

**SIMULASI NUMERIK DAN ANALISIS KEKUATAN TEKAN  
KOMPOSIT LAMINAT JUTE EPOKSI DENGAN *ANSYS*  
*WORKBENCH* 2022**

**SKRIPSI**

**OLEH :**

**SAHAT MARULI SIHOMBING  
208130003**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2025**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 6/8/25

Access From ([repository.uma.ac.id](http://repository.uma.ac.id))6/8/25

**SIMULASI NUMERIK DAN ANALISIS KEKUATAN TEKAN  
KOMPOSIT LAMINAT JUTE / EPOKSI DENGAN ANSYS  
WORKBENCH 2022**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

Oleh :

**SAHAT MARULI SIHOMBING  
208130003**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

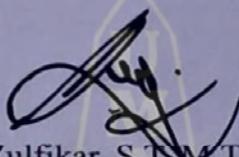
Judul Skripsi : Simulasi Numerik dan Analisi Kekuatan Tekan  
Komposit Laminan Jute Dengan ANSYS  
Workbench 2022

Nama Mahasiswa : Sahat Maruli Sihombing

NIM : 208130003

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh  
Komisi Pembimbing

  
Zulfikar, S.T., M.T  
Pembimbing



  
Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T  
Dekan



  
Dr. Iswandi, S.T., M.T  
Ka.Prodi

Tanggal Lulus :

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan 11 januari 2025



Sahat Maruli Sihombing  
208130003

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

### HALAMAN PERNYATAAN PERSTUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sahat Maruli Sihombing  
NPM : 208130003  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

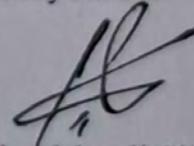
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, meyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalt-Free Right*) atas karya ilmiah yang berjudul : Simulasi Numerik dan Analisis Kekuatan Tekan Komposit Laminan Jute Dengan *ANSYS Workbench 2022*.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalti noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Universitas Medan Area

Pada tanggal: 11, Januari 2025

Yang menyatakan

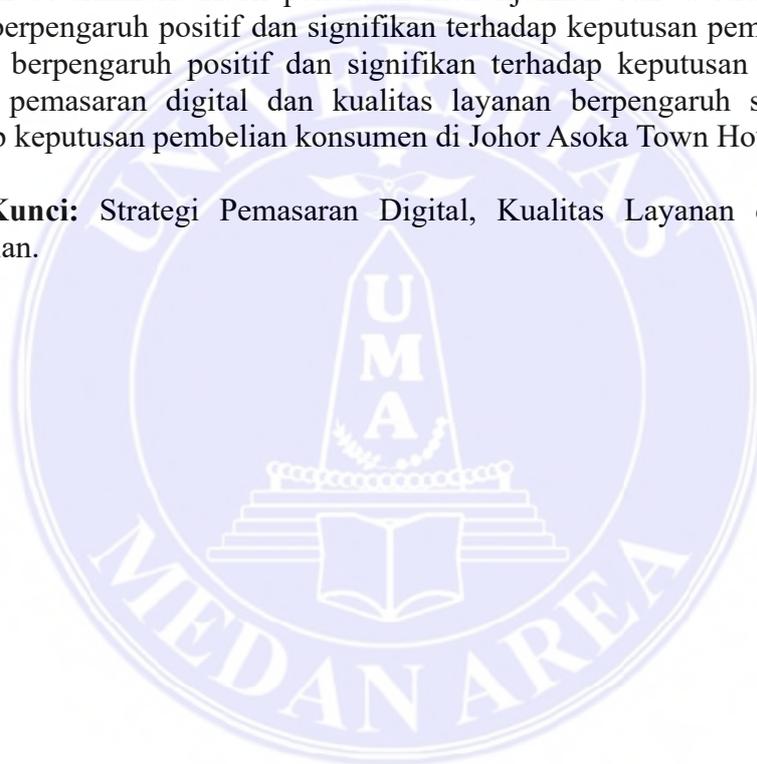


(Sahat Maruli Sihombing)  
NPM 208130003

## ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh strategi pemasaran digital terhadap keputusan pembelian, untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh kualitas layanan terhadap keputusan pembelian dan untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh strategi pemasaran digital dan kualitas layanan terhadap keputusan pembelian konsumen di Johor Asoka Town House Medan. Populasi dalam penelitian ini adalah pembeli rumah di Perumahan Joska Townhouse. Medan yang berjumlah 194 rumah atau 194 orang. Sampel dalam penelitian sebanyak 66 orang yang diambil dengan menggunakan rumus slovin. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan dengan penyebaran kuesioner. Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi linear berganda, uji parsial (Uji t), uji signifikansi simultan (Uji F) dan koefisien determinasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi pemasaran digital berpengaruh positif dan signifikan terhadap keputusan pembelian, kualitas layanan berpengaruh positif dan signifikan terhadap keputusan pembelian dan strategi pemasaran digital dan kualitas layanan berpengaruh secara simultan terhadap keputusan pembelian konsumen di Johor Asoka Town House Medan.

**Kata Kunci:** Strategi Pemasaran Digital, Kualitas Layanan dan Keputusan Pembelian.



## ABSTRACT

*Natural fiber-based laminated composites are gaining increasing attention in engineering applications due to their excellent mechanical properties, lightweight, and eco-friendly nature. This study aims to analyze the compressive strength of Jute-based laminated composites using numerical simulations with ANSYS Workbench 2022. The composite consists of Jute fiber laminates with an epoxy matrix, arranged in layers to evaluate their mechanical characteristics under compressive loading. The simulation process includes geometry modeling, material property definition, and the application of loading conditions. The parameters analyzed include stress distribution, total deformation, and maximum compressive strength. The simulation results show that the Jute laminate composite exhibits a maximum deformation of 0.2 mm at the central part of the specimen with a uniform stress distribution. The maximum compressive strength is recorded at 85 MPa before failure occurs in the fiber layers. From this analysis, it can be concluded that Jute laminate composites with an epoxy matrix possess good potential for structural applications under moderate compressive loads. This study also demonstrates that numerical simulation is an effective tool for evaluating the mechanical performance of composites. Further research is recommended to evaluate the effects of fiber orientation variations and the addition of other reinforcement materials.*

**Keywords:** *Laminated Composite, Jute, Numerical Simulation, ANSYS Workbench, Compressive Strength*

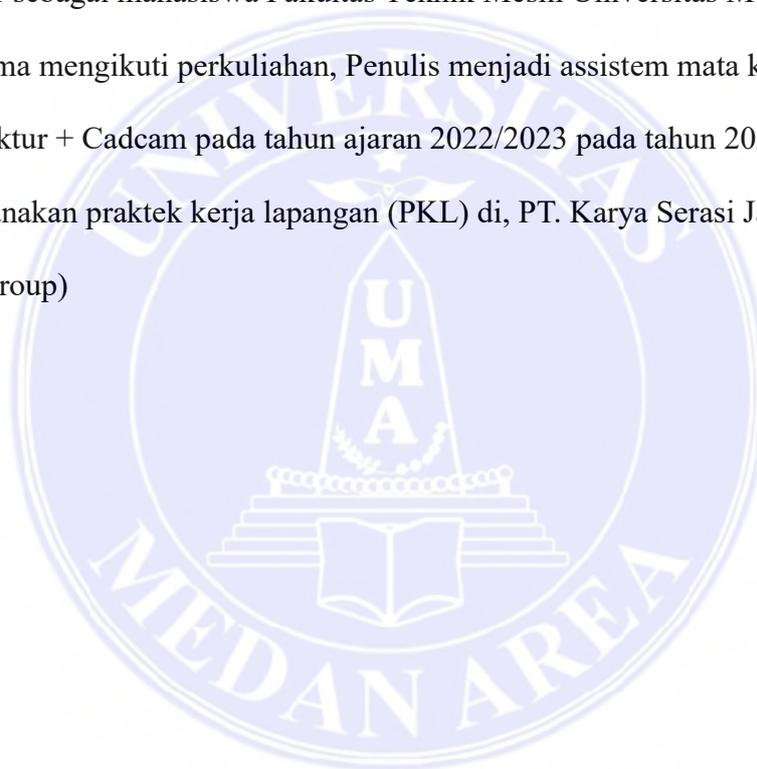


## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Buntu Maraja pada tanggal 09, Desember 2002 dari Ayah Rusli Sihombing dan Ibu Norhaidah Siagian. Penulis merupakan putra ke tuju (7) dari delapan (8) bersaudara.

Tahun 2020 penulis dari SMK Negeri 1 Lubuk Pakam, dan pada tahun 2020 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahan, Penulis menjadi assistem mata kuliah Sistem Manufaktur + Cadcam pada tahun ajaran 2022/2023 pada tahun 2022 Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di, PT. Karya Serasi Jaya Abadi (STA-Group)



## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul. “Simulasi Numerik dan Analisis Kekuatan Tekan Komposit Laminan Jute Epoksi dengan *ANSYS WORKBENCH 2022*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak menerima bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada.

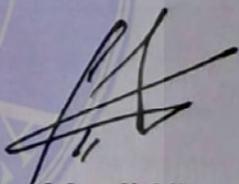
1. Bapak Zulfikar, S.T.M.T. selaku dosen pembimbing utama, yang telah memberikan bimbingan, saran, dan dukungan yang sangat berharga dalam proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Iswandi, S.T.M.T. Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas dalam menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak/Ibu Dosen dan Staf Akademik, di lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, yang telah memberikan ilmu dan dukungan selama masa studi.
4. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin yang telah memberikan semangat dan kerjasama selama penyusunan skripsi ini.
5. Keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan moral, dan materi yang tiada henti.

6. Saya juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada diri saya sendiri, Sahat Maruli Sihombing, atas perjuangan dan kerja keras dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya serta dapat menjadi sumbangan pemikiran bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang teknik mesin.

Medan, Januari 2025

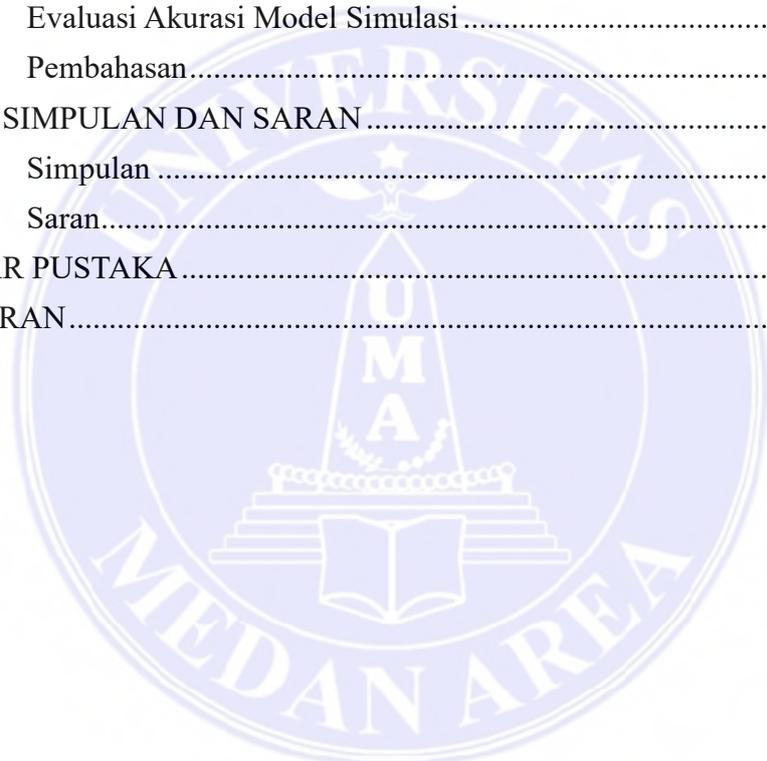


(Sahat Maruli Sihombing)

