

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL  
BALOK KAYU LAMINASI DENGAN VARIASI  
MODULUS ELASTISITAS DAN BENTUK  
PENAMPANG**

**TESIS**



**Oleh:**

**Alvianti**

**2016831042**

**Pembimbing :**

**Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL – TEKNIK STRUKTUR  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
AGUSTUS 2020**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL BALOK KAYU  
LAMINASI DENGAN VARIASI MODULUS ELASTISITAS DAN  
BENTUK PENAMPANG**

**TESIS**



**Oleh:**

**Alvianti**

**2016831042**

**Pembimbing :**



**Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL – TEKNIK STRUKTUR  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
AGUSTUS 2020**

## PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Alvianti

NPM : 2016831042

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Sekolah Pascasarjana

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

Studi Eksperimental dan Numerikal Balok Kayu Laminasi Dengan Variasi  
Modulus Elastisitas dan Bentuk Penampang

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 18 Agustus 2020



Alvianti

# STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL BALOK KAYU LAMINASI DENGAN VARIASI MODULUS ELASTISITAS DAN BENTUK PENAMPANG

Alvianti (NPM : 2016831042)  
Pembimbing : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro  
Program Magister Teknik Sipil  
Sekolah Pascasarjana  
Universitas Katolik Parahyangan  
Bandung  
Agustus 2020

## ABSTRAK

Teknologi kayu laminasi digunakan untuk mendapatkan dimensi yang diinginkan dengan merekayasa dimensi komponen struktur kayu. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan penyusunan kayu laminasi yang optimal dari 4 buah papan. Tujuan lainnya adalah mempelajari perilaku lentur balok laminasi baik laminasi Albasia maupun kombinasi Albasia-Meranti. Papan kayu disusun menjadi penampang persegi panjang, I, dan boks menggunakan perekat *epoxy*. Pada balok laminasi kombinasi kayu Albasia-Meranti, kayu Meranti digunakan pada bagian flens balok penampang I dan boks. Pengujian lentur balok dilakukan menggunakan balok sederhana dengan pembebanan *third point loading*. Hasil uji lentur balok laminasi Kayu Albasia dengan penampang I memiliki kapasitas lentur elastis, plastis, dan daktilitas yang paling besar dibandingkan penampang persegi dan boks. Nilai faktor koreksi kekakuan pada balok laminasi kayu albasia penampang persegi panjang, I, dan boks adalah sebesar 0.597, 0.585 dan 0.582. Balok laminasi kombinasi Kayu Albasia-Meranti mampu meningkatkan kapasitas lentur elastis hingga 76.26% dan 45.41% dibandingkan balok laminasi kayu Albasia. Namun kombinasi kayu Albasia-Meranti menurunkan daktilitas. Model numerik dibuat menggunakan program ANSYS. Pada model numerik digunakan plastisitas material *Hill Criterion* dengan modulus elastisitas sejajar serat dari Tjondro (2000). Model material *Hill Criterion* cocok untuk benda uji persegi panjang.

Kata Kunci : Balok Laminasi Albasia-Meranti, Penampang I, Penampang Boks, Metode Elemen Hingga, Kriteria Hill

# EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF LAMINATED TIMBER BEAM WITH SECTION PROPERTY AND MODULUS ELASTICITY VARIATIONS

Alvianti (NPM : 2016831042)  
Advisor : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro  
Magister of Civil Engineering Program  
Parahyangan Catholic University  
Bandung  
August 2020

## ABSTRACT

Timber glulam beam is used to get the required cross section dimension. The aims of this study is to find the optimal bending capacity of the glulam cross section from 4 boards. Another purpose is to compare the bending behavior of Albasia glulam beams and the combination of Albasia-Meranti timber material. The timber beams are arranged into solid rectangular, I, and box section using epoxy adhesives. Meranti timber is used as flange of I and box section at combined timber material beams. The method to test bending behaviour is third point loading. Bending capacity and ductility of full Albasia glulam I beams is the highest compared to full Albasia glulam solid rectangular and box section. Stiffness correction factor of solid rectangular, I beam, and box are 0.597, 0.585, 0.582. Meranti timber as flange of I and box section glulam beams increase the bending capacity up to 76.26% and 45.41%, compared to full albasia beam. However, meranti timber as flange reduce beam ductility. Numerical study conducted using ANSYS finite element modeler. The finite element analysis use *Hill Criterion* with elasticity modulus parallel to the grain by Tjondro (2000). *Hill Criterion* suitable to solid rectangular beam model.

Keyword : Glulam Albasia-Meranti Beam, I beam section, Box section, Finite Element Analysis, Hill Criterion

## PRAKATA

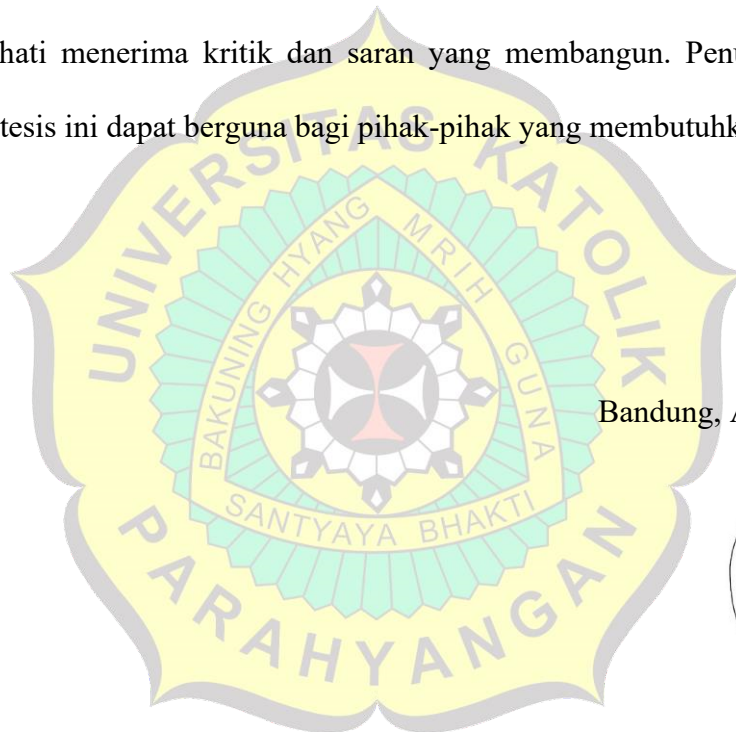
Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas rahmat yang berlimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL BALOK KAYU LAMINASI DENGAN VARIASI MODULUS ELASTISITAS DAN BENTUK PENAMPANG. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi magister di Fakultas Pasca Sarjana Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis mendapatkan banyak saran, kritikan, nasihat, serta dorongan semangat dari banyak pihak, sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini, izinkanlah penulis untuk menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan masukan serta wawasan kepada penulis dalam penulisan tesis ini.
2. Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D. selaku dosen penguji, yang telah memberikan masukan-masukan berarti dalam penyelesaian tesis ini.
3. Dr. Paulus Karta Wijaya selaku dosen penguji, yang telah memberikan masukan-masukan berarti dalam penyelesaian tesis ini dan juga selaku Kepala Laboratorium Struktur Universitas Katolik Parahyangan, yang telah memberikan izin untuk melakukan uji eksperimental di sana.
4. Teguh Farid Nurul Iman, S.T. selaku laboran yang telah membantu melakukan uji mekanikal property dan uji lentur balok boks glulan di Laboratorium Struktur Universitas Katolik Parahyangan.
5. Seluruh dosen jurusan Teknik Sipil Unpar yang telah membagikan ilmunya kepada penulis selama menjalani perkuliahan

