

**ANALISIS SIMULASI NUMERIK *ANSYS WORKBENCH*
KEKUATAN TEKAN KOMPOSIT LAMINAT HIBRID
JUTE/*E-GLASS*/EPOKSI**

SKRIPSI

OLEH :

**MORA KAYA HOTMATUA SIREGAR
208130079**



**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)6/8/25

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS SIMULASI NUMERIK *ANSYS WORKBENCH*
KEKUATAN TEKAN KOMPOSIT LAMINAT HIBRID
JUTE/E-GLASS/EPOKSI**

SKRIPSI

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

Oleh :

**MORA KAYA HOTMATUA SIREGAR
208130079**

**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 : Analisis Simulasi Numerik Ansys Workbench
Kekuatan Tekan Komposit Laminat Hibrid
Jute/E-Glass/Epoksi

Nama Mahasiswa : Mora Kaya Hotmatua Siregar

NIM : 208130079

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Zulfikar, S.T, M.T
Pembimbing




Dr. Endang Supriatno, S.T, M.T
Dekan Fakultas Teknik




M. De Aswandi, S.T, M.T
Ka. Prodi

Tanggal Lulus : 6 Maret 2025

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 di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Mora Kaya Hotmatua Siregar
NPM : 208130079
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada
Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive
Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISIS SIMULASI NUMERIK ANSYS WORKBENCH KEKUATAN
TEKAN KOMPOSIT LAMINAT HIBRID JUTE/E-GLASS/EPOKSI**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti
Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan,
mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*),
merawat, dan mempublikasikan tugas 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 : 6 Februari 2025

Yang menyatakan



(Mora Kaya Hotmatua Siregar)

ABSTRAK

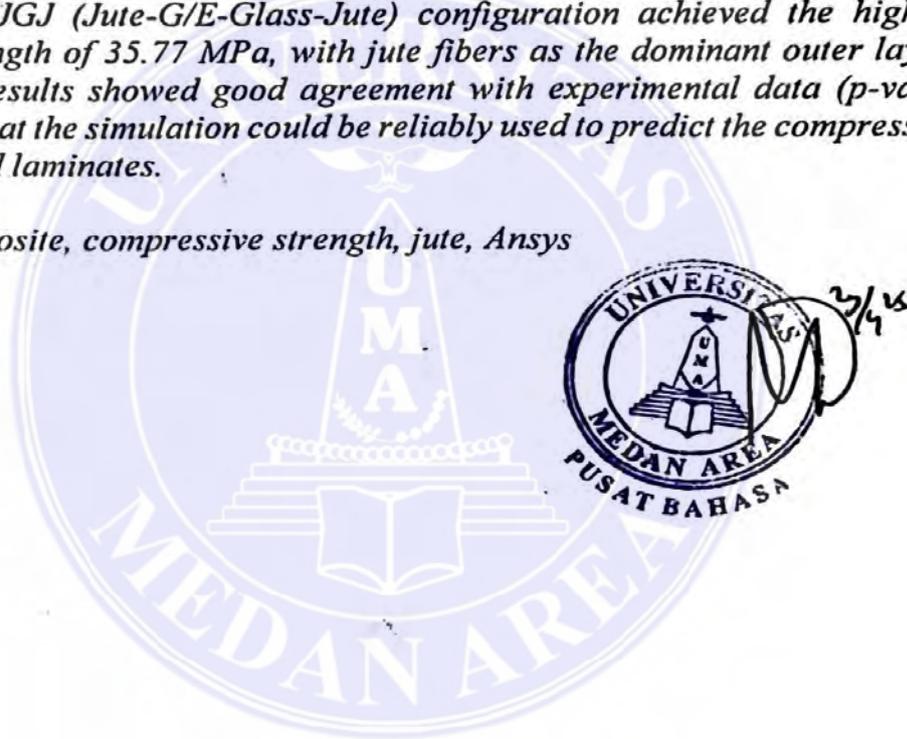
Penelitian ini menganalisis kekuatan tekan komposit laminat hibrid jute/e-glass/epoksi menggunakan simulasi numerik *Ansys Workbench*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh komposisi serat jute dan e-glass terhadap kekuatan tekan serta membandingkan hasil simulasi dengan pengujian eksperimental. Diharapkan hasil penelitian ini memberikan wawasan tentang desain material komposit yang efisien dan ramah lingkungan untuk aplikasi konstruksi. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan beberapa tahapan utama yaitu pembuatan model geometri, pengaturan kondisi batas dan beban, pelaksanaan simulasi numerik, serta analisis dan validasi hasil. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium IFRC (*Impact & Fracture Research Center*) Universitas Sumatera Utara. Penelitian ini menganalisis kekuatan tekan komposit laminat hibrid Jute/E-Glass/Epoksi menggunakan simulasi ANSYS Workbench. Konfigurasi JGJ (Jute-G/E-Glass-Jute) memberikan kekuatan tekan tertinggi 35,77 MPa, dengan serat jute sebagai lapisan luar lebih dominan. Hasil simulasi menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data eksperimen (*p-value* 0,5), mengindikasikan simulasi dapat diandalkan untuk memprediksi kekuatan tekan laminat hibrid.

Kata Kunci: *Komposit, tekan, jute, Ansys*

ABSTRACT

This research analyzed the compressive strength of hybrid jute/e-glass/epoxy laminate composites using numerical simulation with ANSYS Workbench. The objective of this research was to evaluate the effect of jute and e-glass fiber composition on compressive strength and compare the simulation results with experimental testing. The findings of this research were expected to provide insights into the efficient and environmentally friendly design of composite materials for construction applications. The method used in this research was a quantitative approach with several key stages: geometry modeling, boundary and load condition setup, numerical simulation execution, and result analysis and validation. The research was conducted at the IFRC (Impact & Fracture Research Center) Laboratory of Sumatera Utara University. This research analyzed the compressive strength of hybrid jute/e-glass/epoxy laminate composites using ANSYS Workbench simulation. The JGJ (Jute-G/E-Glass-Jute) configuration achieved the highest compressive strength of 35.77 MPa, with jute fibers as the dominant outer layer. The simulation results showed good agreement with experimental data (p-value 0.5), indicating that the simulation could be reliably used to predict the compressive strength of hybrid laminates.

Keywords: Composite, compressive strength, jute, Ansys



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di kota Padangsidimpuan pada tanggal 25 Februari 1998. Dari ayah Alm. Mukhtar Efendi Siregar dan ibu Yusni Berlian Pasaribu. Penulis merupakan anak ke 5 dari 5 bersaudara.

Tahun 2016 Penulis lulus dari SMKN 2 Padangsidimpuan dan pada tahun 2020 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Pada tahun 2023 penulis melaksanakan kerja praktek (KP) di PT. Karya Setia Jaya Abadi (KSJA).



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul. “Analisis Simulasi Numerik *Ansys Workbench* Kekuatan Tekan Komposit Laminat Hibrid Jute/E-Glass/Epoksi”. 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. Keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan moral, dan materiil yang tiada henti.
5. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin yang telah memberikan semangat dan kerjasama selama penyusunan skripsi ini.

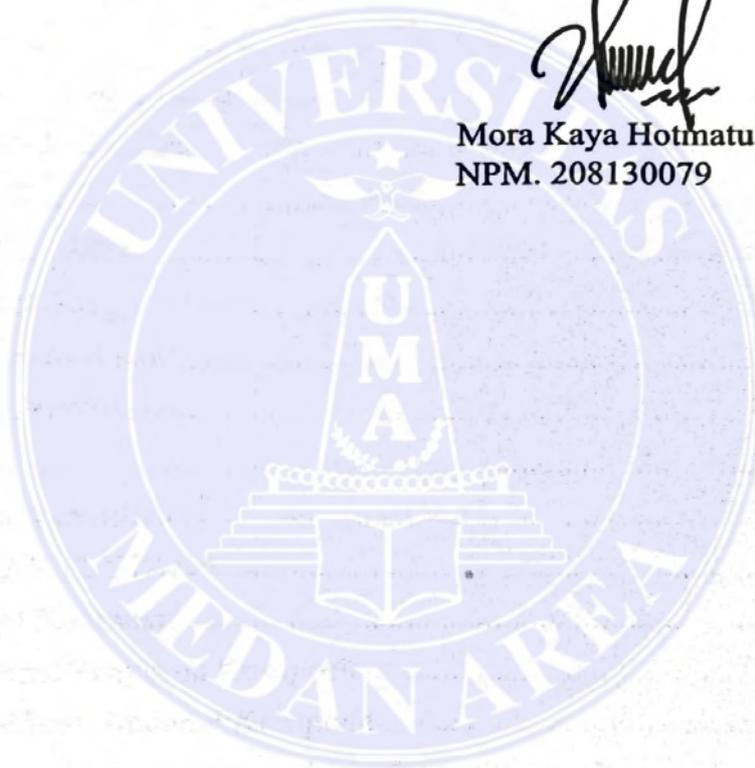
Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini di masa mendatang.

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, 6 Februari 2025



Mora Kaya Hotmatua Siregar
NPM. 208130079



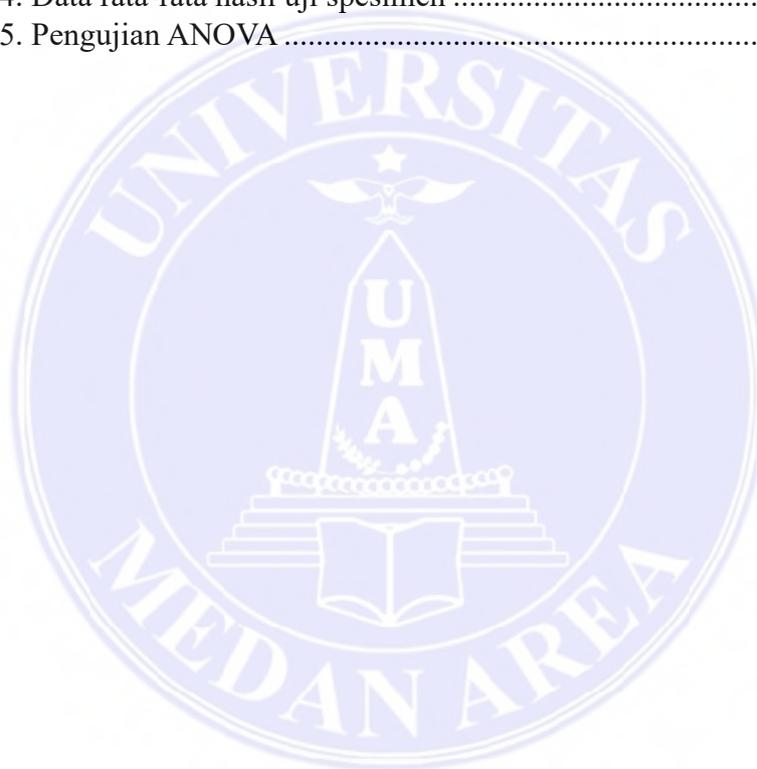
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	v
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	0
1.1 Latar Belakang	0
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	2
2.1 Material Komposit	2
2.1.1 Material Penyusun Komposit.....	7
2.1.2 Klasifikasi Material Komposit	8
2.1.3 Faktor yang mempengaruhi performa komposit	13
2.2 Serat Jute	16
2.3 Serat <i>E-Glass</i>	18
2.4 Resin Epoksi dan Katalis	19
2.5 Beton	22
2.6 Kuat Tekan	25
2.7 Hasil Penelitian Sebelumnya.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	7
3.1 Waktu dan Tempat.....	7
3.2 Alat dan Bahan.....	7

