

TUGAS AKHIR
ANALISA EFEK WATER AGING DENGAN VARIASI WAKTU
TERHADAP PERFORMA KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SERAT
AMPAS TEBU

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD TOHA TAMBUNAN
2107230100



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

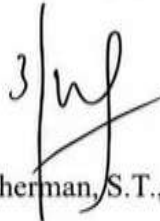
Nama : Muhammad Toha Tambunan
NPM : 2107230100
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisa Efek *Water Aging* Dengan Variasi Waktu Terhadap Performa Kekuatan Tarik Komposit Ampas Tebu
Bidang ilmu : Konstruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Dr. Suherman, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Muhammad Yani, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Chandra A Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Muhammad Toha Tambunan
Tempat /Tanggal Lahir	: Aek Torop, 02 September 2003
NPM	: 2107230100
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisa Efek *Water Aging* Dengan Variasi Waktu Terhadap Performa Kekuatan Tarik Komposit Serat Ampas Tebu”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 Agustus 2026

Saya yang menyatakan,



Muhammad Toha Tambunan

ABSTRAK

Komposit serat alam merupakan salah satu material alternatif yang banyak dikembangkan sebagai pengganti material sintetis karena memiliki massa jenis rendah, ramah lingkungan, serta memanfaatkan limbah pertanian, salah satunya serat ampas tebu. Namun, sifat higroskopis serat ampas tebu menyebabkan komposit rentan mengalami degradasi sifat mekanik akibat penyerapan air (*water aging*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu *water aging* selama 2 jam, 4 jam, dan 8 jam terhadap kekuatan tarik komposit serat ampas tebu bermatriks resin epoksi yang telah diberi perlakuan alkali (NaOH) 5%, serta menentukan tingkat degradasi kekuatan tarik akibat proses tersebut. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan komposisi serat dan matriks sebesar 30:70. Serat ampas tebu direndam dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam, kemudian dibuat spesimen uji tarik sesuai standar ASTM D638 Tipe I. Spesimen selanjutnya diberi perlakuan *water aging* dengan variasi waktu 0 jam, 2 jam, 4 jam, dan 8 jam sebelum dilakukan pengujian menggunakan Universal Testing Machine (UTM). Parameter yang dianalisis meliputi tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekuatan tarik mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu *water aging*, yaitu sebesar 24,49 MPa (tanpa *water aging*), 23,35 MPa (2 jam), 19,94 MPa (4 jam), dan 13,86 MPa (8 jam). Tingkat degradasi kekuatan tarik berturut-turut sebesar 4,66%, 18,58%, dan 43,40% dibandingkan spesimen tanpa *water aging*. Nilai regangan juga mengalami penurunan, sedangkan modulus elastisitas meningkat hingga perlakuan *water aging* selama 4 jam sebelum menurun kembali pada *water aging* 8 jam. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa variasi waktu *water aging* berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit serat ampas tebu. Semakin lama waktu *water aging*, semakin besar degradasi kekuatan tarik yang terjadi sehingga performa mekanik terbaik diperoleh pada komposit tanpa perlakuan *water aging*.

Kata kunci: komposit serat ampas tebu, resin epoksi, *water aging*, kekuatan tarik, degradasi.

ABSTRACT

Natural fiber composites have emerged as a promising alternative to synthetic materials due to their low density, environmental friendliness, and the utilization of abundant agricultural waste, particularly sugarcane bagasse fiber. However, the hygroscopic nature of sugarcane bagasse fiber makes the composite susceptible to mechanical degradation caused by water absorption during the *water aging* process. This study aimed to analyze the effect of *water aging* durations of 2, 4, and 8 hours on the tensile strength of epoxy matrix composites reinforced with sugarcane bagasse fiber treated with a 5% sodium hydroxide (NaOH) solution, as well as to determine the level of tensile strength degradation resulting from the *water aging* process. This study employed an experimental method using a fiber-to-matrix composition ratio of 30:70. The sugarcane bagasse fibers were immersed in a 5% NaOH solution for 2 hours and then fabricated into tensile test specimens according to the ASTM D638 Type I standard. The specimens were subsequently subjected to *water aging* for 0, 2, 4, and 8 hours before being tested using a Universal Testing Machine (UTM). The evaluated mechanical properties included tensile strength, strain, and elastic modulus. The results showed that the average tensile strength decreased with increasing *water aging* duration, from 24.49 MPa for the unaged specimens to 23.35 MPa, 19.94 MPa, and 13.86 MPa after 2, 4, and 8 hours of *water aging*, respectively. The corresponding tensile strength degradation was 4.66%, 18.58%, and 43.40% compared with the unaged specimens. The strain values also decreased with increasing aging duration, whereas the elastic modulus increased up to 4 hours of *water aging* before decreasing after 8 hours. The results indicate that the *water aging* duration significantly affects the mechanical properties of sugarcane bagasse fiber-reinforced epoxy composites. The longer the *water aging* duration, the greater the tensile strength degradation. Therefore, the best mechanical performance was achieved by the composite without *water aging* treatment.

Keywords: sugarcane bagasse fiber composite, epoxy resin, *water aging*, tensile strength, degradation.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Efek *Water Aging* Dengan Variasi Waktu Terhadap Performa Kekuatan Tarik Komposit Ampas Tebu” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir mulai dari proses awal sampai proses akhir penyelesaian, penulis telah banyak menerima bantuan bimbingan yang sangat berharga dari berbagai pihak, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak M .Yani, ST. M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Chandra A. Siregar, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Khairul Ummurani, S.T., M.T., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Teristimewa kepada Ayahanda tercinta H. Tambunan, atas doa, kasih sayang, perjuangan, dukungan, dan pengorbanan yang tiada henti sehingga penulis mampu menyelesaikan pendidikan ini. Kepada almarhumah Ibunda tercinta N. Saragih, S.Pd., meskipun telah tiada, kasih sayang dan doa yang pernah diberikan akan selalu hidup dalam hati penulis dan menjadi sumber kekuatan dalam setiap langkah. Skripsi ini penulis persembahkan sebagai bentuk cinta dan terima kasih yang tidak akan pernah berakhir. Semoga

almarhumah Ibu mendapat tempat terbaik di sisi Allah SWT.

7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Kelima saudara kandung penulis, yang senantiasa menjadi tempat berbagi cerita, memberikan semangat, doa, dukungan, dan motivasi dalam setiap proses yang penulis jalani. Terima kasih telah menjadi bagian penting dalam perjalanan hidup penulis hingga dapat menyelesaikan pendidikan ini. Segala perhatian, pengorbanan, dan kebersamaan yang diberikan merupakan hal yang sangat berarti dan tidak ternilai bagi penulis. Semoga ikatan persaudaraan ini selalu terjaga dan kita semua dapat meraih kesuksesan serta membanggakan keluarga yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.
9. Seseorang yang istimewa berinisial DPA, terima kasih atas doa, dukungan, perhatian, dan semangat yang selalu diberikan selama proses penyelesaian skripsi ini. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan dan perjuangan penulis hingga sampai pada tahap ini.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan

Medan, 12 Agustus 2026



Muhammad Toha Tambunan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Komposit	4
2.2 Jenis-jenis Komposit	5
2.3 Bahan Komposit	7
2.4 Resin Epoxy	10
2.5 Serat Ampas Tebu	10
2.6 Uji Tarik	11
2.7 Proses Pembuatan Komposit	12
2.8 <i>Aging</i>	14
2.9 Penelitian Sebelumnya	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	20
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	20
3.1.1 Tempat	20
3.1.2 Waktu	20
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian	21
3.2.1 Alat	21
3.2.2 Bahan	25
3.3 Bagan Alir Penelitian	27
3.4 Prosedur penelitian	28
3.4.1 Proses Persiapan Bahan	28
3.4.2 Proses Pembersihan Serat Ampas Tebu	28
3.4.3 Proses Perlakuan dengan NaOH	29
3.4.4 Proses Pembuatan Spesimen	30
3.4.5 Langkah-langkah Pengujian Spesimen Uji Tarik	31
3.4.6 Variabel yang Akan Diteliti	32

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Pendahuluan	35
4.2 Hasil Pengujian Uji Tarik Komposit Diperkuat Serat Ampas Tebu	35
4.3 Hasil perbandingan komposit epoxy diperkuat serat ampas tebu dari spesimen A, B, C dan D	36
4.4 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya	39
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Literatur yang digunakan penelitian	16
Tabel 3. 1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	20
Tabel 3. 2 Simbol Spesimen	32
Tabel 4. 1 Perbandingan Rata-rata Tegangan Tarik, Regangan dan Modulus Elastisitas	36
Tabel 4. 2 Tabel Tingkat Degradasi Kekuatan Tarik Komposit	37
Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil dengan Penelitian Sebelumnya	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposit serat dapat berupa serat sintetis atau serat alam (sumber : Tumba, 2009)	5
Gambar 2. 2 Komposit Laminat (sumber : Tumba, 2009)	5
Gambar 2. 3 Komposit Partikel (sumber : Tumba, 2009)	6
Gambar 2. 4 Klasifikasi Komposit (sumber : Tumba, 2009)	7
Gambar 2. 5 Serat Ampas Tebu	11
Gambar 2. 6 Mesin Uji Tarik	12
Gambar 2. 7 Hand lay up	13
Gambar 2. 8 Spray Up	13
Gambar 3. 1 Mesin Uji Tarik	21
Gambar 3. 2 Kuas	21
Gambar 3. 3 Neraca Digital	22
Gambar 3. 4 Pengaduk	22
Gambar 3. 5 Cetakan Spesimen	22
Gambar 3. 6 Gelas Ukur	23
Gambar 3. 7 Gunting	23
Gambar 3. 8 Oven	23
Gambar 3. 9 Sarung Tangan	24
Gambar 3. 10 Jangka Sorong	24
Gambar 3. 11 Sisir Besi	24
Gambar 3. 12 Serat Ampas Tebu	25
Gambar 3. 13 Resin Epoxy	25
Gambar 3. 14 NaOH	26
Gambar 3. 15 Gambar diagram alir	27
Gambar 3. 16 Proses pembersihan serat ampas tebu dengan air bersih	28
Gambar 3. 17 Proses pengeringan serat ampas tebu dari air bersih	29
Gambar 3. 18 Proses perlakuan alkali dengan NaOH 5% selama 2 jam	29
Gambar 3. 19 Proses pengeringan serat ampas tebu setelah perlakuan	30
Gambar 3. 20 Ukuran cetakan spesimen pengujian	30
Gambar 3. 21 Set up alat uji	31
Gambar 3. 22 Spesimen tanpa melalui proses perendaman (<i>water aging</i>) sebelum di uji	33
Gambar 3. 23 Spesimen melalui proses perendaman (<i>water aging</i>) selama 2 jam sebelum di uji	33
Gambar 3. 24 Spesimen melalui proses perendaman (<i>water aging</i>) selama 4 jam sebelum di uji	33
Gambar 3. 25 Spesimen melalui proses perendaman (<i>water aging</i>) selama 8 jam sebelum di uji	34
Gambar 4. 1 Grafik nilai rata-rata tegangan dan regangan komposit Serat ampas tebu	38
Gambar 4. 2 Spesimen sesudah diuji tanpa proses <i>water aging</i>	38
Gambar 4. 3 Spesimen sesudah diuji melalui proses <i>water aging</i> selama 2 jam	38
Gambar 4. 4 Spesimen sesudah diuji melalui proses <i>water aging</i> selama 4 jam	39
Gambar 4. 5 Spesimen sesudah diuji melalui proses <i>water aging</i> selama 8 jam	39

DAFTAR NOTASI

$$A_0 = \text{mm}$$

$$P = \text{N}$$

$$\sigma = \text{MPa/mm}$$

$$L = \text{mm}$$

$$s = \text{mm}$$

$$\Delta L = \text{mm}$$

$$L_0 = \text{mm}$$

$$E = \text{MPa/mm}^2$$

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan teknologi material komposit berwawasan lingkungan kini berfokus pada pemanfaatan bahan alam sebagai substitusi penguat sintetis guna mendukung prinsip keberlanjutan (Fathoni & Rohmawati, 2023). Di Indonesia, limbah biomassa pertanian seperti ampas tebu (*sugarcane bagasse*) ketersediaannya melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal (Fitri & Mora, 2018). Padahal, serat ampas tebu memiliki potensi besar sebagai penguat (*reinforcement*) pada matriks polimer epoksi karena mengandung kadar selulosa yang tinggi (40–50%) serta memiliki densitas yang ringan dan biaya yang relatif terjangkau (Pramono et al., 2019).

