

**TEKNIK SIPIL**

**LAPORAN TAHUN 2011**

JUDUL PENELITIAN:  
**BALOK DAN KOLOM PAPAN KAYU  
LAMINASI- PAKU**

**Ketua Tim Peneliti:  
Dr. Ir. Johannes Adhijoso Tjondro, M.Eng.**



**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
JL. CIUMBULEUIT 94 - BANDUNG**

**PEBRUARI 2011**

## DAFTAR ISI:

Daftar Isi	1
Identitas Penelitian	2
Abstrak	3
Bab 1 Pendahuluan	4
Bab 2 Studi Pustaka	7
Bab 3 Metode Penelitian	11
Bab 4 Hasil Uji Eksperimental	15
Bab 5 Analisis dan Diskusi	50
Bab 6 Kesimpulan	60
Daftar Pustaka	61
Lampiran :	
A. Hasil Uji Kuat Lentur Papan kayu Laminasi-paku Horisontal	L-1
B. Hasil Uji Kuat Lentur Papan kayu Laminasi-paku Vertikal	L-8
C. Hasil Uji Kuat Lentur Papan kayu Laminasi-paku Horisontal	L-15
Bukti Seminar Hasil Penelitian	
<i>Powerpoint</i> Presentasi Seminar Hasil Penelitian	



**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat**  
**Universitas Katolik Parahyangan**  
Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung 40141, telp. +62 22 2030918-20 ext 148, 144  
Fax. +62 22 2034847, email: lppm@home.unpar.ac.id

### Identitas Penelitian

1.	Judul Penelitian	<b>Balok dan Kolom Papan Kayu Laminasi- Paku</b>
2.	Klasifikasi Penelitian <sup>1</sup>	<b>1. Pengembangan Keilmuan</b>
3.	Ketua Peneliti / Pengusul	
	- Nama	<b>Dr. Johannes Adhijoso Tjondro</b>
	- N I K	<b>11099</b>
	- Jabatan Fungsional	<b>Lektor Kepala / Pembina IV-A</b>
	- Jabatan Struktural	<b>Ketua Jurusan Sipil</b>
	- Bidang Keahlian	<b>Teknik Struktur</b>
	- Jurusan	<b>Teknik Sipil</b>
	- Fakultas	<b>Teknik</b>
3.	Tim Peneliti (Bd. Keahlian)	<b>1. Herry Budiarto 2006410045</b>
		<b>2. Wenata Aryakusuma 2007410063</b>
		<b>3. Fengky 2007410131</b>
4.	Jadwal (max 6 bulan)	<b>Pebruari 2010 s/d Juni 2010</b>
5.	Pembiayaan <sup>1</sup>	1. Rp. 3.000.000 (literatur) 2. <b>Rp. 8.000.000 (laboratorium)</b> 3. Rp. 10.000.000 (lapangan di Bandung dan sekitarnya) 4. Rp. 12.000.000 (lapangan di wilayah lebih luas)
6.	Pencairan Tahap II (50 %) <sup>1</sup>	1. Rp. 1.500.000 (literatur) 2. <b>Rp. 4.000.000 (laboratorium)</b> 3. Rp. 5.000.000 (lapangan di Bandung dan sekitarnya) 4. Rp. 6.000.000 (lapangan di wilayah lebih luas)

1. *dilingkari yang sesuai*

2. *dilampiri dengan bukti diseminarkan di Jurusan/Fakultas*

Bandung, 25 Pebruari 2011

**Ketua Peneliti,**

**Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

Menyetujui,

**Ketua/Sekretaris Jurusan Sipil**

**Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Paulus Karta Wijaya**

**A. Caroline Sutandi, PhD.**

Menyetujui,

**Ketua LPPM,**

**Dr. Budi Husodo Bisowarno**



**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat**  
**Universitas Katolik Parahyangan**  
Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung 40141, telp. +62 22 2030918-20 ext 148, 144  
Fax. +62 22 2034847, email: [lppm@home.unpar.ac.id](mailto:lppm@home.unpar.ac.id)

## **Laporan Kegiatan Penelitian**

### **ABSTRAK**

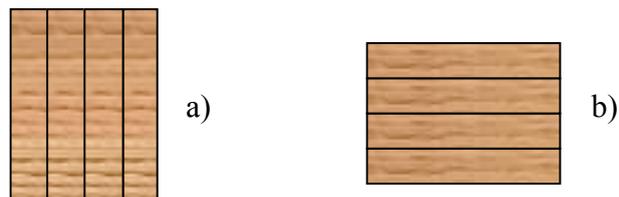
Uji eksperimental terhadap balok papan kayu laminasi-paku horisontal dan vertikal dan kolom papan kayu laminasi-paku dilakukan dalam penelitian ini. Benda uji terdiri dari 12 buah benda uji balok papan kayu laminasi-paku horisontal, 9 buah benda uji balok papan kayu laminasi-paku vertikal dan 9 buah kolom papan kayu laminasi-paku. Kayu yang digunakan adalah kayu *hardwood* yaitu albasia yang merupakan kayu cepat tumbuh. Kuat lentur, kekakuan dan daktilitas pada balok dan kuat tekan dan faktor koreksi kekakuan pada kolom diinvestigasi dalam penelitian ini. Efisiensi penggunaan material dilakukan dengan tinjauan pada penampang persegi, I dan box. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi untuk kebutuhan balok dan kolom berpenampang cukup besar.

# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kayu adalah material yang berasal dari pohon yang dibuat oleh alam dan tidak akan habis selama ditanam dan dipelihara. Material kayu ramah lingkungan dan mudah terurai kembali tidak mencemari lingkungan. Saat ini perlindungan hutan berjalan dengan ketat, hutan tanaman industri mulai dikembangkan dengan tanaman cepat tumbuh. Kelangkaan kayu dengan dimensi yang besar terjadi dan untuk memenuhi kebutuhan tersebut munculah balok kayu rekayasa seperti Glulam, LVL, *box-beam*, *mech-lam* dsb. Kayu cepat tumbuh pada umumnya mempunyai berat jenis yang rendah dan karena korelasinya sangat besar dengan kuat kayu maka mempunyai kekuatan dan modulus elastisitas yang relatif rendah.

Berbagai macam jenis inovasi untuk merekayasa penampang kayu untuk menerima beban yang besar dilakukan oleh para peneliti, termasuk penelitian tentang *Mechanically Laminated Lumber* (Bonhoff, Williams, Cramer and Moody). Penampang kayu yang direkayasa terbentuk dari lapisan lapisan balok kayu yang dihubungkan dengan paku. Sebelumnya kita mengenal *Glue Laminated Timber* ataupun *Laminated Veneer Lumber*, yang dibuat dengan penghubung perekat. Pengencangan dengan alat sambung mekanis seperti paku mempunyai keuntungan dapat dengan mudah dilakukan, baik dengan *nail-gun* ataupun palu biasa secara manual. Jenis balok yang dapat dibuat ada 2 jenis yaitu dengan lapisan vertikal atau horisontal seperti Gambar 1.1.



**Gambar 1.1.** a) Laminasi vertikal dan b) Laminasi horisontal

Jenis-jenis kayu yang digunakan pada para peneliti terdahulu adalah *softwood*, seperti *Douglas Fir-Larch*, *Radiata Pine*, *Hem-Fir* dan *Sothern Pine*, dengan berat jenis sekitar 0,6. Dalam penelitian ini akan digunakan jenis kayu albasia yang tergolong *hardwood* dan cepat tumbuh sehingga mempunyai berat jenis rendah sekitar 0,3. Lapisan-lapisan pada penelitian Bohnhoff, et al., 1992 menggunakan balok berukuran besar.

Permasalahan yang timbul adalah jenis kayu *hardwood* sifatnya berbeda dengan *softwood*, kayu dengan berat jenis rendah perilaku interaksinya dengan alat pengencang paku akan berbeda dibandingkan jika dengan menggunakan kayu berberat jenis tinggi. Lapisan pembentuk balok laminasi pada penelitian ini menggunakan papan-papan kayu *hardwood* (albasia).

## **1.2 Tujuan Khusus**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kelayakan penggunaan kayu cepat tumbuh untuk balok lentur dan kolom struktural yang direkayasa dari papan-papan kayu dengan pengencang paku.

Beberapa hal yang akan diinvestigasi adalah:

- Kuat lentur balok dan kuat tekan papan kayu laminasi-paku
- Daktilitas lentur balok papan kayu laminasi-paku
- Rigiditas dari balok papan kayu laminasi-paku dibandingkan dengan kayu solid
- Pengaruh jarak paku terhadap kuat lentur dan rigiditas
- Efisiensi material dengan bentuk penampang persegi, I dan Box

## **1.3 Urgensi (Keutamaan)**

Keutamaan penelitian ini adalah:

- Aplikasi dari hasil uji eksperimental pada bangunan rumah rakyat sederhana di Indonesia dengan kayu cepat tumbuh.
- Memperoleh bentuk penampang yang efisien dalam penggunaan bahan kayu dan alat penyambung paku
- Faktor koreksi kekakuan untuk disain balok lentur dan tekan serta perhitungan syarat lendutan

## **1.4 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup penelitian adalah:

1. Jenis kayu yang digunakan adalah kayu albasia,
2. Benda uji kuat lentur balok papan kayu laminasi-paku horisontal dengan jumlah 12 buah benda uji,

3. Benda uji kuat lentur balok papan kayu laminasi-paku vertikal dengan jumlah 9 buah benda uji dengan 3 variasi penampang yaitu persegi, I dan box masing-masing 3 buah benda uji,
4. Benda uji kuat tekan kolom papan kayu laminasi-paku dengan jumlah 9 buah benda uji dengan 3 variasi penampang yaitu persegi, I dan box masing-masing 3 buah benda uji.

## BAB II. STUDI PUSTAKA

Kayu rekayasa untuk mendapatkan dimensi balok yang lebih besar terdiri dari berbagai macam jenis. Lapisan-lapisan kayu yang digunakan dapat berasal dari balok kayu berukuran cukup besar, papan kayu atau bahkan lapisan dengan ketebalan 2-3 mm seperti pada LVL (*Laminated Veneer Lumber*). *Glue-laminated* merupakan salah satu contoh dimana penggunaan balok-balok berdimensi cukup besar digunakan untuk mendapatkan balok kayu rekayasa dengan kekuatan besar, sedangkan penggunaan papan-papan kayu lebih banyak untuk konstruksi yang lebih ringan. Bohnhoff, 1990a. mengkategorikan menurut efisiensi penggunaan balok laminasi untuk menerima lentur dari yang terkuat sampai yang terendah adalah seperti Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Urutan Efisiensi Penggunaan Balok Laminasi

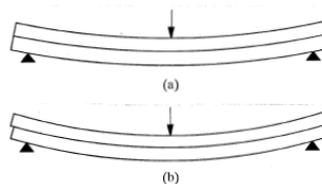
Category	Rank <sup>a</sup>	Laminated Post Type
A	1	Horizontally Glued Laminated Without Joints Horizontally Glued Laminated With Glued Joints <sup>b</sup>
B	2	Vertically Glued Laminated Without Joints
C	3	Vertically Mechanically Laminated Without Joints
D	4	Vertically Glued Laminated With Glued Joints <sup>b</sup>
E	5	Vertically Mechanically Laminated With Glued Joints <sup>b</sup>
F	6	Vertically Mechanically Laminated With Butt Joints <sup>c</sup>
G	7	Horizontally Mechanically Laminated Without Joints Horizontally Mechanically Laminated With Glued Joints <sup>b</sup>
H	8	Horizontally Mechanically Laminated With Butt Joints <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Rank based on how efficiently lumber is used in the assemblies.

<sup>b</sup> Glued joints are assumed to meet the requirements for end joints as published in ANSI/AITC A190.1 "Structural Glued Laminated Timber" (AITC, 1983).

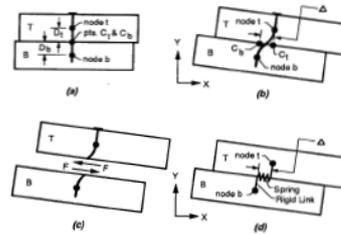
<sup>c</sup> Joints are assumed to be incapable of transferring bending moments.

Pada dasarnya pemasangan lapisan dengan posisi vertical (*edge-wise*) akan menghasilkan kuat lentur yang lebih kuat dari pemasangan dengan posisi horizontal (*flat-wise*). Penggunaan perekat dibandingkan dengan alat pengencang seperti paku pada balok laminasi horisontal akan memberikan perbedaan slip seperti terlihat dalam Gambar 2.1 dan 2.2. Sedangkan pada balok laminsai vertikal sejauh modulus elastisitas dan kuat lenturnya seragam akan memberikan hasil yang tidak jauh berbeda dengan balok solid.



**Gambar 2.1** a) balok laminasi dengan perekat, b) slip pada balok laminasi dengan pengencang paku.

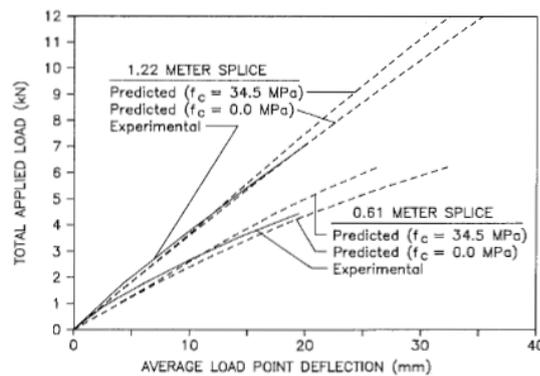
Pada penggunaan perekat slip yang terjadi sangat kecil, sedangkan pada penggunaan paku akan terjadi slip yang cukup besar.



**Gambar 2.2.** Perilaku slip pada alat pengencang paku, Bohnhoff, 1992.

## 2.1 Balok Laminasi Vertikal

Suatu studi untuk memprediksi kurva beban-lendutan dilakukan oleh Bohnhoff, 1990b., dengan variasi tegangan tekan 0, 6,9 dan 34,5 MPa, hasilnya menunjukkan pengaruh tegangan tekan yang lebih besar memperkaku balok, seperti terlihat pada Gambar 2.3.

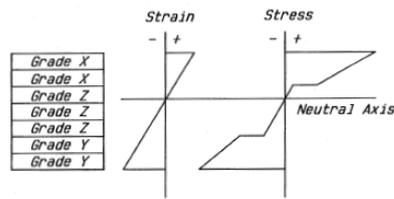


**Gambar 2.3** Kurva harga rata-rata beban-lendutan

Interaksi antara lapisan kayu dan paku baru akan terjadi apabila ada ketidak seragaman modulus elastisitas. Model analisis dengan metode elemen hingga perlu dikembangkan, Bohnhoff, 1992a, 1992b. Pada balok laminasi vertikal pada umumnya kurvatur antara lapisan yang berdekatan dapat tidak sama, sedangkan pada laminasi horizontal sama. Studi analitis dengan metode elemen hingga oleh Bohnhoff, 1990a menggunakan metode elemen hingga non-linier 2 dimensi telah dilakukan untuk mempermudah prediksi kekuatan dan perilaku balok laminasi vertikal.

## 2.2 Balok Laminasi Horizontal

Pada balok laminasi horizontal efisiensi bahan dapat dilakukan karena kuat lentur pada lapisan tengah lebih rendah dapat digunakan grade z yang lebih rendah, seperti terlihat pada Gambar 2.4.

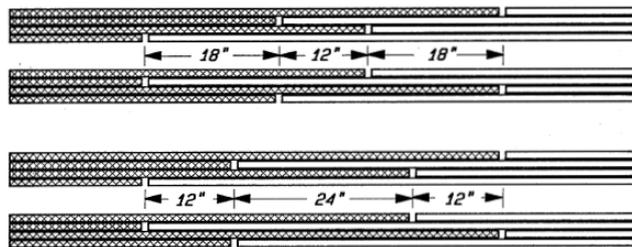


**Gambar 2.4.** Regangan dan tegangan lentur penampang.

Selain kuat lentur, kuat geser kayu dan paku juga harus memenuhi syarat agar tidak terjadi kegagalan geser. Perilaku slip dimodelkan dalam analisis dengan metode elemen hingga, Bohnhoff, 1992a, lihat Gambar 2.3.

### 2.3 Sambungan Balok Laminasi

Beberapa jenis sambungan yang pernah dilakukannya adalah seperti pada Gambar 2.5. Semakin panjang overlap akan meningkatkan besarnya kuat lentur dan juga kekakuan, Williams,1992.



**Gambar 2.5.** Beberapa jenis sambungan pada balok laminasi

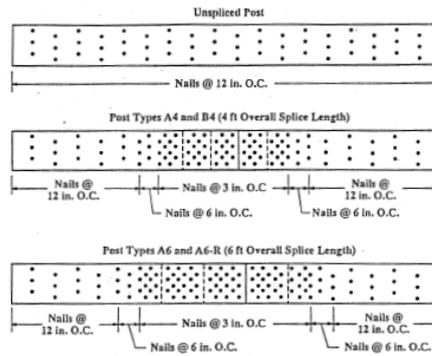
Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan butt joint akan memperbesar kuat lentur dan kekakuan dari elemen.

### 2.4 Pengaturan Pola Pemakuan

Hoyle dan Woeste, 1989 merekomendasikan jarak minimum paku seperti Tabel 2.2 berikut:

**Tabel 2.2.** Jarak paku

End distance.....	20 nail diameters
Edge distance.....	5 nail diameters
Perpendicular-to-grain spacing.....	10 nail diameters
Parallel-to-grain spacing.....	20 nail diameters



**Gambar 2.6.** Contoh pola pemakuan tanpa/ dengan sambungan, Williams, 1992

Diameter paku yang digunakan tidak boleh lebih dari 1/8 tebal lamina, minimum ada 2 buah baris paku. Kerapatan paku disamping panjang overlap dan butt joint akan mempengaruhi kekuatan lentur dan kekakuan elemen. Pola pemakuan tanpa/ dengan sambungan, Williams, 1992 seperti gambar 2.6.

