

PERPUSTAKAAN FTSP UIN	
HADIAN/BELI	
TGL. TERIMA :	22 Februari 2007
NO. JUDUL :	00 2241
NO. INV. :	020002241001
NO. INDIK. :	

TUGAS AKHIR

KUAT TEKAN NOMINAL KOLOM TERSUSUN EMPAT PROFIL SIKU DENGAN BATANG PERANGKAI MELINTANG



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2006

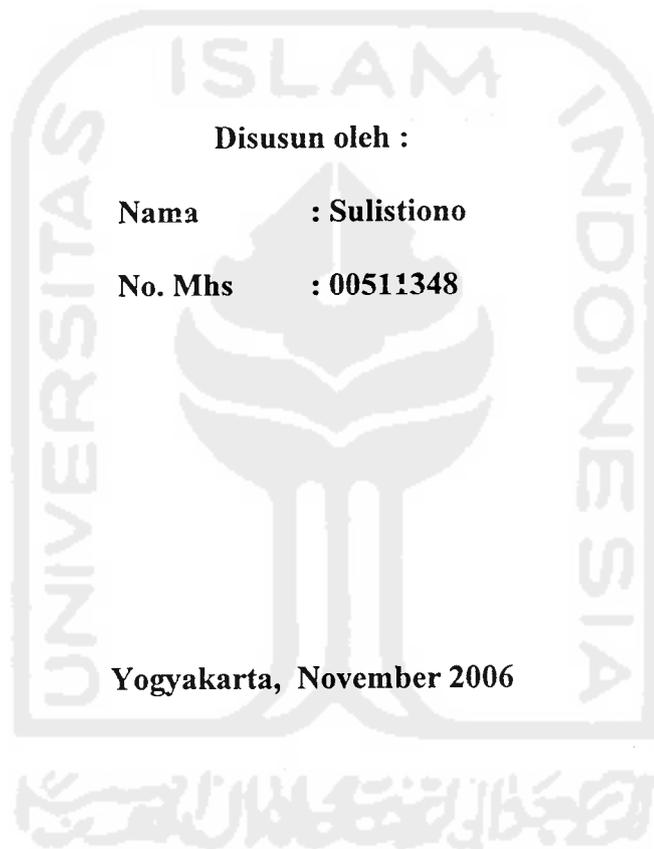
MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UIN YOGYAKARTA

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

TUGAS AKHIR

KUAT TEKAN NOMINAL KOLOM TERSUSUN EMPAT PROFIL

SIKU DENGAN BATANG PERANGKAI MELINTANG



Disusun oleh :

Nama : Sulistiono

No. Mhs : 00511348

Yogyakarta, November 2006

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Fathkurrohman N', with a date '9/11-2006' written below it.

(Ir. Fathkurrohman N, MT)

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Helmy Akbar Bale', written in a cursive style.

(Ir. Helmy Akbar Bale, MT)

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
TUGAS AKHIR**

**KUAT TEKAN NOMINAL KOLOM TERSUSUN EMPAT PROFIL
SIKU DENGAN BATANG PERANGKAI MELINTANG**

Disusun Oleh :

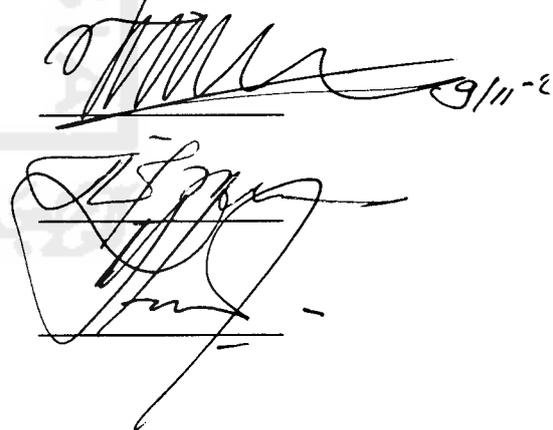
**Nama : Sulistiono
No. Mahasiswa : 00511348**

**Telah Dipertahankan Di Depan Sidang Penguji, Sebagai Salah Satu
Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil,
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia**

Tim Penguji

Tanda tangan

1. **Ir. Fathkurrohman N, MT**
2. **Ir. Helmy Akbar Bale, MT**
3. **Ir. H. Ilman Noor, MSCE**



Handwritten signatures of the examiners, including a date '9/11-2'.

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia**

MOTTO

*Kegagalan hari adalah pengalaman berharga untuk menggapai hari
esok yang cemerlang*



LEMBAR PERSEMBAHAN



Tugas Akhir ini kupersembahkan Kepada:

- *Bapak serta Ibu tercinta*
- *Yeti dan Tya tersayang*
- *Keluarga besarku*
- *Teman – teman yang selama ini membantuku (Yogi, Herman, Heri, Yoga, Ibut, Agus, Aswas, Jhon, Ike, Rini dan Flow)*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

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

Pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Ir. H. Suharyatmo MT., selaku Sekretaris Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT selaku Dosen Pembimbing II.

6. Bapak Ir.H. Ilman Noor, MSCE selaku Dosen Penguji
7. Mas Aris Yang telah membantu dalam pengujian.
8. Ayah dan Ibu atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doa-nya.
9. Mas to, mbak tik, yeti, tya, yoelan atas segala dukungannya
10. Mas Gatut, Aris yang mau membimbing dalam penyusunan Tugas Akhir .
11. Semua pihak yang telah membantu didalam penyusunan Tugas Akhir.

Besar harapan penulis dari pembaca untuk memberikan kritik serta saran demi tercapainya kesempurnaan penyusunan laporan penelitian Tugas Akhir ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis secara pribadi dan bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, September 2006

Penyusun

	3.2.2	Kolom Tersusun.....	21
	3.2.2.1	Efek Gaya Geser Kolom Tersusun Dengan Batang Perangkai Melintang.....	23
	3.2.2.2	Efek Gaya Geser Kolom Tersusun Dengan Batang Perangkai Melintang Diagonal.....	26
	3.3	Hubungan Antara Beban dan Lendutan.....	30
	3.4	Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (Φ).....	31
	3.5	Penampang Lintang Gabungan Profil Siku.....	34
	3.6	Pengaruh Jarak Profil terhadap Kapasitas Kolom.....	36
	3.6.1	Batang Perangkai Melintang.....	36
	3.6.2	Batang Perangkai Melintang Diagonal.....	37
	3.7	Hipotesis.....	38
BAB IV		METODE PENELITIAN.....	40
	4.1	Metode Penelitian.....	40
	4.2	Bahan Dan Alat.....	40
	4.3	Benda Uji.....	44
	4.4	Pengujian Sampel.....	45
	4.5	Analisis Hasil Pengujian.....	46
	4.6	Bagan Alir Penelitian.....	46
BAB V		HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	47
	5.1	Hasil Pengujian.....	47
	5.1.1	Hasil Uji Pendahuluan.....	47
	5.1.1.1	Uji Tarik.....	47
	5.1.1.2	Uji Las.....	48
	5.1.1.3	Kuat Tekan Kolom Tersusun.....	48
	5.2	Pembahasan.....	52
	5.2.1	Pembahasan Uji Pendahuluan.....	52
	5.2.1.1	Pembahasan Uji tarik Baja.....	52
	5.2.1.2	Pembahasan Uji Kuat Geser Sambungan Las.....	53
	5.2.1.3	Pembahasan Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun.....	53

5.2.1.4 Hubungan Momen Kelengkungan.....	58
5.2.2 Analisis Numeris Versusu Eksperimen.....	62
BAB VI KESIMPULAN SARAN.....	66
6.1 Kesimpulan	66
6.2 Saran.....	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan.....	48
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Kuat Tarik Las.....	48
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Kolom Tersusun Dengan Batang Perangkai Melintang.....	49
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Kolom Tersusun Dengan Batang Perangkai Melintang Diagonal.....	50
Tabel 5.5	Analisis Hasil Uji Kuat Tarik Material Baja.....	52
Tabel 5.6	Analisis Hasil Uji Kuat Tarik Las.....	53
Tabel 5.7	Hubungan Momen–Kelengkungan Pada Batang Perangkai Melintang	58
Tabel 5.8	Hubungan Momen–Kelengkungan Pada Batang Perangkai Melintang dan Diagonal	59
Tabel 5.9	Analisis Kekakuan Hubungan Momen-Kekakuan Batang Perangkai Melintang.....	62
Tabel 5.10	Hitungan Tegangan Kritis Teori dan Hasil Pengujian.....	62
Tabel 5.11	Rasio Hasil Tegangan Kritis (F_{cr}) Penelitian Dengan Batang Perangkai Melintang Dan Tegangan Kritis Hasil Teori.....	60
Tabel 5.12	Hasil Pengujian Tegangan Kritis Dengan Batang Perangkai Melintang dan Tegangan Kritis Hasil Teori.....	64
Tabel 5.13	Rasio Hasil Hitungan Tegangan Kritis Dengan Batang Perangkai Melintang Dan Melintang Diagonal.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Batang Tertekan.....	9
Gambar 3.2	Tegangan Berdasarkan Teori Tangent Modulus.....	15
Gambar 3.3	Hubungan a) Beban-Lendutan; b) Tegangan-Regangan; c) Tegangan-Modulus.....	15
Gambar 3.4	Penjelasan Teori Modulus Tereduksi.....	16
Gambar 3.5	Grafik Tegangan Berdasarkan Persamaan Euler, Modulus Tangen dan Modulus Tereduksi.....	17
Gambar 3.6	Profil Gabungan Empat Profil Siku.....	18
Gambar 3.7	Bentuk Deformasi Kolom Tersusun Akibat Gaya Geser.....	19
Gambar 3.8	Grafik Fungsi dari P_{cro}/S_v	24
Gambar 3.9	Deformasi Gaya Geser Pada Kolom Tersusun Dengan Batang Perangkai Melintang.....	24
Gambar 3.10	Deformasi Gaya Geser Pada Kolom Tersusun Dengan Batang Perangkai Melintang dan Diagonal.....	27
Gambar 3.11	Kolom tersusun.....	28
Gambar 3.12	Grafik Hubungan Beban-Lendutan.....	31
Gambar 3.13	Penurunan yang terjadi akibat Beban.....	32
Gambar 3.14	Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan.....	33
Gambar 3.15	Profil Siku.....	34
Gambar 3.16	Profil Tersusun.....	35
Gambar 3.17	Grafik Hubungan P_{cr} dengan a/L_1 pada Batang Perangkai Melintang.....	37
Gambar 3.18	Grafik Hubungan P_{cr} dengan a/L_1 pada Batang Perangkai Melintang dan Diagonal.....	37
Gambar 3.17	Grafik Hubungan P_{cr} dengan a/L_1 pada Batang Perangkai Melintang dan Melintang Diagonal.....	38
Gambar 4.1	Loading Frame.....	41

Gambar 4.2	Dial Gauge.....	42
Gambar 4.3	Dukungan Sendi.....	42
Gambar 4.4	Hidrolik Jack.....	43
Gambar 4.5	Mesin Uji Tarik.....	43
Gambar 4.6	Benda Uji Kuat tekan.....	44
Gambar 4.7	Benda Uji Kuat Tarik.....	44
Gambar 4.8	Pengujian dengan Cara Tidur.....	46
Gambar 4.9	Bagan Alir Prosedur Penelitian.....	46
Gambar 5.1	Penempatan Dial Pada Benda Uji.....	49
Gambar 5.2	Grafik Hubungan P-Lendutan Maksimum Keempat Benda Uji Dengan Batang Perangkai Melintang.....	50
Gambar 5.3	Grafik Hubungan P-Lendutan Maksimum Keempat Benda Uji Dengan Batang Perangkai Melintang Diagonal.....	51
Gambar 5.4	Grafik Hubungan P-Lendutan Maksimum Hasil Uji Batang Perangkai Melintang Dan Melintang Diagonal Pada Rasio $a/L1 = 0,34$	54
Gambar 5.5	Grafik Hubungan P-Lendutan Maksimum Hasil Uji Batang Perangkai Melintang Dan Melintang Diagonal Pada Rasio $a/L1 = 0,54$	55
Gambar 5.6	Grafik Hubungan P-Lendutan Maksimum Hasil Uji Batang Perangkai Melintang Dan Melintang Diagonal Pada Rasio $a/L1 = 0,74$	56
Gambar 5.7	Grafik Hubungan P-Lendutan Maksimum Hasil Uji Batang Perangkai Melintang Dan Melintang Diagonal Pada Rasio $a/L1 = 1$	57
Gambar 5.8	Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Uji Batang Perangkai Melintang Dan Melintang Diagonal Pada Rasio $a/L1 = 0,34$	59
Gambar 5.9	Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Uji Batang Perangkai Melintang Dan Melintang Diagonal Pada Rasio $a/L1 = 0,54$	60
Gambar 5.10	Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Uji Batang Perangkai Melintang Dan Melintang Diagonal Pada Rasio $a/L1 = 0,74$	60
Gambar 5.11	Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Uji Batang Perangkai Melintang Dan Melintang Diagonal Pada Rasio $a/L1 = 1$	61

Gambar 5.12	Grafik Hubungan Rasio F_{cr}/F_y Dan a/L_1 pada Hasil Tegangan kritis Teori dengan Hasil Pengujian pada Batang Perangkai Melintang.....	63
Gambar 5.13	Grafik Hubungan Rasio F_{cr}/F_y Dan a/L_1 pada Hasil Pengujian Batang Perangkai Melintang dan Melintang Diagonal.....	64
Gambar 6.1	Grafik Hubungan Rasio F_{cr}/F_y Dengan Rasio a/L_1 pada Batang Perangkai Melintang dan Melintang Diagonal.....	67



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Hasil Pengujian Kuat Tarik Material Baja, Las Dan Kuat Tekan Kolom Tersusun Dengan Batang Perangkai Melintang
- Lampiran B Perhitungan Dimensi Profil
- Lampiran C Perhitungan Kekuatan Kolom Tersusun Dengan Batang Perangkai Melintang
- Lampiran D Perhitungan Momen (M), Kelengkungan (Φ) dan Faktor Kekakuan (EI)
- Lampiran E Gambar Foto Pengujian



DAFTAR SIMBOL

A	= luas penampang, mm ²
a	= jarak antar titik berat profil tunggal ketitik berat kolom tersusun,
mm	
Ad	= luas penampang batang diagonal, mm ²
Ab	= luas penampang batang horizontal, mm ²
b	= panjang batang horizontal, mm
a	= jarak antar titik berat profil tunggal, mm
d	= panjang batang diagonal, mm
E	= modulus elastis, N/mm ²
EI	= factor kekakuan, N.mm ²
E _t	= modulus tangen, N/mm ²
E _r	= modulus tereduksi, N/mm ²
F _y	= tegangan leleh bahan, kg/cm ²
G	= modulus geser
I	= momen inersia, mm ⁴
K	= kekakuan struktur, kN/mm
L	= panjang kolom, mm
L ₁	= jarak antar batang perangkai, mm
M	= momen, kN.mm
m	= jumlah batang tunggal yang membentuk kolom tersusun

P	= beban, kN
P_{cr0}	= beban kritis Euler, kN
P_{cr1}	= modifikasi beban kritis Euler, kN
r	= radius girasi, mm
y	= pelenturan, mm
α	= sudut yang dibentuk grafik hubungan (M- Φ)
β	= factor bentuk
Θ	= sudut antara batang perangkai horizontal dengan diagonal
Δ	= lendutan, mm
Δ_x	= jarak antar dial, mm
μ	= angka poisson
π	= konstanta (3,14)
Φ	= kelengkungan, 1/mm

ABTRAKSI

Kolom tersusun (built up) merupakan gabungan dua profil atau lebih yang dirangkai menggunakan batang-batang perangkai. Kekuatan kolom tersusun dipengaruhi oleh: bentuk dan ukuran penampang profil tunggal, jarak antar profil tunggal, konfigurasi batang perangkai, panjang kolom dan kondisi ujung-ujung kolom. Jarak antar profil berpengaruh kepada momen inersia penampang kolom tersusun sehingga berpengaruh kepada kelangsingan, kuat tekan dan kekakuan. Jarak batang perangkai yang cukup jauh mengakibatkan tekuk pada batang tunggal, guna mencegah peristiwa ini jarak batang perangkai dipasang cukup dekat.

Penelitian eksperimental 4 benda uji kolom tersusun dengan batang perangkai melintang dengan jarak batang perangkai L_1 konstanta, panjang kolom sama dan jarak antar profil (a) dibuat variasi guna untuk mengetahui kekuatan masing-masing kolom tersusun dan juga untuk mengetahui jarak antar profil yang optimum. Rasio a/L_1 yang digunakan adalah 0,34; 0,54; 0,74 dan 1.

Hasil eksperimen beban kritis masing-masing benda uji adalah: kolom 1 ($a/L_1 = 0,34$), $P_{cr} = 42$ kN; kolom 2 ($a/L_1 = 0,54$), $P_{cr} = 48$ kN; kolom 3 ($a/L_1 = 0,74$), $P_{cr} = 54$ kN dan kolom 4 ($a/L_1 = 1$), $P_{cr} = 36$ kN. Dari hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa semua beban kritis (P_{cr}) berada dibawah beban kritis maksimum (P_{crmaks}) (281, 629 kN) dan apabila dibandingkan dengan kolom tersusun empat profil siku dengan batang perangkai melintang diagonal maka rasio kekuatan untuk kolom 1 dengan $a/L_1 = 0,34$ sebesar 0,533; kolom 2 dengan $a/L_1 = 0,54$ sebesar 0,467; kolom 3 dengan $a/L_1 = 0,74$ sebesar 0,486 dan kolom 4 dengan $a/L_1 = 1$ sebesar 0,662.

Kata Kunci: Kuat Tekan Kolom Tersusun, Empat Profil Siku

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kolom adalah komponen struktur yang fungsi utamanya memikul gaya tekan aksial. Kolom baja dapat dibentuk dari batang tunggal dan batang tersusun. Kolom batang tunggal adalah suatu kolom yang dibentuk dari satu profil baja dimana dalam perencanaan kekuatannya tinggal menyesuaikan profil yang sudah ada. Kolom tersusun adalah suatu kolom yang dibentuk dari profil gabungan dengan dua batang atau lebih yang dihubungkan dengan batang perangkai melintang, batang perangkai diagonal dan kombinasi batang perangkai melintang diagonal. Berdasarkan pertimbangan estetika seringkali dikehendaki penggunaan batang perangkai melintang saja. Pada kolom tersusun kekuatannya dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain: luas dan jumlah profil susun, jarak antar profil, jarak antar batang perangkai, bentuk batang perangkai dan panjang kolom. Jarak antar profil berpengaruh terhadap luas dan momen inersia, jarak antar batang perangkai berpengaruh terhadap kestabilan kolom tersusun, panjang kolom berpengaruh terhadap tekuk dan bentuk batang perangkai berpengaruh terhadap kuat tekannya

Jarak batang perangkai dan jari-jari giras: minimum pada kolom tunggal merupakan faktor yang sangat penting yang berpengaruh terhadap kestabilan kolom tersusun. Untuk mendapatkan kekuatan kolom tersusun yang sama dari sumbu x maupun sumbu y maka jari – jari inersia sumbu x (r_x) dibuat mendekati sama dengan jari – jari inersia sumbu y (r_y). Efisiensi ini tidak

dapat diperoleh dengan menggunakan bentuk profil standar, dimana perbandingan r_x / r_y seringkali 1,5 sampai 5 atau lebih.

Efek gaya geser pada kolom sangat berpengaruh terhadap terhadap kekuatannya. Untuk kolom tunggal efek gaya geser sangat kecil sehingga diabaikan. Tetapi pada kolom tersusun efek gaya geser sangat signifikan. Karena pada penampang batang tersebut bekerja komponen gaya yang arahnya tegak lurus terhadap sumbu batang yang dapat mengakibatkan pelenturan batang bertambah sehingga mempengaruhi kapasitas batang tersusun tersebut.

Penelitian kuat tekan kolom tersusun dari profil siku yang disusun dari batang perangkai melintang dengan jarak antar batang tunggal bervariasi perlu dilakukan untuk mengetahui kapasitas tekan kuat tekan nominalnya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penulisan tugas akhir ini adalah berapa besar pengaruhnya jarak antar batang susun terhadap kuat kolom profil tersusun dari empat profil siku yang dihubungkan dengan pelat melintang terhadap variasi jarak profil

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. mengetahui pengaruh jarak antar profil terhadap kekuatan kolom tersusun dari empat profil siku dengan batang penghubung melintang dengan beban tekan aksial konsentristual.

7. Jarak antar pelat penghubung (L_1) 200 mm
8. Dimensi batang penghubung menggunakan besi P10
9. Tegangan residu dari bahan tidak dihitung
10. Pengamatan dilaboratorium terbatas pada beban tekan kolom



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang menerima beban aksial tekan (*Salmon dan Johnson, 1990*)

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

Kapasitas pikul beban suatu kolom selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang tekuk. Sebanding dengan modulus elastis material dan momen inersia penampang, semakin panjang kolom maka semakin kecil beban yang menyebabkan kolom tersebut tertekuk, sebaliknya semakin pendek kolom maka semakin besar beban yang menyebabkan kolom tersebut tertekuk (*Salmon dan Johnson, 1990*)

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

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

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

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

Kolom tersusun adalah profil gabungan dua batang atau lebih dimana batang satu dengan yang lain dihubungkan bersama-sama menggunakan batang penghubung sedemikian sehingga membentuk satu kesatuan (*Padosbajayo, 1991*).

Kekuatan batang tekan tersusun dipengaruhi oleh faktor kelangsingan dan susunan batang penghubungnya. Ini berarti bahwa beban kritis kolom tersusun lebih kecil dari pada beban kritis kolom solid yang mempunyai luas dan kelangsingan sama hal ini disebabkan karena pelenturan yang terjadi pada kolom tersusun lebih besar dibandingkan kolom tunggal (*Padosbajayo, 1991*).

Batang-batang tersusun dalam penyambungannya bisa memakai batang ikat atau batang diagonal yang bermanfaat agar semua komponen bekerja sebagai satu kesatuan. Besarnya pengaruh gaya geser kolom tersusun terhadap pengurangan kekuatan kolom. Sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser. Komponen gaya geser ini di timbulkan oleh beban aksial ketika batang tekan melentur (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Pada penelitian Bambang Krisnawan (98511145) dan Dhanang Tri Hodiono (98511161) yang berjudul KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL LIGHT LUIPPED CHANNEL BENTUKAN DINGIN, menyatakan bahwa kapasitas kolom tersusun penampang kotak dari dua profil lipped channel yang disatukan secara front to front dipengaruhi oleh kelangsingannya (L/r), semakin besar kelangsingan, semakin kecil kapasitas kolom dan kapasitas (tegangan kritis F_{cr}) terbesar adalah sama dengan tegangan lelehnya (F_y).

