

**ANALISIS PENGARUH ALKALISASI NaOH BIOKOMPOSIT
SERAT DAUN PANDAN ALAS TERHADAP UJI TARIK DAN
UJI IMPAK**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan
Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh:

MALVIN NURHIDAYAT NIM 1042246

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2025**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH ALKALISASI NaOH BIOKOMPOSIT SERAT DAUN PANDAN ALAS TERHADAP UJI TARIK DAN UJI IMPAK

Oleh:

Malvin Nurhidayat/1042246

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan
Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1



Muhammad Subhan, S.S.T., M.T.

Pembimbing 2



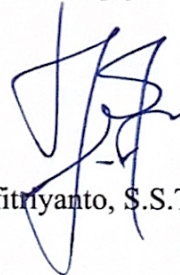
Husman, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Zaldy Kurniawan, S.S.T., M.T.

Penguji 2



Zulfitriyanto, S.S.T., M.T

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa 1 : Malvin Nurhidayat NIM: 1042246

Dengan Judul : Analisa Pengaruh Alkalisasi NaOH Biokomposit Serat
Daun Pandan Alas Terhadap Uji Tarik dan Uji Impak

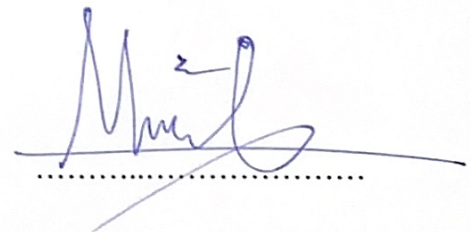
Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 20 Agustus 2025

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Malvin Nurhidayat



ABSTRAK

Serat pandan alas (*Pandanus tectorius*) memiliki potensi sebagai bahan penguat komposit yang ramah lingkungan, namun memiliki kekuatan ikat yang rendah terhadap matriks resin. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh alkalisasi NaOH terhadap nilai rata-rata kekuatan tarik dan dampak biokomposit yang diperkuat dengan serat pandan alas menggunakan resin poliester BQTN sebagai matriks. Variabel perlakuan meliputi konsentrasi NaOH (0%, 5%, dan 10%), waktu perendaman (3 dan 5 jam), serta fraksi volume serat (10% dan 15%). Pengujian mekanik dilakukan berdasarkan standar ASTM D638 untuk kekuatan tarik dan ASTM D256 untuk kekuatan dampak, dengan analisis data menggunakan ANOVA dan diagram Pareto. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan NaOH cenderung menurunkan kekuatan mekanik komposit. Nilai rata-rata kekuatan tarik dan dampak tertinggi diperoleh pada spesimen tanpa perlakuan alkalisasi dengan fraksi volume serat 15%, yaitu sebesar 30,47 MPa dan 30,19 kJ/m². Kondisi alkalisasi yang paling optimal ditemukan pada perlakuan NaOH 5% selama 3 jam dengan fraksi volume serat 15%, menghasilkan kekuatan tarik rata-rata sebesar 25,70 MPa dan kekuatan dampak sebesar 27,17 kJ/m². Analisis ANOVA menunjukkan bahwa fraksi volume serat merupakan faktor paling signifikan yang mempengaruhi kekuatan mekanik, diikuti oleh konsentrasi NaOH, sementara waktu perendaman memberikan pengaruh paling rendah. Dengan demikian, optimasi kondisi alkalisasi perlu dilakukan untuk meningkatkan ikatan antara serat dan matriks tanpa menurunkan performa komposit secara signifikan.

Kata kunci: Biokomposit, Serat Pandan Alas, Alkalisasi NaOH, Kekuatan Tarik, Uji Dampak, Resin Polyester, ASTM, ANOVA

ABSTRACT

Pandan alas fiber (*Pandanus tectorius*) has potential as an environmentally friendly composite reinforcement material but exhibits low bonding strength with the resin matrix. This study evaluates the effect of NaOH alkalization on the average tensile and impact strength of biocomposites reinforced with pandan alas fiber using BQTN polyester resin as the matrix. The treatment variables include NaOH concentration (0%, 5%, and 10%), soaking time (3 and 5 hours), and fiber volume fraction (10% and 15%). Mechanical testing was conducted according to ASTM D638 for tensile strength and ASTM D256 for impact strength, with data analyzed using ANOVA and Pareto diagrams. The results showed that NaOH treatment tended to reduce the mechanical strength of the composites. The highest average tensile and impact strength were achieved by specimens without alkalization at a 15% fiber fraction, yielding 30.47 MPa and 30.19 kJ/m², respectively. The most optimal alkalization condition was found with 5% NaOH for 3 hours at a 15% fiber fraction, producing an average tensile strength of 25.70 MPa and an impact strength of 27.17 kJ/m². ANOVA analysis indicated that fiber volume fraction was the most significant factor influencing mechanical strength, followed by NaOH concentration, while soaking time had the least effect. Thus, optimizing the alkalization conditions is essential to improve fiber–matrix bonding without significantly compromising the overall composite performance.

Keywords: Biocomposite, Pandan Alas Fiber, NaOH Alkalization, Tensile Strength, Impact Test, Polyester Resin, ASTM, ANOVA

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya laporan Proyek Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Adapun laporan Proyek Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dan kewajiban mahasiswa untuk menyelesaikan mata kuliah pada semester terakhir pendidikan Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

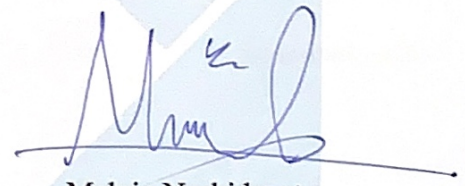
Kelancaran Proyek Akhir “Analisis Pengaruh Alkalisasi NaOH Biokomposit Serat Daun Pandan Alas Terhadap Uji Tarik dan Uji Impak” Ini tidak terlepas dari banyak pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam pembuatan alat maupun dalam menyelesaikan laporan Proyek Akhir ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua serta keluarga yang selalu memberikan dukungan dengan penuh kasih sayang, serta doa-Nya yang tidak pernah putus dalam mendoakan anaknya untuk menjadi sukses.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T., selaku Kepala Jurusan Teknik Rekayasa Mesin.
4. Bapak Boy Rollastin, S.S.T., M.T., selaku Kepala Prodi D-IV Teknik Mesin Dan Manufaktur
5. Bapak Muhammad Subhan, S.S.T., M.T., selaku Pembimbing 1 yang selalu memberikan saran, masukan dan bimbingan dalam menyelesaikan Proyek Akhir ini.
6. Bapak Husman, S.S.T., M.T., selaku Pembimbing 2 yang selalu memberikan saran, masukan dan bimbingan dalam menyelesaikan Proyek Akhir ini.
7. Seluruh dosen wali, staf pengajar dan karyawan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
8. Rekan-rekan mahasiswa tingkat akhir Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

9. Teman-teman dan adik-adik yang telah mendukung dan memberikan bantuan serta masukan dalam pembuatan Proyek Akhir ini.
10. Pihak-pihak lembaga yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Proyek Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, penulis sangat mengharapkan saran, kritik dan masukan yang bersifat membangun dalam perbaikan laporan ini. Penulis berharap laporan ini dibuat dapat berguna dan menambah wawasan bagi pembaca dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Sungailiat, 2 Juli 2025