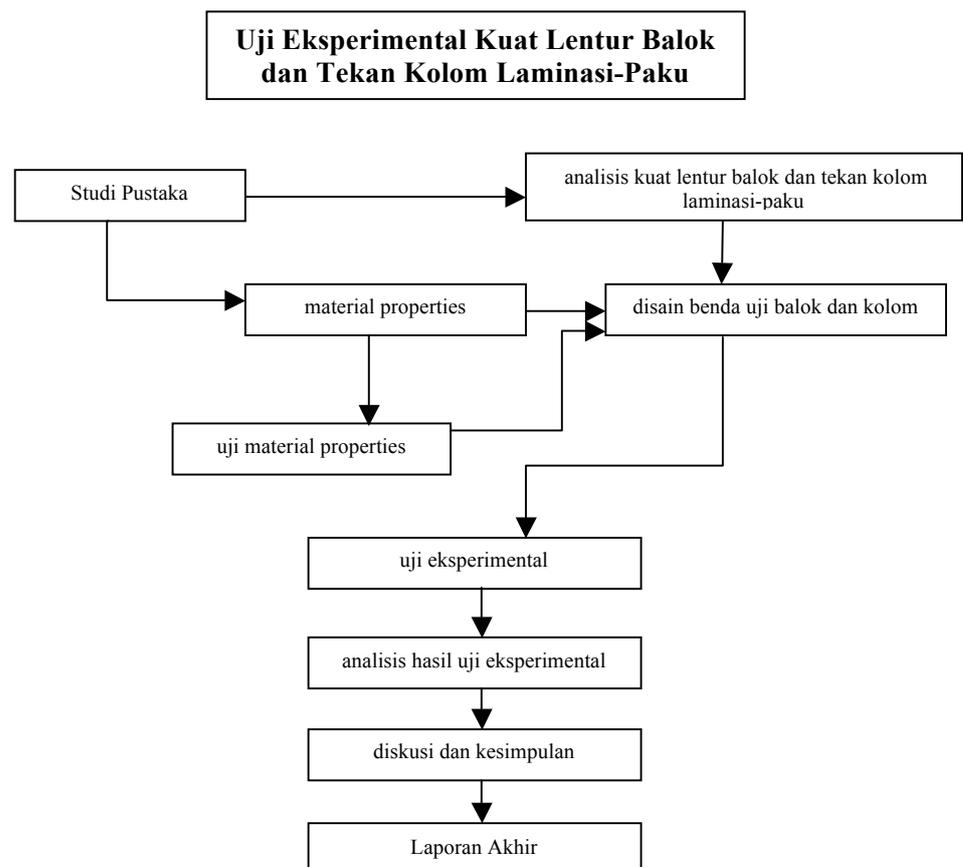
### **2.5 Future research:**

- Penggunaan material *hardwood*
- Pengembangan analisis dengan computer
- Pengujian dengan beban siklik
- Pengembangan pola pemakuan
- Pengembangan dengan pengencang mekanis yang lainnya
- Ketahanan terhadap waktu

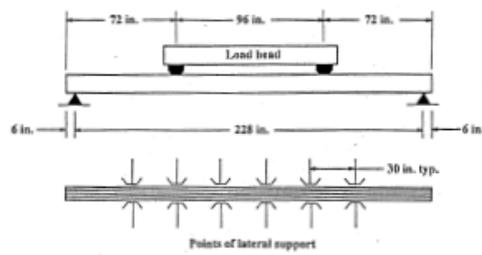
### BAB III. METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan studi pustaka, analisis dan disain untuk uji eksperimental. Uji eksperimental akan dilakukan dengan pengujian benda uji di laboratorium, lihat Gambar 3.1 tentang langkah-langkah penelitian. Pengujian material dilakukan untuk kayu dan juga paku yang digunakan.

Peralatan utama adalah *Universal Testing Machine* (UTM) buatan Hung Ta, Taiwan, dengan kapasitas 50 ton milik Laboratorium Konstruksi, Fakultas Teknik Jurusan Sipil Unpar. Peralatan tambahan adalah LVDT, dan *Smart Dynamic Strain Recorder* DC-104R. Benda uji sifat mekanik dan balok laminasi dibuat dan diuji sesuai dengan Standar ASTM D-198. Skema pengujian di laboratorium adalah seperti Gambar 3.2, dimana digunakan *Two point loading* dan penahan lateral agar tidak terjadi *lateral torsional buckling*. Kecepatan pemberian beban antara (3 – 10) mm/menit, agar keruntuhan terjadi pada rentang 5 s/d 10 menit.



Gambar 3.1 Skema langkah-langkah penelitian



**Gambar 3.2** Skema pengujian lentur

### 3.1 Prosedur Pengujian

#### 3.1.1 Prosedur Pengujian Material

Pengujian material meliputi pengujian kadar air, berat jenis kayu dan kuat geser paku.

##### Kadar Air

Prosedur pengujian kadar air adalah sebagai berikut: kayu dipotong dengan dimensi 100 mm x 100 mm kemudian ditimbang beratnya sebagai berat awal (massa basah) dan dioven selama 24 jam dengan temperatur  $102 \pm 3$  °C. Setelah dioven selama 24 jam, kayu dikeluarkan dari oven dan ditimbang kembali untuk mendapatkan massa kering. Untuk perhitungan kadar air digunakan persamaan:

$$MC = \frac{(\text{massa basah} - \text{massa kering})}{\text{massa kering}} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan  $MC = \text{Moisture Content}$  (kadar air) (%)



**Gambar 3.3** Benda uji papan kayu untuk pengujian kadar air dan berat jenis

##### Berat Jenis

Perhitungan berat jenis perlu dilakukan karena setiap kayu memiliki berat jenis yang berbeda. Untuk perhitungan berat jenis digunakan persamaan:

$$SG = \frac{\text{massa kering}}{\rho_{\text{air}} \times \text{volume}} \quad (3.2)$$

dengan: SG = *Specific Gravity* (berat jenis)

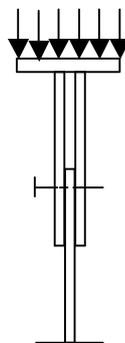
$$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

### **Kuat Geser Paku**

Setelah paku dan alat bantu siap, paku dimasukan pada lubang alat bantu, gambar 3.4. Dengan alat bantu tersebut maka terdapat 2 bidang geser. Kemudian dilakukan setting agar alat bantu terletak ditengah alat uji sehingga beban benar-benar terletak ditengah. Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui gaya geser maksimum yang dapat diterima oleh 1 paku dan dilakukan sebanyak 3 kali percobaan. *Fixed velocity* yang digunakan pada uji ini yaitu 0,5 mm/menit.



**Gambar 3.4** Alat bantu uji kuat geser paku



**Gambar 3.5** Skema uji kuat geser paku

### **3.1.2 Prosedur Pengujian kuat lentur balok laminasi-paku**

Langkah-langkah pengujian dimulai dengan *setting* benda uji diletakkan di atas dua perletakan, gambar 3.6. Kemudian dilakukan pengaturan posisi beban (*two point loading*) menyentuh benda uji. Beban dikerjakan dengan kecepatan peralihan konstan 3 mm/menit.



**Gambar 3.6** Pengujian kuat lentur benda uji dengan *Universal Testing Machine*

Komputer akan mencatat besarnya beban dan besarnya peralihan yang terekam oleh LVDT yang kemudian dapat dibuat dalam bentuk grafik beban dengan lendutan. LVDT di pasang ditengah bentang untuk mencatat lendutan maksimum. Pengujian akan berhenti secara otomatis setelah benda uji runtuh atau tidak bisa lagi menahan beban yang diberikan atau mengalami batas deformasi dari alat uji (20 cm)

### **3.1.3 Prosedur Pengujian kuat tekan kolom laminasi-paku**

Benda uji kuat tekan terdiri dari 3 macam variasi penampang yaitu persegi, I dan box masing-masing 3 buah benda uji. *Setting* pengujian tekan seperti terlihat pada gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Uji Kuat Tekan Kolom

## BAB IV. HASIL UJI EKSPERIMENTAL

Hasil pengujian meliputi hasil uji kadar air dan berat jenis material/bahan dari kayu albasia dan kuat geser paku dan uji skala penuh untuk balok dan kolom.

### 4.1 Hasil Uji Material Kayu dan Paku

#### 4.1.1 Kadar Air dan Berat Jenis

Dari hasil uji diperoleh harga kadar air dan berat jenis seperti Tabel 4.1 berikut,

**Tabel 4.1** Kadar air dan berat jenis kayu albasia

No	p (cm)	l (cm)	t (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Kadar air (%)	SG
1	10,22	10,24	1,88	196,75	81,4	70,6	15,30	0,36
2	10,34	9,56	1,66	164,09	76,8	66,8	14,97	0,41
3	10,00	9,68	2,16	209,08	60,1	52,2	15,13	0,25
4	10,02	9,90	2,11	209,31	62,9	54,7	14,99	0,26
5	9,52	10,27	1,97	192,71	57,1	48,0	18,96	0,25
6	10,10	10,17	2,03	208,52	67,3	56,1	19,96	0,27
7	10,12	10,11	2,15	219,97	74,1	64,4	15,06	0,29
8	10,14	9,94	2,22	223,76	63,5	53,4	18,91	0,24
9	10,24	10,02	1,94	199,05	83,8	70,4	19,03	0,35
10	10,34	9,62	2,02	200,93	74,5	61,7	20,75	0,31
11	10,12	9,72	2,02	198,70	64,1	55,6	15,29	0,28
12	9,97	10,17	2,04	206,85	65,1	56,9	14,41	0,28
13	10,05	9,72	2,06	201,23	67,4	58,3	15,61	0,29
14	10,00	10,13	2,06	208,68	70,0	60,6	15,51	0,29
15	9,71	10,4	2,02	203,99	75,1	64,2	16,98	0,31
16	10,33	9,84	1,97	200,25	92,4	79,2	16,67	0,39
17	10,55	10,02	2,00	211,42	67,8	57,8	17,30	0,27
18	10,18	9,84	1,94	194,33	67,5	57,8	16,78	0,30
19	10,31	9,72	1,94	194,41	79,1	68,6	15,31	0,35
20	10,09	10,00	1,96	197,76	78,3	67,9	15,32	0,34
21	10,24	9,97	1,98	202,14	67,1	57,8	16,09	0,29
22	9,87	10,24	2,12	214,27	86,5	70,7	22,35	0,33
23	10,25	9,72	1,97	196,27	79,4	67,6	17,46	0,34
24	9,97	10,33	1,97	202,89	78,2	67,1	16,54	0,33
25	10,03	10,38	2,26	235,29	111,8	91,1	22,72	0,39
26	9,75	10,10	2,13	209,75	66,4	55,7	19,19	0,27
27	10,19	9,92	2,14	216,32	91,4	76,0	20,26	0,35
28	10,04	10,05	2,16	217,95	95,5	79,6	19,96	0,37
29	9,81	10,16	2,14	213,30	109,6	92,7	18,22	0,43
30	10,18	10,45	1,78	189,36	42,9	37,6	14,07	0,20
31	10,27	9,98	2,16	221,39	88,2	75,3	17,13	0,34
32	10,44	9,98	2,16	225,05	93,8	79,6	17,84	0,35
33	10,15	9,96	2,16	218,36	96,1	82,3	16,77	0,37
34	9,94	10,02	2,11	210,15	73,8	63,8	15,67	0,30
35	10,09	10,05	2,14	217,01	86,7	75,7	14,53	0,35
36	10,15	9,83	2,10	209,53	71,3	62,1	14,82	0,30
						Rata-rata	17,11	0,32

#### 4.1.2 Modulus Elastisitas

Uji non-destruktif dilakukan untuk mengetahui modulus elastisitas tiap-tiap papan kayu yang akan dilaminasi menjadi benda uji. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberi beban statis terpusat di tengah bentang (*center point loading*) dengan balok diatas dua tumpuan. Dari uji ini balok akan mengalami peralihan (lendutan) dan akan dibaca oleh LVDT dan dicatat dalam komputer. Dari hasil pengujian dapat diketahui nilai modulus elastisitas dari benda uji tersebut dengan persamaan 4.3. Untuk beban yang berada ditengah bentang, maka akan didapat besarnya lendutan ditengah bentang adalah:

$$\delta_p = \frac{P_p \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (4.1)$$

dengan  $P_p$  = beban saat benda uji dalam batas elastis (kg)

$L$  = panjang bentang (cm)

$\delta_p$  = lendutan saat benda uji dalam batas elastis (mm)

$E$  = Modulus elastisitas statis (kg/cm<sup>2</sup>)

$I$  = Momen inersia material (cm<sup>4</sup>)

Untuk benda uji dengan penampang persegi panjang, maka momen inersianya:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad (4.2)$$

dengan  $b$  = lebar material (mm)

$h$  = tinggi material (mm)

$I$  = momen inersia (mm<sup>4</sup>)

Jadi persamaan modulus elastisitas statis hasil substitusi persamaan (4.1) dengan persamaan (4.2) adalah:

$$E = \frac{P_p \cdot L^3}{4 \cdot \delta_p \cdot b \cdot h^3} \quad (4.3)$$

Hasil pengujian tersebut di atas di tabelkan sebagai Tabel 4.2 berikut:

**Tabel 4.2** Modulus elastisitas kayu albasia

NO	Beban (P <sub>p</sub> ) (kg)	Lendutan (δ) (cm)	Modulus Elastisitas (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	E rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,505	0,1814	66813	69020
	1,005	0,3513	68659	
	2,945	0,9876	71567	
2	0,505	0,2105	57577	60828
	1,005	0,3926	61436	

	2,945	1,1140	63447	
3	0,505	0,2121	57142	56424
	1,005	0,4331	55691	
	2,945	1,2523	56440	
4	0,505	0,1992	60843	62121
	1,005	0,3860	62487	
	2,945	1,1213	63034	
5	0,505	0,1785	67899	69112
	1,005	0,3431	70300	
	2,945	1,0227	69111	
6	0,505	0,1785	67899	69112
	1,005	0,3431	70300	
	2,945	1,0227	69111	
7	0,505	0,1785	67899	69103
	1,005	0,3431	70300	
	2,945	1,0227	69111	
8	0,505	0,1785	67899	69113
	1,005	0,3431	70300	
	2,945	1,0227	69111	
9	0,505	0,1785	67899	69113
	1,005	0,3431	70300	
	2,945	1,0227	69111	
10	0,505	0,1785	67899	69113
	1,005	0,3431	70300	
	2,945	1,0227	69111	
12	0,505	0,1785	67899	69103
	1,005	0,3431	70300	
	2,945	1,0227	69111	
13	0,505	0,1813	66850	67663
	1,005	0,3531	68309	
	2,945	1,042	67831	
14	0,505	0,2780	43597	44151
	1,005	0,5471	44087	
	2,945	1,5803	44725	
15	0,505	0,2326	52106	53257
	1,005	0,4682	51516	
	2,945	1,2597	56108	
17	0,505	0,2785	43518	45651
	1,005	0,5410	44584	
	2,945	1,4482	48805	
18	0,505	0,1760	68863	65571
	1,005	0,3682	65507	
	2,945	1,1345	62300	
20	0,505	0,2410	50290	51735
	1,005	0,4716	51145	
	2,945	1,3156	53724	
21	0,505	0,1945	62313	62230
	1,005	0,4075	59190	
	2,945	1,0850	65142	
22	0,505	0,1810	66961	68805
	1,005	0,3484	69230	
	2,945	1,0065	70223	
24	0,505	0,1678	72228	67473
	1,005	0,3635	66354	
	2,945	1,108	63790	
25	0,505	0,2215	54717	55409
	1,005	0,4521	53351	
	2,945	1,2163	58110	

26	0,505	0,187	64812	62224
	1,005	0,394	61218	
	2,945	1,1665	60591	
27	0,505	0,1758	68941	69633
	1,005	0,3441	70095	
	2,945	1,0124	69814	
28	0,505	0,186	65161	66367
	1,005	0,3522	68483	
	2,945	1,0806	65408	
29	0,505	0,2124	57062	56683
	1,005	0,4263	56579	
	2,945	1,2542	56354	
30	0,505	0,1732	69976	66790
	1,005	0,3577	67430	
	2,945	1,1235	62910	
31	0,505	0,1847	65619	66966
	1,005	0,3632	66409	
	2,945	1,0263	68868	
			Rata -Rata Modulus, E (kg/cm <sup>2</sup> )	63066

Dari analisa modulus elastisitas diatas diperoleh:  $E_{rata-rata} = 63066 \text{ kg/cm}^2$ .

Untuk mendapatkan modulus geser (G) dari kayu Albasia digunakan rumus pendekatan yang diambil dari SNI-xxxx-2000 dengan persamaan :

$$G = \frac{1}{16} \cdot E \quad (4.4)$$

Untuk  $E_{rata-rata} = 63066 \text{ kg/cm}^2$  didapat  $G = 3941.630325 \text{ kg/cm}^2$

#### 4.1.3 Kuat Geser Paku

Dari pengujian geser paku akan diperoleh beban maksimum setelah keruntuhan geser, dan untuk mencari gaya geser maksimum dari paku karena ada 2 bidang penampang geser maka :

$$N_{l.ult} = \frac{P_{ult}}{2} \quad (4.5)$$

dengan  $N_{l.ult}$  = gaya geser maksimum satu bidang penampang paku (kg)

$P_{ult}$  = beban maksimum (kg)

Hasil uji kuat geser paku seperti Tabel 4.3 berikut,

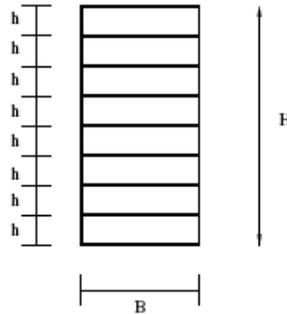
**Tabel 4.3** Kuat geser per bidang penampang paku ( $N_{l.ult}$ )

No.	$P_{ult}$ (kg)	$N_{l.ult}$ (kg)	$N_{l.ult}$ rata-rata (kg)
1	85,00	42,5	48,33
2	90,00	45,00	
3	115,00	57,5	

## 4.2 Balok Papan Kayu Laminasi-paku Horizontal

### 4.2.1 Benda Uji Balok Papan Kayu Laminasi-paku Horizontal

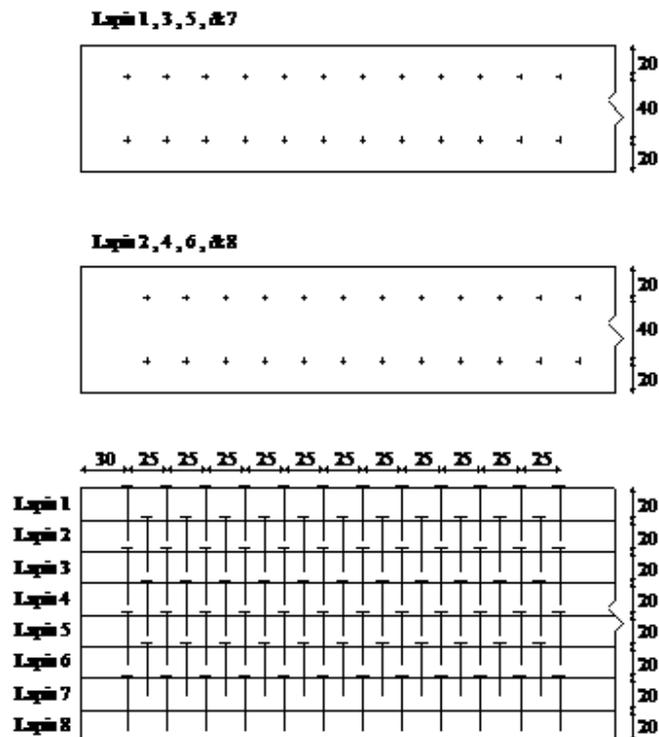
Benda uji balok papan kayu laminasi-paku horizontal ini terbuat dari 8 buah papan dengan lebar 10 cm dan tebal 2 cm, sehingga menghasilkan balok berukuran B x H = 10 cm x 16 cm seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Penampang balok papan kayu laminasi-paku horizontal

### 4.2.2 Pola Pemakuan Jarak Paku 25 mm, 50 mm, 75 mm dan 100 mm.

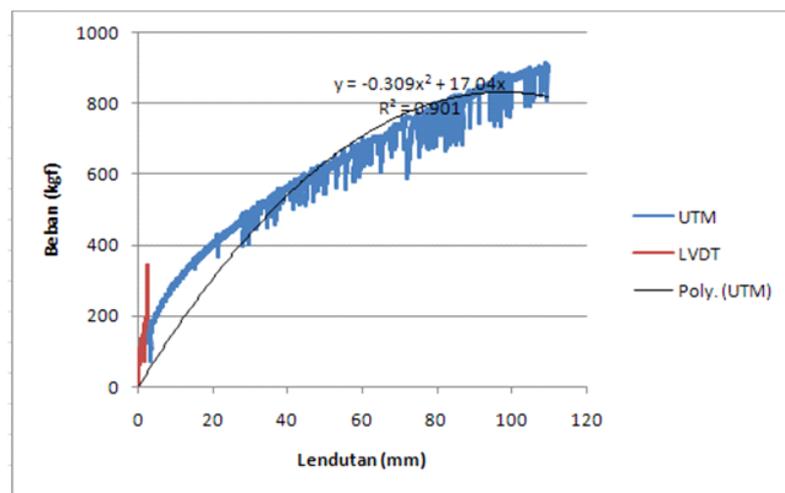
Pola pemakuan meliputi 4 buah jarak paku masing-masing 25 mm, 50 mm, 75 mm dan 100 mm dengan 2 baris paku, seperti terlihat pada contoh Gambar 4.2 untuk jarak paku 25 mm.



