PERPUSTAKAAN FTSP UII
HADIAH/BELI
TGL. TERIMA : 06 - 12 - 2007
NO. JUDUL : 2721
NO. INV. : 5120002721001
NO. INDUK : 002721

TUGAS AKHIR

KAPASITAS KOLOM PENDEK TERSUSUN BANGUN NON PRISMATIS DENGAN PERANGKAI DIAMON DAN LATERAL AKIBAT PEMBEBANAN EKSENTRIS

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

PERPUSTAKAAN YOGYAKARTA

Disusun oleh :

Nama : Prisca Anggia Putri
No. MHS : 03 511 205

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2007

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

KAPASITAS KOLOM PENDEK TERSUSUN BANGUN NON PRISMATIS DENGAN PERANGKAI DIAMON DAN LATERAL AKIBAT PEMBEBANAN EKSENTRIS

Disusun oleh :

Nama : Prisca Anggia Putri

No. MHS : 03 511 205

Telah diperiksa dan disetujui,
Dosen Pembimbing

Ir.Fatkhurrohman N, MT
Tanggal: 9 - 07 - 2007

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir.H.Faisol AM,MS
Tanggal:

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

"Katakanlah : Adakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui? Sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran." (Q.S. Az Zumar : 8)

"Barangsiapa merintis jalan mencari ilmu maka Allahakan memudahkan jalan ke surga." (H.R. Muslim)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
"(Q.S: Alam Nasyrah : 5)

Alhamdulillah.....
Satu lagi fase kehidupan telah kulalui
Penuh syukur kupersembahkan skripsi ini kepada :

- Ayah dan Bunda tercinta atas doa dan kasih sayangnya
- Ayah dan Bunda tercinta atas doa dan kasih sayangnya
- Ayah dan Bunda tercinta atas doa dan kasih sayangnya
- Mbak Ades buat curhat-curhatnya , si kecil Nawa yang bikin Kageh semangat lagi ngerjain TA nya ,
- Alm Bude Dariyam, Pakde Sarikun, Yeyek Ti, Om Tris Pime en Dek Arip dan semua keluarga besar di Lampung...buat dukungan selama ini,
- Wisnu buat rajin ngingetin bangun pagi-paginya, buat sabarnya tempat marah-marahku en kasih sayangnya ...maksiy yaaa....mam di ate yuuk..
- Temen-temenku seperjuangan di sipil ..Ahim, Pipit, Lidya, Prista, Tika, Tata, Miun, Rela, Uci, Danin, Moko, Ade, Abang Rangga, Teguh, Novin, Gigih, Bay, Yogi Yoyo, Fuji ... makasiy yaa...makasiy banget banget buat jd warna – warni idup ku di sipil ....
- Temen-temen setengah enam ku....Putri cipuy buat pusing Ta en plat baja....,Danu, Danur, Mas Adi, Arif, Surya....he he ngantri yaa...

- Temen perjuangan TA ku... Mas Rizal Giant....woy mas...thanks ya... buat jd temen sms an, ngerjain TA , ngerumpi, ngejer dosen he..he... berkesan ya... ya (awas kalo gak! Hek hek hek)
- Temen-temen KKN Klidonku Detroool, Pipit bu ketu, Elya Kadam, Endang...tengkyu ya jweeng...KKN yang berkesan ya boo...he he..
- Temen-temen Kejora geh, Azey, Tias, Triol, Pinul, Ciripa, Mak Linda, Dandrem, Piit bulu,... buat matey-matey nya....buat gosip ter up 2 datenya... wolupun eke jawoh... eke kagak ketinggalan perkembangan Lampung sai....
- Temen-temen Lampung di Jogja, Erdi..mmm thanks dah banyak ngerepotin, Adon en In, Jaka en Nila, Arey en Via, Aan ani . thanks ya..
- Buat Pak Pardi, Pak Santoro, Pak Heri,Mas Aris ,Mas Ndaru satpam-satpam FTSP buat kerjasamanya...
- Dan semua pihak yang tidak bisa ku sebutkan satu persatu, thanks..

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR LAMPIRAN xvi
DAFTAR LAMBANG DAN ISTILAH xvii
ABSTRAKSI xviii

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2 Tujuan Penelitian 2
1.3 Manfaat Penelitian 2
1.4 Batasan Masalah 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

BAB III LANDASAN TEORI 6
3.1 Kolom 6
3.2 Kolom Tunggal 6
3.2.1 Geser Kolom Tunggal 6
3.3 Pembebanan Eksentris Kolom Tunggal 8
3.4 Kolom Tersusun 9
3.4.1 Kolom Tersusun Prismatis 9
3.4.2 Kolom Tersusun Bangun Non Prismatis 14

3.4.3 Kolom Tersusun Bangun Non Prismatis Dengan Perangkai Diamond Dan Lateral 17
3.4.4 Kolom Tersusun Bangun Non Prismatis Perangkai Diamond Dan Lateral Dengan Pembebanan Eksentris 23
3.5 Kolom Pendek 25
3.5.1 Tekan Kolom Pendek Menurut Spesifikasi AISC 25
3.5.1.a Tekuk Elastis 25
3.5.1.b Tekuk Tidak Elastis 26
3.6 Kuat Tekan 28
3.6.1 Tekuk Keseluruhan 28
3.6.2 Tekuk Lokal 29
3.6.3 Hubungan Tekuk Lokal Dan Tekuk Keseluruhan 30
3.7 Modulus Tangen Dan Modulus Tereduksi 31
3.8 Hubungan Tanpa Dimensi Antara $\frac{P_{cr}}{P_y}$ dengan $\frac{e}{a}$ 34
3.9 Hipotesis 35

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 37
4.1 Metode Penelitian 37
4.2 Bahan Dan Alat Yang Digunakan 37
4.2.1 Bahan 37
4.2.2 Peralatan Penelitian 38
4.3 Model Benda Uji 40
4.3.1 Benda Uji Las Dan Tarik 40
4.3.2 Sampel Benda Uji 41
4.4 Prosedur Penelitian 42
4.5 Pelaksanaan Penelitian 43
4.5.1 Pembuatan Benda Uji 43
4.5.2 Setting Peralatan 43

4.5.3 Proses Pengujian Kapasitas Kolom Tersusun Akibat Pembebanan Eksentris 44
4.5.4 Pengujian Kuat Tarik Profil Dan Plat 45

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 47
5.1 Hasil Pengujian 47
5.1.1 Hasil Uji Pendahuluan 47
5.1.2 Uji Tarik Baja Profil Siku 47
5.1.3 Uji Tarik Baja Tulangan 48
5.1.4 Hasil Uji Kuat Geser Sambungan Las 49
5.1.5 Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun 50
5.1.6 Hubungan Beban Lendutan (P-Δ) Hasil Penelitian..... 50
5.2 Pembahasan 54
5.2.1 Uji Kuat Tarik Baja 54
5.2.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las 56
5.2.3 Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun 57
5.3 Perhitungan Teoritis Dengan Hasil Pengujian 58
5.4 Pola Kegagalan 72

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 75
6.1 Kesimpulan 75
6.2 Saran 76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai μ untuk bermacam nilai rasio *ho/hm* 17

Tabel 3.2 Nilai k untuk bermacam pias pada perencanaan 21

Tabel 3.3 Tabel tekuk plastas almunium 34

Tabel 4.1 Ukuran benda uji kolom tersusun 42

Tabel 5.1 Hasil pengujian kuat tarik profil siku 48

Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik profil tulangan diameter 7 mm..... 49

Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tarik las bahan 49

Tabel 5.4 Hasil pengujian kuat tekan kolom 52

Tabel 5.5 Analisis hasil uji kuat tarik baja siku 55

Tabel 5.6 Hasil pengujian kuat geser las 57

Tabel 5.7 Hasil perhitungan inersia gabungan dan jari-jari girasi rata-rata kolom bangun non prismatis 58

Tabel 5.8 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.18 teoritis dengan perbandingan e/a 60

Tabel 5.9 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.18 teoritis dengan perbandingan Kl/r 60

Tabel 5.10 Tabel tekuk plastis almunium pengujian *Wf Chen* dan *A. Atsuta* .. 61

Tabel 5.11 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dengan perbandingan e/a dengan modulus tangensial perbandingan pengujian *Chen* tabel 5.10 62

Tabel 5.12 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dengan perbandingan Kl/r dengan modulus tangensial perbandingan pengujian *Chen* tabel 5.10 62

Tabel 5.13 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dengan perbandingan e/a dengan nilai modulus tereduksi perbandingan pengujian *Chen* tabel 5.10 63

Tabel 5.14 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dengan perbandingan Kl/r dengan nilai modulus tereduksi perbandingan pengujian *Chen* tabel 5.10 63

Tabel 5.15 Tabel perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y), hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian dengan perbandingan e/a 64

Tabel 5.16 Tabel perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y), hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian dengan perbandingan Kl/r 66

Tabel 5.17 Tabel perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.63 teoritis dengan perbandingan e/a 69

Tabel 5.18 Tabel perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.63 teoritis dengan perbandingan Kl/r 69

Tabel 5.19 Tabel perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.63 teoritis dan beban kritis (P_{cr}) hasil pengujian dengan perbandingan e/a 70

Tabel 5.20 Tabel perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.63 teoritis dan beban kritis (P_{cr}) hasil pengujian dengan perbandingan Kl/r 71

Tabel 5.21 Pola kegagalan kolom 74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Batang lurus dibebani gaya tekan aksial 6

Gambar 3.2 Kolom dengan beban P dan eksentris e 8

Gambar 3.3 Profil kolom tersusun dengan profil siku 9

Gambar 3.4 Kolom tersusun yang dibebani gaya aksial (Frederich Bleich, 1952) 10

Gambar 3.5 Pengikat ganda pada kolom 14

Gambar 3.6 Kolom non prismatis 14

Gambar 3.7 Kolom tersusun bangun non prismatis dibebani gaya aksial dengan perangkai diamond dan lateral 22

Gambar 3.8 Kolom tersusun dengan beban tekan eksentris 23

Gambar 3.9 Kerusakan akibat tekuk lokal 29

Gambar 3.10 Teori modulus tangen *Engesser* 32

Gambar 3.11 Grafik tegangan berdasar persamaan *Euler* 33

Gambar 3.12 Grafik hubungan antara $\frac{P_{cr}}{P_y}$ dengan $\frac{e}{a}$ 35

Gambar 4.1 Flowchart metodologi penelitian 37

Gambar 4.2 *Dial Gauge* 38

Gambar 4.3 *Dukungan sendi* 39

Gambar 4.4 *Hidraulic Jack* 39

Gambar 4.5 *Universal Testing Material Shimitzu UMH30* 39

Gambar 4.6 Benda uji untuk uji kuat tarik 40

Gambar 4.7 Benda uji untuk kuat tarik las 40

Gambar 4.8 Sampel kolom tersusun 41

Gambar 4.9 Profil siku 42

Gambar 4.10 Benda uji tampak samping 44

Gambar 4.11 Diagram Tegangan - Regangan baja struktural 45

Gambar 5.1 Grafik hubungan beban-lendutan uji kuat tarik elemen pelat profil siku benda uji 1 48

Gambar 5.2 Grafik beban-lendutan uji kuat tarik tulangan diameter 7 mm 49
Gambar 5.3 Benda uji kolom tersusun dan penempatan *dial gauge* 51
Gambar 5.4a Grafik hubungan beban dengan lendutan maksimum dengan perbandingan e/a 53
Gambar 5.4b Grafik hubungan beban dengan lendutan maksimum dengan perbandingan Kl/r 53
Gambar 5.5 Benda uji kuat tarik bahan 54
Gambar 5.6 Benda uji kuat tarik las 56
Gambar 5.7 Kolom tersusun bangun non prismatis dengan penjelasan pias 59
Gambar 5.8a Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y), hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian Prisca Anggia dengan perbandingan e/a 65
Gambar 5.8b Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y), hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian dengan perbandingan e/a 65
Gambar 5.9a Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y), hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian Prisca Anggia dengan perbandingan Kl/r 67
Gambar 5.9b Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y), hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian dengan perbandingan Kl/r 67
Gambar 5.10 Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y), hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.63 teoritis dan pengujian dengan perbandingan e/a 70
Gambar 5.11 Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y), hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.63 teoritis dan pengujian dengan perbandingan Kl/r 71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perencanaan Kolom Tersusun

Lampiran 2 Uji Pendahuluan

Lampiran 3 Gambar Dan Dokumentasi Saat Pengujian

Lampiran 4 Tabel Dan Gambar Pelengkap

Lampiran 5 Lembar Konsultasi Mahasiswa

DAFTAR LAMBANG DAN ISTILAH

A : Luas Profil

A_d : Luas penampang dua batang diagonal

A_b : Luas penampang dua batang horisontal

a : Jarak antar titik berat profil

b : Lebar profil

b/t : Rasio lebar terhadap tebal

C_c : Kelangsingan batas

d : Panjang batang diagonal

e : Eksentrisitas

E : Modulus elastis

E_t : Modulus tangen

E_r : Modulus tereduksi

F_{cr} : Tegangan kritis

F_y : Tegangan leleh

F_u : Tegangan ultimit

h_o : Panjang bentang terpendek dari perangkai melintang kolom

h_m : Panjang bentang terpanjang dari perangkai melintang kolom

L_1 : Panjang batang horisontal (dibatasi oleh pertemuan batang-batang diagonal)

L_a : Panjang batang horisontal yang dibatasi batang-batang perangkai

k_1 : Koefisien tekuk plat

k : Koefisien geser kolom (*Bleich*, 1952)

K : Faktor panjang efektif

P : Beban

P_{cr} : Beban kritis

P_y : Beban leleh

P_u : Beban ultimit

r : Radius girasi

t : Tebal profil

y : setengah panjang h_o

μ : Angka poison

I : Inersia kolom tersusun

σ : Tegangan

ABSTRAKSI

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, anjang kolom dan kondisi ujung-ujung kolom. Jarak antar profil berpengaruh pada momen inersia penampang kolom tersusun sehingga berpengaruh pada kelangsingan, kuat tekan dan kekakuan. Jarak antar batang perangkai yang cukup jauh mengakibatkan tekuk pada batang tunggal, guna mencegah peristiwa ini jarak antar batang perangkai diasang cukup dekat. Pada umumnya kolom mengalami gaya tekan eksentris (e) sehingga kolom mengalami gaya tekan dengan mmen (M).Besarnya momen berbanding lurus dengan gaya (P), semakin besar eksentrisitas semakin besar pula momenya sehingga kolom dapat mengalami tekuk, dan akan mengurangi kapasitas kolom tersusun.

Penelitian eksperimental ini menggunakan 4 buah benda uji. Tiga benda uji dengan jarak antar batang melintang (ho/hm) sebesar ;0.6231, dan Kl/r sebesar 14,67, dan satu buah benda uji dengan perbandingan (ho/hm) sebesar; 1, dan Kl/r sebesar 19,35 dengan panjang batang konstan sebesar 1800 mm. Tumpuan yang digunakan berupa tumpuan sederhana dengan anggapan tumpuan sendi-sendi dengan nilai K = 1, benda uji di tempatkan di Loading Frame dengan posisi berdiri, kemudian di tekan dengan Hidraulik Jack dengan pembebanan aksial tekan sentris dan eksentris dengan kenaikan sebesar 4kN. Pembebanan eksentris untuk ketiga benda uji non prismatis dengan e/a sebesar 0;0,107;0.215.

Berdasarkan eksperimen yang di lakukan dapat diketahui bahwa beban kritis benda uji kolom : kolom 1 (ho/hm = 0,6231), pembebanan sentris, P_{cr} = 170 kN; kolom 2 (ho/hm = 0,6231), pembebanan eksentris (e/a = 0.107) P_{cr} = 136 kN; kolom 3 (ho/hm = 0,6231), pembebanan eksentris (e/a = 0.215) P_{cr} = 137 kN; dan kolom 4 (ho/hm = 1), pembebanan sentris , nilai kelangsingan (Kl/ r = 19.35) P_{cr} = 160 kN. Maka dapat disimpulkan semakin besar nilai e/a maka daya dukung kolom semakin berkurang. Dari hasil pengujian laboratorium tersebut beban kritis (P_{cr}) Berada di bawah perhitungan teori menggunakan rumus Friedich Bleich,karena menurut batas langsing kolom (C_c),kolom yang diuji adalah kolom pendek (L/r)< C_c sehingga rumus yang digunakn adalah rumus kolom pendek berdasarkan AISC .Pola kegagalan yang terjadi berupa tekuk lokal pada seluruh benda uji.

Kata kunci: kapasitas kolom tersusun, empat profil siku, pendek, bangun non prismatis, eksentrisitas, pola kegagalan.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Struktur tekan (kolom) dapat dibuat dari profil tunggal maupun profil tersusun (gabungan). Kapasits tekan kolom tunggal memiliki kapasitas terbatas sehingga untuk beban besar tidak mencukupi, karena ukuran penampang profil tunggal terbatas. Persoalan seperti ini dapat diselesaikan menggunakan kolom tersusun. Kolom tersusun digunakan untuk mendapatkan kolom yang efisien, kapasitas dan kekakuan besar. Kolom tersusun non prismatis adalah gabungan dua profil atau lebih yang dirangkai menjadi satu kesatuan dengan variasi jarak antar batang tunggal dan menggunakan batang-batang perangkai guna mendapatkan kolom dengan kekuatan besar. Kapasitas kolom tersusun non prismatis dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain bentuk dan ukuran profil, jumlah profil, jarak antar profil, konfigurasi antar batang perangkai, panjang kolom, kondisi ujung-ujung kolom. Beban yang bekerja secara eksentris mengakibatkan gaya yang dipikul oleh batang tepi tidak sama sehingga berpengaruh kepada kapasitas kolom. Semakin besar jarak beban terhadap pusat berat kolom maka kapasitas akan semakin berkurang. Kapasitas kolom tersusun non prismatis menarik di teliti karena kolom non prismatis memiliki momen inersia bervariasi. Momen inersia berpengaruh pada kekuatan maupun kekakuan kolom. Pada sisi bawah, momen inersia maksimum, pada sisi atas minimum. Variasi batang diamon dan lateral menyebabkan panjang tekuk profil tunggal bervariasi. Perangkai diamon adalah perangkai yang berbentuk diamon ditambah dengan perangkai lateral untuk tiap jarak yang berbeda sehingga didapat apakah kolom non prismatis dengan perangkai diamond dan lateral aman untuk digunakan sebagai komponen struktur bangunan.

Pada kolom tersusun, peristiwa tekuk dapat terjadi yang mengakibatkan efisiensi penampang pada kolom tersusun berkurang. Keruntuhan akibat tekuk terjadi pada batang yang langsing, dimana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki oleh pelat jauh di bawah tegangan lelehnya. Kolom tersusun non prismatis dapat di susun dengan menggunakan batang-batang perangkai. Batang perangkai dapat disusun secara diagonal, melintang dan kombinasi melintang diagonal.Dalam penelitian ini digunakan variasi kombinasi yaitu perangkai diamon dan lateral.

Penelitian ini di khususkan pada kolom tersusun non prismatis empat profil siku dengan perangkai diamon dan melintang yang dipengaruhi oleh nilai h_0 / h_m, dan pembebanan eksentris, h_m merupakan bentang terpanjang dari perangkai melintang sedangkan h_0 merupakan bentang terpendek dari perangkai melintang dan memiliki ragam kegagalan, apakah kolom tersusun non prismatis terjadi tekuk lokal atau tekuk keseluruhan (all buckling) dan aman untuk digunakan sebagai komponen struktur bangunan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian eksperimental adalah :

1. mengetahui beban kritis dan tegangan kritis kolom tersusun bangun non prismatis empat profil siku dengan konfigurasi perangkai yang memikul beban eksentris bervariasi.
2. mengetahui jenis kegagalan kolom tersusun non prismatis.
3. mencari rasio $\frac{P_{cr}}{P_y}$ kolom tersusun bangun non prismatis

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian eksperimental ini diharapkan mendapat manfaat sebagai berikut :

1. mengembangan pengetahuan tentang kapasitas kolom tersusun non prismatis dengan variasi perangkai diamon dan lateral.

2. memberikan informasi tentang kapasitas tekan kolom tersusun non prismatis dengan beban eksentris.
3. sebagai bahan pertimbangan dalam merencanakan kolom non prismatis.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian eksperimental kolom non prismatis dibatasi pada masalah :

1. kolom tersusun non prismatis terbuat dari empat profil siku dengan konfigurasi perangkai diamon dan lateral.
2. kolom dibebani dengan aksial sentris dan eksentris
3. hubungan perangkai menggunakan las.
4. rasio eksentrisitas (e) dengan jarak sumbu elemen batang tersusun (a) adalah $\left(\frac{e}{a}\right)$ yaitu 0; 0,1079; 0,2157
5. nilai a diambil dari jarak h_0 yaitu jarak terpendek dari perangkai melintang kolom bangun non prismatis yaitu 185,4 mm
6. perangkai menggunakan batang baja bulat dengan rasio diameter 0,7 cm.
7. tegangan residu dari bahan tidak ditinjau.
8. jenis struktur adalah kolom dengan kedua ujungnya ditumpu sederhana (sendi), kolom tidak bergoyang (K=1).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kekuatan kolom dipengaruhi banyak faktor salah satunya adalah kelangsingan. Semakin langsing suatu kolom , kuat tekannya semakin kecil. Kelangsingan juga berpengaruh pada ragam keruntuhan. Berdasarkan ragam keruntuhan ,kolom dapat dibedakan menjadi tiga , yaitu kolom langsing " slender column " , kolom sedang dan kolom pendek " stocky column ". Kolom langsing dan sedang ,runtuh akibat tekuk , kolom pendek runtuh akibat tegangan leleh terlampaui (Padosbajoyo ,1992)

Kekuatan batang tekan dipengaruhi oleh faktor tekuk *(buckling)* atau lenturan mendadak akibat ketidakstabilan, terjadi sebelum kekuatan batang sepenuhnya tercapai. Kapasitas kolom di pengaruhi oleh stabilitas kolom terhadap tekuk. Tekuk yang terjadi pada kolom yang tersusun dari pelat adalah tekuk keseluruhan dan tekuk lokal ***(Salmon dan Johnson, 1994)***

Analisis untuk kuat tekan batang secara matematis dilakukan pertama kali oleh ***Leonhard Euler (1744)***, dimana Euler menyelidiki tekuk kolom langsing dan menentukan beba kritisnya. Beban kritis (P_{cr}) adalah harga beban aksial dimana kolom dapat mengalami defleksi lateral kecil tanpa adanya perubahan gaya aksial. Dengan demikian, beban kritis menunjukkan batas antara kondisi stabil dan tidak stabil. Jika ($P<P_{cr}$), maka struktu stabil, jika ($P>P_{cr}$), maka struktur tidak stabil (***Gere dan Timoshenko, 2000***).

Menurut persamaan yang dikemukakan Euler dalam buku ***Salmon dan Johnson (1994)*** beban kritis merupakan batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu batang maka tegangan kritisnya semakin kecil. Dimana besarnya beban kritis di pengaruhi oleh kelangsingan batang, sifat bahan dan momen inersia.

Salmon dan Johnson (1990) mengemukakan bahwa bila batang mengalami lentur akibat gaya aksial, pada penampang batang tersebut bekerja komponen gaya yang arahnya tegak lurus terhadap sumbu batang. Pengaruh gaya geser terhadap pengurangan kekuatan kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser. Nilai beban kritis di pengaruhi oleh nilai panjang batang diagonal atau horisontal di bagi dengan luas penampang diagonal atau horisontal

Akibat pembebanan eksentris yaitu beban bekerja tidak tepat pada titik berat penampang kolom, mengakibatkan terjadinya momen lentur disamping gaya aksial. Momen yang timbul akibat beban eksentris tersebut sebesar M, yang didapat dari beban (P) dikalikan jarak beban ke pusat berat penampang kolom (e). Momen lentur dapat bersumbu tunggal (uniaxial) seperti kolom eksterior bangunan bertingkat banyak dan kolom bersumbu banyak (biaksial) apabila lenturnya terjadi terhadap sumbu X dan sumbu Y seperti kolom yang terletak di pojok bangunan.***(Salmon, Charles G)***

Pengaruh geser terhadap pengurangan kekuatan kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser. Penampang berbadan solid memiliki deformasi geser yang lebih kecil daripada kolom tersusun. Pengaruh gaya geser yang kecil pada kolom berbadan solid dapat diabaikan dengan aman, namun pengaruh geser sebaiknya tidak diabaikan untuk kolom tersusun ***(Salmon dan Johnson, 1990).***

Kolom tersusun bangun non prismatis dipengaruhi oleh momen inersia yang berbeda-beda pada tiap elemen. Rasio bentang terpendek kolom (h_o) terhadap bentang terpanjang kolom (h_m) akan memberikan pengurangan kapasitas suatu kolom bangun non prismatis ***(Ike Merdekawati,2006)***

BAB III
LANDASAN TEORI

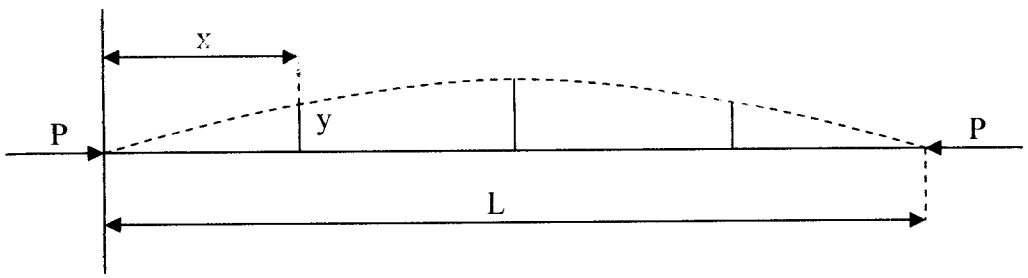
3.1.Kolom

Komponen struktur tekan yang menggunakan baja dapat dibuat dari profil tunggal atau profil tersusun (*built up*). Kapasitas tekan dan kekakuan profil tunggal terbatas karena ukuran penampang baja yang tersedia terbatas. Pada kolom dengan beban besar dan memerlukan kekakuan besar, kapasitas profil tunggal tidak memenuhi. Persoalan seperti diatas dapat diselesaikan dengan menggunakan kolom profil gabungan (tersusun), kolom tersusun digunakan untuk mendapatkan kolom yang lebih efisien dalam menahan beban dengan kapasitas yang besar.

3.2 Kolom Tunggal

3.2.1 Geser kolom tunggal

Kolom tunggal adalah komponen struktur tekan yang terbuat dari satu profil. Kapasitas tekan kolom tunggal terbatas karena di pengaruhi oleh banyak faktor antara lain bentuk dan ukuran profil tunggal, panjang kolom dan kondisi ujung-ujung kolom. Akibat pengaruh beban, kolom tunggal dapat melentur dan di dalam penampangnya timbul gaya geser.