Kendala utama penggunaan serat ampas tebu terletak pada sifat dasarnya yang higroskopis (hidrofilik) serta masih tingginya kandungan zat non-selulosa seperti lignin dan hemiselulosa (Istiqlaliyah et al., 2023). Sifat hidrofilik serat alam ini memicu ketidakcocokan (*incompatibility*) saat dikombinasikan dengan matriks polimer epoksi yang bersifat hidrofobik (Istiqlaliyah et al., 2023). Ketidakcocokan antarpermukaan ini menyebabkan lemahnya daya rekat antarmuka (*interfacial bonding*), yang berpotensi memicu kegagalan struktur saat menerima beban mekanis (Pramono et al., 2019). Untuk mengoreksi sifat permukaan serat, modifikasi kimiawi melalui perlakuan perendaman alkali (NaOH) umum diterapkan. Modifikasi ini terbukti mampu mengikis komponen non-selulosa sehingga menghasilkan kekasaran permukaan yang optimal untuk memperkuat pengikatan mekanis (*interlocking*) dengan matriks epoksi (Istiqlaliyah et al., 2023).

Kendati perlakuan alkali mampu meningkatkan interaksi awal serat-matriks, integritas mekanis komposit tetap rentan terdegradasi apabila terpapar lingkungan basah atau berkelembapan tinggi (Linda et al., 2021). Karakteristik higroskopis serat alam menyebabkan molekul air dapat terpenetrasi ke dalam struktur komposit melalui celah mikroskopis maupun mekanisme kapiler. Penetrasi air tersebut memicu pembengkakan (*swelling*) pada serat, yang berlanjut pada pembentukan retak mikro (*micro-cracking*), pelunakan matriks polimer, hingga pelepasan ikatan antarmuka (*interfacial debonding*). Fenomena penuaan akibat paparan air (*water aging*) ini

berdampak secara langsung pada penurunan drastis performa mekanis material, khususnya kekuatan tarik (*tensile strength*) (Linda et al., 2021). Laju dan signifikansi penurunan kekuatan tarik komposit ampas tebu akibat durasi *water aging* menjadi faktor krusial dalam menentukan durabilitas serta batas umur pakai (*lifespan*) material. Oleh karena itu, pengujian terukur mengenai pengaruh lamanya paparan air terhadap kekuatan tarik komposit serat ampas tebu bermatriks epoksi sangat krusial untuk dilakukan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengkuantifikasi pengaruh variasi waktu perendaman (*water aging*) terhadap penurunan performa kekuatan tarik komposit serat ampas tebu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan empiris mengenai karakteristik durabilitas serta ambang batas penggunaan material komposit serat ampas tebu pada lingkungan yang lembap atau berair.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu perendaman (*Water Aging*) dengan waktu 2 jam, 4 jam, dan 8 jam, terhadap kekuatan tarik komposit ampas tebu bermatriks resin epoksi yang telah diberi perlakuan NaOH?
2. Bagaimana tingkat penurunan kekuatan tarik komposit ampas tebu bermatriks resin epoksi akibat proses perendaman (*Water Aging*)?

1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini hanya terbatas pada komposit serat ampas tebu.
2. Komposit yang digunakan hanya terdiri dari resin epoksi sebagai matriks dan serat Ampas tebu sebagai penguat, dengan perlakuan alkali 5% selama 2 jam.
3. Penelitian ini hanya menganalisis pengaruh waktu perendaman (*water aging*) dengan waktu 2 jam, 4 jam, dan 8 jam.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh variasi waktu perendaman (*water aging*) dengan waktu 2 jam, 4 jam, dan 8 jam, terhadap kekuatan tarik komposit ampas tebu bermatriks resin epoksi yang telah diberi perlakuan alkali (NaOH).
2. Menentukan tingkat penurunan (degradasi) kekuatan tarik komposit ampas tebu bermatriks resin epoksi akibat dari proses perendaman (*water aging*) tersebut.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini bertujuan untuk memperkaya referensi terkait pengaruh perendaman (*water aging*) pada komposit resin epoksi berbasis serat alam, khususnya ampas tebu dengan perlakuan NaOH.
2. Mendukung pengembangan material ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah pertanian, serta menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya dalam bidang material berkelanjutan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda menjadi suatu bentuk unit mikroskopik. Gabungan antara pengisi dan matriks terdiri dari bermacam-macam kombinasi (Yani et al., 2023). Pengisi dapat berupa partikel kecil atau berbentuk serat. Komposit berasal dari kata kerja “*tocompose*” yang berarti menyusun atau menggabungkan. Pada umumnya, material komposit dibentuk dalam dua fasa, yaitu fasa matriks dan fasa penguat (Yani et al., 2023). Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, di antaranya berat lebih ringan, kekuatan dapat diatur, kekuatan dan ketahanan lebih tinggi, dan tahan korosi.

Komposit berpenguat serat banyak diaplikasikan pada alat-alat yang membutuhkan perpaduan dua sifat dasar, yaitu kuat namun juga ringan. Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada logam, kekakuan jenis dan kekuatan jenisnya lebih tinggi daripada logam. Komposit memiliki banyak keunggulan, di antaranya berat yang lebih ringan, kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan biaya perakitan yang lebih murah. Unsur utama penyusun komposit yaitu pengisi (filler) yang berupa serat sebagai kerangka dan unsur pendukung lainnya, yaitu matriks. Pengisi (filler) dan matriks merupakan dua unsur yang di perlukan dalam pembentukan material komposit.

Komposit merupakan gabungan antara dua atau tiga bahan yang memiliki jumlah sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya, yang kemudian disusun secara kombinasi matriks untuk memperoleh sifat tertentu. Dapat juga didefinisikan kombinasi antara dua material atau lebih dalam skala makroskopik yang berbeda bentuknya, komposisi kimia, dan tidak saling melarutkan antara materialnya, di mana material yang satu berfungsi sebagai material penguat dan material yang lainnya sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya (Widiarta et al., 2022).

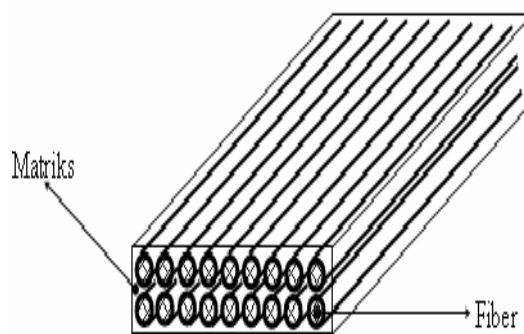
Jenis material baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan di mana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lain, sifat kimia atau fisiknya tetap terpisah dalam hasil akhir material disebut material komposit.

2.2 Jenis-jenis Komposit

Jenis-jenis berdasarkan penguat yang digunakan, yaitu :

a. Komposit Serat (Fibrous Composite)

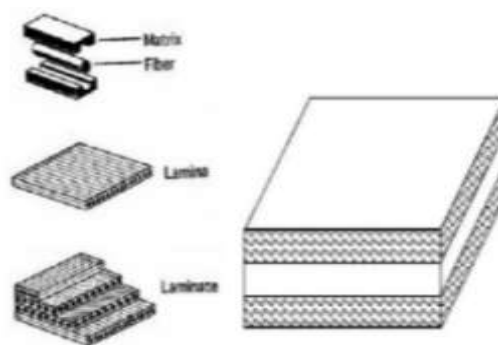
Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Jenis komposit ini hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan pengisi berupa serat. Biasanya disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.



Gambar 2. 1 Komposit serat dapat berupa serat sintetis atau serat alam (sumber : Tumba, 2009)

b. Komposit Laminat (Laminated Composite)

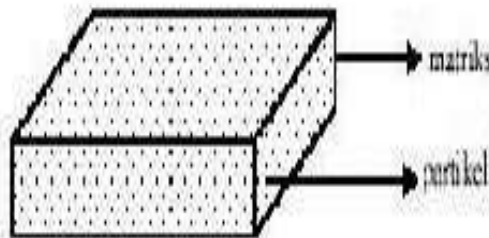
Komposit laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Komposit laminat ini terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat hybrid.



Gambar 2. 2 Komposit Laminat (sumber : Tumba, 2009)

c. Komposit Partikel (Particulate Composite)

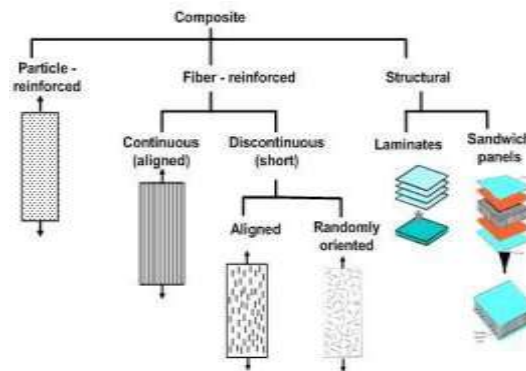
Komposit Partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matrik. Komposit yang terdiri dari partikel dan matrik yaitu butiran (batu, pasir) yang diperkuat semen yang kita jumpai sebagai beton, senyawa kompleks ke dalam senyawa kompleks. 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 di antara fase partikel dan matrik yang menunjukkan sambungan yang baik.



Gambar 2. 3 Komposit Partikel (sumber : Tumba, 2009)

d. Komposit Serpihan (Flake Composite)

Komposit serpihan terdiri atas serpihan-serpihan yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan ke dalam matrik. Pengertian dari serpihan adalah partikel kecil yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang khusus dengan orientasi serat sejajar permukaannya. Sifat-sifat khusus yang dapat diperoleh dari serpihan adalah bentuknya besar dan datar sehingga dapat disusun dengan rapat untuk menghasilkan suatu bahan penguat yang tinggi untuk luas penampang lintang tertentu. Pada umumnya serpihan-serpihan saling tumpang tindih pada suatu komposit sehingga dapat membentuk lintasan fluida ataupun uap yang dapat mengurangi kerusakan mekanis karena penetrasi atau perembesan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Klasifikasi Komposit (sumber : Tumba, 2009)

2.3 Bahan Komposit

Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (fiber) sebagai bahan pengisi dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matrik. Didalam komposit unsur utamanya adalah serat, sedangkan bahan pengikatnya menggunakan bahan polimer yang mudah dibentuk dan mempunyai daya pengikat yang tinggi. Penggunaan serat sendiri yang diutamakan untuk menentukan karakteristik bahan komposit, seperti : kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik yang lainnya. Sebagai bahan pengisi serat digunakan untuk menahan sebagian besar gaya yang bekerja pada bahan komposit, matrik sendiri mempunyai fungsi melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik terhadap gaya-gaya yang terjadi. Oleh karena itu, untuk bahan serat digunakan bahan yang kuat, kaku dan getas, sedangkan bahan matrik dipilih bahan-bahan yang liat, lunak dan tahan terhadap perlakuan kimia (yani & Suroso, 2019).

