

ANALISIS KETANGGUHAN BAHAN KOMPOSIT LAMINAT JUTE DAN *E-GLASS* AKIBAT BEBAN LENTUR DENGAN METODE HISTOGRAM

SKRIPSI

OLEH:

**BENNY PRANATA SILITONGA
188130094**



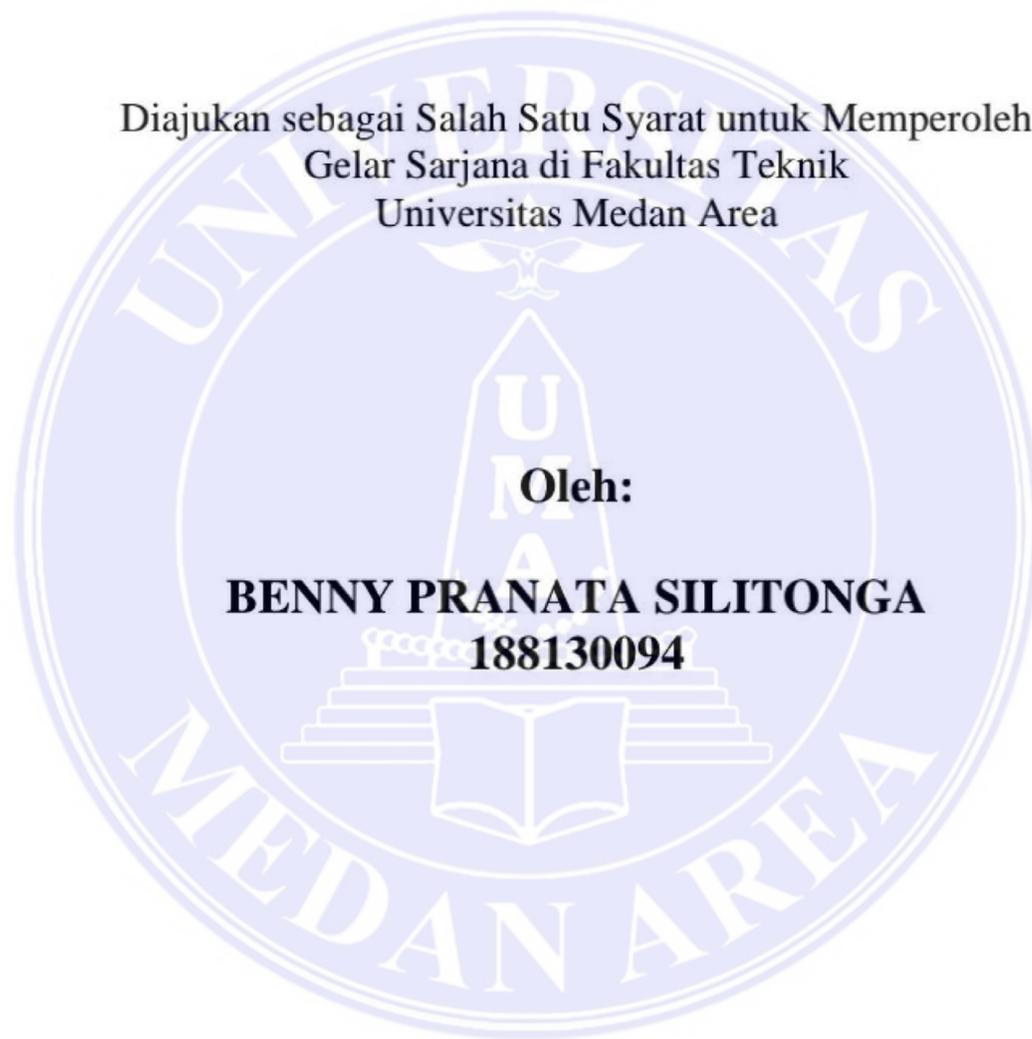
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS KETANGGUHAN BAHAN KOMPOSIT LAMINAT
JUTE DAN *E-GLASS* AKIBAT BEBAN LENTUR DENGAN
METODE HISTOGRAM**

SKRIPSI

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



Oleh:

BENNY PRANATA SILITONGA
188130094

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Metode Analisis Ketangguhan Bahan Komposit Laminat Jute dan *E-Glass* Akibat Beban Lentur dengan Histogram

Nama Mahasiswa : Benny Pranata Silitonga

NIM : 188130094

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing



(Zulfikar, ST. MT.)
Pembimbing I



(Dr. Eng. Supriatno, ST., MT.)
Dekan



(Dr. Iswandi, ST. MT.)
Ka. Prodi

Tanggal Lulus : 29 JULI 2024

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.

Medan, 13 Agustus 2024



Benny Pranata Silitonga
188130094



Benny Pranata Silitonga - Metode Analisis Ketangguhan Bahan Komposit Laminat Jute...

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

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

Nama : Benny Pranata silitonga
NPM : 188130094
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi

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

Analisis Ketangguhan Bahan Komposit Laminat Jute Dan *E-Glass* Akibat Beban Lentur Dengan Metode Histogram.

Beserta perangkat yang ada jika di perlukan. Dengan has bebas royalti non eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media /formatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*) , merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tensis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dngan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 13 Agustus 2024
Yang menyatakan



Benny Pranata silitonga

ABSTRAK

Secara umum, bahan komposit laminat memiliki kekuatan lentur yang lebih tinggi daripada bahan konvensional seperti logam atau plastik. Selain itu, kekuatan lentur bahan komposit laminat juga dipengaruhi oleh jenis bahan pengisi, tipe resin, dan teknik laminasi yang digunakan dalam produksinya. Bahan pengisi seperti serat karbon atau serat kaca memiliki kekuatan yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan kekuatan lentur bahan komposit laminat. Perhitungan ketangguhan bahan dalam penyelidikan ini menggunakan metode histogram, dengan metode ini perbandingan piksel warna dari grafik gaya vs pertambahan panjang hasil pengujian lentur dihitung dan dibandingkan dengan piksel pembanding yang merupakan representasi dari jumlah 1 J. Dalam pelaksanaannya, perhitungan dengan metode ini dibantu dengan menggunakan software Adobe Photoshop. Penelitian ini menguji ketangguhan bahan dari bahan komposit laminat jute e-glass. Adapun variasi jute dan e-glass dapat terlihat pada, setelah hasil dari pengujian spesimen komposit laminat jute dan e-glass maka didapatkan hasil kekuatan lentur total data keseluruhan. dan rata-rata data keseluruhan kekuatan bahan spesimen komposit laminat jute dan e-glass. Berdasarkan hasil analisis terhadap data-data hasil eksperimental KL diperoleh kesimpulan bahwa energi ketangguhan bahan (EKB) maksimum rata-rata diperoleh pada jumlah laminat sebanyak 4 lapis, yaitu 1,7054 Joule, dengan demikian, KL mampu meningkatkan EKB terhadap beban tarik belah yang diberikan

Kata Kunci : Laminat *jute* dan *e-glass*, Metode Histogram, Energi Ketangguhan Bahan

ABSTRACT

In general, laminate composite materials have higher flexural strength than conventional materials such as metals or plastics. In addition, the flexural strength of laminate composite materials is also affected by the type of filler material, resin type, and lamination technique used in their production. Filler materials such as carbon fiber or glass fiber have high strength, which can increase the flexural strength of laminate composite materials. The calculation of material toughness in this investigation uses the histogram method, with this method the comparison of color pixels from the force vs. length increment graph of the bending test results is calculated and compared with the comparison pixel which is a representation of the amount of 1 J. In practice, the calculation of this method is assisted by using Adobe Photoshop software. This research tested the material toughness of the jute e-glass laminate composite material. The variations of jute and e-glass can be seen in, after the results of testing the jute and e-glass laminate composite specimens, the results of the total flexural strength of the overall data are obtained. and the average overall data on the strength of the jute and e-glass laminate composite specimens. Based on the results of the analysis of the KL experimental data, it was concluded that the maximum average toughness energy of the material (EKB) was obtained at the number of laminates of 4 layers, namely 1.7054 Joules, thus, KL was able to increase EKB against the split tensile load given.

Keywords : *Jute and e-glass laminates, Histogram Method, Material Toughness Energy*

RIWAYAT HIDUP

Benny Pranata Silitonga lahir di Pangkalan Kerinci ,Kec Pangkalan Kerinci, Kab. Pelelawan , Prov. Riau pada tanggal 08 Oktober 1998, anak kedua dari dua bersaudara, dari pasangan Ayah yang bernama SAILON SILITONGA dan Ibu bernama RUSTIANA HUTASOIT.

Pada tahun 2005 penulis masuk sekolah dasar di SD Negeri 011 Kunto Darussalam dan lulus pada tahun 2011. Pada tahun 2011 melanjut sekolah di SMP Negeri 2 Ujung Batu dan lulus pada tahun 2014. Pada tahun 2014 Penulis melanjutkan sekolah di SMK Negeri 1 Ujung Batu dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun 2018 melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi Universitas Medan Area, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin. Selama kuliah penulis melaksanakan Praktek kerja lapangan (PKL) di PT Sumber Sawit Makmur pada tahun 2022.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia Nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ialah pembuatan dan pengujian spesimen komposit dengan judul Analisa Ketangguhan Bahan Jute *E-Glass* Akibat Beban Lentur Dengan Metode Histogram.

Terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Zulfikar, ST, M.T. selaku pembimbing 1, yang telah banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis selama proses pengerjaan penelitian ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada rekan rekan satu tim dan teman teman seangkatan yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu serta seluruh keluarga atas doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi/tesis ini masih memiliki kekurangan oleh karena itu kritik saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi/tesis ini. Penulis berharap tugas akhir/skripsi/tesis ini dapat dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



Benny Pranata Silitonga

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	v
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Komposit Laminat	6
2.2 Kain Jute.....	13
2.3 Serat <i>E-Glass</i>	19
2.4 Kekuatan Lentur	24
2.5 Ketangguhan Bahan.....	28
2.6 Histogram	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	34
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.2 Bahan dan Alat	34
3.3 Metode Penelitian.....	37
3.4 Populasi dan Sampel.....	37
3.5 Prosedur Kerja	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Hasil.....	41
4.2 Pembahasan	46
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	52
5.1 Simpulan.....	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal tugas akhir	34
Tabel 3.2. Spesifikasi Laptop.....	35
Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Ketangguhan Bahan	48
Tabel 4.2. Pengolahan Data Hasil Uji Ketangguhan Bahan	50
Tabel 4.3. Data Kekuatan Lentur (KL)	51