Gambar 3.1 Batang lurus di bebani gaya tekan aksial

Gambar 3.1 menunjukkan sebuah batang lurus yang kedua ujungnya sendi, di bebani gaya tekan aksial (P) akibatnya batang melengkung. Anggap penampang batang yang letaknya x dari ujung kiri mengalami pelenturan sebesar y. Akibat beban P dan pelenturan (y) dipenampang tersebut bekerja momen lentur, di penampang tersebut bekerja momen lentur.

$$M = -P.y \tag{3.1}$$

Persamaan pelenturan akibat beban (P) dapat dinyatakan :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{P}{EI}y \tag{3.2a}$$

atau

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{P}{EI}y = 0 \tag{3.2b}$$

Solusi persamaan (3.2b), menghasilkan :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \tag{3.3}$$

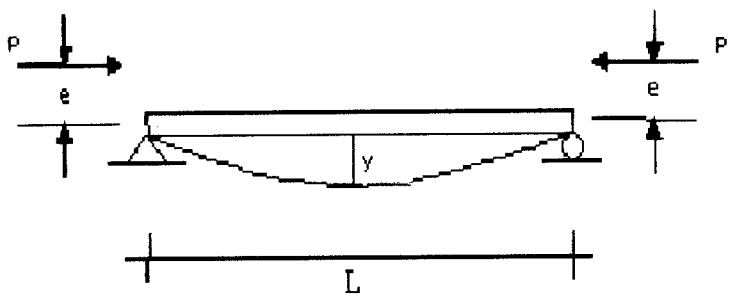
atau dinyatakan dalam tegangan tekan rata-rata :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \tag{3.4}$$

(KL/r) adalah kelangsingan batang, K adalah faktor panjang efektif, $r = \sqrt{I/A}$ (jari-jari inersia) dan I adalah momen inersia. Tampak bahwa tegangan kritis batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu batang maka tegangan kritisnya semakin kecil.

3.3 Pembebanan eksentris kolom tunggal

Bila pada suatu batang diberi beban dengan eksentrisitas (e) yang diukur dari sumbu batang, maka beban tekan aksial eksentrisitas ini ekuivalen dengan beban sentris (P) dan momen (M=P.e). Momen ini ada sejak beban tersebut diterapkan sehingga kolom mulai terdefleksi pada saat mulai diberi beban. Untuk menganalisis batang yang diberi beban eksentris dapat dilihat pada Gambar 3.2 :



Gambar 3.2 Kolom dengan beban P dan eksentris e

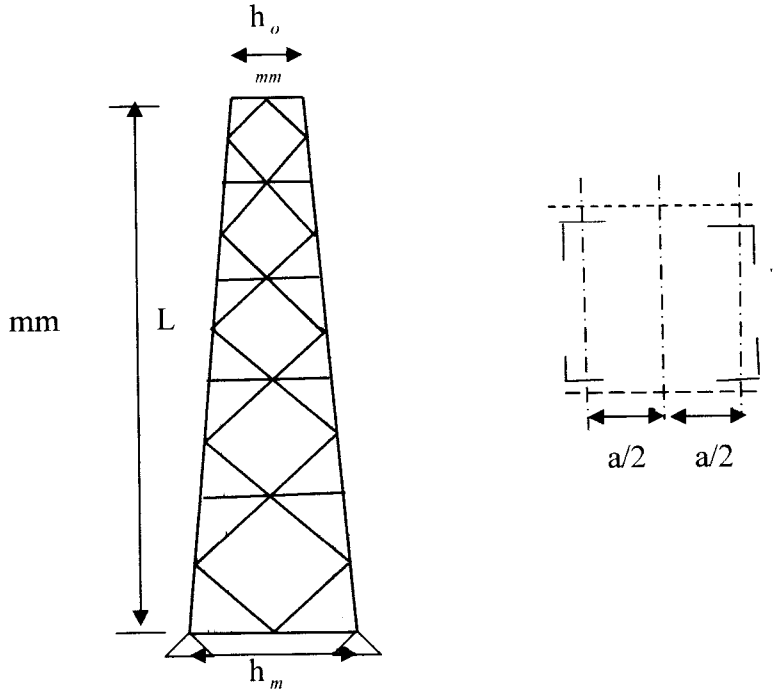
Salah satu rumus batang tekan yang memperhitungkan pengaruh eksentrisitas adalah rumus *Secant*, (*Salmon dan Johnson, 1990*).

$$P = \frac{F_{Max} . A}{\left(1 + \frac{e.C}{r^2} . Sec \frac{L}{r} \sqrt{\frac{P}{EI}}\right)} \qquad (3.5)$$

Persamaan pada 3.5 sukar digunakan karena variabel P berada diruas kiri dam kanan, padahal variabel tersebut baru akan dicari sehingga penyelesaiannya dilakukan dengan "trial and error".

3.4 Kolom tersusun

Kolom tersusun adalah gabungan dua batang atau lebih, dimana batang yang satu dengan batang yang lain dihubungkan sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan. Kolom tersebut dibuat dari beberapa profil dengan penampang tetap dan tidak tetap dengan konfigurasi batang perangkai. Salah satu bentuk konfigurasi batang perangkai bangun non prismatis ditunjukkan pada Gambar 3.3:



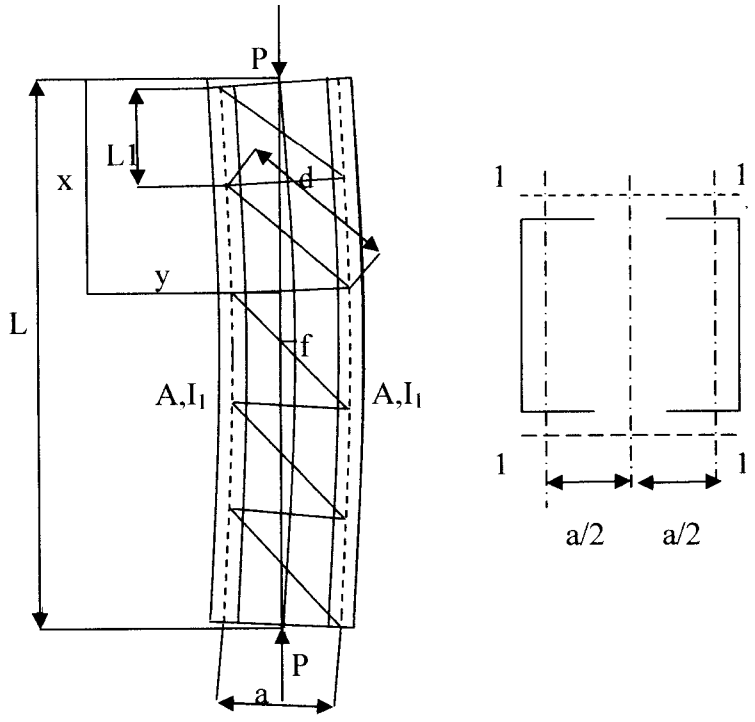
Gambar 3.3 Profil kolom tersusun dengan profil siku

3.4.1 Kolom tersusun bangun prismatis

Menurut *Bleich* (1952), kolom tersusun yang mengunakan batang perangkai diagonal dan melintang yang dibebani gaya aksial (Gambar 3.4)

mempunyai persamaan Energi Regangan (ES):

$$ES = \frac{1}{2}\left(2\sum \frac{F^2 L_1}{E_t A} + \sum \frac{D^2 d}{E A_d} + \sum \frac{B^2 a}{E A_b} \right) \tag{3.6}$$



Gambar 3.4 Kolom tersusun yang dibebani gaya aksial
(Frederich Bleich,1952)

Dimana kondisi pertama adalah akumulasi energi elastik sedangkan 2 kondisi terakhir adalah energi dari batang perangkai.

Momen pada semua titik pada as kolom adalah:

$$Mx = P_c.y = P_c.f \sin\frac{\pi x}{l} \tag{3.7}$$

Dengan gaya geser :

$$Q_x = \frac{dM_x}{dx} = P_c f \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi x}{l} \tag{3.8}$$

Sehingga , gaya –gaya pada penampang adalah:

$$F = \frac{M_x}{a} = \pm P_c \frac{f}{a} \sin \frac{\pi x}{l} \tag{3.9a}$$

Sebagai gaya aksial batang tunggal/batang perangkai,

$$D = Q_x \frac{d}{a} = \pm P_c f \frac{d}{a} \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi x}{l} \tag{3.9b}$$

Sebagai gaya aksial batang diagonal,

$$B = Q_x = \pm P_c f \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi x}{l} \tag{3.9c}$$

Sebagai gaya aksial batang transversal,

Dengan anggapan $\frac{\pi x}{l} = \frac{2r-1}{2n}\pi$,dimana r =1,2,3,....n-1 dan n adalah jumlah dari titik bidang sehingga :

$$ES = \frac{P_c^2 f^2}{2} \frac{L_1}{a^2} \frac{2}{E_t A} \sum_{r=1}^{n} \sin^2 \frac{2r-1}{2n}\pi + \frac{P_c^2 f^2}{2} \frac{d^3}{a^2} \frac{\pi^2}{l^2} \frac{l}{EA_d} + \sum_{r=1}^{n} \cos^2 \frac{2r-1}{2n}\pi$$

$$+ \frac{P_c^2 f^2}{2} \frac{\pi^2}{l^2} \frac{a}{EA_b} + \sum_{r=1}^{n} \cos^2 \frac{2r-1}{n}\pi$$

Momen inersia $I_0 = A(a^2/2)$,maka :

$$\frac{P_c^2 f^2}{2} \frac{L_1}{a^2} \frac{2}{E_t A} = \frac{P_c^2 f^2}{2} \frac{L_1}{E_t I_0}$$

dan

$$\sum_{r=1}^{n} \sin^2 \frac{2r-1}{2n}\pi = \sum_{r=1}^{n} \cos^2 \frac{2r-1}{2n}\pi = \frac{n}{2} = \frac{1}{2L_1} \tag{3.10}$$

sehingga bentuk Persamaan Regangan Energi ES (Strain Energi) adalah :

$$ES = P_e^{\,2} \frac{f^3 l}{4}\left(\frac{1}{E_t I_0} + \frac{d^3}{L_1 a^2}\frac{\pi^2}{l^2}\frac{1}{EA_d} + \frac{a}{L_1}\frac{\pi^2}{l^2}\frac{1}{EA_b}\right) \tag{3.11}$$

Persamaan Gaya Luar (W) :

$$W = P_c \Delta l = \frac{P_c}{2}\int_0^1 y^2 dx \tag{3.12}$$

Dengan $y' = (\pi / l) f \cos(\pi x / l)$,setelah di integralkan didapat :

$$W = P_c \frac{\pi^2 f^2}{4l} \tag{3.13}$$

Subsitusi (ES) dan (W) dari Persamaan (3.12) dan (3.13) adalah :

$$\frac{\pi^2}{l} - P_c l\left(\frac{1}{E_t I_0} + \frac{\pi^2}{l^2}\frac{d^3}{L_1 a^2}\frac{1}{EA_d} + \frac{\pi^2}{l^2}\frac{a}{L_1}\frac{1}{EA_b}\right) = 0 \tag{3.14}$$

Sehingga Persamaan Beban Kritis adalah

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I_0}{l^2}\frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_t I_0}{l^2}\frac{1}{EL_1 a^2}\left(\frac{d^3}{A_d} + \frac{a^3}{A_b}\right)} \tag{3.15}$$

Dari Persamaan (3.15) nilai P_{cr} akan semakin kecil bila panjang batang diagonal (d) atau horisontal (a) di bagi dengan luas penampang diagonal(A_d) atau horisontal (A_b) juga semakin besar. Jika perangkai sangat kaku, $A_d = A_b = \infty$, persamaan (3.15) akan menjadi beban kritis $\pi^2 E_t I_0 / l^2$ dimana beban kritis kolom

tersusun tersebut mempunyai momen inersia $I_0 = A(a^2/2)$. Momen sebenarnya dari penampang kolom adalah :

$$I = I_0 + 2I_1 \mathrm{I}$$

Dengan subsitusi I pada I_0 pada persamaan (3.15) didapat **Persamaan Beban Kritis Kolom Tersusun Prismatis** dengan menggunggap K=1 yaitu:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I}{(Kkl)^2} \tag{3.16}$$

dengan :

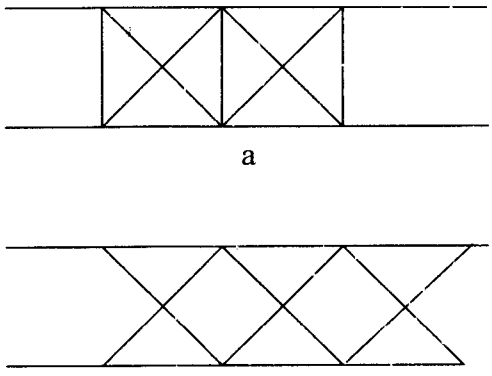
$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E_t I}{L^2} \frac{d^3}{E.L_1 a^2 A_d}} \tag{3.17}$$

Dimana E_t adalah modulus elast s kolom, L adalah panjang kolom, I adalah inersia batang perangkai , d adalah panjang batang diagonal, a adalah panjag batang horizontal ,A_b adalah luas penampang dua batang horizontal, A_d adalah luas penampang dua batang diagonal.

Dari persamaan (3.17) dapat kita lihat bahwa semakin besar luas penampang batang diagonal (A_d) maka nilai k akan semakin kecil dan P_{cr} akan semakin besar. semakin panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung (L_1)maka nilai k akan semakin kecil dan P_{cr} akan semakin besar dan tegangan kritis (F_{cr})akan semakin membesar.

Untuk pengikat ganda Gambar 3.5 , didapat nilai k adalah:

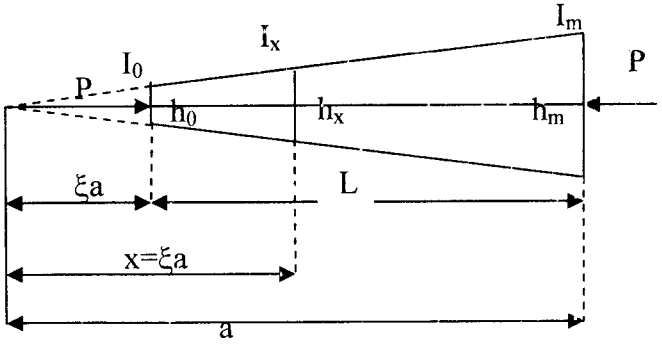
$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E_t I}{L^2} \frac{d^3}{2E.L_1 a^2 A_d}} \tag{3.18}$$



Gambar 3.5 Pengikat ganda pada kolom

Faktor k memberikan efek kecil terhadap kekuatan kolom pendek, sehingga sering diabaikan. Namun untuk kolom langsing, efek geser memberikan nilai reduksi kisaran 10 %.

3.2 Kolom Tersusun Bangun Non Prismatis



Gambar 3.6 Kolom non prismatis

Menurut Persamaan *Frederich Bleich* (1952) yang dikemukakan dalam buku

Buckling strength of metal structures, kolom tersusun yang mengunakan batang perangkai diagonal dan melintang yang dibebani gaya aksial.

I_m adalah momen inersia yang merupakan as kolom dan I_x merupakan nilai dari acuan titik x, dapat ditulis menjadi

$$I_x = I_m \frac{h_x^{\,2}}{h_m^{\,2}} = I_m \frac{x^2}{a^2} = I_m \xi^{\,2} \tag{3.19}$$

dimana $\xi = \frac{x}{a}$ merupakan dimensi kuantitas. Persamaan diferensial pada kolom adalah

$$E_t I_x \frac{d^2 y}{dx^2} + py = 0 \tag{3.20}$$

subsitusi I_x dari Persamaan 3.19 adalah

$$\alpha^2 = \frac{Pa^2}{E_t I_m} \tag{3.21}$$

Persamaan diferensial dengan variabel koefisien :

$$\xi^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + \alpha^2 y = 0 \tag{3.22}$$

menjadi

$$y = \sqrt{\xi[A \sin(k \log_e \xi) + B \cos(k \log_e \xi)]} \tag{3.23}$$

dimana

$$k = \sqrt{\alpha^2 - 1/4} \tag{3.24}$$

dari Persamaan (3.24) dengan batas :

$$\begin{aligned} \xi = \xi_0 = \frac{h_0}{h_m} : y = 0 \\ \xi = 1 : y = 0 \end{aligned} \tag{3.25}$$

dari Persamaan (3.24) dan (3.25) adalah

$$A\sin\left(k\log_e\frac{h_0}{h_m}\right)+B\cos\left(k\log_e\frac{h_0}{h_m}\right)=0 \qquad (3.26)$$

$$B=0$$

dari nilai A dan B, dapat ditulis menjadi :

$$\sin\left(k\log_e\frac{h_0}{h_m}\right)=0 \qquad (3.27)$$

dimana

$$k_1=\frac{\pi}{\log_e h_0-\log_e h_m} \qquad (3.28)$$

dari Persamaan (3.21) dan (3.24) didapat **Persamaan Beban Kritis Kolom Tersusun Bangun Non Prismatis** yaitu :

$$P_c=\mu\frac{\pi^2 E_t I_m}{l^2} \qquad (3.29)$$

dengan

$$\mu=\frac{1}{4}\left(1-\frac{h_0}{h_m}\right)^2\left[\frac{1}{\pi^2}+\frac{4}{\left(\log_e h_0-\log_e h_m\right)^2}\right] \qquad (3.30)$$

Persamaan (3.31) dinyatakan dengan Tabel 3.1 μ untuk berbagai macam rasio h_0/h_m

Tabel 3.1 Nilai μ untuk bermacam nilai rasio h_0/h_m

h_0/h_m	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
μ	0.025	0.173	0.263	0.438	0.618	0.804	1

3.4.3 Kolom Tersusun Bangun Nonprismatis Dengan Perangkai Diamond dan Lateral

Pada persamaan 3.6 yang dikemukakan oleh *Bleich* maka untuk kondisi batang perangkai diamond dan lateral yang dibebani gaya aksial (Gambar 3.3) mempunyai persamaan Energi Regangan :

$$ES = \frac{1}{2}\left(2\sum\frac{F^2 c}{E_t A} + \sum\frac{D^2 d}{2EA_d} + \sum\frac{B^2 a}{EA_b}\right) \qquad (3.31)$$

Dimana kondisi pertama adalah akumulasi energi elastik sedangkan 2 kondisi terakhir adalah energi dari batang perangkai.

Momen pada semua titik pada as kolom adalah:

$$Mx = P_c.y = P_c.f\sin\frac{\pi x}{l} \qquad (3.32)$$

Dengan gaya geser :

$$Q_x = \frac{dM_x}{dx} = P_c f\frac{\pi}{l}\cos\frac{\pi\chi}{l} \qquad (3.33)$$

Sehingga , gaya –gaya pada penampang adalah:

$$F = \frac{M_x}{a} = \pm P_c\frac{f}{a}\sin\frac{\pi x}{l} \qquad (3.34a)$$

Sebagai gaya aksial batang tunggal/batang perangkai,

$$D = Q_x \frac{d}{a} = \pm P_c f \frac{d}{a}\frac{\pi}{l}\cos\frac{\pi x}{l} \tag{3.34b}$$

Sebagai gaya aksial batang diagonal yaitu ada 2 buah batang diagonal,

$$B = Q_x = \pm P_c f \frac{\pi}{l}\cos\frac{\pi x}{l} \tag{3.34c}$$

Sebagai gaya aksial batang transversal yaitu ada 1 buah batang transversal

Dengan anggapan $\frac{\pi x}{l} = \frac{2r-1}{2n}\pi$,dimana r =1,2,3,....n-1 dan n adalah jumlah dari titik bidang sehingga :

$$ES = \frac{P_c^2 f^2}{2}\frac{L_1}{a^2}\frac{2}{E_t A}\sum_{r=1}^{n}\sin^2\frac{2r-1}{2n}\pi + \frac{P_c^2 f^2}{2}\frac{d^3}{a^2}\frac{\pi^2}{l^2}\frac{1}{EA_d} + \sum_{r=1}^{n}\cos^2\frac{2r-1}{2n}\pi$$

$$+ \frac{P_c^2 f^2}{2}\frac{\pi^2}{l^2}\frac{a}{EA_b} + \sum_{r=1}^{n}\cos^2\frac{2r-1}{n}\pi$$

Momen inersia $I_0 = A(a^2/2)$,maka :

$$\frac{P_c^2 f^2}{2}\frac{L_1}{a^2}\frac{2}{E_t A} = \frac{P_c^2 f^2}{2}\frac{L_1}{E_t I_0}$$

dan

$$\sum_{r=1}^{n}\sin^2\frac{2r-1}{2n}\pi = \sum_{r=1}^{n}\cos^2\frac{2r-1}{2n}\pi = \frac{n}{2} = \frac{1}{2L_1} \tag{3.35}$$

sehingga bentuk Persamaan Regangan Energi ES (Strain Energi) adalah .

$$ES = P_e^2 \frac{f^3 l}{4}\left(\frac{1}{E_t I_0} + \frac{d^3}{2L_1 a^2}\frac{\pi^2}{l^2}\frac{1}{EA_d} + \frac{a}{L_1}\frac{\pi^2}{l^2}\frac{1}{EA_b}\right) \tag{3.36}$$

Persamaan Gaya Luar (W) :

$$W = P_c \Delta l = \frac{P_c}{2} \int_0^1 y^2 dx \tag{3.37}$$

Anggapan $y' = (\pi / l) f \cos(\pi x / l)$,setelah di integralkan didapat :

$$W = P_c \frac{\pi^2 f^2}{4l} \tag{3.38}$$

Subsitusi (ES) dan (W) dari Persamaan (3.12) dan (3.13) adalah :

$$\frac{\pi^2}{l} - P_c l \left(\frac{1}{E_t I_0} + \frac{\pi^2}{l^2} \frac{d^3}{2L_1 a^2} \frac{1}{EA_d} + \frac{\pi^2}{l^2} \frac{a}{L1} \frac{1}{EA_b} \right) = 0 \tag{3.39}$$

Sehingga Persamaan Beban Kritis adalah

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I_0}{l^2} \frac{1}{1 \div \frac{\pi^2 E_t I_0}{l^2} \frac{1}{EL_1 a^2} \left(\frac{d^3}{2A_d} + \frac{a^3}{A_b} \right)} \tag{3.40}$$

Dari Persamaan (3.40) nilai P_{cr} akan semakin kecil bila panjang batang diagonal (d) atau horisontal (a) di bagi dengan luas penampang diagonal(A_d) atau horisontal (A_b) juga semakin besar. Jika perangkai sangat kaku, $A_d = A_b = \infty$, persamaan (3.40) akan menjadi tegangan kritis $\pi^2 E_t I_0 / I^2$ dimana tegangan kritis kolom tersusun tersebut mempunyai momen inersia $I_0 = A(a^2/2)$. Momen sebenarnya dari penampang kolom adalah :

$$I = 4I_0 + 4\, I_1$$

Dengan subsitusi I pada I_0 pada persamaan (3.20) didapat **Persamaan Beban Kritis Kolom Tersusun Prismatis** yaitu:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t I}{(kl)^2} \tag{3.41}$$

dengan :

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E_t I}{L^2} \frac{d^3}{2E.L_1 a^2 A_d}} \qquad (3.42)$$

Dimana E_t adalah modulus elastis kolom, L adalah panjang kolom, I adalah momen kolom , d adalah panjang batang diagonal, a adalah panjag batang horizontal ,A_b adalah luas penampang dua batang horizontal, A_d adalah luas penampang dua batang diagonal, pada Gambar 3.3 kolom non prismatis menggunakan 4 profil siku,sehingga momen sebenarnya dari penampang kolom adalah :

$$I = 4I_0 + 4\,I_1$$

Dari persamaan (3.42) dapat kita lihat bahwa semakin besar luas penampang batang diagonal (A_d) maka nilai k akan semakin kecil dan P_{cr} akan semakin besar. semakin panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung (L_1)maka nilai k akan semakin kecil dan P_{cr} akan semakin besar dan tegangan kritis juga akan menjadi besar.

Dari Persamaan tegangan kritis untuk kolom prismatis perangkai diamond (3.41), beban kritis untuk kolom non prismatis perangkai diamond dan lateral menjadi:

$$P_{cr} = \mu \frac{\pi^2 EI}{l^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E\, I}{l^2} \frac{d^3}{2EL_1 a^2 A_d}} \qquad (3.43)$$

dengan nilai μ dari persamaan 3.30

Dimana

P_{cr} = beban kritis kolom tersusun dengan perangkai dobel diagonal

μ = faktor pengecilan beban kritis berdasarkan ho/hm kolom tersusun

bangun non prismatis

d = panjang batang diagonal

L_1 = jarak antar batang perangkai (dibatasi pertemuan batang diagonal-diagonal pada gambar 3.7 b)

a = jarak sumbu elemen batang tersusun

A_d = luas penampang dua batang diagonal

Untuk faktor μ perangkai nilainya sangat kecil , untuk kondisi kolom seperti gambar 3.7 , nilai geser dicari per pias dengan memasukan nilai d, L_1 ,a, Ad kedalam persamaan 3.42

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E_t I}{L^2} \frac{d^3}{2E.L_1 a^2 A_d}} \qquad (3.42)$$

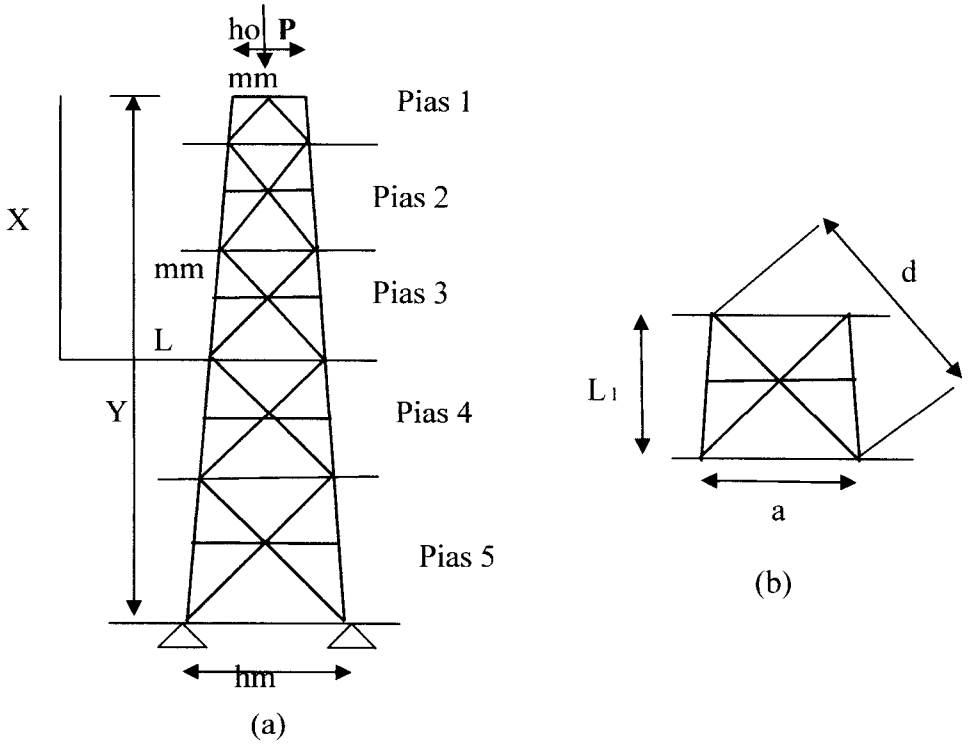
Dengan memasukan nilai yang sesuai dengan perencanaan kolom , nilai k per pias (persamaan 3.42) dapat dilihat pada **Tabel 3.2**

Tabel 3.2 Nilai k untuk bermacam pias pada perencanaan

Pias	d (mm)	h (mm)	a (mm)	L_1 (mm)	Ix=Iy(mm^4)	L (mm)	k
1	227	106	98.7	200	7900	1800	1.002031
2	460	213	198.4	400	7900	1800	1.008177
3	474	279	264.4	400	7900	1800	1.008659
4	488	294	279.4	400	7900	1800	1.009172
5	504	320	305.4	400	7900	1800	1.009776
						rata2	1.008946

Untuk kolom pendek nilai k sangat kecil dan sering tidak diperhitungkan dalam perencanaan.