3.2.1	Alat.....	7
3.2.2	Bahan	30
3.3	Metode Penelitian	31
3.3.1	Pembuatan Model Geometri.....	32
3.3.2	Pengaturan Kondisi Batas dan Beban.....	32
3.3.3	Proses Simulasi.....	33
3.3.4	Analisis dan Validasi Hasil	33
3.4	Pengolahan Data dan Sampel.....	34
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	35
3.6	Jadwal Kegiatan	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Model Geometri	29
4.2	<i>Material Properties</i>	39
4.3	Pembuatan <i>Mesh</i>	41
4.3	Kondisi Batas	42
4.4	Data Pengujian Tekan.....	42
4.5	Validasi Data	44
4.6	Analisis Kekuatan Tekan.....	45
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		38
5.1	Simpulan	38
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN.....		53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Serat Jute (Mamun & Hasanuzzaman, 2020).....	18
Tabel 2.2. Karakteristik Mekanik Serat E-Glass (Siregar & Zulfikar, 2022).....	19
Tabel 2.3. Tabel Karakteristik Resin Epoksi (Cheng et al., 2016).....	21
Tabel 2.4. Tabel Mutu Beton.....	24
Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	7
Tabel 3.2. Jadwal Kegiatan.....	36
Tabel 4.1. Diameter Spesimen.....	38
Tabel 4.2. Data Hasil Uji Eksperimen Spesimen oleh Aji Tyas Muzakir (2022)..	43
Tabel 4.3. Data Hasil Simulasi Numerik Ansys Workbench.....	43
Tabel 4.4. Data rata-rata hasil uji spesimen.....	44
Tabel 4.5. Pengujian ANOVA.....	44

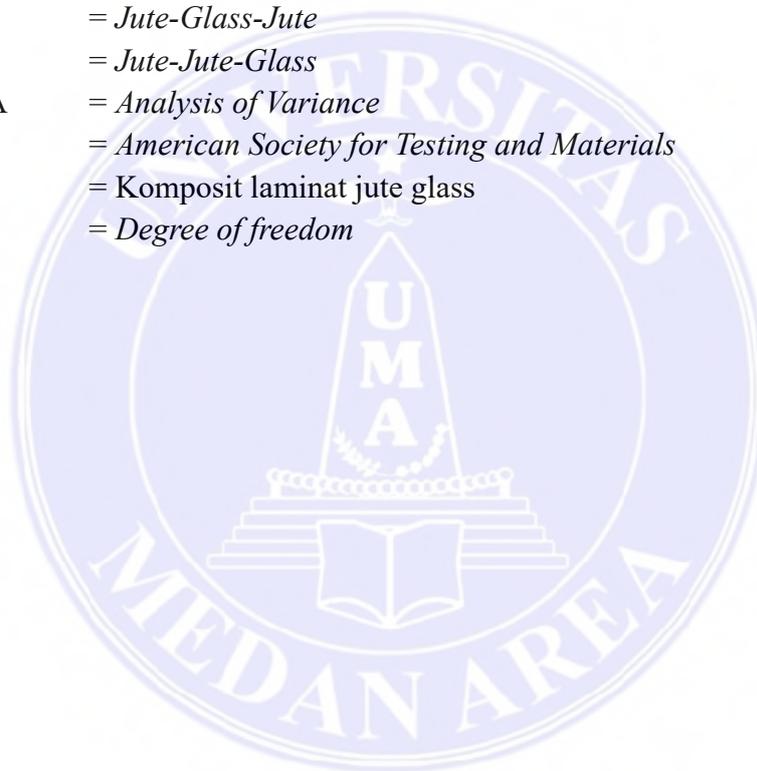


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Material Komposit	2
Gambar 2.2. Material Penyusun Komposit	8
Gambar 2.3. Serat Fiber	10
Gambar 2.4. Kompopsit Laminat.....	11
Gambar 2.5. Komposit Partikel.....	12
Gambar 2.6. Serat Jute	17
Gambar 2.7. Serat <i>E-Glass</i>	19
Gambar 2.8. Resin Epoksi.....	20
Gambar 2.9. Katalis.....	22
Gambar 2.10. Beton	24
Gambar 3.1. Laptop.....	29
Gambar 3.2. <i>Ansys Workbench 2022</i>	29
Gambar 3.3. <i>Microsoft Excel</i>	29
Gambar 3.4. Kain Jute.....	30
Gambar 3.5. Lembar Serat Kaca	30
Gambar 3.6. Epoksi.....	31
Gambar 3.7. Semen Portland Komposit.....	31
Gambar 3.8. Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 4.1. Spesimen Beton KLJG	38
Gambar 4.2. <i>Material Properties</i> Beton.....	39
Gambar 4.3. <i>Material Properties</i> Jute.....	40
Gambar 4.4. <i>Material Properties</i> E-Glass	40
Gambar 4.5. <i>Material Properties</i> Epoksi	41
Gambar 4.6. Mesh Spesimen	41
Gambar 4.7. <i>Force</i> (a) dan <i>Fixed Support</i> (b).....	42
Gambar 4.8. Pola kerusakan pada spesimen beton akibat beban tekan	46

DAFTAR NOTASI

MPa	= Megapascal
N	= Newton
°C	= Derajat celcius
kg	= Kilogram
mm	= Millimeter
FEM	= <i>Finite element method</i>
<i>E-Glass</i>	= <i>Electrical Glass</i>
GGJ	= <i>Glass-Glass-Jute</i>
JGJ	= <i>Jute-Glass-Jute</i>
JJG	= <i>Jute-Jute-Glass</i>
ANOVA	= <i>Analysis of Variance</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing and Materials</i>
KLJG	= Komposit laminat jute glass
DOF	= <i>Degree of freedom</i>



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan material komposit semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan industri yang memerlukan bahan yang ringan namun memiliki kekuatan tinggi. Salah satu jenis material komposit yang banyak digunakan adalah komposit hibrid yang menggabungkan serat alam dan serat sintetis dengan matriks polimer. Kombinasi ini bertujuan untuk memanfaatkan keunggulan masing-masing jenis serat sehingga menghasilkan material dengan sifat mekanis yang lebih baik.

Material komposit hibrid yang menggabungkan serat alam dan sintetis memiliki banyak keunggulan. Serat alam seperti kenaf, jute, dan sisal sering digunakan karena sifatnya yang ramah lingkungan dan biaya produksinya yang lebih rendah dibandingkan dengan serat sintetis (Begum et al., 2020). Namun, serat alam memiliki kelemahan dalam hal kekuatan mekanis dan daya tahan terhadap kelembaban. Untuk mengatasi kelemahan ini, serat sintetis seperti serat kaca atau karbon ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan material komposit (Nurazzi et al., 2021).

Penggunaan serat alam dan sintetis dalam matriks polimer tidak hanya meningkatkan sifat mekanis komposit, tetapi juga memberikan keunggulan dalam hal biodegradabilitas dan keberlanjutan. Penelitian menunjukkan bahwa komposit hibrid yang menggunakan serat alam dan sintetis memiliki sifat mekanis yang lebih baik dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan komposit yang hanya

menggunakan serat sintetis (Atmakuri et al., 2020). Selain itu, penambahan serat sintetis juga membantu dalam meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban dan daya tahan material terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem (Nejad et al., 2021).

Komposit hibrid juga digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti otomotif, konstruksi, dan olahraga. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa komposit hibrid yang menggunakan serat alam dan sintetis dapat digunakan dalam aplikasi struktural dan non-struktural, memberikan solusi material yang ringan namun kuat (Suriani et al., 2021). Keunggulan komposit hibrid ini membuatnya semakin populer di kalangan peneliti dan industri, terutama dalam upaya mengurangi dampak lingkungan dari material sintetis yang tidak dapat terurai.

Komposit hibrid laminat jute/e-glass/epoksi merupakan salah satu inovasi material yang mengkombinasikan serat jute sebagai serat alam yang ramah lingkungan dan serat e-glass sebagai serat sintetis yang kuat. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa komposit ini memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan penguat struktur beton. Namun, pemahaman yang lebih mendalam mengenai perilaku mekanis material ini, terutama melalui pendekatan simulasi numerik, masih diperlukan. Material komposit hibrid jute/e-glass/epoksi telah terbukti memiliki sifat mekanis yang unggul dibandingkan dengan komposit berbahan serat alami saja. Penelitian oleh Sanjay et al. (2019) menunjukkan bahwa penggabungan serat jute dan e-glass dalam matriks epoksi meningkatkan kekuatan benturan dan kekuatan antar-lapisan, dibandingkan dengan komposit yang hanya menggunakan serat alami (Sanjay et al., 2019). Studi ini juga menemukan bahwa konfigurasi laminat yang menggabungkan serat e-glass sebagai lapisan luar dan

serat jute sebagai lapisan inti menunjukkan hasil terbaik dalam hal kekuatan mekanis.

