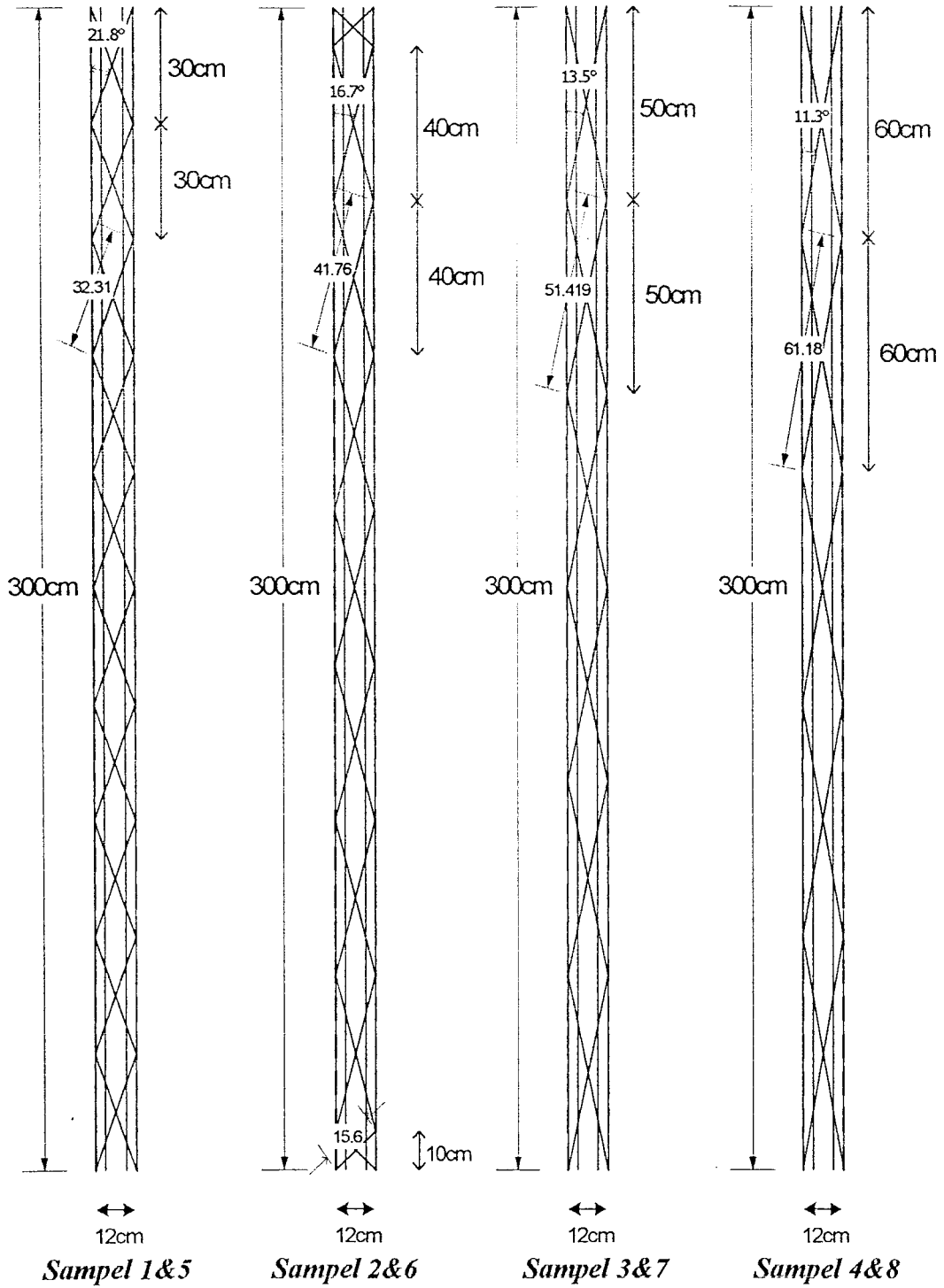
Properti *Light Lips Channal* ganda *Back to Back* :