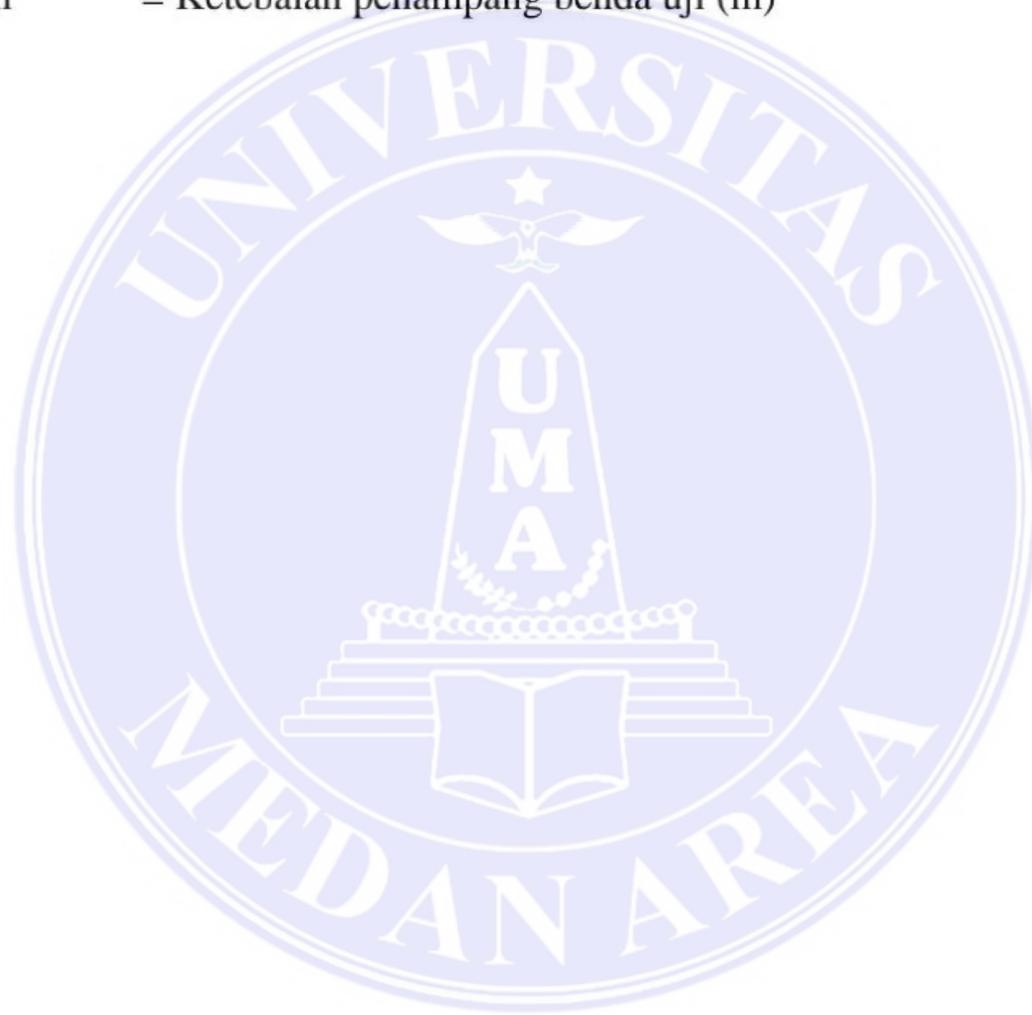


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konsep Komposit Laminat (Kandasamy et al. 2021)	7
Gambar 2.2. Kain Burlap	14
Gambar 2.3. Tanaman Jute.....	14
Gambar 2.4. Lembar Serat Kaca E-glass	20
Gambar 2.5. Skematik Uji Lentur 3 Titik	27
Gambar 2.6. Bentuk Visual Metode Histogram	32
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 4.1. Grafik Ketangguhan Bahan j90.2.....	41
Gambar 4.2. Grafik Ketangguhan Bahan j90.3.....	42
Gambar 4.3. Grafik Ketangguhan Bahan j90.4.....	42
Gambar 4.4. Grafik Ketangguhan Bahan J45.2	43
Gambar 4.5. Grafik Ketangguhan Bahan J45.3	43
Gambar 4.6. Grafik Ketangguhan Bahan J45.4	44
Gambar 4.7. Grafik Ketangguhan Bahan G90.2	44
Gambar 4.8. Grafik Ketangguhan Bahan G90.3	45
Gambar 4.9. Grafik Ketangguhan Bahan G90.4	45
Gambar 4.10. Nilai Sub Total Ketangguhan Bahan.....	49
Gambar 4.11. Nilai Rata Rata Kekuatan Bahan.....	50
Gambar 4.12. Analisis Perbandingan KL dan EKB.....	51

DAFTAR NOTASI

σ	= Tegangan lentur (Pa)
M	= Momen lentur yang bekerja pada beam (Nm)
Y	= Jarak dari sumbu netral (m)
I	= Momen inersia penampang beam (m ⁴)
E	= Modulus elastisitas bahan (Pa)
$\Delta\theta$	= Perubahan sudut pada bahan (rad)
R	= Jari-jari lengkungan dari lenturan (m)
F	= Gaya yang diterapkan pada titik tengah (N)
L	= Jarak antara dua titik dukungan (m)
ε	= Regangan lentur (tanpa satuan)
b	= Lebar penampang benda uji (m)
h	= Ketebalan penampang benda uji (m)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kekuatan lentur bahan komposit laminat sangat tergantung pada komposisi dan orientasi serat dalam material. Secara umum, bahan komposit laminat memiliki kekuatan lentur yang lebih tinggi daripada bahan konvensional seperti logam atau plastik. Hal ini disebabkan karena bahan komposit laminat terdiri dari lapisan-lapisan yang disusun dengan orientasi serat yang berbeda-beda, sehingga dapat menahan beban dalam berbagai arah (Astika and Dwijana 2015).

Selain itu, kekuatan lentur bahan komposit laminat juga dipengaruhi oleh jenis bahan pengisi, tipe resin, dan teknik laminasi yang digunakan dalam produksinya. Bahan pengisi seperti serat karbon atau serat kaca memiliki kekuatan yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan kekuatan lentur bahan komposit laminat. Sementara itu, tipe resin yang digunakan dapat mempengaruhi fleksibilitas dan kekuatan ikatan antara serat dan resin (Hidayat 2019).

Untuk mengukur kekuatan lentur bahan komposit laminat, digunakan uji lentur yang umumnya dilakukan dengan metode tiga titik atau empat titik. Dalam uji ini, material diberi beban pada titik-titik tertentu untuk mengukur gaya dan deformasi yang terjadi pada material. Hasil dari uji lentur ini dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan lentur maksimum bahan komposit laminat dan menganalisis karakteristik mekaniknya (Zulfadhli, Ali, and Taufan 2017).

Serat jute adalah serat yang didapat dari kulit batang tanaman *Corchorus capsularis* dan *Corchorus olitorius*. Serat jute telah dikenal sejak jaman Mesir kuno, dan diperkirakan berasal dari daerah sekitar laut tengah yang kemudian meluas di Asia. Kain jute pertamakali di ekspor ke Inggris oleh India pada akhir abad ke-18 (Suliyanthini et al. 2014). Laminat jute (kain jut) memiliki tekstur yang kasar bahan kain burlap ini terbuat dari serat yang kuat serat jute, dimana serat jute merupakan serat yang banyak digunakan nomor dua setelah kapas (Fadilla and Siagian 2021).

Asal mula serat jute ini diperoleh dari kulit batang pohon tanaman jute. Tanaman jute hampir banyak ditemukan di seluruh dunia, yang memiliki alam tropis dan sub tropis namun pusat keberagaman tanaman ini terdapat di benua Afrika (Ismojo, Hafizh, and Suastiyanti 2020). Kain jute yang terbuat dari tanaman jute di tenun menggunakan bahan dasar serat yang tebal sehingga tidak mudah putus, kain jute termasuk kain yang ramah lingkungan karena komposisi dari kain jute sendiri terbuat dari 100% bahan-bahan alami yaitu serat jute (Rasid, Zulfikar, and Iswandi 2022).

Resin Epoxy adalah sebuah bahan kimia resin dari hasil polimerisasi epoxyda. Resin polimerisasi tersebut kemudian dikenal dengan nama resin thermoset yang membentuk ikatan molekul yang erat dalam suatu struktur antar polimer (Hermawan, Masturi, and Yulianti 2015). Resin thermoset adalah polimer cair yang diubah menjadi bahan padat secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimia, membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi. Sifat mekaniknya tergantung pada unit molekuler yang membentuk jaringan rapat dan panjang jaringan silang (Tauvana, Syafrizal, and Subekti 2020).

Resin epoxy banyak digunakan untuk bahan komposit di beberapa bagian struktural, resin ini juga digunakan sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan dan perekat. Resin epoxy sangat baik digunakan sebagai matriks pada komposit dengan penguat serat jute. Histogram adalah representasi grafis dari distribusi data numerik. Ini terdiri dari satu set persegi panjang, di mana lebar dan tinggi setiap persegi panjang mewakili rentang dan frekuensi, masing-masing, dari grup data atau binari tertentu (Winarno et al. 2022).

Tempat binari biasanya berjarak interval yang sama di sepanjang sumbu x, dan sumbu y mewakili frekuensi atau hitungan nilai yang termasuk dalam setiap tempat binari. Pada penelitian ini bahan komposit laminat yang disusun atas lembaran kain jute dan serat kaca e-glass anyaman akan diikat dengan menggunakan bahan resin epoksi. Pemilihan kain jute dikarenakan bahan ini mudah didapat dipasaran, awet, tidak mudah busuk serta mempunyai nilai ekonomis. Kain jute juga mempunyai kemampuan tarik yang cukup tinggi, sehingga diharapkan nantinya dapat meningkatkan kekuatannya juga.

Berdasarkan latar belakang ini, penulis menggunakan susunan lembaran kain jute dan serat kaca e-glass anyaman yang direkatkan dengan resin epoksi menjadi bentuk flat dan selanjutnya diuji kekuatan lenturnya dengan menggunakan standar uji ASTM D790. Akhirnya, penulis akan menghitung ketangguhan bahan berdasarkan besarnya energi yang mampu diserap dengan menggunakan metode histogram yaitu berdasarkan perbedaan frekuensi warna pada luas area yang dihitung.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dilakukan perhitungan ketangguhan bahan berdasarkan hasil pengujian nilai kuat lentur bahan komposit laminat jute dan e-glass. Jadi dalam proses pengujiannya, spesimen yang berasal dari susunan lembaran kain jute dan e-glass anyaman dengan ukuran panjang 150 mm, lebar 20 mm, dan ketebalan 5 mm akan diberikan beban tekan menggunakan mesin uji UTM dengan posisi tegak lurus terhadap sumbu spesimen untuk melihat seberapa besarkah ketangguhan bahan pada spesimen beton tersebut. Oleh karena itu pertanyaan yang ingin di jawab adalah:

- a. Bagaimana cara mengetahui menghitung jumlah energi yang mampu diserap bahan berdasarkan grafik hasil uji lentur?
- b. Bagaimana cara menganalisis terhadap perbandingan antara kekuatan lentur dan energi serap bahan dari hasil uji lentur?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

- a. Menghitung luas daerah dibawah kurva pembebanan lentur menggunakan resolusi warna dengan metode histogram.
- b. Menghitung energi ketangguhan bahan berdasarkan grafik hasil uji lentur.
- c. Analisis perbandingan antara kekuatan lentur dan ketangguhan bahan komposit laminat jute dan *e-glass*.

1.4 Hipotesis Penelitian

Jika jumlah serat yang digunakan pada bahan komposit laminat semakin banyak, maka kekuatan lentur bahan tersebut akan semakin tinggi karena semakin banyak serat yang terikat dengan matriks akan memberikan kekuatan dan kekakuan yang lebih baik pada bahan tersebut. Perbedaan kekuatan bahan komposit laminat juga dipengaruhi oleh jenis lapisan yang digunakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyelidikan yang lebih mendalam untuk membuktikan dugaan tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari analisis kekuatan lentur komposit laminat jute dan *e-glass* epoksi adalah:

- a. Untuk mengetahui seberapa kuat struktur bahan komposit laminat jute dan *e-glass* terhadap beban lentur.
- b. Bagi peneliti, dapat menambah pengetahuan, wawasan dan pengalaman tentang bahan komposit.
- c. Bagi akademik, penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi tambahan untuk penelitian tentang uji kekuatan lentur bahan komposit laminat selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

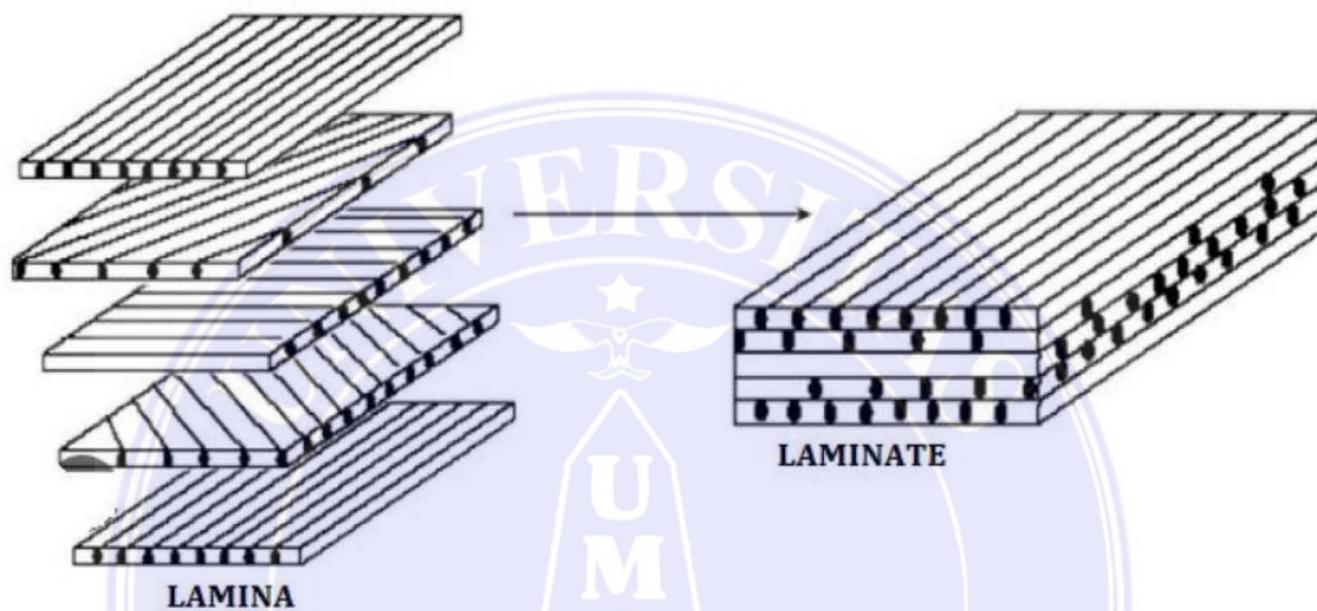
2.1 Komposit Laminat

Bahan komposit adalah jenis bahan yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabungkan bersama-sama untuk membentuk struktur yang kuat dan tahan terhadap beban tertentu (Das et al. 2021). Laminat komposit biasanya terdiri dari dua komponen utama: matriks dan penguat. Matriks adalah bahan yang berfungsi sebagai pengikat untuk penguat dan memberikan stabilitas struktural pada laminat. Matriks biasanya terbuat dari polimer, seperti epoxy, termoset, termoplastik, atau bahan lainnya yang memiliki sifat mekanis yang baik dan dapat mengikat penguat bersama-sama.