Pada gambar 3.7 menurut Padosbajayo, batang diagonal berfungsi sebagai batang tarik , sedangkan batang diagonal yang lain berfungsi sebagai batang tekan, sehingga batang melintang dianggap tidak menahan gaya lintang. Pemberian perangkai lateral pada kolom lebih ditujukan untuk memperkecil kemungkinan tekuk lokal / tekuk elemen plat pada kolom.

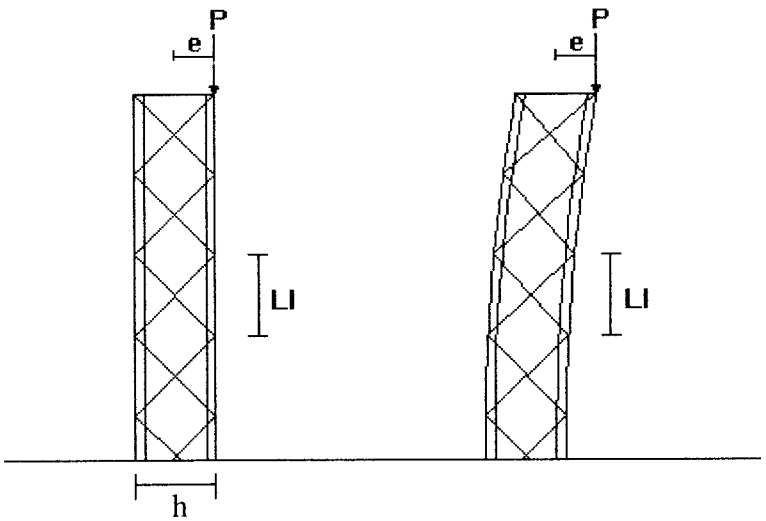


Gambar 3.7 Kolom tersusun bangun non prismatis dibebani gaya aksial dengan perangkai diamond dan lateral

3.4.3 Kolom tersusun bangun nonprismatis perangkai diamond dan lateral dengan pembebanan eksentris

Ferdinand L.Singer dan *Andrew Pytel*, (1985) mengemukakan perilaku pembebanan yang bekerja pada kolom mempengaruhi timbulnya gaya – gaya yang bekerja pada penampang kolom. Beban aksial yang bekerja secara eksentris akan menimbulkan gaya lain selain gaya aksial berupa gaya momen yang disebabkan oleh eksentrisitas.

Prinsip tegangan yang dihasilkan oleh perilaku beban yang bekerja secara eksentris pada kolom tersusun ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut ini :



Gambar 3.8. Kolom tersusun dengan beban tekan eksentris

Pada saat tersusun diberi beban sebesar P dan sejauh e dari pusat berat panampang, sehingga pada panampang (m-n) bekerja interaksi gaya antara tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan aksial (fa) dan momen yang terjadi (fb). Besarnya

$$fa = \frac{P}{A} \tag{3.44}$$

Tegangan yang ditimbulkan akibat momen lentur adalah :

$$fb = \frac{M.y}{I_y} \tag{3.45}$$

Dengan M=P.e, maka persamaan 3.14 berubah menjadi

$$fb = \frac{P.e.y_x}{I_y} \tag{3.46}$$

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

$$F = \frac{P}{A} + \frac{P.e.y}{I_y} \tag{3.47}$$

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan kritis ($F_{cr}=P_{cr}/A$) maksimum yang terjadi adalah tegangan kritis (F_{cr}) kolom pada saat menerima beban secara sentris , maka untuk berbagai macam nilai eksentrisitas persamaan 3.16 menjadi:

$$F_{cr} = \mu \frac{\pi^2 E\, I}{Al^2} \frac{1}{1 + \dfrac{\pi^2 E\, I}{l^2} \dfrac{d^3}{2EL_1 a^2 Ad}} = P\left(\frac{1}{A} + \frac{e.y}{I_Y}\right) \tag{3.48}$$

Untuk mencari besaranya nilai beban kritis kolom tersusun bangun non prismatis (P_{cr}) maka Persamaan 3.43 menjadi:

$$P_{cr} = \mu \frac{\pi^2 E\, I}{l^2} \frac{1}{1 + \dfrac{\pi^2 E\, I}{l^2} \dfrac{d^3}{2EL_1 a^2 Ad}} \frac{1}{\left(1 + \dfrac{e.y}{r^2}\right)} \tag{3.49}$$

Dari persamaan 3.49 terlihat bahwa semakin besar eksentrisitas (e), maka beban kritis (P_{cr}) kolom semakin kecil.

3.5 Kolom Pendek

Kolom pendek atau *stocky column* adalah kolom yang dapat dibebani sehingga seluruh penampangnya mencapai tegangan leleh, ini berarti kolom pendek runtuh apabila tegangan leleh terkampaui *(Padosbajoyo)*.

3.5.1. Tekan Kolom Pendek Menurut Spesifikasi AISC

Di dalam *AISC* manual 1980, rumus batang tekan dibedakan menjadi 2 yaitu rumus untuk tekuk elastis dan maupun tekuk inelastis.

Beban yang mengakibatkannya disebut beban kritis (P_{cr}), tegangan kritis dinyatakan dengan tegangan-tegangan rata=rata, yaitu beban kritis dibagi dengan luas penampang (A) ,jadi:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(Kl/r)^2} \tag{3.50}$$

3.5.1.a.Tekuk elastis

Kelangsingan mnimm untuk tekuk elastis berdasarkan AISC adalah:

$$C_c = \frac{Kl}{r} \tag{3.51}$$

Tegangan kritis pada tekuk elastis adalah:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} \tag{3.52}$$

$$(Kl/r)^2 = \frac{\pi^2 E}{F_{cr}} \tag{3.53}$$

Dengan mengambil tegangan kritik maksimum tekuk elastis (F_{cr}) = 0,5 F_y

Maka persamaan menjadi

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \qquad (3.54)$$

Persamaan menunjukan kelangsingan minimum agar kolom menjadi tekuk elastis. Jadi apabila :

$Kl/r \rangle C_c$ terjadi tekuk elastis

$Kl/r \langle C_c$ terjadi tekuk tidak elastis

3.5.1 b.Tekuk tidak elastis

Tekuk tidak elastis terjadi pada batang tekan dengan kelangsingan (Kl/r) $< C_c$

Kuat tekan batang dianggap memenuhi persamaan parabola, dengan tegangan maksimumnya diambil tegangan leleh. Tegangan kritis dinyatakan dengan persamaan:

$$F_{cr} = F_y - k(Kl/r)^2 \qquad (3.55)$$

Bila persamaan di deferensialkan ke (Kl/r) diperoleh:

$$\frac{dF_{cr}}{d\left(\frac{Kl}{r}\right)} = -kn\left(\frac{Kl}{r}\right)^{n-1} \qquad (3.56)$$

Untuk (Kl/r) = Cc diperoleh:

$$Fy - kC_c^n = \frac{\pi^2 E}{C_c^2} \qquad (3.57a)$$

$$kC_c^n + \frac{\pi^2 E}{C_c^2} - Fy = 0 \qquad (3.57b)$$

Dari persamaan diperoleh:

$$-knC_c^n = -\frac{\pi^2 E}{C_c^3}$$

$$knC_c^n = \frac{\pi^2 E}{\pi_c^3} \qquad (3.58)$$

Karena persamaan adalah persamaan parabola maka harga n yang sesuai adalah 2, diperoleh:

$$2kC_c^2 - \frac{\pi^2 E}{\pi_c^3} = 0$$

$$k = \frac{2\pi^2 E}{Cc^4} \qquad (3.59)$$

Bila k pada 3.59persamaan dimasukan dalam persamaan 3.57b untuk nilai n =2 diperoleh:

$$\frac{\pi^2 E}{C_c^4}\lambda_c^2 + \frac{\pi^2 E}{C_c^2} - F_y = 0 \qquad (3.60)$$

$$F_y = \frac{2\pi^2 E}{C_c^2} \quad \text{atau}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \qquad (3.61)$$

Subsitusi persamaan 3.61 ke persamaan 3.60 diperoleh:

$$F_{cr} = F_y \frac{\pi^2 E}{C_c^2} \qquad (3.62)$$

Karena harga F_{cr} maksimum adalah 0,5 F_y , yaitu pada (Kl/r)=C_c maka

$$0{,}5F_y = (F_y - kF_y) \quad \text{diperoleh k=0,5}$$

Bila k=0,5 dimasukan ke persamaan 3.62 diperoleh:

$$F_{cr} = F_y\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right] \qquad (3.63)$$

3.6. Kuat Tekan

Kekuatan tekan suatu struktur kolom dalam menahan gaya tekan dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain sifat bahan, geometri penampang, dan kelangsingan. Faktor yang dibahas dalam penelitian ini adalah faktor geometri penampang yang diwakili dengan rasio b/t dan faktor kelangsingan yang diwakili dengan rasio L/r. Rasio b/t berpengaruh pada kekuatan struktur kolom terhadap tekuk keseluruhan

3.6.1. Tekuk keseluruhan

Menurut persamaan *Euler* dikemukakan oleh *Lambert Tall* (1974), beban kritis kolom diturunkan dari persamaan pelenturan sebuah batang lurus yang semua seratnya tetap elastis hingga batang tersebut tidak mampu lagi menahan penambahan beban, batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya dan diberi gaya aksial tekan sentris.

Persamaan beban kritis untuk kolom yang ujung-ujungnya sendi-sendi ditunjukkan dengan persamaan 3.3

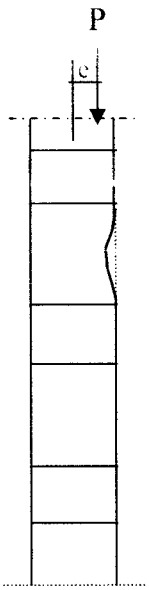
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \qquad (3.3)$$

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

3.6.2 Tekuk lokal

Apabila beban bekerja eksentris, maka distribusi tegangan yang timbul tidak akan merata. Efek beban eksentris menimbulkan momen lentur pada elemen yang berinteraksi dengan tegangan tekan langsung. Bahkan, apabila beban itu mempunyai eksentrisitas yang relatif besar, maka diseluruh bagian penampang yang bersangkutan dapat terjadi tegangan tekuk.

Akan tetapi pada beban dengan besar tertentu suatu batang yang lurus, homogen dan dibebani secara sentris akan menjadi tidak stabil. Hal ini berarti dengan beban tersebut suatu kolom akan mulai melentur, meskipun tidak ada beban lentur yang bekerja. Kerusakan kolom akibat tekuk lokal dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.9. Kerusakan akibat tekuk lokal

Menurut *Lambert Tall*, tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada salah satu elemen penyusun tampang suatu struktur. Elemen kolom tersusun memiliki rasio b/t

besar, sehingga memungkinkan terjadinya tekuk lokal. Tekuk lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menangggung penambahan beban, dengan kata lain efisiensi penampang berkurang. Keruntuhan akibat tekuk lokal ini terjadi pada batang yang langsing dimana tegangan kritis yang dimilik oleh plat jauh dibawah tegangan lelehnya.

Persamaan tegangan kritis umum tekuk plat menurut *Salmon dan Johnson* (1994) adalah :

$$F_{cr} = k_1 \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \qquad (3.64)$$

Dari persamaan 3.64 tampak bahwa nilai F_{cr} dipengaruhi oleh tekuk (k_1) dan rasio lebar terhadap tebal (b/t). Semakin besar rasio b/t maka semakin kecil kekuatan plat. Semakin kecil nilai k_1 maka semakin kecil kekuatan pelat, sehingga menyebabkan tekuk local baik pada sayap maupun badan. Kerusakan akibat tekuk dapat dicegah dengan cara memperkecil rasio b/t dan meningkatkan nilai k_1.

3.6.3 Hubungan tekuk lokal dan tekuk keseluruhan

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

$$F_{cr} \text{ plat} = F_{cr} \text{ keseluruhan} \qquad (3.64)$$

Seperti pada persamaan 3.3, maka

$$F_{cr}keseluruhan = \frac{\pi^2 E}{(Kl/r)^2} \qquad (3.65)$$

sehingga :

$$(Kl/r) = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_{cr}plat}} \qquad (3.66)$$

dengan memasukkan persamaan (3.66) kedalam persamaan 3.64, maka

$$(KL/r) = (b/t)\sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k_1}}$$

Dengan μ baja =0,3, sehingga :

$$(KL/r) = \frac{3{,}3045(b/t)}{\sqrt{k_1}}$$

Dari persamaan (3.34) sampai persamaan (3.36) dapat diambil kesimpulan bahwa pada prifil baja yang sama apabila semakin panjang batang tersebut maka KL/r akan semakin besar, sehingga F_{cr} keseluruhan akan semakin kecil bahkan bisa lebih kecil dari F_{cr} plat, sehingga keruntuhan kolom diakibatkan oleh tekuk keseluruhan kolom. Sebaliknya, pada profil baja yang sama apabila semakin pendek batang tersebut, maka KL/r akan semakin kecil sehingga F_{cr} keseluruhan akan semakin besar bahkan bisa lebih besar dari F_{cr} plat, sehingga keruntuhan kolom disebabkan oleh tekuk lokal kolom.

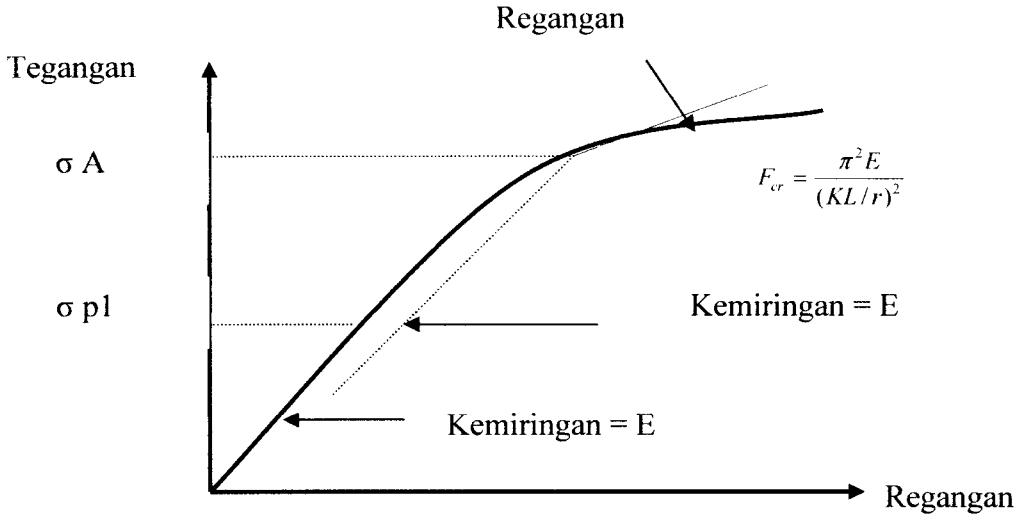
3.7. Modulus tangen dan modulus tereduksi

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

Menurut Engesser (1889) yang dikemukakan oleh *Gere* dan *Timoshenko*,

kolom tetap lurus sampai sesaat sebelum runtuh dan modulus elastistas pada saat runtuh adalah tangen sudut garis singgung pada kurva tegangan regangan.

Hubungan tersebut tampak pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Teori modulus tangen *Engesser*

Namun teori tersebut diatas tidak selaras dengan hasil percobaan, dan beban hasil hitungan lebih kecil dari kapasitas batang hasil percobaan. Hal utama yang membuat teori modulus tangen dipandang salah adalah tidak terjadi pembalikan regangan pada saat batang berubah bentuk dari posisi lurus ke posisi lengkung. Pada tahun 1895, *Engesser* merubah teorinya dengan alasan bahwa selama melentur, sejumlah serat mengalami kenaikan reganga (yang memperkecil modulus tangen) dan beberapa serat tidak dibebani (modulus yang lebih tinggi pada regangan yang mengecil), oleh karena itu harga modulus yang berlainan harus digunakan.

Gere dan *Timoshenko*, teori modulus tereduksilebih disukai karena

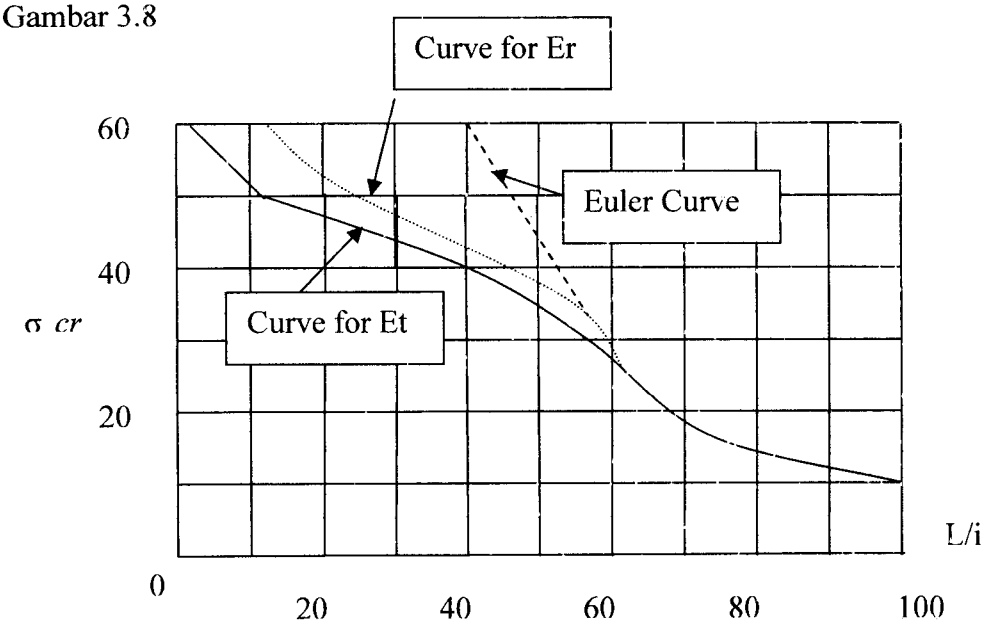
sederhana dan mudah digunakan. Namun secara konseptual teori tersebut mempunyai kekurangan karena tidak memperhitungkan perilaku kolom secara lengkap. Adapun persamaan modulus tereduksi dapat dilihat pada persamaan 3.67 , dan 3.68

$$Er = \frac{4E.E_t}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_t})^2} \qquad (3.67)$$

Balok sayap lebar ,luas badan diabaikan, modulus tereduksi menjadi (*Gere dan Timoshenko)*

$$Er = \frac{2E.E_t}{E + E_t} \qquad (3.68)$$

Perbandingan nilai E_t dan E_r pada perhitungan tegangan kritis dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.11. Grafik tegangan berdasar persamaan *Euler*

Dari gambar 3.8 tampak bahwa tegangan kritis kolom yang menggunakan modulus tangen (E_t) berada dibawah tegangan kritis yang

menggunakan modulus tereduksi (E_r).

Dikarenakan sifat baja menyerupai sifat almunium, maka modulus tangen dan modulus reduksi baja dapat juga dicari dari perbandingan kelangsingan baja terhadap almunium. Seperti pada Tabel 3.3 tekuk plastis almunium adalah penelitian yang dilakukan oleh *WF Chen dan T Atsuta* (1976):

Tabel 3.3 Tabel tekuk plastis almunium

Stress σ (ksi)	Tangen modulus		Modulus reduksi	
	Et (ksi)	l/r	Er (ksi)	l/r
10	10600	105	10600	105
20	10600	72.5	10600	72.5
30	10600	59	10600	59
40	10600	51	10600	51
45	3000	26	5100	33.5
50	1000	14	2300	21.3
55	500	9.5	1300	15.3
60	400	8.1	1100	13.5

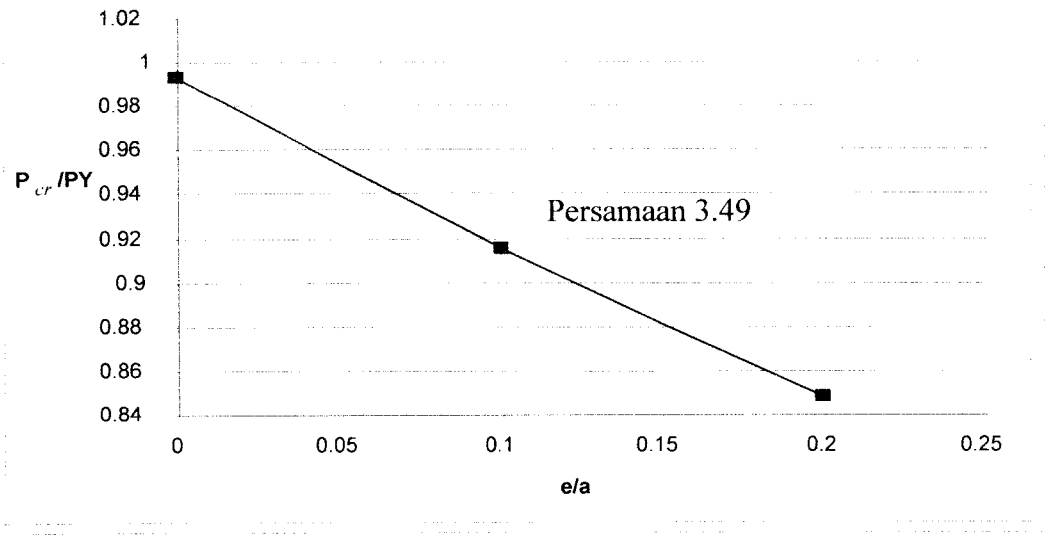
3.8 Hubungan tanpa dimensi antara $\frac{P_{cr}}{P_y}$ dengan $\frac{e}{a}$

Hasil perhitungan beban (P_{cr}) kolom untuk variasi eksentrisitas dibandingkan dengan nilai beban pada saat leleh (P_Y), maka akan didapat rasio $\frac{P_{cr}}{P_y}$ dengan rasio $\frac{e}{a}$. Rasio $\frac{e}{a}$ didapat dari besarnya eksentrisitas (e) beban dibagi lebar penampang a, a yang diambil adalah penampang h_o (bentang terpendek kolom).

Dalam penelitian ini nilai tegangan kritis (F_{cr}) yang digunakan sebagai

batasan yaitu :Tegangan kritis kolom (F_{cr}) akibat tegangan leleh bahan (F_y = 240 Mpa).

Grafik hubungan antara $\frac{P_{cr}}{P_y}$ dengan $\frac{e}{a}$ dapat dilihat pada Gambar 3.9sebagai berikut:



Gambar 3.11 Grafik hubungan antara $\frac{P_{cr}}{P_y}$ dengan $\frac{e}{a}$

Dari gambar 3.10 dapat diketahui bahwa semakin besar eksentrisitas beban maka besarnya beban kritis yang dapat diterima kolom semakin kecil.

3.9 Hipotesis.

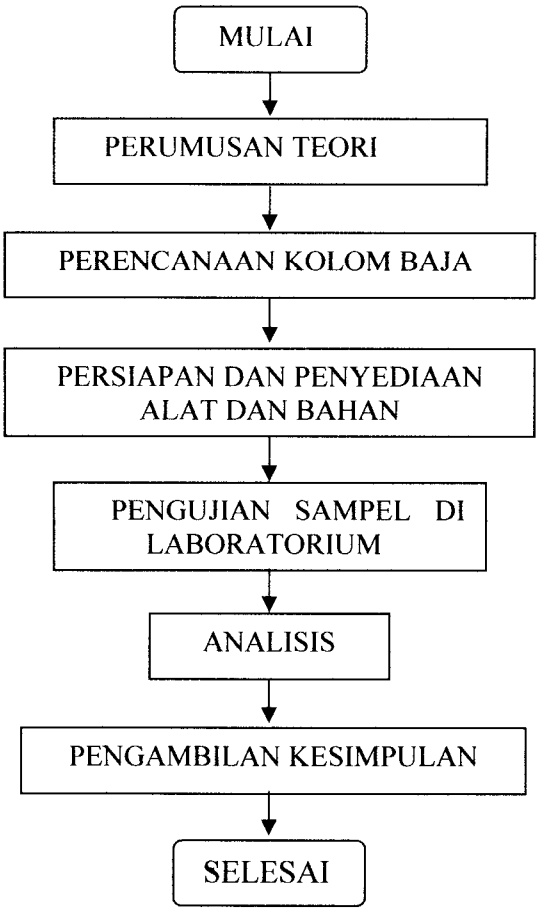
Pada kolom tersusun dengan perangkai melintang dan diagonal dengan memberikan variasi h_0/h_m pada akan mempengaruhi nilai μ , semakin besar nilai h_0/h_m mengakibatkan nilai P_{cr} (beban kritis) semakin besar dan akan mengakibatkan tegangan kritis yang besar. Tegangan kritis lebih besar dari tegangan keseluruhan akan terjadi tekuk keseluruhan *(over all buckling)*. Pembebanan kolom secara

eksentris (e) dapat mempengaruhi kapasitas suatu kolom. Semakin besar nilai eksentrisitas maka besarnya beban kritis (P_{cr}) yang dapat diterima suatu kolom semakin kecil. Perangkai yang digunakan dapat berfungsi sebagi penguat,sehinga memperkecil tekuk lokal yang terjadi.

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Metode Penelitian

Metode penelitian adalah urutan pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Prosedur penelitian seperti pada flowchart gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1 Flowchart metodologi penelitian

4.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

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

4.2.1 Bahan

a. Baja profil

Baja profil yang digunakan adalah baja profil siku 25 x 25 x 3 mm sebagai kolom tersusun dengan variasi kelangsingan .

b. Batang Perangkai

Batang perangkai diagonal menggunakan baja bulat polos diameter 7 mm.

c. Las

Sambungan las menggunakan kekuatan tarik maksimal.

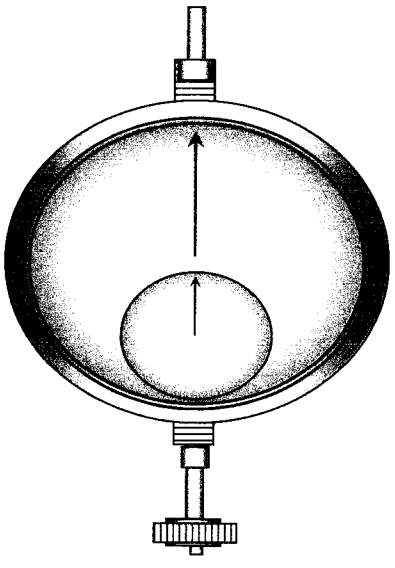
4.2.2. Peralatan penelitian

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

a. Dial Gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm.

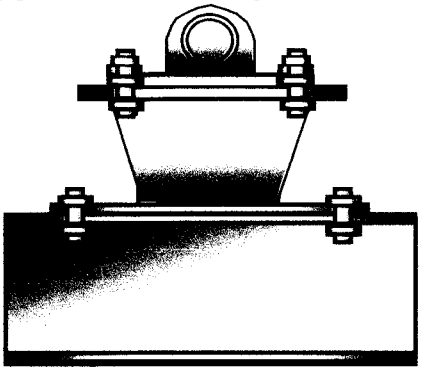
Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah (Gambar 4.2)



Gambar 4.2 *Dial Gauge*

b. *Dukungan Sendi*

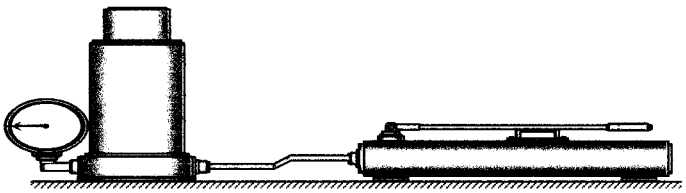
Dukungan sendi dipasang pada kedua dukungan kolom, seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. *Dukungan Sendi*

c. *Hydraulic Jack*

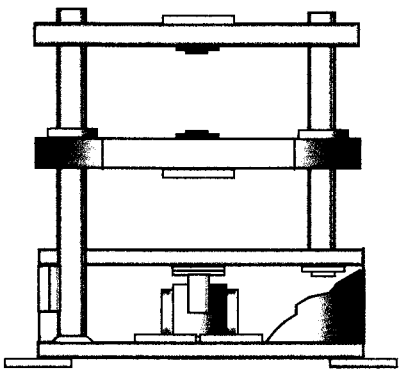
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian kolom skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton. (lihat Gambar 4.4.)



