

PEMODELAN NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL SAMBUNGAN KAYU BATANG TEKAN

Deny Anarista Sitorus
NRP: 0621060

Pembimbing: Yosafat Aji Pranata, ST., MT.

ABSTRAK

Sambungan kayu merupakan bagian atau elemen suatu konstruksi, dimana penggunaan sambungan pada kayu diperuntukkan untuk bentang panjang. Kayu merupakan material ortotropik, yaitu material yang bersifat unik, dengan properti yang berbeda pada ketiga arah sumbu utamanya, yaitu arah longitudinal, arah radial, dan arah tangensial. Arah longitudinal didefinisikan sebagai arah sejajar serat, arah radial adalah tegak lurus serat serta arah normal terhadap lingkaran pertumbuhan (*growth rings*), sedangkan arah tangensial adalah tegak lurus serat tetapi arah sudut tangensial terhadap lingkaran pertumbuhan.

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah mempelajari perilaku dari keruntuhan sambungan kayu batang tekan. Kayu yang digunakan adalah jenis kayu Pete (*Parkia speciosa*) dan kayu Meranti Merah (*Rubroshorea*). Penelitian ini meliputi penelitian eksperimental di laboratorium dan penelitian numerik berbasis metode elemen hingga.

Hasil dari penelitian ini adalah perilaku kekakuan sambungan kayu Meranti Merah, yaitu berupa kurva hubungan beban dan lendutan antara penelitian numerik dan penelitian eksperimental, dengan menunjukkan trend yang mirip. Hal ini dapat terjadi karena pemodelan properti material kayu yang digunakan dalam penelitian eksperimental, diperoleh langsung dari uji properti material kayu Meranti Merah. Sedangkan perilaku kekakuan sambungan kayu Pete, yaitu berupa kurva hubungan beban dan lendutan, menunjukkan trend yang mempunyai perbedaan yang signifikan antara penelitian numerik dan eksperimental. Hal ini dapat terjadi karena pemodelan properti material kayu Pete diambil dari tinjauan literatur [*Forest Products Laboratory*, 2010].

Kata kunci: Sambungan kayu, Tekan, Numerik, Eksperimental

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL MODELING OF COMPRESSION TIMBER CONNECTION

Deny Anarista Sitorus
NRP: 0621060

Supervisor: Yosafat Aji Pranata, ST., MT.

ABSTRACT

The timber connection is a part of the structure, whereby the use of the connection on the timber destined for long span. Wood is an orthotropic material, which material that is unique, with different properties on the three main axis directions, namely longitudinal, radial, and tangential directions. Longitudinal direction is defined as the direction parallel to grain, radial direction is perpendicular to the fiber along the normal direction to the growth rings, while the tangential direction is perpendicular to the direction angle of fiber but tangential to the growth rings.

The purpose of this research is to study the collapse behavior of compression timber connection. Wood used are the type of timber Pete (*Parkia speciosa*) and Red Meranti (*Rubroshorea*). The research includes experimental studies in laboratory and research-based numerical finite element method.

Results obtained from this research are the stiffness behavior of the connection Red Meranti wood, which formed as a relation curve of load and deflection that shows similar trend between numerical and experimental research studies. This can happen because the modeling of timber material properties used in experimental research, obtained directly from material property testing Red Meranti wood. Meanwhile the stiffness behavior of connection of pete wood which formed as a relation curved of load and deflection shows trend which has significant differences between numerical and experimental studies. It can happen because the modeling properties of pete wood material is taken from the literature review [Forest Products Laboratory, 2010]

Keywords: Wood connection, Compression, Numerical, Experimental.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Pernyataan Orisinalitas Laporan Penelitian	iii
Pernyataan Publikasi Laporan Penelitian.....	iv
Surat Keterangan Tugas Akhir	v
Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir	vi
Kata Pengantar	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi	xvi
Daftar Lampiran	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	5
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.4 Sistematika Pembahasan	5
BAB II TINJAUAN LITERATUR	7
2.1 Kayu	7
2.1.1 Modulus Elastisitas	9
2.1.2 <i>Poisson Ratio</i>	9
2.1.3 Modulus Geser	10
2.1.4 Kuat Tekan Sejajar Serat	10
2.1.5 Berat Jenis dan Kadar Air	11
2.2 Baut	12
2.2.1 Kuat Tarik	12
2.2.2 Kuat Tumpu Sejajar Serat	12
2.2.3 Kuat Leleh Lentur	14
2.3 Sambungan Kayu Batang Tekan	14
2.4 Perangkat Lunak ADINA	25
2.5 Uji Eksperimental	26
BAB III STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN	27
3.1 <i>Preliminary</i> Desain Model Benda Uji	28
3.1.1 Persiapan	32
3.1.2 Pelaksanaan Eksperimental	35
3.1.2.1 Ekperimental Kayu Pete	35
3.1.2.2 Eksperimental Kayu Meranti Merah	36
3.2 Pemodelan Numerik	38
3.2.1 Tahapan Pemodelan Sambungan Kayu Pete	38
3.2.2 Tahapan Pemodelan Sambungan Kayu Meranti Merah	54
3.3 Pembahasan	70