Penguat adalah bahan yang memberikan kekuatan dan kekakuan pada laminat. Penguat dapat berupa serat-serat yang terbuat dari bahan seperti serat karbon, serat kaca, serat aramid, atau serat lainnya. Serat-serat ini biasanya ditempatkan dalam susunan tertentu dalam matriks untuk memberikan sifat mekanis yang diinginkan pada laminat (N et al. 2019). Bahan komposit laminat adalah jenis bahan komposit yang terdiri dari lapisan-lapisan berbeda yang disatukan secara mekanis (Zulfikar 2020). Bahan ini umumnya terdiri dari dua komponen utama, yaitu matriks dan serat penguat.

Matriks pada bahan komposit laminat biasanya terbuat dari polimer, seperti resin epoksi atau resin termoset lainnya. Matriks bertanggung jawab untuk memberikan kekuatan struktural dan matriks untuk serat penguat. Matriks juga berfungsi untuk melindungi serat penguat dari kerusakan mekanis dan lingkungan

eksternal. Serat penguat adalah komponen yang memberikan kekuatan dan kekakuan tambahan pada bahan komposit laminat (Sriranga, Kirthan, and Ananda 2021). Serat ini biasanya terbuat dari bahan seperti serat kaca, serat karbon, serat aramid, atau serat lainnya. Serat penguat ditata secara paralel atau saling bersilangan dalam matriks untuk membentuk lapisan-lapisan yang kuat dan kaku. Konsep komposit laminat diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Konsep Komposit Laminat (Kandasamy et al. 2021)

Bahan komposit laminat memiliki kekuatan yang sangat baik dibandingkan dengan bahan tunggal atau bahan logam konvensional. Kekuatan bahan komposit laminat terutama dipengaruhi oleh serat penguat yang digunakan, orientasi serat, dan matriks yang digunakan (Chethan, Nagesh, and Sunith Babu 2019). Beberapa faktor yang berkontribusi pada kekuatan bahan komposit laminat meliputi:

- a. **Kekuatan Serat Penguat:** Serat penguat seperti serat karbon atau serat aramid memiliki kekuatan yang sangat tinggi dibandingkan dengan bahan logam. Serat penguat yang kuat memberikan kontribusi utama terhadap kekuatan bahan komposit laminat.

- b. **Orientasi Serat:** Kekuatan bahan komposit laminat tergantung pada arah orientasi serat. Jika serat penguat terorientasi dengan baik dan sejajar dengan beban yang diterapkan, maka bahan komposit laminat akan memiliki kekuatan yang optimal.
- c. **Interaksi Serat-Matriks:** Kekuatan bahan komposit laminat juga dipengaruhi oleh interaksi antara serat penguat dan matriks. Adanya ikatan yang kuat antara serat penguat dan matriks memungkinkan transfer beban yang efektif antara keduanya, meningkatkan kekuatan keseluruhan bahan.
- d. **Ketebalan Lapisan dan Orientasi:** Kekuatan bahan komposit laminat dapat bervariasi tergantung pada ketebalan lapisan dan orientasi serat. Pemilihan kombinasi ketebalan lapisan dan orientasi serat yang tepat dapat mengoptimalkan kekuatan bahan komposit laminat.
- e. **Ketahanan terhadap Kerusakan:** Bahan komposit laminat memiliki kekuatan yang tinggi terhadap kerusakan seperti retak dan patah. Struktur laminasi mampu menyerap energi secara efektif dan mencegah propagasi kerusakan yang dapat mengurangi kekuatan bahan.

Bahan komposit laminat memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bahan logam konvensional, seperti:

- f. **Kekuatan-ke-bobot yang Tinggi.** Bahan komposit laminat dapat memiliki kekuatan yang tinggi dibandingkan dengan bahan logam dengan bobot yang jauh lebih ringan. Serat penguat yang digunakan dalam laminat seperti serat karbon atau serat aramid memiliki kekuatan yang sangat tinggi, sementara matriks polimer yang ringan membantu mengurangi bobot keseluruhan bahan. Hal ini membuat bahan komposit laminat sangat sesuai untuk

aplikasi di mana kekuatan struktural yang tinggi diperlukan dengan bobot yang minimal, seperti industri aerospace atau otomotif (Santhi, Srinivas, and Kumar 2020).

- g. **Ketahanan terhadap Korosi.** Bahan logam rentan terhadap korosi, terutama ketika terpapar lingkungan yang keras atau berbagai bahan kimia. Namun, bahan komposit laminat memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap korosi karena matriks polimer yang digunakan tidak terpengaruh oleh korosi sebagaimana logam. Ini membuat bahan komposit laminat lebih tahan lama dan memerlukan perawatan yang lebih sedikit (Salman 2020).
- h. **Kekakuan yang Tinggi.** Bahan komposit laminat memiliki kekakuan yang tinggi, yang berarti mereka memiliki modulus elastisitas yang tinggi. Kekakuan ini memberikan stabilitas dimensional dan ketahanan terhadap deformasi yang signifikan, sehingga bahan komposit laminat cocok untuk aplikasi di mana stabilitas struktural sangat penting, seperti aerospace atau konstruksi kapal (Prabhu et al. 2019).
- i. **Desain yang Fleksibel:** Bahan komposit laminat dapat dirancang dengan fleksibilitas yang tinggi, memungkinkan struktur dengan bentuk kompleks dan performa yang disesuaikan. Dalam proses manufaktur laminasi, lapisan serat penguat dan matriks dapat diatur dalam berbagai orientasi dan pola untuk mengoptimalkan kekuatan dan kekakuan dalam arah yang diinginkan. Ini memberikan kemampuan untuk menghasilkan komponen yang sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi (Techawinyutham et al. 2021).
- j. **Damping Getaran:** Bahan komposit laminat memiliki kemampuan yang baik dalam meredam getaran dan mengurangi resonansi mekanis. Dengan

mengurangi getaran yang tidak diinginkan, bahan komposit laminat membantu meningkatkan kenyamanan, keandalan, dan kinerja structural (Pradhan, Joshi, and Sunny 2022).

Meskipun bahan komposit laminat memiliki banyak keunggulan, ada beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan jika dibandingkan dengan bahan logam. Beberapa kelemahan utama bahan komposit laminat adalah sebagai berikut:

1. Rentan terhadap Kerusakan Tersembunyi

Bahan komposit laminat cenderung rentan terhadap kerusakan tersembunyi atau internal yang sulit untuk dideteksi secara visual. Retakan, delaminasi (pengelupasan lapisan), atau kerusakan serat penguat di dalam struktur laminat mungkin tidak terlihat secara langsung, yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan dan integritas struktural. Pemantauan dan inspeksi berkala diperlukan untuk mendeteksi kerusakan semacam itu.

2. Sensitivitas terhadap Bahan Kimia

Matriks polimer pada bahan komposit laminat cenderung lebih sensitif terhadap bahan kimia daripada logam. Matriks dapat terdegradasi atau rusak oleh paparan bahan kimia tertentu, yang dapat mengurangi kekuatan dan kinerja bahan komposit.

3. Proses Manufaktur yang Lebih Kompleks

Proses manufaktur bahan komposit laminat lebih kompleks dibandingkan dengan bahan logam konvensional. Proses seperti laminasi, pengaturan serat penguat, dan katalisis matriks memerlukan keahlian dan peralatan yang khusus. Ini dapat meningkatkan biaya produksi dan membutuhkan

waktu yang lebih lama untuk memproduksi komponen yang sama dibandingkan dengan logam.

4. Pengaruh Suhu Tinggi

Beberapa jenis matriks polimer pada bahan komposit laminat memiliki stabilitas suhu yang lebih rendah daripada logam. Matriks polimer dapat meleleh atau mengalami degradasi ketika terpapar suhu tinggi, yang dapat membatasi penggunaan bahan komposit dalam aplikasi dengan lingkungan suhu yang ekstrem.

5. Biaya yang Lebih Tinggi

Umumnya, bahan komposit laminat memiliki biaya produksi yang lebih tinggi daripada bahan logam. Bahan komposit membutuhkan proses produksi yang lebih kompleks, serta serat penguat yang mahal seperti serat karbon. Ini dapat membuat biaya bahan komposit laminat menjadi lebih tinggi dan membatasi penggunaannya dalam beberapa aplikasi.

Ada beberapa metode yang umum digunakan dalam pembuatan bahan komposit laminat. Berikut adalah beberapa metode utama yang sering digunakan:

a. Metode Laminasi Manual

Metode ini melibatkan penempatan serat penguat secara manual dalam matriks yang masih dalam bentuk cair atau setengah padat. Serat-serat tersebut ditempatkan dalam pola yang diinginkan, dan matriks diterapkan di atasnya. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan sikat atau roller untuk memastikan adhesi yang baik antara serat dan matriks. Setelah itu, lapisan-lapisan ini ditekan dan dibiarkan mengeras untuk membentuk bahan komposit laminat.

b. Metode Laminasi *Autoklaf*

Metode ini melibatkan penggunaan tekanan dan suhu yang dikontrol dalam sebuah *autoklaf*, yang merupakan sebuah tungku bertekanan. Serat-serat penguat dan matriks ditempatkan dalam cetakan atau alat yang sesuai, dan kemudian ditempatkan di dalam autoklaf. Proses ini melibatkan tekanan yang diterapkan secara konsisten pada bahan komposit, dan suhu dinaikkan untuk mengkatalisis matriks dan membentuk ikatan yang kuat antara serat dan matriks. Metode laminasi *autoklaf* umumnya menghasilkan bahan komposit dengan kualitas yang tinggi dan performa yang unggul.

c. Metode Laminasi *Vacuumbag*

Metode ini melibatkan penempatan serat penguat dan matriks dalam cetakan yang sesuai, dan kemudian cetakan tersebut ditempatkan dalam kantong vakum atau vakum. Kantong vakum menghilangkan udara di sekitar bahan komposit, menciptakan tekanan negatif yang merata dan mengompres bahan. Proses ini membantu dalam penghilangan udara dan penekanan yang baik pada serat dan matriks. Setelah itu, bahan dibiarkan mengering dan mengeras untuk membentuk bahan komposit laminat.

d. Metode Injeksi

Metode ini melibatkan penyuntikan matriks cair ke dalam cetakan yang sudah berisi serat penguat. Serat-serat ini ditempatkan dalam cetakan dan matriks cair disuntikkan ke dalam cetakan dengan tekanan yang diterapkan. Matriks cair akan mengisi celah di antara serat penguat dan kemudian mengeras menjadi bentuk laminat solid. Metode injeksi ini sering digunakan untuk pembuatan komponen yang kompleks atau dengan bentuk yang rumit.

e. Metode *Filament Winding*

Metode ini digunakan untuk pembuatan bahan komposit dengan geometri silinder atau tabung, seperti tangki atau tabung pipa. Serat penguat dililitkan secara bertahap ke sekitar cetakan silinder yang berputar sambil matriks diterapkan. Proses ini memungkinkan pembuatan bahan komposit dengan kekuatan yang optimal dalam arah aksial.

2.2 Kain Jute

Kain jute, juga dikenal sebagai kain burlap, adalah jenis kain kasar yang terbuat dari serat jute. Jute adalah serat alami yang diekstraksi dari batang tanaman jute. Kain jute memiliki serat yang kuat dan tahan lama, sehingga sering digunakan dalam berbagai aplikasi (Yuhazri, Zulfikar, and Ginting 2020). Kain jute sering digunakan dalam industri kemasan, terutama untuk mengemas produk pertanian seperti beras, gula, dan biji-bijian lainnya. Kain jute juga digunakan dalam pembuatan karung, kantong belanja, dan tas serbaguna.

Keandalan dan daya tahan kain jute menjadikannya pilihan populer untuk penggunaan di luar ruangan, seperti pembungkus tanah, pembungkus pohon, dan pelindung tanaman (Muzakir, Zulfikar, and Siahaan 2022). Selain itu, kain jute juga digunakan dalam kerajinan tangan dan dekorasi. Kain jute sering digunakan sebagai alas meja, pelapis kursi, dan bahan dalam proyek DIY seperti pembuatan tas tangan, hiasan dinding, atau dekorasi pernikahan rustik. Bentuk kain burlap diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Kain Burlap

Asal usul kain jute dapat ditelusuri ke daerah yang sekarang dikenal sebagai Bangladesh dan India (Ismojo, Hafizh, and Suastiyanti 2020). Kedua negara ini memiliki sejarah panjang dalam produksi dan penggunaan jute sebagai serat alami untuk membuat kain.