1. Serat

Serat atau fiber dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Amin, 2020). Serat dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis (serat buatan manusia).

a. Serat Alam

Serat alam menurut yaitu serat yang langsung diperoleh di alam. Pada umumnya kain dari serat alam mempunyai sifat yang hampir sama yaitu kuat,

padat, mudah kusut, dan tahan penyetrakaan (Jumaeri,1977:5). Serat alam meliputi serat yang dihasilkan oleh tanaman, hewan, dan proses geologis. Serat jenis ini dapat mengalami pelapukan.

b. Serat Buatan / Sintetis

Serat buatan yaitu serat yang molekulnya disusun secara sengaja oleh manusia. Sifat-sifat umum dari serat buatan, yaitu kuat dan tahan gesekan (Jumaeri,1977:5). Serat buatan atau serat sintesis umumnya berasal dari bahan petrokimia. Namun, ada pula serat sintetis yang dibuat dari selulosa alami seperti rayon. Serat buatan terbentuk dari polimer-polimer yang berasal dari alam maupun polimer-polimer buatan yang dibuat dengan cara kepolimeran senyawa-senyawa kimia. Serat buatan mempunyai sifat-sifat umum antara lain:

1. Sangat kuat dan tahan gesekan
2. Dalam keadaan kering atau basah kekuatannya tetap sama kecuali asetat
3. Kenyal, pegas (elastis dan tahan regangan)
4. Kurang dapat menghisap air
5. Peka terhadap panas
6. Tahan alkali, tahan ngengat, jamur, serangga, dan lain-lain
7. Dapat diawetkan dengan panas
8. Bahan awet
9. Mudah dalam pemeliharaan
10. Sulit mengisap air karena memberi rasa lembab

2. Matriks

Matriks dalam komposit berfungsi sebagai bahan pengikat serat menjadi sebuah struktur, melindungi dari kerusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matriks, sehingga matriks dan serat saling berhubungan. Beberapa manfaat matriks dalam komposit antara lain :

1. Menghubungkan serat dan melindungi permukaan serat.
2. Tidak ada perambatan retakan/kegagalan.
3. Efisien memindahkan tegangan keserat dengan perekatan dan/atau

gesekan bila komposit terbebani.

4. Suhu sesuai dengan serat yang dipakai.

5. Susunan kimia cocok dengan serat.

Dalam pengaplikasiannya di bidang rekayasa material, komposit dikelompokkan berdasarkan bahan pengikat (matriks) yang menyusunnya. Pengelompokan ini bertujuan untuk menyesuaikan sifat mekanik dan lingkungan kerja komposit yang diinginkan, yang meliputi PMC, CMC, dan MMC sebagai berikut:

1. PMC (Polymer Matrix Composite)

PMC (*Polymer Matrix Composite*) terdiri dari suatu resin (plastik penguat dengan berat molekul tinggi) polimer sebagai matrik dengan serat-serat sebagai media penguat. Bahan tersebut digunakan paling banyak ragamnya dari aplikasi komposit, juga dalam jumlah terbanyak dalam temperatur ruang, mudah difabrikasi, dan murah. Matrik ini paling umum digunakan pada material komposit. Karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan. Matrik polimer terbagi dua yaitu termoset dan termoplastik. Perbedaan termoset tidak dapat di daur ulang sedangkan termoplastik dapat di daur ulang.

2. CMC (Ceramic Matrix Composite)

CMC (*Ceramic Matrix Composite*) bahan keramik tahan oksidasi dan keusangan pada temperatur tinggi yang wataknya tidak mudah patah getas, beberapa bahan tersebut ideal untuk penggunaan pada temperatur tinggi dan tegangan tinggi khususnya untuk komponen pada mesin-mesin mobil dan turbin gas pesawat terbang.

3. MMC (Metal Matrix Composite)

MMC (*Metal Matrix Composite*) atau Komposit Matriks Logam adalah material rekayasa hasil kombinasi makroskopis yang menggunakan logam atau paduan logam sebagai matriks (seperti Aluminium, Magnesium, atau Titanium) yang diperkuat oleh material lain yang umumnya berupa keramik atau karbon. Berbeda dengan logam paduan (*alloy*) biasa, penggabungan material pada MMC terjadi secara fisik tanpa mengubah sifat intrinsik masing-masing unsur penyusunnya.

2.4 Resin Epoxy

Resin *epoxy* adalah resin sintetis jenis polimer thermosetting yang digunakan secara luas dalam aplikasi komposit struktural dan molekul resinnya mengandung satu atau lebih gugus epoksida (*epoxide*) yang tidak dapat didapati pada resin thermosetting lainnya. Struktur molekulnya dapat disesuaikan sesuai kebutuhan, seperti untuk mendapatkan viskositas yang diinginkan. Terdapat dua jenis *epoxy* yaitu : *glycidyl epoxy* dan *non-glycidyl epoxy*. Salah satu jenis *glycidyl epoxy* yang paling umum adalah *epoxy* yang dibuat dengan bahan baku *Bisphenol-A* yang direaksikan dengan *epichlorohydrin*. Jenis resin *epoxy* lain yang sering digunakan adalah *epoxy* berbahan dasar novolac (Johnson & Huffman, 2017).

Resin *epoxy* memiliki sifat tahan terhadap perubahan yang biasanya dimiliki unsur-unsur kimia padat pada umumnya. Sifat rekatnya yang tinggi dihasilkan selama proses konversi dari cair ke padat. Polimer *epoxy* memiliki banyak varian sifat yang berbeda tergantung bahan kimia dasar dalam resin, hal ini membuat *epoxy* sangat cocok untuk aplikasi komposit (Boyle et al., 2015).

2.5 Serat Ampas Tebu

Serat ampas tebu (*bagasse*) merupakan limbah organik melimpah yang dihasilkan oleh industri pengolahan gula di Indonesia. Selain bernilai ekonomis dan mudah diperoleh dengan harga yang terjangkau, serat alami ini bersifat ramah lingkungan, aman bagi kesehatan, serta dapat terdegradasi secara hayati (*biodegradable*). Penggunaannya sebagai penguat pada material komposit menjadi solusi efektif untuk mengurangi permasalahan limbah lingkungan (Yudo & Jatmiko, 2008). Ampas tebu sebagian besar mengandung ligno-cellulose. Panjang seratnya antara 1,7–2 mm dengan diameter sekitar 20 mikron, sehingga ampas tebu ini dapat memenuhi persyaratan untuk diolah menjadi papan-papan buatan. Bagas mengandung air 48-52%, gula rata-rata 3,3% dan serat rata-rata 47,7%. Serat bagas tidak dapat larut dalam air dan sebagian besar terdiri dari selulosa, pentosan dan lignin (Akhmad Nadji Shabiri et al., 2014).



Gambar 2. 5 Serat Ampas Tebu

2.6 Uji Tarik

Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu material, dapat dilakukan pengujian tarik terhadap material komposit tersebut. Kekuatan tarik merupakan kemampuan material dalam menerima gaya atau tegangan tarik hingga material mengalami kegagalan (patah). Uji tarik dilakukan dengan cara menarik spesimen secara kontinu menggunakan mesin uji hingga spesimen putus.

Selama proses pengujian, akan dicatat hubungan antara beban yang diberikan dan pertambahan panjang yang terjadi pada spesimen. Data hasil pengujian tersebut kemudian dikonversi menjadi hubungan tegangan–regangan (stress–strain). Pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi dasar mengenai kekuatan suatu bahan serta sebagai data pendukung dalam menentukan spesifikasi material. Pengujian tarik pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D638 Type I. Dari hasil pengujian diperoleh data berupa beban maksimum yang mampu ditahan oleh material komposit sebelum mengalami patah serta pertambahan panjang yang terjadi.



Gambar 2. 6 Mesin Uji Tarik

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

σ : Kekuatan tarik (MPa)

F: Beban maksimum (N)

A: Luas penampang awal spesimen (mm²)

Selain itu, regangan yang terjadi dapat dihitung dengan:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.2)$$

Dimana:

ϵ : Regangan

ΔL : Pertambahan panjang (mm)

L_0 : Panjang awal spesimen (mm)

2.7 Proses Pembuatan Komposit

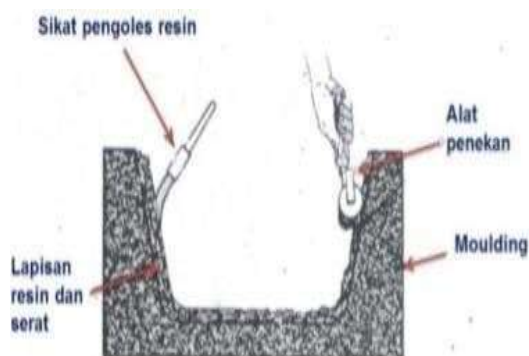
Proses manual terdiri dari *hand lay-up* dan *spray-up* yaitu :

a. *Hand lay-up*

beberapa fungsi. Pertama menutup lubang yang tidak teratur pada permukaan Metode ini lebih banyak digunakan untuk material dengan serat penguat. Keuntungan utamanya adalah proses yang sangat simple sehingga dibutuhkan sedikit peralatan dan cetakan dapat dibuat dari gips, kayu, lembaran plat atau lembaran. Langkah pertama adalah melapisi cetakan dengan pelapis (wax atau lapisan lilin) untuk mencegah cetakan lengket.

Kemudian diikuti lapisan tipis ($\pm 0,3-0,4$ mm) resin murni disebut lapisan

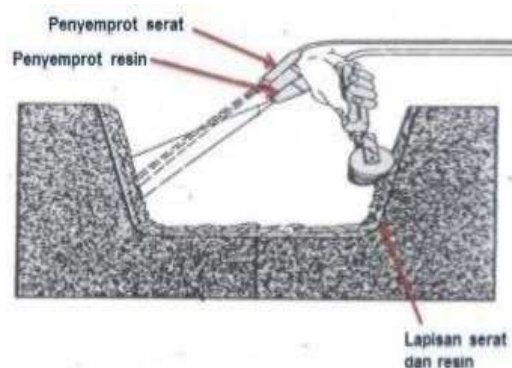
jel yang mempunyai cetakkan, kedua dan yang terpenting adalah meningkatkan kekuatan dan melindungi dari serangan embun. Dimana cenderung mengurangi kekuatan serat atau resin. Lembaran tissue dapat digunakan untuk menjaga kebersihan lapisan jel. Ini menciptakan ketahanan impact pada permukaan dan juga menyembunyikan tekstur kasar dari serat penguat (pengisi) ketika lapisan jel mulai kering penguat utama diletakan. Pertama kali dioleskan dan diikuti lapisan serat gelas dengan menggunakan tangan. Rol digunakan untuk melekatkan serat dan membuang udara yang terperangkap.



Gambar 2. 7 Hand lay up

b. *Spray-up*

Dalam proses ini, langkah persiapan mirip dengan metode sebelumnya tetapi pemakaian lembaran serat penguat diganti menggunakan semprotan. Benang disalurkan ke unit penyemprot dan helai benang disemprotkan ke cetakan terus menerus dengan resin. Ketebalan cetakan dapat dengan mudah dibuat per bagian sehingga menjadi berkekuatan tinggi. Bagaimanapun juga keberhasilan metode ini tergantung pada kemampuan operator dalam pengontrolan ketebalan komposit dan juga perbandingan serat dan resin.



Gambar 2. 8 Spray Up

2.8 Aging

Aging atau penuaan material secara umum didefinisikan sebagai perubahan sifat fisik, kimia, maupun mekanik suatu material yang terjadi secara bertahap dalam fungsi waktu akibat paparan faktor-kungan operasional (Fathoni & Rohmawati, 2023). Dalam konteks rekayasa material, proses *aging* tidak selalu merujuk pada kerusakan spontan, melainkan suatu proses penurunan kualitas struktural (*degradasi*) yang terjadi akibat material berinteraksi dengan elemen luar seperti air, panas, zat kimia, atau radiasi.

Pada komposit polimer berpenguat serat alam, studi mengenai *aging* sangat penting untuk memperkirakan masa pakai (*lifespan*) material. Karena polimer dan serat alam memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap lingkungan, proses penuaan ini sering kali memicu tegangan internal yang merusak kesatuan struktur komposit tersebut (Artha Sastra et al., 2013).