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang gabungan } (A_{gab}) &= 2.A \\
 &= 2.155,8 \\
 &= 311,6 \text{ mm}^2 \\
 h &= 60 + 2C_y \\
 &= 60 + 2.10,6 \\
 &= 81,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

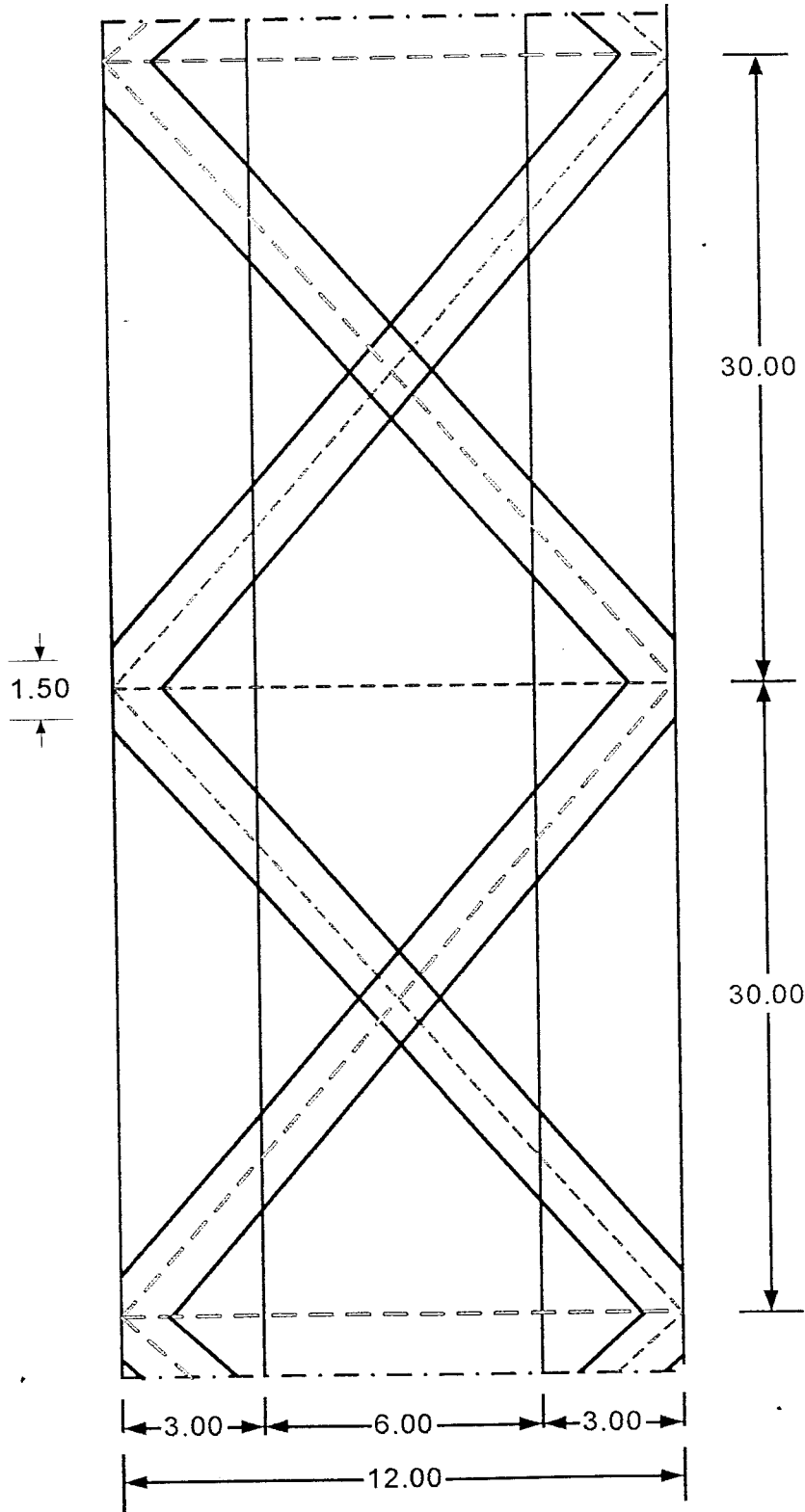
$$\begin{aligned}
 \text{Momen Inersia } I_o &= \frac{A.h^2}{2} \\
 &= (155,8.81,2^2)/2 \\
 &= 512628,976 \text{ mm}^4 \\
 I &= I_o + 2I_1 \\
 &= 512628,976 + 2.21300 \\
 &= 556228,976 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN 3