## DAFTAR ISI

SIMULASI NUMERIK DAN ANALISIS KEKUATAN TEKAN KOMPOSIT LAMINAT JUTE / EPOKSI DENGAN ANSYS WORKBENCH 2022.....	ii
ABSTRAK.....	vi
RIWAYAT HIDUP .....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Hipotesis.....	6
1.5. Manfaat Penelitian .....	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	7
2.1. Komposit.....	7
2.2. Serat Jute .....	9
2.3. Resin Epoksi dan Katalis .....	11
2.4. Beton .....	14
2.5. Kuat Tekan .....	16
2.6. Kerusakan Beton .....	17
2.7. Hasil Penelitian Sebelumnya.....	20
2.8. Simulasi Numerik dengan Metode Elemen Hingga.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.2. Bahan dan Alat .....	24
3.2.1. Alat.....	24
3.3. Metode Penelitian.....	27
3.2.2. Pembuatan Model Geometri .....	27
3.2.3. Pengaturan Kondisi Batas dan Beban .....	27
3.2.4. Proses Simulasi .....	28
3.4. Populasi dan Sampel .....	29
3.5. Prosedur kerja.....	30

3.2.5. Analisis dan Validasi Hasil.....	31
BAB IV HASIL PEMBAHASAN .....	32
4.1. Hasil .....	32
4.1.1 Hasil simulasi kekuatan tekan komposit laminat jute .....	32
4.1.2 Proses Simulasi Dan Analisis Kekuatan Tekan Beton .....	32
4.1.3 Kondisi Batas .....	35
4.1.4 Beban Tekan.....	36
4.2. Hasil Simulasi Numerik .....	38
4.2.1 Pengaruh Variasi Jumlah Lapisan Terhadap Kekuatan Tekan.....	38
4.2.2 Tegangan Maksimum dan Pola Kerusakan .....	38
4.3. Evaluasi Akurasi Model Simulasi .....	41
4.4. Pembahasan.....	43
BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....	44
5.1. Simpulan .....	44
5.2. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA .....	46
LAMPIRAN.....	48



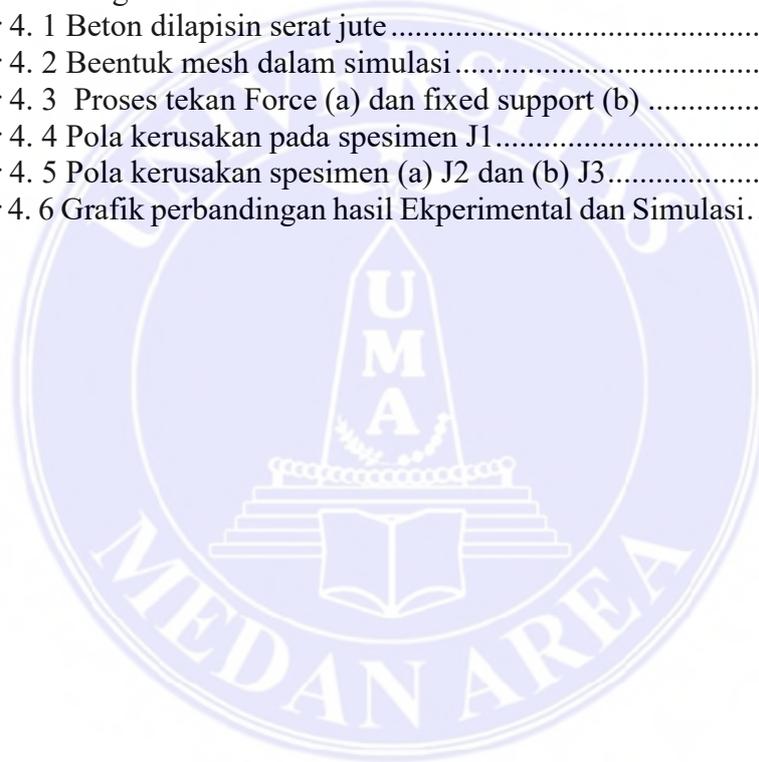
## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Karakteristik serat jute .....	11
Tabel 2. 2. Resin Epoksi.....	13
Tabel 2. 3. Mutu Beton.....	16
Tabel 3. 1. Jadwal Tugas Akhir .....	24
Tabel 4. 1 kode spesimen .....	34
Tabel 4. 2 Beban tekan simulasi.....	37
Tabel 4. 3 Data hasil uji eksperimental dan simulasi .....	42
Tabel 4. 4 Pengujian ANOVA .....	42



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposit .....	7
Gambar 2. 2. Serat Jute .....	10
Gambar 2. 3 Resin Epoksi.....	12
Gambar 2. 4. struktur beton.....	16
Gambar 2. 5 Retak (cracks).....	18
Gambar 2. 6 Voids .....	19
Gambar 2. 7 scalling .....	20
Gambar 3. 1 Laptop.....	25
Gambar 3. 2 software ansys .....	25
Gambar 3. 3 Excel.....	26
Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 4. 1 Beton dilapisin serat jute .....	32
Gambar 4. 2 Beentuk mesh dalam simulasi .....	35
Gambar 4. 3 Proses tekan Force (a) dan fixed support (b) .....	36
Gambar 4. 4 Pola kerusakan pada spesimen J1.....	40
Gambar 4. 5 Pola kerusakan spesimen (a) J2 dan (b) J3.....	41
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan hasil Ekperimental dan Simulasi.....	43



## DFTAR NOTASI

MPa	:	Megapascal, satuan tegangan atau tekanan
$\text{MPa/g.cm}^{-3}$	:	Rasio kekuatan terhadap densitas
$\mu$	:	(Mikro) diameter
$\text{gr cm}^{-1}$	:	Gram per sentimeter, densitas
$\text{KN m Kg}^{-1}$	:	Kekuatan
Gpa	:	Modulus elastisitas
$\text{g/cm}^3$	:	Densitas
%	:	Persen
F	:	( force) Beban maksimum
A	:	( Area) Luas penampang
N	:	Newton
$\text{mm}^2$	:	Milimeter persegi
$\Sigma$	:	Sigma besar



## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pertumbuhan dan perkembangan industri konstruksi di Indonesia cukup pesat. Menurut penelitian, hampir 60% material yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi adalah beton yang dipadukan dengan baja atau jenis lainnya (Basyaruddin et al., 2021). Beton sering digunakan dalam pembuatan gedung, jalan, bendungan, dan saluran air, serta dalam pembangunan rumah sebagai struktur tiang dan dinding. Namun, meskipun beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, beton memiliki kekuatan tarik yang rendah dan mudah retak, yang sering menyebabkan kerusakan pada struktur tersebut (Asrullah et al., 2021). Dalam upaya meningkatkan kualitas beton, berbagai inovasi dilakukan, termasuk penggunaan material tambahan seperti baja ringan yang memiliki tegangan tarik lebih tinggi dibandingkan baja tulangan biasa (Basyaruddin et al., 2021). Penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan limbah abu batu ke dalam campuran beton dapat meningkatkan kekuatan tekan beton (Asrullah et al., 2021). Penelitian lain menambahkan bahwa penggunaan fly ash sebagai bahan substitusi sebagian semen dalam beton ramah lingkungan juga menunjukkan hasil positif dalam meningkatkan kekuatan beton (Alviana et al., 2022). Penelitian mengenai kebijakan Standar Nasional Indonesia (SNI) pada produk besi beton juga menunjukkan bahwa kebijakan ini berdampak positif terhadap produksi dalam negeri (Shoim & Lubis, 2015). Dengan demikian, meskipun beton adalah material utama dalam konstruksi, tantangan terkait kekuatan tarik dan retaknya mendorong inovasi dan penelitian berkelanjutan untuk meningkatkan keandalan dan daya tahan struktur beton.

Jute adalah serat alami yang telah lama dikenal dan banyak digunakan setelah kapas. Serat ini digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk tekstil dan karung goni. Melihat potensi serat jute, penelitian ini bertujuan untuk menguji kekuatan tekan bahan komposit laminat jute-epoksi sebagai penguat struktur beton. Penggunaan komposit laminat jute-epoksi diharapkan dapat memperbaiki kelemahan beton dalam hal kekuatan tarik dan keretakan, serta meningkatkan performa beton dalam aplikasi konstruksi. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat jute dalam komposit epoksi dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur material (Mostafa, 2019). Selain itu, studi menunjukkan bahwa kombinasi serat jute dengan serat lain, seperti serat kaca, dapat lebih meningkatkan sifat mekanis komposit, seperti kekuatan tarik dan fleksural (Sari et al., 2019). Penggunaan serat jute dalam beton juga telah terbukti mengurangi keretakan dan meningkatkan ketahanan terhadap beban dinamis (Pawar et al., 2017). Penelitian lebih lanjut juga menemukan bahwa penggunaan jute sebagai penguat dalam beton dapat memberikan solusi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan dibandingkan dengan serat sintetis (Sultana et al., 2020). Dengan demikian, penggunaan serat jute dalam komposit laminat epoksi menawarkan potensi besar untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan struktur beton.

Untuk memastikan bahwa penggunaan komposit laminat jute-epoksi benar-benar efektif dalam memperkuat struktur beton, diperlukan metode analisis yang dapat memberikan gambaran rinci tentang perilaku material ini di bawah beban. Salah satu metode yang paling efektif untuk melakukan analisis ini adalah simulasi numerik dengan metode elemen hingga. Metode ini memungkinkan para peneliti untuk memodelkan dan menganalisis respon mekanis dari komposit laminat jute-

epoksi secara lebih akurat. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan komposit ini dapat meningkatkan kekuatan tekan beton hingga 100-150% ketika diintegrasikan dengan serat kaca atau digunakan dalam beberapa lapisan (Wang et al., 2019; Zulfikar & Yakoob, 2023). Selain itu, modifikasi serat jute dengan agen penghubung silane dapat meningkatkan sifat mekanis dan stabilitas termal dari komposit (Fiore et al., 2020). Dengan demikian, metode elemen hingga sangat penting untuk memahami dan memaksimalkan potensi komposit laminat jute/epoksi dalam aplikasi konstruksi.

Metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) adalah teknik komputasi yang sangat efektif untuk memecahkan masalah teknik dan fisika yang kompleks, termasuk analisis structural (Hong, 2023). Metode ini membagi struktur kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan sederhana, yang disebut elemen hingga, dan kemudian menganalisis perilaku setiap elemen ini di bawah beban tertentu (Rahman & Ülker, 2018). Keuntungan utama dari FEM adalah kemampuannya untuk memberikan solusi yang sangat mendetail dan akurat terhadap berbagai jenis masalah teknik, termasuk analisis tegangan, deformasi, dan kegagalan material (Abidin & Misro, 2022). Dalam konteks penelitian ini, analisis simulasi numerik dengan metode elemen hingga sangat penting untuk beberapa alasan:

- a. Validasi Eksperimen: Hasil eksperimen dapat divalidasi melalui simulasi numerik. Dengan melakukan simulasi, kita dapat memastikan bahwa data eksperimen yang diperoleh akurat dan representatif terhadap perilaku material di lapangan.

- b. Analisis Mendalam: Simulasi numerik memungkinkan analisis yang lebih mendalam tentang distribusi tegangan dan deformasi dalam spesimen beton yang diperkuat dengan laminat jute epoksi. Hal ini tidak selalu bisa dicapai melalui metode eksperimental tradisional.
- c. Penghematan Waktu dan Biaya: Melalui simulasi, berbagai skenario dan variasi dapat diuji tanpa perlu melakukan banyak eksperimen fisik, yang bisa sangat memakan waktu dan biaya.
- d. Optimasi Desain: Simulasi numerik memungkinkan optimasi desain komposit laminat jute-epoksi untuk menemukan konfigurasi terbaik yang memberikan peningkatan kekuatan maksimum pada beton (Okereke & Keates, 2018).

Dengan menggunakan Ansys Workbench 2022, perangkat lunak yang canggih untuk simulasi numerik, penelitian ini akan mengevaluasi secara komprehensif kekuatan tekan beton yang diperkuat komposit laminat jute/epoksi. Ansys Workbench menyediakan berbagai alat dan fitur untuk melakukan analisis elemen hingga secara efisien dan akurat, termasuk kemampuan untuk mengimpor data material, membuat model geometri yang kompleks, dan mensimulasikan kondisi beban yang realistis (Tzou, 2018).