Gambar 4.4. *Hidraulic Jack*

d. *Mesin Uji Kuat Tarik*

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu universal Testing Material (UTM) merk Shimitzu type UMH-330 dengan kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. *Universal Testing Material Shimitzu UMH30*

e. *Jangka Sorong*

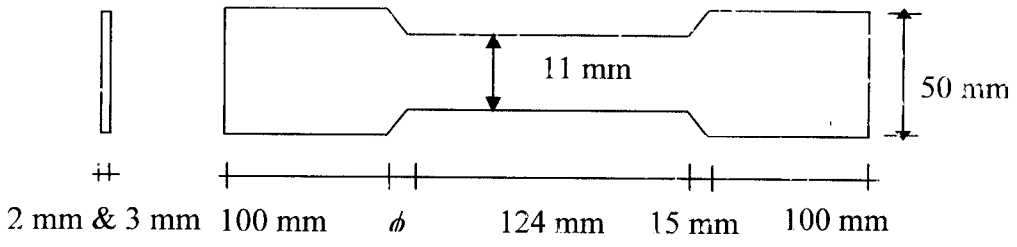
Digunakan untuk mengukur ketebalan profil dan plat (benda uji).

4.3. Model Benda Uji

Benda uji berupa kolom tersusun profil siku dengan panjang kolom (L) yang berbeda

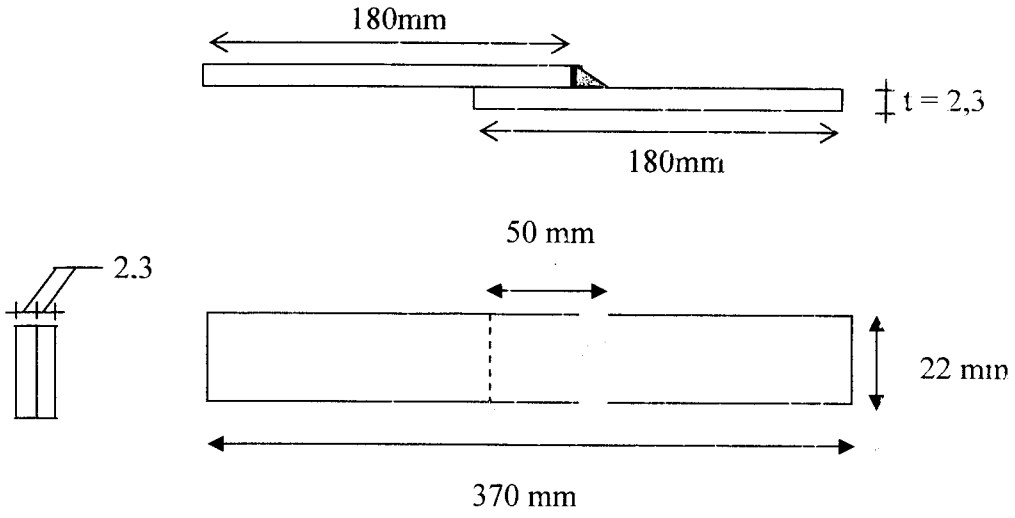
4.3.1 Benda Uji Las dan Tarik

Benda uji yang digunakan sebanyak dua buah, adapun bentuk dari benda uji seperti gambar berikut :



Gambar 4.6. Benda Uji Untuk Uji Kuat Tarik

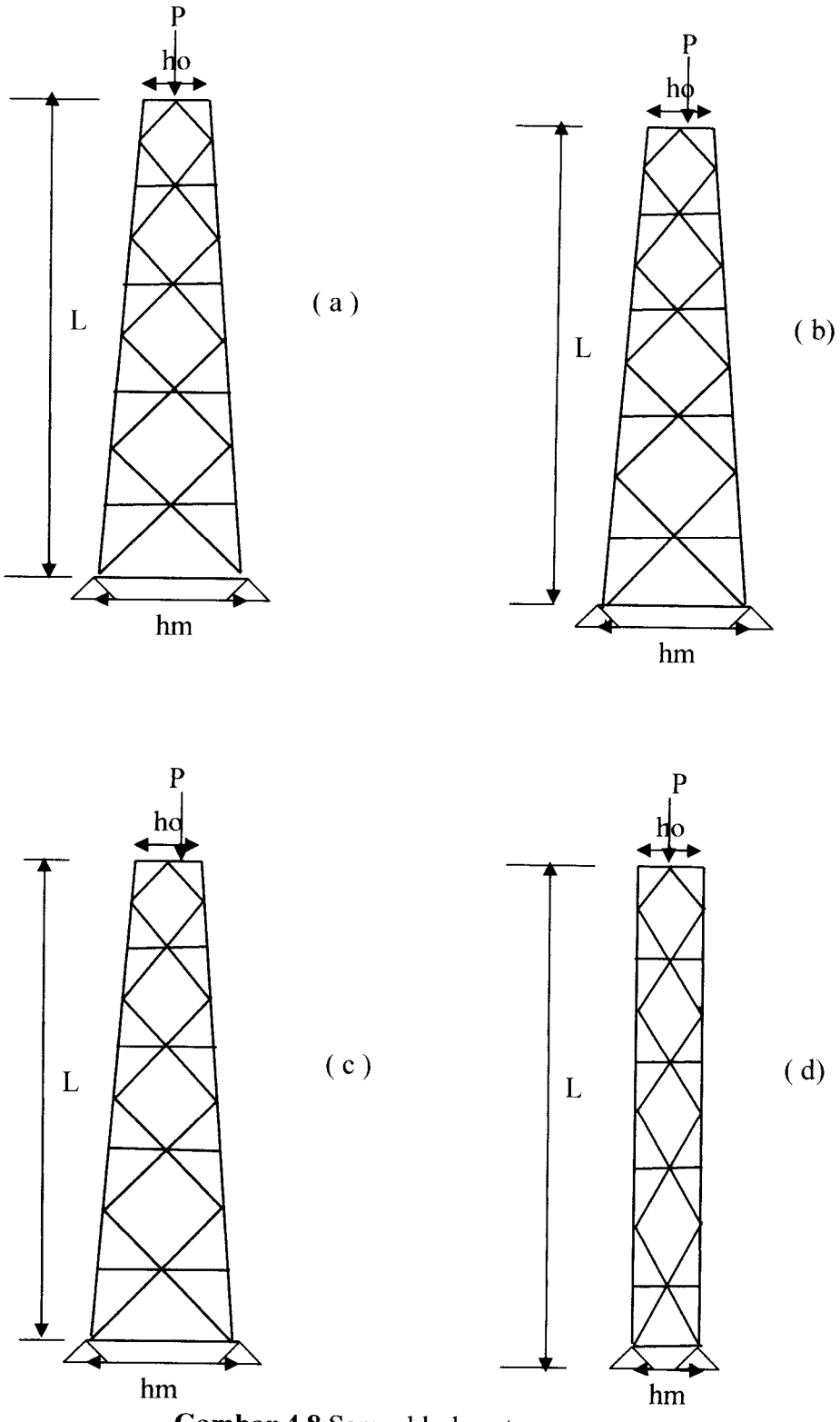
Pengujian dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh baja *(F_y)*, tegangan ultimit baja *(F_u), dan Modulus Elastis baja (E).*



Gambar 4.7 Benda Uji Untuk kuat Tarik Las

4.3.2 Sample Benda Uji

Sampel pada pengujian ini dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.9berikut :

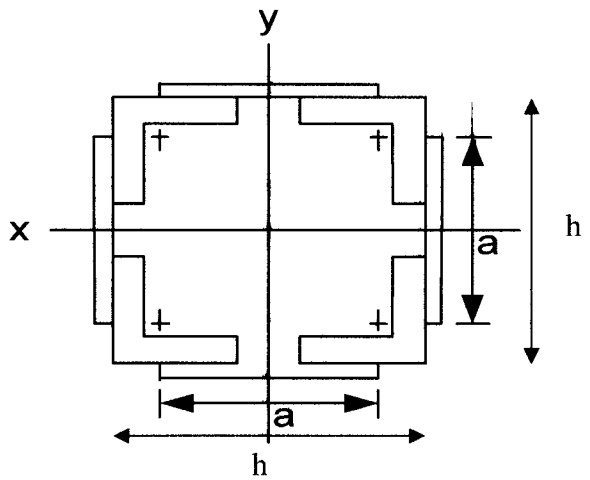


Gambar 4.8 Sampel kolom tersusun

Nilai K=1 dengan anggapan kedua ujung ditumpu sederhana (sendi), kolom tidak bergoyang.

Uji	KL/r	L (mm)	ho (mm)	hm (mm)	a (mm)	e (mm)	e/a
a	14,67	1800	200	320	185,4	0	0
b	14,67	1800	200	320	185,5	20	0,107
c	14,67	1800	200	320	185,6	40	0,215
d	19,35	1800	200	200	185,7	0	0

Tabel 4.1 Ukuran benda uji kolom tersusun



Gambar 4.9 Profil siku

4.4. Prosedur Penelitian

Tahap – tahap prosedur penelitian adalah sebagai berikut :

1. Tahap perumusan masalah

   Tahan ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan, dan pembatasan masalah.

2. Tahap perumusan teori

   Tahap ini merupakan tahap pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan–ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian.

3. Tahap pelaksanaan penelitian

a. Pengumpulan bahan
b. Pembuatan benda uji
c. Persiapan peralatan
d. Pengujian benda uji di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII
e. Pengujian dilaksanakan dengan cara memberikan beban dengan eksentrisitas berbeda terhadap benda uji sampai terjadi kerusakan / keruntuhan pada benda uji.

4. Tahap Analisis dan Pembahasan

   Analisis dilakukan dengan mencatat hasil uji berupa lendutan yang terjadi dan melakukan pengolahan data.

5. Tahap penarikan kesimpulan

   Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan untuk memberikan jawaban terhadap permasalahan.

4.5. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut :

4.5.1. Pembuatan Benda Uji

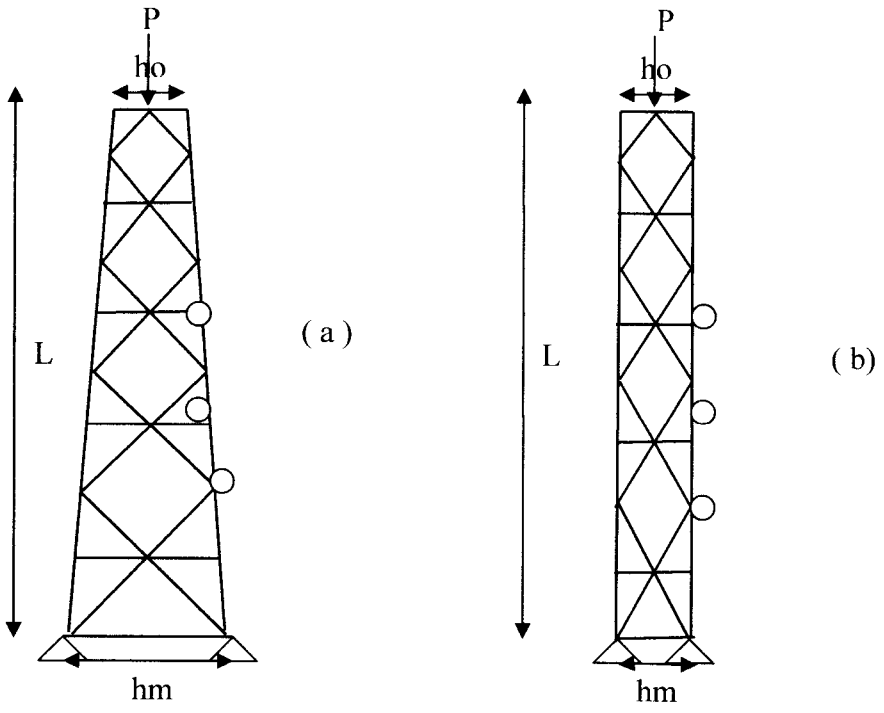
Kolom tersusun dari empat batang profil siku yang dirangkai dengan baja tulangan P7, dengan rasio e/a bervariasi. Pada penelitian ini digunakan 4 model benda uji dimana nilai kelangsingan dan pembebanan eksentris yang berbeda, sedangkan panjang kolom (L) masing-masing benda uji adalah konstan :

i. Benda uji I : KL/r = 14,67, e/a=0
ii. Benda uji II : KL/r=14,67, e/a = 0,107
iii. Benda uji III : KL/r=14,67, e/a= 0,215
iv. Benda uji IV : KL/r=14,67, e/a= 0

4.5.2. Setting Peralatan

Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan setting terhadap peralatan yang akan dipergunakan sebagai berikut: Benda uji diletakkan diantara dukungan sendi dengan posisi berdiri. Selanjutnya pada salat satu dukungan sendi dipasang *Hydrolik Jack. Dial Gauge* diletakkan pada 3 tempat, tiap 1/3 bentang

kolom, hal ini dilakukan untuk menjaga tekuk yang terjadi, dimana arah tekuk kolom yang terjadi pada penampang ada kemungkinan yaitu searah sumbu x atau searah sumbu y.



Gambar 4.10 Benda uji tampak samping

4.5.3. Proses Pengujian Kapasitas Kolom Tersusun Akibat Pembebanan Eksentris

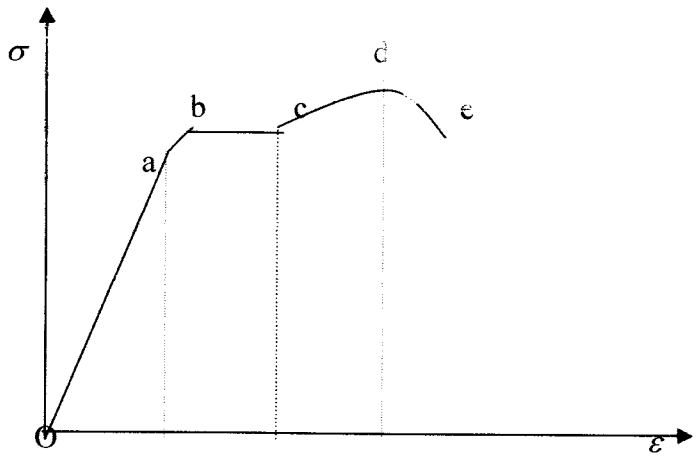
Pengujian kolom ini dilakukan dengan pembebanan eksentris 20 mm dan 40 mm ada kolom dengan kelangsingan 14,67 dengan ho= 200 mm dan hm= 320 mm secara bertahap untuk mengetahui kekuatan tekan pada kolom tersusun. Agar sampel dapat terbebani secara eksentris, sebelum sampel diuji terlebih dahulu plat pada sampel tersebut ditandai untuk mendapatkan titik tengah dan juga titik eksentris dari

sampel tersebut, dan dial diletakkan pada tempat-tempat yang telah direncanakan. Setelah *hidroulic jack* dan dial terpasang dan pembebanan benda uji tersebut sudah dianggap tepat maka pengujian tekan dapat dilakukan. Pengujian sampel pada penelitian ini dilakukan dengan cara uji berdiri, seperti tampak pada gambar 4.10

Proses pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahap yaitu, pengujian dengan menggunakan *Dial Gauge* yang dilakukan untuk mendapatkan lendutan yang terjadi. Proses pelaksanaan pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan lendutan yang terjadi. Proses pelaksanaan pengujian ini dengan cara memompa *Hydraulick Jack* untuk pembebanan secara bertahap dengan kelipatan 4 kN. Pembacaan lendutan pada *Dial Gauge* dilakukan setiap kenaikan pembebanan 4 kN. Proses ini dilakukan berulang kali sampai hydraulick jack tidak bisa dipompa sebagai tanda sudah mencapai beban maksimum dan benda uji sudah mengalami kerusakan akibat tekuk

4.5.4. Pengujian Kuat Tarik Profil dan Plat

Pengujian kuat tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian tarik adalah beban luluh awal, beban maksimum.



Gambar 4.11 Diagram Tegangan – Regangan baja struktural

Hubungan antara tegangan dan regangan pada 0-a linier, sedang diatas titik a diagram tidak linier lagi, sehingga titik a disebut sebagai batas sebanding

(tegangan batas sebanding Fp), sedikit diatas titik a merupakan batas elastis bahan, pada titik b baja mulai leleh, titik b disebut tegangan leleh. Pada umumnya tegangan di titik a dan dititik b relatif cukup dekat, sehingga seringkali kedua tegangan itu dianggap sama yaitu sebesar σ_b. Pada saat leleh baja masih mampu menghasilkan gaya perlawananan sampai terjadi pengerasan regangan yaitu pada titik c, kurva akan naik lagi sampai dicapai kuat tarik (*tensile strength*) di titik e.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian penduhuluan dan 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 sebagai komponen kolom tersusun non prismatis. Pengujian ini berguna untuk mengetahui kekuatan bahan yang dipakai, dan hasil pengujian akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom non prismatis untuk menerima beban aksial tekan sentris dan eksentris.

5.1.1 Hasil Uji Pendahuluan

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

5.1.2 Uji Tarik Baja Profil Siku

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

Pelaksanaan pengujian kuat tarik profil siku dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam

Uji tarik yang dilakukan dengan menggunakan UMH digunakan untuk mengetahui kuat maksimum dari beban yang diberikan pada benda uji dan pengujian kuat tarik dan tegangan maksimum baja pada benda uji gambar (5.3) menunjukan mutu baja yang digunakan untuk struktur.

Dari hasil pengujian kuat tarik Tabel (5.1) didapat analisis untuk mencari tegangan leleh (F_y) dan tegangam ultimit (F_u) yang ditunjukkan pada Tabel 5.5 sebagai berikut

A=b*t

=11*2,1

=23,1 mm^2

$$\text{Beban leleh} = \frac{Pluluh}{A} = \frac{9150N}{(23,1)mm^2} = 396,1038N/mm^2$$

Tabel 5.5 Analisis hasil uji kuat tarik baja siku

Benda Uji	Beban Leleh (Fy) (Kn)	Beban Ultimit (Pu) (Kn)	Luas Penampang (mm^2)	Tegangan Leleh Fy (Mpa)
1	9150	11400	23.1	396.1038961
2	8829	12312	34.5	255.9130435
3	13194	19571	36.8	358.5326087
			Tegangan Leleh rata-rata=	336.8498494

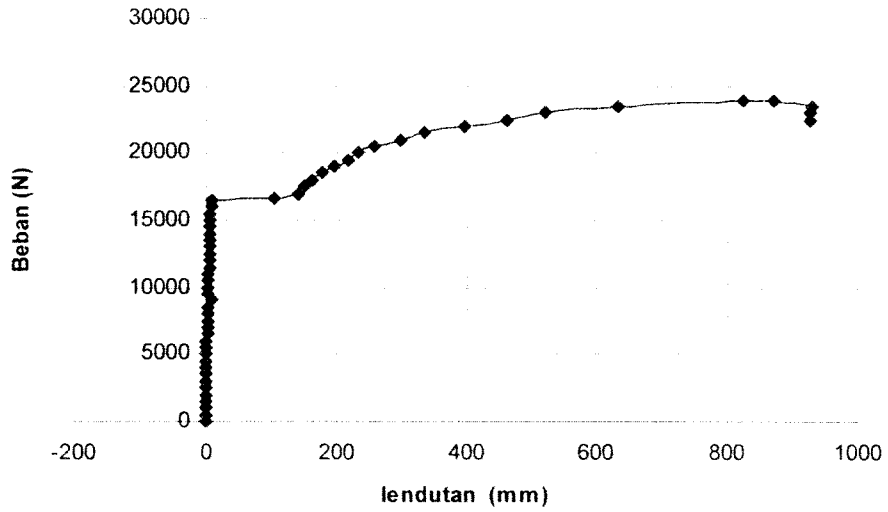
Berdasarkan tegangan leleh ,ASTM membagi baja dalam 4 kelompok ,dengan kisaran tegangan leleh sebagai berikut:

a. Carbon steels , tegangan leleh 210-280 Mpa

Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian kuat tarik didapat hasil pada tabel 5.2 sebagai berikut :

Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik profil tulangan diameter 7 mm

Benda Uji	Beban Leleh (Py) (kN)	Beban Ultimit (Pu) (kN)	Luas Penampang (mm^2)
1	1645	2390	38.464



Gambar 5.2 Grafik beban-lendutan uji tarik tulangan diameter 7 mm

5.1.4 Hasil Uji Kuat Geser Sambungan Las

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

Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tarik las bahan

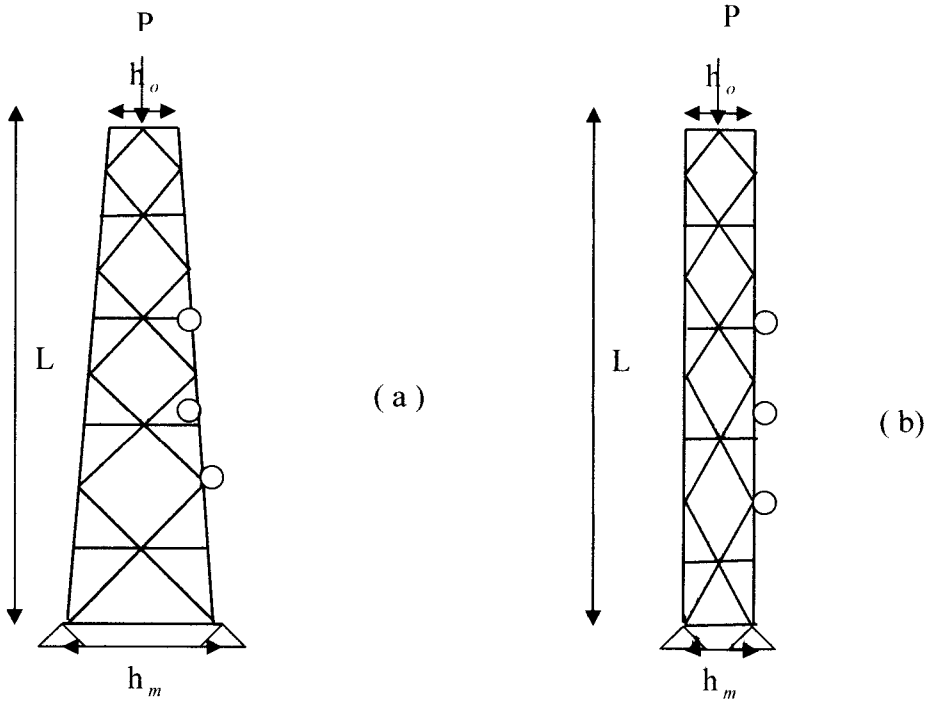
Benda uji	P maks (kN)
sampel 1	15,7

5.1.5 Pengujian Kuat Tekan Kolom Tersusun

Pengujian kuat tekan kolom tersusun dilakukan menggunakan alat dukungan Loading Frame dan alat pembebanan Hidraulic jack di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Struktur dibebani beban aksial sentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 3,924 kN (400 kg), kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya pembebanan dan lendutan dicatat.