BENDA UJI



DETAIL SAMBUNGAN



LAMPIRAN 4

Perhitungan Koefisien Tekuk Pelat (k)

Kolom 1, $\lambda_1=25,66$ pada pengujian kuat tekan kolom tersusun perangkai silang ganda memiliki $F_{cr}=108,0326$ MPa, lebar $b=60$ mm dan tebal $t=1,2$ mm sehingga rasio $b/t=50$, maka

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

$$k = \frac{12 \cdot 108,0326(1 - 0,3^2)(50)^2}{\pi^2 E}$$

$$k = 1.4937$$

Nilai $k = 1.4937$ dimasukkan ke dalam persamaan tegangan kritis pelat (Persamaan 3.1).

$$F_{cr} = 1.4937 \frac{\pi^2 E}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot (b/t)^2}$$

$$F_{cr} = 1.35 \frac{E}{(b/t)^2}$$

$$(b/t)^2 = 1.35 \frac{E}{F_{cr}}$$

Penelitian ini didapatkan nilai F_{cr} sama dengan nilai F_y , persamaan diatas menjadi

$$(b/t)^2 = 1.35 \frac{E}{F_y}$$

$$(b/t) = \sqrt{1.35 \frac{E}{F_y}}$$

$$(b/t) = 1.162 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

LAMPIRAN 5

Perhitungan Modulus Tangen (E_t)

Perhitungan modulus tangen didapatkan dari persamaan :

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

Kolom sampel 1 dengan $\lambda_1=25,66$ pada pengujian kuat tekan kolom tersusun perangkat diagonal *front to front* memiliki $F_{cr}= 108,03$ MPa, lebar $b=60$ mm dan tebal $t=1,2$ mm, sehingga rasio $b/t = 50$.

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

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

$$E_t = \frac{108,03 \cdot (1.300/70,765)^2}{\pi^2}$$

$$E_t = 193511,46 \text{ MPa}$$

LAMPIRAN 6

Perhitungan dengan Metode *Bleich*

Kolom 1 menggunakan profil 2C60x30x10x1,2 mm dengan perangkai dari pelat 15 x 0,2 mm. Dimana profil C mempunyai properties sebagai berikut:

$$A = 155,8 \text{ mm}^2,$$

$$E = 2.10^5 \text{ MPa},$$

$$L = 3000 \text{ mm},$$

$$A_d = 30 \text{ mm}^2,$$

$$L_f = 300 \text{ mm},$$

$$d = 32,311 \text{ mm},$$

$$C_y = 10,6 \text{ mm},$$

$$a = 120 \text{ mm},$$

$$I_y = 21300 \text{ mm}^4,$$

$$I_x = 93140 \text{ mm}^4 \text{ dan}$$

$$r_{min} = 11,69 \text{ mm}.$$

Perangkai silang ganda menggunakan pelat 15 x 0,2 mm, maka

$$h = a - 2 C_y$$

$$= 120 - 2 \cdot 10,6$$

$$= 98,8 \text{ mm}$$

$$I_0 = \frac{A \cdot h^2}{2}$$

$$= 155,8 \cdot 98,8^2 / 2$$

$$= 760416,176 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}
 I &= I_o + 2I_1 \\
 &= 760416,176 + 2.21300 \\
 &= 803016,176 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I_o \cdot d}{I^2 \cdot 2E \cdot L_1 \cdot h^2 \cdot A_d}}$$

