

PEPUSATAKAN PUSP UII
HADIAH/PEP
TGL TERIMA : 22 JUN 2001 10/9/08
NO. JUDUL :
NO. INV. : 513/TA/JTS
NO. INDIKUR : 82000 32 09 001

TUGAS AKHIR
PENELITIAN LABORATORIUM

PERILAKU BALOK PAPAN NON-PRISMATIS
DENGAN PENGAKU



TS
693.7
Sep.
p
61

Disusun Oleh :

1. Nama : Etty Dwi Suryani
No. Mhs. : 94 310 130
NIRM : 940051013114120129
2. Nama : Ani Sumaryanti
No. Mhs. : 95 310 267
NIRM : 950051013114120264

MILIK PERPUSATAKAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
PERENCANAAN DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2001

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PERILAKU BALOK PAPAN NON-PRISMATIS
DENGAN PENGAKU
(PENELITIAN LABORATORIUM)**

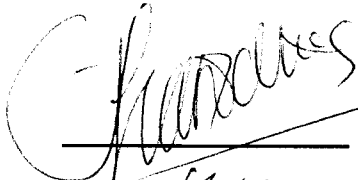
Disusun Oleh :

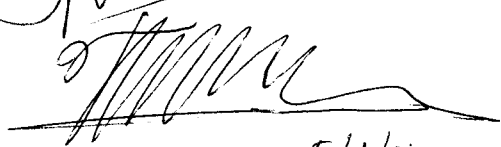
1. Nama : Elty Dwi Suryani
No. Mhs. : 94 310 130
NIRM : 940051013114120129
2. Nama : Ani Sumaryanti
No. Mhs. : 95 310 267
NIRM : 950051013114120264

Teiah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Suharyatmo, MT.
Dosen Pembimbing I

Ir. Fathkurrohman N, MT.
Dosen Pembimbing II


5/4/01


5/4/01

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamu'alaikum wr.wb.

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tentang **PERILAKU BALOK PAPAN NON PRISMATIS DENGAN PENGAKU** ini dengan baik.

Penelitian yang merupakan salah satu syarat untuk mencapai derajat Sarjana S-1 ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dengan selesainya laporan penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ide-ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya penelitian penulis.
2. Ir. Fatkhurrohman N, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan juga selaku Kepala Laboratorium Mekanika Rekayasa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang dengan penuh kesabaran dan ketekunan telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.

3. Ir. H. Tadjuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Ir. Widodo MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Segenap karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan Laboratorium Mekanika Rekayasa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Segenap anggota keluarga yang selama ini telah banyak memberikan dorongan, semangat dan doa.
7. Pihak-pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa hasil karya penelitian ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis berharap agar hasil yang diperoleh ini bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya. Amin.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, Maret 2001

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
INTISARI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Manfaat Penelitian	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB III LANDASAN TEORI	8
3.1 Balok	8
3.2 Balok Papan Non-prismatis Profil I dengan Paku	10
3.3 Kekuatan Balok Papan	11
3.3.1 Kekuatan pada Elemen Sayap	12
3.3.2 Kekuatan pada Elemen Badan	16
3.4 Kekuatan Lentur Batas pada Gelagar	19
3.5 Hubungan Beban-Lendutan	20
3.6 Hubungan Momen-Kelengkungan	22
3.7 Daktilitas	27

BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN	29
4.1 Tinjauan Umum	29
4.2 Persiapan Bahan dan Alat	29
4.2.1 Bahan	29
4.2.2 Alat yang digunakan	30
4.3 Benda Uji	35
4.4 Pembuatan Benda Uji	36
4.5 Jumlah Benda Uji	37
4.6 Pengujian Benda Uji	38
4.6.1 Pengujian Geser Sejajar Serat Kayu	38
4.6.2 Pengujian Kuat Tarik Kayu	38
4.6.3 Pengujian Desak Kayu	39
4.6.4 Pengujian Kuat Lentur	39
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	41
5.1 Hasil Penelitian	41
5.1.1 Hasil Uji Kuat Geser Kayu // Serat	41
5.1.2 Hasil Uji Kuat tarik Kayu // Serat	42
5.1.3 Hasil Uji Kuat Desak Kayu // Serat	44
5.1.4 Hasil Uji Kuat Lentur Balok	47
5.1.4.1 Hubungan Beban-Lendutan	47
5.1.4.2 Hubungan Momen-Kelengkungan	51
5.1.4.3 Analisa Kerusakan pada Sampel Uji	53
5.2 Pembahasan	53
5.2.1 Kuat Lentur Balok Berdasar Hubungan Beban- Lendutan	53
5.2.2 Daktilitas Simpangan ditinjau dari Hubungan Beban-Lendutan	54
5.2.3 Kuat Lentur Balok Ditinjau dari hubungan Momen-Kelengkungan	55

5.2.4	Daktilitas Kelengkungan Ditinjau dari hubungan Momen-Kelengkungan	56
5.2.5	Hubungan Non Dimensional Beban-Daktilitas Simpangan	57
5.2.6	Hubungan Non Dimensional Momen-Daktilitas Kelengkungan	58
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		59
6.1	Kesimpulan	59
6.2	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Balok sederhana dengan pembebanan merata	8
Gambar 3.2 Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan	9
Gambar 3.3 Balok papan profil I dengan paku	10
Gambar 3.4 Balok papan non-prismatis penampang I dengan pengaku	11
Gambar 3.5 Perilaku elemen sayap	12
Gambar 3.6 Pelat yang ditekan merata	12
Gambar 3.7 Koefisien tekuk elastik untuk tekan pada pelat	13
Gambar 3.8 Gaya-gaya pada sayap yang terjadi akibat kurvatur gelagar	15
Gambar 3.9 Efek gaya sayap yang tegak lurus terhadap pelat badan ...	16
Gambar 3.10 Koefisien tekuk vertikal pada pelat	16
Gambar 3.11 Perilaku elemen badan	16
Gambar 3.12 Koefisien tekuk pelat untuk lentur murni	17
Gambar 3.13 Koefisien tekuk pelat untuk geser murni	18
Gambar 3.14 Balok sederhana dengan pembebanan titik	20
Gambar 3.15 Grafik hubungan beban-lendutan	21
Gambar 3.16 Deformasi segmen balok dalam lenturan	22
Gambar 3.17 Distribusi regangan pada penampang balok	25
Gambar 3.18 Kurva lendutan.....	26
Gambar 3.19 Grafik hubungan momen-kelengkungan	27

Gambar 4.1	Bentuk fisik <i>Loading Frame</i>	31
Gambar 4.2	Dukungan rol dan sendi	32
Gambar 4.3	<i>Dial Gauge</i>	33
Gambae 4.4	<i>Tranducer</i>	33
Gambar 4.5	<i>Calibratipon Tester</i>	34
Gambar 4.6	Dongkrak Hidrolik	34
Gambar 4.7	Model benda uji	35
Gambar 4.8	Perletakan benda uji	40
Gambar 5.1	Bentuk sampel uji geser kayu	41
Gambar 5.2	Bentuk sampel uji tarik kayu	43
Gambar 5.3	Bentuk sampel uji desak kayu	45
Gambar 5.4	Grafik tegangan-regangan sampel 1	46
Gambar 5.5	Grafik tegangan-regangan sampel 2	47
Gambar 5.6	Grafik hubungan beban-lendutan keempat balok sampel dan teoritis	50
Gambar 5.7	Grafik hubungan momen-kelengkungan keempat balok sampel dan teoritis	52
Gambar 5.8	Grafik hubungan non-dimensional beban-daktilitas simpangan	58
Gambar 5.9	Grafik hubungan non-dimensional momen-daktilitas kelengkungan	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1 Ukuran sampel uji dan hasil uji geser kayu // serat	42
Tabel 5.2 Ukuran sampel uji tarik kayu // serat	43
Tabel 5.3 Hasil uji tarik kayu // serat	43
Tabel 5.4 Ukuran sampel uji desak kayu // serat	44
Tabel 5.5 Hasil uji desak kayu // serat sampel 1	45
Tabel 5.6 Hasil uji desak kayu // serat sampel 2	46
Tabel 5.7 Hasil analisis uji desak kayu // serat	47
Tabel 5.8 Hasil perhitungan secara teoritis	48
Tabel 5.9 Hasil uji balok papan dengan tinggi <i>h</i> mmces 20 cm (sampel 1)	49
Tabel 5.10 Analisa kekakuan dari data hubungan beban-lendutan	50
Tabel 5.11 Analisa daktilitas lendutan dari data hubungan beban-lendutan	50
Tabel 5.12 Analisa faktor kekakuan dari data hubungan momen-kelengkungan	52
Tabel 5.11 Analisa daktilitas kelengkungan dari data hubungan momen-kelengkungan	52

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Kartu peserta tugas akhir
- Lampiran 2 Perhitungan jumlah paku
- Lampiran 3 Perhitungan momen kelengkungan secara teoritis
- Lampiran 4 Tabel hasil uji sampel 1 ($h/H = 0,5$)
- Lampiran 5 Tabel hasil uji sampel 2 ($h/H = 0,5$)
- Lampiran 6 Tabel hasil uji sampel 3 ($h/H = 0,43$)
- Lampiran 7 Tabel hasil uji sampel 4 ($h/H = 0,43$)
- Lampiran 8 Grafik hubungan beban-lendutan
- Lampiran 9 Grafik hubungan momen-kelengkungan
- Lampiran 10 Grafik idealisir hubungan beban-lendutan
- Lampiran 11 Grafik idealisir hubungan momen-kelengkungan
- Lampiran 12 Grafik non dimensional hubungan beban-daktilitas simpangan
- Lampiran 13 Grafik non dimensional hubungan momen-daktilitas kelengkungan
- Lampiran 14 Gambar pengujian balok sampel

DAFTAR SIMBOL

a	: jarak antar pengaku, cm
A	: luas penampang, cm^2
A_f	: luas sayap, cm^2
A_w	: luas badan, cm^2
b	: lebar pelat sayap, cm
E	: modulus elastisitas, kg/cm^2
f	: tegangan, kg/cm^2
F_{cr}	: tegangan kritis balok, kg/cm^2
h	: tinggi pelat badan, cm
I	: momen inersia, cm^4
k	: koefisien tekuk
L	: panjang balok, cm
M	: momen, KN.m
P	: beban, KN
t	: tebal pelat sayap, cm
t_w	: tebal pelat badan, cm
ε	: regangan
ϕ	: kelengkungan, $1/\text{m}$
μ	: rasio Poisson, daktilitas
π	: konstanta, 3.14
θ	: sudut kemiringan lengkung kenyal, $^\circ$
ρ	: jari-jari kelengkungan, cm
σ	: tegangan normal kayu, kg/cm^2
τ	: tegangan geser kayu, kg/cm^2
Δ	: lendutan, mm

INTISARI

Kayu banyak digunakan sebagai material struktur bangunan sipil seperti rumah, jembatan, bantalan kereta api dan masih banyak lagi yang lain. Pada saat ini, kayu sebagai bahan konstruksi dalam ukuran yang besar sudah jarang dijumpai. Untuk itu diusahakan meningkatkan kuat lentur kayu dengan membuat balok papan non-prismatis yang disusun sedemikian rupa dengan penampang balok berbentuk I. Dengan penambahan *haunches* diharapkan momen inersianya semakin besar, sehingga akan meningkatkan kapasitas lentur pada balok papan. Untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan balok, maka diberi pengaku transversal sehingga balok akan mengalami penambahan kuat lentur.

Penelitian eksperimental ini merupakan usaha untuk mengetahui perilaku balok papan non-prismatis dengan pengaku yang mempunyai dua variasi rasio tinggi *haunches* balok, yaitu $h/H=0,5$ dan $h/H=0,43$, yang dapat dilihat dari hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) dan hubungan momen-kelengkungan ($M-\phi$).

Dari hasil pengujian dapat diketahui kuat lentur balok dengan rasio tinggi *haunches* yang berbeda. Semakin besar h/H maka kapasitas lenturnya akan semakin besar. Kekakuan dan daktilitas simpangan semakin besar pada balok dengan h/H yang besar. Kapasitas momen dan daktilitas kelengkungan semakin besar pula pada balok dengan h/H yang besar.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kayu sebagai salah satu bahan konstruksi banyak digunakan di Indonesia, antara lain untuk keperluan bangunan gedung, rumah tinggal, jembatan, bantalan kereta api dan lain-lain. Berbagai keuntungan yang diperoleh dari kayu sebagai bahan struktur bangunan adalah ketahanan terhadap gempa. Jika ditinjau dari segi ekonomi, konstruksi kayu dibandingkan konstruksi baja atau beton, dengan daya dukung yang sama memiliki harga \pm 25% sampai dengan 40% lebih murah. Jika suatu struktur secara keseluruhan menggunakan kayu sebagai komponen utama maka berat total struktur jauh lebih kecil dibanding jika struktur itu menggunakan material yang lain (baja atau beton), sehingga penelitian tentang kayu yang masih sedikit dirasa perlu lebih dikembangkan.

Pada saat ini, kayu sebagai bahan konstruksi teknik sangat terbatas persediaannya karena banyak hutan yang ditebangi dan dibuka untuk pemukiman. Ukuran kayu yang tersediapun terbatas juga. Ukuran yang tersedia umumnya 6/12 dan 8/12, sehingga untuk mendapatkan ukuran yang lebih besar dari itu sulit sekali. Keterbatasan tersedianya ukuran kayu menyebabkan kayu hanya digunakan untuk struktur lentur berbentuk pendek. Sedangkan struktur lentur bentang panjang, misalnya gelagar menggunakan batang-batang tersusun. Salah satu cara

meningkatkan kemampuan kayu sebagai struktur bentang panjang adalah dengan menggunakan balok papan.

Balok papan yang elemen penampangnya disusun sedemikian rupa, yang terdiri dari sayap atas, sayap bawah dan badan, cukup menarik untuk diteliti karena di satu sisi mempunyai nilai momen inersia yang cukup besar sehingga diharapkan memiliki kapasitas momen lentur yang relatif besar, tetapi di sisi lain mempunyai rasio kelangsingan yang kecil sehingga mudah terjadi tekuk (*buckling*) pada plat badannya. Untuk menekan bahaya tekuk (*buckling*) tersebut maka balok papan tersebut diberi pengaku transversal. Diharapkan dengan adanya pengaku ini maka struktur menjadi lebih kaku (*rigid*) dan kuat. Untuk mendapatkan kekuatan yang optimal maka jarak antar pengaku transversal ini harus didesain dengan tepat.

Dalam penulisan tugas akhir ini kita melakukan penelitian pada balok papan non-prismatis yang memakai pengaku. Di sini kita ingin melanjutkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Ade Mujtahid.H dan Rudy.H tentang perilaku balok papan prismatis dengan pengaku dan untuk membandingkan kekuatannya dengan memanfaatkan kayu seefisien mungkin.

1.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. mengetahui kuat lentur dari balok papan non-prismatis dengan pengaku,
2. meningkatkan kemampuan kayu sebagai bahan konstruksi untuk suatu struktur, yaitu dengan menggunakan balok susun dari papan yang non-prismatis ditambah dengan pengaku,

3. menambah pengetahuan bagi pembaca dalam bidang konstruksi kayu, khususnya mengenai balok dari kayu, sehingga bisa dipakai sebagai alternatif lain dari suatu struktur.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Mendapatkan kuat lentur dari balok papan non-prismatis
2. Mempelajari perilaku balok papan non-prismatis dari hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Nilai kuat lentur balok papan yang aktual
2. Kerusakan yang terjadi pada balok papan

1.5 Batasan Masalah

Untuk membatasi subyek penelitian, maka lingkup permasalahan diberi batasan-batasan, yaitu :

1. Kayu yang dipakai adalah kayu kruing
2. Alat sambung menggunakan paku
3. Profil yang dipakai adalah penampang dengan bentuk I
4. Balok non-prismatis yang digunakan tipe *tapered haunches*
5. Variasi yang dipakai adalah rasio tinggi *haunches* $(h/H) = 0,5$ dan $(h/H) = 0,43$ untuk balok dengan $l/L = 0,278$

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu penampang yang biasa digunakan dalam konstruksi baja adalah profil I. Bentuk tampang profil ini juga dapat dibuat dari bahan kayu dengan paku sebagai alat sambungnya (Suwarno,1976)

Profil I dari kayu ini mempunyai beberapa kekurangan diantaranya adalah hubungan antara flens dengan badan penampang profil ini yang tidak sempurna dan lubang-lubang akibat paku membuat luas tampang menjadi berkurang. Untuk itu pada perhitungan tegangan dan lendutannya harus diberikan faktor reduksi (Suwarno,1976)

Supaya lebih kaku maka pada perletakan, tengah bentang dan pada titik beban aksial diberi papan pengaku. Jumlah paku sebagai alat sambung tidak perlu dihitung melainkan seperlunya saja asalkan tidak menyimpang dari peraturan konstruksi kayu (Suwarno,1976)

Kuat geser dan lentur gelagar plat umumnya berkaitan dengan badan balok. Badan balok yang ramping dapat menyebabkan sejumlah persoalan (Salmon dan Johnson, 1990), yaitu:

1. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok itu untuk memikul bagian elastis dari momen lentur.

