

**PENGARUH KADAR PERENDAMAN HIDROGEN PEROKSIDA PADA
KOMPOSIT FIBER TEBU EPOKSI DENGAN METODE *HAND LAY UP*
UNTUK BODI MOBIL**

SKIRIPSI

ZIAD NUR ALIF

20210110037



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER, DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA SUKABUMI
2025**

**PENGARUH KADAR PERENDAMAN HIDROGEN PEROKSIDA PADA
KOMPOSIT FIBER TEBU EPOKSI DENGAN METODE *HAND LAY UP*
UNTUK BODI MOBIL
SKIRIPSI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam Menempuh
Gelar Sarjana Teknik Mesin*

ZIAD NUR ALIF
20210110037



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER, DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA SUKABUMI
2025**

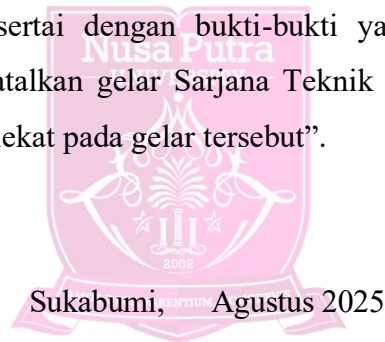
PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : PENGARUH KADAR PERENDAMAN
HIDROGEN PEROKSIDA PADA KOMPOSIT
FIBER TEBU EPOKSI DENGAN METODE
HAND LAY UP UNTUK BODI MOBIL

NAMA : ZIAD NUR ALIF

NIM : 20210110037

“Saya menyatakan dan bertanggung jawab dengan sebenarnya bahwa Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya. Jika pada waktu selanjutnya ada pihak lain yang mengklaim bahwa skripsi ini sebagai karyanya, yang disertai dengan bukti-bukti yang cukup, maka saya bersedia untuk dibatalkan gelar Sarjana Teknik beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar tersebut”.



Ziad Nur Alif

Penulis

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH KADAR PERENDAMAN HIDROGEN
PEROKSIDA PADA KOMPOSIT FIBER TEBU
EPOKSI DENGAN METODE *HAND LAY UP* UNTUK
BODI MOBIL
NAMA : ZIAD NUR ALIF
NIM : 20210110037

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Sukabumi, Agustus 2025

Ketua Program Studi
Teknik Mesin

Dosen Pembimbing

Lazuardi Akmal Islami, M. Si
NIDN. 0415039402

Zaid Sulaiman, M.T
NIDN. 0410109701



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH KADAR PERENDAMAN HIDROGEN
PEROKSIDA PADA KOMPOSIT FIBER TEBU
EPOKSI DENGAN METODE *HAND LAY UP* UNTUK
BODI MOBIL

Nama : ZIAD NUR ALIF

NIM : 20210110037

Skripsi Ini Telah Diujikan Dan Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji Pada
Sidang Skripsi Tanggal Agustus 2025. Menurut Pandangan Kami, Skripsi
Ini Memadai Dari Segi Kualitas Untuk Tujuan Penganugrahan Gelas Sarjana
Teknik Mesin

Sukabumi, Agustus 2025

Dosen Pembimbing

Penguji 1

Zaid Sulaiman, M.T
NIDN. 0410109701

Penguji 2



Lazuardi Akmal Islami, M. Si
NIDN. 0415039402

Ketua Program Studi
Teknik Mesin

Prof. Sivakumar N S, B.E., M.E., Ph. D
NIP. 0120240039

Lazuardi Akmal Islami, M. Si
NIDN. 0415039402

Plh. Dekan Fakultas Teknik, Komputer dan Desain

Ir. Paikun, S.T., M. T., IPM., ASEAN Eng.
NIDN. 0402037401

MOTTO

“Belajarlah seperti lilin—ketika mampu berdiri tegak dan menyala, ia pun mampu menyalakan lilin lainnya.”

-Ziad Nur Alif-

"Kegagalan bukanlah musuh, melainkan teman yang perlu kita rangkul agar dapat belajar dan tumbuh bersamanya. "

-Ziad Nur Alif-

“Ia yang tidak puas dengan yang sedikit, tidak akan pernah puas dengan yang banyak.”

-Socrates-



PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan karya sederhana ini untuk keluargaku tercinta
yang tak henti memberikan cinta, dukungan, dan doa di setiap perjalanan
hidupku.*

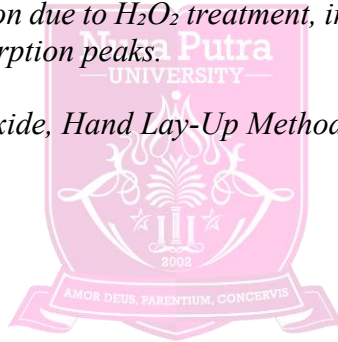
Terima kasih, dan I love you.