Tanaman jute (*Corchorus sp.*) tumbuh liar di wilayah Bengal dan sekitarnya sejak ribuan tahun yang lalu. Penduduk asli daerah tersebut mulai mengenal dan memanfaatkan serat jute untuk membuat kain dan barang lainnya. Praktik ini diyakini telah ada sejak zaman kuno, bahkan sebelum catatan tertulis tentang penggunaan jute ada (Ouarhim et al. 2020). Bentuk tanaman jute diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Tanaman Jute

Bukti-bukti awal penggunaan jute ditemukan dalam catatan-catatan kuno dan artefak arkeologi. Naskah-naskah India kuno, seperti Rigveda (kitab suci Hindu tertua), menyebutkan penggunaan serat jute dalam pembuatan kain. Selain itu, penemuan artefak berupa sisa-sisa kain jute dari situs-situs arkeologi di wilayah Bengal dan Gujarat di India menunjukkan bahwa penggunaan jute sebagai bahan kain sudah ada sejak ribuan tahun yang lalu (Khalid et al. 2021).

Pada perkembangannya, penggunaan kain jute mulai menyebar ke berbagai wilayah di dunia. Eksplorasi dan perdagangan kolonial oleh bangsa Eropa membawa jute ke Eropa dan Amerika Utara pada abad ke-17 dan ke-18. Jute menjadi bahan yang sangat dicari karena kekuatannya yang luar biasa, ketahanan terhadap cuaca, dan keberlimpahan di wilayah India dan Bengal.

Pada abad ke-19, dengan perkembangan mesin-mesin industri dan Revolusi Industri, produksi kain jute secara massal dimulai di Inggris dan Skotlandia. Perusahaan-perusahaan di sana memanfaatkan teknologi mesin untuk mengolah serat jute menjadi kain dengan cepat dan efisien. Seiring dengan itu, industri jute berkembang pesat di wilayah Bengal dan Bengal Barat, yang saat itu merupakan bagian dari India Britania. Daerah ini menjadi pusat utama produksi jute dunia dan memainkan peran penting dalam industri jute global.

Sejak itu, meskipun mengalami fluktuasi dan tantangan ekonomi, kain jute tetap menjadi bahan yang penting dalam industri kemasan, pertanian, dan kerajinan di berbagai belahan dunia. Perhatian terhadap keberlanjutan dan kepedulian terhadap lingkungan telah memperkuat minat terhadap kain jute sebagai alternatif yang ramah lingkungan, dan penggunaannya terus berkembang dalam bidang-bidang seperti kemasan, produk rumah tangga, dan mode berkelanjutan. Studi

tentang penggunaan kain jute sebagai bahan teknik telah dilakukan untuk mengeksplorasi potensi aplikasinya dalam berbagai bidang teknik. Beberapa area penelitian yang telah dilakukan meliputi:

1. Komposit Kain Jute

Kain jute telah diteliti sebagai penguat dalam komposit polimer. Serat jute dapat dicampur dengan bahan polimer seperti resin epoksi atau polimer biodegradable untuk membentuk komposit yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik. Komposit kain jute ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi teknik, termasuk otomotif, konstruksi, dan industri manufaktur.

2. Stabilitas dan Ketahanan

Studi telah dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas dimensi dan ketahanan kain jute terhadap perubahan lingkungan seperti kelembaban, suhu, dan paparan sinar ultraviolet (UV). Penelitian ini membantu memahami bagaimana kain jute berperilaku dalam berbagai kondisi lingkungan dan dapat membantu dalam desain struktur atau aplikasi di mana faktor-faktor ini menjadi pertimbangan penting.

3. Aplikasi Geoteknik

Kain jute juga telah diteliti untuk digunakan dalam aplikasi geoteknik seperti stabilisasi tanah, pengendalian erosi, dan pemulihan tanah terdegradasi. Kain jute dapat digunakan sebagai bahan pelindung permukaan tanah, membran pemisah, atau dalam sistem perkuatan tanah. Studi ini bertujuan untuk memahami kinerja kain jute dalam menghadapi beban mekanis, kemampuannya untuk mengontrol erosi, dan pengaruhnya terhadap lingkungan.

4. Isolasi Termal dan Akustik

Kemampuan kain jute untuk menyerap suara dan menyediakan isolasi termal telah diteliti. Kain jute dapat digunakan sebagai bahan dalam panel dinding, langit-langit, atau bahan peredam suara untuk meredam kebisingan dan meningkatkan kenyamanan akustik dalam bangunan. Selain itu, kain jute juga dapat berperan sebagai isolator termal yang membantu mengurangi transfer panas melalui permukaan, mempengaruhi efisiensi energi bangunan.

5. Aplikasi Maritim

Kain jute telah diteliti untuk aplikasi maritim seperti penanggulangan kebocoran air, pembuatan jaring penangkap ikan, atau penggunaan dalam pembuatan kapal tradisional. Keunggulan kain jute dalam kekuatan dan daya tahan terhadap lingkungan maritim tertentu telah menjadikannya pilihan dalam beberapa aplikasi ini.

6. Kekuatan Tarik

Bahan komposit kain jute memiliki kekuatan tarik yang cukup baik. Serat jute memiliki kekuatan tarik yang tinggi, dan ketika digabungkan dengan matriks, seperti polimer, komposit tersebut dapat menunjukkan kekuatan tarik yang signifikan. Kekuatan tarik bahan komposit kain jute dapat bervariasi tergantung pada perbandingan antara serat jute dan matriksnya.

7. Kekakuan (Modulus Elastisitas)

Komposit kain jute juga memiliki kekakuan yang baik, yang dinyatakan dalam bentuk modulus elastisitas. Serat jute yang kaku memberikan kontribusi terhadap kekakuan keseluruhan bahan komposit. Modulus

elastisitas komposit kain jute dapat ditingkatkan dengan mengatur orientasi serat atau menggunakan teknik perlakuan permukaan yang tepat.

8. Ketahanan terhadap Aus

Serat jute memiliki sifat ketahanan aus yang baik. Dalam komposit kain jute, serat jute berfungsi sebagai penguat dan memberikan resistansi terhadap aus dan abrasi. Hal ini membuat komposit kain jute cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap keausan seperti karpet, taplak meja, dan perabotan.

9. Penyerapan Air

Salah satu karakteristik komposit kain jute adalah kemampuannya untuk menyerap air. Serat jute memiliki daya serap yang tinggi, dan hal ini dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik komposit. Karena kemampuan penyerapannya, komposit kain jute mungkin lebih rentan terhadap perubahan dimensi dan stabilitas struktural ketika terkena kelembaban.

10. Densitas

Bahan komposit kain jute umumnya memiliki densitas yang relatif rendah. Serat jute memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan banyak bahan pengisi atau serat penguat lainnya. Oleh karena itu, bahan komposit kain jute dapat memberikan keuntungan dalam hal bobot yang ringan dan aplikasi yang membutuhkan material dengan densitas rendah.

Nilai kekuatan lentur bahan komposit kain jute dapat bervariasi tergantung pada banyak faktor seperti perbandingan antara serat jute dan matriks, orientasi serat, perlakuan permukaan serat, metode produksi, dan karakteristik matriks yang digunakan. Beberapa studi dan penelitian yang

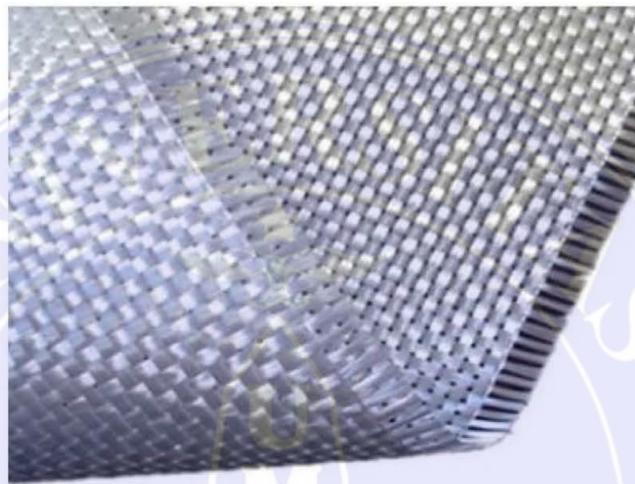
telah dilakukan dan dilaporkan pada jurnal-jurnal ilmiah mencatat bahwa kekuatan lentur komposit kain jute biasanya berkisar antara 50 hingga 200 MPa.

2.3 Serat *E-Glass*

Serat kaca jenis *E-glass* adalah salah satu jenis serat kaca yang paling umum digunakan dalam industri. "*E-glass*" adalah kependekan dari "*electrical glass*", karena serat ini awalnya dikembangkan untuk aplikasi elektronik (Alizadeh, Shakery, and Salahinejad 2019). Serat kaca jenis *E-glass* memiliki beberapa karakteristik khusus yang membuatnya cocok untuk berbagai keperluan. Berikut adalah beberapa karakteristik utama dari serat kaca jenis *E-glass*:

1. Kekuatan tarik: Serat kaca *E-glass* memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Hal ini membuatnya mampu menahan tekanan dan tahan terhadap beban mekanis.
2. Ketahanan terhadap korosi: Serat kaca *E-glass* memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, termasuk korosi kimia dan korosi lingkungan,
3. Stabilitas termal: Serat kaca *E-glass* memiliki stabilitas termal yang baik, yang berarti serat ini dapat bertahan dalam rentang suhu yang luas tanpa mengalami perubahan struktural atau degradasi kualitas.
4. Insulasi listrik: Serat kaca *E-glass* memiliki sifat isolasi listrik yang baik, sehingga sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan perlindungan terhadap arus listrik atau isolasi termal.

5. **Transparansi:** Serat kaca *E-glass* memiliki tingkat transparansi yang tinggi, sehingga serat ini dapat digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pencahayaan atau transmisi cahaya.
6. **Biaya yang terjangkau:** Serat kaca *E-glass* relatif lebih terjangkau dibandingkan dengan serat kaca jenis lainnya, sehingga banyak digunakan dalam berbagai industri (Muzakir, Zulfikar, and Siahaan 2022). Bentuk lembar serat kaca *E-glass* diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Lembar Serat Kaca E-glass

Serat kaca jenis *E-glass* pertama kali dikembangkan oleh Owens-Illinois Glass Company pada tahun 1930-an. Pengembangan serat kaca ini dimulai ketika perusahaan tersebut mencoba mencari alternatif yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap panas daripada serat kaca biasa yang digunakan pada saat itu. Pada awalnya, serat kaca *E-glass* dirancang untuk digunakan dalam aplikasi elektronik, seperti isolasi kabel listrik. Namun, dengan perkembangan teknologi dan penemuan sifat-sifatnya yang menguntungkan, penggunaan serat kaca *E-glass* meluas ke berbagai industri lainnya (Shakery and Alizadeh 2021).

Nama "*E-glass*" sendiri berasal dari kata "electrical glass" (kaca elektrik), yang mengacu pada sifat isolasi listrik yang baik dari serat tersebut. Serat kaca *E-*

glass memiliki komposisi utama yang terdiri dari silika (sekitar 52-56% berat), oksida alumina (12-16% berat), oksida boron (5-8% berat), dan beberapa oksida lainnya seperti oksida kalsium, magnesium, dan soda. Sejak pengembangannya, serat kaca *E-glass* telah menjadi salah satu jenis serat kaca yang paling umum dan paling banyak digunakan di berbagai industri, termasuk konstruksi, otomotif, penerbangan, perkapalan, energi, dan banyak lagi.

Keunggulan sifat mekanis, termal, dan keandalan serat kaca *E-glass* membuatnya menjadi pilihan yang populer dalam berbagai aplikasi teknologi dan industri modern (Tambusay, Zulfikar, and Iswandi 2022). Proses pembuatan lembaran serat kaca *E-glass* melibatkan beberapa tahap produksi yang kompleks. Proses dimulai dengan persiapan bahan baku utama, yaitu bahan dasar serat kaca. Bahan baku utama adalah campuran bahan kimia seperti silika, oksida alumina, oksida boron, dan oksida lainnya. Campuran bahan kimia ini dipanaskan hingga suhu tinggi dan dilebur menjadi cairan kaca.

Cairan kaca yang telah dilelehkan kemudian dilewatkan melalui alat yang disebut spinneret atau nozzle. Spinneret memiliki banyak lubang kecil yang berdiameter sangat kecil. Ketika cairan kaca mengalir melalui lubang-lubang ini, serat kaca halus terbentuk. Setelah serat kaca terbentuk, mereka melewati ruang udara atau cairan pendingin yang membantu mendinginkan serat dan mengeraskannya. Ini memungkinkan serat kaca untuk mempertahankan bentuk dan kekuatan mereka. Serat kaca yang telah mengeras kemudian ditarik melalui roda penarik yang berputar dengan kecepatan yang diatur.

Proses penarikan ini membentuk serat kaca menjadi benang panjang yang terdiri dari ribuan serat halus. Benang serat kaca yang panjang kemudian

dikelompokkan dan disusun secara paralel dalam bentuk lembaran atau mat. Proses ini melibatkan pengaturan dan penyusunan serat kaca yang saling terkait secara rapi. Setelah serat kaca disusun dalam bentuk lembaran, lembaran tersebut diikat bersama menggunakan perekat atau bahan pengikat lainnya. Kemudian, lembaran serat kaca ini dikeringkan untuk menghilangkan kelembaban dan memperkuat ikatan serat.

Lembaran serat kaca yang sudah kering kemudian dipotong menjadi ukuran yang diinginkan, seperti lembaran kecil atau gulungan. Kemudian, lembaran serat kaca ini siap untuk dikemas dan dikirim ke pelanggan atau digunakan dalam proses produksi lebih lanjut. Proses pembuatan lembaran serat kaca *E-glass* ini dapat mengalami variasi dan penyesuaian tergantung pada spesifikasi produk akhir yang diinginkan. Proses tersebut melibatkan kombinasi teknologi peleburan, pemintalan, penarikan, pengikatan, dan pengeringan untuk menghasilkan lembaran.

Serat kaca *E-glass* memiliki beberapa keunggulan yang membuatnya menjadi pilihan yang populer dalam berbagai aplikasi. Serat kaca *E-glass* memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan ketahanan yang baik terhadap tekanan dan beban mekanis. Ini membuatnya cocok untuk digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan struktural, seperti konstruksi bangunan, kendaraan, dan industri manufaktur. Serat kaca *E-glass* memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi kimia dan korosi lingkungan. Ini menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi yang berhubungan dengan bahan kimia, lingkungan yang agresif, atau paparan air, seperti tangki penyimpanan, pipa, dan peralatan industri.

Serat kaca *E-glass* memiliki stabilitas termal yang baik. Mereka dapat bertahan dalam rentang suhu yang luas tanpa mengalami deformasi atau kerusakan

struktural. Ini membuat serat kaca *E-glass* cocok untuk digunakan dalam aplikasi yang melibatkan perubahan suhu ekstrem, seperti suhu tinggi atau suhu rendah. Serat kaca *E-glass* memiliki sifat isolasi listrik yang sangat baik. Mereka tidak memiliki konduktivitas listrik yang signifikan, sehingga sering digunakan dalam produk dan aplikasi yang membutuhkan perlindungan terhadap arus listrik atau isolasi termal. Serat kaca *E-glass* memiliki tingkat transparansi yang tinggi. Mereka dapat mentransmisikan cahaya dengan baik, yang menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi optik, seperti panel surya, optik serat, dan produk elektronik. Serat kaca *E-glass* relatif lebih terjangkau dibandingkan dengan beberapa jenis serat kaca yang lebih canggih. Ini menjadikannya pilihan yang ekonomis untuk berbagai aplikasi industri.

Serat kaca *E-glass* dapat dengan mudah diolah dan diproses menggunakan teknik manufaktur yang umum, seperti pemintalan, penenunan, laminasi, atau pembentukan. Kemudahan dalam pengolahan ini memungkinkan serat kaca *E-glass* digunakan dalam berbagai bentuk dan produk yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Kekuatan lentur serat kaca *E-glass* dapat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, termasuk komposisi material, pengolahan, dan perlakuan permukaan serat kaca. Namun, secara umum, serat kaca *E-glass* memiliki kekuatan lentur yang baik.

Kekuatan lentur serat kaca *E-glass* dapat mencapai sekitar 345-690 MPa. Kekuatan ini menjadikannya lebih kuat daripada beberapa jenis logam, seperti baja. Selain kekuatan lentur, serat kaca *E-glass* juga memiliki kekuatan tarik yang tinggi, yang berperan penting dalam menentukan kekuatan keseluruhan material serat kaca. Kombinasi kekuatan lentur dan tarik yang baik membuat serat kaca *E-glass*

cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan kekuatan struktural, seperti panel dinding, tangki penyimpanan, peralatan otomotif, dan peralatan industri.

2.4 Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur bahan mengacu pada kemampuan suatu bahan untuk menahan tekanan atau beban yang diterapkan kepadanya tanpa mengalami patah atau deformasi permanen (Ali et al. 2019). Kekuatan lentur merupakan salah satu sifat mekanik penting dalam analisis struktural dan desain material. Kekuatan lentur dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jenis bahan, struktur mikro, dan kondisi pengujian. Beberapa parameter yang umum digunakan untuk mengukur kekuatan lentur adalah tegangan lentur maksimum (*maximum bending stress*) dan momen lentur maksimum (*maximum bending moment*).

Beberapa jenis bahan memiliki kekuatan lentur yang berbeda. Misalnya, logam umumnya memiliki kekuatan lentur yang tinggi, sementara kayu memiliki kekuatan lentur yang relatif rendah. Namun, kekuatan lentur suatu bahan juga dapat ditingkatkan melalui proses perlakuan panas, penguatan, atau penggunaan bahan pengisi (Jawad et al. 2019). Selain itu, kekuatan lentur suatu bahan juga dapat dipengaruhi oleh bentuk dan dimensi benda uji. Struktur yang memiliki bentuk dan dimensi yang baik dapat meningkatkan kekuatan lentur bahan.

Pengujian kekuatan lentur umumnya dilakukan dengan metode uji lentur tiga poin atau uji lentur empat poin. Dalam uji lentur tiga poin, beban diterapkan pada suatu benda uji dengan menggunakan dua titik dukungan pada satu ujung dan beban diterapkan pada titik tengah (C. Wang and Sun 2022). Sedangkan dalam uji

lentur empat poin, dua titik dukungan ditempatkan pada kedua ujung benda uji, sementara beban diterapkan pada dua titik di antara titik dukungan. Kekuatan lentur bahan penting dalam desain struktur seperti bangunan, jembatan, kendaraan, dan berbagai komponen mesin. Dalam desain struktur, perhitungan kekuatan lentur bahan digunakan untuk memastikan bahwa struktur mampu menahan beban yang diberikan tanpa terjadi kegagalan yang berbahaya.

Rumus kekuatan lentur untuk beam sederhana dapat dinyatakan dengan menggunakan prinsip dasar mekanika struktur, yaitu hukum Hooke dan momen inersia. Rumus ini dikenal sebagai rumus Euler-Bernoulli atau rumus beam Euler-Bernoulli seperti diperlihatkan pada persamaan 2.1 (Joshi, Kittleson, and Harris 2022).

$$\sigma = \frac{My}{I} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana σ adalah tegangan lentur di dalam beam (dalam satuan tekanan, seperti Pa atau psi), M adalah momen lentur yang bekerja pada beam (dalam satuan gaya dikalikan dengan panjang, seperti Nm atau lb-ft), y adalah jarak dari sumbu netral beam ke titik di mana tegangan lentur diukur (dalam satuan panjang, seperti meter atau inci), dan I adalah momen inersia penampang beam (dalam satuan panjang pangkat empat, seperti meter pangkat empat atau inci pangkat empat). Rumus ini hanya berlaku untuk beam yang memiliki penampang seragam dan mengalami deformasi elastis. Jika deformasi beam menjadi plastis atau jika penampang beam tidak seragam, rumus ini tidak berlaku.

Regangan lentur (*bending strain*) mengacu pada perubahan panjang atau deformasi yang terjadi pada suatu bahan saat mengalami lenturan atau beban lentur. Regangan lentur terjadi karena tegangan lentur yang bekerja pada bahan melebihi

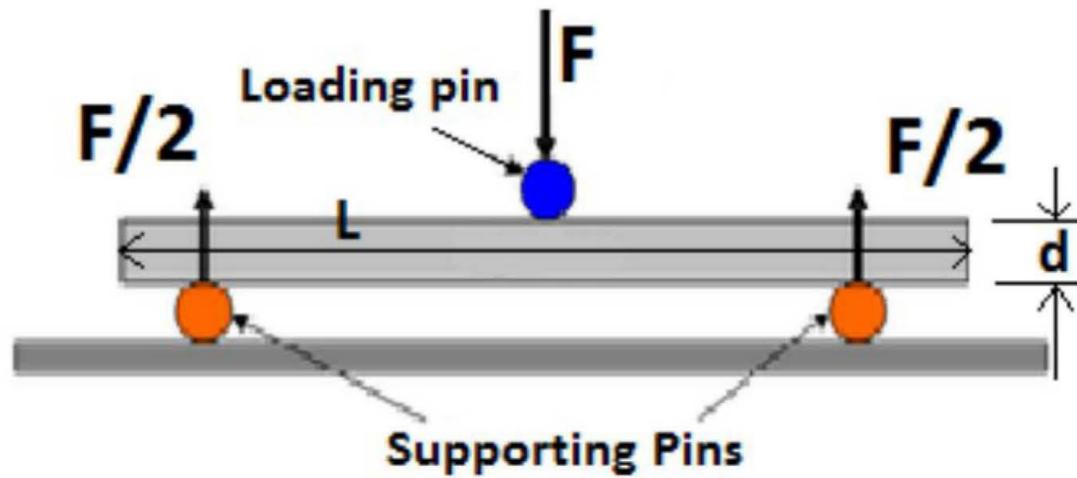
batas elastisnya (Qiu, Liang, and Hao 2022). Regangan lentur diukur sebagai perbandingan antara perubahan panjang (ΔL) dalam bahan dengan panjang aslinya (L_0), atau sebagai perbandingan antara perubahan sudut ($\Delta\theta$) dalam bahan dengan panjang lengkung (R) dari lenturan tersebut. Dua rumus umum yang digunakan untuk menghitung regangan lentur adalah: (1) Regangan lentur dalam bentuk linier seperti diperlihatkan pada persamaan 2.2., dan (2) Regangan lentur dalam bentuk sudut seperti diperlihatkan pada persamaan 2.3.

$$\varepsilon = \frac{My}{EI} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\varepsilon = \Delta\theta \cdot R \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana E adalah modulus elastisitas bahan (dalam satuan tekanan, seperti Pa atau psi), $\Delta\theta$ adalah perubahan sudut pada bahan (dalam satuan radian), dan R adalah jari-jari lengkungan dari lenturan (dalam satuan panjang, seperti meter atau inci).

Uji lentur tiga titik adalah metode pengujian yang umum digunakan untuk menentukan kekuatan lentur dan sifat mekanik lainnya dari bahan atau struktur (S. Wang et al. 2022). Dalam uji ini, beban diterapkan pada suatu benda uji dengan menggunakan dua titik dukungan pada satu ujung dan beban diterapkan pada titik tengah. Skematik pengujian lentur 3 titik diperlihatkan pada gambar 2.5. Untuk menghitung tegangan lentur dalam uji lentur tiga titik dipergunakan persamaan 2.5.



Gambar 2.5. Skematik Uji Lentur 3 Titik

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana σ adalah tegangan lentur di dalam bahan (dalam satuan tekanan, seperti Pa atau psi), F adalah gaya yang diterapkan pada titik tengah (dalam satuan gaya, seperti Newton atau pound), L adalah jarak antara dua titik dukungan (dalam satuan panjang, seperti meter atau inci),

Rumus menghitung regangan lentur dalam uji lentur tiga titik adalah menggunakan persamaan 2.5. Berdasarkan persamaan 2.5 tersebut, ϵ adalah regangan lentur (tanpa satuan), F adalah gaya yang diterapkan pada titik tengah (dalam satuan gaya, seperti Newton atau pound), L adalah jarak antara dua titik dukungan (dalam satuan panjang, seperti meter atau inci), E adalah modulus elastisitas bahan (dalam satuan tekanan, seperti Pa atau psi), b adalah lebar penampang benda uji (dalam satuan panjang, seperti meter atau inci), dan h adalah ketebalan penampang benda uji (dalam satuan panjang, seperti meter atau inci).

$$\epsilon = \frac{6FL}{Ebh^2} \dots \dots \dots (2.5)$$

2.5 Ketangguhan Bahan

Ketangguhan bahan adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan tekanan, tarikan, atau benturan tanpa mengalami deformasi atau kerusakan permanen. Ketangguhan bahan sering kali diukur dengan resistensi terhadap retakan atau kegagalan struktural. Beberapa faktor yang mempengaruhi ketangguhan bahan meliputi kekuatan bahan, kekerasan, elastisitas, ductility, dan ketahanan terhadap korosi. Bahan yang memiliki kekuatan tinggi dan kekerasan yang baik cenderung memiliki ketangguhan yang lebih baik (Ren and Li 2022).

Ada beberapa cara untuk meningkatkan ketangguhan bahan, antara lain: (1) dengan meningkatkan kekuatan bahan, ketangguhannya juga dapat ditingkatkan. Hal ini dapat dicapai dengan memodifikasi komposisi bahan, perlakuan panas, atau penggunaan penguat seperti serat atau partikel, (2) bahan dapat diolah sedemikian rupa untuk meningkatkan ketangguhan terhadap retakan. Contohnya adalah pemberian perlakuan panas khusus seperti pengerasan atau pengendapan pada baja. Selanjutnya, (3) identifikasi dan pengurangan titik kelemahan dalam struktur bahan dapat meningkatkan ketangguhan secara keseluruhan, dan (4) penggunaan pelapis atau lapisan pelindung dapat digunakan untuk melindungi bahan dari kerusakan atau deformasi.