2. Tekuk flens tekan dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah terjadinya tekuk sedemikian rupa.
3. Tekuk karena geser.

Sifat paling menonjol pada gelagar plat adalah penggunaan pengaku transversal dengan jarak yang teratur. Pengaku memperbesar kekuatan badan balok untuk memikul geser. Kekuatan tekuk elastis atau tak elastis suatu badan balok gelagar plat dalam geser tidak mewakili kekuatan maksimum dalam geser (**Basler,1961**, seperti dikutip oleh **Salmon dan Johnson,1990**)

Parameter stabilitas untuk badan gelagar adalah jarak antar pengaku dan kelangsingan elemen. Tekuk akibat geser dapat dihindari bila parameter-parameter stabilitas ini dapat dipertahankan cukup rendah atau tegangan geser dapat ditekan di bawah tegangan tekuk kritis (**Salmon dan Johnson,1990**)

Penampang lintang gelagar dipilih sedemikian rupa sehingga dapat secara layak melakukan fungsinya dan memerlukan biaya minimum. Persyaratan tersebut dapat diringkas sebagai berikut (**Salmon dan Johnson, 1990**):

1. Kekuatan menahan momen lentur (modulus tampang S_x yang cukup)
2. Kekakuan vertikal yang memenuhi setiap batasan defleksi (momen inersia I_x yang cukup)
3. Kekakuan lateral untuk mencegah tekuk torsi-lokal dari flens tekan (penopang lateral cukup atau rasio kelangsingan rendah)
4. Kekuatan menahan geser (luas plat badan cukup)

- cukup
mengalami
kungan
simum.
beban
akan me
enelitian
kukan
ntasikat
benar,
ngikuti
drat Te
lurus (
5. Kekakuan untuk meningkatkan kekuatan pasca-tebuk dan tebuk dari plat badan (berkaitan dengan rasio kelangsingan elemen badan dan jarak antar pengaku)

Sayap didesain untuk menahan momen lentur, badan direncanakan untuk menahan gaya geser dan pengaku yang diletakkan antara sayap adalah untuk mencegah tebuk pada badan dan untuk memindahkan gaya pada tumpuan (**Keith F. Faherty dan Thomas G. Williamson, 1989**)

Badan balok akan sangat menentukan besarnya momen inersia balok dengan arah serat kayu paralel dengan panjang balok (**Keith F. Faherty dan Thomas G. Williamson, 1989**)

Pengaku pada tumpuan yang diletakkan antara sayap dengan badan berfungsi untuk mendistribusikan beban terpusat dan untuk mencegah tebuk lentur pada badan. Pengaku pada ujung balok mempunyai ukuran yang sama dan letaknya paralel dengan lebar sayap (**Keith F. Faherty dan Thomas G. Williamson, 1989**)

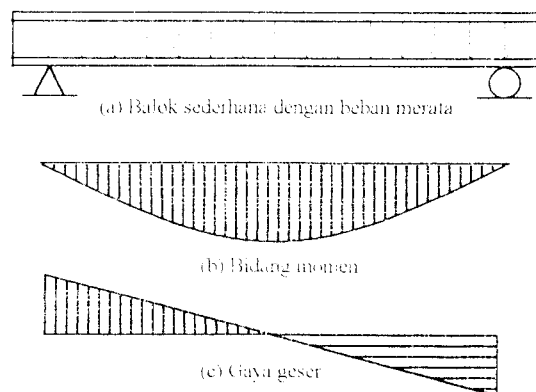
Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena beban luar. Apabila bebannya bertambah maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya retak lentur. Bila beban bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Karena itulah perencana harus mendisain penampang balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban bekerja, dan masih mempunyai

BAB III

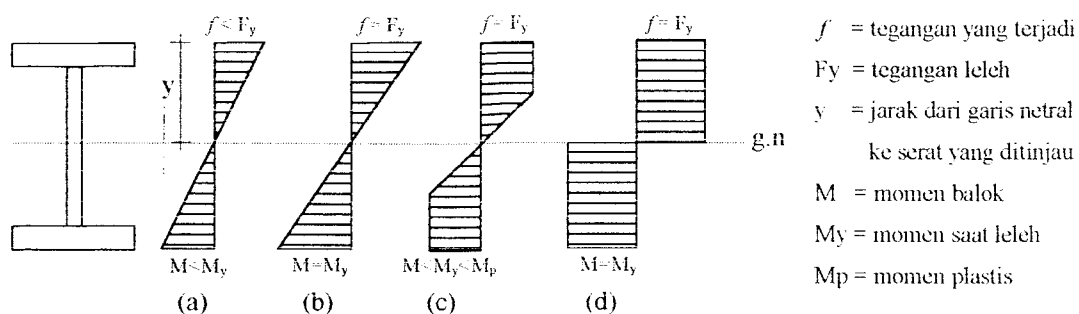
LANDASAN TEORI

3.1 Balok

Pada umumnya, balok dipandang sebagai suatu batang yang terutama memikul pembebanan secara transversal. Dengan demikian, balok pada suatu struktur dapat berarti sebagai gelagar. Akibat dari pembebanan tersebut, maka balok akan mengalami lentur. Sebagai contoh adalah balok dengan tumpuan sederhana dengan penampang bentuk I yang dibebani secara merata, seperti terlihat pada Gambar 3.1a. Akibat dibebani, maka pada balok tersebut akan menerima momen (Gambar 3.1b) dan gaya geser (Gambar 3.1c). Akibat momen maka serat bagian atasnya akan mengalami tekan dan serat bagian bawah mengalami tarik atau balok mengalami lentur.



Gambar 3.1 Balok sederhana dengan pembebanan merata



Gambar 3.2 Distribusi tegangan lentur pada berbagai tahap pembebanan

Distribusi tegangan pada penampang balok yang mengalami peningkatan momen lentur ditunjukkan pada Gambar 3.2. Pada momen lentur dengan beban layanan, penampang bersifat elastik (Gambar 3.2a), dan kondisi elastik akan terjadi sampai tegangan pada serat terluar mencapai tegangan leleh F_y (Gambar 3.2b). Dalam keadaan masih elastis, distribusi tegangan lentur pada penampang balok adalah linier. Tegangan pada serat yang letaknya y dari sumbu netral adalah

$$f = \frac{M \cdot y}{I} \quad (3.1)$$

dengan: f = tegangan yang terjadi pada serat yang ditinjau, M = momen balok,

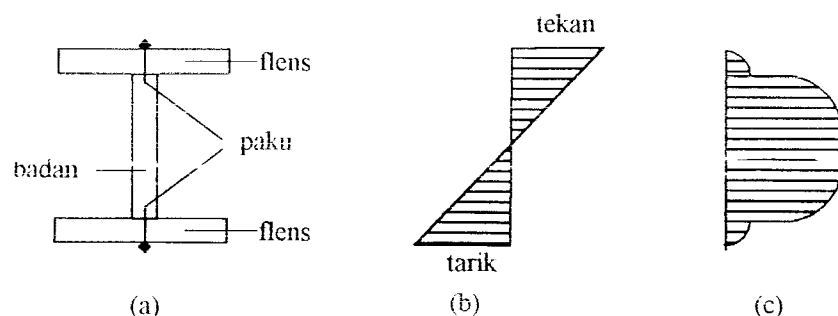
y = jarak garis netral ke serat yang ditinjau, I = momen inersia penampang

Tegangan maksimum terjadi pada serat terluar yaitu serat yang letaknya terjauh dari sumbu netral. Tegangan maksimum mulai terjadi pada elemen badan, sehingga penampang mengalami kondisi plastik dan elastik (Gambar 3.2c). Dengan adanya penambahan beban, akan tercapai keadaan dimana seluruh serat mengalami tegangan sebesar tegangan maksimum dan regangannya akan sama-dengan atau lebih besar dari regangan maksimum. Dalam keadaan ini penampang berada pada kondisi plastis (Gambar 3.2d). Dalam penelitian ini, dipakai asumsi dengan mengidealisir grafik hasil penelitian sehingga distribusi tegangan balok dari kondisi elastis kemudian menjadi plastis.

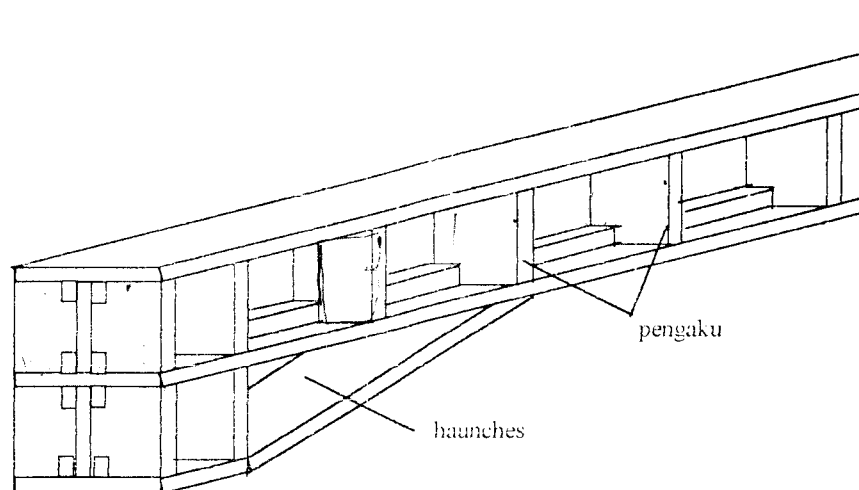
3.2 Balok Papan Non-Prismatis Profil I dengan Paku

Mengacu pada Persamaan 3.1 yang dapat ditulis dalam bentuk $M=f.I/y$, maka semakin besar momen inersia I , semakin besar juga tahanan momen M . Jika dibanding dengan balok segiempat, maka balok I mempunyai momen inersia yang lebih besar, dengan luas penampang yang sama. Dengan demikian, profil I lebih besar tahanan momennya dibanding profil segiempat. Selain itu, pada balok segiempat, serat dekat sumbu netral kurang mengalami tegangan dibanding serat atas dan bawah. Jadi sebagian besar dari penampang kurang mengalami tegangan, sehingga tidak efisien untuk menahan lentur. Balok I punya lebih banyak serat pada jarak yang jauh dari garis netral, yang dapat memikul tegangan lebih besar, sehingga lebih efisien. Balok I juga lebih hemat dibanding balok segiempat. Jika dibandingkan kedua balok tersebut dengan tinggi dan lebar yang sama, maka berat balok segiempat > balok I, sehingga dalam perhitungan beban ultimit balok (P_u), pada balok segiempat ditambah dengan berat sendiri balok (q) yang relatif besar dibanding q balok I. Hal ini menyebabkan P_u balok segiempat < P_u balok I, sehingga pemakaian balok I menjadi lebih hemat.

Dalam penelitian ini dicari perilaku balok papan non prismatis yang disusun membentuk penampang I dengan menggunakan paku (Gambar 3.3a).



Gambar 3.3 Balok Papan Profil I dengan Paku



Gambar 3.4 Balok papan non-prismatis penampang I dengan pengaku

3.3 Kekuatan Balok Papan

Balok papan merupakan profil *built-up* yang tersusun dari elemen pelat, yaitu pelat sayap dan pelat badan, sehingga kekuatan penampang balok tersebut didasarkan atas rasio kerampingan keseluruhan, yang hanya dapat terpenuhi bila elemen pelat tidak mengalami tekuk lokal. Tekuk lokal pada elemen pelat dapat menyebabkan terjadinya kegagalan prematur pada keseluruhan penampang, atau setidaknya akan menyebabkan tegangan tidak merata dan mengurangi kekuatan keseluruhan.

Pada balok papan baik elemen sayap maupun badannya relatif langsing sehingga tegangan kritisnya dipengaruhi oleh rasio kelangsingan sayap (b/t), rasio kelangsingan badan (h/t_w), dan jarak antar pengaku. Tegangan kritis gelagar pelat dari baja merupakan fungsi :

$$F_{cr} = f \left\{ \frac{b}{2t}, \frac{h}{t_w}, \frac{a}{h} \right\} \quad (3.2)$$

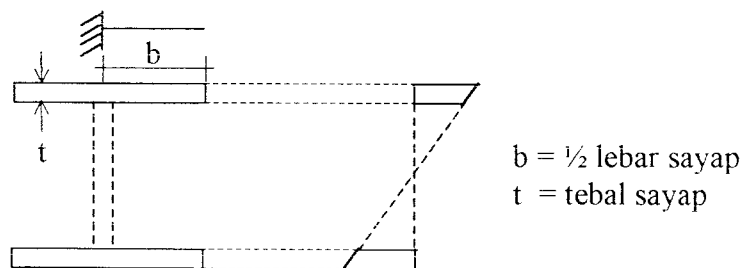
Pada balok papan baik elemen sayap maupun badannya relatif langsing sehingga tegangan kritisnya dipengaruhi oleh rasio kelangsingan sayap (b/t), rasio kelangsingan badan (h/t_w), dan jarak antar pengaku. Tegangan kritis gelagar pelat merupakan fungsi :

$$F_{cr} = f \left\{ \frac{b}{2t}, \frac{h}{t_w}, \frac{a}{h} \right\} \quad (3.2)$$

dengan : F_{cr} = tegangan kritis, f = tegangan yang terjadi, b = lebar sayap, t = tebal sayap, h = tinggi badan, t_w = tebal badan, a = jarak antar pengaku

3.3.1 Kekuatan Pada Elemen Sayap

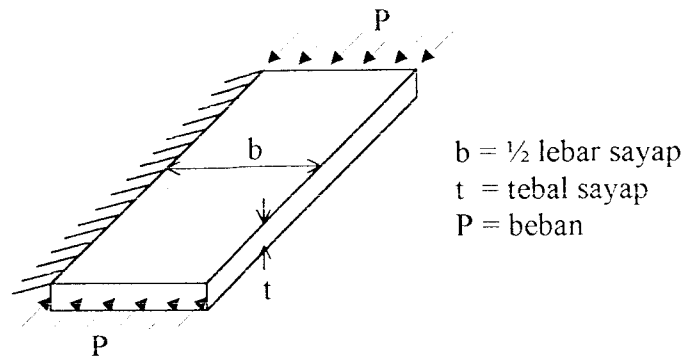
Elemen sayap yang terbuat dari pelat, pada komponen balok papan dengan profil I ini terdiri dari dua elemen yaitu sayap atas yang menahan tekan dan sayap bawah yang menahan tarik (Gambar 3.5). Pada elemen sayap terlihat bahwa tumpuannya terletak di tengah pelat sayap, sehingga dalam perhitungannya nanti, lebar dari sayap (b) dihitung setengahnya.



Gambar 3.5 Perilaku elemen sayap

1. Tekuk Elastis pada Pelat Sayap

Pada dasarnya, pelat yang mengalami tekanan, seperti pada elemen sayap tekan, perilakunya sama dengan kolom. Tekuk pelat yang mengalami tekanan merata ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pelat yang ditekan merata

Menurut Salmon dan Johnson (1990), tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritik pelat yang tertekan dapat dinyatakan sebagai:

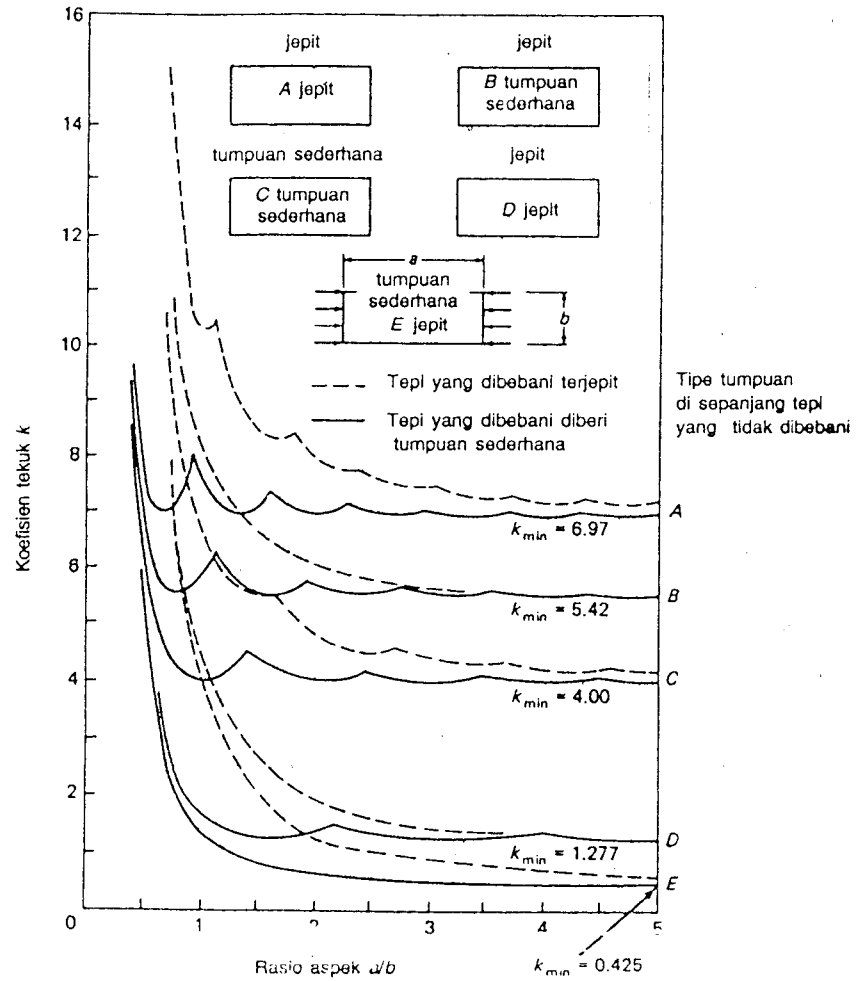
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) (b/t)^2} \quad (3.3)$$

dengan: F_{cr} = tegangan kritik, k = koefisien tekuk, $\pi = 3,14$, E = modulus elastis

μ = rasio Poisson = 0,33, b = lebar sayap, t = tebal sayap

Nilai k tergantung pada tipe tegangan, kondisi tumpuan tepi, dan rasio panjang terhadap lebar (rasio aspek) dari pelat yang bersangkutan. Gambar 3.7 menunjukkan variasi k terhadap rasio aspek a/b untuk berbagai kondisi tumpuan tepi ideal (Salmon dan Johnson, 1990).