Adapun jenis-jenis *Aging* pada material komposit, yaitu:

1. *Water Aging / Moisture Aging* (Penuaan Akibat Air atau Kelembapan)

Water aging merupakan proses penuaan yang terjadi akibat material bersentuhan langsung melalui perendaman cairan atau paparan kelembapan udara tinggi (*hygrothermal*). Seperti terlihat pada diagram mekanismenya, partikel air masuk memicu pembengkakan (*swelling*) pada serat alami. Proses penyerapan air ini memicu pelunakan matriks (*plastisasi*) serta merusak ikatan antarmuka (*interfacial debonding*) antara serat penguat dan matriks resin (Artha Sastra et al., 2013).

2. *Thermal Aging* (Penuaan Akibat Panas)

Thermal aging terjadi ketika komposit terpapar temperatur tinggi dalam jangka waktu yang lama secara konstan. Suhu tinggi yang berlebihan dapat memutus rantai makromolekul pada matriks resin epoksi (degradasi termal) serta mempercepat retakan mikro akibat perbedaan koefisien ekspansi termal antara serat ampas tebu dan resin (Artha Sastra et al., 2013).

3. *Photo-Aging / UV Aging* (Penuaan Akibat Cahaya/Ultraviolet)

Jenis penuaan ini dipicu oleh radiasi sinar ultraviolet (UV), terutama ketika material diaplikasikan di luar ruangan (*outdoor*). Sinar UV memiliki energi yang cukup untuk memicu reaksi fotokimia yang memutus ikatan kimia polimer (fotodegradasi). Dampak visualnya berupa perubahan warna (*discoloration*), sedangkan dampak mekanisnya berupa pengapuran dan keretakan di permukaan luar komposit (Fathoni & Rohmawati, 2023).

4. *Chemical Aging* (Penuaan Akibat Zat Kimia)

Chemical aging melibatkan interaksi langsung antara material komposit dengan larutan asam, basa, garam, atau pelarut organik. Zat kimia yang korosif dapat mengikis permukaan resin atau masuk merembes dan menyerang struktur selulosa di dalam serat alami secara kimiawi, yang berujung pada penurunan drastis kekuatan struktural material (Pradika & Ismono, 2020).

2.9 Penelitian Sebelumnya

Water aging merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat memengaruhi kinerja komposit serat alam. Serat alam memiliki sifat hidrofilik sehingga cenderung menyerap air ketika mengalami kontak dengan lingkungan berair. Penyerapan air secara terus-menerus dapat menyebabkan pembengkakan serat, perubahan pada matriks, serta melemahnya ikatan antarmuka antara serat dan matriks. Kondisi tersebut pada akhirnya dapat memengaruhi sifat mekanik komposit, seperti kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan ketangguhan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh paparan air terhadap komposit berbasis serat alam dengan menggunakan metode perendaman (*water immersion*), *water absorption*, maupun *hydrothermal aging*. Hasil penelitian secara umum menunjukkan bahwa peningkatan waktu paparan air dapat meningkatkan penyerapan air dan berpotensi menurunkan sifat mekanik komposit. Besarnya perubahan sifat tersebut dipengaruhi oleh jenis serat, jenis matriks, fraksi serat, perlakuan permukaan, serta kondisi dan lama perendaman.

Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian komposit serat ampas tebu–epoxy dirangkum pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Literatur yang digunakan penelitian

No.	Peneliti & Tahun	Material Komposit	Metode & Parameter Pengujian	Temuan Utama & Dampak Mekanik
1	(César dos Santos et al., 2020)	<i>Flax / Epoxy</i>	<i>Water immersion</i> (0–16 hari); menguji penyerapan air, porositas, dan sifat lentur (<i>flexural</i>).	Peningkatan durasi <i>aging</i> meningkatkan penyerapan air dan porositas, yang berakibat pada penurunan signifikan kekuatan lentur komposit.
2	(Sahu & Gupta, 2022)	<i>Sisal / Epoxy</i>	Perendaman air akuatik pada serat dengan & tanpa perlakuan kimia; menguji laju penyerapan air dan degradasi mekanik.	Penyerapan air merusak struktur antarmuka, namun modifikasi kimia serat terbukti efektif meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi air.
3	(Salim et al., 2021)	<i>Bamboo / Flax / Epoxy</i> (Hibrida)	Perendaman air variasi suhu (suhu ruang vs 85°C); menguji <i>moisture uptake</i> dan kekuatan tarik (<i>tensile</i>).	Suhu tinggi (85°C) mempercepat difusi air dan pembengkakan serat, memicu penurunan kekuatan tarik hingga 13,6%.
4	(Venkatesha et al., 2020)	<i>Bamboo / Glass / Epoxy</i>	Perendaman air suling dan air garam (<i>saline</i>) hingga 10 hari; menguji retensi mekanik dan <i>interfacial bonding</i> .	Paparan air garam memicu degradasi antarmuka yang lebih parah dibanding air suling, menurunkan performa mekanik hibrida secara keseluruhan.

5	(Kumar et al., 2021)	<i>Ramie / Epoxy</i>	Perendaman air jangka panjang (120 hari); menguji kekuatan tarik dan mikrostruktur antarmuka via SEM.	Kekuatan tarik menurun sebesar 16,85% akibat pelemahan ikatan antarmuka (<i>interfacial bonding</i>) antara serat ramie dan matriks epoksi.
6	(Shettahalli Mantaiah, 2022)	<i>Flax Fabric / Epoxy</i>	Perendaman air laut/garam (18 hari); menguji kekuatan tarik dan kerusakan struktur.	Paparan air garam menurunkan kekuatan tarik hingga 23,23% akibat pembentukan retak mikro (<i>micro-cracking</i>) pada antarmuka serat–matriks.
7	(Temitayo Oyewo et al., 2022)	<i>Banana / Carbon / Epoxy</i>	Uji <i>water absorption</i> ; menguji laju penyerapan air dan dimensi pembengkakan (<i>swelling</i>).	Penambahan serat karbon (hibridisasi) dan perlakuan permukaan serat efektif menekan laju <i>swelling</i> dan penyerapan air.
8	(Oun et al., 2022)	<i>Flax / Epoxy + Graphene</i>	<i>Water aging</i> jangka panjang (hingga 3.000 jam); menguji ketahanan mekanik dan penghambat difusi air.	Nanofiller <i>graphene</i> berfungsi sebagai penghalang (<i>barrier</i>) yang menahan laju penetrasi air dan menjaga sifat mekanik jangka panjang.
9	(G et al., 2024)	<i>Banyan / Banana / Epoxy</i>	Perendaman air (hingga 144 jam) + perlakuan NaOH 5%; menguji laju penyerapan air dan sifat mekanik.	Penyerapan air meningkat seiring waktu, namun perlakuan awal alkali (NaOH 5%) terbukti meningkatkan kekuatan mekanik dan mereduksi penyerapan air.

10	(Babu et al., 2024)	<i>Kenaf / Glass / Graphene / Epoxy</i>	Pengujian <i>water absorption</i> ; menguji retensi ketahanan mekanik dan pengaruh hibridisasi.	Kombinasi serat alam/kaca dan penguat <i>nano-graphene</i> mengoptimalkan ketahanan komposit terhadap kelembapan air.
11	(Sharma et al., 2025)	<i>Sugarcane Bagasse / Epoxy</i>	Perendaman air hingga 120 jam; menguji laju penyerapan air (<i>Fickian diffusion</i>) dan degradasi mekanik.	Laju penyerapan air berbanding lurus dengan durasi perendaman. (<i>Rujukan paling relevan untuk komposit ampas tebu-epoksi</i>).
12	(Yuvaraju & Kumar, 2026)	<i>Abaca / Sisal / Epoxy</i>	Pengujian <i>moisture & water absorption</i> ; menguji ketahanan kelembapan dan kekuatan mekanis.	Karakteristik hidrofilik masing-masing serat alam menentukan besarnya degradasi kekuatan mekanik komposit saat terpapar lingkungan lembap.

Faktor utama yang membatasi pemanfaatan serat alam (natural fiber) sebagai penguat komposit adalah sifat dasarnya yang sangat suka air (hidrofilik). Serat ampas tebu (sugarcane bagasse) memiliki konsentrasi selulosa dan hemiselulosa yang tinggi dengan gugus hidroksil (-OH) bebas di permukaannya. Gugus aktif inilah yang menarik molekul air dari lingkungan luar melalui pembentukan ikatan hidrogen.

Secara umum, proses masuknya air ke dalam struktur komposit ampas tebu dikendalikan oleh mekanisme difusi Fickian (*Fickian diffusion*). Pola ini divalidasi oleh penelitian terbaru dari Sharma et al. (2025), yang menemukan bahwa penyerapan air oleh komposit ampas tebu/epoksi bertambah secara linier seiring bertambahnya durasi perendaman, sebelum akhirnya melambat saat mendekati titik jenuh (*saturation point*). Karakteristik penyerapan ini sangat dipengaruhi oleh identitas serat yang digunakan. Didukung oleh temuan Yuvaraju dan Kumar (2026)

pada komposit abaka/sisal, karakteristik internal yang unik dari tiap jenis serat alam—seperti tingkat kerapatan dan diameter serat—menjadi penentu utama seberapa besar volume air yang dapat terserap sekaligus seberapa cepat kelembapan tersebut merusak polimer matriks.

Peningkatan durasi waktu paparan air (water aging) terbukti memicu kerusakan struktural yang berbanding lurus dengan penurunan performa mekanis komposit, khususnya pada kekuatan tarik (tensile strength). Masuknya molekul air ke dalam komposit ampas tebu tidak sekadar mengisi rongga kosong (voids), melainkan juga memicu pembengkakan serat (fiber swelling).

Fenomena penurunan kekuatan akibat durasi perendaman jangka panjang ini sejalan dengan eksperimen Kumar et al. (2021). Pada komposit rami/epoksi yang direndam hingga 120 hari, kekuatan tarik dilaporkan merosot sebanyak 16,85%. Penurunan ini dipicu oleh melemahnya ikatan mekanis antarmuka akibat tegangan geser internal saat serat membengkak di dalam ruang matriks yang kaku. Apabila komposit ampas tebu dihadapkan pada media yang lebih korosif seperti air garam, kerusakan strukturalnya bisa berjalan jauh lebih agresif. Hal tersebut dibuktikan oleh Mantaiah (2022) pada serat flaks, di mana kekuatan tarik jatuh hingga 23,23% hanya dalam waktu perendaman 18 hari akibat kemunculan retak mikro (micro-cracking) yang masif di area pembatas serat dan matriks.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

3.1.1 Tempat

Pelaksanaan penelitian laporan Tugas Akhir ini berada di Laboratorium Prodi Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara Jl. Almamater, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Waktu Pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian ini dilakukan mulai dari tanggal disahkannya usulan judul oleh program studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3. 1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Pengajuan Judul	■	■					
2	Studi literatur		■	■	■			
3	Penulisan proposal			■	■	■		
4	Pengujian pengambilan data				■	■	■	
5	Seminar hasil					■	■	
6	Sidang Sarjana						■	■

3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian tugas akhir Analisa Efek Water Aging Variasi Waktu Terhadap Performa Kekuatan Tarik Komposit Serat Ampas Tebu adalah sebagai berikut:

1. Universal Testing Machine (UTM)



Gambar 3. 1 Mesin Uji Tarik

2. Kuas

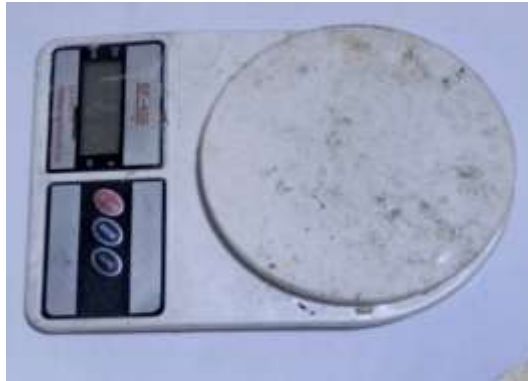
Kuas ini berguna untuk membersihkan cetakan dari sisa-sisa kotoran komposit.