Selain itu, penelitian lain oleh Das et al. (2021) menunjukkan bahwa komposit hibrid jute/e-glass/epoksi memiliki sifat fisik dan mekanis yang superior, termasuk nilai kekerasan Shore-D yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit yang hanya menggunakan salah satu jenis serat (Das et al., 2021). Temuan ini didukung oleh studi Jha et al. (2018) yang menemukan bahwa penambahan serat e-glass meningkatkan ketahanan terhadap keausan dan kekuatan tarik komposit jute/e-glass (Jha et al., 2018). Meskipun demikian, untuk aplikasi struktural yang lebih kompleks, pemahaman yang lebih dalam mengenai perilaku mekanis dari komposit ini sangat penting. Kaviti et al. (2020) menekankan pentingnya simulasi numerik dan pengujian eksperimental untuk memahami perilaku komposit di bawah berbagai kondisi beban (Kaviti et al., 2020). Pendekatan ini dapat membantu dalam mendesain material yang lebih tahan lama dan efisien untuk aplikasi dalam penguatan struktur beton.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis kekuatan tekan komposit laminat hibrid jute/e-glass/epoksi melalui simulasi numerik menggunakan Ansys Workbench. Proses ini melibatkan pemodelan dan analisis mendalam untuk memahami bagaimana kombinasi material tersebut dapat mengoptimalkan performa mekanisnya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berharga dan bermanfaat untuk pengembangan serta aplikasi material komposit dalam industri konstruksi dan manufaktur. Selain itu, temuan ini dapat membantu dalam inovasi desain dan pemilihan material yang lebih efisien

dan ramah lingkungan, mendukung kemajuan teknologi yang lebih berkelanjutan di berbagai sektor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana pengaruh variasi komposisi serat jute dan e-glass terhadap kekuatan tekan komposit laminat hibrid jute/e-glass/epoksi?
- b. Bagaimana simulasi numerik menggunakan Ansys Workbench dapat digunakan untuk memprediksi kekuatan tekan komposit laminat hibrid ini?
- c. Seberapa akurat hasil simulasi numerik dibandingkan dengan hasil pengujian eksperimental?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menentukan pengaruh berbagai konfigurasi lapisan serat jute (J) dan serat E-glass (G) dalam laminat hibrid terhadap distribusi tegangan, deformasi, dan kekuatan tekan spesimen beton komposit.
- b. Membandingkan hasil simulasi numerik menggunakan *ANSYS Workbench* dengan data eksperimental untuk mengevaluasi kesesuaian dan keandalan simulasi sebagai alat prediksi kekuatan tekan.
- c. Mengidentifikasi konfigurasi laminat hibrid yang memberikan kekuatan tekan maksimum pada spesimen beton, serta mengeksplorasi potensi

penggunaan serat jute sebagai lapisan utama untuk peningkatan kekuatan tekan.

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah:

- a. Variasi komposisi serat jute dan e-glass memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tekan komposit laminat hibrid jute/e-glass/epoksi.
- b. Simulasi numerik menggunakan *Ansys Workbench* dapat memprediksi kekuatan tekan komposit dengan tingkat akurasi yang tinggi dibandingkan hasil pengujian eksperimental.
- c. Komposisi tertentu dari serat jute dan e-glass akan menghasilkan kekuatan tekan optimal pada komposit laminat hibrid jute/e-glass/epoksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

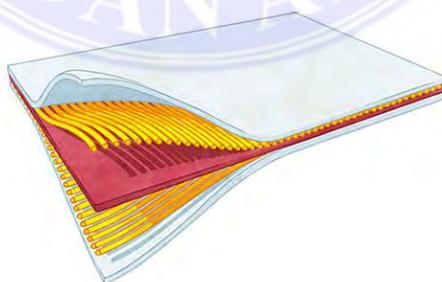
- a. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai aplikasi simulasi numerik dalam analisis kekuatan mekanis material komposit.
- b. Memberikan informasi yang berguna bagi industri dalam mengembangkan material komposit yang lebih efisien dan ramah lingkungan.
- c. Menyediakan data dan rekomendasi komposisi optimal komposit laminat hibrid jute/e-glass/epoksi untuk aplikasi struktur beton dan konstruksi lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Komposit adalah sistem material multi fasa yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda (Diana et al., 2022). Salah satu contoh umum dari material komposit adalah beton, yang terdiri dari campuran semen, pasir, batu koral, dan air. Dalam konteks penelitian ini, komposit laminat hibrid yang digunakan menggabungkan serat jute dan e-glass dengan matriks epoksi. Komposit hibrid mengkombinasikan dua atau lebih jenis serat untuk memperoleh sifat mekanis yang lebih baik dibandingkan dengan komposit yang hanya menggunakan satu jenis serat. Serat jute digunakan karena keunggulannya sebagai serat alam yang ramah lingkungan, sedangkan serat e-glass dipilih karena kekuatannya yang tinggi dan kemampuannya meningkatkan sifat mekanis komposit. Contoh ilustrasi dari material komposit diperlihatkan di gambar 2.1.



Gambar 2.1. Material Komposit

Material komposit menawarkan sejumlah keuntungan yang menjadikannya sangat bermanfaat dalam berbagai aplikasi teknik dan industri. Keuntungan utamanya termasuk kekuatan dan kekakuan tinggi yang memungkinkan material ini menahan beban mekanis yang signifikan tanpa menambah berat berlebih, membuatnya ideal untuk industri otomotif dan dirgantara yang memerlukan efisiensi bahan bakar dan kinerja tinggi (Xinghuai Huang, Shaoyang Su, Zhaodong Xu, Qisong Miao, 2023). Selain itu, komposit menunjukkan ketahanan yang sangat baik terhadap korosi, sehingga cocok untuk lingkungan keras seperti struktur kelautan dan pipa minyak (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020). Fleksibilitas desain juga menjadi keunggulan, memungkinkan pembentukan komposit dalam berbagai bentuk kompleks sesuai kebutuhan spesifik aplikasi (Xinghuai Huang, Shaoyang Su, Zhaodong Xu, Qisong Miao, 2023). Selain itu, material komposit seperti serat alami (jute, bambu) menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan dibandingkan material berbasis minyak bumi, mengurangi jejak karbon dan mempermudah daur ulang (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020).

2.1.1 Material Penyusun Komposit

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda yaitu:

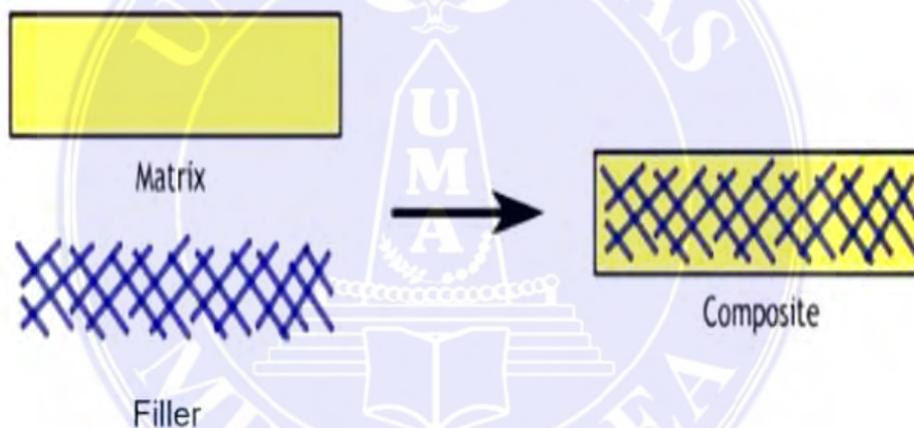
a. Matriks

Matriks adalah material dasar yang mengikat dan menyatukan bahan penguat (*reinforcement*) serta mendistribusikan beban yang diterima oleh komposit secara merata. Matriks dapat berupa material polimer, logam, atau keramik. Fungsi utama matriks adalah untuk melindungi bahan penguat dari kerusakan lingkungan dan tekanan mekanis, serta menjaga bentuk struktur komposit.

b. Penguat (*Reinforcement*)

Penguat adalah material yang ditambahkan ke dalam matriks untuk meningkatkan sifat mekanis, seperti kekuatan, kekakuan, dan ketahanan terhadap retak. Bahan penguat bisa berbentuk serat (*fiber*), partikel, atau pelat. Jenis bahan penguat yang umum digunakan antara lain serat kaca, serat karbon, serat aramid (misalnya, Kevlar), partikel keramik, dan nanopartikel.

Material penyusun komposit dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Material Penyusun Komposit

2.1.2 Klasifikasi Material Komposit

Material komposit terdiri dari unsur-unsur penyusun dan komponen dapat berupa unsur organik, anorganik ataupun metalik dalam bentuk serat, partikel serbuk dan lapisan. Secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu:

1. Komposit Serat (*Fiber Composit*)

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat atau komposit yang terdiri dari fiber dan matriks sebagai pengikat. Komposit yang terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat atau *fiber*. Serat yang digunakan biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat aramid dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Peningkatan kekuatan menjadi tujuan utama, komponen penguat harus mempunyai rasio aspek yang besar, yaitu rasio panjang terhadap diameter harus tinggi agar beba ditranfer melewati titik dimana mungkin terjadi perpatahan (Van Vlack, 1989).

Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matriks akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matriks penyusun komposit (Van Vlack, 1989).

Serat dalam bahan komposit berperan sebagai bahan utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan atau diameter serat yang mendekati kristal, maka semakin kuat bahan tersebut karena minimnya cacat pada material. Gambar 2.3 merupakan contoh dari serat fiber.



Gambar 2.3. Serat Fiber

Serat (*fiber*) adalah suatu jenis bahan berupa potongan- potongan komponen yang akan membentuk jaringan memanjang yang utuh. Berdasarkan jenisnya, serat penguat untuk komposit dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

- a. Serat buatan (Sintetic fiber), merupakan serat penguat untuk bahan komposit yang dibuat dari bahan-bahan kimia. Contohnya: serat gelas (fiber glass), serat optik (fiber optic), serat poliester (polyester fiber) dan lain-lain.
- b. Serat alami (Natural fiber), merupakan serat penguat untuk bahan komposit yang merupakan serat alami dari hasil alam. Serat alami dapat berasal dari hewani walaupun pada umumnya kebanyakan berasal dari tumbuhan-tumbuhan. Contoh: bulu domba (hewani), serat bambu dan serat pisang (tumbuhan) dan lain-lain.

2. Komposit Laminat (*Laminates Composite*)

Komposit laminat merujuk pada bahan yang terdiri dari dua atau lebih lapisan material yang berbeda yang digabungkan secara bersama-sama untuk

membentuk sebuah struktur yang lebih kuat dan tahan terhadap berbagai beban. Setiap lapisan material dalam komposit laminat biasanya memiliki sifat mekanis yang berbeda, tetapi ketika mereka digabungkan, mereka menciptakan sebuah bahan yang memiliki kombinasi sifat yang diinginkan. Lapisan-lapisan ini biasanya disatukan dengan menggunakan perekat atau resin, dan proses ini disebut laminasi. Resin dapat mengisi ruang di antara serat-serat atau material lain dalam laminat, memberikan dukungan struktural dan melindungi material dari kerusakan. Serat-serat yang umum digunakan dalam komposit laminat meliputi serat karbon, serat kaca, serat aramid, dan berbagai jenis serat lainnya. Komposit laminat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk industri pesawat terbang, otomotif, konstruksi, dan olahraga, karena dapat menggabungkan kekuatan, kekakuan, dan ringan yang superior dari berbagai material dalam satu produk akhir.