ABSTRACT

Composite is a material formed by combining two or more different components to achieve enhanced mechanical properties. In this study, epoxy resin was used as the matrix and sugarcane bagasse fiber as an environmentally friendly natural reinforcement. To improve adhesion between the fiber and the matrix, the fibers were treated using hydrogen peroxide (H_2O_2) solution with varying concentrations: UT 0%, UP 3%, UP 4%, and UP 5%, with an immersion time of 60 minutes. The composite fabrication was carried out using the hand lay-up method with an RTV-14 silicone rubber mold. The tests conducted included density testing, tensile testing, fracture pattern observation, and FTIR analysis. The density test showed that increasing H_2O_2 concentration led to an increase in composite density, with the highest density recorded at UP 5% (1.1115 g/cm^3) and the lowest at UT 0% (0.9652 g/cm^3). The tensile test results showed the highest tensile strength at UP 5% (32.22 MPa) and the lowest at UT 0% (13.41 MPa). The maximum strain was obtained at UP 4% (23%), but it decreased at UP 5% (15.1%), indicating possible fiber structure degradation at higher concentrations. The highest elastic modulus was recorded at UP 5% with a value of 248.14 MPa. Fracture pattern observation revealed fiber pull-out and debonding in untreated composites, while the UP 5% specimens showed a dominant overload mechanism. FTIR analysis confirmed lignin degradation due to H_2O_2 treatment, indicated by reduced intensity in the aromatic group absorption peaks.

Keywords: *Hydrogen Peroxide, Hand Lay-Up Method, Epoxy Resin, Sugarcane Fiber*



ABSTRAK

Komposit merupakan material gabungan dua atau lebih komponen berbeda untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih unggul. Dalam penelitian ini, resin epoksi digunakan sebagai matriks dan serat ampas tebu sebagai penguat alami yang ramah lingkungan. Untuk meningkatkan adhesi antara serat dan matriks, serat direndam dalam larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan variasi kadar UT 0%, UP 3%, UP 4%, dan UP 5% selama 60 menit. Proses fabrikasi dilakukan menggunakan metode hand lay-up dengan cetakan karet silikon RTV-14. Pengujian meliputi uji densitas, uji tarik, observasi pola patahan, dan analisis FTIR. Hasil uji densitas menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar H_2O_2 , nilai kepadatan komposit meningkat, dengan densitas tertinggi 1,1115 g/cm³ pada kadar UP 5% dan terendah 0,9652 g/cm³ pada kadar UT 0%. Uji tarik menunjukkan kekuatan tertinggi pada kadar UP 5% sebesar 32,22 MPa, sedangkan terendah pada UT 0% sebesar 13,41 MPa. Regangan maksimum tercapai pada kadar UP 4% sebesar 23%, namun menurun pada kadar UP 5% menjadi 15,1%, mengindikasikan kemungkinan degradasi struktur serat pada kadar tinggi. Nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada UP 5% sebesar 248,14 MPa. Pengamatan pola patahan menunjukkan adanya *fiber pull-out* dan *debonding* pada komposit tanpa perlakuan, sedangkan pada kadar UP 5% dominan oleh mekanisme *overload*. Analisis FTIR menunjukkan degradasi lignin akibat perlakuan H_2O_2 yang ditandai dengan penurunan intensitas pada gugus aromatik.

Kata kunci: Hidrogen Peroksida, Metode *Hand Lay-Up*, Resin Epoksi, Serat Tebu



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, Atas segala berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.

Tujuan penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan (S1) Jurusan Teknik Mesin di UNIVERSITAS NUSA PUTRA. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah mendukung dalam penyusunan skripsi ini. Ucapan terimakasih ini penulis tunjukan kepada Yth:

1. Kepada kedua orang tua saya ayah “Ia Setiawan” dan mamah “Imas Maslih” yang telah memberi bantuan dari segi materi dan do’a semoga diberi kesehatan terus.
2. Bapak Dr. Kurniawan ST., M.Si.,MM selaku Rektor Universitas Nusa Putra.
4. Bapak Anggy Pradiftha Junfithrana, S.Pd., M.T selaku Wakil Rektor I Bidang Akademik Universitas Nusa Putra.
5. Kepada Bapak Lazuardi Akmal Islami, M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Nusa Putra, yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan selama proses perkuliahan.
6. Bapak Zaid Sulaiman, M.T selaku dosen pembimbing I Universitas Nusa Putra Sukabumi, yang telah memberikan waktu, uang dan juga pikiran untuk membimbing saya dalam penyusunan skripsi ini.
7. Para dosen program Studi Teknik mesin Universitas Nusa Putra.
8. Kepada kekasih saya, Siti Nur Mulya Tsani A.Md.Kep, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa dalam setiap proses yang saya jalani
9. Rekan-rekan mahasiswa yang telah memberikan *support*.

Penulis menyadari bahwa Laporan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan keterbatasan ilmu pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran guna menambah kesempurnaan laporan ini dimasa yang akan datang.

Sukabumi, Agustus 2025

Penulis Ziad Nur Alif



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik UNIVERSITAS NUSA PUTRA, saya bertanda tangan Di bawah ini:

Nama : Ziad Nur Alif
Nim : 20210110037
Program Studi : Teknik Mesin
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nusa Putra **Hak Bebas Royalty None eksklusif** (*Non-Exclusive Royalti- Free Right*) atas karya ilmiah yang berjudul:

PENGARUH KADAR PERENDAMAN HIDROGEN PEROKSIDA PADA KOMPOSIT FIBER TEBU EPOKSI DENGAN METODE HAND LAY UP UNTUK BODI MOBIL. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneklusif ini Universitas Nusa Putra berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data base), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai pebulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di: Sukabumi