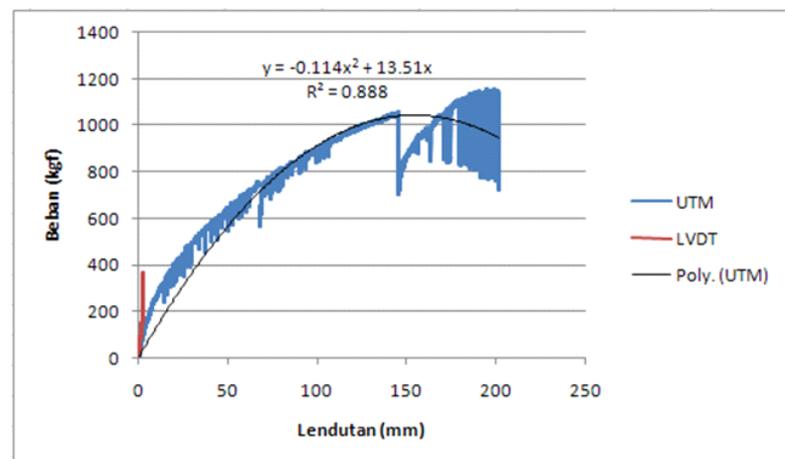
Gambar 4.2 Contoh pola pemakuan dengan jarak paku 25 mm

### 4.2.3 Grafik Hasil Uji Kuat Lentur Balok papan kayu laminasi-paku horisontal

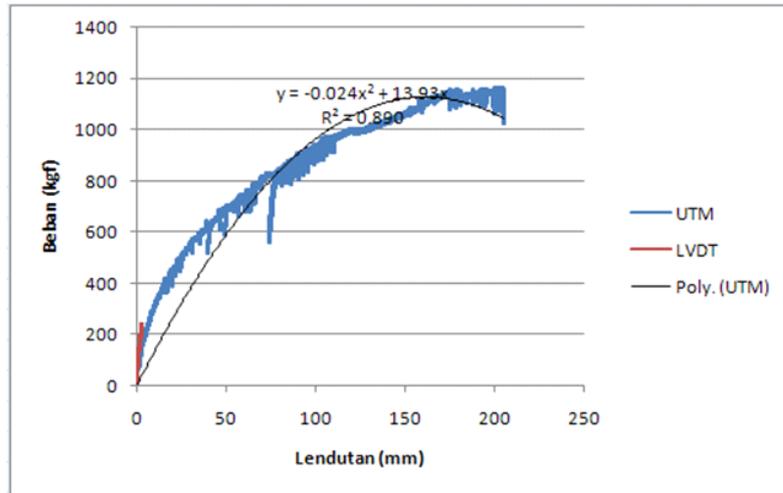
Data hasil pengujian berupa grafik lendutan dan beban. Dari grafik pengujian digunakan regresi untuk koreksi terhadap grafik mendapatkan batas beban proporsional ( $P_p$ ) dan lendutan proporsional ( $\delta_p$ ), beban maksimum ( $P_{max}$ ) dan lendutan maksimuma ( $\delta_{max}$ ). Gambar 4.3 s/d 4.14 berikut ini adalah grafik hubungan beban dan lendutan untuk tiga macam benda uji A, B, C dan D dengan masing-masing jarak paku 25 mm, 50 mm, 75 mm dan 100 mm, untuk masing-masing variasi benda uji sebanyak tiga buah benda uji.



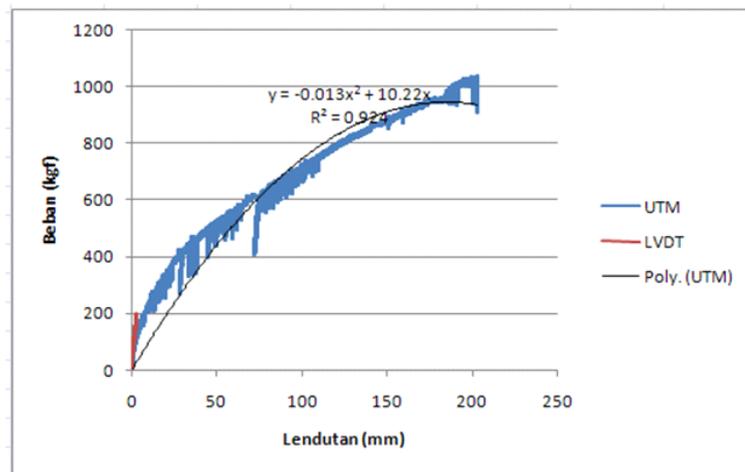
Gambar 4.3 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji A-1



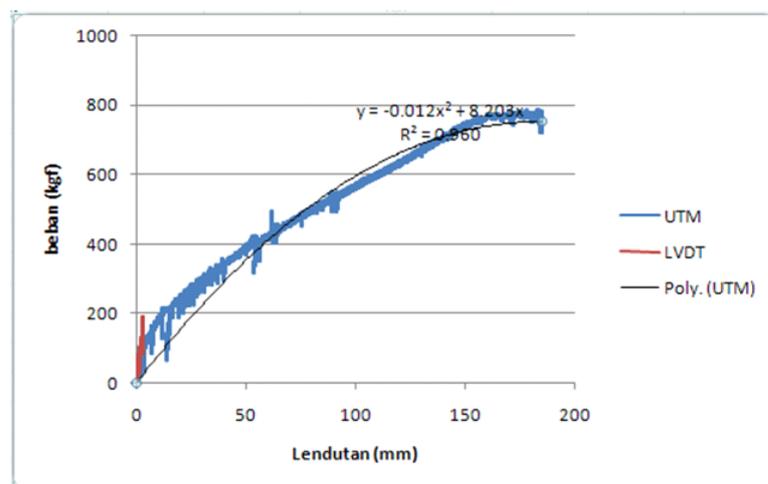
Gambar 4.4 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji A-2



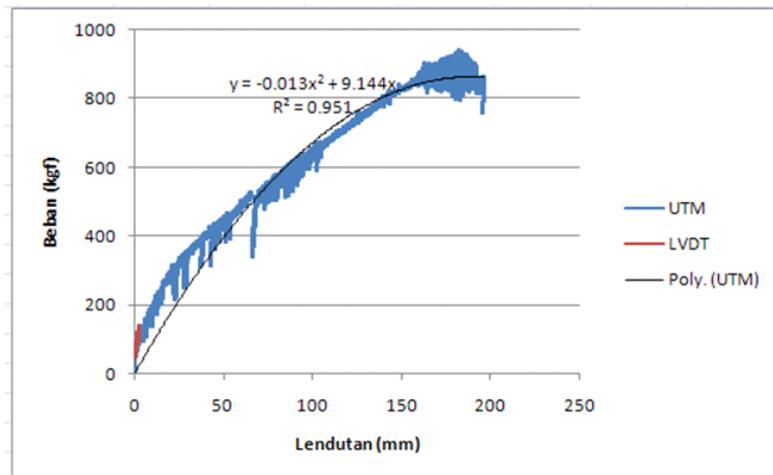
Gambar 4.5 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji A-3



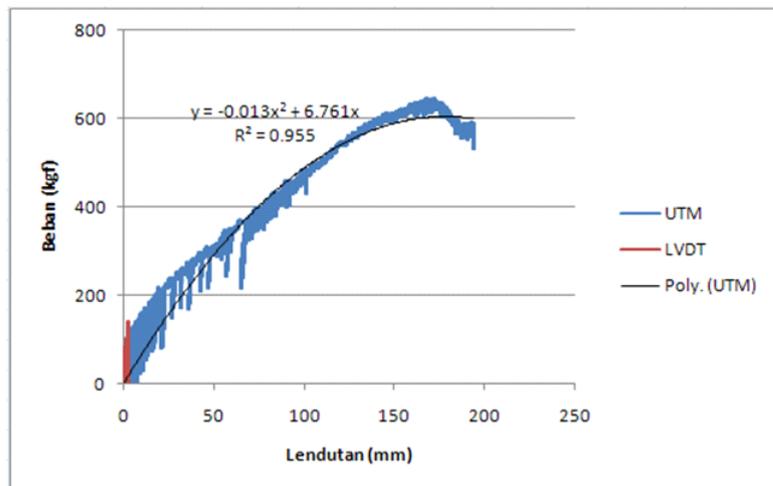
Gambar 4.6 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji B-1



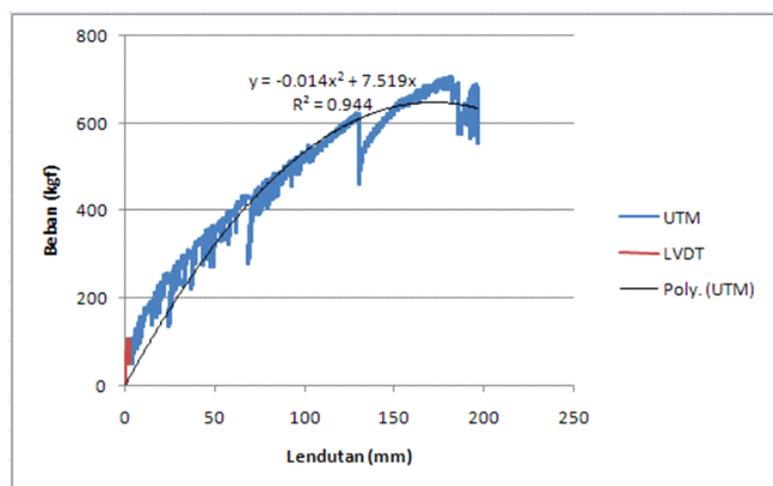
Gambar 4.7 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji B-2



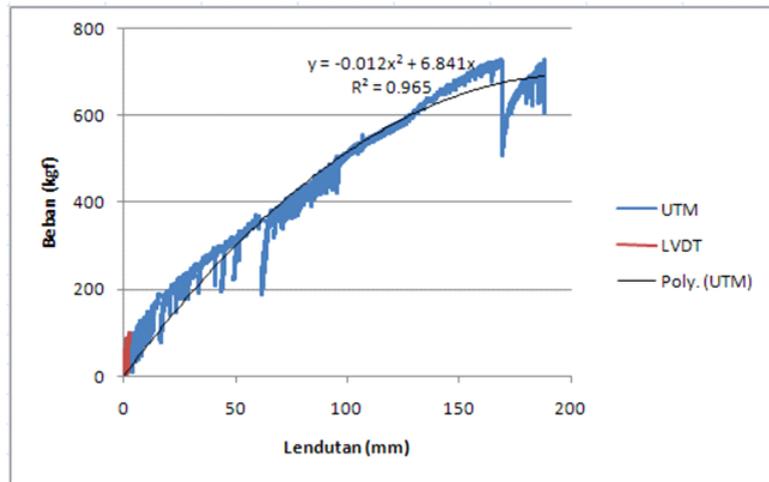
Gambar 4.8 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji B-3



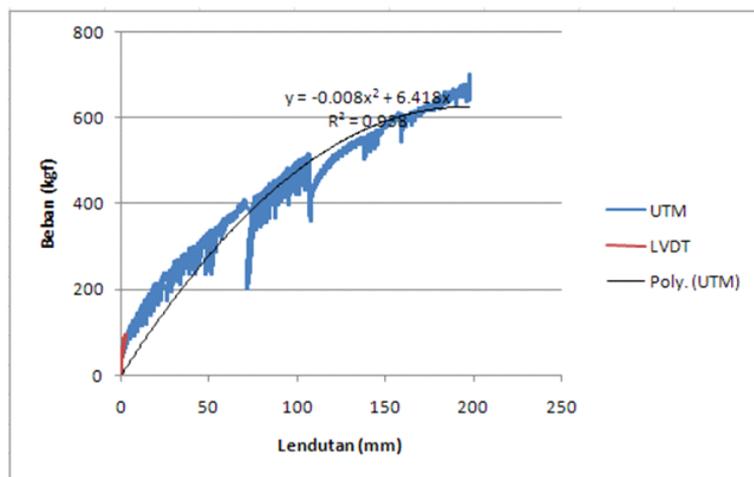
Gambar 4.9 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji C-1



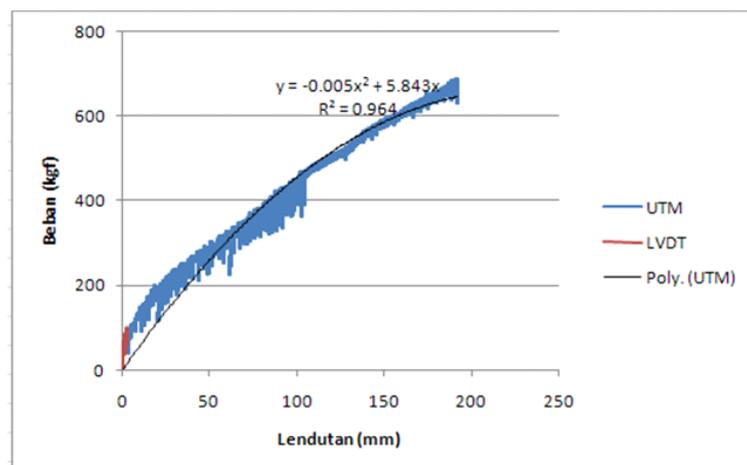
Gambar 4.10 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji C-2



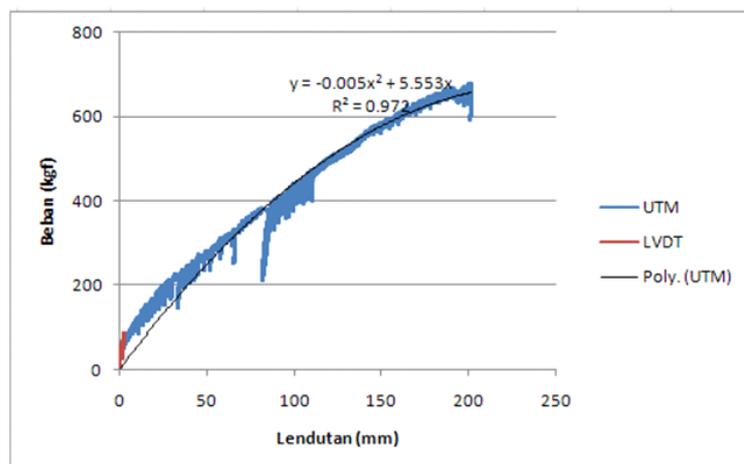
Gambar 4.11 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji C-3



Gambar 4.12 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji D-1



Gambar 4.13 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji D-2



Gambar 4.14 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji D-3

### 4.3 Balok papan kayu laminasi-paku vertikal

#### 4.3.1 Benda uji balok papan kayu laminasi-paku vertikal

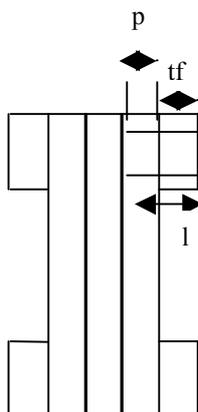
Benda uji terdiri dari 3 buah variasi penampang persegi empat, I dan Box dengan luas penampang yang sama besar. Jarak paku untuk ke tiga variasi sama besar yaitu 20 mm.

#### 4.3.2 Disain balok papan kayu laminasi-paku vertikal

Benda uji didisain kuat lenturnya dengan tegangan ijin dengan memenuhi syarat jarak paku ( diambil minimum 20 mm), lendutan serta kuat geser seperti di bawah ini.