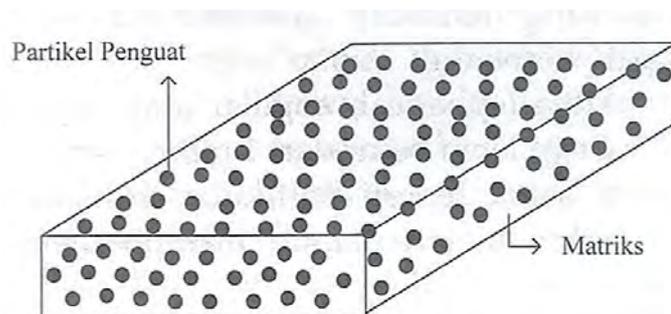
Gambar 2.4. Kompopsit Laminat

3. Komposit Partikel (*Particulate Composites*)

Komposit partikel yaitu komposit dengan penguat berupa partikel atau serbuk yang tersebar pada semua luasan dan segala arah dari komposit dan partikel yang tersuspensi di dalam matriks. Komposit mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, alok, serta bentuk- bentuk

lainnya memiliki sumbu hampir sama yang kerap disebut partikel. Komposit yang disusun oleh *reinforcement* berbentuk partikel, dimana interaksi antara partikel dan matriks terjadi tidak dalam skala atomik atau molekular. Partikel seharusnya berukuran kecil dan terdistribusi merata agar dapat menghasilkan kekuatan lebih seragam pada berbagai arah dan dapat meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material.

Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama dengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator dan lain-lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh tegangan koheren antara fase partikel dan matriks yang menunjukkan sambungan yang baik. Partikelnya bisa logam atau non logam, seperti halnya matriks. Selain itu adapula polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat komposit (Jones & Bert, 1975). Komposit partikel (*Particulate composite*) seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5. Komposit Partikel

2.1.3 Faktor yang mempengaruhi performa komposit

Penelitian yang mengabungkan antara matrik dan serat harus memperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi performa *Fiber-Matrik Composites* antara lain:

a. Faktor serat

Serat adalah bahan pengisi matrik yang digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya, juga diharapkan mampu menjadi bahan penguat matrik pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi.

b. Letak serat

Dalam pembuatan komposit tata letak dan arah serat dalam matrik yang akan menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arah dapat mempengaruhi kinerja komposit tersebut.

Menurut tata letak dan arah serat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu :

1. *One dimensional reinforcement*, mempunyai kekuatan dan modulus maksimum pada arah axis serat.
2. *Two dimensional reinforcement* (planar), mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat.
3. *Three dimensional reinforcement*, mempunyai sifat isotropic kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya. Pada pencampuran dan arah serat mempunyai beberapa keunggulan, jika orientasi serat semakin acak maka sifat mekanik pada 1 arahnya akan melemah, bila arah tiap serat menyebar maka kekuatannya juga akan menyebar kesegala arah maka kekuatan akan meningkat.

c. Panjang serat

Panjang serat dalam pembuatan komposit serat pada matrik sangat berpengaruh terhadap kekuatan. Ada 2 penggunaan serat dalam campuran komposit yaitu serat pendek dan serat panjang. Serat panjang lebih kuat dibanding serat pendek. Serat alami jika dibandingkan dengan serat sintetis mempunyai panjang dan diameter yang tidak seragam pada setiap jenisnya. Oleh karena itu panjang dan diameter sangat berpengaruh pada kekuatan maupun modulus komposit. Panjang serat berbanding diameter serat sering disebut dengan istilah aspect ratio. Bila *aspect ratio* makin besar maka makin besar pula kekuatan tarik serat pada komposit tersebut. Serat panjang (*continuous fiber*) lebih efisien dalam peletakannya dari pada serat pendek. Akan tetapi, serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang. Panjang serat mempengaruhi kemampuan proses dari komposit serat. Pada umumnya, serat panjang lebih mudah penanganannya jika dibandingkan dengan serat pendek. Serat panjang pada keadaan normal dibentuk dengan proses *filamentwinding*, dimana pelapisan serat dengan matrik akan menghasilkan distribusi yang bagus dan orientasi yang menguntungkan.

Ditinjau dari teorinya, serat panjang dapat mengalirkan beban maupun tegangan dari titik tegangan ke arah serat yang lain. Pada struktur continuous fiber yang ideal, serat akan bebas tegangan atau mempunyai tegangan yang sama. Selama fabrikasi, beberapa serat akan menerima tegangan yang tinggi dan yang lain mungkin tidak terkena tegangan sehingga keadaan di atas tidak dapat tercapai (Schwartz, 1984). Sedangkan komposit serat pendek, dengan

orientasi yang benar, akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar jika dibandingkan continuous fiber.

Hal ini terjadi pada whisker, yang mempunyai keseragaman kekuatan tarik setinggi 1500 kips/in² (10,3 GPa). Komposit berserat pendek dapat diproduksi dengan cacat permukaan yang rendah sehingga kekuatannya dapat mencapai kekuatan teoritisnya (Schwartz, 1984). Faktor yang mempengaruhi variasi panjang serat chopped fiber composites adalah critical length (panjang kritis). Panjang kritis yaitu panjang minimum serat pada suatu diameter serat yang dibutuhkan pada tegangan untuk mencapai tegangan saat patah yang tinggi (Schwartz, 1984).

d. Bentuk serat

Bentuk Serat yang digunakan untuk pembuatan komposit tidak begitu mempengaruhi, yang mempengaruhi adalah diameter seratnya. Pada umumnya, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Selain bentuknya kandungan seratnya juga mempengaruhi (Schwartz, 1984).

e. Faktor Matrik

Matrik dalam komposit berfungsi sebagai bahan mengikat serat menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari perusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matrik, sehingga matrik dan serat saling berhubungan.

Pembuatan komposit serat membutuhkan ikatan permukaan yang kuat antara serat dan matrik. Selain itu matrik juga harus mempunyai kecocokan secara kimia agar reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi pada permukaan kontak

antara keduanya. Untuk memilih matrik harus diperhatikan sifat-sifatnya antara lain seperti tahan terhadap panas, tahan cuaca yang buruk dan tahan terhadap guncangan yang biasanya menjadi pertimbangan dalam pemilihan material matrik.

2.2 Serat Jute

Serat jute adalah serat alami yang berasal dari tanaman jute, yang termasuk dalam genus *Corchorus*. Tanaman ini tumbuh subur di iklim hangat dan lembab, dengan India dan Bangladesh sebagai produsen utama. Serat jute dikenal karena panjang, kekuatan, dan kelenturannya. Serat ini terutama terdiri dari selulosa dan lignin, komponen utama serat tanaman. Proses pemanenan jute melibatkan perendaman batang tanaman dalam air untuk memisahkan serat dari kulitnya, diikuti dengan pengeringan dan pemintalan menjadi benang atau kain kasar.

Jute memiliki berbagai kegunaan berkat sifatnya yang kuat dan ramah lingkungan. Salah satu penggunaan utama jute adalah dalam pembuatan karung goni atau burlap, yang banyak digunakan untuk pengemasan barang, terutama dalam sektor pertanian. Selain itu, jute juga digunakan dalam produksi karpet, permadani, dan bahan komposit dalam industri otomotif. Keberlanjutan dan biodegradabilitasnya menjadikan jute pilihan yang populer dalam upaya mengurangi penggunaan bahan sintesis dan plastik. Sebagai salah satu serat alami paling ekonomis, jute memainkan peran penting dalam ekonomi pertanian di negara-negara penghasilnya.



Gambar 2.6. Serat Jute

Serat jute memiliki beberapa sifat mekanik yang meliputi:

- a. kekuatan tarik,
- b. pertambahan panjang, dan
- c. kekuatan tarik spesifik.

Kekuatan tarik komposit epoksi berpenguat serat jute 3 lapis simetri sebesar 45,961%. Pertambahan panjang sebesar 8,9278%. Kekuatan tarik spesifik tertinggi pada komposit epoksi berpenguat serat jute 3 lapis simetri sebesar 42,517 MPa/g.cm⁻³. Selain itu dibuat komposit epoksi berpenguat serat *e-glass* sebagai pembanding. Jika dibandingkan komposit epoksi berpenguat serat jute dengan komposit epoksi berpenguat serat *e-glass* maka kekuatan tarik rata-rata komposit epoksi berpenguat serat *e-glass* masih belum bisa menyamai. Akan tetapi, kekuatan komposit epoksi berpenguat jute memiliki potensi untuk menggantikan serat sintesis tersebut (Septiyanto & Abdullah, 2015). Tabel 2.1 merupakan karakteristik utama dari serat jute:

Tabel 2.1. Karakteristik Serat Jute (Mamun & Hasanuzzaman, 2020)

Karakteristik	Nilai/Deskripsi
Density (g/cm ³)	1.3
Elongation (%)	1.5-1.8
Tensile Strength (MPa)	393-773
Young's Modulus (GPa)	26.5

2.3 Serat *E-Glass*

Serat *e-glass* adalah jenis serat kaca yang paling umum digunakan dalam pembuatan komposit. Serat ini dikenal dengan kekuatan mekanisnya yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan stabilitas termalnya. Penambahan serat *e-glass* dalam komposit bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas material, sehingga menghasilkan komposit yang lebih kuat dan tahan lama.

Selain itu, kombinasi serat *E-glass* dengan serat alam seperti jute dalam komposit hibrida memberikan keseimbangan yang ideal antara performa mekanis dan keberlanjutan. Penggunaan serat jute yang *biodegradable* dan lebih ringan membantu mengurangi berat total komposit serta dampak lingkungan, sementara serat *E-glass* memberikan kekuatan dan ketahanan tambahan. Komposit hibrida ini sering digunakan dalam aplikasi otomotif, konstruksi, dan produk konsumen yang memerlukan material kuat namun tetap ramah lingkungan. Dengan demikian, kombinasi serat *E-glass* dan serat jute tidak hanya meningkatkan performa komposit tetapi juga mendukung inisiatif keberlanjutan dalam industri material.

Gambar 2.7. Serat *E-Glass*

Serat *e-glass* memiliki sifat mekanis yang unggul dibandingkan serat alam, namun penggunaannya dalam komposit sering dikombinasikan dengan serat alam seperti jute untuk memanfaatkan keunggulan masing-masing jenis serat. Tabel 2.2 merupakan karakteristik mekanik serat *e-glass*:

Tabel 2.2. Karakteristik Mekanik Serat *E-Glass* (Siregar & Zulfikar, 2022)

Parameter	Satuan	Besaran
Diameter	μm	12
Rapat Massa	g/cm^3	-2.54
Koefisien Ekspansi Thermal	$\text{X } 10^{-6} \text{ K}$	-5.0
Young's Modulus	GPa	72.4-76
Kekuatan Tarik	GPa	3.6
Poisson's Ratio		0.21

2.4 Resin Epoksi dan Katalis

Resin epoxy merupakan material termoset yang mudah dan cepat dikeraskan pada temperatur mulai 5°C sampai 150°C . Kelebihan dari resin epoxy adalah bersifat tahan aus dan tahan fatik, sedangkan kekurangannya adalah kekuatan rendah, peka terhadap takik dan bersifat getas (Suyoko Y, 2020). Saat resin epoksi mengeras, ia membentuk struktur polimer tiga dimensi yang sangat

kuat dan stabil, yang memberikan sifat mekanik yang unggul seperti kekuatan tarik dan kekuatan tekan yang tinggi. Selain itu, resin epoksi memiliki sifat adhesi yang sangat baik, mampu menempel dengan kuat pada berbagai permukaan termasuk logam, kayu, beton, dan serat komposit, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi industri dan perbaikan.