Terlihat bahwa untuk pelat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai $k_{min}=6,97$. Untuk pelat dengan tumpuan sederhana-jepit (B) nilai $k_{min}=5,42$. Sedangkan pelat dengan tumpuan sederhana-sederhana, $k_{min}=4$. Dan untuk pelat jepit-bebas nilai $k_{min}=1,277$, serta untuk pelat dengan tumpuan sederhana-bebas, $k_{min}=0,425$. Dalam penelitian ini dipakai pelat dengan tumpuan jepit-bebas dengan nilai $k_{min}=1,277$.



Gambar 3.7 Koefisien tekuk elastik untuk tekan pada pelat

2. Tekuk Vertikal Pada Pelat Sayap

Batas maksimum pada kerampingan pelat badan h/t_w akan didasarkan pada kekakuan yang dibutuhkan oleh pelat badan untuk mencegah sayap tekan mengalami tekuk secara vertikal. Dalam hal ini diasumsikan pelat sayap merupakan batang tekan yang independen dari bagian gelagar lainnya. Pada Gambar 3.8 menunjukkan suatu gelagar yang melengkung dan komponen-komponen gaya pada sayap, yang menyebabkan gaya tekan pada pinggir-pinggir

badan balok yang berdekatan dengan sayap tersebut. Bila badan balok tetap stabil saat terkena komponen-komponen gaya tersebut, maka pelat badan tidak mengalami tekuk vertikal.

Mengacu pada Gambar 3.8, deformasi $\varepsilon_f dx$ yang terakumulasi di sepanjang jarak dx adalah

$$\varepsilon_f dx = d\theta \frac{h}{2} \quad (3.5)$$

$$d\theta = \frac{2\varepsilon_f}{h} dx \quad (3.6)$$

Seperti terlihat pada Gambar 3.9a, gaya pada pelat sayap terurai menjadi gaya horisontal dan vertikal. Gaya horisontal akan menyebabkan lentur, sedangkan gaya vertikal menyebabkan tekan sebesar $\sigma_f A_f d\theta$. Setelah dibagi dengan luas $t_w dx$ untuk mendapatkan tegangan tekan f_c seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9b, kita dapat mensubstitusi Persamaan 3.6 untuk $d\theta$,

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d\theta}{t_w dx} = \frac{2\sigma_f A_f \varepsilon_f}{t_w h} \quad (3.7)$$

dengan memisalkan $A_w = t_w h$, maka,

$$f_c = \frac{2A_f}{A_w} \sigma_f \varepsilon_f \quad (3.8)$$

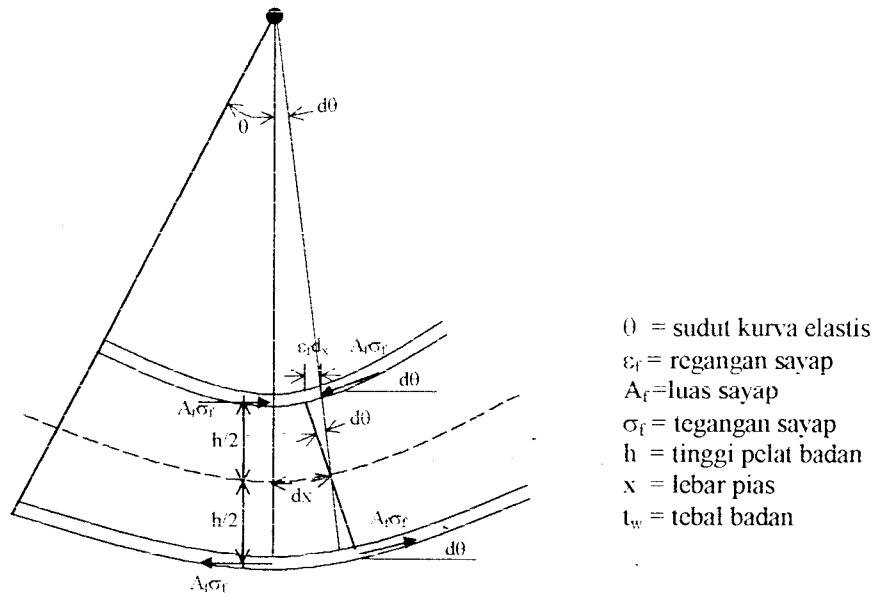
dengan menyamakan Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.8, maka

$$\frac{h}{t_w} = \sqrt{\frac{\pi^2 Ek}{24(1-\mu^2)}} \left(\frac{A_f}{A_w} \right) \left(\frac{1}{\sigma_f \varepsilon_f} \right) \quad (3.9)$$

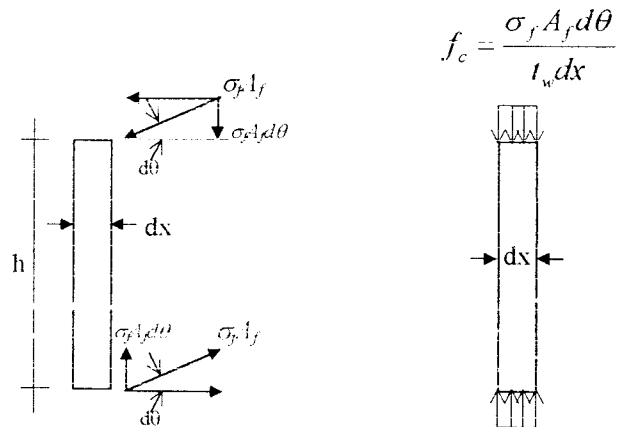
dengan nilai $\varepsilon_f = \frac{(F_r + F_{yf})}{E}$, sehingga Persamaan 3.8 menjadi

$$f_c = \frac{2A_f}{A_w} \sigma_f \frac{(F_r + F_{yf})}{E} \quad (3.10)$$

Untuk mencegah terjadinya tekuk, maka nilai $f_c < F_{cr}$

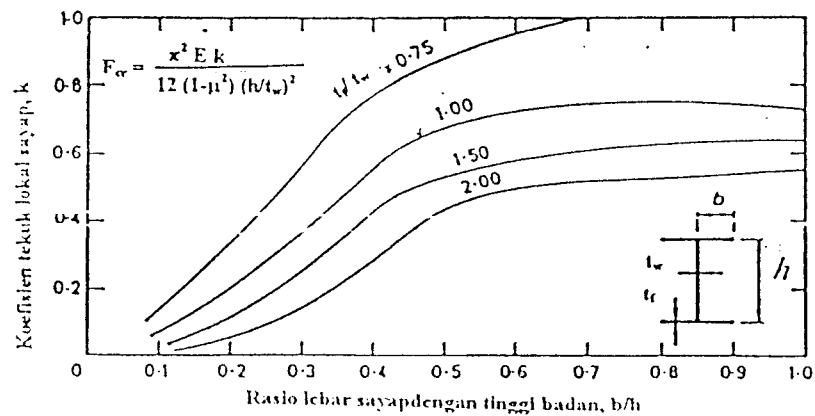


Gambar 3.8 Gaya-gaya pada sayap yang terjadi akibat kurvatur gelagar



Gambar 3.9 Efek gaya sayap yang tegak lurus terhadap pelat badan

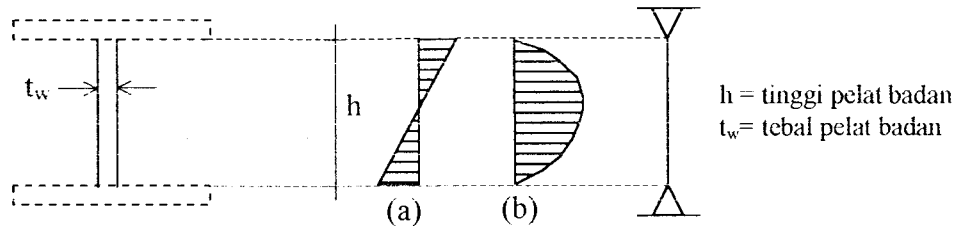
Nilai k akibat gaya tekan pada pelat sayap ditunjukkan dengan Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Koefisien tekuk vertikal pada pelat

3.3.2 Kekuatan Pada Elemen Badan

Balok papan dengan pengaku ini bisa dianggap sebagai gelagar pelat. Elemen badan pada balok papan akan mengalami lentur (Gambar 3.11a) dan geser (Gambar 3.11b)



Gambar 3.11 Perilaku elemen badan

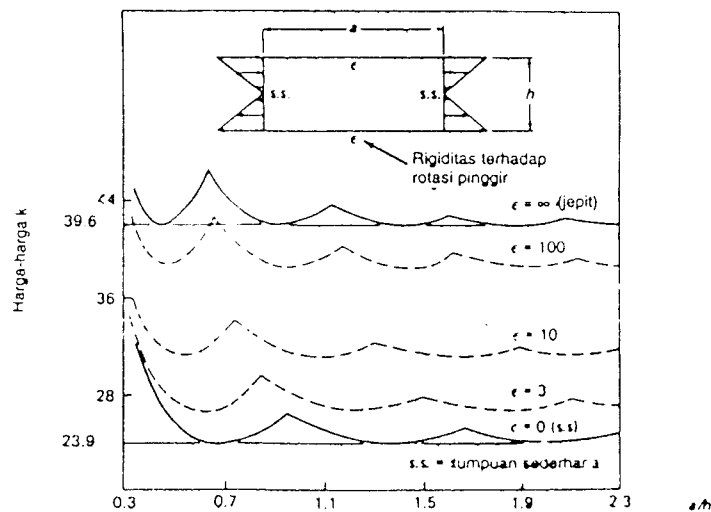
Stabilitas pelat badan ditunjukkan dengan Persamaan 3.3 berikut ini :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) (h/t_w)^2} \tag{3.3}$$

dengan: F_{cr} = tegangan kritis, k = koefisien tekuk, $\pi = 3,14$, E = modulus elastis

μ = rasio Poisson = 0,33, h = tinggi badan, t_w = tebal badan

Pengembangan teoretis harga k menurut Timoshenko dan Krieger (1959) untuk segala tipe pembebanan menurut rasio aspek a/h , serta menurut kondisi tumpuan di ujung-ujungnya ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Koefisien Tekuk Pelat untuk Lentur Murni

Tampak bahwa untuk tumpuan sederhana, $k_{min}=23,9$ dan untuk jepit penuh, $k_{min}=39,6$. Pada penelitian ini dipakai $k_{min}=23,9$ yaitu dianggap tumpuan sederhana.

Selain menahan lentur, elemen badan juga menahan sebagian besar geser. Karena balok papan memiliki pelat badan yang tipis, maka stabilitas balok papan merupakan hal utama yang harus diperhatikan. Persamaan tegangan tekuk elastis seperti diberikan pada persamaan (3.3), dimana untuk kasus geser murni, persamaan 3.3 dapat ditulis dengan menggunakan τ sebagai ganti F untuk tegangan geser.

$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{\text{sisipendek}}{t_w} \right)^2} \quad (3.11)$$

Dimana untuk kasus tumpuan sederhana :

$$k = 5,34 + 4,0 \left(\frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \quad (3.12)$$

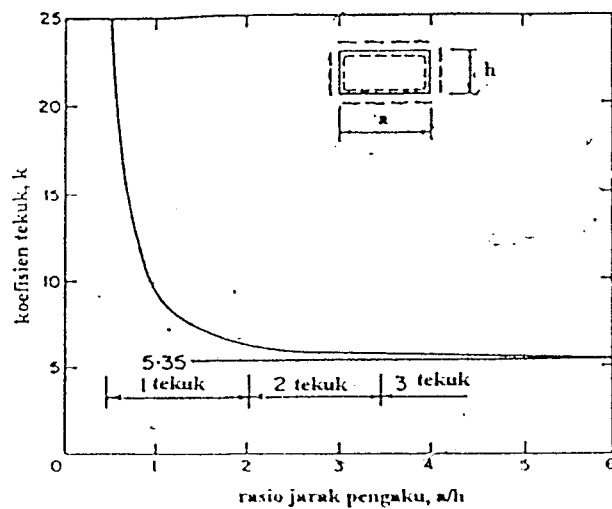
➤ Jika $a/h \leq 1$, maka:

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(a/h)^2] (h/a)^2}{12(1 - \mu^2) (a/t_w)^2 (h/a)^2} \quad (3.13)$$

➤ Jika $a/h \geq 1$, maka:

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(h/a)^2]}{12(1 - \mu^2) (h/t_w)^2} \quad (3.14)$$

Nilai k untuk pelat yang mengalami geser murni dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Koefisien Tekuk Pelat untuk Geser Murni

3.4 Kekuatan Lentur Batas Pada Gelagar

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Charles G. Salmon dan John E. Johnson dengan bahan penelitiannya adalah baja profil I dengan mutu baja A36, badan akan tertekuk akibat tegangan lentur.

Seperti telah dijabarkan sebelumnya, tekuk seperti ini tidak menyebabkan gelagar kehilangan daya gunanya. Kapasitas momen batas gelagar yang tinggi merupakan fungsi dari:

$$Mu = f \left\{ \frac{h}{t_w}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.15)$$

dimana :

h/t_w = menentukan ketidakstabilan badan (tekuk lentur)

L/r_y = menentukan ketidakstabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral)

b/t_f = menentukan tekuk setempat (atau tekuk puntir) pada sayap

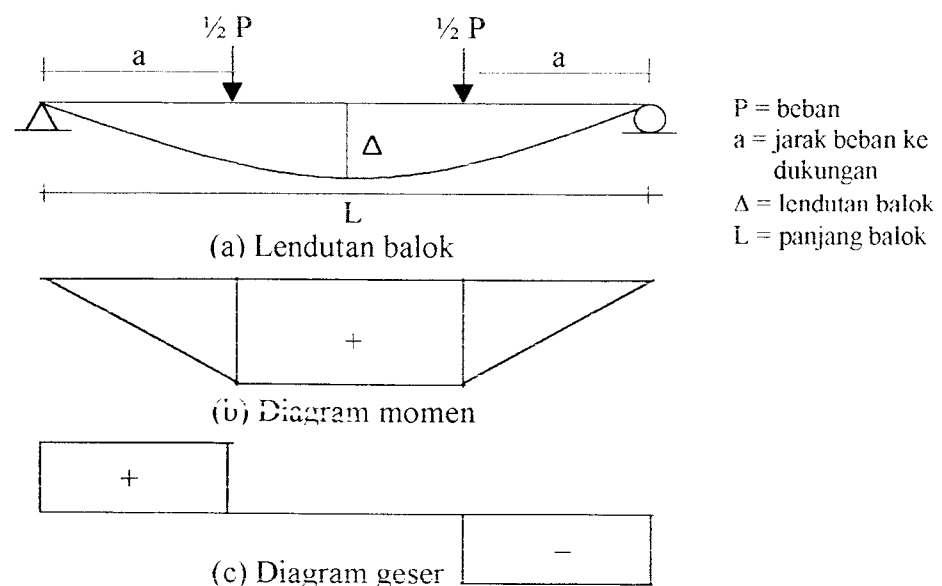
A_w/A_f = menentukan pengaruh purna tekuk badan pada sayap

Dengan anggapan bahwa tekuk puntir lateral dan tekuk lokal dicegah seperti anggapan yang digunakan, variabel dari fungsi di atas menjadi :

$$Mu = f \left\{ \frac{h}{t_w}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.16)$$

3.5 Hubungan Beban-Lendutan

Pemberian beban pada balok akan menyebabkan lentur, sehingga balok akan terdefleksi. Meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser, suatu balok akan tidak layak apabila lendutannya besar, atau balok terlalu fleksibel. Lendutan yang terlihat dengan mata dapat mengurangi keyakinan terhadap kekuatan struktur. Menurut Lynn S. Beedle (1958), balok dengan tumpuan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga akan semakin besar. Selain itu balok juga akan mengalami geser. Mekanika balok yang dibebani ditunjukkan pada Gambar 3.14.



