

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL
PERILAKU SAMBUNGAN GESER TUNGGAL PADA
KAYU DENGAN SEKRUP KUNCI**



HANSEN MARCHEL HARTONO

NPM : 6101901057

PEMBIMBING: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL

(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG

JANUARI 2023

THESIS

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY
ON THE BEHAVIOR OF SINGLE SHEAR WOOD
CONNECTION WITH LAG SCREW**



**HANSEN MARCHEL HARTONO
NPM : 6101901057**

**ADVISOR: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.
CO-ADVISOR: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM
(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARY 2023**

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL
PERILAKU SAMBUNGAN GESER TUNGGAL PADA
KAYU DENGAN SEKRUP KUNCI**



HANSEN MARCHEL HARTONO

NPM : 6101901057

BANDUNG, 16 JANUARI 2023

PEMBIMBING:

KO-PEMBIMBING:

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Helmy Hermawan Tjahjanto".

**Helmy Hermawan Tjahjanto,
Ph.D.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Wivia Octarena Nugroho".

**Wivia Octarena Nugroho,
S.T., M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**

(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
JANUARI 2023**

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL
PERILAKU SAMBUNGAN GESER TUNGGAL PADA
KAYU DENGAN SEKRUP KUNCI**



**NAMA: HANSEN MARCHEL HARTONO
NPM : 6101901057**

PEMBIMBING : Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

Handwritten signature of Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. in black ink, positioned above a horizontal dashed line.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

Handwritten signature of Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T. in blue ink, positioned above a horizontal dashed line.

PENGUJI 1 : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

Handwritten signature of Dr. Johannes Adhijoso Tjondro in green ink, positioned above a horizontal dashed line.

PENGUJI 2 : Ir. Lidya Fransisca Tjong, M.T.

Handwritten signature of Ir. Lidya Fransisca Tjong, M.T. in black ink, positioned above a horizontal dashed line.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**

(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
JANUARI 2023**

LEMBAR PERNYATAAN

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

Nama : Hansen Marchel Hartono

NPM : 6101901057

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis~~ / ~~disertasi~~^{*)} dengan judul:

STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL PERILAKU SAMBUNGAN GESER TUNGGAL PADA KAYU DENGAN SEKRUP KUNCI

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: 16 Januari 2023



Hansen Marchel Hartono

*) coret yang tidak perlu

STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL PERILAKU SAMBUNGAN GESER TUNGGAL PADA KAYU DENGAN SEKRUP KUNCI

Hansen Marchel Hartono
NPM : 6101901057

Pembimbing: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.
Ko-Pembimbing: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023

ABSTRAK

Kayu merupakan material yang dapat digunakan sebagai elemen struktur. Namun penggunaannya tidak sebanyak beton dan baja. Salah satu alasannya adalah belum adanya metode pemodelan kayu yang benar-benar dapat diandalkan. Studi ini menjadi langkah awal dalam memodelkan sambungan geser tunggal kayu dengan alat sambung sekrup kunci yang sederhana namun representatif serta mengevaluasi ragam kegagalan yang terjadi dalam sambungan tersebut. Studi terdiri dari uji eksperimental dan analisis numerik menggunakan perangkat lunak Abaqus dengan memberikan gaya tekan konsentris pada balok kayu dan membandingkan kurva *load vs displacement* yang dihasilkan. Variasi yang digunakan adalah penetrasi dari sekrup kunci. Teori dan perhitungan pada penelitian mengacu pada SNI 7973:2013 dan NDS 2018. Hasil studi menunjukkan bahwa material kayu sebaiknya dimodelkan sebagai material orthotropik untuk mendapatkan kapasitas sambungan yang relatif mirip antara uji eksperimental dan analisis numerik selama sambungan mengikuti syarat penetrasi minimum dari NDS 2018. Dari hasil pengamatan baik eksperimental maupun numerik juga disimpulkan bahwa ragam kegagalan tidak sepenuhnya bersifat independen.