Gambar 2.8. Resin Epoksi

Resin epoksi juga dikenal karena ketahanan kimianya yang sangat baik, membuatnya tahan terhadap air, asam, basa, dan pelarut. Ini menjadikan epoksi pilihan utama dalam aplikasi pelapisan pelindung, seperti pelapisan lantai industri, tangki penyimpanan kimia, dan pelapisan anti-karat pada struktur logam. Dalam industri elektronik, resin epoksi digunakan untuk enkapsulasi dan penyegelan komponen elektronik untuk melindungi dari kelembapan, debu, dan kerusakan mekanis. Sifat dielektrik yang baik dari resin epoksi juga membuatnya cocok untuk pembuatan papan sirkuit cetak (PCB). Selain itu, resin epoksi sering digunakan dalam seni dan kerajinan karena kemampuannya untuk membentuk lapisan bening,

mengkilap, dan tahan lama, ideal untuk pembuatan meja resin, perhiasan, dan karya seni dekoratif. Kemampuan untuk menyesuaikan sifat fisik dan mekanik melalui berbagai formulasi menjadikan resin epoksi sebagai bahan yang sangat serbaguna dan diminati dalam berbagai industri. Resin epoksi memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

1. Mempunyai sifat *adhesive* yang baik untuk fiber dan resin.
2. Memiliki tingkat penyusutan yang rendah dan kestabilan dimensi yang baik.
3. Tahan terhadap zat kimia dan stabil terhadap zat asam.
4. Fleksibilitas dan kekuatan tinggi.
5. Tahan terhadap korosi.

Tabel 2.3. Tabel karakteristik Resin Epoksi (Cheng et al., 2016)

Karakteristik	Deskripsi
Density (g/cm ³)	1.2–1.3
Elongation (%)	1.3
Tensile strength (MPa)	55.0–130.0
Young's modulus (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.



Gambar 2.9. Katalis

2.5 Beton

Beton adalah bahan komposit yang terbuat dari beberapa material yang menggunakan bahan utama yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air dan material tambahan jika dibutuhkan dengan komposisi tertentu. Beton adalah

material komposit, oleh karena itu kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuknya (Tjokrodimuljo, 2007). Beton adalah bahan konstruksi yang sangat umum digunakan karena kombinasi kekuatan, ketahanan, dan kemampuan tahan lama yang tinggi. Bahan utama dalam beton adalah campuran semen Portland, air, agregat (batu pecah, kerikil, pasir), dan aditif tertentu. Proses pencampuran bahan-bahan ini menghasilkan pasta semen yang dapat dituangkan ke dalam bentuk dan dikompakkan untuk membentuk struktur yang keras dan kuat saat mengeras. Komposisi yang tepat dari bahan-bahan ini sangat penting untuk mencapai sifat-sifat mekanis dan fisik yang diinginkan dalam beton.

Secara mekanis, beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, yaitu kemampuannya untuk menahan tekanan atau beban dari atas tanpa mengalami deformasi permanen. Kekuatan tekan beton dipengaruhi oleh rasio air semen dalam campuran, jenis dan ukuran agregat, serta proses curing atau pengerasan. Selain itu, beton juga memiliki ketahanan yang baik terhadap tekanan dari samping (*shear*), tarikan, dan lentur, tergantung pada desain campuran dan struktur beton yang diterapkan.

Secara fisik, beton dapat dirancang untuk memiliki berbagai karakteristik seperti permeabilitas yang rendah terhadap air, kekerasan permukaan yang dapat disesuaikan, serta daya tahan terhadap cuaca dan lingkungan. Perlindungan terhadap serangan kimia seperti asam, basa, atau garam juga dapat ditingkatkan dengan aditif tertentu yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Sifat-sifat ini menjadikan beton pilihan yang ideal untuk berbagai aplikasi konstruksi seperti bangunan gedung, jembatan, jalan, dam, pelabuhan, dan infrastruktur lainnya yang

membutuhkan material yang kuat, tahan lama, dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi lingkungan. Bentuk beton dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Beton

Beton memiliki beberapa kelas beserta mutunya masing-masing.

Tabel 2.4. Tabel Mutu Beton

Kelas	Mutu	σ'_{bk} (kg/cm ²)	σ'_{bk} dengan $S_d=46$ (kg/cm ²)	Tujuan	Pengawasan	
					Mutu agregat	Kekuatan tekan
I	B ₀	-	-	Non struktur	Ringan	-
	B ₁	-	-	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

Beton mempunyai beberapa keuntungan antara lain:

1. Kekuatannya tinggi dan dapat di sesuaikan dengan kebutuhan.
2. Mudah di bentuk.

3. Tahan terhadap temperatur tinggi jadi aman jika terjadi kebakaran.
4. Lebih murah dibandingkan dengan baja.
5. Bahan bakunya mudah di dapat.
6. Mempunyai kuat tekan yang tinggi.
7. Umurnya tahan lama.

Selain kelebihan, beton juga memiliki kekurangan antara lain:

1. Beton termasuk material yang mempunyai berat jenis 2400 kn/cm^2
2. Kuat tariknya kecil (9% - 15%) dari kuat tekan.
3. Rentan terhadap retak.
4. Memerlukan perawan rutin.
5. Memerlukan struktur pendukung yang kuat.
6. Memiliki berat yang relatif tinggi.

2.6 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.

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:

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

Keterangan:

σ = Kekuatan Tekan (MPa)

F = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang (mm^2)

2.7 Hasil Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian tentang pengaruh pemberian serat jute pada struktur beton telah dikerjakan dan dilaporkan para kurun waktu 10 tahun terakhir. Liu dkk (2013) telah melakukan penyelidikan terhadap perilaku kekuatan mekanik semen yang dicampurkan dengan serat jute berukuran panjang 10 hingga 50 mm. Hasilnya diperoleh kekuatan tekan maksimum diperoleh pada panjang serat 30 mm dengan besaran nilai 45,26 MPa (Liu et al., 2013). Muzakir (2022) Kekuatan tekan maksimum rata-rata diperoleh pada selubung hibrid KLJG dengan variasi JGJ, yaitu 31 MPa atau mengalami peningkatan kekuatan tekan rata-rata hingga 120 % terhadap spesimen tanpa selubung. Kekuatan ini tidak jauh berbeda dengan peningkatan kekuatan tekan rata-rata pada variasi selubung GGJ dan JGJ, yaitu hingga 100 %. Akan tetapi, pada spesimen dengan lapisan jute sebagai lapisan pertama yang menyelubungi spesimen beton diperoleh kekuatan tekan rata-rata yang lebih tinggi. Dengan demikian, pemberian selubung jute pada awal permukaan spesimen beton secara signifikan memberikan peningkatan kekuatan tekan rata-ratanya (Tyas Muzakir et al., 2022).

Penyelidikan tentang kekuatan tekan beton yang diperkuat komposit laminat juga telah dikerjakan dan dilaporkan selama 10 tahun terakhir. Ghernouti dkk (2012) telah melakukan penyelidikan tentang perbaikan kolom beton dengan menggunakan lembaran serat karbon. Spesimen dibagi atas 3 jenis berdasarkan kapasitas kekuatan tekannya, yaitu Kelas 1 = 20 MPa, Kelas 2 = 35 MPa, dan Kelas

3 = 50 MPa. Proses perbaikan dilakukan dengan merekatkan lembaran karbon dengan menggunakan resin Sikadur-330. Hasilnya diperoleh kekuatan kolom beton pada masing-masing kapasitas tersebut mengalami peningkatan akibat pemberian lapisan karbon. Peningkatan kekuatan maksimum terjadi pada kelas 1 yaitu 23 % (Ghernouti et al., 2012).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Kegiatan Penelitian dilaksanakan di Laboratorium IFRC (*Impact & Fracture Research Center*) Universitas Sumatera Utara dengan waktu pelaksanaan selama 4 bulan. Jadwal pelaksanaan kegiatan penelitian diperlihatkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

Aktifitas	2024															
	Juli				Agustus				September				Oktober			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■	■														
Penulisan Proposal			■	■												
Seminar Proposal					■	■										
Proses Penelitian						■	■	■	■	■						
Pengolahan Data										■	■	■				
Penyelesaian Laporan											■	■				
Seminar Hasil													■	■		
Evaluasi dan persiapan Sidang														■	■	
Sidang Sarjana																■

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Komputer atau 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. Laptop

2. *Ansys Workbench* 2022: Digunakan untuk pembuatan model geometri, meshing, pengaturan kondisi batas, pelaksanaan simulasi, dan analisis data.



Gambar 3.2. *Ansys Workbench* 2022

3. Microsoft Excel: Digunakan untuk analisis data hasil simulasi dan perbandingan dengan data eksperimental.



Gambar 3.3. *Microsoft Excel*

3.2.2 Bahan

Bahan yang akan diuji di penelitian ini adalah data hasil eksperimen Kekuatan Tekan dan Lentur Bahan Komposit Hibrid Laminat Jute/E-Glass/Epoksi Sebagai Penguat Struktur Beton yang diuji oleh Aji Tyas Muzakir pada tahun 2022. Berikut spesifikasi bahan yang digunakan:

a. Kain Jute

Jenis jute yang dipakai ialah jute berbentuk kain. Jenis ini dipilih agar jute mudah menyelubungi spesimen beton silinder.



Gambar 3.4. Kain Jute

b. Lembar Serat Kaca (*E-Glass*)

Serat kaca (*glass fiber*) yang digunakan ialah serat kaca dalam bentuk lembaran yang berfungsi untuk menyelubungi spesimen beton silinder yang divariasikan dengan kain jute.



Gambar 3.5. Lembar Serat Kaca

c. Resin Epoksi

Resin epoxy yang dipakai adalah dari jenis Bisphenol A-Epichlorohydrin



Gambar 3.6. Epoksi

d. Semen

Semen yang dipergunakan dalam uji eksperimental ialah jenis semen Portland Komposit SNI 7064 2014. Agregat beton terdiri dari semen, pasir, kerikil, dan air. Dengan komposisi semen, pasir, dan krikil ialah 1:2:3.



Gambar 3.7. Semen Portland Komposit

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.

3.3.1 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

- 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.

3.3.2 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.

3.3.3 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.

3.3.4 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.