Pada penelitian L. Kholid Karyadi (97511229) dan Yousef Al Ashas (97511205) yang berjudul KUAT TEKAN KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL C BENTUKAN DINGIN DENGAN BATANG PERANGKAI DIAGONAL menyatakan bahwa tegangan kritis yang terjadi pada $L/r < 50$ masih lebih besar bila dibandingkan tegangan ijin rencana berdasarkan metode AISC, akan tetapi Pada $L/r > 50$ tegangan kritis berada dibawah tegangan ijin metode AISC.

Kolom dengan nilai $\lambda \leq 0,2$, dapat mencapai ketahanan plastis menyeluruh profil dan tekuk tidak perlu diperiksa, jika $\lambda > 0,2$, ketahanan kolom dari pada beban harus dipertimbangkan karean tekuk. Kolom dengan

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Kolom

Kolom adalah batang tekan tegak yang dibebani gaya tekan aksial kemudian beban tersebut disalurkan ke pondasi. *Ir Oentoeng (1999)*. Menurut definisi *Salmon dan Johnson (1990)*. Kolom adalah elemen struktur yang menerima gaya tekan aksial. Berdasarkan jumlah elemen penyusunnya kolom dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. kolom tunggal
2. kolom tersusun.

3.1.1 Kolom Tunggal

Kekuatan suatu struktur kolom dalam menahan gaya tekan dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain; sifat bahan (meliputi tegangan leleh, tegangan residu, modulus elastisitas); geometri penampang (luas tampang, inersia tampang, rasio b/t, jari-jari girasi); dan kelangsingan. Faktor yang dibahas dalam penelitian ini adalah faktor sifat bahan yang diwakili oleh tegangan leleh, faktor geometri penampang yang diwakili dengan Inersia, luas tampang, jari-jari girasi dan faktor kelangsingan diwakili oleh tekuk keseluruhan

Kegagalan batang tekan (kolom) dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Kegagalan kolom baja yang diakibatkan oleh tegangan lelehnya terlampaui, kegagalan semacam ini terjadi pada batang tekan yang pendek (*stokly column*) dan penampangnya kompak
2. Kegagalan yang diakibatkan oleh tekuk. Kegagalan yang diakibatkan oleh tekuk terdiri dari dua macam yaitu : (1) tekuk total (*overall buckling*), batang tekan mengalami tekuk total bila penampang batang kompak dan langsing (KL/r besar); (2) tekuk lokal (*local buckling*), batang yang mengalami tekuk lokal memiliki penampang yang tidak kompak dan elemen penampangnya langsing (rasio b/t besar).

3.1.1.1 Kegagalan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui

Pada umumnya batang tekan yang pendek (KL/r kecil) dan mempunyai penampang rasio terhadap tebal (b/t) kecil dapat dibebani sampai bahan leleh. Oleh karena itu kegagalan akibat tegangan lelehnya terlampaui biasanya dijumpai pada jenis batang dengan karakteristik tersebut. Menurut *Salmon dan Johnson (1990)* salah satu faktor yang berpengaruh pada kapasitas adalah luas penampang batang, semakin besar luas penampang melintang batang maka kapasitas tekannya semakin meningkat, sehingga resiko untuk kegagalan ini dapat diminimalisir dan sebaliknya. Pada kondisi ini ($F_{cr} \geq F_y$), dalam analisis digunakan ($F_{cr} = F_y$), sehingga kapasitas tekan ditentukan sebagai hasil kali tegangan leleh dengan luas penampang seperti pada Persamaan 3.1

$$P_u = A_g \cdot F_y \quad \dots\dots\dots 3.1$$

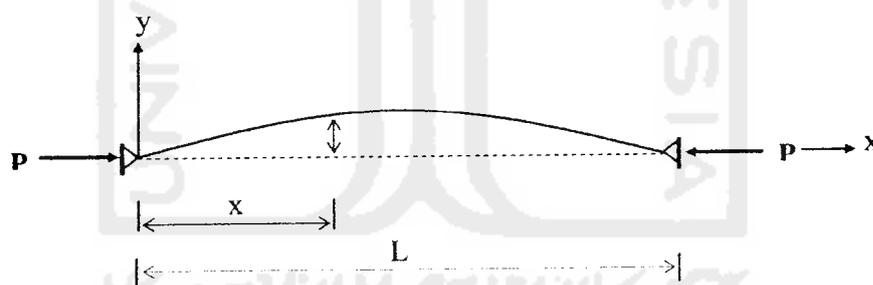
Dengan P_u = kapasitas ultimit; A_g = luas penampang; F_y = tegangan leleh baja.

3.1.1.2 Kegagalan Akibat Tekuk

Tekuk yang terjadi pada kolom saat menerima beban adalah tekuk lokal dan tekuk keseluruhan. Pada penelitian ini menggunakan profil siku agar tidak mengalami tekuk lokal harus memenuhi syarat penampang batang (b/t kecil).

Tekuk kolom langsing pertama kali dikemukakan oleh *Euler* (Lambert Tall, 1994) 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. Penjelasan tentang tekuk kolom langsing yang diberi gaya tekan aksial sentris diunjukkan dengan gambar 3.1

Pada sebuah batang lurus yang ujung – ujungnya merupakan sendi yang bekerja gaya tekan aksial sentris P yang mengakibatkan batang melengkung dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Batang Tertekan

Di suatu titik yang berjarak x dari ujung kiri, momen lentur M_x pada batang yang sedikit melengkung adalah

$$M_x = P.y \quad \dots\dots\dots 3.2$$

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

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots 3.3$$

denagn ρ adalah jari-jari kelengkungan. Karena material kolom masih dalam kondisi elastis linier dan mengikuti hokum hooke

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = -\frac{M}{EI} \dots\dots\dots 3.4$$

substitusi Persamaan 3.2 dengan Persamaan 3.3 menghasilkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \dots\dots\dots 3.5$$

substitusi Persamaan 3.2 dengan Persamaan 3.4 menghasilkan Persamaan 3.6

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{P \cdot y}{EI} = 0 \dots\dots\dots 3.6$$

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

bila diasumsikan

$$k^2 = P/EI \dots\dots\dots 3.7$$

maka Persamaan 3.5 menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + k^2 \cdot y = 0 \dots\dots\dots 3.8$$

penyelesaian Persamaan diferensial linier orde dua ini dapat dinyatakan sebagai

$$y = A \sin kx + B \cos kx \dots\dots\dots 3.9$$

dengan menetapkan syarat batas:

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

dari syarat 'a' diperoleh $B = 0$ dan dari syarat 'b' diperoleh Persamaan

$$A \sin(k.L_k) = 0 \quad \dots\dots\dots 3.10$$

Persamaan 3.9 dapat dipenuhi bila diterapkan pada kondisi :

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

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

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

atau

$$P = \frac{n^2 \pi^2 EI}{L_k^2} \quad \dots\dots\dots 3.11$$

untuk Persamaan 3.11 diperoleh bila $n = 1$ harga P terkecil disebut P kritis jadi

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \quad \dots\dots\dots 3.12$$

Tegangan kritis (F_{cr}), dengan $I = A_g.r$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_g} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} \quad \dots\dots\dots 3.13$$

P_{cr} = beban kritis; E = modulus elastis; I = momen inersia; L_k = panjang tekuk; r = jari-jari girasi.

2. membandingkan kapasitas kolom tersusun pada batang perangkai melintang dengan batang perangkai melintang diagonal

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan mendapatkan manfaat sebagai berikut:

1. Mengembangkan pengetahuan yang sudah ada khususnya sifat batang tekan pada kolom profil tersusun dari empat profil siku.
2. Memberikan informasi tentang kapasitas batang tekan untuk kolom profil tersusun dari empat profil siku.
3. Memberikan informasi tentang kapasitas batang tekan untuk kolom profil tersusun dari empat profil siku yang berhubungan dengan rasio jarak profil terhadap jarak penghubung.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian batang tekan pada kolom profil tersusun dari empat profil siku dibatasi pada masalah sebagai berikut:

1. Kolom dengan beban tekan aksial sentris
2. Tinggi kolom 4000 mm
3. Batang tumpuan sederhana (sendi-sendiri), dimensi profil siku 23 x 23 x 2,3
4. Rasio Jarak antar profil (a) terhadap jarak pelat penghubung (L_1) yaitu : 0,34; 0,54; 0,74; 1
5. kelangsingan kolom 117,989; 74,390; 54,295; 42,72
6. Bentuk batang perangkai menggunakan batang melintang

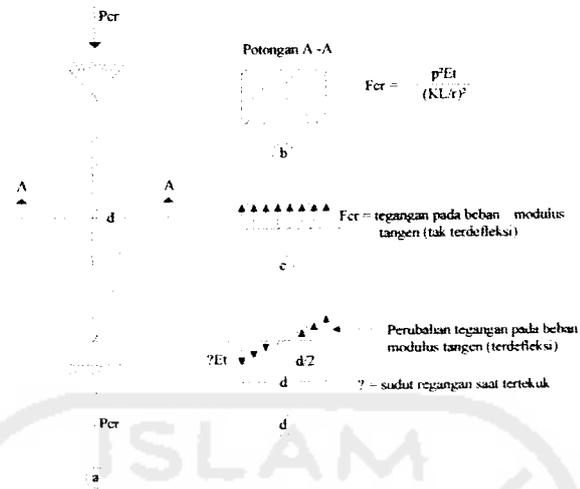
Pendekatan Euler pada umumnya tidak dipakai dalam desain karena tidak sesuai dengan percobaan, kolom dengan panjang yang biasa digunakan dalam desain tidak sekuat yang ditunjukkan dalam persamaan 3.12

3.1.1.3 Tekuk Inelastis

Tekuk inelastis adalah tekuk kolom apabila limit proporsional dilampaui, dimana rasio kelangsingan lebih kecil dari rasio kelangsingan kritis. Rasio kelangsingan kritis didapatkan dengan Persamaan 3.14 berikut

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}} \dots\dots\dots 3.14$$

Teori Tangent Modulus membahas keruntuhan kolom diatas proporsional. Menurut dasar pemikiran Engesser, Considere dan Shanly yang dikembangkan Salmon dan Johnson (1990), kolom dengan panjang umumnya tertekuk pada saat sejumlah seratnya menjadi inelastis, maka modulus elastisitas ketika tertekuk lebih kecil dari harga awalnya. Untuk menjelaskan teori tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2 sebuah batang lurus yang dibebani gaya tekan (P) dapat dilihat pada gambar 3.2a, apabila batang persegi dapat dilihat pada gambar 3.2b, dan beban (P) berangsur – angsur ditambah sampai batang runtuh. Sesaat sebelum runtuh batang tetap dianggap lurus (tanpa lendutan) dan lendutan dianggap terjadi tepat pada saat batang runtuh. Distribusi tegangan ditempat runtuh dianggap terbagi rata dapat dilihat pada gambar 3.2c dan tegangan akibat momen lentur diabaikan dapat dilihat pada gambar 3.2d



Gambar 3.2 Tegangan Berdasarkan Teori Tangent Modulus

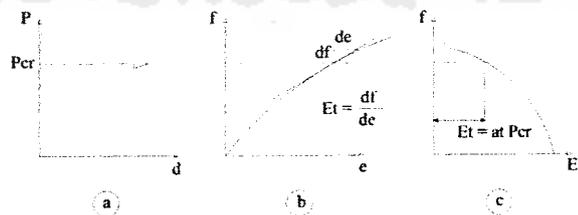
Pada gambar 3.2a Modulus pada tegangan kritis diambil garis singgung diagram tegangan-regangan pada saat runtuh, pada Gambar 3.2b modulus pada saat kolom runtuh dinyatakan pada persamaan 3.15

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \dots\dots\dots 3.15$$

Dengan

$d\sigma$ = perubahan tegangan

$d\varepsilon$ = perubahan regangan



Gambar 3.3 Hubungan a. Beban-Lendutan; b. Teganga-Regangan dan c. Tegangan-Modulus

Perubahan modulus elastis ke modulus yang harganya berubah-ubah ditunjukkan pada Gambar 3.4c. dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa $E_t < E$. Modulus elastis (E) pada Persamaan Euler dengan modulus tangen (E_t), diperoleh Persamaan 3.16

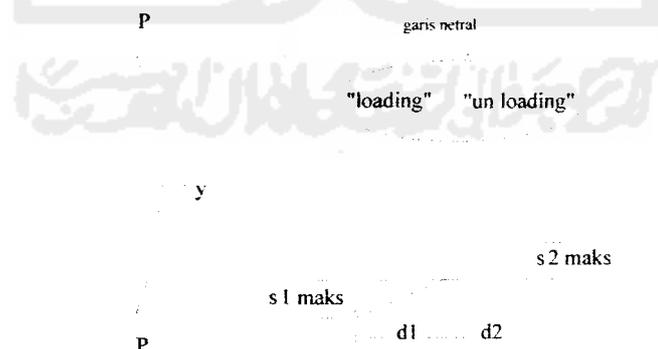
$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{(KL/r)^2} \dots\dots\dots 3.16$$

Dan didapat Persamaan beban kritisnya

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{(KL/r)^2} A_g = F_{cr} \cdot A_g \dots\dots\dots 3.17$$

Karena $E_t < E$, maka tegangan yang diperoleh dengan Persamaan 3.17 lebih kecil dibanding dengan tegangan yang diperoleh dengan persamaan Euler.

Proses tekuk diatas batang proporsional oleh Enggeser terus diteliti. Pada teori yang pertama (Theory Tangent Modulus), Enggeser mengabaikan pembalikan regangan yang terjadi pada penampang kolom. Oleh karenanya "Teori Tangent Modulus" dianggap kurang tepat yang kemudian diperbaiki dengan teori yang lebih baru, kemudian dikenal dengan teori modulus tereduksi.



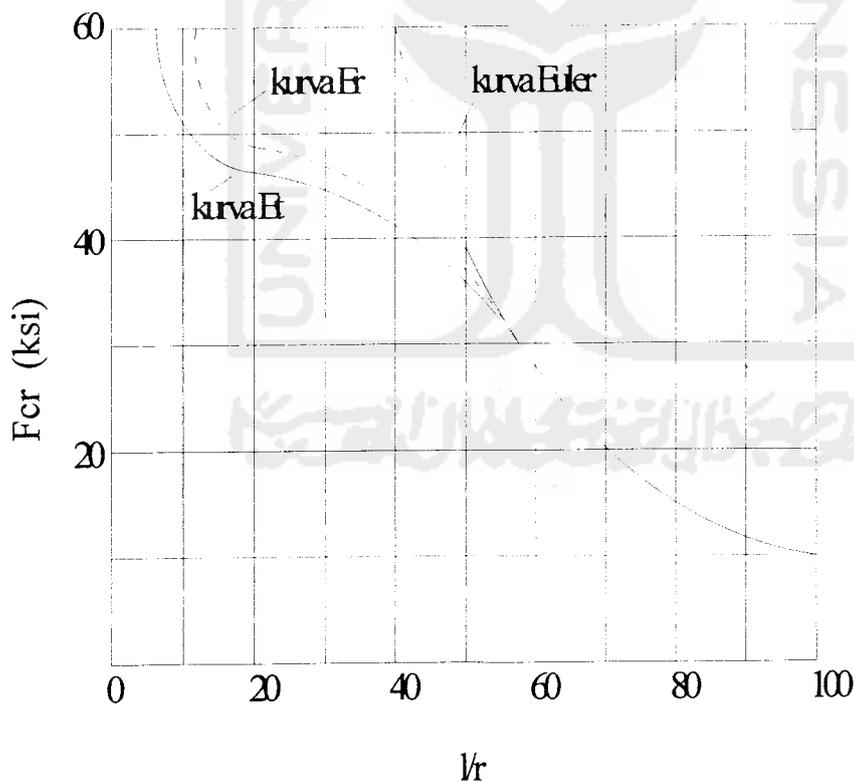
Gambar 3.4 Penjelasan teori modulus tereduksi.

Gere dan Timoshenko (2000), Teori modulus tereduksi lebih disukai karena sederhana dan mudah digunakan. Namun secara konseptual teori tersebut mempunyai kekurangan karena teori tersebut tidak memperhitungkan perilaku kolom secara lengkap. Adapun persamaan modulus tereduksi dapat dilihat pada persamaan 3.18 dan 3.19.

$$E_r = \frac{4E \cdot E_t}{(\sqrt{E + E_t})^2} \dots\dots\dots 3.18$$

$$E_r = \frac{2E \cdot E_t}{E + E_t} \dots\dots\dots 3.19$$

Perbandingan nilai E_t dan E_r pada perhitungan tegangan kritis dapat dilihat pada Gambar 3.5



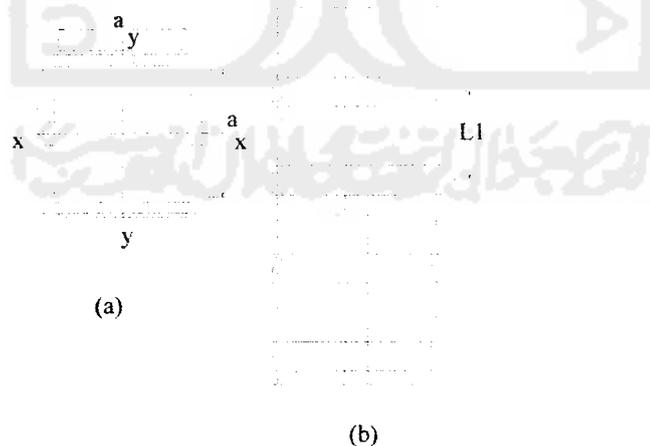
Gambar 3.5 Grafik Tegangan Berdasarkan Persamaan Euler, Modulus Tangen Dan Modulus Tereduksi

Gambar 3.5 tampak bahwa tegangan kritis kolom yang menggunakan modulus tangen (E_t) berada dibawah tegangan kritis yang menggunakan modulus tereduksi (E_r).

3.1.2 Kolom Tersusun

Kolom tersusun adalah profil gabungan dua batang atau lebih dimana batang yang satu dengan batang yang lain dihubungkan bersama-sama menggunakan batang penghubung sedemikian rupa membentuk satu kesatuan. Kolom tersusun dapat dibuat dari berbagai bentuk penampang yang salah satunya adalah dibentuk dari empat profil siku.

Gabungan empat profil siku merupakan salah satu berbagai macam profil tersusun yang dihubungkan dengan batang melintang sehingga penampang batang tersusun mempunyai jari-jari inersia terhadap sumbu x relatif sama dengan jari-jari inersia terhadap sumbu y , (PADASBAJAYO, 1991) seperti pada Gambar 3.6

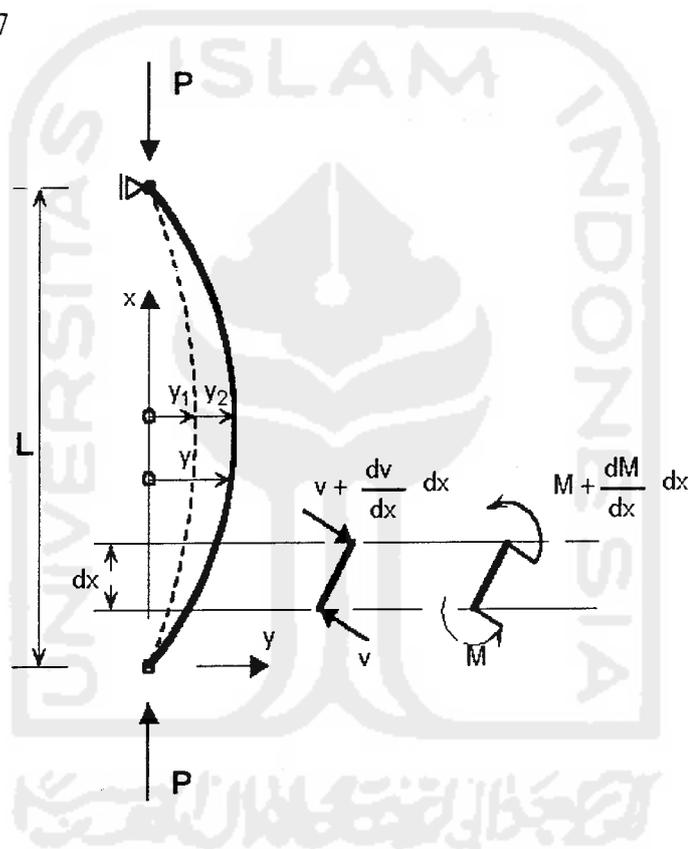


Gambar 3.6 Profil Gabungan Empat Profil Siku

L_1 adalah jarak antar batang perangkai melintang; a adalah jarak titik berat profil satu ke titik berat profil lainnya.

3.2 Efek Gaya Geser

Efek gaya geser pada kolom baik tunggal maupun tersusun dapat dilihat pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Deformasi kolom akibat pembebanan

3.2.1 Efek Gaya Geser Kolom Tunggal

Gere dan Timoshenko, 1985 menyatakan Leonard Euler adalah orang yang pertama kali memformulasikan ekspresi beban kritis elastis pada kolom langsing yang penampangnya solid dengan kedua ujungnya sendi. Kolom yang dibebani

gaya tekan aksial dapat dilihat pada Gambar 3.7 akibat pengaruh beban (P), kolom melentur dan didalam penampangnya timbul gaya geser.

Pelenturan akibat gaya tekan ditunjukkan dengan garis lengkungan penuh, sedangkan pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan garis putus-putus. ditinjau penampang batang yang letaknya x dari ujung bawah. Andaikan pelenturan ditempat tersebut adalah y, pelenturan akibat beban (P), dinyatakan dengan Persamaan 3.20

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} y \quad \dots\dots\dots 3.20$$

Gaya geser (V) yang timbul pada penampang batang adalah

$$V = \frac{dM}{dx} \text{ atau } V = P \frac{dy}{dx} \quad \dots\dots\dots 3.21$$

Kemiringan (siop) yang terjadi akibat gaya geser adalah

$$\theta = \frac{\text{tegangan geser}}{\text{modulus geser}} \quad \dots\dots\dots 3.22$$

Dengan memperhitungkan faktor bentuk (β), diperoleh

$$\theta = \frac{b.V}{AG} \text{ atau } \theta = \frac{\beta}{AG} . P . \frac{dy}{dx} \quad \dots\dots\dots 3.23$$

Dengan

G = modulus geser

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

μ = nilai banding poison

Pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan dengan persamaan

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\beta}{AG} P \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots 3.24$$

Pelenturan total (akibat P dan V) adalah

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} y + \frac{\beta \cdot P}{AG} \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots 3.25$$

Atau

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{EI \left[1 - \frac{\beta \cdot P}{AG} \right]} \dots\dots\dots 3.26$$

Penyelesaian Persamaan 3.12 adalah

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{Lk^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\beta \pi^2 EI}{AG L^2}} \dots\dots\dots 3.27$$

Karena gaya geser pada kolom tunggal kecil maka diabaikan

3.2.2 Efek Gaya Geser Pada Kolom Tersusun

Pelenturan akibat gaya tekan ditunjukkan dengan garis lengkungan putus-putus, sedangkan pelenturan akibat gaya lintang dinyatakan garis penuh. ditinjau penampang batang yang letaknya x dari ujung bawah. Andaikan pelenturan ditempat tersebut adalah y, pelenturan akibat beban (P), dinyatakan dengan Persamaan 3.15

$$M = Py; V = \frac{dm}{dx} = P \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots 3.28$$

Total defleksi y akibat gaya geser adalah

$$y = y_1 + y_2 \dots\dots\dots 3.29$$

Dari bending moment M memberikan defleksi sebesar y_1 dan akibat gaya geser memberikan defleksi sebesar y_2 .