Pada, Agustus 2025

Yang menyatakan

Ziad Nur Alif

DAFTAR ISI

SKIRIPSI.....	i
PERNYATAAN PENULIS.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRACT.....	vii
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II.....	Error! Bookmark not defined.
TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Komposit	Error! Bookmark not defined.
2.2 Komposit Serat	Error! Bookmark not defined.
2.3 Serat.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 Serat Tebu.....	Error! Bookmark not defined.
2.5 Perlakuan Kimia	Error! Bookmark not defined.
2.6 Karakteristik Hidrogen peroksida (H ₂ O ₂).....	Error! Bookmark not defined.
2.7 Matriks.....	Error! Bookmark not defined.
2.8 Resin Epoksi.....	Error! Bookmark not defined.
2.9 <i>Interface</i>	Error! Bookmark not defined.
2.10 Metode Hand Lay Up	Error! Bookmark not defined.
2.11 Uji Densitas	Error! Bookmark not defined.

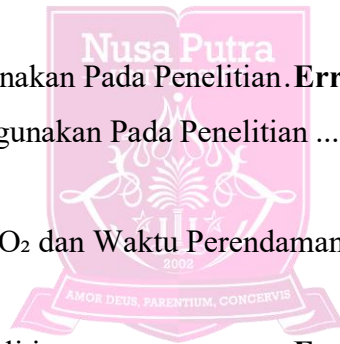
2.12 Uji Tarik	Error! Bookmark not defined.
2.13 Perhitungan Tegangan dan Regangan	Error! Bookmark not defined.
2.14 Pola Patahan	Error! Bookmark not defined.
2.15 Uji <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.16 Penelitian Sebelumnya	Error! Bookmark not defined.
2.17 Standar Sifat Mekanis Aluminium Untuk Bodi Mobil....	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Studi Literatur.....	Error! Bookmark not defined.
3.3 Persiapan Alat dan Bahan.....	Error! Bookmark not defined.
3.4 Proses Pembuatan Serat Tebu	Error! Bookmark not defined.
3.5 Pelakuan Hidrogen Peroksida Pada Serat Alam.....	Error! Bookmark not defined.
3.6 Proses pembuatan Cetakan	Error! Bookmark not defined.
3.7 Perhitungan Komposisi Komposit.....	Error! Bookmark not defined.
3.8 Pembuatan Sampel dengan Metode Hand Lay Up.....	Error! Bookmark not defined.
3.9 Pengujian Komposit	Error! Bookmark not defined.
3.9.1 Uji Densitas.....	Error! Bookmark not defined.
3.9.2 Uji Tarik.....	Error! Bookmark not defined.
3.9.3 Pengamatan Digital Mikroskop	Error! Bookmark not defined.
3.9.4 Uji <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	Error! Bookmark not defined.
3.10 Rancangan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Hasil Uji Densitas.....	Error! Bookmark not defined.
4.2 Hasil Uji Kekuatan Tarik.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Hasil Pengamatan Digital Mikroskop	Error! Bookmark not defined.
4.4 Hasil Uji FTIR.....	Error! Bookmark not defined.
4.5 Pembahasan	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	5
5.1 Kesimpulan.....	5
5.2 Saran.....	6

DAFTAR PUSTAKA	8
DAFTAR LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR TABEL

- Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Serat tebu [21].....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 2 Tabel Sifat Mekanik dari Serat Tebu [22] **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 3 Perbandingan Sifat Matriks *Thermoset* [25] **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 4 Keuntungan dan Kelemahan Proses Hand Lay Up [2] **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 5 Ukuran Spesimen [4]**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 6 Daftar bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan [32] **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 7 Standar Sifat Mekanis Aluminium Bodi Mobil [2] ..**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3. 1 Alat Yang Digunakan Pada Penelitian.**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3. 2 Bahan Yang Digunakan Pada Penelitian **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3. 3Variasi Kadar H_2O_2 dan Waktu Perendaman..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3. 4 Rancangan penelitian**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3. 5 Rancangan Pengujian.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 1 Variasi Kadar pada Uji Densitas.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 2 Data Hasil Uji Tarik Komposit dengan Variasi Konsentrasi Hidrogen Peroksida dengan waktu perendaman 60menit..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 3 Tabel Nilai Hasil Uji FTIR**Error! Bookmark not defined.**





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 komponen komposit [15]	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 2 Fase-fase dalam Komposit [17].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 3 Fibrous Composite [18].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 4 Komposit dengan Penguat Serat Pendek atau Pengisi Serat Natural [18].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 5 Komposit dengan Penguat Serat Panjang atau Pengisi Serat Natural [18].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 6 Ampas tebu [19].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 7 Simbol GHS Hidrogen peroksida (H_2O_2)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 8 Ilustrasi Skema Interfase dalam Komposit [27]	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 9 Proses Hand lay Up [29]	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 10 Proses Uji Tarik [24].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 11 Bentuk Spesimen Uji Tarik Dengan Standard ASMT D638 Tipe 4 [4].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 12 Grafik tegangan-regangan saat di uji Tarik [28]	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 13 Spektrum yang dihasilkan oleh Radiasi Inframerah [18].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 14 Skema Alat Spektroskopi FTIR [33]	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 2 Ampas Yang Diperoleh Dari Penjual Es Tebu	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 3 Proses Dari Ampas Menjadi Serat ...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 4 Proses perendaman serat tebu	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 5 Hasil perendaman serat tebu	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 6 Proses Penuangan Silicon Rubber RTV-48	Error! Bookmark not defined.