3.4 Pengolahan Data 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.

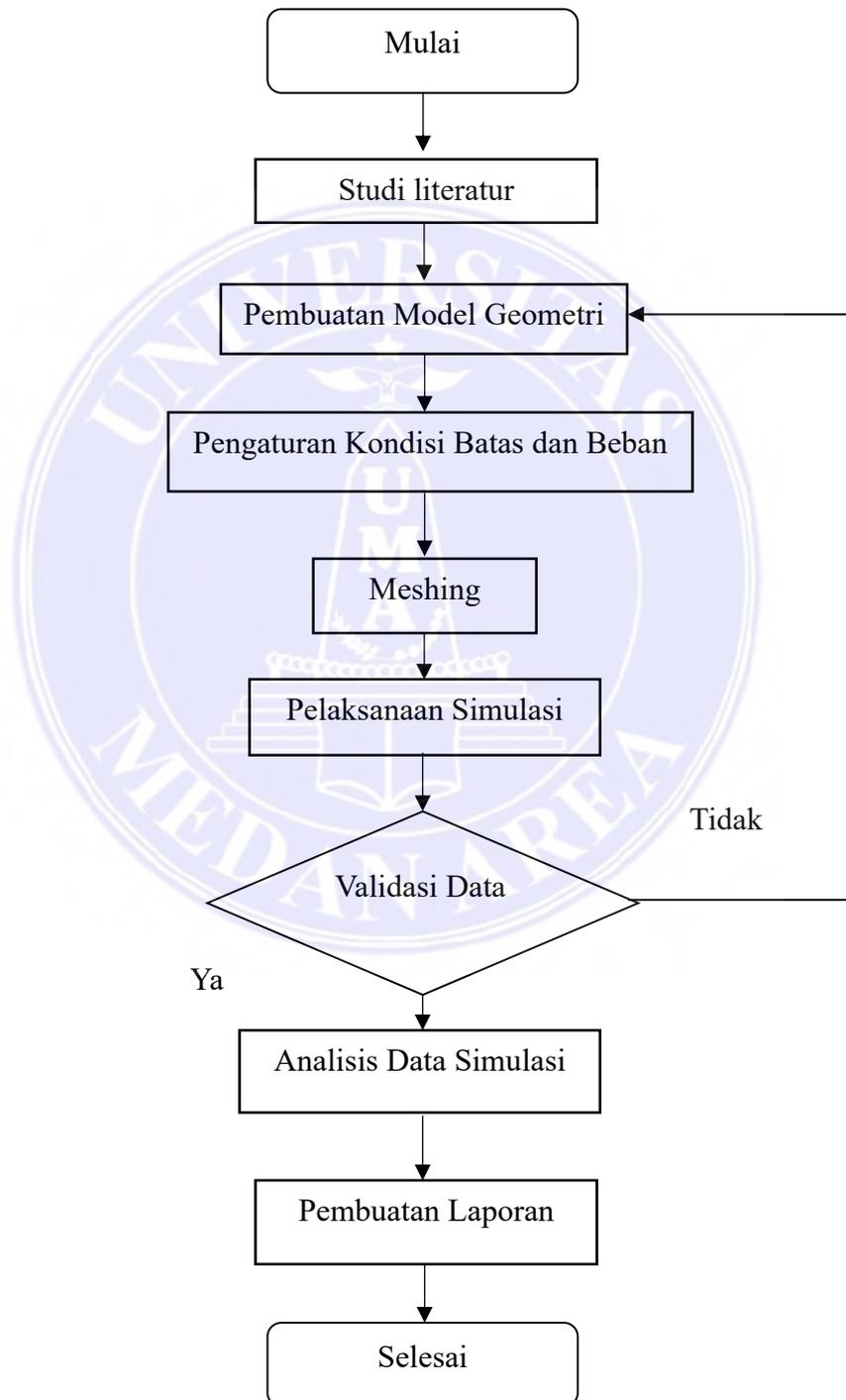
Interpretasi Hasil:

- 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 Diagram Alir Penelitian

Secara ringkas, alur penelitian ini diperlihatkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.8. Diagram Alir Penelitian

3.6 Jadwal Kegiatan

Jadwal pelaksanaan kegiatan penelitian diperlihatkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Jadwal Kegiatan

Kegiatan	1	2	3	4	5	6
Studi Literatur	■					
Persiapan Alat dan Bahan		■				
Pengembangan Model Simulasi Numerik			■			
Simulasi dengan Ansys Workbench 2022				■		
Validasi Hasil Simulasi dengan Data Eksperimental					■	
Analisis Hasil Simulasi						■
Penyusunan Laporan Akhir						■
Seminar Hasil						■

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan data-data hasil simulasi dan analisis yang telah dikerjakan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Konfigurasi susunan laminat hibrid Jute/E-Glass/Epoksi secara signifikan memengaruhi kekuatan tekan spesimen beton. Variasi laminat dengan susunan JGJ (Jute-G/E-Glass-Jute) menunjukkan kekuatan tekan rata-rata tertinggi, yaitu 35,77 MPa, dibandingkan dengan susunan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serat jute sebagai lapisan luar memberikan kontribusi lebih besar terhadap peningkatan kekuatan tekan dibandingkan serat E-glass.
2. Hasil simulasi numerik menggunakan *ANSYS Workbench* menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data eksperimental, sebagaimana dibuktikan oleh hasil uji ANOVA dengan nilai *p-value* sebesar 0,5, yang menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara hasil simulasi dan hasil eksperimen. Dengan demikian, metode simulasi ini dapat diandalkan sebagai alat analisis untuk memprediksi kekuatan tekan laminat hibrid.
3. Konfigurasi laminat optimal ditemukan pada spesimen dengan susunan JGJ, yang memberikan kekuatan tekan maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serat jute lebih dominan dalam meningkatkan kekuatan tekan ketika digunakan sebagai lapisan luar. Selain itu, konfigurasi dengan lebih

banyak lapisan jute (seperti pada variasi JJG) juga memberikan hasil yang cukup baik, dengan kekuatan tekan rata-rata mencapai 32,39 MPa.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan untuk kelanjutan penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh parameter lingkungan, seperti suhu, kelembaban, atau kondisi pembebanan dinamis, terhadap kekuatan tekan laminat hibrid. Hal ini penting untuk memahami kinerja laminat dalam kondisi nyata dan aplikasi praktis.
2. Menggunakan metode optimasi, seperti *Response Surface Methodology* (RSM) atau Desain Taguchi, untuk mengeksplorasi kombinasi optimal susunan laminat (jumlah lapisan, urutan, dan ketebalan) yang menghasilkan kekuatan tekan maksimum dengan efisiensi bahan yang lebih baik.
3. Selain kekuatan tekan, lakukan pengujian terhadap sifat mekanik lainnya, seperti kekuatan lentur, geser, dan ketangguhan. Dengan memahami performa multi-sifat, penelitian dapat memberikan panduan yang lebih komprehensif untuk aplikasi struktural laminat hibrid Jute/E-Glass/Epoksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmakuri, A., Palevičius, A., Vilkauskas, A., & Janusas, G. (2020). eview of Hybrid Fiber Based Composites with Nano Particles-Material Properties and Applications. *Polymers*, 12(9), 2088.
- Begum, S., Fawzia, S., & Hashmi, M. (2020). Polymer matrix composite with natural and synthetic fibres. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 6(1), 547–564.
- Cheng, Y.-L., Lee, C.-Y., Huang, Y.-L., Buckner, C. A., Lafrenie, R. M., Dénommée, J. A., Caswell, J. M., Want, D. A., Gan, G. G., Leong, Y. C., Bee, P. C., Chin, E., Teh, A. K. H., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., ... Mathijssen, R. H. J. (2016). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %. *Intech*, 11(tourism), 13. <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- Diana, L., Ghani Safitra, A., & Nabel Ariansyah, M. (2022). Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer. *Jurnal Kesehatan Dan Masyarakat*, 2(2), 2808–6171.
- Ghernouti, Y., Li, A., & Rabehi, B. (2012). Effectiveness of repair on damaged concrete columns by using fiber-reinforced polymer composite and increasing concrete section. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(23), 1616–1629. <https://doi.org/10.1177/0731684412458552>
- Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2020). A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications. *Journal of Materials Science*, 55(3), 829–892. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03990-y>
- Jha, K., Samantaray, B. B., & Tamrakar, P. (2018). A Study on Erosion and Mechanical Behavior of Jute/E-Glass Hybrid Composite. *Materials Today: Proceedings*, 5601–5607.
- Jones, R. M., & Bert, C. W. (1975). Mechanics of Composite Materials. *Journal of Applied Mechanics*, 42(3), 748. <https://doi.org/10.1115/1.3423688>
- Kaviti, A. K., Sravani, K., Namala, K. K., Gupta, G. S., & Thakur, A. K. (2020). Effect of dual resin on mechanical properties of juteglass fibre reinforced hybrid composite. *Materials Research Express*, 125368.
- Liu, B., Zhang, L. Z., Liu, Q. X., & Ji, T. (2013). Study on behaviors of jute fiber reinforced cement based materials. *Applied Mechanics and Materials*, 253, 508–511.
- Mamun, M. A. A., & Hasanuzzaman, M. (2020). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Energy for Sustainable Development: Demand, Supply, Conversion and Management*, 1–14.
- Nejad, A. F., Salim, M. Y. Bin, Kolor, S. S. R., Petrik, S., Yahya, M. Y., Hassan, S. A., & Shah, M. K. M. (2021). Hybrid and Synthetic FRP Composites under Different Strain Rates: A Review. *Polymers*, 13(19), 3400.
- Nurazzi, N., Asyraf, M., Athiyah, S., Shazleen, S., & Rafiqah, S. (2021). A Review on Mechanical Performance of Hybrid Natural Fiber Polymer Composites for

- Structural Applications. *Polymers*, 13(13), 2170.
- Sanjay, M., Arpitha, G., Senthamarai Kannan, P., Kathiresan, M., Saibalaji, M., & Yogesha, B. (2019). The Hybrid Effect of Jute/Kenaf/E-Glass Woven Fabric Epoxy Composites for Medium Load Applications: Impact, Inter-Laminar Strength, and Failure Surface Characterization. *Journal of Natural Fibers*, 16(2), 600–612.
- Schwartz, M. M. (1984). *Composite Materials Handbook*. McGraw-Hill. <https://books.google.co.id/books?id=CHOFQgAACAAJ>
- Septiyanto, R. F., & Abdullah, A. H. D. (2015). Perbandingan komposit serat alam dan serat sintetis melalui uji tarik dengan bahan serat jute dan e-glass. *Gravity : Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Fisika*, 1(1), 1–4. <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/Gravity/article/view/2536%0Ahttp://jurnal.untirta.ac.id/index.php/Gravity/article/view/912>
- Siregar, D. A., & Zulfikar, A. J. (2022). Analisis Kekuatan Tekan Selubung Komposit Laminat E-glass pada Beton Kolom Silinder dengan Metode Vacuum Bagging. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 5(1), 20–25.
- Suriani, M. J., Ilyas, R. A., Zuhri, M. Y. M., Khalina, A., Sultan, M. T. H., & Sapuan, S. M. (2021). Critical Review of Natural Fiber Reinforced Hybrid Composites: Processing, Properties, Applications and Cost. *Polymers*, 13(20), 3514.
- Suyoko Y. (2020). Ketangguhan Retak Komposit Epoxy-Serbuk Cangkang Kerang. *Politeknosains*, XIX, 27–32.
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *Beton Dalam Teknologi Beton*. 12–28.
- Tyas Muzakir, A., Zulfikar, A. J., Yusuf, M., & Siahaan, R. (2022). Analysis of Compressive Strength in Cylindrical Column Concrete Reinforced Jute E-Glass Epoxy Laminated Hybrid Composite. *Jcebt*, 6(1), 2022. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- Van Vlack, L. H. (1989). *Elements of Materials Science and Engineering*. Addison-Wesley. <https://books.google.co.id/books?id=x5hRAAAAMAAJ>
- Xinghuai Huang, Shaoyang Su, Zhaodong Xu, Qisong Miao, W. L. and L. W. (2023). Advanced Composite Materials for Structure Strengthening and Resilience Improvement. *Journal of Materials Science*.