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	75
4.1 Kesimpulan	75
4.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Faktor waktu	15
Tabel 2.2	Faktor tahanan	15
Tabel 2.3	Keberlakuan factor (FK) untuk sambungan.....	16
Tabel 2.4	Jarak tepi, jarak ujung, dan persyaratan spasi untuk Sambungan baut, sekrup, kunci, pen dan pasak	22
Tabel 2.5	Acuan persamaan sambungan untuk baut, pasak dengan satu irisan yang menyambung dua komponen	24
Tabel 2.6	Acuan persamaan sambungan untuk baut, pasak dengan dua irisan yang menyambung tiga komponen.....	25
Tabel 3.1	Perbandingan peralihan/deformasi sambungan tekan antara hasil eksperimental dengan ADINA kayu pete dengan tumpuan ujung	72
Tabel 3.2	Perbandingan peralihan/deformasi sambungan tekan Antara hasil eksperimental dengan ADINA kayu pete Dengan tumpuan merata	72
Tabel 3.3	Perbandingan peralihan/deformasi sambungan tekan antara hasil eksperimental dengan ADINA sambungan meranti merah 1 baut dengan tumpuan ujung	73
Tabel 3.4	Perbandingan peralihan/deformasi sambungan tekan antara hasil eksperimental dengan ADINA sambungan meranti merah 1 baut dengan tumpuan merata	73
Tabel 3.5	Perbandingan peralihan/deformasi sambungan tekan Antara hasil ekperimental dengan ADINA sambungan meranti merah 2 baut dengan tumpuan ujung	74
Tabel 3.6	Perbandingan peralihan/deformasi sambungan tekan Antara hasil eksperimental dengan ADINA sambungan Meranti merah 2 baut dengan tumpuan merata	74
Tabel L 7.1	Hasil pengujian fisik kayu	84
Tabel L 7.2	Hasil pengujian tekan sejajar serat kayu pete	84
Tabel L 7.3	Hasil pengujian tarik tegak lurus serat kayu pete	85
Tabel L 7.4	Nilai <i>poisson ratio</i> kayu pete	86
Tabel L 7.5	Nilai modulus geser kayu pete	86
Tabel L 7.6	Hasil pengujian tekan sejajar serat kayu meranti merah	87
Tabel L 7.7	Hasil pengujian tarik tegak lurus serat kayu meranti merah	88
Tabel L 7.8	Nilai <i>poisson ratio</i> kayu meranti merah	89
Tabel L 7.9	Nilai modulus geser kayu meranti merah	89
Tabel L 8.1	Nilai beban kritis	91
Tabel L 9.1	Hubungan perpindahan-beban sambungan kayu pete	94
Tabel L 9.2	Hubungan perpindahan-beban sambungan kayu meranti merah	96
Tabel L 9.3	Hasil pengujian eksperimental sambungan kayu pete	97
Tabel L 9.4	Hasil pengujian eksperimental sambungan kayu meranti merah	136

