

51 20000423 001

TUGAS AKHIR
PENELITIAN LABORATORIUM

KUAT LENTUR BATANG SUSUN BENTUK
KOTAK DARI PROFIL BENTUKAN DINGIN



PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

disusun oleh :

Purwanto

No Mhs : 98 511 025

Kiswantoro

No Mhs :98 511 085

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

2003



**TUGAS AKHIR
PENELITIAN LABORATORIUM**

**KUAT LENTUR BATANG SUSUN BENTUK KOTAK
DARI PROFIL BENTUKAN DINGIN**

disusun oleh :

Parwanto

No Mhs : 98 511 025

Kiswanto

No Mhs : 98 511 085


Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Suharyatmo, MT.
Dosen pembimbing I

Tanggal :

Ir. Fatkhurohman N., MT.
Dosen pembimbing II

Tanggal :


8/05-2003

“Apakah sama orang yang mengetahui dengan yang tidak tahu sama sekali? Hanyalah orang yang berpikiran tajam saja yang dapat menerima peringatan “

{ D.P. Asy-Jumar (39), 9 }

“Pesungguhnya bersama kesukaran pasti ada kemudahan. Karena itu, bila selesai suatu tugas, mulailah dengan yang lain dengan sungguh-sungguh. Hanya kepada Tuhanmu hendaknya kau berharap “

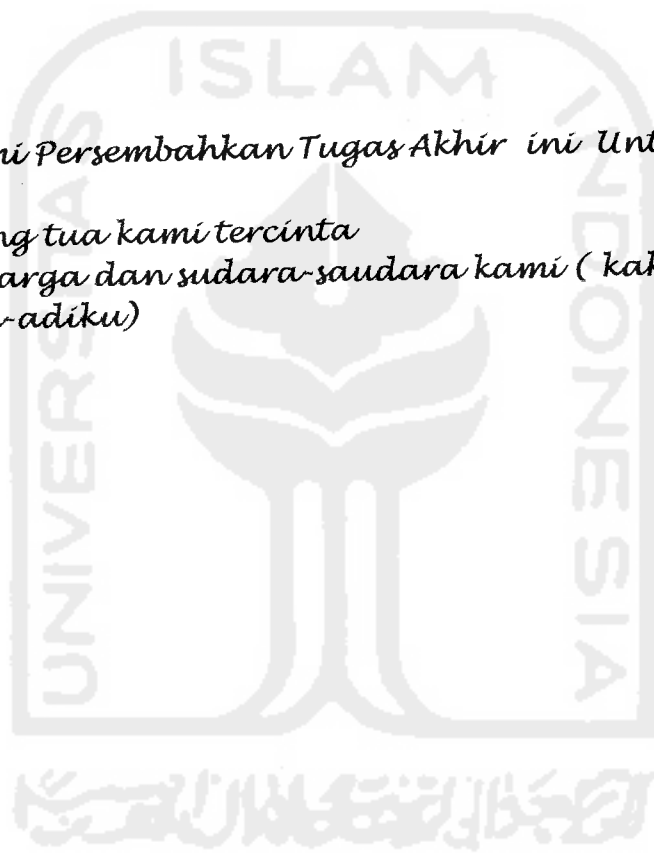
{ D.P. Asy-Pyarih (94), 6-8 }

“Kita tidak bisa mengajarkan apapun pada seseorang, kita hanya bisa membantunya menemukannya sendiri dalam dirinya“

{ Galileo }

Kami Persembahkan Tugas Akhir ini Untuk :

- 1. Orang tua kami tercinta*
- 2. Keluarga dan saudara-saudara kami (kakak dan adik-adiku)*



KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puja dan puji bagi Allah SWT yang telah memberikan berkah, rahmat dan hidayah-Nya kepada penyusun, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir yang berjudul "Kuat Lentur Batang Susun Bentuk Kotak dari Profil Bentukan Dingin", penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk memperoleh hasil yang sebaik-baiknya sesuai dengan kemampuan dan pengetahuan yang ada pada penulis serta berpegang pada buku-buku referensi, pedoman dan petunjuk yang terpakai. Penulis sadar bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang ada pada penulis, untuk itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Selama menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT., selaku Dosen Pembimbing I tugas akhir,
2. Bapak Ir. Fatkhurohman N, MT., selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir,
3. Bapak Prof. Ir. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
4. Bapak Ir. H. Munadhir, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Orang Tua kami tercinta, untuk doa, motivasi dan pengertian yang tidak ada habisnya hingga penulis dapat menyelesaikan studi dan Tugas Akhir.
6. Teman-teman yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis, serta semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu.

Atas budi dan amal baik yang telah diberikan, penulis hanya dapat memanjatkan doa, semoga Allah SWT memberikan balasan yang setimpal. Amin

Selanjutnya penulis berharap, semoga hasil yang diperoleh dari penelitian ini bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Jogjakarta Februari 2003

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
INTISARI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB III LANDASAN TEORI	6
3.1 Batang Tersusun Bentuk Kotak.....	6
3.2 Stabilitas dan Kapasitas Lentur Balok	8

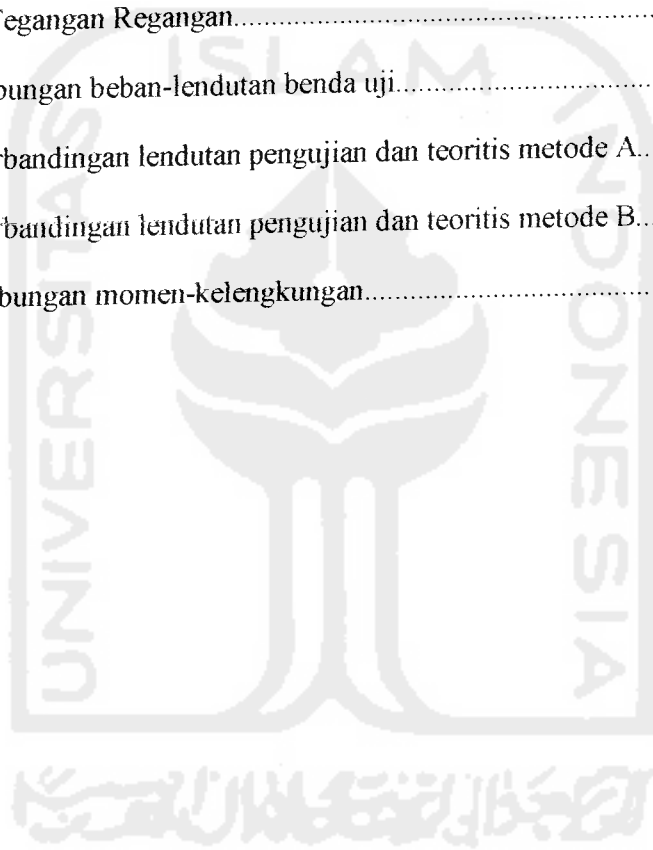
3.3 Tekuk pada Sayap.....	9
3.4 Lentur pada Bidang Badan	11
3.5 Tekuk Akibat geser	13
3.5.1 Tekuk Elastis Akibat geser Murni	13
3.5.2 Tekuk Inelastis Akibat geser Murni.....	14
3.5.3 Kekuatan geser	14
3.6 Hubungan Momen dengan Kelengkungan.....	16
3.7 Hubungan Beban-Lendutan.....	21
3.8 Daktilitas.....	22
3.9 Kekakuan.....	24
3.10 Mutu Baja Berdasarkan Tegangan Leleh.....	25
3.11 Hipotesa.....	25
BAB IV METODE PENELITIAN.....	26
4.1 Tinjauan Umum.....	26
4.2 Persiapan Bahan dan Alat.....	26
4.2.1 Bahan.....	26
4.2.2 Peralatan Penelitian.....	26
4.3 Model Benda Uji	30
4.4 Pembuatan Benda Uji	31
4.5 Pengujian Benda Uji	32
4.5.1 Pengujian Kuat Tarik Baja	32
4.5.2 Pengujian Kuat Geser Las	33
4.5.3 Pengujian Kuat Lentur.....	33

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	35
5.1 Hasil Pengujian Benda uji Pendahuluan	35
5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Susun Bentuk Kotak.....	37
5.2.1 Hubungan Beban-Lendutan dari Hasil Pengujian.....	37
5.2.2 Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dan Pengujian	38
5.2.3 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan.....	42
5.2.4 Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian.....	43
5.2.5 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan	44
5.3 Analisa Kerusakan pada Benda Uji	45
5.4 Pembahasan.....	45
5.4.1 Kuat Lentur Balok Berdasarkan Hubungan Beban- Lendutan.....	45
5.4.2 Daktilitas Simpangan Ditinjau dari Hubungan Beban- Lendutan.....	46
5.4.3 Kuat Lentur Balok Berdasarkan Hubungan Momen- Kelengkungan	47
5.4.4 Daktilitas Simpangan Ditinjau dari Hubungan Momen- Kelengkungan	48
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
6.1 Kesimpulan.....	50
6.2 Saran.....	51

DAFTAR GAMBAR

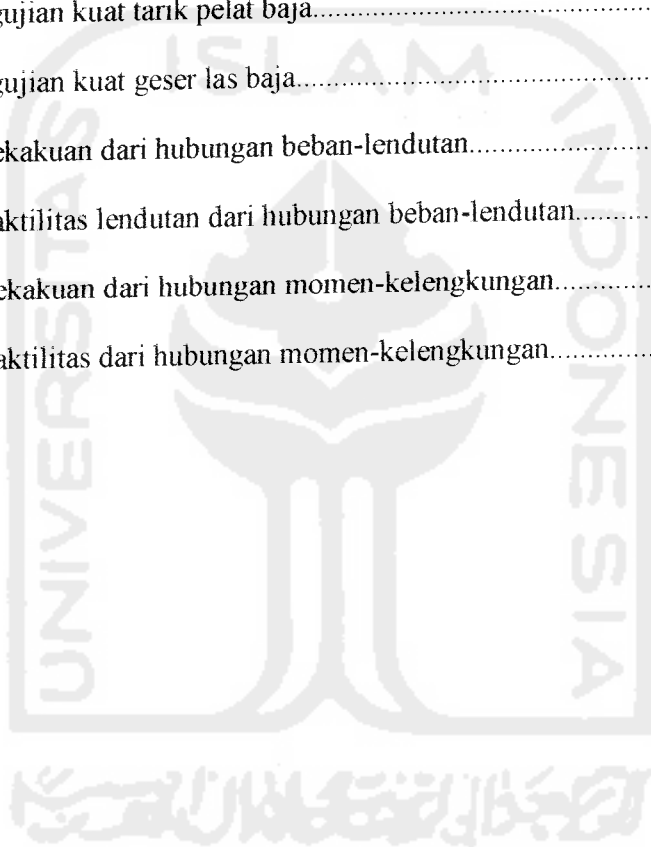
3.1 Elemen gelagar batang susun bentuk kotak.....	7
3.2 Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan.....	7
3.3 Potongan melintang balok bentuk kotak.....	8
3.4 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar.....	10
3.5 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak.....	11
3.6 Koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni.....	12
3.7 Aksi medan tarik.....	15
3.8 Deformasi segmen balok dalam lenturan.....	17
3.9 Momen kelengkungan.....	18
3.10 Lendutan beban titik pada $1/3$ dan $2/3$ bentang.....	21
3.11 Grafik hubungan beban dan lendutan.....	22
3.12 Grafik hubungan momen dan kelengkungan.....	23
3.13 Kekakuan dari grafik beban-lendutan.....	24
3.14 Kekakuan dari grafik momen-kelengkungan.....	25
4.1 <i>Loading frame</i>	27
4.2 <i>Dial Gauge</i>	28
4.3 <i>Hydraulic Jack</i>	28
4.4 Detail dukungan penampang gelagar.....	29
4.5 Mesin Uji Kuat Tarik.....	29
4.6 Metode perletakan benda uji gelagar.....	30

4.7 Model benda uji Metode A.....	31
4.8 Model benda uji Metode B.....	31
4.9 Detail model benda uji gelagar.....	32
4.10 Model benda uji kuat tarik baja.....	33
4.11 Model benda uji kuat geser las.....	33
4.12 Model pembebanan.....	34
5.1 Diagram Tegangan Regangan.....	35
5.2 Grafik hubungan beban-lendutan benda uji.....	38
5.3 Grafik perbandingan lendutan pengujian dan teoritis metode A.....	40
5.4 Grafik perbandingan lendutan pengujian dan teoritis metode B.....	41
5.5 Grafik hubungan momen-kelengkungan.....	43



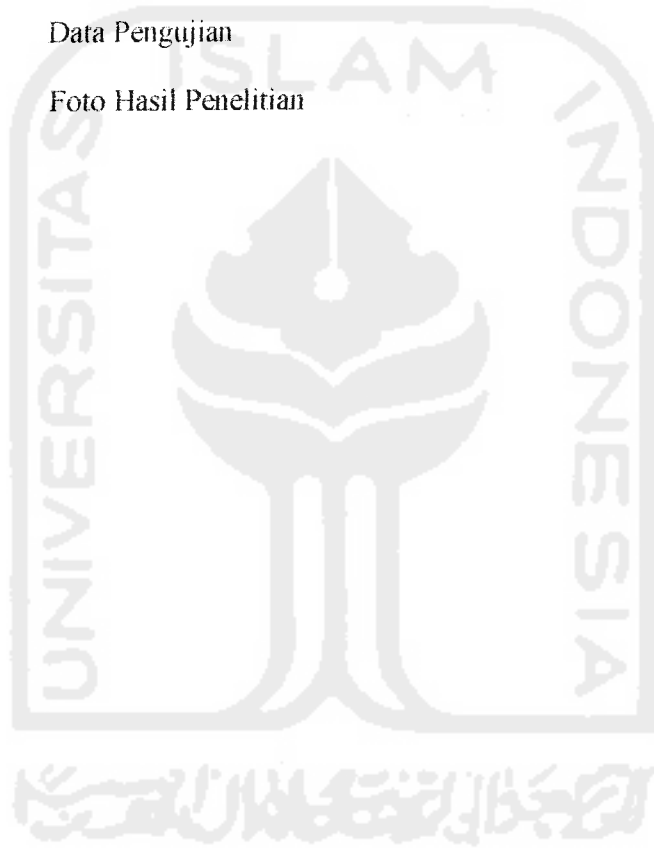
DAFTAR TABEL

3.1 Harga tegangan dasar.....	25
5.1 Hasil pengujian kuat tarik pelat baja.....	36
5.2 Hasil pengujian kuat geser las baja.....	36
5.3 Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan.....	42
5.4 Analisa daktilitas lendutan dari hubungan beban-lendutan.....	42
5.5 Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan.....	44
5.6 Analisa daktilitas dari hubungan momen-kelengkungan.....	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Kartu Peserta Tugas Akhir
Lampiran II	Perhitungan Kuat Tarik Baja dan Kuat Geser Las
Lampiran III	Perhitungan Beban Rencana
Lampiran IV	Perhitungan Nilai Koefisien Kekakuan
Lampiran V	Data Pengujian
Lampiran VI	Foto Hasil Penelitian



DAFTAR NOTASI

Asayap	= Luas bruto sebuah flens
b	= Lebar
b/t	= Rasio lebar terhadap tebal
C	= Gaya tekan
C_v	= Rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh
d	= Tinggi penampang baja
D	= Rigiditas fleksural per panjang satuan pelat
E	= Modulus elastisitas baja
EI	= Faktor kekakuan lentur
F_{cr}	= Tegangan kritis
F_y	= Tegangan leleh
F_u	= Tegangan tarik ultimit
h	= jarak antara pusat-pusat flens, tinggi pelat badan
I_x	= Momen inersia sumbu x
k	= Koefisien tekukan pelat
L	= Panjang bentang
M	= momen lentur
M_p	= Kekuatan momen plastis
M_y	= Momen lentur dari tegangan σ_y
p	= Beban aksial layanan
S	= Modulus penampang elastis

S_x	= Modulus penampang elastis menurut sumbu x
S_y	= Modulus penampang elastis menurut sumbu y
t	= Ketebalan
T	= Gaya tarik
v	= Tegangan geser
v_n	= Kekuatan geser nominal
z	= Modulus plastis
ϵ	= Regangan
Δ	= Defleksi atau lendutan
Δ_u	= Lendutan pada beban maksimum
Δ_y	= Lendutan pada pertama leleh
Δ_{tot}	= lendutan total
λ_c	= Parameter kelangsingan
μ	= Rasio poisson
$\mu_{simpangan}$	= Daktilitas simpangan
$\mu_{kelengkungan}$	= Daktilitas kelengkungan
ϕ	= Faktor resistansi
τ	= Tegangan geser
τ_{cr}	= Tegangan tekuk geser
τ_y	= Tegangan leleh geser
ϕ	= Kelengkungan
Φ_u	= kelengkungan pada momen maksimum
Φ_y	= kelengkungan pada pertama leleh

Φ_{tot} = kelengkungan total

σ = Tegangan pada flens

π = Konstanta = 3,15



INTISARI

Batang susun bentuk kotak dari profil C bentukan dingin merupakan suatu inovasi sehingga dapat digunakan untuk balok yang menahan beban tidak terlalu besar. Profil C bentukan dingin memiliki rasio lebar terhadap tebal (b/t) yang besar sehingga mengakibatkan tegangan kritisnya menjadi kecil, hal ini dapat menyebabkan terjadinya tekuk lokal pada sayap maupun tekuk lokal pada badan. Penelitian laboratorium ini merupakan usaha untuk mengetahui kuat lentur batang susun bentuk kotak dari profil bentukan dingin yang dapat dilihat dari hubungan beban dengan lendutan ($P-\Delta$) dan hubungan momen dengan kelengkungan ($M-\Phi$), dari hubungan tersebut akan didapatkan nilai kekakuan dan daktilitas dari profil bentukan dingin.

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat lentur batang susun bentuk kotak dengan metode A kemampuan menerima bebannya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi penampang, dan mencapai beban maksimum sebesar 21kN pada tinggi penampang 150 mm. Sedangkan dengan metode B walaupun mempunyai ukuran profil yang sama kemampuan menerima bebannya berkurang menjadi 15 kN. Nilai kekakuan maksimum dari batang susun bentuk kotak dengan metode A terjadi pada benda uji-3 (dari tinjauan hubungan beban –lendutan 607,29 kN/m dan dari tinjauan hubungan momen-kelengkungan 309187279,2 kNmm²). Sedangkan nilai kekakuan maksimum dengan metode B terjadi pada benda uji-6 (dari tinjauan hubungan beban –lendutan 156,33 kN/m dan dari tinjauan hubungan momen-kelengkungan 44792164,36 kNmm²). Nilai daktilitas batang susun bentuk kotak dari hubungan beban-lendutan dengan metode A berkisar 1,136 sampai dengan 1,883 dan dengan metode B berkisar 1,068 sampai dengan 1,205. Sedangkan nilai daktilitas dari hubungan momen-kelengkungan dengan metode A berkisar 1,24 sampai dengan 1,975 dan dengan metode B berkisar 1,032 sampai dengan 1,266

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan material struktur yang daktail dan mempunyai kuat tarik cukup tinggi sehingga cocok digunakan sebagai komponen struktur bangunan gedung. Penggunaan baja sebagai komponen struktur bangunan gedung terus berkembang seiring dengan tuntutan desain dan efisiensi biaya.

Profil canai bentukan dingin mempunyai rasio tinggi terhadap tebal (h/t) yang besar sehingga menyebabkan tegangan kritis (F_{cr}) menjadi kecil. Stabilitas penampang kotak yang terbuat dari profil canai bentukan dingin yang menerima gaya desak perlu mendapat perhatian karena sangat peka terhadap tekuk, baik berupa tekuk lokal pada sayap maupun tekuk lokal pada badan.

Keterbatasan bentuk dan ukuran penampang baja bentukan dingin di pasaran menjadi alasan profil bentukan dingin hanya digunakan untuk struktur lentur bentang pendek atau yang memikul momen kecil pada struktur bangunan gedung. Sedangkan untuk mengantisipasi struktur lentur bentang panjang maka dilakukan inovasi dengan menggunakan batang-batang tersusun yang terdiri dari komponen pelat yang meliputi bagian sayap dan badan gelagar.

Oleh karena itu maka dilakukan terobosan dengan melakukan penelitian batang susun bentuk kotak dari profil canai bentukan dingin untuk mengetahui

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian maka perlu adanya batasan sebagai berikut :

1. Baja yang dipergunakan untuk penelitian adalah batang susun bentuk kotak dengan menggunakan profil canai C 100x50x2, C 125x50x2, C 150x50x2.
2. Pengujiannya hanya pada kuat lentur murni batang susun dengan pembebanan statis secara bertahap.
3. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung las
4. Bentang batang susun bentuk kotak (L) konstan yaitu: 3000 mm

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dan pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Balok (gelagar) adalah bagian konstruksi yang mengangkut beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya lintang dengan tahanan lentur sebagai parameter disain yang mempunyai arti penting khusus. (**Joseph E. Bowles, 1985**)

Girder pelat adalah elemen struktur lentur tersusun yang di desain dan di pabrikasi untuk memenuhi kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang giras panas biasa. (**Spiegel dan Limbrunner, 1991**)

Balok pada umumnya merupakan elemen struktur yang berfungsi memikul beban lentur. Biasanya elemen struktur ini diatur sedemikian rupa sehingga beban lentur yang diterimanya adalah beban lentur searah (lentur yang terjadi pada satu bidang). Muatannya biasanya dianggap bekerja pada titik pusat geser, sehingga torsi tidak perlu diperhitungkan (**Padosbajayo, 1992**)

Nilai koefisien tekuk pada pelat tipis bentuk penampang kotak sangat dipengaruhi oleh perbandingan antara lebar sayap dengan tinggi badan (b/d) dan perbandingan antara tebal sayap dengan tebal badan (T/t). (**NS. Trahair dan MA. Bradford, 1988**)

Gelagar tersusun terdiri dari elemen-elemen pelat, sehingga koefisien kekakuannya didasarkan pada angka kelangsingan (b/t). Disamping itu juga di

pengaruhi oleh kondisi dari tumpuan tepinya yaitu tumpuan jepit, tumpuan sederhana, dan tumpuan bebas. (**Salmon dan Johnson, 1986**)

Tekuk lokal dipengaruhi oleh nilai b/t bila nilai b/t rendah, pengerasan regangan dapat tercapai tanpa mengalami tekuk, sedang untuk harga b/t menengah, tegangan sisa dan ketidaksempurnaan menyebabkan tekuk tak elastik atau masa transisi dan untuk b/t besar maka akan melampaui kekuatan tekuk yakni pelat itu akan menunjukkan terjadinya kekuatan pasca tekuk. (**Salmon dan Johnson, 1992**)

Pada batang yang panjang dengan beban yang berat pemakaian profil tunggal tidaklah hemat karena lebih berat daripada profil tersusun pada umumnya, disamping itu juga pada profil tersusun jarak antar profil dapat diatur sehingga momen inersia terhadap semua sumbu dapat memenuhi kebutuhan. (**Oentoeng, 1999**)

Tegangan kritis pada gelagar dipengaruhi oleh nilai konstanta (k), modulus elastis bahan (E) dan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) (**Salmon dan Johnson, 1996**)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Batang Tersusun Bentuk Kotak

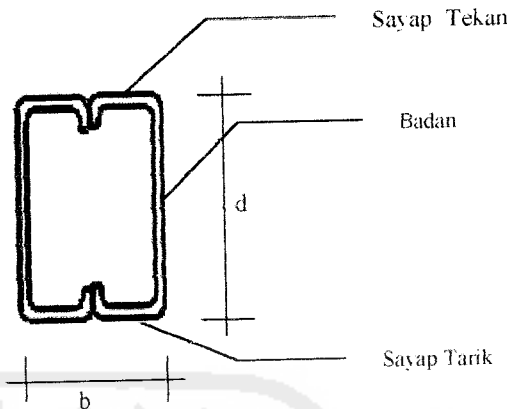
Batang tersusun bentuk kotak adalah gabungan dua batang atau lebih, satu dengan yang lain dirangkai atau dihubungkan sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan. Batang tersusun sering dipergunakan pada kondisi-kondisi sebagai berikut:

- a. Kapasitas profil yang tersedia belum mencukupi.
- b. Diperlukan batang dengan kekakuan besar.
- c. Detail sambungan membutuhkan penampang tertentu.
- d. Faktor estetika (**PADOSBAJAYO, 1992**)

Kekakuan sebuah bagian konstruksi terusun, seperti yang diukur oleh jari-jari girasi, dapat dikontrol oleh perancang sehingga penggunaan penampang-penampang ini di tempat-tempat di mana terjadi pembalikan tegangan (bagian konstruksi menerima beban tarik dan beban tekan) adalah salah satu keuntungan utama yang mengimbangi sebagian biaya pembuatan yang cukup banyak.

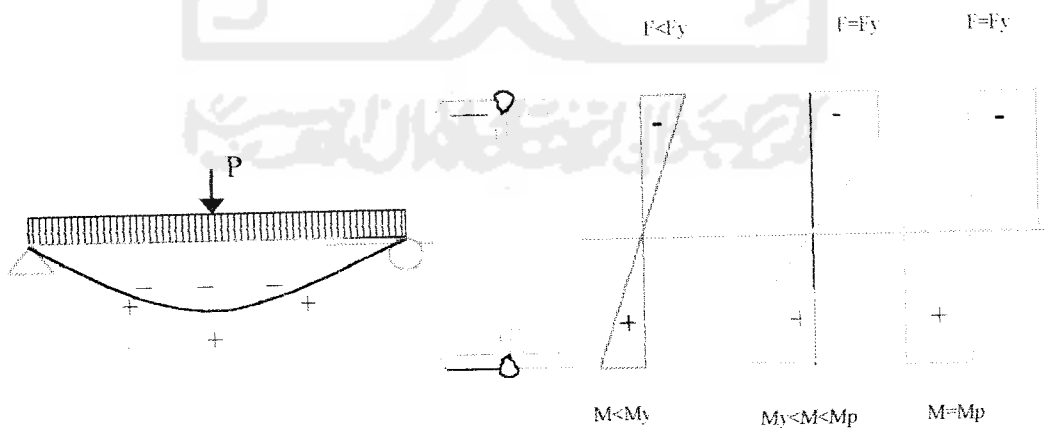
Secara umum plat dapat digolongkan menjadi dua yaitu elemen plat yang diperkuat yaitu elemen yang bertumpu pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan dan elemen plat yang tidak diperkuat yaitu elemen yang bertumpu pada satu tepi dan bebas ditepi yang lain yang sejajar arah tegangan

tekan. Adapun elemen - elemen gelagar bentuk kotak dapat digambarkan sebagai berikut:

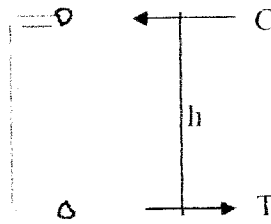


Gambar 3.1 Elemen gelagar batang susun bentuk kotak

Struktur lentur badan dengan tumpuan sederhana dapat dipandang sebagai struktur rangka batang. Bila struktur itu menerima beban transversal, maka struktur tersebut akan mengalami deformasi dan menerima momen. Batang tepi atas struktur tersebut mengalami gaya tekan, stabilitas struktur tekan perlu mendapat perhatian karena sangat peka terhadap faktor- faktor yang dapat mengakibatkan tekuk. Sedangkan pada batang bagian bawah akan mengalami gaya tarik.