Dari teori elastis Persamaan lengkung bending moment M adalah

$$\frac{d^2 y_1}{dx^2} = -\frac{M}{EI} = -\frac{Py}{EI} \dots\dots\dots 3.30$$

E adalah modulus elastis ; I adalah momen inersia dari penampang

lengkung yang diakibatkan gaya geser V adalah

$$\frac{dy_2}{dx} = \beta \frac{V}{GA} = \beta \frac{P}{GA} \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots 3.31$$

Diman

A adalah luas penampang; G adalah modulus geser; β adalah faktor bentuk penampang ($\beta = 1,11$ untuk penampang lingkaran; $\beta = 1,2$ untuk penampang kotak)

Persamaan lengkung yang diakibatkan gaya geser V adalah

$$\frac{d^2 y_2}{dx^2} = \frac{\beta}{GA} \frac{dV}{dx} = \beta \frac{P}{GA} \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots 3.32$$

substitusi Persamaan 3.30 dan Persamaan 3.32, Persamaan Menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d^2 y_1}{dx^2} + \frac{d^2 y_2}{dx^2} = -\frac{Py}{EI} + \beta \frac{P}{GA} \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots 3.33$$

Persamaan 3.33 diuraikan menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{P}{(1 - \beta P / GA)EI} y = 0 \dots\dots\dots 3.34$$

pada Persamaan diatas caranya sama dengan Euler , bahwa beban kritis didefinisikan pada Persamaan berikut.

$$\frac{P}{(1 - \beta P / GA)EI} = \frac{\pi^2}{l^2} \dots\dots\dots 3.35$$

Persamaan beban kritis kolom tersusun adalah

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{S_v}} \dots\dots\dots 3.36$$

3.2.2.1 Efek Gaya Geser Kolom Tersusun dengan Batang Perangkai Melintang

Efek gaya geser kolom tersusun dengan batang perangkai melintang pada beban kritis yang dijelaskan oleh Kuleuven dari Persamaan 3.36 dapat diuraikan seperti ditunjukkan pada Persamaan 3.37

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{S_v}} = P_{cro} \frac{1}{1 + \frac{P_{cro}}{S_v}} \dots\dots\dots 3.37$$

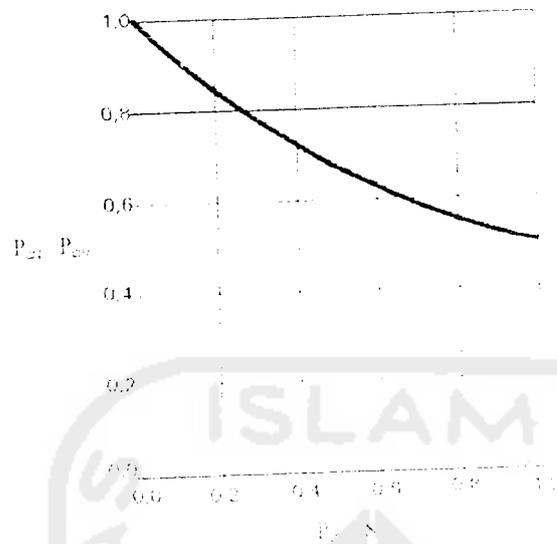
Dimana

$$P_{cro} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}, \text{ persamaan Euler}$$

$$S_v = \frac{GA}{\beta}, \text{ kekakuan geser dari kolom}$$

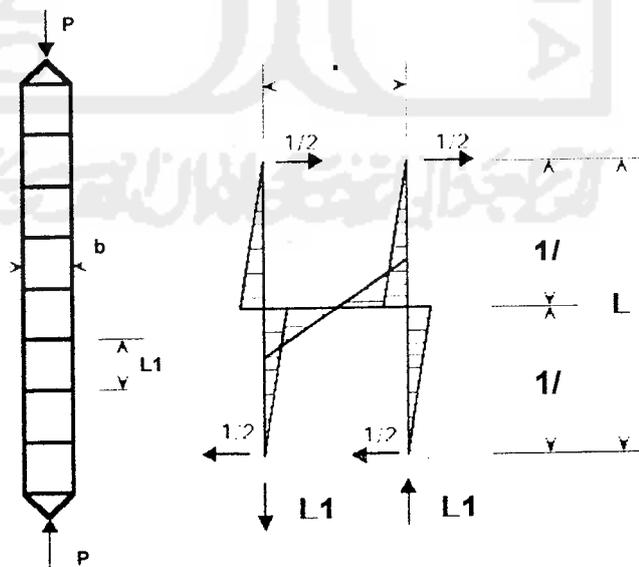
Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa $P_{cr1} < P_{cro}$, semakin besar rasio P_{cro}/S_v , maka semakin kecil rasio $P_{cr1}/P_{cro} < 1$

Dari Persamaan 3.28 didapat grafik yang menunjukkan fungsi dari rasio P_{cro}/S_v



Gambar 3.8 Grafik Fungsi Dari P_{cr0}/S_v

Pada kolom tersusun dengan perangkat melintang, perpanjangan elastis pada batang melintang harus diperhatikan untuk mendapatkan kekakuan geser (S_v), untuk menghitung harga S_v untuk batang perangkat melintang efek gaya geser dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3.9 Gambar gaya geser pada kolom tersusun dengan batang perangkat melintang

Besarnya gaya geser dari batang perangkai melintang dapat dilihat pada Persamaan 3.29

$$\delta = 4 \int_0^{\frac{\sqrt{2}}{2} L} \frac{x}{2 EI_c} \frac{1}{2} x dx + 2 \int_0^{h/2} \frac{L_1}{b} \frac{y}{EI_b} \frac{L_1}{b} y dy = \frac{L^3}{24 EI_c} + \frac{L_1^2 b}{12 EI_b} \dots\dots\dots 3.38$$

Dan kekakuan geser menjadi

$$\frac{1}{S_v} = \frac{\delta}{L_1} = \frac{L^2}{24 EI_c} + \frac{L_1 b}{12 EI_b} \dots\dots\dots 3.39$$

Dimana I_b adalah momen inersia 4 batang perangkai; I_c adalah momen inersia 4 profil siku

Jadi kekuatan kolom tersusun dari batang perangkai melintang adalah

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E I}{L^2} \left(\frac{L_1^2}{24 EI_c} + \frac{L_1 b}{12 EI_b} \right)} \dots\dots\dots 3.40$$

Dimana

- P_{cr1} = beban kritis kolom tersusun dengan perangkai melintang
- E = modulus elastis
- I_c = momen inersia profil
- L = panjang kolom
- L_1 = jarak antar batang perangkai
- b = panjang batang perangkai
- I_b = momen inersia batang perangkai

3.2.2.2 Efek Gaya Geser Kolom Tersusun dengan Batang Perangkai Melintang Diagonal

Efek gaya geser pada kolom tersusun dengan batang perangkai melintang diagonal pada beban kritis yang dijelaskan oleh kuleuven ditunjukkan pada Persamaan 3.41

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E \cdot I}{L^2} \frac{1}{S_v}} = P_{cro} \frac{1}{1 + \frac{P_{cro}}{S_v}} \dots\dots\dots 3.41$$

Dimana

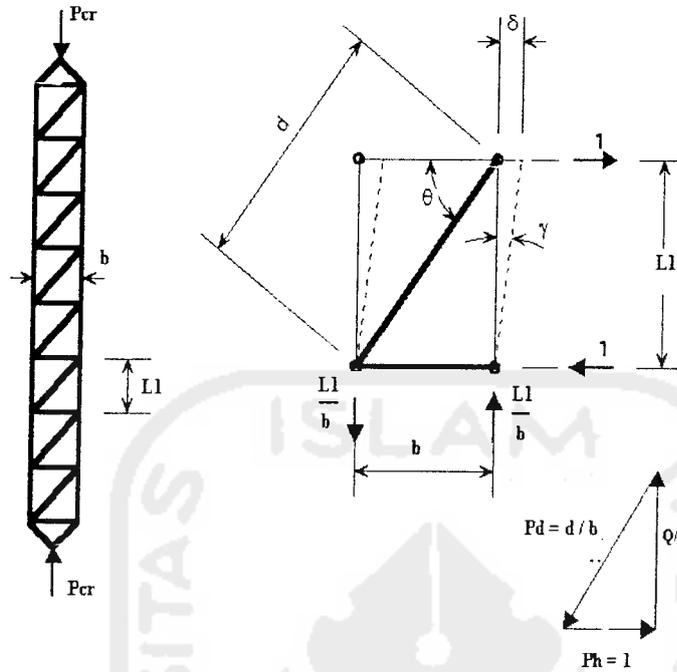
$$P_{cro} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}, \text{ persamaan Euler}$$

$$S_v = \frac{GA}{\beta}, \text{ kekakuan geser dari kolom}$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa $P_{cr1} < P_{cro}$, semakin besar rasio P_{cro}/S_v , maka semakin kecil rasio $P_{cr1}/P_{cro} < 1$

Dari Persamaan 3.32 didapat grafik yang menunjukkan fungsi dari rasio P_{cro}/S_v dapat dilihat pada gambar 3.8

Pada kolom tersusun dengan perangkai melintang diagonal, perpanjang elastis pada batang melintang harus diperhatikan untuk mendapatkan kekakuan geser (S_v), untuk menghitung harga S_v untuk batang perangkai melintang diagonal efek gaya geser dapat ditunjukkan pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Gambar gaya geser pada kolom tersusun dengan batang perangkai melintang diagonal

$$\frac{1}{S_v} = \frac{\delta}{L1} = \gamma \dots\dots\dots 3.42$$

Pergeseran total δ adalah hasil dari perpanjangan batang diagonal δ_1 dan pemendekan batang melintang δ_2

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = P_d \frac{d}{EA_d} P_d + P_o \frac{b}{EA_b} P_o = \frac{d}{b} \frac{d}{EA_d} \frac{d}{b} + \frac{b}{EA_b} \dots\dots\dots 3.43$$

maka

$$\frac{1}{S_v} = \frac{1}{L_1 E} \left[\frac{b}{A_b} + \frac{d^3}{h^2 A_d} \right] = \frac{1}{L_1 b^3 E} \left[\frac{b^3}{A_b} + \frac{d^3}{A_d} \right] = \frac{d^3}{L_1 b^2 A_d E} \left[\frac{b^3 A_d}{d^3 A_b} + 1 \right] \dots\dots\dots 3.44$$

Dengan memasukkan Persamaan 3.43 kedalam Persamaan 3.44 maka didapat Persamaan beban kritis

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{d^3}{L_1 b^2 A_d E} \left[\frac{b^3 A_d}{d^3 A_b} + 1 \right] \right)} \dots\dots\dots 3.45$$

Dimana

P_{cr1} = beban kritis kolom tersusun dengan perangkai melintang diagonal

E = modulus elastis

I = momen inersia

L = panjang kolom

L_1 = jarak antar batang perangkai

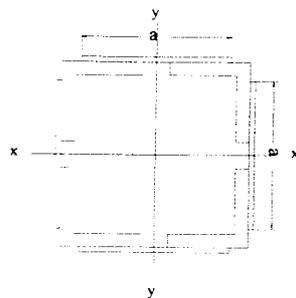
b = panjang batang perangkai melintang

d = panjang batang diagonal

A_d = luas penampang batang diagonal

A_b = luas penampang batang melintang

Untuk menghitung kelangsingan pada kolom tersusun yang dihubungkan dengan batang perangkai melintang dan batang perangkai melintang diagonal dapat dilihat pada Persamaan 3.46 dan Gambar



Gambar 3.11 Kolom Tersusun

Untuk kolom tersusun pada gambar 3.11 nilai $m = 2$, dalam arah x atau arah y untuk batang perangkai melintang atau batang perangkai melintang diagonal

$$\lambda = \frac{Lk}{r} \dots\dots\dots 3.46$$

untuk batang perangkai melintang

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{\min}} \dots\dots\dots 3.47$$

untuk batang perangkai melintang diagonal

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A.Ld^3}{z.Ad.L_1.c^2} + \frac{A.c}{2.Ah.L_1}} \dots\dots\dots 3.47$$

kelangsingan ideal dari komponen struktur tersusun dapat dilihat pada Persamaan 3.40

$$\lambda_i = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2}\lambda_1^2} \dots\dots\dots 3.48$$

nilai m dapat dilihat pada Gambar 3.11

untuk menjamin kesetabilan komponen struktur, maka harus memenuhi syarat dibawah ini

$$\lambda \geq 1,2 \lambda_1$$

$$\lambda_i \geq 1,2 \lambda_1$$

$$\lambda_1 \leq 50$$

dan kekakuan pelat kopel harus memenuhi Persamaan 3.41

$$\frac{I_p}{b} \geq 10 \frac{I_1}{L_1} \dots\dots\dots 3.49$$

Dimana

- m = konstanta
- L_k = panjang tekuk
- r = jari-jari girasi
- L₁ = jarak antar batang perangkai
- r_{min} = jari-jari girasi elemen komponen struktur terhadap sumbu yang memberikan nilai yang terkecil
- I_p = momen inersia pelat kopel
- I_i = momen inersia elemen komponen struktur terhadap sumbu I-I, min⁴
- b = jarak antar profil
- A = luas penampang komponen struktur tersusun
- A_d = luas penampang satu unsur diagonal
- L_d = panjang unsur diagonal
- c = jarak pusat titik berat antar profil tunggal
- z = konstanta dari perangkai kolom tersusun (untuk perangkai melintang diagonal = 2)

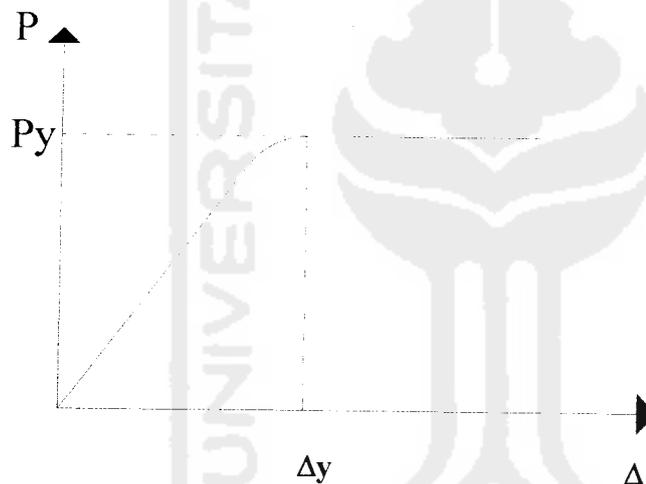
3.3 Hubungan antara Beban dan Lendutan

Kekakuan struktur (K) didefinisikan sebagai rasio beban dan lendutan yang dikemukakan oleh Timoshenko, 1985 dinyatakan dengan

$$K = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots 3.50$$

Pada Persamaan 3.50 bahwa kekakuan berbanding terbalik dengan lendutan. Apabila suatu struktur diberi beban aksial (P) dan menghasilkan lendutan (Δ) maka kekakuan dapat dihitung.

Pada saat beban mencapai maksimum (P_{maks}) maka akan terjadi momen batas yang menimbulkan mekanisme keruntuhan sehingga penampang ini akan mengalami lendutan (Δ). Hubungan beban dan lendutan dapat dilihat pada Gambar3.11



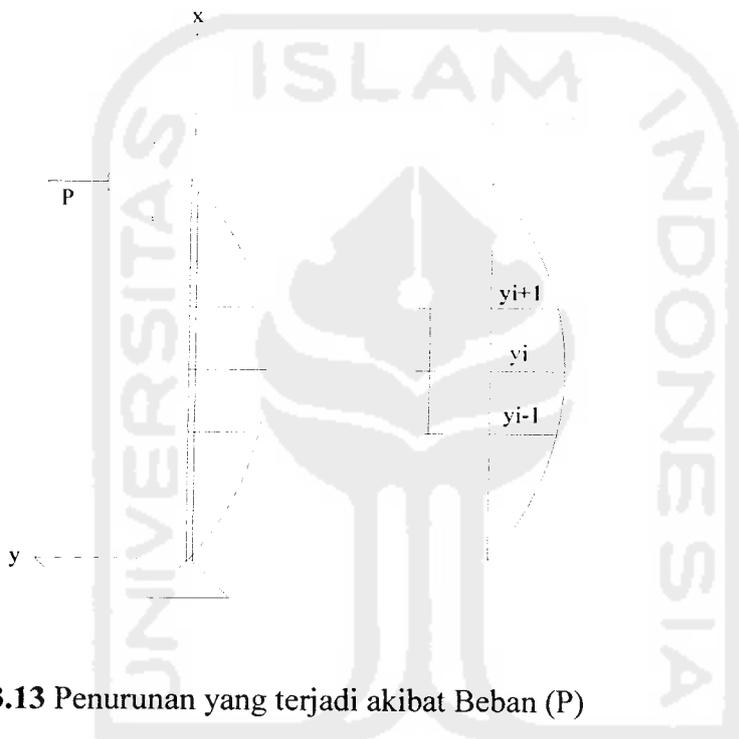
Gambar 3.12 Grafik Hubungan antara Beban (P) dan lendutan (Δ)

3.4 Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (Φ)

Faktor kekakuan didefinisikan sebagai rasio momen dan kelengkungan (Bruneau dkk, 1978; Beedle, 1958) menyatakan dalam Persamaan berikut

$$EI = \frac{M}{\Phi} \dots\dots\dots 3.51$$

Akibat beban aksial (P) maka struktur akan melengkung. Untuk mencari turunan dengan menggunakan 3 buah titik, dengan jarak yang sama (Δx) dimana tiga titik distrik tersebut diberi notasi y_{i+1} , y_i dan y_{i-1} seperti terlihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.13 Penurunan yang terjadi akibat Beban (P)

Dari Gambar 3.12 dapat diketahui besarnya dy dan dx dengan Persamaan 3.44

$$\Phi = \frac{1}{\rho} \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \dots\dots\dots 3.52$$

Karena $\frac{dy}{dx}$ kecil, maka dapat didekati dengan menggunakan metode *central difference*

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \dots\dots\dots 3.53$$

Turunan kedua dari persamaan 3.38 adalah

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \dots\dots\dots 3.54$$

Karena $(2\Delta x)$ adalah konstan, maka nilai dari $\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0$, sehingga persamaan

3.54 menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} \frac{(y_{i+2} - y_i) - (y_i - y_{i-2})}{(2\Delta x)}}{(2\Delta x)^2} \dots\dots\dots 3.55$$

Dari Persamaan 3.47 didapatkan

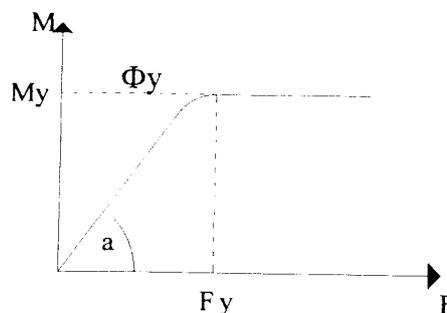
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{(\Delta x)^2} \dots\dots\dots 3.56$$

Dimana nilai $\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI}$, sehingga Persamaan kelengkungan menjadi

$$\Phi = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots 3.57$$

Dari Persamaan 3.43, maka dapat dicari faktor kekakuan EI setelah momen (M) dan kelengkungan (Φ) diketahui.

Grafik hubungan momen dan kelengkungan ditunjukkan pada Gambar 3.13



Gambar 3.14 Grafik Hubungan antara Momen (M) dan Kelengkungan (Φ)

Gambar 3.14 menunjukkan hubungan antara momen-kelengkungan. Pada grafik diatas hubungan momen- kelengkungan membentuk sudut α , dimana

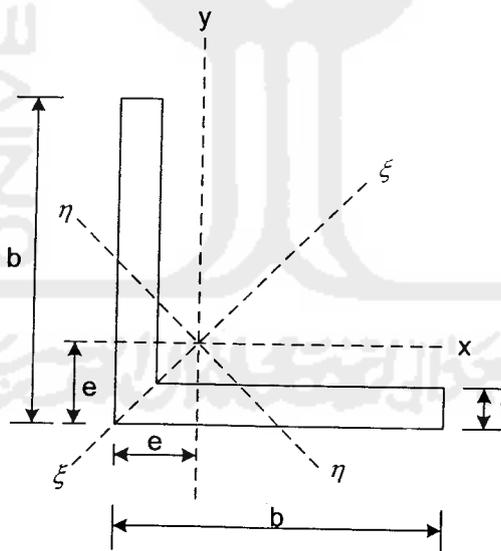
$$\operatorname{tga} = \frac{M}{\phi} \dots\dots\dots 3.58$$

$$EI = \operatorname{tga} \dots\dots\dots 3.59$$

3.5 Penampang Lintang Profil Siku

Sifat penampang dari gabungan profil siku seperti terlihat pada Gambar 3.15 meliputi: luas penampang, momen inersia dan jari-jari inersia dapat dihitung menggunakan Persamaan dibawah ini:

a Penampang Tunggal



Gambar 3.15 Profil Siku

$$A = b \times t + (b-t) \times t \dots\dots\dots 3.60$$

statis momen terhadap sisi bawah

$$e_x = e_y = \frac{b \times t \times 0,5 \times b + (b-t) \times t \times 0,5 \times t}{b \times t + (b-t) \times t} \dots\dots\dots 3.61$$

$$cx = cy = e - \frac{1}{2}t \dots\dots\dots 3.62$$

$$Ix = Iy = \frac{1}{12} b^3 t + b t x (1/2t + (cx \text{ atau } cy))^2 + \frac{1}{12} b x t^3 + (b-t) x t x (1/2t + (cx \text{ atau } cy))^2 \dots\dots\dots 3.63$$

$$rx = ry = \sqrt{\frac{(Ix \text{ atau } Iy)}{A}} \dots\dots\dots 3.64$$

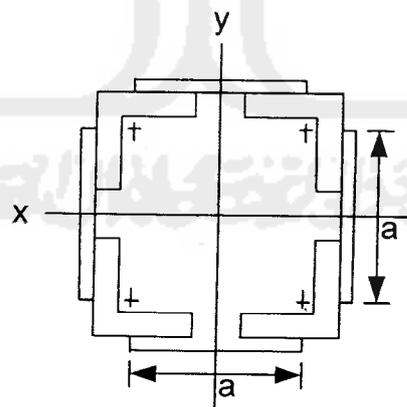
$$I_{maks} = \frac{Ix + Iy}{2} + \sqrt{\left[\frac{Ix - Iy}{2}\right]^2 + (\sum x.y.A)^2} \dots\dots\dots 3.65$$

$$r \text{ maks} = \sqrt{\frac{I_{maks}}{A}} \dots\dots\dots 3.66$$

$$I_{min} = \frac{Ix + Iy}{2} - \sqrt{\left[\frac{Ix - Iy}{2}\right]^2 + (\sum x.y.A)^2} \dots\dots\dots 3.67$$

$$r \text{ min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} \dots\dots\dots 3.68$$

b. Penampang Gabungan



Gambar 3.16 Profil Siku Tersusun

Luas penampang profil gabungan (A_{gab})

$$A_{gab} = 4.A_{profil\ tunggal} \dots\dots\dots 3.69$$

Momen inersia terhadap sumbu x = sumbu y

$$I_{x_{gab}} = I_{y_{gab}} = 4 \cdot I_{x_{tunggal}} + 4 \cdot (A_{profil\ tunggal} + (1/2a)^2) \dots\dots 3.70$$

Jari-jari inersia terhadap sumbu x = sumbu y

$$r_x = r_y = \sqrt{\frac{(I_{x_{gab}} \text{ atau } I_{y_{gab}})}{A_{gab}}} \dots\dots\dots 3.71$$

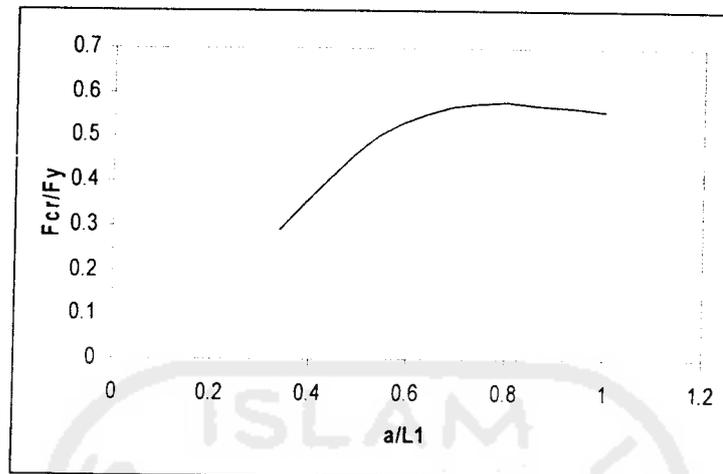
3.6 Pengaruh Jarak Profil Terhadap Kapasitas Kolom

Kolom tersusun merupakan alternatif untuk memperbesar kapasitas tekan bila profil tunggal tidak memenuhi. Kapasitas tekan tersebut dipengaruhi oleh faktor kelangsingan dan susunan batang perangkai. Susunan batang perangkai terdiri dari jenis perangkai dalam penelitian ini menggunakan pelat melintang, jarak antar profil tunggal dan jarak antar pelat penghubung. Rasio antara jarak antar profil dengan jarak pelat pelat penghubung sangat besar pengaruhnya terhadap kapasitas kolom, bila semakin besar rasionya (a/L_1) maka kapasitasnya semakin besar dan sebaliknya.