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot 193511,46 \cdot 803016,176 \cdot 32,311}{3000^2 \cdot 2.2 \cdot 10^5 \cdot 300.98,8^2 \cdot 30}}$$

$$k = 1.000000742047$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{(k \cdot l)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 193511,46 \cdot 803016,176}{(1,000000742047 \cdot 3000)^2}$$

$$P_{cr} = 17375,25456 \text{ kg}$$

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

$$F_{cr} = \frac{17375,25456 \cdot 9,81}{311,6}$$

$$F_{cr} = 547,0194 \text{ MPa.}$$

LAMPIRAN 7

Perhitungan Tegangan Berdasarkan AISC

Pengaruh tekuk setempat yang terjadi sebelum kekuatan kolom keseluruhan tercapai diperhitungkan dengan mengalikan tegangan maksimum yang dapat dicapai dengan faktor bentuk Q . Faktor bentuk Q dipengaruhi oleh bentuk penampang, dimana :

$$Q = Q_a \cdot Q_s$$

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

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

besar Q_s menurut AISC adalah,

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

Apabila semua elemen penampang diperkuat maka nilai $Q_s = 1,0$. Dalam penelitian ini profil yang digunakan adalah *Lips Channal* ganda yang disatukan secara *front to front* dan *back to back* sehingga membentuk penampang kotak. Semua elemen pelat pembentuknya merupakan elemen yang diperkuat sehingga memiliki nilai $Q_s = 1,0$.

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

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

Pada penelitian ini penampang yang digunakan tegangan leleh $F_y = 21,349$ Ksi memiliki rasio b/t terbesar adalah 50 (lebar profil 60 mm dan tebal 1,2 mm),

$$\left(\frac{60}{1,2}\right) > \left(\frac{238}{\sqrt{21,349}}\right)$$

$$b/t = 50 < 51,5096$$

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

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

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

Apabila $C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{Q \cdot F_y}}$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 29000}{1.21,349}}$$

$$C_c = 163,665$$

maka

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

$$F_{cr} = 1.21,349 \left[1 - \frac{8,554}{2 \cdot 163,665^2} \right]$$

$$F_{cr} = 21,320 \text{ ksi}$$

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

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

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

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

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{8,554}{163,665} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{8,554}{163,665} \right)^3$$