#### Syarat ukuran paku

Pada saat pemilihan ukuran paku yang akan digunakan harus memperhatikan syarat berikut :



Gambar 4.15 Persyaratan Paku

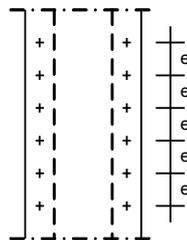
$$d \leq \frac{1}{7} \cdot t_f \quad (4.6)$$

$$p \geq 6 \cdot d \quad (4.7)$$

- dengan : l = panjang paku (cm)  
d = diameter paku (cm)  
t<sub>f</sub> = tebal sayap (cm)  
p = panjang penetrasi paku (cm)

### Jarak Pemasangan Paku

Jarak pemasangan paku harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :



Gambar 4.16 Posisi Pemasangan Paku

$$\begin{aligned} e_{\min} < e < e_{\max} \\ 10 \cdot d < e < 40 \cdot d \end{aligned} \quad (4.8)$$

- dengan : e = jarak antar paku (cm)  
e<sub>min</sub> = jarak antar paku minimal (cm)  
e<sub>maks</sub> = jarak antar paku maksimal (cm)

### Harga k dan γ dari penampang

Harga k dan γ ini merupakan parameter yang dibutuhkan untuk menghitung momen inersia penampang, dan dalam Beton-Kalender 1980 (teil II) untuk mendapatkan harga tersebut dapat mempergunakan persamaan berikut :

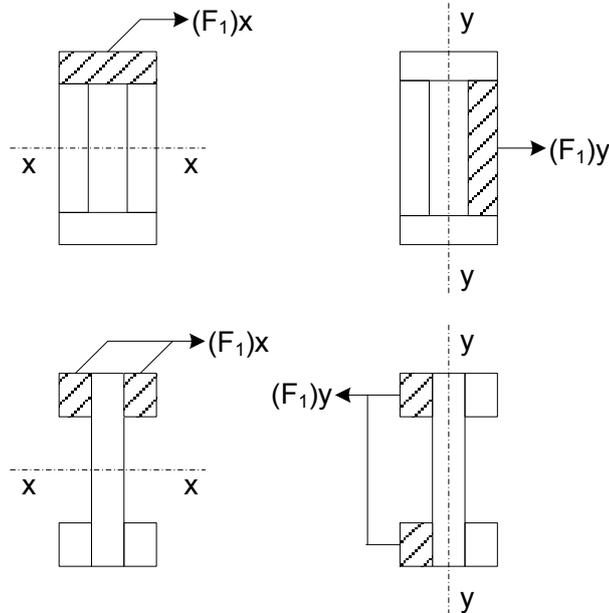
$$k = \frac{\pi^2 \cdot E_{//} \cdot F_1 \cdot e'}{L^2 \cdot C} \quad (4.9)$$

$$\gamma = \frac{1}{1+k} \quad (4.10)$$

$$e' = \frac{e}{n} \quad (4.11)$$

- dengan : E<sub>//</sub> = modulus elastisitas sejajar serat (kg/cm<sup>2</sup>)

- $F_1$  = luas dari salah satu penampang ( $\text{cm}^2$ )
- $e'$  = jarak rata-rata antar paku jika di geser menjadi satu baris (cm)
- $C$  = modulus pergeseran dari sambungan (kg/cm)
- $L$  = panjang bentang (cm)
- $n$  = banyaknya baris pemasangan paku



Gambar 4.17 Pengertian  $F_1$  Dikaitkan Pada Penampang

Tabel 4.4 Modulus Pergeseran (C) (Beton-Kalender 1980 teil II)

Pemasangan Paku	Modulus Pergeseran (kg/cm)	
	Kedudukan Paku Tegak Lurus Sumbu (x-x)	Kedudukan Paku Sejajar Sumbu (x-x)
Satu Irisan	600	900
Dua Irisan	1400	1800

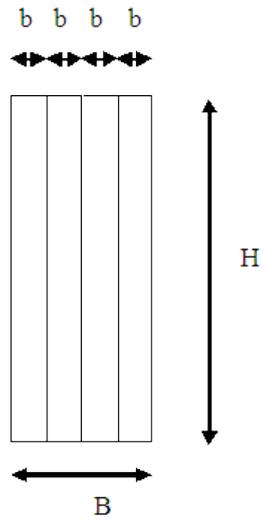
### **Momen Inersia Penampang**

Untuk profil susun, momen inersia penampang dapat mempergunakan persamaan berikut :

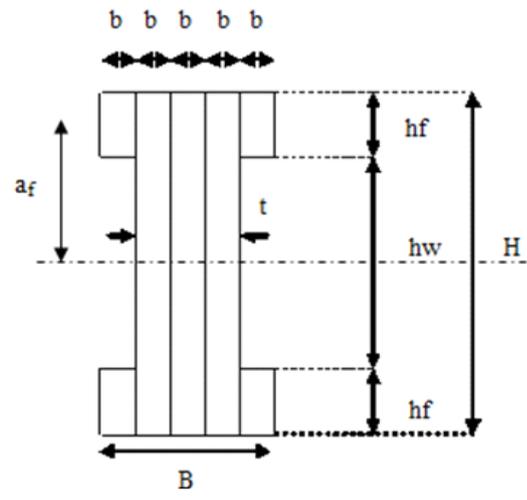
$$I_w = \sum I_i + \gamma \cdot \sum F_i \cdot a_i^2 \quad (4.12)$$

- dengan :  $I_w$  = momen inersia penampang ( $\text{cm}^4$ )
- $I_i$  = momen inersia masing-masing sayap dan badan ( $\text{cm}^4$ )
- $F_i$  = luas dari masing-masing sayap dan badan ( $\text{cm}^2$ )
- $a_i$  = jarak titik berat sayap dan badan ke sumbu yang ditinjau (cm)

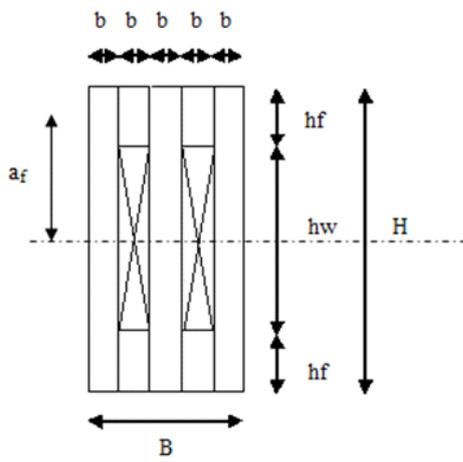
Jadi untuk penampang dalam studi ini adalah :



Gambar 4.18 Penampang Persegi (P)



Gambar 4.19 Penampang I (I)



Gambar 4.20 Penampang BOX (B)

Untuk penampang Persegi (P) :

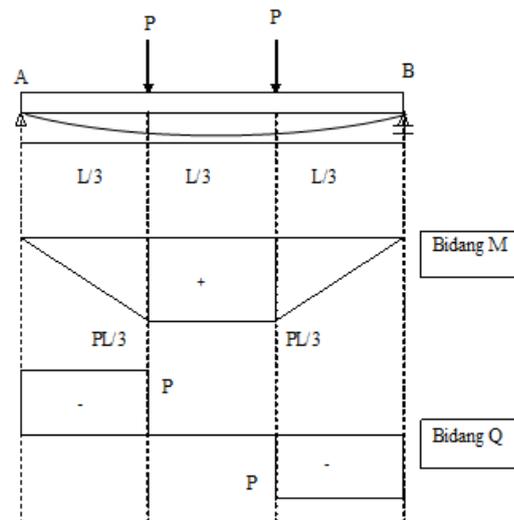
$$I_w = \frac{1}{12} \cdot B \cdot H^3 \quad (4.13)$$

Untuk penampang I dan BOX:

$$I_w = \left[ 3 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot b \cdot H^3 \right) + 4 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot b \cdot h_f^3 \right) \right] + \gamma \cdot \left[ 4(b \cdot h_f \cdot a_f^2) \right] \quad (4.14)$$

- dengan :
- B = lebar penampang (cm)
  - b = lebar satu penampang (cm)
  - t<sub>f</sub> = tebal sayap (cm)
  - t<sub>w</sub> = tebal badan (cm)
  - H = tinggi penampang (cm)
  - a<sub>f</sub> = jarak titik berat sayap (cm)
  - a<sub>w</sub> = jarak titik berat badan (cm)
  - γ = faktor koreksi kekakuan

### Kontrol Lendutan



Gambar 4.21 Lendutan Akibat Beban (P) Beserta Bidang Momen (M) Dan Bidang Gaya Lintang (Q)

Lendutan total = lendutan akibat lentur + lendutan akibat geser

$$\delta_{total} = \frac{23.P.L^3}{648.E.I_w} + 2 \int_0^x \frac{P}{2.G_{web} \frac{5}{6} t.h} dx \quad (4.15)$$

Pada kasus ini, lendutan akibat geser diabaikan.

Untuk lendutan ijin :

$$\delta_{ijin} = \frac{1}{300} \times L \quad (4.16)$$

dengan :  $\delta_{ijin}$  = lendutan ijin, sesuai PKKI NI-5, untuk balok yang dipergunakan pada konstruksi terlindung (cm)

P = beban yang bekerja (kg)

H = tinggi balok (cm)

L = panjang bentang (cm)

E = modulus elastisitas (kg/cm<sup>2</sup>)

Untuk Mencari Modulus Elastisitas dari hasil pengujian:

$$E = \frac{23.P.L^3}{648.\delta_{it}.I_w} \quad (4.17)$$

### Tegangan Akibat Momen Lentur (Baird dan Ozelton, 1984)

Tegangan lentur maksimum terjadi pada serat tepi atas dan tepi bawah.

Rumus dasar :

$$\sigma = \frac{M}{I_w} \cdot y \quad (4.18)$$

dengan:  $\sigma$  = tegangan lentur (kg/cm<sup>2</sup>)

M = momen lentur (kg.cm)

$I_w$  = momen inersia koreksi (cm<sup>4</sup>)

y = jarak dari garis netral ke serat yang ditinjau (cm)

**Tabel 4.5** Tegangan-Tegangan Ijin (NI-5 PKKI 1961)

Kelas Kuat Kayu	$\bar{\sigma}_{lt}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{tr//}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{tk//}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{tk\perp}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\tau}_{//}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
I	150	130	130	40	20
II	100	85	85	25	12
III	75	60	60	15	8
IV	50	45	45	10	50

### Tegangan Geser (Baird dan Ozelton, 1984)

Tegangan geser maksimum terjadi di garis netral.

Rumus dasar :

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{b \cdot I_w} \quad (4.19)$$

Untuk penampang persegi panjang:

$$\begin{aligned} S &= S_{flens} + S_{web} \\ S &= \frac{B \cdot H^2}{8} \end{aligned} \quad (4.20)$$

Untuk penampang I dan Box

$$S = 2 \cdot (b \cdot hf) \cdot \gamma \cdot a_f + \frac{t_{web} \cdot H^2}{8} \quad (4.21)$$

- dengan :
- $\tau$  = tegangan geser (kg/cm<sup>2</sup>)
  - $S$  = statis momen (cm<sup>3</sup>)
  - $Q$  = gaya lintang yang dihasilkan beban terpusat (kg)
  - $\bar{\tau}_{ij}$  = tegangan geser ijin (kg/cm<sup>2</sup>)
  - $b$  = lebar serat yang ditinjau (cm)
  - $t_f$  = tebal sayap (cm)
  - $t_w$  = tebal badan (cm)
  - $a_f$  = jarak titik berat sayap (cm)
  - $B$  = lebar penampang (cm)
  - $H$  = tinggi penampang (cm)

Selain tegangan akibat gaya geser, daya pikul paku harus dikontrol agar tidak terjadi kegagalan geser pada paku. Untuk menghitung kuat ijin geser satu paku ( $N_1$ ) dapat menggunakan persamaan 2.1, dan untuk menghitung gaya yang bekerja pada paku dapat menggunakan persamaan berikut :

$$L = t \cdot e \quad (4.22)$$

$$t = \frac{Q_{maks} \cdot S_{flens}}{I_w} \quad (4.23)$$

dengan :  $L$  = gaya geser yang dipikul oleh paku (kg)

$t$  = gaya geser per satuan panjang (kg/cm)

$e$  = jarak antar paku (cm)

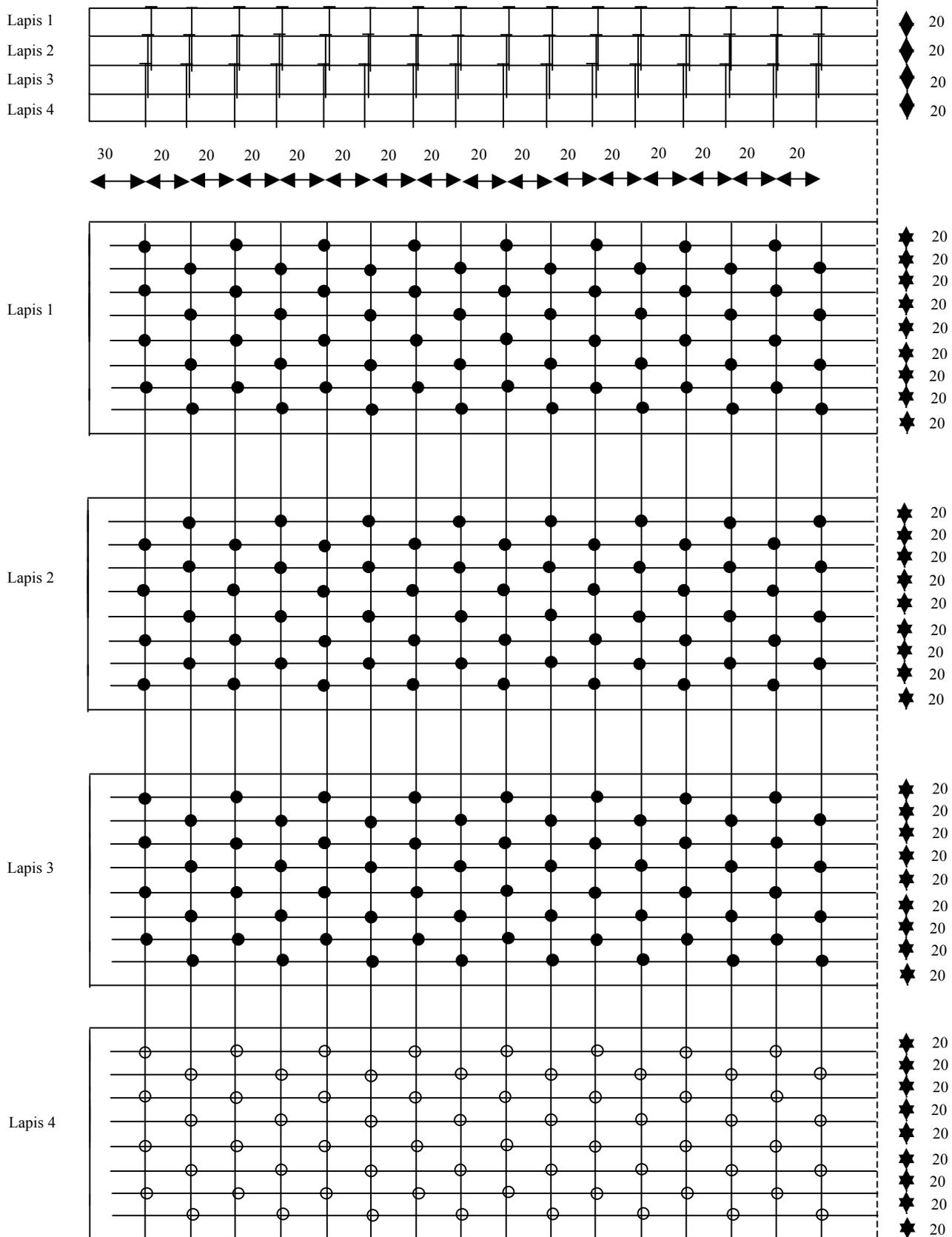
$Q_{maks}$  = gaya lintang maksimum (kg)

$S_{flens}$  = statis momen sayap (cm<sup>3</sup>)

$I_w$  = momen inersia penampang (cm<sup>4</sup>)

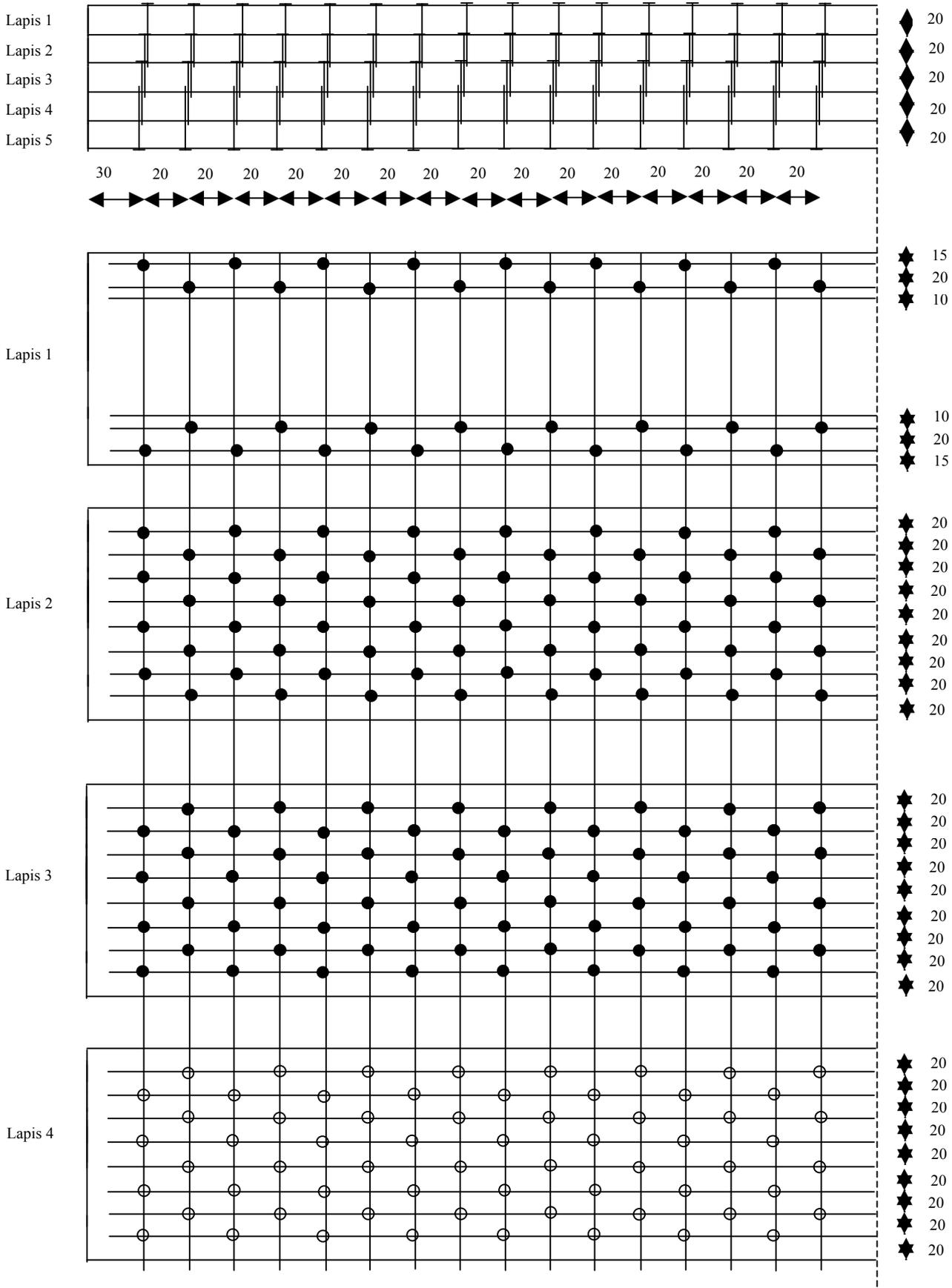
## Pola Pemakuan

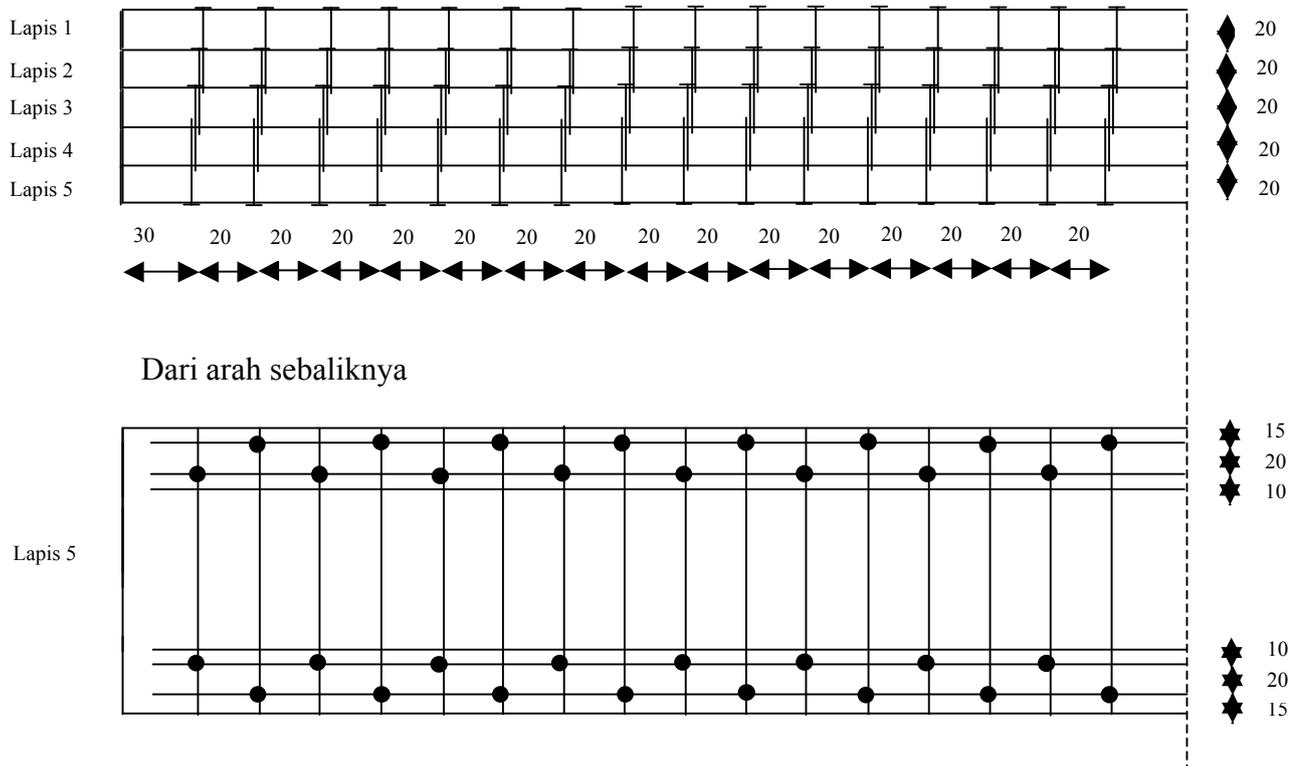
### 3.4.1 Pola Pemakuan Balok Profil Persegi Panjang (P)