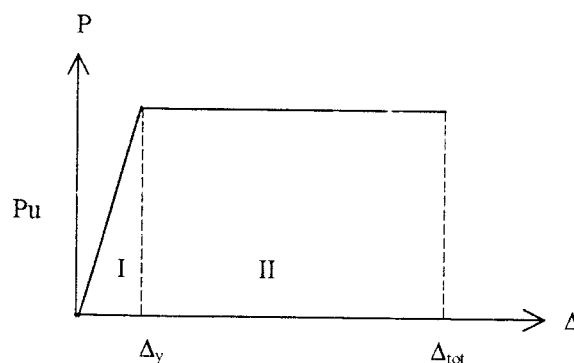
Gambar 3.14 Balok sederhana dengan pembebanan titik

Dalam penelitian ini, balok adalah non prismatis, maka momen inersia (I) sepanjang balok tidak konstan. Karena itu, lendutan balok di tengah bentang dihitung dengan Metode Luas Momen (*Moment Area Method*), dimana balok dibagi dalam beberapa pias dan kemudian dihitung momen inersia (I) dari masing-masing pias. Lendutan balok dirumuskan :

$$\Delta = \int \frac{M}{EI} dx = \Phi \cdot \bar{x} \quad (3.17)$$

dimana : Δ =lendutan, M =momen, E =modulus elastisitas, I =inersia, Φ =luas bidang momen, x = jarak bidang momen ke titik lendutan yang dicari

Hubungan beban-lendutan (P - Δ) pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier, yang ditunjukkan dengan Gambar 3.15.

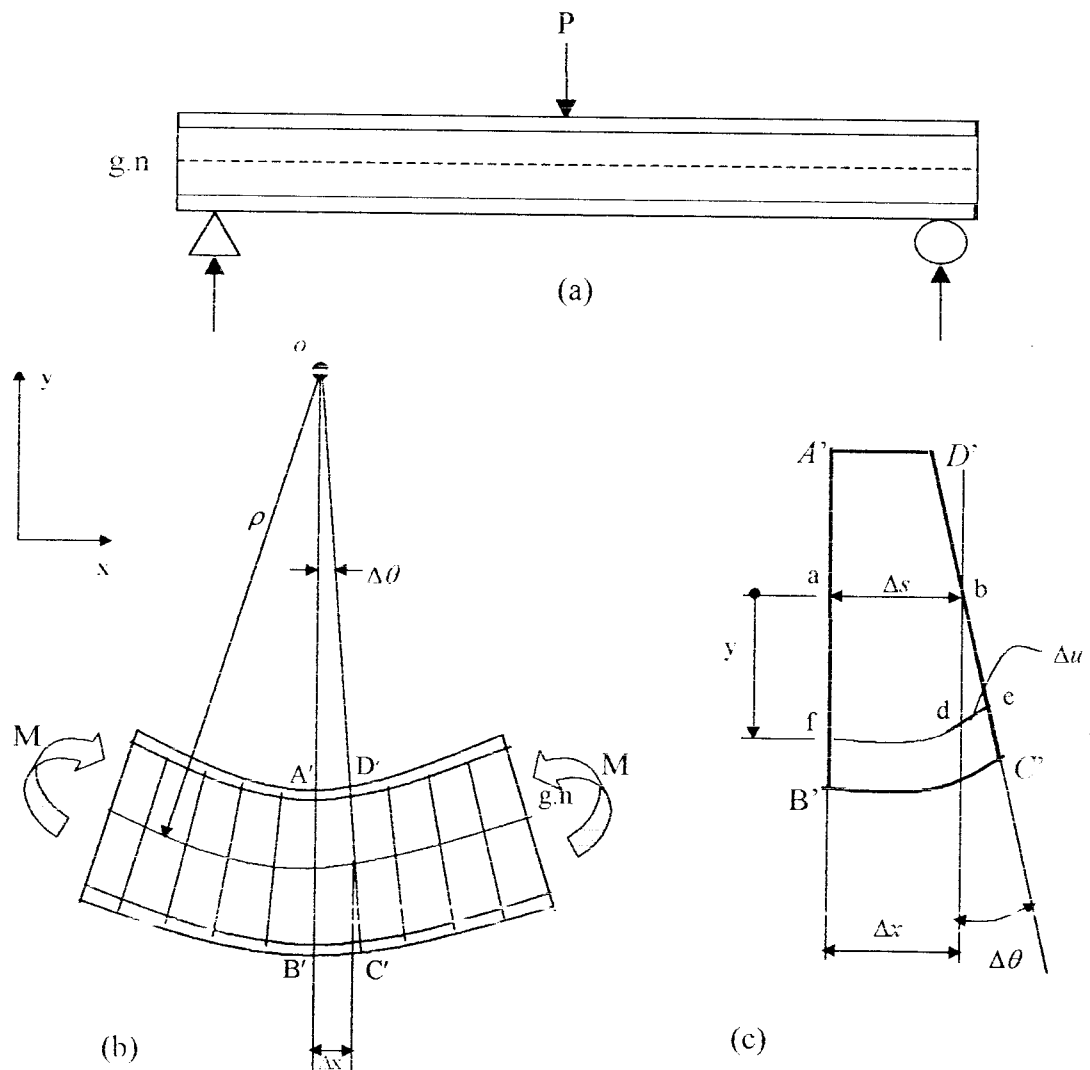


Gambar 3.15 Grafik hubungan beban-lendutan

Dari gambar terlihat pada daerah I, yaitu daerah praretak, balok masih bersifat elastis penuh. Tegangan lentur yang terjadi kurang dari kuat lentur kayu. EI masih mengikuti E kayu dan momen penampang balok kayu. Pada daerah II, yaitu daerah pasca layan, tegangan pada daerah ini mencapai tegangan maksimum. Pada daerah ini, diagram lendutannya lebih landai daripada daerah-daerah sebelumnya. Hal ini disebabkan karena semakin berkurangnya kekakuan lentur akibat bertambahnya jumlah dan lebar retak di sepanjang bentang.

3.6 Hubungan Momen-Kelengkungan

Perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen kelengkungan (*moment curvature*) yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi, yaitu saat kondisi elastis, leleh, elastis-plastis dan plastis. Gambar 3.16a adalah sebuah balok sederhana dengan penampang I yang menerima beban terpusat P , dengan anggapan sebelum beban P bekerja balok dalam keadaan lurus. Setelah beban P bekerja, balok menerima momen sehingga balok melengkung dengan jari-jari kelengkungan ρ (Gambar 3.16b).



Gambar 3.16 Deformasi segmen balok dalam lenturan

Dalam pandangan yang diperbesar dari elemen A'B'C'D' dalam Gambar 3.16c, dapat kita lihat bahwa dalam balok yang melentur, sudut yang termasuk antara dua irisan yang berdampingan adalah $\Delta\theta$. Jika y adalah jarak serat yang diregangkan ke garis netral, maka deformasi Δu dari setiap serat dinyatakan:

$$\Delta u = y\Delta\theta \quad (3.18)$$

Serat-serat yang terletak pada garis netral (serat ab) tidak mengalami regangan sama sekali. Karena itu Δs menunjukkan panjang semula dari semua serat yang terdapat antara irisan-irisan A'B' dan C'D'. Oleh karena itu, dengan membagi Persamaan 3.18 dengan Δs , maka didapat hubungan :

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta s} = y \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta s} \quad \text{atau} \quad \frac{du}{ds} = y \frac{d\theta}{ds} \quad (3.19)$$

$\frac{du}{ds}$ merupakan regangan linier dalam serat balok pada jarak y dari sumbu netral.

Jadi

$$\frac{du}{ds} = \varepsilon \quad (3.20)$$

Dari Gambar 3.16 dapat dilihat $\Delta s = \rho \Delta\theta$, sehingga :

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta s} = \frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{\rho} = \kappa = \phi \quad (3.21)$$

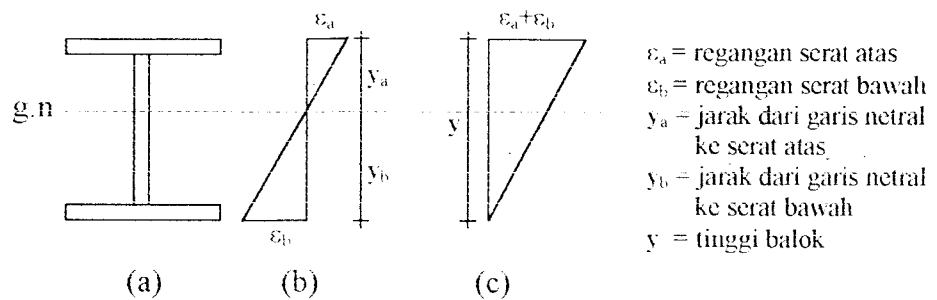
Dengan substitusi Persamaan 3.20 dan 3.21 ke Persamaan 3.19, maka didapat hubungan antara kurva elastis dan regangan linier, yaitu

$$\phi = \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon}{y} \quad (3.22)$$

Karena sifat bahan tidak diperhitungkan, maka kelengkungan pada Persamaan 3.22 digunakan untuk semua keadaan.

Kelengkungan pada balok dapat diperoleh dengan dua cara, yaitu :

- i. Mengukur regangan yang terjadi pada penampang balok, yaitu dengan strain gate. Distribusi regangan pada penampang balok dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Distribusi regangan pada penampang balok

Seperti telah dirumuskan dalam Persamaan 3.22 dan mengacu pada Gambar 3.17b, maka kelengkungannya adalah :

$$\phi = \frac{\varepsilon_a}{y_a} = \frac{\varepsilon_b}{y_b} \quad (3.23)$$

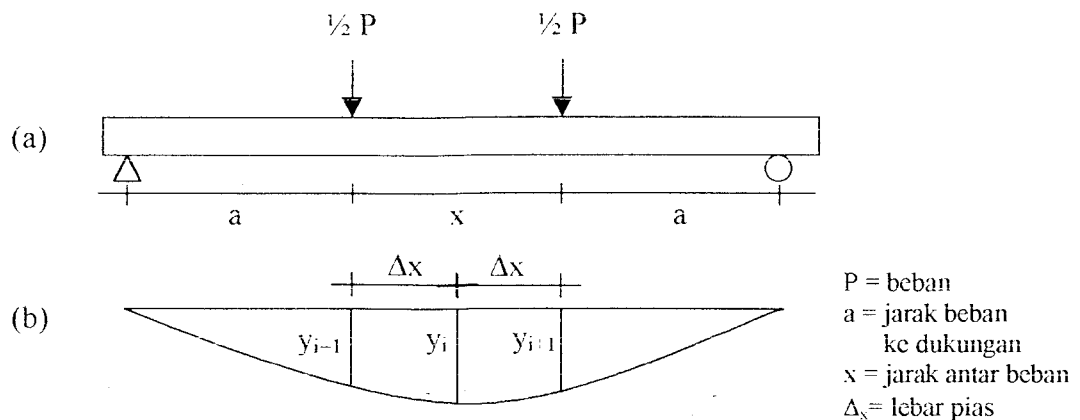
Dengan superposisi regangan, seperti pada Gambar 3.17c, kelengkungan dirumuskan :

$$\phi = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_b}{y_a + y_b} \quad (3.24)$$

Karena letak garis netral berubah-ubah, maka rumus ini kurang optimum untuk menghitung kelengkungan balok.

2. Mengukur defleksi minimal 3 titik diskrit pada balok.

Dengan pengujian kuat lentur balok didapat defleksi pada titik-titik diskrit, yaitu y_i , y_{i+1} , y_{i-1} , dengan jarak sama sebesar Δ_x (Gambar 3.18). Pendekatan kemiringan kurva menggunakan metode *Central Difference*.



Gambar 3.18 Kurva Lendutan

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \quad (3.25)$$

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

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

sehingga persamaan (3.25) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} = \phi \quad (3.26)$$

Pada persamaan di atas tampak bahwa kelengkungan adalah turunan kedua dari defleksi. Dari Gambar 3.18 didapat lendutannya, yaitu

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta_x} \quad (3.27)$$

Dari penurunan Persamaan 3.27 diperoleh rumus kelengkungan, yaitu

$$\phi = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta_x^2} \quad (3.28)$$

Dalam keadaan penampang balok masih elastis, hubungan tegangan, regangan dan modulus elastisitas (E) mengikuti hukum Hooke, yaitu :

$$f = \varepsilon E \quad (3.29)$$

yang berlaku sampai batas proporsional. Substitusi persamaan (3.22) ke persamaan (3.29) didapat

$$f = \frac{y}{\rho} E \quad (3.30)$$

Tampak bahwa tegangan pada penampang komponen yang menerima momen berbanding lurus dengan jarak serat ke garis netral. Gaya yang bekerja pada penampang dihitung dengan

$$F = \int f \, dA \quad (3.31)$$

Substitusi persamaan (3.24) ke persamaan (3.25) didapat

$$F = \frac{E}{\rho} \int y \, dA \quad (3.32)$$

Momen internal pada suatu penampang dihitung dengan persamaan

$$M = \frac{E}{\rho} \int y^2 \, dA \quad (3.33)$$

Karena $\int y^2 \, dA =$ momen inersia (I), persamaan (3.27) dapat dinyatakan dengan

$$M = \frac{EI}{\rho} \quad (3.34)$$

didapat hubungan momen kelengkungan dan faktor kekakuan lentur (EI) sebagai

$$\phi = \frac{M}{EI} \quad (3.35)$$

dengan : $f =$ tegangan, $F =$ gaya, $\varepsilon =$ regangan, $E =$ modulus elastisitas, $y =$ tinggi

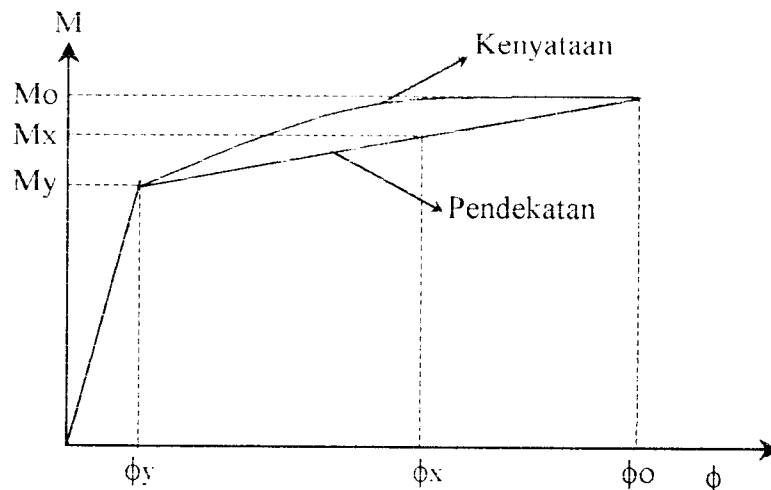
balok, $\rho =$ jari-jari kelengkungan balok, $M =$ momen, $I =$ momen inersia,

$\phi =$ kelengkungan balok

Mengacu pada Gambar 3.18a didapat besarnya momen M

$$M = \frac{1}{2} P a \quad (3.36)$$

Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (ϕ) ditunjukkan pada gambar 3.19 (Roufaiel dan Meyer, 1983).



Gambar 3.19 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan

3.7 Daktilitas

Daktilitas suatu bahan dapat didefinisikan sebagai banyaknya regangan permanen (*permanent strain*). Daktilitas mengijinkan konsentrasi tegangan (*locally stres*) untuk didistribusikan. Prosedur dari suatu perencanaan biasanya selalu didasarkan pada kekuatan ultimit yang membutuhkan kesatuan daktilitas yang besar, terutama untuk yang memperbaiki tegangan-tegangan dekat lubang atau perubahan yang mendadak pada bentuk batang, seperti misalnya dalam perencanaan sambungan.

Kelakuan inelastis yang daktil bisa meningkatkan beban yang mampu dipikul batang dibanding dengan beban yang ditahan jika suatu struktur tetap dalam keadaan elastis. Bila seluruh tinggi balok meleleh, diperoleh batas atas dari kekuatan momen yang disebut kekuatan plastis. Proses pembebanan di luar daerah elastis akan menyebabkan perubahan pada daktilitasnya. Sedangkan daktilitas itu sendiri dirumuskan :

$$\text{Daktilitas} = \frac{\varepsilon_{\text{tot}}}{\varepsilon_y} \quad (3.36)$$

dimana : ε_{tot} = regangan total

ε_y = regangan pada saat leleh pertama

Dalam penelitian, setelah didapat besarnya lendutan dari hubungan beban-lendutan, maka daktilitas simpangan dapat dicari dengan :

$$\mu_{\text{simpangan}} = \frac{\Delta_{\text{tot}}}{\Delta_y} \quad (3.37)$$

dimana : $\mu_{\text{simpangan}}$ = daktilitas simpangan

Δ_{tot} = lendutan total

Δ_y = lendutan pada beban maksimum

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan, yaitu perbandingan antara ϕ_{tot} dan ϕ_y , yang dirumuskan :

$$\mu_{\text{kelengkungan}} = \frac{\phi_{\text{tot}}}{\phi_y} \quad (3.38)$$

dimana : $\mu_{\text{kelengkungan}}$ = daktilitas kelengkungan

ϕ_{tot} = kelengkungan total

ϕ_y = kelengkungan pada momen maksimum

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Dalam pelaksanaan penelitian yang dilakukan dilaboratorium adalah membuat sampel benda uji balok papan non-prismatis sebanyak 2 variasi dengan tinggi haunches yang berbeda. Papan kayu yang digunakan untuk benda uji direncanakan berdasarkan buku PKKI, 1961 dan buku Konstruksi Kayu (Suwarno, 1976).