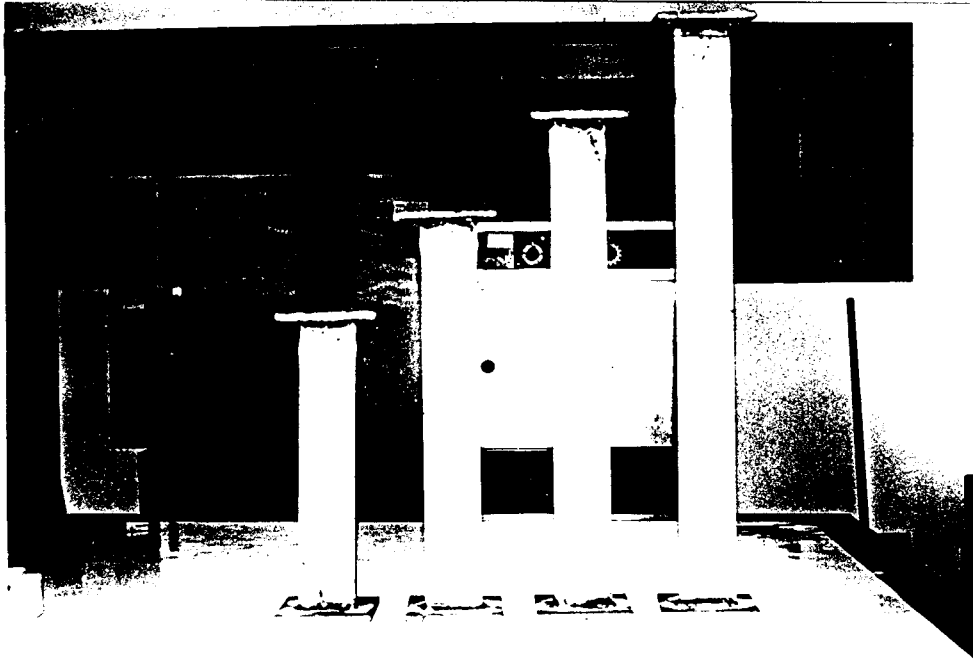
$$FS = 1,686$$

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

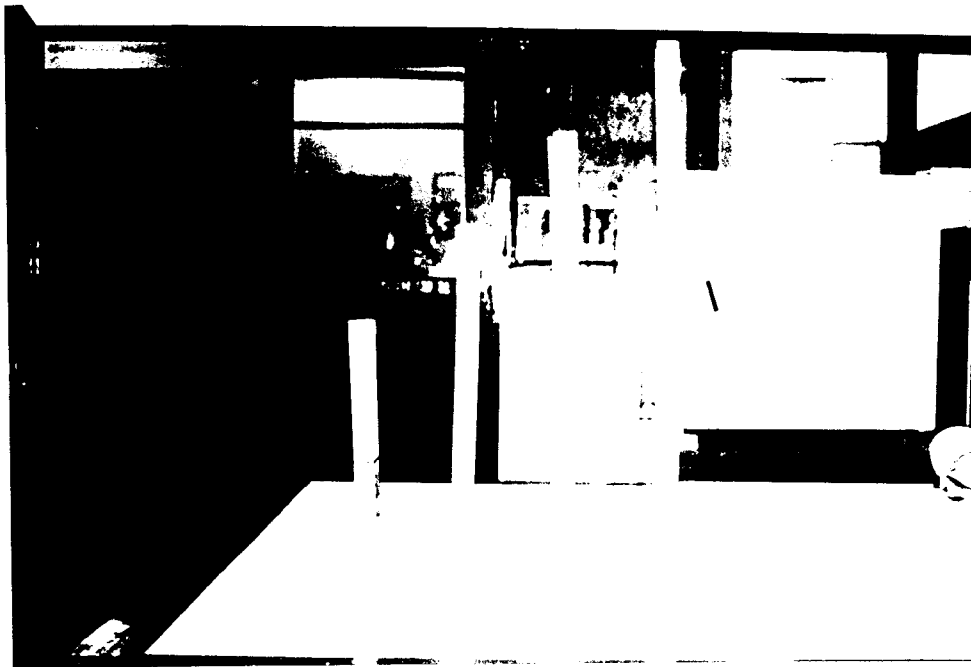
$$F_a = 21,349/1,686$$