6. Papa dan mama yang tidak henti-hentinya memberi doa, semangat, kasih sayang, perhatian pengertian dan keceriaan walaupun dari jauh di rumah.
7. Sonatha Christianto yang tiada henti setia memberikan waktu, kesabaran dan ketabahan, perhatian, pengertian, bantuan, peminjaman komputer dan semangat yang telah diberikan kepada penulis
8. Serta seluruh pihak lain yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini sehingga dapat diselesaikan yang tidak dapat disebutkan satu per satu

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan mengingat terbatasnya waktu, kemampuan, dan ilmu yang dimiliki. Penulis akan dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap laporan tesis ini dapat berguna bagi pihak-pihak yang membutuhkan.



Bandung, Agustus 2020

Alvianti

NPM 2016831042

# DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	
ABSTRACT	
PRAKATA	
DAFTAR ISI	i
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	vii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Inti Permasalahan	2
1.3. Tujuan Penulisan	3
1.4. Pembatasan masalah	4
1.5. Metode Penulisan	6
1.6. Sistematika penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Kayu	9
2.2. Sifat Fisik Kayu	10
2.2.1. Kadar Air Kayu	10



2.2.2.	Berat jenis	11
2.2.3.	Cacat Kayu	12
2.3.	Sifat-sifat Mekanis Kayu	12
2.3.1.	Kuat tarik kayu	12
2.3.2.	Kuat tekan kayu	13
2.3.3.	Kuat geser kayu	14
2.3.4.	Kuat lentur kayu	14
2.3.5.	Kuat belah kayu	15
2.3.6.	Modulus elastisitas kayu	15
2.3.7.	Modulus geser kayu	16
2.4.	Kayu Albasia	17
2.5.	Kayu Meranti	17
2.6.	Kayu laminasi	17
2.7.	Perekat kayu	18
2.8.	Balok dengan Beban Terpusat di Tengah	19
2.9.	Uji Third Point Loading	21
2.10.	Pola Keruntuhan Balok Uji Lentur	22
2.11.	Finite Elemen	24
2.12.	Prosedur Umum Analisis Metode Elemen Hingga pada ANSYS <i>Workbench</i>	25
2.13.	Pemodelan dalam ANSYS <i>Workbench</i>	25

2.13.1. Pemodelan <i>Mesh</i> dan Elemen Solid	25
2.13.2. Pemodelan Kondisi Batas	26
2.13.3. Pemilihan Permasalahan Kontak	27
2.14. Kriteria Hill	28
<b>BAB 3 STUDI EKSPERIMENTAL</b>	<b>31</b>
3.1. Pemilihan Bentuk Penampang	31
3.2. Pengujian Eksperimental	34
3.3. Bahan-bahan dan Alat-alat	36
3.4. Persiapan Bahan Benda Uji	37
3.5. Uji Berat Jenis dan Kadar Air	38
3.6. Pengujian Properti Mekanis Kayu Albasia dan Kayu Meranti	40
3.6.1. Uji Kuat Tekan Kayu Sejajar Serat	40
3.6.2. Uji Kuat Tekan Kayu Tegak Lurus Serat	43
3.6.3. Uji Kuat Geser Kayu	46
3.7. Sifat Ortotropik Kayu Albasia dan Meranti	52
3.7.1. Modulus Elastis Lentur Statis	52
3.7.2. Kuat Tekan Kayu Berdasarkan Berat Jenis Kayu	57
3.7.3. Sifat Elastis Ortotropik Kayu	58
3.7.4. Kriteria Hill	61
3.8. Kuat Geser Perekat	63
3.9. Pembuatan Balok Laminasi	65

3.10. Uji Lentur Balok Laminasi	72
3.11. Hasil Pengujian Lentur Balok Laminasi	77
3.11.1. Balok Laminasi Benda Uji PP1	77
3.11.2. Balok Laminasi Benda Uji PP2	80
3.11.3. Balok Laminasi Benda Uji PP3	82
3.11.4. Balok Laminasi Benda Uji IA1	85
3.11.5. Balok Laminasi Benda Uji IA2	87
3.11.6. Balok Laminasi Benda Uji IA3	90
3.11.7. Balok Laminasi Benda Uji IAM1	93
3.11.8. Balok Laminasi Benda Uji IAM2	96
3.11.9. Balok Laminasi Benda Uji IAM3	98
3.11.10. Balok Laminasi Benda Uji BA1	101
3.11.11. Balok Laminasi Benda Uji BA2	103
3.11.12. Balok Laminasi Benda Uji BA3	105
3.11.13. Balok Laminasi Benda Uji BAM1	108
3.11.14. Balok Laminasi Benda Uji BAM2	110
3.11.15. Balok Laminasi Benda Uji BAM3	112
3.12. Analisis Balok Penampang Persegi Panjang	115
3.13. Analisis Balok Penampang I Albasia	117
3.14. Analisis Balok Penampang I Albasia-Meranti	119
3.15. Analisis Balok Penampang Boks Albasia	120

3.16. Analisis Balok Penampang Boks Albasia-Meranti	122
3.17. Analisis Moda Kegagalan	123
3.17.1. Moda Kegagalan Penampang Persegi Kayu Albasia	123
3.17.2. Moda Kegagalan Penampang I Kayu Albasia	124
3.17.3. Moda Kegagalan Penampang I Kayu Albasia-Meranti	125
3.17.4. Moda Kegagalan Penampang Boks Kayu Albasia	126
3.17.5. Moda Kegagalan Penampang Boks Kayu Albasia-Meranti	127
3.18. Analisis Hasil Pengujian Lentur Balok	128
3.18.1. Perbandingan Kapasitas Lentur Balok Antar Penampang Kayu Albasia	129
3.18.2. Perbandingan Kapasitas Lentur Laminasi Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	131
3.19. Faktor Koreksi Untuk Balok Laminasi	133
<b>BAB 4 STUDI NUMERIKAL</b>	135
4.1. Pemodelan dengan Program ANSYS	135
4.1.1. Analisis Elemen Hingga dengan Program ANSYS	135
4.1.2. <i>Engineering Data</i>	135
4.1.3. <i>Geometry</i>	136
4.1.4. <i>Geometry Module</i>	138
4.1.5. <i>Connection</i>	140
4.1.6. <i>Mesh</i>	141