4.2 Persiapan Bahan dan Alat

Pekerjaan persiapan yang dilakukan meliputi pembuatan benda uji, pengujian pendahuluan meliputi uji geser, tarik dan desak kayu, yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, pengujian lentur yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa FTSP-UH, Yogyakarta.

4.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

1. Kayu,

Dalam penelitian ini, digunakan papan 2/20 dari kayu Kruing, yang termasuk dalam jenis kayu Kalimantan. Untuk reng 3/5 juga dipakai kayu Kruing.

2. Paku

Alat sambung yang digunakan dalam penelitian ini adalah paku dengan ukuran 2,5" BWG 11, diameter 3.05 dan panjang 63 mm.

4.2.2 Alat yang digunakan

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

1. Mesin Uji Kuat Tarik

Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan leleh baja tulangan. Pada penelitian ini digunakan UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM) merk SHIMATSU type UMH 30, kapasitas 30 ton.

2. Meteran dan Kaliper

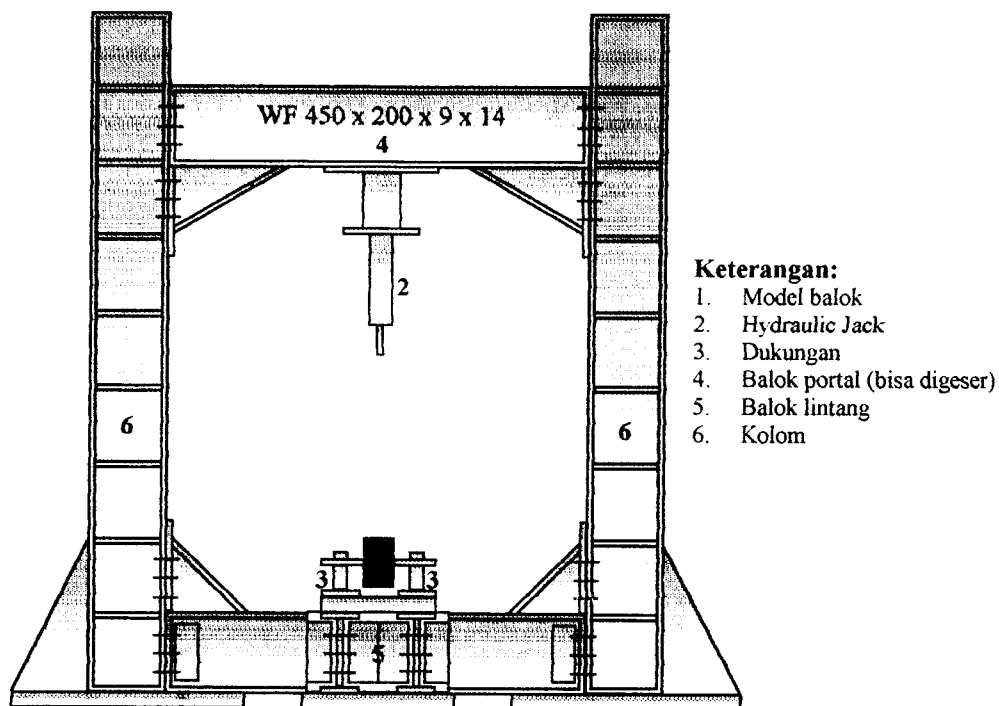
Meteran digunakan untuk mengukur panjang benda uji dan jarak antar pengaku, sedangkan kaliper digunakan untuk mengukur lendutan secara manual.

3. Mesin Uji Kuat Desak

Mesin uji kuat desak digunakan untuk mengetahui kuat desak kayu. Sedangkan kapasitas mesin uji kuat desak yang dimiliki oleh Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia adalah 2000 KN merk CONTROL.

4. Loading Frame

Untuk keperluan penelitian ini dan penelitian-penelitian yang akan datang digunakan alat *Loading Frame* yang terbuat dari bahan baja profil WF 450x200x9x14, yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.

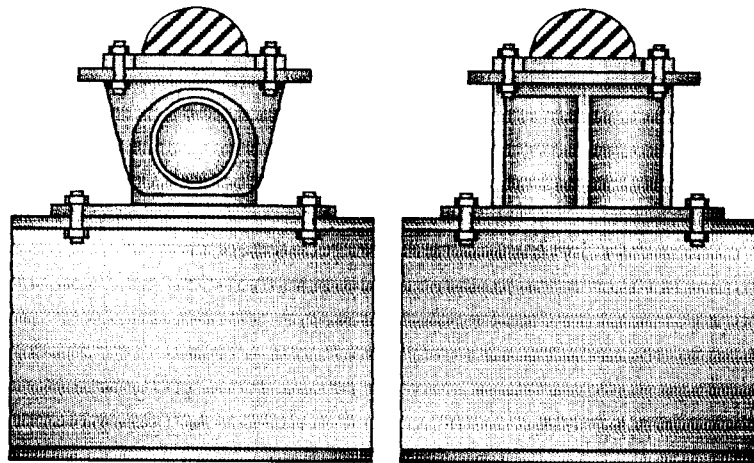


Gambar 4.1 Bentuk Fisik *Loading Frame*

Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9014 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

5. Dukungan Rol dan Sendi

Untuk membuat model balok mendekati balok sederhana (simple beam), maka pada salah satu ujung model balok dipasang dukungan rol, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan sendi (engsel), seperti Gambar 4.2.



(a) Dukungan Rol

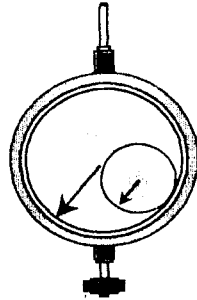
(b) Dukungan Sendi

Gambar 4.2 Dukungan Rol dan Sendi

6. Dial Gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan dengan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan dengan ketelitian 0,01 mm. Pada penelitian tugas akhir ini, digunakan *dial gauge* sebanyak tiga buah. *Dial gauge* pertama terletak sejauh 300 mm dari tengah bentang ke arah dukungan rol, *dial gauge* kedua terletak di tengah bentang dan

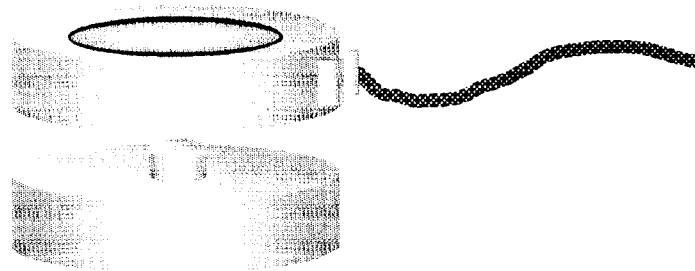
dial gauge ketiga terletak sejauh 300 mm dari tengah bentang ke arah dukungan sendi. Alat ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Dial Gauge*

7. *Tranducer*

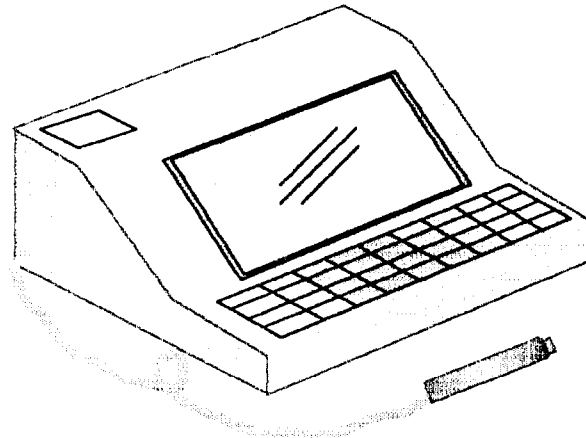
Tranducer digunakan sebagai alat pendeteksi besarnya beban yang sedang bekerja pada benda uji dan hasilnya di transfer ke *calibration tester*. Alat ini mempunyai kapasitas pembacaan hingga 200 kN, dan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Tranducer*

8. *Calibration Tester*

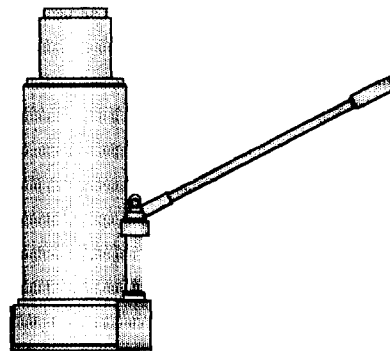
Alat ini merupakan perangkat digital yang digunakan sebagai media pembacaan beban yang sedang bekerja dari *transducer*. Alat ini seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Calibration Tester*

9. **Dongkrak Hidrolik**

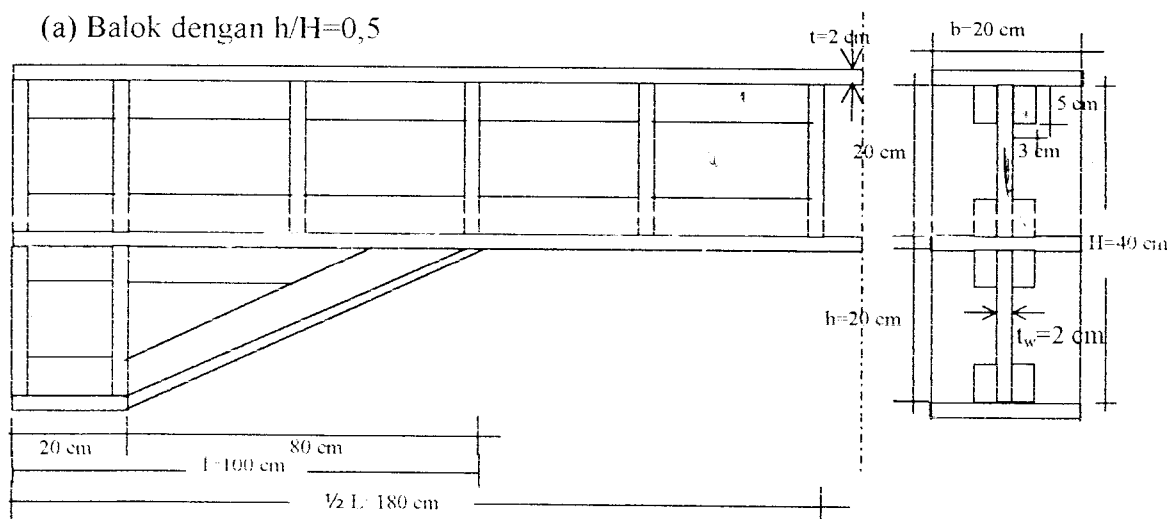
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada benda uji dengan kapasitas maksimum 15 ton. Bentuk fisik alat ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.



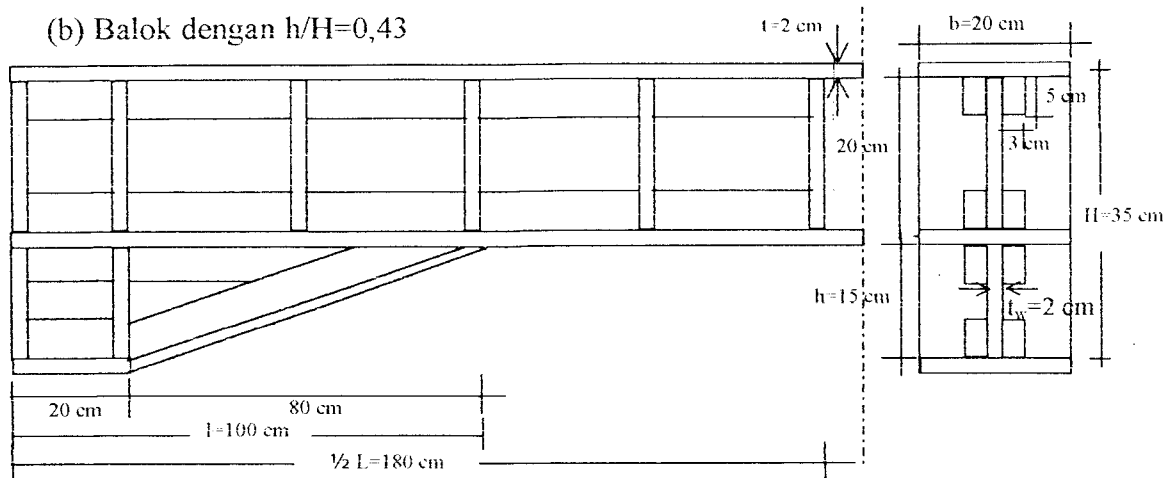
Gambar 4.6 Dongkrak Hidrolik

4.3 Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini berupa gelagar dengan panjang 3,6 m dan bentuk penampangnya adalah bentuk I yang disusun dari papan kayu, dengan dimensi badan 2/20 cm, dimensi sayap 2/20 cm, dan pada badan diberi kayu reng 3/5 cm. Benda uji kemudian diberi *haunches* dengan 2 variasi rasio tinggi, yaitu $h/H=20/40=0,5$ dan $h/H=15/35=0,43$ untuk balok yang mempunyai $l/L=0,278$, yang akan dibuat sebanyak 2 buah sampel untuk masing-masing variasi. Jadi jumlah seluruhnya ada 4 buah sampel. Selain itu pada gelagar juga diberi pengaku dari papan kayu. Bentuk model benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.7.



- b = lebar sayap
- t = tebal sayap
- t_w = tebal badan
- h = tinggi badan haunches
- H = tinggi badan balok
- L = panjang balok
- l = panjang *haunches*



Gambar 4.7 Model benda uji

4.4 Pembuatan Benda Uji

Setelah persiapan dan perhitungan proporsi dimensi badan, sayap, reng dan jarak antar paku didapat, maka selanjutnya adalah pembuatan benda uji melalui tahapan-tahapan sebagai berikut ini :

1. Bahan-bahan disiapkan dan diukur sesuai dengan proporsi yang telah ditentukan sesuai dengan rencana. Pada tahap ini dilakukan pemotongan papan kayu untuk badan, sayap, reng dan pengaku sesuai ukuran yang telah direncanakan.
2. Papan untuk badan disatukan lebih dahulu dengan sayap dengan cara badan posisi berdiri dipaku digaris tengah lebar sayap.
3. Pemasangan reng dilakukan setelah penggabungan badan dan sayap dengan cara memaku reng dengan papan badan. Jarak paku pada pemasangan papan dengan reng adalah 20 cm, sedangkan jarak paku dari ujung balok adalah 10

- cm. Untuk memudahkan pembuatan pengaku maka diusahakan agar lebar antar reng dari ujung yang satu dengan ujung yang lainnya sama.
4. Pembuatan pengaku dilakukan dengan teliti agar didapatkan pengaku yang dapat menempel dengan persis pada papan badan dan sayap. Pengaku dipasang secara transversal, menempel pada papan sayap atas-bawah dan papan badan. Pengaku dipaku pada papan sayap atas dan papan sayap bawah.
 5. Pembuatan *haunches* sesuai dengan bentuk dan ukuran yang direncanakan, pemasangan dilakukan seperti pada tahap pembuatan balok diatas. Setelah itu *haunches* digabungkan dengan balok papan yang sudah jadi dengan cara memaku.

4.5 Jumlah Benda Uji

Setelah balok papan benda uji selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian balok papan kayu uji lentur. Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Universitas Islam Indonesia. Banyaknya benda uji yang dibuat pada penelitian ini adalah:

1. Variasi 1 : 2 buah balok papan dengan dimensi papan badan 2/20 cm, papan sayap 2/20 cm, kayu reng 3/5 cm dan rasio tinggi *haunches* $h/H=0,5$ dan panjang *haunches* 100 cm, sehingga $l/L=0,278$.
2. Variasi 2 : 2 buah balok papan dengan dimensi papan badan 2/20 cm, papan sayap 2/20 cm, kayu reng 3/5 cm dan rasio tinggi *haunches* $h/H=0,43$ dan panjang *haunches* 100 cm, sehingga $l/L=0,278$.

4.6 Pengujian Benda Uji

Sebelum pengujian pada benda uji, terlebih dahulu dilakukan uji pendahuluan pada kayu yang dipakai untuk membuat benda uji, yaitu meliputi uji tarik, uji geser, dan uji desak. Setelah itu baru dilaksanakan pengujian pada benda uji, yang dilakukan secara bertahap, disesuaikan dengan jumlah benda yang akan diuji.

4.6.1 Pengujian Geser Sejajar Serat Kayu

Pengujian geser kayu dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian geser kayu adalah beban maksimum. Tegangan geser kayu dapat diketahui dengan membagi beban maksimum dengan luas penampang geser. Dalam pengujian geser kayu, sampel yang diuji sebanyak 2 buah.