$$F_a = 12,662$$

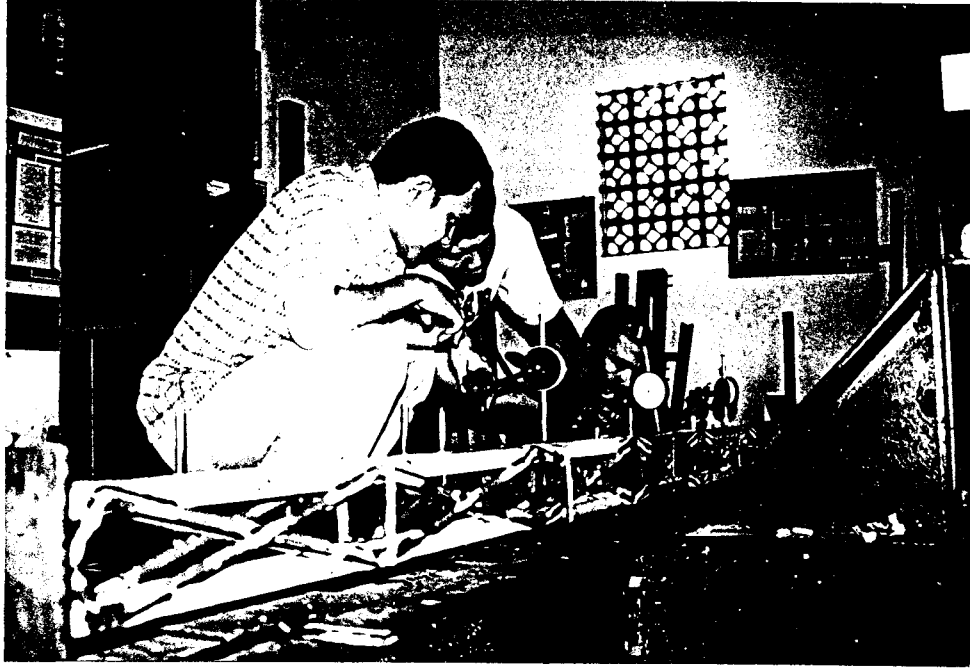
LAMPIRAN 8



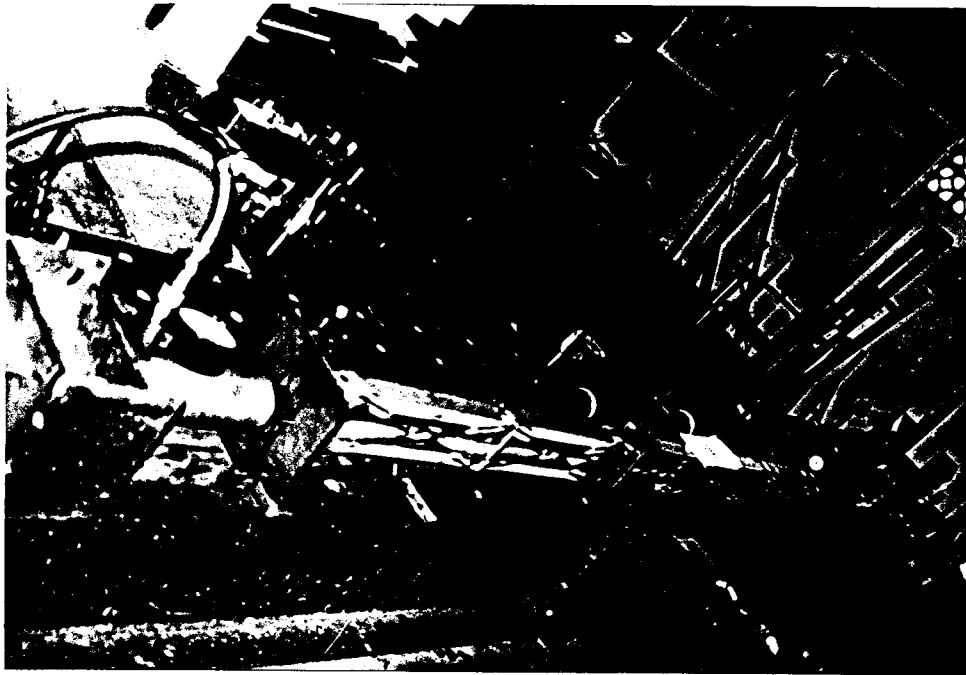
Gambar A Hasil pengujian tekan profil *Lips Channal* dengan pelat dasar