Gambar 3.2 Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan



Gambar 3.3 Potongan melintang balok bentuk kotak

Dari Gambar 3.3 menghasilkan Persamaan keseimbangan :

$$C = T \quad (3.1)$$

Sehingga dapat dituliskan bahwa besarnya momen adalah hasil kali antara resultan gaya tekan (C) terhadap jarak dari titik tangkap gaya tekan ke titik tangkap gaya tarik (T).

$$M_{\text{sayap}} = C \cdot h \quad (3.2)$$

dimana $C = A_{\text{sayap}} \cdot F_{cr}$

sehingga dari Persamaan 3.2 didapatkan

$$M_{\text{sayap}} = A_{\text{sayap}} \cdot F_{cr} \cdot h \quad (3.3)$$

Sedangkan momen untuk badan adalah

$$M_{\text{badan}} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot t \cdot h^2 \cdot F_{cr} \quad (3.4)$$

Momen nominal balok bentuk kotak adalah :

$$M = M_{\text{badan}} + M_{\text{sayap}}$$

$$M = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot t \cdot h^2 \cdot F_{cr} + A_{\text{sayap}} \cdot F_{cr} \cdot h \quad (3.5)$$

3.2 Stabilitas dan Kapasitas Lentur Balok

Ketidakstabilan batang-batang yang mengalami lentur, dibatasi oleh tekuk setempat pada sayap dan tekuk setempat pada badan. Dua peristiwa tekuk lokal tersebut diatas merupakan fungsi rasio lebar terhadap tebal (b/t). Tekuk

lokal menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat lagi menanggung bagian beban yang harus diterimanya. Keruntuhan akibat tekuk lokal ini terjadi pada batang yang langsing dimana tegangan kritis (F_{cr}) yang dimiliki jauh dibawah tegangan lelehnya (F_y).

3.3 Tekuk pada Sayap

Persamaan diferensial untuk lenturan plat homogen di tunjukan pada Persamaan 3.6. (Timoshenko and Woinowski, 1959)

$$D \left(\frac{\delta^4 \omega}{\delta x^4} + 2 \frac{\delta^4 \omega}{\delta x^2 \delta y^2} + \frac{\delta^4 \omega}{\delta y^4} \right) = q \quad (3.6)$$

dimana : ω = besar defleksi ; D = angka kekakuan (EI) = $\{E t^3 / 12 (1 - \mu^2)\}$;
 μ = angka poisson ; q = komponen beban transversal akibat lenturan pelat

Kekuatan batas plat terhadap tekanan tergantung banyak faktor jika dianggap bersifat elastis plastis ideal dan tidak mengandung tegangan residu distribusi tegangan akan tetap merata sampai tegangan tekuk elastis F_{cr} tercapai. Berdasarkan pengembangan Persamaan 3.6 didapatkan Persamaan tegangan kritis elastis teoritis:

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t} \right)^2} \quad (3.7)$$

F_{cr} dipengaruhi oleh besarnya k (Jika k kecil F_{cr} juga kecil) dan rasio lebar terhadap tebal (b/t).

Agar mendapatkan penampang plat yang kompak $F_{cr} = F_y$ sehingga

$$F_y = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t} \right)^2} \quad (3.8)$$

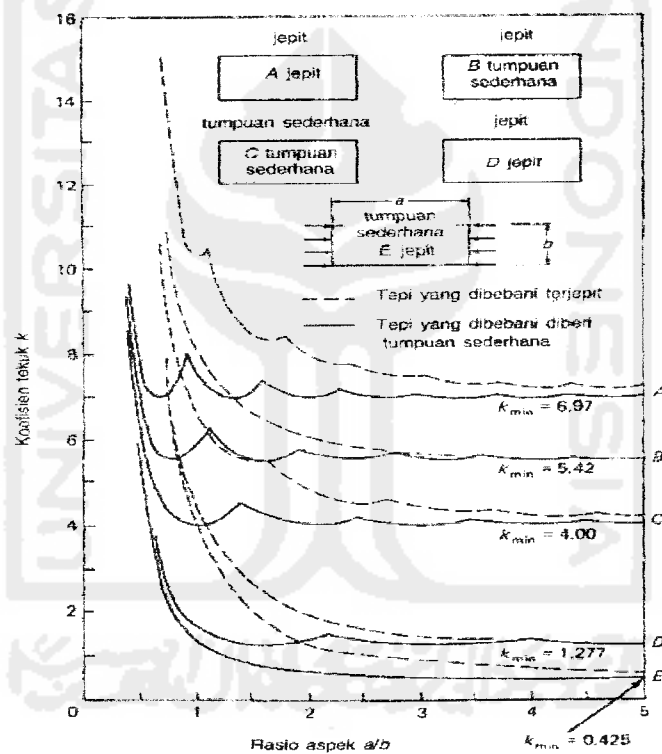
dari Persamaan 3.8 didapatkan

$$\left(\frac{b}{t}\right)^2 = k \frac{\pi^2 E}{F_y \cdot 12(1-\mu^2)} \quad (3.9)$$

sehingga diperoleh

$$\frac{b}{t} = \sqrt{\frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y \cdot 12(1-\mu^2)}} \quad (3.10)$$

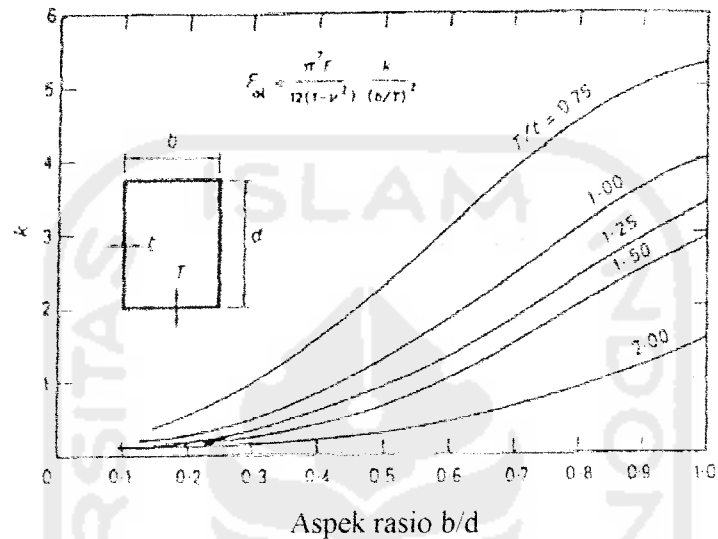
Gambar 3.4 memperlihatkan variasi k terhadap rasio a/b untuk kondisi tepi ideal yang umum yaitu jepit, tumpuan sederhana, dan bebas.



Gambar 3.4 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar

Terlihat dari Gambar 3.4 bahwa untuk plat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai $k_{min} = 6,79$ dan untuk plat dengan tumpuan sederhana jepit (B) nilai $k_{min} = 5,42$. Pada plat dengan tumpuan sederhana-sederhana nilai k_{min}

= 4, untuk plat jepit bebas nilai $k_{min} = 1,277$ serta untuk plat dengan tumpuan sederhana bebas nilai $k_{min} = 0,425$. Berarti nilai k dipengaruhi oleh rasio a/b dan kondisi dari tepi-tepi pelat dimana semakin besar nilai a/b maka nilai k akan mendekati konstan.



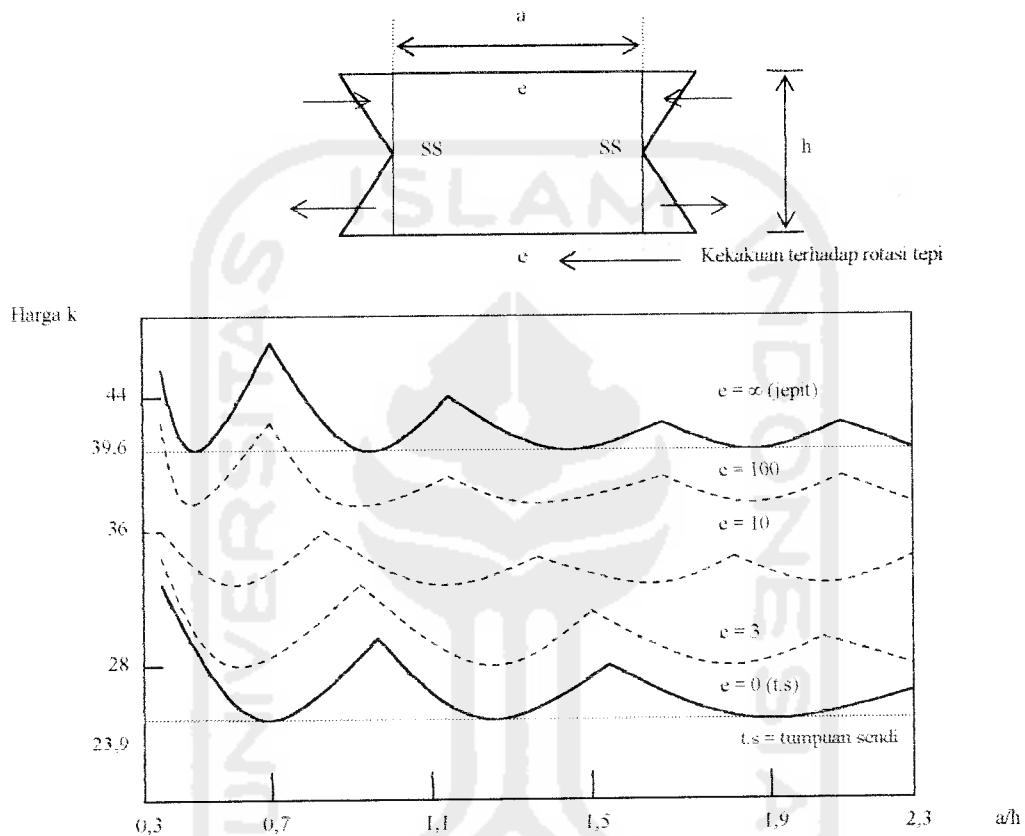
Gambar 3.5 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak
(NS. Trahair dan MA. Bradford (1988))

Dari gambar 3.5 dapat diketahui bahwa nilai koefisien tekuk pada pelat tipis bentuk penampang kotak sangat dipengaruhi oleh rasio lebar sayap dengan tinggi badan dan perbandingan antara tebal sayap dengan tebal badan. Nilai k akan besar apabila (b/d) besar dan nilai (T/t) kecil.

3.4 Lentur pada Bidang Badan

Penurunan harga k secara teoritis untuk lentur pada bidang plat Badan dijabarkan oleh **Timoshenko dan Woinowski-kriger (1959)**. Untuk sembarang jenis pembebanan, nilai k bergantung pada rasio bentuk a/h dan kondisi tumpuan sepanjang tepi. jika plat bisa dianggap jepit sempurna sepanjang tepi

yang sejajar arah pembebanan maka harga k minimum untuk sembarang rasio a/h menjadi 39,6. Jika sayap dianggap tidak mengekang secara rotasi tepi maka harga k minimum menjadi 23,9. Variasi nilai k terhadap rasio a/h ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni

Nilai tegangan kritis (dengan $E = 200.000 \text{ MPa}$) bisa dikatakan terletak

antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa untuk } k = 23,9 \text{ (tumpuan sederhana di sayap)} \quad (3.11)$$

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)} \quad (3.12)$$

3.5 Tekuk Akibat Geser

3.5.1 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut **Salmon dan Johnson, 1986**, Untuk kasus geser murni maka Persamaan 3.7 bisa ditulis (dengan mengganti I' dengan τ untuk tegangan geser).

$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{\text{sisipendek}}{t} \right)^2} \quad (3.13)$$

dimana untuk kasus tepi bertumpuan sederhana (yakni perpindahan dicegah tetapi rotasi terhadap tepi tidak dikekang).

$$k = 5,34 + 4,0 \left(\frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \quad (3.14)$$

Untuk perencanaan, bahwa jika kita hendak memakai h/t sebagai rasio stabilitas pada penyebut, maka diperlukan dua ekspresi untuk k . Untuk semua rentang a/h , bisa dituliskan sebagai :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E k}{12(1-\mu^2) (h/t)^2} \quad (3.15)$$

dengan :

$$k = 4,0 + 5,34/(a/h)^2, \text{ untuk } a/h \leq 1 \quad (3.16)$$

$$k = 4,0/(a/h)^2 + 5,34, \text{ untuk } a/h \geq 1 \quad (3.17)$$

Untuk penggunaan dalam persamaan-persamaan desain, persamaan 3.15 telah dibuat dalam bentuk nondimensional, dengan mendefinisikan C_v sebagai rasio tegangan geser τ_{cr} pada saat tekuk terhadap tegangan leleh τ_y .

kuat lentur batang susun tersebut. Sehingga dapat diketahui seberapa layak gelagar susun dari kanal dingin dapat digunakan sebagai struktur lentur bangunan gedung dipandang dari segi efektifitas dan efisiensi penggunaannya.

1.2 Rumusan Masalah

Menyelidiki kuat lentur batang susun bentuk kotak dari profil canai bentukan dingin tanpa pengaku dan perilaku batang akibat momen yang sebagian penampang menerima tegangan tekan dan sebagian lagi menerima tarik. Bagian penampang gelagar yang menerima tegangan tekan rawan terhadap bahaya tekuk yang dapat berupa tekuk lokal dan tekuk lateral.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur lentur gelagar gabungan dari 2 lipped channel bentukan dingin dari :

1. hubungan beban dan lendutan ($P - \Delta$),
2. hubungan momen dan kelengkungan ($M - \Phi$).

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui :

1. Kuat lentur batang susun bentuk kotak dari profil bentukan dingin
2. Sebagai salah satu pertimbangan dalam perencanaan suatu bangunan struktur baja apabila menggunakan batang susun bentuk kotak.
3. Memberikan masukan kepada para pembaca sebagai pengetahuan yang bermanfaat untuk perencanaan bangunan struktur baja.

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{\tau_y (12)(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.18)$$

di mana C_v untuk stabilitas elastis.

Substitusi nilai $E = 200000 \text{ MPa}$, $\mu = 0,3$, $\tau_y = 0,6 F_{yw}$ ke Persamaan 3.18 menjadi :

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t)^2 F_{yw} (\text{Mpa})} \quad (3.19)$$

3.5.2 Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni

Dalam situasi stabilitas, tegangan sisa dan ketaksempurnaan (*imperfection*) mengakibatkan tekuk tak elastik pada saat tegangan kritis mendekati tegangan leleh. (**Salmon dan Jhonson,1986**)

$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{\text{batas proporsional}} \tau_{cr(\text{elastikideal})}} \quad (3.20)$$

Batas proporsional diambil sebagai $0,8\tau_y$, yang lebih besar daripada untuk tekan dalam flens, karena efek tegangan sisa lebih sedikit. Pembagian Persamaan 3.20 dengan τ_y untuk mendapatkan C_v dan dengan menggunakan persamaan 3.19 memberikan

$$C_v = \frac{491}{h/t_w} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.21)$$

3.5.3 Kekuatan Geser

a) Geser Nominal

Menurut **Salmon dan Johnson, 1996**, kekuatan geser nominal V_n dari suatu gelagar berdasarkan tekuk tak-elastik atau elastik badan dapat dinyatakan:

$$V_n = \tau_{cr} A_w \quad (3.22)$$

atau dengan menggunakan $C_v = \tau_{cr} / \tau_y$, maka,

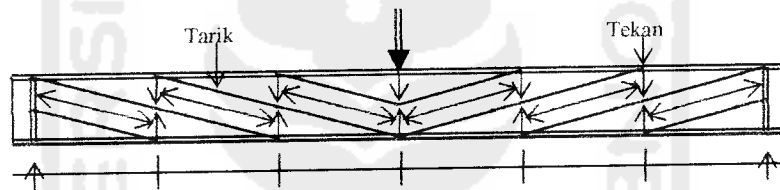
$$V_n = C_v \tau_y A_w \quad (3.23)$$

jika $\tau_y = 0.6F_y$ dan $C_v = 1$ maka

$$V_n = (0.6F_y) A_w \quad (3.24)$$

b) Kekuatan Geser Nominal Termasuk Aksi Medan Tarik

Kekuatan geser V_{tf} berasal dari aksi medan tarik dalam badan gelagar menimbulkan suatu pita gaya-gaya tarik yang terjadi setelah badan itu mengalami tekuk akibat tekan diagonal.



Gambar 3.7 Aksi medan tarik (Salmon dan Jhonson, 1986)

Kekuatan geser nominal V_n dapat dinyatakan sebagai jumlah dari kekuatan tekuk V_{cr} dan kekuatan pasca tekuk V_{tf} dari aksi tarik pengujian.

$$V_n = V_{cr} + V_{tf} \quad (3.25)$$

V_n = kekuatan geser batas ; V_{cr} = jumlah kekuatan tekuk; V_{tf} = kekuatan purna tekuk dari aksi medan tarik.

Kekuatan tekuk nominal $V_n = \tau_{cr} A_w$ dengan $V_n = V_{cr}$ dimana $C_v = \tau_{cr} / \tau_y$

Kekuatan geser V_{tf} dinyatakan dalam Persamaan berikut ini :

$$V_{tf} = \sigma_t \frac{h_{tw}}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.26)$$

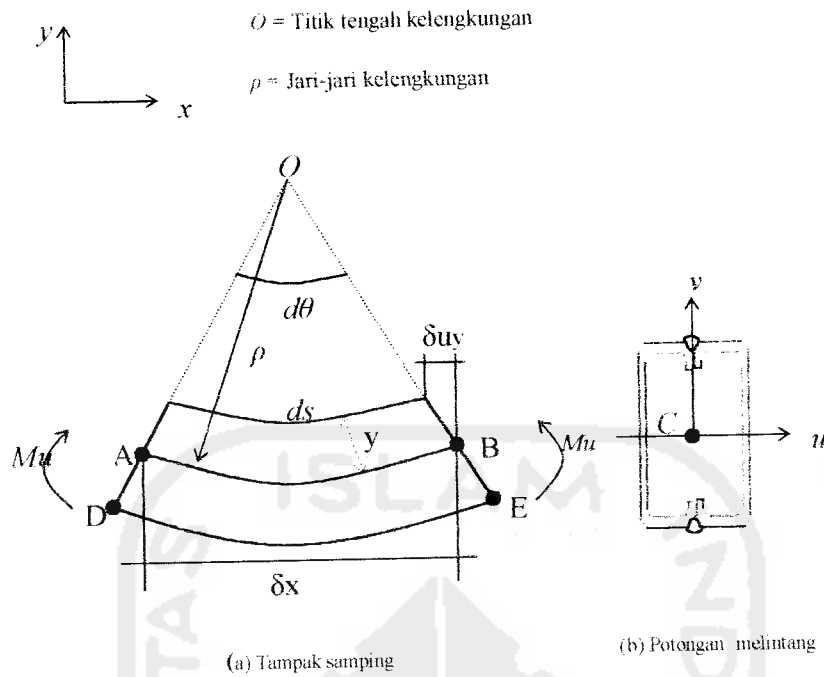
3.6 Hubungan Momen dengan Kelengkungan

Menurut *Tung Au dan Christiano, 1987*, apabila suatu balok mengalami lentur, maka bentuk perubahan dari sumbu netral disebut dengan kurva elastis. Memperhatikan elemen kecil δx , seperti yang ditunjukkan pada gambar (3.8). Jika y sebagai titik ordinat dari sumbu netral elemen, berharga positif ketika titik tersebut diatas sumbu netral. Dengan mengasumsikan bahwa bagian tersebut akan tetap datar selama terdeformasi. Tegangan lentur σ pada serat sejauh y dari garis netral untuk bahan yang bersifat elastis adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (3.27)$$

dengan M adalah momem pada bagian tersebut dan I adalah momen inersia tampang. Gambar 3.8 menunjukkan perpotongan O disebut dengan pusat kelengkungan dan jarak sejauh ρ dari perpotongan O menuju sumbu netral disebut jari-jari kelengkungan. Untuk serat pada jarak sejauh y dari sumbu netral, panjang awal dari elemen δx memendek menjadi δu_y , dan regangan pada serat tersebut sama dengan $\epsilon = \delta u_y / \delta x$. Dengan δx mendekati nol.

$$\epsilon = -\frac{\delta u_y}{\delta x} \quad (3.28)$$



Gambar 3.8 Deformasi segmen balok dalam lenturan

dari segitiga OAB didapatkan

$$\frac{\delta u_y}{y} = \frac{\delta x}{\rho} \text{ atau } \frac{\delta u_y}{\delta x} = \frac{y}{\rho} \quad (3.29)$$

dari persamaan (3.28) dan (3.29) didapat :

$$\epsilon = -\frac{y}{\rho} \quad (3.30)$$

untuk bahan elastis memakai hukum Hooke,

$$\sigma = \epsilon \cdot E = -\frac{Ey}{\rho} \quad (3.31)$$

dengan menyamakan persamaan (3.27) dan (3.31), hubungan momen kelengkungan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{\rho} \quad (3.32)$$

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \quad (3.33)$$

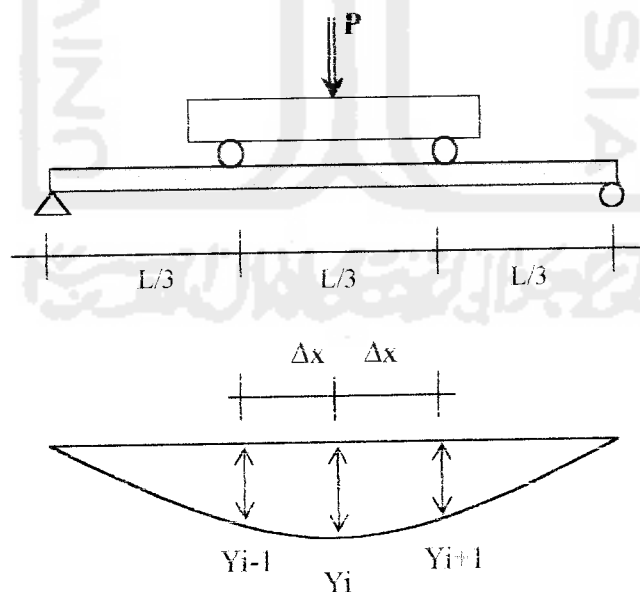
karena kemiringan dy/dx dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0$$

sehingga persamaan (3.33) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI} \quad (3.34)$$

Dari pengujian kuat lentur balok bentukan dingin didapatkan defleksi pada titik-titik distrik seperti pada Gambar (3.9), dengan menggunakan pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Differences*, mengacu pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Momen kelengkungan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.35)$$

turunan kedua Persamaan (3.35) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx} (2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.36)$$

karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka

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

sehingga Persamaan (3.36) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.37)$$

selanjutnya dari Persamaan (3.37) didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{v_{i+2} - 2v_i + v_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.38)$$

kemudian Persamaan (3.38) disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \quad (3.39)$$

dengan mengacu pada persamaan (3.34) akan didapat hubungan momen kelengkungan sebagai berikut :

$$M = EI \cdot \phi \quad (3.40)$$

$$M = EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.41)$$

Mengacu pada Gambar 3.9 didapat momen maksimum (M) :

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.42)$$

Dengan menganggap stabilitas lateral sayap tekan memadai, perencanaan balok didasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum. Distribusi tegangan pada profil sayap lebar tipikal yang mengalami momen lentur yang semakin besar diperlihatkan pada Gambar 3.9. Kekakuan ini didasarkan pada bahan yang tetap elastis sampai titik leleh tercapai, setelah itu tambahan regangan tidak menimbulkan kenaikan tegangan. Pada saat tegangan leleh (F_y) tercapai diserat terluar (S_x) kapasitas momennya disebut momen leleh (M_y) dan dapat dihitung sebagai :

$$M_y = F_y \cdot S_x \quad (3.43)$$

Bila penampang berada dalam kondisi plastis, regangan pada setiap serat sama dengan atau lebih besar dari $\epsilon_y = F_y/E_y$, dengan kata lain serat berada pada daerah plastis. Besarnya momen plastis yaitu dimana seluruh serat berada pada daerah plastis. Kapasitas momen disebut momen plastis (M_p) dan besarnya :

$$M_p = f_b \int y \cdot dA \quad (3.44)$$

Dengan $z = \int y \cdot dA$ maka :

$$M_p = f_b \cdot z \quad (3.45)$$

Dimana z = modulus plastis.

Terlihat bahwa rasio M_p/M_y adalah sifat bentuk penampang lintang dan tidak bergantung pada sifat bahan. Rasio ini disebut faktor bentuk f .

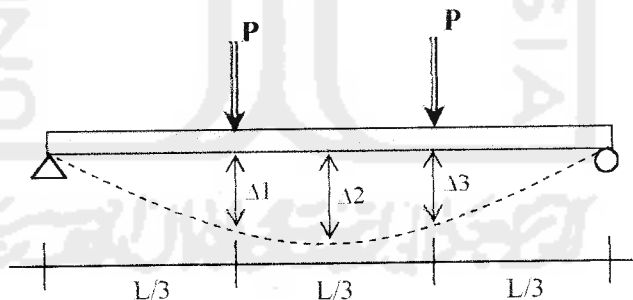
$$f = \frac{M_p}{M_y} \quad (3.46)$$

3.7 Hubungan Beban-Lendutan

Lendutan terjadi apabila balok melentur akibat menahan beban. Besarnya lendutan yang terjadi pada suatu balok bisa dikatakan aman apabila berada diantara $L/300$ hingga $L/400$ dari bentang balok. Untuk mengetahui agar lendutan pada balok tidak melebihi batas-batas tersebut maka perlu dilakukan perhitungan. Untuk menghitung lendutan pada balok dapat digunakan berbagai cara, yang salah satunya adalah metode *integrasi ganda*. Metode integrasi ganda dapat dilihat pada Persamaan 3.47 dibawah ini.

$$EI.y = \iint M dx dx + c_1 x + c_2 \quad (3.47)$$

Sehingga untuk sistem pembebanan seperti Gambar 3.10 dibawah ini :



Gambar 3.10 Lendutan beban titik pada $1/3$ dan $2/3$ bentang

Maka diperoleh hubungan beban- lendutan sebagai berikut :

$$\text{- Untuk lendutan pada } 1/3 \text{ bentang : } \Delta_1 = \frac{5.PL^3}{162.EI} \quad (3.48)$$

$$\text{- Untuk lendutan pada } 1/2 \text{ bentang : } \Delta_2 = \frac{23.PL^3}{648.EI} \quad (3.49)$$

$$\text{- Untuk lendutan pada } 1/3 \text{ bentang : } \Delta_3 = \frac{5.PL^3}{162.EI} \quad (3.50)$$

dimana :

y = defleksi balok ; P = beban balok ; E = modulus elastis bahan ;

L = panjang bentang balok ; I = momen inersia penampang

Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier seperti pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan

3.8 Daktilitas

Menurut *Park dan Paulay, 1975*, suatu material dikatakan daktail apabila bahan tersebut dapat menahan deformasi purna luluh. Daktilitas (μ) didapatkan dengan membagi deformasi yang telah dicapai dengan deformasi pada saat luluh. Dalam penelitian ini, setelah didapat besarnya lendutan, maka daktilitas simpangan dapat dicari dari grafik hubungan beban-lendutan seperti ditunjukkan pada Gambar (3.11) yaitu perbandingan antara Δ_{tot} dan Δ_y

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta_{tot}}{\Delta_y} \quad (3.51)$$

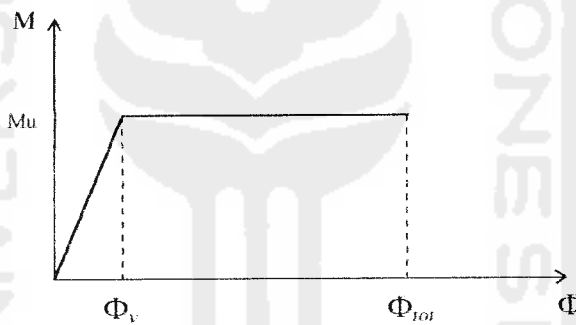
dimana :

$\mu_{simpangan}$ = daktilitas simpangan

Δ_{tot} = lendutan total

Δ_y = lendutan pada pertama leleh

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari grafik hubungan momen-kelengkungan, seperti ditunjukkan pada Gambar (3.12) yaitu perbandingan antara Φ_{tot} dan Φ_y .