LAMPIRAN

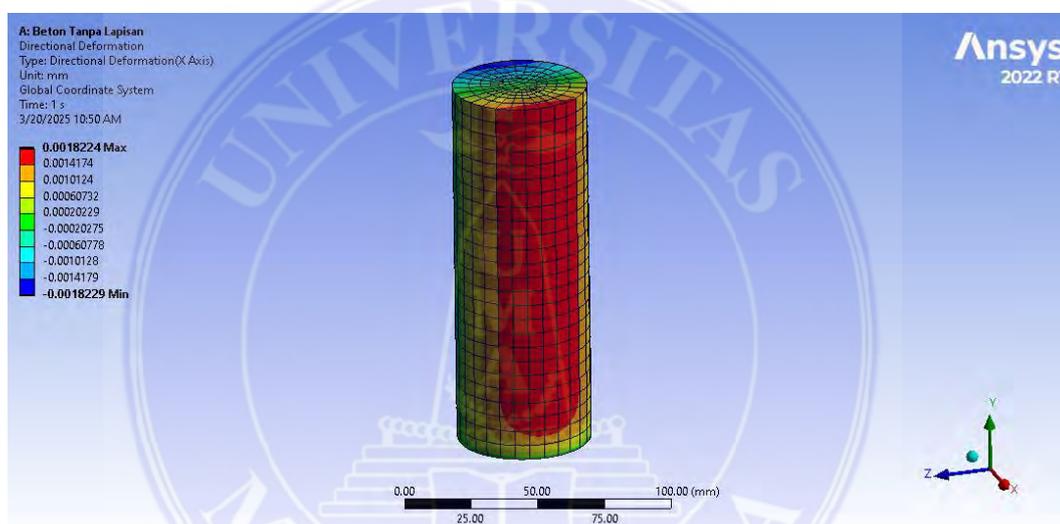
Gambar Hasil Simulasi Pengujian Tekan

Spesimen Kolom Beton Silinder Diperkuat Komposit Hibrid Laminat Jute

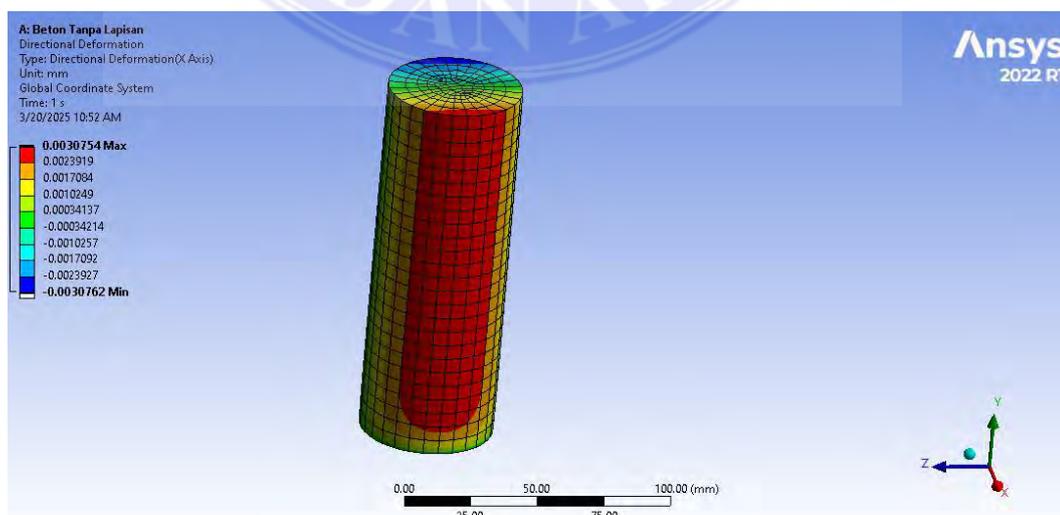
E-Glass Epoksi

A. Spesimen Beton Tanpa Lapisan

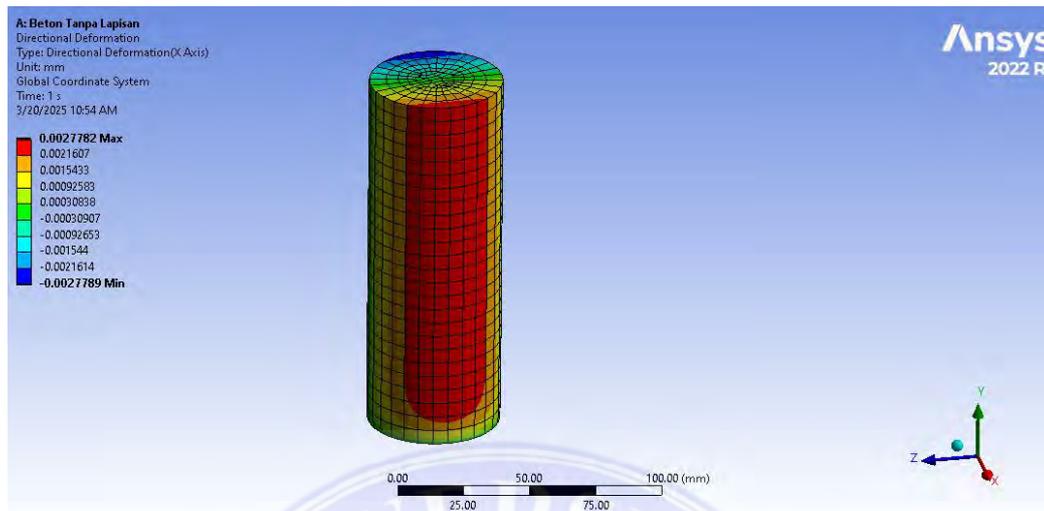
1. Pengujian pertama dengan beban tekan 23623 N



2. Pengujian kedua dengan beban tekan 39865 N

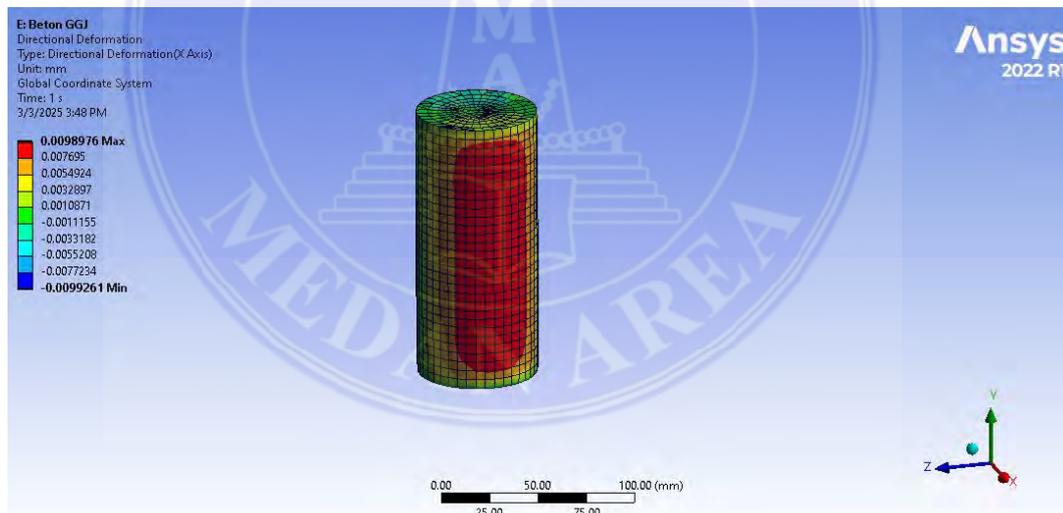


3. Pengujian ketiga dengan beban tekan 36012 N

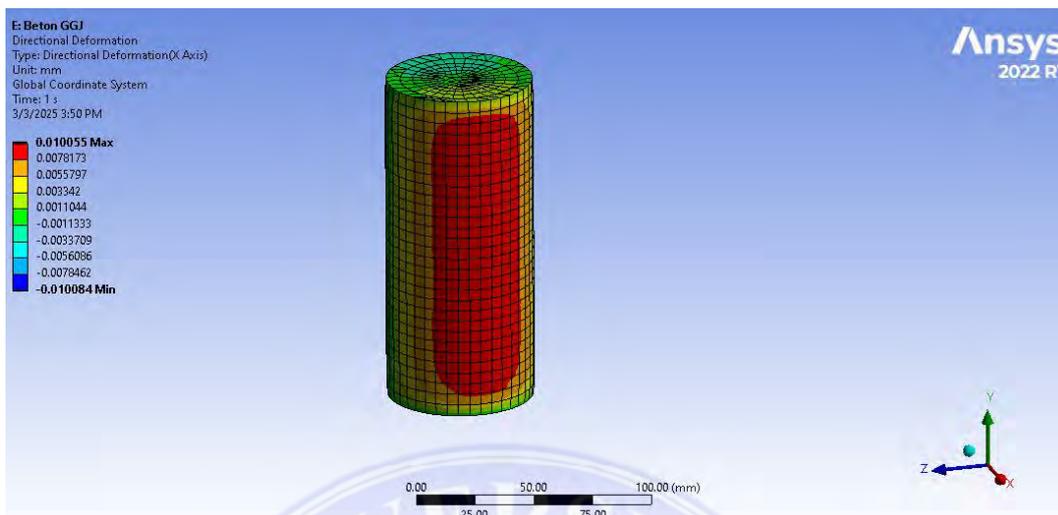


B. Spesimen Beton Dengan Lapisan GGJ (2 lapis G dan 1 lapis J)

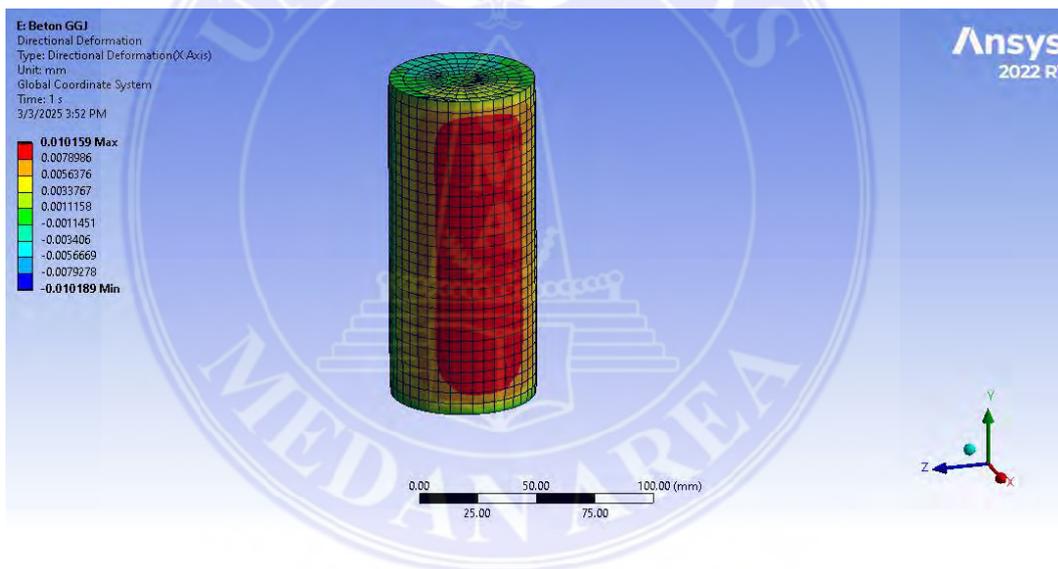
1. Pengujian pertama dengan beban tekan 85620 N