Oleh karena itu, integrasi analisis simulasi numerik dengan metode elemen hingga dalam penelitian ini bukan hanya melengkapi hasil eksperimental, tetapi juga memberikan pandangan yang lebih luas dan mendalam tentang potensi aplikasi komposit laminat jute epoksi dalam konstruksi beton. Hasil simulasi ini akan memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut dan penerapan

material komposit ini dalam industri konstruksi, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan durabilitas struktur beton di masa mendatang.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik kekuatan tekan dari struktur beton kolom silinder yang diperkuat dengan komposit laminat jute-epoksi menggunakan simulasi numerik?
2. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan dan jumlah lapisan komposit terhadap kekuatan tekan beton?
3. Bagaimana perilaku mekanis dan pola kerusakan beton yang diperkuat dengan komposit laminat jute-epoksi?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Dengan mengintegrasikan data-data eksperimental ini ke dalam simulasi numerik menggunakan *Ansys Workbench 2022*, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh variasi jumlah lapisan komposit laminat jute/epoksi terhadap kekuatan tekan beton silinder.
2. Menentukan tegangan maksimum dan pola kerusakan pada spesimen beton dengan lapisan jute/epoksi melalui simulasi numerik
3. Mengevaluasi akurasi model simulasi dalam memprediksi kinerja kekuatan tekan spesimen dibandingkan dengan data eksperimental

#### 1.4. Hipotesis

Berdasarkan latar belakang, perumusan masalah, dan tujuan-tujuan penelitian, hipotesis dalam penelitian ini adalah:

1. Komposit laminat jute-epoksi dapat meningkatkan kekuatan tekan beton secara signifikan.
2. Variasi ketebalan dan jumlah lapisan komposit berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tekan beton.
3. Perilaku mekanis dan pola kerusakan beton yang diperkuat dengan komposit laminat jute-epoksi dapat diidentifikasi dan diprediksi dengan akurat menggunakan simulasi numerik.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Dengan dilaksanakannya studi ini maka manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

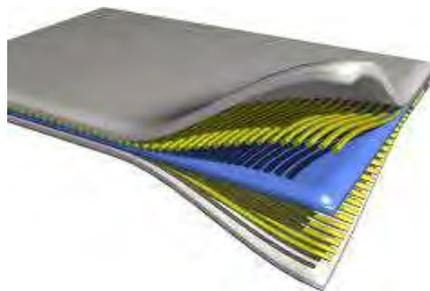
1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang material komposit dan teknik Mesin terkait penggunaan komposit laminat jute epoksi sebagai penguat beton.
2. Menyediakan data dan analisis yang dapat digunakan sebagai referensi bagi peneliti dan praktisi di bidang konstruksi untuk meningkatkan kekuatan struktur beton.
3. Membantu pengembangan teknologi material komposit yang ramah lingkungan dan ekonomis, memanfaatkan serat alam sebagai penguat struktur.

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1. Komposit

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih bahan yang berbeda, yang ketika digabungkan menghasilkan material baru dengan sifat-sifat yang berbeda dari masing-masing bahan penyusunnya (Hidayat, Jusuf Zulfikar, et al., 2022). Komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah. Unsur utama penyusunan komposit yaitu pengisi (*filler*) yang berupa serat sebagai kerangka dan unsur pendukung lainnya berupa matriks. Pengisi (*filler*) dan matriks merupakan dua unsur yang diperlakukan dalam pembentukan material komposit. (Alfian Siregar, 2022)

Dalam konteks teknik, komposit sering digunakan untuk memanfaatkan kekuatan dan kekakuan material penguat (serat) dan ketahanan terhadap lingkungan dari material matriks. Salah satu contoh paling umum dari material komposit adalah beton bertulang yang menggabungkan kekuatan tekan beton dengan kekuatan tarik baja. Gambar 2.1 memperlihatkan struktur dari bahan komposit.



Gambar 2. 1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari beberapa bahan yang berbeda, jika digabungkan akan menghasilkan material dengan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan bahan-bahan penyusunnya. Berikut adalah beberapa jenis komposit:

### 1. Komposit Serat (*Fiber Composites*)

#### a. Komposit Serat Kaca (*Glass Fiber Composites*)

Komposit serat kaca adalah material komposit yang terdiri dari serat kaca sebagai penguat yang dicampur dengan matriks resin. Serat kaca memberikan kekuatan dan kekakuan pada komposit, sementara matriks resin menyatukan serat-serat tersebut dan melindungi dari kerusakan. Komposit serat menawarkan kombinasi unik antara kekuatan, kekakuan, dan berat yang ringan, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi industri. Dengan memahami karakteristik serat dan matriks yang digunakan, serta proses pembuatannya, kita dapat memanfaatkan kelebihan komposit serat untuk menghasilkan produk yang inovatif dan efisien.

#### b. Komposit Serat Karbon (*Carbon Fiber Composites*)

Komposit serat karbon adalah material komposit yang menggunakan serat karbon sebagai bahan penguat yang dicampur dengan matriks resin. Serat karbon terkenal dengan kekuatannya yang sangat tinggi dan bobotnya yang sangat ringan, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi industri, terutama dalam dunia otomotif. Komposit serat karbon adalah teknologi material canggih yang menggabungkan kekuatan dan kekakuan serat karbon dengan matriks polimer untuk menghasilkan material yang ringan, kuat, dan sangat efisien. Penggunaannya yang luas dalam industry, diantaranya otomotif, dan

olahraga menunjukkan potensi besar dalam memajukan teknologi material untuk masa depan yang lebih ringan dan lebih kuat.

c. **Komposit Serat Aramid (Aramid *Fiber Composites*)**

Komposit serat aramid adalah material komposit yang menggunakan serat aramid sebagai penguatnya. Serat aramid, seperti Kevlar dan Twaron terkenal karena kekuatannya yang tinggi dan ketahanannya terhadap panas dan abrasi. Material ini sering digunakan. Material ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari industri hingga militer dan produk consume. Komposit serat aramid menawarkan kombinasi kekuatan, ketahanan, dan ringan yang membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi industri dan militer. Meskipun biayanya lebih tinggi dan proses pembuatannya lebih rumit dibandingkan dengan komposit lainnya, keuntungan yang diberikan oleh material ini sering kali melebihi kelemahannya, terutama dalam aplikasi kritis yang membutuhkan performa tinggi.

## 2.2. Serat Jute

Jute adalah serat alami yang diperoleh dari kulit batang tanaman *Corchorus capsularis* dan *Corchorus olitorius*. Serat jute dikenal karena kekuatannya, kelenturannya, dan kemampuannya untuk diperbarui. Jute sering digunakan dalam pembuatan karung goni, permadani, dan material tekstil lainnya. Gambar 2.2 memperlihatkan bentuk dari bahan baku serat jute.



Gambar 2. 2. Serat Jute

Penelitian komposit dengan matriks epoksi berpenguat serat jute telah dilakukan dengan penyusunan 3 lapis simetris dengan fraksi volume serat sebesar 33,57% komposit epoksi berpenguat serat jute tersebut dilakukan pengujian Tarik untuk mengetahui sifat mekanik. Sifat mekanik tersebut diantaranya:

- a. Kekuatan Tarik
- b. Pertambahan Panjang dan
- c. Kekuatan Tarik spesifik

Kekuatan Tarik komposit epoksi berpenguat serat jute 3 lapis simetris sebesar 45,961 Mpa. Pertambahan Panjang sebesar 8,927%. Kekuatan Tarik spesifik tertinggi pada komposit epoksi berpenguat 3 lapis simetrik sebesar 42,517  $\text{MPa/g.cm}^{-3}$ . Selain itu di buat komposit epoksi berpenguat serat e-glass sebagai perbandingan. Jika dibandingkan dengan komposit epoksi berpenguat serat jute dengan komposit epoksi berpenguat serat e-glass, dengan kekuatan Tarik sebesar 123,77 Mpa. Pertambahan Panjang sebesar 8,2299%. Kekuatan Tarik spesifik tertinggi pada epoksi *e-glass* berpenguat 3 lapis sebesar 84,47  $\text{MPa/g.cm}^{-3}$  maka kekuatan Tarik rata-rata komposit epoksi berpenguat serat *e-glass* masih belum bisa menyamai. Akan tetapi, kekuatan komposit

epoksiberpenguat jute memiliki potensi untuk menggantikan serat sintetis tersebut (Septiyanto et al., 2015)

Berikut adalah tabel yang mencantumkan beberapa karakteristik utama serat jute di perlihatkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Karakteristik serat jute (Mamun & Hasanuzzaman, 2020)

Karakteristik	Nilai / Deskripsi
Diameter ( $\mu$ )	26,0
Densitas ( $\text{gr cm}^{-1}$ )	1,3
Daya Tarik (Mpa)	1316
Kekuatan ( $\text{KN m Kg}^{-1}$ )	1012
Modulus Elastisitas (Gpa)	91,9
Aspek rasio serat	100

### 2.3. Resin Epoksi dan Katalis

Resin epoxy adalah polimer yang berasal dari kelompok *thermoset*. Resin ini memiliki sifat *adhesive* yang baik, tingkat penyusutan yang rendah, dan stabilitas dimensi yang tinggi. Ketika dicampur dengan katalis (*hardener*), resin epoksi mengalami reaksi kimia yang menghasilkan material padat dengan kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap korosi (Tri-Dung Ngo, 2020).

Resin *thermoset* adalah polimer cair yang di ubah menjadi bahan padat secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimia, membentuk pormasi lantai

polimer tiga dimensi. Gambar 2.3. Diperlihatkan bentuk dari bahan baku resin epoksi.



Gambar 2. 3 Resin Epoksi

*Thermoset* memiliki sifat yang gampang mengeras dan tidak bisa di lelehkan Kembali dengan pemanasan, atomnya terikat dengan kuat sekali berbagai aplikasi industri dan Teknik. Bentuk resin epoksi sebelum pengerasan berupa seperti cairan gula putih yang mencair .

Di beberapa bagian *structural* resin epoksi banyak digunakan untuk bahan komposit. Resin ini juga di pakai sebagai bahan pelapis anti korosi digunakan untuk melindungi permukaan logam dari permukaan yang keras (Shaari et al., 2020).

Resin epoksi memiliki kelebihan yaitu:

- a. Memiliki sifat *adhesive* yang baik untuk *fiber* dan resin.
- b. Tahan terhadap panas, tidak bisa di lelehkan hanya dengan suhu tertentu.
- c. Stabilitas dimensi resin epoksi setelah mengeras tidak akan merubah dimensi dari ukuran asli.
- d. Memiliki ketahanan yang baik terhadap zat-zat kimia.
- e. Tahan terhadap korosi.

Sifat-sifat ini membuat resin epoksi sangat berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam industri otomotif, kedirgantaraan, konstruksi, elektronik, dan seni dekoratif, karena kombinasi kekuatan mekanis yang tinggi dan ketahanan terhadap lingkungan eksternal. Untuk mengenal lebih lanjut tentang resin epoksi, diperlihatkan resin epoksi pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Resin Epoksi (Tri-Dung Ngo, 2020).

Karakteristik	Deskripsi
<i>Density</i> (g/cm <sup>3</sup> )	1.2–1.3
<i>Elongation</i> (%)	1.3
<i>Tensile strength</i> (MPa)	55.0–130.0
<i>Young's modulus</i> (GPa)	2.7–4.1

Katalis dalam konteks resin mengacu pada zat atau senyawa kimia yang digunakan untuk mempercepat atau mengatur reaksi polimerisasi atau pengerasan resin. Fungsi utama katalis adalah menginisiasi atau mempercepat proses kimia yang mengubah resin dari bentuk cair atau semi-cair menjadi bentuk polimer padat atau semi-padat. Katalis bekerja dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksi kimia, yang memungkinkan molekul-molekul resin untuk bereaksi dengan lebih cepat atau pada suhu yang lebih rendah daripada yang biasanya dibutuhkan tanpa katalis. Jenis katalis yang digunakan tergantung pada jenis resin yang digunakan dan sifat reaksi yang diinginkan. Contohnya, pada resin epoksi, katalis seperti amina atau poliamida digunakan untuk memulai reaksi polimerisasi dengan agen pengeras epoksida. Sementara pada poliester tak jenuh, katalis seperti asam atau anhidrida digunakan untuk mengaktifkan reaksi dengan monomer. Penggunaan

katalis dalam resin tidak hanya mempengaruhi kecepatan dan efisiensi proses produksi, tetapi juga berperan penting dalam menentukan sifat mekanis, kimia, dan termal dari material akhir.