Malvin Nurhidayat

DAFTAR ISI

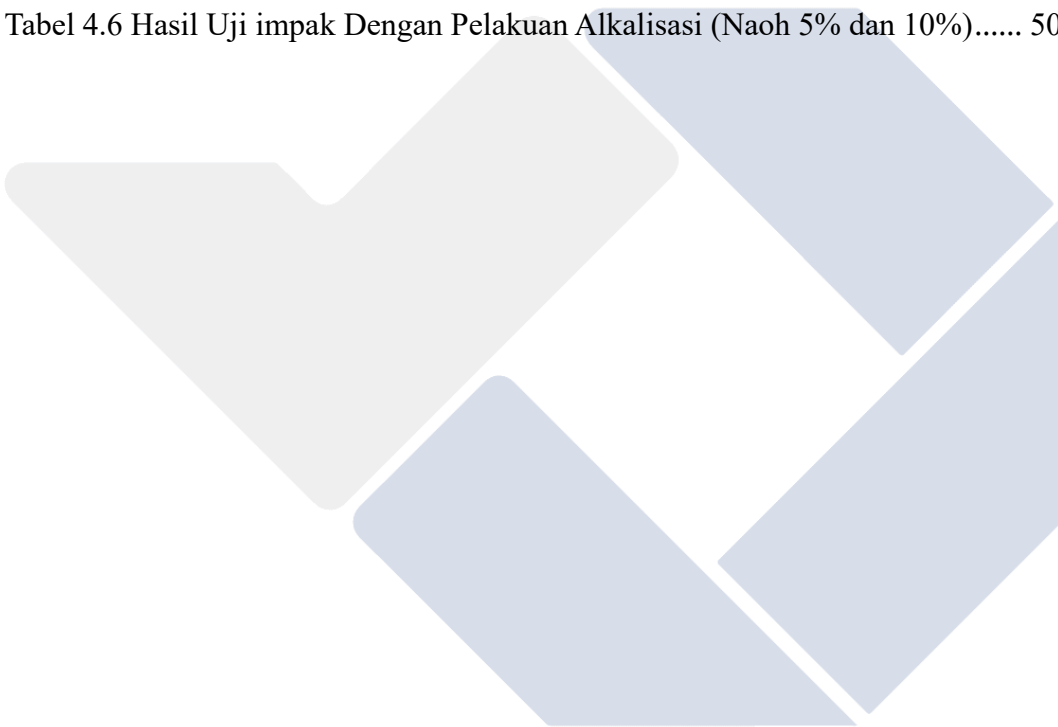
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Komposit	5
2.2 Serat Daun Pandan Alas	8
2.3 Natrium Hidroksida	10
2.4 Proses Alkalisasi.....	12
2.5 Matriks Resin BQTN.....	14
2.6 Fraksi Volume.....	16
2.7 Uji tarik (Tensile Strength).....	18
2.8 Uji Impak (Impact Test)	21

BAB III METODE PELAKSANAAN	23
3.1 Diagram Alir (Flowchart)	23
3.2 Identifikasi Masalah	24
3.3 Waktu dan tempat Penelitian	24
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	25
3.4.1 Daun Pandan Alas (<i>Pandanus tectorius</i>)	25
3.4.2 Natrium Hidroksida (NaOH)	26
3.4.3 Resin Polyester	26
3.4.4 Katalis Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP)	27
3.4.5 Cetakan Uji Tarik dan Uji Impak Berbahan Silikon	27
3.5 Pengambilan Data Penelitian	28
3.5.1 Persiapan Serat Pandan Alas	29
3.5.2 Proses Alkalisasi Serat	29
3.5.3 Pembuatan Spesimen Uji Komposit	30
3.5.4 Proses Pengujian Tarik dan Impak	31
3.6 Rancangan Penelitian	32
3.7 Pengolahan dan Analisis Data Hasil Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Hasil Penelitian	35
4.2 Hasil Perhitungan Volume Matriks dan Serat	35
4.2.1 Volume Matriks dan Serat Spesimen Uji Tarik	35
4.2.2 Volume Matriks dan Serat Spesimen Uji Impak	36
4.3 Pengujian Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Tipe 1	37
4.3.1 Hasil Pengujian Tarik Tanpa Perlakuan Alkalisasi	38
4.3.2 Hasil Pengujian Tarik Dengan perlakuan Alkalisasi	39

4.3.3 Analisis Statistik Kekuatan Tarik.....	43
4.4 Pengujian Spesimen Uji Impak ASTM D256-10	46
4.4.1 Hasil Pengujian Impak Tanpa Perlakuan Alkalisasi	47
4.4.2 Hasil Pengujian Impak Dengan Perlakuan Alkalisasi.....	49
4.4.3 Analisis Statistik Kekuatan Impak	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel Waktu Penelitian.....	24
Tabel 3.2 Parameter Eksperimen.....	33
Tabel 4.1 Perhitungan Rasio Volume Untuk Spesimen Uji Tarik	35
Tabel 4.2 Perhitungan Rasio Volume Untuk Spesimen Uji Impak	36
Tabel 4.3 Hasil Uji Tarik Tanpa Perlakuan Alkalisasi (NaOH 0%)	38
Tabel 4.4 Hasil Uji tarik Dengan Perlakuan Alkalisasi (Naoh 5% dan 10%)	40
Tabel 4.5 Hasil Uji Impak Tanpa Perlakuan Alkalisasi (NaOH 0%)	48
Tabel 4.6 Hasil Uji impak Dengan Perlakuan Alkalisasi (Naoh 5% dan 10%).....	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Matrix & Reinforcement	5
Gambar 2.2 Tanaman Pandan Alas	8
Gambar 2.3 Serat Daun Pandan Alas	9
Gambar 2.4 Natrium Hidroksida (NaOH).....	10
Gambar 2.5 Resin polyester BQTN	15
Gambar 2.6 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM D638.....	20
Gambar 2.7 Spesimen Uji Impak Standar ASTM D256.....	22
Gambar 3.1 Flowchart.....	23
Gambar 3.2 Serat Daun Pandan Alas	26
Gambar 3.3 Natrium Hidroksida (NaOH).....	26
Gambar 3.4 Resin Polyester BQTN	27
Gambar 3.5 Katalis MEKP	27
Gambar 3.6 Cetakan Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type 1	28
Gambar 3.7 Cetakan Spesimen Uji Impak ASTM D256.....	28
Gambar 4.1 Pengujian Spesimen Uji Tarik.....	37
Gambar 4.2 Grafik hasil Uji Tarik Tanpa Perlakuan Alkalisasi (NaOH 0%).....	38
Gambar 4.3 Grafik Rata-rata Uji Tarik Fraksi Volume 10%.....	41
Gambar 4.4 Grafik Rata-rata Uji Tarik Fraksi Volume 15%.....	41
Gambar 4.5 ANOVA Uji Tarik	43
Gambar 4.6 Diagram Pareto Uji Tarik	45
Gambar 4.7 Pengujian Spesimen Uji Impak	47
Gambar 4.8 Grafik hasil Uji Impak Tanpa Perlakuan Alkalisasi (NaOH 0%).....	48
Gambar 4.9 Grafik Hasil Uji Impak Fraksi Volume 10%	50
Gambar 4.10 Grafik Hasil Uji Impak Fraksi Volume 15%	51
Gambar 4.11 Anova Uji Impact	53
Gambar 4.12 Diagram Pareto Uji Impak	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup.....	61
Lampiran 2 Proses Pengolahan Serat Daun Pandan Alas	62
Lampiran 3 Proses Pembuatan Spesimen	64
Lampiran 4 Proses Pengujian Spesimen	66
Lampiran 5 Hasil Perhitungan Rasio Spesimen.....	67
Lampiran 6 Perhitungan Hasil Pengujian Impak	69



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komposit adalah sistem material multi fasa yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda. Komposit terdiri dari fiber dan matriks. Fiber berfungsi sebagai material rangka yang menyusun komposit. Sedangkan matriks berfungsi untuk merekatkan serat dan menjaganya agar tidak berubah posisi (Lohdy, Arrad, & Muhammad, 2020). Sifat material komposit merupakan paduan dari sifat-sifat penyusunnya yaitu matrix dan fiber (*reinforcement*). Campuran keduanya menghasilkan material yang keras, kuat, dan ringan. Fiber memiliki sifat yang bisa dengan mudah diubah bentuknya dengan cara dipotong atau dicetak sesuai dengan kebutuhannya. Bahan matrix pada umumnya adalah resin, yang mengikat material fiber dan membentuk material yang kuat. Inti utama pembuatan material komposit adalah memperbaiki sifat-sifat, khususnya sifat mekanik yang ada pada matriknya (Ilham & Edi, 2022).

Natrium Hidroksida (NaOH) disebut juga lindi (lye) dan soda kaustik atau soda api, adalah senyawa anorganik yang memiliki rumus kimia NaOH. Material ini tersusun dari kation natrium Na^+ dan anion hidroksida OH^- dan membentuk senyawa ionik berbentuk padatan putih (Ilham & Edi, 2022). Natrium hidroksida (NaOH) adalah bahan kimia berbentuk kristal putih padat yang apabila memasuki lingkungan akan mudah bereaksi memecah dengan bahan kimia lain (Sri, Lukman, & Fikri, 2016). Natrium hidroksida (NaOH) merupakan senyawa yang larut dengan mudah dalam air, bersifat higroskopis karena mampu menyerap uap air dan karbon dioksida (CO_2) dari udara. Di suhu ruang, senyawa ini juga dapat memecah protein. Termasuk dalam golongan basa alkali yang bersifat kaustik, NaOH dapat menimbulkan iritasi pada kulit jika tidak digunakan dengan hati-hati. Secara komersial, NaOH umumnya tersedia dalam bentuk monohidrat, yaitu $\text{NaOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$, yang terbentuk dari larutan air pada kisaran suhu antara 12,3 hingga 61,8 °C. Senyawa ini juga dapat membentuk hidrat lainnya dengan rumus umum $\text{NaOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Alkaline treatment atau *mercerization* adalah perlakuan kimia yang paling sering digunakan untuk serat alami. Tujuan dari alkalisasi yang paling penting disini adalah mengacaukan ikatan hydrogen di stuktur serat, sehingga menambah kekasaran serat tersebut. Proses alkalisasi menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antar muka yaitu hemiselulosa, lignin atau pektin (Fandy, Anita, & Handika, 2017). Proses ini melibatkan penggunaan larutan alkali, seperti Natrium Hidroksida (NaOH) atau Kalium Hidroksida (KOH), untuk memodifikasi material, terutama serat alam. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan sifat mekanik serat dengan menghilangkan komponen yang tidak diinginkan, seperti lignin, hemiselulosa, dan pektin. Alkalisasi bermanfaat dalam meningkatkan kekuatan tarik, meningkatkan kekasaran permukaan serat, dan memperbaiki sifat mekanik dari komposit tersebut. Alkalisasi telah banyak digunakan dalam penelitian untuk meningkatkan sifat mekanik berbagai jenis serat alami, termasuk serat bambu, kelapa, dan pandan alas. Proses ini memungkinkan pengembangan material baru yang lebih kuat dan berkelanjutan, mendukung upaya menuju penggunaan bahan baku alami dalam industri modern.