Gambar 3. 2 Kuas

3. Digital

Timbangan ini berfungsi menimbang massa serat, resin yang akan digunakan.



Gambar 3. 3 Neraca Digital

4. Pengaduk

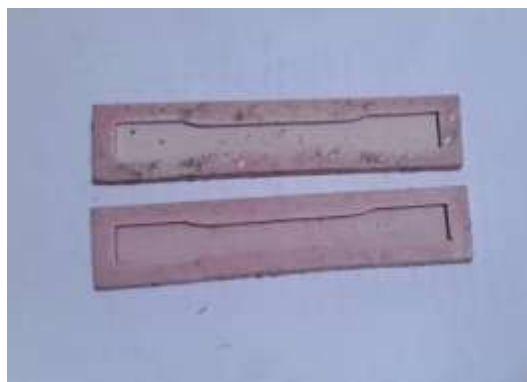
Berfungsi sebagai mengaduk resin dan katalis, yang telah dimasukkan kedalam gelas ukur.



Gambar 3. 4 Pengaduk

5. Cetakan Spesimen

Cetakan spesimen ini berfungsi sebagai wadah untuk mencetak spesimen.



Gambar 3. 5 Cetakan Spesimen

6. Gelas Ukur

Gelas ukur ini berfungsi untuk melarutkan NaOH padat serta mendapatkan volume resin yang akan dipakai dan mencampur resin dengan katalis.



Gambar 3. 6 Gelas Ukur

7. Gunting

Gunting ini berfungsi untuk memotong serat ampas tebu sampai dengan ukuran yang diinginkan.



Gambar 3. 7 Gunting

8. Oven

Oven ini berfungsi untuk mengeringkan serat ampas tebu setelah melalui perendaman untuk menghilangkan kadar air.



Gambar 3. 8 Oven

9. Sarung Tangan

Sarung tangan ini berfungsi untuk menghindari kontak langsung tangan dengan bahan yang dipakai pada saat pembuatan spesimen.



Gambar 3. 9 Sarung Tangan

10. Jangka Sorong

Jangka sorong ini berfungsi untuk mengukur ukuran spesimen secara akurat.



Gambar 3. 10 Jangka Sorong

11. Sisir Besi

Sisir besi ini berfungsi untuk memudahkan pengambilan serat agar sisa-sisa gabus ampas tebu tidak ikut.



Gambar 3. 11 Sisir Besi

3.2.2 Bahan

1. Serat Komposit

Serat ampas tebu digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan spesimen komposit dan sebagai penguat komposit.



Gambar 3. 12 Serat Ampas Tebu

2. Resin Epoxy

Resin *epoxy* sebagai matriks dan merupakan resin yang digunakan saat pencetakan komposit dilakukan, dengan ciri-ciri berwarna putih bening. Resin ini disertai hardener yang berwarna kuning dengan perbandingan pencampuran antara resin dengan hardener.



Gambar 3. 13 Resin Epoxy

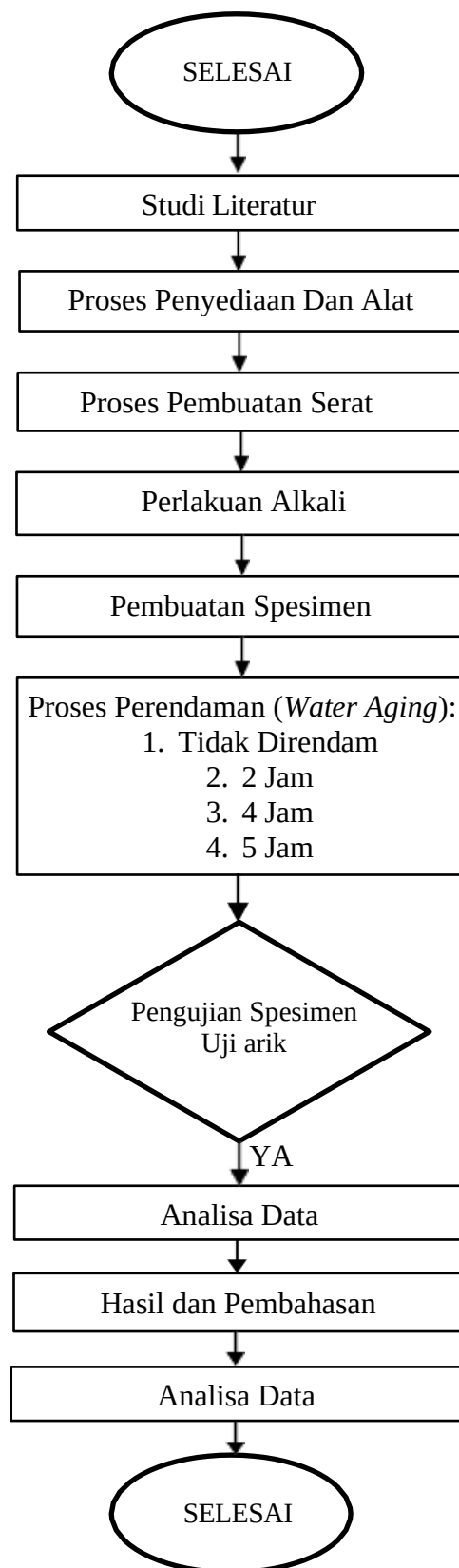
3. NaOH

Larutan NaOH 5% dibuat dengan melarutkan 5 gram NaOH dalam 100 mL air, yang berfungsi sebagai perlakuan alkali untuk membersihkan serat, menghilangkan lignin, dan meningkatkan daya ikat dengan resin.



Gambar 3. 14 NaOH

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. 15 Gambar diagram alir

3.4 Prosedur penelitian

3.4.1 Proses Persiapan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas tebu yang diperoleh dari limbah hasil pengolahan tebu. Ampas tebu yang digunakan dipilih secara visual untuk memastikan tidak tercampur dengan kotoran kasar seperti tanah, pasir, atau sisa bahan lainnya dalam jumlah besar. Ampas tebu yang telah dipilih dipisahkan dari kulitnya agar lebih mudah dalam proses pengambilan seratnya. Kemudian, ampas tebu yang sudah dipisahkan dari kulitnya disisir menggunakan sisir besi agar terpisah dari sisa-sisa gabus yang terdapat pada ampas tebu. Setelah disisir, serat tebu dipotong-potong untuk menghasilkan panjang serat yang diinginkan. Selain itu, bahan kimia yang digunakan untuk perlakuan adalah natrium hidroksida (NaOH).

3.4.2 Proses Pembersihan Serat Ampas Tebu

Serat tebu yang telah diperoleh dicuci menggunakan air bersih hingga kotoran yang menempel di permukaan serat hilang. Proses ini dilakukan dengan merendam serat dengan air bersih, lalu mengaduknya secara perlahan. Air bekas rendaman dibuang dan proses pencucian diulang hingga air rendaman tampak bersih. Proses pembersihan serat ini dilakukan untuk memastikan bahwa kotoran fisik yang menempel pada serat tidak memengaruhi hasil perlakuan alkali maupun kualitas ikatan antara serat dan matriks pada tahap pembuatan komposit.



Gambar 3. 16 Proses pembersihan serat ampas tebu dengan air bersih

Serat yang telah bersih kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 80°C selama 30 menit. Proses pengeringan ini bertujuan untuk mempersiapkan serat agar siap digunakan pada tahap perlakuan selanjutnya.



Gambar 3. 17 Proses pengeringan serat ampas tebu dari air bersih

3.4.3 Proses Perlakuan dengan NaOH

Perlakuan alkali dilakukan untuk memperbaiki kualitas serat ampas tebu dengan cara mengurangi kandungan lignin, hemiselulosa, serta kotoran yang masih menempel pada permukaan serat. Serat yang telah melalui tahap pembersihan kemudian direndam dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam. Selama perendaman, larutan NaOH akan menghilangkan komponen non-selulosa sehingga permukaan serat menjadi lebih kasar. Kondisi ini diharapkan dapat meningkatkan ikatan antara serat dan matriks resin.



Gambar 3. 18 Proses perlakuan alkali dengan NaOH 5% selama 2 jam

Setelah proses perendaman selesai, serat dicuci menggunakan air bersih hingga mencapai kondisi netral guna menghilangkan sisa larutan NaOH. Selanjutnya, serat dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 80°C selama 30 menit. Serat yang telah melalui perlakuan ini kemudian siap digunakan dalam proses pembuatan komposit.

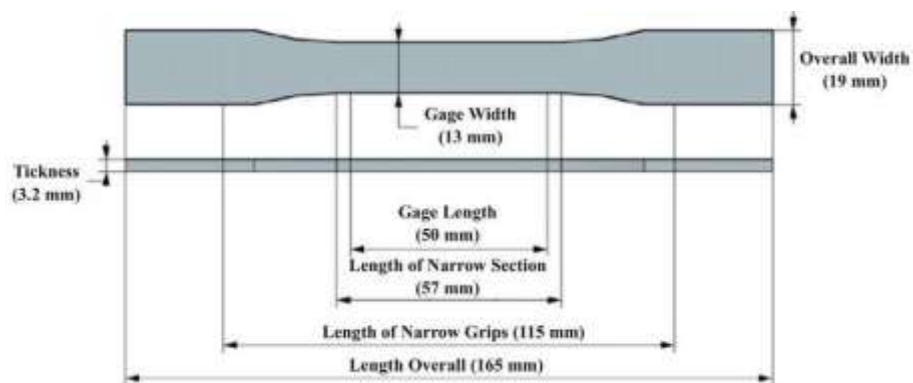


Gambar 3. 19 Proses pengeringan serat ampas tebu setelah perlakuan

3.4.4 Proses Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen pada penelitian ini memiliki beberapa tahap yaitu:

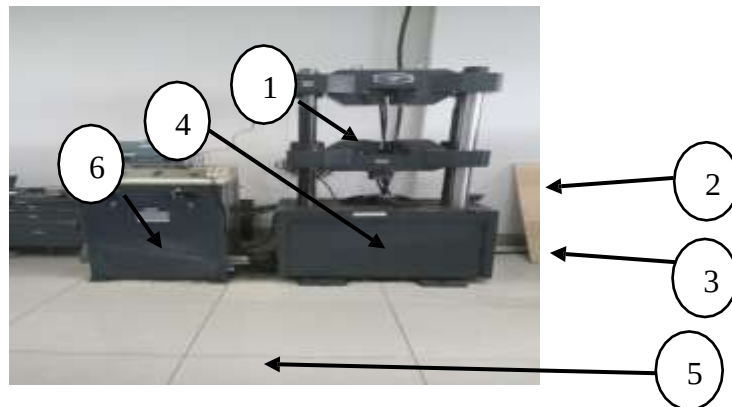
1. Menyiapkan cetakan sesuai standar ASTM D63.



Gambar 3. 20 Ukuran cetakan spesimen pengujian

2. Menimbang serat sesuai komposisi yang diperlukan.
3. Letakkan Serat yang telah di timbang kedalam cetakan.
4. Menyediakan resin dan hardener, lalu dicampurkan ke dalam gelas ukur dengan perbandingan 2:1, kemudian diaduk hingga merata.
5. Tuangkan resin yang telah dicampur dengan hardener kedalam cetakan yang telah diisi dengan serat.
6. Pasitkan resin masuk dengan merata ke seluruh cetakan hingga resin memenuhi permukaan cetakan.
7. Biarkan campuran ini mengering kurang lebih selama 1 jam – 3 jam dan menjadi material yang keras.
8. Setelah mengering, keluarkan spesimen dari cetakan, dan spesimen pun siap diuji.