Gambar 3.12 Grafik Hubungan Momen dan kelengkungan

$$\mu_{kelengkungan} = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi_y} \quad (3.52)$$

dimana :

$\mu_{kelengkungan}$ = daktilitas kelengkungan

Φ_{tot} = kelengkungan total

Φ_y = kelengkungan pada pertama leleh

3.9 Kekakuan

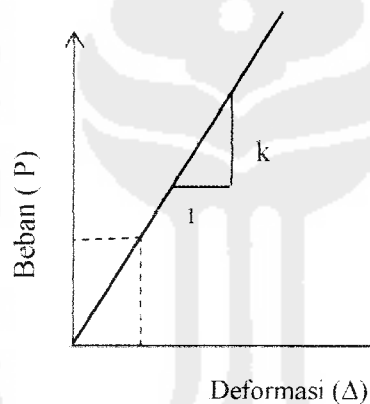
Menurut Gere dan Timoshenco, 1985, kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan satuan. Dengan memperhatikan Gambar 13.13 dapat dilihat bahwa beban P yang bekerja pada struktur menyebabkan terjadinya deformasi Δ . Kemiringan dari lengkung yang dihasilkan disebut sebagai kekakuan, dan dirumuskan sebagai :

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (3.53)$$

keterangan: k =kekakuan

p =beban

Δ =deformasi



Gambar 3.13 kekakuan dari grafik beban-lendutan

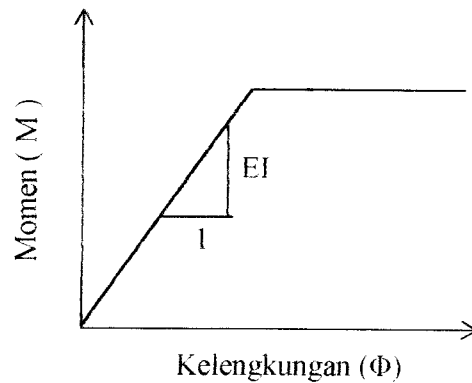
Sedangkan kekakuan lentur EI didefinisikan sebagai momen per satuan unit kelengkungan yang dirumuskan sebagai :

$$EI = \frac{M}{\Phi} \quad (3.54)$$

keterangan: EI = kekakuan lentur

M = momen

Φ = kelengkungan



Gambar 3.14 Kekakuan dari grafik momen-kelengkungan

3.10 Mutu Baja Berdasarkan Tegangan Leleh

Tabel 3.1 Harga Tegangan dasar

Macam baja	Tegangan leleh (σ)		Tegangan dasar ($\bar{\sigma}$)	
	Kg/cm ²	Mpa	Kg/cm ²	Mpa
Bj 34	2100	210	1400	140
Bj 37	2400	240	1600	160
Bj 41	2500	250	1666	166,6
Bj 44	2800	280	1867	186,7
Bj 50	2900	290	1933	193,3
Bj 52	3600	360	2400	240

3.11 Hipotesa

Memperhatikan latar belakang ,tujuan penelitian , tinjauan pustaka dan landasan teori , maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Profil C kanal dingin mempunyai rasio (b/t) atau (h/t) yang besar sehingga menyebabkan kapasitas lenturnya lebih rendah daripada tegangan lelehnya. ($F_{cr} \leq F_y$)
2. Rasio tebal sayap dengan tebal badan dan rasio lebar terhadap tinggi gelagar pelat akan mempengaruhi nilai k . Sehingga akan menghasilkan nilai k yang bervariasi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Bahan yang dipakai dalam penelitian berupa batang susun bentuk kotak yang rangkaiannya terdiri dari profil kanal bentukan dingin. Badan dan sayap merupakan satu kesatuan yang utuh karena merupakan bagian dari profil yang akan di rangkai menjadi balok dengan cara mengelas secara menerus sambungan dua buah profil kanal.

4.2 Persiapan Bahan dan Alat

Sebelum melakukan penelitian perlu diadakan persiapan bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian ini.

4.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Profil kanal

Profil kanal yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang mempunyai ketebalan 2 mm

2. Las

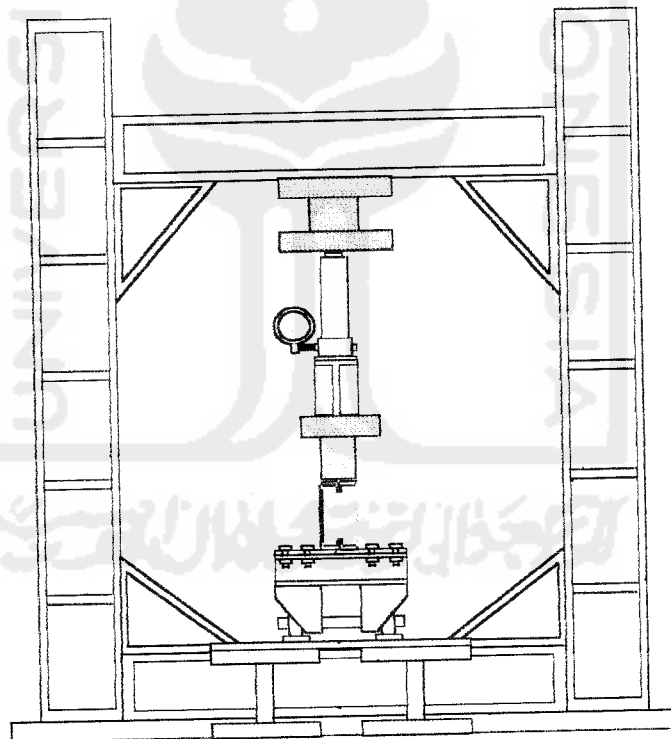
Las yang digunakan adalah las menerus dengan E-70

4.2.2 Peralatan Penelitian

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian adalah :

1. *Loading Frame*

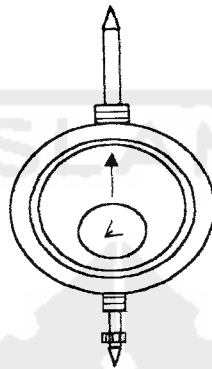
Alat yang digunakan untuk keperluan uji pembebanan adalah *loading frame* yang terbuat dari bahan baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. *Loading Frame* ini mempunyai bentuk portal segi empat yang diletakkan diatas lantai beton dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading frame* ini stabil pada waktu pembebanan dilakukan maka pelat dasar di baut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Susunan balok portal ini dapat diubah-ubah sesuai dengan bentuk dan ukuran dari model benda uji dengan cara melepas sambungan baut. Bentuk dari *Loading Frame* dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 *Loading Frame*

2. Dial gauge

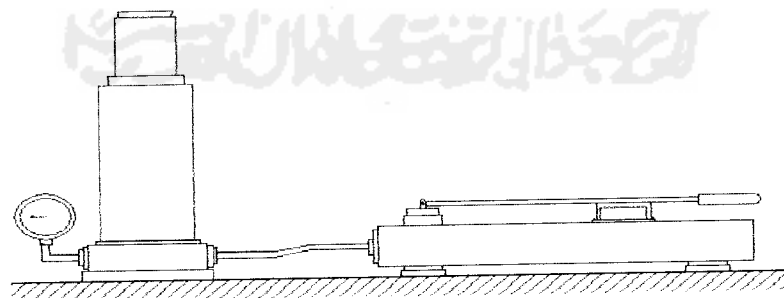
Dial gauge adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian pembacaan dial 0,01 mm, seperti pada Gambar (4.2). Pada penelitian tugas akhir ini digunakan *Dial gauge* sebanyak tiga buah.



Gambar 4.2 *Dial Gauge*

3. Hidraulick Jack

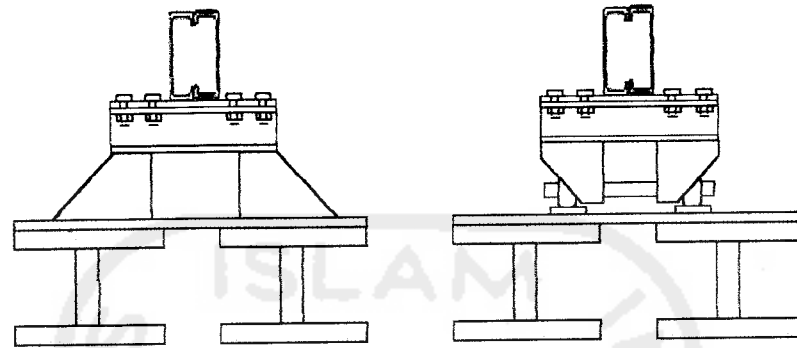
Hidraulick jack adalah alat yang digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur dengan beban sentris P yang mempunyai kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0,5 ton. Alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. 3



Gambar 4.3 *Hydraulic Jack*

4. Dukungan sendi dan rol

Dukungan sendi dipasang pada ujung dari model benda uji dan pada ujung yang lainnya dipasang dukungan rol, seperti terlihat pada Gambar 4.4



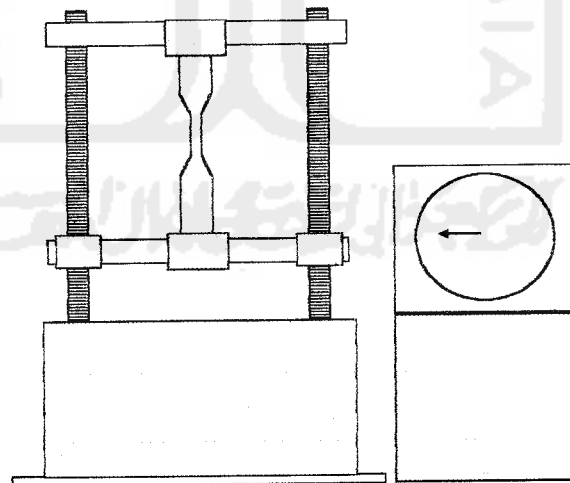
(a) Detail A (dukungan sendi)

(b) Detail B (dukungan rol)

Gambar 4.4 Detail dukungan penampang gelagar

5. Mesin Uji Kuat Tarik

Alat yang digunakan adalah Universal Testing Material (UTM) merk shimizu type UMH-30 dengan kapasitas 30 ton. Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan leleh baja, seperti terlihat pada Gambar 4.5

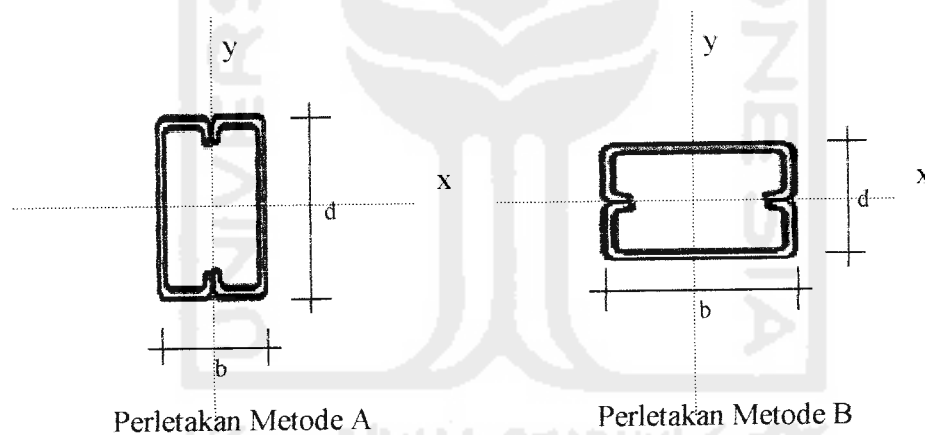


Gambar 4.5 Mesin Uji Kuat Tarik

4.3 Model Benda Uji

Model benda uji yang digunakan adalah baja penampang kotak yang merupakan hasil rangkaian dari profil kanal bentukan dingin yang disatukan dengan menggunakan sambungan las secara menerus pada sisi-sisi gelagar yang merupakan sambungan antar kanal.

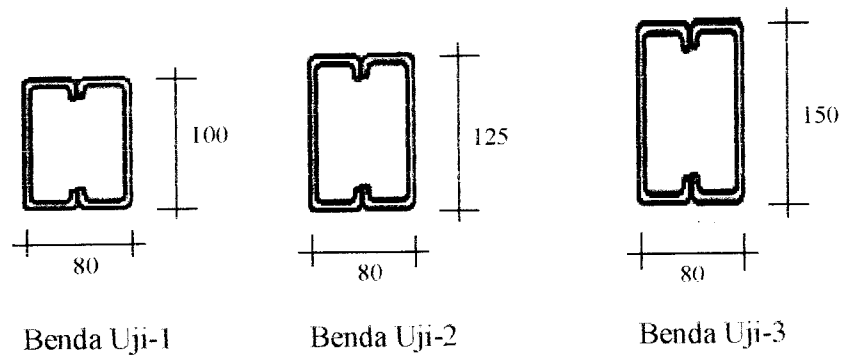
Metode perletakan benda uji pada saat pengujian ada 2 cara yaitu Metode A dan Metode B. Pengujian Metode A dilakukan dengan cara benda uji gelagar diletakan secara berdiri atau sumbu panjang penampang gelagar sejajar dengan sumbu y sedangkan pengujian Metode B dilakukan dengan cara benda uji gelagar diletakan secara tidur atau sumbu panjang penampang gelagar sejajar dengan sumbu x , hal ini dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Metode perletakan benda uji gelagar

Untuk masing-masing metode pengujian memiliki dimensi yang sama antara metode yang satu dengan yang lainnya, yang masing-masing metode pengujian terdiri dari 3 sampel. Ada pun dimensi benda uji yang dipakai pada kedua metode diatas adalah sebagai berikut :

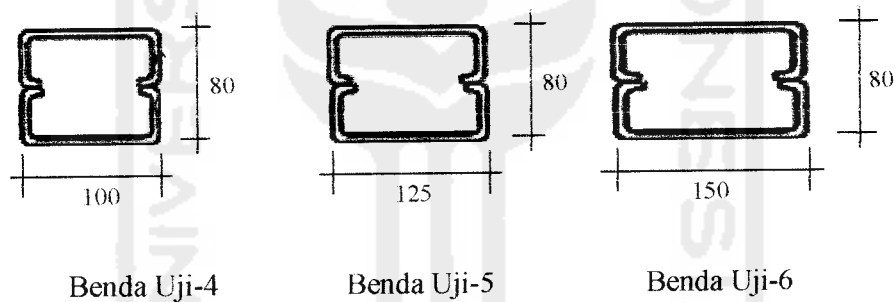
a) Dimensi benda uji Metode A



Gambar 4.7 Model benda uji Metode A

1. $L = 3000$; profil kanal C 100 x 50x 2 ($b= 80, d= 100, t=2$)
2. $L = 3000$; profil kanal C 125 x 50x 2 ($b= 80, d= 125, t= 2$)
3. $L = 3000$; profil kanal C 150 x 50x 2 ($b= 80, d= 150, t= 2$)

b) Dimensi benda uji Metode B



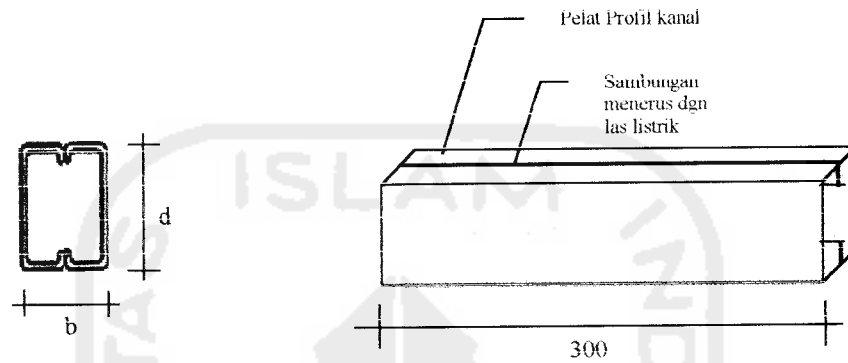
Gambar 4.8 Model benda uji Metode B

4. $L = 3000$; profil kanal C 100 x 50x 2 ($b= 100, d= 80, t=2$)
5. $L = 3000$; profil kanal C 125 x 50x 2 ($b= 125, d= 80, t= 2$)
6. $L = 3000$; profil kanal C 150 x 50x 2 ($b= 150, d= 80, t= 2$)

4.4 Pembuatan Benda Uji

Langkah yang pertama adalah mempersiapkan bahan-bahan yang akan digunakan yang merupakan profil kanal bentukan dingin, kemudian bahan-bahan tersebut di potong-potong sesuai dengan ukuran yang direncanakan.

Setelah itu potongan tersebut dirangkai membentuk sebuah gelagar bentuk kotak yang rankaiannya tersebut di sambuang dengan menggunakan las secara menerus pada daerah sambungan, sehingga terbentuk sebuah gelagar bentuk kotak dari profil kanal bentukan dingin seperti gambar 4.9 dibawah ini.



a) Potongan melintang gelagar

(b) Potongan memanjang gelagar

Gambar 4.9 Detail model benda uji gelagar

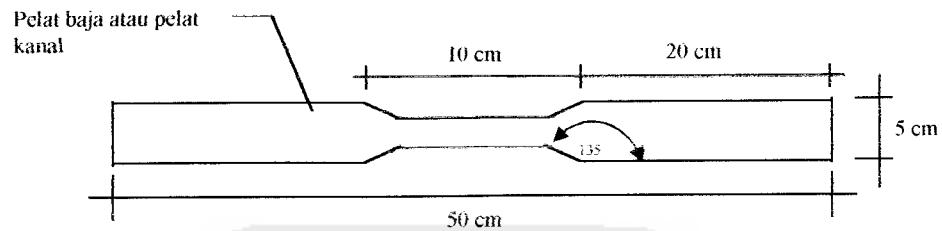
4.5 Pengujian Benda Uji

Pada penelitian ini jenis baja yang digunakan adalah baja profil (kanal) yang memiliki ketebalan yang sama pada seluruh elemen. Sehingga sebelum melakukan pengujian kuat lentur gelagar yang sesungguhnya di laboratorium maka perlu dilakukan pengujian pendahuluan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan tarik baja (F_y) dan tegangan geser las.

4.5.1 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi batas luluh awal dengan

luas rata-rata dari benda uji. Benda uji pendahuluan ini ada 3 buah, seperti terlihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Model benda uji kuat tarik baja

4.5.2 Pengujian Kuat Geser Las

Pengujian kuat geser las dilakukan untuk mengetahui kuat ultimit las listrik yang digunakan dalam pengelasan benda uji. Tegangan ultimit las dapat diketahui dengan membagi kuat tarik las dengan luas rata-rata dari luasan las benda uji.



Gambar 4.11 Model benda uji kuat geser las

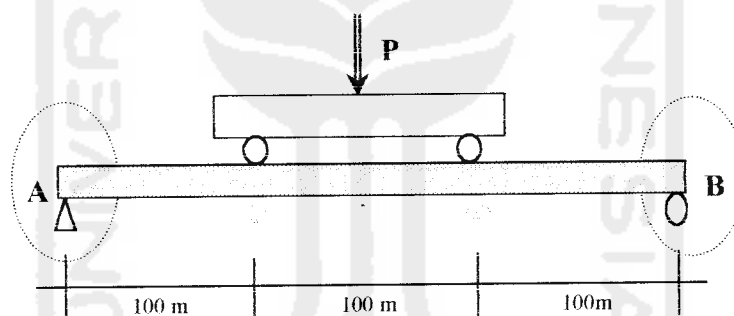
4.5.3 Pengujian Kuat Lentur

Sebelum pengujian dilakukan maka terlebih dahulu dilakukan setting terhadap peralatan yang akan digunakan. Langkah penyetingan adalah sebagai berikut :

Meletakkan dukungan sendi dan rol pada *loading frame* sepanjang 3m sesuai dengan panjang bentang benda uji. Kemudian pengaku lateral ditempatkan pada sisi kanan dan kiri benda uji untuk menahan agar benda uji

tidak mengalami tekuk lateral ke arah samping. Setelah itu *hidraulick jack* diletakkan diatas balok besi sepanjang 1m yang fungsinya untuk membagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang membebani benda uji, lalu dibawah benda uji diletakkan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah untuk mengukur lendutannya.

Setelah proses setting peralatan selesai maka dilakukan pengujian kuat lentur balok bentuk kotak dengan cara memompa *hidraulick jack* secara perlahan-lahan untuk memberikan pembebanan terhadap benda uji. Setiap penambahan beban oleh *hidraulick jack* sebesar 3kN maka besarnya lendutan yang terukur oleh *Dial gauge* dicatat, pada saat beban pada hidraulick jack tidak dapat bertambah lagi maka pengujian ini dihentikan.



Gambar 4.12 Model pembebanan

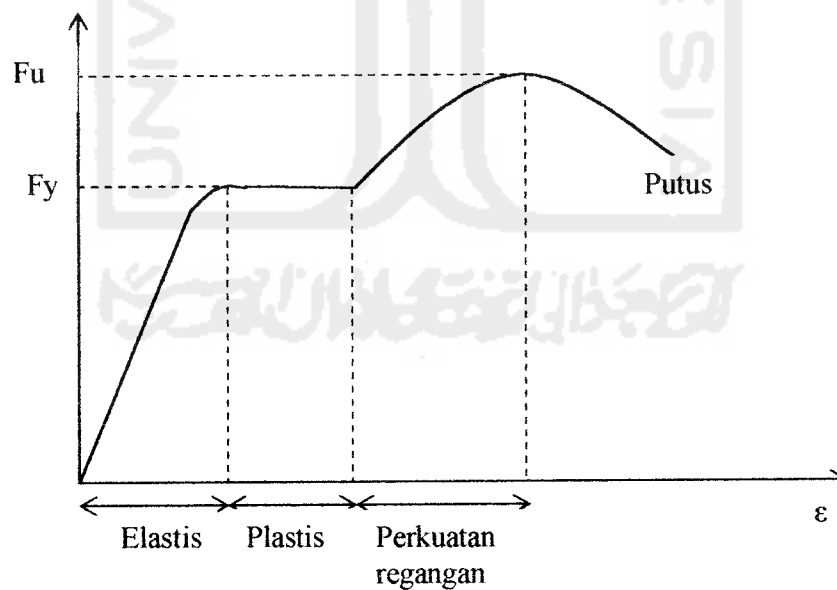
BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Benda Uji Pendahuluan

Sebelum melakukan pengujian kuat lentur balok yang sesungguhnya maka perlu dilakukan uji pendahuluan untuk mengetahui kuat tarik baja dan kuat geser las yang digunakan pada struktur balok tersebut.

Pengujian pendahuluan dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari hasil uji pendahuluan didapatkan diagram tegangan-regangan dan kuat tarik baja sesuai tabel 5.1 berikut ini :



Gambar 5.1 Diagram tegangan-regangan

Tabel 5.1 Hasil pengujian kuat tarik pelat baja

No	Benda Uji	Beban leleh (Kg)	Beban Mak (Kg)	Luas (mm ²)	Fy (Kg/mm ²)	Fu (Kg/mm ²)
1	I	1745	1900	60	29,083	31,667
2	II	1510	1930	60	25,167	32,167
3	III	1830	2010	60	30,50	33,50
	Rata-rata	-	-	-	28,25	32,445

Perhitungan kuat tarik baja ini dapat dilihat pada lampiran II. Dari hasil pengujian kuat tarik baja diatas maka dapat diketahui kuat tarik rata-rata benda uji yaitu : 28,25 Kg/mm² (282,5 Mpa), maka dengan melihat tabel 3.1 baja masuk kelas kuat tarik 280 Mpa.

Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat geser las baja

No	Benda Uji	Beban Max (Kg)	Luas (mm ²)	τ (Kg/mm ²)
1	I	2020	48	42,08
2	II	2360	48	49,167
3	III	1700	48	35,42
	Rata-rata	-	-	42,22

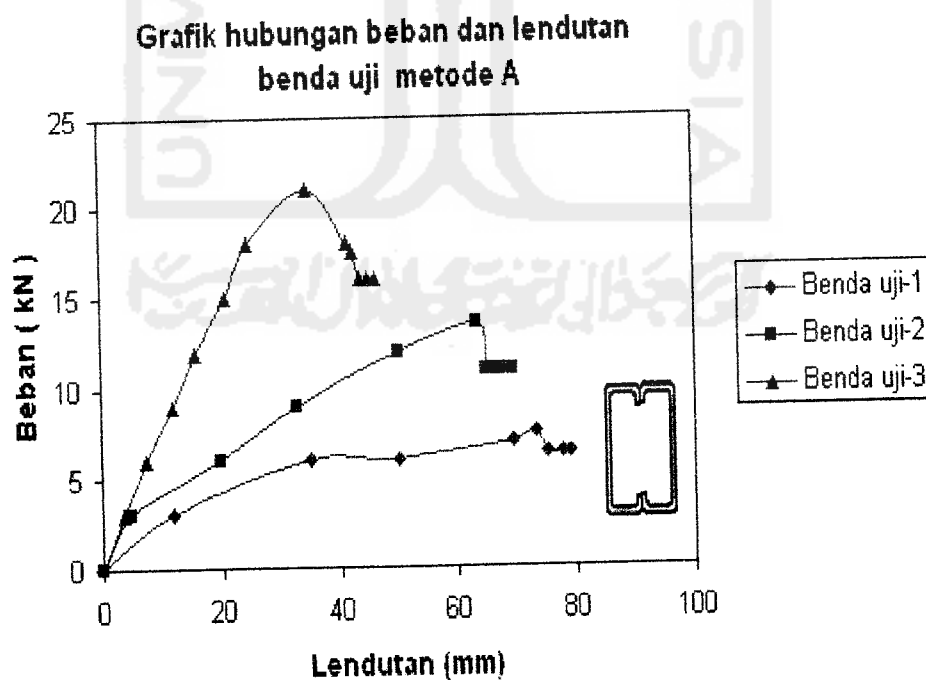
Perhitungan kuat geser las baja pada tabel 5.2 diatas ditunjukkan pada lampiran II. Dari hasil pengujian kuat geser las baja diatas maka dapat diketahui kuat geser las rata-rata benda uji yaitu : 42,22 Kg/mm² (422,2 Mpa).

5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Susun Bentuk Kotak

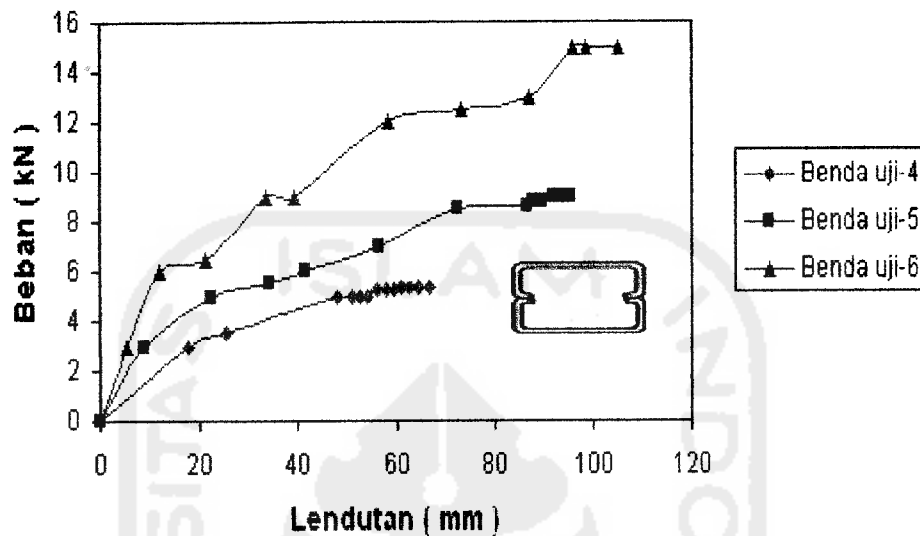
Pelaksanaan pengujian kuat lentur gelagar dilakukan di laboratorium Struktur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian diperoleh data-data pembebanan dan lendutan yang dibaca dari dial dengan ketelitian 0,01 mm, dari data-data tersebut diolah dengan menggunakan rumus-rumus yang ada sehingga menghasilkan grafik hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan.

5.2.1 Hubungan Beban-Lendutan dari Hasil Pengujian

Pada pengujian kuat lentur ini diberikan dua beban yang terletak pada setiap sepertiga bagian panjang benda uji. Secara bertahap balok tersebut diberi kenaikan beban sebesar 300 kg, kemudian lendutan yang terjadi dicatat. Data hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran V, sedangkan grafik hubungan beban-lendutan dari semua benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.2.