Katalis dalam konteks kimia umumnya tidak memiliki sifat fisik dan mekanis seperti bahan padat atau cair, tetapi lebih merupakan agen yang mempengaruhi reaksi kimia antara bahan-bahan lain. Namun, katalis memainkan peran kunci dalam mengatur proses kimia dan dapat memiliki beberapa karakteristik yang relevan.

#### 2.4. Beton

Beton adalah komponen struktur yang terdiri dari fragmen agregat yang dilekatkan pada pasta yang terbuat dari semen Portland dan air. Pasta itu mengisi celah diantara partikel agregat. Setelah itu beton segera dicor, maka akan mengeras karena reaksi kimia eksotermis antara semen dan air membentuk struktur yang padat dan tahan lama, beton merupakan gabungan dari material batuan yang disatukan oleh suatu bahan pengikat. Sifat beton dipengaruhi oleh bahan dan cara pengolahannya. Semen mempengaruhi laju pengerasan beton. Selain itu, kandungan bubuk dan pengolahan termasuk jenis penuangan, pemadatan, dan pemeliharaan, pada akhirnya mempengaruhi kekuatan beton (Saifuddin et al., 2014).

Pada umumnya, kerusakan yang terjadi pada beton dipengaruhi beberapa faktor antara lain suhu udara, beban eksternal, bahan kimia, dan korosi internal dalam struktur beton itu sendiri. Kerusakan pada beton ini dapat menyebabkan putusnya antara agregat-agregat beton dan berdampak langsung kepada melemahnya konstruksi beton. Jenis-jenis kerusakan beton sering ditemui antara lain *scalling*,

*spalling*, dan *cracking*. Lebih lanjut, dampak dari jenis-jenis kerusakan beton tersebut ditemukan pada permukaan beton yang akan terlihat pecah-pecah sehingga mengurangi estetika bangunan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan kegiatan perbaikan sehingga dapat meremajakan Kembali konstruksi beton dan tidak membahayakan penghuninya dalam suatu bangunan.(Rekayasa et al., 2022).

Beton kelas 1 adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non *structural*. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan dengan  $B_0$ .

Beton kelas 2 adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan *structural* secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas 2 dibagi 6 dalam mutu-mutu standar B1 K 125, K175, dan K 225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu-mutu K125 dan K175 dengan keharusan harus memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu dari hasil-hasil pemeriksaan benda uji.(Rekayasa et al., 2022).

Beton kelas 3 adalah suatu beton yang memiliki struktural yang lebih tinggi dari K 225. Proses pembuatannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Untuk pembuatan beton diharuskan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta di layani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu kualitas beton secara kontinu (Rekayasa et al., 2022). Gambar 2.4 Diperlihatkan struktur beton



Gambar 2. 4. struktur beton

Beton memiliki beberapa kelas beserta mutunya masing-masing. Berikut tabel kelas dan mutu beton diperlihatkan pada tabel 2.4.

Tabel 2. 3. Mutu Beton

Kelas	Mutu	$\sigma'_{bk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'_{bk}$ dengan $S_d=46$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Tujuan	Pengawasan	
					Mutu agregat	Kekuatan tekan
I	B <sub>0</sub>	-	-	Non struktur	Ringan	-
	B <sub>1</sub>	-	-	Struktural	Sedang	-
	K 125	125	200	Struktural	Ketat	Kontinu
II	K 175	175	250	Struktural	Ketat	Kontinu
	K 225	225	200	Struktural	Ketat	Kontinu
III	K > 225	>225	>300	Struktural	Ketat	Kontinu

## 2.5. Kuat Tekan

Kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Kuat tekan beton

merupakan salah satu sifat terpenting yang menentukan kualitas dan performa beton dalam aplikasi struktural.(Esmaeili & Ahooghalandary, 2020).

Uji kekuatan beton adalah tes penting untuk mengetahui seberapa kuat beton yang kita buat. Ini biasanya dilakukan Ketika beton sudah berumur 28 Hari. Dalam menghitung kekuatan tekan kita membutuhkan rumus yaitu:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$\Sigma$  = Kekuatan Tekan ( MPa )

F = Beban Maksimum ( N )

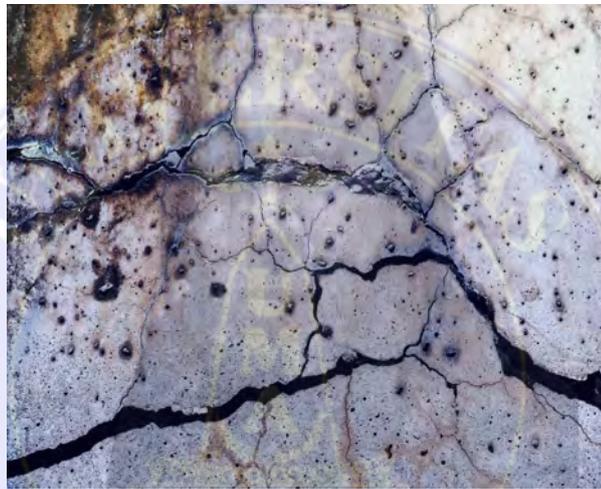
A = Luas Penampang ( mm<sup>2</sup> )

## 2.6. Kerusakan Beton

Kerusakan pada beton umumnya dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori:

- a. Retak (*Cracks*): Retak pada beton tidak dapat dicegah namun ukuran retak dapat dikontrol. Retak yang terjadi pada beton sangat dipengaruhi oleh sifat dan karakteristik dari material penyusun beton terutama semen dan air. Retak dapat terjadi pada fase beton segar dan beton keras. Retak yang terjadi pada beton dapat kelompokkan menjadi dua, retak nonstruktural dan retak struktural. Ada beberapa tipe retak nonstruktural seperti crazing, map cracking, retak plastis akibat penyusutan, retak plastis akibat penurunan, retak akibat susut pengeringan, retak akibat perubahan temperatur, retak akibat reaksi kimia. Retak struktural dapat disebabkan oleh karena pengaruh getaran, gempa dan beban yang bekerja melebihi kapasitas. Retak pada

balok beton dapat berupa retak lentur, retak miring, retak geser lentur, retak puntir, retak lekatan. Keruntuhan yang terjadi pada balok mempunyai hubungan yang erat dengan pola retak yang terbentuk. Retak yang terjadi pada balok harus diperbaiki agar kerusakan tidak bertambah parah dan usaha untuk memperkuat struktur untuk menjamin struktur tetap aman (Layang, 2022). Gambar 2.5. retak (*cracks*) diperlihatkan di bawah ini



Gambar 2. 5 Retak (*cracks*)

b. *Voids*: Lubang-lubang dalam dan lebar pada beton akibat pemadatan yang kurang baik atau kebocoran bekisting. *Voids* ini dapat mempengaruhi kekuatan dan daya tahan beton. Ada beberapa jenis *voids* pada beton:

1. Rongga air (*Air voids*)

- a. Lubang kecil yang terbentuk oleh udara yang terjebak melalui pencampuran beton.
- b. Lubang ini bisa bermanfaat dalam jumlah tertentu untuk meningkatkan kekuatan terhadap siklus beku-cair.

2. Rongga air (*water voids*)

- a. Terjadi ketika air berlebihan dalam campuran beton sehingga menguap, meninggalkan lobang-lobang kosong.
- b. Biasanya terjadi rongga/lobang akibat rasio air semen yang terlalu berlebihan.

3. Rongga penyusutan (*Shrinkage voids*)

- a. Terbentuk karena penyusutan beton saat mengering dan mengeras.
- b. Penyusutan yang tidak merata dapat menyebabkan rongga di dalam beton.

4. Rongga segregasi (*Segregation voids*)

- a. Terjadi akibat pemisahan agregat selama pengecoran beton.
- b. Biasanya disebabkan oleh proses pencampuran atau pengecoran yang tidak benar. Gambar 2.6. *Voilds* diperlihatkan pada gambar dibawah



Gambar 2. 6 Voids

- c. *Scaling/Spalling/Erosion*: Kelupasan dangkal pada permukaan beton akibat eksposisi berulang terhadap pembekuan dan pencairan atau abrasi. Yang dapat di timbulkan oleh beberapa sebab, diantaranya: eksposisi yang bertulang ulang terhadap pembekuan dan pencairan sehingga permukaan terkelupas, keadaan ini disebut scalling Melekatnya material pada permukaan bekisting sehingga permukaan beton terlepas dalam kepingan atau bongkah kecil, keadaan ini disebut spalling Terlepasnya partikel-partikel sehalus debu yang dapat terdiri dari semen yang sangat halus atau agregat yang sangat halus, terlepas akibat abrasi misalnya saat lantai disapu, hal semacam ini disebut dusting. Gambar 2.7. Scalling / spalling / erosion diperlihatkan.



Gambar 2. 7 *scalling*

## 2.7. Hasil Penelitian Sebelumnya

Kekuatan tekan maksimum rata-rata BKS diperoleh pada jumlah selubung KLJ sebanyak 3 lapis, yaitu 23.84 MPa atau mengalami peningkatan kekuatan tekan rata-rata hingga 40 %. Untuk fungsi kerapatan variasi terhadap seluruh data uji

menunjukkan bahwa data-data hasil eksperimental tersebut adalah terdistribusi secara normal pada interval populasi 11–25 MPa dengan rata-rata data 18,17 MPa. Berdasarkan hasil perhitungan metode Anova diperoleh bahwa nilai  $F_0$  hasil eksperimental yaitu sebesar 0,93 adalah jauh lebih kecil jika dibanding dengan nilai Tabel F-Distribusi dengan toleransi  $\alpha = 5 \%$ , yaitu 5,14. Dengan demikian, pemberian selubung KLJ pada spesimen beton silinder terbukti secara signifikan peningkatan kekuatannya (Alamsyah et al., 2022)

Pemberian selubung KHLJG menyebabkan terjadinya perubahan massa dan ukuran spesimen kolom beton silinder. Pada variasi GGJ dan JGJ diperoleh penambahan massa sebesar 14 %. Selanjutnya pada variasi JJG terjadi penambahan massa sebesar 17 %. Akan tetapi, pemberian selubung KHLJG tidak menyebabkan perubahan massa yang terlalu signifikan terhadap spesimen BKS ( $< 20 \%$ ). Lebih lanjut, adanya necking atau pengecilan penampang selubung, maka material selubung KHLJG digolongkan sebagai material getas. Kekuatan tekan rata-rata maksimum diperoleh pada selubung KHLJG dengan variasi JGJ, yaitu 31 MPa atau mengalami peningkatan kekuatan tekan rata-rata hingga lebih dari 100 % terhadap spesimen tanpa selubung. Lebih lanjut, meskipun peningkatan kekuatan tekan rata-rata pada variasi selubung GGJ dan JGJ lebih kecil dibandingkan dengan JGJ, tetapi peningkatannya mencapai hingga 100 %. Spesimen dengan lapisan jute sebagai lapisan pertama yang menyelubungi spesimen BKS memiliki kekuatan tekan rata-rata yang lebih tinggi dari variasi lainnya. Dengan demikian, pemberian selubung jute pada awal permukaan spesimen beton secara signifikan memberikan perubahan ukuran diameter spesimen dengan pemberian selubung KHLJG untuk variasi GGJ, JGJ, dan JJG ialah berturut-turut 15 %, 16 % dan 16 %. Akan tetapi, pemberian

selubung hibrid KLJG pada spesimen juga tidak menyebabkan perubahan ukuran diameter yang terlalu signifikan terhadap spesimen kolom beton silinder. Berdasarkan pola kerusakan yang terjadi pada spesimen KHLJG, yaitu dengan pola putus yang tegak lurus terhadap penampang pembebanan dan tidak terlihat kekuatannya. (Tyas Muzakir et al., 2022).