4.6.2 Pengujian Kuat Tarik Kayu

Pengujian kuat tarik kayu dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian tarik kayu adalah beban maksimum. Tegangan tarik kayu dapat diketahui dengan membagi beban maksimum dengan luas rata-rata. Dalam pengujian tarik kayu, sampel yang diuji sebanyak 2 buah.

4.6.3 Pengujian Desak Kayu

Pengujian desak kayu dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian desak kayu adalah beban maksimum. Tegangan desak kayu dapat diketahui dengan membagi beban maksimum dengan luas penampang. Dalam pengujian desak kayu, sampel yang diuji sebanyak 2 buah.

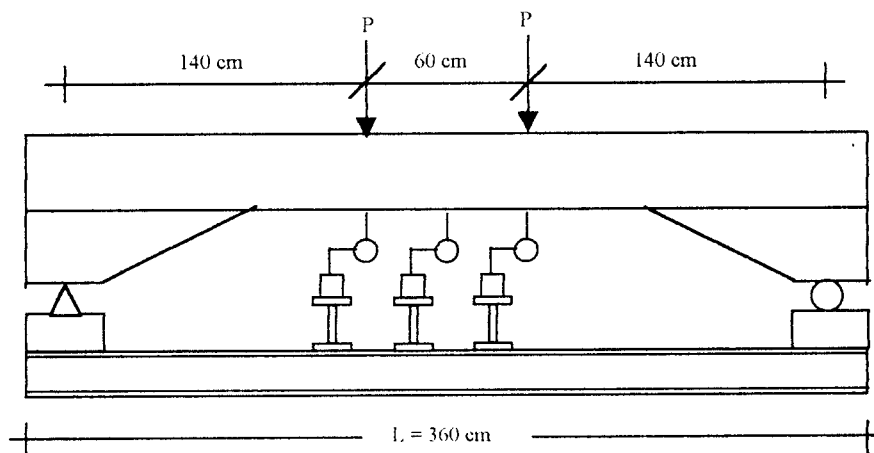
4.6.4 Pengujian Kuat Lentur

Pelaksanaan pengujian kuat lentur dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, dengan tahapan sebagai berikut :

1. Sebelum pengujian dilakukan, benda uji diberi tanda sebagai titik pembebanan pada benda uji, kemudian diletakkan pada tumpuan sesuai dengan tanda yang telah diberikan . Dibawah benda uji dipasang dial (alat pengukur lendutan) untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada waktu dilaksanakan pengujian kuat lentur, posisi benda uji dan letak dial dapat dilihat pada gambar 4.8.
2. Benda uji siap diuji. *Hidraulic Jack* dipompa guna melakukan pembebanan secara perlahan-lahan, beban konstan dan dinaikan secara berangsur-angsur sehingga pada batas kekuatan tertentu atau sampai dengan maksimum benda uji akan mengalami retak atau patah.
3. Pada saat pembacaan *dial* sudah mencapai +400 mm, maka *dial* dilepas dan pembacaan lendutan dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan memasang stick disamping balok uji dan setelah *Hidraulic Jack* dipompa, pada stick

tersebut digaris sejajar dengan papan sayap bawah bagian luar. Hal ini dilakukan untuk menghindari kerusakan pada *dial* dari kemungkinan terjadinya patah pada papan balok. Hasil pembacaan pada stick kemudian dijumlahkan dengan hasil akhir pembacaan pada dial.

4. Hasil retak diberi tanda pada saat pengujian sedang berlangsung pada bagian benda uji yang mengalami retak.



Gambar 4.8 Perletakan benda uji

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

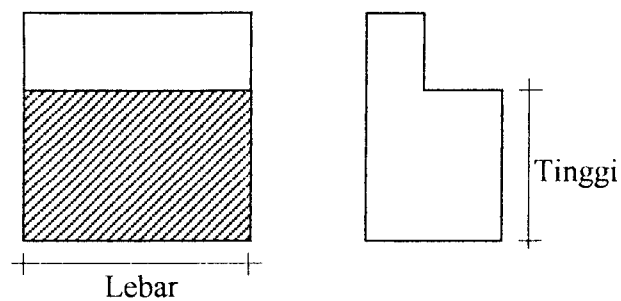
5.1 Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini, sebelum dilakukan pengujian pada balok papan, terlebih dahulu dilakukan beberapa uji pendahuluan, yaitu meliputi uji geser, uji tarik, dan uji desak, sehingga dari hasil uji tersebut didapatkan kekuatan yang sesungguhnya dari kayu yang dipakai untuk membuat sampel.

Setelah itu dilakukan pengujian pada sampel balok papan, yang hasilnya berupa data beban lendutan. Kemudian data tersebut dianalisa untuk memperoleh grafik hubungan momen kelengkungan.

5.1.1 Hasil Uji Kuat Geser Kayu // Serat

Uji geser kayu // serat dilakukan dengan membuat 2 sampel, yang bentuknya seperti ditunjukkan pada Gambar 5.1 dan ukuran benda uji ditunjukkan dalam Tabel 5.1.



Tampak Depan

Tampak Samping

Gambar 5.1 Bentuk benda uji geser kayu // serat

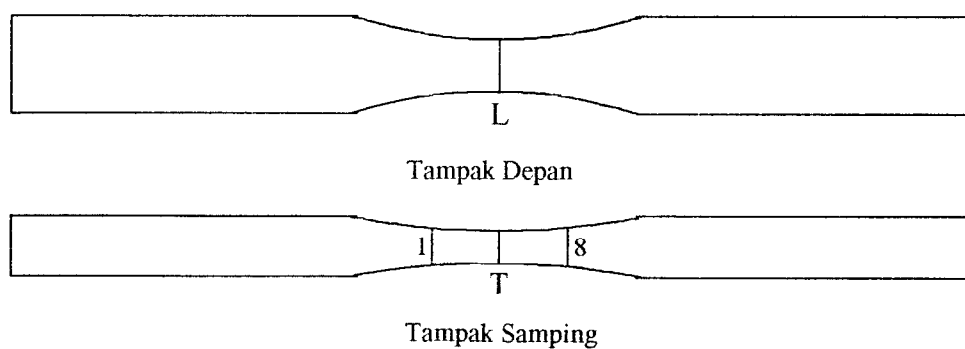
Setelah dilakukan pengujian, didapat beban geser maksimal (P_{geser}). Kemudian dihitung tegangan geser kayu, yang hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Ukuran sampel uji dan hasil uji geser kayu // serat

Sampel	Lebar (L) ($10^{-2}m$)	Tebal (T) ($10^{-2}m$)	Luas Geser (A) ($10^{-4}m^2$)	P_{geser} (KN)	Teg. Geser $\tau = P/A$ ($10^4KN/m^2$)	$\tau_{rata-rata}$ ($10^4KN/m^2$)
1	5,65	4,13	23,3	20	0,8584	0,8690
2	5,48	3,87	21,2	18,65	0,8797	

5.1.2 Hasil Uji Kuat Tarik Kayu // Serat

Pengujian tarik kayu // serat juga dilakukan dengan membuat 2 sampel, yang bentuknya seperti pada Gambar 5.2. Dalam penelitian ini, ukuran sampel uji tarik kayu // serat ditampilkan pada Tabel 5.2.



Gambar 5.2 Bentuk sampel uji tarik kayu // serat

Tabel 5.2 Ukuran sampel uji tarik kayu // serat

No. Titik	Sampel 1			Sampel 2		
	Lebar (L) (10 ⁻² m)	Tebal (T) (10 ⁻² m)	Luas (A) (10 ⁻⁴ m ²)	Lebar (L) (10 ⁻² m)	Tebal (T) (10 ⁻² m)	Luas (A) (10 ⁻⁴ m ²)
1	1,97	1,16	2,2852	1,92	1,32	2,5344
2	1,66	1,11	1,8426	1,62	1,17	1,8954
3	1,34	0,96	1,2864	1,34	0,92	1,2328
4	1,24	0,95	1,1780	1,19	0,83	0,9877
5	1,16	0,87	1,0092	1,28	0,92	1,1776
6	1,49	0,92	1,3708	1,46	1,05	1,5330
7	1,62	1,02	1,6524	1,56	1,15	1,7940
8	1,93	1,13	2,1809	1,73	1,23	2,1279

Dari penelitian didapat beban tarik maksimal (P_{tarik}) dan daerah patah, yaitu :

- Sampel 1 patah diantara titik 4 dan titik 6 dengan luas penampang rata-rata
(A_{rt})=1,1860.10⁻⁴ m²
- Sampel 2 patah diantara titik 3 dan titik 6 dengan luas penampang rata-rata
(A_{rt})=1,2328.10⁻⁴ m²

Setelah itu, kemudian dihitung tegangan tarik kayu untuk masing-masing sampel seperti disajikan pada Tabel 5.3 berikut ini.

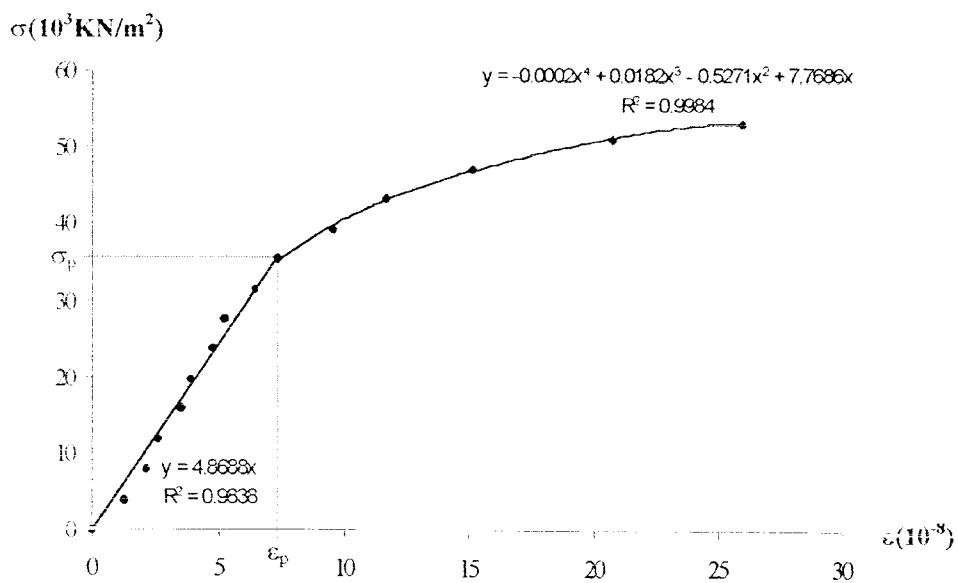
Tabel 5.3 Hasil uji tarik kayu // serat

Sampel	Luas rata-rata (A) (10 ⁻⁴ m ²)	P_{tarik} (KN)	Teg. Tarik $\sigma_{tr//}=P/A$ (10 ⁴ KN/m ²)	$\sigma_{rata-rata}$ (10 ⁴ KN/m ²)
1	1,1860	16	13,4907	12,3829
2	1,2328	13,90	11,2751	

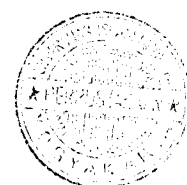
➤ Sampel 1 ($A=0,00254 \text{ m}^2$)

Tabel 5.5 Hasil uji desak kayu // serat sampel 1

Beban P (KN)	ΔL (10^{-5} m)	Tegangan $\sigma=P/A$ (10^3 KN/m^2)	Regangan $\epsilon=\Delta L/t$ (10^{-8})
0	0	0	0
10	3	3.937	1.296
20	5	7.874	2.160
30	6	11.811	2.592
40	8	15.748	3.456
50	9	19.685	3.888
60	11	23.622	4.752
70	12	27.559	5.184
80	15	31.496	6.479
90	17	35.433	7.343
100	22	39.370	9.503
110	27	43.307	11.663
120	35	47.244	15.119
130	48	51.181	20.734
135	60	53.150	25.918



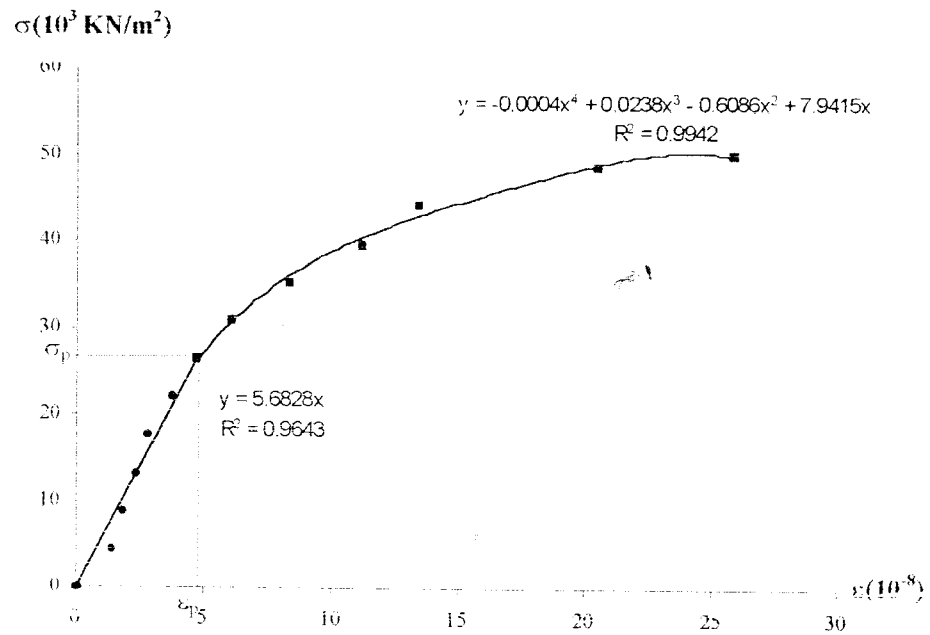
Gambar 5.4 Grafik Tegangan – Regangan Sampel 1



➤ Sampel 2 ($A=0.00277 \text{ m}^2$)

Tabel 5.6 Hasil uji desak kayu sampel 2

Beban P (KN)	ΔL (10^{-5} m)	Tegangan $\sigma=P/A$ (10^3 KN/m^2)	Regangan $\varepsilon=\Delta L/l$ (10^{-8})
0	0	0	0.95
10	3	4.405	1.395
20	4	8.811	1.860
30	5	13.216	2.326
40	6	17.621	2.791
50	8	22.026	3.721
60	10	26.432	4.651
70	13	30.837	6.047
80	18	35.242	8.372
90	24	39.648	11.163
100	29	44.053	13.488
110	44	48.458	20.465
113	55.5	49.780	25.814



Gambar 5.5 Grafik Tegangan – Regangan Sampel 2

Dari hasil penelitian didapat beban desak maksimal (P_{desak}), kemudian dihitung tegangan desak kayu untuk masing-masing sampel seperti disajikan pada Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.7 Hasil analisis uji desak kayu // serat

Sampel	Luas A (10^{-4} m^2)	P_{desak} (KN)	Teg.Desak $\sigma_{desak}=P/A$ (10^4 KN/m^2)	σ_p (10^3 KN/m^2)	ϵ_p (10^{-4})	Modulus Elastisitas $E=\sigma_p/\epsilon_p$ (10^7 KN/m^2)
1	25,40	135	5,3150	3,5433	7,343	0,5825
2	27,70	113	4,9780	2,6432	4,651	0,6683
	$\sigma_{rata-rata}$ (10^4 KN/m^2)		5,1465	$E_{rata-rata}$ (10^7 KN/m^2)		0,6254

5.1.4 Hasil Uji Kuat Lentur Balok

5.1.4.1 Hubungan Beban – Lendutan

1. Hubungan Beban – Lendutan Teoritis

Hubungan beban-lendutan secara teoritis dicari dengan besar beban diambil dengan interval beban sebesar 4 KN sampai beban maksimum dari data hasil pengujian, yaitu $P=16$ KN. Balok dibagi menjadi pias-pias dan kemudian dicari besarnya momen inersia (I) dari masing-masing pias. Setelah itu lendutan di tengah bentang dihitung dengan persamaan 3.17, yaitu dengan metode luas momen (*Moment Area Method*) dengan nilai $E=0,6254 \cdot 10^7 \text{ KN/m}^2$ dimana nilai E didapat dari hasil eksperimen. Kelengkungannya dihitung dengan persamaan 3.35. Untuk hasil hitungan selengkapnya disajikan dalam lampiran, dan untuk $P=16$ KN disajikan dalam Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil perhitungan secara teoritis

Titik	Momen (M) KN.m	Momen Inersia (I) 10^{-4} m^4	EI 10^4 KN.m^2	Kelengkungan ($\phi=M/EI$) $10^{-4}/\text{m}$	Pias	Luas pias (Φ) 10^{-4}	Jarak (x) m	Lendutan ($\Delta=\Phi \cdot x$) 10^{-4} m
a	0.8	5.349	0.335	4.7829	1	0.2391	1.633	0.3906
b	2.4	4.161	0.260	18.4453	2	0.0683	1.633	0.1115
						1.2297	1.500	1.8445
c	4.0	3.220	0.201	39.7251	3	1.2297	1.467	1.8035
						0.8086	1.500	1.2128
						4.7671	1.300	6.1973
d	5.6	2.486	0.155	72.0376	4	1.5890	1.267	2.0128
						2.9323	1.007	4.0075
						10.2911	1.100	11.3202
e	7.2	1.128	0.071	204.1247	5	2.0582	1.067	2.1954
						30.3541	1.233	37.4368
						31.7527	0.900	28.5775
f	11.2	1.128	0.071	317.5273	6	4.5361	0.867	3.9313
						28.3506	0.467	13.2303
						102.0624	0.550	56.1343
g	11.2	1.128	0.071	317.5273	7	95.2582	0.150	14.2887
Kelengkungan (ϕ) $10^{-4}/\text{m}$				974.1711	Lendutan (Δ) 10^{-4} m			369.9902

Dari tabel di atas bisa dilihat bahwa untuk lendutan balok di tengah bentang $\Delta=36,9390 \text{ mm}$ dan kelengkungan $\phi=0,0974/\text{m}$.