3.6.1 Kapasitas Batang Perangkai Melintang

Dari *Katholieke universiteit Leuven, 2006* pada Persamaan 3.41 dimana $L = 4000$ mm, $L_1 = 200$ mm dan jarak antar profil (a) dibuat bervariasi bila dimasukkan dalam Persamaan tersebut maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.17

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E \cdot I}{L^2} \left(\frac{L_1^2}{24EI_c} + \frac{L_1 \cdot b}{12EI_b} \right)} \dots\dots\dots 3.41$$

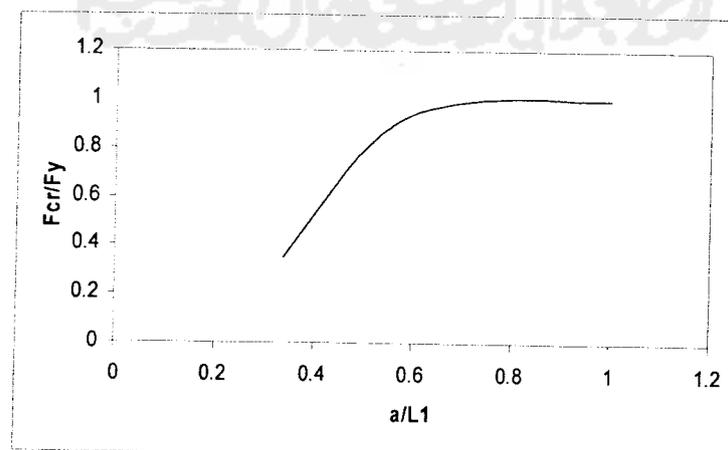


Gambar 3.17 Grafik hubungan P_{cr} dengan a/L_1

3.6.2 Kapasitas Batang Perangkai Melintang Diagonal

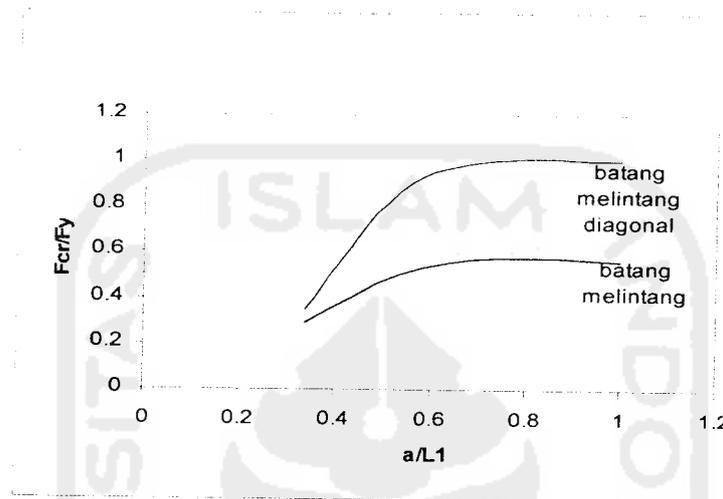
Dari *Katholieke universiteit Leuven, 2006* pada Persamaan 3.45 dimana $L = 4000$ mm, $L_1 = 200$ mm dan jarak antar profil (a) dibuat bervariasi bila dimasukkan dalam Persamaan tersebut maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.18

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{d^3}{L_1 b^2 A_d E} \left[\frac{b^3 A_d}{d^3 A_b} + 1 \right] \right)} \dots \dots \dots 3.45$$



Gambar 3.18 Grafik hubungan P_{cr} dengan a/L_1

Dari Persamaan 3.41 dan 3.45 dapat dilihat perbedaan kapasitas batang perangkai melintang dan batang perangkai melintang dan diagonal yang ditunjukkan pada Gambar 3.19



Gambar 3.19 Grafik hubungan P_{cr} dengan a/L_1 batang perangkai melintang dan batang perangkai melintang diagonal

3.7 Hipotesis

Berdasarkan kajian dari tinjauan pustaka dan landasan teori dapat dikemukakan hipotesis bahwa kapasitas kolom tersusun dipengaruhi oleh banyak factor antara lain : jarak antar profil, bentuk batang perangkai, tinggi kolom dan panjang batang perangkai. Jarak antar profil sangat mempengaruhi kapasitas kolom tersusun baik menggunakan batang perangkai melintang maupun kombinasi batang melintang dan diagonal, bahwa semakin jauh jarak antar profil kapasitasnya semakin besar. Pada batang perangkai melintang bila jarak profil sudah maksimum selebihnya kapasitas kolom menurun sedangkan pada batang perangkai melintang dan diagonal bila jarak antar profil sudah mencapai maksimum selebihnya kapasitas kolom sama. Terjadinya perbedaan kapasitas

pada batang perangkai melintang dan batang perangkai melintang diagonal disebabkan karena faktor bentuk batang perangkai yang mempengaruhi kekakuan.



BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

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

4.2 Bahan dan Alat

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

4.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah baja siku dengan dimensi 23 x 23 x 2,3 x 1 mm dan dimensi batang penghubung menggunakan besi P10

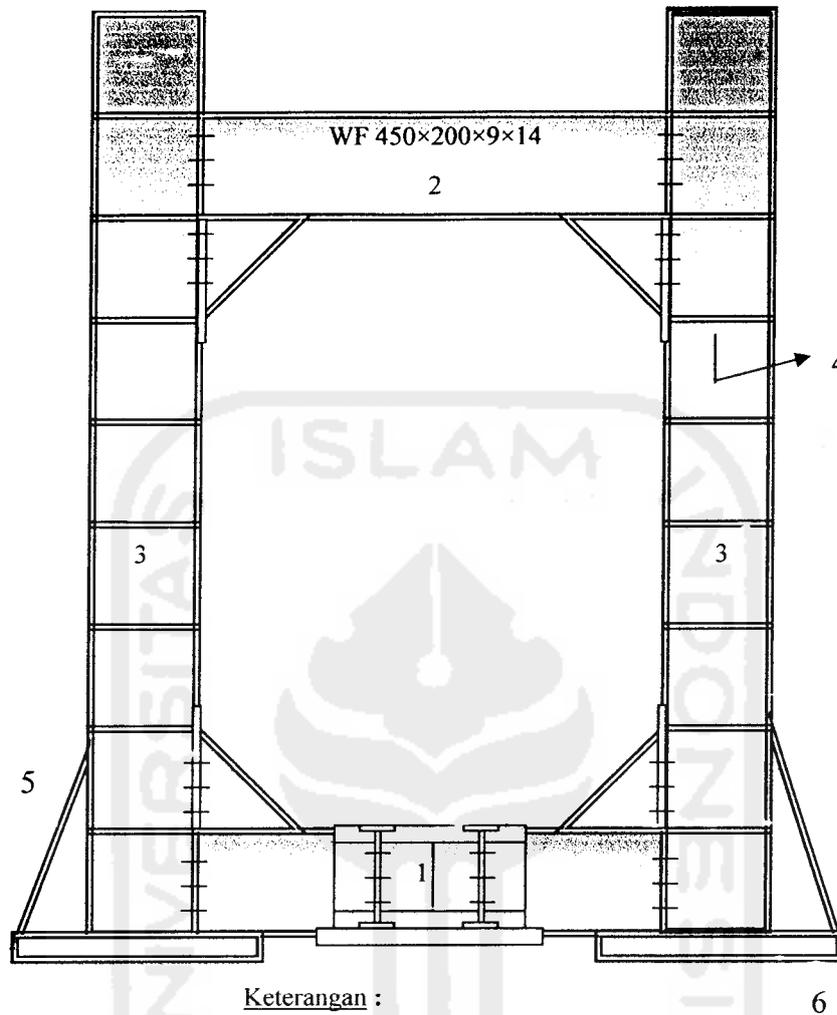
4.2.2 Peralatan

Peralatan- peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

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

a. Loading Frame

adalah alat yang terbuat dari baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm, dengan bentuk dasar berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar alat tersebut stabil, pelat dasar dibaut kelantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan di uji dengan cara melepas sambungan baut. Sketsa fisik *Loading Frame* dapat dilihat pada Gambar 4.1



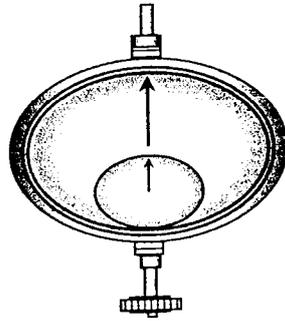
Keterangan :

1. Balok Lintang
2. Balok Portal (bisa digeser)
3. Kolom
4. Pengaku
5. Angkur
6. Pelat Dasar

Gambar 4.1 *Loading Frame*

b. Dial Gauge

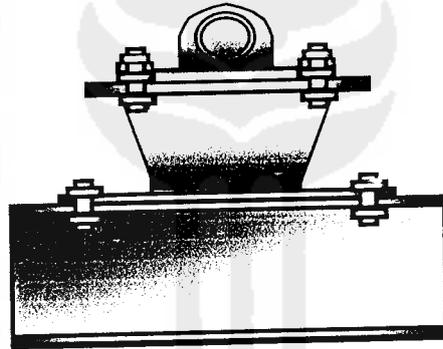
Dial Gauge adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur lendutan, dengan satuan 10^{-2} mm, gambar alat dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Dial Gauge

c. Dukungan sendi

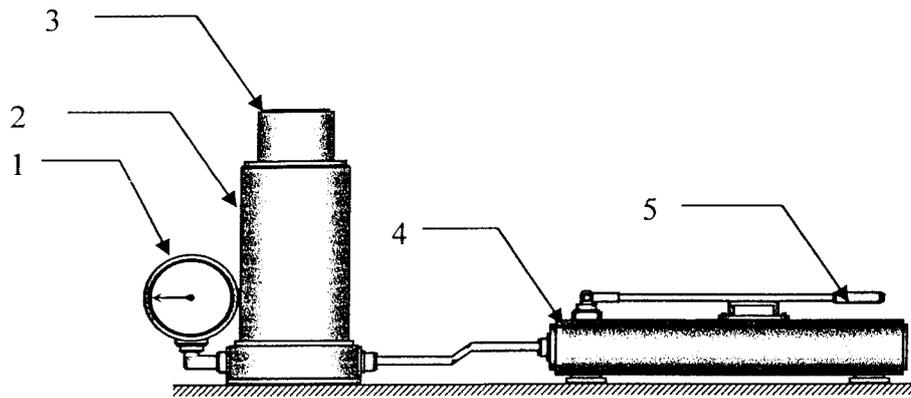
Dukungan sendi adalah suatu dukungan yang digunakan untuk pengujian dimana benda uji diletakkan diatas dukungan kemudian disetting dan ditekan, fungsi dukungan tersebut untuk menahan benda uji .



Gambar 4.3 Dukungan Sendi

d. Hidraulic jack

Hidraulic jack adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui kapasitas beban, alat ini menggunakan satuan Psi. dalam pembacaannya setiap kenaikan satu strip bebannya naik 200 Psi. alatnya dapat dilihat pada gambar 4.4



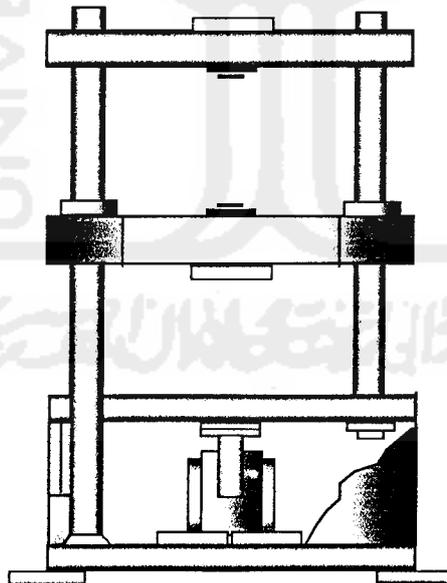
Keterangan :

1. Load sell
2. Hydraulic jack
3. Pembebanan Titik
4. Transducer Indicator
5. Tuas

Gambar 4.4 Hidraulic jack

e. Mesin uji kuat tarik

Mesin uji kuat tarik adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui kekuatan bahan dan kekuatan las sambungan, dengan satuan Kgf, dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Mesin uji kuat tarik

4.3 Benda Uji

Benda uji dalam penelitian dibuat terlebih dahulu kemudian diuji di laboratorium, benda uji tersebut berupa empat baja siku yang dirangkai dengan pelat melintang.

- a. benda uji kuat tekan yang diambil dari gabungan empat profil siku



Gambar 4.6 Benda Uji Kuat Tekan

Tabel 4.1 Tabel Sample Pengujian

No	Tipe Kolom	Dimensi	Rasio a/L_1)
1	K1	4Lx30x30x0.3	0,34
2	K2	4Lx30x30x0.3	0,54
3	K3	4Lx30x30x0.3	0,74
4	K4	4L x30x30x0.3	1,00

- b. Benda Uji Tarik



Gambar 4.7. Benda Uji Untuk Uji Kuat Tarik

4.4 pengujian sampel

Tahap-tahap pengujian yang dilakukan dalam penelitian ada dua macam pengujian;

1. Pengujian awal sampel

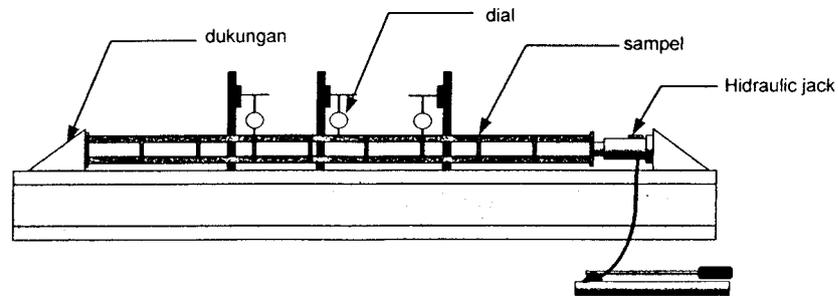
Pengujian awal sampel ini ada dua macam pengujian yaitu pengujian kuat tarik baja dan pengujian kuat tekan baja.

- a. Pengujian kuat tarik baja. Pengujian kuat tarik baja ini dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh baja (F_y), tegangan ultimit baja (F_u), dan modulus elastis baja (E). pada pengujian ini sampel baja yang diuji adalah seperti pada Gambar 4.7
- b. Pengujian kuat tekan baja. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat ditahan oleh profil tersusun dengan penghubung pelat melintang

2. Pengujian sampel

Setelah pengujian awal dilakukan, Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan aksial sentries secara bertahap untuk mengetahui kekuatan tekan kolom tersusun dari empat profil siku dengan pelat penghubung melintang. agar pengujian terbebani secara sentries maka pengujian dilakukan pengujian tidur karena panjang kolom 4 m. Pengujian tidak dilakukan dengan cara berdiri karena keterbatasan tinggi loading frame, tinggi dari loading frame maksimal 1,5m. pengujian cara tidur dapat dilihat pada gambar 4.8



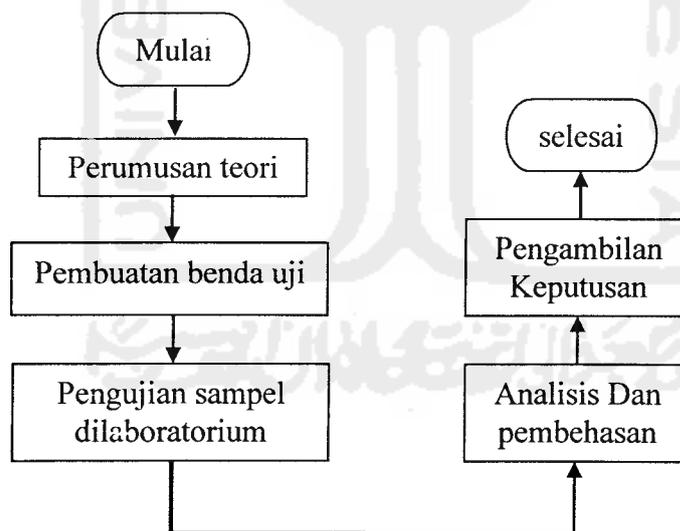


Gambar 4.8 Pengujian Dengan Cara Tidur

4.5 Analisis hasil pengujian

Hasil dari pengujian akan dijadikan data dalam menganalisis perilaku kolom tersusun dengan penghubung pelat melintang dengan variasi jarak antar profil

4.6 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.11 Bagan Alir Prosedur Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi : a) pengujian pendahuluan dan b) uji kuat tekan kolom tersusun. Adapun uji pendahuluan berupa uji kuat tarik baja, uji kuat geser sambungan las, dan uji tekan profil siku yang sesuai dengan elemen yang digunakan dalam menyusun kolom tersusun. Pengujian ini berguna untuk mengetahui kekuatan bahan yang dipakai, dan hasil pengujian akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom untuk menerima beban aksial tekan sentris.

5.1.1 Hasil Uji Pendahuluan

Hasil uji pendahuluan meliputi beban leleh (F_y), beban maksimum atau beban ultimit (P_u), beban pada saat putus. Hasil uji pendahuluan digunakan untuk menentukan tegangan leleh (F_y) dan tegangan ultimit (F_u) yang berguna untuk mengetahui kekuatan kolom. Uji pendahuluan juga meliputi pengujian kekuatan sambungan las dan kuat tekan profil siku.