Kekuatan tekan maksimum rata-rata diperoleh pada selubung KHLJG dengan variasi JGJ, yaitu 31,13 MPa atau mengalami peningkatan kekuatan tekan rata-rata hingga 100 % terhadap spesimen tanpa selubung. Kekuatan ini tidak jauh berbeda dengan kekuatan tekan rata-rata pada variasi lainnya, yaitu GGJ dan JJG yaitu berturut-turut 28,21 MPa dan 27,88 MPa. Dengan demikian, pemberian selubung KHLJG dapat meningkatkan kekuatan tekan spesimen BKS. Hasil analisis terhadap fungsi kerapatan variasi terhadap seluruh data uji menunjukkan bahwa data-data hasil eksperimental tersebut masih sangat dekat dengan nilai rata-rata keseluruhannya sehingga digolongkan sebagai data terdistribusi secara normal. Dengan kata lain, hasil pengujian tersebut dapat mewakili populasi kekuatan tekan spesimen BKS diperkuat dengan selubung KHLJG. Berdasarkan hasil analisis Anova memperlihatkan bahwa nilai  $F_0$  hasil eksperimental jauh lebih kecil jika dibanding dengan nilai tabel F-Distribusi. Dengan demikian, pemberian selubung KHLJG pada spesimen BKS terbukti secara signifikan mempengaruhi peningkatan kekuatannya (Hidayat, Zulfikar, et al., 2022).

## 2.8. Simulasi Numerik dengan Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah metode perhitungan yang paling banyak dipakai saat ini untuk menyelesaikan masalah analisis struktur. Metode ini terkandung

dalam banyak software komersial analisis struktur yang digunakan sehari-hari dalam pekerjaan desain para insinyur dalam bidang teknik sipil, teknik mesin, teknik aeronautika, teknik perkapalan, dan bidang-bidang teknik lainnya. Di lain pihak, bagi matematikawan terapan MEH merupakan metode numerik yang ampuh untuk menyelesaikan boundary value problems dalam ruang berdimensi dua dan tiga (Kurniawati, 2017).

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan Tingkat ketelitian yang dapat diterima. Pada dasarnya, elem hingga merupakan bagian-bagian kecil dari struktur aktual. Metode elem hingga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan permukaan suatu benda yang tidak datar (Yosafat Aji Pranata, 2024) Proses inti MEH adalah membagi problem yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil atau elemen-elemen dari mana solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh (Isworo & Ansyah, 2018).

cara kerja MEH di mana solusi suatu problem yang kompleks diaproksimalkan oleh solusi elemen. Untuk mendapatkan solusi elemental, MEH menggunakan fungsi interpolasi untuk mengaproksimalkan solusi elemen. Untuk contoh ini suatu fungsi linear yang sederhana dipergunakan sebagai fungsi interpolasi. Setelah solusi setiap elemen diperoleh, dengan menggabungkan solusi-solusi elemen maka solusi keseluruhan problem dapat diperoleh. Dengan menggunakan fungsi polinomial seperti fungsi kuadrat sebagai fungsi interpolasi, solusi yang lebih akurat bisa diperoleh (Isworo & Ansyah, 2018)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Impact Fracture and Research Center (IFRC) Universitas Sumatra Utar. Dengan waktu pelaksanaan selama 9 bulan. Jadwal pelaksanaan kegiatan penelitian diperlihatkan pada table 3.1.

Tabel 3. 1. Jadwal Tugas Akhir

Aktifitas	2024-2025															
	Juli				Desember				Januari				Maret			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■	■														
Penulisan Proposal			■	■												
Seminar Proposal					■	■										
Proses Penelitian					■	■	■	■								
PengolahanData									■	■	■	■				
Penyelesaian Laporan													■	■		
Seminar Hasil																
Evaluasi dan persiapan Sidang													■	■	■	
Sidang Sarjana																■

### 3.2. Bahan dan Alat

#### 3.2.1. Alat

##### a. Laptop Tuf Gaming A15

Laptop dengan Spesifikasi Tinggi: Untuk menjalankan simulasi numerik yang memerlukan sumber daya komputasi besar. Spesifikasi minimal meliputi prosesor multi-core, RAM 16 GB, dan kartu grafis yang mendukung komputasi intensif. Gambar 3.1. diperlihatkan Laptop Tuf Gaming A15.



Gambar 3. 1 Laptop

b. Ansys Workbench 2022

Digunakan untuk pembuatan model geometri, meshing, pengaturan kondisi batas, pelaksanaan simulasi, dan analisis data. Gambar 3.2.

diperlihatkan *software ansys*.



Gambar 3. 2 *software ansys*

- c. Microsoft Excel: Digunakan untuk analisis data hasil simulasi dan perbandingan dengan data eksperimental. Gambar 3.3. Diperlihatkan *excel*



Gambar 3. 3 *Excel*

### 3.2.2. Bahan

Bahan yang diuji dipelitian ini adalah eksperimen hasil kekuatan tekan komposit laminan jute/epoksi sebagai penguat struktur beton yang telah diuji Doni Alfiah Siregar 2022. Data hasil pengujian kekuatan tekan spesimen beton dilapisi (KLJ) diperlihatkan pada table 3.4.

Table 3.4 Data hasil pengujian kekuatan tekan spesimen beton dilapisi (KLJ)

NO	Kode Spesimen	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Tekan (N)	Tegangan Tekan (MPA)	Tegangan Tekan Rata-Rata (MPA)
1	S0. 1	2376	23623	9.94	13.96
2	S0. 2	2376	39865	16.78	
3	S0. 3	2376	36012	15.16	
1	J1. 1	2642	31126	11.78	11.06
2	J2. 2	2552	26789	10.50	
3	J3. 3	2642	28775	10.89	
1	J2. 1	3117	72356	23.21	23.82
2	J2. 2	3217	77375	24.05	
3	J2. 3	3117	75422	24.20	
1	J3. 1	3632	90011	24.79	23.84
2	J3. 2	3739	84319	22.55	
3	J3. 3	3632	87842	24.19	

### 3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama: pembuatan model geometri, pengaturan kondisi batas dan beban, pelaksanaan simulasi numerik, serta analisis dan validasi hasil. Tahapan ini dirancang untuk memastikan bahwa simulasi yang dilakukan dapat mereplikasi kondisi eksperimental secara akurat dan memberikan wawasan mendalam tentang perilaku material.

#### 3.2.2. Pembuatan Model Geometri

Pembuatan Model Spesimen Beton:

- a. Buat model geometri spesimen beton silinder dengan dimensi diameter 50 mm dan tinggi 150 mm menggunakan modul geometri di *Ansys Workbench 2022*.
- b. Buat model geometri untuk spesimen tanpa lapisan komposit, dengan 1 lapisan, 2 lapisan, dan 3 lapisan komposit laminat jute epoksi.

Pembuatan Model Komposit Laminat:

- a. Tambahkan lapisan komposit laminat jute epoksi pada permukaan spesimen beton sesuai dengan jumlah lapisan yang diuji (1, 2, dan 3 lapis).
- b. Tentukan ketebalan setiap lapisan komposit berdasarkan data eksperimental yang telah diperoleh.

#### 3.2.3. Pengaturan Kondisi Batas dan Beban

Kondisi Batas:

- a. Tetapkan kondisi batas yang sesuai untuk spesimen beton. Bagian bawah spesimen diberi kondisi tumpuan tetap (*fixed support*) untuk menahan gerakan.

- b. Bagian atas spesimen diberi kondisi beban tekan yang sesuai dengan data eksperimental.

Aplikasi Beban:

Terapkan beban tekan secara bertahap pada bagian atas spesimen hingga mencapai beban maksimum yang telah diperoleh dari hasil uji eksperimental.

#### 3.2.4. Proses Simulasi

*Meshing:*

- a. Lakukan meshing pada model geometri spesimen beton dan komposit laminat dengan ukuran elemen yang sesuai untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat.
- b. Gunakan mesh yang lebih halus pada area kontak antara beton dan komposit untuk menangkap perilaku interaksi material dengan lebih baik.

Pengaturan Parameter Material:

Masukkan parameter material untuk beton dan komposit laminat jute epoksi sesuai dengan data eksperimental dan literatur. Parameter material meliputi modulus elastisitas, *Poisson's ratio*, dan kekuatan tekan.

Pelaksanaan Simulasi:

- a. Jalankan simulasi numerik untuk setiap variasi jumlah lapisan komposit (tanpa lapisan, 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis).
- b. Monitor distribusi tegangan, deformasi, dan pola kerusakan selama simulasi berlangsung.

### 3.4. Populasi dan Sampel

Pengolahan Data:

- a. Ekstrak data distribusi tegangan dan deformasi dari hasil simulasi Ansys Workbench.
- b. Bandingkan data hasil simulasi dengan data eksperimental untuk setiap variasi jumlah lapisan komposit.

Analisis Statistik:

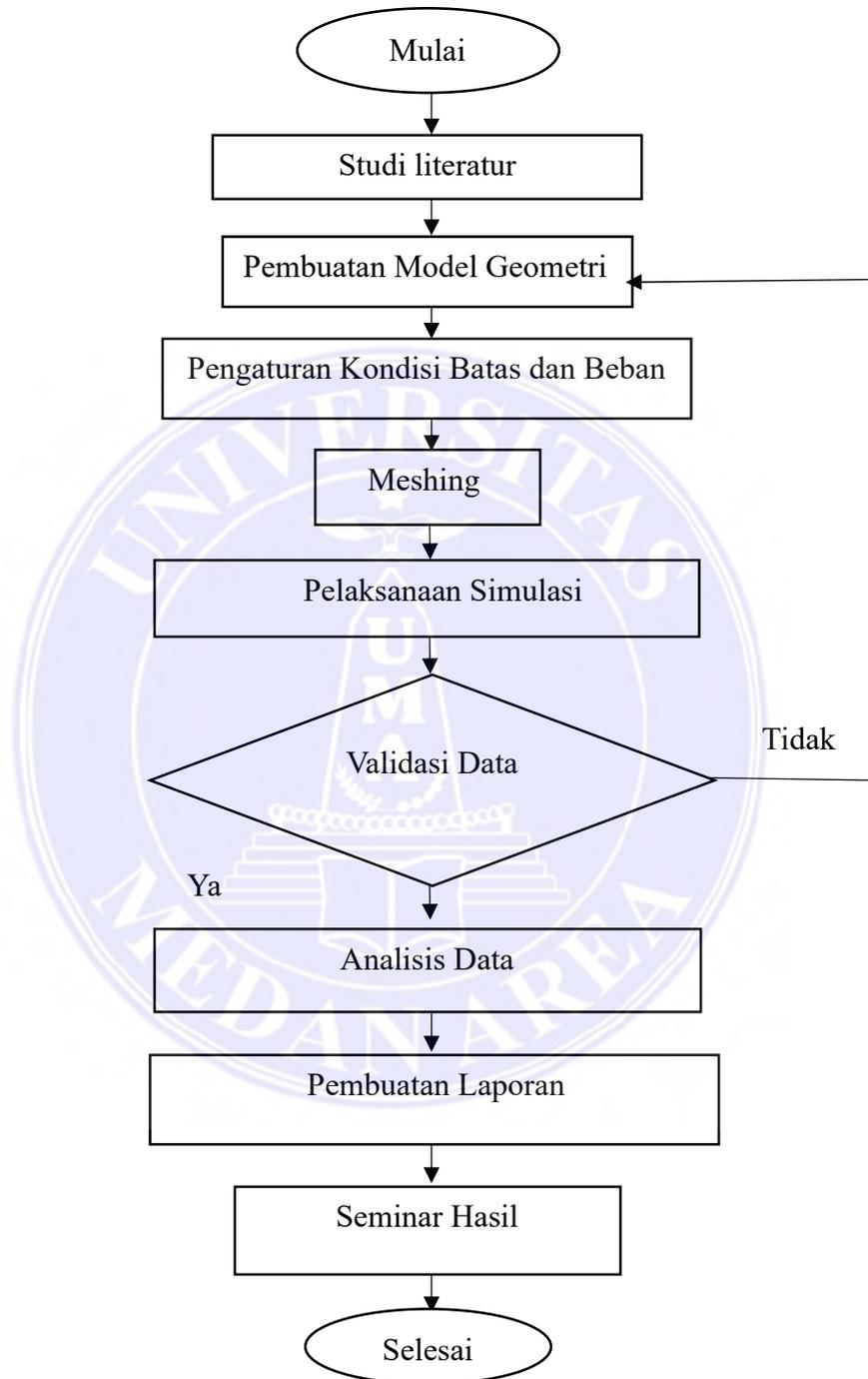
- a. Lakukan analisis statistik untuk mengevaluasi perbedaan antara hasil simulasi dan data eksperimental.
- b. Gunakan uji-t dan analisis varians (*ANOVA*) untuk menentukan signifikansi perbedaan hasil.