5.1.6 Hubungan Beban Lendutan (P - Δ) Hasil Penelitian

Pengujian kuat tekan kolom tersusun diberikan beban aksial eksentris secara bertahap dengan kenaikan sebesar 400 kg, kemudian pada setiap tahap pembebanan besarnya pembebanan dan lendutan dicatat. Pencatatan besarnya lendutan yang terjadi dilakukan pada pembacaan masing-masing *dial gauge* yang dipasang pada masing-masing benda uji. *Dial gauge* dipasang pada tengah panjang bentang benda uji dan kanan kiri dari tengah bentang benda uji dengan jarak $\frac{L}{6}$ mm. . Pemasangan dial dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan tabel hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.4

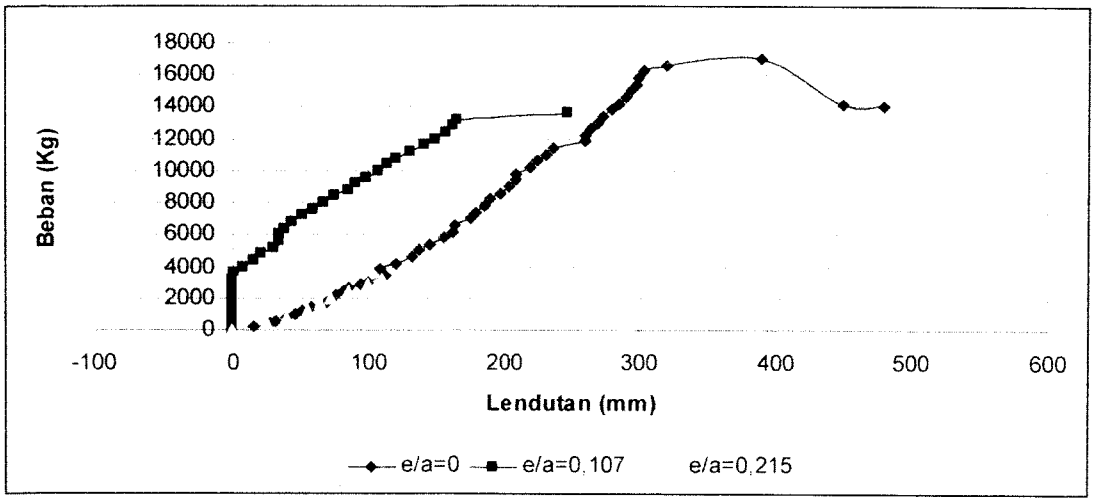


Gambar 5.3. Benda uji kolom tersusun dan penempatan *dial gauge*

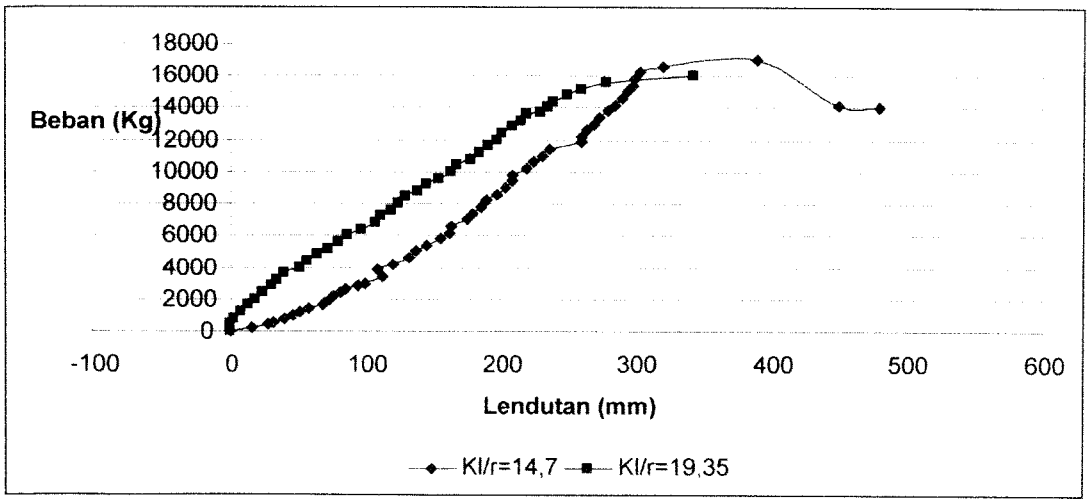
Tabel 5.4 Hasil pengujian kuat tekan kolom

Beban (Kg)	LENDUTAN ARAH LATERAL											
	sampel 1 sentris non prismatis			sampel 2 e/h=0.1			sampel 3 e/h=0.2			sampel 4 sentris prismatis		
	dial 1	dial 2	dial 3	dial 1	dial 2	dial 3	dial 1	dial 2	dial 3	dial 1	dial 2	dial 3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	37	17	28	-4	0	0	42	11	25	-5	0	0
800	43	78	40	-1	0	0	71	21	40	-6	2	3
1200	62	79	52	0	0	0	100	96	55	-6	3	8
1600	77	85	68	2	0	0	110	96	64	1	4	13
2000	84	88	74	18	0	0	122	97	73	2	6	19
2400	92	91	81	31	1	0	145	105	86	5	7	24
2800	102	97	95	41	4	0	170	112	100	10	10	31
3200	224	192	164	50	7	0	188	116	110	12	11	34
3600	245	199	175	58	8	2	218	192	125	19	15	40
4000	250	200	179	72	14	9	240	195	136	37	21	51
4400	263	202	186	92	21	16	254	201	144	45	23	57
4800	275	208	190	102	27	21	271	205	154	52	31	64
5200	288	214	198	115	91	30	286	212	157	63	95	72
5600	298	218	204	123	93	34	309	221	167	74	95	80
6000	315	284	210	136	94	35	356	302	195	81	98	87
6400	319	283	210	150	99	39	362	302	197	100	105	97
6800	343	285	220	163	103	44	375	303	202	113	107	107
7200	352	286	225	176	107	51	393	307	210	122	111	112
7600	366	288	232	195	112	59	413	314	219	134	115	120
8000	377	292	238	211	117	67	427	322	225	141	116	124
8400	410	305	260	227	126	75	444	392	234	150	123	130
8800	427	307	261	243	192	85	470	393	246	165	131	139
9200	434	317	265	259	192	91	484	400	256	175	195	146
9600	442	318	270	284	199	99	505	405	263	187	195	155
10000	445	325	273	305	205	107	521	410	270	195	209	164
10400	465	379	280	324	209	114	540	415	279	205	209	168
10800	475	379	281	344	216	121	590	430	287	219	210	178
11200	476	380	282	365	222	131	579	497	296	229	215	185
11600	477	381	283	388	240	141	600	497	303	239	216	191
12000	478	382	284	410	292	149	610	499	309	248	216	198
12400	479	383	285	431	297	157	619	503	315	252	216	202
12800	480	384	286	450	300	162	629	505	320	260	223	209
13200	481	385	287	464	302	165	630	508	325	269	231	216
13600	482	386	288	480	305	247	634	509	327	273	232	220
13700	483	387	289				640	510	408	288	295	230
14000	484	388	290							289	295	235
14400	485	389	291							299	296	240
14800	489	389	291							312	302	250
15200	493	390	295							321	306	261
15600	500	390	298							328	312	279
16000	505	390	300							370	318	343
16400	517	390	304									
16800	552	390	320									
17000	562	404	390									
14200	600	590	450									
14000	650	600	480									

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



Gambar 5.4a Grafik hubungan beban dengan lendutan maksimum dengan perbandingan e/a



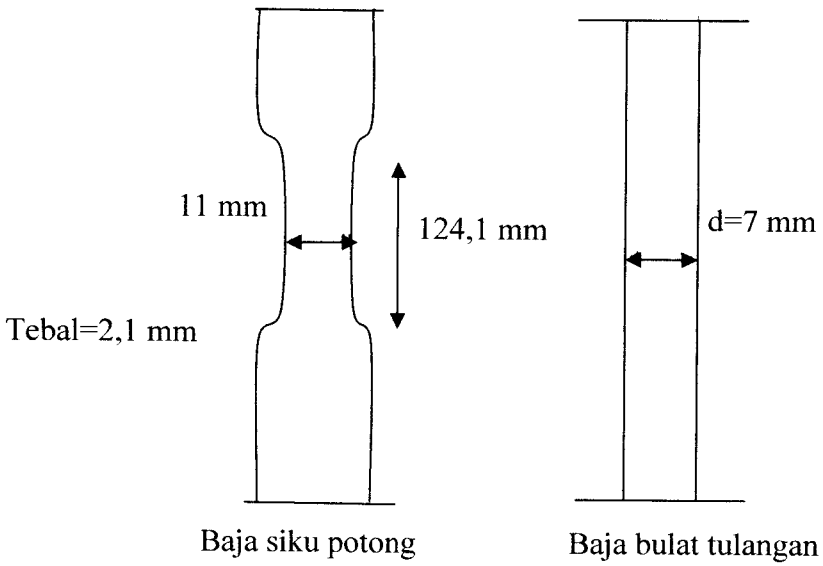
Gambar 5.4b Grafik hubungan beban dengan lendutan maksimum dengan perbandingan Kl/r

Pada sampel 1,2 dan 3 semua lendutan maksimum berada di dial 1, karena dalam pengujiannya lendutan terbesar berada didial 3 maka dial 3 dapat disebut sebagai lendutan maksimum.

5.2 Pembahasan

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di laboratorium pada 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 (Fu) 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, sedangkan pada uji tekan digunakan untuk mencari beban kritis (P_{cr}) maksimum yang terjadi akibat dari gaya tekan aksial.

5.2.1 Uji Kuat Tarik Baja



Gambar 5.5 Benda uji kuat tarik bahan

Uji tarik yang dilakukan dengan menggunakan UMH digunakan untuk mengetahui kuat maksimum dari beban yang diberikan pada benda uji dan pengujian kuat tarik dan tegangan maksimum baja pada benda uji gambar (5.3) menunjukan mutu baja yang digunakan untuk struktur.

Dari hasil pengujian kuat tarik Tabel (5.1) didapat analisis untuk mencari tegangan leleh (F_y) dan tegangam ultimit (F_u) yang ditunjukkan pada Tabel 5.5 sebagai berikut

A=b*t

=11*2,1

=23,1 mm^2

$$\text{Beban leleh} = \frac{Pluluh}{A} = \frac{9150N}{(23{,}1)mm^2} = 396{,}1038N/mm^2$$

Tabel 5.5 Analisis hasil uji kuat tarik baja siku

Benda Uji	Beban Leleh (Fy) (Kn)	Beban Ultimit (Pu) (Kn)	Luas Penampang (mm^2)	Tegangan Leleh Fy (Mpa)	Tegangan Ultimit Fu (Mpa)
1	9150	11400	23.1	396.1038961	493.5064935
2	8829	12312	34.5	255.9130435	356.8695652
3	13194	19571	36.8	358.5326087	531.8206522
				336.8498494	460.732237

Berdasarkan tegangan leleh ,ASTM membagi baja dalam 4 kelompok ,dengan kisaran tegangan leleh sebagai berikut:

a. Carbon steels , tegangan leleh 210-280 Mpa

b. High-strength low alloy, tegangan leleh 280-490 Mpa

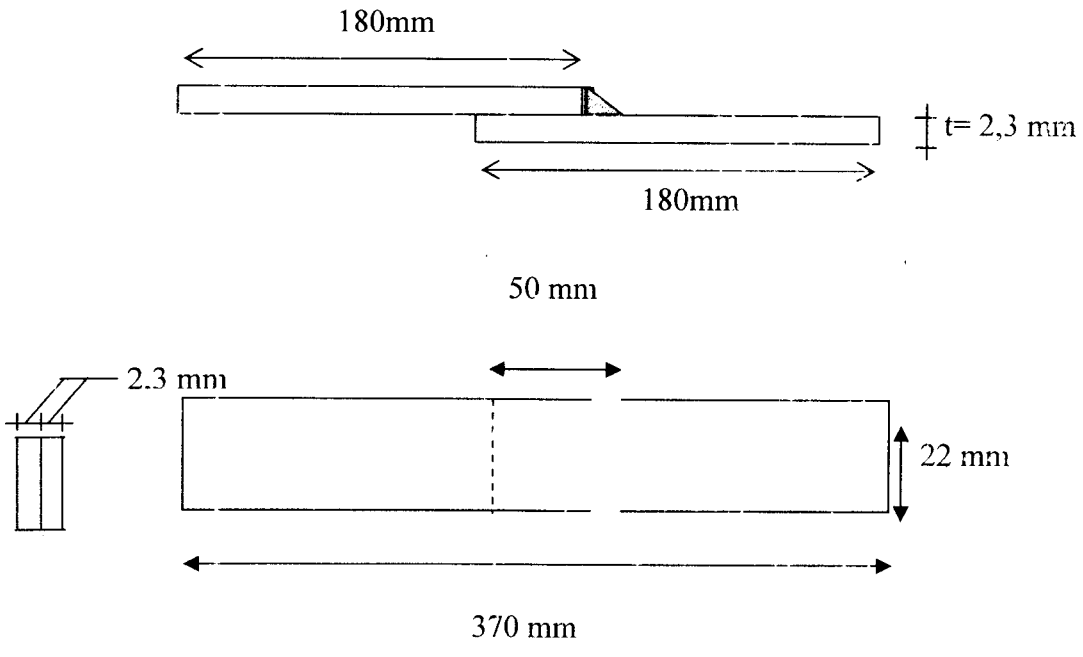
c. Heat treated carbon and hight strength low alloy steels, tegangan leleh 322-700 Mpa

d. Heat treated constructional alloy steels, tegangan leleh 630-700 Mpa

Dari pengujian 3 buah profil,didapat nilai tegangan leleh baja adalah 336,84 dan termasuk dalam baja Heat treated carbon and hight strength low alloy steels.

Pada bahan profil tulangan polos tgangan leleh (F_y)yang terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan profil siku dapat dilihat pada grafik miiimeter (terlampir).

5.2.2 Uji Kuat Geser Sambungan Las



Gambar 5.6 Benda uji kuat tarik las

Uji las geser dilakukan guna mengetahui kuat geser las yang digunakan pada sambungan benda uji, hasil uji geser las ditunjukan dalah Tabel 5.6

Tabel 5.6 Hasil pengujian kuat geser las

Benda Uji	Penampang			Beban Ultimit (Pu) (kN)	Tegangan Ultimate (Fu) (MPa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm^2)		
I	22	1.65	36.3	15.7	432.5

Dari tabel diatas didapat bahwa tegangan ultimit pada sambungan las dapat dikatagorikan pada Elektroda las E60XX (Lampiran 4) dan tegangan ultimit las lebih rendah dari tegangan ultimit profil,sehingga las mengalami putus sebelum profil putus.

5.2.3 Uji Kuat Tekan Kolom Tersusun

Uji kuat tekan dilakukan menggunakan Loading frame yang digunakan untuk mengetahui beban kritis maksimum yang dapat ditahan/dipikul oleh benda uji dan data yang diperoleh dari pengujian ini berguna untuk mengetahui perilaku profil gabungan tiga profil siku dengan jarak ho/hm sama dan satu kolom prismatis pembanding . Dari hasil pengujian ini bisa didapatkan nilai beban kritis maksimum. Dan dari pengujian ini juga diharapkan mampu memberikan penjelasan mengenai pengaruh pengelasan pada proses penyambungan perangkai ,serta pengaruh beban eksentris kolom tersusun non prismatis.

5.3 Perhitungan Teoritis dengan Hasil Pengujian

Beban kritis (P_{cr}) secara teori dapat ditentukan berdasarkan kekuatan kolom menahan tekuk keseluruhan dengan menggunakan persamaan tekuk. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui beban kritis (P_{cr}) pada *Friedich Bleich*, 1952 adalah pada persamaan:

$$P_{cr} = \mu \frac{\pi^2 E\, I}{l^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E\, I}{l^2} \frac{d^3}{2EL_1 a^2 Ad}} \frac{1}{\left(1 \div \frac{e.y}{r^2}\right)} \qquad (3.49)$$

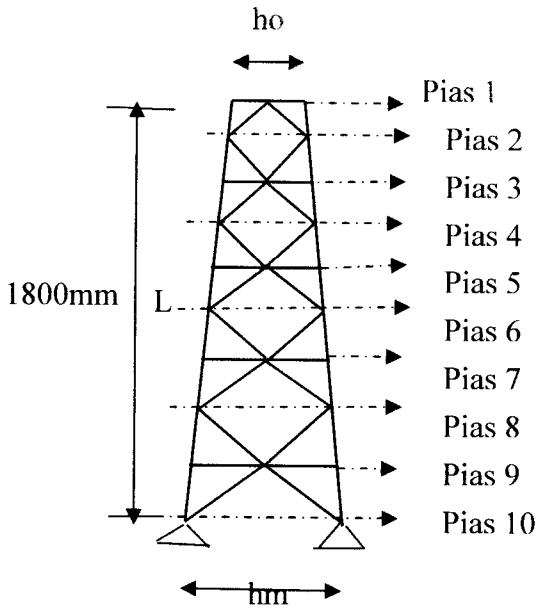
Kolom sampel 1, 2 dan 3 ($h_0 / h_m = 0{,}6231$), μ=0,6394, menggunakan 4 profil siku 25x25x3mm, karena kolom adalah kolom non prismatis maka Inersia gabungan dicari per pias dan dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan penjelasan panjang horisontal pias berbeda pada bab 4, pias disini dihitung per panjang pertemuan perangkai untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.7

Tabel 5.7 Hasil perhitungan inersia gabungan dan jari-jari girasi rata-rata kolom bangun non prismatis

Pias	h (mm)	Ix=Iy (mm4)	cx (mm)	a (mm)	A tunggal (mm2)	I gabungan (mm4)	A gabungan (mm2)	rx=ry (mm)
1	200	7900	7.3	185.4	142	4912588.72	568	92.99959
2	213	7900	7.3	198.4	142	5621083.52	568	99.480017
3	226	7900	7.3	211.4	142	6377574.32	568	105.96284
4	240	7900	7.3	225.4	142	7245932.72	568	112.94655
5	253	7900	7.3	238.4	142	8102107.52	568	119.43314

Lanjutan Tabel 5.7

6	262	7900	7.3	247.4	142	8722959.92	568	123.92467
7	280	7900	7.3	265.4	142	10033676.72	568	132.90946
8	294	7900	7.3	279.4	142	11116739.12	568	139.89898
9	307	7900	7.3	292.4	142	12172281.92	568	146.39014
10	320	7900	7.3	305.4	142	13275820.72	568	152.88206
				I gabungan rata-rata=		8758076.52	r rata-rata=	122.68274



Gambar 5.7 Gambar kolom tersusun bangun non prismatis dengan penjelasan pias

Pengujian sampel 1, 2 dan 3 dilakukan dengan penambahan beban dengan nilai eksentrisitas berbeda yaitu nilai e/a berurutan yaitu : 0; 0,107; 0,215 , dengan nilai modulus elastis adalah 2.10^5 Mpa dan tegangan luluh (F_y)=336,84 Mpa maka

perhitungan beban kritis kolom tersusun bangun non prismatis dapat dilihat pada Tabel 5.8

Tabel 5.8 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.18 teoritis dengan per bandingan e/a

No	ho (mm)	hm (mm)	ho/hm	μ	E (Mpa)	L (mm)	e (mm)	a (mm)	e/a	Ix-Iy gabungan (mm^4)	r rata-rata (mm)	P_{cr} (kN)
1	200	320	0.625	0.639	200000	1800	0	185.4	0	13275820.72	122.6827442	5071.9
2	200	320	0.625	0.639	200000	1800	20	185.4	0.1079	13275820.72	122.6827442	4476.96
3	200	320	0.625	0.639	200000	1800	40	185.4	0.2157	13275820.72	122.6827442	4008.99

Pengujian sampel 1 dan 4 adalah pengujian dengan perbedaan kelangsingan kolom (Kl/r) dan nilia perhitungan dapet dilihat pada Tabel 5.9

Tabel 5.9 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.18 teoritis dengan perbandingan Kl/r

No	ho (mm)	hm (mm)	ho/hm	μ	Kl/r	E (Mpa)	L (mm)	Ix-Iy (mm^4)	r (mm)	Pcr (kN)
1	200	320	0.625	0.639	14.7	200000	1800	13275820.72	122.68274	5071.9
2	200	200	1	1	19.4	200000	1800	4912588.72	92.99959	2937.1

Beban kritis (P_{cr}) secara teori juga dapat ditentukan berdasarkan kekuatan kolom menahan tekuk keseluruhan dengan menggunakan persamaan beban kritis kolom. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui beban kritis (P_{cr}) pada teori modulus tangen dasar *Chen*, 1952 adalah pada persamaan (3.49):

$$P_{cr} = \mu \frac{\pi^2 E\, I}{l^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E\, I}{l^2} \frac{d^3}{2EL_1 a^2 Ad}} \frac{1}{\left(1 + \frac{e.y}{r^2}\right)} \qquad (3.49)$$

Nilai modulus yang digunakan adalah modulus tangensial (Et) ,Et yang digunakan adalah nilai perbandingan Et dan l/r pada pengujian yang dilakukan oleh *Wf Chen dan A Atsuta* yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 di bawah ini

Tabel 5.10 Tabel tekuk plastis almuniun pegujian *Wf Chen dan A Atsuta*

Stress σ (ksi)	Tangen modulus		Modulus reduksi	
	Et (ksi)	l/r	Er (ksi)	l/r
10	10600	105	10600	105
20	10600	72.5	10600	72.5
30	10600	59	10600	59
40	10600	51	10600	51
45	3000	26	5100	33.5
50	1000	14	2300	21.3
55	500	9.5	1300	15.3
60	400	8.1	1100	13.5

Dengan nilai μ adalah

$$\mu = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{h_0}{h_m}\right)^2 \left[\frac{1}{\pi^2} + \frac{4}{\left(\log_e h_0 - \log_e h_m\right)^2}\right] \qquad (3.30)$$

Pengujian sampel 1, 2 dan 3 dilakukan dengan penambahan beban dengan nilai eksentrisitas berbeda yaitu nilai e/a berurutan yaitu : 0; 0,107; 0,215 , dengan nilai modulus elastis tangen=$\left(\frac{1000}{10600}\right)2.10^5$=18867,92 Mpa dan tegangan luluh

(F_y)=336,84 Mpa maka perhitungan beban kritis kolom tersusun bangun non prismatis dapat dilihat pada Tabel 5.11

Tabel 5.11 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dengan per bandingan e/a dengan modulus tangensial perbandingan pengujian *Chen* Tabel 5.10

No	ho (mm)	hm (mm)	ho/hm	μ	E (Mpa)	L (mm)	e (mm)	a (mm)	e/a	Ix-Iy (mm^4)	r rata-rata (mm)	P_{cr} (kN)
1	200	320	0.625	0.639	18867.92	1800	0	185.4	0	13275820.72	122.68274	478.481
2	200	320	0.625	0.639	18867.92	1800	20	185.4	0.1079	13275820.72	122.68274	4425.35
3	200	320	0.625	0.639	18867.92	1800	40	185.4	0.2157	13275820.72	122.68274	378.01

Pengujian sampel 1 dan 4 adalah pengujian dengan perbedaan kelangsingan kolom (Kl/r) dan nilia perhitungan dapet dilihat pada **Tabel 5.12**

Tabel 5.12 Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dengan perbandingan Kl/r dengan modulus tangensial perbandingan pengujian *Chen* Tabel 5.10

No	ho (mm)	hm (mm)	ho/hm	μ	Kl/r	E (Mpa)	L (mm)	Ix-Iy (mm4)	r (mm)	Pcr (kN)
1	200	320	0.625	0.639	14.7	18867.92	1800	13275820.72	122.68274	478.481
2	200	200	1	1	19.4	56603.77	1800	4912588.72	92.99959	831.255

Hasil perbandingan tegangan kritis teori dan tegangan kritis pengujian dengan perbandingan e/a dapat kita lihat pada Tabel 5.15 dan digrafikan pada Gambar 5.8

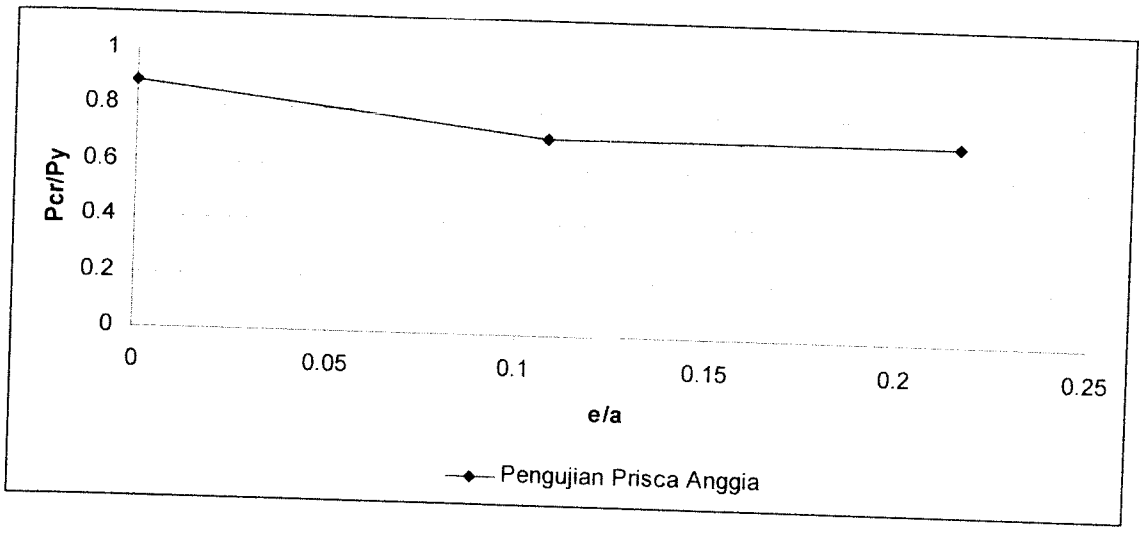
Tabel 5.15 Tabel perbandingan beban kritis (P_{cr})dan beban luluh (P_{y})Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian dengan perbandingan e/a

No	e/a	Fy(Mpa)	A gabungan (mm2)	Py (kN)	Pcr (Kn) (Euler)	Pcr (Kn) (modulus tangen)	Pcr (Kn) (modulus tereduksi)
1	0	336.84	568	191.3251	5071.901231	478.4812482	1100.506871
2	0.108	336.84	568	191.3251	4476.94	422.35	971.42
3	0.216	336.84	568	191.3251	4006.94	378.01	869.44

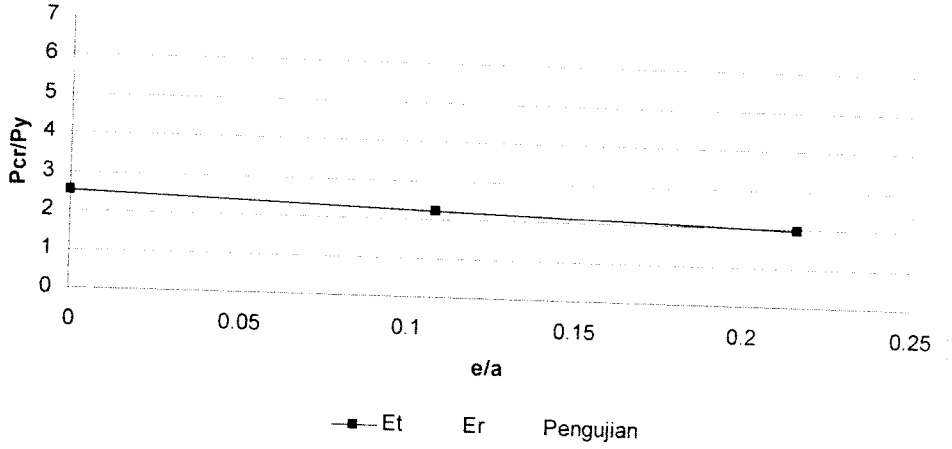
Lanjutan Tabel 5.15

Pcr (Kn) (Uji)	Pcr/Py (Euler)	Pcr/Py (Modulis tangen)	Pcr/Py (Modulus tereduksi)	Pcr/Py (pengujian)
170	26.50933255	2.500880429	5.752024987	0.888539884
136	23.39992596	2.207540185	5.077342425	0.710831907
137	20.94337696	1.975790279	4.544317642	0.716058613

Dari Tabel 5.15 diplotkan ke grafik pada Gambar 5.8a dan 5.8 b



Gambar 5.8.a Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr})dan beban luluh (P_y)Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian Prisca Anggia dengan perbandingan e/a



Gambar 5.8.b Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr})dan beban luluh (P_y)Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian dengan perbandingan e/a

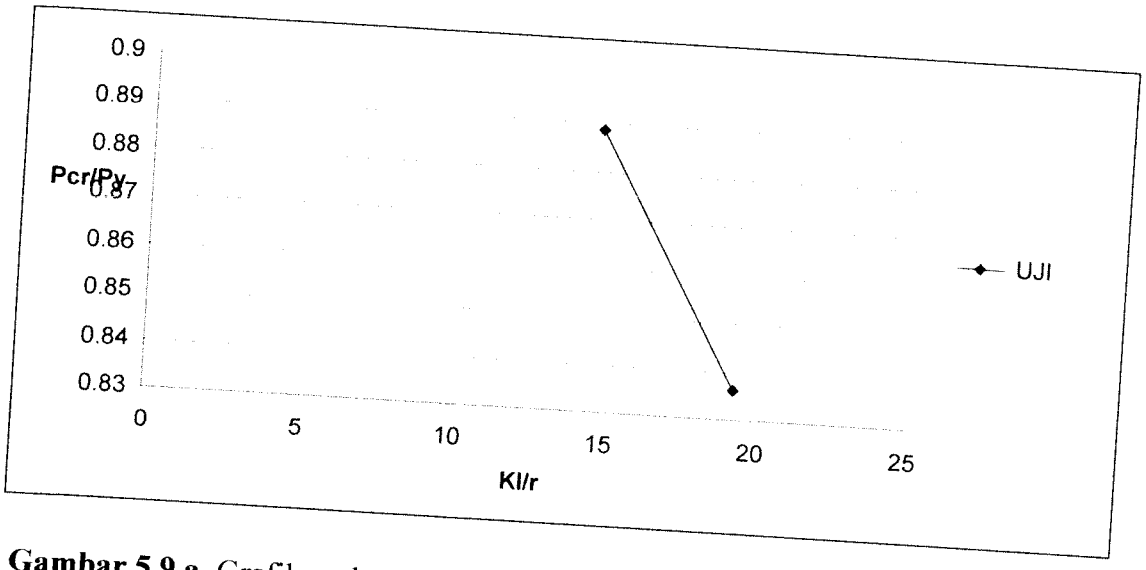
Tabel 5.16 Tabel perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y) Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian dengan perbandingan Kl/r

No	Kl/r	Fy(Mpa)	A gabungan (mm2)	Py (kN)	Pcr (Kn) (Euler)	Pcr (Kn) (modulus tangen)	Pcr (Kn) (modulus tereduksi)
1	14.7	336.84	568	191.3251	5071.901231	478.4812482	1100.506871
2	19.4	336.84	568	191.3251	2937.101514	831.2551456	831.2551456