5.1.1.1 Uji Tarik Baja Siku

Pengujian kuat tarik material baja siku dilakukan dengan tiga buah sampel uji berupa plat dari profil siku yang dibentuk dengan standar pengujian kuat tarik baja. Adapun pengujian kuat tarik baja dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut :

Dengan $A = 2,3 \times 10 = 23\text{mm}^2$

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda uji	Beban Leleh (Py) (kN)	Beban ultimate (Pu) (kN)	Tegangan Leleh (Fy) (Mpa)	Tegangan ultimate (Fu) (Mpa)
Sampel 1 Profil siku	9,520	11,580	413,913	503,478
Sampel 2 Profil siku	11,040	12,360	480,000	537,391
Sampel 3 Profil siku	7,850	10,890	341,304	473,478
Rata - Rata	9,470	11,610	411,739	504,782

5.1.1.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las

Uji las geser dilakukan guna mengetahui kuat geser las yang digunakan pada sambungan benda uji, hasil uji geser las ditunjukkan dalam Tabel 5.2

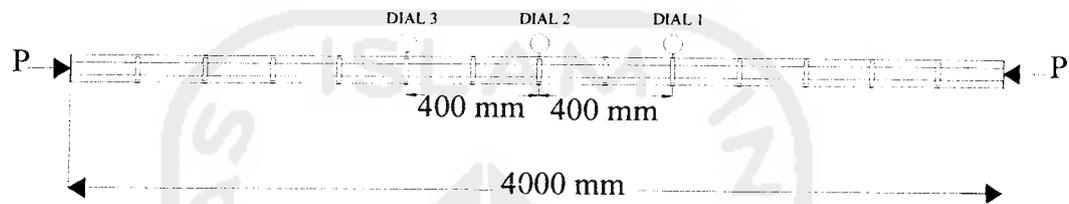
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

Benda Uji	P Maks (kN)
Sampel 1	13,685
Sampel 2	12,066
Sampel 3	12,361

5.1.1.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun

Kapasitas kolom tersusun dengan variasi $a/L_1 = 0,34$; $a/L_1 = 0,54$; $a/L_1 = 0,74$ dan $a/L_1 = 1$ dalam pengujiannya menggunakan alat dukung Loading Frame dan alat pembebanan Hydraulic Jack, pelaksanaannya di Laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Struktur dibebani tekan aksial sentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 6 kN, kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya lendutan dibaca dengan menggunakan dial gauge, dial gauge dipasang pada tengah panjang bentang benda uji dan kanan kiri dari tengah bentang panjang benda uji sejarak 400mm,

pemasangan Dial dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.3

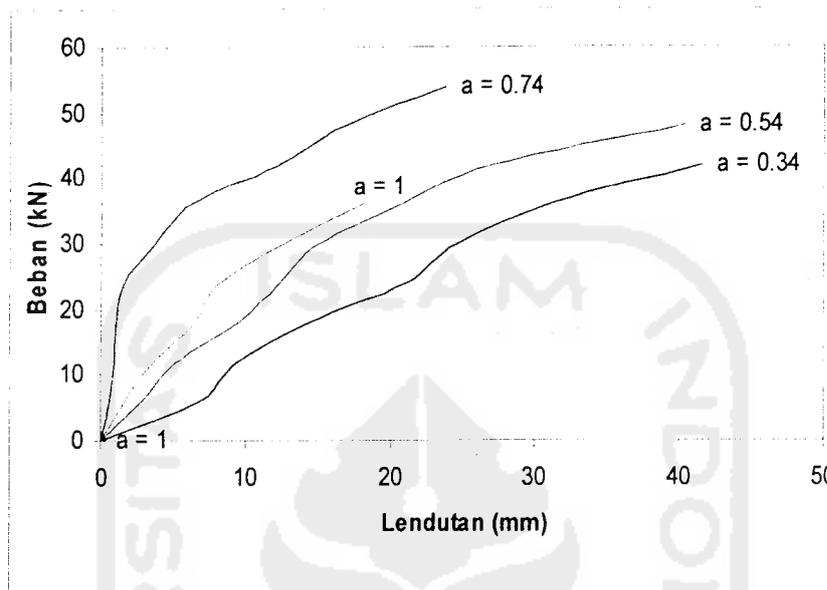


Gambar 5.1 Penempatan Dial Pada Benda uji

Tabel 5.3 Hasil Pengujian hubungan Beban-Lendutan pada Kolom Tersusun Dengan Batang Melintang

Beban (kN)	LENDUTAN											
	k1 a/L1 = 0.34			k2 a/L1 = 0.54			k3 a/L1 = 0.74			k4 a/L1 = 1		
	Dial1 (mm)	Dial2 (mm)	Dial3 (mm)	Dial1 (mm)	Dial2 (mm)	Dial3 (mm)	Dial1 (mm)	Dial2 (mm)	Dial3 (mm)	Dial1 (mm)	Dial2 (mm)	Dial3 (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	5,12	6,90	5,18	2,61	2,89	3,94	0,55	0,96	1,38	1,65	2,10	2,00
12	8,27	9,45	9,12	5,55	5,10	6,97	0,91	1,36	1,82	3,62	4,20	3,88
18	11,30	14,38	13,14	8,66	9,51	9,09	1,11	1,51	1,90	6,42	6,50	5,12
24	18,69	21,04	20,33	11,25	12,35	12,04	1,54	1,84	2,15	8,11	9,10	7,32
30	21,05	24,70	24,15	14,76	15,00	15,23	3,72	4,22	4,72	12,61	12,25	11,39
36	28,20	31,22	30,30	19,72	20,92	20,17	6,15	6,56	6,95	18,13	17,92	16,93
42	38,35	41,58	40,15	24,87	27,00	25,04	12,22	10,98	9,75			
48				37,34	40,28	38,10	16,80	15,30	13,80			
54							23,76	21,10	18,48			

Data dari Tabel 5.3 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan maksimum, seperti pada Gambar 5.2



Gambar 5.2 Grafik Hubungan P - Δ Maksimum Keempat Benda Uji Dengan Batang Penghubung Melintang

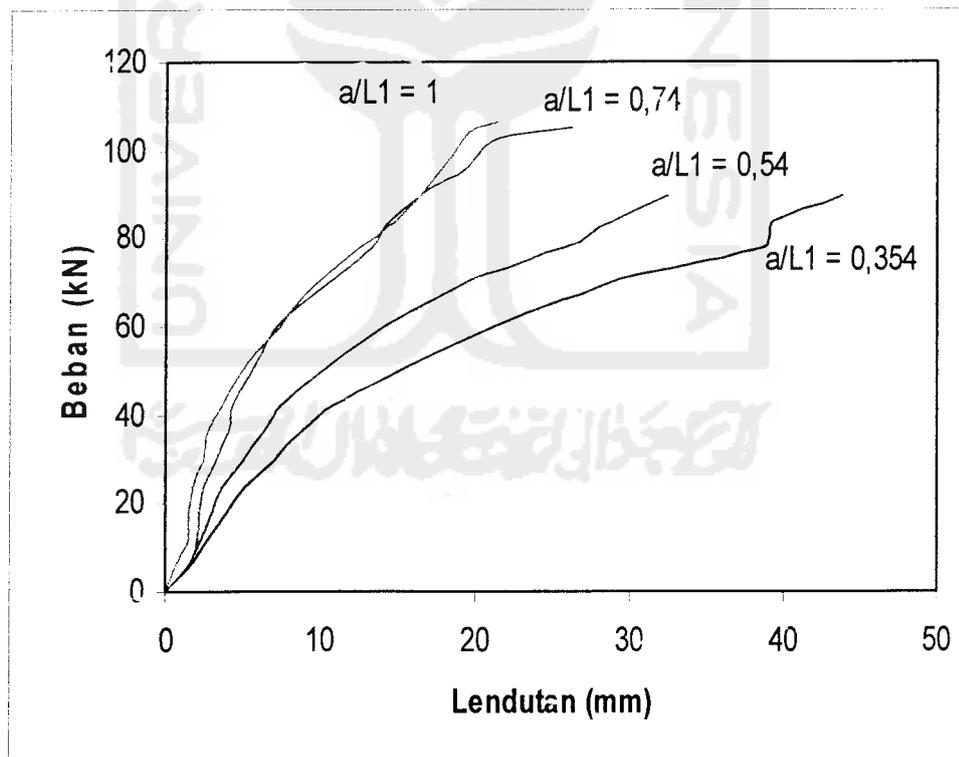
Pada hasil pengujian Tabel 5.3 bahwa semakin besar variasinya a/L_1 kekuatan semakin naik berlaku untuk $a/L_1 < 0,74$. sedangkan pada variasi $a/L_1 > 0,74$ kekuatannya menurun lebih kecil dari variasi $a/L_1 = 0,34$ hal ini dipengaruhi oleh kelangsingan batang perangkatai.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Tekan Kolom Tersusun Dengan Pengaku Batang Melintang dan Diagonal

LENDUTAN												
Beban (kN)	k1 $a/L_1 = 0.34$			k2 $a/L_1 = 0.54$			k3 $a/L_1 = 0.74$			k4 $a/L_1 = 1$		
	Dial1 (mm)	Dial2 (mm)	Dial3 (mm)	Dial1 (mm)	Dial2 (mm)	Dial3 (mm)	Dial1 (mm)	Dial2 (mm)	Dial3 (mm)	Dial1 (mm)	Dial2 (mm)	Dial3 (mm)
0	0,00	0,00	00,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	1,72	1,64	1,64	1,00	1,50	1,40	1,05	1,50	1,22	1,37	0,62	1,50
12	2,80	2,73	2,73	1,80	2,30	2,30	1,62	2,07	2,04	1,88	1,46	2,04
18	3,94	3,94	3,79	2,50	3,00	3,10	1,96	2,20	2,43	2,02	1,52	2,18
24	5,14	5,20	4,87	3,40	3,70	3,90	2,62	2,42	2,99	2,20	1,70	2,56
30	6,90	7,04	6,61	4,50	5,00	5,00	3,08	3,21	3,48	2,49	2,46	2,91

36	8,55	8,80	8,36	5,50	6,30	6,10	3,61	4,08	4,00	3,24	2,70	3,54
42	10,4	10,77	10,24	6,70	7,40	7,30	4,22	4,37	4,64	3,85	3,62	4,26
48	12,45	14,05	12,65	8,00	9,40	8,90	4,86	5,24	5,29	5,20	4,65	5,24
54	14,98	17,45	15,48	9,60	11,60	10,70	5,62	6,18	6,07	6,35	5,79	6,10
60	17,55	21,20	18,50	11,40	14,00	12,70	6,75	7,22	7,23	7,61	7,42	7,14
66	21,27	25,55	21,28	14,10	17,10	14,40	8,34	9,12	7,80	9,31	8,60	8,44
72	25,42	30,75	25,90	16,80	20,70	17,30	9,70	11,21	9,06	11,01	10,45	10,78
78	31,40	38,70	31,20	20,30	25,70	20,40	10,75	13,25	10,05	12,81	12,40	12,56
84	33,70	39,20	33,45	23,00	28,80	22,10	11,79	14,35	10,92	14,74	14,73	14,58
90	36,60	43,80	36,50	25,70	32,40	25,00	12,00	16,41	11,94	16,30	16,35	16,16
96							12,85	19,51	12,85	17,62	17,86	16,97
102							15,95	21,12	14,78	18,46	19,12	18,05
105							17,80	26,22	16,84	18,92	19,96	18,84
106,50										20,62	21,41	20,36

Data dari Tabel 5.4 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik beban dan lendutan maksimum, seperti pada Gambar 5.3



Gambar 5.3 Grafik Hubungan P - Δ Keempat Benda Uji Dengan Batang Penghubung Melintang dan Diagonal

Pada hasil pengujian Tabel 5.4 bahwa semakin besar variasinya a/L_1 kekuatan semakin naik karena pada batang perangkai melintang dan diagonal kekakuannya lebih solid (kolom semakin kompak) dari pada batang perangkai melintang

5.2 Pembahasan

5.2.1 Pembahasan Uji Pendahuluan

Data yang diperoleh dari hasil uji tarik digunakan untuk mendapatkan beban leleh (P_y), dan beban maksimum atau beban ultimit (P_u). Tegangan leleh (F_y) didapatkan dengan membagi beban leleh dengan luas penampang ($F_y = P_y/A$). Tegangan ultimit (F_u) didapatkan dengan membagi beban maksimum dengan luas penampang ($F_u = P_u/A$). Kekuatan las didapatkan dengan membagi beban maksimum dengan panjang las, sehingga kekuatan las persatuan panjang (per millimeter) diketahui dengan cara tersebut.

5.2.1.1 Pembahasan Uji Kuat Tarik Baja

Dari hasil pengujian kuat tarik didapat hasil pada Tabel 5.4 sebagai berikut :

Tabel 5.5 Analisis Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Benda uji	Beban Leleh (P_y) (kN)	Beban ultimi (P_u) (kN)	Tegangan Leleh (F_y) (Mpa)	Tegangan ultimit (F_u) (Mpa)
Sampel 1 Profil siku	9,520	11,580	413,913	503,478
Sampel 2 Profil siku	11,040	12,360	480,000	537,391
Sampel 3 Profil siku	7,850	10,890	341,304	473,478
Rata - Rata	9,470	11,610	411,739	504,782

Hasil yang didapatkan dari rata – rata uji kuat tarik baja pada table 5.4

adalah $F_y = 411,739$ Mpa; $F_u = 504,782$ Mpa. Hasil pengujian kuat tarik dan tegangan maksimum baja diatas menunjukkan mutu baja yang digunakan dalam penelitian. Mutu baja yang digunakan memenuhi syarat untuk masuk sebagai baja struktur spesifikasi ASTM (American Society Testing and Materials) dengan mutu A500.

5.2.1.2 Pembahasan Uji Kuat Geser Sambungan Las

Uji las geser dilakukan guna mengetahui kuat geser las yang digunakan pada sambungan benda uji, hasil uji geser las ditunjukkan dalam Tabel 5.2

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Kuat Tarik Las

Benda Uji Las	Beban Ultimit (Pu) (kN)
Sampel 1	13.690
Sampel 2	12.070
Sampel 3	12.360
Rata - Rata	12.707

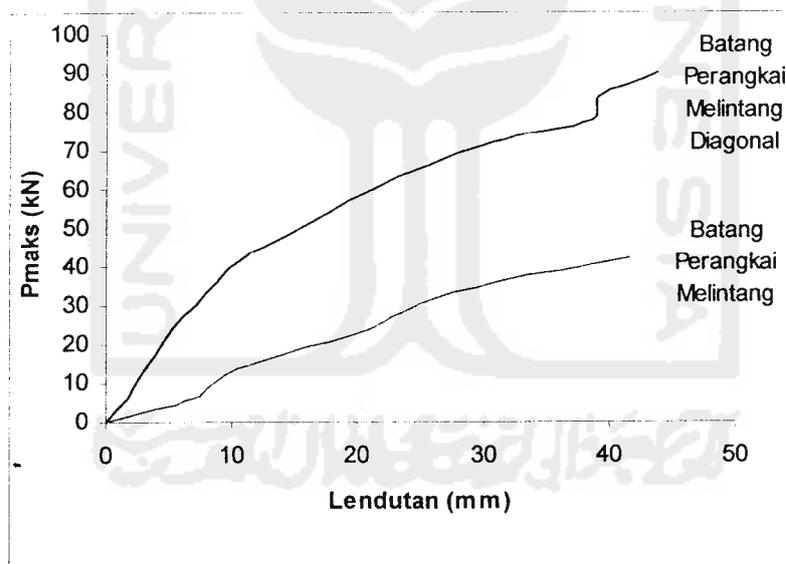
Hasil yang didapatkan dari rata – rata uji las geser dalam sambungan pada tabel 5.6 adalah 12,707 kN

5.2.1.3 Pembahasan Uji Kuat Tekan Profil Siku

Data yang diperoleh dari uji pendahuluan ini berguna untuk mengetahui perilaku profil gabungan empat profil siku dengan jarak antar profil bervariasi. Dari hasil pengujian ini bisa didapatkan nilai beban kritis dan tegangan kritis. Dan dari pengujian ini juga diharapkan mampu memberikan penjelasan mengenai pengaruh batang perangkai. Pada penelitian ini menggunakan Batang perangkai

melintang dan batang perangkai melintang diagonal diteliti oleh Benyamin (97511401). Dari hasil penelitian tersebut kekuatan batang perangkai melintang dan diagonal lebih besar jika dibandingkan dengan batang perangkai melintang kekuatannya hampir 0,5 kali ini disebabkan karena faktor bentuk batang perangkai yang mempengaruhi kekakuan kolom tersusun. Sehingga kekakuan pada batang perangkai melintang dan diagonal lebih solid dari batang perangkai melintang saja. Perbedaan kapasitas kolom tersusun tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Hasil uji penelitian kuat tekan kolom tersusun dengan batang perangkai melintang dengan batang perangkai melintang diagonal pada rasio $a/L_1 = 0,34$ dapat dilihat pada Gambar 5.4

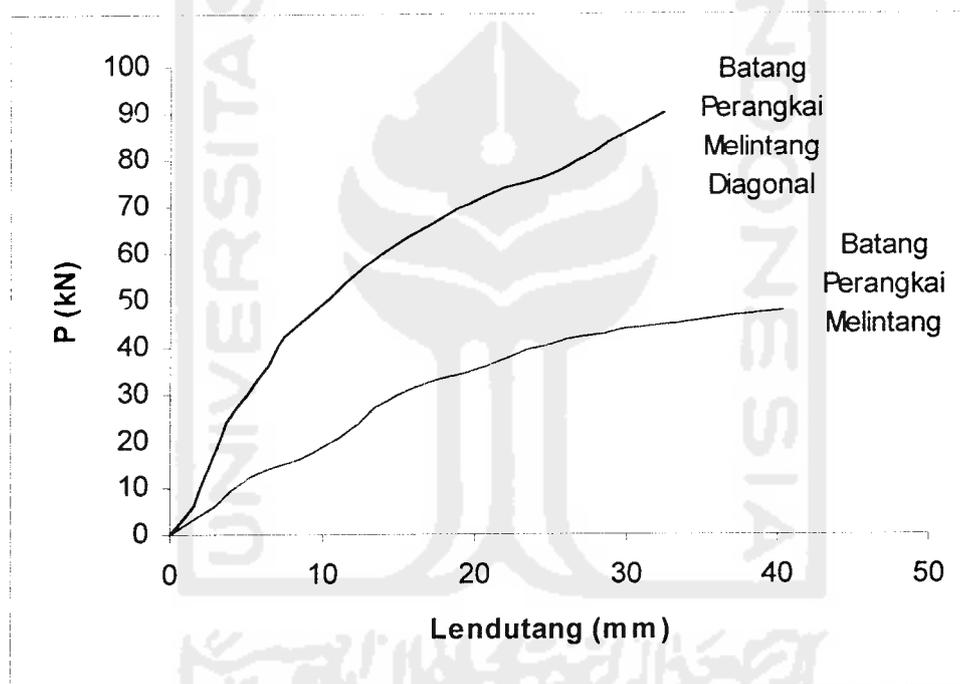


Gambar 5.4 Grafik Hubungan P - Lendutan Hasil Uji Pada Batang Perangkai Melintang dan Batang Perangkai Melintang Diagonal Dengan Rasio $a/L_1 = 0,34$

Pada Gambar 5.4 pada kolom tersusun dengan batang perangkai melintang kekuatan maksimum 42 kN, lendutannya 41,58 mm dan pada batang perangkai melintang diagonal kekuatannya 90 kN, lendutannya 43,8 mm ini berarti dengan

memakai perangkai diagonal rasio kekuatannya naik 0,47 hal ini disebabkan karena penambahan batang perangkai diagonal menyebabkan kolom tersusun tersebut lebih solid dan

Hasil uji penelitian kuat tekan kolom tersusun dengan batang perangkai melintang dengan batang perangkai melintang diagonal pada rasio $a/L_1 = 0,54$ dapat dilihat pada Gambar 5.5

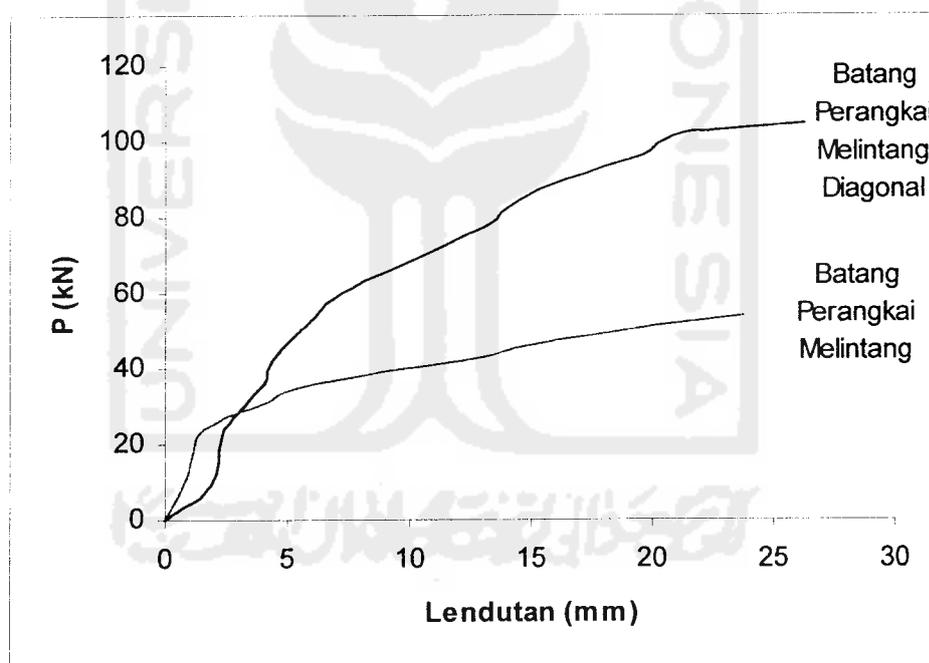


Gambar 5.5 Grafik Hubungan P - Lendutan Hasil Uji Pada Batang Perangkai Melintang dan Batang Perangkai Melintang Diagonal Dengan Rasio $a/L_1 = 0,54$

Pada Gambar 5.5 pada kolom tersusun dengan batang perangkai melintang kekuatan maksimum 48 kN, lendutannya 40,28 mm dan pada batang perangkai melintang diagonal kekuatannya 90 kN, lendutannya 32,4 mm. pada variasi ini dengan memakai perangkai diagonal kekuatannya naik 0,467. Kapasitas pada

batang perangkai melintang dengan semakin jauh jarak antar profil (a) kapasitas naik, karena jarak antar profil (a) mempengaruhi momen inersia yang menyebabkan kekuatan kolom bertambah., lendutannya kecil karena kekakuan kolom tersusun naik dan pada variasi 0,54 masih aman terhadap kelangsingan kolom.

Hasil uji penelitian kuat tekan kolom tersusun dengan batang perangkai melintang dengan batang perangkai melintang diagonal pada rasio $a/L_1 = 0,74$ dapat dilihat pada Gambar 5.6

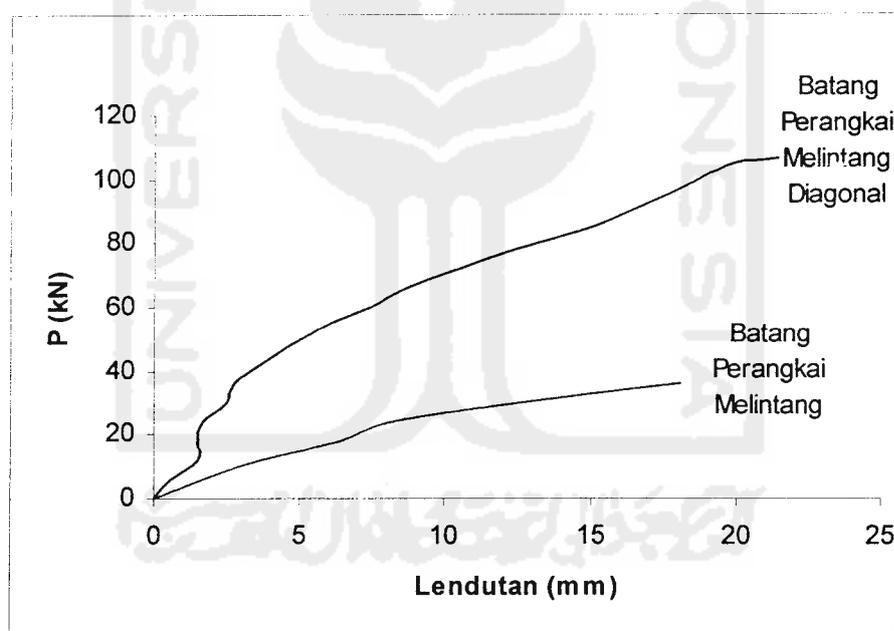


Gambar 5.6 Grafik Hubungan P_{maks} – Lendutan Hasil Uji Pada Batang Perangkai Melintang dan Batang Perangkai Melintang Diagonal Dengan Rasio $a/L_1 = 0,74$

Pada Gambar 5.6 pada kolom tersusun dengan batang perangkai melintang kekuatan maksimum 54 kN, lendutannya 23,76 mm dan pada batang perangkai

melintang diagonal kekuatannya 105 kN, lendutannya 26,22 mm. pada variasi $a/L_1 = 0,74$ jarak antar profil semakin panjang menyebabkan momen inersia menjadi besar sehingga kekuatan kolom semakin naik, kekakuan kolom juga naik dan pada variasi 0,74 masih aman terhadap kelangsingannya dapat dilihat pada lampiran C-4

Hasil uji penelitian kuat tekan kolom tersusun dengan batang perangkai melintang dengan batang perangkai melintang diagonal pada rasio $a/L_1 = 1$ dapat dilihat pada Gambar 5.7



Gambar 5.7 Grafik Hubungan P_{maks} – Lendutan Hasil Uji Pada Batang Perangkai Melintang dan Batang Perangkai Melintang Diagonal Dengan Rasio $a/L_1 = 1$

Pada Gambar 5.7 pada kolom tersusun dengan batang perangkai melintang kekuatan maksimum 36 kN, lendutannya 18,13 mm dan pada batang perangkai melintang diagonal kekuatannya 106,5 kN, lendutannya 21,41 mm. pada batang

perangkai melintang jarak antar profil semakin panjang yang menyebabkan momen inersia semakin besar tetapi kekuatan kolom menurun. Hal ini dipengaruhi oleh : a) kekakuan batang perangkai semakin kecil karena jarak antar profil yang semakin panjang sehingga kelangsingan batang perangkai besar. b) pada waktu pengujian sebelum kolom diuji, kolom sudah melengkung dan pada saat kolom tersusun dirangkai, kolom sudah mengalami tegangan residu yang diakibatkan oleh las. Dan c) kolom tidak kompak.