Kata Kunci: Sambungan geser kayu, pemodelan kayu, ragam kegagalan, sekrup kunci

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON THE BEHAVIOR OF SINGLE SHEAR WOOD CONNECTION WITH LAG SCREW

Hansen Marchel Hartono
NPM : 6101901057

Advisor: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.
Co-Advisor: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM**

(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
JANUARY 2023**

ABSTRACT

Wood is a material that can be used as a structural element. But its use is not as common as that of concrete and steel. One of the reasons is that there is no reliable wood-modeling method yet. This study is the first step in modeling a single shear connection of wood using simple yet representative lag screws as fasteners and evaluating the various failure modes that occur in these connection. The study consisted of experimental tests and numerical analysis using the Abaqus software by applying concentric compressive forces to the wooden beams and comparing the resulting load vs displacement curves. The variation used is the penetration of the lag screws. The theory and calculations in this research refer to SNI 7973:2013 and NDS 2018. The results of the study show that wood materials should be modeled as an orthotropic material to obtain relatively similar connection capacities between experimental tests and numerical analysis, as long as the connection follows the minimum penetration requirements of NDS 2018. From the results of both experimental and numerical observations, it was also concluded that the failure modes were not completely independent.

Keywords: Shear connection of wood, wood modelling, failure modes, lag screws

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Studi Eksperimental dan Numerikal Perilaku Sambungan Geser Tunggal pada Kayu dengan Sekrup Kunci. Skripsi ini adalah syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

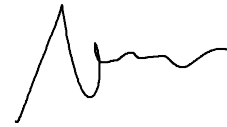
Banyak hambatan dan tantangan yang dialami oleh penulis dalam penulisan skripsi ini. Namun, berkat bimbingan dan saran dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan skripsi. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang berperan dalam membantu penyelesaian skripsi, yaitu:

1. Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen pembimbing dan Ibu Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T. selaku dosen ko-pembimbing yang senantiasa membimbing, mengarahkan, memberi saran, dan memberikan waktunya untuk membantu penulis dalam menyusun skripsi ini.
2. Seluruh dosen Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan yang telah hadir dan memberikan masukan dari seminar judul, seminar isi, sampai dengan sidang.
3. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustandi yang membantu penulis dalam pengujian eksperimental di laboratorium baik dari tahap persiapan sampai ke tahap akhir.
4. Orang tua, saudara, beserta seluruh keluarga penulis yang senantiasa menemani, mendoakan, dan memberi semangat penulis untuk menyelesaikan skripsi.
5. Bryan Yehezkiel selaku teman seperjuangan dan teman diskusi dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Antoni Lovendio, Temmy Dwi A., Michael Ezranovaldi, Adela Amabel, dan Andreas Lukito selaku sahabat yang telah berjuang bersama, bekerja keras, dan memberikan semangat bagi penulis dalam menjalani studi di Universitas Katolik Parahyangan.

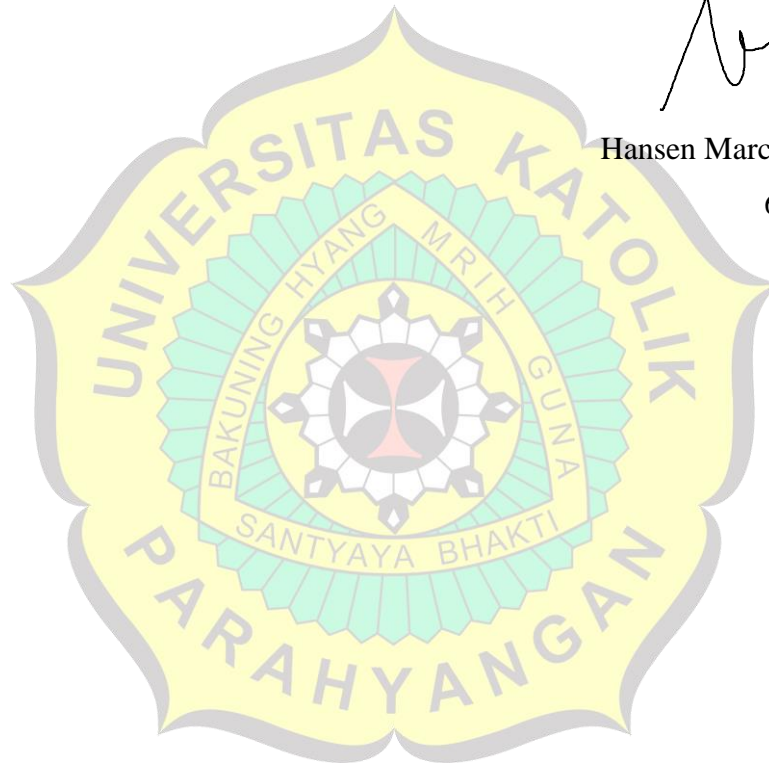
7. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah berkontribusi dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan penelitian yang akan datang.