Ketangguhan bahan umumnya diukur dalam satuan energi per satuan volume atau energi per satuan luas (Cheng et al. 2022). Beberapa satuan yang umum digunakan untuk mengukur ketangguhan bahan adalah sebagai berikut:

1. J/m^2 (Joule per meter persegi): Satuan ini mengukur energi yang diperlukan untuk menyebabkan kegagalan pada bahan per satuan luas. Ketangguhan

bahan diukur dengan jumlah energi yang diperlukan untuk merusak atau memecahkan bahan dalam kondisi tertentu.

2. kJ/m^2 (kilojoule per meter persegi): Satuan ini adalah pengganda dari J/m^2 dan digunakan ketika jumlah energi yang diperlukan untuk kegagalan bahan dalam skala yang lebih besar.
3. $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$ (MegaPascal meter pangkat 0,5): Satuan ini digunakan untuk mengukur ketangguhan bahan dalam hubungannya dengan tegangan yang bekerja pada bahan. Hal ini biasanya digunakan untuk mengukur ketangguhan pada bahan yang mengalami deformasi plastis.
4. J/cm^2 (Joule per sentimeter persegi): Satuan ini sering digunakan dalam industri plastik dan elastomer untuk mengukur ketangguhan bahan dengan energi yang dibutuhkan per satuan luas untuk menyebabkan kegagalan.
5. $\text{ft}\cdot\text{lbf/in}^2$ (foot-pound per inci persegi): Satuan ini adalah satuan tradisional yang digunakan untuk mengukur ketangguhan dalam sistem imperial. Energi yang diperlukan untuk kegagalan diukur dalam foot-pound ($\text{lb}\cdot\text{ft}$) dan dinyatakan per inci persegi (in^2).

Beberapa rumus yang digunakan untuk menghitung ketangguhan bahan, tergantung pada jenis uji ketangguhan yang dilakukan. Berikut ini adalah beberapa rumus umum yang sering digunakan:

- a. Ketangguhan dalam Tarikan (*Tensile Toughness*). Ketangguhan dalam tarikan mengukur energi yang diperlukan untuk merusak bahan saat diberikan beban tarik. Ketangguhan dalam tarikan = Luas di bawah kurva tegangan-regangan hingga.

- b. Ketangguhan Charpy (*Charpy Toughness*). Ketangguhan *Charpy* mengukur ketangguhan bahan terhadap patah/benturan dengan menggunakan uji pukulan. Ketangguhan *Charpy* = Energi absorpsi patahan / Luas penampang uji.
- c. Ketangguhan Izod (*Izod Toughness*). Ketangguhan Izod juga mengukur ketangguhan bahan terhadap patah/benturan dengan menggunakan uji pukulan. Ketangguhan Izod = Energi absorpsi patahan / Tebal benda uji.
- d. Ketangguhan Kekakuan (*Fracture Toughness*). Ketangguhan kekakuan mengukur kemampuan suatu bahan untuk menahan pertumbuhan retakan. Ketangguhan lentur bahan mengukur kemampuan suatu bahan untuk menahan beban lentur tanpa mengalami kegagalan atau patah. Ketangguhan lentur sering kali diukur dengan menggunakan uji tarik lentur atau uji patah tiga titik pada sampel bahan. Terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk menggambarkan ketangguhan lentur bahan, di antaranya:
1. Modulus keuletan (*Modulus of Resilience*). Modulus keuletan mengukur energi yang diperlukan untuk melenturkan bahan hingga batas elastis dan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan.
 2. Ketangguhan lentur (*Flexural Toughness*). Ketangguhan lentur mengukur energi yang diperlukan untuk melenturkan bahan hingga patah atau kegagalan dalam uji tarik lentur. Ketangguhan lentur = Luas di bawah kurva tegangan-regangan hingga kegagalan (AUC) di diagram tegangan-regangan lentur.

3. Modulus kekerasan (*Modulus of Rupture*). Modulus kekerasan adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh bahan sebelum mengalami patah dalam uji tarik lentur

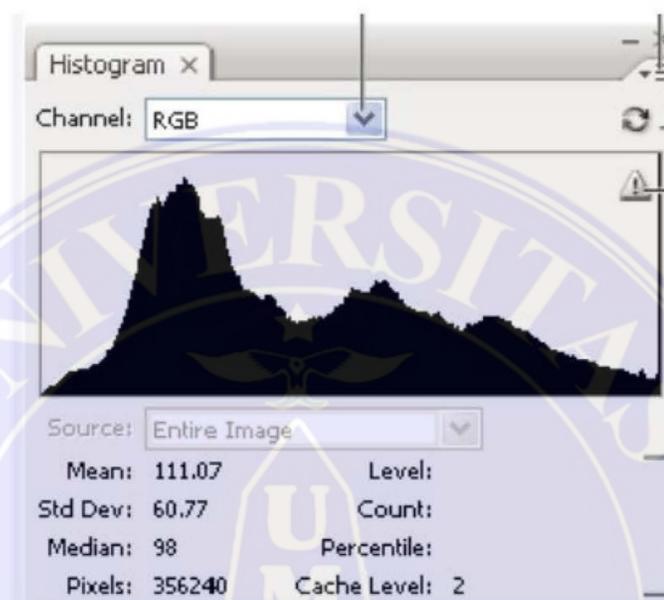
2.6 Histogram

Histogram adalah representasi visual dari distribusi frekuensi data. Ini adalah grafik batang yang menunjukkan jumlah kemunculan atau frekuensi relatif setiap nilai dalam kumpulan data (Hasan, Jahan, and Islam 2022). Histogram biasanya digunakan untuk menganalisis pola atau karakteristik data, termasuk bentuk distribusinya, pusat data, dan variasinya. Dalam histogram, sumbu horizontal mewakili nilai-nilai data, sedangkan sumbu vertikal mewakili frekuensi atau frekuensi relatif. Setiap batang pada histogram mewakili interval nilai tertentu atau "bin" dan tinggi batang menggambarkan jumlah data yang jatuh dalam interval tersebut. Interval-interval ini biasanya disusun secara sejajar dan berdekatan, sehingga membentuk serangkaian batang yang mencerminkan distribusi data.

Histogram dapat memberikan pemahaman visual tentang bagaimana data tersebar, apakah simetris atau tidak simetris, memiliki puncak tunggal atau beberapa puncak, dan apakah ada anomali atau pencilan dalam data (Cong et al. 2022). Ini juga membantu mengidentifikasi rentang nilai yang paling umum atau sering muncul dalam data. Histogram sering digunakan dalam berbagai bidang seperti statistik, ilmu sosial, ilmu alam, ekonomi, dan pengolahan gambar.

Ini adalah alat yang berguna untuk menganalisis dan memahami pola data, serta memberikan wawasan yang berguna dalam pengambilan keputusan dan pemodelan statistik. Penentuan resolusi warna dengan metode histogram

melibatkan analisis distribusi warna dalam sebuah gambar atau data citra. Dalam hal ini, histogram yang dibuat berdasarkan tingkat kecerahan atau nilai warna dari piksel-piksel dalam gambar. Metode ini dapat memberikan informasi tentang jumlah dan sebaran warna yang berbeda dalam gambar. Contoh penggunaan metode histogram untuk menentukan besaran piksel objek diperlihatkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Bentuk Visual Metode Histogram

Langkah-langkah umum dalam penentuan resolusi warna dengan metode histogram adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan gambar. Pertama, gambar yang akan dianalisis harus diambil atau dimuat ke dalam perangkat lunak atau alat yang sesuai.
2. Pembuatan histogram. Histogram dibuat dengan menghitung frekuensi kemunculan setiap tingkat kecerahan atau nilai warna dalam gambar. Ini melibatkan penghitungan jumlah piksel dengan tingkat kecerahan tertentu.
3. Analisis histogram. Histogram yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang sebaran warna dalam gambar. Dapat dilihat apakah gambar memiliki variasi warna yang luas atau terbatas, apakah ada

puncak atau puncak ganda yang menunjukkan warna dominan, atau apakah ada ketimpangan warna yang signifikan.

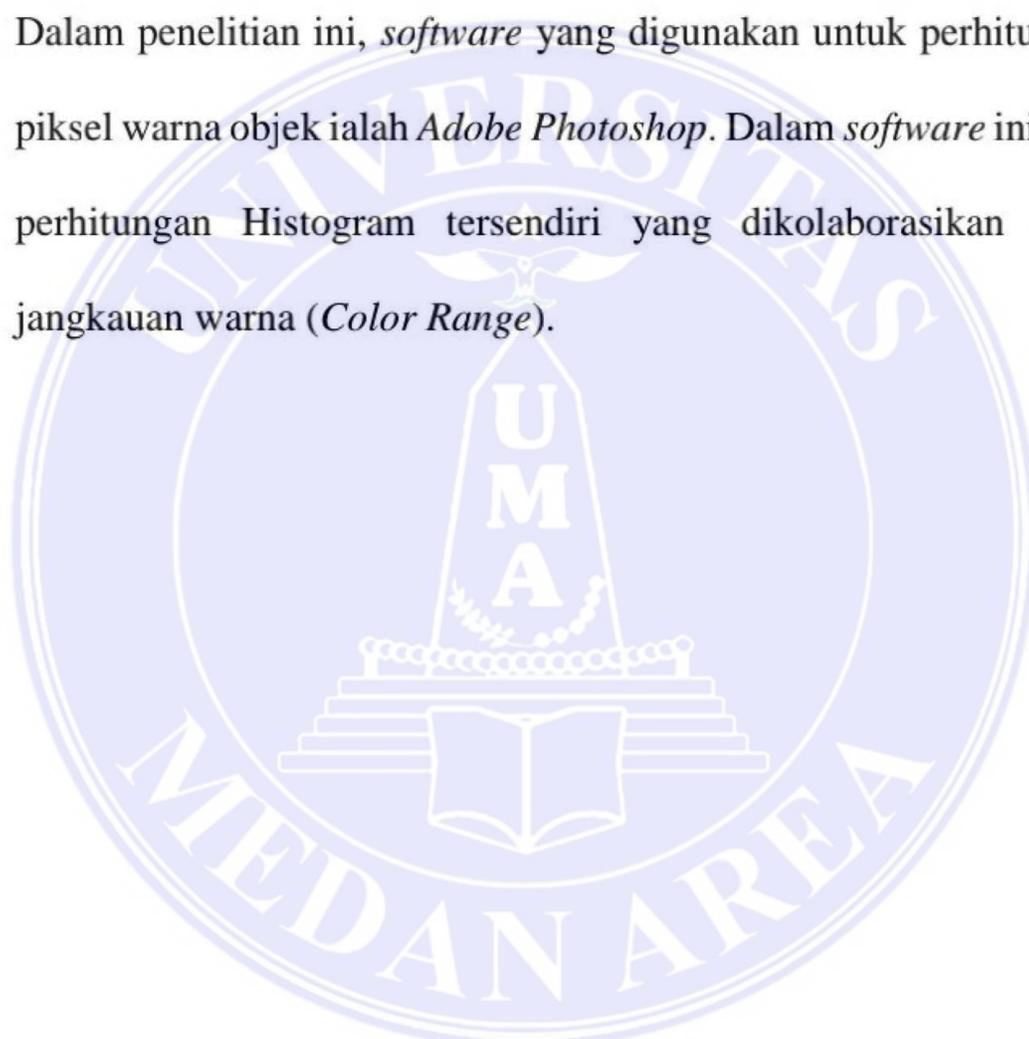
4. Penentuan resolusi warna. Berdasarkan analisis histogram, dapat ditentukan resolusi warna yang sesuai untuk gambar tersebut. Ini dapat melibatkan memilih jumlah bit yang digunakan untuk merepresentasikan warna (misalnya, 8-bit, 16-bit, atau 24-bit) atau menentukan palet warna yang terbatas untuk digunakan dalam gambar.

Ada beberapa perangkat lunak yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan besaran piksel gambar dengan metode histogram. Berikut adalah beberapa contoh perangkat lunak yang umum digunakan:

- a. MATLAB. MATLAB adalah salah satu perangkat lunak yang populer digunakan untuk analisis citra dan pengolahan gambar. Dalam MATLAB, terdapat fungsi bawaan seperti `imhist` yang dapat digunakan untuk menghitung histogram gambar dan menganalisis distribusi warna.
- b. OpenCV. OpenCV adalah perpustakaan sumber terbuka yang sering digunakan untuk pemrosesan gambar dan analisis citra. Perpustakaan ini mendukung berbagai bahasa pemrograman, termasuk Python dan C++. Dalam OpenCV, terdapat fungsi-fungsi seperti `cvtColor` yang memungkinkan perhitungan histogram gambar.
- c. Adobe Photoshop. Adobe Photoshop adalah perangkat lunak populer untuk pengolahan gambar dan desain grafis. Photoshop menyediakan fitur histogram bawaan yang memungkinkan pengguna untuk melihat dan menganalisis histogram gambar.