4.1.7. <i>Static Structural</i>	144
4.1.8. Chart	146
4.2. Analisi Numerik untuk Balok Laminasi	147
4.2.1. Analisis Lentur Numerikal Balok Penampang Persegi Panjang	147
4.2.2. Analisis Lentur Numerikal Balok Penampang I Albasia	149
4.2.3. Analisis Lentur Numerikal Balok Penampang I Albasia-Meranti	150
4.2.4. Analisis Lentur Numerikal Balok Penampang Boks Albasia	152
4.2.5. Analisis Lentur Numerikal Balok Penampang Boks Albasia-Meranti	154
4.3. Perbandingan Hasil Uji Lentur Numerikal dan Eksperimental	155
4.3.1. Perbandingan Benda Uji Persegi Panjang	155
4.3.2. Perbandingan Benda Uji Penampang I dan Boks Kayu Albasia	156
4.3.3. Perbandingan Benda Uji Penampang I dan Boks Albasia-Meranti	156
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	157
5.1 Kesimpulan	157
5.2 Saran	160
DAFTAR PUSTAKA	161

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$A_i$	= Benda uji kayu Albasia ke-i
ANSYS	= <i>Analysis System</i>
APDL	= <i>ANSYS Parametric Design Language</i>
ASTM	= <i>American Society of Testing and Materials</i>
b	= Lebar benda uji material
B	= Lebar benda uji balok laminasi
BA	= Balok laminasi berpenampang Boks berbahan Kayu Albasia
BAM	= Balok laminasi berpenampang Boks laminasi berbahan Kayu Albasia-Meranti
$\delta$	= Lendutan
$\delta_{yield}$	= Lendutan pada saat tegangan normal leleh terjadi
$\delta_{ult}$	= Lendutan terbesar yang mampu dipikul benda uji
$\delta_{max}$	= Lendutan pada saat maksimum
$\delta_{perhitungan}$	= Lendutan sesuai dengan perhitungan
$\Delta P_T$	= Selisih beban pada kondisi inelastis
$\Delta y_T$	= Selisih lendutan pada kondisi inelastis
dkk	= dan kawan-kawan
$\epsilon_{yield}$	= Regangan normal saat tegangan normal leleh terjadi
$E_o$	= Kemiringan pada grafik tegangan-regangan saat material dalam kondisi inelastis
$E_L$	= Modulus elastisitas arah longitudinal

$E_R$	= Modulus elastisitas arah radial
$E_{SB}$	= Modulus elastisitas yang didapat dari uji lentur statik
$E_T$	= Modulus elastisitas arah tangensial
$G_{LR}$	= Modulus geser bidang L arah R
$G_{LT}$	= Modulus geser bidang L arah T
Glulam	= <i>Glue Laminated</i>
gr	= Gram
$\text{gr/cm}^3$	= Gram per sentimeter kubik
$G_{RT}$	= Modulus geser bidang R arah T
h	= Panjang benda uji material
H	= Tinggi benda uji balok laminasi
I	= Momen Inersia
k	= Faktor koreksi antara lendutan perhitungan dengan lendutan hasil dari percobaan
L	= Panjang bentang
LR	= Longitudinal radial
LT	= Longitudinal tangensial
LVDT	= <i>Linier Variable Differential Transformer</i>
$I_x$	= Momen inersia arah sumbu x
IA	= Balok laminasi berpenampang I berbahan Kayu Albasia
IAM	= Balok laminasi berpenampang I berbahan Kayu Albasia-Meranti
M	= Momen
MC	= <i>Moisture content</i> 'kadar air'

mm	= Milimeter
mm <sup>2</sup>	= Milimeter persegi
mm <sup>3</sup>	= Milimeter kubik
mm <sup>4</sup>	= Milimeter pangkat 5
MPa	= Mega Pascal
$M_{yield}$	= Momen pada saat tegangan normal leleh terjadi
$M_{ult}$	= Momen terbesar yang mampu dipikul benda uji
$M_T$	= Selisih Momen pada kondisi inelastik
$\mu_{LR}$	= Rasio poisson arah LR
$\mu_{LT}$	= Rasio poisson arah LT
$\mu_{RL}$	= Rasio poisson arah RL
$\mu_{RT}$	= Rasio poisson arah RT
$\mu_{TL}$	= Rasio poisson arah TL
$\mu_{TR}$	= Rasio poisson arah TR
P	= Beban
$P_{max}$	= Beban maksimum
$P_{yield}$	= Beban pada saat tegangan normal leleh terjadi
$P_{ult}$	= Beban terbesar yang mampu dipikul benda uji
PP	= Balok laminasi berpenampang Persegi Panjang berbahan Kayu Albasia
N	= Newton
$R_{xx}$	= Perbandingan tegangan lentur arah x dengan tegangan acuan
$R_{yy}$	= Perbandingan tegangan lentur arah y dengan tegangan acuan
$R_{zz}$	= Perbandingan tegangan lentur arah z dengan tegangan acuan



x

$R_{xy}$  = Perbandingan tegangan geser arah xy dengan tegangan acuan

$R_{xz}$  = Perbandingan tegangan geser arah xz dengan tegangan acuan

$R_{yz}$  = Perbandingan tegangan geser arah yz dengan tegangan acuan

RT = Radial Tangensial

SG = *Specific gravity* 'berat jenis'

SNI = Standar Nasional Indonesia

t = Tinggi benda uji material

$t_f$  = Tebal flens

$t_w$  = Tebal web

UTM = *Universal Testing Machine*

V = Volume benda uji

$W_{\text{basah}}$  = Berat benda uji dalam keadaan basah

$W_{\text{kering}}$  = Berat benda uji dalam keadaan kering

$\sigma_a$  = Tegangan normal serat teratas balok

$\sigma_b$  = Tegangan normal serat terbawah balok

$\sigma_{\text{yield}}$  = Tegangan pada saat tegangan normal leleh terjadi

$\sigma_{yL}$  = Tegangan leleh tekan sejajar serat

$\sigma_{yR}$  = Tegangan leleh tekan tegak lurus serat arah radial

$\sigma_{yT}$  = Tegangan leleh tekan tegak lurus serat arah tangensial

$\sigma_0$  = Tegangan leleh tekan/normal acuan

$\sigma_x^Y$  = Tegangan leleh tekan arah sumbu x

$\sigma_y^Y$  = Tegangan leleh tekan arah sumbu y

$\sigma_z^Y$  = Tegangan leleh tekan arah sumbu z

$\tau_{LT}$	= Tegangan geser maksimal arah LT
$\tau_{LR}$	= Tegangan geser maksimal arah LR
$\tau_{RT}$	= Tegangan geser maksimal arah RT
$\tau_{xy}^Y$	= Tegangan leleh geser arah xy
$\tau_{yz}^Y$	= Tegangan leleh geser arah yz
$\tau_{xz}^Y$	= Tegangan leleh geser arah xz
$y_a$	= Jarak serat paling atas balok ke titik berat arah sumbu y
$y_b$	= Jarak serat paling bawah balok ke titik berat arah sumbu y