**Grafik hubungan beban dan lendutan
benda uji metode B**



Gambar 5.2 Grafik hubungan beban-lendutan benda uji

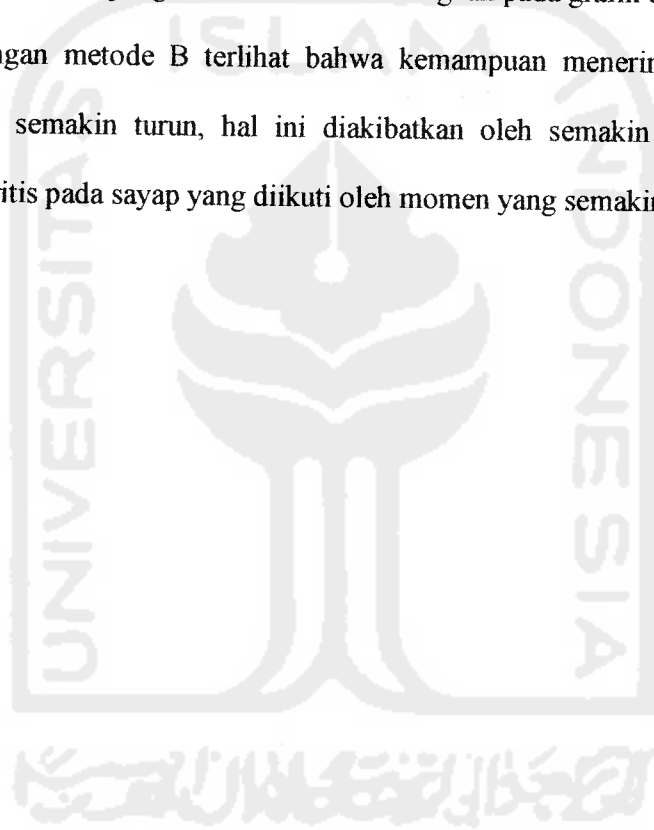
Dari Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa pada benda uji yang memiliki luas penampang yang lebih besar dengan panjang bentang yang sama akan dapat menahan beban yang lebih besar. Hal ini dapat ditunjukkan pada grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji-3 (benda uji berdiri) dan benda uji-6 (benda uji tidur) yang memiliki luas penampang yang paling besar. Karena luas penampang yang besar akan mengakibatkan nilai inersianya besar sehingga kemampuan menerima bebanpun akan semakin besar.

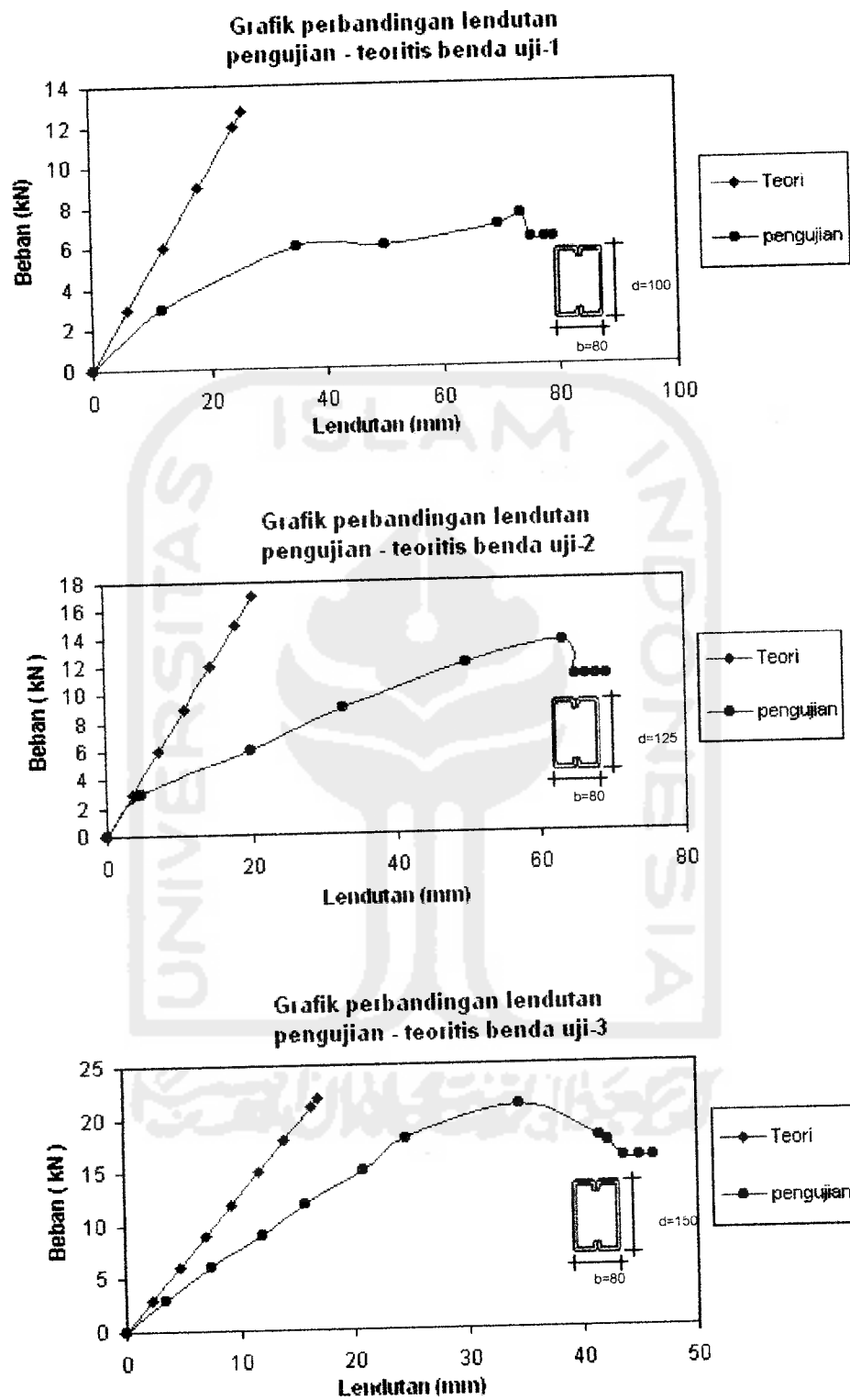
5.2.2 Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dan Pengujian

Dari hasil pengujian kuat lentur balok susun bentuk kotak diperoleh hubungan beban-lendutan pengujian, yang kemudian dibandingkan dengan lendutan teoritis yang dihitung dengan menggunakan beban rencana

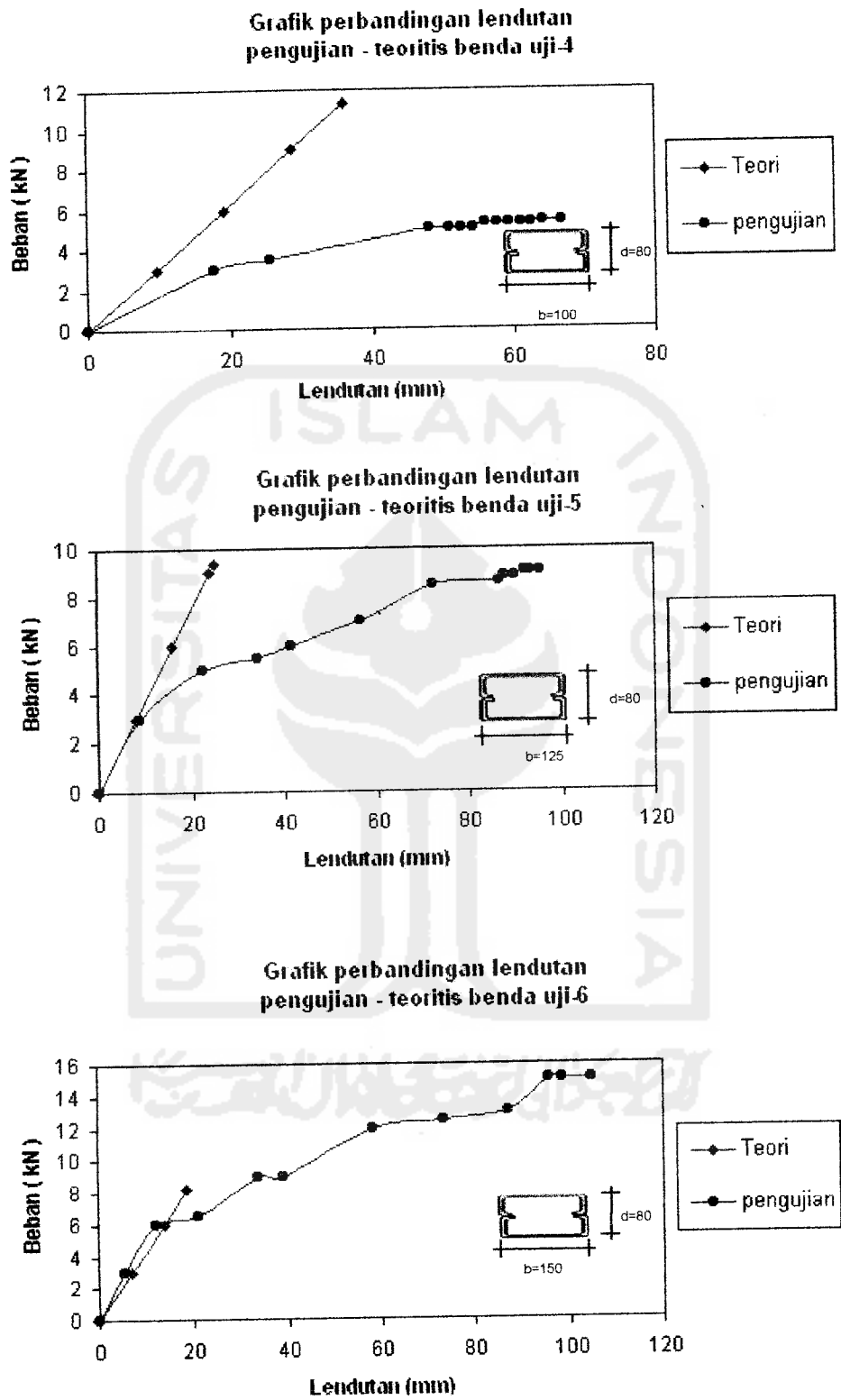
berdasarkan persamaan 3.5, 3.7, dan 3.42. Sedangkan contoh perhitungan beban rencana dapat dilihat pada lampiran III.

Dari Gambar 5.3 dan 5.4 dapat kita lihat perbandingan grafik lendutan pengujian dengan lendutan teoritis. Pada grafik beban-lendutan teoritis dengan metode A terlihat bahwa kemampuan menerima beban dari penampang semakin besar, hal ini diakibatkan oleh semakin bertambahnya tinggi penampang yang diikuti oleh momen yang semakin besar. Sedangkan pada grafik beban-lendutan teoritis dengan metode B terlihat bahwa kemampuan menerima beban dari penampang semakin turun, hal ini diakibatkan oleh semakin berkurangnya tegangan kritis pada sayap yang diikuti oleh momen yang semakin kecil.





Gambar 5.3 Grafik perbandingan lendutan pengujian dan teoritis metode A



Gambar 5.4 Grafik perbandingan lendutan pengujian dan teoritis metode B

5.2.3 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar (5.2) dan data pengujian pada lampiran V, dapat disimpulkan tentang kekakuan balok bentukan dingin pada beban ultimit dalam Tabel 5.3

Tabel 5.3 Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan

Benda uji	Beban (P) kN	Lendutan (Δ) M	Kekakuan (P/Δ) kN/m	Kekakuan rata-rata kN/m
Benda uji 1	7,5	0,07324	102,4	307,65
Benda uji 2	13,5	0,0633	213,27	
Benda uji 3	21	0,03458	607,29	
Benda uji 4	5,35	0,06423	83,29	112,49
Benda uji 5	9	0,09198	97,85	
Benda uji 6	15	0,09595	156,33	

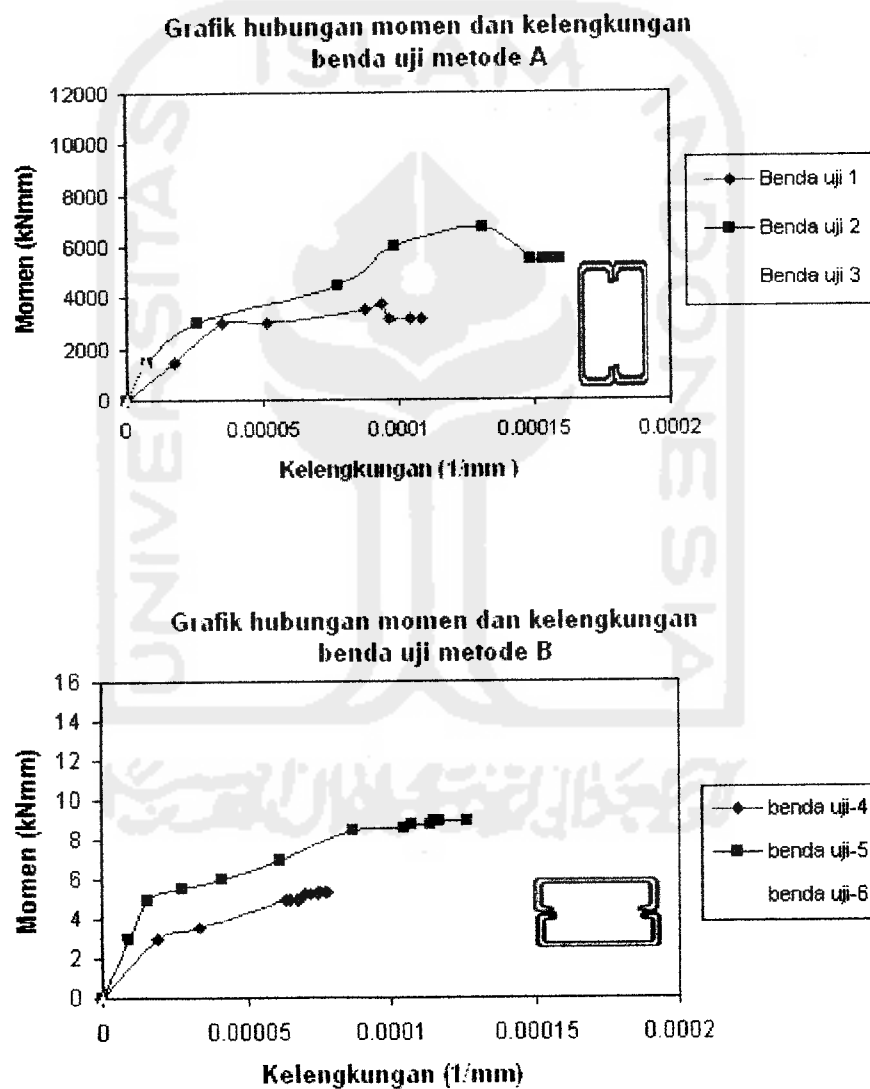
Dari data dalam Tabel 5.3 dapat diamati dan diteliti kekuatan lentur balok bentukan dingin dan lendutan yang terjadi pada benda uji. Selain itu, dari Gambar 5.2 dan lampiran V dapat kita cari daktilitas lendutan yang disajikan dalam Tabel 5.4

Tabel 5.4 Analisa daktilitas lendutan dari hubungan beban-lendutan

Benda uji	Lendutan (Δy) mm	Lend. Maks. (Δ_{tot}) Mm	Daktilitas ($\Delta_{tot}/\Delta y$)	Daktilitas rata-rata	Daktilitas rata-rata (%)
Benda uji 1	69,55	79	1,136	1,469	100
Benda uji 2	49,9	69,3	1,389		
Benda uji 3	24,56	46,25	1,883		
Benda uji 4	62,5	66,75	1,068	1,112	75,7
Benda uji 5	89,75	95,45	1,064		
Benda uji 6	87,15	104,98	1,205		

5.2.4 Hubungan Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

Dari data hasil penelitian diperoleh grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) sehingga dapat dicari momen (M) dan kelengkungan (Φ) dengan menggunakan persamaan 3.39 dan 3.42, sedangkan hasil perhitungannya ada pada lampiran V. Dari data hasil pengujian sampel balok bentukan dingin dapat dibuat grafik hubungan momen-kelengkungan seperti pada Gambar 5.5



Gambar 5.5 Grafik hubungan momen-kelengkungan

5.2.5 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Dari hasil pengamatan Grafik hubungan momen-kelengkungan pada Gambar 5.5 dan lampiran V dapat dicari kekakuan balok bentukan dingin, seperti pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan

Benda uji	Momen (M) kNmm	Kelengkungan (Φ) 1/mm	EI=M/ Φ kNmm ²	EI rata-rata kNmm ²
Benda uji 1	3750	0,0000938	39978678,04	133564224,9
Benda uji 2	6750	0,000131	51526717,56	
Benda uji 3	10500	0,00003396	309187279,2	
Benda uji 4	2675	0,00007708	43704203,43	42560440,26
Benda uji 5	4500	0,00011484	39184952,98	
Benda uji 6	7500	0,00016744	44792164,36	

Dari Gambar 5.5 dan lampiran V juga dapat dicari daktilitas kelengkungan balok bentukan dingin seperti dalam Tabel 5.6

Tabel 5.6 Analisa daktilitas kelengkungan dari hubungan momen-kelengkungan

Benda uji	(Φ_y) 1/mm	(Φ_{tot}) 1/mm	Daktilitas Φ_{tot} / Φ_y	Daktilitas rata-rata	Daktilitas rata-rata (%)
Benda uji 1	0,00008744	0,00010844	1,24	1,613	100
Benda uji 2	0,0000986	0,00016004	1,623		
Benda uji 3	0,00003312	0,0000654	1,975		
Benda uji 4	0,00007512	0,00007752	1,032	1,139	70,6
Benda uji 5	0,0001134	0,0001268	1,118		
Benda uji 6	0,00013892	0,00017592	1,266		

5.3 Analisa Kerusakan pada Benda Uji

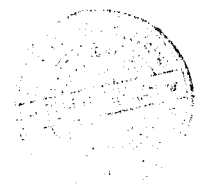
Kerusakan yang terjadi pada balok bentukan dingin berupa tekuk lokal yang terjadi pada daerah sayap, hal ini diakibatkan karena profil C memiliki rasio lebar terhadap tebal (b/t) yang relatif besar. Pada benda uji yang diletakkan berdiri (metode A) tekuk pada sayap terjadi didekat pembebanan, sedangkan pada benda uji yang diletakkan secara tidur (metode B) maka tekuk pada sayap terjadi diantara kedua titik pembebanan.

5.4 Pembahasan

5.4.1 kuat Lentur Balok Berdasarkan Hubungan Beban-Lendutan

Dengan memperhatikan grafik hubungan beban-lendutan dari semua benda uji, maka dapat disimpulkan bahwa semua benda uji memiliki perilaku lentur yang hampir sama. Benda uji akan menahan beban yang terus meningkat sampai titik lelehnya terjadi, setelah itu kemampuan menahan bebannya akan menurun yang diikuti dengan semakin bertambahnya lendutan yang terjadi.

Balok bentukan dingin yang diletakkan berdiri (metode A) dengan rasio perbandingan h/t yang semakin besar mempunyai kuat lentur yang meningkat, hal ini dapat dilihat dari grafik hubungan beban-lendutan. Dari grafik tersebut juga diketahui bahwa balok bentukan dingin dengan $h/t = 48$ mampu menahan beban sebesar 7,5 kN, sedangkan balok bentukan dingin dengan $h/t = 60,5$ dan 73 mampu menahan beban masing-masing sebesar 13,5 kN dan 21 kN. Pada balok yang diletakkan tidur (metode B) walaupun mempunyai ukuran profil yang sama, kemampuan menahan bebannya berkurang menjadi 5,35 kN ; 9 kN dan 15 kN.



Dari data tabel hubungan beban-lendutan dapat juga dipakai untuk mencari nilai kekakuan (P/Δ), sehingga dapat diketahui pengaruh rasio perbandingan h/t pada kekakuan balok bentukan dingin. Untuk balok yang diletakkan berdiri (metode A) dengan $h/t = 48$ mempunyai kekakuan sebesar 102,4 kN/m, sedangkan balok yang mempunyai nilai perbandingan $h/t = 60,5$ dan 73 mempunyai kekakuan masing-masing sebesar 213,27 kN/m dan 607,29 kN/m. Pada balok yang diletakkan tidur (metode B) maka nilai kekakuannya masing-masing sebesar 83,29 kN/m ; 97,85 kN/m dan 156,33kN/m. Apabila nilai kekakuan dari keenam sampel yang berbeda-beda dirata-rata untuk dua variasi yaitu balok yang diletakkan berdiri (metode A) dan tidur (metode B) maka nilai kekakuan masing-masing adalah 307,65 kN/m dan 112,49 kN/m.

Dari penjelasan diatas maka dapat diketahui bahwa perletakan metode A kemampuan menahan bebannya lebih besar dibanding perletakan metode B, hal ini diakibatkan karena momen inersia metode A lebih besar. Dengan semakin bertambahnya beban yang mampu ditahan yang diiringi dengan lendutan maka semakin besar pula kekakuan dari suatu balok karena kekakuan adalah perbandingan antara beban dan lendutan.

5.4.2 Daktilitas Simpangan Ditinjau dari Hubungan beban-Lendutan

Berdasarkan pengamatan dari grafik hubungan beban-lendutan yang kemudian dianalisa seperti ditampilkan pada Tabel 5.4, dapat dilihat daktilitas balok bentukan dingin dengan rasio perbandingan h/t yang bervariasi.

Pada balok bentukan dingin yang diletakkan berdiri (metode A) dengan rasio perbandingan $h/t = 48$ maka nilai daktilitasnya sebesar 1,136. Sedangkan untuk balok dengan rasio perbandingan $h/t = 60,5$ dan 73 mempunyai nilai

daktilitas sebesar 1,389 dan 1,883. Pada balok yang diletakkan tidur (metode B) maka nilai daktilitasnya masing-masing sebesar 1,068; 1,064 dan 1,205. Apabila nilai daktilitas dari keenam sampel yang berbeda-beda dirata-rata untuk dua variasi yaitu balok yang diletakkan berdiri (metode A) dan tidur (metode B) maka nilai daktilitas masing-masing adalah 1,469 dan 1,112. Dengan perletakan metode A sebagai pembanding, maka terlihat bahwa perletakan metode B mengalami penurunan daktilitas sebesar 24,3%.

5.4.3 Kuat Lentur Balok Berdasarkan Hubungan Momen-Kelengkungan

Dengan mengamati grafik hubungan momen-kelengkungan semua benda uji (Gambar 5.5) dapat dilihat bahwa semua benda uji memiliki perilaku kuat lentur yang hampir sama. Benda uji akan menahan beban yang mengakibatkan momen terus meningkat sampai titik lelehnya terjadi, setelah itu kemampuan menahan beban akan menurun yang diikuti dengan semakin berkurangnya momen pada batang gelagar dan kelengkungannya semakin bertambah.

Balok bentukan dingin yang diletakkan berdiri (metode A) dengan rasio perbandingan h/t yang semakin besar mempunyai kuat lentur yang meningkat, hal ini dapat dilihat dari grafik hubungan momen-kelengkungan. Dari grafik tersebut juga diketahui bahwa balok bentukan dingin dengan $h/t = 48$ mampu menahan momen sebesar 3750 kNmm, sedangkan balok bentukan dingin dengan $h/t = 60,5$ dan 73 mampu menahan momen masing-masing sebesar 6750 kNmm dan 10500 kNmm. Pada balok yang diletakkan tidur (metode B) walaupun mempunyai ukuran profil yang sama, kemampuan menahan momennya berkurang menjadi 2675 kNmm ; 4500 kNmm dan 7500 kNmm.

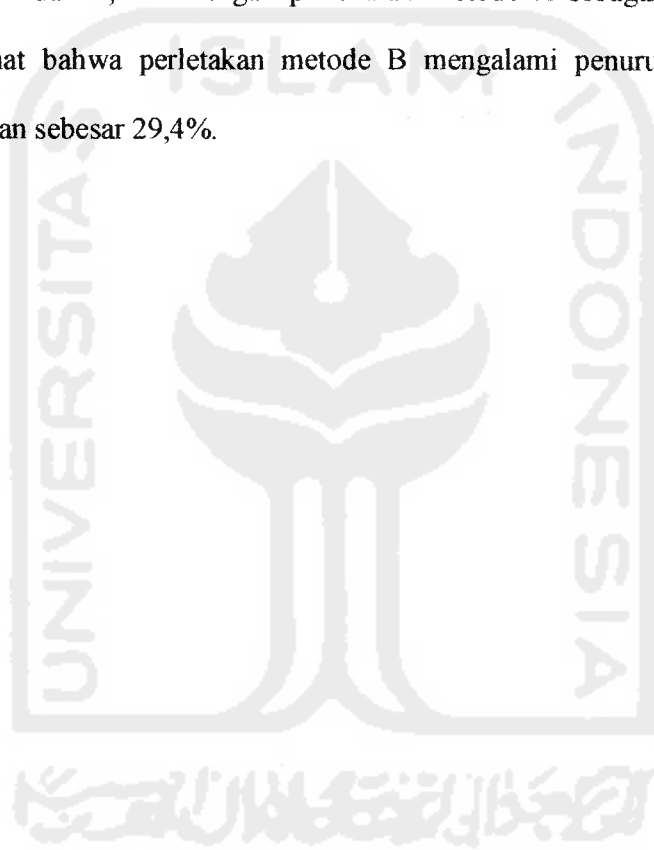
Dari data tabel hubungan momen-kelengkungan dapat juga dipakai untuk mencari nilai kekakuan lentur, sehingga dapat diketahui pengaruh rasio perbandingan h/t pada kekakuan lentur balok bentukan dingin. Untuk balok yang diletakkan berdiri (metode A) dengan $h/t = 48$ mempunyai kekakuan lentur sebesar $39978678,04 \text{ kNmm}^2$, sedangkan balok yang mempunyai nilai perbandingan $h/t = 60,5$ dan 73 mempunyai kekakuan masing-masing sebesar $51526717,56 \text{ kNmm}^2$ dan $309187279,2 \text{ kNmm}^2$. Pada balok yang diletakkan tidur (metode B) maka nilai kekakuan lenturnya masing-masing sebesar $43704203,43 \text{ kNmm}^2$; $39184952,98 \text{ kNmm}^2$ dan $44792164,36 \text{ kNmm}^2$. Apabila nilai kekakuan lentur dari keenam sampel yang berbeda-beda dirata-rata untuk dua variasi yaitu balok yang diletakkan berdiri (metode A) dan tidur (metode B) maka nilai kekakuan lenturnya masing-masing adalah $133564224,9 \text{ kNmm}^2$ dan $42560440,26 \text{ kNmm}^2$.

Dari penjelasan diatas maka dapat diketahui bahwa perletakan metode A kemampuan menahan momennya lebih besar dibanding perletakan metode B, hal ini diakibatkan karena metode A mempunyai kemampuan menahan beban yang lebih besar.

5.4.4 Daktilitas Simpangan Ditinjau dari Hubungan Momen Kelengkungan

Berdasarkan pengamatan pada grafik hubungan momen kelengkungan yang kemudian di Analisa seperti yang ditampilkan pada Tabel (5.6), dapat dilihat daktilitas balok bentukan dingin yang perletakannya berdiri (metode A) dan tidur (metode B) sehingga masing-masing benda uji tersebut dapat dibandingkan.

Untuk balok bentukan dingin dengan perletakan berdiri (metode A) didapat nilai daktilitas masing-masing benda uji adalah 1,24; 1,623 dan 1,975. Sedangkan untuk balok dengan perletakan tidur (metode B) diperoleh nilai daktilitas 1,032; 1,118 dan 1,266. Apabila nilai daktilitas dari keenam sampel yang berbeda-beda dirata-rata untuk dua variasi yaitu balok yang diletakkan berdiri (metode A) dan tidur (metode B) maka nilai daktilitas masing-masing adalah 1,613 dan 1,139. Dengan perletakan metode A sebagai pembanding, maka terlihat bahwa perletakan metode B mengalami penurunan daktilitas kelengkungan sebesar 29,4%.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan mengenai kuat lentur batang susun bentuk kotak sebagai berikut:

1. Kuat lentur batang susun bentuk kotak dengan metode A kemampuan menerima bebannya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi penampang, dan mencapai beban maksimum sebesar 21kN pada tinggi penampang 150 mm. Sedangkan dengan metode B walaupun mempunyai ukuran profil yang sama kemampuan menerima bebannya berkurang menjadi 15 kN.
2. Nilai kekakuan maksimum dari batang susun bentuk kotak dengan metode A terjadi pada benda uji-3 (dari tinjauan hubungan beban – lendutan 607,29 kN/m dan dari tinjauan hubungan momen-kelengkungan 309187279,2 kNmm²). Sedangkan nilai kekakuan maksimum dengan metode B terjadi pada benda uji-6 (dari tinjauan hubungan beban –lendutan 156,33 kN/m dan dari tinjauan hubungan momen-kelengkungan 44792164,36 kNmm²)

3. Nilai daktilitas batang susun bentuk kotak dari hubungan beban-lendutan dengan metode A berkisar 1,136 sampai dengan 1,883 dan dengan metode B berkisar 1,068 sampai dengan 1,205. Sedangkan nilai daktilitas dari hubungan momen-kelengkungan dengan metode A berkisar 1,24 sampai dengan 1,975 dan dengan metode B berkisar 1,032 sampai dengan 1,266.