Bandung, 16 Januari 2023



Hansen Marchel Hartono
6101901057

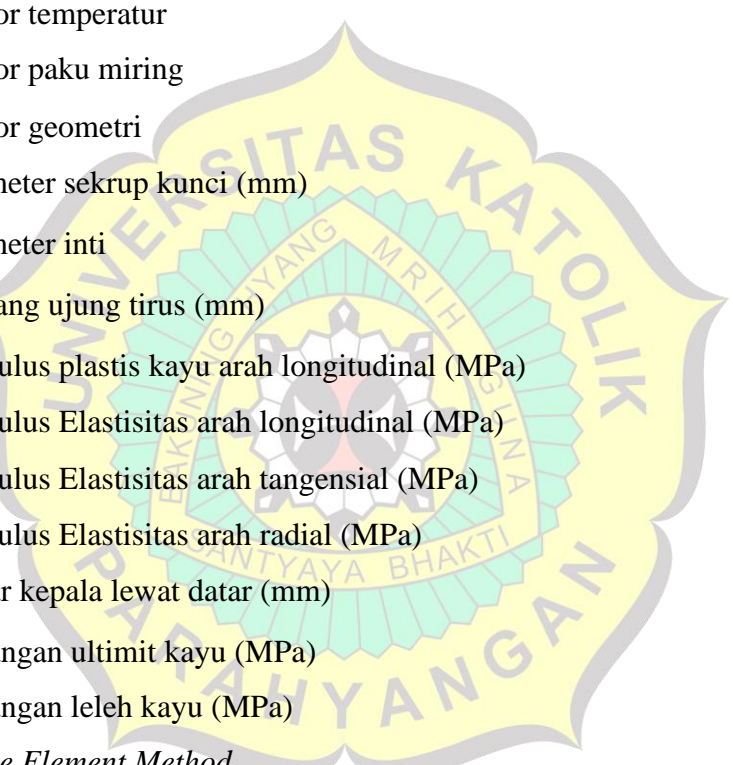


DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan.....	1-3
1.3 Tujuan Penelitian	1-3
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-3
1.5 Metode Penelitian	1-4
1.6 Sistematika Penulisan	1-5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	2-1
2.1 Material Kayu	2-1
2.2 Properti Kekakuan Kayu.....	2-3
2.3 Material Baja.....	2-3
2.4 Sekrup Kunci	2-5
2.5 Sambungan Geser Tunggal pada Kayu.....	2-6
2.5.1 Sambungan Geser Tunggal.....	2-6
2.5.2 Ragam Kegagalan Sambungan Geser Tunggal Kayu	2-7
2.5.3 Kekuatan Leleh Lentur Pasak (F_{yb})	2-9
2.5.4 Kekuatan Tumpu Pasak pada Kayu (F_e).....	2-12
2.5.5 Panjang Tumpu Pasak	2-12
2.5.6 Faktor Reduksi (R_d)	2-12
2.6 Faktor Koreksi untuk Sambungan	2-13

2.7 Syarat Jarak Ujung dan Jarak Tepi.....	2-14
2.8 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>)	2-15
2.9 Parameter Kayu Meranti Merah	2-17
BAB 3 KAJIAN EKSPERIMENTAL	3-1
3.1 Perhitungan Pendahuluan	3-1
3.2 Persiapan dan Pembuatan Benda Uji.....	3-1
3.3 Pengukuran Kadar Air dan Berat Jenis Kayu Benda Uji	3-4
3.4 Penentuan Kekuatan Leleh Lentur Sekrup Kunci	3-6
3.5 Pengujian Eksperimental Sambungan Geser Kayu	3-8
BAB 4 PEMODELAN DAN ANALISIS NUMERIK	4-1
4.1 Material	4-1
4.2 Geometri Sambungan.....	4-3
4.3 Perletakan	4-4
4.4 Interaksi	4-5
4.5 Pembebanan.....	4-7
4.6 Meshing	4-8
BAB 5 PEMBAHASAN HASIL EKSPERIMENTAL DAN ANALISIS	
NUMERIK	5-1
5.1 Kurva <i>Load vs Displacement</i> Hasil Uji Eksperimental.....	5-1
5.2 Ragam Kegagalan.....	5-3
5.3 Pengaruh Model Material Kayu Isotropik dan Orthotropik	5-15
5.4 Penurunan Beban pada Variasi Penetrasi 4.4 mm.....	5-17
5.5 Evaluasi Kapasitas Sambungan Geser	5-18
5.6 Lokasi Kelelahan Pertama pada Sekrup Kunci	5-23
5.7 Pengaruh Koefisien Friksi terhadap Kurva <i>Load vs Displacement</i>	5-26
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	6-1
6.1 Kesimpulan.....	6-1
6.2 Saran.....	6-2
DAFTAR PUSTAKA	xv
LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN BERAT JENIS DAN KADAR AIR	L1-1
LAMPIRAN 2 CONTOH PERHITUNGAN TEORITIS NDS '18.....	L2-1