5.2.1.4 Hubungan Momen-Kelengkungan

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan beban –lendutan hingga dapat dicari momen (M) dan kelengkungan (Φ). Hubungan momen dan kelengkungan ($M-\Phi$) pada masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan pada Gambar 5.8; 5.9; 5.10; 5.11

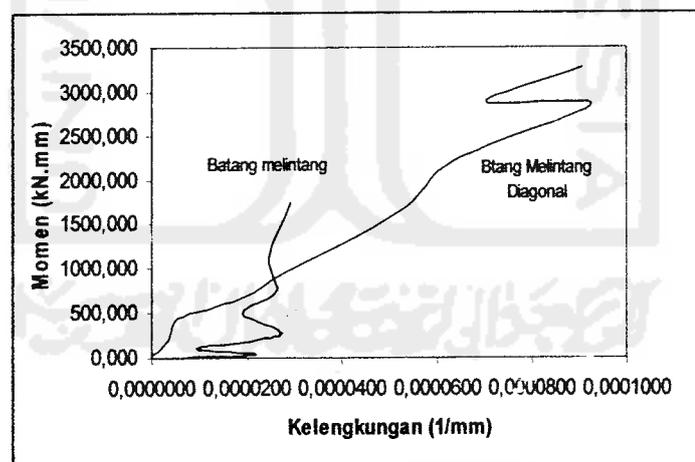
Tabel 5.7 Hubungan Momen dan Kelengkungan pada Batang Perangkai Melintang

K1 $a/L_1 = 0,34$		K2 $a/L_1 = 0,54$		K3 $a/L_1 = 0,74$		K4 $a/L_1 = 1$	
Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0,000	0,0000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
41,400	0,0000219	17,340	4,81E-06	3,300	6,25E-08	9,900	3,43E-06
113,400	0,0000094	61,200	0,0000145	10,920	6,25E-08	43,440	5,63E-06
258,840	0,0000270	171,180	7,9375E-06	19,980	6,25E-08	115,560	9,12E-06
504,960	0,0000191	296,400	8,8125E-06	36,960	6,25E-08	194,640	1,73E-05
741,000	0,0000263	450,000	6,25E-08	111,600	5,55E-21	378,300	3,13E-06
1123,920	0,0000246	753,120	1,2188E-05	221,400	1,25E-07	652,680	4,88E-06
1746,360	0,0000291	1134,000	2,556E-05	513,240	6,25E-08		
		1933,440	0,000032	806,400	0,000		
				1283,040	2,5E-07		

Tabel 5.8 Hubungan Momen dan Kelengkungan pada Batang Perangkai Melintang dan Diagonal

K1 $a/L_1 = 0,34$		K2 $a/L_1 = 0,54$		K3 $a/L_1 = 0,74$		K4 $a/L_1 = 1$	
Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm	Momen kN.mm	Φ 1/mm
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9,840	1,250E-07	9,000	0,00000375	9,000	4,563E-06	3,720	2,313E-06
32,760	1,875E-07	27,600	0,000003125	24,840	0,000003	17,520	3,125E-06
70,920	1,563E-06	54,000	0,0000025	39,600	6,250E-08	27,360	3,375E-06
124,800	2,438E-06	88,800	6,25E-07	58,080	1,875E-07	40,800	3,375E-06
211,200	3,563E-06	150,000	0,000003125	96,300	3,750E-07	73,800	0,00000575
316,800	4,313E-06	226,800	0,00000625	146,880	3,438E-06	97,200	0,00000575
452,340	5,625E-06	310,800	5E-06	183,540	0,0000005	152,040	7,063E-06
674,400	0,00001875	451,200	0,000011875	251,520	2,063E-06	223,200	7,875E-06
942,300	0,00002775	626,400	0,000018125	333,720	4,188E-06	312,660	7,063E-06
1272,000	3,969E-05	840,000	0,000024375	433,200	2,875E-06	445,200	7,625E-06
1686,300	5,244E-05	1128,600	0,000034375	601,920	1,312E-05	567,600	7,813E-06
2214,000	6,363E-05	1490,400	0,000051875	807,120	2,2673E-05	752,400	7,063E-06
2844,450	9,250E-05	2004,600	0,00005975	1033,500	3,563E-05	967,200	7,063E-06
3881,200	7,031E-05	2419,200	0,000073125	1205,400	3,744E-05	1237,320	7,125E-06
3285,000	9,063E-05	2818,800	0,000090625	1476,900	0,000043	1471,500	6,313E-06
				1872,960	6,513E-05	1714,560	7,063E-06
				2154,240	7,194E-05	1950,240	1,081E-05
				2831,760	0,00011125	2095,800	0,0000135

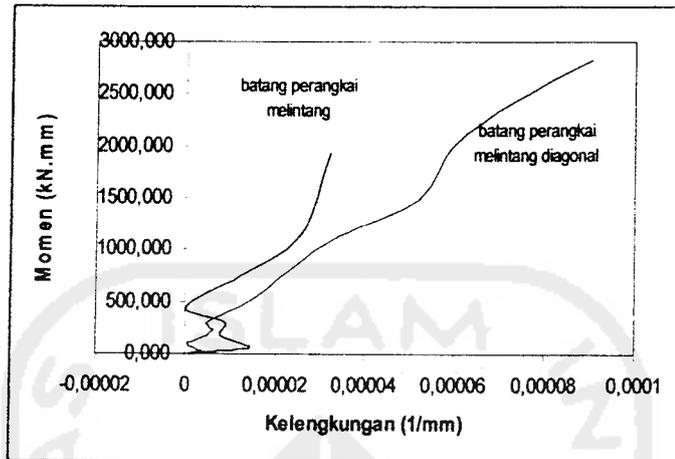
Pada Tabel 5.7 dan 5.8 dapat dilihat grafik kelengkungan setiap variasi



Gambar 5.8 Grafik Hubungan Momen Kelengkungan pada variasi $a/L_1 = 0,34$

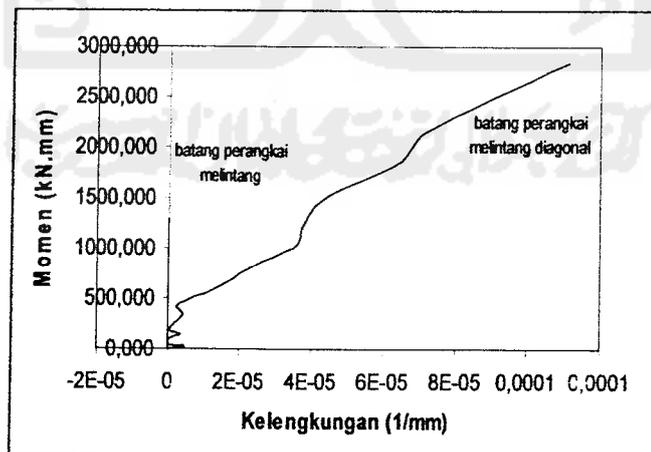
Pada Gambar 5.8 terlihat bahwa hubungan momen kelengkungan batang perangkai melintang lebih kecil dan tidak mengikuti pola yang sama hal ini

menunjukkan bahwa dengan menambah perangkai diagonal kekuata hampir setengahnya.



Gambar 5.9 Grafik Hubungan Momen Kelengkungan pada variasi $a/L_1 = 0,54$

Pada variasi 0,54 hubungan momen dan kelengkungan meningkat karena bertambahnya jarak antar profil yang semakin panjang yang mempengaruhi momen inersia dan kekuatan kolom. Pada batang perangkai melintang kelengkungan besar karena kekakuan kolom kecil bila dibandingkan dengan batang perangkai melintang diagonal.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Momen Kelengkungan pada variasi $a/L_1 = 0,74$

Tabel 5.9 Analisa Kekakuan dari Hubungan Momen Kelengkungan batang perangkai melintang

sampe	a/L_1	Momen (kN.mm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kN.mm ²)
1	0,34	1746,360	0,0000291	59960858,37
2	0,54	1933,440	0,000032	60420000
3	0,74	1283,040	2,5E-07	5132160000
4	1	652,680	4,875E-06	133883076,9

Pada tabel 5.9 bahwa dari hubungan momen-kelengkungan kekakuan kolom semakin meningkat bila $a/L_1 < 0,74$ tetapi bila $a/L_1 > 0,74$ kekakuan kolom menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jarak antar profil, semakin besar momen inersia belum tentu kekuatannya semakin besar karena pada batang perangkai melintang faktor kekakuan batang perangkai sangat berpengaruh pada kestabilan struktur tersebut.

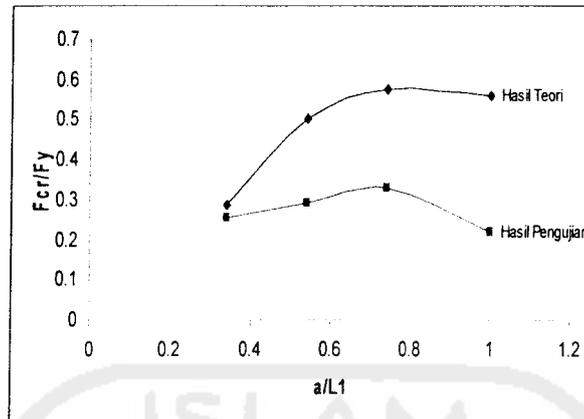
5.2.2 Analisis Numeris Versus Eksperiment

a. Dari hasil pengujian dan teori bahwa tegangan pada hasil pengujian lebih kecil dari hasil perhitungan teori. Hasil selisihnya dapat dilihat pada Tabel 5.10

Tabel 5.10 Hasil Hitungan Tegangan Kritis Teori dan Hasil Pengujian

Benda Uji	a/L_1	Hasil pengujian		Hasil Teori	
		Batang Melintang		Pcr (kN)	Fcr (Mpa)
		Pcr (kN)	Fcr (Mpa)		
K1	0,34	42	104,415	47,879	119,031
K2	0,54	48	119,332	82,761	205,750
K3	0,74	54	134,248	95,090	236,401
K4	1	36	89,499	92,611	230,238

Dari Tabel 5.10 dapat dibuat gambar grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 5.12



Gambar 5.12 Grafik Hubungan Rasio F_{cr}/F_y dan a/L_1 Pada Hasil Perhitungan Tegangan Kritis (F_{cr}) Teori Dan Hasil Pengujian Dengan Batang Perangkai Melintang.

Berdasarkan pada Tabel 5.10 terlihat bahwa tegangan kritis hasil penelitian maupun tegangan kritis hasil teoritis lebih kecil dari tegangan leleh, hal ini dimaksudkan bahwa kolom tersusun hasil penelitian maupun hasil teori mengalami kegagalan tekuk. Tegangan kritis keduanya (hasil penelitian dan tegangan kritis hasil teori) tidak sama, tegangan kritis hasil penelitian lebih kecil tetapi mengikuti pola yang sama hal ini disebabkan: 1) sebelum dilakukan pengujian semua benda uji sudah melengkung; 2) semua benda uji sudah mengalami tegangan residu akibat pengelasan batang perangkai. Dan pada variasi $a/L_1 = 1$ kapasitas kolom mengalami penurunan hal ini disebabkan jarak antar profil sudah melebihi maksimum. Rasio kekuatan hasil penelitian dengan hasil teori dapat dilihat pada Tabel 5.11

Tabel 5.11 Rasio Hasil Tegangan Kritis (F_{cr}) Penelitian Dengan Batang Perangkai Melintang dan Tegangan Kritis Hasil Teori

Benda Uji	a/L_1	Hasil pengujian Batang Melintang		Hasil Teori		Rasio
		P _{cr} (kN)	F _{cr} (Mpa)	P _{cr} (kN)	F _{cr} (Mpa)	
Kolom 1	0,34	42	104,415	47,879	119,031	0,877

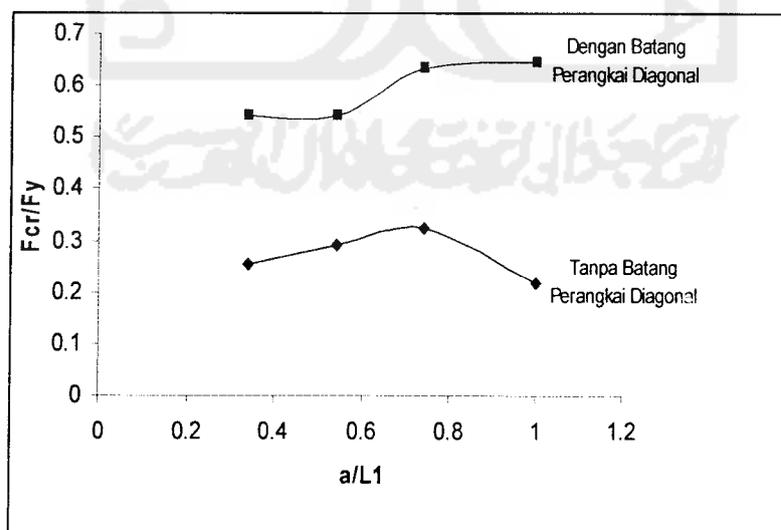
Kolom 2	0,54	48	119,320	82,761	205,750	0,580
Kolom 3	0,74	54	134,480	95,090	236,401	0,568
Kolom 4	1	36	89,990	92,611	230,238	0,389

b. Hasil pengujian pada batang perangkai melintang dan batang perangkai melintang dan diagonal dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan ditunjukkan pada Gambar 5.13

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Batang Perangkai Melintang dan Hasil Pengujian Batang Perangkai Melintang Diagonal

Benda Uji	a/L ₁	Hasil pengujian dengan batang perangkai melintang		Hasil pengujian Dengan Batang Perangkai Melintang Diagonal	
		Pcr (kN)	Fcr (Mpa)	Pcr (kN)	Fcr (Mpa)
Kolom 1	0,34	42	104,415	90,000	223,747
Kolom 2	0,54	48	119,332	90,000	223,747
Kolom 3	0,74	54	134,248	105,000	261,038
Kolom 4	1	36	89,499	106,500	264,767

Pada Tabel 5.12 dapat dibuat gambar grafik hubungan tegangan kritis (F_{cr}) dengan rasio a/L_1 seperti pada Gambar 5.13



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Rasio F_{cr}/F_y dan a/L_1 Pada Hasil Pengujian Batang Perangkai Melintang dan Hasil Pengujian Batang Perangkai Melintang Diagonal

Dari Tabel 5.12 Tegangan hasil pengujian kolom tersusun dengan batang perangkai melintang lebih kecil dari tegangan hasil pengujian kolom tersusun dengan batang perangkai melintang diagonal, pada hasil kedua penelitian ini tidak mengikuti pola yang sama, hal ini disebabkan faktor kekakuan dari kedua penelitian yang berbeda, kekakuan pada batang perangkai melintang diagonal lebih solid dari batang perangkai melintang, pada batang perangkai melintang dengan variasi $a/L_1 = 1$ kekuatannya mengalami penurunan karena pada kolom tersusun batang perangkai melintang, batang perangkai terlalu langsing sehingga mengalami tekuk dapat ditunjukkan pada lampiran E-4 dan perhitungan batang perangkai dapat ditunjukkan pada lampiran C-6 dan kolom tidak kompak dapat ditunjukkan pada lampiran C-5. Hasil selisihnya dapat dilihat pada Tabel 5.13

Tabel 5.13 Rasio Tegangan Kritis Hasil Pengujian Batang Perangkai Melintang dan Hasil Pengujian Batang Perangkai Melintang Diagonal.

Benda Uji	a/L_1	Hasil pengujian dengan batang perangkai melintang		Hasil pengujian Dengan Batang Perangkai Melintang Diagonal		Rasio
		Pcr (kN)	Fcr (Mpa)	Pcr (kN)	Fcr (Mpa)	
Kolom 1	0,34	42	104,415	90,000	223,747	0,467
Kolom 2	0,54	48	119,332	90,000	223,747	0,533
Kolom 3	0,74	54	134,248	105,000	261,038	0,514
Kolom 4	1	36	89,499	106,500	264,767	0,338

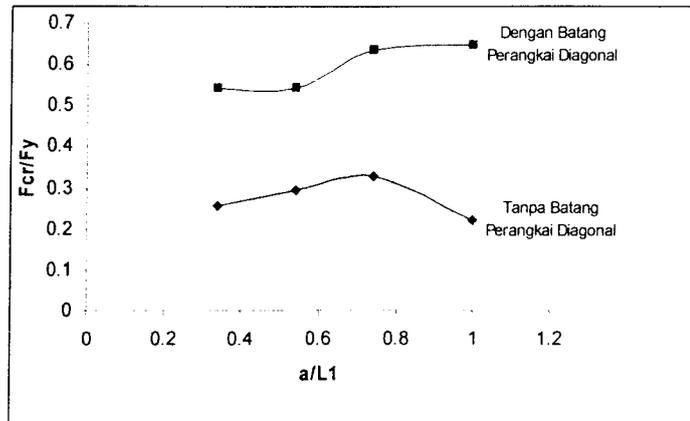
BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Kapasitas kolom tersusun dari empat profil siku dengan batang perangkai melintang bila jarak antar profil bervariasi pengaruhnya sangat besar sekali terhadap kekuatan karena jarak antar profil mempengaruhi Inersia penampang dan jari – jari girasi (r), yang mana inersia dan jari – jari girasi tersebut sangat berpengaruh pada kekuatan kolom tersusun dan tegangan. Pada penelitian ini semakin jauh jarak antar profil maka kekuatannya semakin besar, jika jarak antar profil sudah mencapai optimum selebihnya kekuatannya menurun. Pada penelitian ini jarak antar profil optimum berada pada rasio $a/L_1 = 0,74$.
2. Dari hasil Penelitian pada batang perangkai melintang rasio kekuatannya 0,5 dari batang perangkai melintang diagonal hal ini disebabkan karena bentuk dari batang perangkai melintang diagonal lebih solid hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.1



Gambar 6.1 Grafik Hubungan F_{cr}/F_y Dengan Rasio a/L_1

6.2 Saran

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

1. Benda uji yang digunakan masih kurang banyak
2. Perlu diadakan penelitian untuk kolom tersusun dari empat empat profil siku dengan rasio (a/L_1) jarak antar profil (a) dan jarak antar batang penghubung(L_1) lebih dari 1
3. Perlu diadakan penelitian untuk kolom tersusun dari empat empat profil siku dengan batang perangkai gabungan antara diagonal ganda dan melintang guna untuk mengetahui berapakah naiknya kekuatan kolom tersusun bila dibandingkan dengan batang perangkai melintang.

DAFTAR PUSTAKA

Charles G Salmon and John E Johson, **STRUKTUR BAJA DISAIN DAN PRILAKU**, Jilid I – Edisi Kedua, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1990

Daniel L. Shcodek, **STRUKTUR**, Cetakan Pertama, PT Eresco, Bandung, 1991

Edwin H Gaylord, Jr and Charles N Gaylord, **DESIGN OF STEEL STRUCTURES**, 2nd Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 1972

Gere dan Timoshenko, **MEKANIKA BAHAN**, Jilid I dan II Edisi Keempat, Airlangga, Jakarta, 2000

Lambert Tall, **STRUKTUR STEEL DESIGN**, 2nd Edition, The Ronald Press Company, New York, 1972

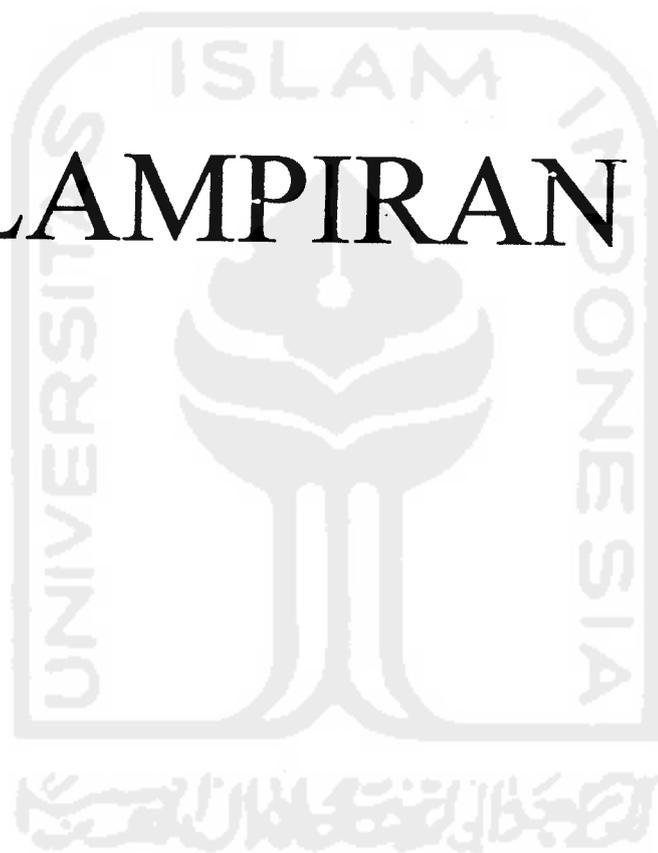
PADASBAJAYO, **STRUKTUR BAJA 1**, Yogyakarta, Agustus 1991

Penelitian Bambang Krisnawan (98511145) dan Dhanang Tri Hadiono (98511161), **KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL LIGHT LUIPPED CHANNEL BENTUKAN DINGIN**

Penelitian L. Kholid Karyadi (97511229) dan Yousef Al Ashas (97511205), **KUAT TEKAN KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL C BENTUKAN DINGIN DENGAN BATANG PERANGKAI DIAGONAL**

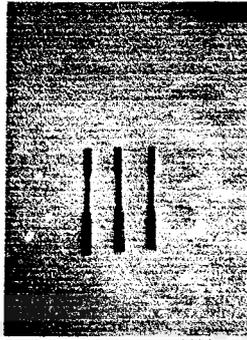
Dari Internet, www.kuleuven.ac.be, **Lecture 7.6: BUILD – UP COLUMNS**