6.2 Saran

Untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai batang susun bentuk kotak dari profil bentukan dingin yang terbuat dari pelat tipis perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini belum diukur lendutan kearah samping sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai tekuk lateral pada batang susun bentuk kotak dari profil bentukan dingin.
2. Perlu dilakukan variasi tebal pelat profil C, sehingga dapat diketahui tebal profil yang paling ekonomis.
3. Dalam pembuatan batang susun bentuk kotak dari profil bentukan dingin diperlukan kehati-hatian dalam pengelasan karena profil bentukan dingin tidak tahan terhadap panas.

DAFTAR PUSTAKA

1. Leonard Spiegel dan George F. Limbrunner, Ir. Bambang Suryoatmono, 1991, ***DESAIN BAJA STRUKTURAL TERAPAN***, PT.ERESCO, BANDUNG.
2. Joseph E. Bowles, Pantur Silaban Ph.D, 1980, ***DESAIN BAJA KONSTRUKSI (STRUCTURAL STEEL DESIGN)***, Erlangga, Jakarta.
3. Charles G. Salmon dan John E. Jhonson,Wira,1990, ***STRUKTUR BAJA***, Erlangga, Jakarta.
4. Charles G. Salmon dan John E. Jhonson,Wira,1994, ***STRUKTUR BAJA***, Erlangga, Jakarta.
5. PADOS BAJAYO, 1992, ***PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA***, Paguyuban dosen baja Yogyakarta, Yogyakarta.
6. NS. Trahair dan MA. Bradford, 1988, ***THE BEHAVIOUR and DESIGN of STEEL STRUCTURES***, Champman and Hall, New York.
7. Gere, James M., Timoshenko, Stephen P.,1985, ***MEKANIKA BAHAN***, Erlangga, Jakarta.
8. Park, R., Paulay, T., 1975, ***REINFORCED CONCRETE STRUCTURES***, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
9. Au Tung., Christiano, Paul., 1987, ***STRUCTURAL ANALYSIS***, Prentince-Hall,Inc., New Jersey.
10. ***PERATURAN PERENCANAAN BANGUNAN BAJA INDONESIA (PPBBI)***, 1984, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	NAMA	NO. MHS.	ID STUDI
1.	Purwanto	0851025	Tasul 853
2.	Kuswandoro	0851085	Tasul 853

JUDUL TUGAS AKHIR :

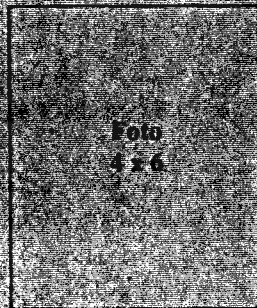
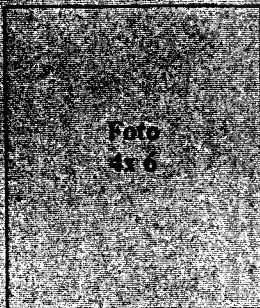
Kuat lentur batang susun bentuk kotak dari profil berbentuk omah

**PERIODE I : SEPTEMBER - FEBRUARI
TAHUN : 2007 / 2008**

No.	Kegiatan	Bulan Ke					
		Sep.	OKT.	NOV.	Des.	Jan.	Feb.
1.	Pendaftaran						
2.	Pentuan Dosen Pembimbing						
3.	Pembuatan Proposal						
4.	Seminar Proposal						
5.	Konsultasi Penyusunan TA						
6.	Sidang Sidang						
7.	Pendadaran						

DOSEN PEMBIMBING I
DOSEN PEMBIMBING II

Ir. H. Suharyanto, M.T.
Ir. Fatmahanikah S., MT.



Yogyakarta, 16 Sept 2007
Dekan
[Signature]
Ir. H. Mardhur, MS

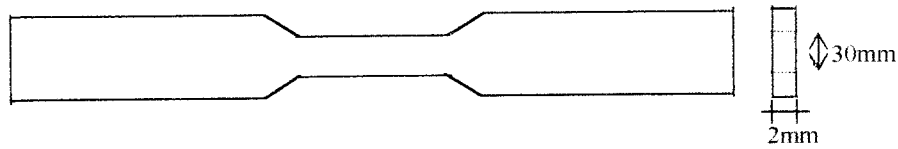
Catatan.
Seminar :
Sidang :
Pendadaran :



LAMPIRAN II

Perhitungan Kuat Tarik Baja dan Kuat Geser Las

Perhitungan Kuat Tarik Baja



Benda uji-1

Beban Leleh = 1745 Kg

Beban Maksimum = 1900 Kg

Beban Patah = 150 Kg

$A = 30.2 = 60 \text{ mm}^2$

$$F_y = \frac{\text{BebanLeleh}}{A} = \frac{1745}{60} = 29,083 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 290,83 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A} = \frac{1900}{60} = 31,67 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 316,7 \text{ Mpa}$$

Benda uji-2

Beban Leleh = 1510,5 Kg

Beban Maksimum = 1930 Kg

Beban Patah = 250 Kg

$A = 30.2 = 60 \text{ mm}^2$

$$F_y = \frac{\text{BebanLeleh}}{A} = \frac{1510,5}{60} = 25,175 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 251,75 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A} = \frac{1930}{60} = 32,167 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 321,67 \text{ Mpa}$$

Benda uji-3

Beban Leleh = 1830 Kg

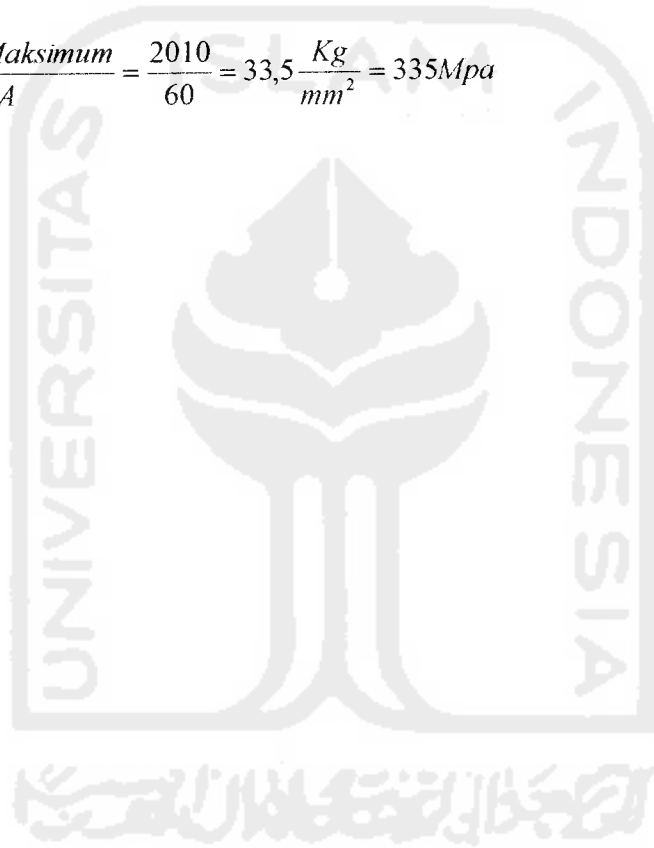
Beban Maksimum = 2010 Kg

Beban Patah = 400 Kg

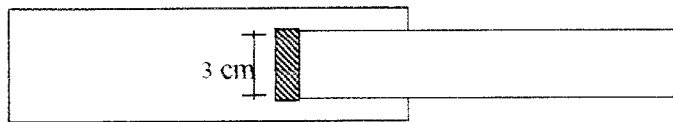
$A = 30.2 = 60 \text{ mm}^2$

$$F_y = \frac{\text{BebanLeleh}}{A} = \frac{1830}{60} = 30,5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 305 \text{Mpa}$$

$$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A} = \frac{2010}{60} = 33,5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 335 \text{Mpa}$$



Perhitungan Kuat Geser Las



Benda uji-1

Beban Maksimal = 2020 Kg

Panjang Las = $l_w = 30$ mm

Tebal Pelat = $a = 2,3$ mm

$t_e = 0,707 \cdot a = 0,707 \cdot 2,3 = 1,626$ mm $\approx 1,6$ mm

$A = l_w \cdot t_e = 30 \cdot 1,6 = 48$ mm²

$$\sigma_{ijin} = \frac{\text{BebanMaks}}{A} = \frac{2020 \text{ Kg}}{48 \text{ mm}^2} = 42,08 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 420,8 \text{ Mpa}$$

$\sigma_{luluh} = \sigma_{ijin} \cdot 1,5 = 420,8 \cdot 1,5 = 631,2$ Mpa

Benda uji-2

Beban Maksimal = 2360 Kg

Panjang Las = $l_w = 30$ mm

Tebal Pelat = $a = 2,3$ mm

$t_e = 0,707 \cdot a = 0,707 \cdot 2,3 = 1,626$ mm $\approx 1,6$ mm

$A = l_w \cdot t_e = 30 \cdot 1,6 = 48$ mm²

$$\sigma_{ijin} = \frac{\text{BebanMaks}}{A} = \frac{2360 \text{ Kg}}{48 \text{ mm}^2} = 49,167 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 491,67 \text{ Mpa}$$

$\sigma_{luluh} = \sigma_{ijin} \cdot 1,5 = 491,67 \cdot 1,5 = 737,5$ Mpa

Benda uji-3

Beban Maksimal = 1700 Kg

Panjang Las = $l_w = 30$ mm

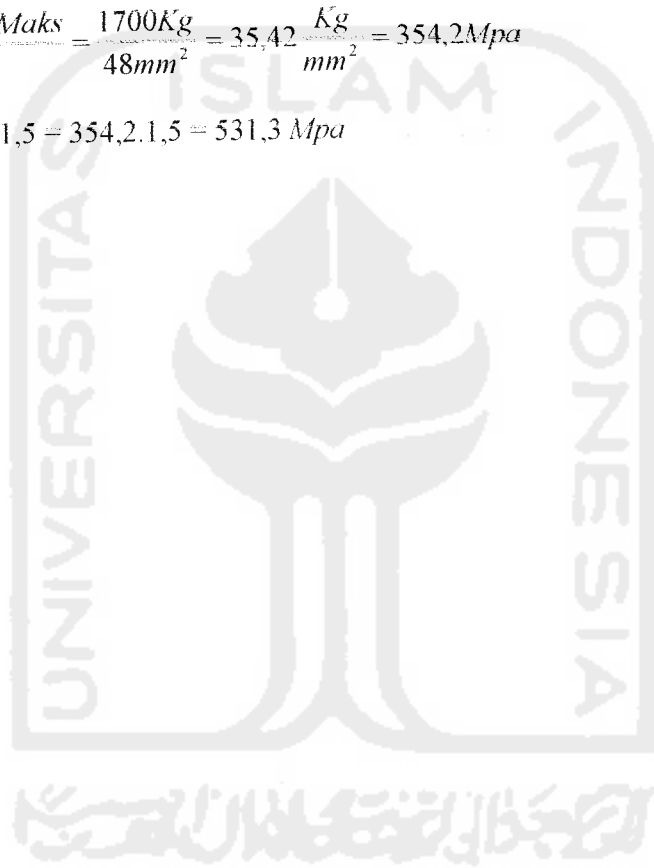
Tebal Pelat = $a = 2,3$ mm

$t_e = 0,707 \cdot a = 0,707 \cdot 2,3 = 1,626$ mm $\approx 1,6$ mm

$A = l_w \cdot t_e = 30 \cdot 1,6 = 48$ mm²

$$\sigma_{ijin} = \frac{BebanMaks}{A} = \frac{1700Kg}{48mm^2} = 35,42 \frac{Kg}{mm^2} = 354,2Mpa$$

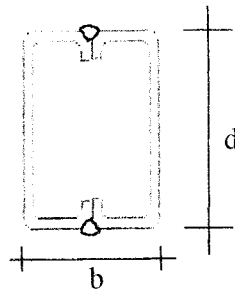
$$\sigma_{luluh} = \sigma_{ijin} \cdot 1,5 = 354,2 \cdot 1,5 = 531,3 Mpa$$





LAMPIRAN III
Perhitungan Beban Rencana

Perhitungan Beban Rencana



Benda Uji -1 (100 x 80 x 2)

Pada sayap $\left(\frac{b}{t}\right) = 40$

$$\begin{aligned}
 F_{cr1} &= \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E'}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}, k = 4 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.4}) \\
 &= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0.3^2)(40)^2} \\
 &= 451,9 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr1} = 280 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Pada badan $\left(\frac{h}{t}\right) = 48$

$$\begin{aligned}
 F_{cr2} &= \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E'}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2}, k = 23,9 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.6}) \\
 &= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0.3^2)(48)^2} \\
 &= 1875,1 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr2} = 280 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$M_{sayap} = A_{sayap} \cdot F_{cr1} \cdot h \quad (\text{Persamaan 3.3})$$

$$= (80 \cdot 2) \cdot 280 \cdot 98$$

$$= 4390400 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{badan}} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot t \cdot h^2 \cdot F_{cr2} \quad (\text{Persamaan 3.4})$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 2 \cdot 96^2 \cdot 280$$

$$= 1720320 \text{ Nmm}$$

$$M = M_{\text{sayap}} + M_{\text{badan}} \quad (\text{Persamaan 3.5})$$

$$= 4390400 \text{ Nmm} + 1720320 \text{ Nmm}$$

$$= 6110720 \text{ Nmm}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L \quad (\text{Persamaan 3.42})$$

$$P = \frac{6 \cdot M}{L}$$

$$= \frac{6 \cdot 6110720}{3000}$$

$$= 12221,44 \text{ N} = 12,22144 \text{ kN}$$

Benda Uji -2 (125 x 80 x 2)

Pada sayap $\left(\frac{b}{t}\right) = 40$

$$F_{cr1} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}, k = 4 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.4})$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(40)^2}$$

$$= 451,9 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr1} = 280 \text{ Mpa}$$

Pada badan $\left(\frac{h}{t}\right) = 60,5$

$$F_{cr2} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2}, k = 23,9 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.6})$$

$$= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(60,5)^2}$$

$$= 1180,3 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr 2} = 280 \text{ Mpa}$$

$$M_{\text{sayap}} = A_{\text{sayap}} \cdot F_{cr 1} \cdot h \quad (\text{Persamaan 3.3})$$

$$= (80,2) \cdot 280 \cdot 123$$

$$= 5510400 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{badan}} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot t \cdot h^2 \cdot F_{cr 2} \quad (\text{Persamaan 3.4})$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 2 \cdot 121^2 \cdot 280$$

$$= 2732986,67 \text{ Nmm}$$

$$M = M_{\text{sayap}} + M_{\text{badan}} \quad (\text{Persamaan 3.5})$$

$$= 5510400 \text{ Nmm} + 2732986,67 \text{ Nmm}$$

$$= 8243386,67 \text{ Nmm}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L \quad (\text{Persamaan 3.42})$$

$$P = \frac{6 \cdot M}{L}$$

$$= \frac{6 \cdot 8243386,67}{3000}$$

$$= 16486,8 \text{ N} = 16,4868 \text{ kN}$$

Benda Uji -3 (150 x 80 x 2)

$$\text{Pada sayap } \left(\frac{b}{t} \right) = 40$$

$$F_{cr 1} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t} \right)^2}, k = 4 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.4})$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(40)^2}$$

$$= 451,9 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr 1} = 280 \text{ Mpa}$$

Pada badan $\left(\frac{h}{t}\right) = 73$

$$F_{cr2} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E'}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2}, k = 23,9 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.6})$$

$$= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(73)^2}$$

$$= 810,7 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr2} = 280 \text{ Mpa}$$

$$M_{\text{sayap}} = A_{\text{sayap}} \cdot F_{cr1} \cdot h \quad (\text{Persamaan 3.3})$$

$$= (80,2) \cdot 280 \cdot 148$$

$$= 6630400 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{badan}} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot t \cdot h^2 \cdot F_{cr2} \quad (\text{Persamaan 3.4})$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 2 \cdot 146^2 \cdot 280$$

$$= 3978986,67 \text{ Nmm}$$

$$M = M_{\text{sayap}} + M_{\text{badan}} \quad (\text{Persamaan 3.5})$$

$$= 6630400 \text{ Nmm} + 3978986,67 \text{ Nmm}$$

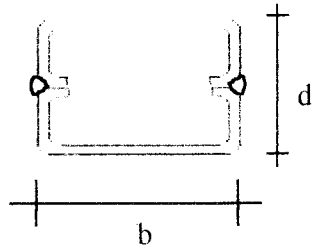
$$= 10609386,67 \text{ Nmm}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L \quad (\text{Persamaan 3.42})$$

$$P = \frac{6 \cdot M}{L}$$

$$= \frac{6 \cdot 10609386,67}{3000}$$

$$= 21218,8 \text{ N} = 21,2188 \text{ kN}$$



Benda Uji -4 (80 x 100 x 2)

Pada sayap $\left(\frac{b}{t}\right) = 50$

$$F_{cr1} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}, k = 4 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.4})$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0.3^2)(50)^2}$$

$$= 289,2 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr1} = 280 \text{ Mpa}$$

Pada badan $\left(\frac{h}{t}\right) = 38$

$$F_{cr2} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2}, k = 23,9 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.6})$$

$$= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0.3^2)(38)^2}$$

$$= 2991,83 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr2} = 280 \text{ Mpa}$$

$$M_{sayap} = A_{sayap} \cdot F_{cr1} \cdot h \quad (\text{Persamaan 3.3})$$

$$= (100.2) \cdot 280 \cdot 78$$

$$= 4368000 \text{ Nmm}$$

$$M_{badan} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot t \cdot h^2 \cdot F_{cr2} \quad (\text{Persamaan 3.4})$$

$$= 2.1/6. 2. 76^2. 280$$

$$= 1078186,67 \text{ Nmm}$$

$$M = M \text{ sayap} + M \text{ badan} \quad (\text{Persamaan 3.5})$$

$$= 4368000 \text{ Nmm} + 1078186,67 \text{ Nmm}$$

$$= 5446186,67 \text{ Nmm}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L \quad (\text{Persamaan 3.42})$$

$$P = \frac{6 \cdot M}{L}$$

$$= \frac{6 \cdot 5446186,67}{3000}$$

$$= 10892,4 \text{ N} = 10,8924 \text{ kN}$$

Benda Uji -5 (80 x 125 x 2)

$$\text{Pada sayap} \left(\frac{b}{t} \right) = 62,5$$

$$F_{cr1} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t} \right)^2}, k = 4 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.4})$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(62,5)^2}$$

$$= 185,1 \text{ Mpa}$$

$$\text{Pada badan} \left(\frac{h}{t} \right) = 38$$

$$F_{cr2} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t} \right)^2}, k = 23,9 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.6})$$

$$= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(38)^2}$$

$$= 2991,83 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr 2} = 280 \text{ Mpa}$$

$$M_{\text{sayap}} = A_{\text{sayap}} \cdot F_{cr 1} \cdot h \quad (\text{Persamaan 3.3})$$

$$= (125,2) \cdot 185,1 \cdot 78$$

$$= 3609450 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{badan}} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot t \cdot h^2 \cdot F_{cr 2} \quad (\text{Persamaan 3.4})$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 2 \cdot 76^2 \cdot 280$$

$$= 1078186,67 \text{ Nmm}$$

$$M = M_{\text{sayap}} + M_{\text{badan}} \quad (\text{Persamaan 3.5})$$

$$= 3609450 \text{ Nmm} + 1078186,67 \text{ Nmm}$$

$$= 4687636,67 \text{ Nmm}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L \quad (\text{Persamaan 3.42})$$

$$P = \frac{6 \cdot M}{L}$$

$$= \frac{6 \cdot 4687636,67}{3000}$$

$$= 9375,3 \text{ N} = 9,3753 \text{ kN}$$

Benda Uji -6 (80 x 150 x 2)

$$\text{Pada sayap } \left(\frac{b}{t} \right) = 75$$

$$F_{cr 1} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t} \right)^2}, k = 4 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.4})$$

$$= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(75)^2}$$

$$= 128,54 \text{ Mpa}$$

Pada badan $\left(\frac{h}{t}\right) = 38$

$$F_{cr2} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2}, k = 23,9 \quad (\text{Persamaan 3.7 dan Gambar 3.6})$$

$$= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{12(1 - 0,3^2)(38)^2}$$

$$= 2991,83 \text{ Mpa} > F_y = 280 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{dipakai } F_{cr2} = 280 \text{ Mpa}$$

$$M_{\text{sayap}} = A_{\text{sayap}} \cdot F_{cr1} \cdot h \quad (\text{Persamaan 3.3})$$

$$= (150,2) \cdot 128,54 \cdot 78$$

$$= 3007836 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{badan}} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot t \cdot h^2 \cdot F_{cr2} \quad (\text{Persamaan 3.4})$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 2 \cdot 76^2 \cdot 280$$

$$= 1078186,67 \text{ Nmm}$$

$$M = M_{\text{sayap}} + M_{\text{badan}} \quad (\text{Persamaan 3.5})$$

$$= 3007836 \text{ Nmm} + 1078186,67 \text{ Nmm}$$

$$= 4086022,67 \text{ Nmm}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L \quad (\text{Persamaan 3.42})$$

$$P = \frac{6 \cdot M}{L}$$

$$= \frac{6 \cdot 4086022,67}{3000}$$

$$= 8172 \text{ N} = 8,172 \text{ kN}$$

21/3/03 Perbaik. ✓
 24/3/03 Perbaik. ✓

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
	13/02/02	Handbook form all main customer kebonduku	
	17/02/02	Diperbaiki	
	18/02/02	Diperbaiki	
	22/10/02	Siapa Semua	
		con k-lone pengujian	
		- Max - 40	
		- My - 40	
		Diket Capra	18/01/2003
		diusut	
		Masudku	
	24/1/03	Perbaik. ✓	Capra ke D P I
	25/1/03	Perbaik. ✓	
	12/2/03	Perbaik. ✓	18/03-2003
	17/2/03	Hal 10	
		Sida	

Perbaik. larca pucudane
 Dikyutke febr

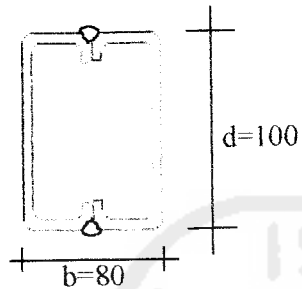


LAMPIRAN IV

Perhitungan Nilai Koefisien Kekakuan

Perhitungan Nilai Koefisien Kekakuan (k)

Benda Uji -1 (100 x 80 x 2)



$$t_w = t_f = 2 \text{ mm}$$

$$y = 50 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 + A y^2$$

$$I_{x1} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2.96^3 \right) \times 2 = 294912 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \left(\frac{1}{12} \cdot 80.2^3 + 80.2 \cdot 49^2 \right) \times 2 = 768426,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{x3} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2.8^3 + 2.8 \cdot 44^2 \right) \times 4 = 124245,333 \text{ mm}^4$$

$$I_x \text{ total} = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} = 1187584 \text{ mm}^4$$

$$P \text{ max} = 7,5 \text{ KN}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 7,5 \cdot 3000 = 3750 \text{ KNmm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{1187584}{50} = 23751,68 \text{ mm}^3$$

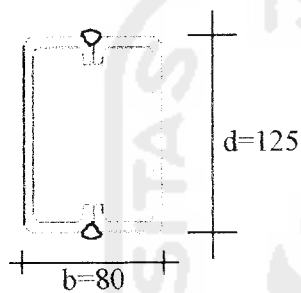
$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{3750}{23751,68} = 0,15788 \text{ KN/mm}^2 = 157,88 \text{ N/mm}^2$$

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{l} \right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$E = 200.000 \text{ Mpa}$; $\mu = 0,3$; untuk sayap $b/t = 40$

$$k_{sayap} = \frac{157,88 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) 40^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 1,3975$$

Benda Uji -2 (125 x 80 x 2)



$$t_w = t_f = 2 \text{ mm}$$

$$y = 62,5 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 + A y^2$$

$$I_{x1} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 121^3 \right) \times 2 = 590520,333 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \left(\frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 2^3 + 80 \cdot 2 \cdot 61,5^2 \right) \times 2 = 1210426,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{x3} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 8^3 + 2 \cdot 8 \cdot 56,5^2 \right) \times 4 = 204645,333 \text{ mm}^4$$

$$I_x \text{ total} = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} = 2005592,333 \text{ mm}^4$$

$$P_{\text{max}} = 13,5 \text{ KN}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 13,5 \cdot 3000 = 6750 \text{ KNmm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{2005592,333}{62,5} = 32089,477 \text{ mm}^3$$

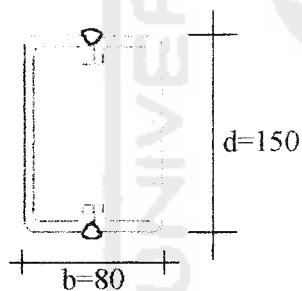
$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{6750}{32089,447} = 0,21035 \text{ KN/mm}^2 = 210,35 \text{ N/mm}^2$$

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$E = 200.000 \text{ Mpa}$; $\mu = 0,3$; untuk sayap $b/t = 40$

$$k_{sayap} = \frac{210,35 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) 40^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 1,8619$$

Benda Uji -3 (150 x 80 x 2)



$$t_w = t_f = 2 \text{ mm}$$

$$y = 75 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 + A y^2$$

$$I_{x1} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 146^3 \right) \times 2 = 1037378,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \left(\frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 2^3 + 80 \cdot 2 \cdot 74^2 \right) \times 2 = 1752426,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{x3} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2.8^3 + 2.8 \cdot 69^2 \right) \times 4 = 305045,333 \text{ mm}^4$$

$$I_x \text{ total} = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} = 3094850,667 \text{ mm}^4$$

$$P \text{ max} = 21 \text{ KN}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 21 \cdot 3000 = 10500 \text{ KNmm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{3094850,667}{75} = 41264,676 \text{ mm}^3$$

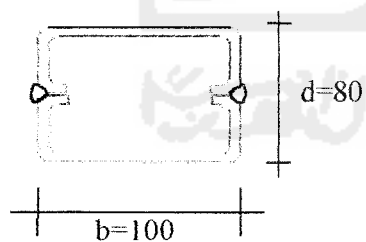
$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{10500}{41264,676} = 0,2544 \text{ KN/mm}^2 = 254,4 \text{ N/mm}^2$$

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t} \right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$$E = 200.000 \text{ Mpa} ; \mu = 0,3 ; \text{ untuk sayap } b/t = 40$$

$$k_{sayap} = \frac{254,4 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 40^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 2,2518$$

Benda Uji -4 (80 x 100 x 2)



$$t_w = t_f = 2 \text{ mm}$$

$$y = 40 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 + Ay^2$$

$$I_{x1} = \left(\frac{1}{12} \cdot 96 \cdot 2^3 + 96 \cdot 2 \cdot 39^2 \right) \times 2 = 584192 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \left(\frac{1}{12} \cdot 80^3 \cdot 2 \right) \times 2 = 170666,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{x3} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2^3 \cdot 8 + 2 \cdot 8 \cdot 1^2 \right) \times 4 = 85,333 \text{ mm}^4$$

$$I_x \text{ total} = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} = 754944 \text{ mm}^4$$

$$P \text{ max} = 5,35 \text{ KN}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 5,35 \cdot 3000 = 2675 \text{ KNmm}$$

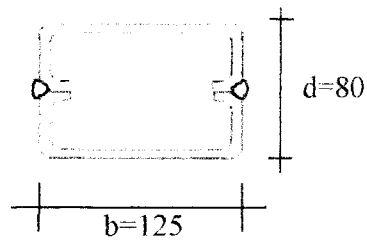
$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{754944}{40} = 18873,6 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{2675}{18873,6} = 0,14173 \text{ KN/mm}^2 = 141,73 \text{ N/mm}^2$$