Gambar 3. 7 Cetakan Uji Tarik dan Uji Densitas dari Silicon Rubber **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 3. 8 Proses Menghilangkan Gelembung pada Resin **Error!** **Bookmark**
not defined.

Gambar 3. 9 Setelah Proses Penuangan Resin dan Serat Kedalam Cetakan **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 3. 10 Sampel Uji Tarik dan Uji Densitas **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 1 Grafik Hubungan antara Variasi Kadar H_2O_2 dengan Densitas **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4. 2 Grafik Hasil Uji Tarik **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 3 Grafik kekuatan tarik variasi kadar ... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 4 Grafik regangan variasi kadar **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 5 Grafik modulus variasi kadar **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 6 Pengamatan Digital Makro Pada Serat Tanpa Perlakuan UT 0%
..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 7 Pengamatan Digital Makro Pada Serat Kadar UP 3% **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4. 8 Pengamatan Digital Makro Pada Serat Kadar 4% **Error! Bookmark**
not defined.

Gambar 4. 9 Pengamatan Digital Makro Pada Serat Kadar UP 5% **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4. 10 Hasil Uji FTIR Serat Tebu Tanpa Pelakuan dan Perlakuan.... **Error!**
Bookmark not defined.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan jumlah penduduk yang besar serta kekayaan sumber daya alam yang melimpah, Indonesia telah menunjukkan kemajuan yang pesat di bidang industri, khususnya pada sektor manufaktur dan otomotif. [1]. Seiring dengan kemajuan industri otomotif, pemilihan material untuk kendaraan mulai beralih ke bahan yang memiliki kekuatan tinggi namun berbobot ringan. Material ini umumnya digunakan pada bagian kerangka dan bodi mobil untuk menggantikan logam berat seperti baja dan aluminium. Penggunaan bahan yang terlalu berat diketahui dapat memengaruhi performa kendaraan, seperti menurunkan kecepatan dan meningkatkan konsumsi bahan bakar [2]. Salah satu untuk menangani masalah dengan mengganti material bodi kendaraan menggunakan material komposit sehingga dapat mengurangi bobot dari kendaraan itu sendiri [3].

Komposit adalah material hasil perpaduan dari dua atau lebih komponen berbeda pada skala mikroskopis, yang umumnya terdiri atas kombinasi antara serat sebagai penguat dan matriks sebagai pengikat. [4]. Serat karbon termasuk jenis serat yang banyak dimanfaatkan dalam pembuatan material komposit, khususnya pada aplikasi bodi kendaraan [5]. Akan tetapi serat karbon relatif memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan dengan serat alam.

Serat alam berperan sebagai bahan penguat dalam komposit, dengan keunggulan menghasilkan material yang ringan, kuat, serta ramah lingkungan. Hal ini disebabkan ketersediaannya yang melimpah dan mudah diperoleh dari limbah pertanian. [6]. Salah satunya yaitu serat ampas tebu (*bagasse*). Ampas tebu dapat diperoleh dari sisa pengolahan industri gula. Pemanfaatan dari ampas tebu masih belum optimal karena dari proses pengolahan tebu menjadi gula, menghasilkan limbah berupa ampas tebu sekitar 32%. Pemanfaatan dari ampas tebu sebagai bahan bakar, bahan baku industri pulp/kertas dan industri jamu sekitar 60%, maka dari itu sisa yang belum dimanfaatkan sebanyak 40% [7]. Seperti ampas tebu yang dihasilkan dari pedagang es tebu yang belum dimanfaatkan, seperti contoh pedagang tebu yang berada di Jl. Veteran Kota Sukabumi, menghasilkan ampas tebu cukup banyak. Dalam satu minggu beliau mampu menjual ± 15 kg tebu dan

tebu yang digunakan berumur ± 9 bulan. Serat tebu juga memiliki sifat mekanik yang cukup baik, tidak korosif, *low density*, harganya yang relatif murah dan lebih ramah lingkungan karena dapat di daur ulang [4].

Serat alam memang memiliki beberapa kelemahan, terutama dalam hal kekuatan yang tidak setara dengan serat karbon. Salah satu tantangan utama adalah karakter hidrofilik dari serat alam, yang dapat mempengaruhi interaksi antara serat dan matriks dalam komposit. Untuk mengatasi masalah ini, serat alam dapat dimodifikasi agar lebih hidrofobik. Salah satu metode modifikasi permukaan serat alam adalah dengan menggunakan perlakuan kimia [8].