Pandan laut (*Pandanus tectorius*) merupakan tanaman yang tumbuh di pesisir pantai, tanaman ini masih tergolong dalam *family pandanaceae*. Di Kabupaten Bangka sendiri pandan laut banyak ditemui di daerah pesisir pantai Teluk Uber tepatnya di Desa Rambak, Kecamatan Sungailiat. Tanaman Pandan Alas memiliki panjang daun hingga 300 cm dengan lebar 9-11 cm, bentuk daun pandan alas memanjang, keras dan memiliki duri halus sepanjang tepi daun, susunan daun dalam pola melingkar, memiliki warna hijau tua. Tanaman pandan laut banyak dipergunakan sebagai bahan untuk produksi tenun, kerajinan, tikar, dan obat-obatan. Dikarenakan daun pandan laut memiliki kandungan selulosa yang cukup banyak maka dari itu dapat dipergunakan sebagai bahan baku untuk material komposit (Irham, 2023).

Resin poliester adalah salah satu jenis matriks yang umum digunakan dalam pembuatan material komposit berbasis serat alam. Salah satu tipe yang banyak dimanfaatkan adalah resin BQTN karena memiliki keunggulan seperti harga yang terjangkau, proses produksi yang mudah, dan waktu pengerasan (*curing*) yang cepat. Pemilihan resin poliester sebagai matriks berperan penting dalam menentukan sifat mekanik dan performa akhir komposit yang dihasilkan. Resin ini juga memiliki kekuatan mekanik yang cukup tinggi dan ketahanan yang baik terhadap bahan kimia dan lingkungan, sehingga sangat cocok digunakan dalam berbagai aplikasi komposit struktural maupun fungsional. Resin BQTN memiliki karakteristik viskositas rendah dan mampu mengalami pengerasan pada suhu ruang dengan tambahan katalis MEKPO (Methyl Ethyl Ketone Peroxide) sebesar 1–2%, tanpa menghasilkan gas selama proses curing. Penggunaan resin poliester BQTN 157 juga telah dibuktikan efektif dalam penelitian Subhan et al. (2023) yang mengkaji komposit serat kelapa dan tebu, di mana resin ini mampu mendukung terbentuknya ikatan yang baik antara serat dan matriks. Dengan mempertimbangkan beberapa keunggulan, resin poliester BQTN menjadi pilihan yang tepat sebagai matriks dalam pembuatan biokomposit berbasis serat daun pandan alas, guna menghasilkan material yang ringan, kuat, dan ramah lingkungan (Isro, et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh alkalisasi NaOH terhadap kekuatan komposit serat daun pandan alas dengan fraksi volume NaOH 0%, 5%, 10% selama 3 jam dan 5 jam perendaman, lalu menggunakan metode uji tarik dan uji impak.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi dan waktu perendaman larutan NaOH terhadap kekuatan tarik dan impak biokomposit berbasis serat daun pandan alas?
2. Bagaimana pengaruh fraksi volume serat pandan alas terhadap performa mekanik biokomposit yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh konsentrasi dan waktu perendaman NaOH terhadap sifat mekanik (kekuatan tarik dan impak) biokomposit serat daun pandan alas.
2. Mengevaluasi pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan mekanik biokomposit yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini terdapat beberapa batasan sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi konsentrasi (0%, 5%, dan 10%) serta waktu perendaman (3 jam dan 5 jam) larutan NaOH terhadap sifat mekanik biokomposit serat daun pandan alas.
2. Pengujian sifat mekanik hanya mencakup uji tarik dan uji impak, yang dilakukan menggunakan mesin UTM dan impact tester yang telah dikalibrasi sesuai standar pengujian.
3. Pembuatan spesimen biokomposit dilakukan dengan metode hand lay-up, menggunakan resin polyester BQTN 157 sebagai matriks dan katalis MEKPO.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Komposit

Komposit adalah bahan material yang termuat dari dua bahan ataupun lebih yang membentuk sifat serta karakteristik yang baru (Noviana & Tri, 2024). Material komposit dirancang untuk menggabungkan keunggulan sifat mekanik, fisik, atau kimia dari masing-masing komponennya guna menghasilkan kinerja yang optimal sesuai kebutuhan spesifik.

Komponen utama dalam material komposit terdiri dari matriks dan penguat. Matriks berfungsi untuk melindungi penguat, menjaga bentuk struktur komposit, serta mendistribusikan beban kepada elemen penguat. Sementara itu, penguat bertanggung jawab dalam memberikan kekuatan dan kekakuan kepada komposit. Hubungan sinergis antara matriks dan penguat menentukan sifat akhir dari material komposit.

Struktur umum material komposit terdiri dari dua komponen utama, yaitu matriks dan penguat. Ditinjau pada Gambar 2.1 menunjukkan skema Komposit yang menggambarkan hubungan antara matriks dan serat penguat dalam satu kesatuan material. Komposit ini dirancang agar sifat mekanik gabungan lebih baik dibanding komponen penyusunnya secara terpisah.



Gambar 2.1 Matrix & Reinforcement

komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis matriks penyusunnya, yaitu matriks polimer, logam, dan keramik. Komposit matriks polimer (PMC) paling umum digunakan karena proses manufakturnya relatif mudah, ringan, tahan korosi,

serta fleksibel dalam desain. Sementara itu, komposit matriks logam (MMC) cocok untuk aplikasi suhu tinggi, dan komposit matriks keramik (CMC) memiliki ketahanan terhadap korosi namun cenderung rapuh (Lindawati, 2022).

Di bidang otomotif, komposit matriks polimer seperti *fiber-reinforced polymer* (FRP) digunakan untuk memproduksi komponen bodi kendaraan, bumper, dan panel interior karena sifatnya yang ringan namun kuat, sehingga membantu meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang. Dalam industri dirgantara, komposit berbasis logam (*metal matrix composites*/MMC) dan keramik (*ceramic matrix composites*/CMC) diaplikasikan pada bagian mesin pesawat, struktur sayap, dan pelindung panas karena kemampuannya menahan suhu ekstrem dan beban mekanik tinggi. Di sektor konstruksi, material komposit digunakan untuk balok jembatan, pelat lantai, hingga elemen struktural tahan korosi, menggantikan baja atau beton konvensional. Dalam dunia olahraga, komposit digunakan pada raket tenis, sepeda balap, papan seluncur, dan alat pelindung karena ringan dan tahan benturan. Sedangkan di bidang medis, komposit dimanfaatkan dalam pembuatan implan tulang, sendi buatan, serta alat bedah karena sifat biokompatibel dan kekuatan struktural yang baik. Keunggulan-keunggulan inilah yang menjadikan material komposit sangat fleksibel dan strategis dalam berbagai aplikasi teknik dan teknologi modern.

Selain berdasarkan jenis matriks, komposit juga dikategorikan berdasarkan bentuk dan ukuran penguatnya. Penguat dalam komposit dapat berupa serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*discontinuous fiber*). Komposit berpenguat serat panjang memiliki orientasi serat yang lebih terarah, sehingga mampu memberikan kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat pendek (Riky & Fitri, 2018).

Mekanisme penguatan pada material komposit terjadi melalui beberapa proses utama. Pertama, adanya transfer beban dari matriks ke material penguat melalui antarmuka yang kuat berperan penting dalam meningkatkan kekuatan komposit secara keseluruhan. Kedua, fenomena pengalihan dan penjemputan retakan (*crack deflection and bridging*) terjadi ketika serat atau partikel penguat mampu menghambat atau membelokkan arah penyebaran retakan dalam matriks, sehingga

meningkatkan ketangguhan material. Ketiga, interaksi gesekan yang terjadi saat serat tertarik keluar dari matriks (*pull-out*) juga menyumbang pada peningkatan penyerapan energi serta ketahanan terhadap kerusakan atau fraktur.