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t} \right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$$E = 200.000 \text{ Mpa} ; \mu = 0,3 ; \text{ untuk sayap } b/t = 50$$

$$k_{\text{sayap}} = \frac{141,73 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 50^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 1,9602$$

Benda Uji -5 (80 x 125 x 2)

$$t_w = t_f = 2 \text{ mm}$$

$$y = 40 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 + A y^2$$

$$I_{x1} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2^3 \cdot 121 + 2 \cdot 121 \cdot 39^2 \right) \times 2 = 736325,333 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \left(\frac{1}{12} \cdot 80^3 \cdot 2 \right) \times 2 = 170666,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{x3} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2^3 \cdot 8 + 2 \cdot 8 \cdot 1^2 \right) \times 4 = 85,333 \text{ mm}^4$$

$$I_x \text{ total} = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} = 907077,333 \text{ mm}^4$$

$$P \text{ max} = 9 \text{ KN}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 9 \cdot 3000 = 4500 \text{ KNmm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{907077,333}{40} = 22676,933 \text{ mm}^3$$

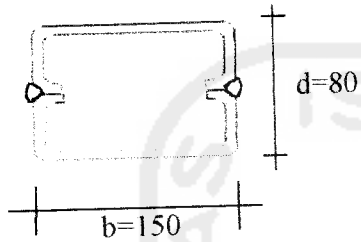
$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{4500}{22676,933} = 0,19844 \text{ KN / mm}^2 = 198,44 \text{ N / mm}^2$$

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t} \right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$E = 200.000 \text{ Mpa}$; $\mu = 0,3$; untuk sayap $b/t = 62,5$

$$k_{sayap} = \frac{198,44 \cdot 12(1 - 0,3^2)62,5^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 4,2883$$

Benda Uji -6 (80 x 150 x 2)



$$t_w = t_f = 2 \text{ mm}$$

$$y = 40 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 + Ay^2$$

$$I_{x1} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2^3 \cdot 146 + 2 \cdot 146 \cdot 39^2 \right) \times 2 = 888458,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \left(\frac{1}{12} \cdot 80^3 \cdot 2 \right) \times 2 = 170666,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{x3} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2^3 \cdot 8 + 2 \cdot 8 \cdot 1^2 \right) \times 4 = 85,333 \text{ mm}^4$$

$$I_x \text{ total} = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} = 1059210,667 \text{ mm}^4$$

$$P \text{ max} = 15 \text{ KN}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 15 \cdot 3000 = 7500 \text{ KNmm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{1059210,667}{40} = 26480,267 \text{ mm}^3$$

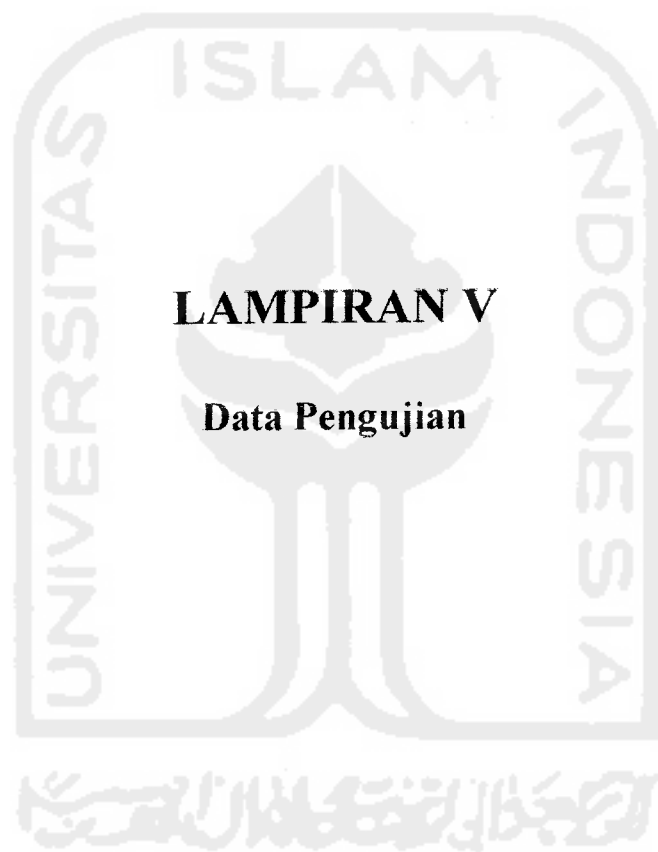
$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{7500}{26480,267} = 0,2832 \text{KN} / \text{mm}^2 = 283,2 \text{N} / \text{mm}^2$$

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t} \right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$E = 200.000 \text{ Mpa}$; $\mu = 0,3$; untuk sayap $b/t = 75$

$$k_{sayap} = \frac{283,2 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) 75^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 8,8127$$





TABEL HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN

Benda uji-1

Beban (Kn)	Defleksi		
	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
0	0	0	0
3	9.1	11.7	9.92
6	30.6	35	30.74
6	43.9	50	43.24
7	62.8	69.55	54.44
7.5	65.4	73.24	57.63
6.3	66.5	75.05	59.39
6.3	68.4	77.56	60.64
6.3	69.4	79	61.49

Benda uji-2

Beban (Kn)	Defleksi		
	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
0	0	0	0
3	4.15	4.7	3.38
6	17.04	19.85	16.24
9	21.25	32.75	24.75
12	35.6	49.9	39.55
13.5	47.47	63.3	46.38
11	43.51	65	49.36
11	44.69	66.5	49.94
11	46.38	67.9	50.3
11	47.25	69.3	51.34

Benda uji-3

Beban (Kn)	Defleksi		
	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
0	0	0	0
3	2.2	3.48	3.1
6	6.13	7.47	6.6
9	9.84	11.9	10.44
12	12.83	15.65	13.61
15	16.93	20.81	18.05
18	19.22	24.56	21.62
21	30	34.58	30.67
18	33.76	41.52	34.91
17.5	34.58	42.35	35.61
16	35.98	43.64	36.33
16	36.37	44.95	37.03
16	38.42	46.25	37.73

TABEL HUBUNGAN BEBAN DENGAN LENDUTAN

Benda uji- 4

72

Beban (Kn)	Defleksi		
	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
0	0	0	0
3	15.05	17.45	15.04
3.5	21.39	25.4	21.05
5	40.4	48.1	39.95
5	43.78	51	42.1
5	45.02	52.65	43.45
5	46.48	54.22	44.97
5.25	47.93	55.9	46.45
5.25	49.42	57.7	47.93
5.25	50.91	59.44	49.42
5.3	52.38	60.97	50.88
5.3	53.87	62.5	52.35
5.35	55.35	64.23	53.84
5.35	57.85	66.75	56.27

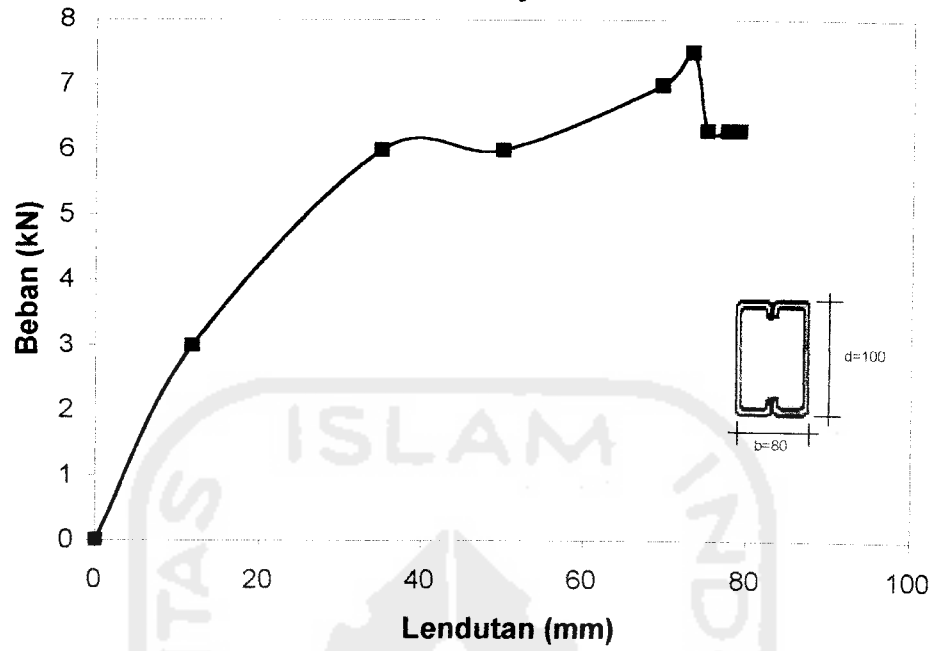
Benda uji- 5

Beban (Kn)	Defleksi		
	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
0	0	0	0
3	8.05	8.9	7.45
5	20.2	22.21	20.3
5.5	30.85	34.1	30.5
6	37.7	41.5	34.98
7	49.8	56.5	47.8
8.5	62	72.3	60.85
8.6	73.73	86.46	73
8.8	74	87.79	74.73
8.8	75.3	89.75	75.85
9	77.7	91.98	77.55
9	78.6	93.33	78.85
9	79.25	95.45	79.95

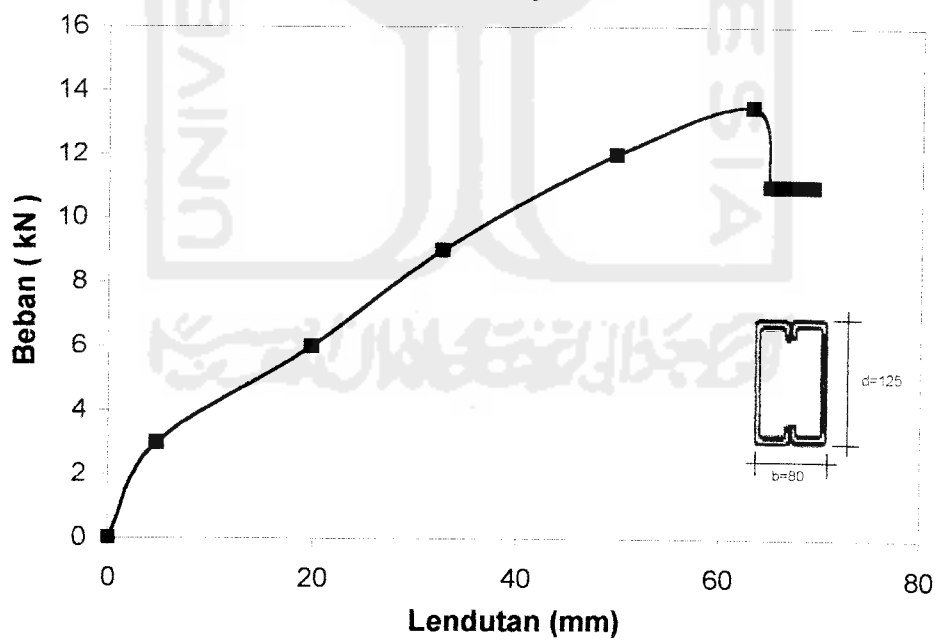
Benda uji- 6

Beban (Kn)	Defleksi		
	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
0	0	0	0
3	4.45	5.25	4.5
6	10.5	11.8	9.3
6.5	19.43	21	17.3
9	30.15	33.5	26.3
9	35.98	39	30.5
12	51.28	58.2	47.15
12.5	66.53	73.4	59.36
13	72.93	87.15	66.64
15	78.48	95.95	71.56
15	80.48	98.55	74.56
15	84.33	104.98	81.65

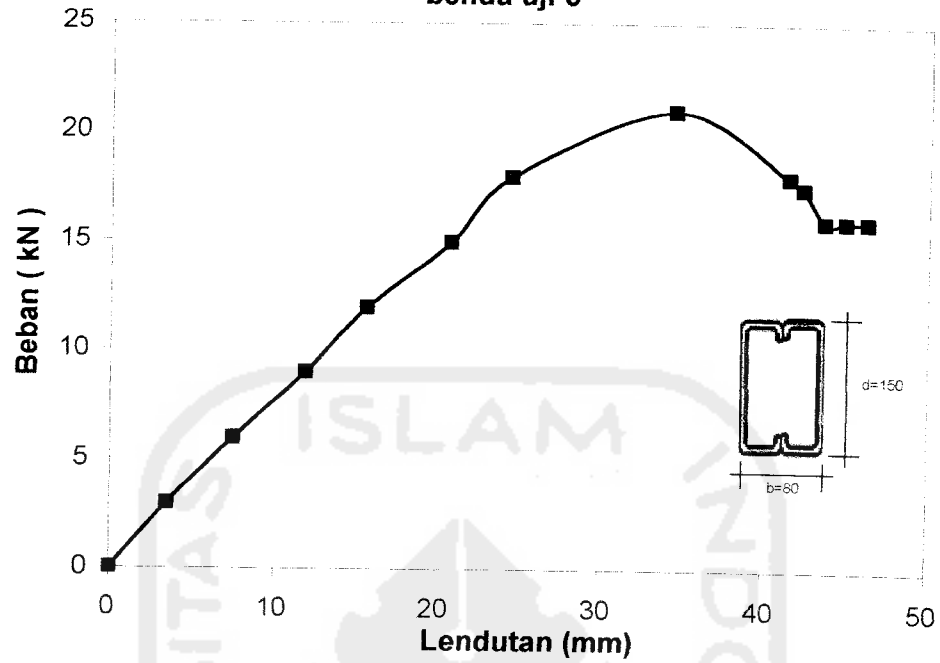
Grafik hubungan beban dan lendutan
benda uji-1



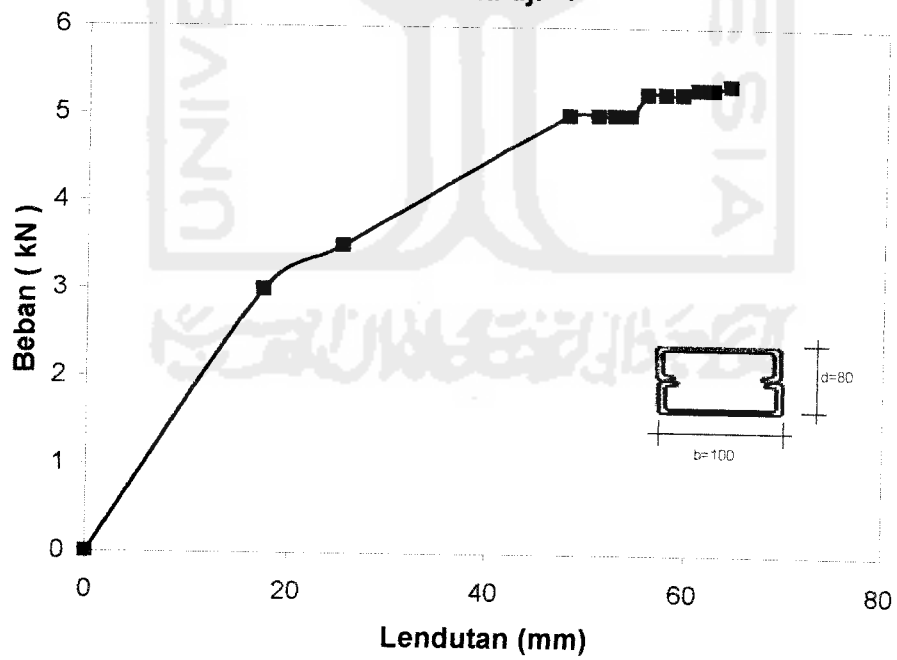
Grafik hubungan beban dan lendutan
benda uji-2



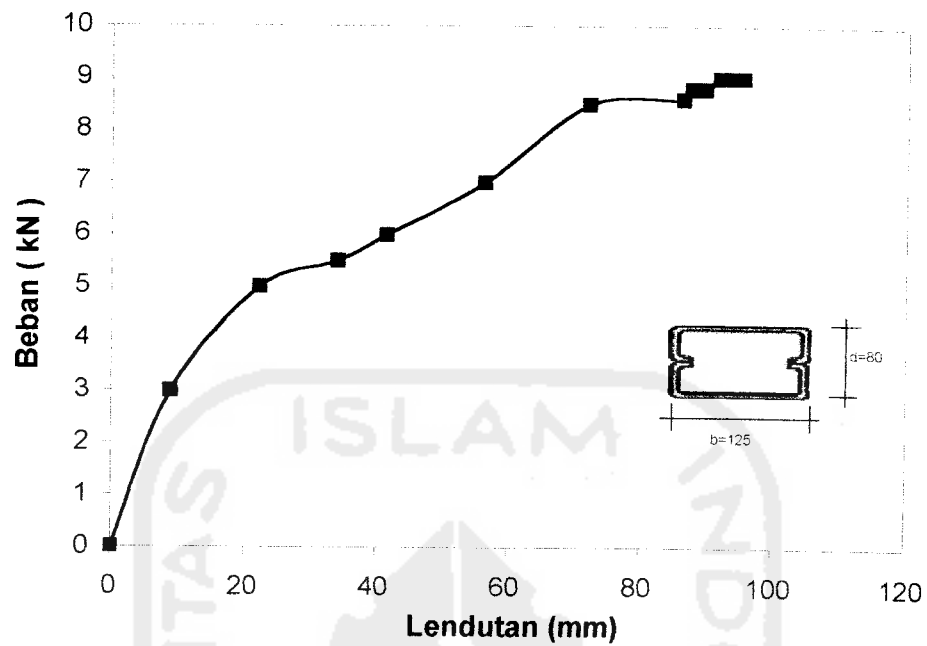
Grafik hubungan beban dan lendutan benda uji-3



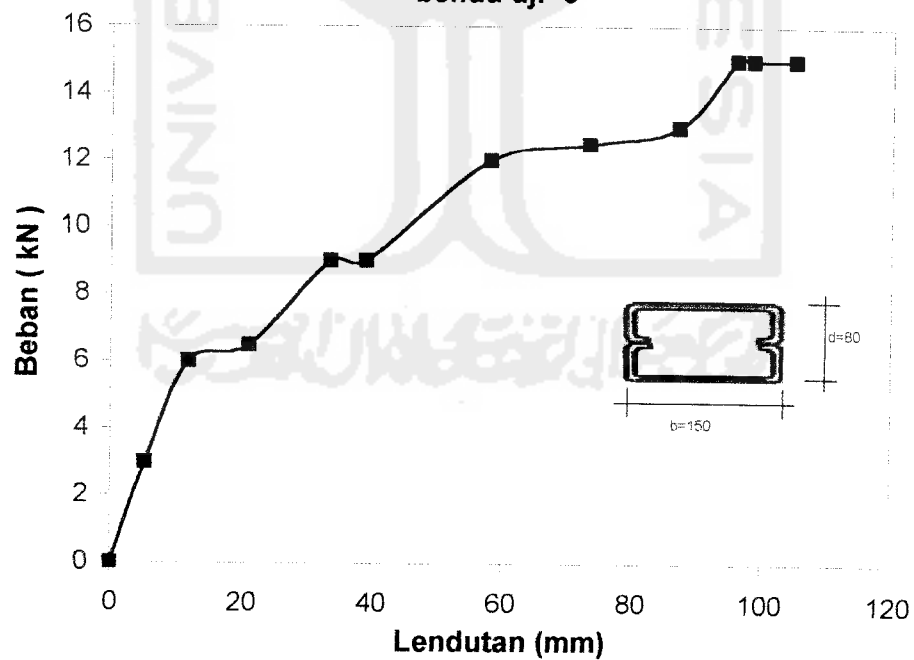
Grafik hubungan beban dan lendutan benda uji- 4



Grafik hubungan beban dan lendutan
benda uji- 5



Grafik hubungan beban dan lendutan
benda uji- 6



TABEL HUBUNGAN MOMEN DENGAN KELENGKUNGAN

Benda uji-1

Beban (Kn)	Bentang (L) (mm)	Defleksi			Momen (KNmm) $M = PL/6$	Kelengkungan (1/mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
0	3000	0	0	0	0	0
3	3000	9.1	11.7	9.92	1500	0.00001752
6	3000	30.6	35	30.74	3000	0.00003464
6	3000	43.9	50	43.24	3000	0.00005144
7	3000	62.8	69.55	54.44	3500	0.00008744
7.5	3000	65.4	73.24	57.63	3750	9.38E-05
6.3	3000	66.5	75.05	59.39	3150	0.00009684
6.3	3000	68.4	77.56	60.64	3150	0.00010432
6.3	3000	69.4	79	61.49	3150	0.00010844

Benda uji-2

Beban (Kn)	Bentang (L) (mm)	Defleksi			Momen (KNmm) $M = PL/6$	Kelengkungan (1/mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
0	3000	0	0	0	0	0
3	3000	4.15	4.7	3.38	1500	0.00000748
6	3000	17.04	19.85	16.24	3000	0.00002568
9	3000	21.25	32.75	24.75	4500	0.0000078
12	3000	35.6	49.9	39.55	6000	0.0000986
13.5	3000	47.47	63.3	46.38	6750	0.000131
11	3000	43.51	65	49.36	5500	0.00014852
11	3000	44.69	66.5	49.94	5500	0.00015348
11	3000	46.38	67.9	50.3	5500	0.00015648
11	3000	47.25	69.3	51.34	5500	0.00016004

Benda uji-3

Beban (Kn)	Bentang (L) (mm)	Defleksi			Momen (KNmm) $M = PL/6$	Kelengkungan (1/mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
0	3000	0	0	0	0	0
3	3000	2.2	3.48	3.1	1500	0.00000664
6	3000	6.13	7.47	6.6	3000	0.00000884
9	3000	9.84	11.9	10.44	4500	0.00001408
12	3000	12.83	15.65	13.61	6000	0.00001944
15	3000	16.93	20.81	18.05	7500	0.00002656
18	3000	19.22	24.56	21.62	9000	0.00003312
21	3000	30	34.58	30.67	10500	0.00003396
18	3000	33.76	41.52	34.91	9000	0.00005748
17.5	3000	34.58	42.35	35.61	8750	0.00005804
16	3000	35.98	43.64	36.33	8000	0.00005988
16	3000	36.37	44.95	37.03	8000	0.000066
16	3000	38.42	46.25	37.73	8000	0.0000654

Benda uji- 4

Beban (Kn)	Bentang (L) (mm)	Defleksi			Momen (KNmm) M = PL/6	Kelengkungan (1/mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
0	3000	0	0	0	0	0
3	3000	15.05	17.45	15.04	1500	0.00001924
3.5	3000	21.39	25.4	21.05	1750	0.00003344
5	3000	40.4	48.1	39.95	2500	0.0000634
5	3000	43.78	51	42.1	2500	0.00006448
5	3000	45.02	52.65	43.45	2500	0.00006732
5	3000	46.48	54.22	44.97	2500	0.00006796
5.25	3000	47.93	55.9	46.45	2625	0.00006968
5.25	3000	49.42	57.7	47.93	2625	0.0000722
5.25	3000	50.91	59.44	49.42	2625	0.0000742
5.3	3000	52.38	60.97	50.88	2650	0.00007472
5.3	3000	53.87	62.5	52.35	2650	0.00007512
5.35	3000	55.35	64.23	53.84	2675	0.00007708
5.35	3000	57.85	66.75	56.27	2675	7.752E-05

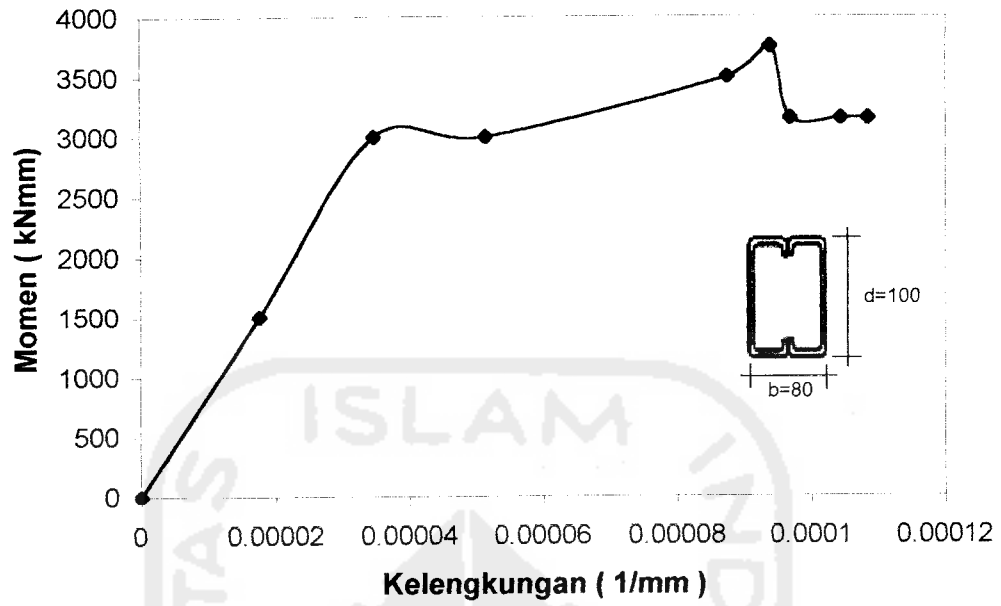
Benda uji- 5

Beban (Kn)	Bentang (L) (mm)	Defleksi			Momen (KNmm) M = PL/6	Kelengkungan (1/mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
0	3000	0	0	0	0	0
3	3000	8.05	8.9	7.45	1500	0.0000092
5	3000	20.2	22.21	20.3	2500	0.00001568
5.5	3000	30.85	34.1	30.5	2750	0.0000274
6	3000	37.7	41.5	34.98	3000	0.00004128
7	3000	49.8	56.5	47.8	3500	0.0000616
8.5	3000	62	72.3	60.85	4250	0.000087
8.6	3000	73.73	86.46	73	4300	0.00010476
8.8	3000	74	87.79	74.73	4400	0.0001074
8.8	3000	75.3	89.75	75.85	4400	0.0001134
9	3000	77.7	91.98	77.55	4500	0.00011484
9	3000	78.6	93.33	78.85	4500	0.00011684
9	3000	79.25	95.45	79.95	4500	0.0001268

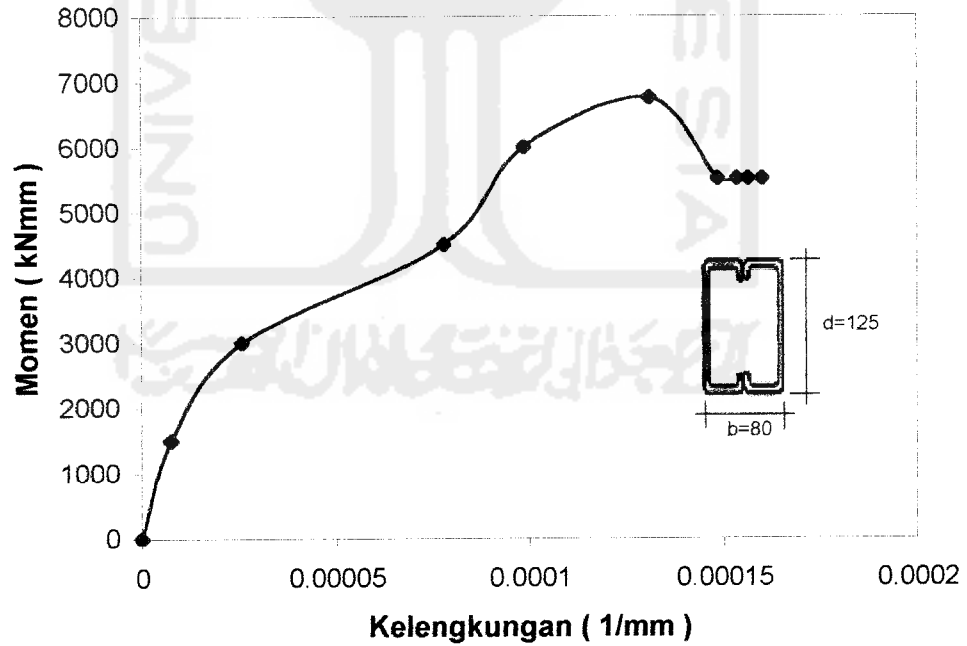
Benda uji- 6

Beban (Kn)	Bentang (L) (mm)	Defleksi			Momen (KNmm) M = PL/6	Kelengkungan (1/mm)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)		
0	3000	0	0	0	0	0
3	3000	4.45	5.25	4.5	1500	0.0000062
6	3000	10.5	11.8	9.3	3000	0.0000152
6.5	3000	19.43	21	17.3	3250	0.00002108
9	3000	30.15	33.5	26.3	4500	0.0000422
9	3000	35.98	39	30.5	4500	0.00004608
12	3000	51.28	58.2	47.15	6000	0.00007188
12.5	3000	66.53	73.4	59.36	6250	0.00008364
13	3000	72.93	87.15	66.64	6500	0.00013892
15	3000	78.48	95.95	71.56	7500	0.00016744
15	3000	80.48	98.55	74.56	7500	0.00016824
15	3000	84.33	104.98	81.65	7500	0.00017592