Perlakuan kimia yang sering digunakan pada serat alam, dengan tujuan untuk menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antar muka seperti hemiselulosa, lignin atau pektin. Dengan berkurangnya penyusun yang kurang efektif itu wettability serat oleh matriks akan semakin baik sehingga antarmuka pun akan meningkat [9]. Salah satunya menggunakan hidrogen peroksida yang memiliki beberapa keunggulan yaitu ketahanan yang baik serta dapat menghilangkan lignin sehingga dapat meningkatkan sifat hidrofobik serat [10]. Adapun pengaruh kadar yang digunakan oleh hidrogen peroksida untuk komposit yaitu agar serat dengan matriks menyatu dengan baik. Seperti penelitian Achmad Wildan yang telah melakukan penelitian menggunakan hidrogen peroksida terhadap sabut kelapa dengan waktu tetap selama 1jam menghasilkan kekuatan tarik tertinggi yaitu dengan pengaruh kadar 3% sebesar 78,44 MPa [11]. Peningkatan kadar dapat mempengaruhi sifat-sifat komposit secara signifikan. Misalnya, meningkatkan kadar serat penguat dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit, tetapi juga dapat membuatnya lebih rapuh dan menurunkan daya ikat antara serat dengan matriks [12]. Selain menggunakan perlakuan kimia penggunaan matriks juga berpengaruh pada kekuatan komposit,

Terdapat banyaknya matriks yang digunakan untuk pengikat pada serat, salah satunya matriks resin *epoxy*, resin *epoxy* juga memainkan peran penting dalam komposit serat alam, karena resin *epoxy* memiliki kekuatan mekanik yang baik terutama dalam hal kekuatan tarik dan lentur. Kekuatan Tarik yang dimiliki oleh resin *epoxy* sebesar 14,35 kgf/mm² tetapi setelah dicampurkan dengan serat alam kekuatan tarik yang dihasilkan cenderung lebih meningkat [6]. Maka

kombinasi antara serat alam dengan resin *epoxy* dapat menghasilkan komposit yang memiliki kekuatan tarik yang baik dan resin *epoxy* juga memiliki sifat adhesif yang baik terhadap serat alam [6]. Dalam pembuatan komposit dapat dilakukan dengan berbagai metode.

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan komposit, salah satunya dengan metode hand lay-up. Hand lay-up adalah proses laminasi pada fiber/serat dan resin yang belum menyatu menggunakan kuas atau roller. Keuntungan metode hand lay-up antara lain biaya produksi murah, sederhana, kemudahan dalam pencetakan dan desain produk serta variasi ketebalan komposisi serat [13]. Maka dari itu upaya yang akan dilakukan yaitu dengan dilakukannya perlakuan kimia hidrogen peroksida khusus untuk meningkatkan sifat *interface* kekuatan dan ketahanan materialnya. Metode yang digunakan adalah metode *Hand layup*. Proses *Hand layup* dipilih karena proses pembuatannya murah dan mudah. Oleh karena itu penulis melakukan penelitian dengan judul pengaruh kadar hidrogen peroksida pada komposit fiber tebu *epoxy* dengan metode *Hand la up*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kadar Hidrogen Peroksida terhadap kekuatan tarik komposit fiber tebu *epoxy*?
2. Bagaimana hasil pola patahan dari pengamatan digital mikroskop setelah dilakukannya uji tarik pada komposit fiber tebu *epoxy*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dari permasalahan diatas adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui hasil dari pengaruh kadar Hidrogen Peroksida terhadap kekuatan tarik komposit fiber tebu *epoxy*.
2. Untuk mengetahui bagaimana hasil pola patahan pada komposit fiber tebu *epoxy* setelah dilakukannya pengamatan dengan digital mikroskop.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kandungan pengotor pada komposit diabaikan dalam penelitian.

2. Kandungan uap air serta gas yang ada pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh saat proses fabrikasi.
3. Ukuran panjang serat di anggap homogen.
4. Gelembung yang tidak terlihat dalam resin dianggap tidak ada setelah dilakukannya pompa vakum dalam proses menghilangkan gelembung.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan serangkaian penelitian, analisis, dan pembahasan mengenai Pengaruh Kadar Hidrogen Peroksida pada Komposit Fiber Tebu Epoksi dengan Metode Hand Lay-Up, dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi Hidrogen Peroksida (H_2O_2) sebesar UP 3%, UP 4%, dan UP 5% mempengaruhi sifat komposit yang dihasilkan. Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variasi kadar hidrogen peroksida (H_2O_2) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik komposit serat tebu epoksi. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada kadar H_2O_2 UP 5% dengan nilai 32,22 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah terdapat pada kadar UT 0% yaitu sebesar 13,41 MPa. Secara umum, peningkatan kadar H_2O_2 hingga UP 5% mampu meningkatkan kekuatan tarik komposit. Nilai regangan tertinggi tercatat pada kadar H_2O_2 UP 4% sebesar 23%, sementara nilai regangan terendah terdapat pada kadar UT 0% sebesar 12,5%. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan H_2O_2 dapat meningkatkan kemampuan komposit untuk mengalami deformasi sebelum patah hingga kadar tertentu. Namun, pada kadar UP 5%, nilai regangan menurun menjadi 15,1%, yang mengindikasikan kemungkinan terjadinya degradasi berlebih pada struktur serat akibat perlakuan kimia yang terlalu kuat. Untuk modulus elastisitas, nilai tertinggi diperoleh pada kadar H_2O_2 UP 5% yaitu sebesar 248,14 MPa, dan nilai terendah pada kadar UT 0% sebesar 109,13 MPa. Nilai modulus pada kadar UP 3% dan UP 4% justru lebih rendah, masing-masing sebesar 176,78 MPa dan 132,05 MPa. Pola ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar H_2O_2 tidak selalu berbanding lurus dengan nilai modulus, melainkan terdapat fluktuasi akibat kompleksitas perubahan struktur serat. Pada kadar tertentu, perlakuan kimia dapat memperkuat ikatan antar fasa, namun pada kadar lain justru dapat menyebabkan kerusakan mikrostruktural yang menurunkan kekakuan komposit.