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Penampang Balok yang Digunakan	5
Gambar 1. 2 Diagram Alir Metode Penulisan Makalah	6
Gambar 2. 1 Sumbu Utama Material Kayu (Wood Handbook,2010)	9
Gambar 2. 2 Kuat Tarik Kayu	13
Gambar 2. 3 Kuat Tekan Kayu	13
Gambar 2. 4 Gaya Geser Sejajar Serat pada Penampang Kayu	14
Gambar 2. 5 Kuat Lentur Kayu	15
Gambar 2. 6 Kuat Belah Kayu	15
Gambar 2. 7 Ilustrasi Balok Laminasi (Timber Engineering, 2003)	18
Gambar 2. 8 Bidang Momen dan Geser <i>Third Point Loading</i> pada 1/3 Bentang	21
Gambar 2. 9 Pola Keruntuhan Balok Kayu (ASTM D143-94, 2000)	23
Gambar 2. 10 Bentuk Elemen (a) Hexahedron dan (b) Tetrahedron (FEM, ANSYS)	26
Gambar 3. 1 Bentuk Penampang	31
Gambar 3. 2 Benda Uji Kuat Tekan Sejajar Serat	41
Gambar 3. 3 Proses Uji Kuat Tekan Sejajar Serat	41
Gambar 3. 4 Kurva Tegangan – Regangan Uji Kuat Tekan Sejajar Serat Kayu Albasia	42
Gambar 3. 5 Kurva Tegangan – Regangan Uji Kuat Tekan Sejajar Serat Kayu Meranti	42
Gambar 3. 6 Benda Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat	43

Gambar 3. 7 Proses Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat	43
Gambar 3. 8 Kurva Tegangan – Regangan Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat Arah Radial Kayu Albasia	44
Gambar 3. 9 Kurva Tegangan – Regangan Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat Arah Radial Kayu Meranti	45
Gambar 3. 10 Kurva Tegangan – Regangan Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat Arah Tangensial Kayu Albasia	45
Gambar 3. 11 Kurva Tegangan – Regangan Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat Arah Tangensial Kayu Meranti	46
Gambar 3. 12 Dimensi Uji Kuat Geser Kayu	47
Gambar 3. 13 Benda Uji Kuat Geser Kayu	47
Gambar 3. 14 Proses Uji Kuat Geser Kayu	47
Gambar 3. 15 Grafik Beban - Peralihan Uji Kuat Kuat Geser Bidang LT Kayu Albasia	48
Gambar 3. 16 Grafik Beban - Peralihan Uji Kuat Kuat Geser Bidang LT Kayu Meranti	49
Gambar 3. 17 Grafik Beban - Peralihan Uji Kuat Kuat Geser Bidang LR Kayu Albasia	49
Gambar 3. 18 Grafik Beban - Peralihan Uji Kuat Kuat Geser Bidang LR Kayu Meranti	50
Gambar 3. 19 Grafik Beban - Peralihan Uji Kuat Kuat Geser Bidang RT Kayu Albasia	51
Gambar 3. 20 Grafik Beban - Peralihan Uji Kuat Kuat Geser Bidang RT Kayu Meranti	51

Gambar 3. 21 Dimensi Penampang balok yang digunakan	65
Gambar 3. 22 Proses Melapisi Papan-Papan Kayu Menggunakan Lem Epoxy	70
Gambar 3. 23 Proses Perekatan Kayu Setelah Di Lapisi Lem Menggunakan Besi Siku	70
Gambar 3. 24 Lokasi pemberian kelos-kelos kayu pada balok laminasi penampang Boks	71
Gambar 3. 25 Balok-balok benda uji yang siap untuk diuji	71
Gambar 3. 26 Persiapan Untuk Pengujian Balok PP1	72
Gambar 3. 27 Persiapan Untuk Pengujian Balok PP2	73
Gambar 3. 28 Persiapan Untuk Pengujian Balok PP3	73
Gambar 3. 29 Persiapan Untuk Pengujian Balok IA1	73
Gambar 3. 30 Persiapan Untuk Pengujian Balok IA2	74
Gambar 3. 31 Persiapan Untuk Pengujian Balok IA3	74
Gambar 3. 32 Persiapan Untuk Pengujian Balok IAM1	74
Gambar 3. 33 Persiapan Untuk Pengujian Balok IAM2	75
Gambar 3. 34 Persiapan Untuk Pengujian Balok IAM3	75
Gambar 3. 35 Persiapan Untuk Pengujian Balok BA1	75
Gambar 3. 36 Persiapan Untuk Pengujian Balok BA2	76
Gambar 3. 37 Persiapan Untuk Pengujian Balok BA3	76
Gambar 3. 38 Persiapan Untuk Pengujian Balok BAM1	76
Gambar 3. 39 Persiapan Untuk Pengujian Balok BAM2	77
Gambar 3. 40 Persiapan Untuk Pengujian Balok BAM3	77
Gambar 3. 41 Grafik Beban Vs Peralihan Balok PP1	78
Gambar 3. 42 Sketsa Moda Kegagalan Balok PP1	78

Gambar 3. 43 Dokumentasi pengujian balok PP1	79
Gambar 3. 44 Pola retak spesimen PP1 – tampak samping	79
Gambar 3. 45 Pola retak spesimen PP1 – jarak dekat	79
Gambar 3. 46 Grafik Beban Vs Peralihan Balok PP2	80
Gambar 3. 47 Sketsa Moda Kegagalan Balok PP2	81
Gambar 3. 48 Dokumentasi pengujian balok PP2	81
Gambar 3. 49 Pola retak spesimen PP2 – tampak samping	82
Gambar 3. 50 Pola retak spesimen PP3 – jarak dekat	82
Gambar 3. 51 Grafik Beban Vs Peralihan Balok PP3	83
Gambar 3. 52 Sketsa Moda Kegagalan Balok PP3	83
Gambar 3. 53 Dokumentasi pengujian balok PP3	84
Gambar 3. 54 Pola retak spesimen PP3 – tampak samping	84
Gambar 3. 55 Pola retak spesimen PP3 – jarak dekat	84
Gambar 3. 56 Grafik Beban Vs Peralihan Balok IA1	85
Gambar 3. 57 Sketsa Moda Kegagalan Balok IA1	86
Gambar 3. 58 Hasil Pengujian dan Moda Kegagalan Balok IA1	86
Gambar 3. 59 Pola retak spesimen IA1 – keseluruhan	87
Gambar 3. 60 Pola retak spesimen IA1 – tampak samping	87
Gambar 3. 61 Pola retak spesimen IA1 – flens tarik	87
Gambar 3. 62 Grafik Beban Vs Peralihan Balok IA2	88
Gambar 3. 63 Sketsa Moda Kegagalan Balok IA2	88
Gambar 3. 64 Hasil Pengujian dan Moda Kegagalan Balok IA2	89
Gambar 3. 65 Pola retak spesimen IA2 – keseluruhan	89
Gambar 3. 66 Pola retak spesimen IA2 – tampak samping	90