Material komposit memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan material konvensional, terutama dalam hal rasio kekuatan terhadap berat (*strength-to-weight ratio*) dan kekakuan terhadap berat (*stiffness-to-weight ratio*) yang tinggi. Karakteristik ini membuat komposit sangat ideal untuk aplikasi yang membutuhkan material ringan namun kuat. Selain itu, komposit juga menawarkan fleksibilitas desain yang tinggi, di mana insinyur dapat mengatur arah, jenis, dan jumlah penguat untuk menyesuaikan sifat mekanik sesuai kebutuhan spesifik suatu komponen atau struktur. Fleksibilitas ini menjadikan komposit sangat adaptif dalam berbagai aplikasi teknik modern, mulai dari struktur ringan dalam industri dirgantara hingga komponen fungsional dalam otomotif dan konstruksi.

Kemajuan teknologi material komposit terus mendorong munculnya berbagai inovasi, salah satunya adalah komposit hibrid, yaitu material yang menggabungkan dua atau lebih jenis serat penguat untuk memperoleh kombinasi sifat mekanik yang lebih optimal, seperti kekuatan, kekakuan, dan ketangguhan. Penggunaan dua jenis serat—misalnya serat alami dan serat sintetis—dapat saling melengkapi kekurangan masing-masing, sehingga menghasilkan material yang lebih seimbang dan efisien untuk berbagai aplikasi. Di samping itu, peningkatan dalam teknik manufaktur seperti *resin transfer molding* (RTM) dan *additive manufacturing* memungkinkan proses produksi komposit menjadi lebih presisi, efisien, dan mampu membentuk geometri kompleks, yang sebelumnya sulit dicapai dengan metode konvensional. Perkembangan ini semakin memperluas potensi pemanfaatan material komposit di masa depan, terutama dalam sektor otomotif, dirgantara, konstruksi, dan peralatan medis.

Dengan sifat mekanik yang unggul, desain fleksibel, dan aplikasi yang luas, material komposit terus menjadi pilihan utama dalam berbagai bidang teknologi modern.

2.2 Serat Daun Pandan Alas

Salah satu serat alam yang melimpah atau banyak ditemukan di Indonesia adalah serat daun pandan laut. Pandan laut (*Pandanus tectorius*) merupakan tanaman yang tumbuh di pesisir pantai, tanaman ini masih tergolong dalam *family pandanaceae*. tanaman ini termasuk dalam genus *Pandanus*, yang tumbuh banyak di daerah tropis, termasuk Indonesia. Daun pandan alas dikenal memiliki struktur serat yang kuat, fleksibel, dan ringan, sehingga berpotensi tinggi sebagai material penguat dalam komposit berbasis polimer (Diyana, Jumaidin, Selamat, Alamjuri, & Fahmi, 2021)

Tanaman pandan alas tumbuh liar di berbagai wilayah dan relatif mudah dibudidayakan, menjadikannya sumber serat alami yang berkelanjutan. Tanaman pandan alas merupakan sumber utama serat alami yang digunakan dalam penelitian ini. Ditinjau pada Gambar 2.2 memperlihatkan wujud tanaman pandan alas yang banyak tumbuh di daerah tropis seperti Bangka Belitung. Daunnya memiliki ciri khas berupa bentuk memanjang, keras, dan berduri halus di tepinya.



Gambar 2.2 Tanaman Pandan Alas

Serat dari daun pandan alas mengandung selulosa (48,8%), hemiselulosa (19,9%), lignin (18,6%), dan ekstraktif lainnya. Selulosa merupakan komponen utama yang bertanggung jawab terhadap kekuatan mekanik serat, sementara lignin memberikan kekakuan serta ketahanan terhadap degradasi biologis (Diyana, Jumaidin, Selamat, Alamjuri, & Fahmi, 2021). Kandungan selulosa yang tinggi dan struktur serat yang berserat panjang menjadikan daun pandan alas sangat potensial untuk aplikasi material teknik.

Secara morfologi, serat daun pandan alas memiliki diameter yang relatif kecil dan struktur dinding sel yang tebal. Karakteristik ini berperan penting dalam mendukung kemampuan serat tersebut dalam menahan gaya tarik. Diameter yang kecil memungkinkan jumlah serat per satuan luas menjadi lebih banyak ketika digunakan sebagai penguat, sedangkan dinding sel yang tebal meningkatkan kekuatan struktural serat secara keseluruhan. Kombinasi ini menjadikan serat pandan alas sebagai kandidat potensial untuk digunakan sebagai penguat alami dalam material komposit. Selain itu, serat ini menunjukkan rasio panjang terhadap diameter (*aspect ratio*) yang cukup tinggi, yang sangat penting dalam memperkuat komposit karena memungkinkan terjadinya transfer beban yang efektif antara matriks dan serat.

Serat yang digunakan dalam komposit diperoleh dari daun pandan alas melalui proses serut manual. Ditinjau pada Gambar 2.3 menunjukkan tampilan serat pandan alas setelah dipisahkan dari daun, yang nantinya akan digunakan sebagai penguat dalam matriks resin.



Gambar 2.3 Serat Daun Pandan Alas

Sebagai serat alam, serat daun pandan alas memiliki beberapa keunggulan dibandingkan serat sintetis, di antaranya sifatnya yang terbarukan, *biodegradable*, ringan, serta memiliki intensitas energi produksi yang rendah (Diyana, Jumaidin, Selamat, Alamjuri, & Fahmi, 2021). Namun, seperti halnya serat alam lainnya, serat pandan alas juga memiliki kelemahan, yaitu sifat hidrofobikitasnya yang rendah dan ketidakstabilannya terhadap perubahan lingkungan, seperti kelembaban.

Serat pandan alas dapat digunakan sebagai bahan penguat pada komposit berbasis polimer untuk berbagai keperluan, seperti komponen otomotif, joran

pancing, mainan anak-anak, dan produk lainnya Penggunaan serat ini tidak hanya mendukung pengembangan material berbasis sumber daya lokal, tetapi juga mendorong praktik produksi yang lebih berkelanjutan.

Penelitian terhadap serat daun pandan alas masih terus berkembang, terutama dalam upaya meningkatkan sifat mekanik dan kestabilan serat melalui berbagai perlakuan fisik maupun kimia. Upaya ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja serat sebagai bahan penguat sehingga dapat bersaing dengan serat sintetis dalam aplikasi teknik dan industri masa depan.

Dengan karakteristiknya yang khas, ketersediaannya yang melimpah, serta kesesuaian terhadap prinsip keberlanjutan, serat daun pandan alas merupakan salah satu kandidat kuat dalam pengembangan material komposit berbasis serat alam.

2.3 Natrium Hidroksida

Natrium hidroksida (NaOH) merupakan zat kimia anorganik yang tergolong basa kuat, berbentuk padatan putih kristalin. Senyawa ini memiliki sifat sangat mudah menyerap uap air dari udara (*higroskopis*) dan larut sempurna dalam air, membentuk larutan dengan tingkat kebasaaan yang tinggi. NaOH merupakan bahan kimia penting yang digunakan secara luas dalam industri kimia, tekstil, pengolahan pangan, pembuatan kertas, serta dalam bidang teknik material dan rekayasa permukaan.

Natrium hidroksida merupakan bahan utama dalam proses alkalisasi serat. Senyawa ini bersifat basa kuat dan dapat menghilangkan lignin serta hemiselulosa pada permukaan serat. Ditinjau pada Gambar 2.4 menampilkan bentuk fisik dari NaOH padat yang digunakan dalam proses perlakuan kimia.



Gambar 2.4 Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida (NaOH) merupakan senyawa kimia anorganik yang bersifat basa kuat dan sangat reaktif. Secara kimiawi, NaOH bersifat korosif terhadap jaringan organik karena kemampuannya dalam menghancurkan protein dan lipid melalui reaksi saponifikasi, sehingga penggunaannya harus dilakukan dengan hati-hati. Ketika dilarutkan dalam air, NaOH mengalami disosiasi sempurna menghasilkan ion natrium (Na^+) dan ion hidroksida (OH^-), yang menyebabkan kenaikan drastis pH larutan hingga mencapai kisaran 13–14. Kondisi ini menciptakan lingkungan basa yang sangat kuat, menjadikannya efektif untuk berbagai keperluan industri dan laboratorium, seperti dalam proses netralisasi, pelarutan senyawa organik, dan reaksi kimia lainnya.