- d. ImageJ. ImageJ adalah perangkat lunak pemrosesan gambar sumber terbuka yang banyak digunakan dalam penelitian ilmiah. Ini menawarkan berbagai fungsi dan plugin untuk analisis citra, termasuk perhitungan histogram.
- e. GIMP. GIMP (GNU Image Manipulation Program) adalah perangkat lunak pengolahan gambar sumber terbuka yang mirip dengan Adobe Photoshop. GIMP juga menyediakan fitur histogram yang memungkinkan pengguna untuk menganalisis distribusi warna dalam gambar.

Dalam penelitian ini, *software* yang digunakan untuk perhitungan besaran piksel warna objek ialah *Adobe Photoshop*. Dalam *software* ini terdapat fitur perhitungan Histogram tersendiri yang dikolaborasikan dengan fitur jangkauan warna (*Color Range*).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area. Waktu pelaksanaan direncanakan selama 4 bulan dengan rancangan jadwal penelitian diperlihatkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Aktifitas	2024															
	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV			
	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 Bahan dan Alat

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan topik penyelidikan ketangguhan bahan spesimen komposit laminat yang diperkuat lembaran laminat jute dan serat kaca *e-glass*.

3.2.1 Alat

a. Laptop

Laptop digunakan sebagai alat bantu yang berfungsi untuk menjalankan perangkat lunak *Adobe Photoshop* dan MS. Office. Laptop adalah mesin analisis dan pengolahan data yang digunakan dalam pengujian. Alat ini membantu dalam mengolah data dan menganalisis hasil pengujian yang telah dilakukan. Dengan adanya laptop, proses pengolahan dan analisis data menjadi lebih efisien dan akurat.

Laptop menjadi solusi praktis untuk kegiatan pengujian dan pengolahan data yang kompleks. Dengan adanya fitur-fitur yang canggih, laptop memberikan kemudahan bagi pengguna dalam melakukan tugas-tugas sehari-hari. Spesifikasi laptop yang dipergunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Spesifikasi Laptop

No.	Fitur	Spesifikasi
1.	Prosesor	Prosesor Intel Core i3 atau setara
2.	Memori RAM	Minimal 4GB RAM
3.	Penyimpanan	Hard disk dengan kapasitas minimal 256GB
4.	Kartu grafis	Kartu grafis terintegrasi yang cukup untuk tugas editing foto sederhana.
5.	Layar	Resolusi layar minimal HD (1366x768 piksel)
6.	Sistem Operasi	Windows 7 atau yang lebih baru
7.	Konektivitas	USB 2.0 atau lebih, HDMI, dan Wi-Fi

a. Software Adobe Photoshop

Dalam penelitian ini, *Software Adobe Photoshop* digunakan untuk menghitung jumlah warna berdasarkan pikselnya. Fitur "Color Range" (Rentang Warna) di Adobe Photoshop adalah alat seleksi yang memungkinkan untuk memilih piksel berdasarkan rentang warna tertentu dalam gambar. Fitur ini sangat berguna dalam pengeditan gambar dan memungkinkan untuk membuat seleksi yang

presisi berdasarkan warna. Lebih lanjut, untuk mengubah visual warna menjadi data digital digunakan fitur “Histogram”. Fitur Histogram dalam *Adobe Photoshop* adalah alat yang memberikan representasi visual dari distribusi tonalitas piksel dalam sebuah gambar. Histogram menunjukkan sejauh mana piksel dalam gambar terkonsentrasi pada nilai kecerahan tertentu, mulai dari hitam (nilai kecerahan rendah) hingga putih (nilai kecerahan tinggi).

b. Software MS. Excel

Microsoft Excel adalah perangkat lunak lembar kerja (*worksheet*) yang sangat populer yang digunakan untuk mengelola, menganalisis, dan menyajikan data secara efisien. MS. Excel memungkinkan untuk mengimpor, mengatur, dan mengelola data dengan mudah. Sumber data yang diimpor bisa dari berbagai sumber, seperti file teks atau database, dan menyusunnya ke dalam tabel yang terstruktur. Selain itu, MS. Excel memiliki fitur pengurutan, filter, dan pencarian untuk mengelola dan menemukan data dengan cepat. MS. Excel memiliki fungsi matematika dan formula yang kuat.

Software ini dapat melakukan perhitungan matematika sederhana atau kompleks, seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian, perhitungan persentase, atau fungsi statistik. Excel juga mendukung penggunaan formula logika dan kondisional, yang memungkinkan untuk membuat keputusan berdasarkan kondisi tertentu. Dalam penelitian ini, software MS. Excel dipergunakan untuk menghitung kekuatan lentur bahan komposit laminat lembaran jute dan serat kaca e-glass. Selanjutnya, software ini akan membuat grafik gaya terhadap pertambahan panjang sehingga diperoleh luas permukaan grafik uji lentur.

3.3 Metode Penelitian

Perhitungan ketangguhan bahan dalam penyelidikan ini menggunakan metode histogram seperti telah dijelaskan pada Bab sebelumnya. Dengan metode ini perbandingan piksel warna dari grafik gaya-vs-pertambahan panjang hasil pengujian lentur dihitung dan dibandingkan dengan piksel pembanding yang merupakan representasi dari jumlah 1 J. Dalam pelaksanaannya, perhitungan dengan metode ini dibantu dengan menggunakan software Adobe Photoshop.

3.4 Populasi dan Sampel

Sebelum dilakukan analisis, data-data hasil pengujian akan diuji normalitas datanya tersebut dahulu. Untuk menentukan apakah data hasil dari suatu eksperimen terdistribusi normal atau tidak, ada beberapa metode yang dapat digunakan. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat diikuti:

- a. Visualisasi Data. Mulailah dengan membuat plot grafik dari data hasil uji, seperti histogram atau grafik QQ (quantile-quantile plot). Histogram akan memberikan gambaran visual tentang bagaimana data terdistribusi. Jika histogram menunjukkan bentuk kurva yang simetris dan menyerupai kurva normal, maka data kemungkinan besar terdistribusi normal. Grafik QQ membandingkan distribusi data dengan distribusi normal. Jika titik-titik pada grafik QQ hampir membentuk garis lurus, maka data cenderung terdistribusi normal.
- b. Statistik Deskriptif. Periksa statistik deskriptif dari data hasil uji, seperti rata-rata, median, dan modus. Dalam distribusi normal, rata-rata, median, dan modus akan memiliki nilai yang hampir sama atau sangat dekat. Jika

nilai-nilai ini mendekati kesamaan, maka data kemungkinan terdistribusi normal.

- c. Uji Statistik dapat digunakan untuk menguji asumsi distribusi normal. Beberapa uji yang umum digunakan adalah uji normalitas seperti uji Kolmogorov-Smirnov, uji Shapiro-Wilk, atau uji Anderson-Darling. Uji ini menguji hipotesis nol bahwa data berasal dari distribusi normal. Jika nilai p (p -value) dari uji tersebut lebih besar dari tingkat signifikansi yang telah ditentukan (misalnya 0,05), maka data dapat dianggap terdistribusi normal.

3.5 Prosedur Kerja

Dalam studi ini, nilai ketangguhan bahan dihitung berdasarkan luas daerah di bawah kurva hasil uji lentur 3 titik. Luas daerah dibawah kurva hasil uji tersebut diberikan warna tertentu sehingga dapat dihitung besaran pikselnya. Cara yang digunakan dalam studi ini ialah dengan menentukan jangkauan warna permukaan kurva tersebut. Prosedur penentuan jangkauan warna ialah:

- a. Buka gambar yang ingin diedit di Photoshop.
- b. Pilih alat seleksi yang sesuai dengan kebutuhan, seperti "Magic Wand Tool" (Tombol W) atau "Quick Selection Tool" (Tombol W) di panel alat.
- c. Setelah memilih alat seleksi, klik ikon "Select and Mask" di bilah opsi di bagian atas layar (jika menggunakan versi Photoshop CC atau yang lebih baru) atau klik kanan pada seleksi dan pilih "Select and Mask" (jika menggunakan versi Photoshop sebelumnya).

- d. Di jendela "Select and Mask" (atau "*Refine Edge*" pada versi Photoshop sebelumnya), akan terlihat beberapa opsi di sebelah kanan. Pilih "*Color Range*" di bagian atas opsi tersebut.
- e. Jendela "*Color Range*" akan muncul. Untuk memilih warna dapat menggunakan pipet warna atau mengatur nilai HSL (Hue, Saturation, dan Lightness) untuk memilih rentang warna yang diinginkan. Secara default, mode seleksi akan disetel ke "*Sampled Colors*", tetapi juga dapat mengganti mode seleksi ke "*Highlights*", "*Midtones*", atau "*Shadows*" untuk mengubah cara seleksi warna bekerja.

Setelah jangkauan warna objek diperoleh, selanjutnya ialah merubah data-data warna tersebut menjadi nilai numerik.

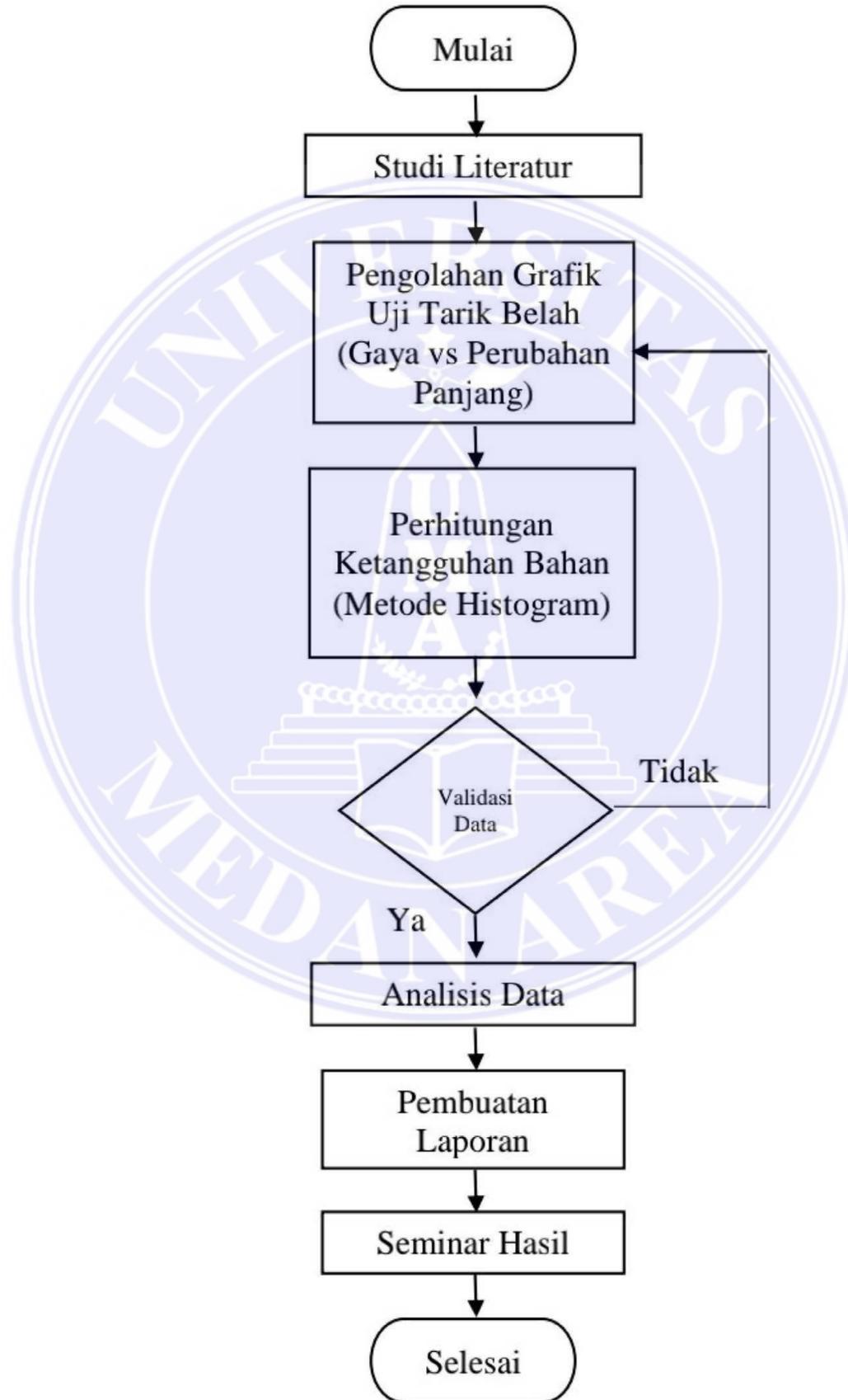
Caranya adalah sebagai berikut:

- a. Tampilan Histogram dapat dilihat dengan membuka gambar di Photoshop dan memilih "Window" > "Histogram" dari menu atas. Jendela Histogram akan muncul, menampilkan grafik histogram untuk gambar yang sedang ditampilkan.
- b. Histogram terdiri dari sumbu horizontal yang mewakili nilai kecerahan piksel (dari 0 hingga 255) dan sumbu vertikal yang menunjukkan jumlah piksel dalam gambar dengan nilai kecerahan tertentu. Puncak dan lembah pada grafik menunjukkan tingkat kepadatan piksel dalam setiap nilai kecerahan.