Interpretasi Hasil:

- a. Interpretasikan hasil simulasi untuk memahami perilaku material komposit laminat jute epoksi pada beton.
- b. Identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan dan pola kerusakan pada spesimen.

### 3.5. Prosedur kerja

Secara ringkas, alur penelitiann diperlihatkan pada gambar 3.5.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

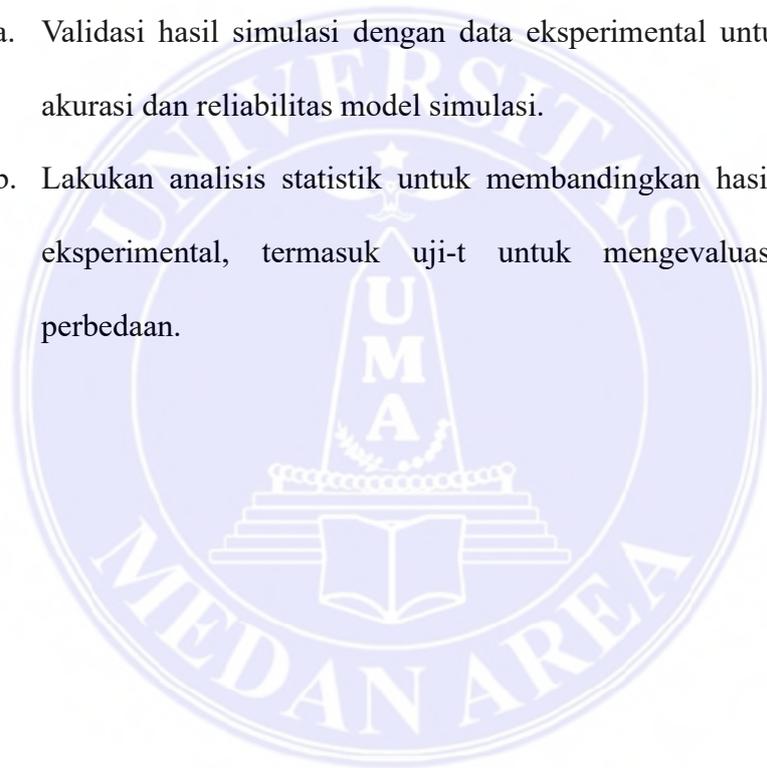
### 3.2.5. Analisis dan Validasi Hasil

#### Analisis Data Simulasi:

- a. Analisis distribusi tegangan dan deformasi pada spesimen beton dan komposit laminat.
- b. Bandingkan pola kerusakan yang terjadi pada simulasi dengan data eksperimental untuk validasi model.

#### Validasi Hasil Simulasi:

- a. Validasi hasil simulasi dengan data eksperimental untuk memastikan akurasi dan reliabilitas model simulasi.
- b. Lakukan analisis statistik untuk membandingkan hasil simulasi dan eksperimental, termasuk uji-t untuk mengevaluasi signifikansi perbedaan.



## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan melalui simulasi numerik dan analisis kekuatan tekan komposit laminat jute-epoksi menggunakan *ANSYS Workbench 2022*, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kekuatan tekan spesimen beton meningkat signifikan seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan komposit laminat jute/epoksi. Spesimen tanpa lapisan (S0) memiliki tegangan tekan rata-rata 16,79 MPa, sementara spesimen dengan satu lapisan (J1) sedikit meningkat menjadi 17,83 MPa. Peningkatan yang lebih signifikan terjadi pada spesimen dengan dua lapisan (J2) dan tiga lapisan (J3), masing-masing mencapai rata-rata 30,84 MPa dan 31,84 MPa. Hal ini mengindikasikan bahwa efek penguatan komposit laminat menjadi optimal pada jumlah lapisan lebih dari satu.
2. Distribusi tegangan maksimum dalam simulasi memperlihatkan bahwa lapisan jute pada posisi searah beban mampu menahan tekanan tertinggi, sedangkan area yang menunjukkan warna merah dalam plot tegangan menjadi titik awal kerusakan material. Pola kerusakan pada spesimen beton dengan dua dan tiga lapisan hampir serupa, dengan kerusakan utama terjadi pada area atas dan samping spesimen akibat beban aksial.
3. Model simulasi yang digunakan terbukti cukup akurat dalam memprediksi kekuatan tekan komposit laminat jute/epoksi. Hasil simulasi menunjukkan perbedaan galat sebesar 0,3% dibandingkan dengan data eksperimen nyata,

menegaskan bahwa simulasi *Ansys Workbench* dapat menjadi alat yang andal untuk mengevaluasi kinerja material komposit dalam aplikasi struktural.

## 5.2. Saran

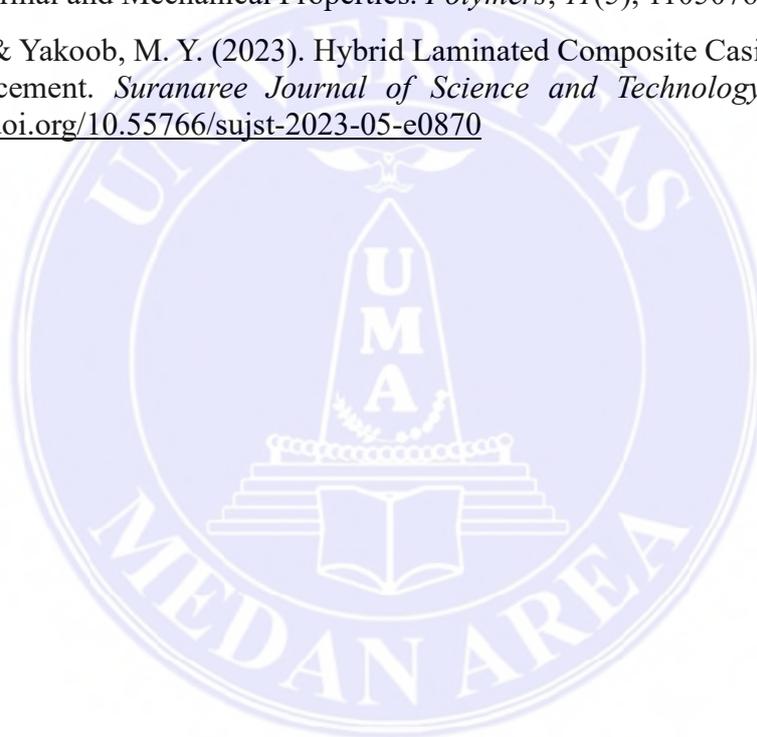
Saran-saran yang dapat diberikan untuk kelanjutan dari penelitian ini ialah:

1. Disarankan untuk mengeksplorasi penggunaan kombinasi material lain, seperti serat alami (contoh: serat kelapa atau bambu) atau serat sintetis (contoh: karbon atau E-glass) bersama dengan jute/epoksi. Hal ini dapat membantu mengevaluasi keunggulan relatif dari berbagai kombinasi material dalam meningkatkan kekuatan tekan beton.
2. Meskipun hasil simulasi telah divalidasi dengan data eksperimen, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan memperluas pengujian eksperimental, seperti analisis regangan atau uji siklus beban. Pengujian ini akan memberikan wawasan tambahan mengenai ketahanan material terhadap kondisi pembebanan dinamis atau siklik.
3. Disarankan untuk melakukan simulasi dengan berbagai parameter geometri (contoh: variasi diameter dan tinggi spesimen) serta kondisi batas yang berbeda (contoh: beban non-aksial atau multi-arah). Hal ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pengaruh desain struktur terhadap performa komposit laminat jute/epoksi dalam aplikasi nyata.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M. N. Z., & Misro, M. Y. (2022). Numerical Simulation of Heat Transfer using Finite Element Method. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 92(2), 104–115.
- Alviana, A., Habsya, C., & Agustin, R. (2022). Pemanfaatan Abu Sekam Padi dan Fly Ash sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen pada Segmen Kolom Struktur Modular Beton Ramah Lingkungan. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*, 7(2), 61097.
- Asrullah, A., Irwansyah, C., & Mupli, M. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Abu Batu Terhadap Kuat Beton Fc'20 MPa Dengan Menggunakan Gradasi Split Berbeda. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 483.
- Basyaruddin, B., Khala, C., Muslimin, M., & Putri, A. (2021). Uji Lentur Balok Beton Bertulang Baja Ringan Dengan Skema Tulangan Tunggal. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 171–180.
- Fiore, V., Sanfilippo, C., & Calabrese, L. (2020). Dynamic Mechanical Behavior Analysis of Flax/Jute Fiber-Reinforced Composites under Salt-Fog Spray Environment. *Polymers*, 12(3), 716.
- Hong, S.-P. (2023). Different Numerical Techniques, Modeling and Simulation in Solving Complex Problems. *Journal of Machine and Computing*, 3(2), 058–068.
- Mostafa, N. H. (2019). *Tensile and fatigue properties of Jute-Glass hybrid fibre reinforced epoxy composites Tensile and fatigue properties of Jute-Glass hybrid fibre reinforced epoxy composites*.
- Okereke, M., & Keates, S. (2018). Computational Mechanics and the Finite Element Method. In *Finite Element Applications* (pp. 3–25).
- Pawar, M., Patnaik, A., & Nagar(Alfian Siregar, 2022), R. (2017). Investigation on mechanical and thermo-mechanical properties of granite powder filled treated jute fiber reinforced epoxy composite. *Polymer Composites*, 38(1), 736–748.
- Rahman, M. S., & Ülker, M. B. C. (2018). Finite Element Method. In *Modeling and Computing for Geotechnical Engineering* (p. 104).
- J., Energi, D., Siregar, D. A., Jusuf Zulfikar, A., Yusuf, M., Siahaan, R., & Siregar, R. A. (2022a). *Analisis Kekuatan Tekan Selubung Komposit Laminat E-glass pada Beton Kolom Silinder dengan Metode Vacuum Bagging*. 5(1), 20–25. <https://doi.org/10.30596/rmme.v5i1.10259>
- J., Energi, D., Siregar, D. A., Jusuf Zulfikar, A., Yusuf, M., Siahaan, R., & Siregar, R. A. (2022b). *Analisis Kekuatan Tekan Selubung Komposit Laminat E-glass pada Beton Kolom Silinder dengan Metode Vacuum Bagging*. 5(1), 20–25. <https://doi.org/10.30596/rmme.v5i1.10259>
- Sari, N., Catur, A., & Safii, A. (2019). Komposit Epoksi Diperkuat Serat Corypha Utan: Karakterisasi Morfologi. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 12(1), 27–32.