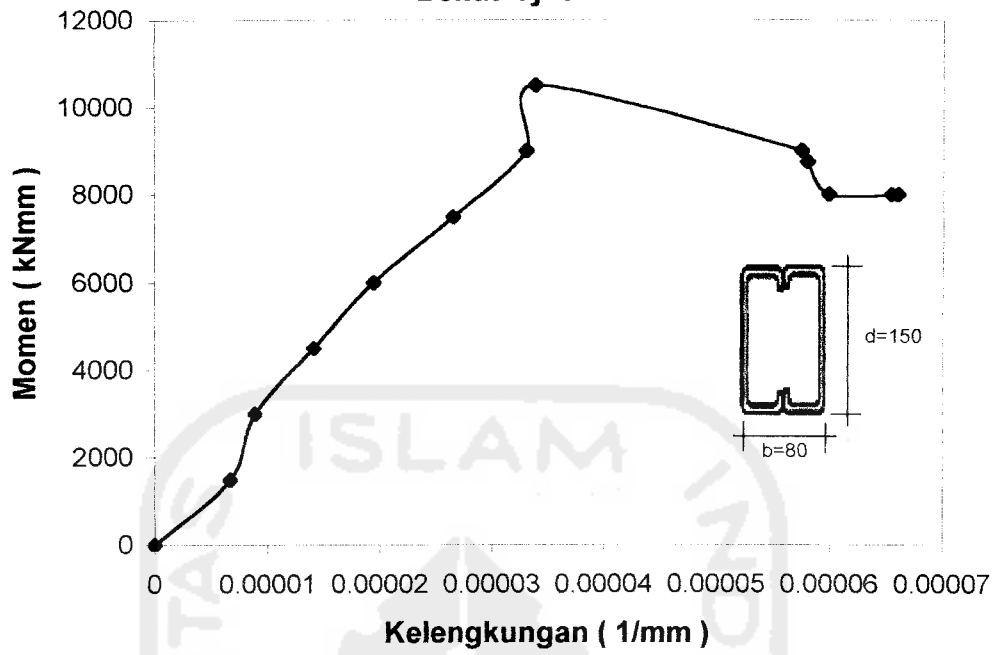
**Grafik hubungan momen - kelengkungan
Benda uji-1**



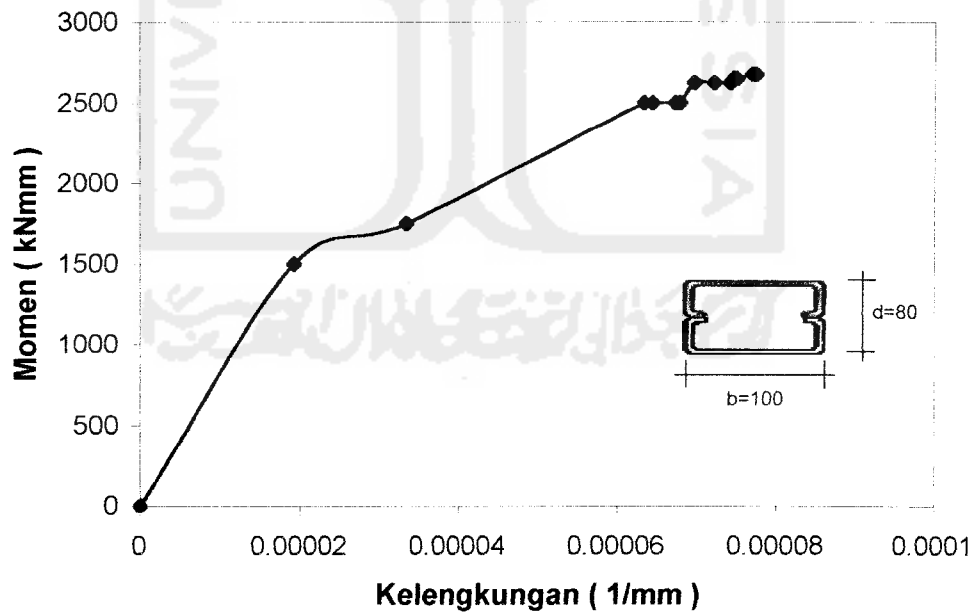
**Grafik hubungan momen - kelengkungan
Benda uji-2**



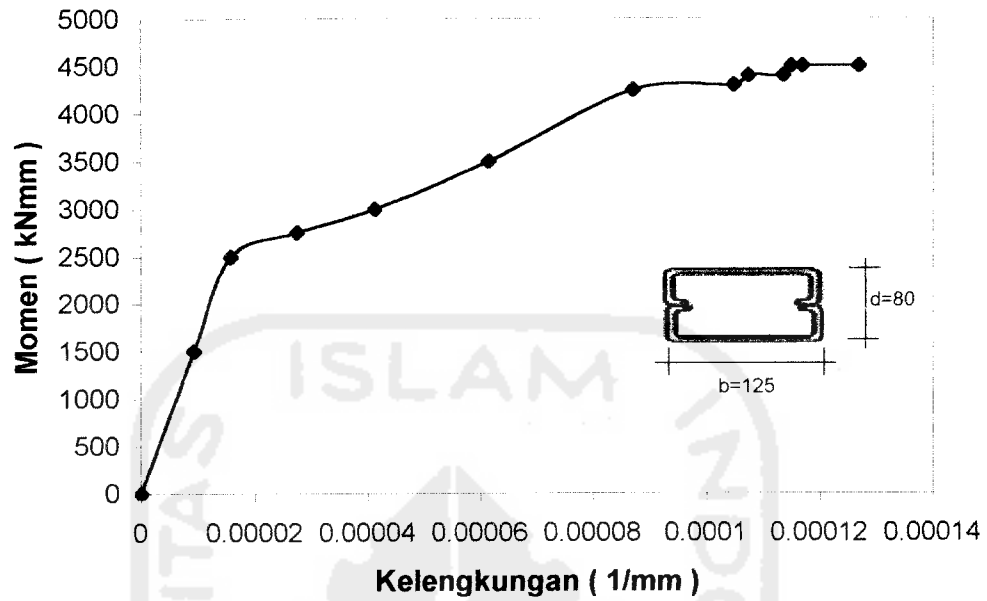
**Grafik hubungan momen - kelengkungan
Benda uji-3**



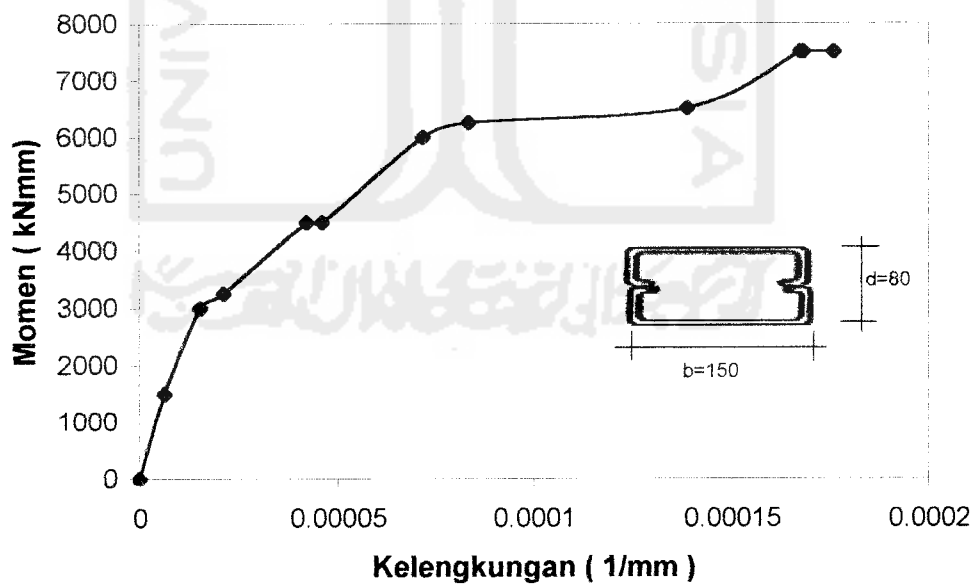
**Grafik Hubungan momen - kelengkungan
benda uji-4**



**Grafik hubungan momen - kelengkungan
benda uji-5**



**Grafik hubungan momen - kelengkungan
benda uji-6**



Tabel Perbandingan Lendutan Teoritis dan Pengujian
Benda uji-1

No	P pengujian (kN)	P rencana (kN)	L (mm)	EI (kNmm ²)	Defleksi pengujian (mm)	Defleksi teoritis (mm)
1	0	0	3000	237516800	0	0
2	3	3	3000	237516800	11.7	6.052203465
3	6	6	3000	237516800	35	12.10440693
4	6	9	3000	237516800	50	18.1566104
5	7	12	3000	237516800	69.55	24.20881386
6	7.5	12.22144	3000	237516800	73.24	24.65554717
7	6.3		3000	237516800	75.05	
8	6.3		3000	237516800	77.56	
9	6.3		3000	237516800	79	

Benda uji-2

No	P pengujian (kN)	P rencana (kN)	L (mm)	EI (kNmm ²)	Defleksi pengujian (mm)	Defleksi teoritis (mm)
1	0	0	3000	401118467	0	0
2	3	3	3000	401118467	4.7	3.583729296
3	6	6	3000	401118467	19.85	7.167458592
4	9	9	3000	401118467	32.75	10.75118789
5	12	12	3000	401118467	49.9	14.33491718
6	13.5	15	3000	401118467	63.3	17.91864648
7	11	16.4868	3000	401118467	65	19.69474272
8	11		3000	401118467	66.5	
9	11		3000	401118467	67.9	
10	11		3000	401118467	69.3	

Benda uji-3

No	P pengujian (kN)	P rencana (kN)	L (mm)	EI (kNmm ²)	Defleksi pengujian (mm)	Defleksi teoritis (mm)
1	0	0	3000	618970133	0	0
2	3	3	3000	618970133	3.48	2.322406078
3	6	6	3000	618970133	7.47	4.644812156
4	9	9	3000	618970133	11.9	6.967218234
5	12	12	3000	618970133	15.65	9.289624313
6	15	15	3000	618970133	20.81	11.61203039
7	18	18	3000	618970133	24.56	13.93443647
8	21	21	3000	618970133	34.58	16.25684255
9	18	21.2188	3000	618970133	41.52	16.42622336
10	17.5		3000	618970133	42.35	
11	16		3000	618970133	43.64	
12	16		3000	618970133	44.95	
13	16		3000	618970133	46.25	

Benda uji- 4

No	P pengujian (kN)	P rencana (kN)	L (mm)	EI (kNm ²)	Defleksi pengujian (mm)	Defleksi teoritis (mm)
1	0	0	3000	150988800	0	0
2	3	3	3000	150988800	17.45	9.520573711
3	3.5	6	3000	150988800	25.4	19.04114742
4	5	9	3000	150988800	48.1	28.56172113
5	5	10.8924	3000	150988800	51	34.56729903
6	5		3000	150988800	52.65	
7	5		3000	150988800	54.22	
8	5.25		3000	150988800	55.9	
9	5.25		3000	150988800	57.7	
10	5.25		3000	150988800	59.44	
11	5.3		3000	150988800	60.97	
12	5.3		3000	150988800	62.5	
13	5.35		3000	150988800	64.23	
14	5.35		3000	150988800	66.75	

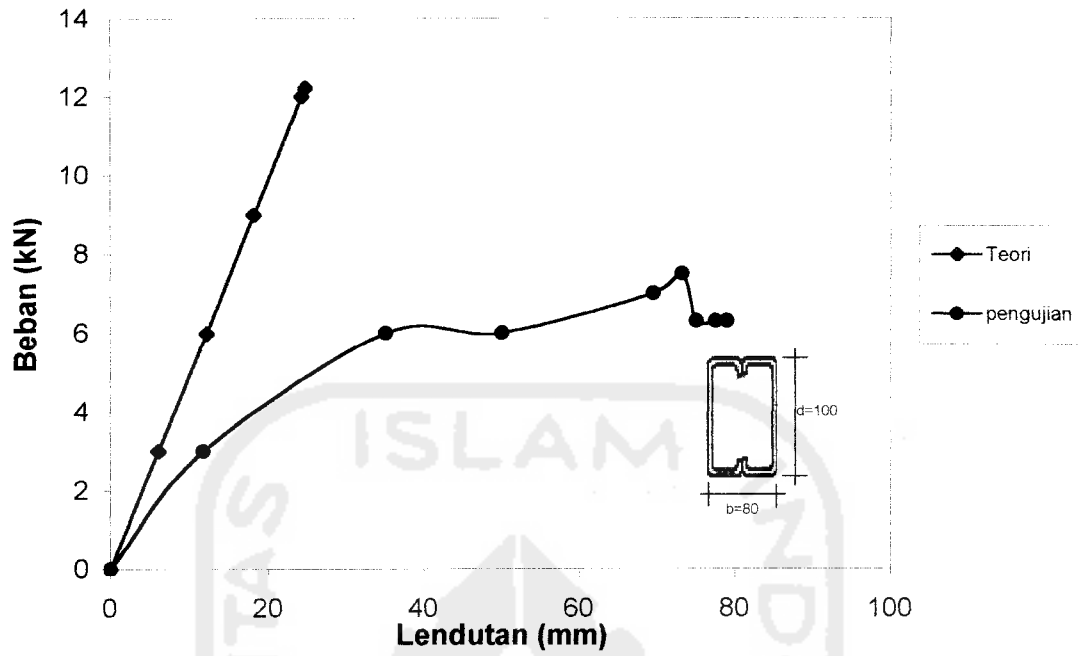
Benda uji- 5

No	P pengujian (kN)	P rencana (kN)	L (mm)	EI (kNm ²)	Defleksi pengujian (mm)	Defleksi teoritis (mm)
1	0	0	3000	181415467	0	0
2	3	3	3000	181415467	8.9	7.923800693
3	5	6	3000	181415467	22.21	15.84760139
4	5.5	9	3000	181415467	34.1	23.77140208
5	6	9.3753	3000	181415467	41.5	24.76266955
6	7		3000	181415467	56.5	
7	8.5		3000	181415467	72.3	
8	8.6		3000	181415467	86.46	
9	8.8		3000	181415467	87.79	
10	8.8		3000	181415467	89.75	
11	9		3000	181415467	91.98	
12	9		3000	181415467	93.33	
13	9		3000	181415467	95.45	

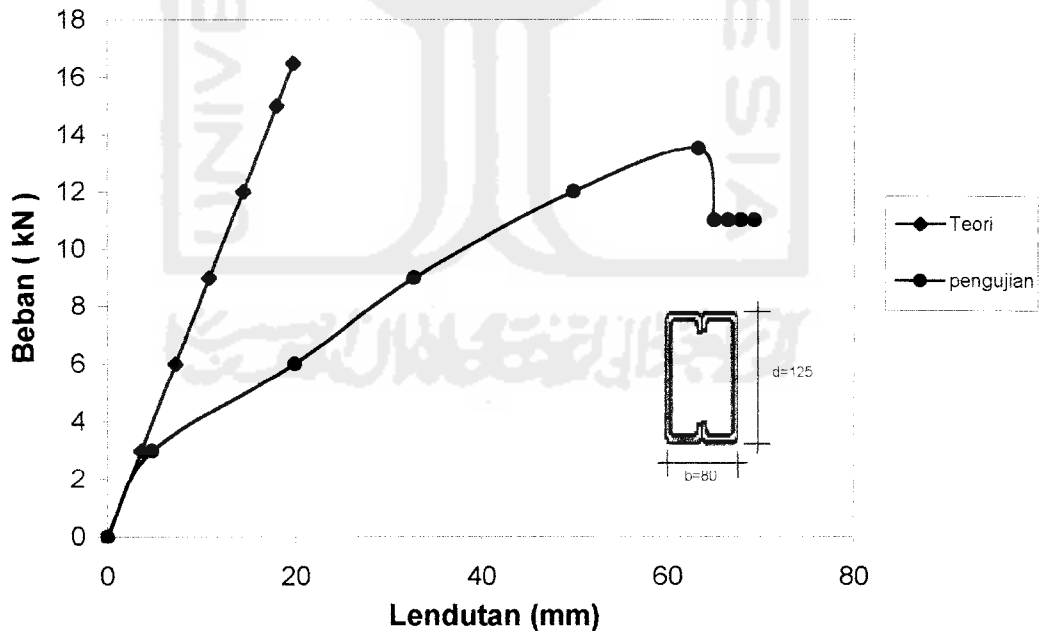
Benda uji- 6

No	P pengujian (kN)	P rencana (kN)	L (mm)	EI (kNm ²)	Defleksi pengujian (mm)	Defleksi teoritis (mm)
1	0	0	3000	211842133	0	0
2	3	3	3000	211842133	5.25	6.785713384
3	6	6	3000	211842133	11.8	13.57142677
4	6.5	8.172	3000	211842133	21	18.48428326
5	9		3000	211842133	33.5	
6	9		3000	211842133	39	
7	12		3000	211842133	58.2	
8	12.5		3000	211842133	73.4	
9	13		3000	211842133	87.15	
10	15		3000	211842133	95.95	
11	15		3000	211842133	98.55	
12	15		3000	211842133	104.98	

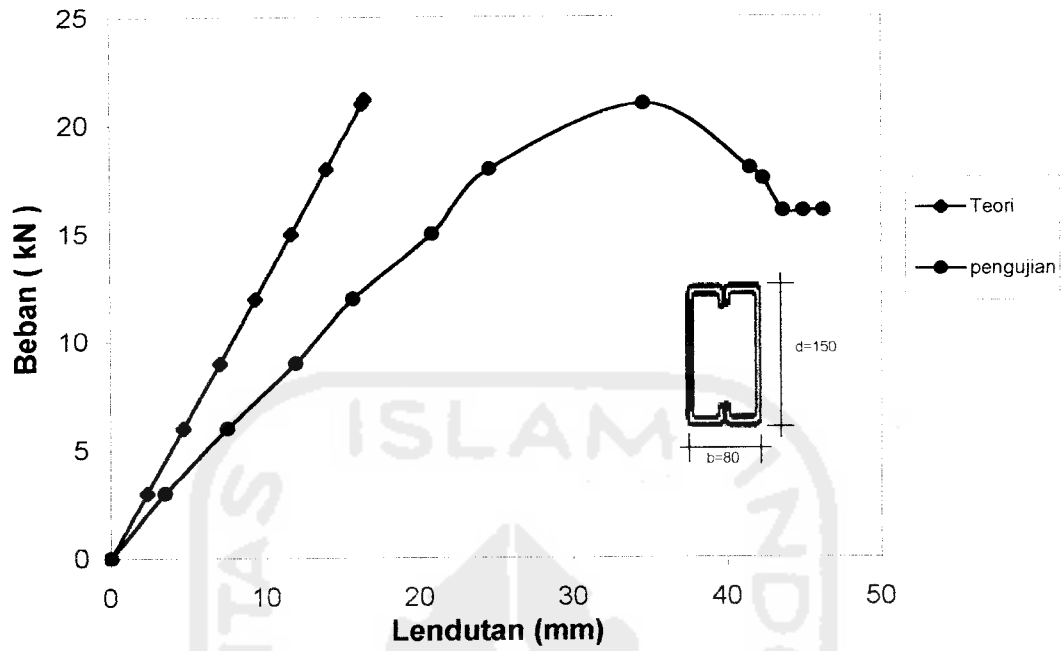
Grafik perbandingan lendutan pengujian - teoritis benda uji-1



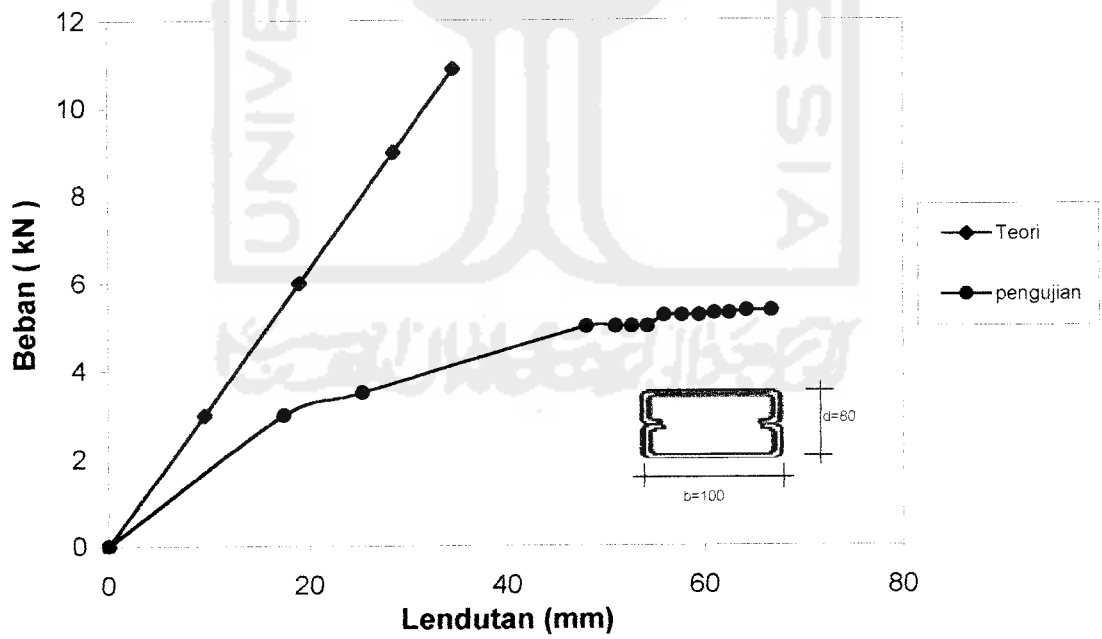
Grafik perbandingan lendutan pengujian - teoritis benda uji-2



Grafik perbandingan lendutan pengujian - teoritis benda uji-3



Grafik perbandingan lendutan pengujian - teoritis benda uji-4



TABEL NON DIMENSIONAL MOMEN DENGAN KELENGKUNGAN

Benda uji-1

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	M/My	Φ/Φ_y
0	0	0	0	0
3	1500	0.00001752	0.42857143	0.20036597
6	3000	0.00003464	0.85714286	0.39615737
6	3000	0.00005144	0.85714286	0.58828911
7	3500	0.00008744	1	1
7.5	3750	9.38E-05	1.07142857	1.07273559
6.3	3150	0.00009684	0.9	1.10750229
6.3	3150	0.00010432	0.9	1.19304666
6.3	3150	0.00010844	0.9	1.24016468

Benda uji-2

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	M/My	Φ/Φ_y
0	0	0	0	0
3	1500	0.00000748	0.25	0.07586207
6	3000	0.00002568	0.5	0.26044625
9	4500	0.000078	0.75	0.79107505
12	6000	0.0000986	1	1
13.5	6750	0.000131	1.125	1.32860041
11	5500	0.00014852	0.91666667	1.50628803
11	5500	0.00015348	0.91666667	1.55659229
11	5500	0.00015648	0.91666667	1.58701826
11	5500	0.00016004	0.91666667	1.62312373

Benda uji-3

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	M/My	Φ/Φ_y
0	0	0	0	0
3	1500	0.00000664	0.16666667	0.20048309
6	3000	0.00000884	0.33333333	0.26690821
9	4500	0.00001408	0.5	0.42512077
12	6000	0.00001944	0.66666667	0.58695652
15	7500	0.00002656	0.83333333	0.80193237
18	9000	0.00003312	1	1
21	10500	0.00003396	1.16666667	1.02536232
18	9000	0.00005748	1	1.73550725
17.5	8750	0.00005804	0.97222222	1.75241546
16	8000	0.00005988	0.88888889	1.80797101
16	8000	0.000066	0.88888889	1.99275362
16	8000	0.0000654	0.88888889	1.97463768

Benda uji- 4

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	M/My	Φ/Φ_y
0	0	0	0	0
3	1500	0.00001924	0.56603774	0.25612354
3.5	1750	0.00003344	0.66037736	0.44515442
5	2500	0.0000634	0.94339623	0.84398296
5	2500	0.00006448	0.94339623	0.85835996
5	2500	0.00006732	0.94339623	0.89616613
5	2500	0.00006796	0.94339623	0.90468584
5.25	2625	0.00006968	0.99056604	0.92758253
5.25	2625	0.0000722	0.99056604	0.96112886
5.25	2625	0.0000742	0.99056604	0.98775293
5.3	2650	0.00007472	1	0.99467519
5.3	2650	0.00007512	1	1
5.35	2675	0.00007708	1.00943396	1.02609159
5.35	2675	7.752E-05	1.00943396	1.03194888

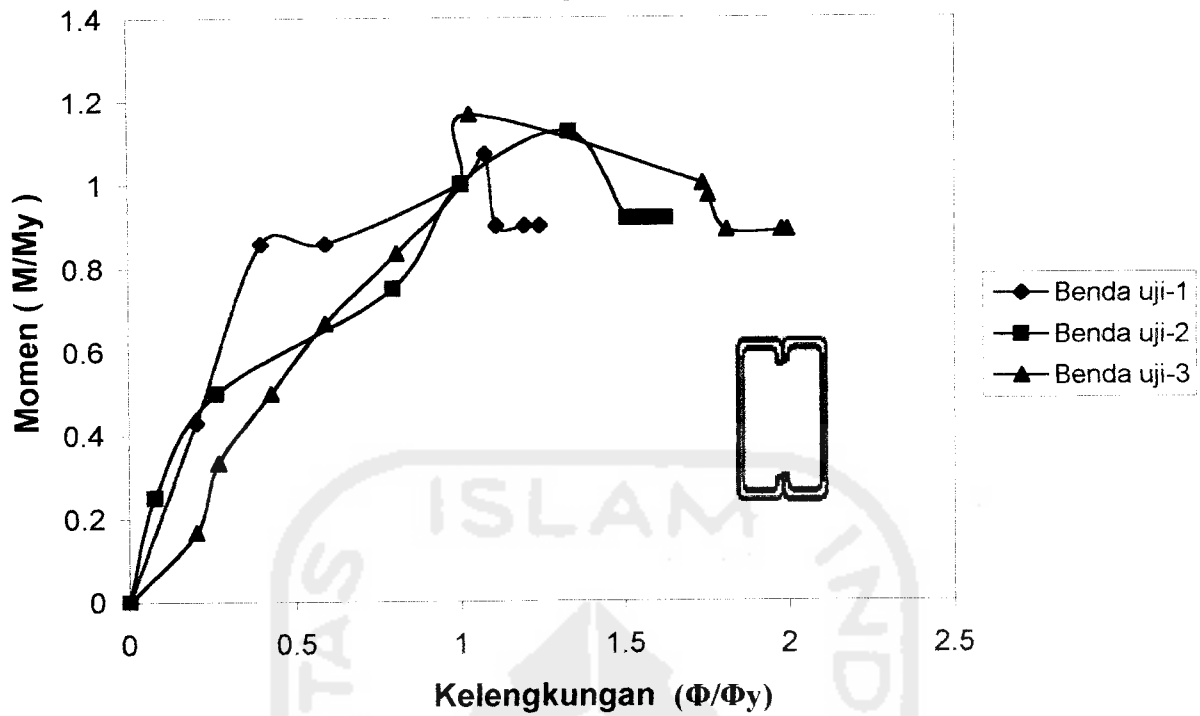
Benda uji- 5

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	M/My	Φ/Φ_y
0	0	0	0	0
3	1500	0.0000092	0.34090909	0.08112875
5	2500	0.00001568	0.56818182	0.1382716
5.5	2750	0.0000274	0.625	0.24162257
6	3000	0.00004128	0.68181818	0.36402116
7	3500	0.0000616	0.79545455	0.54320988
8.5	4250	0.000087	0.96590909	0.76719577
8.6	4300	0.00010476	0.97727273	0.92380952
8.8	4400	0.0001074	1	0.94708995
8.8	4400	0.0001134	1	1
9	4500	0.00011484	1.02272727	1.01269841
9	4500	0.00011684	1.02272727	1.0303351
9	4500	0.0001268	1.02272727	1.11816578