Gambar 3. 67 Pola retak spesimen IA2 – flens tarik	90
Gambar 3. 68 Grafik Beban Vs Peralihan Balok IA3	91
Gambar 3. 69 Sketsa Moda Kegagalan Balok IA3	91
Gambar 3. 70 Hasil Pengujian dan Moda Kegagalan Balok IA3	92
Gambar 3. 71 Pola retak spesimen IA3 – keseluruhan	92
Gambar 3. 72 Pola retak spesimen IA3 – web	93
Gambar 3. 73 Grafik Beban Vs Peralihan Balok IAM1	94
Gambar 3. 74 Sketsa Moda Kegagalan Balok IAM1	94
Gambar 3. 75 Dokumentasi pengujian balok IAM1	95
Gambar 3. 76 Pola retak spesimen IAM1 – tampak samping	95
Gambar 3. 77 Pola retak spesimen IAM1 – jarak dekat	95
Gambar 3. 78 Grafik Beban Vs Peralihan Balok IAM2	96
Gambar 3. 79 Sketsa Moda Kegagalan Balok IAM2	97
Gambar 3. 80 Dokumentasi pengujian balok IAM2	97
Gambar 3. 81 Pola retak spesimen IAM2 – tampak samping	98
Gambar 3. 82 Pola retak spesimen IAM2 – jarak dekat	98
Gambar 3. 83 Grafik Beban Vs Peralihan Balok IAM3	99
Gambar 3. 84 Sketsa Moda Kegagalan Balok IAM3	99
Gambar 3. 85 Dokumentasi pengujian balok IAM3	100
Gambar 3. 86 Pola retak spesimen IAM1 – keseluruhan	100
Gambar 3. 87 Pola retak spesimen IAM1 – jarak dekat	100
Gambar 3. 88 Grafik Beban vs Peralihan Balok BA1	101
Gambar 3. 89 Sketsa Moda Kegagalan Balok BA1	102
Gambar 3. 90 Dokumentasi pengujian balok BA1	102



Gambar 3. 91 Pola retak spesimen BA1 – tampak samping	102
Gambar 3. 92 Pola retak spesimen BA1 – jarak dekat	103
Gambar 3. 93 Grafik Beban vs Peralihan Balok BA2	104
Gambar 3. 94 Sketsa Moda Kegagalan Balok BA2	104
Gambar 3. 95 Dokumentasi pengujian balok BA2	104
Gambar 3. 96 Dokumentasi pengujian balok BA2	105
Gambar 3. 97 Pola retak spesimen BA2 – tampak samping	105
Gambar 3. 98 Pola retak spesimen BA2 – jarak dekat	105
Gambar 3. 99 Grafik Beban Vs Peralihan Balok BA3	106
Gambar 3. 100 Sketsa Moda Kegagalan Balok BA3	106
Gambar 3. 101 Dokumentasi pengujian balok BA3	107
Gambar 3. 102 Pola retak spesimen BA3 – tampak samping	107
Gambar 3. 103 Pola retak spesimen BA3 – jarak dekat	107
Gambar 3. 104 Grafik Beban Vs Peralihan Balok BAM1	108
Gambar 3. 105 Sketsa Moda Kegagalan Balok BAM1	109
Gambar 3. 106 Dokumentasi pengujian balok BAM1	109
Gambar 3. 107 Pola retak spesimen BAM1 – tampak samping	110
Gambar 3. 108 Pola retak spesimen BAM1 – flens tarik	110
Gambar 3. 109 Grafik Beban Vs Peralihan Balok BAM2	111
Gambar 3. 110 Sketsa Moda Kegagalan Balok BAM2	111
Gambar 3. 111 Dokumentasi pengujian balok BAM2	111
Gambar 3. 112 Pola retak spesimen BAM2 – tampak samping	112
Gambar 3. 113 Pola retak spesimen BAM2 – flens tarik	112
Gambar 3. 114 Grafik Beban Vs Peralihan Balok BAM3	113

Gambar 3. 115 Sketsa Moda Kegagalan Balok BAM3	113
Gambar 3. 116 Dokumentasi pengujian balok BAM3	114
Gambar 3. 117 Pola retak spesimen BAM3 – tampak samping	114
Gambar 3. 118 Pola retak spesimen BAM3 – flens tarik	114
Gambar 3. 119 Perbandingan Grafik Beban vs Peralihan Balok Persegi Panjang Kayu Albasia	116
Gambar 3. 120 Perbandingan Grafik Beban vs Peralihan Balok I Kayu Albasia	118
Gambar 3. 121 Perbandingan Grafik Beban vs Peralihan Balok I Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	119
Gambar 3. 122 Perbandingan Grafik Beban vs Peralihan Balok Boks Kayu Albasia	121
Gambar 3. 123 Perbandingan Grafik Beban vs Peralihan Balok Boks Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	122
Gambar 3. 124 Grafik Bilinier Beban vs Peralihan Semua Penampang Kayu Albasia	130
Gambar 3. 125 Perbandingan Grafik Bilinier Beban vs Peralihan Balok I Kayu Albasia dengan Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	132
Gambar 3. 126 Perbandingan Grafik Bilinier Beban vs Peralihan Balok Boks Kayu Albasia dengan Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	132
Gambar 4. 1 Input Data Material pada ANSYS	136
Gambar 4. 2 Geometri Balok Laminasi Penampang Persegi Panjang	137
Gambar 4. 3 Geometri Balok Laminasi Penampang I	137
Gambar 4. 4 Geometri Balok Laminasi Penampang Boks	138
Gambar 4. 5 Pemilihan Jenis Kayu untuk Setiap Elemen Kayu	139