3.4.5 Langkah-langkah Pengujian Spesimen Uji Tarik



Gambar 3. 21 Set up alat uji

Keterangan:

1. *Load cell*
2. *Chuck atas*
3. *Chuck bawah*
4. *Hydraulic*
5. *Pin crosshead operation*
6. *UTM control panel*

Adapun langkah-langkah pengujian spesimen uji Tarik adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat uji serta bahan bahan yang akan digunakan untuk melakukan pengujian.
2. Menghubungkan laptop dengan loadcell.
3. Memasang spesimen pada chuck atas dan mengunci baut cekamnya agar spesimen tidak lepas.
4. Hidupkan mesin uji dengan alur turun agar spesimen bisa dipasang pada pencekam bawah.
5. Mengunci baut pencekam bawah.
6. Setelah terpasang, atur tombol switch mesin uji dengan alur naik.
7. Mengoneksikan pembacaan load cell, lalu melakukan pengujian pada spesimen.

8. Melihat data pengujian pada computer sehingga spesimen terputus.
9. Setelah spesimen putus, tekan tombol off dan putuskan pembacaan pada software.
10. Melepaskan spesimen dari chuck atas dan bawah.
11. Menyimpan file data pengujian pada komputer.
12. Setelah selesai melakukan pengujian, kembalikan peralatan ke tempat semula.

3.4.6 Variabel yang Akan Diteliti

Adapun variabel yang akan diteliti pada penelitian ini yaitu :

1. Variabel bebas Perendaman (*Water Aging*) dengan waktu 2 jam, 4 jam, 8 jam, terhadap komposit serat ampas tebu.
2. Variabel terikat Kekuatan tarik komposit serat ampas tebu–epoxy.
3. Variabel kontrol
 - a. Fraksi berat ampas tebu dan resin epoxy
 - b. Waktu perendaman alkali
 - c. Dimensi spesimen uji tarik sesuai ASTM D638 Tipe 1.

Tabel 3. 2 Simbol Spesimen

No	Uraian	Simbol
1.	Tanpa melalui proses aging	A
	Spesimen 1	A1
	Spesimen 2	A2
	Spesimen 3	A3
2.	Melalui proses aging selama 2 jam	B
	Spesimen 1	B1
	Spesimen 2	B2
	Spesimen 3	B3
3.	Melalui proses aging selama 4 jam	C
	Spesimen 1	C1
	Spesimen 2	C2
	Spesimen 3	C3
4.	Melalui proses aging selama 8 jam	D

Spesimen 1	D1
Spesimen 2	D2
Spesimen 3	D3

Adapun gambar hasil pembuatan spesimen komposit uji tarik sesuai penjabaran Tabel 3.2 di atas dapat dilihat pada Gambar 3.22 sampai dengan 4.25.



Gambar 3. 22 Spesimen tanpa melalui proses perendaman (*water aging*) sebelum di uji



Gambar 3. 23 Spesimen melalui proses perendaman (*water aging*) selama 2 jam sebelum di uji



Gambar 3. 24 Spesimen melalui proses perendaman (*water aging*) selama 4 jam sebelum di uji



Gambar 3. 25 Spesimen melalui proses perendaman (*water aging*) selama 8 jam sebelum di uji.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Pengujian tarik dilakukan terhadap spesimen komposit epoksi diperkuat ampas tebu yang telah mengalami perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi 5% selama 2 jam dengan perbandingan matriks dan penguat 70:30. Spesimen komposit uji tarik dibuat menggunakan standar ASTM D638 Tipe I menggunakan mesin Hydraulic UTM model WEW-300D kapasitas tarik 500 kN, untuk mengetahui karakteristik mekanik berupa tegangan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas.

Pengujian dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan kecepatan penarikan konstan hingga spesimen mengalami patah. Data yang diperoleh berupa beban maksimum (N), dan pertambahan panjang (mm), kemudian dikonversi menjadi tegangan dan regangan menggunakan persamaan sesuai dengan rumus di atas. Adapun spesimen komposit uji tarik yang dikembangkan dalam penelitian ini berdasarkan variasi waktu antara spesimen komposit yang belum melalui proses aging dengan spesimen yang sudah melalui proses aging: 2 jam, 4 jam, 8 jam.

4.2 Hasil Pengujian Uji Tarik Komposit Diperkuat Serat Ampas Tebu

A. Komposit Uji Tarik Tanpa Melalui Proses Aging (A)

1. Tanpa melalui Proses Aging (A1, A2, A3)

Nilai rata-rata tegangan tarik maksimum sebesar 24,49 MPa dan modulus elastisitas sebesar 601,04 MPa menunjukkan bahwa komposit memiliki kekuatan tarik yang relatif stabil, namun belum optimal. Meskipun kekakuan material cukup baik, kemampuan menahan beban tarik masih terbatas, yang mengindikasikan bahwa ikatan antara serat ampas tebu dan matriks resin belum terbentuk secara maksimal.

B. Komposit Uji Tarik Melalui Proses Aging (B)

1. Melalui Proses Aging 2 Jam (B1, B2, B3)

Nilai rata-rata tegangan tarik maksimum sebesar 23,35 MPa dan modulus elastisitas sebesar 773,98 MPa menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekuatan

tarik disertai peningkatan kekakuan material. Hal ini mengindikasikan bahwa proses aging mulai memengaruhi struktur komposit, di mana material menjadi lebih kaku, namun kemampuan menahan beban tarik berkurang akibat menurunnya deformasi.

2. Melalui Aging 4 Jam (C1, C2, C3)

Nilai rata-rata tegangan tarik maksimum sebesar 19,94 MPa dan modulus elastisitas sebesar 786,11 MPa menunjukkan penurunan kekuatan tarik yang lebih signifikan serta peningkatan kekakuan material. Regangan yang semakin kecil menunjukkan bahwa material cenderung lebih getas. Hal ini menandakan bahwa semakin lama proses aging, semakin besar penurunan kualitas ikatan antara serat dan matriks, sehingga komposit menjadi lebih kaku namun lebih mudah mengalami kegagalan.

3. Melalui Proses Aging 8 Jam (D1, D2, D3)

Nilai rata-rata tegangan tarik maksimum sebesar 13,86 MPa dan modulus elastisitas sebesar 639,74 MPa menunjukkan penurunan kekuatan tarik yang sangat signifikan. Selain itu, nilai modulus elastisitas juga mengalami penurunan dibandingkan aging 2 dan 4 jam, yang menandakan bahwa material tidak hanya semakin getas tetapi juga mulai kehilangan kekakuannya. Hal ini mengindikasikan bahwa proses aging yang terlalu lama menyebabkan degradasi yang lebih parah pada struktur komposit, sehingga baik kekuatan maupun kekakuannya menurun.

4.3 Hasil perbandingan komposit epoxy diperkuat serat ampas tebu dari spesimen A, B, C dan D

Tabel 4. 1 Perbandingan Rata-rata Tegangan Tarik, Regangan dan Modulus Elastisitas

Perlakuan	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan	Modulus Elastisitas (MPa)
Tanpa Proses Aging Air	24,49	0,04078	601,04
Water Aging 2 jam	23,35	0,03015	773,98
Water Aging 4 jam	19,94	0,02357	786,11
Water Aging 8 jam	13,86	0,02167	639,74

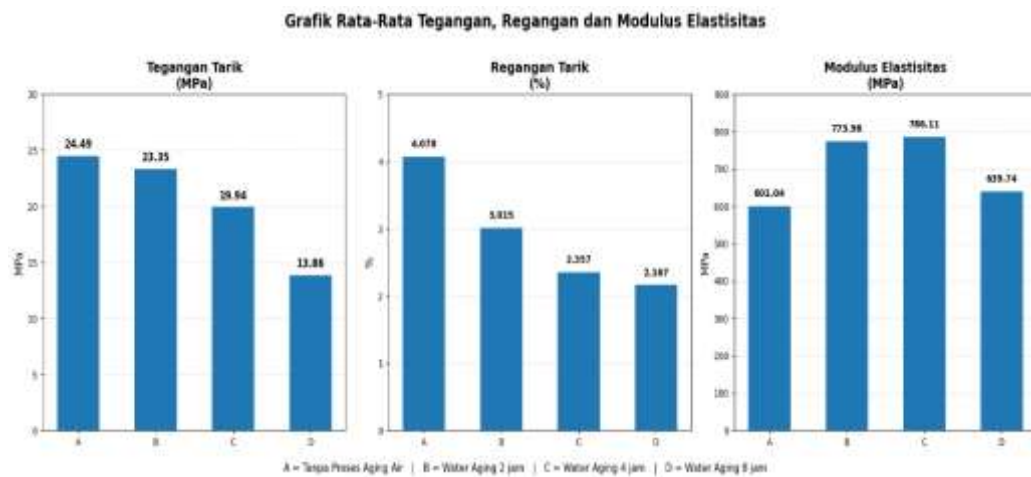
Sumber: Data hasil pengolahan, 2026

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa perlakuan aging memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik komposit. Kondisi tanpa aging menghasilkan nilai tegangan tarik tertinggi, sedangkan peningkatan waktu aging menyebabkan penurunan kekuatan tarik dan regangan. Sementara itu, nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada aging 4 jam. Hal ini menunjukkan bahwa proses aging dalam waktu tertentu dapat meningkatkan kekakuan material, namun secara umum cenderung menurunkan kekuatan tarik komposit, terutama pada durasi aging yang lebih lama.

Tabel 4. 2 Tabel Tingkat Degradasi Kekuatan Tarik Komposit

Perlakuan	Kekuatan Tarik (MPa)	Penurunan (MPa)	Degradasi (%)
Tanpa Proses Aging Air	24,49	0,00	0,00
<i>Water Aging</i> 2 jam	23,35	1,14	4,66
<i>Water Aging</i> 4 jam	19,94	4,55	18,58
<i>Water Aging</i> 8 jam	13,86	10,63	43,40

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa semakin lama waktu *water aging*, semakin besar tingkat degradasi kekuatan tarik komposit serat ampas tebu bermatriks resin epoksi. Penurunan kekuatan tarik mulai terjadi pada *water aging* selama 2 jam sebesar 4,66%, kemudian meningkat menjadi 18,58% pada *water aging* 4 jam dan mencapai 43,40% pada *water aging* 8 jam. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penyerapan air selama proses *water aging* berpengaruh terhadap penurunan kemampuan komposit dalam menahan beban tarik akibat berkurangnya kualitas ikatan antara serat dan matriks.berkurangnya kualitas ikatan antara serat dan matriks.



Gambar 4. 1 Grafik nilai rata-rata tegangan dan regangan komposit Serat ampas tebu



Gambar 4. 2 Spesimen sesudah diuji tanpa proses *water aging*



Gambar 4. 3 Spesimen sesudah diuji melalui proses *water aging* selama 2 jam



Gambar 4. 4 Spesimen sesudah diuji melalui proses water aging selama 4 jam



Gambar 4. 5 Spesimen sesudah diuji melalui proses water aging selama 8 jam

4.4 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian menunjukkan bahwa water aging berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit serat ampas tebu bermatriks epoxy. Nilai tegangan tarik rata-rata tanpa water aging sebesar 24,49 MPa, kemudian menurun menjadi 23,35 MPa pada 2 jam, 19,94 MPa pada 4 jam, dan 13,86 MPa pada 8 jam. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman, semakin besar degradasi kekuatan tarik komposit, dengan tingkat degradasi masing-masing sebesar 4,66%, 18,58%, dan 43,40%. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Sharma et al. (2025) yang menggunakan komposit serat ampas tebu–epoxy dan menunjukkan bahwa peningkatan waktu perendaman menyebabkan peningkatan penyerapan air serta berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa perlakuan alkali dapat membantu meningkatkan sifat mekanik dan mengurangi penyerapan air. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bahwa paparan air merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan performa mekanik komposit serat ampas tebu–epoxy.