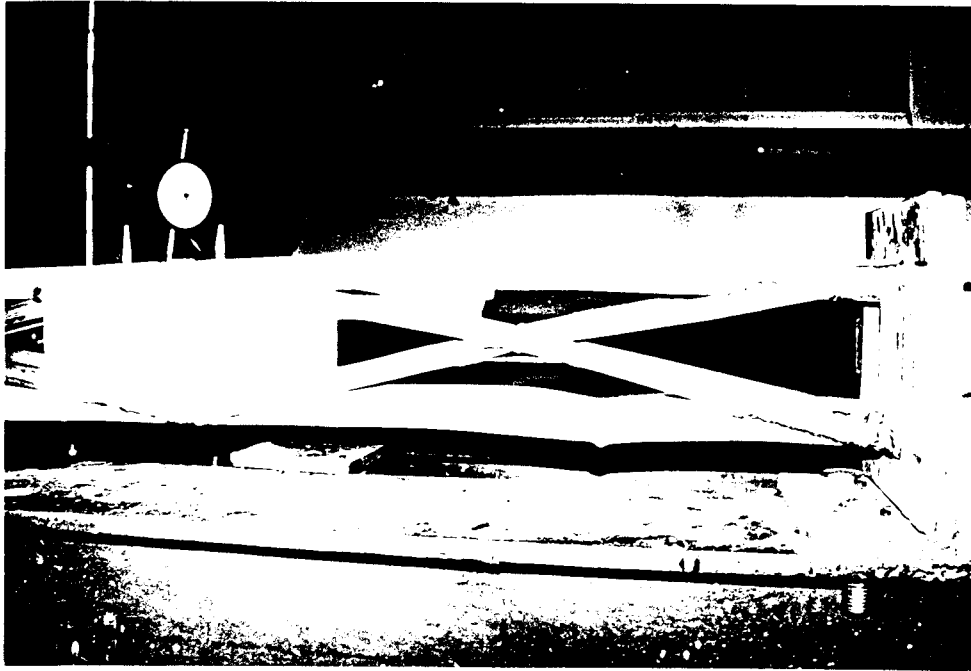
Gambar B Hasil pengujian tekan profil *Lips Channal* tanpa pelat dasar



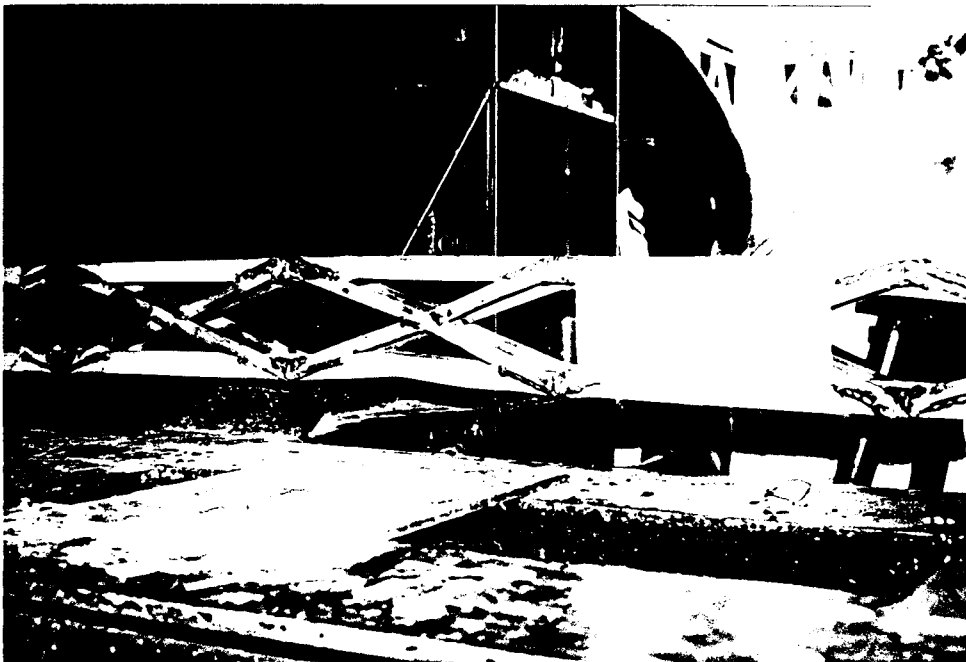
Gambar C Pemasangan benda uji kolom tersusun