Natrium hidroksida merupakan salah satu senyawa kimia yang bersifat alkali/basa dan berfungsi untuk menghilangkan atau membersihkan zat-zat dan kotoran-kotoran yang melekat pada serat sisal. Disamping itu, alkali natrium hidroksida dapat memodifikasi bentuk kristal dari penguat sehingga dapat mereduksi sifat hidrofilik dan meningkatkan kristalisasi fiber sehingga dapat mengoptimalkan adhesi serat dengan matriks (Amirin, Noval, & Rita, 2020)

Dalam konteks pengolahan serat alam, NaOH sering digunakan dalam proses alkalisasi atau perlakuan basa (*alkaline treatment*) untuk menghilangkan komponen non-selulosa seperti lignin, hemiselulosa, pektin, dan kotoran lainnya dari permukaan serat. Perlakuan ini bertujuan untuk meningkatkan kadar selulosa dan memperbaiki morfologi permukaan serat sehingga daya ikat antara serat dan matriks dalam material komposit menjadi lebih baik. Di samping itu, perlakuan alkalisasi juga dapat meningkatkan kekasaran permukaan serat dan memperbesar luas permukaan spesifik, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik komposit, seperti kekuatan tarik dan kekakuan.

Dalam pengolahan material komposit berbasis serat alam, natrium hidroksida sering dimanfaatkan dalam proses kimia yang dikenal sebagai alkalisasi. Senyawa ini diketahui berinteraksi dengan komponen utama penyusun serat, seperti selulosa dan lignin, yang dapat menyebabkan perubahan pada struktur mikro serat. Perubahan tersebut berdampak pada sifat fisik dan kimia material, termasuk kekuatan mekanik dan daya ikat terhadap matriks.

Selain itu, penggunaan NaOH juga berdampak signifikan terhadap perubahan morfologi dan sifat mekanik serat alami. Perlakuan alkali dengan NaOH mampu membuka struktur dinding sel serat dan menghilangkan zat non-selulosa seperti lignin, hemiselulosa, serta lilin permukaan, sehingga meningkatkan kekasaran dan aktivitas permukaan serat. Hal ini dapat memperkuat adhesi antara serat dan matriks dalam material komposit pada matriks polimer termoset dan termoplastik.

Pada penelitian yang dilakukan Sudarisman dkk. (2019) Serat pandan berduri (*Pandanus tectorius*) yang direndam dalam larutan NaOH 2,5 % pada suhu 95 °C selama 3 jam memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi daripada perlakuan 5 % NaOH, ini menunjukkan bahwa optimasi kondisi alkalisasi penting untuk menghasilkan sifat mekanik maksimal. Hasil ini sejalan dengan penelitian Kris dkk. (2013) pada serat mendong, yang mengungkapkan bahwa peningkatan konsentrasi dan waktu rendaman NaOH menyebabkan perubahan morfologi permukaan serat—seperti peningkatan kekasaran mikro—sehingga meningkatkan penyerapan air dan kekuatan tarik komposit. Sifat ini membuat NaOH sangat relevan sebagai bahan pendukung dalam berbagai proses peningkatan karakteristik bahan berbasis serat.

Penggunaan NaOH harus dilakukan dengan kehati-hatian karena sifatnya yang sangat korosif. Paparan langsung terhadap kulit, mata, atau saluran pernapasan dapat menyebabkan iritasi serius. Oleh karena itu, prosedur penanganan, penyimpanan, dan pembuangan NaOH harus mengikuti standar keselamatan laboratorium yang ketat, termasuk penggunaan alat pelindung diri seperti sarung tangan, pelindung mata, dan ventilasi yang memadai (OSHA, 29 CFR 1910.1200).

Ketersediaan yang luas, efektivitas reaktif yang tinggi, serta biaya yang relatif rendah menjadikan natrium hidroksida (NaOH) sebagai salah satu bahan kimia dasar paling penting dalam industri maupun penelitian. Peranannya dalam memodifikasi sifat material, khususnya yang berbasis serat alam, terus menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi material hijau dan berkelanjutan.

2.4 Proses Alkalisasi

Alkalisasi merupakan suatu metode perlakuan kimia yang menggunakan larutan basa kuat, seperti natrium hidroksida (NaOH), dengan tujuan untuk mengubah karakteristik permukaan serat alam. Proses ini dilakukan agar serat

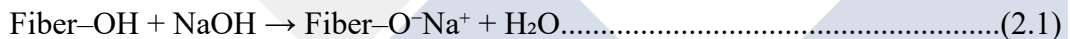
memiliki keterikatan yang lebih baik dengan matriks polimer dalam pembuatan material komposit.

Perlakuan alkali adalah metode yang ekonomis untuk meningkatkan daya rekat antara serat dan matriks. Pengaruh perlakuan alkali pada serat alam menyebabkan selulosa mengalami peningkatan mutu permukaan serat alam dan mengakibatkan peningkatan kekasaran pada permukaan sehingga dapat meningkatkan *mechanical interlocking* yang lebih baik antara serat dengan matriks (Hendri, et al., 2022).

Pada tingkat mekanisme, proses alkalisasi terjadi ketika larutan natrium hidroksida (NaOH) menembus dinding sel serat dan memutus ikatan hidrogen antar molekul penyusunnya, terutama selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Proses ini memicu perubahan pada struktur kristalin serat, termasuk pelebaran struktur dan terbukanya gugus hidroksil yang semula tersembunyi di dalam jaringan serat.

Efek ini meningkatkan area permukaan aktif dan kekasaran permukaan serat, sehingga adhesi dengan matriks menjadi lebih baik.

Reaksi alkalisasi pada serat dapat dituliskan secara umum sebagai berikut:



Reaksi ini menunjukkan terbentuknya gugus alkoksida ($\text{Fiber-O}^-\text{Na}^+$), yang menjadi pusat aktif dalam interaksi kimia lanjutan dengan matriks polimer.

Beberapa parameter penting yang mempengaruhi hasil alkalisasi meliputi:

1. Konsentrasi NaOH: Konsentrasi umum berkisar antara 2–10%. Konsentrasi yang terlalu tinggi dapat merusak struktur selulosa, sedangkan konsentrasi terlalu rendah kurang efektif dalam menghilangkan zat non-selulosa.
2. Waktu perlakuan: Waktu alkalisasi yang optimal bervariasi tergantung jenis serat. Perlakuan terlalu lama dapat menyebabkan degradasi serat, sedangkan waktu yang terlalu singkat tidak cukup untuk memodifikasi permukaan serat secara efektif.

3. Suhu larutan: Umumnya dilakukan pada suhu ruang hingga 60°C. Peningkatan suhu dapat mempercepat reaksi, tetapi juga meningkatkan risiko degradasi termal serat.
4. Setelah proses alkalisasi, serat biasanya dicuci dengan air hingga pH netral dan dikeringkan. Tahap ini penting untuk menghilangkan sisa larutan basa yang dapat mengganggu proses fabrikasi komposit atau merusak matriks.

Manfaat utama alkalisasi adalah:

1. Peningkatan kekasaran permukaan: Mempermudah interlocking mekanis antara serat dan matriks.
2. Penghilangan komponen amorf: Meningkatkan rasio kristalinitas serat, yang berkontribusi pada peningkatan kekuatan tarik.
3. Aktivasi gugus fungsional: Gugus –OH pada permukaan yang terbuka dapat membentuk ikatan hidrogen atau kovalen dengan matriks tertentu.

Namun, proses ini juga memiliki keterbatasan. Perlakuan yang tidak terkendali dapat menyebabkan kerusakan struktural serat, pengurangan massa serat, dan penurunan sifat mekanik serat jika selulosa turut terdegradasi. Oleh karena itu, proses alkalisasi perlu dioptimalkan berdasarkan jenis dan kondisi serat yang digunakan.

Dengan mempertimbangkan manfaat dan risikonya, proses alkalisasi tetap menjadi salah satu metode paling umum dan efektif untuk meningkatkan performa serat alam sebagai bahan penguat dalam sistem komposit yang berkelanjutan.

2.5 Matriks Resin BQTN

Resin BQTN (Benzoylquinone Terephthalate) merupakan jenis resin poliester tak jenuh yang sering digunakan sebagai matriks dalam pembuatan komposit berbasis serat alam. Resin ini memiliki kekuatan mekanik yang baik, tahan terhadap bahan kimia, dan sesuai digunakan dalam berbagai metode manufaktur seperti *hand lay-up*, *resin transfer molding* (RTM), dan *compression molding* (Santun, 2022)

Dalam penelitian ini, resin BQTN digunakan sebagai matriks komposit. Resin ini memiliki sifat mekanik yang tinggi dan cocok untuk metode pencetakan tangan.

Ditinjau pada Gambar 2.5 yang menunjukkan resin polyester dalam bentuk cair sebelum dicampur dengan katalis.