2. Variasi kadar hidrogen peroksida juga mempengaruhi pola patahan komposit epoksi serat tebu. Pada komposit tanpa perlakuan hidrogen peroksida (UT 0%), pola patahan didominasi oleh *fiber pull-out* dan *debonding*, yang menunjukkan bahwa adhesi antara serat dan matriks masih lemah. Pada kadar H_2O_2 UP 3% dan UP 4%, pola patahan mulai menunjukkan adanya peralihan menuju mekanisme *overload*, meskipun indikasi *debonding* masih teramati di beberapa area. Hal ini mengisyaratkan bahwa adhesi antar fasa mulai membaik, meskipun belum sepenuhnya optimal. Sementara itu, pada kadar UP 5%, pola patahan didominasi oleh mekanisme *overload* tanpa tanda signifikan *fiber pull-out*, yang mengindikasikan bahwa tegangan telah berhasil ditransfer secara efektif dari matriks ke serat. Temuan ini menunjukkan bahwa perlakuan dengan H_2O_2 dapat meningkatkan sifat mekanik komposit hingga kadar optimal tertentu, namun pada kadar yang lebih tinggi dapat menimbulkan potensi degradasi struktural serat yang mempengaruhi regangan dan fleksibilitas komposit secara keseluruhan.

5.2 Saran

1. Penelitian ini menggunakan waktu perendaman serat dalam hidrogen peroksida selama 60 menit. Untuk memahami lebih dalam pengaruh waktu perendaman terhadap struktur serat dan sifat mekanik komposit, penelitian selanjutnya dapat menambahkan variasi waktu, seperti 30, 45, 75. Hal ini penting untuk mengetahui apakah ada waktu perendaman yang lebih optimal guna meningkatkan kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas komposit.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan uji kekerasan guna melengkapi analisis sifat mekanik komposit. Uji ini dapat memberikan informasi mengenai daya tahan permukaan komposit terhadap beban tekan lokal, serta membantu mengevaluasi efek perlakuan hidrogen peroksida terhadap kekuatan permukaan material secara lebih menyeluruh.
3. Pengamatan mikroskop digital telah menunjukkan perubahan pola patahan akibat perlakuan hidrogen peroksida. Untuk memperjelas efek perlakuan ini, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan uji morfologi lebih

lanjut seperti SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk menganalisis perubahan struktur serat secara lebih detail.

4. Selain menggunakan hidrogen peroksida, bisa dicoba juga kombinasi dengan perlakuan lain, seperti perendaman dalam larutan alkali (NaOH) atau pemanasan. Hal ini bertujuan untuk melihat apakah gabungan perlakuan tersebut dapat lebih meningkatkan kekuatan dan daya rekat serat dalam komposit.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jeshika, “Perkembangan Industri Nasional Menuju Industri Tangguh 2035,” *J. Ilm. Mhs.*, vol. 8, no. 1, pp. 1766–1775, 2019.
- [2] ANDRI YANSAH, “PENGARUH KADAR DAN WAKTU PERENDAMAN KALIUM PERMANGANAT PADA KOMPOSIT FIBER BAMBU BETUNG EPOKSI DAN METODE HAND LAY UP,” 2024.
- [3] F. Y. Utama and H. Zakiyya, “Pengaruh variasi arah serat komposit berpenguat hibrida fiberhybrid terhadap kekuatan tarik dan densitas material dalam aplikasi body part mobil,” *Mekanika*, vol. 15, no. 2, pp. 60–69, 2016.
- [4] C. Pramono, S. Widodo, and M. G. Ardiyanto, “Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu Dengan Matriks Epoxy,” *J. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2019, doi: 10.31002/jom.v3i1.1442.
- [5] A. F. Umam and M. Arif Irfa’, “Studi Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester Berpenguat Serat Karbon,” *J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 67–72, 2019.
- [6] L. Rohmawati and W. Setyarsih, “Studi Kekuatan Mekanik Komposit Serat Alam/Resin Epoxy,” *Berk. Fis. Indones. J. Ilm. Fis. Pembelajaran dan Apl.*, vol. 6, no. 2, pp. 40–46, 2014.
- [7] M. I. Iskandar and A. Supriadi, “The Effect of Adhesive Content on Properties Bagasse of Particleboard,” *Penelit. Has. Hutan*, vol. 31.1, no. 1, pp. 19–26, 2013.
- [8] E. Hidayah, *Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember*. 2013.
- [9] B. Maryanti, A. A. Sonief, and S. Wahyudi, “Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik,” *Rekayasa Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 123–129, 2011.
- [10] R. Siswanto, M. I. Arsyad, and R. A. Wicaksono, “Studi Karakteristik Terhadap Uji Impact Dan Bending Komposit Tandan Kosong Kelapa