Gambar 4. 6 <i>Commands</i> APDL Sifat Ortotropik Kayu	139
Gambar 4. 7 Pemilihan Jenis Kontak Antar Elemen	141
Gambar 4. 8 SOLID186 20-Node	142
Gambar 4. 9 <i>Meshing</i> pada Penampang Persegi Panjang	143
Gambar 4. 10 <i>Meshing</i> pada Penampang I	143
Gambar 4. 11 <i>Meshing</i> pada Penampang Boks	143
Gambar 4. 12 Pemodelan kondisi batas	145
Gambar 4. 13 Lendutan Arah Sumbu Y	146
Gambar 4. 14 Grafik Beban Versus Lendutan Tengah Bentang dari Program ANSYS	146
Gambar 4. 15 Grafik Beban vs Peralihan Balok PP1	148
Gambar 4. 16 Grafik Beban vs Peralihan Balok PP2	148
Gambar 4. 17 Grafik Beban vs Peralihan Balok PP3	148
Gambar 4. 18 Grafik Beban vs Peralihan Balok IA1	149
Gambar 4. 19 Grafik Beban vs Peralihan Balok IA2	150
Gambar 4. 20 Grafik Beban vs Peralihan Balok IA3	150
Gambar 4. 21 Grafik Beban vs Peralihan Balok IAM1	151
Gambar 4. 22 Grafik Beban vs Peralihan Balok IAM2	151
Gambar 4. 23 Grafik Beban vs Peralihan Balok IAM3	152
Gambar 4. 24 Grafik Beban vs Peralihan Balok BA1	153
Gambar 4. 25 Grafik Beban vs Peralihan Balok BA2	153
Gambar 4. 26 Grafik Beban vs Peralihan Balok BA3	153
Gambar 4. 27 Grafik Beban vs Peralihan Balok BAM1	154
Gambar 4. 28 Grafik Beban vs Peralihan Balok BAM2	155

Gambar 4. 29 Grafik Beban vs Peralihan Balok BAM3





## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Desain dan Modulus Elastisitas Lentur Acuan (SNI 7973-2013)	16
Tabel 2. 2 Faktor Koreksi Luas Penampang Geser (Cook, dkk, 1999)	20
Tabel 3. 1 Hasil Uji Berat Jenis dan Kadar Air Kayu Albasia	38
Tabel 3. 2 Hasil Uji Berat Jenis dan Kadar Air Kayu Meranti	40
Tabel 3. 3 Hasil Uji Kuat Tekan Sejajar Serat Kayu Albasia	41
Tabel 3. 4 Hasil Uji Kuat Tekan Sejajar Serat Kayu Meranti	42
Tabel 3. 5 Hasil Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat Arah Radial Kayu Albasia	44
Tabel 3. 6 Hasil Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat Arah Radial Kayu Meranti	44
Tabel 3. 7 Hasil Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat Arah Tangensial Kayu Albasia	45
Tabel 3. 8 Hasil Uji Kuat Tekan Tegak Lurus Serat Arah Tangensial Kayu Meranti	46
Tabel 3. 9 Hasil Uji Kuat Geser Bidang LT Kayu Albasia	48
Tabel 3. 10 Hasil Uji Kuat Geser Bidang LT Kayu Meranti	48
Tabel 3. 11 Hasil Uji Kuat Geser Bidang LR Kayu Albasia	49
Tabel 3. 12 Hasil Uji Kuat Geser Bidang LR Kayu Meranti	50
Tabel 3. 13 Hasil Uji Kuat Geser Bidang RT Kayu Albasia	50
Tabel 3. 14 Hasil Uji Kuat Geser Bidang RT Kayu Meranti	51
Tabel 3. 15 Hasil dan Analisis Uji Lentur Non-Destruktif Elemen Balok Kayu Albasia	53
Tabel 3. 16 Hasil dan Analisis Uji Lentur Non-Destruktif Elemen Balok Kayu Meranti	56

Tabel 3. 17 Modulus Elastisitas Longitudinal Kayu Albasia (Tjondro, J.A (2000))	57
Tabel 3. 18 Modulus Elastisitas Longitudinal Kayu Meranti (Tjondro, J.A (2000))	58
Tabel 3. 19 Sifat Elastis Ortotropik Kayu Albasia	59
Tabel 3. 20 Sifat Elastis Ortotropik Kayu Meranti	59
Tabel 3. 21 Sifat Elastis Ortotropik Elemen Balok Kayu Albasia	59
Tabel 3. 22 Sifat Elastis Ortotropik Elemen-elemen Balok Kayu Meranti	60
Tabel 3. 23 Kriteria Hill Kayu Albasia dan Kayu Meranti	61
Tabel 3. 24 Hasil Uji Kuat Geser Perekat Pada Albasia LR – Albasia LR	63
Tabel 3. 25 Hasil Uji Kuat Geser Perekat Pada Meranti LR – Meranti LR	63
Tabel 3. 26 Hasil Uji Kuat Geser Perekat Pada Albasia LR – Meranti LR	64
Tabel 3. 27 Hasil Uji Kuat Geser Perekat Pada Albasia RT – Albasia RT	64
Tabel 3. 28 Hasil Uji Kuat Geser Perekat Pada Meranti RT – Meranti RT	64
Tabel 3. 29 Hasil Uji Kuat Geser Perekat Pada Albasia RT – Meranti RT	64
Tabel 3. 30 Komposisi Elemen Balok PP1	65
Tabel 3. 31 Komposisi Elemen Balok PP2	66
Tabel 3. 32 Komposisi Elemen Balok PP3	66
Tabel 3. 33 Komposisi Elemen Balok IA1	66
Tabel 3. 34 Komposisi Elemen Balok IA2	66
Tabel 3. 35 Komposisi Elemen Balok IA3	66
Tabel 3. 36 Komposisi Elemen Balok BA1	67
Tabel 3. 37 Komposisi Elemen Balok BA2	67
Tabel 3. 38 Komposisi Elemen Balok BA3	67

Tabel 3. 39 Komposisi Elemen Balok IAM1	67
Tabel 3. 40 Komposisi Elemen Balok IAM2	67
Tabel 3. 41 Komposisi Elemen Balok IAM3	68
Tabel 3. 42 Komposisi Elemen Balok BAM 1	68
Tabel 3. 43 Komposisi Elemen Balok BAM2	68
Tabel 3. 44 Komposisi Elemen Balok BAM3	68
Tabel 3. 45 Perbandingan Hasil Uji Balok Persegi Panjang Kayu Albasia	116
Tabel 3. 46 Perbandingan Hasil Uji Balok I Kayu Albasia	118
Tabel 3. 47 Perbandingan Hasil Uji Balok I Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	120
Tabel 3. 48 Perbandingan Hasil Uji Balok Boks Kayu Albasia	121
Tabel 3. 49 Perbandingan Hasil Uji Balok Boks Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	123
Tabel 3. 50 Moda Kegagalan Balok Penampang Persegi Panjang Kayu Albasia	124
Tabel 3. 51 Moda Kegagalan Balok Penampang I Kayu Albasia	125
Tabel 3. 52 Moda Kegagalan Balok Penampang I Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	126
Tabel 3. 53 Moda Kegagalan Balok Penampang Boks Kayu Albasia	127
Tabel 3. 54 Moda Kegagalan Balok Penampang Boks Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	127
Tabel 3. 55 Perbandingan Beban dan Peralihan Antar Penampang	128
Tabel 3. 56 Perbandingan Beban dan Peralihan Bilinier Semua Penampang Kayu Albasia	131