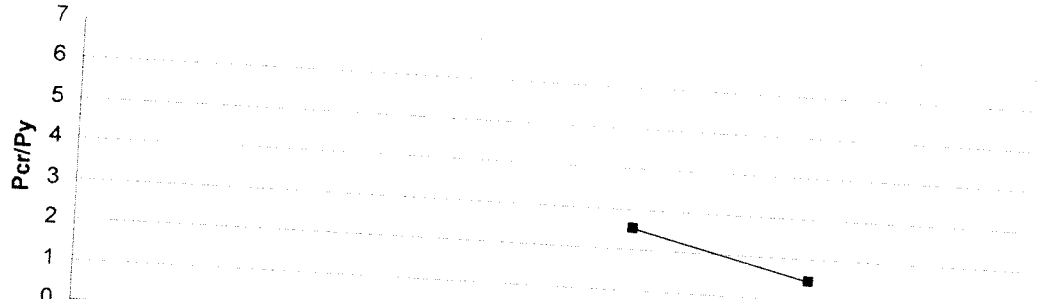
Lanjutan Tabel 5.16

Pcr (Kn) (Uji)	Pcr/Py (Modulis tangen)	Pcr/Py (Modulus tereduksi)	Pcr/Py (pengujian)
170	2.500880429	5.752024987	0.888539884
160	4.344725594	3.345555552	0.836272832

Dari Tabel 5.15 diplotkan ke grafik pada Gambar 5.9a dan 5.9 b



Gambar 5.9.a Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y) Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian Prisca Anggia dengan perbandingan Kl/r



Gambar 5.9.b Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y) Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) persamaan 3.49 teoritis dan pengujian dengan perbandingan Kl/r

Dari data yang diperoleh pada Tabel 5.8 hasil pada pengujian yang dilakukan dilaboratorium benda uji mengalami banyak pengaruh diantaranya proses pembuatan benda uji dan proses pengujian yang dilakukan, sehingga hasil yang didapat pada proses pengujian tidak dapat diambil secara maksimum. Rumus 3.49 tidak bisa digunakan dalam perhitungan karena kelangsingan benda uji lebih kecil dari kelangsingan batas yaitu $\frac{Kl}{r} < C_C$

Maka persamaan yang digunakan adalah persamaan kolom pendek 3.32, sedangkan persamaan Euler hanya digunakan untuk kolom langsing dengan $\frac{Kl}{r} > C_c$

$$F_{cr} = Fy\left[1 - \frac{(Lk/i)^2}{2C_c^2}\right] \qquad (3.32)$$

Dengan contoh perhitungan sampel 1 dengan ho= 200 mm dan hm = 320 mm dan panjang L=1800 mm , A gabungan= 568 mm^2,E = 200000 Mpa, Igabungan rata-rata kolom adalah 8758076.52 mm^4 , rx=ry rata-rata= 122.68274 mm^4

Dari sampel 1, 2, dan 3 nilai kelangsingan= $\frac{Kl}{r} = \frac{1800mm}{122,68mm}$ =14,67; dan nilai batas langsing =

$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Fy}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 2.10^5}{336,84}} = 108,205$; Dengan tegangan leleh baja 336,84 Mpa maka

$$F_{cr} = 336,84\left[1 - \frac{(14,67)^2}{2.108,205^2}\right] = 333,74 \text{N/mm}^2$$

Perhitungan sampel 1,2 dan 3 dengan perbandingan e/a dan perhitungan sampel 1 dan 4 dengan perbandingan Kl/r dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Tabel 5.18

Tabel 5.17 Tabel hasil perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) persamaan (3.63) teoritis dan beban kritis (P_{cr}) teori dengan perbandingan e/a

1	200000	1800	0	185.4	0	568	13275821
2	200000	1800	20	185.4	0.10787	568	13275821
3	200000	1800	40	185.4	0.21575	568	13275821

Lanjutan Tabel 5.17

122.6827442	336.81	14.67	108.21	333.7148557	189.550038
122.6827442	336.81	14.67	108.21	333.7148557	167.3168062
122.6827442	336.81	14.67	108.21	333.7148557	149.7517107

Tabel 5.18 Tabel hasil perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) persamaan (3.63) teoritis dan beban kritis (P_{cr}) tori dengan perbandingan Kl/r

1	200000	1800	0	185.4	568	13275821	122.6827442	336.81
2	200000	1800	0	185.4	568	13275821	122.6827442	336.81

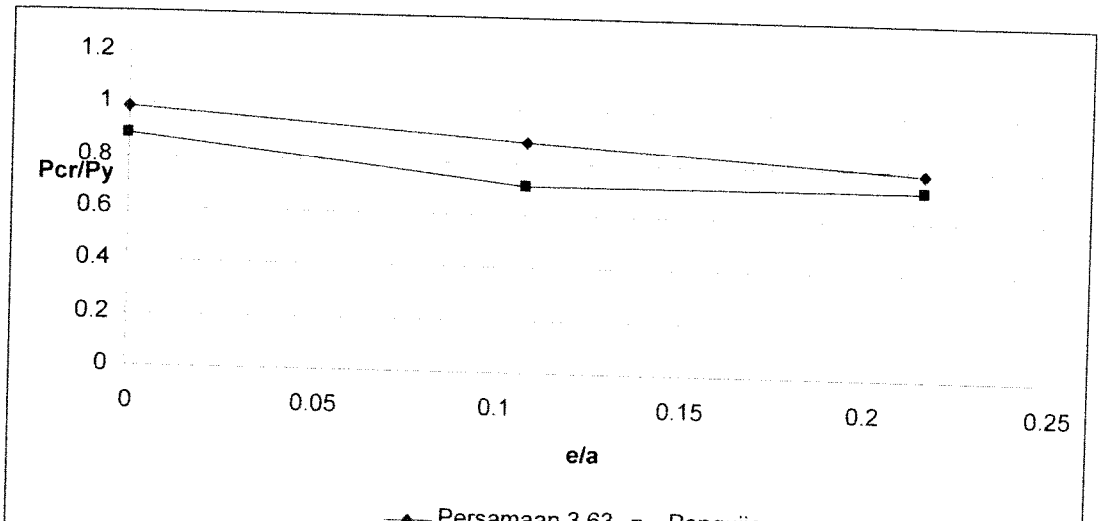
Lanjutan Tabel 5.18

14.67	108.21	333.7148557	189.550038
19.4	108.21	331.3971732	188.2335944

Tabel 5.19 Tabel perbandingan $(P_{cr})/(P_y)$ teoritis dan $(P_{cr})/(P_y)$ hasil pengujian dengan perbandingan e/a,

1	0	568	336.84	191.3251	189.550038	170	0.99072217	0.888539884
2	0.10787	568	336.84	191.3251	167.3168062	136	0.874515621	0.710831907
3	0.21575	568	336.84	191.3251	149.7517107	137	0.782708045	0.716058613

Dari Tabel 5.19 diplotkan ke grafik pada Gambar 5.10

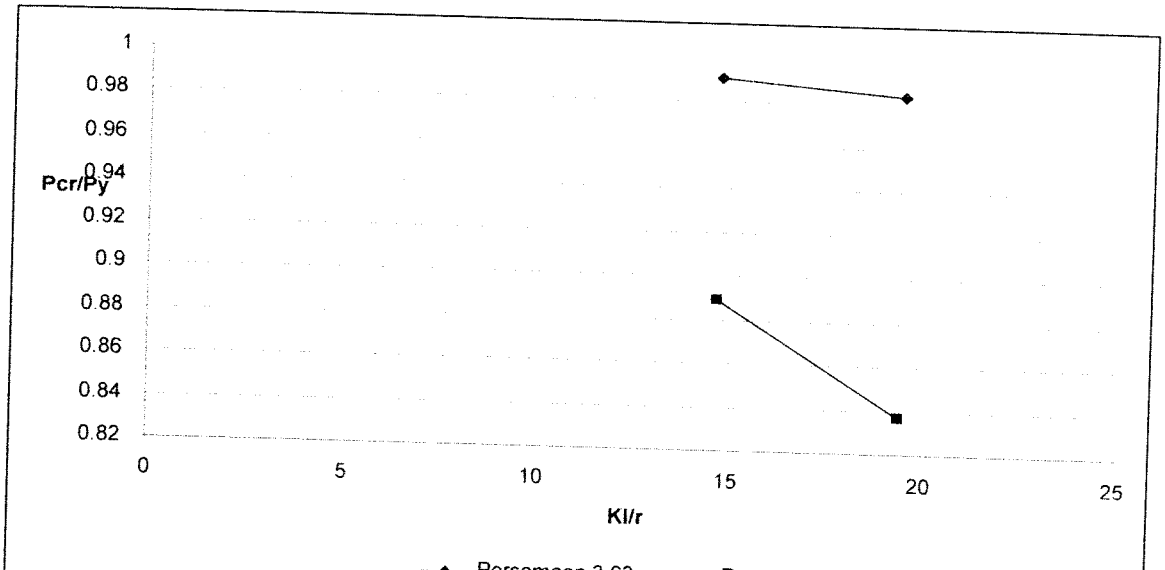


Gambar 5.10 Grafik perbandingan $(P_{cr})/(P_y)$ teoritis dan $(P_{cr})/(P_y)$ hasil pengujian dengan perbandingan e/a,

Tabel 5.20 Tabel hasil perhitungan tegangan kritis (F_{cr}) persamaan (3.63) teoritis menjadi beban kritis (P_{cr}), dan perbandingan (P_{cr}) /(P_y) teoritis dan (P_{cr})/(P_y) hasil pengujian dengan perbandingan Kl/r

1	14.67	108.2099397	333.7148557	189.550038	191.32512	170	0.99072217	0.8885399
2	19.4	108.2099397	331.3971732	188.2335944	191.32512	160	0.98384151	0.8362728

Dari Tabel 5.20 diplotkan ke grafik pada Gambar 5.11



Gambar 5.11 Grafik perbandingan beban kritis (P_{cr}) dan beban luluh (P_y) Hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) teoritis dan pengujian dengan perbandingan Kl/r

5.4 Pola kegagalan

Pola kegagalan yang terjadi pada kolom dapat diketahui dan dilihat pada pengujian tekan di laboratorium. Kapasitas kolom sampel No 1 dengan nilai Kl/r= 14,67 pada pengujian kuat tekan kolom pendek tersusun non prismatis dengan perangkai diamon dan lateral memiliki P_{cr}=170 kN.Karena kolom terbuat dari empat profil siku maka tegangan pada plat adalah:

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{4.A}$$

$$F_{cr} = \frac{170000N}{568mm^2}$$

$$= 299{,}295 \text{ N/mm}^2 \approx 300 \text{ N/mm}^2$$

lebar b = 25 mm dan tebal t=3 mm sehingga rasio b/t=8,33, maka :

$$F_{cr} = k_1 \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \qquad (3.64)$$

maka :

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

$$k = \frac{12F_{cr}(1-\mu^2)(8{,}3)^2}{\pi^2 E}$$

k =0,394

Dari hasil pengujian di dapat F_{cr} hasil adalah 300 Mpa < dari tegangan leleh (F_y) hasil uji = 336,84 Mpa, maka ditarik kesimpulan bahwa kolom mengalami kegagalan tekuk.

Dari persamaan (3.4)

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

Dengan memperoleh nilai K=1 (asumsi sendi-sendi), maka perhitungan tegangan kiritis untuk satu elemen plat dengan batasan antar batang perangkai $(L_a)=\frac{L_1}{2}=\frac{400mm}{2}$=200 mm dan r_{min} = 4,62 mm maka perhitungan tegangan kritis adalah

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 2.10^5}{(200/4{,}62)^2} = 1065{,}94 \text{ Mpa}$$

dari hasil perhitungan F_{cr}=1065,94 Mpa >F_y (336,84 N/mm^2)

sehingga diharapkan kolom tidak mengalami kegagalan tekuk elemen plat karena penambahan pengaku diamon dan lateral yang mengakibatkan jarak antar perangkai menjadi lebih kecil.

Dari nilai F_{cr} elemen plat=1065,94 Mpa dan F_{cr} batasan (b/t) profil=300 Mpa, maka didapat nilai nilai F_{cr} batasan (b/t) profil lebih kecil , sehingga nilai ini

dijadikan dasar terjadinya tekuk elemen plat pada kolom. Pola kegagalan kolom pendek tersusun non prismatis hasil pengujian ditabelkan pada Tabel 5.29

Tabel 5.29 Pola Kegagalan kolom

Kl/r	E(Mpa)	Fcr keseluruhan : P_{cr}/Agabungan	P_{cr} (N)	A gab (mm^2)	Fy(N/mm2)	pola kegagalan
14.67	200000	299.2957746	170000	568	336.84	tekuk lokal
14.67	200000	239.4366197	136000	568	336.84	tekuk lokal
14.67	200000	241.1971831	137000	568	336.84	tekuk lokal
19.35	200000	281.6901408	160000	568	336.84	tekuk lokal

Pada kolom pendek, kegagalan terjadi akibat tegangan leleh terlampaui, namun pada penelitian ini , sebelum tegangan leleh terlampaui, kolom sudah mengalami tekuk lokal pada elemen plat, kemungkinan terjadi karena kondisi awal proses pembuatan dan kondisi pengujian sampel.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penjelasan serta uraian dalam pembahasan Tugas Akhir ini, kesimpulan dan saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

6.1 Kesimpulan

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

1. kuat tekan kolom tersusun non prismatis dari profil siku dengan perangkai diagonal dan horizontal dipengaruhi oleh nilai e/a, semakin besar nilai e/a maka nilai P_{cr} (beban kritis) akan semakin kecil. beban kritis pengujian pada semua sampel berada jauh diatas beban kritis pada teori Friedich Bleich (1952). Dikarenakan momen inersia yang terjadi juga besar, dan panjang kolom kecil sehingga kelangsingan yang terjadi tidak memenuhi syarat batas langsing. Teori Bleich tidak dapat digunakan untuk dasar perencanaan,karena tidak memenuhi syarat batas langsing. Teori hasil perencanaan didapat dengan menggunakan teori kolom pendek menurut AISC.
2. kegagalan yang terjadi pada kolom tersusun non prismatis semua sampel setelah dilakukan pengujian adalah tekuk lokal.
3. Rasio P_{cr}/P_y teori dan P_{cr}/P_y pengujian kolom pendek bangun non prismatis dengan nilai F_y = 336,84 N/mm^2 untuk sampel 1 (KL/r=14,67 dan e/a=0) rasio P_{cr}/P_y teori dan P_{cr}/P pengujian= 1,1156; untuk sampel 2 (KL/r=14,67 dan e/a=0,107) rasio P_{cr}/P_y teori dan P_{cr}/P pengujian= 1,2303; untuk sampel 13(KL/r=14,67 dan e/a=0,215) rasio P_{cr}/P_y teori dan P_{cr}/P pengujian=

1,093; untuk sampel 4 (KL/r=19,35 dan e/a=0) rasio P_{cr}/P_{y} teori dan P_{cr}/P pengujian= 1,1767;

6.2 Saran

Penelitian ini masih banyak kekurangannya, banyak hal yang masih bisa dietliti lebih lanjut, kekurangan yang perlu diperhatikan pada penelitian selanjunya adalah:

1. benda uji yang digunakan masih kurang, sehingga data yang diperoleh dari hasil pengujian masih kurang.
2. Perlu diadakan penelitian untuk kolom tersusun non prismatis dari profil siku dengan variasi jarak antar perangkai lebih diperkecil.
3. Perlu diadakan penelitian untuk bentuk penampang yang sama tetapi memiliki dimensi yang berbeda.
4. Perlu diadakan penelitian dengan benda uji sesuai dengan batas kelangsingan.
5. Penelitian selanjutnya tentang kolom bangun non prismatis di harapkan benda uji yang dibuat harus benar dan teliti pembuatanya agar tidak ada kesalahan pengujian.
6. Perlunya penggunaan alat bantu pengujian yang lebih baik yang sesuai dengan asumsi kondisi tumpuan sendi-sendi.

DAFTAR PUSTAKA

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

Lambert Tall, **STRUCTURAL IS STEEL DESIGN**, Second Edition, The Real Press Company, New York.,1997

Friedich Bleich, **BUCKLING STRENGTH OF METAL STRUCTURES**, Mc Graw Hill Book Company inc, NewYork,1952.

PADOSBAJAYO, **PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA**, edisi kedua ,Yogyakarta,1992.

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

WF Chen dan Tatsuta, **THEORY OF BEAM COLUMNS**,Volume 2,Mc Graw Hill Inc,New York,1976.

Penelitian Bambang Krisnawan (98511145) dan Dhanang Hadiono (98511161),**KAPASITAS KOLOM TERSUSUN DARI PROFIL LIGHT LUIPED**,UII Yogyakarta ,2003.

Penelitian Ike Merdekawati (01511048) ,KAPASITAS TEKAN KOLOM TERSUSUN NON PRISMATIS,UII Yogyakarta ,2006.

LAMPIRAN 1

PERENCANAAN KOLOM TERSUSUN

KAPASITAS KOLOM PENDEK TERSUSUN BANGUN NON PRISMATIS DENGAN PEMBEBANAN EKSENTRIS

A. Data Perencanaan Benda Uji

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

1. Profil baja yang digunakan untuk perencanaan kolom tersusun adalah profil baja siku 4 (25 x 25 x 3) mm dan tulangan ukuran Ø 7 mm.
2. Variasi pada keempat benda uji terletak pada variasi kelangsingan ($\frac{kL}{r}$), dan variasi eksentrisitas $\left(\frac{e}{a}\right)$dimana jarak antar profil (a) adalah jarak bentang terpendek kolom pendek tersusun non prismatis , dan variasi e adalah jarak beban terhadap pusat sentris kolom ,Adapun perinciannya adalah:
   a. Benda uji I (non prismatis) dengan kelangsingan ($\frac{kL}{r}$) = 14,67 ,

      Dengan variasi eksentisitas $\left(\frac{e}{a}\right)$ =0 mm

   b. Benda uji II (non prismatis) dengan kelangsingan ($\frac{kL}{r}$) = 14,67

      Dengan variasi eksentisitas $\left(\frac{e}{a}\right)$ =0,107 mm

   c. Benda uji III (non prismatis) dengan kelangsingan ($\frac{kL}{r}$) = 14,67

      Dengan variasi eksentisitas $\left(\frac{e}{a}\right)$ =0,215 mm

d. Benda uji IV (prismatis) dengan kelangsingan ($\frac{kL}{r}$) = 19,35

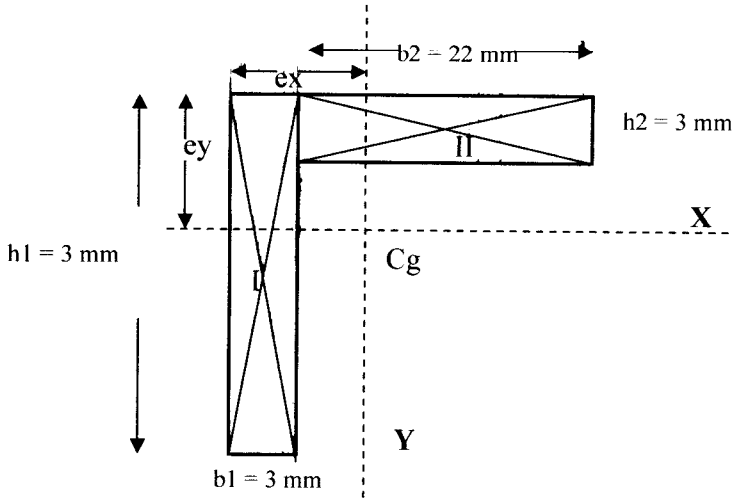
Dengan variasi eksentisitas $\left(\frac{e}{a}\right)$ =0,107 mm

3. Perletakan dukungan berupa sendi di kedua ujungnya, sehingga nilai k= 1 (kolom tidak bergoyang)
4.

B. Perhitungan Momen Inersia Batang Tunggal

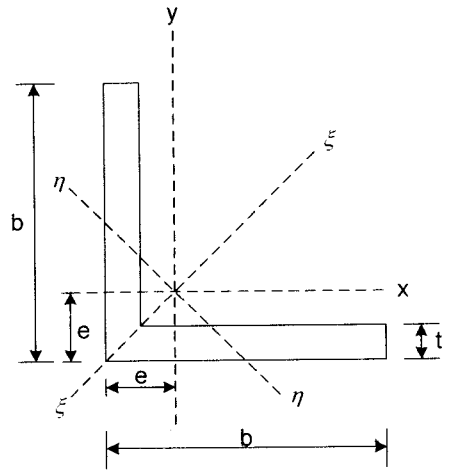
1. Spesifikasi Tampang Profil Siku

Penggunaan profil siku menyesuaikan ukuran yang umum dipasaran, untuk memudahkan pembuatan benda uji. Untuk memahami ukuran data dari profil siku yang digunakan, dapat dilihat pada gambar L.1.1



Gambar L.1.1 Spesifikasi Ukuran Profil Siku

2. Perhitungan Titik Berat Penampang



Gambar L.1.2 Titik Berat Profil Siku

dimana :

b = 25 mm

t = 3 mm

$A = ((b-t)xt)+(bxt)$

$= (22x3)+(25x3)$

$= 142\ mm^2$

Perhitungan jarak titik berat penampang $e_x = e_y$

$e_x = e_y$ (ukuran profil simetris)

$$e_x = e_y = \frac{((b1*h1)*\frac{1}{2}*h1)+((b2*h2)*\frac{1}{2}*h2)}{A}$$

$$= \frac{((25*3)*1/2*25)+((22*3)*1/2*3)}{142}$$

$= 7{,}3$ mm

3. Perhitungan Momen Inersia

Inersia profil tunggal

$I_x = I_y$

I_y $=(1/12 * b_1 * h_1^3 + (b_1 * h_1) * (1/2h_1 - e_x)^2) + (1/12 * b_2 * h_2^3 + (b_2 * h_2) * (x- 1/2h_2)^2)$

$=(1/12 * 25 * 3^3 + (25 * 3) * (1/2*25 - 7{,}3)^2) + (1/12 * 22 * 3^3 + (22* 3) * (7{,}3- 1/2*3)^2)$

$= 5934{,}25 + 2269{,}74$

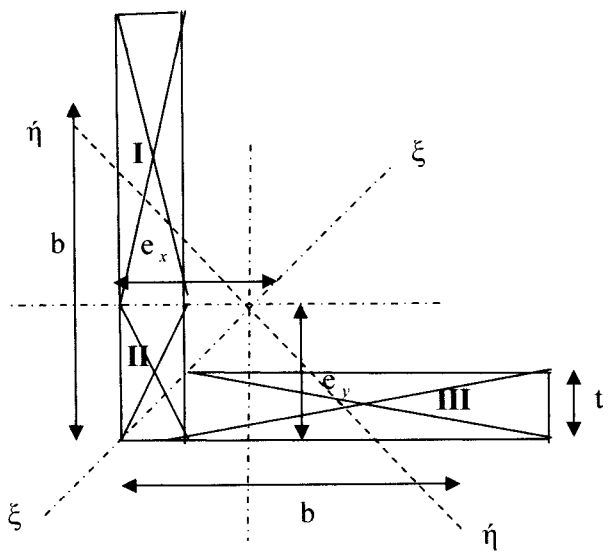
$= 8203{,}99\ mm^4$

Pada Tabel profil baja, baja profil siku 25x25x3 mempunyai momen inersia=

$I_x = I_y = 7900 mm^4$

Untung perhitungan pada tugas akhir ini,penulis mengunakan inersia pada tabel yaitu 7900 mm^4 karena hasil tidak terlalu berbeda jauh dari hitungan manual yaitu 8203,99 mm^4

4.Menghitung I_{min}



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

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

Bagian	A(mm^2)	x (mm)	y (mm)	xyA(mm^4)
I	53.1	-5.8	8.85	-2725.62
II	21.9	-5.8	-3.65	463.623
III	66	6.7	-5.8	-2564.76
			ΣxyA(mm^4)	-4826.76

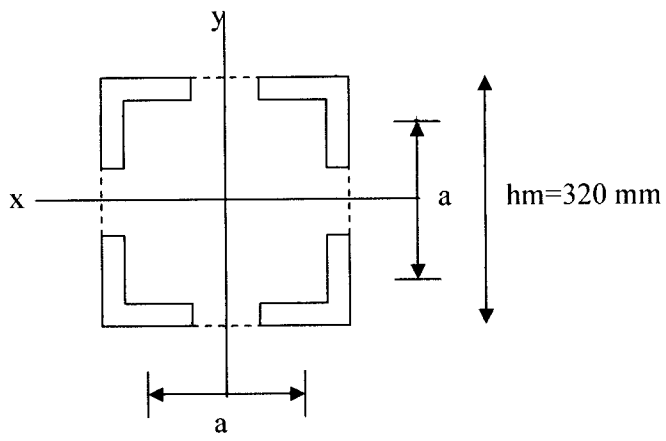
$$I_{min} = \frac{7900 + 7900}{2} - \sqrt{\left[\frac{7900 - 7900}{2}\right]^2 + (-4826.7)^2}$$

$$= 3037{,}3 \text{ mm}^4$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{3037.3}{142}}$$

$$= 4{,}62 \text{ mm}$$

5. Perhitungan dimensi profil tunggal gabungan hm= 320 mm



$A = 4 \times A_{tunggal}$

$= 4 \times 142$

$= 568$ mm

$I_{x\,gab} = I_{y\,gab}$

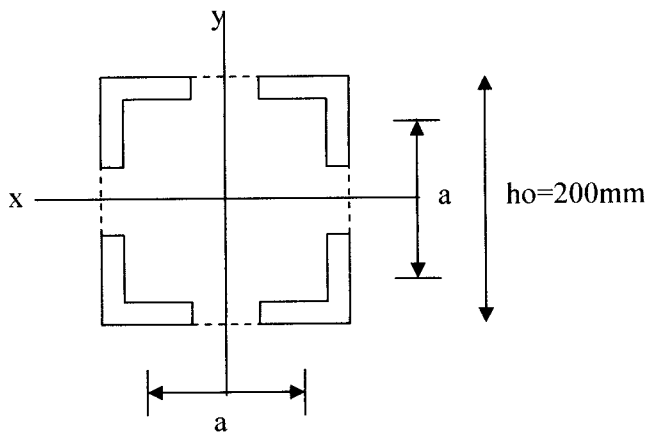
$= 4 (I_x = I_y) + 4\, A_{tunggal} * (\frac{1}{2}a)^2$

$= 4 * 7900 + 4 * 142 * (0{,}5(320-2*7{,}3))^2$

$= 13275820{,}72 mm^4$

$r_{x\,gab} = r_{y\,gab} = \sqrt{\frac{13275820.72}{568}} = 152{,}88$ mm

6.Perhitungan dimensi profil tunggal gabungan ho = 200 mm



$A = 4 \times A_{tunggal}$

$= 4 \times 142$

$= 568\ mm^2$

$I_{x\,gab} = I_{y\,gab}$

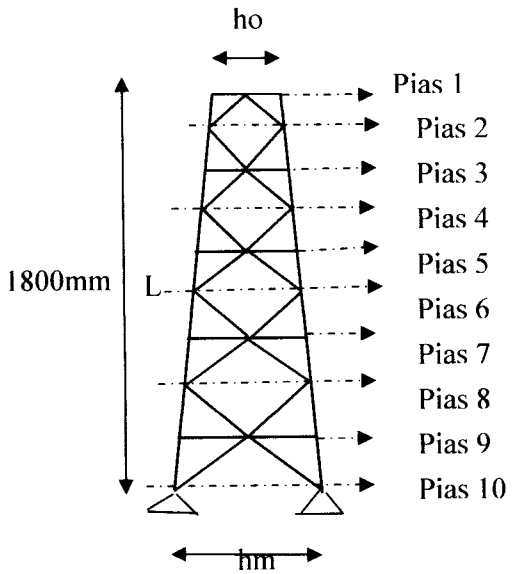
$= 4\,(I_x = I_y) + 4\,A_{tunggal} * (\frac{1}{2}a)^2$