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arah serat kayu	9
Gambar 2.2	Regangan yang terjadi pada material orthotropik	10
Gambar 2.3	Benda uji untuk kuat tekan sejajar serat	11
Gambar 2.4	Oven	11
Gambar 2.5	Alat ukur berat	11
Gambar 2.6	Pengujian kuat tarik baut	12
Gambar 2.7	Berbagai model benda uji kuat tumpu baut	13
Gambar 2.8	Benda uji untuk kuat tumpu baut	14
Gambar 2.9	Benda uji untuk kuat lentur baut	14
Gambar 2.10	Geometri sambungan baut	19
Gambar 2.11	Instrumen Hung Ta	26
Gambar 3.1	Benda uji pada pengujian eksperimental	32
Gambar 3.2	Pemodelan benda uji sambungan kayu pete	33
Gambar 3.3	Pemodelan sambungan kayu meranti Merah	34
Gambar 3.4	Kegagalan yang terjadi pada sambungan kayu	35
Gambar 3.5	Lokasi pembebanan pada UTM	36
Gambar 3.6	Riwayat pembebanan sambungan kayu pete	36
Gambar 3.7	Sambungan kayu meranti merah dengan 1 baut	37
Gambar 3.8	Sambungan kayu meranti merah dengan 2 baut	37
Gambar 3.9	Riwayat pembebanan pada sambungan meranti merah	37
Gambar 3.10	Pendimensian elemen kayu	39
Gambar 3.11	Pemodelan sambungan kayu	39
Gambar 3.12	Pendimensian lubang baut	40
Gambar 3.13	Pembuatan lubang baut	41
Gambar 3.14	Pemodelan lubang baut	41
Gambar 3.15	Pemodelan baut	42
Gambar 3.16	Pendimensian tumpuan	43
Gambar 3.17	Input data tumpuan	44
Gambar 3.18	Pemodelan tumpuan	44
Gambar 3.19	Pendefinisian beban	45
Gambar 3.20	Pemodelan beban	46
Gambar 3.21	Mendefinisikan <i>constraint</i>	47
Gambar 3.22	Mendefinisikan bidang kontak	48
Gambar 3.23	Pemodelan bidang kontak	49
Gambar 3.24	Input data pasangan bidang kontak	49
Gambar 3.25	Pemodelan material	50
Gambar 3.26	Pendefinisian grup elemen material	51
Gambar 3.27	Pendefinisian <i>mesh density</i> elemen 3D <i>solid</i>	52
Gambar 3.28	<i>Mesh</i> pada elemen 3D <i>solid</i>	53
Gambar 3.29	Pendefinisian <i>time step</i>	53
Gambar 3.30	Pendefinisian <i>time function</i>	54
Gambar 3.31	Pemodelan dimensi benda uji meranti merah	56
Gambar 3.32	Pemodelan baut pada sambungan kayu meranti merah	57
Gambar 3.33	Pendefinisian material model benda uji	59
Gambar 3.34	Pendefinisian <i>group</i> elemen	60

Gambar 3.35 Pendefinisian <i>constraint</i>	61
Gambar 3.36 Pendefinisian <i>body contact</i>	61
Gambar 3.37 Pendefinisian <i>contact surface on geometry</i>	62
Gambar 3.38 Pendefinisian <i>contact pair</i>	63
Gambar 3.39 Pemodelan tumpuan	65
Gambar 3.40 Pendefinisian beban	65
Gambar 3.41 Pendefinisian titik nodal beban	66
Gambar 3.42 Pemodelan beban pada sambungan kayu	66
Gambar 3.43 Pendefinisian <i>mesh density</i>	67
Gambar 3.44 <i>Mesh</i> elemen 3D <i>solid</i> pada elemen baja	67
Gambar 3.45 <i>Mesh</i> elemen 3D <i>solid</i> pada elemen kayu meranti merah	68
Gambar 3.46 Hasil <i>mesh</i> pada model benda uji	69
Gambar 3.47 Kurva hubungan beban-deformasi sambungan kayu pete Antara eksperimental dengan ADINA	70
Gambar 3.48 Kurva hubungan beban-deformasi sambungan kayu meranti Merah 1 baut antara eksperimental dengan ADINA	71
Gambar 3.49 Kurva hubungan beban-deformasi sambungan kayu meranti Merah 2 baut antara eksperimental dengan ADINA	71
Gambar L 1.1 Diagram alir	78
Gambar L 2.1 Benda uji sambungan kayu pete tampak atas	79
Gambar L 2.2 Benda uji sambungan kayu pete tampak samping	79
Gambar L 3.1 Benda uji sambungan kayu meranti merah tampak atas	80
Gambar L 3.2 Benda uji sambungan kayu meranti merah tampak samping	80
Gambar L 4.1 Benda uji 3 dimensi sambungan kayu pete isometri dua baut	81
Gambar L 5.1 Benda uji 3 dimensi sambungan kayu meranti merah isometri satu baut	82
Gambar L 6.1 Benda uji 3 dimensi sambungan kayu meranti merah isometri dua baut	83
Gambar L 7.1 Grafik hubungan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pada kayu pete tekan sejajar serat	85
Gambar L 7.2 Grafik hubungan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pada kayu pete tarik tegak lurus serat	86
Gambar L 7.3 Grafik hubungan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pada kayu meranti merah tekan sejajar serat	88
Gambar L 7.4 Grafik hubungan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pada kayu meranti merah tarik tegak lurus serat	89
Gambar L 8.1 Pemodelan tekuk akibat beban kritis	90
Gambar L 9.1 Peralihan pemodelan sambungan kayu pete	92
Gambar L 9.2 Pemodelan numerik <i>scale displacements</i> 10%	93
Gambar L 9.3 Nilai perpindahan arah-z sambungan kayu pete	93
Gambar L 9.4 Pemodelan numerik sambungan kayu meranti merah	95
Gambar L 9.5 Pemodelan numerik sambungan kayu meranti merah tampak samping	96