DAFTAR NOTASI



AISC	: <i>American Institute of Steel Construction</i>
ASTM	: <i>American Standard Testing and Material</i>
C_{di}	: Faktor diafragma
C_{eg}	: Faktor serat ujung
C_g	: Faktor aksi kelompok
C_M	: Faktor layan basah
C_t	: Faktor temperatur
C_{tn}	: Faktor paku miring
C_{Δ}	: Faktor geometri
D	: Diameter sekrup kunci (mm)
D_r	: Diameter inti
E	: Panjang ujung tirus (mm)
E_p	: Modulus plastis kayu arah longitudinal (MPa)
E_L	: Modulus Elastisitas arah longitudinal (MPa)
E_T	: Modulus Elastisitas arah tangensial (MPa)
E_R	: Modulus Elastisitas arah radial (MPa)
F	: Lebar kepala lewat datar (mm)
F_{cu}	: Tegangan ultimit kayu (MPa)
F_{cy}	: Tegangan leleh kayu (MPa)
FEM	: <i>Finite Element Method</i>
F_{em}	: Kekuatan tumpu pasak pada komponen struktur utama (MPa)
F_{es}	: Kekuatan tumpu pasak pada komponen struktur samping (MPa)
F_{yb}	: Kekuatan leleh lentur pasak (MPa)
G	: Berat jenis/ <i>specific gravity</i>
G_{LR}	: Modulus Geser bidang longitudinal-radial (MPa)
G_{LT}	: Modulus Geser bidang longitudinal-tangensial (MPa)
G_{RT}	: Modulus Geser bidang radial-tangensial (MPa)
gr	: Gram

H : Tinggi kepala (mm)
 l_m : Panjang tumpu pasak pada komponen struktur utama (MPa)
 l_s : Panjang tumpu pasak pada komponen struktur samping (MPa)
 LVDT : *Linear Variable Differential Transformer*
 MPa : Megapascal
 M_y : Momen leleh lentur (Nmm)
 MC : Kadar air/*moisture content* (%)
 NDS : *National Design Specification*
 P_y : Beban leleh (N)
 R_d : Faktor Reduksi
 S : Panjang tanpa ulir (mm)
 S_{bp} : Panjang antar tumpuan pada uji lentur sekrup kunci (mm)
 SNI : Standar Nasional Indonesia
 T : Panjang ulir minimum
 UTM : *Universal Testing Machine*
 V_{OD} : Volume sampel setelah dioven (cm^3)
 W : Berat sampel sebelum dioven (gr)
 W_{OD} : Berat sampel setelah dioven (gr)
 γ_w : Berat jenis air (gr/cm^3)
 ϵ_t : *True strain*
 ϵ_e : *Engineering strain*
 σ_t : *True stress* (MPa)
 σ_e : *Engineering stress* (MPa)
 ν_{LR} : Rasio Poisson arah longitudinal-radial
 ν_{LT} : Rasio Poisson arah longitudinal-tangensial
 ν_{RL} : Rasio Poisson arah radial-longitudinal
 ν_{RT} : Rasio Poisson arah radial-tangensial
 ν_{TL} : Rasio Poisson arah tangensial-longitudinal
 ν_{TR} : Rasio Poisson arah tangensial-radial