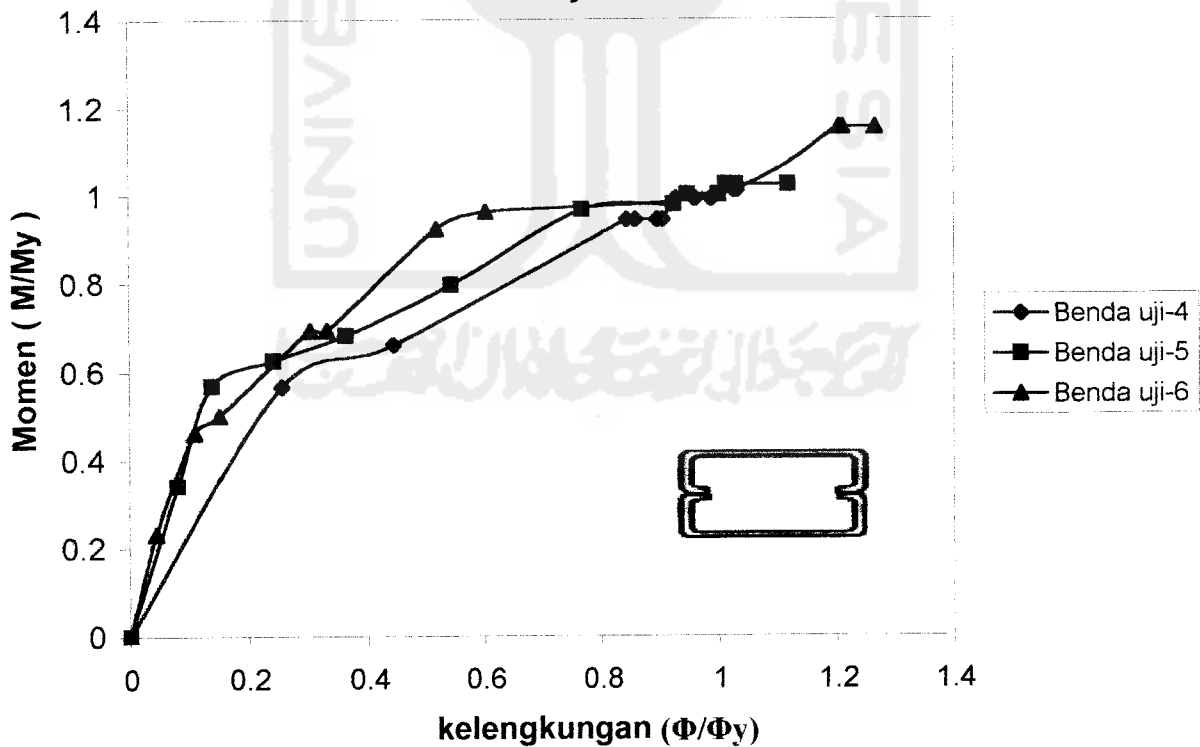
Benda uji- 6

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	M/My	Φ/Φ_y
0	0	0	0	0
3	1500	0.0000062	0.23076923	0.04463
6	3000	0.0000152	0.46153846	0.10941549
6.5	3250	0.00002108	0.5	0.15174201
9	4500	0.0000422	0.69230769	0.30377196
9	4500	0.00004608	0.69230769	0.3317017
12	6000	0.00007188	0.92307692	0.5174201
12.5	6250	0.00008364	0.96153846	0.60207314
13	6500	0.00013892	1	1
15	7500	0.00016744	1.15384615	1.20529801
15	7500	0.00016824	1.15384615	1.21105672
15	7500	0.00017592	1.15384615	1.26634034

Grafik non dimensional hubungan momen-kelengkungan
benda uji metode A



Grafik non dimensional hubungan momen-kelengkungan
benda uji metode B



TABEL NON DIMENSIONAL HUBUNGAN BEBAN-LENDUTAN

Benda uji-1

Beban (kN)	Defleksi (mm)	p/py	Δ/Δ_y
0	0	0	0
3	11.7	0.428571429	0.168224299
6	35	0.857142857	0.503235083
6	50	0.857142857	0.718907261
7	69.55	1	1
7.5	73.24	1.071428571	1.053055356
6.3	75.05	0.9	1.079079799
6.3	77.56	0.9	1.115168943
6.3	79	0.9	1.135873472

Benda uji-2

Beban (kN)	Defleksi (mm)	p/py	Δ/Δ_y
0	0	0	0
3	4.7	0.25	0.094188377
6	19.85	0.5	0.397795591
9	32.75	0.75	0.656312625
12	49.9	1	1
13.5	63.3	1.125	1.268537074
11	65	0.916666667	1.30260521
11	66.5	0.916666667	1.332665331
11	67.9	0.916666667	1.360721443
11	69.3	0.916666667	1.388777555

Benda uji-3

Beban (kN)	Defleksi (mm)	p/py	Δ/Δ_y
0	0	0	0
3	3.48	0.166666667	0.141693811
6	7.47	0.333333333	0.304153094
9	11.9	0.5	0.484527687
12	15.65	0.666666667	0.637214984
15	20.81	0.833333333	0.847312704
18	24.56	1	1
21	34.58	1.166666667	1.407980456
18	41.52	1	1.690553746
17.5	42.35	0.972222222	1.724348534
16	43.64	0.888888889	1.776872964
16	44.95	0.888888889	1.830211726
16	46.25	0.888888889	1.883143322

Beban (kN)	Defleksi (mm)	p/py	$\Delta/\Delta y$
0	0	0	0
3	17.45	0.566037736	0.286206331
3.5	25.4	0.660377358	0.416598327
5	48.1	0.943396226	0.78891258
5	51	0.943396226	0.836476956
5	52.65	0.943396226	0.863539446
5	54.22	0.943396226	0.889289815
5.25	55.9	0.990566038	0.91684435
5.25	57.7	0.990566038	0.946367066
5.25	59.44	0.990566038	0.974905691
5.3	60.97	1	1
5.3	62.5	1	1.025094309
5.35	64.23	1.009433962	1.053468919
5.35	66.75	1.009433962	1.094800722

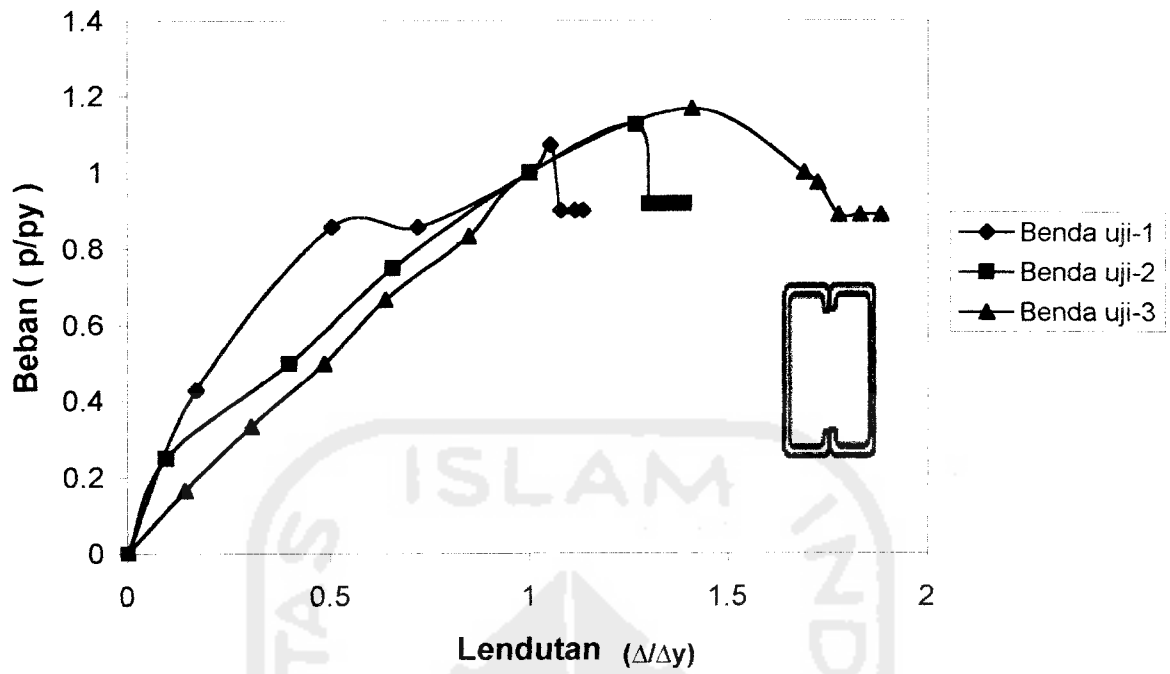
Benda uji- 5

Beban (Kn)	Defleksi (mm)	p/py	$\Delta/\Delta y$
0	0	0	0
3	8.9	0.340909091	0.099164345
5	22.21	0.568181818	0.247465181
5.5	34.1	0.625	0.37994429
6	41.5	0.681818182	0.462395543
7	56.5	0.795454545	0.629526462
8.5	72.3	0.965909091	0.805571031
8.6	86.46	0.977272727	0.963342618
8.8	87.79	1	0.97816156
8.8	89.75	1	1
9	91.98	1.022727273	1.024846797
9	93.33	1.022727273	1.039888579
9	95.45	1.022727273	1.063509749

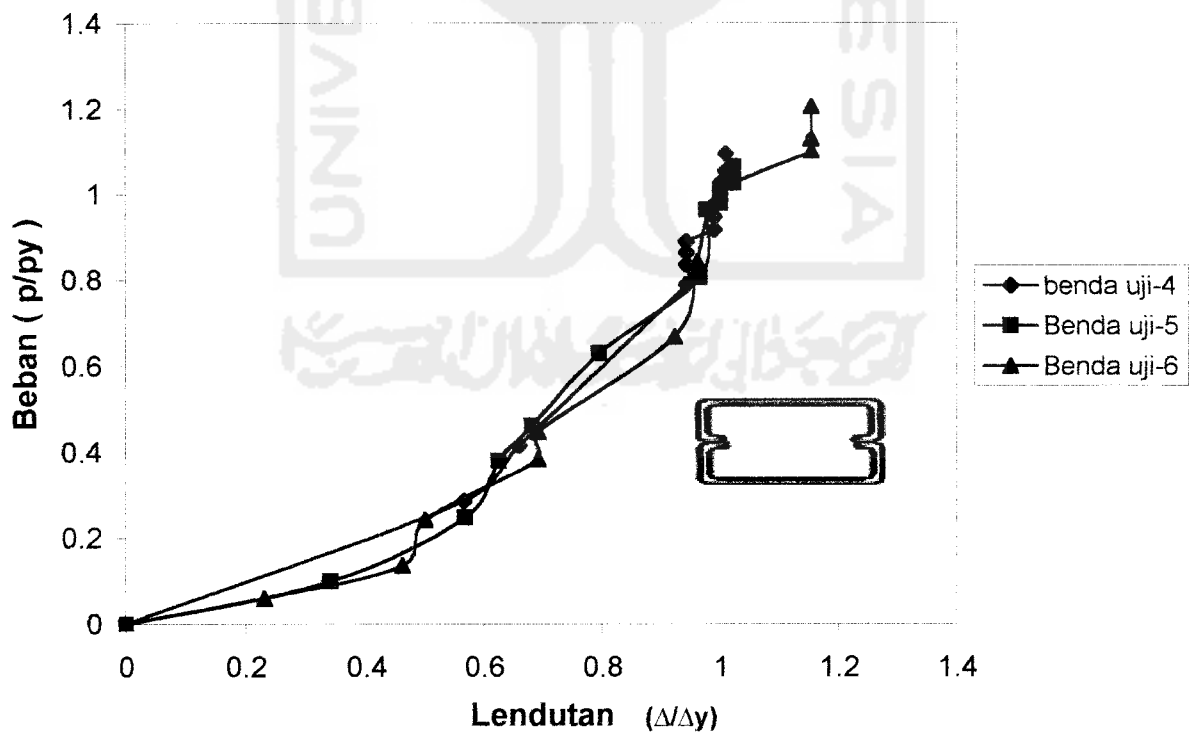
Benda uji- 6

Beban (kN)	Defleksi (mm)	p/py	$\Delta/\Delta y$
0	0	0	0
3	5.25	0.230769231	0.060240964
6	11.8	0.461538462	0.135398738
6.5	21	0.5	0.240963855
9	33.5	0.692307692	0.384394722
9	39	0.692307692	0.447504303
12	58.2	0.923076923	0.667814114
12.5	73.4	0.961538462	0.842226047
13	87.15	1	1
15	95.95	1.153846154	1.10097533
15	98.55	1.153846154	1.13080895
15	104.98	1.153846154	1.204589788

Grafik non dimensional hubungan beban-lendutan benda uji metode A



Grafik non dimensional hubungan beban-lendutan benda uji metode B





LAMPIRAN VI

Foto Hasil Penelitian

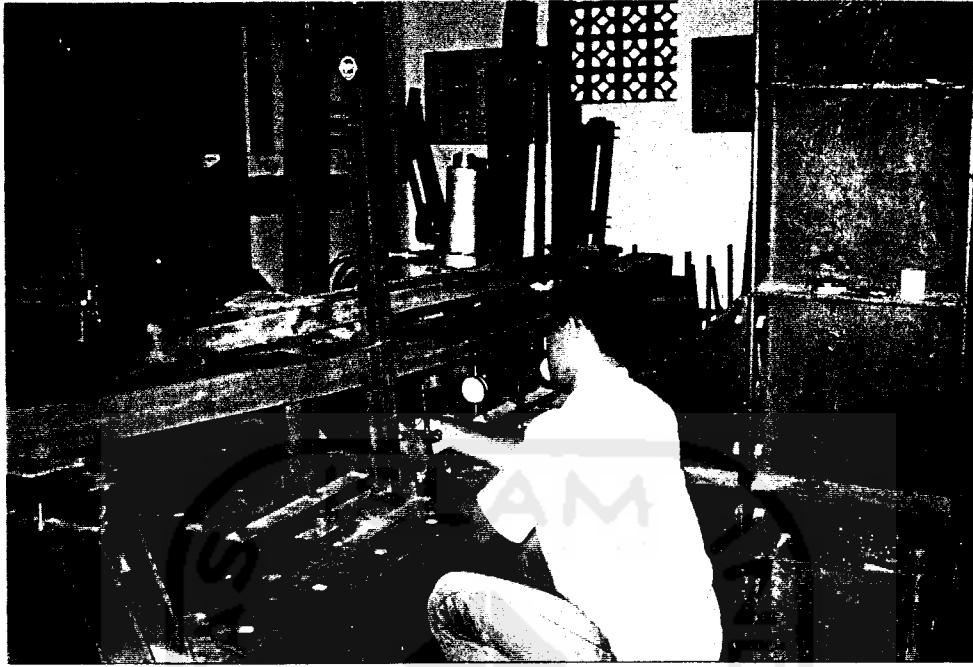


Foto 1. Pemasangan Dial Gauge benda uji

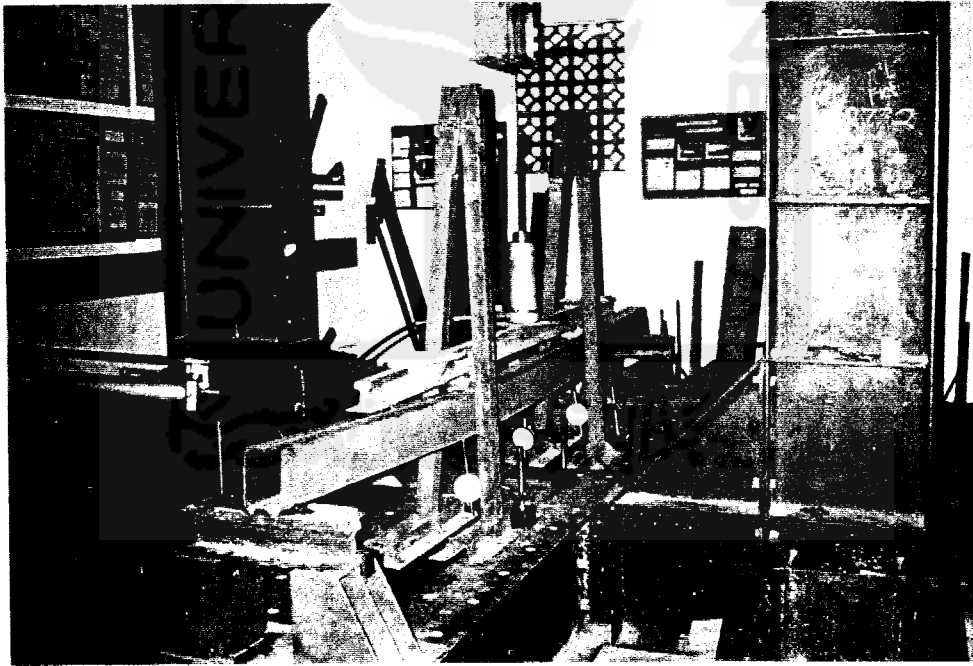


Foto 2. Dukungan Lateral pada Benda uji

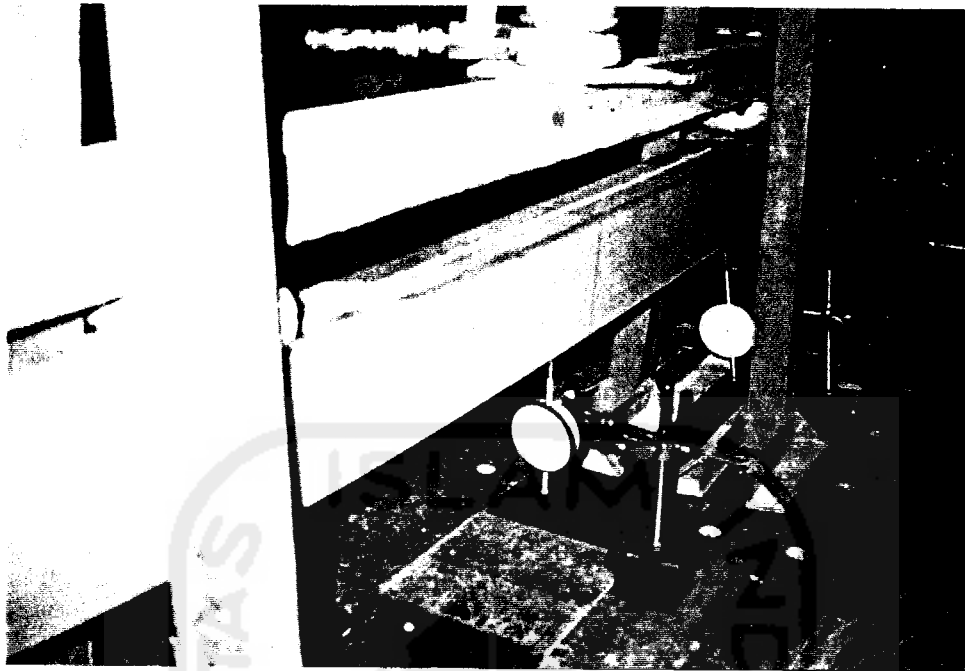


Foto 3. Pengujian Balok Susun Bentuk Kotak Metoda A

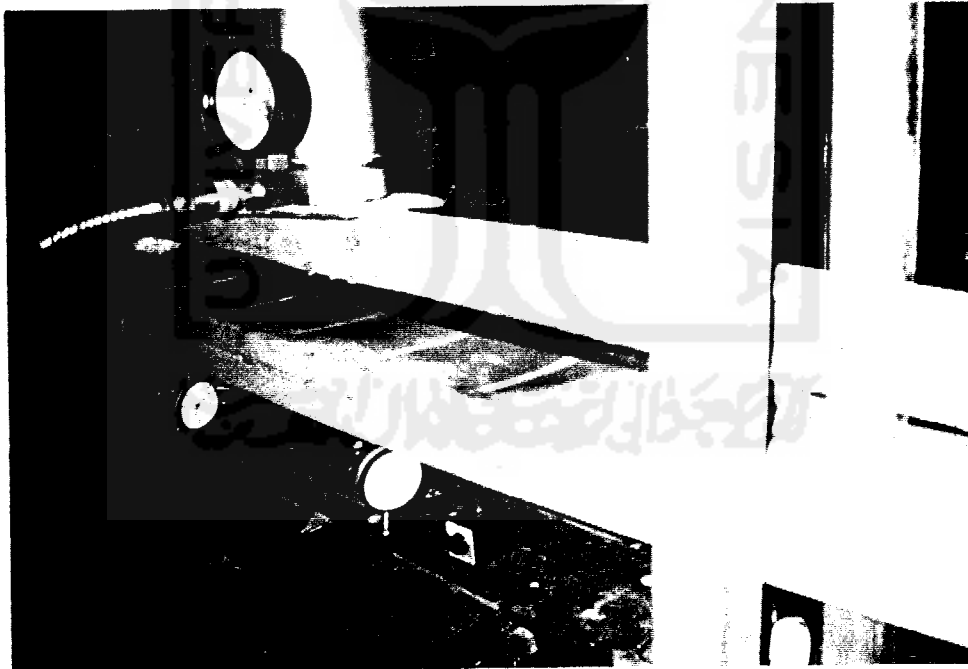
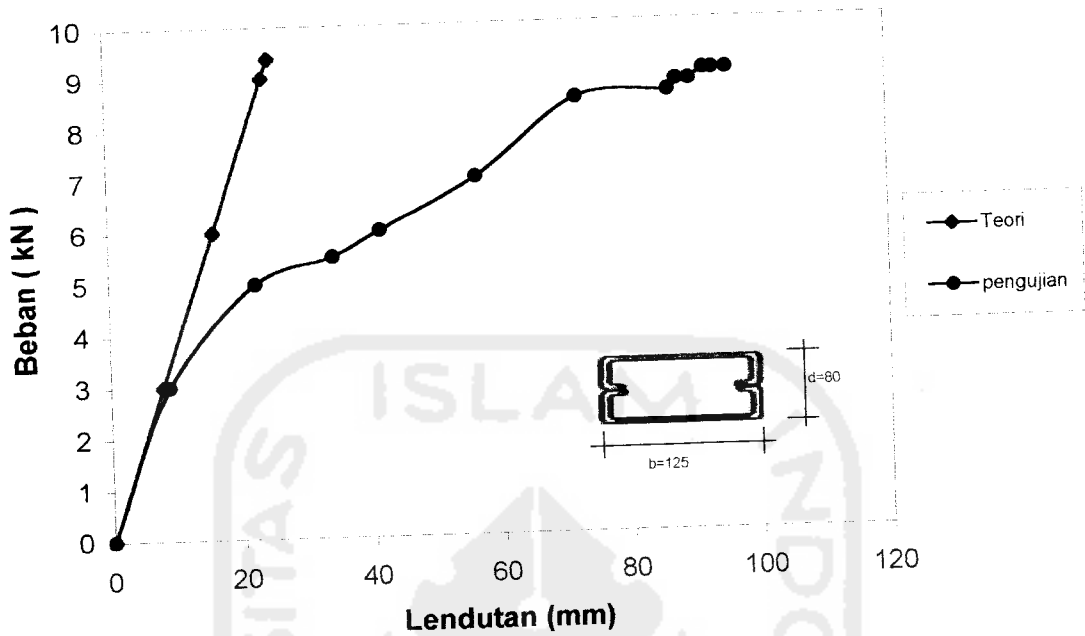
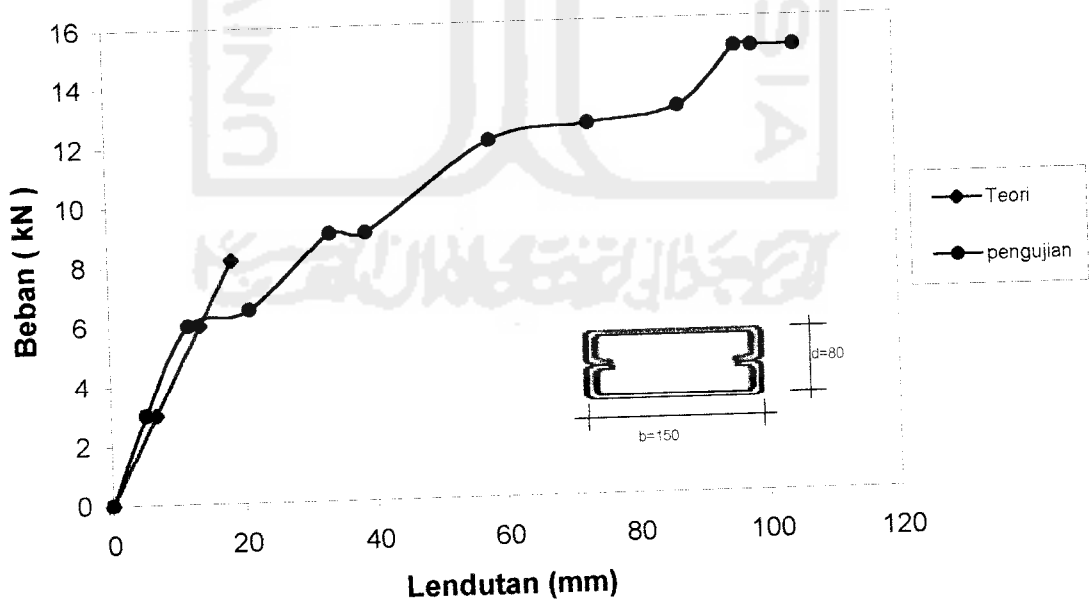


Foto 4. Pengujian Balok Susun Bentuk Kotak Metoda B

Grafik perbandingan lendutan pengujian - teoritis benda uji-5



Grafik perbandingan lendutan pengujian - teoritis benda uji-6



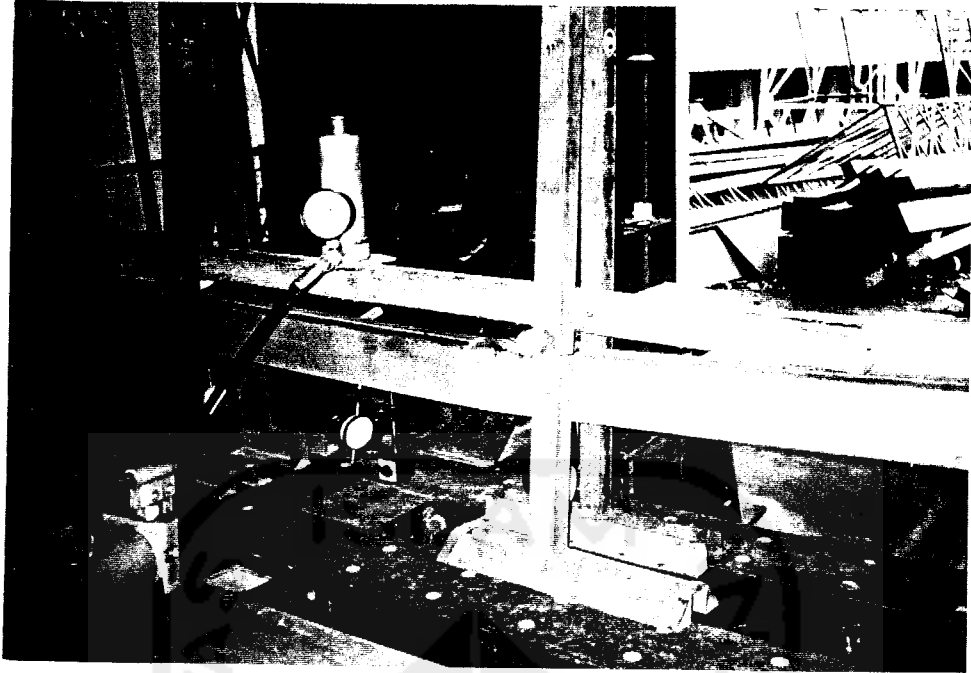


Foto 5. Tekuk Lateral Benda Uji Metode A Setelah Pengujian



Foto 6. Tekuk Lateral Benda Uji Metode B Setelah Pengujian