Gambar 4.22 Pola Pemakuan Balok Profil Persegi Panjang (P)

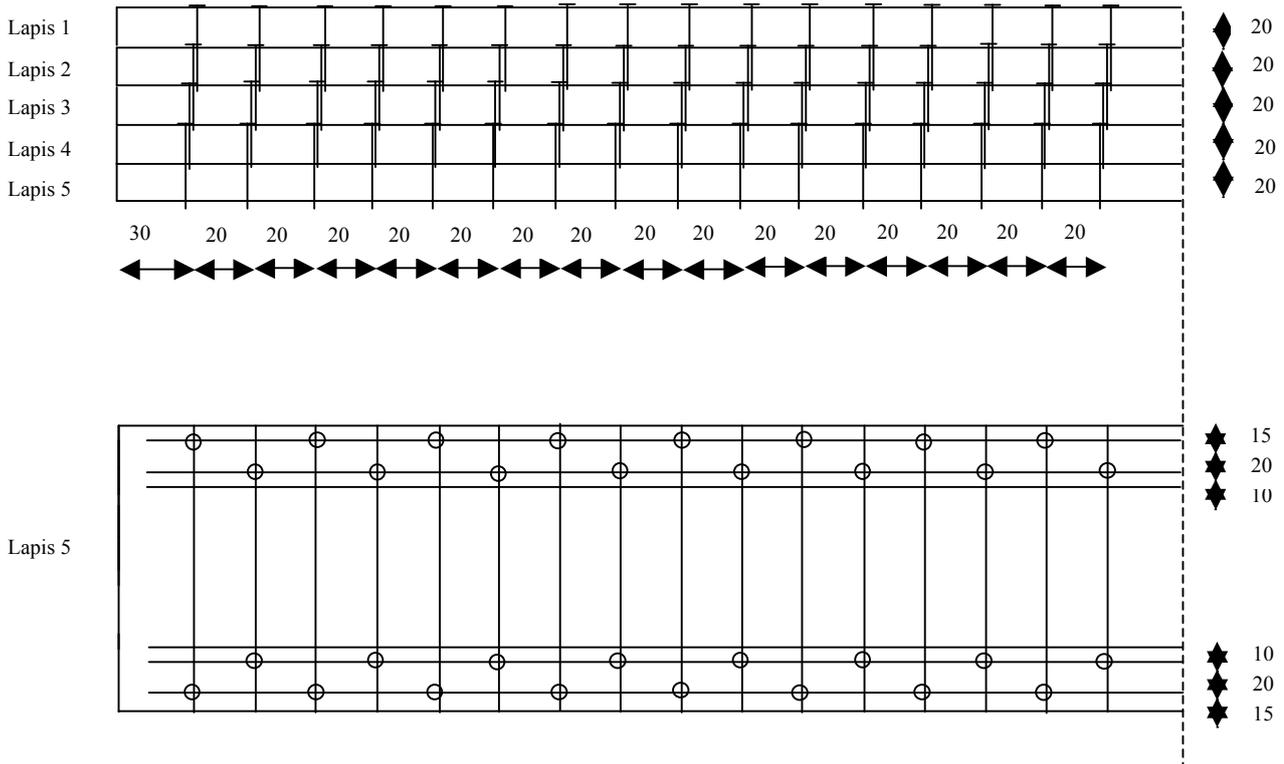
### 3.4.2 Pola Pemakuan Balok Profil I





Gambar 4.23 Pola Pemakuan Balok Profil I





Gambar 4.24 Pola Pemakuan Balok Profil BOX

Beban rencana untuk benda uji penampang Persegi adalah 540 kg dan beban rencana untuk benda uji penampang I dan BOX adalah 680 kg. Dari hasil perhitungan diperoleh faktor koreksi kekakuan ( $\gamma$ ) untuk balok I dan BOX adalah 0,822.

Berikut ini adalah hasil perhitungan untuk penentuan dimensi penampang benda uji.

Tabel 4.6a Perhitungan Balok Penampang Persegi

Data Penampang Persegi Panjang :			Data Tegangan Ijin :			Paku :						
L =	240	cm	$\bar{\sigma}_u$	=	50	kg/cm <sup>2</sup>	d =	0,2	cm			
B =	10	cm					lp =	4	cm			
b =	2	cm	$\bar{r}_u$	=	5	kg/cm <sup>2</sup>	e =	4	cm			
tf =	4,5	cm										
H =	18	cm										
E =	63066	kg/cm <sup>2</sup>										
G =	3941,6303	kg/cm <sup>2</sup>										
Beban (P)	Reaksi		Kontrol Paku		e	k	$\gamma$	Iw	Lendutan		Status	
	M	Q	$d \leq \frac{1}{7} \cdot t_f$	$10 \cdot d < e < 40 \cdot d$					$\delta_{total}$	$\delta_{ijin}$		
kg	kgcm	kg			cm			cm <sup>4</sup>	cm	cm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
300	24000	300,0	OK	OK	4	0,000	1,000	3880,000	0,600	0,800	OK	
290	23200	290,0	OK	OK	4	0,000	1,000	3880,000	0,580	0,800	OK	
280	22400	280,0	OK	OK	4	0,000	1,000	3880,000	0,560	0,800	OK	
270	21600	270,0	OK	OK	4	0,000	1,000	3880,000	0,540	0,800	OK	

Tabel 4.6b Perhitungan Balok Penampang Persegi (Lanjutan)

Data Penampang Persegi Panjang :		Paku :								
L =	240 cm	d =	0,2 cm							
B =	10 cm	lp =	4 cm							
b =	2 cm									
tf =	4,5 cm									
tw =	6 cm									
H =	18 cm									
af =	6,75 cm									
aw =	0 cm									
E =	63066 kg/cm <sup>2</sup>									
G =	3941,6303 kg/cm <sup>2</sup>									
Tegangan Lentur Serat Atas		Daya Pikul Ijin Paku					Tegangan Akibat Gaya Geser			
$\sigma_{ats}$	Status	N1 (kg)	S (cm <sup>3</sup> )	t (kg/cm)	L' (kg)	Status	S (cm <sup>3</sup> )	$\tau$	kg/cm <sup>2</sup>	Status
kg/cm <sup>2</sup>										
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
55,556	NOT OK	16,667	324,000	25,000	100,000	OK	324,000	3,125	OK	
53,704	NOT OK	16,667	324,000	24,167	96,668	OK	324,000	3,021	OK	
51,852	NOT OK	16,667	324,000	23,333	93,332	OK	324,000	2,917	OK	
50,000	OK	16,667	324,000	22,500	90,000	OK	324,000	2,813	OK	

Tabel 4.7a Perhitungan Balok Penampang I dan BOX

Data Penampang I <i>Beam</i> :			Data Tegangan Ijin :			Paku :		
L =	240	cm	$\bar{\sigma}_t$ =	50	kg/cm <sup>2</sup>	d =	0,2	cm
B =	10	cm	$\bar{\sigma}_c$ =	5	kg/cm <sup>2</sup>	lp =	4	cm
b =	2	cm				e =	4	cm
tf =	4,5	cm						
tw =	6	cm						
H =	18	cm						
af =	6,75	cm						
aw =	0	cm						
E =	63066	kg/cm <sup>2</sup>						
G =	3941,6303	kg/cm <sup>2</sup>						

Beban (P)	Reaksi		Kontrol Paku		e	k	$\gamma$	Iw	Lendutan		Status	Tegangan Lentur Atas Sayap	
	M	Q	$d \leq \frac{1}{7} \cdot t_f$	$10 \cdot d < e < 40 \cdot d$					$\delta_{total}$	$\delta_{ijin}$		$\sigma_{\text{di atas sayap}}$	Status
kg	kgcm	kg			cm		cm <sup>4</sup>	cm	cm		kg/cm <sup>2</sup>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	14	17	18
390	31200	390,0	OK	OK	4	0,216	0,822	4326,000	0,701	0,800	OK	56,265	NOT OK
380	30400	380,0	OK	OK	4	0,216	0,822	4326,000	0,683	0,800	OK	54,822	NOT OK
370	29600	370,0	OK	OK	4	0,216	0,822	4326,000	0,666	0,800	OK	53,379	NOT OK
360	28800	360,0	OK	OK	4	0,216	0,822	4326,000	0,648	0,800	OK	51,937	NOT OK
350	28000	350,0	OK	OK	4	0,216	0,822	4326,000	0,630	0,800	OK	50,494	NOT OK
340	27200	340,0	OK	OK	4	0,216	0,822	4326,000	0,612	0,800	OK	49,051	OK

Tabel 4.7b Perhitungan Balok Penampang I dan BOX (Lanjutan)

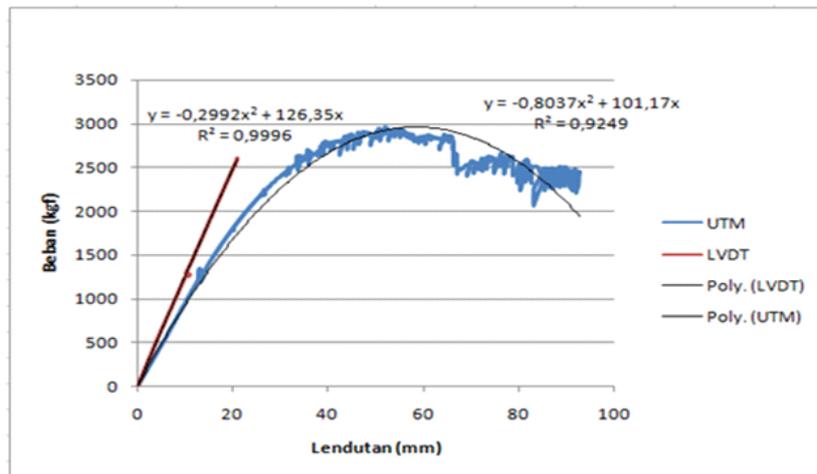
Data Penampang I Beam :		Paku :	
L =	240 cm	d =	0,2 cm
B =	10 cm	lp =	4 cm
b =	2 cm	Data Tegangan Ijin :	
tf =	4,5 cm	$\bar{\sigma}_u$ =	50 kg/cm2
tw =	6 cm	$\bar{\tau}_u$ =	5 kg/cm2
H =	18 cm		
af =	6,75 cm		
aw =	0 cm		
E =	63066 kg/cm2		
G =	3941,6303 kg/cm2		

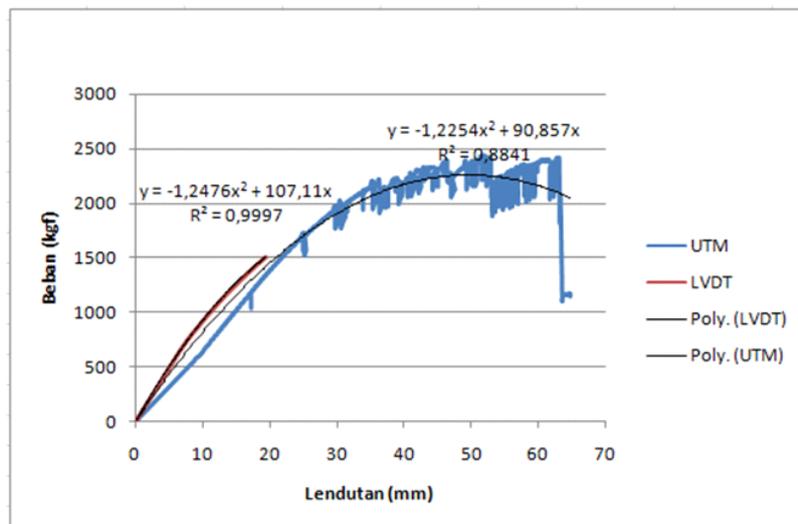
Tegangan Lentur web		Daya Pikul Ijin Paku					Tegangan Akibat Gaya Geser		
$\sigma_{web}$ kg/cm2	Status	N1 (kg)	Sflens (cm3)	t (kg/cm)	L' (kg)	Status	S (cm3)	$\tau$ kg/cm2	Status
19	20	25	26	27	28	29	32	33	34
36,032	OK	16,667	99,908	9,008	36,032	NOT OK	342,908	5,153	NOT OK
31,626	OK	16,667	99,908	8,777	35,108	NOT OK	342,908	5,021	NOT OK
30,794	OK	16,667	99,908	8,546	34,184	NOT OK	342,908	4,889	OK
29,962	OK	16,667	99,908	8,257	33,028	OK	342,908	4,894	OK
19,130	OK	16,667	99,908	8,084	32,336	OK	342,908	4,624	OK
29,297	OK	16,667	99,908	7,853	31,412	OK	342,908	4,492	OK

#### 4.4 Grafik Hasil Uji Kuat Lentur Balok papan kayu laminasi-paku vertikal

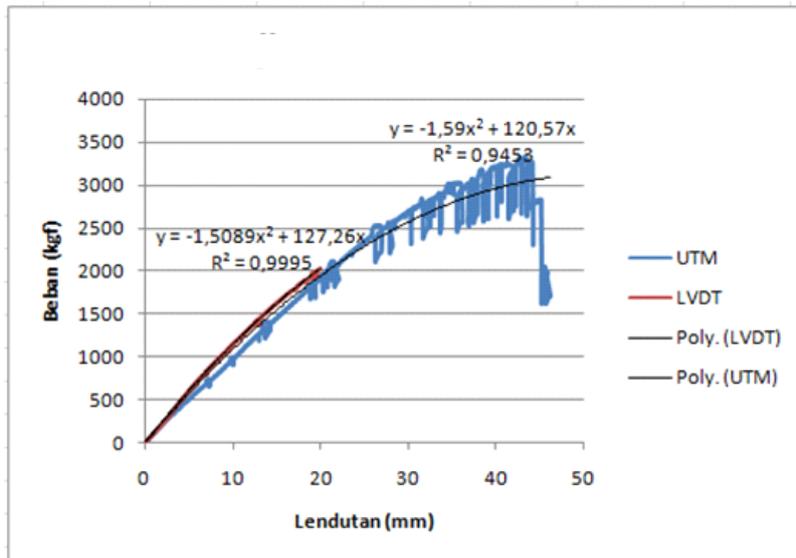
Dari uji kuat lentur yang dilakukan didapatkan data hasil uji yaitu lendutan dan beban. Kemudian dari data hasil uji untuk setiap benda uji tersebut dibuat Grafik hubungan beban dengan lendutan. Dari grafik pengujian dilakukan regresi untuk mendapatkan persamaan yang akan digunakan untuk mencari batas beban proporsional ( $P_p$ ) serta lendutannya ( $\delta_p$ ), beban maksimum yang dapat diterima ( $P_{ult}$ ), serta lendutannya ( $\delta_{ult}$ ), dan lendutan maksimumnya ( $\delta_{max}$ ). Untuk grafik LVDT terdapat selisih dengan UTM hal ini dikarenakan alat LVDT dipasang di tengah bentang, data beban diambil dari UTM dengan menyamakan waktu pada kedua alat tersebut. Grafik hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi pada masing-masing benda uji tersebut adalah seperti pada gambar 4.25 s/d 4.33 berikut ini adalah grafik hubungan beban dan lendutan untuk tiga macam benda uji persegi, I dan Box:



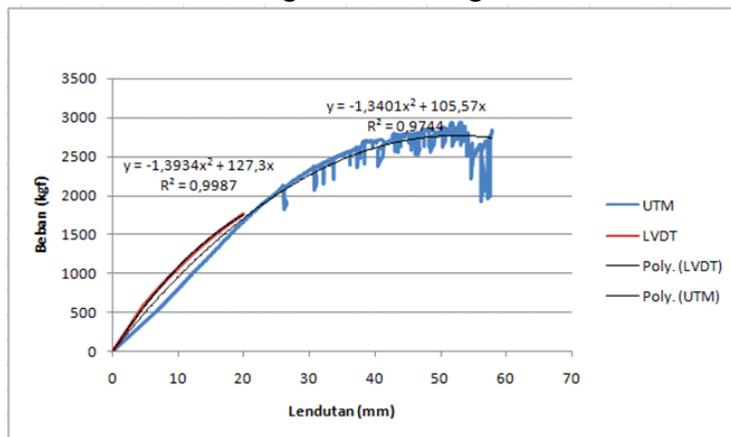
Gambar 4.25 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji P-1