- Shoim, A., & Lubis, A. (2015). Pengaruh pemberlakuan kebijakan Standar Nasional Indonesia (SNI) secara wajib terhadap impor dan produksi dalam negeri pada produk besi beton. *Jurnal Kebijakan Ekonomi*, 10(1), 57–86.
- Sultana, N., Hossain, S. M. Z., Alam, M. S., Hashish, M. M. A., & Islam, M. S. (2020). An experimental investigation and modeling approach of response surface methodology coupled with crow search algorithm for optimizing the properties of jute fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 243, 118216. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118216>
- Tzou, H. (2018). Finite Element Formulation and Analyses. In *Solid Mechanics and its Applications* (pp. 405–456).
- Wang, X., Wang, L., Ji, W., Hao, Q., Zhang, G., & Meng, Q. (2019). Characterization of KH-560-Modified Jute Fabric/Epoxy Laminated Composites: Surface Structure, and Thermal and Mechanical Properties. *Polymers*, 11(5), 11050769.
- Zulfikar, A. J., & Yakoob, M. Y. (2023). Hybrid Laminated Composite Casing As Concrete Reinforcement. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 30(5), 1–10. <https://doi.org/10.55766/sujst-2023-05-e0870>

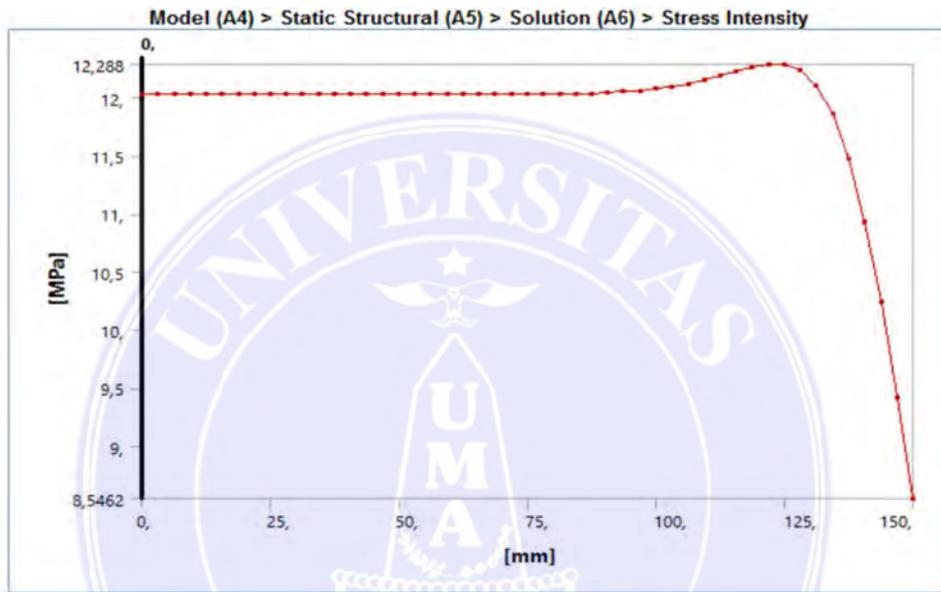


## LAMPIRAN

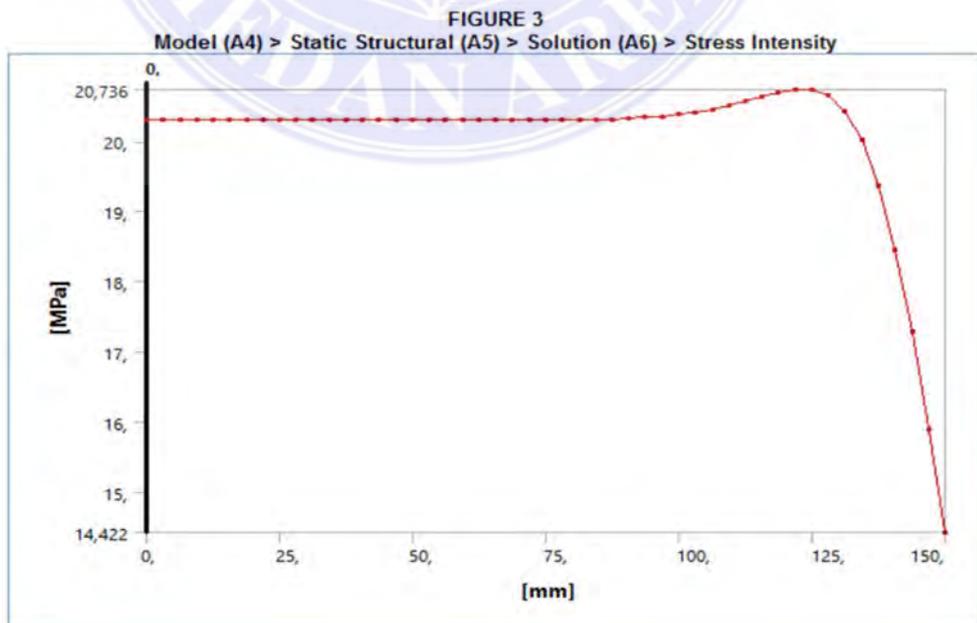
Grafik hasil pengujian tekan simulasi ansys workbench 2022  
Spesimen Kolom Beton Slinder Diperkuat Komposit Laminat Jute (KLJ)