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sekrup kunci.....	1-2
Gambar 1.2 Skema pengujian eksperimental sambungan geser tunggal kayu ...	1-4
Gambar 2.1 Tiga arah sumbu pada kayu (Alves et al., 2015).....	2-1
Gambar 2.2 Kurva Tegangan vs Regangan Baja (Segui, 2013)	2-4
Gambar 2.3 Kurva Tegangan vs Regangan Baja Sederhana (Segui, 2013).....	2-4
Gambar 2.4 Bagian-bagian pada Sekrup Kunci (NDS, 2018)	2-6
Gambar 2.5 Sambungan geser tunggal dengan sekrup kunci (NDS, 2018).....	2-7
Gambar 2.6 Ragam kegagalan sambungan geser tunggal (NDS, 2018).....	2-8
Gambar 2.7 Skema pengujian kekuatan lentur pasak (ASTM F1575)	2-10
Gambar 2.8 Penentuan momen leleh lentur (ASTM F1575).....	2-11
Gambar 2.9 Panjang tumpu pasak (Suryoatmono, 2021)	2-12
Gambar 2.10 Faktor Koreksi untuk sambungan (NDS, 2018).....	2-13
Gambar 2.11 Faktor Koreksi untuk sambungan (SNI 7973:2013)	2-14
Gambar 2.12 Ilustrasi pembagian elemen (Ottosen & Petersson, 1992)	2-16
Gambar 2.13 Kurva tegangan-regangan sejajar serat (Pranata dkk., 2013).....	2-17
Gambar 3.1 Proses pembuatan benda uji	3-2
Gambar 3.2 Bentuk dan dimensi benda uji	3-2
Gambar 3.3 Sekrup kunci yang digunakan	3-3
Gambar 3.4 Benda uji yang selesai dibuat	3-3
Gambar 3.5 Variasi penetrasi sekrup kunci pada benda uji	3-4
Gambar 3.6 Pengukuran berat sampel kadar air sebelum oven	3-5
Gambar 3.7 Sampel kadar air setelah dioven.....	3-5
Gambar 3.8 Pengujian eksperimental pada awal dan akhir uji	3-9
Gambar 3.9 LVDT pada uji eksperimental.....	3-9
Gambar 3.10 Uji lentur sekrup kunci.....	3-6
Gambar 3.11 Kelelehan lentur sekrup kunci untuk uji lentur	3-7
Gambar 3.12 Grafik <i>load vs displacement</i> uji lentur sekrup kunci.....	3-7
Gambar 4.1 <i>True stress-strain</i> kayu untuk pemodelan	4-1
Gambar 4.2 <i>True stress-strain</i> sekrup kunci untuk pemodelan	4-2

Gambar 4.3 <i>Part side member</i> dan <i>main member</i> di Abaqus	4-3
Gambar 4.4 <i>Part</i> sekrup kunci di Abaqus	4-3
Gambar 4.5 Perakitan model sambungan geser kayu di Abaqus	4-4
Gambar 4.6 Perletakan model sambungan geser kayu di Abaqus.....	4-5
Gambar 4.7 Interaksi <i>elastic foundation</i>	4-6
Gambar 4.8 Interaksi kontak <i>side member</i> dan sekrup kunci.....	4-6
Gambar 4.9 Interaksi kontak <i>main member</i> dan sekrup kunci	4-7
Gambar 4.10 Interaksi kontak <i>main member</i> dan <i>side member</i>	4-7
Gambar 4.11 Pembebanan pada model sambungan	4-8
Gambar 4.12 <i>Meshing</i> model sekrup kunci	4-8
Gambar 4.13 <i>Meshing</i> model sambungan	4-9
Gambar 5.1 Grafik <i>load vs displacement</i> penetrasi 4.4 mm.....	5-1
Gambar 5.2 Grafik <i>load vs displacement</i> penetrasi 24.4 mm.....	5-2
Gambar 5.3 Grafik <i>load vs displacement</i> penetrasi 50 mm.....	5-2
Gambar 5.4 Kerusakan lubang <i>main member</i> pada benda uji S-01	5-3
Gambar 5.5 Kerusakan lubang <i>main member</i> pada penetrasi 4.4 mm numerik. 5-3	
Gambar 5.6 Kondisi benda uji S-06 sebelum dan sesudah uji	5-4
Gambar 5.7 Perputaran dan penetrasi kepala sekrup kunci pada S-06.....	5-5
Gambar 5.8 Perputaran dan penetrasi kepala sekrup kunci S-06 diperbesar.....	5-5
Gambar 5.9 Perputaran sekrup kunci pada penetrasi 50 mm analisis numerik..	5-6
Gambar 5.10 Kondisi sekrup kunci penetrasi 4.4 mm pada deformasi akhir.....	5-9
Gambar 5.11 Kondisi sekrup kunci penetrasi 24.4 mm pada deformasi akhir. 5-11	
Gambar 5.12 Kondisi sekrup kunci penetrasi 50 mm pada deformasi akhir....	5-13
Gambar 5.13 Skema gaya dan tegangan yang bekerja pada sekrup kunci	5-14
Gambar 5.14 Kontur tegangan kontak CPRESS penetrasi 4.4 mm	5-15
Gambar 5.15 Grafik <i>load vs displacement</i> penetrasi 4.4 mm numerikal	5-15
Gambar 5.16 Grafik <i>load vs displacement</i> penetrasi 24.4 mm numerikal	5-16
Gambar 5.17 Grafik <i>load vs displacement</i> penetrasi 50 mm numerikal	5-16
Gambar 5.18 Slip pada variasi penetrasi 4.4 mm numerik.....	5-17
Gambar 5.19 Titik tinjau slip pada sekrup kunci.....	5-18
Gambar 5.20 Titik tinjau slip (tampak samping).....	5-18