Hasil penelitian ini juga relatif mendekati penelitian Prasetya et al. (2025) yang memperoleh kekuatan tarik sebesar 26,43 MPa pada komposit serat ampas tebu dengan matriks epoxy. Perbedaan nilai tersebut dapat dipengaruhi oleh perbedaan komposisi, perlakuan serat, proses pembuatan, dan kondisi pengujian. Selain tegangan tarik, nilai regangan pada penelitian ini juga mengalami penurunan dari 0,04078 tanpa water aging menjadi 0,02167 setelah 8 jam. Sementara itu, modulus elastisitas meningkat dari 601,04 MPa menjadi 786,11 MPa pada 4 jam, kemudian menurun menjadi 639,74 MPa pada 8 jam. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa water aging tidak hanya menurunkan kekuatan dan kemampuan deformasi komposit, tetapi juga menyebabkan perubahan kekakuan material.

Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil dengan Penelitian Sebelumnya

Parameter	Penelitian Ini	Sharma et al. (2025)	Prasetya et al. (2025)
Penguat	Serat ampas tebu	Serat ampas tebu + <i>wood apple shell</i>	Serat ampas tebu
Matriks	Epoxy	Epoxy	Epoxy
Fraksi serat	30%	30%	Menggunakan komposisi E70
Perlakuan serat	NaOH 5%, 2 jam	Perlakuan alkali	Tidak menjadi variabel utama
Pengujian tarik	ASTM D638 Tipe I	ASTM D638-10	Uji tarik
Kondisi awal	24,49 MPa	4,20 MPa (TB0)	26,43 MPa
Pengaruh air	<i>Water aging</i> 0–8 jam	<i>Water absorption</i> hingga 120 jam	Tidak menjadi fokus utama
Hasil utama	Kekuatan turun menjadi 13,86 MPa pada 8 jam	Penyerapan air meningkat terhadap waktu	Epoxy menghasilkan 26,43 MPa
Fokus penelitian	Pengaruh waktu <i>water aging</i>	Pengaruh perlakuan alkali, filler, dan air	Perbandingan epoxy dan polyester

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Durasi perendaman memengaruhi sifat mekanik komposit serat ampas tebu–epoksi secara signifikan, di mana kekuatan tarik dan regangan menunjukkan tren menurun seiring bertambahnya waktu perendaman, sementara modulus elastisitas meningkat hingga durasi 4 jam sebelum menurun pada 8 jam.
2. Terjadi peningkatan degradasi kekuatan tarik seiring lamanya perendaman, yaitu sebesar 4,66% (23,35 MPa) pada 2 jam, 18,58% (19,94 MPa) pada 4 jam, dan degradasi tertinggi sebesar 43,40% (13,86 MPa) pada 8 jam dibandingkan spesimen tanpa *water aging* (24,49 MPa).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan variasi konsentrasi larutan alkali untuk mengetahui konsentrasi optimum yang menghasilkan sifat mekanik terbaik.
2. Melakukan pengujian tambahan seperti Uji impak, Uji lentur (*bending test*), Uji densitas, Analisis morfologi permukaan menggunakan SEM
3. Melakukan pengujian ketahanan terhadap lingkungan (kelembaban dan temperatur) untuk mengetahui stabilitas material dalam aplikasi nyata.
4. Mengkaji penggunaan jenis matriks lain untuk mengetahui pengaruh kompatibilitas terhadap kekuatan komposit.
5. Mengembangkan penelitian ini ke arah aplikasi struktural ringan berbasis material ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad Nadji Shabiri, Rizky Salaam Ritonga, & M. Hendra S. Ginting. (2014). Pengaruh Rasio Epoksi/Ampas Tebu Dan Perlakuan Alkali Pada Ampas Tebu Terhadap Kekuatan Bentur Komposit Partikel Epoksi Berpengisi Serat Ampas Tebu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(3), 28–31. <https://doi.org/10.32734/jtk.v3i3.1638>
- Amin, M. (2020). Analisis Sifat Mekanik Material Komposit. *Ilmiah*, d(September), 55–61.
- Artha Sastra, I. P. K., Sari, N. H., & Sujita, S. (2013). Analisis Uji Penyerapan Air Dan Struktur Mikro Komposit Laminate Hybrid Serat Sisal Dan Batang Pisang Dengan Matrik Epoxy. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(1), 41–49. <https://doi.org/10.29303/d.v3i1.87>
- Babu, T. N., Singh, S., Prabha, D. R., Mishra, S., & Pandey, V. (2024). Mechanical, machinability and water absorption properties of novel kenaf fiber, glass fiber and graphene composites reinforced with epoxy. *Scientific Reports*, 14(1), 1–21. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81314-0>
- Boyle, M., Blair, D., Wu, Y.-J., Wang, Y.-S., Floryancic, B., & Mackenzie, P. (2015). *Composite material for structural applications*.
- César dos Santos, J., Ávila de Oliveira, L., Panzera, T. H., Remillat, C. D. L., Farrow, I., Placet, V., & Scarpa, F. (2020). Ageing of autoclaved epoxy/flax composites: Effects on water absorption, porosity and flexural behaviour. *Composites Part B: Engineering*, 202, 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108380>
- Fathoni, S. N., & Rohmawati, L. (2023). Sifat Fisik Dan Mekanik Komposit Berpenguat Serat Alam. *Inovasi Fisika Indonesia*, 12(3), 63–69. <https://doi.org/10.26740/ifi.v12n3.p63-69>
- Fitri, W., & Mora, M. (2018). Pengaruh Persentase Serbuk Ampas Tebu terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Semen Partikel. *Jurnal Fisika Unand*, 7(4), 367–373. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.4.367-373.2018>
- G, P. C., Reddy, M. S., Rajendrachari, S., Mahale, R. S., Mahesh, V., & Pandith, A. (2024). The Behavior of Banyan (B)/Banana (Ba) Fibers Reinforced Hybrid Composites Influenced by Chemical Treatment on Tensile, Bending and Water Absorption Behavior: An Experimental and FEA Investigation. *Journal of*

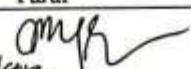
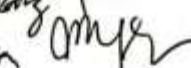
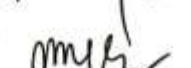
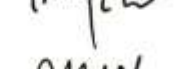
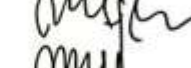
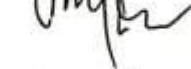
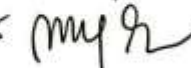
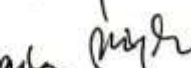
- Composites Science*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/jcs8010031>
- Istiqbaliah, H., Fauzi, A. S., Nadliroh, K., & Mahmudi, H. (2023). Analisa Pengaruh Proses Alkali Pada Komposit Serat Tebu Bermatrik Polimer. *Jurnal Mesin Nusantara*, 5(2), 189–200. <https://doi.org/10.29407/jmn.v5i2.19413>
- Johnson, L. M., & Huffman, N. D. (2017). *Rheology of Epoxy/Thermoplastic Blends BT - Handbook of Epoxy Blends* (J. Parameswaranpillai, N. Hameed, J. Pionteck, & E. M. Woo (eds.); pp. 613–648). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40043-3_21
- Kumar, R., Ul Haq, M. I., Sharma, sanjay mohan, Raina, A., & Anand, A. (2021). Effect of water absorption on mechanical and tribological properties of Indian ramie/epoxy composites. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 236, 1871–1879. <https://doi.org/10.1177/13506501211005635>
- Linda, H., Dinda, A., & Azimatur, R. (2021). Pembuatan Biofoam Berbahan Dasar Ampas Tebu dan Whey. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 43(2), 75–81.
- Oun, A., Manalo, A., Alajarmeh, O., Abousnina, R., & Gerdes, A. (2022). Long-Term Water Absorption of Hybrid Flax Fibre-Reinforced Epoxy Composites with Graphene and Its Influence on Mechanical Properties. *Polymers*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/polym14173679>
- Pramono, C., Widodo, S., & Ardiyanto, M. G. (2019). Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu Dengan Matriks Epoxy. *Journal of Mechanical Engineering*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.31002/jom.v3i1.1442>
- Sahu, P., & Gupta, M. K. (2022). Water absorption behavior of cellulosic fibres polymer composites: A review on its effects and remedies. *Journal of Industrial Textiles*, 51(5_suppl), 7480S-7512S. <https://doi.org/10.1177/1528083720974424>
- Salim, S., Rihayat, T., Riskina, S., & Safitri, A. (2021). Physical and mechanical properties of bamboo/flax fibre reinforced epoxy composite water absorption behaviour and high-temperature conditions. *Plastics, Rubber and Composites*, 50(8), 415–424. <https://doi.org/10.1080/14658011.2021.1910776>
- Sharma, V., Priyanka, Verma, M., Kumar, D., & Gupta, A. (2025). Multiparametric Investigation of Chemically Treated and Untreated Sugarcane Bagasse Fiber-Reinforced Epoxy Composites With Wood Apple Shell as Filler: From Waste to

- Green Composite. *International Journal of Polymer Science*, 2025(1), 2181735.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1155/ijps/2181735>
- Shettahalli Mantaiah, V. K. (2022). Water Absorption Behavior and Its Effect on Static Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Flax Fabric Reinforced Epoxy Composites. *Journal of Natural Fibers*, 19(15), 12415–12433.
<https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2060404>
- Temitayo Oyewo, A., Oluwole, L., Ajide, O. O., Omoniyi, T., Hamayun, M. H., & Hussain, M. (2022). Experimental and theoretical studies to investigate the water absorption behavior of carbon/banana fibre hybrid epoxy composite. *Materials Chemistry and Physics*, 285, 126084.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126084>
- Venkatesha, B. K., Saravanan, R., & Anand Babu, K. (2020). Effect of moisture absorption on woven bamboo/glass fiber reinforced epoxy hybrid composites. *Materials Today: Proceedings*, 45, 216–221.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.421>
- Widiarta, I. W., Nugraha, I. W. P., & Dantes, K. R. (2022). Komposit Berpenguat Serat Alam Batang Kulit Waru (Hibiscus Tiliaceust) Dengan Matrik Polyester. *Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin (JJPTM)*, 8(2), 1–17.
https://web.archive.org/web/20180416031047id_/https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJTM/article/viewFile/11411/7312
- Yani, M., Siregar, M. A., & Damanik, W. S. (2023). Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 6(1), 137–143. <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>
- yani, M., & Suroso, B. (2019). FT-UMSU 74 Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik Mechanical Properties Of Plastic Waste Composite. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 2(1), 74–83.
- Yudo, H., & Jatmiko, S. (2008). Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit. *Kapal*, 5(2), 95–101.
- Yuvaraju, B. A. G., & Kumar, R. (2026). Mechanical and moisture behaviour of abaca and sisal fibre-reinforced epoxy composites. *Emerging Materials Research*, 15(2), 233–243. <https://doi.org/10.1680/jemmr.25.00145>

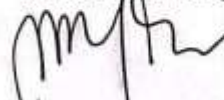
LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisa Efek Water Aging Variasi Waktu Terhadap Performa Kekuatan Tarik Komposit Serat Ampas Tebu
Nama : Muhammad Toha Tambunan
NPM : 2107230100
Dosen Pembimbing : M. Yani, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
		- Pemberian tugas soal TA	
		- Perbaiki bab I, Latar belakang Rumusan & Tujuan penelitian	
		- Perbaiki bab II, Tinjauan pustaka	
		- Perbaiki bab III, Metode penelitian	
		- Perbaiki flow chart &	
		- Perbaiki bab IV, hasil & Pembahasan	
		- Perbaiki bab V, Kesimpulan	
		- Aae seminar hasil	

Dosen Pembimbing



M. Yani, S.T., M.T



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Ppy/PT/RE/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#)

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENUNJUKAN DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 1683/IL3-AU/UMSU-07/F/2026

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 18 Agustus 2026 dengan ini Menetapkan :

Nama : Muhammad Toha Tambunan
Npm : 2107230100
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 10
Judul Tugas Akhir : **Analisa Efek Water Aging Dengan Variasi Waktu Terhadap Peforma Kekuatan Tarik Komposit serat Ampas Tebu**
Pembimbing : Muhammad Yani, S.T., M.T.
Dr. Suherman, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk writing tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dari tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya



Medan, 5 Rabiul Awal 1448 H
18 Agustus 2026 M

Dekan,



Ir. Ade Faisal, ST, M.Sc., Ph.D.
NIDN, 0123097203



DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2025-2026

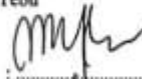
Nama : Muhammad Toha Tambunan
 NPM : 2107230100
 Judul Tugas Akhir : Analisa Efek Water Aging Dengan Variasi Waktu Terhadap Performa Kekuatan Tarik Komposit Ampas Tebu

TANDA TANGAN TIM DOSEN PENGUJI:

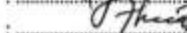
Pembimbing - I : Muhammad Yani, S.T., M.T.