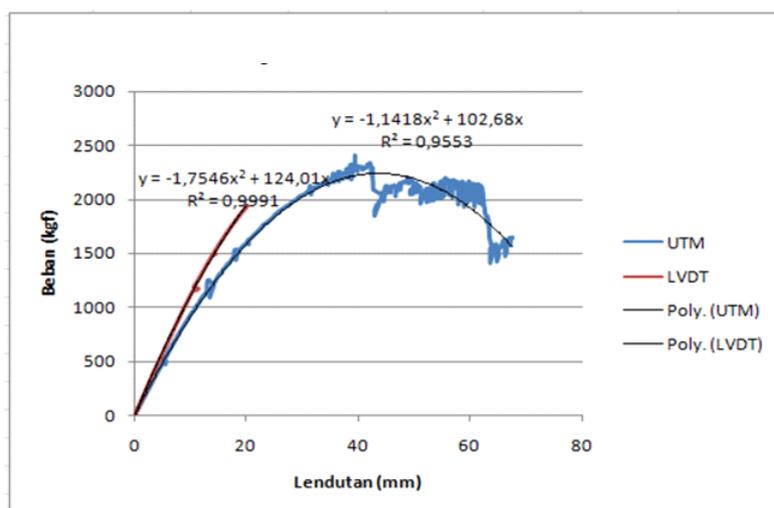
Gambar 4.26 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji P-2



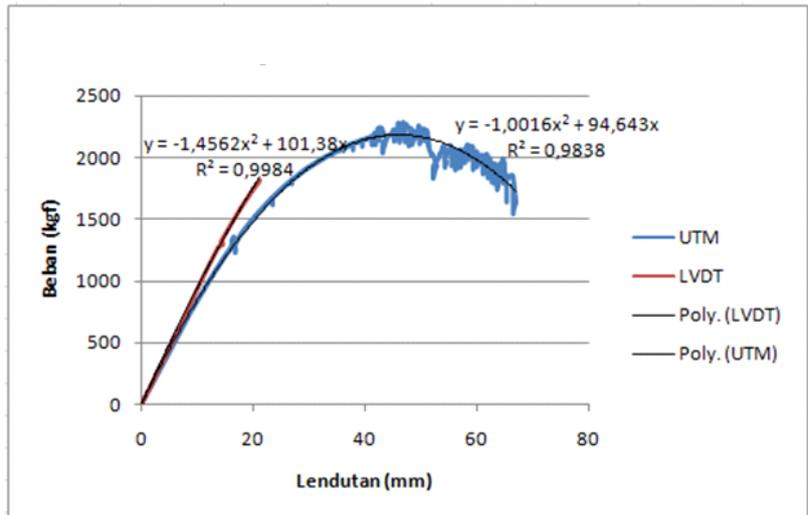
Gambar 4.27 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji P-3



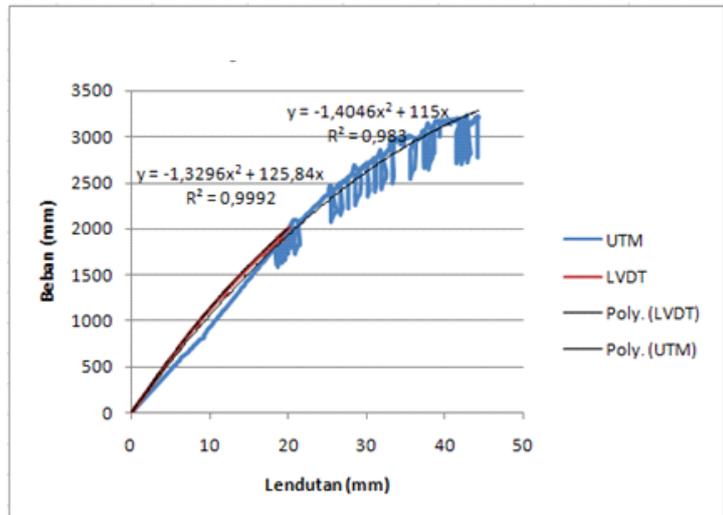
Gambar 4.28 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji I-1



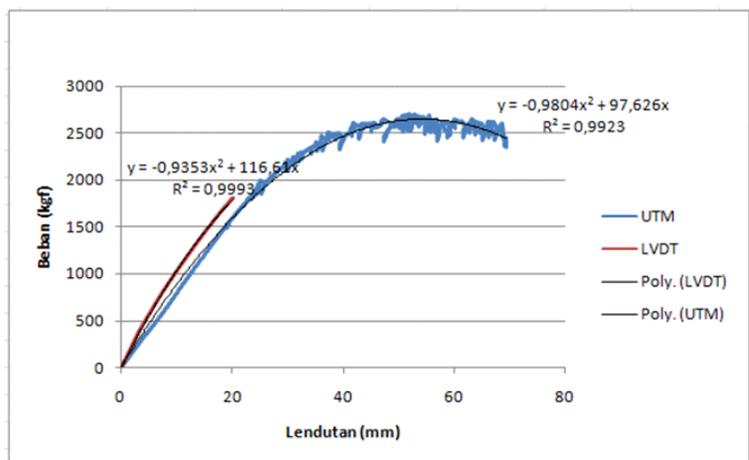
Gambar 4.29 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji I-2



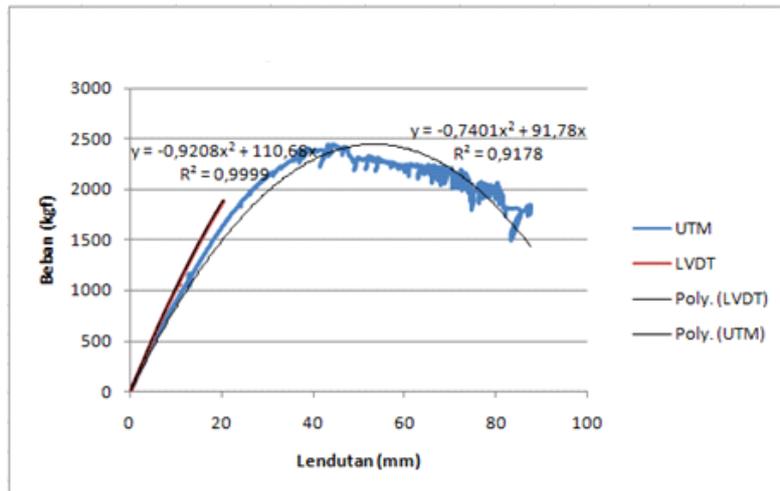
Gambar 4.30 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji I-3



Gambar 4.31 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji K-1



Gambar 4.32 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji K-2



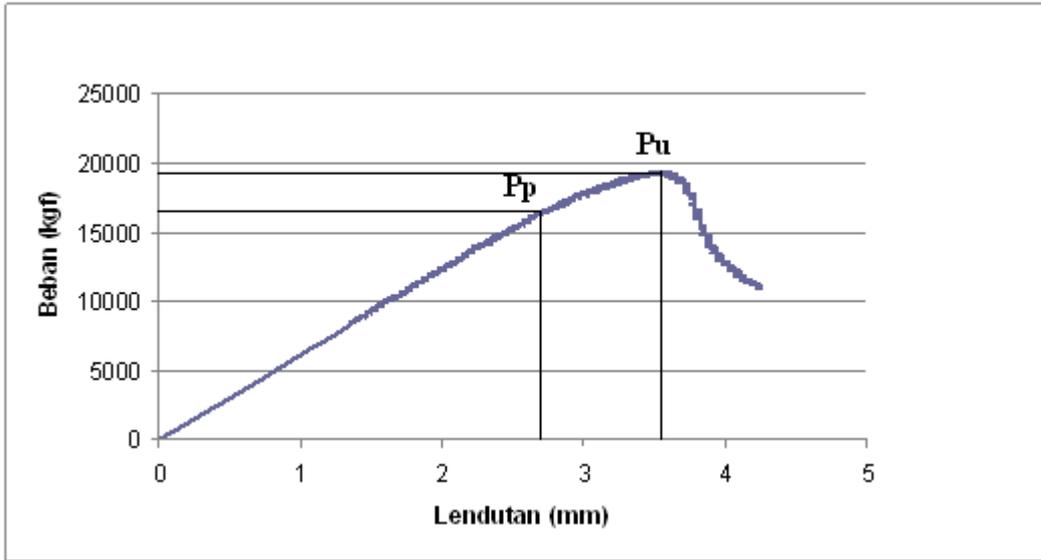
Gambar 4.33 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji K-3

#### 4.6 Uji kuat tekan sentris kolom papan kayu laminasi-paku

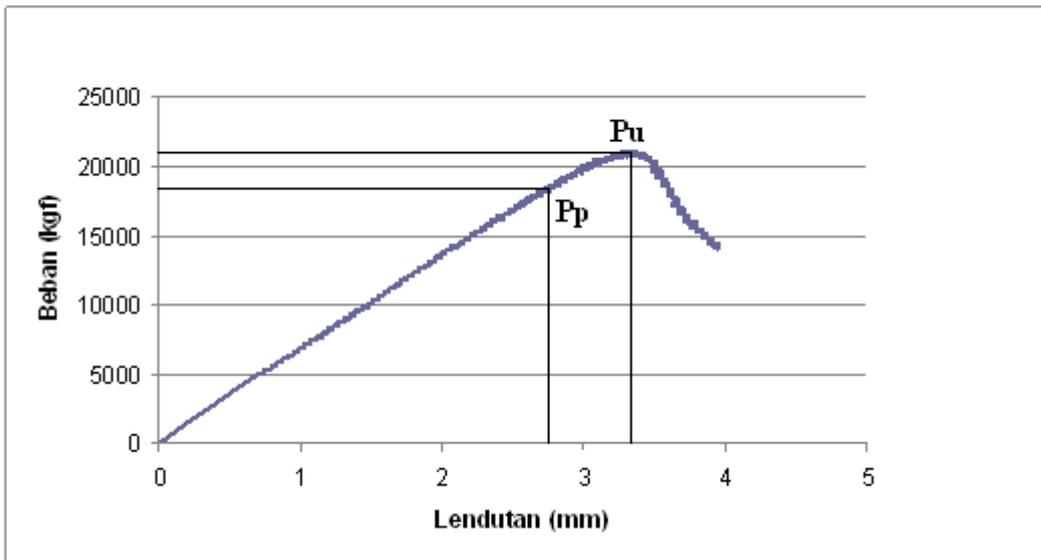
Variasi penampang profil benda uji yang digunakan pada pengujian kuat tekan kolom adalah sama dengan penampang balok laminasi-paku vertikal (sub-bab 4.5). Benda uji terdiri dari 3 buah variasi penampang persegi empat, I dan *Box* dengan luas penampang yang sama besar. Jarak paku untuk ke tiga variasi sama besar yaitu 20 mm dengan pola pemakuan yang sama.

##### 4.6.4 Grafik Hasil Uji Kuat tekan sentris kolom paan kayu laminasi-paku

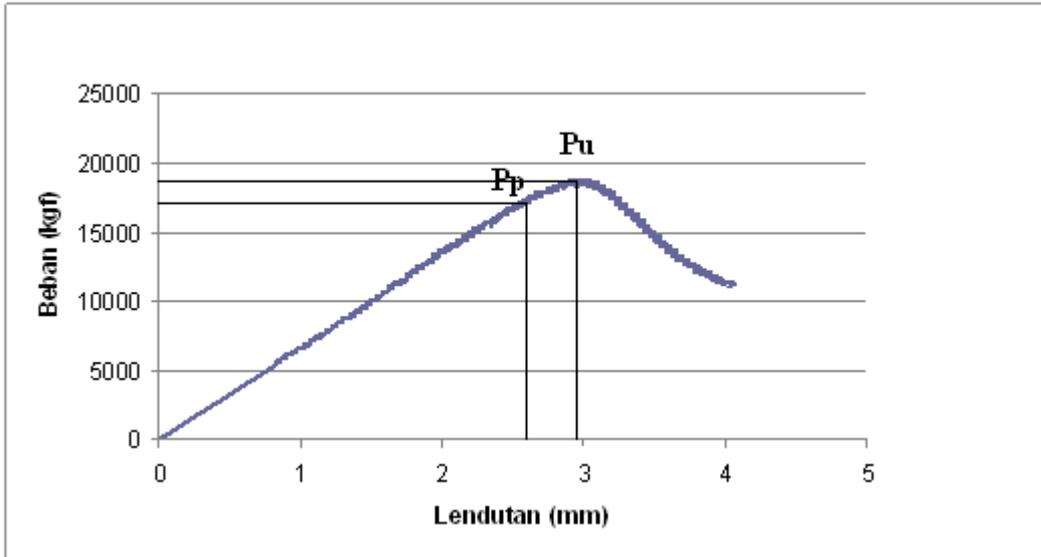
Dari pengujian kuat tekan kolom laminasi yang telah dilakukan, didapatkan data hasil uji yaitu lendutan dan beban. Keseluruhan data hasil uji untuk setiap benda uji tersebut kemudian dibuat grafik hubungan beban dengan lendutan. Dari grafik pada daerah elastis dapat diperoleh besarnya nilai modulus elastisitas ( $E$ ) dari hubungan tegangan dan regangan. Grafik hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi pada masing-masing benda uji dapat terlihat Gambar 4.34 sampai dengan Gambar 4.42, dimana dari grafik tersebut didapat besarnya  $P_p$  dan  $P_u$  beserta lendutannya.



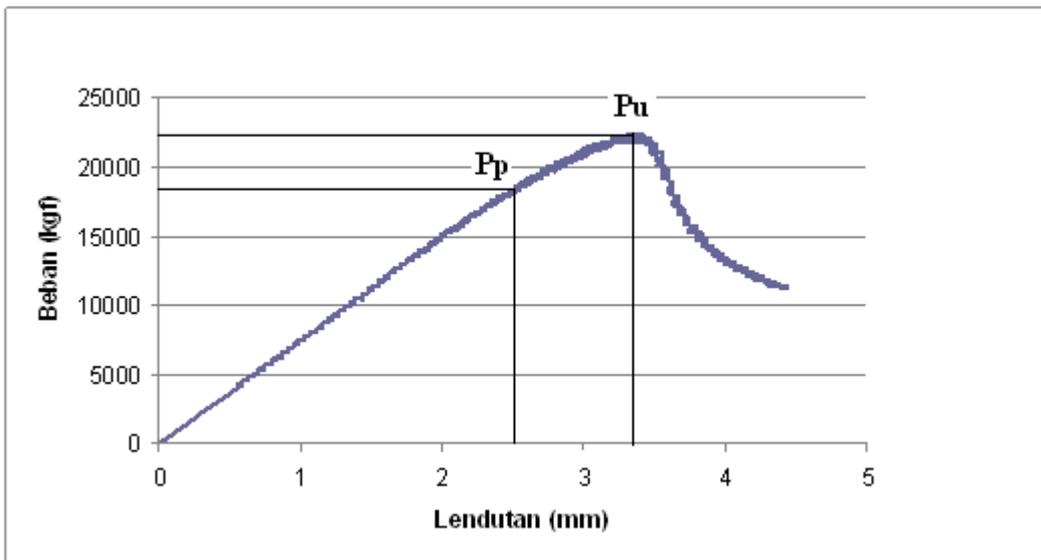
Gambar 4.34 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji penampang persegi-1



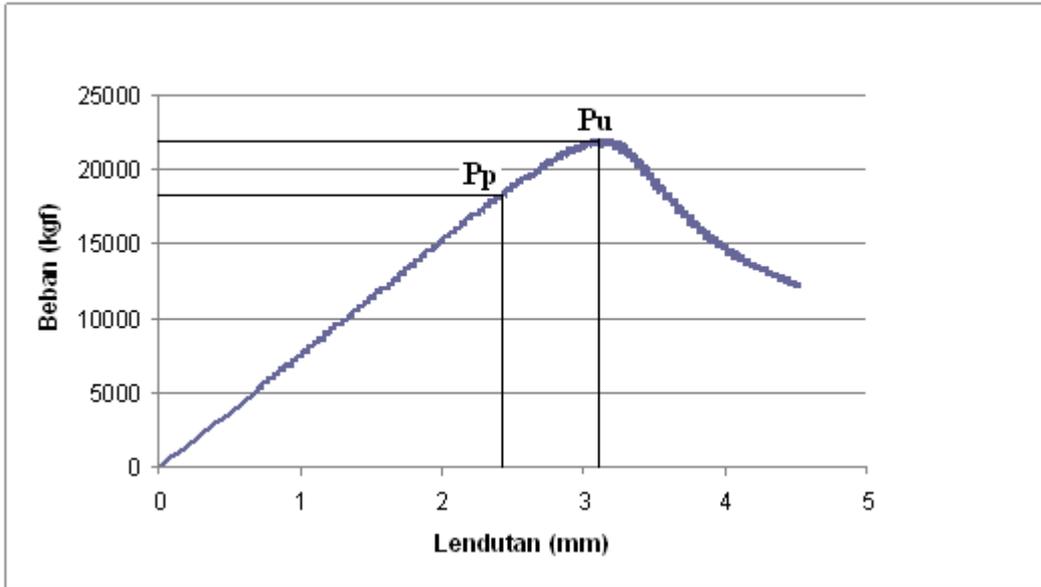
Gambar 4.35 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji penampang persegi-2



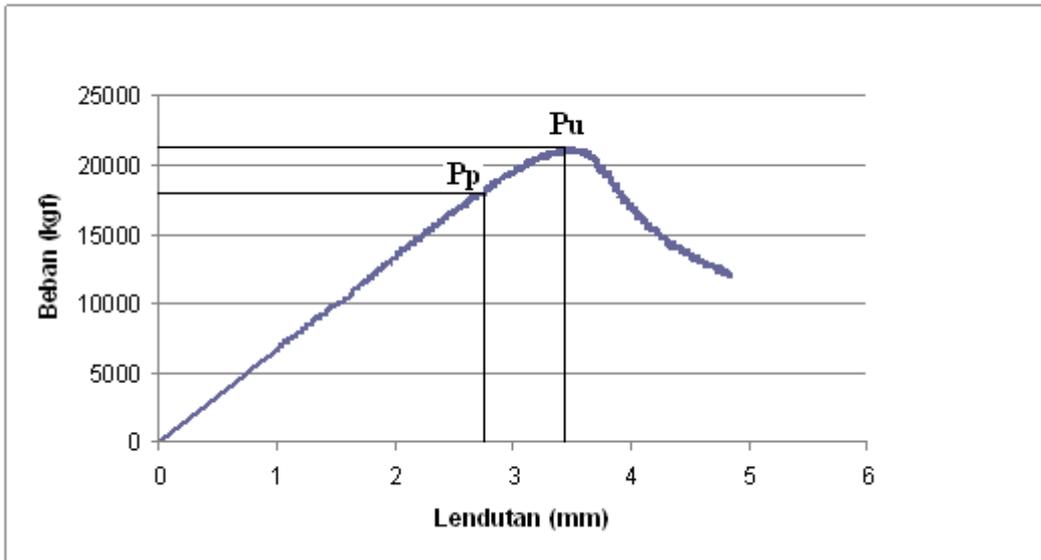
Gambar 4.36 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji penampang persegi-3