Gambar 5.21 Perbandingan kurva benda uji S-01	5-19
Gambar 5.22 Perbandingan kurva benda uji S-02	5-20
Gambar 5.23 Perbandingan kurva benda uji S-03	5-20
Gambar 5.24 Perbandingan kurva benda uji S-04	5-21
Gambar 5.25 Perbandingan kurva benda uji S-05	5-21
Gambar 5.26 Perbandingan kurva benda uji S-06	5-22
Gambar 5.27 Kondisi sekrup kunci penetrasi 24.4 mm kelelahan pertama.....	5-24
Gambar 5.28 Kondisi sekrup kunci penetrasi 50 mm saat kelelahan pertama .	5-25
Gambar 5.29 Kontur PEEQ untuk pemisahan material sekrup kunci.....	5-26
Gambar 5.30 Kurva pengaruh koefisien friksi.....	5-27



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat jenis beberapa kayu di Indonesia (SNI 7973:2013).....	2-2
Tabel 2.2 Rumus Nilai Desain Acuan (NDS, 2018)	2-8
Tabel 2.3 Kekuatan Leleh Lentur Pasak (SNI 7973:2013)	2-9
Tabel 2.4 Faktor reduksi (SNI 7973:2013)	2-12
Tabel 2.5 Faktor Layan Basah (SNI 7973:2013).....	2-13
Tabel 2.6 Faktor Temperatur (SNI 7973:2013).....	2-14
Tabel 2.7 Syarat Jarak Tepi (SNI 7973:2013).....	2-15
Tabel 2.8 Syarat Jarak Ujung (SNI 7973:2013)	2-15
Tabel 2.9 Parameter kayu Meranti Merah (Pranata dkk., 2013)	2-17
Tabel 3.1 Variasi penetrasi sekrup kunci yang digunakan	3-1
Tabel 3.2 Ukuran sekrup kunci yang digunakan	3-3
Tabel 3.3 Rekapitulasi benda uji yang dibuat	3-4
Tabel 3.4 Berat jenis dan kadar air sampel kayu	3-6
Tabel 3.5 Hasil uji lentur sekrup kunci	3-8
Tabel 4.1 <i>Engineering</i> dan <i>true stress-strain</i> sekrup kunci untuk pemodelan	4-2
Tabel 4.2 <i>Engineering</i> dan <i>true stress-strain</i> sekrup kunci efektif	4-2
Tabel 5.1 <i>Displacement</i> akhir benda uji dan model numerik	5-7
Tabel 5.2 Kapasitas sambungan perhitungan teoritis	5-19
Tabel 5.3 Perbandingan kapasitas sambungan	5-22
Tabel 5.4 Persentase perbedaan kapasitas sambungan.....	5-22

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN BERAT JENIS DAN KADAR AIR..... L1-1

LAMPIRAN 2 CONTOH PERHITUNGAN TEORITIS NDS '18 L2-1



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kayu merupakan salah satu material yang dapat digunakan dalam konstruksi bangunan, meskipun penggunaannya sebagai struktur utama tidak sebanyak material seperti beton dan baja terutama pada gedung tinggi. Walaupun begitu, Takano (2015) menyebutkan bahwa kayu mulai banyak diminati masyarakat sebagai material konstruksi dengan alasan sifat kayu sendiri yaitu terbarukan dan dapat dipergunakan kembali. Saat ini sudah terdapat beberapa gedung yang menggunakan kayu sebagai struktur utama. Salah satu gedung yang cukup terkenal adalah *Wood Hotel* di Norwegia dengan tinggi 85 meter.

Hal penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur dengan kayu yang berbeda dengan material seperti baja adalah sifat orthotropik kayu, dimana properti kekakuan material kayu berbeda untuk setiap sumbu (radial, tangensial, dan longitudinal) yang dapat terlihat dari besar modulus elastisitas, rasio Poisson, dan modulus geser untuk tiap sumbu yang berbeda satu dengan yang lainnya. Selain sifat properti kekakuan material yang berbeda, kekuatan kayu juga berbeda-beda yang dipengaruhi berbagai faktor seperti berat jenis (berbeda-beda tiap jenis kayu), kadar air, dan cacat kayu.