3.5.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini akan digambarkan dalam diagram aliran pada Gambar 3. Diagram tersebut akan memvisualisasikan

langkah-langkah yang diperlukan untuk melaksanakan penelitian dengan jelas dan terstruktur. Setiap tahapan penelitian akan dijelaskan dengan rinci, mulai dari perumusan masalah, pengumpulan data, analisis data, hingga interpretasi hasil. Dalam diagram aliran, hubungan antar tahapan akan ditunjukkan dengan panah yang menggambarkan urutan logis proses.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

- a. Luas daerah dibawah pembebanan lentur iyalah : J90.2 $p_{xA} = 169286$, J90.3 $p_{xA} = 152083$, 136034, 165643, J90.4 $p_{xA} = 164265$, 163846, 176792, J45.2 $p_{xA} = 200624$, 205565, 186635, J45.3 $p_{xA} = 151185$, 166898, 173555, J45.4 $p_{xA} = 161833$, 192795, 180148, G90.2 $p_{xA} = 148210$, 137335, 182587, G90.3 $p_{xA} = 167497$, 159348, 163688, G90.4 $p_{xA} = 147894$, 170311, 131165.
- b. Energi ketangguhan bahan rata-rata ialah: spesimen J90.2 sebesar 0,2890 J, nilai rata-rata pada spesimen J90.3 sebesar 1,1480 J, nilai rata-rata pada spesimen J90.4 sebesar 1,6207 J, nilai rata-rata pada spesimen J45.2 sebesar 1,3603 1,3603 J, nilai rata-rata spesimen pada J45.3 sebesar 1,7050 J, nilai rata-rata pada spesimen J45.4 sebesar 2,4910 J, nilai rata-rata pada spesimen G90.2 sebesar 0,5761 J, nilai rata-rata pada spesimen G90.3 sebesar 1,5947 J, nilai rata-rata pada spesimen G90.4 sebesar 1,7054 J, dan rata-rata data keseluruhan komposit laminat jute e-glass
- c. Perbandingan Kekuatan Lentur (KL) dan Energi Ketangguhan Bahan (EKB) dapat diliat pada J90.2, J90.3, J90.4 semakin meningkatnya beban komposit maka kekuatan lentur juga meningkat begitu juga dengan EKB. Sedangkan pada J45.2, J45.3, J45.4 mengalami penurunan beban yang tidak terlalu jauh begitu juga dengan EKB dan pada G90.2, G90.3, G90.4 mengalami

peningkatan yang terjadi pada beban komposit kekuatan lentur begitu juga yang terjadi pada EKB.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini yaitu pada penelitian Analisis ketangguhan bahan komposit laminat jute dan e-glass akibat beban lentur dengan metode histogaram yaitu tentang dimana suatu penelitian tersebut diharapkan agar dapat dikembangkan kedepannya dengan yang lebih bagus juga pengembangannya bisa berlanjut untuk menciptakan penelitian yang lebih baik dari sebelumnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Aakash et al. 2019. "Experimental and Numerical Characterization of Mechanical Properties of Carbon / Jute Fabric Reinforced Epoxy Hybrid Composites †." 33(9): 1–10.
- Alizadeh, Morteza, Andisheh Shakery, and Erfan Salahinejad. 2019. "Aluminum-Matrix Composites Reinforced with E-Glass Fibers by Cross Accumulative Roll Bonding Process." *Journal of Alloys and Compounds* 804(1): 450–56.
- Astika, I Made, and I Gusti Komang Dwijana. 2015. "Kekuatan Lentur Komposit Polyester Berpenguat Serat Tapis Kelapa." *Jurnal Energi dan Manufaktur* 8(1): 34–44.
- Cheng, Zhiqing, Kai Yang, Zhuo Tang, and Fei Ge. 2022. "Experimental Investigation on Flexural and Compressive Toughness of Mortar and Concrete with Hybrid Toughening Materials." *Structures* 43(12): 1592–99.
- Chethan, N., S. N. Nagesh, and L. Sunith Babu. 2019. "Mechanical Behaviour of Kenaf-Jute-E-Glass Reinforced Hybrid Polymer Composites." *Materials Today: Proceedings* 46(11): 4454–59. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.679>.
- Cong, Cong, Sidong Liu, Antonio Di Ieva, and Maurice Pagnucco. 2022. "Colour Adaptive Generative Networks for Stain Normalisation of Histopathology Images." *Medical Image Analysis* 82(5): 102580.
- Das, Subrata C. et al. 2021. "Effect of Stacking Sequence on the Performance of Hybrid Natural/Synthetic Fiber Reinforced Polymer Composite Laminates." *Composite Structures* 276(August): 114525. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114525>.
- Fadilla, Finna, and Marissa Cory A. Siagian. 2021. "Pengolahan Material Kain Goni Sebagai Embellishment Pada Produk Fesyen." In *Art & Design*, , 463–74.
- Hasan, Sharad, Sarwar Jahan, and Md. Imdadul Islam. 2022. "Disease Detection of Apple Leaf with Combination of Color Segmentation and Modified DWT." *Journal of King Saud University* 34(9): 7212–24.
- Hermawan, Dian Wahid, Masturi Masturi, and Ian Yulianti. 2015. "Ketahanan Tekan Komposit Dari Resin Epoksi Berpenguat Serat Bambu." *Jurnal Fisika* 5(1): 31–35.
- Hidayat, Syarif. 2019. "Analisis Kekuatan Laminat Komposit Dengan Sabut Kelapa Sebagai Serat Penguat." In *Rekayasa Dan Aplikasi Teknik Mesin Di Industri*, , 26–33.
- Ismojo, Rahmat Hafizh, and Dwita Suastiyanti. 2020. "Study Perbandingan Serat Jute Jawa Dan Kevlar Sebagai Penguat Epoxy Untuk Aplikasi Helm Anti Peluru Berdasarkan Analisis Numerik." *JURNAL TEKNIK MESIN – ITI* 4(2): 37–45.
- Jawad, Fayaz et al. 2019. "Structural Behavior of Concrete Beams and Columns Reinforced with Waste Plastic Incorporated GFRP (WPGFRP) Rebars." *Journal of Building Engineering* 23(August 2018): 172–84. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.01.030>.
- Joshi, Dhananjay, Andrew P. Kittleson, and Jason T. Harris. 2022. "Probability of Failure and Weibull Size-Scaling Parameters for Thin Glass Subjected to Two-Point Bending." *Journal of the European Ceramic Society* 42(16): 7609–19.
- Kandasamy, Jayakrishna et al. 2021. *Structural Health Monitoring System for Synthetic, Hybrid and Natural Fiber Composites*.
- Khalid, Muhammad Yasir et al. 2021. "Tensile Strength Evaluation of Glass/Jute Fibers Reinforced Composites: An Experimental and Numerical Approach." *Results in Engineering* 10(May): 100232. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100232>.
- Muzakir, Aji Tyas, Achmad Jusuf Zulfikar, and M. Yusuf Rahmansyah Siahaan. 2022. "Analisis Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Hibrid Laminat Jute E-Glass Epoksi." *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)* 6(1): 12–19.

- N, Vijay Kumar T, T R Mohan, C M Sharanaprabhu, and Shashidhar K Kudari. 2019. "Estimation of Tensile Properties for Jute Natural and Its Hybrid Laminate Composites." In *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, , 1–3.
- Ouarhim, Wafa et al. 2020. "Hybrid Composites and Intra-Ply Hybrid Composites Based on Jute and Glass Fibers: A Comparative Study on Moisture Absorption and Mechanical Properties." *Materials Today Communications* 22(March 2019): 48–57.
- Prabhu, L. et al. 2019. "Study of Mechanical and Morphological Properties of Jute-Tea Leaf Fiber Reinforced Hybrid Composites: Effect of Glass Fiber Hybridization." *Materials Today: Proceedings* 27(xxxx): 2372–75.
- Pradhan, R., A.P. Joshi, and M.R. Sunny. 2022. "Performance of Predictive Models to Determine Weld Bead Shape Parameters for Shielded Gas Metal Arc Welded T-Joints." *Marine Structures* 86(1): 103290.
- Qiu, Tian, LiHong Liang, and YiYi Hao. 2022. "Thickness Effect on the Mechanical Properties of Nacre in Hyriopsis Cumingii under Three-Point Bending." *Engineering Fracture Mechanics* 76(2): 108869.
- Rasid, Mahmuddin Al, Achmad Jusuf Zulfikar, and Iswandi. 2022. "Analisis Kekuatan Tarik Komposit Laminat Jute Berdasarkan Pola Kerusakan Kolom Silinder Metode Split Tensile Test." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Arsitektur (JITAS)* 1(2): 97–103.
- Ren, Rui, and Li Li. 2022. "Impact of Polyethylene Fiber Reinforcing Index on the Flexural Toughness of Geopolymer Mortar." *Journal of Building Engineering* 57(1): 104943.
- Salman, Suhad D. 2020. "Effects of Jute Fibre Content on the Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of the Composites in Structural Applications." *Defence Technology* 16(6): 1098–1105.
- Santhi, K. Aruna, C. Srinivas, and R. Ajay Kumar. 2020. "Experimental Investigation of Mechanical Properties of Jute-Ramie Fibres Reinforced with Epoxy Hybrid Composites." *Materials Today: Proceedings* 39(xxxx): 1309–15. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.368>.
- Shakery, Andisheh, and Morteza Alizadeh. 2021. "Mechanical Properties and Strength Prediction of Al/E-Glass Fiber Composites Fabricated by Cross Accumulative Roll Bonding Process." *Journal of Manufacturing Processes* 69(1): 165–72.
- Sriranga, B. K., L. J. Kirthan, and G. Ananda. 2021. "The Mechanical Properties of Hybrid Laminates Composites on Epoxy Resin with Natural Jute Fiber and S-Glass Fibers." In *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 8927–33. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.363>.
- Suliyanthini, Dewi, W Riza, Tinuk, and Aam. 2014. "MODIFICATION RECYCLE JUTE FIBRE WASTE FOR BULLET PROOF VESTS By. Dewi Suliyanthini, Dr. Riza. W. Jonathan MM, Dr Tinuk, and Aam. MSi. *)." *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan* 3(1)(<http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/jgg/issue/view/224>): 1–13.
- Tambusay, M. I., A. J. Zulfikar, and Iswandi Iswandi. 2022. "Analisis Metode Split Tensile Test Komposit Laminat Hybrid Jute E-Glass Akibat Beban Tarik Beton Kolom Silinder." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1(2): 45–54.
- Tauvana, Ade Irvan, Syafrizal Syafrizal, and Mokhammad Is Subekti. 2020. "Pengaruh Matrik Resin-Epoxy Terhadap Kekuatan Impak Dan Sifat Fisis Komposit Serat Nanas." *Jurnal Polimesin* 18(2): 99–104.
- Techawinyutham, Laongdaw et al. 2021. "Recycled LDPE/PETG Blends and HDPE/PETG Blends: Mechanical, Thermal, and Rheological Properties." *Journal of Materials Research and Technology* 15.
- Wang, Chenguang, and Changquan Calvin Sun. 2022. "A Critical Examination of Three-Point Bending for Determining Young's Modulus." *International Journal of Pharmaceutics* 629(3): 122409.
- Wang, Song, Jian Zhou, Luqing Zhang, and Zhenhua Han. 2022. "Numerical Studies on Micro-Cracking Behavior of Transversely Isotropic Argillaceous Siltstone in

- Longyou Grottoes under Three-Point Bending.” *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 122(2): 103638.
- Winarno, Guntur et al. 2022. “Metode Histogram Equalization Untuk Peningkatan Kualitas Citra Dengan Menggunakan Studi Phantom Lumbosacral.” *Jurnal Kesehatan Vokasional* 7(2): 104–10.
- Yuhazri, M. Y., A. J. Zulfikar, and A. Ginting. 2020. “Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures: A Review.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1003(1).
- Zulfadhli, Nurdin Ali, and Rahmat Taufan. 2017. “Studi Uji Lentur Material Komposit Limbah Serat Batang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jack).” In *Seminar Nasional Teknologi Rekayasa (SNTR) IV*, , 226–31.
- Zulfikar, Achmad Jusuf. 2020. “The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards Made from Banana Stems.” *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal* 2(3): 334–40.