### 1. Spesimen tanpa selubung KLJ

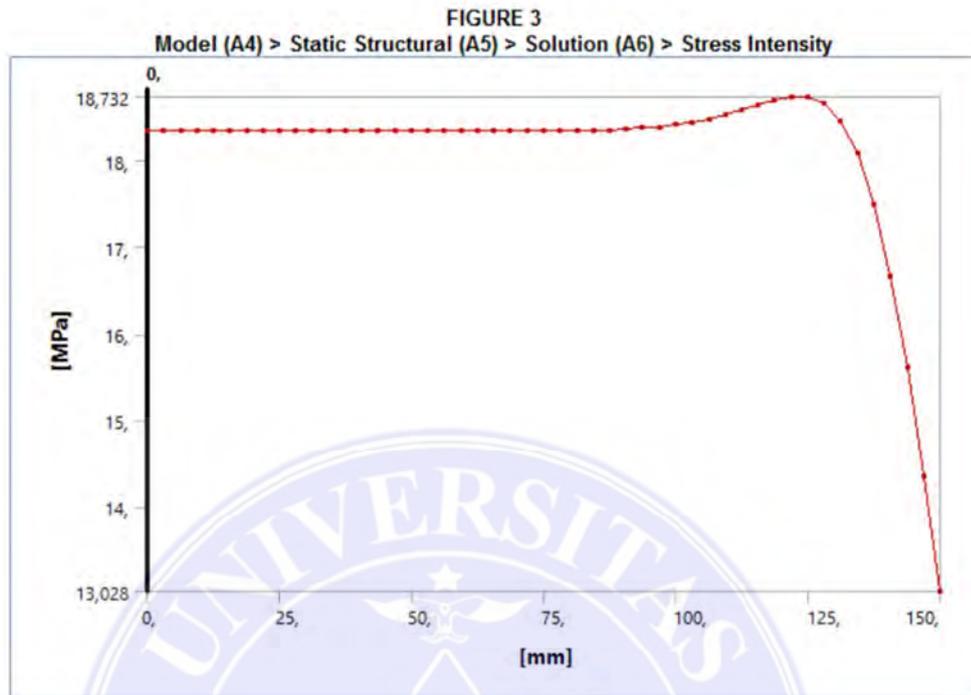
#### a. Pengujian pertama



#### b. Pengujian kedua

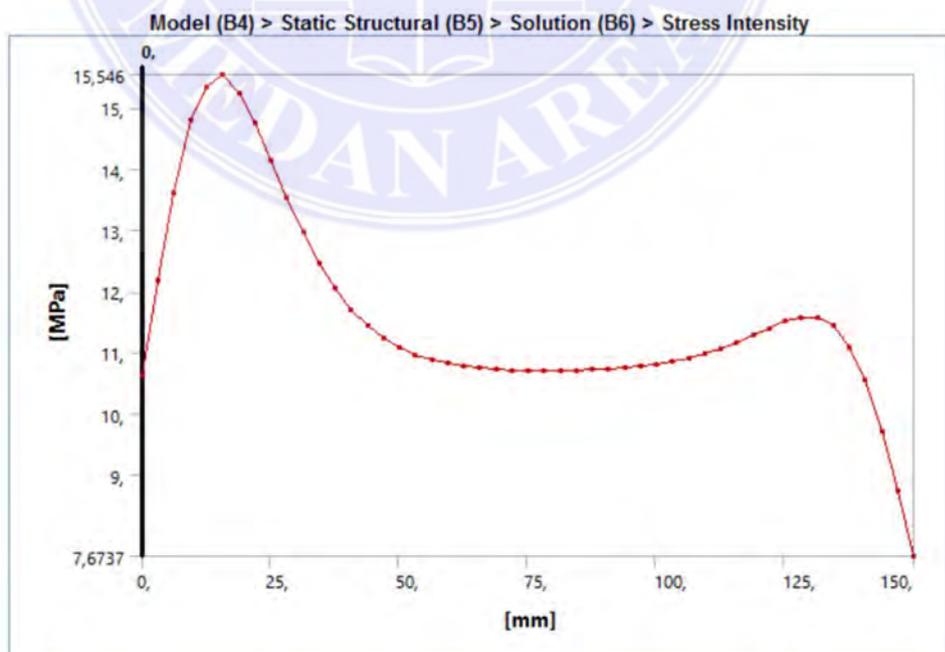


c. Pengujian ketiga

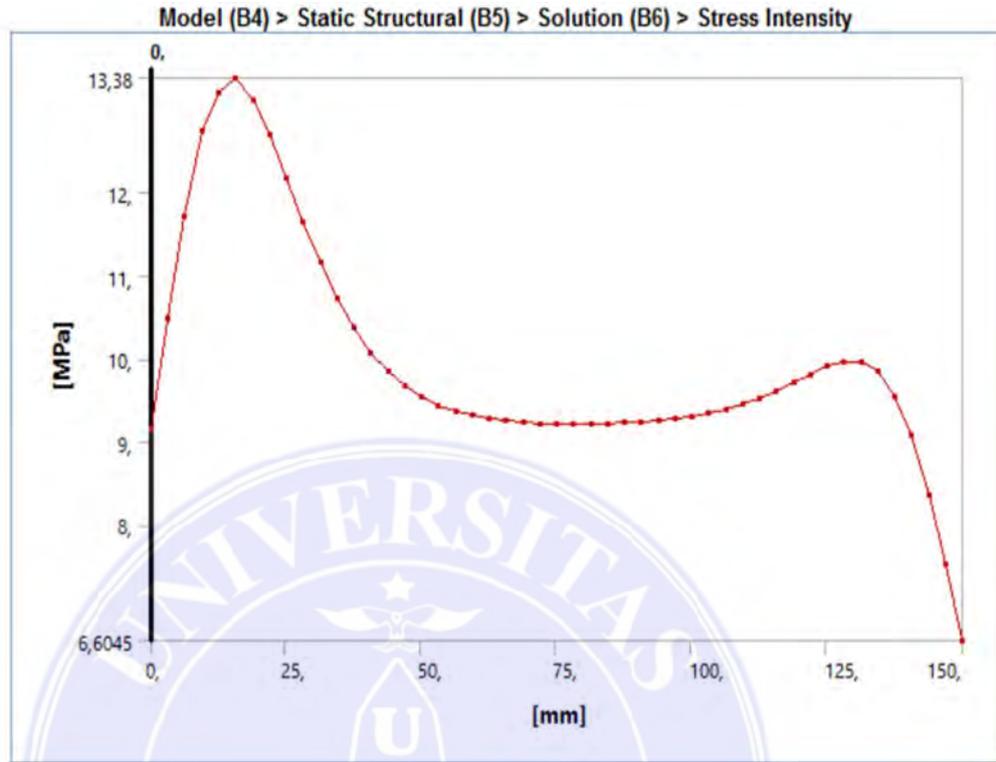


2. Spesimen dengan 1 lapisan selubung KLJ

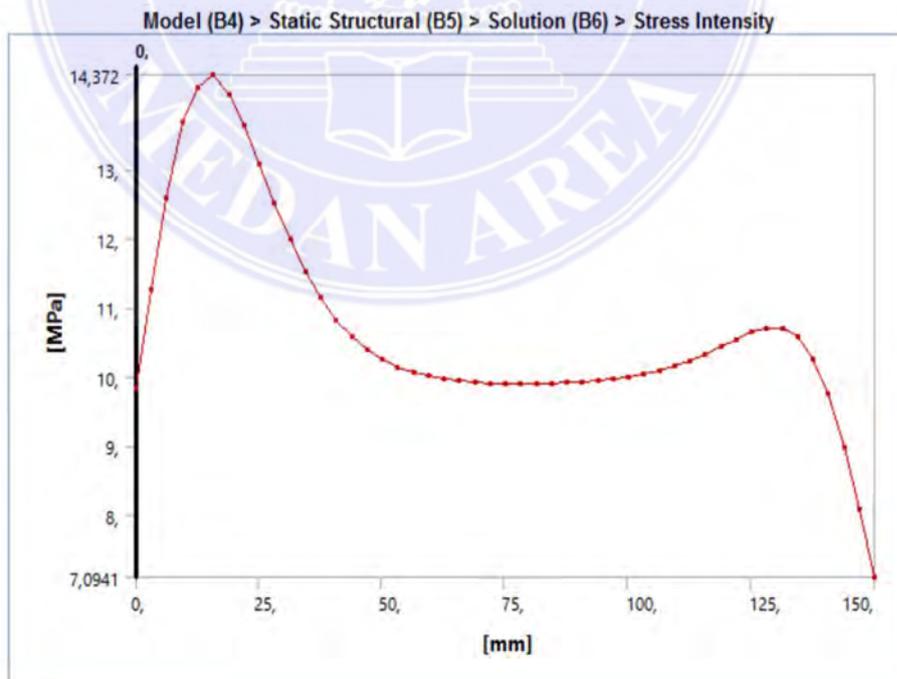
a. Pengujian pertama



b. Pengujian kedua

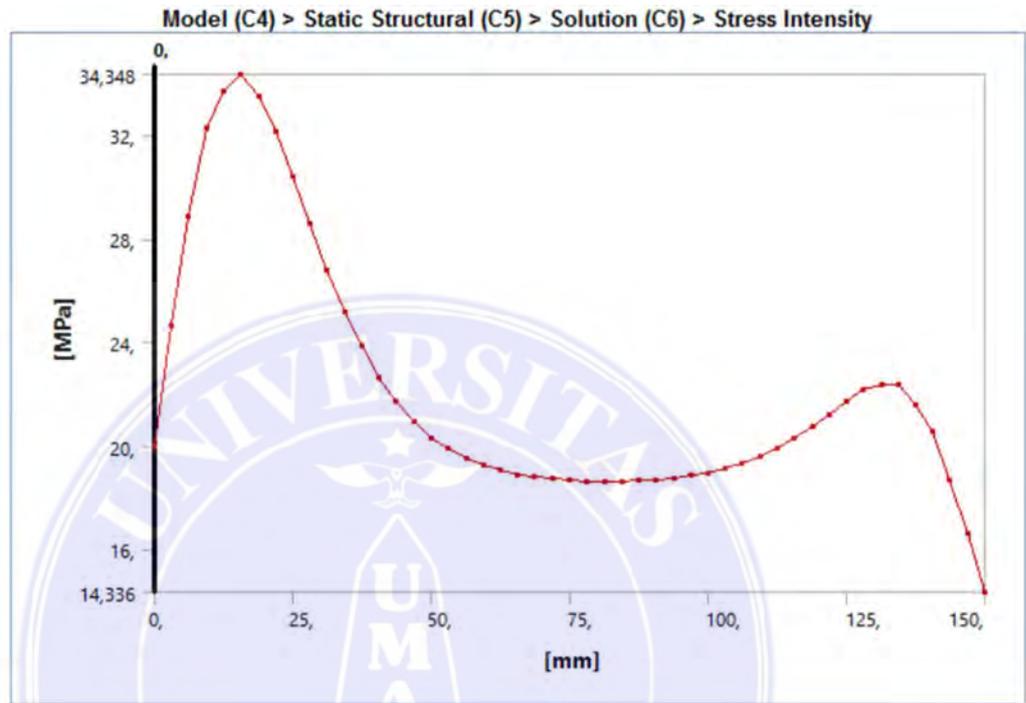


c. Pengujian ketiga

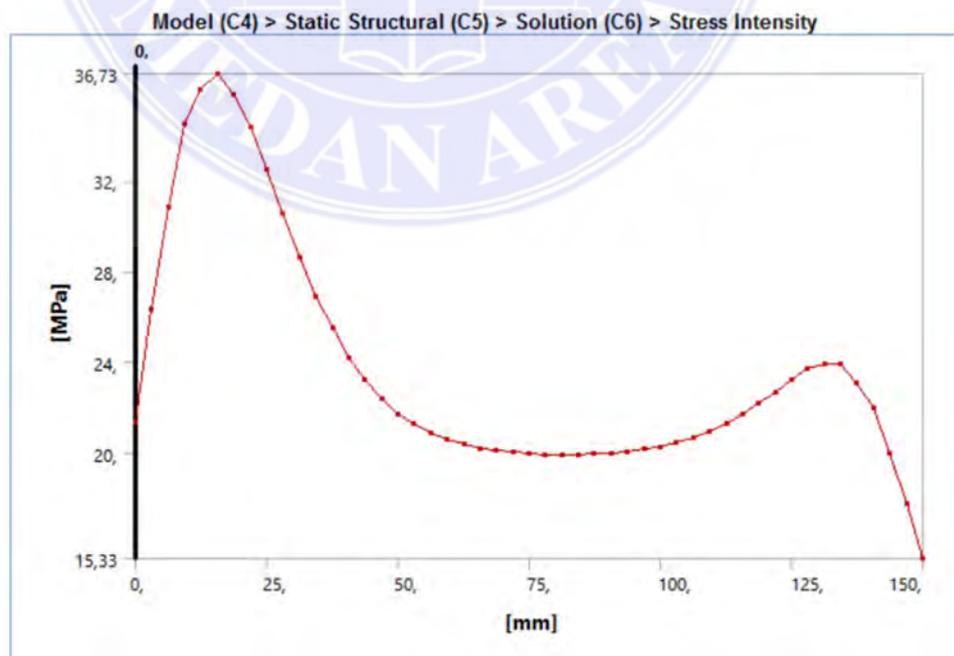


3. Spesimen denga 2 lapis selubung KJL

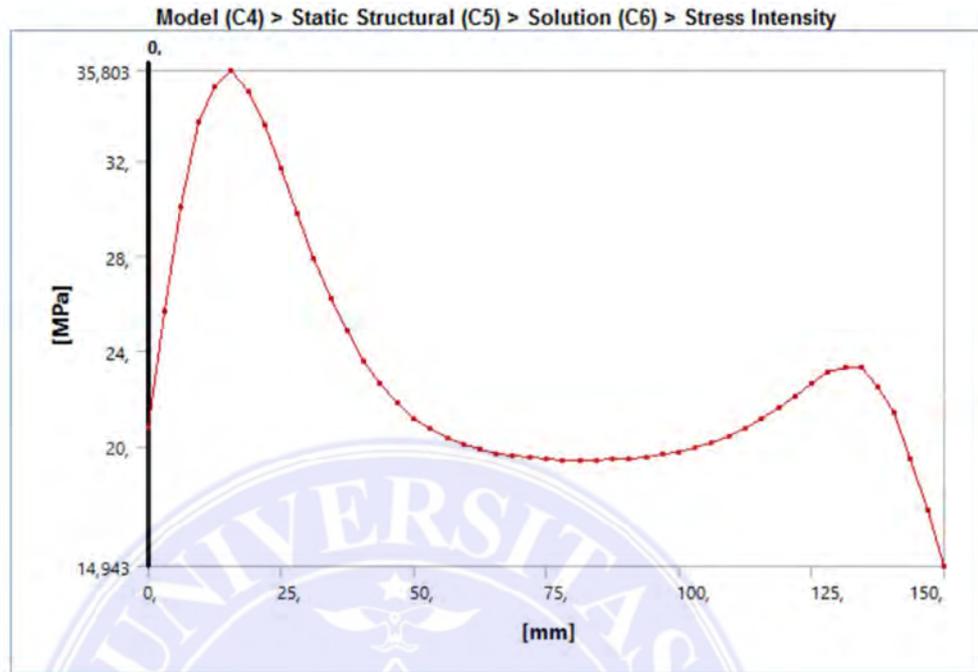
a. Pengujian pertama



b. Pengujian kedua

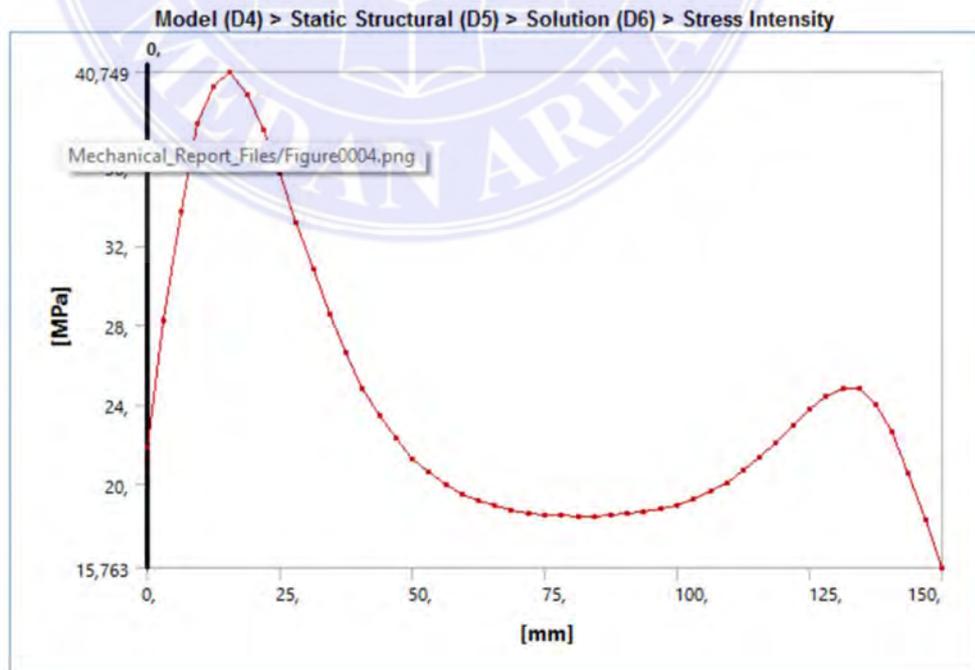


c. Pengujian ketiga

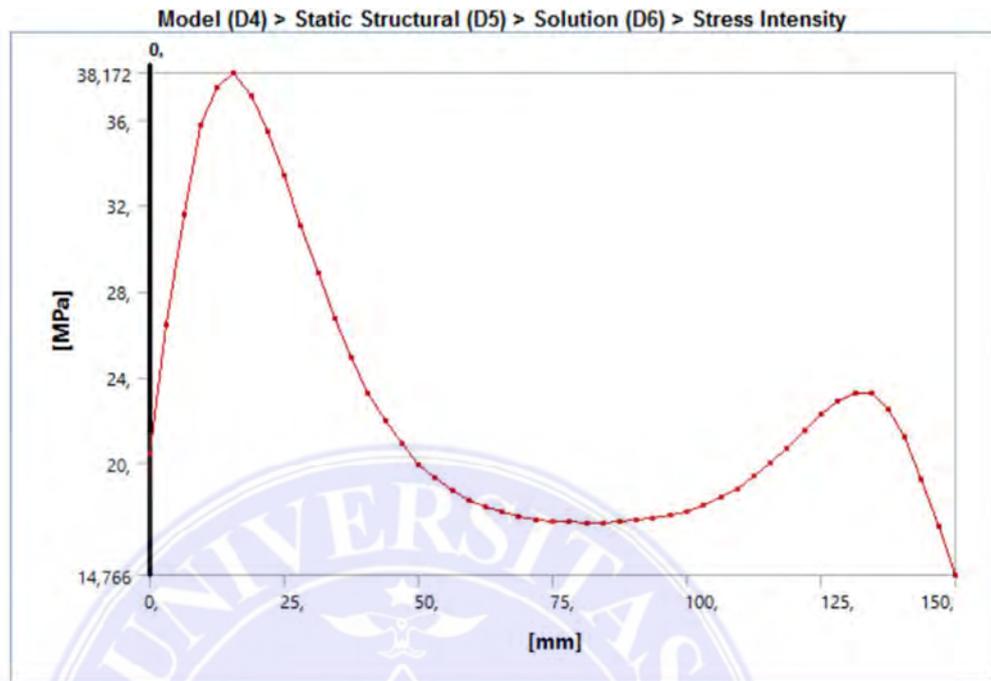


4. Spesimen dengan 3 lapisan selubung KLJ

a. Pengujian pertama



b. Pengujian kedua



c. Pengujian ketiga