- Sawit-Polyester Dengan Perlakuan Alkali Dan Hidrogen Peroksida,” *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 129–134, 2021.
- [11] M. T. Kimia and A. Wildan, “Studi Proses Pemutihan Serat Kelapa Program Pascasarjana Universitas Diponegoro,” 2010.
- [12] E. Lastri, “Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Mekanik Pada Komposit Berpenguat Serat Alam : Penelitian Kepustakaan,” *Jur. Tek. Metal. Fak. Tek. Univ. Sultan Ageng Tirtayasa*, 2023.
- [13] R. Sadik and R. Amalia, “Production and Characterization of Silencer Composite Materials From Natural Fiber Using Hand Lay-Up Methods,” *Teknik*, vol. 44, no. 2, pp. 130–138, 2023, doi: 10.14710/teknik.v44i2.52931.
- [14] A. Unique, “penggunaan serat jute untuk pembuatan frame sepeda,” no. 0, pp. 1–23, 2016.
- [15] R. Pujiati, “Analisa Teknis BahanKomposit dari Serat Alami Ampas Tebuuntuk Bahan Alternatif Pembuatan KulitKapal,” *Tugas Akhir ITS*, pp. 1–53, 2017.
- [16] P. H. Tjahjanti, “Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer,” *Univ. Muhammadiyah Surakarta*, p. 17, 2018.
- [17] I. M. Astika and I. G. Komang Dwijana, “Karakteristik Sifat Tarik Dan Mode Patahan Komposit Polyester Berpenguat Serat Tapis Kelapa,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 78–83, 2014, doi: 10.29303/d.v4i2.55.
- [18] A. Pambudi, “Proses manufaktur komposit berpenguat serat bambu betung (*dendrocalamus asper*) dan matriks unsaturated polyester dengan metode hand lay-up untuk aplikasi otomotif,” p. 102, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/43277/>
- [19] P. Tocqiun, “SIFAT TARIK KOMPOSIT SERAT ACAK HYBRID BAGASSE/KACA/POLYESTER,” pp. 1–19, 2019.
- [20] A. Prihatno, “Analisa Pengaruh Letak Susunan Serat Ampas Tebu (Baggase) Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Epoxy,” *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 3, p. 173, 2020, doi: 10.22441/jtm.v9i3.9792.
- [21] S. T. Dwiwati, MT, “Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Tebu/Poliester,” *J. Konversi Energi dan*

- Manufaktur*, vol. 1, no. 3, pp. 164–168, 2014, doi: 10.21009/jkem.1.3.8.
- [22] E. Jayamaui, M. R. Rahman, D. A. Benhur, M. K. Bin Bakri, A. Kakair, and A. Khan, “Comparative study of fly ash/sugarcane fiber reinforced polymer composites properties,” *BioResources*, vol. 15, no. 3, pp. 5514–5531, 2020, doi: 10.15376/biores.15.3.5514-5531.
- [23] The OSHA Standard 29, “Material Safety Data Sheet: Hydrogen Peroxide,” *Mater. Saf. Data Sheet*, vol. 4, no. 2, pp. 1–6, 2012, [Online]. Available: <https://shrinkwrapcontainments.com/Images/media/SDS Shrink Film.pdf>
- [24] Zulkifli and I. B. Dharmawan, “Analisa Pengaruh Perlakuan Alkalisasi Dan Hydrogen Peroksida Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Serat Sabut Kelapa Bermatriks Epoxy,” *J. Polimesin*, no. Vol 17, No 1 (2019): Polimesin, pp. 41–46, 2019, [Online]. Available: <http://ejurnal.pnl.ac.id/index.php/polimesin/article/view/844>
- [25] Susanti, “Materi Komposit,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 1981.
- [26] H. Suryanto, “Kerangka Konsep Teoritis Perubahan Kekuatan Interface Komposit Matriks Epoksi Yang Diperkuat Serat Alam Yang Mengalami Proses Curing Dalam Pengaruh Medan Listrik,” no. November, 2017.
- [27] S. Huang, Q. Fu, L. Yan, and B. Kasal, “Characterization of interfacial properties between fibre and polymer matrix in composite materials – A critical review,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 13, pp. 1441–1484, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.05.076.
- [28] A. Rifaldi, “Karakteristik Kekuatan Serat Tebu Sebagai Penguat Komposit Dengan Matriks Polyester Yukalac 157 BQTN-EX Terhadap Uji Tarik Dan Uji Bending,” *Skripsi*, 2022.
- [29] M. Ardiati, “Sintesis dan Karakterisasi Komposit Polyester Serat Daun Lontar dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Kalium Permanganat (KMnO₄) [Skripsi],” *Univ. Airlangga*, p. 16, 2016.
- [30] N. Nurhidayah, “Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Daun Lontar (Borassus Flabelifer) Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Komposit Polyester,” *Pengaruh Variasi Fraksi Vol. Serat Daun Lontar (Borassus flabelifer) Terhadap Sifat Fis. Dan Sifat Mek. Komposit Polyster*, pp. 1–

124, 2016.