Tabel 3. 57 Perbandingan Beban dan Peralihan Balok Kayu Albasia dengan Kombinasi Kayu Albasia-Meranti	132
Tabel 3. 58 Faktor Koreksi EI	133
Tabel 4. 1 Dimensi Benda Uji Kayu Albasia	136
Tabel 4. 2 Dimensi Benda Uji Kayu Meranti	137
Tabel 4. 3 Konversi sumbu masing-masing elemen kearah sumbu global	138



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pada zaman modern ini, struktur bangunan menggunakan material beton dan baja. Akan tetapi penggunaan material beton dan baja dapat mengakibatkan kerusakan alam, yaitu pengambilan material dan polusi yang dihasilkan dalam pembuatan material. Sehingga perlu dilakukan pemilihan material yang ramah lingkungan, contoh material kayu. Hal ini dikarenakan, material kayu mudah terurai kembali dan dapat diperbaharui.

Di Indonesia sendiri penggunaan kayu sebagai bahan bangunan telah dikenal sejak lama. Penggunaan kayu banyak digunakan untuk konstruksi sederhana, seperti konstruksi rangka atap, rumah tinggal, jembatan bentang pendek, dan lain-lain. Akan tetapi, biasanya kayu hanya digunakan untuk bagian struktur konstruksi ringan pada bangunan. Padahal kayu juga dapat digunakan sebagai komponen utama struktural seperti balok, kolom, dan pelat lantai.

Sifat material dari kayu adalah non-homogen dan anisotropik. Sifat non-homogen yang dimaksud adalah kekuatan dan sifat pada suatu potongan kayu tidak sama di setiap lokasinya. Sedangkan sifat anisotropik adalah sifat material pada semua arah berbeda. Berdasarkan sifat material kayu tersebut, maka kayu sulit untuk memprediksi kekuatan kayu secara akurat. Sehingga, untuk mendesain kekuatan kayu banyak dilakukan penyederhanaan dan pendekatan pada sifat materialnya.

Keuntungan dari penggunaan material kayu adalah memiliki rasio kekuatan dengan berat yang tinggi. Kelebihan lainnya adalah pengerjaan yang mudah dilakukan, memiliki waktu yang singkat dalam pengerjaannya, mudah dibentuk dan disambung, penghantar listrik yang buruk, meredam suara, menahan panas, dan memberikan aspek estetika yang baik. Kekurangan dari penggunaan material kayu adalah kayu yang didapatkan tidak memiliki dimensi yang sesuai dengan kebutuhan, dan harga kayu yang relatif mahal sehingga biasanya digunakan kayu dengan mutu rendah.

Berdasarkan kekurangan kayu, maka digunakan dilakukan rekayasa berupa kayu laminasi. Kayu laminasi adalah penggabungan satu atau lebih kayu dengan cara direkatkan menjadi satu kesatuan. Perkat yang dapat digunakan diantara lain lem, sekrup, baut, dan paku.

Penelitian ini membahas mengenai kayu laminasi dengan menggunakan penampang profil persegi panjang, profil I, dan profil boks. Alat penyambung yang digunakan adalah lem. Hasil uji eksperimen akan dibandingkan dengan analisis numerikal dengan menggunakan program ANSYS. Sifat material kayu dalam analisis numerik disederhankan menjadi homogen, ortotropik, dan bilinier.

## **1.2. Inti Permasalahan**

Penggunaan kayu sebagai komponen struktural harus memiliki kekuatan yang sesuai dengan rencana. Hal ini menyebabkan dibutuhkan kayu dengan dimensi yang lebih besar. Ketidakseimbangan antara produksi dan konsumsi kayu membuat kayu dengan dimensi besar sukar ditemui. Teknologi kayu laminasi digunakan

untuk mendapatkan dimensi yang diinginkan, dengan cara merakayasa dimensi komponen struktur kayu.

Kayu laminasi tidak hanya dapat dibuat berpenampang persegi panjang, tetapi juga dapat dibuat dengan penampang lain seperti I dan Boks. Penampang kayu yang berbeda dapat menghasilkan kekuatan yang berbeda dari setiap penampangnya. Maka diperlukan penelitian untuk mengetahui perbandingan dari kekuatan balok kayu laminasi dengan perbedaan bentuk kayu laminasi.

### 1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan tesis ini adalah:

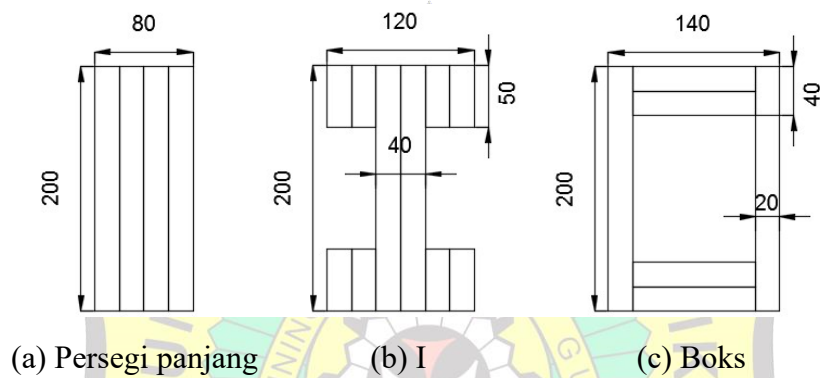
1. Membandingkan kekakuan dan kekuatan antar penampang kayu laminasi yang keluar dari 4 buah papan.
2. Mempelajari perilaku lentur balok laminasi kombinasi Kayu Albasia dan Kayu Meranti.
3. Mempelajari perilaku nonlinier kayu laminasi.
4. Mendefinisikan moda kegagalan penampang kayu laminasi.
5. Mencari faktor koreksi desain terhadap uji eksperimental.
6. Membandingkan hasil uji eksperimental perilaku lentur balok profil persegi panjang, I, dan boks dengan analisis numerikal menggunakan program ANSYS
7. Melakukan kalibrasi dan verifikasi model numerikal dengan Program ANSYS.