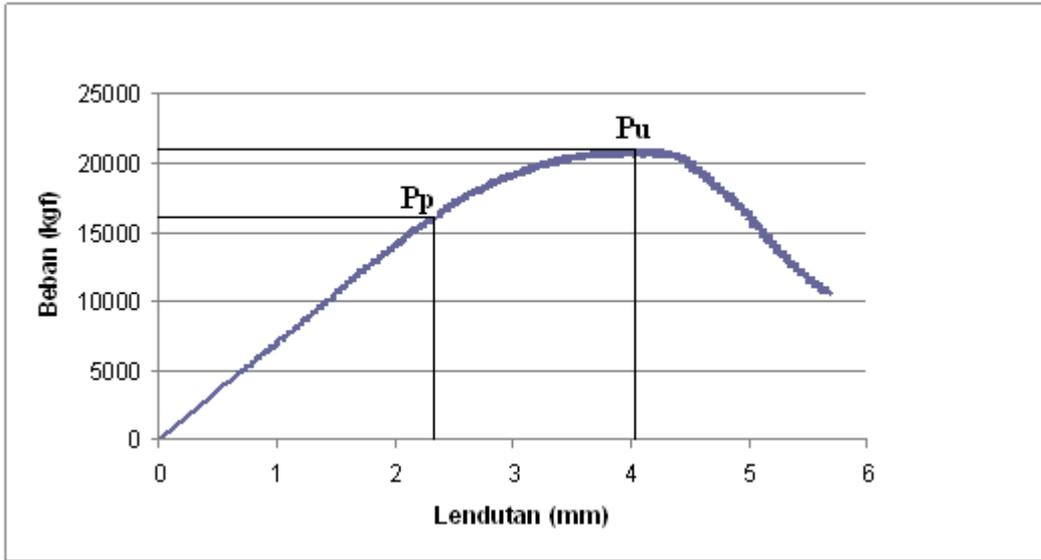
Gambar 4.37 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji penampang I-1



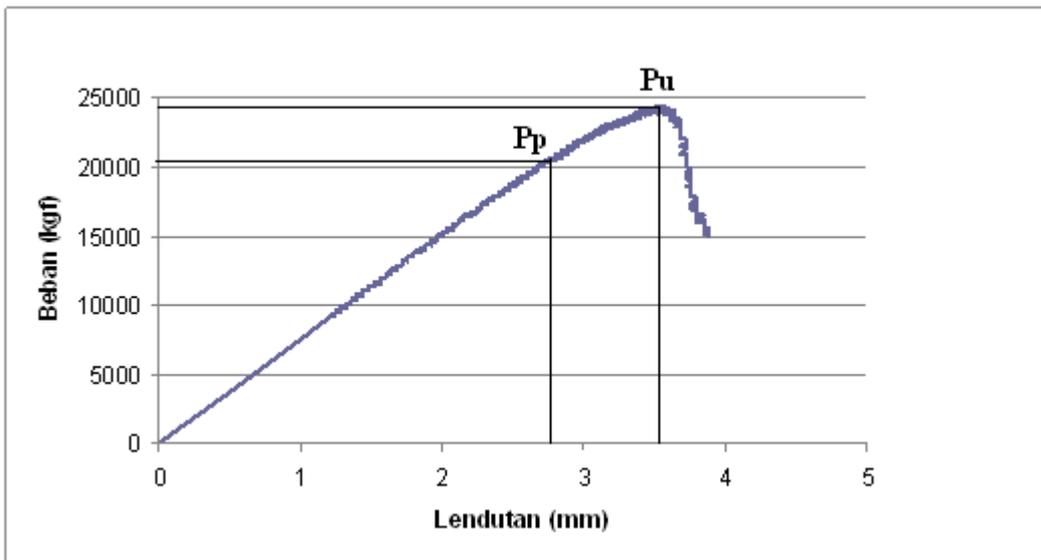
Gambar 4.38 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji penampang I-2



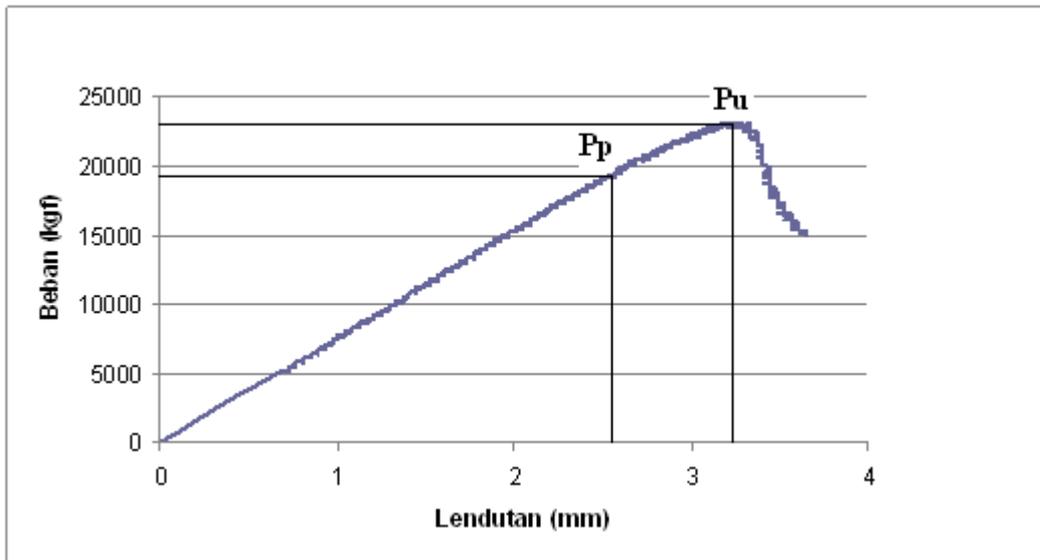
Gambar 4.39 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji penampang I-3



Gambar 4.40 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji penampang *Box-1*



Gambar 4.41 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji penampang *Box-2*



Gambar 4.42 Grafik hubungan beban dengan lendutan benda uji penampang *Box 3*

## BAB V. ANALISIS DAN DISKUSI

### 5.1 Balok Papan Kayu Laminasi-paku Horizontal

Dari Tabel 5.1 bisa dilihat bahwa benda uji dengan jarak paku 2.5 cm memiliki daktilitas yang paling tinggi dibanding benda uji lainnya. Kuat lentur maksimum rata-rata untuk jarak paku 2,5 cm adalah 1077,5 kg, jarak paku 5 cm adalah 922,3 kg, jarak paku 7,5 cm adalah 693,8 kg, dan untuk jarak paku 10 cm adalah 675,5 kg.

Tabel 5.1 Analisis Hasil Pengujian Kuat Lentur

No Uji	$P_{ijin}$ (kg)	$\delta_{ijin}$ (mm)	$P_p$ (kg)	$\delta_p$ (mm)	$P_{max}$ (kg)	$\delta_{max}$ (mm)	Daktilitas	Daktilitas Rata-rata
A-1	257,644	8	250	7,24	913	109,6	15,14	20,34
A-2	248,74	8	300	13,38	1153,5	201,32	15,05	
A-3	312,004	8	300	6,66	1166	205,28	30,82	
B-1	230,384	8	300	18,87	1040	203,24	10,77	12,88
B-2	153,496	8	200	16,23	787,5	185,24	11,41	
B-3	174,464	8	200	11,94	939,5	196,52	16,46	
C-1	105,658	8	200	26,76	645	194,48	7,27	11,91
C-2	133,762	8	150	11,01	706,5	196,92	17,89	
C-3	96,514	8	150	17,82	730	188,32	10,57	
D-1	134,948	8	150	15,55	662,5	195,64	12,58	11,52
D-2	117,898	8	150	16,12	686,5	192,44	11,94	
D-3	100,796	8	150	20,05	677,5	201,44	10,05	

#### 5.1.1 Rasio Beban Maksimum Dengan Disain

Dari tabel 5.2 bisa dilihat bahwa benda uji dengan jarak paku 2,5 cm memiliki faktor keamanan yang paling tinggi dibanding benda uji lainnya yaitu sebesar 2,57 kali dari beban disain.

Tabel 5.2 Rasio Beban Maksimum Dengan Disain

No Uji	P <sub>D</sub> (kg)	P <sub>p</sub> (kg)	P <sub>ult</sub> (kg)	FK terhadap beban proporsional	FK rata-rata terhadap beban proporsional	FK terhadap beban disain	FK rata-rata terhadap beban disain
A-1	420	250	913	3,65	3,79	2,17	2,57
A-2	420	300	1153,5	3,85		2,75	
A-3	420	300	1166	3,89		2,78	
B-1	420	300	1040	3,47	4,03	2,48	2,20
B-2	420	200	787,5	3,94		1,88	
B-3	420	200	939,5	4,70		2,24	
C-1	420	200	645	3,23	4,27	1,54	1,65
C-2	420	150	706,5	4,71		1,68	
C-3	420	150	730	4,87		1,74	
D-1	420	150	662,5	4,42	4,50	1,58	1,61
D-2	420	150	686,5	4,58		1,63	
D-3	420	150	677,5	4,52		1,61	

### 5.1.2 Analisis Kekakuan

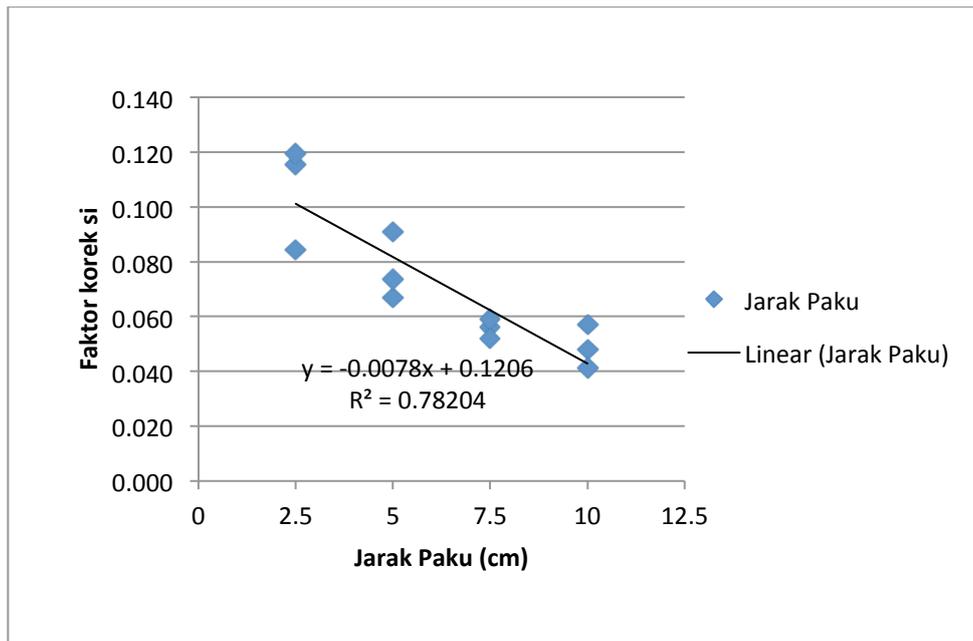
Untuk mencari kekakuan penampang dengan variasi jarak paku bisa menggunakan persamaan 5.1 :

$$I_l = \frac{23.P_p.L^3}{648.E.\delta_p} \quad (5.1)$$

Dengan E = 71202 kg/cm<sup>2</sup>, I solid = 2730,667 cm<sup>4</sup>, I (8 pot) = 42,667 cm<sup>4</sup>, L = 240 cm

Tabel 5.3 Faktor Koreksi kekakuan

Benda Uji	Jarak Paku	P <sub>p</sub>	δ <sub>p</sub>	Inersia (cm <sup>4</sup> )	K	K rata-rata
A-1	2,5cm	45,68	1	314,7869	0,115	0,106
A-2		33,425	1	230,3361	0,084	
A-3		47,39	1	326,5708	0,120	
B-1	5cm	35,96	1	247,8051	0,0907	0,077
B-2		26,52	1	182,7528	0,0669	
B-3		29,185	1	201,1177	0,0737	
C-1	7,5cm	22,205	1	153,0176	0,0560	0,056
C-2		23,345	1	160,8735	0,0589	
C-3		20,605	1	141,9918	0,0520	
D-1	10cm	22,64	1	156,0152	0,0571	0,049
D-2		19,05	1	131,2761	0,0481	
D-3		16,335	1	112,5666	0,0412	



Gambar 5.1 Faktor koreksi kekakuan terhadap balok *solid*

Faktor koreksi untuk balok solid = 1

$$\text{Faktor koreksi untuk balok tersusun (tanpa penyambung)} = \frac{I_{g \text{ pot}}}{I_{\text{solid}}} = 0,015625$$

Dari tabel 5.3 bisa dilihat bahwa faktor koreksi benda uji dengan variasi jarak paku berada pada rentang 0,015625 ~ 1. Dari tabel 5.3 ini juga bisa didapat faktor koreksi untuk jarak paku tertentu dengan menggunakan persamaan garis yang ada di dalam tabel, namun terbatas untuk jarak paku 2,5 cm sampai 10 cm.

### 5.1.3 Analisa Keruntuhan Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian dapat dilihat pola keruntuhan benda uji saat terjadi beban maksimum. Keruntuhan benda uji tersebut dapat terjadi pada daerah tarik, tekan, maupun pada sambungan paku.

Tabel 5.4 Pola Keruntuhan Benda Uji

No. Uji	Pola Keruntuhan Benda Uji
A-1	Tidak terjadi keruntuhan namun deformasi berlebihan 201,32 mm. Pengujian berhenti karena UTM sudah mencapai batas maksimal
A-2	Terjadi keruntuhan lentur pada daerah tarik pada lapisan pertama, namun benda uji masih dapat menahan beban.
A-3	Terjadi keruntuhan lentur pada daerah tarik pada lapisan pertama, namun benda uji masih dapat menahan beban.

B-1	Tidak terjadi keruntuhan namun deformasi berlebihan 203,24 mm. Pengujian berhenti karena UTM sudah mencapai batas maksimal
B-2	Terjadi keruntuhan lentur pada daerah tarik pada lapisan pertama, namun benda uji masih dapat menahan beban.
B-3	Terjadi keruntuhan lentur pada daerah tarik pada lapisan pertama, namun benda uji masih dapat menahan beban.
C-1	Terjadi keruntuhan lentur pada daerah tarik pada lapisan pertama, namun benda uji masih dapat menahan beban.
C-2	Terjadi keruntuhan lentur pada daerah tarik pada lapisan pertama, namun benda uji masih dapat menahan beban.
C-3	Terjadi keruntuhan lentur pada daerah tarik pada lapisan pertama, namun benda uji masih dapat menahan beban.
D-1	Terjadi keruntuhan lentur pada daerah tarik pada lapisan pertama, namun benda uji masih dapat menahan beban.
D-2	Tidak terjadi keruntuhan namun deformasi berlebihan 192,44 mm. Pengujian berhenti karena UTM sudah mencapai batas maksimal
D-3	Tidak terjadi keruntuhan namun deformasi berlebihan 201,44 mm. Pengujian berhenti karena UTM sudah mencapai batas maksimal

## 5.2 Balok Papan Kayu Laminasi-paku Vertikal

Data hasil perhitungan kuat lentur tersebut seperti pada tabel 5.5 berikut :

Tabel 5.5 Analisis Hasil Pengujian Kuat Lentur

No. Uji	Kadar Air (%)	$P_p$ (kg)	$\delta_p$ (mm)	$P_{ult}$ (kg)	$\delta_{ult}$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)	Daktilitas	Daktilitas Rata-rata
P-1	17	1650	19,1	2962	51,88	92,60	4,8	3,6
P-2	17	1600	23,5	2436	51,56	64,72	2,8	
P-3	17	1400	14,2	3327	43,44	45,96	3,2	
I-1	17	1600	20,2	2940	51,64	57,84	2,9	3,9
I-2	24	1200	13,9	2407	39,40	67,56	4,9	
I-3	24	1300	16,8	2281	46,80	66,64	4,0	
K-1	17	2200	24,8	3236	42,80	44,32	1,8	2,8
K-2	17	1750	23,3	2707	51,96	69,44	2,9	
K-3	24	1800	24,3	2441	44,32	87,52	3,6	

### 5.2.1 Perbandingan antara Beban Aktual Maksimum dengan Beban Disain

Dalam hasil uji terdapat perbedaan yang cukup besar antara beban disain dengan beban aktual maksimum yang dapat dipikul. Hal ini disebabkan dalam mendisain yang digunakan adalah tegangan-tegangan ijin, bukan dengan tegangan maksimum/batas dari material. Selain itu perbedaan kadar air juga mempengaruhi kekuatan.

Benda uji I mempunyai nilai daktilitas 3,9 dan merupakan yang terbesar dibanding dua benda uji lainnya yaitu 3,6 untuk benda uji persegi (P) dan 2,8 untuk benda uji *Box*. Untuk benda Uji I, benda uji yang mempunyai kadar air 24% mempunyai kekuatan rata-rata lebih rendah 20,3 %. Untuk benda uji *Box*, benda uji yang mempunyai kadar air 24% mempunyai kekuatan lebih rendah 24,6% dibandingkan dengan benda uji berkadar air 17%.

Perbandingan antara beban disain dengan beban batas yang dapat dipikul oleh benda uji dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Perbandingan beban disain ( $P_D$ ) dengan beban maksimum ( $P_{ult}$ ) benda uji

No. Uji	$P_D$ (kg)	$P_p$ (kg)	$P_{ult}$ (kg)	FK terhadap beban proporsional	FK rata-rata terhadap beban proporsional	FK terhadap beban disain	FK rata-rata terhadap beban disain
P-1	540	1650	2962	1,8	1,93	5,485	5,386
P-2	540	1500	2436	1,62		4,511	
P-3	540	1400	3327	2,37		6,161	
I-1	680	1600	2940	1,83	1,86	4,324	3,739
I-2	680	1200	2407	2,00		3,540	
I-3	680	1300	2281	1,75		3,354	
K-1	680	2200	3236	1,47	1,46	4,759	4,110
K-2	680	1750	2707	1,54		3,981	
K-3	680	1800	2441	1,36		3,590	

### 5.2.2 Analisis Modulus Elastisitas

Dari data yang dihasilkan dapat dicari Modulus Elastisitas menggunakan persamaan lendutan, hasil perhitungan modulus elastisitas dapat dilihat pada tabel 5.7

Tabel 5.7 Modulus Elastisitas

No. Benda Uji	E ( $\text{kg/cm}^2$ )	E rata-rata ( $\text{kg/cm}^2$ )
P-1	76661	67765
P-2	57952	
P-3	68682	
I-1	64735	59042
I-2	59679	
I-3	52713	
K-1	63112	60326
K-2	60362	
K-3	57504	

Untuk keseluruhan benda uji diperoleh E rata-rata 62378 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai ini lebih rendah 1 % dari hasil pengujian non destruktif.