Gambar 2.5 Resin polyester BQTN

Secara umum, resin poliester tak jenuh seperti BQTN disintesis melalui reaksi antara senyawa diol — biasanya *propylene glycol* atau *ethylene glycol* — dengan asam dikarboksilat, seperti *maleic anhydride* dan *phthalic anhydride*. Hasil dari reaksi ini adalah rantai polimer linier yang mengandung ikatan rangkap karbon-karbon tak jenuh. Untuk memungkinkan proses pengerasan (polimerisasi silang), resin ini kemudian dicampurkan dengan monomer reaktif seperti stirena. Stirena berperan sebagai pelarut untuk menurunkan viskositas resin dan juga sebagai agen penghubung silang (*crosslinking agent*) yang mengikat rantai-rantai polimer selama proses *curing*, membentuk struktur tiga dimensi yang kuat dan kaku.

BQTN resin memiliki keunggulan utama berupa:

1. Kekakuan dan kekuatan mekanik tinggi, yang mampu menahan beban tarik dan lentur secara efektif.
2. Tahan terhadap panas dan bahan kimia, termasuk asam ringan, basa, dan pelarut organik.
3. Kemampuan cetak dan pengerasan yang baik, dengan waktu curing yang relatif singkat pada suhu ruang, terlebih jika dikatalisasi dengan Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP).

Dalam konteks komposit serat alam, resin BQTN berperan sebagai matriks yang mengikat serat penguat serta mentransfer beban mekanik antar serat. Interaksi antara matriks dan serat sangat penting, karena resin tidak hanya berfungsi sebagai pengikat, tetapi juga bertanggung jawab melindungi serat dari pengaruh lingkungan

eksternal, menahan gaya tekan, dan menjaga integritas struktural komposit. Oleh karena itu, pemilihan jenis resin yang sesuai sangat menentukan performa akhir dari material komposit (Santun, 2022).

Meskipun resin BQTN memiliki banyak keunggulan, terdapat pula beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Resin ini cenderung bersifat getas dan memiliki ketahanan terhadap benturan yang rendah apabila tidak diperkuat dengan serat atau dimodifikasi secara khusus. Di samping itu, karena resin ini menggunakan stirena sebagai monomer reaktif, maka selama proses curing dapat terjadi pelepasan uap stirena yang bersifat volatil. Jika tidak dikelola dengan baik, uap ini dapat menimbulkan risiko terhadap kesehatan dan pencemaran lingkungan.

Resin BQTN banyak digunakan di industri otomotif, konstruksi, pelapisan, hingga tangki kimia dan panel struktural karena kemampuannya menghasilkan material yang ringan dan kuat. Ketika digabungkan dengan serat alami, resin ini juga menawarkan nilai tambah dari aspek lingkungan yang lebih ramah.

Dalam pengolahan komposit dengan resin BQTN, diperlukan katalis, biasanya methyl ethyl ketone peroxide (MEKP), untuk memulai proses polimerisasi radikal bebas. Reaksi ini eksotermal dan menghasilkan jaringan polimer tiga dimensi yang kuat dan stabil secara mekanik dan kimia. Proses ini tidak memerlukan suhu tinggi, sehingga cocok untuk produksi skala kecil hingga menengah.

Dengan performa mekanik dan proses yang efisien, resin BQTN merupakan pilihan yang relevan untuk aplikasi komposit berbasis serat alam dan menjadi komponen penting dalam pengembangan material fungsional dan struktural masa depan.

2.6 Fraksi Volume

Fraksi volume adalah salah satu parameter utama dalam desain dan analisis komposit. Istilah ini merujuk pada rasio volume suatu komponen penyusun biasanya serat terhadap keseluruhan material yang secara signifikan mempengaruhi sifat mekanik, termal, dan fungsional dari komposit. Peningkatan fraksi volume serat cenderung meningkatkan kekuatan tarik dan tekan secara linier, meskipun pengaruh terhadap kekakuan dapat lebih kompleks tergantung orientasi dan jenis serat .

Dalam sistem dua fasa seperti komposit serat, fraksi volume serat (V_f) dan fraksi volume matriks (V_m) dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$V_f + V_m = 1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

V_f = fraksi volume serat,

V_m = fraksi volume matriks.

Fraksi volume serat dihitung berdasarkan perbandingan volume serat terhadap volume total komposit, dan dapat ditentukan secara langsung dari data massa jenis dan berat masing-masing komponen menggunakan rumus:

$$V_f = (W_f / \rho_f) / [(W_f / \rho_f) + (W_m / \rho_m)] \dots\dots\dots (2.3)$$

Di mana:

W_f = berat serat,

W_m = berat matriks,

ρ_f = massa jenis serat,

ρ_m = massa jenis matriks

Fraksi volume serat yang ideal memainkan peranan penting dalam mekanisme perpindahan beban dari matriks ke serat, fraksi volume adalah salah satu faktor penentu utama kekuatan komposit. Jika fraksi volume terlalu kecil, komposit tidak mampu memanfaatkan kekuatan serat secara optimal karena pengaruh matriks yang relatif lemah. Namun, jika fraksi volume terlalu besar, resin akan kesulitan menembus celah antar serat, meningkatkan risiko terbentuknya rongga (porositas) dalam struktur material.

Selain itu, fraksi volume digunakan sebagai parameter dalam model prediksi sifat mekanik komposit, seperti modulus elastisitas (E), kekuatan tarik, dan kekuatan impak. Model paling umum yang menggunakan fraksi volume adalah hukum campuran (rule of mixtures), yang menyatakan:

$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

E_c = modulus elastisitas komposit,

E_f = modulus elastisitas serat,

E_m = modulus elastisitas matriks.

Pemahaman mengenai fraksi volume juga penting dalam konteks pengolahan komposit secara eksperimental, karena nilai ini menjadi acuan untuk menentukan jumlah bahan yang digunakan agar diperoleh spesimen dengan komposisi yang tepat dan seragam.

Dalam penelitian berbasis serat alam, fraksi volume sangat mempengaruhi hasil pengujian, seperti uji tarik dan impak, sehingga pelaporan nilai V_f dan V_m merupakan hal krusial dalam laporan ilmiah dan publikasi.

Dengan demikian, fraksi volume bukan hanya parameter geometrik, tetapi merupakan penentu utama performa dari komposit yang dihasilkan, baik dari sisi kekuatan, ketahanan, maupun konsistensi struktur.

2.7 Uji tarik (Tensile Strength)

Uji tarik merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang paling umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik suatu material terhadap beban tarik. Melalui pengujian ini, dapat diketahui parameter-parameter penting seperti kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), regangan saat patah, dan modulus elastisitas. Pengujian tarik merupakan jenis pengujian merusak. Pengujian ini untuk mengetahui modulus elastis, kekuatan tarik, tegangan tarik, dan tegangan transisi dari suatu material (Mochammad & Aisyah, 2019). Data yang diperoleh akan menghasilkan kurva tegangan-regangan yang menjadi dasar untuk menganalisis sifat mekanik material.

Secara umum, tujuan dari uji tarik adalah untuk menentukan kekuatan tarik material, menghitung besarnya deformasi atau regangan, serta mengetahui nilai modulus elastisitas. Uji ini juga digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan

tertentu terhadap kekuatan material, seperti perlakuan alkalisasi pada serat alam dalam komposit. Selain itu, uji tarik juga berguna untuk membandingkan performa dari material yang berbeda atau dengan variasi komposisi tertentu.

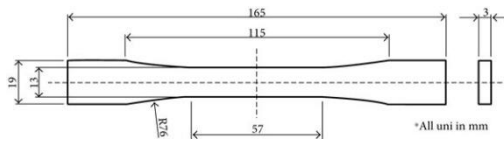
Jenis-jenis uji tarik dapat dibedakan berdasarkan bentuk spesimen, standar pengujian, dan jenis material yang diuji. Beberapa jenis standar pengujian tarik yang umum digunakan antara lain:

1. ASTM D638: digunakan untuk material polimer dan komposit berbasis resin termoplastik atau termoset,
2. ASTM D3039: digunakan untuk material komposit serat panjang berorientasi unidirectional,
3. ISO 527: standar internasional untuk pengujian tarik plastik dan komposit,
4. ASTM E8: digunakan untuk material logam.

Untuk pengujian tarik material berbasis resin dan komposit seperti yang digunakan dalam penelitian ini, standar yang umum digunakan adalah ASTM D638-14. Spesimen uji tarik berbentuk seperti jam pasir (*dumbbell-shaped*) agar tegangan terkonsentrasi di bagian tengah dan tidak terjadi slip di bagian penjepitan.