- [31] D. Kimia and F. Sains, “Komposit Dengan Matriks Kitosan / Phthaloyl Chitosan Dan Dengan Filler Multi Walled Carbon Nanotube / Montmorillonite Synthesis and Characterization of Composite Membranes With Chitosan / Phthaloyl Chitosan Matrix and Filler Multi Walled Carbon Nanotube /,” 2019.
- [32] Esse, “Pemanfaatan Lignin Hasil Delignifikasi Ampas Tebu sebagai Perekat Lignin Resorsinol Formaldehida (LRF),” *J. Penelit.*, 2018, [Online]. Available: <http://repositori.uin-alauddin.ac.id/11975/1/INDOESSE.PDF>
- [33] A. Rahman, M. Farid, and H. Ardhyanta, “Analisa Sifat Akustik Komposit Serat Ampas Tebu Dan Bambu Betung Dengan Matriks Polypropilen,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.18566.
- [34] E. Y. D. Syaputra, “Karakterisasi Komposit Resin Epoksi Berpenguat Serat Ampas Tebu untuk Aplikasi Kampas Rem Bebas Asbestos,” 2019.
- [35] L. Wan, Y. Ismail, Y. Sheng, and K. Wu, “Progressive failure analysis of CFRP composite laminates under uniaxial tension using a discrete element method,” 2021, doi: 10.1177/0021998320961460.
- [36] S. Sirivedin, S. Y. Han, and K. S. Lee, “Micromechanics analysis of progressive failure in cross-ply carbon fiber / epoxy composite under uniaxial loading,” vol. 21, no. 2007, pp. 2023–2030, 2023.
- [37] M. Luo *et al.*, “Effect of alkaline hydrogen peroxide assisted with two modification methods on the physicochemical, structural and functional properties of bagasse insoluble dietary fiber,” *Front. Nutr.*, vol. 9, 2023, doi: 10.3389/fnut.2022.1110706.
- [38] H. Zhang, S. Huang, W. Wei, J. Zhang, and J. Xie, “Investigation of alkaline hydrogen peroxide pretreatment and Tween 80 to enhance enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse,” *Biotechnol. Biofuels*, vol. 12, no. 1, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1186/s13068-019-1454-3.
- [39] S. Pongchaiphol, T. Preechakun, M. Raita, V. Champreda, and N. Laosiripojana, “Characterization of Cellulose-Chitosan-Based Materials

- from Different Lignocellulosic Residues Prepared by the Ethanosolv Process and Bleaching Treatment with Hydrogen Peroxide,” *ACS Omega*, vol. 6, no. 35, pp. 22791–22802, 2021, doi: 10.1021/acsomega.1c03141.
- [40] Y. Wu, J. Wu, F. Yang, C. Tang, and Q. Huang, “Effect of H_2O_2 bleaching treatment on the properties of finished transparent wood,” *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 5, pp. 1–13, 2019, doi: 10.3390/polym11050776.
- [41] F. T. Industri, “PENGARUH FILLER AMPAS TEBU DAN AGREGAT TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN FISIK CORK CONCRETE MATERIAL LANTAI,” *TRI WAHYUNI*, 2019.
- [42] M. A. N. Hakim, “Pengaruh Variasi Komposisi Dan Ukuran Filler Serat Tebu Terhadap Morfologi Dan Sifat Mekanik Komposit Sbr/Serat Tebu,” 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/43690>
- [43] R. Setiati *et al.*, “Analisa Spektrum Infra Red Pada Proses Sintesa Lignin Ampas Tebu Menjadi Surfaktan Lignosulfonat,” *Semin. Nas. Cendekiawan*, pp. 1–11, 2016.
- [44] D. G. H. Adoe, D. B. N. Riwu, and Y. D. Banani, “Pengaruh Waktu Perendaman Dan Media Open Hole Discontinuous Kulit Buah Kelapa Matriks Polyester,” *J. Fis.*, vol. 5, no. 2, pp. 163–167, 2020.
- [45] A. A. Septevani, D. Burhani, and S. Sudiarmanto, “Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit,” *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 40, no. 2, p. 71, 2018, doi: 10.24817/jkk.v40i2.3508.
- [46] J. T. Mesin, P. N. Pontianak, and K. Barat, “Rumus Uji Tekan,” *Sutrisno*, vol. 12, no. 2, pp. 119–124, 2020.
- [47] J. Hasil, K. Ilmiah, E. A. Prasetyo, H. Yudo, A. Wibawa, and B. Santoso, “JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Pengaruh Perlakuan Zat H_2O_2 , $KMnO_4$, dan $NaOH$, pada Bahan Komposit Berpenguat Bambu Petung dengan Matriks Resin Epoxy Terhadap Beban Tarik, Tekuk, dan Impak,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 11, no. 4, p. 1, 2023.
- [48] R. Hikmawan, I. Widiastuti, and D. S. Wijayanto, “Analisis Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Kekuatan Tarik Dan Penyerapan Air Komposit Polymer Blend Berpenguat Serat Bambu,” *NOZEL J. Pendidik.*

- Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, p. 106, 2023, doi: 10.20961/nozel.v4i2.72239.
- [49] A. L. L. Flores *et al.*, “Effect of Chemical Treatments on the Mechanical Properties of Jute/Polyester Composites,” *Materials (Basel)*., vol. 17, no. 10, 2024, doi: 10.3390/ma17102320.
- [50] A. G. Aditama and H. Ardhyanta, “Isolasi Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Nano Filler Komposit Absorpsi Suara: Analisis FTIR,” *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 228–231, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.24098.
- [51] K. Joseph, S. Thomas, and C. Pavithran, “Effect of chemical treatment on the tensile properties of short sisal fibre-reinforced polyethylene composites,” *Polymer (Guildf)*., vol. 37, no. 23, pp. 5139–5149, 1996, doi: 10.1016/0032-3861(96)00144-9.
- [52] S. Nikolaevich, A. Valerievich, G. Igorevich, S. Alexandrovich, and S. Alexandrovich, “Advanced materials of automobile bodies in volume production,” *Eur. Transp. Trasp. Eur.*, no. 56, pp. 1–27, 2014.