LAMPIRAN



Lampiran 1

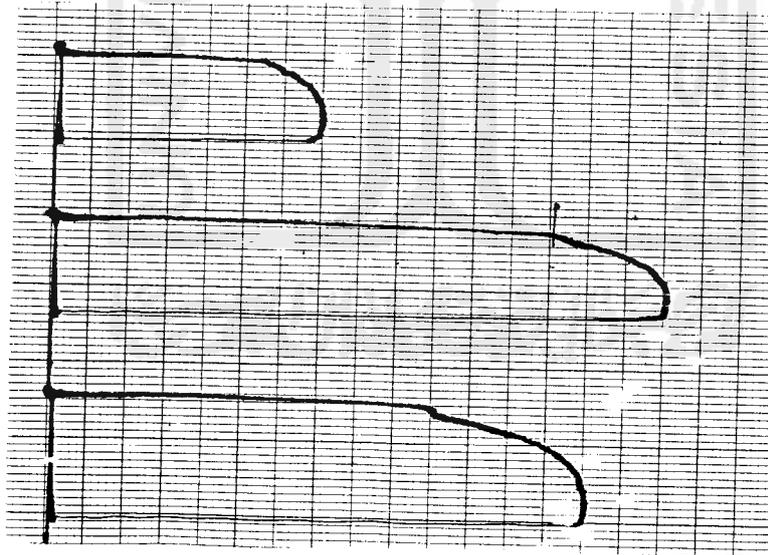
Hasil pengujian tarik material baja siku



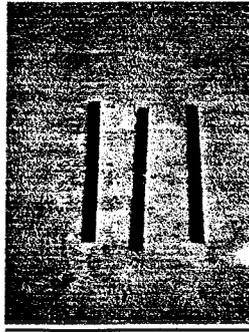
Gambar Benda Uji Tarik Material Baja Siku

Tabel Hasil Pengujian Tarik Material Baja Siku

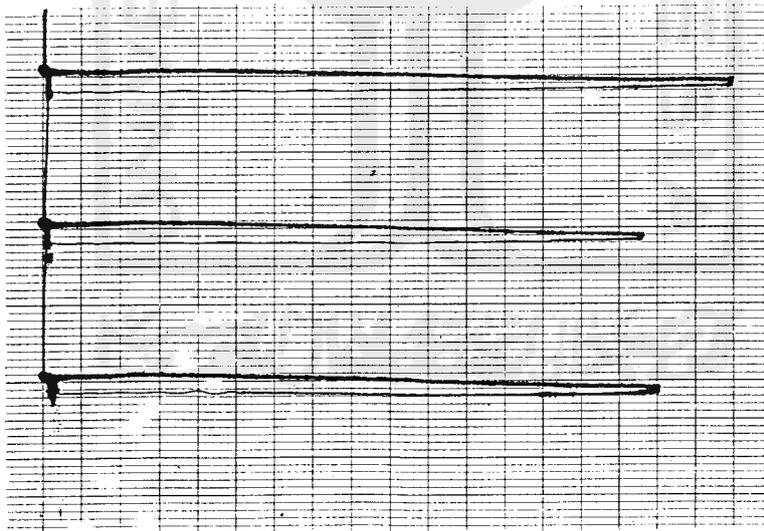
	sampel 1(kgf)	sampel 1(kgf)	sampel 1(kgf)	rata-rata
P leleh (kgf)	970	1125	800	935
P maks (kgf)	1180	1260	1110	1183.333
P putus (kgf)	540	925	980	815



Gambar Benda Uji Tarik Material Baja Siku

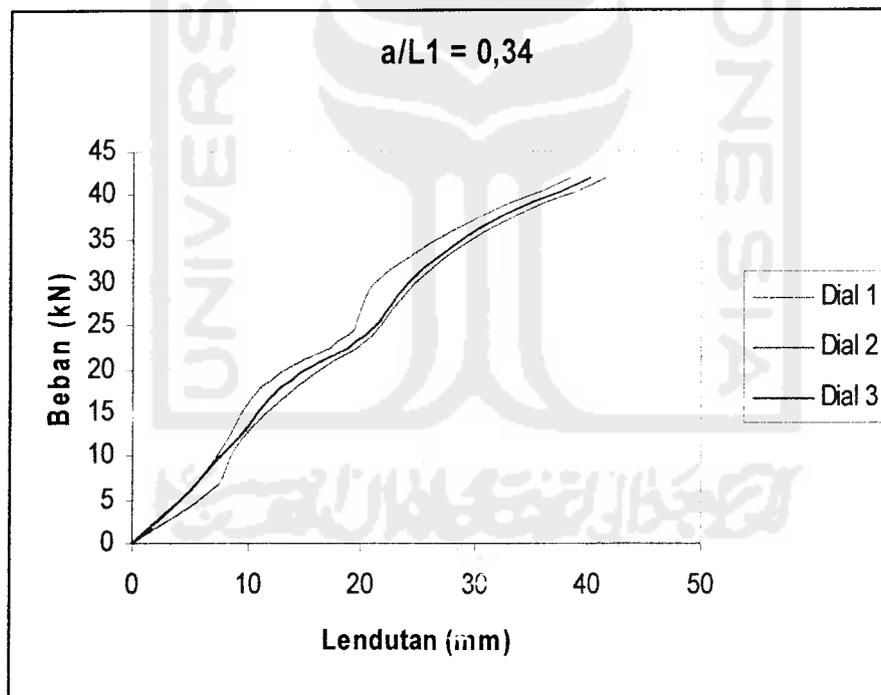
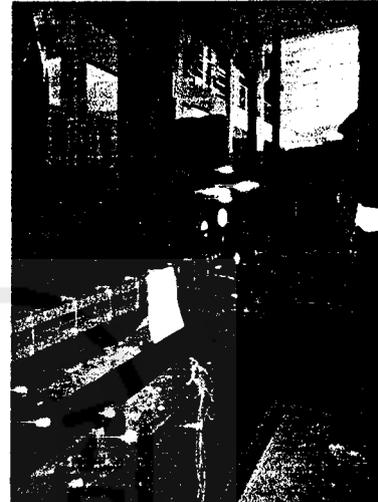
Hasil pengujian las pada sambunganGambar Benda Uji las pada sambunganTabel Hasil Pengujian las

	sampel 1(kgf)	sampel 1(kgf)	sampel 1(kgf)	rata- rata
Pmaks (kgf)	1395	1230	1260	1295

Gambar Grafik Hasil Pengujian Las

Hasil pengujian tekan pada kolom tersusun variasi $a/L1 = 0,34$

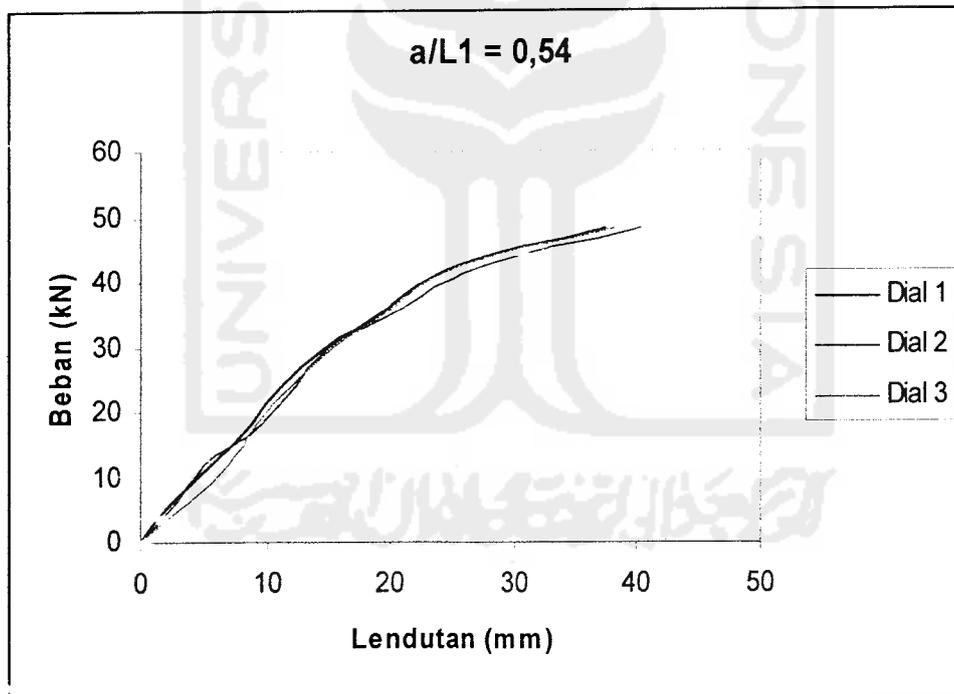
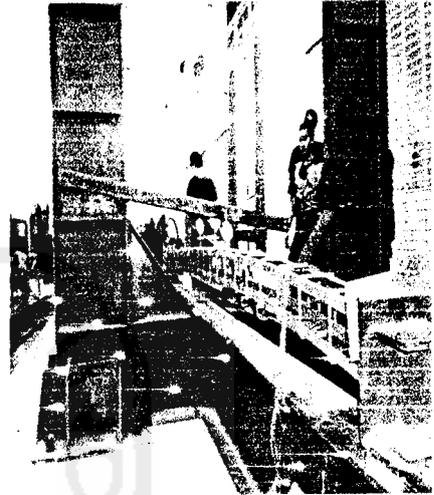
P (psi)	P (ton)	Dial 1 (mm.10 ⁻²)	Dial 2 (mm.10 ⁻²)	Dial 3 (mm 10 ⁻²)
0	0	0	0	0
200	0.6	512	690	518
400	1.2	827	945	912
600	1.8	1130	1438	1314
800	2.4	1869	2104	2033
1000	3	2105	2470	2415
1200	3.6	2820	3122	3030
1400	4.2	3835	4158	4015



Gambar Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun Pada Variasi $a/L1 = 0,34$

Hasil pengujian tekan pada kolom tersusun variasi $a/L1 = 0,54$

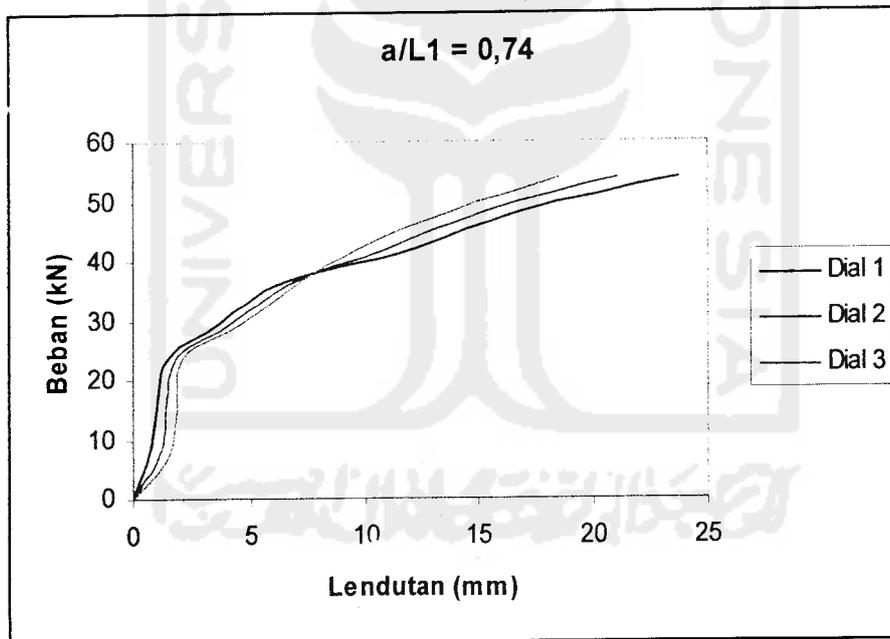
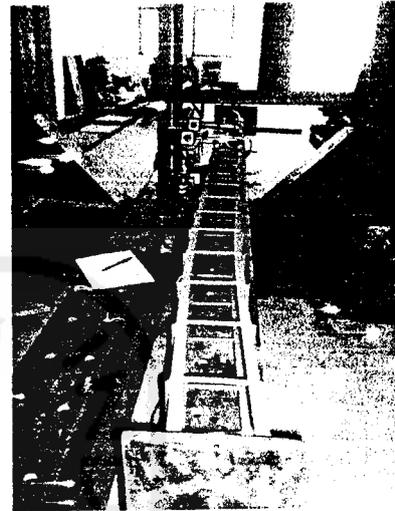
P (psi)	P (ton)	Dial 1 ($\text{mm} \cdot 10^{-2}$)	Dial 2 ($\text{mm} \cdot 10^{-2}$)	Dial 3 ($\text{mm} \cdot 10^{-2}$)
0	0	0	0	0
200	0.6	261	289	394
400	1.2	555	510	697
600	1.8	866	951	909
800	2.4	1125	1235	1204
1000	3	1476	1500	1523
1200	3.6	1972	2092	2017
1400	4.2	2487	2700	2504
1600	4.8	3734	4028	3810



Gambar Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun Pada Variasi $a/L1 = 0,54$

Hasil pengujian tekan pada kolom tersusun variasi $a/L1 = 0,74$

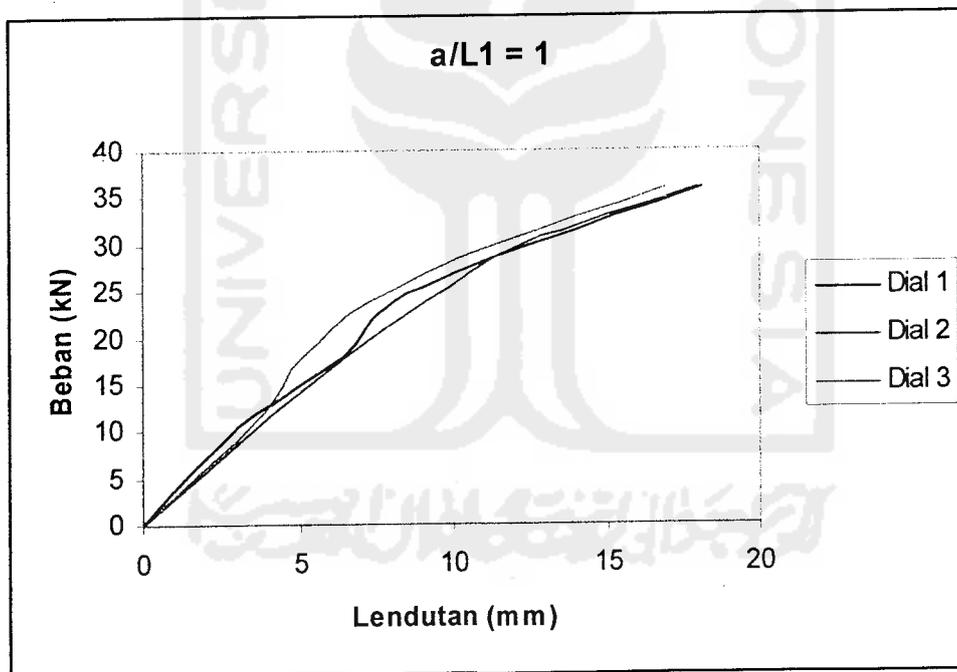
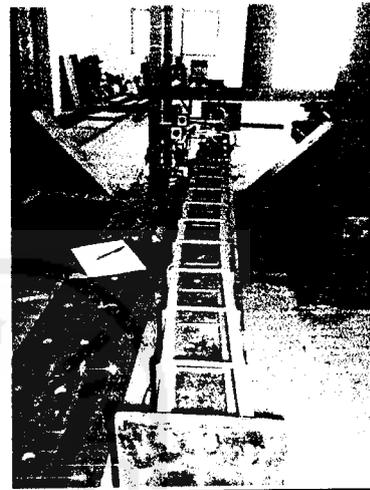
P (psi)	P (ton)	Dial 1 ($\text{mm} \cdot 10^{-2}$)	Dial 2 ($\text{mm} \cdot 10^{-2}$)	Dial 3 ($\text{mm} \cdot 10^{-2}$)
0	0	0	0	0
200	0.6	55	96	138
400	1.2	91	136	182
600	1.8	111	151	190
800	2.4	154	184	215
1000	3	372	422	472
1200	3.6	615	656	695
1400	4.2	1222	1098	975
1600	4.8	1680	1530	1380
1800	5.4	2376	2110	1848



Gambar Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun Pada Variasi $a/L1 = 0,74$

Hasil pengujian tekan pada kolom tersusun variasi $a/L1 = 1$

P (psi)	P (ton)	Dial 1 ($\text{mm} \cdot 10^{-2}$)	Dial 2 ($\text{mm} \cdot 10^{-2}$)	Dial 3 ($\text{mm} \cdot 10^{-2}$)
0	0	0	0	0
200	0.6	165	210	200
400	1.2	362	420	388
600	1.8	642	650	512
800	2.4	811	910	732
1000	3	1261	1225	1139
1200	3.6	1813	1792	1693

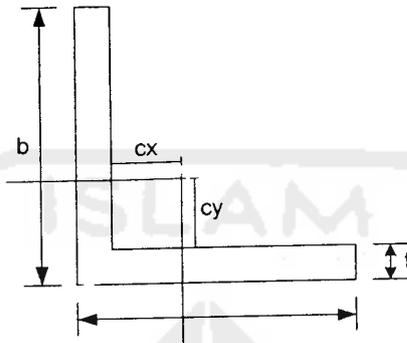


Gambar Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun Pada Variasi $a/L1 = 1$



PERHITUNGAN DIMENSI PROFIL

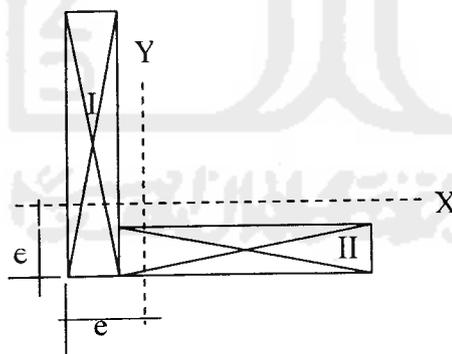
- a. Perhitungan dimensi profil tunggal 23 x 23 x 2,3mm



$$\begin{aligned}
 A &= b \times t + (b-t) \times t \\
 &= 23 \times 2,3 + (23-2,3) \times 2,3 \\
 &= 100,51 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$cx = cy$$

statis momen terhadap sisi bawah



Bagian	A (mm ²)	d (mm)	ΣA.d
I	47.61	12.65	602.27
II	52.9	1.15	60.84
	100.51		663.1

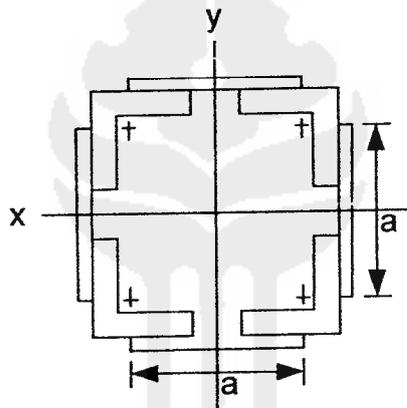
$$e = \frac{\sum A.d}{\sum A} = \frac{663.10}{100.51} = 6.60 \text{ mm}$$

$$cx = cy = e - 2,3 = 6,60 - 2,3 = 4,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\min} &= \frac{I_x + I_y}{2} - \sqrt{\left[\frac{I_x - I_y}{2}\right]^2 + (\sum x \cdot y \cdot A)^2} \\
 &= \frac{5037,2281 + 5037,2281}{2} + \sqrt{\left[\frac{5037,2281 - 5037,2281}{2}\right]^2 + (\sum -2982,52)^2} \\
 &= 2054,12 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{2054,12}{100,51}} = 4,51 \text{ mm}$$

b. Perhitungan dimensi profil gabungan



$$\begin{aligned}
 A &= 4 \times A_{\text{tunggal}} \\
 &= 4 \times 100,51 \\
 &= 402,04 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Variasi $a/L_1 = 0,34$ ($a = 80 \text{ mm}$)

$$\begin{aligned}
 I_{x\text{gab}} &= I_{y\text{gab}} \\
 &= 4(I_x = I_y) + 4(A_{\text{tunggal}} \times (1/2 a)^2) \\
 &= 4 \times 5037,2281 + 4 \times (100,51 \times (40 - 6,6)^2) \\
 &= 468648,7 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$r_{x_{gab}} = r_{y_{gab}} = \sqrt{\frac{468648,7}{402,04}} = 34,14 \text{ mm}$$

- Variasi $a/L_1 = 0,54$ ($a = 120 \text{ mm}$)

$$I_{x_{gab}} = I_{y_{gab}}$$

$$\begin{aligned} &= 4(I_x = I_y) + 4(A_{tunggol} \times (1/2 a)^2) \\ &= 4 \times 5037,2281 + 4 \times (100,51 \times (60 - 6,6)^2) \\ &= 1166590 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$r_{x_{gab}} = r_{y_{gab}} = \sqrt{\frac{1166590}{402,04}} = 53,87 \text{ mm}$$

- Variasi $a/L_1 = 0,34$ ($a = 160 \text{ mm}$)

$$I_{x_{gab}} = I_{y_{gab}}$$

$$\begin{aligned} &= 4(I_x = I_y) + 4(A_{tunggol} \times (1/2 a)^2) \\ &= 4 \times 5037,2281 + 4 \times (100,51 \times (80 - 6,6)^2) \\ &= 2186164 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$r_{x_{gab}} = r_{y_{gab}} = \sqrt{\frac{2186164}{402,04}} = 73,74 \text{ mm}$$

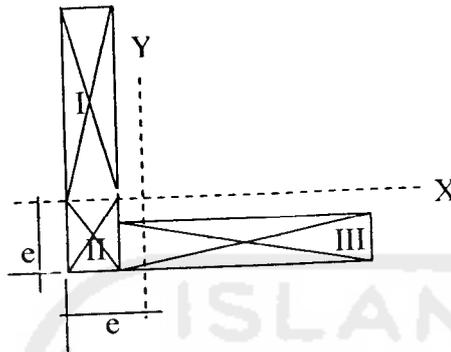
- Variasi $a/L_1 = 0,34$ ($a = 200 \text{ mm}$)

$$I_{x_{gab}} = I_{y_{gab}}$$

$$\begin{aligned} &= 4(I_x = I_y) + 4(A_{tunggol} \times (1/2 a)^2) \\ &= 4 \times 5037,2281 + 4 \times (100,51 \times (100 - 6,6)^2) \\ &= 3527369 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$r_{x_{gab}} = r_{y_{gab}} = \sqrt{\frac{3527369}{402,04}} = 93,67 \text{ mm}$$

menghitung Momen Inersia



Bagian	A (mm ²)	d ² (mm ²)	A.d ²	1/12*b*h ³ (mm ²)	Inersia (I) A.d ² +1/12*b*h ³
I	37.73	67.26	2537.72	845.84	3383.5598
II	15.17	10.88	165.0496	55.04	220.0896
III	47.61	29.67	1412.589	20.99	1433.5787
	100.51				5037.2281

$$\text{Jadi } I_x = I_y = 5037,2281$$

$$r_x = r_y = \sqrt{\frac{(I_x \text{ atau } I_y)}{A}}$$

$$= \sqrt{\frac{5037,2281}{100,51}}$$

$$= 7,079 \text{ mm}$$

$$I_{\text{maks}} = \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{\left[\frac{I_x - I_y}{2}\right]^2 + (\sum x.y.A)^2}$$

=

$$\frac{5037,2281 + 5037,2281}{2} + \sqrt{\left[\frac{5037,2281 - 5037,2281}{2}\right]^2 + (\sum -2982,52)^2}$$

$$= 8019,781 \text{ mm}^4$$

$$r_{\text{maks}} = \sqrt{\frac{I_{\text{maks}}}{A}} = \sqrt{\frac{8019,781}{100,51}} = 8,933 \text{ mm}$$

PERHITUNGAN KEKUATAN KOLOM TERSUSUN DENGAN BATANG PERANGKAI MELINTANG

Kolom menggunakan 4 profil siku 23x23x2,3mm, $A = 684 \text{ mm}^2$, $E = 200000$
 Mpa, $E = 200000 \text{ Mpa}$, $L = 4000 \text{ mm}$, $L_1 = 200 \text{ mm}$, perangkai melintang P10, I_b
 $= 1962,5 \text{ mm}^2$

a. Variasi $a/L_1 = 0,34$ ($a = 80$)

$$P_{cr} = \frac{\pi \cdot E \cdot I}{L^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E \cdot I}{L^2} \frac{L_1^2}{24 \cdot E \cdot I_c} + \frac{L_1 \cdot a}{12 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$P_{cr} = \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 468648,7}{4000^2} \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 468648,7}{4000^2} \left(\frac{200^2}{24 \cdot 200000 \cdot 468648,7} + \frac{200 \cdot 80}{12 \cdot 200000 \cdot 1962,5} \right)}$$

$$P_{cr} = 48,243 \text{ kN}$$

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

$$F_{cr} = \frac{48,243 \times 1000}{402,04}$$

$$= 119,995 \text{ Mpa} < F_y (411,739 \text{ Mpa}) \text{ ok}$$

kontrol terhadap kestabilan struktur

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{(1)(4000)}{34,14} = 117,16$$

$$\lambda_{ideal} = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} = \sqrt{117,16^2 + \frac{2}{2} 44,35^2}$$

$$= 125,27$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{min}} = \frac{200}{4,51} = 44,35$$

$$\lambda \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$\geq 53,22$$

$$\lambda_{ideal} \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$125,27 \geq 1,2 * 44,35$$

$$\geq 53,22$$

$$\lambda_1 \leq 50 \dots \text{ok}$$

kontrol terhadap kekakuan batang perangkai

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

$$\frac{1962,5}{80} \geq 10 \frac{2054,12}{200}$$

$$24,53 \geq 102,706 \text{ tidak memenuhi syarat}$$

b. Variasi $a/L_1 = 0,54$ ($a = 120$)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \frac{L_1^2}{24 \cdot E I_c} \frac{L_1 \cdot a}{12 \cdot E I_b}}$$

$$P_{cr} = \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 1166590}{4000^2} \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 468648,7}{4000^2} \left(\frac{200^2}{24 \cdot 200000 \cdot 468648,7} + \frac{200 \cdot 120}{12 \cdot 200000 \cdot 1962,5} \right)}$$

$$P_{cr} = 82,933 \text{ kN}$$

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

$$F_{cr} = \frac{82,933 \times 1000}{402,04}$$

$$= 206,28 \text{ Mpa} < F_y (411,739 \text{ Mpa}) \text{ ok}$$

kontrol terhadap kestabilan struktur

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{(1)(4000)}{53,67} = 74,53$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{\min}} = \frac{200}{4,51} = 44,35$$

$$\lambda_{\text{ideal}} = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} = \sqrt{74,53^2 + \frac{2}{2} 44,35^2}$$

$$= 86,72$$

$$\lambda \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$74,53 \geq 1,2 * 44,35$$

$$\geq 53,22 \dots \text{ok}$$

$$\lambda_{\text{ideal}} \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$86,72 \geq 1,2 * 44,35$$

$$\geq 53,22 \dots \text{ok}$$

$$\lambda_1 \leq 50 \dots \text{ok}$$

kontrol terhadap kekakuan batang perangkai

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

$$\frac{1962,5}{120} \geq 10 \frac{2054,12}{200}$$

$$16,354 \geq 102,706 \text{ tidak memenuhi syarat}$$

c. Variasi $a/L_1 = 0,74$ ($a = 160$)

$$P_{\text{cr}} = \frac{\pi \cdot E \cdot I}{L^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E \cdot I}{L^2} \frac{L_1^2}{24 \cdot E I_c} \frac{L_1 \cdot a}{12 \cdot E I_b}}$$

$$P_{\text{cr}} = \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 2186164}{4000^2} \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 2186164}{4000^2} \left(\frac{200^2}{24 \cdot 200000 \cdot 2186164} + \frac{200 \cdot 160}{12 \cdot 200000 \cdot 1962,5} \right)}$$

$$P_{\text{cr}} = 95,153 \text{ kN}$$

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

$$F_{cr} = \frac{95,153 \times 1000}{402,04}$$

$$= 236,68 \text{ Mpa} < F_y (411,739 \text{ Mpa}) \text{ ok}$$

kontrol terhadap kestabilan struktur

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{(1)(4000)}{73,74} = 54,24$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{\min}} = \frac{200}{4,51} = 44,35$$

$$\lambda_{\text{ideal}} = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} = \sqrt{54,24^2 + \frac{2}{2} 44,35^2}$$

$$= 70,06$$

$$\lambda \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$54,24 \geq 1,2 * 44,35$$

$$\geq 53,22$$

$$\lambda_{\text{ideal}} \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$70,06 \geq 1,2 * 44,35$$

$$\geq 53,22 \dots \text{ok}$$

$$\lambda_1 \leq 50 \dots \text{ok}$$

kontrol terhadap kekakuan batang perangkai

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

$$\frac{1962,5}{160} \geq 10 \frac{2054,12}{200}$$

12,265 \geq 102,706 tidak memenuhi syarat

d. Variasi $a/L_1 = 1$ ($a = 200$)

$$P_{cr} = \frac{\pi \cdot E \cdot I}{L^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E I}{L^2} \frac{L_1^2}{24 \cdot E I_c} \frac{L_1 \cdot a}{12 \cdot E I_b}}$$

$$P_{cr} = \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 3527369}{4000^2} \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 3527369}{4000^2} \left(\frac{200^2}{24 \cdot 200000 \cdot 3527369} + \frac{200 \cdot 200}{12 \cdot 200000 \cdot 1962,5} \right)}$$

$$P_{cr} = 92,634 \text{ kN}$$

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

$$F_{cr} = \frac{92,634 \times 1000}{402,04}$$

$$= 230,04 \text{ Mpa} < F_y (411,739 \text{ Mpa}) \text{ ok}$$

kontrol terhadap kestabilan struktur

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{(1)(4000)}{93,67} = 42,70$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{\min}} = \frac{200}{4,51} = 44,35$$

$$\lambda_{\text{ideal}} = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} = \sqrt{42,70^2 + \frac{2}{2} 44,35^2}$$

$$= 61,57$$

$$\lambda \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$42,70 \geq 1,2 * 44,35$$

$$\geq 53,22 \text{ tidak aman}$$

$$\lambda_{\text{ideal}} \geq 1,2 * \lambda_1$$

$$61,57 \geq 1,2 * 44,35$$

$$\geq 53,22 \dots \text{ok}$$

$$\lambda_1 \leq 50 \dots \text{ok}$$

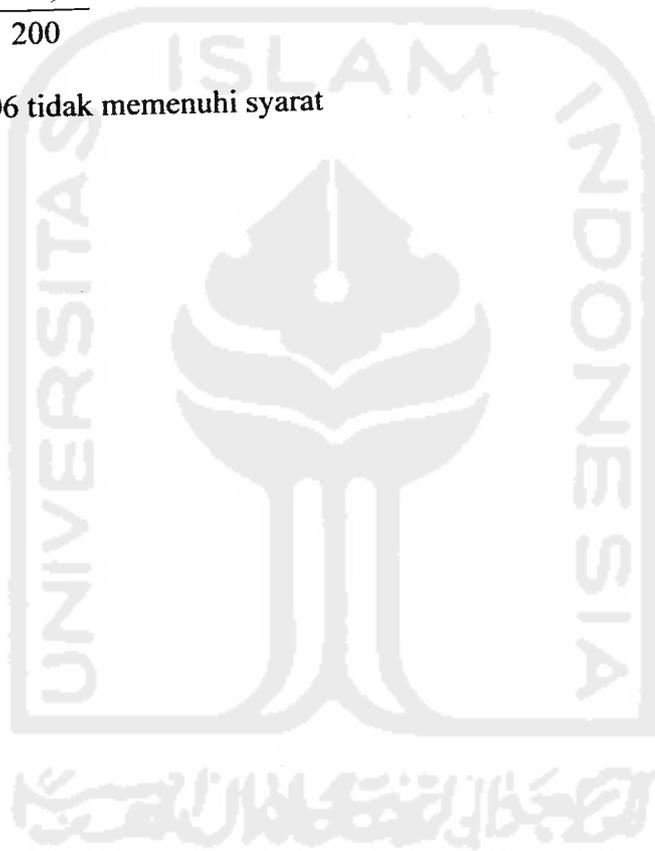
pada variasi $a/L_1 = 1$ tidak memenuhi syarat kestabilan struktur

kontrol terhadap kekakuan batang perangkai

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

$$\frac{1962,5}{200} \geq 10 \frac{2054,12}{200}$$

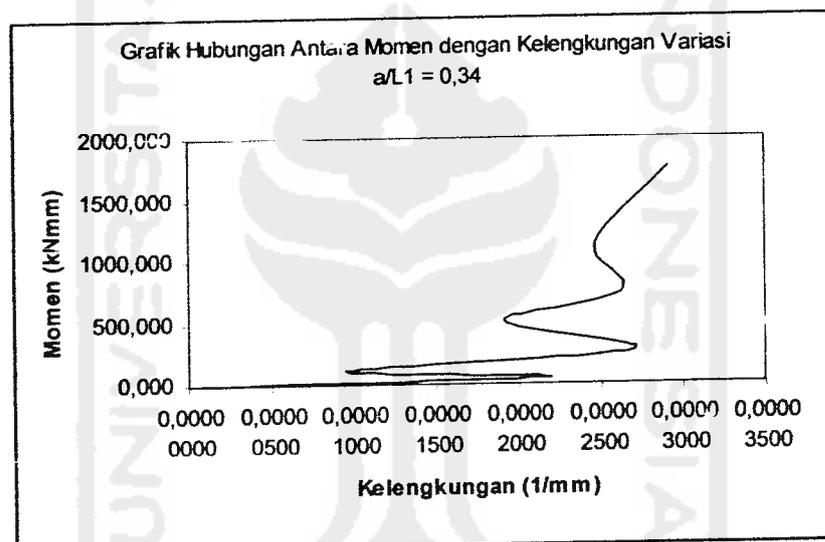
$$9,81 \geq 102,706 \text{ tidak memenuhi syarat}$$



**PERHITUNGAN MOMEN (M), KELENGKUNGAN (Φ) DAN FAKTOR
KEKAKUAN (EI)**

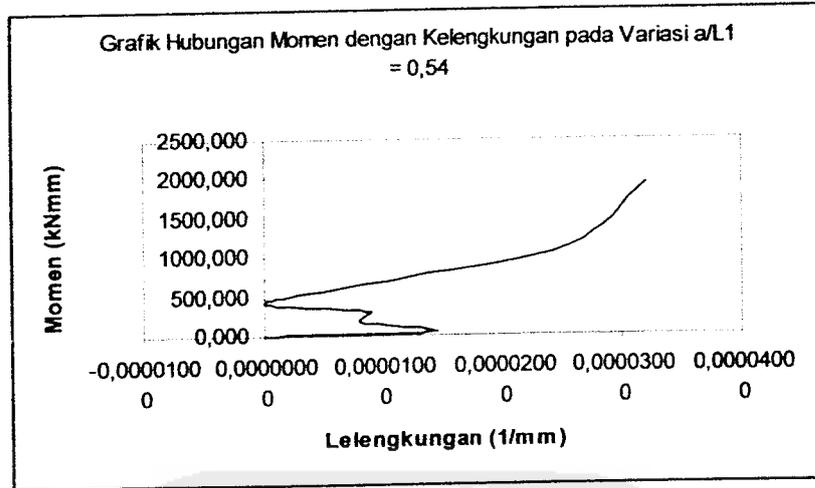
Variasi $a/L_1 = 0,34$

No	Beban		Δx	lendutan (mm)			kelengkungan (1/mm)	Momen (M) (kNm)	Kekakuan (EI) (kNm ²)
	Psi	kN		y_{i-1}	y_i	y_{i+1}			
1	0	0	0	0	0	0	0,00000000	0,000	0,000
2	200	6	400	5,12	6,9	5,18	0,00002188	41,400	1,893
3	400	12	400	8,27	9,45	9,12	0,00000944	113,400	12,016
4	600	18	400	11,3	14,38	13,14	0,00002700	258,840	9,587
5	800	24	400	18,69	21,04	20,33	0,00001913	504,960	26,403
6	1000	30	400	21,05	24,7	24,15	0,00002625	741,000	28,229
7	1200	36	400	28,2	31,22	30,3	0,00002463	1123,920	45,641
8	1400	42	400	38,35	41,58	40,15	0,00002913	1746,360	59,961



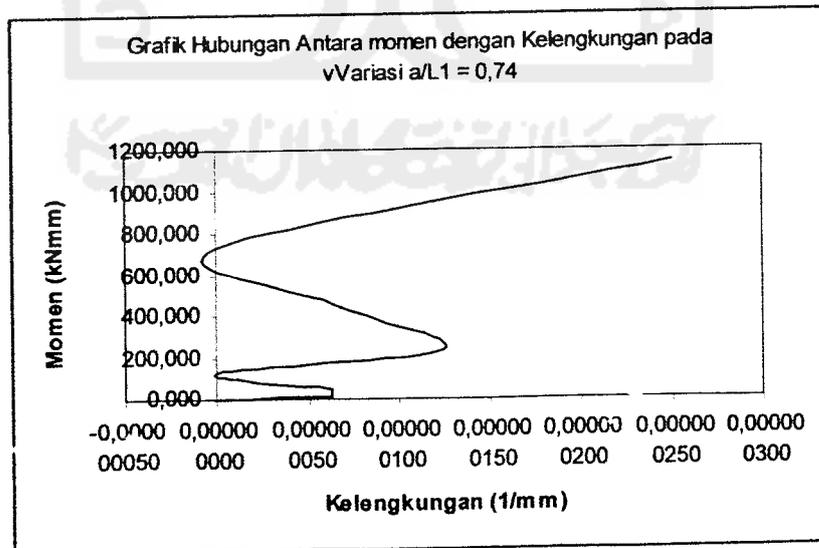
Variasi $a/L_1 = 0,54$

No	Beban		Δx	lendutan (mm)			kelengkungan (1/mm)	Momen (M) (kNm)	Kekakuan (EI) (kNm ²)
	Psi	kN		y_{i-1}	y_i	y_{i+1}			
1	0	0	0	0	0	0	0,00000000	0,000	0,000
2	200	6	400	2,61	2,89	3,94	0,00000481	17,340	3,603
3	400	12	400	5,55	5,1	6,97	0,00001450	61,200	4,221
4	600	18	400	8,66	9,51	9,09	0,00000794	171,180	21,566
5	800	24	400	11,25	12,35	12,04	0,00000881	296,400	33,634
6	1000	30	400	14,76	15	15,23	0,00000006	450,000	7200,000
7	1200	36	400	19,72	20,92	20,17	0,00001219	753,120	61,794
8	1400	42	400	24,87	27	25,04	0,00002556	1134,000	44,362
9	1600	48	400	37,34	40,28	38,1	0,00003200	1933,440	60,420



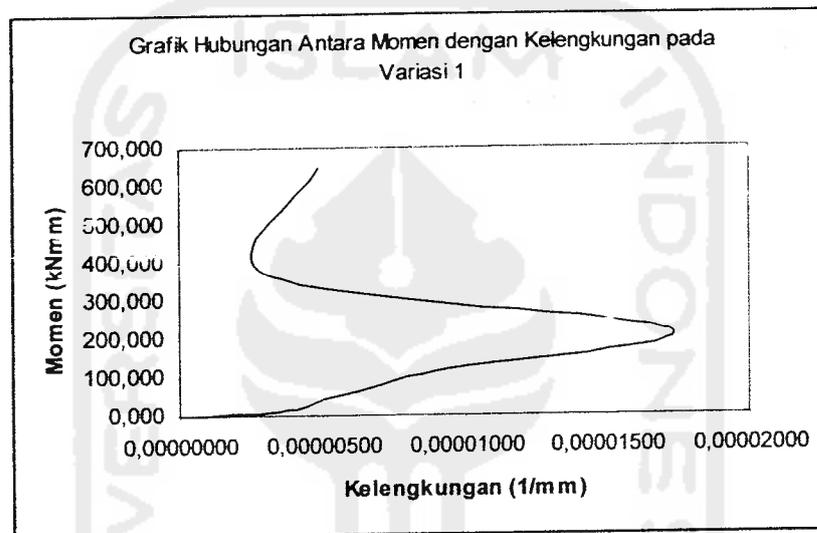
Variasi $a/L_1 = 0,74$

No	Beban		Δx	lendutan (mm)			kelengkungan (1/mm)	Momen (M) (kNm)	Kekakuan (EI) (kNm ²)
	Psi	kN		y_{i-1}	y_i	y_{i+1}			
1	0	0	0	0	0	0	0,000000000	0,000	0,000
2	200	6	400	0,55	0,96	1,38	0,000000063	5,760	92,160
3	400	12	400	0,91	1,36	1,82	0,000000063	16,320	261,120
4	600	18	400	1,11	1,51	1,9	0,000000063	27,180	434,880
5	800	24	400	1,54	1,84	2,15	0,000000062	44,160	706,560
6	1000	30	400	3,72	4,22	4,72	0,000000000	126,600	0,000
7	1200	36	400	6,15	6,56	6,95	0,000000125	236,160	1889,280
8	1400	42	400	12,22	10,98	9,75	0,000000062	461,160	7378,560
9	1600	48	400	16,8	15,3	13,8	0,000000000	734,400	0,000
10	1800	54	400	23,76	21,1	18,48	0,000000250	1139,400	4557,600



Variasi $a/L_1 = 1$

No	Beban		Δx	lendutan (mm)			kelengkungan (1/mm)	Momen (M) (kNm)	Kekakuan (EI) (kNm ²)
	Psi	kN		y_{i-1}	y_i	y_{i+1}			
1	0	0	0	0	0	0	0,00000000	0,000	0,000
2	200	6	400	1,65	2,1	2	0,00000344	12,600	3,665
3	400	12	400	3,62	4,2	3,88	0,00000563	50,400	8,960
4	600	18	400	6,42	6,5	5,12	0,00000913	117,000	12,822
5	800	24	400	8,11	9,1	7,32	0,00001731	218,400	12,615
6	1000	30	400	12,61	12,25	11,39	0,00000313	367,500	117,600
7	1200	36	400	18,13	17,92	16,93	0,00000488	645,120	132,332



dimana

$$M = P * \Delta_{maks}$$

$$\Phi = \frac{y_1 - (2 * y_2) + y_3}{\Delta_x}$$

$$EI = \frac{M}{\Phi}$$

Lampiran 4

GAMBAR FOTO PENGUJIAN



Gambar Foto Pengujian Kolom Tersusun Pada Variasi $a/L1 = 0,34$



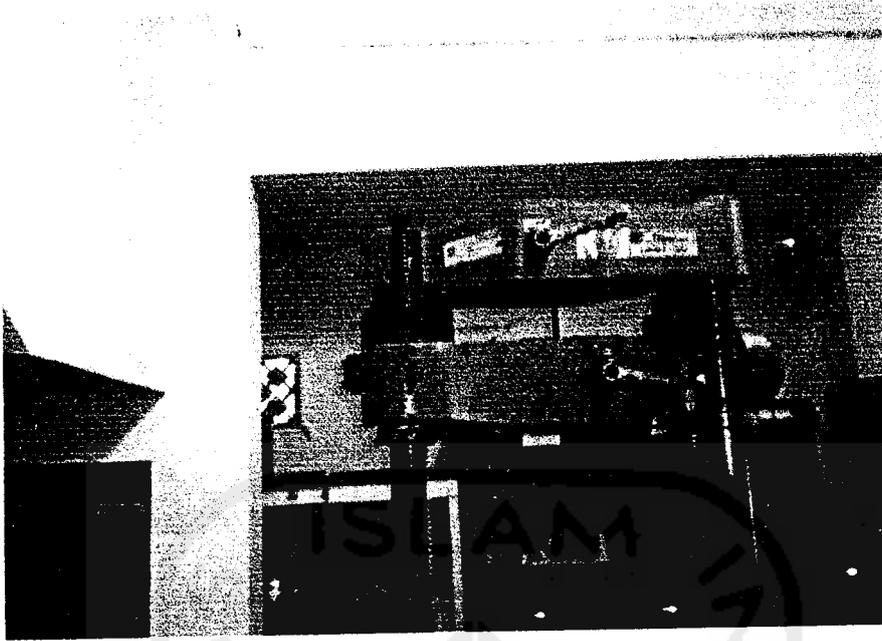
Gambar Foto Pengujian Kolom Tersusun Pada Variasi $a/L1 = 0,54$



Gambar Foto Pengujian Kolom Tersusun Pada Variasi $a/L1 = 0,54$



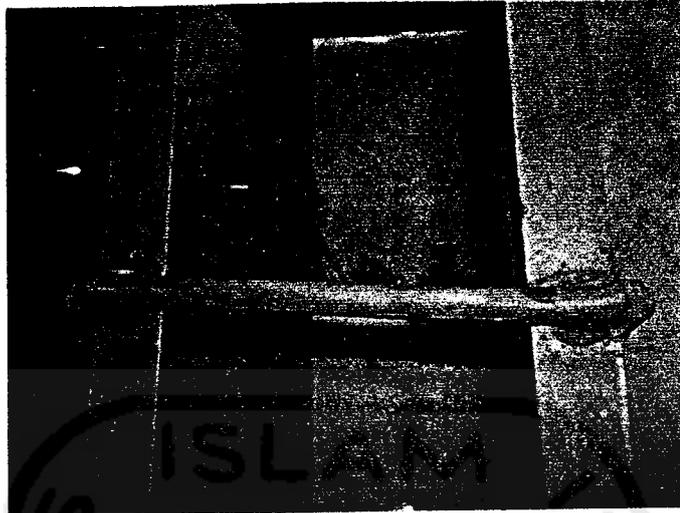
Gambar Foto Pengujian Kolom Tersusun Pada Variasi $a/L1 = 1$



Gambar Foto Pengujian Tarik Material Baja atau Pengujian Las



Gambar Foto Kerusakan Kolom



Gambar Foto Batang Perangkai Tertekuk



Gambar Foto Kolom Tersusun setelah Pengujian