$= 4 * 7900 + 4 * 142 * (0{,}5(200\text{-}2*7{,}3))^2$

$= = 4912588{,}72 mm^4$

$r_{x\,gab} = r_{y\,gab} = \sqrt{\frac{4912588\ .72}{568}} = 92.99\ mm$

Untuk bangun non prismatis r (jari jari girasi) yang dipakai adalah r rata-ra yang diambil perpias kolom seperti yang dijelaskan pada gambar dantabel dibawah ini:



Tabel Hasil perhitungan Inersia gabungan dan jari-jari girasi rata-rata kolom bangun non prismatis

Pias	h (mm)	Ix=Iy (mm4)	cx (mm)	a (mm)	A tunggal (mm2)	I gabungan (mm4)	A gabungan (mm2)	rx=ry (mm)
1	200	7900	7.3	185.4	142	4912588.72	568	92.99959
2	213	7900	7.3	198.4	142	5621083.52	568	99.480017
3	226	7900	7.3	211.4	142	6377574.32	568	105.96284
4	240	7900	7.3	225.4	142	7245932.72	568	112.94655
5	253	7900	7.3	238.4	142	8102107.52	568	119.43314

Lanjutan Tabel 5.7

6	262	7900	7.3	247.4	142	8722959.92	568	123.92467
7	280	7900	7.3	265.4	142	10033676.72	568	132.90946
8	294	7900	7.3	279.4	142	11116739.12	568	139.89898
9	307	7900	7.3	292.4	142	12172281.92	568	146.39014
10	320	7900	7.3	305.4	142	13275820.72	568	152.88206
				I gabungan rata-rata=		8758076.52	r rata-rata=	122.68274

Untuk kolom tersusun non prismatis jarak antar batang perangkai adalah

La=200mm

$$\frac{La}{r_{min}} = \frac{200}{4,6} = 43,47$$

$$F_{cr} = F_Y\left[1 - \frac{(L/r)^2}{2Cc^2}\right]$$

Batas kelangsingan kolom = C_c

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Fy}} = 108,205$$

Dengan tegangan leleh baja $336,84 N/mm^2$ maka Tegangan kritis kolom pendek=

$$F_{cr} = 336,84\left[1 - \frac{(43,47)^2}{2.108,205^2}\right]$$

$= 309,65 \text{ N/mm}^2$

P_{cr} teori= 4*A*tegangan kritis

$= 4*142 \text{ mm}^2 * 309,65 \text{ N/mm}^2$

=175881,2N

P_{cr} uji sampel 1 (non prismatis pembebanan sentris) = 170000N

P_{cr} uji< P_{cr} teori

oke

LAMPIRAN 2

Uji Pendahuluan

UJI PENDAHULUAN

1. Hasil Pengujian Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Profil L

a.Sampel I

Beban Leleh = 9150 N

Beban maksimum = 1140 N

Perhitungan

Lebar (l) = 11 mm

Tebal (t) = 2,1 mm

$A_0 = l \times t$ = 23,1 mm^2

Tegangan leleh baja (Fy) = $\frac{P_y}{A_o}$

$= \frac{9150}{23,1} = 396,1 MPa$

Tegangan ultimit baja (Fu) = $\frac{P_u}{A_o} = \frac{1140}{23,1}$

= 493,5 MPa

b.Sampel II

Beban Leleh = 900 kgf

= 900x 9,81 = 8829 N

Beban maksimum = 1255 kgf

= 1255 x 9,81 = 12311,55 N

Perhitungan

Lebar (l) = 15 mm

Tebal (t) = 2,3 mm

$A_0 = l \times t \quad = 34{,}5\ mm^2$

Tegangan leleh baja (Fy) $= \frac{P_y}{A_o}$

$= \frac{8829}{34{,}5} = 255{,}91$ MPa

Tegangan ultimit baja (Fu) $= \frac{P_u}{A_o} = \frac{12311{,}55}{34{,}5}$

$= 356{,}86$ MPa

c.Sampel II

Beban Leleh $= 1345$ kgf

$= 1345 \times 9{,}81 = 13194{,}45$ N

Beban maksimum $= 1995$ kgf

$= 1995 \times 9{,}81 = 19570{,}95$ N

Perhitungan

Lebar (l) $= 16$ mm

Tebal (t) $= 2{,}3$ mm

$A_0 = l \times t \quad = 36{,}8\ mm^2$

Tegangan leleh baja (Fy) $= \frac{P_y}{A_o}$

$= \frac{13194{,}45}{36{,}8} = 358{,}54$ MPa

Tegangan ultimit baja (Fu) $= \frac{P_u}{A_o} = \frac{19570{,}95}{36{,}8}$

$= 531{,}81$ MPa

Tabel L2.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Bahan

Benda Uji	Beban Leleh (Fy) (Kn)	Beban Ultimit (Pu) (Kn)	Luas Penampang (mm^2)	Tegangan Leleh Fy (Mpa)
1	9150	11400	23.1	396.1038961
2	8829	12312	34.5	255.9130435
3	13194	19571	36.8	358.5326087
			Tegangan Leleh rata-rata=	336.8498494

2. Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

Tabel L2.2 Hasil Pengujian Kuat Geser Sambungan Las

Benda uji	P_u (kN)
sampel 1	15,7

3. Tabel Dan Grafik Beban- Lendutan Benda Uji

3.1. Kolom pendek tersusun non prismatis dengan perangkai diamon dan lateral (e/a=0)

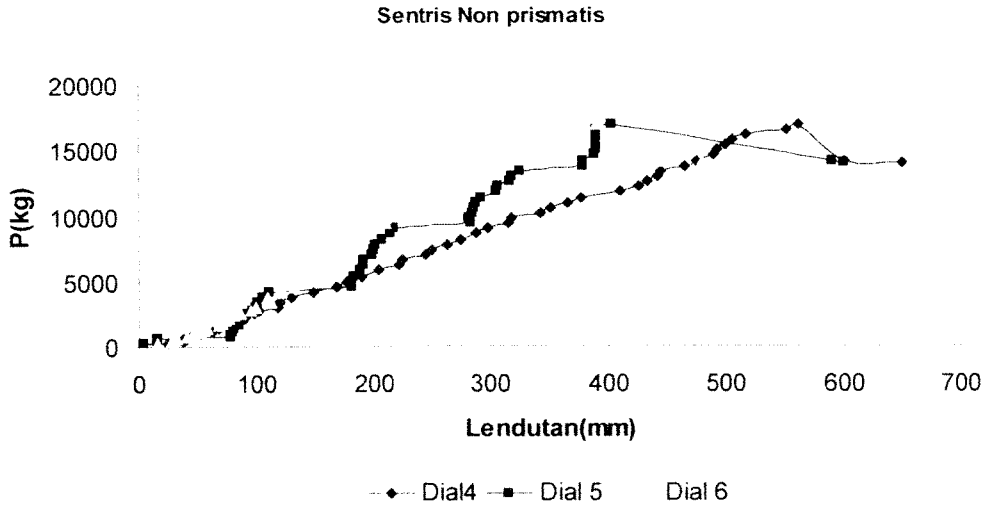
a. Benda Uji 1

Tabel L2.3 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($\frac{kL}{r} = 14{,}67$), (e/a=0)

P (kg)	dial 1 (mm)	dial 2 (mm)	dial 3(mm)	dial 4(mm)	dial 5(mm)	dial 6(mm)
0	0	0	0	0	0	0
200	-20	-22	-15	24	4	16
400	-30	-24	-20	37	17	28
600	-48	-48	-31	37	17	32
800	-58	-53	-37	43	78	40
1000	-32	-31	-44	52	78	46
1200	-85	-82	-51	62	79	52
1400	-99	-94	-59	67	81	58
1600	-109	-104	-64	77	85	68
1800	-122	-115	-72	81	86	70

Lanjutan tabel L 2.3

2000	-133	-125	-77	84	88	74
2200	-143	-134	-83	84	89	76
2400	-154	-143	-68	92	91	81
2600	-162	-150	-193	98	92	86
2800	-169	-157	-196	102	97	95
3000	-176	-163	-200	118	100	100
3400	-181	-172	-205	120	101	113
3800	-192	-180	-209	130	105	109
4200	-195	-186	-210	148	111	121
4600	-197	-191	-211	168	181	132
5000	-200	-196	-213	177	182	138
5400	-203	-202	-216	190	183	146
5800	-207	-208	-219	205	189	156
6200	-209	-214	-223	222	192	162
6600	-211	-219	-225	224	192	164
7000	-213	-224	-228	245	199	175
7400	-215	-229	-231	250	200	179
7800	-218	-235	-235	263	202	186
8200	-220	-241	-240	275	208	190
8600	-222	-246	-244	288	214	198
9000	-223	-250	-266	298	218	204
9400	-223	-253	-248	315	284	210
9800	-222	-255	-250	319	283	210
10200	-219	-258	-252	343	285	220
10600	-217	-261	-253	352	286	225
11000	-215	-263	-255	366	288	232
11400	-212	-264	-256	377	292	238
11800	-209	-265	-256	410	305	260
12200	-203	-265	-257	427	307	261
12600	-196	-261	-258	434	317	265
13000	-188	-258	-259	442	318	270
13400	-182	-255	-261	445	325	273
13800	-172	-259	-263	465	379	280
14200	-163	-246	-270	475	379	285
14600	-158	-242	-272	489	389	291
15000	-143	-135	-268	493	390	295
15400	-125	-226	-286	500	390	298
15800	-106	-116	-292	505	390	300
16200	-77	-102	-294	517	390	304
16600	-13	-151	-304	552	390	320
17000	164	3	-311	562	404	390
14200	204	165	-315	600	590	450
14000	75	83	-320	650	600	480



Gambar L.2.1 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun Benda Uji 1 ($\frac{kL}{r} = 14{,}67$), (e/a=0)

3.2. Kolom pendek tersusun non prismatis dengan perangkai diamon dan lateral (e/a=0,107)

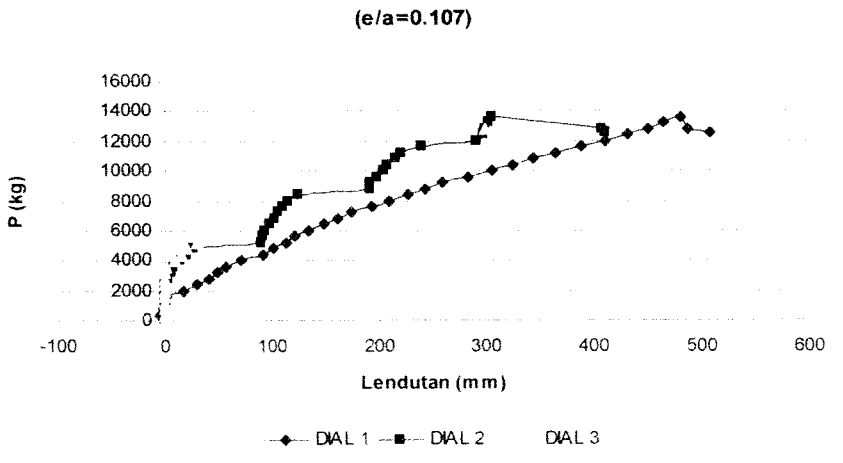
Benda Uji 1I

Tabel L2.4 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($\frac{kL}{r} = 14{,}67$), (e/a=0,107)

P(kg)	dial 1(mm)	dial 2(mm)	dial 3(mm)
0	0	0	0
400	-4	0	0
800	-1	0	0
1200	0	0	0
1600	2	0	0
2000	18	0	0
2400	31	1	0
2800	41	4	0
3200	50	7	0
3600	58	8	2
4000	72	14	9
4400	92	21	16
4800	102	27	21

Lanjutan tabel L 2.4

5200	115	91	30
5600	123	93	34
6000	136	94	35
6400	150	99	39
6800	163	103	44
7200	176	107	51
7600	195	112	59
8000	211	117	67
8400	227	126	75
8800	243	192	85
9200	259	192	91
9600	284	199	99
10000	305	205	107
10400	324	209	114
10800	344	216	121
11200	365	222	131
11600	388	240	141
12000	410	292	149
12400	431	297	157
12800	450	300	162
13200	464	302	165
13600	480	305	247
12800	487	408	300
12600	507	411	356

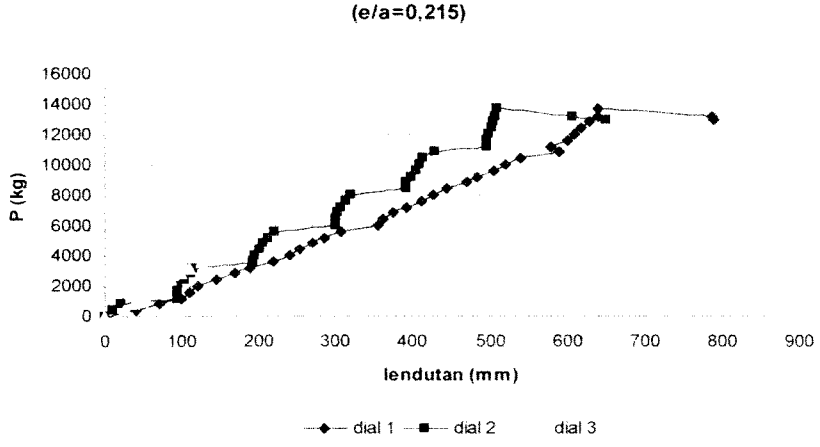


GambarL.2.2 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun Benda Uji 2 ($\frac{kL}{r} = 14{,}67$), (e/a=0.107)

3.3. Kolom pendek tersusun non prismatis dengan perangkai diamon dan lateral (e/a=0,215)

Tabel L2.5 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($\frac{kL}{r} = 14{,}67$), (e/a=0,215)

P (kg)	dial 1(mm)	dial 2(mm)	dial 3(mm)
0	0	0	0
400	42	11	25
800	71	21	40
1200	100	96	55
1600	110	96	64
2000	122	97	73
2400	145	105	86
2800	170	112	100
3200	188	116	110
3600	218	192	125
4000	240	195	136
4400	254	201	144
4800	271	205	154
5200	286	212	157
5600	309	221	167
6000	356	302	195
6400	362	302	197
6800	375	303	202
7200	393	307	210
7600	413	314	219
8000	427	322	225
8400	444	392	234
8800	470	393	246
9200	484	400	256
9600	505	405	263
10000	521	410	270
10400	540	415	279
10800	590	430	287
11200	579	497	296
11600	600	497	303
12000	610	499	309
12400	619	503	315
12800	629	505	320
13200	640	508	325
13700	640	510	408
13200	787	608	400
12900	789	650	456



GambarL.2.3 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun Benda Uji 3 ($\frac{kL}{r} = 14{,}67$), (e/a=0.215)

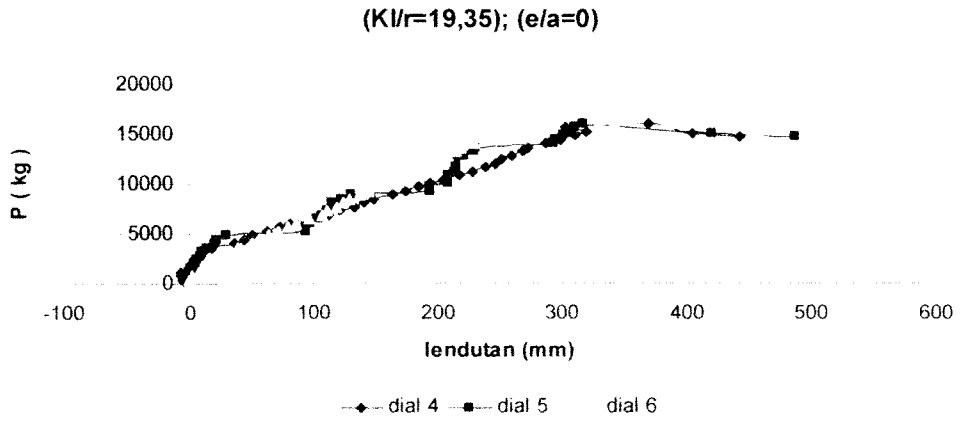
3.4. Kolom pendek tersusun non prismatis dengan perangkai diamon dan lateral (e/a=0,215)

Tabel L2.6 Beban Lendutan Benda Uji 1 ($\frac{kL}{r} = 19{,}35$), (e/a=0)

P(Kg)	dial 1	dial 2	dial 3
0	0	0	0
400	-5	0	0
800	-6	2	3
1200	-6	3	8
1600	1	4	13
2000	2	6	19
2400	5	7	24
2800	10	10	31
3200	12	11	34
3600	19	15	40
4000	37	21	51
4400	45	23	57

Lanjutan tabel L 2.6

4800	52	31	64
5200	63	95	72
5600	74	95	80
6000	81	98	87
6400	100	105	97
6800	113	107	107
7200	122	111	112
7600	134	115	120
8000	141	116	124
8400	150	123	130
8800	165	131	139
9200	175	195	146
9600	187	195	155
10000	195	209	164
10400	205	209	168
10800	219	210	178
11200	229	215	185
11600	239	216	191
12000	248	216	198
12400	252	216	202
12800	260	223	209
13200	269	231	216
13600	273	232	220
14000	288	295	230
14400	299	296	240
14800	312	302	250
15200	321	306	261
15600	304	312	279
16000	370	318	343
15000	405	421	452
14600	443	488	460

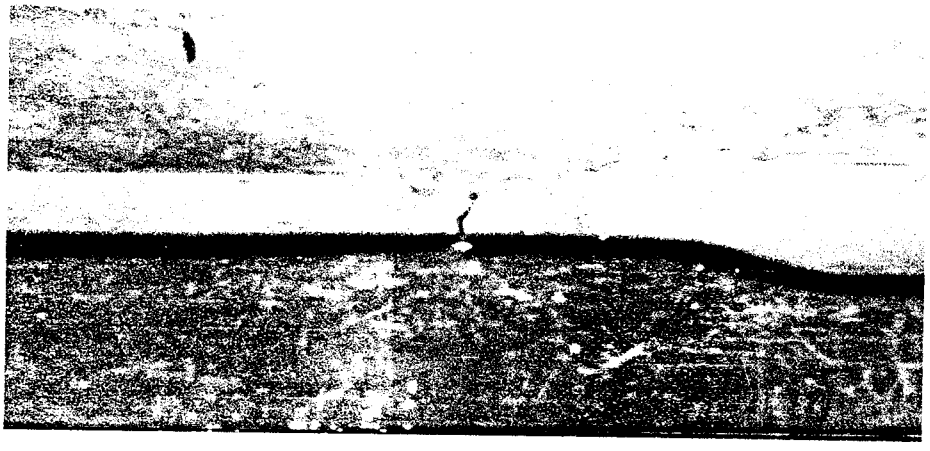


Gambar L.2.4 Grafik Hasil Pengujian Kolom Tersusun Benda Uji 3 ($\frac{kL}{r} = 19{,}35$), (e/a=0)

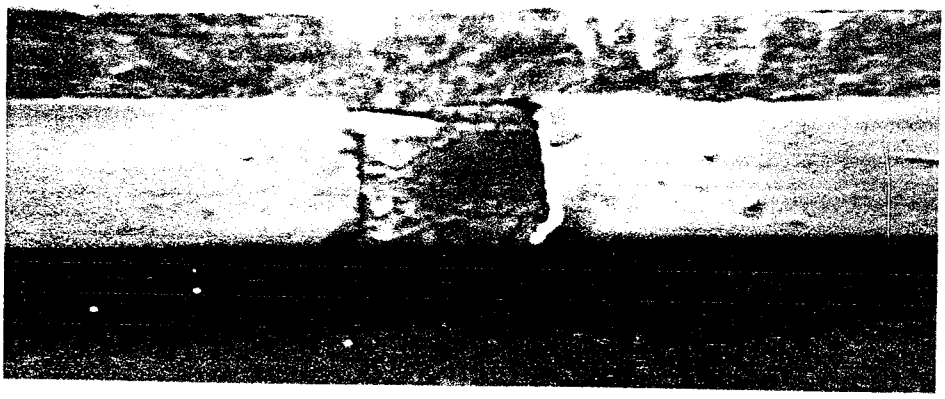
LAMPIRAN 3

GAMBAR DAN DOKUMENTASI SAAT PENGUJIAN

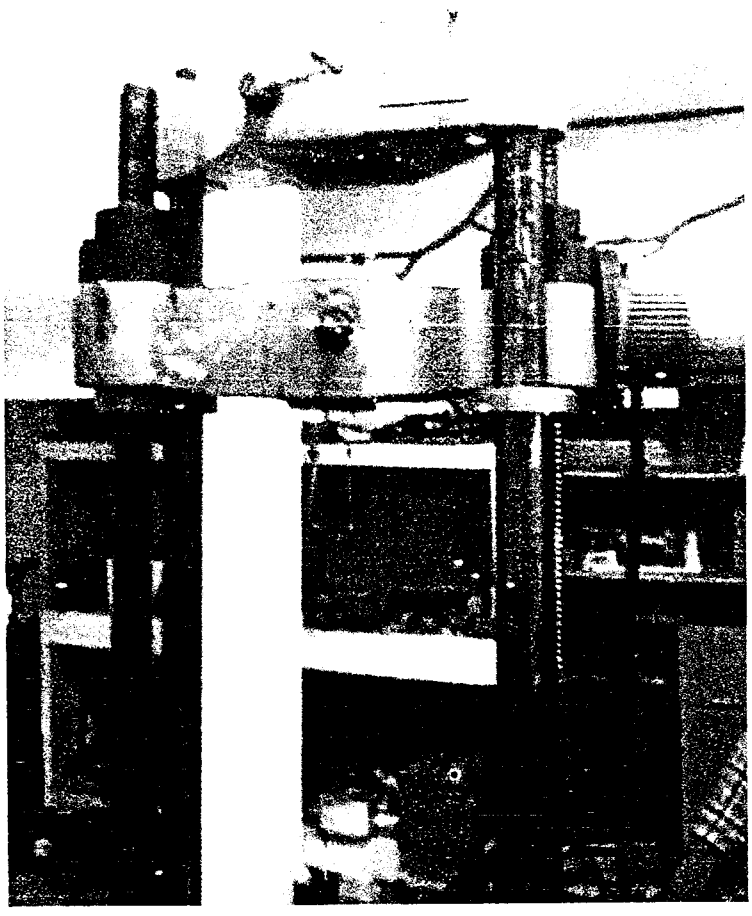
FOTO – FOTO PENGUJIAN



Benda uji kuat tarik baja



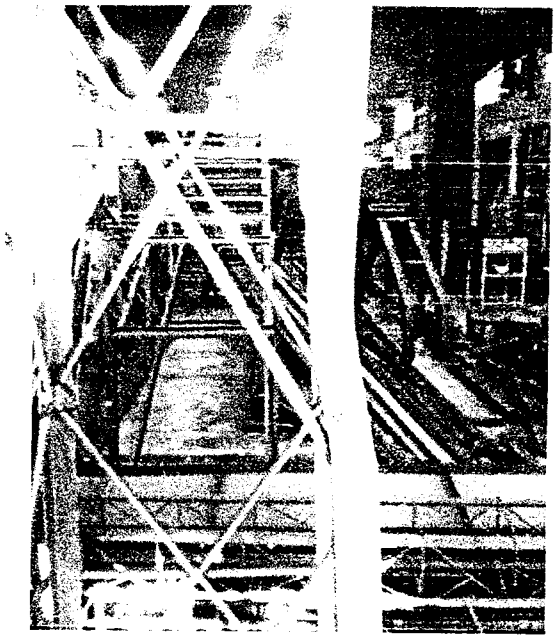
Benda uji sambungan las



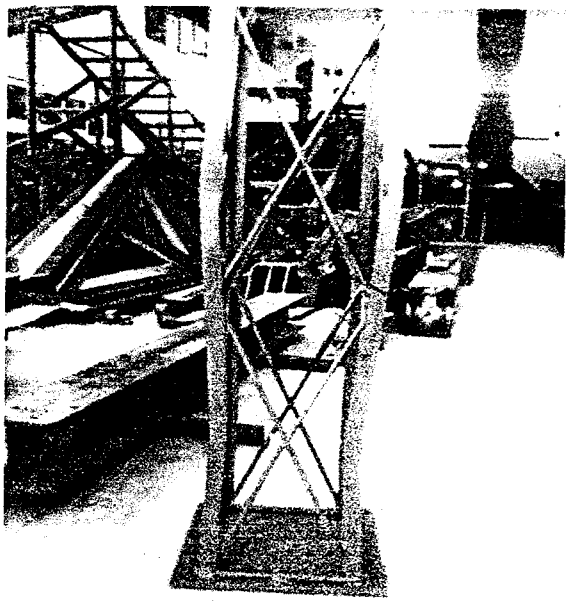
Pengujian kuat tarik baja



Pengujian kuat tarik baja



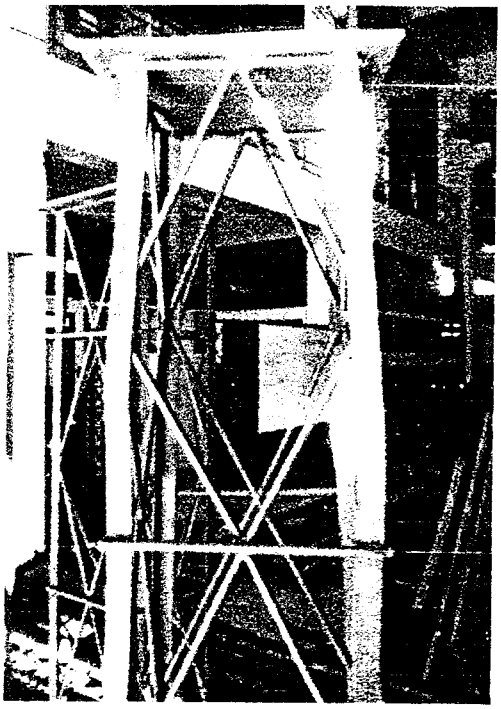
Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom pendek tersusun non prismatis



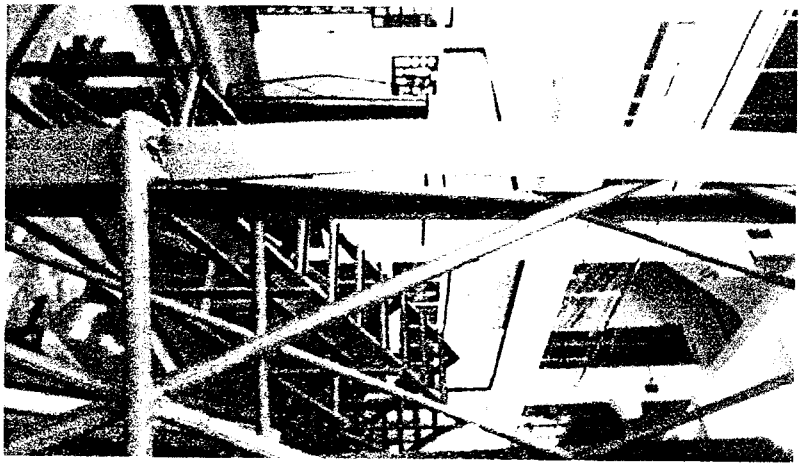
Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom pendek tersusun non prismatis