DAFTAR NOTASI

b	= Lebar penampang, mm.
h	= Tinggi penampang, mm
P_u	= Beban ultimate, kg.
P_{Izin}	= Beban izin, kg.
P_{Patah}	= Beban patah, mm.
ν_{RL}	= nilai rasio poisson searah serat.
ν_{LR}	= nilai rasio poisson tegak lurus serat.
ν_{TL}	= Nilai angka poisson.
E_L	= Modulus elastisitas arah sejajar serat, MPa.
E_R	= Modulus elastisitas arah tegak lurus mata kayu, MPa.
E_T	= Modulus elastisitas arah tegak lurus serat, MPa.
G_{LR}	= Modulus geser arah sejajar serat terhadap tegak lurus mata kayu, MPa.
G_{LT}	= Modulus geser arah sejajar serat terhadap arah tegak lurus serat, Mpa.
G_{RT}	= Modulus geser arah tegak lurus mata kayu terhadap tegak lurus serat, Mpa.
SG	= Berat jenis kayu, gr/cm^3 .
MC	= Kadar air kayu, %.
W_{Basah}	= Berat basah kayu, gr.
W_{Kering}	= Berat kering kayu, gr.
V	= Volume, cm^3 .
F_{ell}	= Kuat tumpu baut sejajar serat, Mpa.
$F_{e\perp}$	= Kuat tumpu baut tegak lurus serat, MPa.

- $F_{e\alpha}$ = Kuat tumpu baut untuk beban bersudut serat, MPa.
- F_y = Kuat tarik baut, MPa.
- F_u = Kuat *ultimate* baut, MPa.
- Z = Tahanan lateral, N.
- Z' = Tahanan lateral terkoreksi, N.
- C_g = Faktor koreksi aksi kelompok baut.
- C_{Δ} = Faktor koreksi geometri baut.
- λ = Faktor waktu.
- D = Diameter baut.
- b_{opt} = Jarak tepi, mm.
- a_{opt} = Jarak ujung, mm.
- s_{opt} = Spasi, mm.
- l_m = Bentang komponen utama, mm.
- F_{em} = Kuat tekan kayu utama pada sambungan, MPa.
- t_s = Tinggi kayu komponen sekunder pada sambungan, MPa.
- F_{es} = Kuat tekan kayu pada komponen sekunder, MPa.
- K_{θ} = Sudut arah beban, derajat ($^{\circ}$).
- t_m = Tinggi kayu komponen utama, mm.
- R_e = Perbandingan kuat tekan komponen utama dengan komponen sekunder.
- F_{yb} = Kuat Leleh Lentur, MPa.
- P_e = Beban kritis atau beban tekuk, N.

- σ = Tegangan, MPa.
- ε = Regangan.
- F_{cy} = Kuat tekan kayu sejajar serat, MPa.
- $F_{t\perp}$ = Kuat tarik, MPa.
- F_{cu} = Kuat tekan *ultimate*, MPa.
- E_p = Modulus elastisitas kayu kondisi plastis, MPa.
- E_y = Modulus elastisitas kayu kondisi elastis, MPa.
- P_e = Beban kritis, N.
- I = Momen inersia terkecil, mm⁴.
- K_e = Faktor panjang tekuk.
- L = Panjang kolom, mm.

DAFTAR LAMPIRAN

L 1	Diagram alir	78
L 2	Dimensi sambungan kayu pete	79
L 3	Dimensi sambungan kayu meranti merah	80
L 4	Pemodelan sambungan kayu pete dua baut	81
L 5	Pemodelan sambungan kayu meranti merah satu baut	82
L 6	Pemodelan sambungan kayu meranti merah.....	83
L 7.1	Uji eksperimental properti fisik kayu	84
L 7.1.1	Sifat mekanik kayu	84
L 7.2	Uji eksperimental properti mekanisn kayu	84
L 7.2.1	Kayu pete	84
L 7.2.2	Kayu meranti merah	87
L 8	Analisis beban kritis	90
L 9.1	Hasil pemodelan numerik	92
L 9.1.1	Pemodelan numerik sambungan kayu pete	92
L 9.1.2	Pemodelan numerik sambungan kayu meranti merah	95
L 9.2	Hasil pengujian eksperimental	97
L 9.2.1	Eksperimental sambungan kayu pete	97
L 9.2.2	Eksperimental sambungan kayu meranti merah	136