Pembanding - I : Dr. Suherman, ST, MT

Pembanding - II : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.



.....



.....

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2207230031	ISMAIL	1. 
2	2207230122	M. KHOWAN DZAKI RAFIF	2. 
3	2107230103	BACUS BACUS PERMANA	3. 
4	2207230069	AULIA RAMMAN	4. 
5			5.
6			6.
7			7.
8			8.
9			9.
10			10.

Medan, 20 Juli 2026
 Ketua Prodi. Teknik Mesin



(.....)

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Muhammad Toha Tambunan
NPM : 2107230100
Judul Tugas Akhir : Analisa Efek Water Aging Dengan Variasi Waktu Terhadap Peforma Kekuatan Tarik Komposit Ampas Tebu
Dosen Pembimbing - I : Muhammad Yani, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - I : Dr. Suherman, ST, MT
Dosen Pembimbing - II : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

- ☐ 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ☒ 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
- ☐ 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

Perbaiki tesuor sarua dalam buku

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

Medan, 20 Juli 2026
Dosen Pembimbing - I

Dr. Suherman, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Muhammad Toha Tambunan
NPM : 2107230100
Judul Tugas Akhir : Analisa Efek Water Aging Dengan Variasi Waktu Terhadap Performa Kekuatan Tarik Komposit Ampas Tebu
Dosen Pembimbing - I : Muhammad Yani, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - II : Dr. Suherman, ST, MT
Dosen Pembimbing - II : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

- [] 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (colloquium)
[x] 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (colloquium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
[] 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

- Lengkapi Dokumentasi Pengujian
- Perbaiki kesimpulan, sesuai tugas
.....
.....
.....

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin

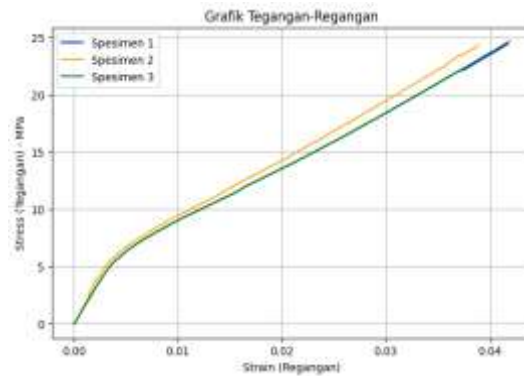

(.....)

Medan, 20 Juli 2026
Dosen Pembimbing - II


Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

1. Hasil pengujian tanpa melalui proses aging (A1, A2, A3)

No	Beban Maksimum (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan Tarik	Modulus Elastisitas (MPa)
1	1920,5	78	24,62	0,04187	588,01
2	1901,3	78	24,37	0,03887	626,96
3	1910,1	78	24,48	0,04162	588,17
Rata-rata			24,49	0,04078	601,04



Nilai Tegangan Tarik

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1920,5}{78} = 24,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1901,3}{78} = 24,37 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1910,1}{78} = 24,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma \text{ rata-rata} = \frac{24,62+24,37+24,48}{3} = 24,49 \text{ MPa}$$

Nilai Regangan Tarik

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\epsilon = \frac{3,34976}{80} = 0,04187$$

$$\epsilon = \frac{3,10984}{80} = 0,03887$$

$$\epsilon = \frac{3,32978}{80} = 0,04162$$

$$\epsilon \text{ rata-rata} = \frac{0,04187+0,03887+0,04162}{3} = 0,04078$$

Nilai Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{24,62 \text{ MPa}}{0,04187} = 588,01 \text{ MPa}$$

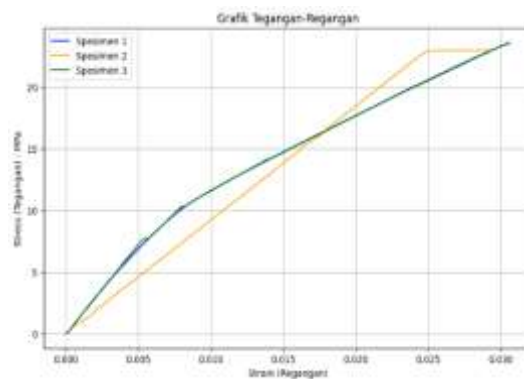
$$E = \frac{24,37 \text{ MPa}}{0,03887} = 626,96 \text{ MPa}$$

$$E = \frac{24,48 \text{ MPa}}{0,04162} = 588,17 \text{ MPa}$$

$$E \text{ rata-rata} = \frac{588,01 + 626,96 + 588,17}{3} = 601,04 \text{ Mpa}$$

2. Hasil pengujian melalui proses aging 2 Jam (B1, B2, B3)

No	Beban Maksimum (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan Tarik	Modulus Elastisitas (MPa)
1	1842,4	78	23,62	0.030654	770,05
2	1793,6	78	22,99	0.029407	781,78
3	1829,1	78	23,45	0.030405	770,11
Rata-rata			23,35	0,030155	773,98



Nilai Tegangan Tarik

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1842,4}{78} = 23,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1793,6}{78} = 22,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1829,1}{78} = 23,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma \text{ rata-rata} = \frac{23,62+22,99+23,45}{3} = 23,35 \text{ MPa}$$

Nilai Regangan Tarik

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\varepsilon = \frac{2,45232}{80} = 0,030654$$

$$\varepsilon = \frac{2,35226}{80} = 0,029407$$

$$\varepsilon = \frac{2,43236}{80} = 0,030405$$

$$\varepsilon \text{ rata-rata} = \frac{0,030654+0,029407+0,030405}{3} = 0,030155$$

Nilai Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{23,62 \text{ MPa}}{0,030654} = 770,05 \text{ MPa}$$

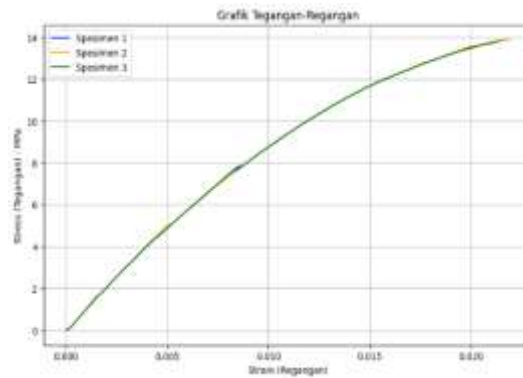
$$E = \frac{22,99 \text{ MPa}}{0,029407} = 781,78 \text{ MPa}$$

$$E = \frac{23,45 \text{ MPa}}{0,030405} = 770,11 \text{ MPa}$$

$$E \text{ rata-rata} = \frac{770,05+781,78+770,11}{3} = 773,98 \text{ MPa}$$

3. Melalui Aging 4 Jam (C1, C2, C3)

No	Beban Maksimum (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan	Modulus Elastisitas (MPa)
1	1566,4	78	20,08	0,02566	782,54
2	1551,9	78	19,89	0,02529	786,47
3	1549,8	78	19,86	0,02516	789,34
Rata-rata			19,94	0,02537	786,11



Nilai Tegangan Tarik

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1566,4}{78} = 20,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1551,9}{78} = 19,89 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1549,8}{78} = 19,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{rata-rata}} = \frac{20,08 + 19,89 + 19,86}{3} = 19,94 \text{ MPa}$$

Nilai Regangan Tarik

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0}$$

$$\epsilon = \frac{2,05318}{80} = 0,02566 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \frac{2,02324}{80} = 0,02529 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \frac{2,01334}{80} = 0,02516 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{\text{rata-rata}} = \frac{0,02566 + 0,02529 + 0,02516}{3} = 0,02537$$

Nilai Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{20,08 \text{ MPa}}{0,02556} = 782,54 \text{ MPa}$$

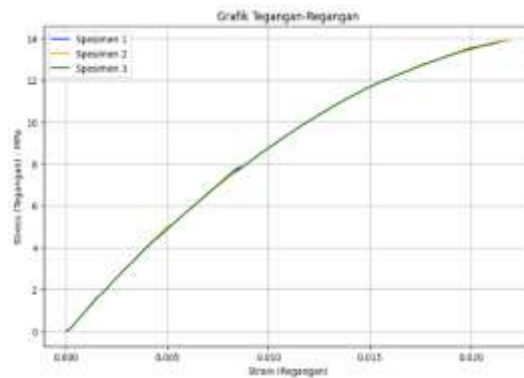
$$E = \frac{19,89 \text{ MPa}}{0,02529} = 786,47 \text{ MPa}$$

$$E = \frac{19,86 \text{ MPa}}{0,02516} = 789,34 \text{ MPa}$$

$$E \text{ rata-rata} = \frac{782,54+786,47+789,34}{3} = 786,11 \text{ MPa}$$

4. Melalui Proses Aging 8 Jam (D1, D2, D3)

No	Beban Maksimum (N)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan	Modulus Elastisitas (MPa)
1	1081,8	78	13,87	0,02168	639,76
2	1083,6	78	13,89	0,02192	633,66
3	1079,7	78	13,84	0,02143	645,82
Rata-rata			13,86	0,02167	639,74



Nilai Tegangan Tarik

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1081,8}{78} = 13,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1083,6}{78} = 13,89 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1079,7}{78} = 13,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma \text{ rata-rata} = \frac{13,87+13,89+13,84}{3} = 13,86 \text{ MPa}$$

Nilai Regangan Tarik

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0}$$

$$\epsilon = \frac{1,73436}{80} = 0,02168 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \frac{1,75434}{80} = 0,02192 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \frac{1,71442}{80} = 0,02143 \text{ MPa}$$

$$\epsilon \text{ rata-rata} = \frac{0,02168+0,02192+0,02143}{3} = 0,02167$$

Nilai Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{13,87 \text{ MPa}}{0,02168} = 639,76 \text{ MPa}$$

$$E = \frac{13,89 \text{ MPa}}{0,02192} = 633,66 \text{ MPa}$$

$$E = \frac{13,84 \text{ MPa}}{0,02143} = 645,82 \text{ MPa}$$

$$E \text{ rata-rata} = \frac{639,76+633,66+645,82}{3} = 639,74 \text{ Mpa}$$



A. Identitas Diri

Nama Lengkap	: Muhammad Toha Tambunan
Tempat/Tanggal Lahir	: Aek Torop, 02 September 2003
Alamat	: Jln. Masjid Taufik, No.110
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Umur	: 22 Tahun
Agama	: Islam
Kewarganegaraan	: Indonesia
Status	: Belum Menikah
Tinggi/Berat badan	: 177 cm / 75 kg
E-mail	: tohatambunan12@gmail.com
Nomor Telepon/HP	: 0895328613690
Motto hidup	: <i>“kenalilah dirimu sendiri, karena dengan mengenal diri, seseorang akan menemukan kekuatan untuk melangkah, keberanian untuk menghadapi tantangan, dan keteguhan untuk mencapai tujuan”</i>

B. Riwayat Pendidikan

Tahun 2008-2015	: SD Negeri 118173 Aek Torop
Tahun 2015-2018	: SMP Negeri 6 Torgamba
Tahun 2018-2021	: SMA Negeri 1 Torgamba
Tahun 2021-2026	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara