

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL  
PERILAKU TARIK/CABUT SEKRUP KUNCI PADA  
SERAT SAMPING KAYU**



**BRYAN YEHEZKIEL FIRMANSYAH  
NPM : 6101901048**

**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**

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL  
PERILAKU TARIK/CABUT SEKRUP KUNCI PADA  
SERAT SAMPING KAYU**



**BRYAN YEHEZKIEL FIRMANSYAH  
NPM : 6101901048**

**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**

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL  
PERILAKU TARIK/CABUT SEKRUP KUNCI PADA  
SERAT SAMPING KAYU**



**BRYAN YEHEZKIEL FIRMANSYAH  
NPM : 6101901048**

**BANDUNG, 16 JANUARI 2023**

**PEMBIMBING:**

**KO-PEMBIMBING:**

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

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

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

**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 TARIK/CABUT SEKRUP KUNCI PADA SERAT SAMPING KAYU



**BRYAN YEHEZKIEL FIRMANSYAH**  
**NPM : 6101901048**

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

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

**PENGUJI 1:** Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**PENGUJI 2:** Lidya Fransisca Tjong, Ir., 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**

# PERNYATAAN

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

Nama : Bryan Yehezkiel Firmansyah

NPM : 6101901048

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis~~ / ~~disertasi~~<sup>\*)</sup> dengan judul:

## **STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL PERILAKU TARIK/CABUT SEKRUP KUNCI PADA SERAT SAMPING KAYU**

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



A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Bryan Yehezkiel Firmansyah', is written over the banknote.

Bryan Yehezkiel Firmansyah

\*) coret yang tidak perlu

# **STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL PERILAKU TARIK/CABUT SEKRUP KUNCI PADA SERAT SAMPING KAYU**

**Bryan Yehezkiel Firmansyah  
NPM: 6101901048**

**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**

Penggunaan kayu dalam aplikasi struktural melibatkan penggunaan pengencang mekanis, contohnya sekrup kunci yang dibebani cabut pada serat samping kayu. Parameter desain sambungan diperoleh dari eksperimen dan analisis numerik. Mekanisme transfer gaya pada sambungan beban cabut adalah lewat interaksi antara ulir sekrup dan permukaan kayu, namun geometri ulir sekrup terlalu kompleks bila dimodelkan numerik. Penelitian ini akan mengevaluasi ragam kegagalan dan kapasitas sambungan beban cabut serta memodelkan secara representatif dan sederhana sambungan beban cabut. Teori dan perhitungan pada penelitian mengacu pada SNI 7973:2013. Studi eksperimental pengujian cabut sekrup kunci dilakukan dengan tujuan mengukur beban cabut dan perpindahan pada sambungan dengan kayu meranti merah. Pemodelan numerik dilakukan dengan aplikasi elemen hingga ABAQUS untuk mengukur beban cabut dan perpindahan pada model sambungan yang menggunakan material kayu sebagai material isotropis. Hasil penelitian adalah kecocokan ragam kegagalan pada eksperimen dan juga model numerik yaitu gagal pada kayu di sekitar lubang. Kalibrasi nilai  $F_y$  (tegangan leleh) efektif dilakukan pada pemodelan untuk mendapatkan model numerik yang representatif.

**Kata Kunci:** kuat cabut, sekrup kunci, metode elemen hingga

# **EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF THE LAG SCREW WITHDRAWAL BEHAVIOR ON WOOD SIDE- GRAIN**

**Bryan Yehezkiel Firmansyah  
NPM: 6101901048**

**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**

The use of wood in structural applications involves the use of mechanical fasteners, for example lag screws that are loaded on wood side-grain. Connection design parameters were obtained from experiments and numerical analysis. The mechanism of force transfer in the withdrawal behavior is through the interaction between the screw threads and the wood surface, but the screw thread geometry is too complex to model numerically. This study will evaluate the failure mode and withdrawal resistance and model a representative and simple lag screw withdrawal connection. Theory and calculations in the research refer to SNI 7973:2013. An experimental study of the lag screw withdrawal test was carried out with the aim of measuring the withdrawal load and displacement on red meranti wood connection. Numerical modeling was carried out using the ABAQUS finite element method software to measure withdrawal load and displacement in the connection model using wood as an isotropic material. The results of the study are the compatibility of the failure modes in the experiment and numerical model, which is the failure of the wood around the hole. Calibration of the effective  $F_y$  (yield strength) value was necessary on numerical modeling to obtain a representative numerical model.

**Keywords:** withdrawal resistance, lag screw, finite element method

## PRAKATA

Segala pujian dan syukur saya naikkan kepada Tuhan Yesus Kristus, atas berkat, kebaikan, dan pertolongan tangan-Nya saja saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Studi Eksperimental Dan Numerikal Perilaku Tarik/Cabut Sekrup Kunci Pada Serat Samping Kayu" dengan baik dan tepat waktu. Studi ini merupakan syarat akademik untuk menyelesaikan studi tingkat Sarjana pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Dalam proses pelaksanaan skripsi ini, penulis menghadapi banyak hambatan dan kesulitan. Namun, penulis mampu menyelesaikan skripsi ini hanya karena bantuan, dukungan, dan motivasi dari orang-orang luar biasa disekitar penulis. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

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 sabar dalam membimbing, mengajarkan, memberi arahan, serta memberi wawasan baru dan saran kepada penulis dengan baik selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
2. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan pengetahuan dalam bidang Teknik Sipil.
3. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustandi yang membantu penulis dalam melaksanakan pengujian eksperimental di laboratorium dari tahap persiapan uji sampai ke selesai.
4. Orangtua, nenek, dan kakak penulis, Gabriel Valent yang senantiasa memberi doa, mendukung, dan percaya kepada penulis.
5. Hansen Marchel Hartono selaku teman seperjuangan dan teman diskusi yang sangat banyak memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Ferry Haryanto Darmawan, Ibu Clairine Dipa Siladharna, Bapak Billy Guyana Wahyudi, dan Ibu Melissa Kurniawan selaku kakak rohani penulis yang tidak pernah berhenti memberikan doa dan dukungan kepada penulis.



7. Jean Jessica Aliusius, Jerrica Pangestu, Nicholas Audwin Agathon, Sharon Abigail Sugono dan Yeremia Grant Setiawan selaku sahabat penulis yang telah berjuang bersama menempuh studi di Universitas Katolik Parahyangan.
8. Anastasia Monica Setiawan dan Elsie Gladys Sitorus selaku sahabat terdekat penulis yang selalu ada bagi penulis, senantiasa memberikan doa, dan menjadi semangat bagi penulis untuk menyelesaikan seluruh tanggung jawab dan skripsi penulis.
9. Andreas Christian Susanto, Celine Amanda Husen, Christoffer Bryan, Jonathan Jireh, Marcell Kelvin Christabel, Susanti Amelia, Vanessa Thenu, dan Viony Fransiska selaku sahabat penulis yang selalu percaya kepada penulis, mendoakan, dan mengingatkan penulis untuk mengandalkan Tuhan Yesus selama proses penyusunan skripsi.
10. Dricya Amadea, Gabriel Susanto, Joanna Abigail, Natania Vannesse, dan teman-teman komsel Saint yang selalu memberikan doa, semangat dan motivasi kepada penulis.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah berkontribusi membantu maupun mendoakan penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi tidak sempurna dan masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Terima kasih.

Bandung, 16 Januari 2023



Bryan Yehezkiel Firmansyah

6101901048

# DAFTAR ISI

|   |       |
|---|-------|
| LEMBAR PERNYATAAN .....                                     | i     |
| ABSTRAK .....   | ii    |
| ABSTRACT .....  | iii   |
| PRAKATA .....   | iv    |
| DAFTAR ISI .....  | vi    |
| DAFTAR NOTASI .....   | ix    |
| DAFTAR GAMBAR.....  | xiii  |
| DAFTAR TABEL .....  | xviii |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                       | xix   |
| 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.....                                 | 1-4   |
| 1.5 Metode Penelitian.....                                  | 1-5   |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                              | 1-5   |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....                                 | 2-1   |
| 2.1 Material Kayu.....                                      | 2-1   |
| 2.2 Besaran Elastis Material Kayu .....                     | 2-1   |
| 2.2.1 Modulus Elastisitas.....                              | 2-2   |
| 2.2.2 Rasio Poisson.....                                    | 2-2   |
| 2.2.3 Modulus Geser.....                                    | 2-3   |
| 2.3 Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Kayu.....             | 2-4   |
| 2.3.1 Kadar Air .....                                       | 2-4   |
| 2.3.2 Berat Jenis .....                                     | 2-4   |
| 2.3.3 Cacat Kayu .....                                      | 2-6   |
| 2.4 Material Baja .....                                     | 2-7   |
| 2.4.2 Batas Proporsional ( <i>Proportional Limit</i> )..... | 2-9   |

|   |            |
|---|------------|
| 2.4.3 Batas Elastik ( <i>Elastic Limit</i> ) .....                            | 2-9        |
| 2.4.4 Titik Leleh Atas (Upper Yield Point).....                               | 2-9        |
| 2.4.5 Titik Leleh Bawah (Lower Yield Point) .....                             | 2-9        |
| 2.4.6 Daerah Plastis (Yield Plateau) .....                                    | 2-9        |
| 2.4.7 Daerah <i>Strain Hardening</i> .....                                    | 2-9        |
| 2.4.8 Titik Ultimit .....   | 2-9        |
| 2.4.9 Titik Putus .....   | 2-10       |
| 2.4.10 Modulus Elastisitas, Tegangan Leleh, dan Tegangan Ultimit .....        | 2-10       |
| 2.4.11 Kurva Tegangan-Regangan <i>High-Strength Steels</i> .....              | 2-11       |
| 2.4.12 True Stress-Strain Curve .....   | 2-11       |
| 2.5 Sekrup Kunci.....   | 2-12       |
| 2.6 Sambungan Mekanis dengan Pengencang Dibebeani Aksial.....                 | 2-13       |
| 2.6.1 Kekuatan Cabut Sambungan.....   | 2-13       |
| 2.6.2 Faktor Koreksi Serat Ujung .....  | 2-15       |
| 2.6.3 Faktor Koreksi Layan Basah .....  | 2-15       |
| 2.6.4 Faktor Koreksi Temperatur .....   | 2-16       |
| 2.6.5 Faktor Koreksi Paku-Miring .....  | 2-16       |
| 2.6.6 Syarat Jarak Tepi dan Ujung Minimum untuk Beban Cabut Sekrup Kunci..... | 2-16       |
| 2.7 Kekuatan Leleh Lentur Pasak .....   | 2-17       |
| 2.8 Properti Material Kayu Meranti Merah .....                                | 2-19       |
| 2.9 Metode Elemen Hingga ( <i>Finite Element Method</i> ).....                | 2-20       |
| <b>BAB 3 KAJIAN EKSPERIMENTAL</b> .....                                       | <b>3-1</b> |
| 3.1 Pembuatan Benda Uji.....  | 3-1        |
| 3.2 Pengujian Kadar Air Spesimen Uji .....                                    | 3-3        |
| 3.3 Pengujian Berat Jenis Spesimen Uji .....                                  | 3-4        |
| 3.4 Pengujian Kekuatan Leleh Lentur Sekrup Kunci.....                         | 3-5        |
| 3.5 Perhitungan Estimasi Beban Cabut dengan SNI 7973:2013 .....               | 3-8        |
| 3.6 Skema Pengujian.....  | 3-8        |
| 3.7 Pengujian Tarik/Cabut .....   | 3-9        |
| <b>BAB 4 PEMODELAN DAN KAJIAN ANALISIS NUMERIKAL</b> .....                    | <b>4-1</b> |
| 4.1 Material .....  | 4-1        |

|  |   |      |
|--|---|------|
| 4.2  | Pemodelan Geometri .....  | 4-3  |
| 4.3  | Elemen Lekatan .....  | 4-4  |
| 4.4  | Syarat Batas dan Pembebanan .....                                 | 4-5  |
| 4.5  | Meshing .....   | 4-6  |
| <b>BAB 5 PEMBAHASAN HASIL UJI EKSPERIMENTAL DAN ANALISIS</b>         |   |      |
| <b>NUMERIKAL .....</b>   |   |      |
| 5.1  | Hasil Uji Eksperimental .....                                     | 5-1  |
| 5.1.1  | Grafik Beban-Perpindahan .....                                    | 5-1  |
| 5.1.2  | Kondisi Spesimen Uji Setelah Pengujian .....                      | 5-2  |
| 5.2  | Hasil Analisis Numerik .....                                      | 5-5  |
| 5.3  | Pengaruh Perbedaan Model Material Kayu pada Kondisi Elastis ..... | 5-6  |
| 5.4  | Mekanisme Kegagalan Cabut Sekrup .....                            | 5-9  |
| 5.5  | Pengaruh Panjang Penetrasi Terhadap Ragam Kegagalan .....         | 5-17 |
| 5.6  | Evaluasi Kapasitas Cabut Sekrup Kunci .....                       | 5-18 |
| <b>BAB 6 .....</b>   |   |      |
| 6.1  | Kesimpulan .....  | 6-1  |
| 6.2  | Saran .....   | 6-2  |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  |   |      |
| <b>xxi</b>   |   |      |
| <b>LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI</b>       |   |      |
| <b>D6P10 .....</b>   |   |      |
| <b>1-1</b>   |   |      |
| <b>LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI</b>       |   |      |
| <b>D6P20 .....</b>   |   |      |
| <b>2-1</b>   |   |      |
| <b>LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI</b>       |   |      |
| <b>D8P15 .....</b>   |   |      |
| <b>3-1</b>   |   |      |
| <b>LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI</b>       |   |      |
| <b>D8P26 .....</b>   |   |      |
| <b>4-1</b>   |   |      |
| <b>LAMPIRAN 5 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI</b>       |   |      |
| <b>D10P15 .....</b>  |   |      |
| <b>5-1</b>   |   |      |
| <b>LAMPIRAN 6 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI</b>       |   |      |
| <b>D10P28 .....</b>  |   |      |
| <b>6-1</b>   |   |      |
| <b>LAMPIRAN 7 PERHITUNGAN KADAR AIR DAN BERAT JENIS KAYU ..</b>      |   |      |
| <b>7-1</b>   |   |      |
| <b>LAMPIRAN 8 PERHITUNGAN <math>F_{yb}</math> SEKRUP KUNCI .....</b> |   |      |
| <b>8-1</b>   |   |      |

## DAFTAR NOTASI

|              |   |   |
|--------------|---|---|
| $A$          | : | Luas penampang spesimen                           |
| $ASTM$       | : | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| $BJ$         | : | Berat jenis                                       |
| $BKO$        | : | Berat kering oven                                 |
| $C$          | : | Celsius   |
| $C_{eg}$     | : | Faktor serat ujung                                |
| $C_M$        | : | Faktor layan basah                                |
| $C_t$        | : | Faktor temperatur                                 |
| $C_{tn}$     | : | Faktor paku-miring                                |
| $D$          | : | Diameter sekrup kunci                             |
| $D_r$        | : | Diameter inti sekrup kunci                        |
| $e$          | : | Engineering strain                                |
| $E$          | : | Modulus Elastisitas                               |
| $E$          | : | Panjang ujung tirus sekrup kunci                  |
| $E_{e//}$    | : | Modulus elastisitas arah longitudinal             |
| $E_{e\perp}$ | : | Modulus elastisitas arah tangensial dan radial    |
| $E_L$        | : | Modulus elastisitas sepanjang sumbu longitudinal  |
| $E_{p//}$    | : | Modulus plastis arah longitudinal                 |
| $E_{p\perp}$ | : | Modulus plastis arah tangensial dan radial        |
| $E_R$        | : | Modulus elastisitas sepanjang sumbu radial        |
| $E_T$        | : | Modulus elastisitas sepanjang sumbu tangensial    |
| $F$          | : | Lebar kepala lewat datar sekrup kunci             |
| $f$          | : | Tegangan tarik aksial                             |
| $F_{c//}$    | : | Kuat tekan sejajar serat                          |
| $F_{c\perp}$ | : | Kuat tekan tegak lurus serat                      |
| $FPL$        | : | Forest Products Laboratory                        |
| $F_u$        | : | <i>Ultimate tensile strength</i>                  |
| $F_{v//}$    | : | Kuat geser sejajar serat                          |
| $F_y$        | : | Tegangan leleh                                    |
| $F_{yb}$     | : | Kuat leleh lentur pasak                           |

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| $G$       | : | Berat jenis kayu   |
| $g$       | : | Gram   |
| $G$       | : | Modulus Geser  |
| $G_{LR}$  | : | Modulus geser berdasarkan regangan pada bidang LR dan tegangan pada bidang LT dan RT |
| $G_{LT}$  | : | Modulus geser berdasarkan regangan pada bidang LT dan tegangan pada bidang LR dan RT |
| $G_{RT}$  | : | Modulus geser berdasarkan regangan pada bidang RT dan tegangan pada bidang LR dan LT |
| $H$       | : | Tinggi kepala sekrup kunci   |
| $I$       | : | Momen inersia penampang  |
| $K$       | : | Konstanta  |
| $kN$      | : | Kilonewton   |
| $L$       | : | Panjang spesimen   |
| $LR$      | : | Bidang Longitudinal-Radial   |
| $LT$      | : | Bidang Longitudinal-Tangensial   |
| $LVDT$    | : | <i>Linear Variable Differential Transformer</i>                                      |
| $m$       | : | meter  |
| $M$       | : | Momen lentur di titik tinjau   |
| $MC$      | : | <i>Moisture Content</i>  |
| $M_{dry}$ | : | Massa kayu kering oven   |
| $mm$      | : | milimeter  |
| $M_o$     | : | Massa kayu asli  |
| $MPa$     | : | Megapascal   |
| $M_y$     | : | Momen leleh lentur   |
| $N$       | : | Banyak ulir/inci sekrup kunci  |
| $n_f$     | : | Banyak sekrup kunci pada sambungan   |
| $P$       | : | Beban aksial   |
| $P$       | : | Beban maksimum (N)   |
| $P$       | : | Kekuatan cabut pengencang  |
| $PEEQ$    | : | <i>Equivalent Plastic Strain</i>   |
| $p_t$     | : | Panjang ulir tertanam di komponen struktur kayu                                      |

|            |   |  |
|------------|---|--|
| $P_u$      | : | Kuat tarik desain pengencang baja  |
| $P_y$      | : | Beban yield  |
| $RT$       | : | Bidang Radial-Tangensial   |
| $s$        | : | Engineering stress   |
| $S$        | : | Modulus plastis efektif penampang  |
| $S$        | : | Panjang batang tanpa ulir sekrup kunci   |
| $s_{bp}$   | : | Jarak antar tumpuan  |
| $SNI$      | : | Standar Nasional Indonesia   |
| $T$        | : | Panjang ulir minimum sekrup kunci  |
| $UTM$      | : | <i>Universal Testing Machine</i>   |
| $V$        | : | Volume kering oven   |
| $W$        | : | Nilai desain cabut acuan   |
| $W'$       | : | Nilai desain cabut acuan terkoreksi  |
| $y$        | : | Jarak dari titik berat penampang ke tepi serat terluar   |
| $\Delta L$ | : | Perubahan panjang  |
| $\epsilon$ | : | Regangan aksial  |
| $\epsilon$ | : | True strain  |
| $\sigma$   | : | Tegangan normal  |
| $\sigma$   | : | True stress  |
| %          | : | Persen   |
| $\nu$      | : | Rasio Poisson  |
| $\nu_{LR}$ | : | Rasio Poisson untuk deformasi sepanjang sumbu radial yang disebabkan oleh tegangan arah longitudinal     |
| $\nu_{LT}$ | : | Rasio Poisson untuk deformasi sepanjang sumbu tangensial yang disebabkan oleh tegangan arah longitudinal |
| $\nu_{RL}$ | : | Rasio Poisson untuk deformasi sepanjang sumbu longitudinal yang disebabkan oleh tegangan arah radial     |
| $\nu_{RT}$ | : | Rasio Poisson untuk deformasi sepanjang sumbu tangensial yang disebabkan oleh tegangan arah radial       |
| $\nu_{TL}$ | : | Rasio Poisson untuk deformasi sepanjang sumbu longitudinal yang disebabkan oleh tegangan arah tangensial |

- $\nu_{TR}$  : Rasio Poisson untuk deformasi sepanjang sumbu radial yang disebabkan oleh tegangan arah tangensial
- $\phi$  : Koefisien reduksi untuk kondisi batas leleh





## DAFTAR GAMBAR

|  |      |
|--|------|
| <b>Gambar 1.1</b> Skema Uji Tarik/Cabut Sekrup Kunci pada Serat Samping Kayu .                             | 1-5  |
| <b>Gambar 2.1</b> Tiga Sumbu Utama Kayu Berdasarkan Arah Serat dan Lingkaran Pertumbuhan (FPL, 2010) ..... | 2-1  |
| <b>Gambar 2.2</b> Cacat Alami dan Cacat Konversi pada Balok Kayu (Porteous, J., Kermani, A., 2013) .....   | 2-7  |
| <b>Gambar 2.3</b> Diagram Gaya Bebas Uji Tarik pada Spesimen Baja (Segui, 2007)                            | 2-8  |
| <b>Gambar 2.4</b> Kurva Tegangan-Regangan Baja (Segui, 2007) .....   | 2-8  |
| <b>Gambar 2.5</b> Kurva Tegangan-Regangan Baja Ideal (Segui, 2007) .....                                   | 2-10 |
| <b>Gambar 2.6</b> Kurva Tegangan-Regangan Baja High-Strength Steels (Segui, 2007) .....                    | 2-11 |
| <b>Gambar 2.7</b> Bagian-Bagian Sekrup Kunci Segi 6 .....  | 2-12 |
| <b>Gambar 2.8</b> Skema Pengujian Kuat Leleh Lentur Pasak (ASTM F1575-03) ..                               | 2-17 |
| <b>Gambar 2.9</b> Skema Pengujian Kuat Leleh Lentur Pasak (ASTM F1575-03) ..                               | 2-18 |
| <b>Gambar 2.10</b> Diskretisasi elemen pada plane stress (Widarda, 2014) .....                             | 2-21 |
| <b>Gambar 3.1</b> Dimensi Benda Uji .....  | 3-1  |
| <b>Gambar 3.2</b> Pemotongan Balok Kayu dengan Mesin Pemotong Kayu.....                                    | 3-2  |
| <b>Gambar 3.3</b> Contoh Sekrup Kunci dengan Dimensi Berbeda Pada Pengujian ..                             | 3-3  |
| <b>Gambar 3.4</b> Keenam Benda Uji Setelah Selesai Dibuat.....   | 3-3  |
| <b>Gambar 3.5</b> Pengukuran Berat Asli Sampel Kayu .....  | 3-4  |
| <b>Gambar 3.6</b> Alat <i>Universal Testing Machine (UTM)</i> .....  | 3-6  |
| <b>Gambar 3.7</b> Pengujian Leleh Lentur Sekrup Kunci (D10).....   | 3-6  |
| <b>Gambar 3.8</b> Kelelahan Lentur Sekrup Kunci (D10).....   | 3-7  |
| <b>Gambar 3.9</b> Grafik Beban vs Perpindahan Pengujian Kuat Leleh Lentur Sekrup Kunci .....               | 3-7  |
| <b>Gambar 3.10</b> Skema Pengujian Cabut Sekrup Kunci.....   | 3-9  |
| <b>Gambar 3.11</b> Pengujian Eksperimental Cabut Sekrup Kunci pada Laboratorium3-10                        |      |
| <b>Gambar 4.1</b> Kurva Tegangan-Regangan Parameter Model Material Kayu Meranti Merah.....                 | 4-2  |
| <b>Gambar 4.2</b> True Stress-Strain Curve Sekrup Kunci .....  | 4-3  |

|  |      |
|--|------|
| <b>Gambar 4.3</b> Pemodelan Geometri Terpisah Sekrup Kunci dan Kayu .....  | 4-4  |
| <b>Gambar 4.4</b> Pemodelan Geometri Sekrup Kunci dan Kayu Utuh .....  | 4-4  |
| <b>Gambar 4.5</b> Model Geometri Sambungan .....   | 4-4  |
| <b>Gambar 4.6</b> Elemen Lekatan Model Sambungan .....   | 4-5  |
| <b>Gambar 4.7</b> Syarat Batas dan Pembebanan pada Model .....   | 4-5  |
| <b>Gambar 4.8</b> Meshing pada Model.....  | 4-6  |
| <b>Gambar 5.1</b> Grafik Beban-Perpindahan Uji Eksperimental.....  | 5-1  |
| <b>Gambar 5.2</b> Kondisi Spesimen Uji Setelah Pengujian, Gambar (a) menunjukkan spesimen D10P28, Gambar (b) menunjukkan spesimen D10P15, Gambar (c) menunjukkan spesimen D8P26, Gambar (d) menunjukkan spesimen D8P15, Gambar (e) menunjukkan spesimen D6P20, dan Gambar (f) menunjukkan spesimen D6P10. ....                 | 5-3  |
| <b>Gambar 5.3</b> Spesimen Benda Uji yang Dibelah Setelah Pengujian Cabut, Gambar (a) menunjukkan spesimen D10P28, Gambar (b) menunjukkan spesimen D10P15, Gambar (c) menunjukkan spesimen D8P26, Gambar (d) menunjukkan spesimen D8P15, Gambar (e) menunjukkan spesimen D6P20, dan Gambar (f) menunjukkan spesimen D6P10..... | 5-4  |
| <b>Gambar 5.4</b> Grafik Beban-Perpindahan Hasil Analisis Numerik .....  | 5-5  |
| <b>Gambar 5.5</b> Kontur PEEQ pada Model D10P28 Setelah Analisis Numerik .....   | 5-6  |
| <b>Gambar 5.6</b> Kurva Beban-Perpindahan Model Isotropik dan Ortotropik Gambar (a) menunjukkan spesimen D10P28, Gambar (b) menunjukkan spesimen D10P15, Gambar (c) menunjukkan spesimen D8P26, Gambar (d) menunjukkan spesimen D8P15, Gambar (e) menunjukkan spesimen D6P20, dan Gambar (f) menunjukkan spesimen D6P10.....   | 5-8  |
| <b>Gambar 5.7</b> Kontur PEEQ pada Beban Cabut Maksimal, Gambar (a) menunjukkan spesimen D10P28, Gambar (b) menunjukkan spesimen D10P15, Gambar (c) menunjukkan spesimen D8P26, Gambar (d) menunjukkan spesimen D8P15, Gambar (e) menunjukkan spesimen D6P20, dan Gambar (f) menunjukkan spesimen D6P10.....                   | 5-10 |
| <b>Gambar 5.8</b> Perbandingan Deformasi Spesimen Setelah Pengujian Cabut Eksperimen (a), Kontur PEEQ Model Akhir Analisis Numerik (b), dan Kurva Tegangan Von Mises pada Bagian Lubang Material   |      |

Kayu Saat Beban Cabut Maksimal (c) pada Konfigurasi D6P10... 5-11

**Gambar 5.9** Perbandingan Deformasi Spesimen Setelah Pengujian Cabut Eksperimen (a), Kontur PEEQ Model Akhir Analisis Numerik (b), dan Kurva Tegangan Von Mises pada Bagian Lubang Material Kayu Saat Beban Cabut Maksimal (c) pada Konfigurasi D6P20... 5-12

**Gambar 5.10** Perbandingan Deformasi Spesimen Setelah Pengujian Cabut Eksperimen (a), Kontur PEEQ Model Akhir Analisis Numerik (b), dan Kurva Tegangan Von Mises pada Bagian Lubang Material Kayu Saat Beban Cabut Maksimal (c) pada Konfigurasi D8P15... 5-13

**Gambar 5.11** Perbandingan Deformasi Spesimen Setelah Pengujian Cabut Eksperimen (a), Kontur PEEQ Model Akhir Analisis Numerik (b), dan Kurva Tegangan Von Mises pada Bagian Lubang Material Kayu Saat Beban Cabut Maksimal (c) pada Konfigurasi D8P26... 5-14

**Gambar 5.12** Perbandingan Deformasi Spesimen Setelah Pengujian Cabut Eksperimen (a), Kontur PEEQ Model Akhir Analisis Numerik (b), dan Kurva Tegangan Von Mises pada Bagian Lubang Material Kayu Saat Beban Cabut Maksimal (c) pada Konfigurasi D10P15. 5-15

**Gambar 5.13** Perbandingan Deformasi Spesimen Setelah Pengujian Cabut Eksperimen (a), Kontur PEEQ Model Akhir Analisis Numerik (b), dan Kurva Tegangan Von Mises pada Bagian Lubang Material Kayu Saat Beban Cabut Maksimal (c) pada Konfigurasi D10P28. 5-16

**Gambar 5.14** Grafik Perbandingan Beban-Perpindahan Spesimen D6P10..... 5-18

**Gambar 5.15** Grafik Perbandingan Beban-Perpindahan Spesimen D6P20..... 5-19

**Gambar 5.16** Grafik Perbandingan Beban-Perpindahan Spesimen D8P15..... 5-19

**Gambar 5.17** Grafik Perbandingan Beban-Perpindahan Spesimen D8P26..... 5-20

**Gambar 5.18** Grafik Perbandingan Beban-Perpindahan Spesimen D10P15.... 5-21

**Gambar 5.19** Grafik Perbandingan Beban-Perpindahan Spesimen D10P28.... 5-22

**Gambar 5.20** Grafik Beban-Perpindahan dengan  $F_y$  efektif Spesimen D6P10 5-23

**Gambar 5.21** Grafik Beban-Perpindahan dengan  $F_y$  efektif Spesimen D6P20 5-23

**Gambar 5.22** Grafik Beban-Perpindahan dengan  $F_y$  efektif Spesimen D8P15 5-24

**Gambar 5.23** Grafik Beban-Perpindahan dengan  $F_y$  efektif Spesimen D8P26.5-25

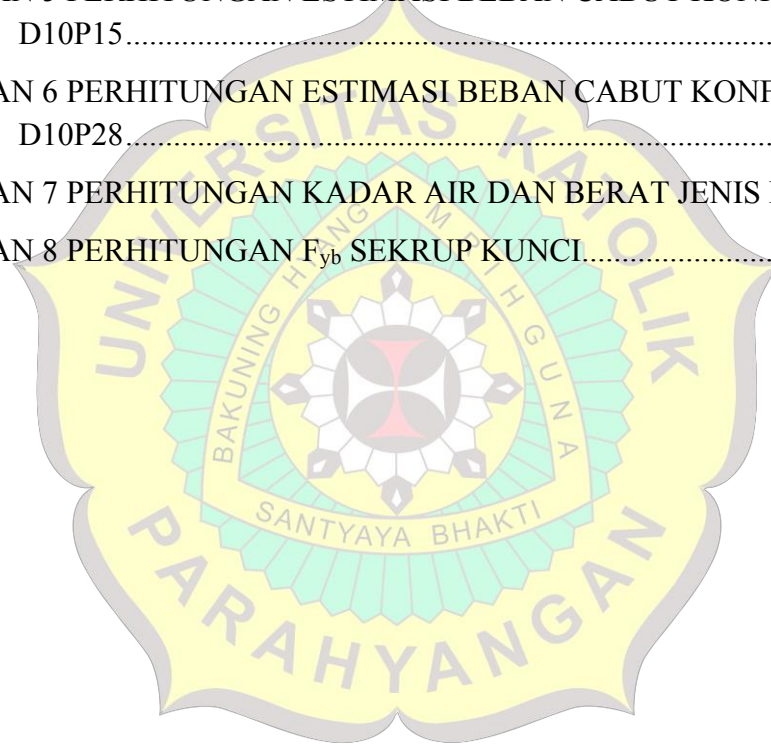


## DAFTAR TABEL

|   |      |
|---|------|
| <b>Tabel 2.1</b> Berat Jenis Beberapa Kayu Indonesia (SNI 7973:2013) .....  | 2-5  |
| <b>Tabel 2.2</b> Keberlakuan Faktor Koreksi pada Sambungan (SNI 7973:2013) .....  | 2-14 |
| <b>Tabel 2.3</b> Faktor Layan Basah, $C_M$ untuk Sambungan dengan Sekrup Kunci (SNI 7973:2013).....                     | 2-15 |
| <b>Tabel 2.4</b> Faktor Temperatur, $C_t$ untuk Sambungan (SNI 7973:2013) .....   | 2-16 |
| <b>Tabel 2.5</b> Syarat Jarak Tepi dan Ujung Minimum untuk Beban Cabut Sekrup Kunci.....                                | 2-16 |
| <b>Tabel 2.6</b> Kuat Tekan Sejajar Serat, Tegak Lurus Serat, dan Kuat Geser dari Pengujian (Pranata et al., 2013)..... | 2-20 |
| <b>Tabel 2.7</b> Properti Spesimen Kayu Meranti Merah berdasarkan Pengujian (Pranata et al., 2013).....                 | 2-20 |
| <b>Tabel 3.1</b> Dimensi Sekrup Kunci Uji.....  | 3-2  |
| <b>Tabel 3.2</b> Kadar Air Spesimen Uji.....  | 3-4  |
| <b>Tabel 3.3</b> Berat Jenis Spesimen Uji.....  | 3-5  |
| <b>Tabel 3.4</b> Kuat Leleh Lentur Sekrup Kunci.....  | 3-8  |
| <b>Tabel 3.5</b> Estimasi Beban Cabut Maksimal Sambungan.....   | 3-8  |
| <b>Tabel 3.6</b> Konfigurasi Sambungan Berdasarkan Variasi pada Pengujian .....   | 3-9  |
| <b>Tabel 4.1</b> Parameter Kayu dalam Pemodelan .....   | 4-1  |
| <b>Tabel 5.1</b> Kapasitas Cabut Sambungan Setiap Konfigurasi Uji Eksperimen .....                                      | 5-2  |
| <b>Tabel 5.2</b> Kapasitas Cabut Sambungan Setiap Konfigurasi Analisis Numerik ...                                      | 5-6  |
| <b>Tabel 5.3</b> Panjang Penetrasi Minimum untuk Kegagalan Sambungan adalah Leleh pada Pengencang .....                 | 5-17 |
| <b>Tabel 5.4</b> Nilai $F_y$ Efektif dan Perbandingan Kapasitas Cabut Pemodelan $F_y$ Efektif dengan Eksperimen.....    | 5-27 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |     |
|--|-----|
| LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI<br>D6P10.....  | 1-1 |
| LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI<br>D6P20.....  | 2-1 |
| LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI<br>D8P15.....  | 3-1 |
| LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI<br>D8P26.....  | 4-1 |
| LAMPIRAN 5 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI<br>D10P15..... | 5-1 |
| LAMPIRAN 6 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN CABUT KONFIGURASI<br>D10P28..... | 6-1 |
| LAMPIRAN 7 PERHITUNGAN KADAR AIR DAN BERAT JENIS KAYU .                | 7-1 |
| LAMPIRAN 8 PERHITUNGAN $F_{yb}$ SEKRUP KUNCI.....                      | 8-1 |



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Material kayu dan kayu rekayasa merupakan material yang telah dikenal masyarakat sebagai salah satu bahan konstruksi. Material kayu terkenal ramah lingkungan dan mudah dalam pengerjaan, sehingga material kayu sering digunakan dalam *light construction* atau konstruksi ringan. Selain itu, material kayu juga berpotensi besar untuk mengungguli bahan konstruksi lain seperti baja dan beton dalam bidang estetika atau keindahan. Serat alami yang dimiliki kayu menjadi kelebihan material kayu sehingga tidak jarang terdapat bangunan ekspos dari material kayu.