### 5.2.3 Analisis Keruntuhan Hasil Pengujian

Dalam uji eksperimen keruntuhan ditandai dengan pecahnya benda uji pada saat terjadinya beban maksimum yang dapat dipikul oleh benda uji tersebut. Keruntuhan benda uji tersebut dapat terjadi pada sayap atas (tekan), sayap bawah (tarik), badan ataupun pada sambungan paku.

Tabel 5.8 Pola Keruntuhan pada Benda Uji

No. Uji	Pola Keruntuhan
P-1	Terjadi keruntuhan tarik akibat lentur ditengah bentang akibat momen yang maksimum ditengah bentang.
P-2	Terjadi keruntuhan tarik akibat lentur ditengah bentang akibat momen yang maksimum ditengah bentang.
P-3	Terjadi keruntuhan tarik akibat lentur ditengah bentang akibat momen yang maksimum ditengah bentang.
I-1	Terjadi keruntuhan akibat geser di badan di daerah tarik diantara tumpuan dan beban akibat interaksi paku dengan material kayu.
I-2	Terjadi keruntuhan akibat geser di badan di daerah tarik diantara tumpuan dan beban akibat interaksi paku dengan material kayu.
I-3	Terjadi keruntuhan akibat geser di badan di daerah tarik diantara tumpuan dan beban akibat interaksi paku dengan material kayu. Dan keruntuhan lentur ditengah bentang.
K-1	Terjadi keruntuhan tarik akibat lentur ditengah bentang akibat momen yang maksimum ditengah bentang.
K-2	Terjadi keruntuhan tarik akibat lentur ditengah bentang akibat momen yang maksimum ditengah bentang.
K-3	Terjadi keruntuhan tarik akibat lentur ditengah bentang akibat momen yang maksimum ditengah bentang.

Dari tabel diatas dapat diambil kesimpulan bahwa pada umumnya benda uji persegi (P) dan *Box* mengalami keruntuhan tarik akibat lentur ditengah bentang akibat momen yang maksimum ditengah bentang. Benda uji I mengalami keruntuhan geser pada badan diantara tumpuan dan beban akibat interaksi paku dengan material kayu. Hal ini sesuai dengan dengan pengkondisian gaya lintang yaitu tidak ada geser di tengah bentang.

### 5.3 Kolom Papan Kayu Laminasi-paku

#### 5.3.1 Analisis Hasil Pengujian Tekan Benda Uji Kolom papan kayu laminasi-paku

##### Modulus Elastisitas

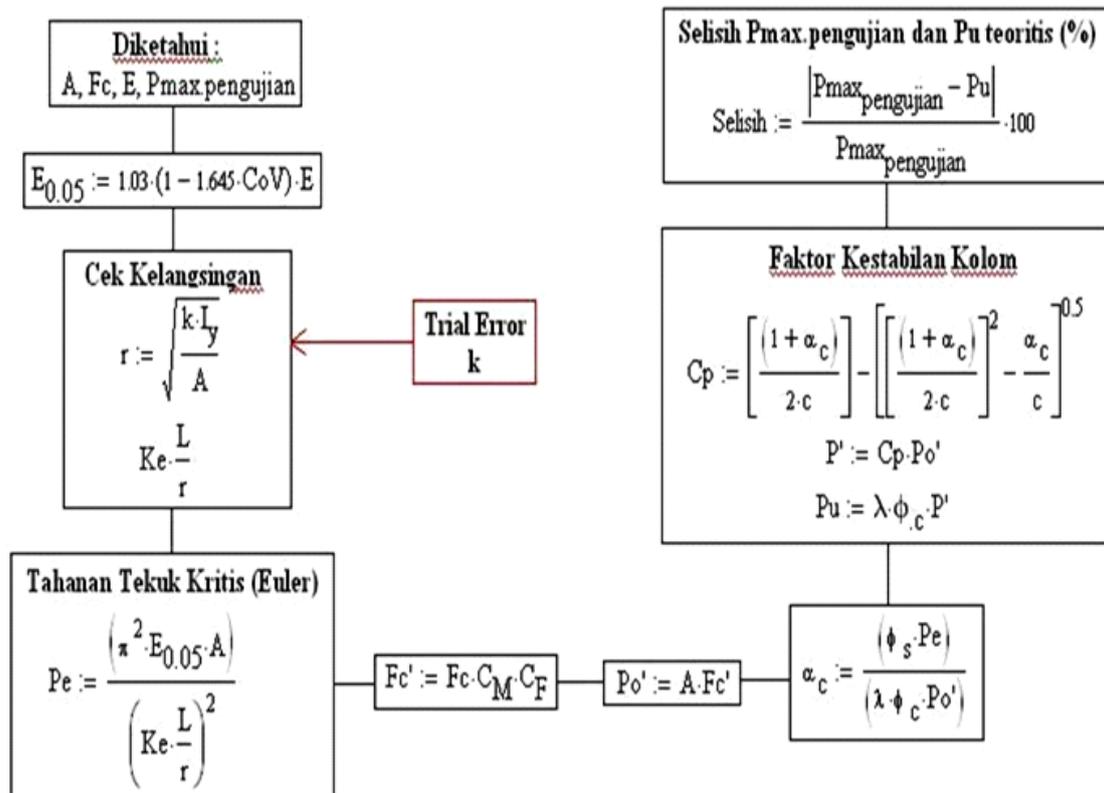
Dari data yang telah ada dapat dicari besarnya modulus elastisitas masing-masing penampang dengan menggunakan persamaan elastis hukum Hooke, sehingga didapat nilai modulus elastisitas seperti pada Tabel 5.9

Tabel 5.9 Modulus Elastisitas

Benda Uji	$P_p$ (N)	A (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)	E (MPa)	$\sigma$ rata-rata (MPa)	E rata-rata (MPa)
P-1	163515	14400	11.35	2523	12.08	2684
P-2	187966	14400	13.05	2797		
P-3	170561	14400	11.84	2733		
I-1	188356	14400	13.08	3139	12.84	3014
I-2	182192	14400	12.65	3163		
I-3	184184	14400	12.79	2741		
BOX-1	158303	14400	10.99	2868	12.98	3108
BOX-2	207626	14400	14.41	3204		
BOX-3	195267	14400	13.56	3254		

##### Analisis Faktor Koreksi Momen Inersia Terhadap Penampang *Solid*

Untuk mendapatkan besarnya nilai faktor koreksi momen inersia masing-masing penampang didapat dari diagram alir berikut :



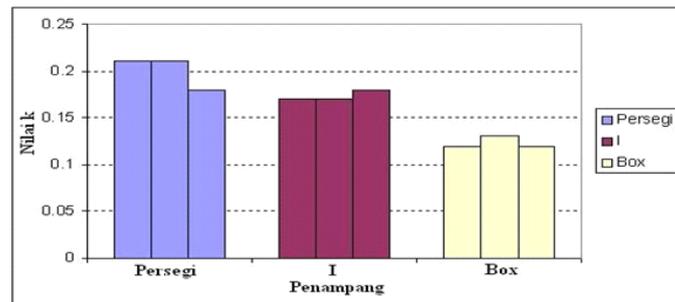
Gambar 5.2 Diagram alir perhitungan faktor koreksi momen inersia penampang

Metode *trial and error* dilakukan sampai didapat selisih perbedaan  $P_{max.pengujian}$  terhadap  $P_u$  yang besarnya  $\pm 1\%$ . Perhitungan dilakukan dengan 2 macam jenis tumpuan yaitu jepit-jepit dan sendi-sendi. Proses perhitungan dilakukan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 5.2 hingga didapatkan besarnya faktor koreksi momen inersia penampang dari tiap-tiap penampang. Sehingga setelah dilakukan perhitungan didapatkan besarnya faktor koreksi momen inersia penampang terhadap penampang *solid* seperti pada Tabel 5.10.

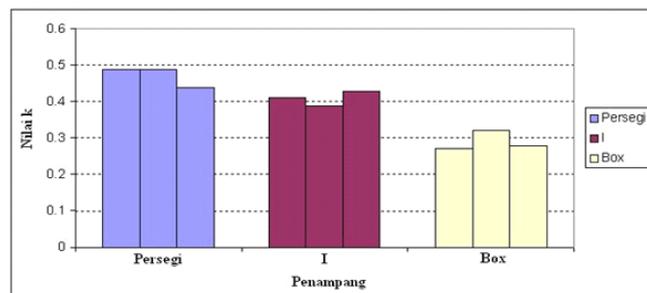
Tabel 5.10 Faktor koreksi momen inersia penampang

Benda Uji	k		k rata-rata	
	Jepit-Jepit	Sendi-Sendi	Jepit-Jepit	Sendi-Sendi
Persegi-1	0.21	0.49	0.20	0.47
Persegi-2	0.21	0.49		
Persegi-3	0.18	0.44		
I-1	0.17	0.41	0.17	0.41
I-2	0.17	0.39		
I-3	0.18	0.43		
Box-1	0.12	0.27	0.12	0.29
Box-2	0.13	0.32		
Box-3	0.12	0.28		

Perbandingan nilai k antar penampang dapat dilihat dari diagram batang gambar 5.3 dan 5.4 berikut :



Gambar 5.3 Diagram perbandingan nilai k antar penampang dengan tumpuan jepit-jepit



Gambar 5.4 Diagram perbandingan nilai k antar penampang dengan tumpuan sendi-sendi

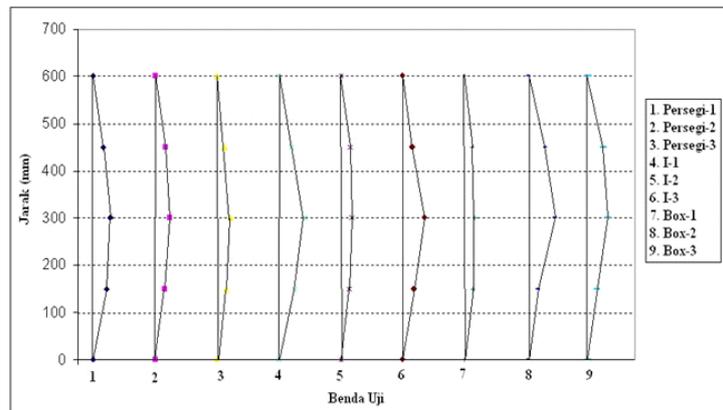
### **Analisis Deformasi Sisa Setelah Pengujian**

Benda uji akan mengalami deformasi setelah selesai dilakukannya pengujian kuat tekan pada benda uji tersebut. Deformasi yang terjadi kemudian diukur di setiap 150 mm dari pangkal benda uji sampai ke ujung lainnya. Hasil pengukuran deformasi di setiap jarak 150 mm terlihat pada Tabel 5.11 berikut :

Tabel 5.11 Deformasi sisa setelah pengujian

Jarak (mm)	Persegi			I			Box		
	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0.42	0.31	0.29	0.51	0.28	0.38	0.28	0.34	0.30
300	0.53	0.47	0.42	0.82	0.37	0.71	0.34	0.88	0.64
450	0.31	0.34	0.23	0.38	0.31	0.33	0.26	0.56	0.48
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Setelah didapatkan data deformasi dari benda uji kemudian di plot sehingga terlihat besarnya deformasi akhir dari setiap penampang. Deformasi benda uji dari setiap penampang tersebut terlihat dari gambar 5.5 berikut :



Gambar 5.5 Deformasi Benda Uji

### **Analisis Keruntuhan Hasil Pengujian**

Dari hasil pengujian kuat tekan kolom laminasi yang telah dilakukan didapatkan analisis pola keruntuhan benda uji untuk penampang persegi, penampang I, dan penampang *box* seperti pada Tabel 5.12 berikut :

Tabel 5.12 Pola Keruntuhan Benda Uji

Benda Uji	Pola Keruntuhan
Persegi	Terjadi tekuk pada benda uji akibat pembebanan dan tidak terjadi kerusakan pada benda uji untuk penampang persegi
I	Terjadi tekuk pada benda uji akibat pembebanan dan tidak terjadi kerusakan pada benda uji untuk penampang I
<i>Box</i>	Terjadi tekuk pada benda uji akibat pembebanan dan tidak terjadi kerusakan pada benda uji untuk penampang <i>box</i>

Dari tabel di atas didapatkan kesimpulan bahwa pola keruntuhan yang terjadi untuk benda uji dengan penampang persegi, I, dan *box* adalah terjadinya tekuk pada ketiga penampang tersebut, dan tidak terjadi kegagalan kuat tekan atau kerusakan pada seluruh benda uji tersebut.

## BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

1. Kuat lentur balok papan kayu laminasi-paku vertikal mencapai 4 x kuat lentur balok papan kayu laminasi-paku horisontal untuk luas penampang yang sama besar.
2. Daktilitas balok papan kayu laminasi-paku horisontal mencapai 5 x kuat lentur balok papan kayu laminasi-paku vertikal. Daktilitas rata-rata pada balok papan kayu laminasi-paku vertikal mencapai 2,8 – 3,9. Daktilitas pada balok papan kayu laminasi-paku horisontal adalah 11,50, 11,90, 12,90 dan 20,30 untuk masing-masing jarak paku (25, 50, 75 dan 100) mm
3. Rigiditas dari balok papan kayu laminasi-paku dibandingkan dengan kayu solid dinyatakan dengan faktor koreksi kekakuan untuk perhitungan lendutan pada balok papan kayu laminasi-paku horisontal  $k = 0,12 - 0,007s$  untuk rentang  $s = 25$  mm s/d 100 mm.
4. Rigiditas dari kolom papan kayu laminasi-paku dibandingkan dengan kayu solid dinyatakan dengan faktor koreksi kekakuan untuk perhitungan kuat tekan akibat tekuk untuk kolom papan kayu laminasi-paku antara 0,29 – 0,47
5. Kolom pendek mengalami keruntuhan akibat tekuk pada beban 75% dari beban tekan jika tidak terjadi tekuk.

### 6.2 Saran

1. Penggunaan balok papan kayu laminasi-paku vertikal lebih baik daripada balok papan kayu laminasi-paku horisontal
2. Balok papan kayu laminasi-paku vertikal dengan daktilitas yang terbesar adalah profil box.
3. Faktor koreksi kekakuan untuk perhitungan lendutan pada balok papan kayu laminasi-paku horisontal  $k = 0,12 - 0,007s$  untuk rentang  $s = 25$  mm s/d 100 mm dapat digunakan.
4. Faktor koreksi kekakuan untuk perhitungan kuat tekan akibat tekuk untuk kolom papan kayu laminasi-paku dapat digunakan angka konservatif 0.30

## **DAFTAR PUSTAKA**

- ASTM, 1992. *Standard Methods of Static Testing of Timbers in Structural Sizes*, ASTM D198-84. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- Bodig, Jozef., Jayne, B.A. (1993). *Mechanics of wood and wood composites*. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- Bohnhoff, D. R. (1988). *Nonlinear Analysis of Multilayered, Horizontally, Nail-Laminated Wood Beams*. The 1988 ASAE International Winter Meeting, Chicago, IL. ASAE Paper No. 88-4511.
- Bohnhoff, D. R. (1990a). *Laminated Post Design, Bending Strength and Stiffness*. Light Frame Building Conference, Illinois, (1990).
- Bohnhoff, D. R. (1990b). *Modeling Vertically Mechanically Laminated Lumber*. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 115(10):2661-2679. (1990)
- Bohnhoff, D. R. (1992). *Modeling Horizontally Nail-Laminated Lumber*. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 118(5):1393-1406. (1992)
- Budianto, H. (2010). Studi eksperimental Kuat Lentur Balok Kayu Laminasi Dengan Penghubung Paku, Skripsi FT. Jurusan Teknik Sipil, UNPAR.
- Fengky. (2011). Studi eksperimental Kuat Tekan Kolom Kayu Laminasi Dengan Penghubung Paku Akibat Gaya Normal Sentris, Skripsi FT. Jurusan Teknik Sipil, UNPAR.
- Forest Product Laboratory. (1999). *Wood Handbook Wood as an Engineering Material*. Madison, U.S.A.
- Wenata, A. (2011). Studi eksperimental Kuat Lentur Balok Kayu Laminasi Horizontal Dengan Penghubung Paku, Skripsi FT. Jurusan Teknik Sipil, UNPAR.
- Williams, G.D., D.R. Bohnhoff and, R.C. Moody. (1992). *Bending Properties of Four Layer Nail-Laminated Posts*. The 1992 ASAE International Winter Meeting, Nashville, Tennessee. ASAE Paper No. 924543. ASAE, St Joseph, MI. (1992)

## **Ucapan Terima Kasih**

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami haturkan untuk LPPM UNPAR yang telah memberikan dana sehingga penelitian ini dapat berlangsung.

## **LAMPIRAN**

- Powerpoint presentasi hasil penelitian



**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat  
Universitas Katolik Parahyangan**

Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung 40141, telp. +62 22 2030918-20 ext 148, 144  
Fax. +62 22 2034847, email: lppm@home.unpar.ac.id

**Formulir-3. Bukti Pelaksanaan Seminar**

Dengan ini kami menerangkan bahwa:

1.	Judul Penelitian	<b>Balok dan Kolom Papan Kayu Laminasi- Paku</b>
2.	Klasifikasi Penelitian <sup>1</sup>	<b>1. Pengembangan Keilmuan</b>
3.	Ketua Peneliti / Pengusul	
	- Nama	Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
	- N I K	19850099
	- Jabatan Fungsional	Lektor Kepala / Pembina IV-A
	- Jabatan Struktural	Kepala laboratorium Teknik Struktur
	- Bidang Keahlian	Teknik Struktur
	- Jurusan	Teknik Sipil
	- Fakultas	Teknik

Telah melaksanakan seminar **Hasil Penelitian** di Jurusan Sipil FT UNPAR. pada tanggal 22 Pebruari 2011, di R-4205A

Bandung, 22 Pebruari 2011

**Ketua Jurusan Sipil**

**Dr. Paulus Karta Wijaya**

## LAPORAN PEMBIAYAAN

No	Jenis	unit	Rp/unit	Jumlah Rp	keterangan
1	Papan kayu albasia (lembar)	75	35.000	2.625.000	vertikal-15 sampel
2	Papan kayu albasia (lembar)	75	35.000	2.625.000	horisontal-15 sampel
3	paku (kg)	30	12.500	375.000	
4	honor tukang (hari)	20	75.000	1.500.000	
5	tinta laserjet	1	110.000	110.000	
6	jilid	5	20.000	100.000	
7	publikasi	1	500.000	500.000	
8	lain-lain	1	100.000	100.000	
9	Honor peneliti	4			
<b>JUMLAH</b>					