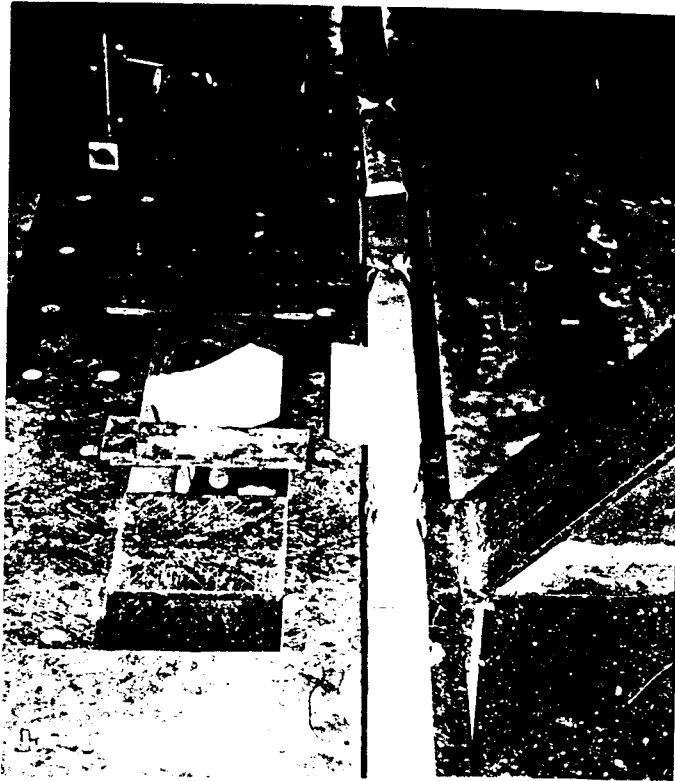
Gambar D Benda uji kolom tersusun setelah diset



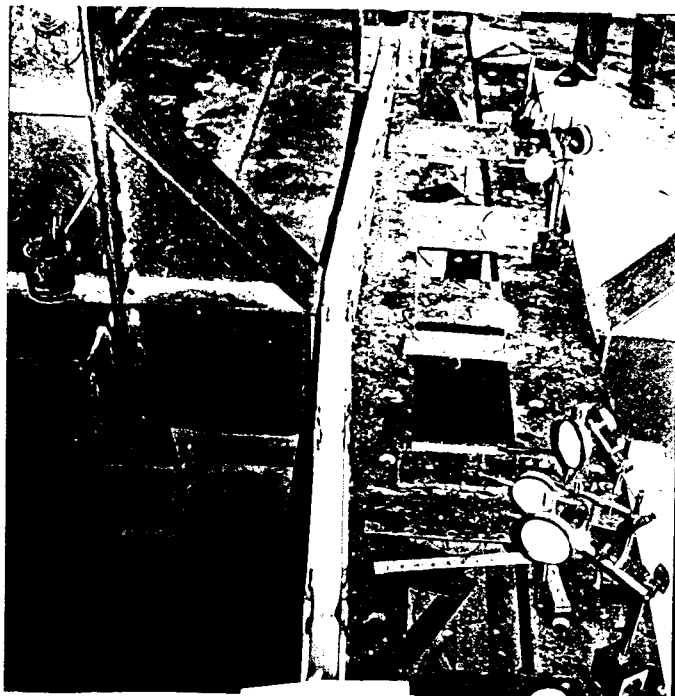
Gambar E Tekuk lokal yang terjadi pada kolom tersusun



Gambar F Tekuk lokal yang terjadi pada kolom tersusun



Gambar G Tekuk lokal yang terjadi pada kolom tersusun



Gambar H Tekuk lokal yang terjadi pada kolom tersusun