Dalam penggunaannya sebagai alat konstruksi, batang-batang kayu atau kayu rekayasa perlu digabungkan. Pada beberapa kasus, material kayu rekayasa atau yang dikenal sebagai *glulam* disambungkan dengan cara direkatkan menggunakan perekat industri khusus yang sangat kuat. Namun, seringkali penggunaan kayu dan kayu rekayasa dalam aplikasi struktural melibatkan penggunaan pengencang mekanis seperti paku biasa, paku boks, paku *sinker*, baut, sekrup kayu, sekrup kunci, pasak, dan lain-lain. Sambungan antara balok kayu dengan balok kayu lainnya perlu ditinjau dan didesain sebaik mungkin, karena secara umum kegagalan pada konstruksi kayu terjadi pada bagian sambungan.

Sekrup kunci adalah salah satu pengencang mekanis yang relatif lebih besar dari sekrup lain. Penelitian-penelitian terdahulu menyebutkan bahwa sekrup kunci adalah salah satu sambungan terkuat untuk konstruksi dengan material kayu. Sekrup kunci atau disebut juga *lag screw* seringkali digunakan untuk menahan balok-balok kayu yang berat materialnya sendiri besar, atau ketika dibutuhkan resistansi penarikan dalam sambungan. Pemasangan sekrup kunci dilakukan dengan cara membuat lubang pada material kayu terlebih dahulu menggunakan bor. Dengan memakai sekrup kunci, mekanisme transfer gaya pada sambungan adalah lewat geometri ulir sekrup dan permukaan kayu.

Pada sambungan-sambungan mekanis tersebut, terdapat dua arah gaya terhadap pengencang yaitu tarik/cabut (*withdrawal*) dan geser (*lateral*). Sambungan dengan perilaku tarik/cabut (*withdrawal*) adalah sambungan yang dibebani aksial atau dibebani oleh gaya yang arahnya sama dengan arah pengencang. Sedangkan, sambungan dengan perilaku geser (*lateral*) adalah sambungan yang dibebani oleh gaya yang arahnya tegak lurus dengan arah pengencang. Kekuatan sambungan mekanis mengacu pada seberapa kuat sambungan menahan beban sampai terjadi kegagalan. Pada perilaku tarik/cabut, kegagalan dapat terjadi pada kayu di sekitar lubang atau leleh pada sekrup kunci. Kegagalan yang terjadi pada kayu di sekitar lubang sebagian besar ditentukan oleh jenis kayu atau berat jenis kayu yang dipakai, diameter sekrup kunci, serta panjang penetrasi aktual sekrup kunci (panjang bagian berulir tanpa ujung pada sekrup kunci). Sedangkan jika pada sambungan terjadi kegagalan karena leleh pada sekrup kunci, maka kekuatan sambungan ditentukan oleh mutu baja yang dipakai dan diameter inti sekrup kunci.

Pada penggunaan sekrup kunci sebagai pengencang mekanis yang dibebani secara cabut (*withdrawal*), sekrup kunci dapat dibebani cabut pada serat ujung kayu maupun serat samping kayu. Pada penelitian kali ini, sekrup kunci dibatasi akan dibebani cabut dari serat samping kayu. Menurut SNI 7973:2013, sambungan akan mempunyai kapasitas yang lebih besar ketika dibebani dari serat samping kayu dibandingkan dari serat ujung kayu. Selain itu, pada aplikasinya sekrup lebih sering dibebani dari serat samping kayu.

Dalam meninjau perilaku tarik/cabut sekrup kunci pada serat kayu, parameter desain diperoleh dengan cara eksperimental dan juga analisis numerik. Pada penelitian dengan cara eksperimental, hasil kajian akan lebih akurat karena berdasarkan hal konkret yang terjadi di lapangan. Eksperimen uji tarik/cabut sekrup kunci memerlukan waktu dan materi untuk persiapan benda uji, dan proses pengujian. Oleh karena itu, sebaiknya tinjauan perilaku tarik/cabut sekrup kunci dimodelkan secara numerik agar model dapat digunakan untuk analisis secara akurat jika variabel perlu diubah-ubah untuk mencari solusi terbaik, tanpa harus dilakukan eksperimen uji. Analisis dengan model sambungan dengan numerik dapat dilakukan secara berulang-ulang dengan efisien. Selain itu, interpretasi data



pada analisis numerik akan lebih rinci dibandingkan hasil eksperimental. Eksperimen dan analisis numerik penting untuk dilakukan. Walaupun analisis numerik lebih efisien, model pada analisis numerik tetap harus divalidasi keakuratannya dan harus representatif terhadap keadaan sesungguhnya. Hal ini dapat dibuktikan dengan membandingkan hasil eksperimental dan hasil analisis numerik.

Pada sambungan dengan pengencang mekanis sekrup kunci, ulir pada sekrup kunci berperan sangat penting pada mekanisme transfer gaya atau beban. Geometri ulir sekrup jika dimodelkan secara numerik butuh sangat banyak titik tinjau dan akhirnya pemodelan tidak efisien. Geometri ulir sekrup dan kayu yang aktual terlalu kompleks untuk dimodelkan. Oleh karena itu, pada analisis numerik perlu dimodelkan interaksi antara ulir sekrup dengan permukaan kayu yang dapat disebut elemen lekatan. Elemen ini harus dimodelkan secara akurat sehingga terjadi ragam kegagalan yang sesuai dengan keadaan aktual.

## **1.2 Inti Permasalahan**

Parameter desain tinjauan perilaku tarik/cabut sekrup kunci pada material kayu diperoleh dengan cara eksperimental dan numerikal. Parameter desain yang didapatkan dari studi eksperimental akan sangat akurat sesuai dengan yang terjadi di lapangan. Namun, sebaiknya studi eksperimental dilengkapi dengan pemodelan analisis numerik karena analisis numerik model sambungan dapat dilakukan secara berulang-ulang secara efisien.