Spesimen uji tarik dibuat mengacu pada standar ASTM D638 tipe I dengan dimensi sebagai berikut: panjang total 165 mm, panjang bagian pengukuran (gage length) 50 mm, lebar bagian pengukuran: 13 mm, lebar total bagian penjepitan: 19 mm, panjang bagian penjepitan: 57 mm, radius transisi: 76 mm, ketebalan spesimen: 3 mm, jarak minimum antar rahang: 115 mm

Ditinjau pada Gambar 2.6 menunjukkan spesimen dengan standar ASTM D638 Type 1 untuk pengujian tarik, spesimen dirancang menyerupai bentuk jam pasir untuk memastikan distribusi tegangan yang merata selama pengujian.



Gambar 2.6 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM D638

Sebelum pengujian, spesimen harus dipersiapkan dengan dimensi yang tepat, bebas dari cacat visual seperti retakan, dan dikondisikan dalam lingkungan standar. Spesimen kemudian dipasang pada mesin uji tarik dengan penjepit yang sesuai. Mesin uji akan menarik spesimen secara perlahan dengan kecepatan tertentu (biasanya 5 mm/menit), sementara sensor mencatat gaya tarik dan perubahan panjang spesimen secara kontinu.

Nilai tegangan tarik (σ) dihitung dari gaya tarik maksimum (F) dibagi luas penampang awal (A) spesimen, sedangkan regangan (ϵ) dihitung dari perubahan panjang spesimen (ΔL) dibagi panjang awal spesimen (L_0). Modulus elastisitas (E) diperoleh dari kemiringan awal kurva tegangan-regangan pada daerah elastis material.

Setelah spesimen patah, data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui sifat-sifat mekanik material. Mode kegagalan juga diamati, apakah spesimen patah di bagian tengah (yang diharapkan), atau di bagian luar (yang bisa menandakan adanya cacat atau pemasangan yang tidak sempurna). Pada komposit berbasis serat alam, kegagalan bisa meliputi putusya serat, pecahnya matriks, atau lepasnya serat dari matriks (*fiber pull-out*), tergantung pada kualitas ikatan antarmuka dan homogenitas campuran.

Secara keseluruhan, uji tarik merupakan pengujian yang esensial dalam pengembangan material komposit. Dengan uji ini, peneliti dapat mengevaluasi seberapa besar pengaruh perlakuan seperti alkalisasi, variasi fraksi volume serat, dan jenis resin terhadap kekuatan material. Oleh karena itu, uji tarik menjadi bagian penting dalam studi tentang penguatan material menggunakan serat alam.

2.8 Uji Impak (Impact Test)

Uji impak merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk menguji ketangguhan menggunakan pembebanan yang cepat. Uji impak bisa diartikan sebagai suatu tes yang mengukur kemampuan suatu bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen dengan ayunan (Mochammad & Aisyah, 2019). Material yang mampu menyerap energi benturan dalam jumlah besar menunjukkan sifat *toughness* yang tinggi, sedangkan material yang rapuh akan menyerap energi dalam jumlah kecil sebelum patah.

Tujuan utama dari uji impak adalah untuk mengetahui seberapa besar energi yang dibutuhkan untuk mematahkan material dalam kondisi pembebanan yang tiba-tiba. Uji ini juga penting untuk mengevaluasi sifat fraktur material, mengidentifikasi sifat getas atau daktil dari suatu material, serta membandingkan performa material sebelum dan sesudah perlakuan tertentu, misalnya perlakuan alkalisasi pada material komposit.

Prinsip dasar uji impak adalah memberikan beban tumbukan kepada spesimen uji melalui pendulum atau alat sejenis dengan energi potensial tertentu. Energi yang diserap oleh spesimen saat terjadi patahan akan dicatat, dan menjadi indikator ketangguhan material tersebut. Terdapat beberapa metode pengujian impak, di antaranya:

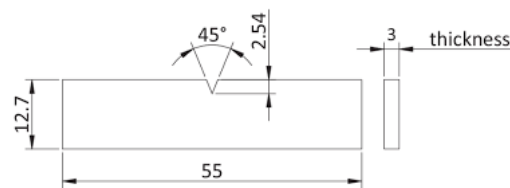
1. Uji Charpy: spesimen diletakkan mendatar dengan takikan di tengah, lalu dipukul dari arah belakang takikan,
2. Uji Izod: spesimen diletakkan tegak lurus dengan takikan menghadap ke arah tumbukan.

Dalam pengujian material komposit, metode uji Charpy lebih umum digunakan karena lebih efektif untuk mengamati ketahanan struktur terhadap retakan dan delaminasi. Standar yang sering digunakan untuk uji impak pada komposit adalah ASTM D6110 untuk metode Charpy dan ASTM D256 untuk metode Izod.

Spesimen untuk uji impak Charpy dibuat berbentuk balok kecil dengan dimensi sesuai standar ASTM D256, yaitu panjang 55 mm, lebar 12,7 mm, dan tebal 3 mm.

Spesimen dilengkapi dengan takikan berbentuk V yang memiliki sudut 45° , kedalaman 2,54 mm, serta radius dasar takikan sebesar 0,25 mm.

Ditinjau pada Gambar 2.7 menunjukkan spesimen dengan standar ASTM D256-10 untuk pengujian impak, memperlihatkan spesifikasi dimensi dan bentuk takikan V dari spesimen untuk memastikan konsistensi pengujian antar spesimen.



Gambar 2.7 Spesimen Uji Impak Standar ASTM D256

Pada pelaksanaan uji impak, spesimen yang sudah memiliki takikan ditempatkan pada posisi mendatar pada mesin uji. Pendulum dilepaskan dari ketinggian tertentu, menghantam spesimen di belakang takikan dengan energi kinetik tertentu. Energi yang diserap oleh spesimen dihitung dari perbedaan energi potensial pendulum sebelum dan sesudah tumbukan.

Hasil dari uji impak dinyatakan dalam satuan Joule (J) atau dalam nilai energi spesifik seperti Joule per luas penampang takikan (J/m^2). Energi serapan tinggi menandakan material yang tangguh (*tough*), sedangkan energi serapan rendah menunjukkan material yang getas (*brittle*).

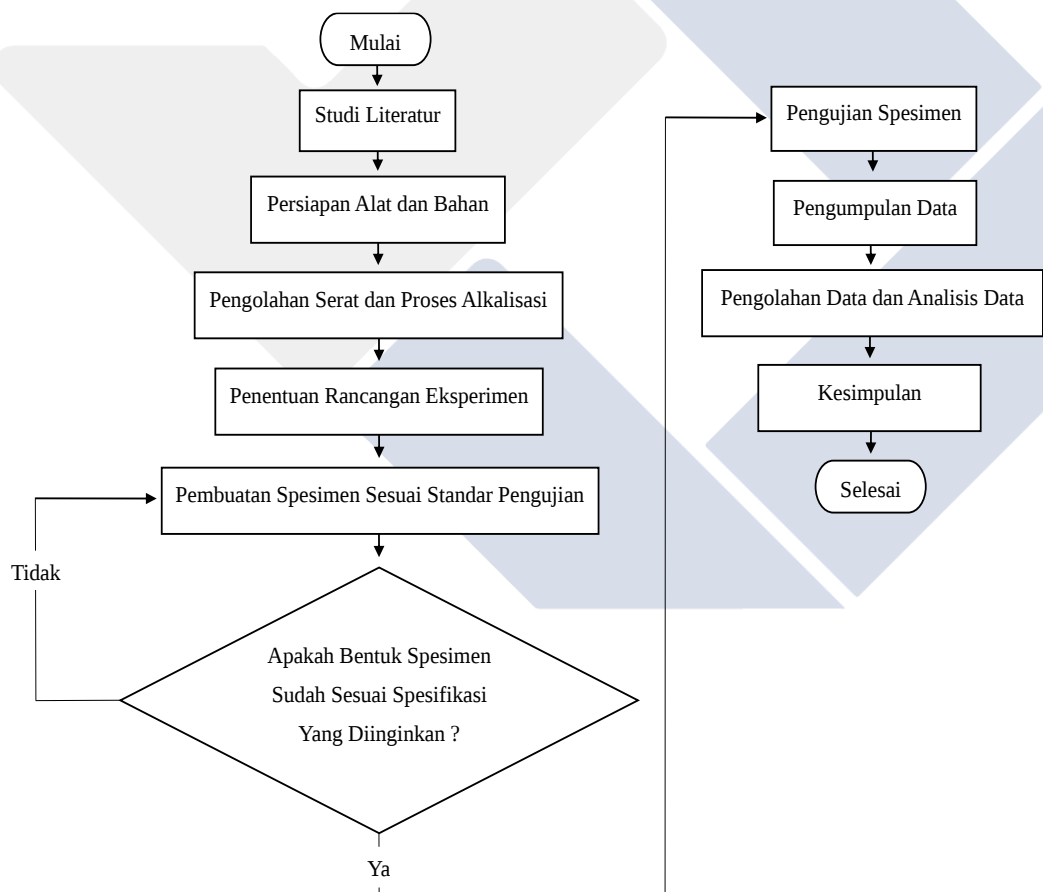
Dalam pengembangan material komposit berbasis serat alam, uji impak sangat penting untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor seperti perlakuan serat, fraksi volume serat, dan jenis resin terhadap ketangguhan material. Pengujian ini juga membantu dalam mengevaluasi perilaku fraktur material, seperti propagasi retak, pelepasan serat dari matriks (*fiber pull-out*), dan delaminasi antar lapisan komposit.