Pengaplikasian kayu sebagai material konstruksi bangunan, wajib menggunakan sambungan mekanis seperti alat sambung baja (baut, sekrup, paku, atau sekrup kunci). Sekrup kunci (*lag screws*) seperti terlihat pada Gambar 1.1 merupakan alat sambung tipe pasak (*dowel*) yang cenderung berukuran lebih besar jika dibandingkan dengan sekrup kayu biasa. Tidak seperti sekrup kayu biasa, sekrup kunci memiliki bagian yang tidak berulir. Sekrup kunci tidak memerlukan mur, memiliki ujung tajam, dan dalam pemasangannya sekrup kunci membutuhkan pembuatan lubang awal pada kayu dengan bor. Dibandingkan sekrup kayu biasa, karena ukurannya yang lebih besar, sekrup kunci cenderung lebih kuat sehingga sering digunakan dalam sambungan yang menahan beban yang besar.



Gambar 1.1 Sekrup kunci

Dalam sambungan kayu, sekrup kunci dapat menerima beban lateral, beban cabut, atau keduanya. Pada kasus dimana sambungan dibebani lateral, kegagalan dapat terjadi akibat kegagalan leleh alat sambung maupun kegagalan tumpu pada kayu yang dapat terjadi pada *main member* (bagian kayu yang mengandung ujung tajam sekrup kunci) atau *side member* (bagian yang tidak mengandung ujung tajam sekrup kunci). Kuat tumpu sekrup kunci maupun kuat tumpu kayu memegang peranan penting dalam terjadinya kegagalan tumpu. Berdasarkan *National Design Specification (NDS) for Wood Construction* 2018 terdapat 6 jenis ragam kegagalan pada sambungan geser tunggal kayu dimana dalam desain, kegagalan ditentukan berdasarkan perhitungan nilai desain acuan ragam yang terkecil.

Dalam ilmu teknik struktur (*structural engineering*), gambaran perilaku struktur/elemen dapat diperoleh melalui uji eksperimental dan analisis numerik. Masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahannya. Uji eksperimental menunjukkan bagaimana perilaku spesimennya secara nyata sementara hasil analisis numerik adalah pendekatan yang didapat dari perhitungan komputer. Namun, uji eksperimental memiliki beberapa kelemahan yaitu dari segi sumber daya, baik tenaga manusia maupun material yang digunakan dalam uji yang dibutuhkan dalam jumlah besar sehingga memengaruhi waktu penyelesaiannya yang cenderung lama dan untuk mendapat hasil yang lengkap dari uji eksperimental, dibutuhkan penggunaan banyak alat ukur pada banyak titik tinjau, contohnya penggunaan *strain gauge* untuk mengukur regangan yang terjadi pada suatu elemen. Analisis numerik menjadi metode yang lebih unggul dibandingkan uji eksperimental dalam segi sumber daya dan waktu yang dibutuhkan karena

menggunakan simulasi di komputer sehingga hasil yang diperoleh akan lebih lengkap/detail tetapi dengan waktu yang cenderung cepat.

Penelitian ini akan difokuskan pada berbagai macam ragam kegagalan sambungan kayu dengan sekrup kunci yang menerima beban lateral yang akan dilakukan dengan analisis numerik menggunakan perangkat lunak *FEM (finite element method)* Abaqus dan uji eksperimental di laboratorium. Berdasarkan NDS 2018, ragam/moda kegagalan pada sambungan geser tunggal bersifat independen dimana perhitungan nilai desain lateral dihitung satu persatu untuk setiap persamaan dan tidak saling berhubungan. Namun, pada kenyataannya ada kemungkinan bahwa ragam kegagalan yang terjadi saling berhubungan atau bersifat dependen sehingga perlu diuji baik dengan cara pemodelan numerik maupun uji eksperimental.

1.2 Inti Permasalahan

Pemodelan numerik sambungan geser tunggal kayu yang sederhana diperlukan untuk dapat mengevaluasi ragam kegagalan yang terjadi pada kayu secara lebih efisien namun tetap representatif sehingga dapat digunakan untuk analisis lain yang lebih kompleks seperti hubungan balok kolom kayu.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