Sambungan material kayu dengan sekrup kunci pada prakteknya didasarkan pada interaksi antara ulir sekrup dan permukaan kayu sebagai mekanisme transfer gaya atau beban yang terjadi pada sambungan. Geometri ulir sekrup terlalu kompleks bila dimodelkan secara aktual. Karena itu, pemodelan elemen lekatan antara ulir sekrup kunci dengan permukaan kayu yang representatif perlu dibuat sehingga analisis numerik dapat dilakukan tanpa harus memodelkan geometri ulir sekrup yang sangat kompleks.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

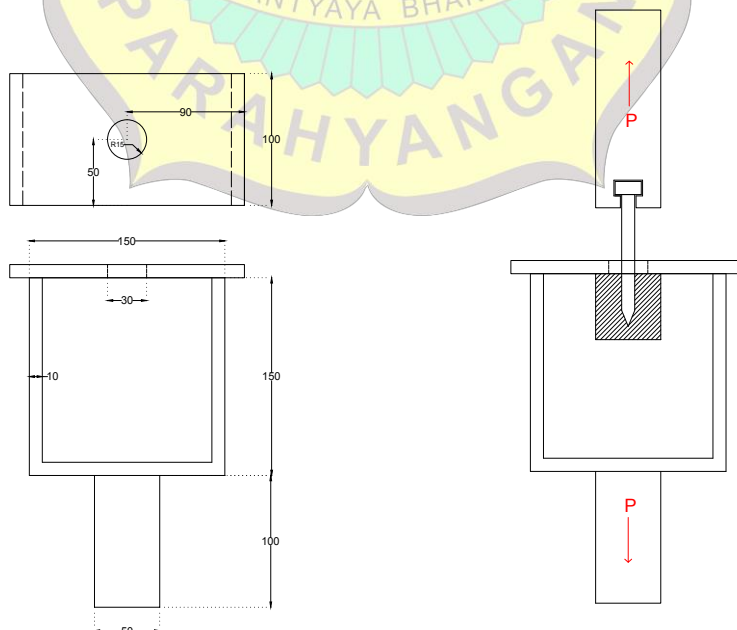
Tujuan dari dilakukannya studi dan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan evaluasi ragam kegagalan dan kapasitas sambungan pada sekrup kunci yang mengalami tarik/cabut.
2. Memodelkan secara sederhana dan representatif perilaku tarik/cabut sambungan sekrup kunci pada serat ujung kayu dengan akurat sesuai data yang didapatkan saat eksperimen, agar model dapat digunakan untuk analisis kasus yang lebih kompleks.

#### 1.4 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa pembatasan sebagai berikut:

3. Acuan desain dan perhitungan menggunakan SNI 7973:2013.
4. Kayu yang digunakan dalam eksperimen adalah kayu jenis Meranti Merah, dengan dimensi 50mm x 50mm x 50mm.
5. Parameter alat penyambung sekrup kunci atau *lag screw* yang digunakan dalam eksperimen didapatkan dari hasil uji kuat leleh lentur.
6. Alat yang digunakan untuk eksperimen tarik/cabut sekrup kunci adalah alat *Universal Testing Machine* (UTM).
7. Spesimen uji direncanakan terdiri dari satu batang kayu dengan sekrup kunci tertanam pada serat samping. Pengujian akan dibantu menggunakan alat bantu penahan yang terbuat dari baja.



**Gambar 1.1** Skema Uji Tarik/Cabut Sekrup Kunci pada Serat Samping Kayu

8. Variasi pada uji eksperimen adalah diameter sekrup dan panjang penetrasi sekrup kunci yang dievaluasi ragam kegagalan dan kapasitas cabutnya.
9. Analisis dan pemodelan numerik akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak elemen hingga *non-linear ABAQUS*.

### **1.5 Metode Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan tiga metode, antara lain:

#### 10. Studi Literatur

Pengambilan teori, informasi, data, dan acuan untuk menjadi dasar dalam penelitian yang membantu memahami permasalahan agar dapat dicari solusi sesuai dengan tujuan penelitian. Literatur dapat berupa buku, jurnal, paper, penelitian terdahulu, dan sumber-sumber lainnya.

#### 11. Studi Eksperimental

Mencari pengaruh perilaku tarik atau cabut terhadap serat samping kayu dengan cara memberikan perlakuan secara langsung pada benda uji dan observasi pengaruh perlakuan pada benda uji. Eksperimen dilakukan untuk pengambilan data dan validasi teori, serta validasi keakuratan model dalam penelitian.

#### 12. Studi Analisis

Perangkat lunak elemen hingga *non-linear ABAQUS* akan digunakan sebagai alat analisis permasalahan untuk menemukan solusi sesuai dengan tujuan penelitian.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi ini secara garis besar terdiri dari 6 (enam) bab, antara lain:

#### **BAB 1: PENDAHULUAN**

Bab ini membahas latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

## BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori dan persyaratan-persyaratan desain untuk dijadikan acuan dalam analisis, pemodelan dan pembahasan.

## BAB 3 : KAJIAN EKSPERIMENTAL

Bab ini berisi tentang uji eksperimental tarik/cabut sekrup kunci pada serat samping kayu yang dilakukan pada benda uji sesuai skema yang telah ditentukan.

## BAB 4 : PEMODELAN DAN KAJIAN ANALISIS NUMERIKAL

Bab ini berisi tentang hasil analisis dan pemodelan perilaku tarik/cabut sekrup kunci pada serat samping kayu menggunakan perangkat lunak non-linier ABAQUS.

## BAB 5 : PEMBAHASAN HASIL UJI EKSPERIMENTAL DAN ANALISIS NUMERIKAL

Bab ini membahas hasil uji eksperimental dan analisis numerikal perilaku tarik/cabut sekrup kunci pada serat samping kayu, serta mengevaluasi model numerik terhadap hasil eksperimental.

## BAB 6 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan akhir dari hasil studi dan analisis, serta saran terkait hasil yang didapatkan pada studi yang telah dilakukan untuk perkembangan penelitian selanjutnya.