2. Hubungan Beban – Lendutan Hasil Penelitian

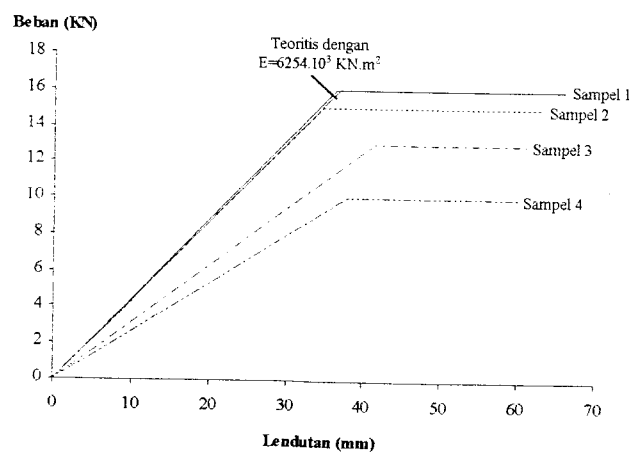
Pengujian lentur pada sampel balok papan dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada sampel balok papan kayu tersebut diberi pembebanan di dua titik secara bertahap dengan interval pembebanan 1 KN pada setiap tahap pembebanan. Kemudian dipasang *dial gauge* sebanyak tiga buah yang diletakkan di bawah model benda uji untuk mengetahui lendutannya. Lendutan yang terjadi dicatat, yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.9, dan untuk hasil selengkapnya disajikan dalam lampiran.

Tabel 5.9 Hasil uji balok papan dengan rasio tinggi *haunches* $h/H=0,5$ (Sampel 1)

P (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (KN.m)	ϕ (1/m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
1.00	1.35	1.72	1.26	0.700	0.009
2.00	2.42	3.07	2.62	1.400	0.012
3.00	4.40	5.25	4.62	2.100	0.014
4.00	6.33	7.27	6.73	2.800	0.016
5.00	8.55	9.51	8.66	3.500	0.020
6.00	9.89	11.39	10.64	4.200	0.025
7.00	12.92	14.54	13.85	4.900	0.026
8.00	15.88	17.50	16.16	5.600	0.033
9.00	17.55	19.59	18.12	6.300	0.039
10.00	20.28	22.46	20.80	7.000	0.043
11.00	22.43	24.13	21.83	7.700	0.044
12.00	24.64	26.50	23.93	8.400	0.049
13.00	27.00	29.29	26.16	9.100	0.060
14.00	28.08	31.56	29.32	9.800	0.064
15.00	31.92	34.65	30.76	10.500	0.074
16.00	32.94	36.36	33.00	11.200	0.075
15.25	37.00	41.00	35.00	10.675	0.111
16.00	42.00	46.00	39.00	11.200	0.122
16.00	49.00	56.00	50.00	11.200	0.144
16.00	59.00	66.00	58.00	11.200	0.167

3. Grafik Hubungan Beban –Lendutan

Dari hasil perhitungan secara teoriis, dan dari hasil pengujian pada keempat sampel balok papan kayu, maka dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan seperti pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Keempat Balok Sampel dan Teoritis

4. Analisa Data Hubungan Beban – Lendutan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar 5.6, dapat disimpulkan tentang kekakuan balok dengan $l/L=0,278$ pada beban ultimit dalam Tabel 5.10, dan dibandingkan hasilnya dari dua variasi dengan balok yang rasio tinggi *haunches*nya (h/H)=0,5 sebagai asumsi pembandingnya.

Tinggi <i>Haunches</i>	Rasio Tinggi <i>Haunches</i>	P (KN)	Lendutan (Δ) (10^{-3} m)	Kekakuan P/Δ (KN/m)	Kekakuan rata-rata (KN/m)	Kekakuan rata-rata (%)
h = 20 cm	h/H=0,5	16	36,36	440,044	436,036	100
h = 20 cm	h/H=0,5	15	34,82	432,028		
h = 15 cm	h/H=0,43	13	40,33	314,541	289,616	66,420
h = 15 cm	h/H=0,43	10	37,78	264,690		

Dari data dalam Tabel 5.10 dapat diamati dan diteliti pengaruh tinggi *haunches* pada kekuatan lentur balok papan dan perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji. Selain itu, dari Gambar 5.6 juga dapat disimpulkan tentang daktilitas lendutan yang disajikan dalam Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Analisa daktilitas lendutan dari data hubungan beban - lendutan

Tinggi <i>Haunches</i>	Rasio Tinggi <i>Haunches</i>	P (KN)	Δ_y (10^{-3} mm)	Δ_{tot} (10^{-3} mm)	Daktilitas Δ_{tot}/Δ_y	Daktilitas rata-rata	Daktilitas rata-rata %
h = 20 cm	h/H = 0,5	16	36,36	66	1,82	1,815	100
h = 20 cm	h/H = 0,5	15	34,82	63	1,81		
h = 15 cm	h/H = 0,43	13	40,33	61	1,52	1,555	85,675
h = 15 cm	h/H = 0,43	10	37,78	60	1,59		

5.1.4.2 Hubungan Momen - Kelengkungan

1. Hubungan Momen – Kelengkungan Teoritis

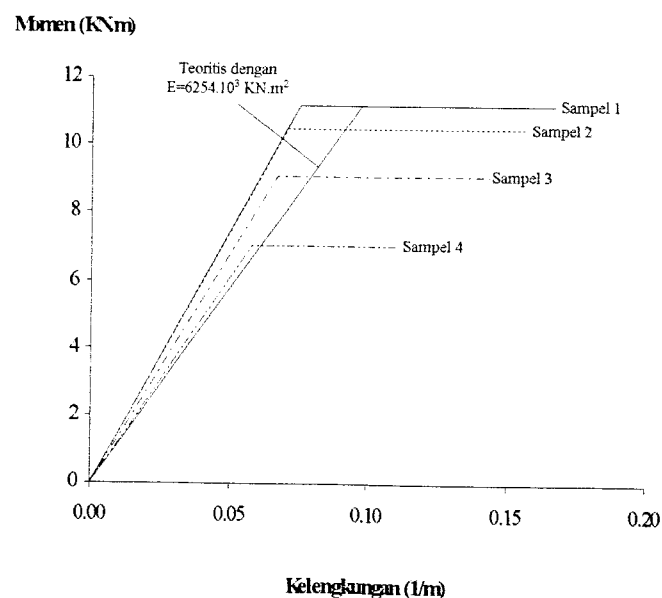
Nilai momen dan kelengkungan dapat dicari secara teoritis. Hasil perhitungan momen-kelengkungan secara teoritis disajikan pada Tabel 5.8, dan untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

2. Hubungan Momen – Kelengkungan Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian didapatkan data beban-lendutan, sehingga dapat dicari besar momen-kelengkungannya, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.9, dan untuk hasil selengkapnya disajikan dalam lampiran.

3. Grafik Momen –Kelengkungan

Dari hasil perhitungan secara teoritis dan dari data hasil penelitian, berupa data beban-lendutan, yang kemudian dicari besar momen-kelengkungannya, maka dapat dibuat grafik hubungan momen – kelengkungan, seperti pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Keempat Balok Sampel dan Teoritis

4. Analisa Data Hubungan Momen – Kelengkungan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan momen-kelengkungan pada Gambar 5.7 dapat dicari faktor kekakuan di tengah bentang, seperti ditampilkan pada Tabel 5.12 berikut ini, dan dibandingkan hasilnya dari dua variasi dengan balok yang rasio tinggi *haunches*nya $h/H=0,5$ untuk balok dengan $l/L=0,278$ sebagai asumsi pembandingnya.

Tabel 5.12 Analisa kekakuan dari data hubungan momen - kelengkungan

Tinggi <i>Haunches</i>	Rasio Tinggi <i>Haunches</i>	M (KN.m)	Kelengkungan ϕ (1/m)	EI=M/ ϕ (KN.m ²)	EI rata-rata (KN.m ²)	EI rata-rata (%)
h = 20 cm	h/H = 0,5	11.2	0.075	149.33	148.61	100
h = 20 cm	h/H = 0,5	10.5	0.071	147.89		
h = 15 cm	h/H = 0,43	9.1	0.067	135.82	128.255	86.303
h = 15 cm	h/H = 0,43	7	0.058	120.69		

Dari Gambar 5.7 juga bisa diamati pengaruh rasio tinggi *haunches* terhadap daktilitas kelengkungan balok yang disajikan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Analisa daktilitas kelengkungan dari data hubungan momen - kelengkungan

Tinggi <i>Haunches</i>	Rasio Tinggi <i>Haunches</i>	M (KN.m)	ϕ_y (1/m)	ϕ_{tot} (1/m)	Daktilitas ϕ_{tot}/ϕ_y	Daktilitas rata-rata	Daktilitas rata-rata (%)
h = 20 cm	h/H = 0,5	11.2	0.075	0.167	2.23	2.215	100
h = 20 cm	h/H = 0,5	10.5	0.071	0.156	2.20		
h = 15 cm	h/H = 0,43	9.1	0.067	0.144	2.15	2.035	91.874
h = 15 cm	h/H = 0,43	7	0.058	0.111	1.92		

5.1.4.3 Analisa Kerusakan pada Sampel Uji

Kerusakan yang terjadi pada keempat sampel uji pada penelitian ini adalah terjadi retak pada pelat badan. Kerusakan ini merupakan kerusakan geser searah serat pada pelat badan yang disebabkan karena tegangan geser ijin kayu kecil dibandingkan tegangan geser yang terjadi, sehingga balok tidak mampu menahan tegangan geser ini.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Kuat Lentur Balok Berdasar Hubungan Beban – Lendutan

Dengan mengamati gambar-gambar pada lampiran, yaitu grafik hubungan beban-lendutan sebelum diidealisir, dapat dilihat bahwa balok memiliki trend kuat lentur yang sama. Mulai dari kuat lentur awal sampai kuat lentur ultimit, kurva melengkung tetapi mendekati linear. Setelah mencapai kuat lentur ultimit, balok mengalami retak dan terjadi penurunan sedikit pada kuat lenturnya.

Kemudian balok masih mengalami peningkatan kuat lentur sedikit setelah mengalami retak sampai balok mengalami kuat lentur ultimit yang kedua. Setelah itu, kuat lentur balok cenderung linier, yaitu balok mempunyai kuat lentur yang sama dengan kuat lentur ultimit yang kedua. Pada fase ini, beban balok tetap, sedangkan lendutannya mengalami peningkatan.

Kuat lentur paling besar dialami oleh balok sampel 1, yaitu dengan rasio tinggi *haunches* (h/H)=0,5 pada beban sebesar 16 KN. Dan kuat lentur paling kecil adalah pada balok sampel 4, yaitu dengan rasio tinggi *haunches* (h/H)=0,43 dan pada beban 10 KN. Lendutan paling panjang terjadi pada balok sampel 1 dengan

$h/H=0,5$, dan lendutan paling pendek terjadi pada balok sampel 4 dengan $h/H=0,43$.

Dari hasil penelitian didapatkan hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$), sehingga kemudian dapat dicari nilai kekakuan dari balok-balok sampel. Nilai kekakuan dicari dengan P/Δ . Dalam pengujian ini, nilai kekakuan dari keempat sampel berbeda-beda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik beban-lendutan hasil pengujian.

Pada analisa kekakuan dari data beban-lendutan (Tabel 5.10), dapat dilihat kekakuan dari keempat sampel yang kemudian dirata-rata untuk dua variasi, dan dapat diketahui penurunan nilai kekakuan dari balok papan tersebut.

Untuk balok variasi 1 dengan $h/H=0,5$, rata-rata beban maksimumnya adalah 15,50 KN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 436,036 KN/m. Sedangkan untuk balok variasi 2 dengan $h/H=0,47$, rata-rata beban maksimumnya adalah 11,50 KN dan nilai kekakuannya adalah 289,616 KN/m. Jadi dengan balok yang $h/H=0,5$ sebagai pembandingnya, maka dapat dilihat bahwa balok dengan $h/H=0,43$ akan mengalami penurunan beban maksimum sebesar 25,806 % dan nilai kekakuan mengalami penurunan sebesar 33,580 %.

5.2.2 Daktilitas Simpangan ditinjau dari Hubungan Beban – Lendutan

Besarnya lendutan pada beban maksimum dan lendutan maksimum pada balok merupakan dasar untuk mencari daktilitas balok. Daktilitas simpangan merupakan perbandingan dari Δ_{tot}/Δ_y .

Berdasarkan pengamatan pada grafik hubungan beban-lendutan yang kemudian dianalisa seperti ditampilkan pada Tabel 5.11, dapat dilihat daktilitas

rata-rata balok dengan dua variasi rasio tinggi *haunches* dan dapat dibandingkan dengan balok yang $h/H=0,5$ sebagai pembandingnya.

Untuk balok variasi 1 dengan $h/H=0,5$ untuk dua sampel didapatkan nilai daktilitas rata-rata sebesar 1,815 atau 100 % pada beban maksimum rata-rata 15,50 KN. Dan untuk balok variasi 2 dengan $h/H=0,43$ untuk dua sampel, didapatkan nilai daktilitas rata-ratanya sebesar 1,555 pada beban maksimum rata-rata 11,50 KN. Jadi pada balok dengan $h/H=0,43$ mengalami penurunan daktilitas sebesar 14,325 % dan penurunan beban maksimum sebesar 25,806 %.

5.2.3 Kuat Lentur Balok ditinjau dari Hubungan Momen – Kelengkungan

Perilaku dari grafik hubungan momen kelengkungan memiliki trend yang tidak jauh berbeda dengan grafik hubungan beban lendutan seperti yang ditunjukkan pada gambar di lampiran. Demikian juga dengan kuat lentur balok yang didapat dari kedua grafik tersebut. Mulai dari kuat lentur awal akibat momen sampai dengan kuat lentur ultimit balok sampai balok mengalami retak sehingga terjadi sedikit penurunan pada kuat lentur. Kemudian balok mengalami peningkatan kuat lentur sedikit setelah mengalami retak, sampai balok mengalami kuat lentur ultimit yang kedua dan tidak mengalami peningkatan kuat lentur lagi. Setelah kuat lentur ultimit yang kedua, kuat lentur balok cenderung linier yaitu mempunyai kuat lentur yang sama dengan kuat lentur ultimit kedua, tetapi kelengkungan balok mengalami peningkatan sedangkan momen baloknya tetap.

Kuat lentur paling besar dialami oleh balok sampel 1, yaitu dengan rasio tinggi *haunches* (h/H)=0,5 pada momen sebesar 11,2 KN.m. Dan kuat lentur paling kecil adalah pada balok sampel 4, yaitu dengan rasio tinggi *haunches* (h/H)=0,43

dan pada momen sebesar 7 KN.m. Kelengkungan paling panjang terjadi pada balok sampel 1 dengan $h/H=0,5$, dan kelengkungan paling pendek terjadi pada balok sampel 4 dengan $h/H=0,43$.

Dari hubungan momen–kelengkungan dapat ditunjukkan faktor kekakuan. Pada Tabel 5.12 dilakukan analisa dari grafik momen kelengkungan sehingga didapat faktor kekakuan dari masing-masing balok sampel dan dapat dibandingkan dari kedua variasi balok sampel dengan balok yang $h/H=0,5$ sebagai pembandingnya.

Pada balok variasi 1 dengan $h/H=0,5$, mempunyai faktor kekakuan rata-rata sebesar $148,61 \text{ KN.m}^2$ pada beban maksimum rata-rata yang menimbulkan momen sebesar 10,85 KN.m. Sedangkan untuk balok variasi 2 dengan $h/H=0,43$, rata-rata faktor kekakuannya adalah $128,255 \text{ KN.m}^2$ pada beban maksimum rata-rata yang menimbulkan momen sebesar 8,05 KN.m. Jadi dapat dilihat bahwa balok dengan $h/H=0,43$ akan mengalami penurunan faktor kekakuan sebesar 13,697 % dan momennya mengalami penurunan sebesar 25,806 %.