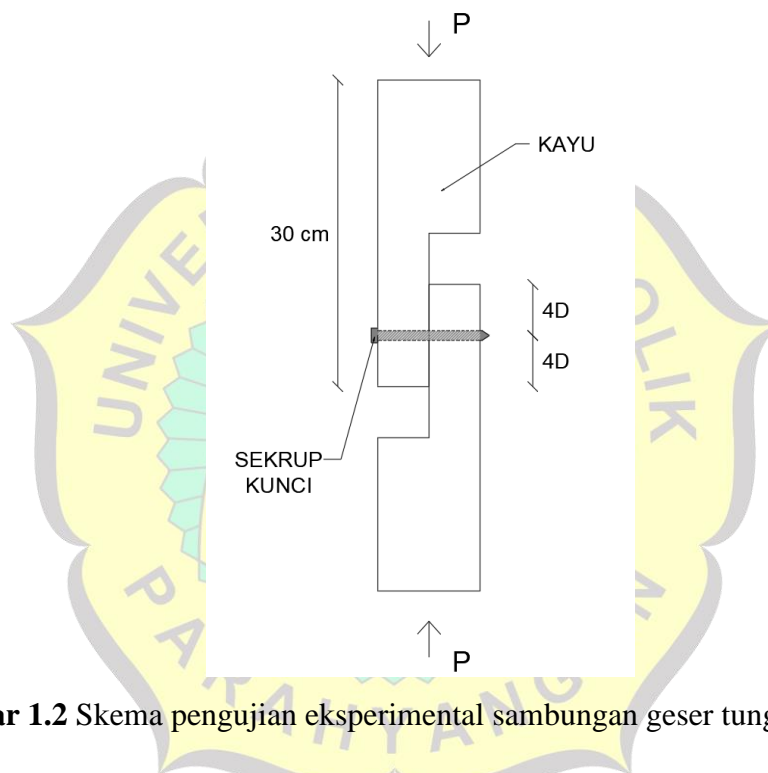
1. Mengembangkan model numerik sambungan geser tunggal pada kayu dengan alat sambung sekrup kunci yang sederhana dan representatif sehingga dapat digunakan untuk analisis yang lebih kompleks.
2. Mengevaluasi ragam kegagalan dan kapasitas sambungan geser tunggal pada kayu dengan alat sambung sekrup kunci berdasarkan persamaan desain dan uji eksperimental.

1.4 Pembatasan Masalah

Ruang lingkup penelitian pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Acuan perhitungan berdasarkan NDS 2018 dan SNI 7973:2013.
2. Kayu yang digunakan pada sambungan geser tunggal adalah kayu Meranti.

3. Sambungan kayu menggunakan alat sambung sekrup kunci.
4. Pengujian geser tunggal kayu menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* dan mengacu pada uji tarik ASTM D5652–15: *Standard Test Methods for Bolted Connections in Wood and Wood-based Products*. Uji eksperimental pada skripsi ini akan dimodifikasi dengan memberikan gaya tekan konsentris pada batang kayu yang disambung dengan skema uji eksperimental terlihat pada Gambar 1.2. Jarak ujung minimum adalah $4D$, dalam uji eksperimental digunakan jarak ujung 50 mm.



Gambar 1.2 Skema pengujian eksperimental sambungan geser tunggal kayu

5. Variasi spesimen pada uji eksperimental ditentukan untuk menghasilkan ragam kegagalan yang berbeda. Estimasi ragam kegagalan dilakukan melalui perhitungan pendahuluan (*preliminary calculation*) yang dilakukan sebelum membuat spesimen uji.
6. Pemodelan dan analisis numerik dilakukan dengan perangkat lunak nonlinier *finite element method (FEM)* Abaqus.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Penggalian teori dan informasi tambahan dari sumber berupa buku, jurnal ilmiah, *paper*, maupun peraturan-peraturan yang berlaku dan berhubungan dengan topik mengenai sambungan kayu.

2. Studi Eksperimental

Uji eksperimental di laboratorium menggunakan alat *UTM* untuk mendapat hasil nyata dari perilaku sambungan geser tunggal kayu.

3. Studi Analisis

Analisis numerik dan pemodelan sambungan menggunakan bantuan perangkat lunak Abaqus.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang masalah, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori-teori yang dijadikan dasar dalam pemodelan dan analisis pada studi ini.

BAB 3 Kajian Eksperimental

Bab ini berisi tentang uji eksperimental sambungan geser tunggal kayu yang dilakukan menggunakan alat *UTM*.

BAB 4 Pemodelan dan Analisis Numerik

Bab ini berisi pemodelan sambungan geser tunggal kayu dengan alat sambung sekrup kunci menggunakan perangkat lunak Abaqus.

BAB 5 Pembahasan Hasil Eksperimental dan Analisis Numerik

Bab ini berisi analisis perilaku dan kapasitas sambungan berdasarkan hasil yang didapatkan dari Abaqus dan uji eksperimental yang dilakukan di laboratorium.

BAB 6 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan saran yang dapat diberikan terkait analisis yang telah dilakukan.