#### 1.4. Pembatasan masalah

Pembatasan masalah pada makalah ini adalah sebagai berikut:

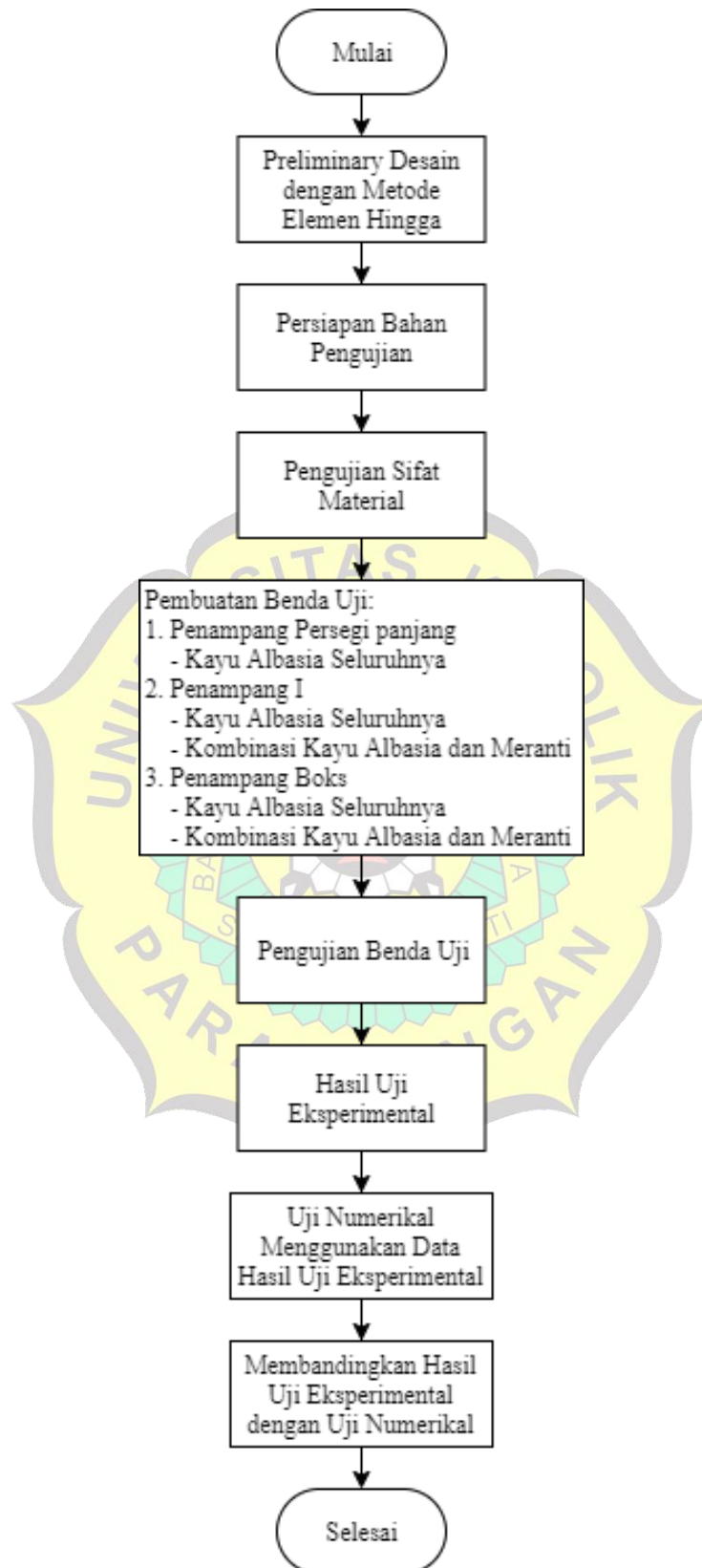
1. Profil penampang yang digunakan ada 3 type, yaitu Persegi panjang, I dan Boks seperti pada Gambar 1.1.
2. Setiap penampang memiliki nilai luas dan tinggi yang sama antara penampang Persegi panjang, I, dan Boks.
3. Benda uji berbentuk balok dengan dimensi:  
Persegi panjang :  $B_1 = 80\text{mm}$ ,  $H = 200\text{mm}$   
Penampang I :  $B_2 = 120\text{mm}$ ,  $H = 200\text{mm}$ ,  $h_f = 50\text{mm}$ ,  $h_w = 40\text{mm}$   
Penampang Boks :  $B_3 = 140\text{mm}$ ,  $H = 200\text{mm}$ ,  $h_f = 40\text{mm}$ ,  $h_w = 20\text{mm}$
4. Perekat yang digunakan adalah perekat Epoxy.
5. Sampel uji masing-masing kombinasi balok laminasi berjumlah 3
6. Panjang benda uji adalah 2000mm.
7. Bentang benda uji adalah 1800mm.
8. Tipe tumpuan adalah balok diatas 2 perletakan.
9. Pengujian dilakukan dengan metode pembebanan *third point loading*.
10. Sifat elastis ortotropik kayu didapat dari uji tekan sejajar serat dengan benda uji berukuran *secondary method* (ASTM D143-09), yang menghasilkan besaran modulus elastisitas  $E_L$  yang berbeda dengan modulus elastisitas yang didapat dari hasil uji lentur.
11. Data modulus elastisitas longitudinal,  $E_L$ , masing-masing kayu disamakan dengan modulus elastisitas dari uji lentur,  $E_{SB}$ , yang diuji dengan analisis baok sederhana dengan beban terpusat di tengah dan dianalisis secara isotropic.

12. Kayu dianggap sebagai material yang homogen dan bersifat ortotropik.
13. Kurva tegangan-regangan material kayu diasumsikan bilinear.
14. Arah serat kayu dianggap orthogonal terhadap arah radial dan tangensialnya.
15. Perekat kayu diasumsikan tidak slip selama perilaku lentur balok masih elastis.
16. Tidak ada *lateral torsional buckling* karena pada tumpuan dan beban diberikan tahanan lateral.



**Gambar 1.1** Penampang Balok yang Digunakan

### 1.5. Metode Penulisan



**Gambar 1. 2** Diagram Alir Metode Penulisan Makalah

## 1. Studi pustaka

Bahan-bahan yang digunakan sebagai referensi berasal dari buku-buku, *paper*, maupun peraturan yang berlaku mengenai kayu.

## 2. Studi analisis

Analisis menggunakan bantuan program ANSYS. Sedangkan proses perhitungan menggunakan bantuan program Mathcad dan Microsoft Excel.

### 1.6. Sistematika penulisan

Berikut ini adalah sistematika penulisan makalah ini:

#### Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang masalah, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan makalah ini

#### Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori-teori mengenai kayu, eksperimen kayu, dan ANSYS.

#### Bab 3 Studi Numerikal

Bab ini berisi penjelasan proses input program ANSYS dan *output* program ANSYS untuk balok laminasi.

#### Bab 4 Uji Eksperimental

Bab ini berisi persiapan pengujian, pelaksanaan pengujian, dan analisis hasil uji material dan balok laminasi. Membandingkan antara hasil analisis numerikal dengan hasil eksperimental.



## Bab 5 Simpulan dan Saran

Bab ini membahas mengenai kesimpulan akhir dari hasil analisis dan saran-saran berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada pembahasan yang telah dilakukan