5.2.4 Daktilitas Kelengkungan ditinjau dari Hubungan Momen – Kelengkungan

Besarnya kelengkungan pada momen maksimum dan kelengkungan maksimum pada balok merupakan dasar untuk mencari daktilitas balok. Daktilitas kelengkungan merupakan perbandingan dari ϕ_{tot}/ϕ_y .

Berdasarkan pengamatan pada grafik hubungan momen-kelengkungan yang kemudian dianalisa seperti ditampilkan pada Tabel 5.13, dapat dilihat daktilitas

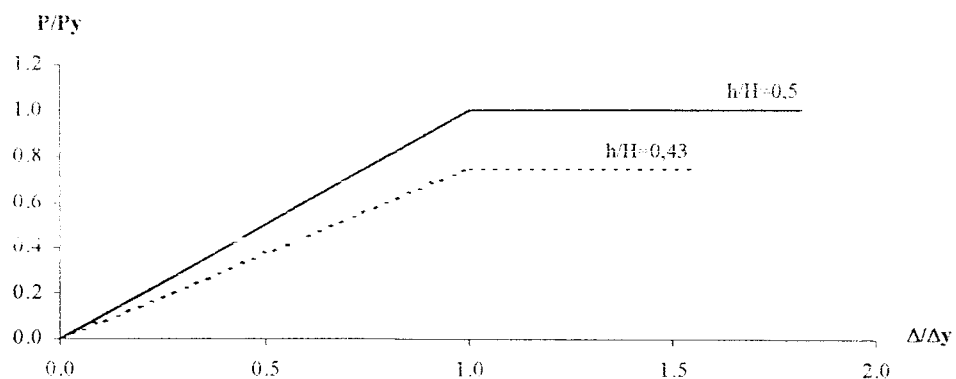
rata-rata balok dengan dua variasi rasio tinggi *haunches* dan dapat dibandingkan dengan balok yang rasio tinggi *haunches*nya $(h/H)=0,5$ sebagai pembandingnya.

Untuk balok dengan $h/H=0,5$ dari dua sampel didapatkan nilai daktilitas rata-rata sebesar 2,215 atau 100 % pada saat balok menerima beban maksimum rata-rata dengan nilai momen sebesar 10,85 KN.m. Dan untuk balok dengan $h/H=0,43$ untuk dua sampel, didapatkan nilai daktilitas rata-ratanya sebesar 2,035 pada saat balok menerima beban maksimum rata-rata yang menimbulkan momen sebesar 8,05 KN.m. Jadi pada balok dengan $h/H=0,43$ mengalami penurunan daktilitas sebesar 8,126 % dan penurunan momen sebesar 25,806 %.

5.2.5 Hubungan Non Dimensional Beban – Daktilitas Simpangan

Setelah data hasil penelitian dianalisa sehingga didapatkan hubungan non dimensional antara beban dengan daktilitas simpangan yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.8. Hubungan ini ditampilkan dalam bentuk grafik non dimensional untuk dua jenis variasi rasio tinggi *haunches* pada balok papan dengan $l/L=0,278$.

Dari grafik tersebut bisa dilihat bahwa semakin besar rasio tinggi *haunches* (h/H) , maka semakin besar daya dukung bebannya dan semakin besar pula daktilitas simpangannya.

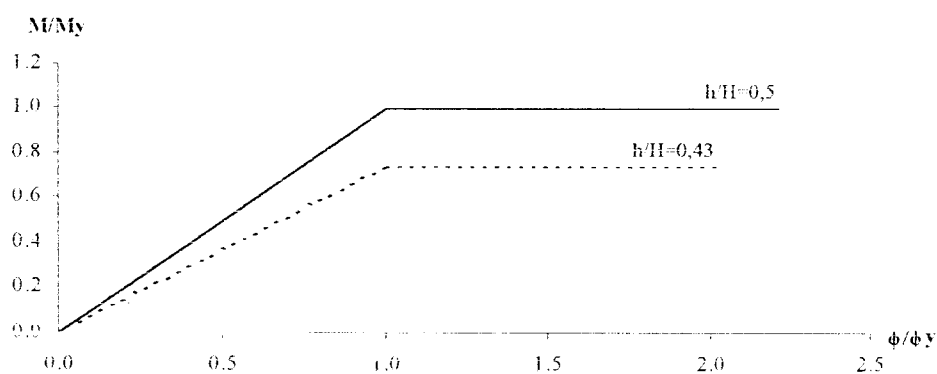


Gambar 5.8 Grafik Hubungan Non Dimensional Beban-Daktilitas Simpangan

5.2.6 Hubungan Non Dimensional Momen – Daktilitas Kelengkungan

Setelah data hasil penelitian dianalisa sehingga didapatkan hubungan antara momen dengan daktilitas kelengkungan yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.9. Hubungan ini ditampilkan dalam bentuk grafik non dimensional untuk dua jenis variasi rasio tinggi *haunches* pada balok papan dengan $l/L=0,278$.

Dari grafik tersebut bisa dilihat bahwa semakin besar rasio tinggi *haunches* (h/H), maka semakin besar kapasitas momennya dan semakin besar pula daktilitas kelengkungannya.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Non Dimensional Momen-Daktilitas Kelengkungan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan tentang perilaku balok papan non prismatis dengan variasi rasio tinggi *haunches* (h/H) dan dengan kondisi balok yang mempunyai $l/L=0,278$, yaitu sebagai berikut:

1. Kekakuan dari balok papan non prismatis dipengaruhi oleh rasio tinggi *haunches*nya (h/H). Semakin besar h/H , maka semakin besar nilai kekakuannya.
2. Rasio tinggi *haunches* (h/H) berpengaruh pada kekuatan balok dalam menahan beban. Semakin tinggi nilai h/H , maka akan semakin besar kekuatan yang mampu ditahannya.
3. Rasio tinggi *haunches* (h/H) juga mempengaruhi kemampuan balok dalam menahan momen pada saat menerima beban maksimum dan mempengaruhi faktor kekakuan balok EI . Semakin besar h/H , maka semakin besar momen yang dapat ditahan dan semakin besar nilai EI .
4. Daktilitas simpangan balok terbesar terjadi pada balok dengan rasio tinggi *haunches* (h/H)=0,5. Semakin tinggi h/H , maka semakin besar pula daktilitas simpangannya.

5. Daktilitas kelengkungan balok memiliki perilaku yang hampir sama dengan daktilitas simpangan. Semakin tinggi h/H maka daktilitas kelengkungan balok semakin besar.
6. Pada saat beban maksimum, balok mengalami retak, dan pada saat retak tersebut terjadi balok mengalami penurunan kuat lentur sedikit. Tetapi balok masih mampu mengalami kenaikan kuat lentur meskipun sedikit setelah balok mengalami retak tersebut.
7. Kerusakan yang terjadi pada balok papan non prismatis ini adalah kerusakan karena geser searah serat.

6.2 Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang balok papan non prismatis dengan tipe haunches yang berbeda dan dengan variasi yang berbeda agar diperoleh model matematis dan prosedur hitungan yang sesuai untuk balok papan non prismatis, sehingga mempermudah kita dalam perencanaan balok papan non prismatis.
2. Perlu dicari cara untuk mengatasi kerusakan akibat gaya geser pada penelitian ini, yaitu dengan memperbesar tegangan geser kayu searah serat, maka perlu dipasang pengaku diagonal pada pelat badannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. _____, 1961, Peraturan Konstruksi Kayu untuk Indonesia (PKKI), Yayasan Penerbitan PU, Jakarta.
2. Bambang Triatmodjo, 1996, Metode Numerik, Beta Offset, Yogyakarta.
3. Beedle, L.S, 1958, Plastic Design of Steel Frames, John Wiley & Sons, Inc.
4. Faherty, K.F. dan Williamson, G.T., 1989, Wood Engineering and Construction Handbook, Mc Graw-Hill Publishing Company.
5. Frick, H, 1982, Ilmu Konstruksi Bangunan Kayu, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
6. Jensen, A dan Chenoweth, H.H, 1989, Kekuatan Bahan Terapan, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga.
7. Popov, E.P, 1995, Mekanika Teknik (Mechanics of Materials), Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
8. Salmon, C.G dan Johnson, J.E, 1990, Struktur Baja I Desain dan Perilaku, Edisi Ketiga, PT Gramedia, Jakarta.
9. Salmon, C.G dan Johnson, J.E, 1990, Struktur Baja II Desain dan Perilaku, Edisi Ketiga, PT Gramedia, Jakarta.
10. Suwarno W, 1976, Konstruksi Kayu, Fakultas Teknik UGM.

LAMPIRAN

⌘ *Lampiran I* **KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	ETTY DWI SURYANI	94 310 130	STRUKTUR
2	ANI SUMARYANTI	95 310 267	STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR :

JE
PRILAKU BALOK PAPAN NON PRISMATIS DENGAN PENGAKU.
IS

PERIODE I : SEPTEMBER – PEBRUARI
TAHUN : 2000 / 2001

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Sept.	Okt.	Nop.	Des.	Jan.	Peb.
1.	Pendaftaran	■					
2.	Penentuan 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. SUHARYAIMO, MT
: IR. FATKHURROHMAN N, MT



Yogyakarta, 24 Oktober, 2000
a.n. Dekan,

Tadjuddin
IR. H. TADJUDDIN BM ARIS, MS

Catatan :

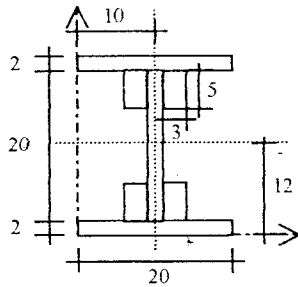
Seminar :

Sidang :

Pendadaran :

3< Lampiran 2

Perhitungan Jumlah Paku



- Statis momen :

$$\bar{y} = \frac{(2 \cdot 20)1 + 2(3.5)4.5 + 2(3.5)19.5 + (2.20)23}{3(2.20) + 4(3.5)}$$

$$\bar{y} = 12 \text{ cm}$$

$$\bar{x} = 10 \text{ cm}$$

- Inersia :

$$I_{\text{sayap}} = 2[(1/12 \cdot 20 \cdot 2^3) + (2 \cdot 20)11^2] = 9706.67 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{badan}} = 1/12 \cdot 2 \cdot 20^3 = 1333.33 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{reng}} = 1/4[I_t + 3 \cdot I_g] \quad \longrightarrow \quad I_t = 4 \cdot I_y + 4 \cdot F \cdot e^2$$

$$= 1/4(420 + 3 \cdot 180)$$

$$= 240 \text{ cm}^4$$

$$= 4[(1/12 \cdot 5 \cdot 3^3) + (3.5)(\frac{2+3}{2})^2]$$

$$= 420 \text{ cm}^4$$

$$I_g = 1/12 \cdot b^3 \cdot h' = 1/12(2 \cdot b)^3(2 \cdot h)$$

$$= 1/12(2 \cdot 3)^3(2.5)$$

$$= 180 \text{ cm}^4$$

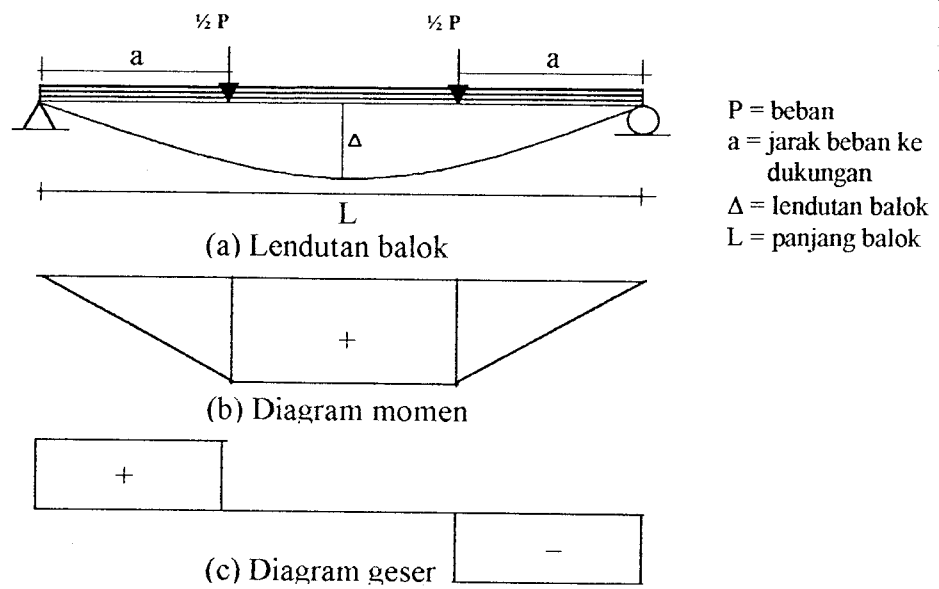
$$\text{maka } I_{\text{total}} = I_{\text{sayap}} + I_{\text{badan}} + I_{\text{reng}}$$

$$= 9706.67 + 1333.33 + 240$$

$$= 11280 \text{ cm}^4$$

- **Pembebanan**

Pembebanan yang dipakai dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



- **Menghitung Tegangan Lentur**

Untuk nilai $P = 1600 \text{ kg}$

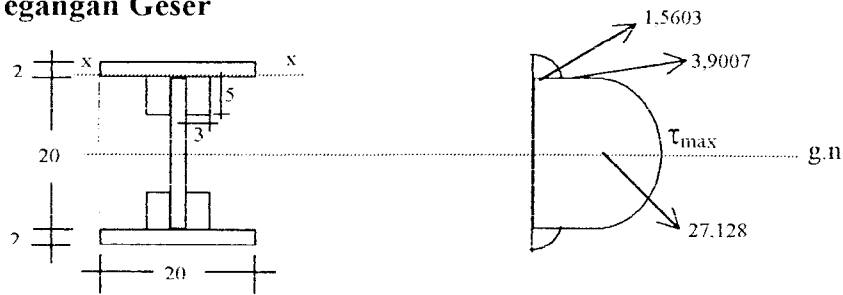
maka,

$$M = \frac{1}{2} P \cdot a = \frac{1}{2} \cdot 1600 \cdot 140 = 112000 \text{ kg.cm}$$

sehingga,

$$\sigma_{lt} = \frac{M \cdot \bar{y}}{I_{total}} = \frac{112 \cdot 10^3 \cdot 12}{11280} = 119,149 \text{ kg/cm}^2$$

• **Tegangan Geser**



Rumus :

$$\tau = \frac{V \cdot S}{b \cdot I_{\text{total}}}$$

dimana : V = reaksi di tumpuan

S = statis momen daerah geser yang ditinjau

I_{total} = inersia total penampang balok

Untuk nilai : $V = \frac{1}{2} \cdot P = \frac{1}{2} \cdot 1600 = 800 \text{ kg}$

$$S_{\text{sayap}} = (2 \cdot 20) \cdot 11 = 440 \text{ cm}^3$$

$$S_{\text{badan}} = (5 \cdot 8) \cdot 7,5 + (5 \cdot 2) \cdot 2,5 = 325 \text{ cm}^3$$

$$I_{\text{total}} = 11280 \text{ cm}^4$$

sehingga,

➤ Untuk daerah sedikit di atas x-x

$$\tau = \frac{800 \cdot 440}{20 \cdot 11280} = 1,5603 \text{ kg/cm}^2$$

➤ Untuk daerah sedikit di bawah x-x

$$\tau = \frac{800 \cdot 440}{8 \cdot 11280} = 3,9007 \text{ kg/cm}^2$$

➤ Untuk daerah garis netral

$$\tau = \frac{800 \cdot (440 + 325)}{2 \cdot 11280} = 27,128 \text{ kg/cm}^2$$

- Menghitung banyaknya paku

$$\text{Gaya geser} \Rightarrow \tau \cdot b = \frac{V \cdot S_s}{I} = \frac{800.440}{11280} = 31,2057 \text{ kg/cm}$$

\Rightarrow Untuk $\frac{1}{2}$ bentang, maka :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot L \cdot \tau \cdot b = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 340 \cdot 31,2057 = 1657,7975 \text{ kg}$$

\Rightarrow Menentukan paku

$$\ell_p \geq 2,5 \ell_2$$

$$\geq 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ cm}$$

Dipakai paku 2½" BWG 11 dengan $d = 3,1 \text{ mm}$, $\ell_p = 6,3 \text{ cm}$ dan $T_k = 150$

kg/cm^2 (untuk BJ kayu=0,6)

Sambungan tampang satu,

$$\bar{P} = 0,5 \cdot b \cdot d \cdot T_k = 0,5 \cdot 2 \cdot 0,31 \cdot 150 = 46,5 \text{ kg}$$

$$\bar{P} = 3,5 \cdot d^2 \cdot T_k = 3,5 \cdot 0,31^2 \cdot 150 = 50,4525 \text{ kg}$$

Maka,

$$\text{Jumlah paku} = n = \frac{P}{\bar{P}} = \frac{1657,7975}{46,5} = 35,65 \approx 36 \text{ batang paku}$$

\Rightarrow Jadi banyaknya paku yang dipakai adalah 36 batang paku untuk setengah bentang.