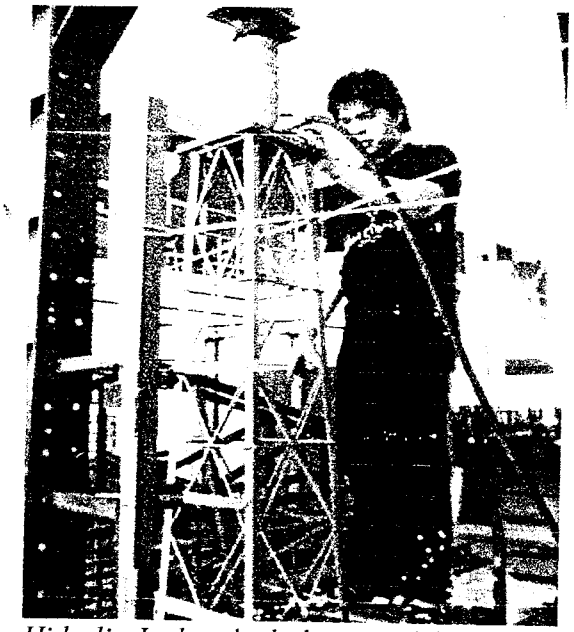
Pensetingan kolom pendek tersusun non prismatis



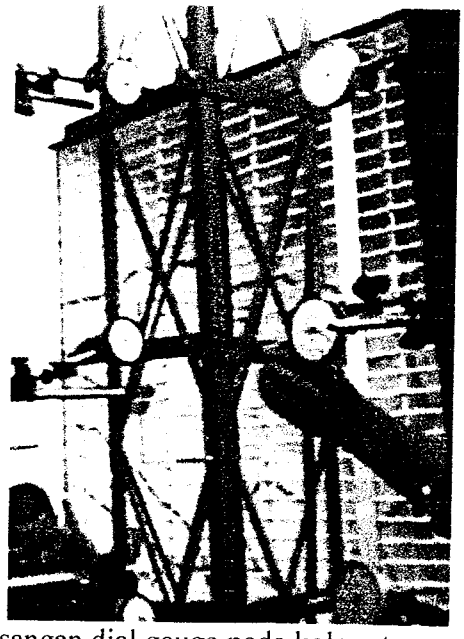
Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom pendek tersusun non prismatis



Jenis kerusakan pada pengujian kuat tekan kolom pendek tersusun non prismatis



Pemasangan *Hidrolic Jack* pada kolom pendek tersusu non prismatis



Pemasangan dial gauge pada kolom tersusun uji

Tabel Elektrode-elektrode untuk Las (*Salmon dan Johnson, 1992*)

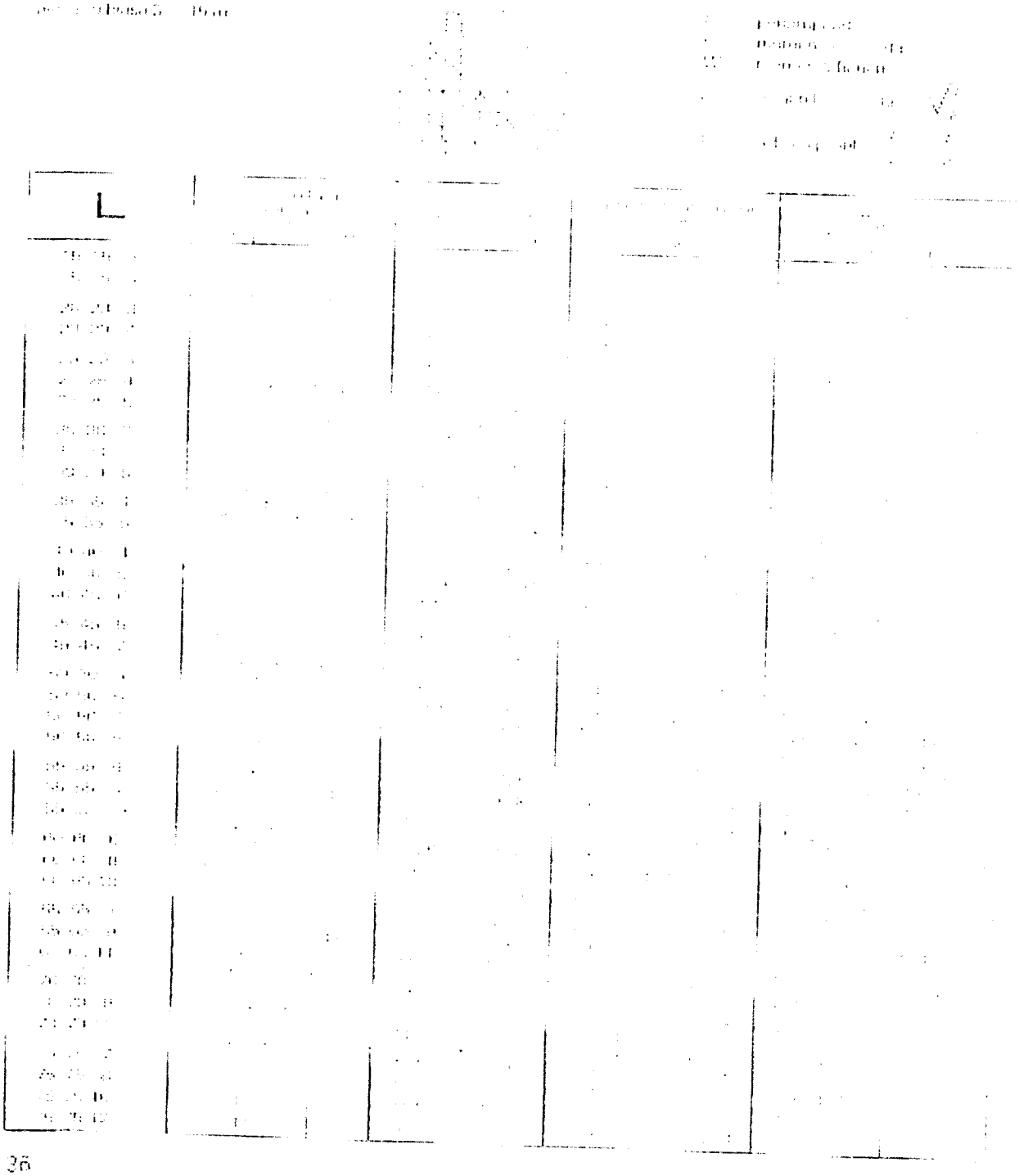
Proses				Tegangan Leleh Minimum (Mpa)	Kekuatan Tarik Minimum (Mpa)
Shield Metal Arc Welding (SMAW) AWS A5.1 atau A5.5	Submerged Arc Welding (SAW) A5.17 atau A5.23	Gas Metal Arc Welding (GMAW) AWS A5.18 atau A5.28	Flux Cored Arc Welding (FCAW) AWS A5.20 atau A5.29		
E60XX			E6XT-X	345	425
	F6X-EXXX			345	425-450
E79XX		ER70S-X	E7XT-X	415	495
	F7X-EXXX			415	485-655
E80XX				460	550
	F8X-EXXX		E8XT	470	550-690
		ER80S		450	550
E100XX				600	690
	F10X-EXXX			605	690-895
		ER100S		620	690
			E10XT	605	690-830
E110X				670	760
	F11X-EXXX			675	760-895
		ER110S		675	760
			E11XT	675	760-860

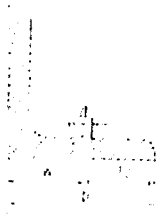
LAMPIRAN 4

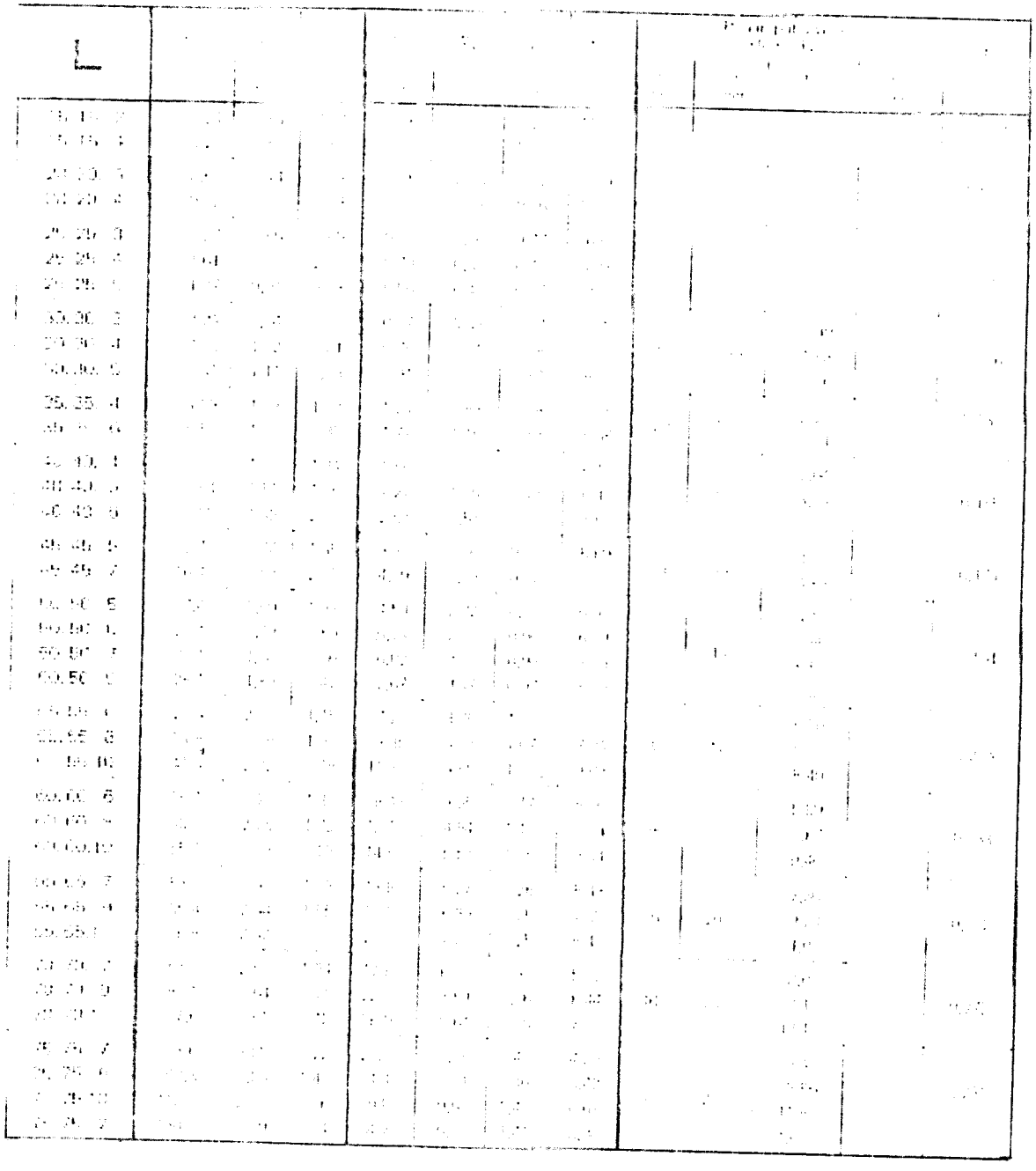
Tabel Dan Gambar Pelengkap

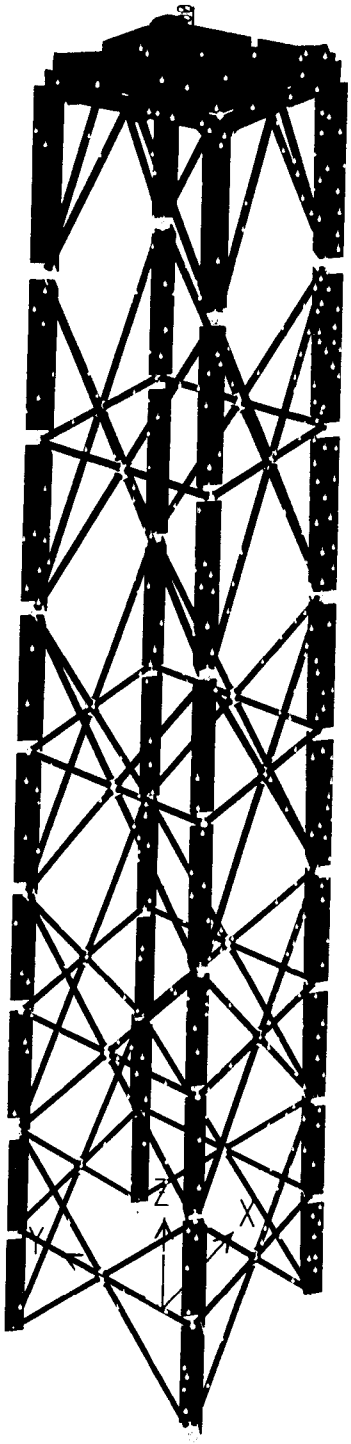
Tabel Profil Konstruksi Baja

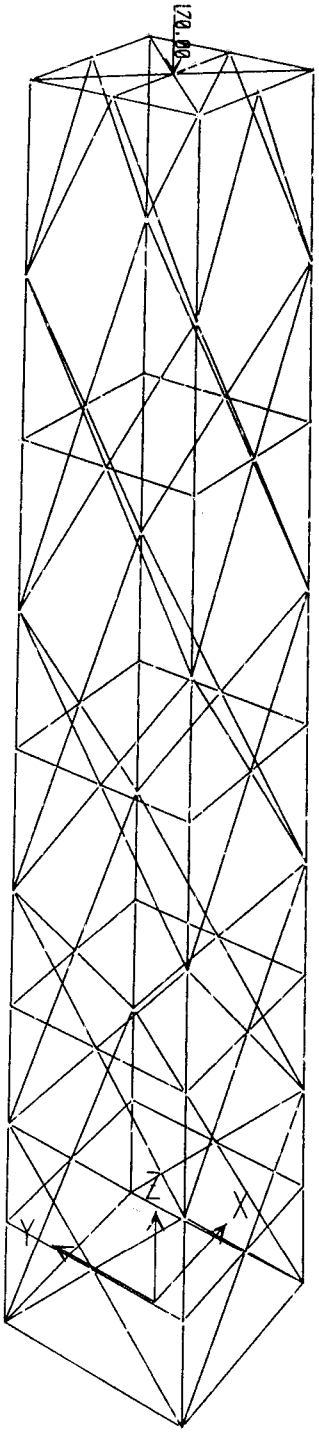
BAJA SIKU-SIKU SAMAKAKI

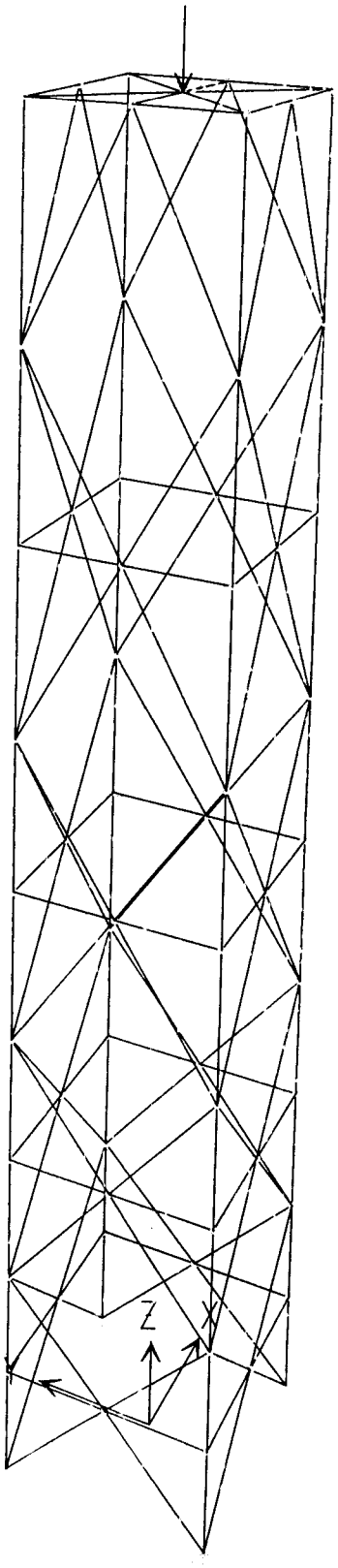


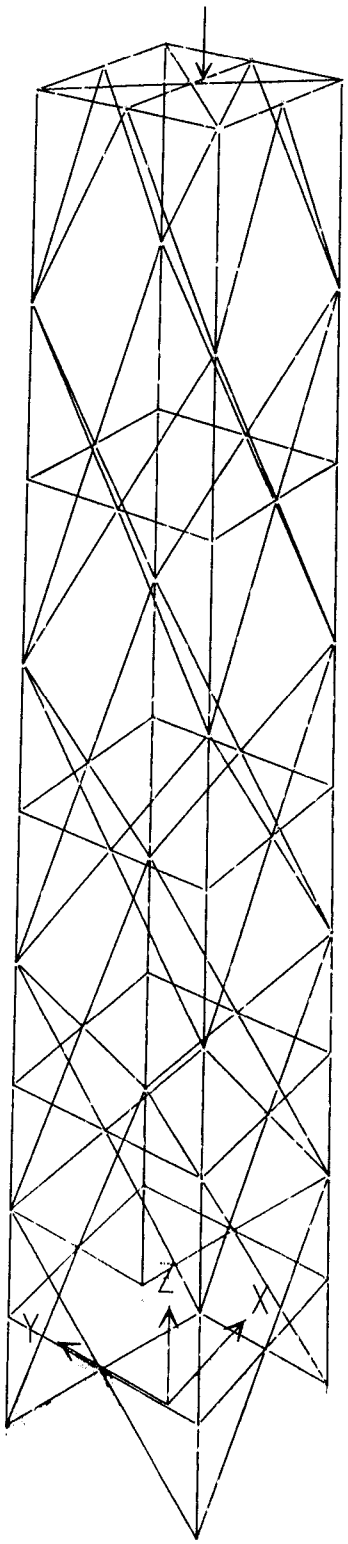


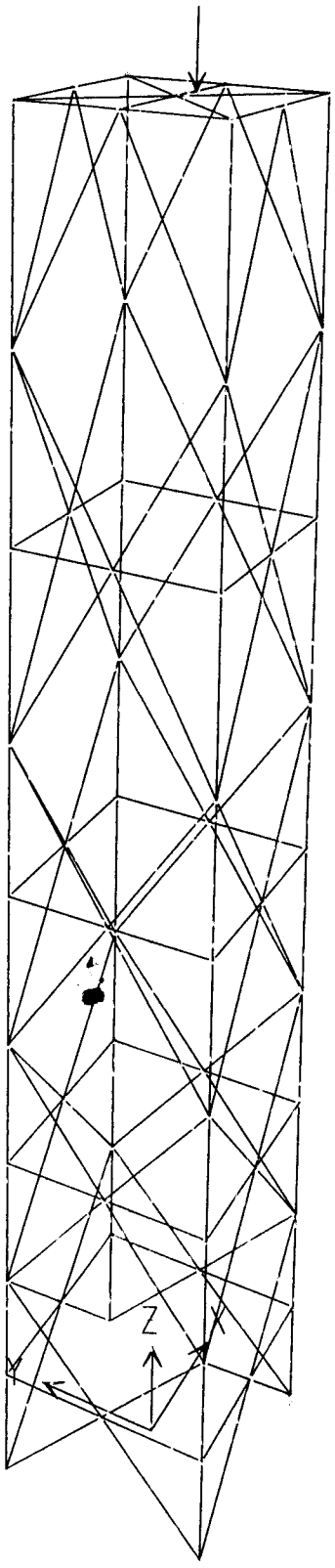


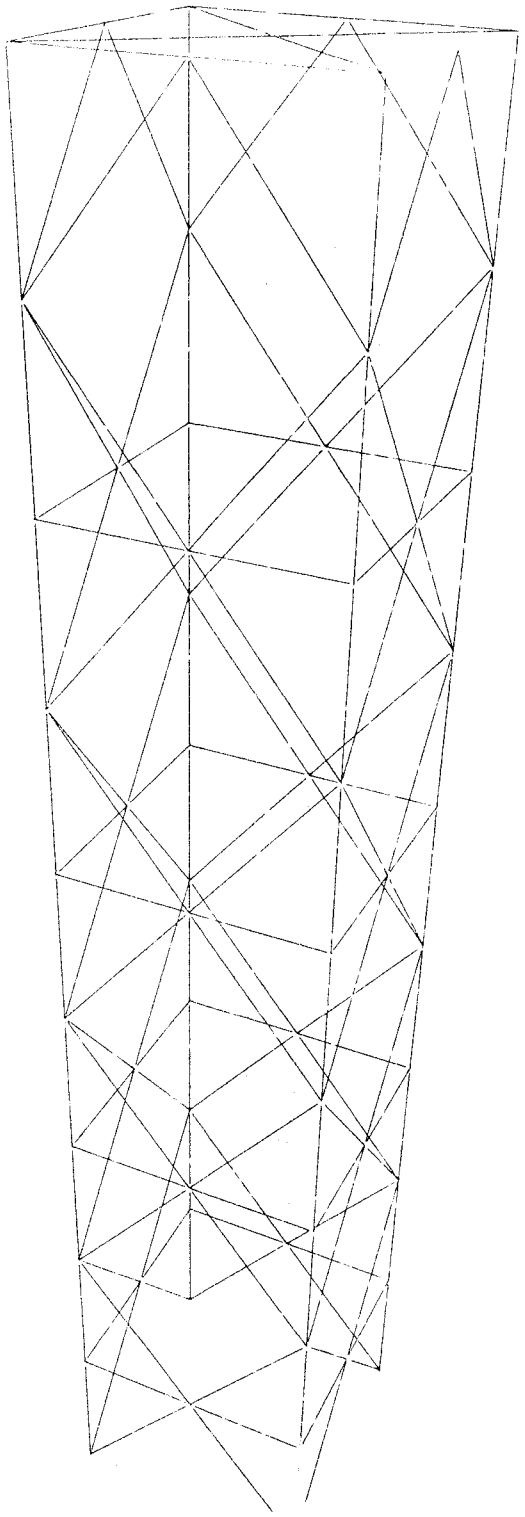

Z
X
Y


Z
Y
X


Z
X


Z
Y
X


Z
Y



LAMPIRAN 5

Lembar Konsultasi Mahasiswa

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN : TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN
KAMPUS : Jalan Kaliurang KM 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, 896440. Fax: 895330
Email : dekanat@ftsp.uii.ac.id. Yogyakarta Kode Pos 55584

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : 155 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ XII /2006
Lamp. : -
H a l : BIMBINGAN TUGAS AKHIR
Periode Ke : II (Des.06- Mei.07)

Jogjakarta, 16-Dec-06

Kepada .
Yth. Bapak / Ibu : Fatkhurrohman N,Ir,MT
di –

Jogjakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.
Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu Agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut di bawah ini :

Na m a	:	Prisca Anggia P
No. Mhs.	:	03 511 205
Bidang Studi	:	Teknik Sipil
Tahun Akademi	:	2006 - 2007

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

Dosen Pembimbing I	:	FatKhurrohman N,Ir,MT
Dosen Pembimbing II	:	Fatkhurrohman N,Ir,MT

Dengan Mengambil Topik /Judul :

. Kapasitas Kolom Tersusun Non Prismatis Dengan Perangkai Diamon Dan Lateral Akibat Pembebanan Eksentris

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

An Dekan
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir.H. Faisol AM,MS

Tembusan
1) Dosen Pembimbing ybs
2) Mahasiswa ybs
3) Arsip 16-Dec-06
4) Sampai Akhir Mei 2007

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN : TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN
KAMPUS : Jalan Kaliurang KM 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, 896440. Fax: 895330
Email : dekanat@ftsp.uii.ac.id. Yogyakarta Kode Pos 55584

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : : 155 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ XII /2006
Lamp. : -
H a l : BIMBINGAN TUGAS AKHIR
Periode Ke : II (Des.06- Mei.07)

Jogjakarta, 16-Dec-06

Kepada .
Yth. Bapak / Ibu : FatKhurrohman N,Ir,MT
di –

Jogjakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.
Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu Agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut di bawah ini :

Na m a	:	Prisca Anggia P
No. Mhs.	:	03 511 205
Bidang Studi	:	Teknik Sipil
Tahun Akademi	:	2006 - 2007

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

Dosen Pembimbing I	:	FatKhurrohman N,Ir,MT
Dosen Pembimbing II	:	Fatkhurrohman N,Ir,MT

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Kapasitas Kolom Tersusun Non Prismatis Dengan Perangkai Diamon Dan Lateral Akibat Pembebanan Eksentris

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

An Dekan
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir.H. Faisol AM,MS

Tembusan
1) Dosen Pembimbing ybs
2) Mahasiswa ybs
3) Arsip. 16-Dec-06
4) Sampai Akhir Mei 2007

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN : TEKNIK SIPIL, ARSITEKTUR, TEKNIK LINGKUNGAN
KAMPUS : Jalan Kaliurang KM 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, 896440. Fax: 895330
Email : dekanat@ftsp.uii.ac.id. Yogyakarta Kode Pos 55584

FM-UII-AA-FPU-09

Nomor : 155 /Kajur.TS.20/ Bg.Pn./ XII /2006
Lamp. : -
H a l : BIMBINGAN TUGAS AKHIR
Periode Ke : II (Des.06- Mei.07)

Jogjakarta, 16-Dec-06

Kepada .
Yth. Bapak / Ibu : Fatkhurrohman N,Ir,MT
di –

Jogjakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.
Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu Agar Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan tersebut di bawah ini :

Na m a	:	Prisca Anggia P
No. Mhs.	:	03 511 205
Bidang Studi	:	Teknik Sipil
Tahun Akademi	:	2006 - 2007

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

Dosen Pembimbing I	:	FatKhurrohman N,Ir,MT
Dosen Pembimbing II	:	Fatkhurrohman N,Ir,MT

Dengan Mengambil Topik /Judul :

Kapasitas Kolom Tersusun Non Prismatis Dengan Perangkai Diamon Dan Lateral Akibat Pembebanan Eksentris

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

An.Dekan
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. H. Faisol AM,MS

Tembusan
1) Dosen Pembimbing ybs
2) Mahasiswa ybs
3) Arsip 16-Dec-06
4) Sampai Akhir Mei 2007

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JL.KALIURANG KM.14,4 TELP.895042
EMAIL : FTSP.UII.AC.ID JOGJAKARTA KODE POS 55584

FM-UII-AA-FPU-09

UNTUK MAHASISWA

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Prisca Anggia P	03 511 205	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR

Kapasitas Kolom Tersusun Non Prismatis Dengan Perangkai Diamon Dan Lateral Akibat Pembebanan Eksentris

PERIODE KE	: II (Des.06- Mei.07)
TAHUN	: 2006 - 2007
Sampai Akhir Mei 2007	

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

Dosen Pembimbing I : FatKhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Fatkhurrohman N,Ir,MT



Jogjakarta , 16-Dec-06
a.n. Dekan

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Ir. H. Faisol AM, MS

Catatan	:	
Seminar	:	
Sidang	:	
Pendadaran	:	

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JL.KALIURANG KM.14.4 TELP.895042
EMAIL : FTSP.UII.AC.ID JOGJAKARTA KODE POS 55584

FM-UII-AA-FPU-09

UNTUK DOSEN

KARTU PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR MAHASISWA

PERIODE KE	:	II (Des.06- Mei.07)
TAHUN	:	2006 - 2007
Sampai Akhir Mei 2007		

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Prisca Anggia P	03 511 205	Teknik Sipil
JUDUL TUGAS AKHIR			
Kapasitas Kolom Tersusun Non Prismatis Dengan Perangkai Diamon Dan Lateral Akibat Pembebanan Eksentris			

Dosen Pembimbing I : FatKhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Fatkhurrohman N,Ir,MT



Jogjakarta , 16-Dec-06
a.n. Dekan

Ir.H.Faisol AM, MS

Catatan	:	
Seminar	:	27 Januari 2007
Sidang	:	6 Juni 2007
Pendadaran	:	