2. Pengujian kedua dengan beban tekan 86981 N

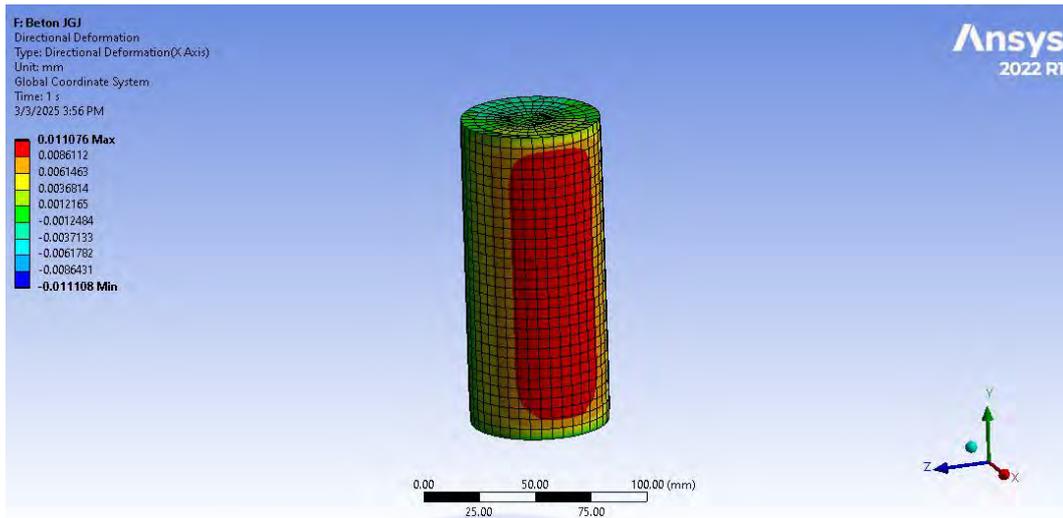


3. Pengujian ketiga dengan beban tekan 87885 N

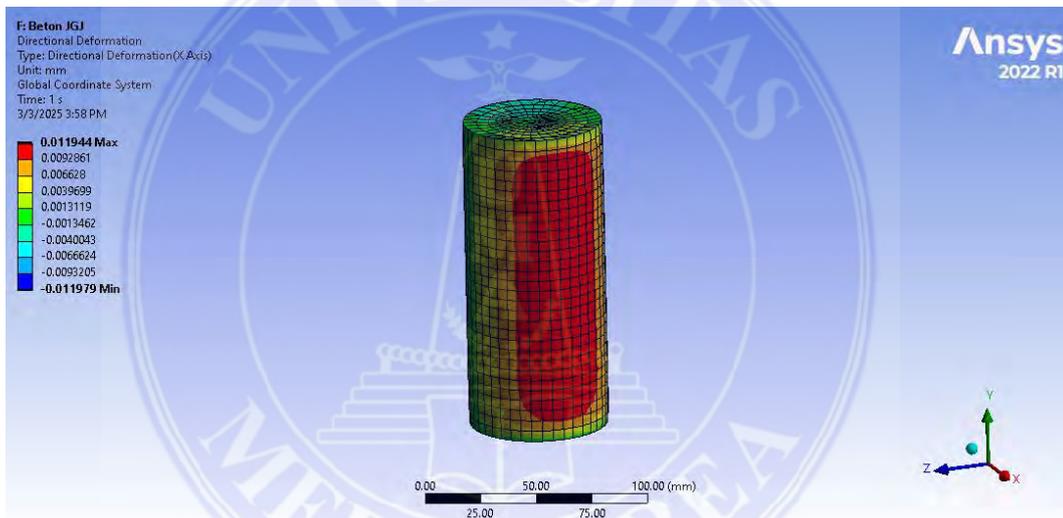


C. Spesimen Beton Dengan Lapisan JGJ (1 lapis J, 1 lapis G, 1 lapis J)

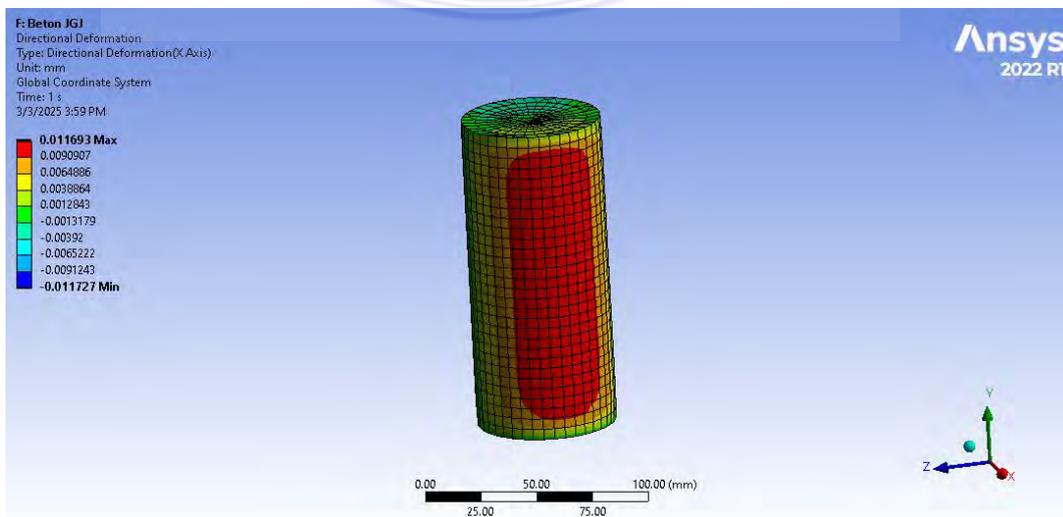
1. Pengujian pertama dengan beban tekan 95815 N



2. Pengujian kedua dengan beban tekan 103324 N

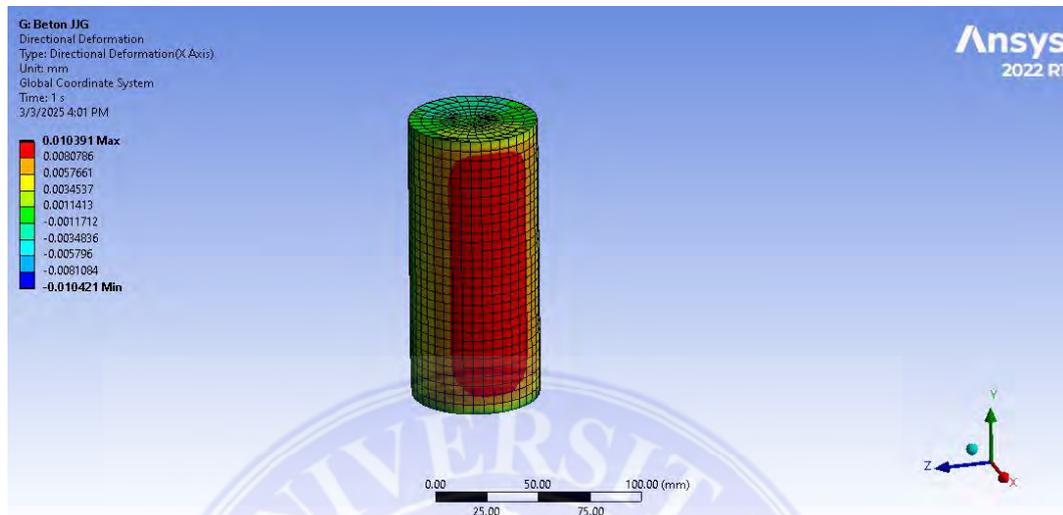


3. Pengujian ketiga dengan beban tekan 101150 N

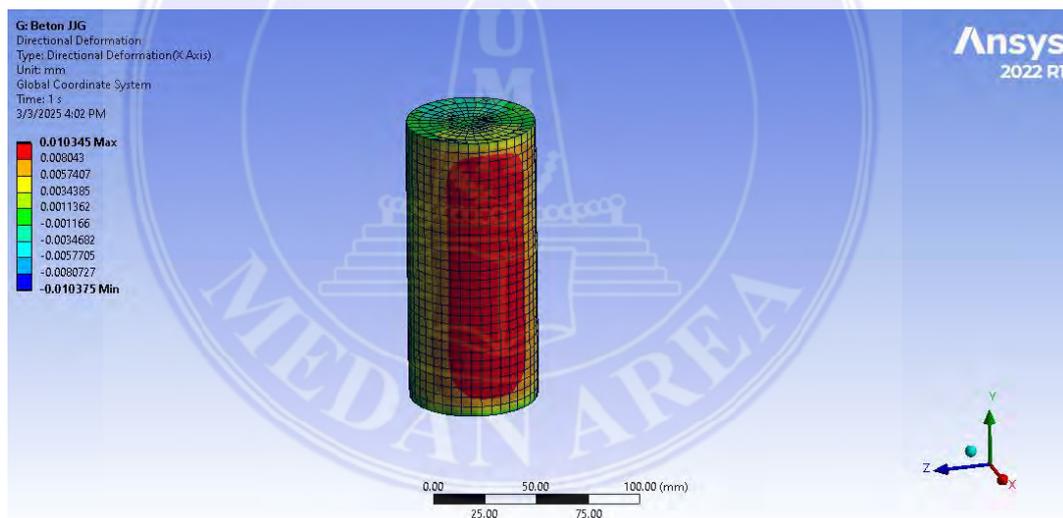


D. Spesimen Beton Dengan Lapisan JJG (2 lapis J, 1 lapis G)

1. Pengujian pertama dengan beban tekan 89888 N



2. Pengujian kedua dengan beban tekan 89492 N



3. Pengujian ketiga dengan beban tekan 92345 N