BAB III

METODE PELAKSANAAN

3.1 Diagram Alir (Flowchart)

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama, dimulai dari, studi literatur, persiapan alat dan bahan, pengolahan dan perlakuan alkalisasi pada serat daun pandan alas, penentuan rancangan eksperimen, pembuatan spesimen bio komposit, pengujian sifat mekanik menggunakan pengujian tarik dan pengujian impak, hingga analisis data untuk memperoleh hasil yang optimal. Langkah-langkah penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart

3.2 Identifikasi Masalah

Pengembangan material komposit ramah lingkungan menjadi perhatian penting dalam bidang rekayasa material, terutama dalam mengurangi ketergantungan terhadap serat sintetis. Serat daun pandan alas merupakan salah satu potensi serat alam yang belum banyak dimanfaatkan secara optimal. Namun, karakteristik alami serat tersebut masih memiliki kelemahan, seperti daya rekat yang rendah terhadap matriks resin dan kadar lignin yang tinggi, sehingga dapat memengaruhi sifat mekanik bio komposit yang dihasilkan.

Untuk meningkatkan performa serat sebagai penguat komposit, diperlukan perlakuan kimia seperti alkalisasi dengan larutan natrium hidroksida (NaOH). Variasi konsentrasi dan waktu perendaman dalam proses alkalisasi diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tarik dan dampak dari bio komposit. Namun, sejauh ini belum terdapat data dan kajian yang cukup mengenai pengaruh perlakuan alkalisasi terhadap serat pandan alas, khususnya dalam konteks sifat mekanik bio komposit.

3.3 Waktu dan tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu tertentu yang mencakup tahap persiapan, perlakuan material, pembuatan spesimen, pengujian, serta analisis data. Secara umum, penelitian dilakukan pada semester genap tahun akademik 2024/2025.

Waktu Penelitian

Penelitian berlangsung selama bulan Maret hingga Juli 2025, dengan rincian kegiatan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel Waktu Penelitian

Maret 2025	Studi literatur dan awal perancangan desain eksperimen
April 2025	Penyempurnaan rancangan eksperimen
Mei 2025	Persiapan Serat dan pembuatan spesimen komposit
Juni 2025	Uji tarik dan dampak, pengumpulan serta analisis data
Juli 2025	Finalisasi analisis dan penyusunan laporan akhir

Tempat Penelitian:

Penelitian ini sebagian besar dilaksanakan secara mandiri di rumah peneliti, dengan penyesuaian terhadap ketersediaan peralatan dan lingkungan kerja yang memadai. Adapun lokasi rinci pelaksanaan adalah sebagai berikut:

1. Ruang kerja rumah peneliti.

digunakan untuk proses alkalisasi serat, pencampuran resin, dan pembuatan spesimen komposit skala kecil.

2. Tempat pengujian mekanik.

untuk uji tarik dan uji impak dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas laboratorium atau pihak ketiga yang memiliki alat uji sesuai standar (misalnya UTM dan impact tester).

3. Perangkat komputer pribadi.

digunakan untuk perancangan eksperimen dan analisis data hasil eksperimen.

Seluruh kegiatan dilakukan dengan mempertimbangkan aspek keselamatan kerja dan kelayakan teknis sesuai standar penelitian di bidang teknik.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan berbagai bahan dan alat yang digunakan dalam proses perlakuan serat, pembuatan spesimen, serta pengujian sifat mekanik bio komposit. Penjabaran setiap bahan dan alat dijelaskan sebagai berikut:

3.4.1 Daun Pandan Alas (*Pandanus tectorius*)

Daun pandan alas digunakan sebagai bahan penguat alami dalam komposit. Daun yang digunakan direndam di dalam air terlebih dahulu selama ± 3 hari, lalu diserut secara manual untuk diambil seratnya. Serat ini dipilih karena memiliki karakteristik mekanik yang baik, ramah lingkungan, serta tersedia secara lokal. Pada Gambar 3.2 ditunjukkan serat yang telah diambil dari daun tanaman pandan alas setelah melalui proses perendaman dan penyerutan manual.



Gambar 3.2 Serat Daun Pandan Alas

3.4.2 Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium Hidroksida (NaOH) digunakan untuk proses alkalisasi serat pandan alas. Natrium Hidroksida yang awalnya berbentuk padatan lalu dilarutkan ke dalam air untuk membentuk larutan dengan konsentrasi 5%, dan 10%. Serat direndam dalam larutan ini pada suhu ruang selama waktu yang divariasikan, kemudian dibilas hingga kadar pH (Potensial Hidrogen) netral lalu dikeringkan kembali. Pada Gambar 3.3 menunjukkan larutan natrium hidroksida (NaOH) yang digunakan dalam proses alkalisasi.



Gambar 3.3 Natrium Hidroksida (NaOH)

3.4.3 Resin Polyester

Resin polyester berfungsi sebagai matriks dalam pembuatan bio komposit. Resin yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *Benzoylquinone Terephthalate Unsaturated Polyester Resin* (BQTN), yang memiliki sifat kekuatan mekanik yang cukup tinggi, waktu pengerasan yang relatif cepat, dan mudah diproses secara manual. Resin ini dicampurkan dengan katalis sebelum dituangkan

ke dalam cetakan. Pada Gambar 3.4 menunjukkan resin polyester jenis BQTN yang digunakan dalam proses pembuatan komposit.



Gambar 3.4 Resin Polyester BQTN

3.4.4 Katalis Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP)

Katalis *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKP) digunakan untuk memicu proses curing resin polyester. Rasio pencampuran katalis dengan resin berkisar antara 1–2% dari total volume resin, disesuaikan dengan suhu ruang dan waktu kerja yang diinginkan. Proses pengerasan berlangsung selama ± 30 –60 menit pada suhu ruang. Pada Gambar 3.5 menunjukkan katalis berjenis *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKP) yang digunakan dalam proses pembuatan komposit.



Gambar 3.5 Katalis MEKP

3.4.5 Cetakan Uji Tarik dan Uji Impak Berbahan Silikon

Cetakan digunakan untuk membentuk spesimen uji tarik dan uji impak. Cetakan dibuat dari bahan silikon karena sifatnya yang elastis, tahan panas, dan mampu mencetak detail bentuk dengan presisi.

1. Cetakan uji tarik mengikuti standar ASTM D638 Tipe I, dengan dimensi panjang total 165 mm, lebar 12 mm (bagian pengujian), dan ketebalan ± 3 mm. Pada Gambar 3.6 menunjukkan cetakan spesimen uji tarik dengan standar ASTM D638 Tipe I.



Gambar 3.6 Cetakan Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Tipe 1

2. Cetakan uji impak mengikuti standar ASTM D256-10, dengan dimensi spesimen 54 mm $\times$ 9 mm $\times$ 9 mm dan notch berbentuk V 45° pada bagian tengah. Pada Gambar 3.7 menunjukkan cetakan spesimen uji impak dengan standar ASTM D638 Tipe I.



Gambar 3.7 Cetakan Spesimen Uji Impak ASTM D256

3.5 Pengambilan Data Penelitian

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang telah dirancang secara sistematis dan terstruktur untuk memperoleh hasil yang valid dan dapat dipertanggung jawabkan. Tahapan pengambilan data meliputi:

1. Persiapan bahan baku serat pandan alas.
2. Perlakuan kimia berupa proses alkalisasi serat pandan alas.

3. Pembuatan spesimen uji komposit untuk uji tarik dan uji impak.
4. Pelaksanaan pengujian sifat mekanik serta pencatatan hasil pengujian.

Setiap tahapan dalam pengambilan data didokumentasikan dalam bentuk foto atau gambar sebagai bukti proses yang telah dilaksanakan. Dokumentasi tersebut dicantumkan pada Lampiran 2 hingga Lampiran 4.

3.5.1 Persiapan Serat Pandan Alas

Serat pandan alas diperoleh dari daun pandan alas (*Pandanus tectorius*) yang telah tua dan kering. Proses persiapan serat dilakukan melalui beberapa langkah berikut:

1. Pemilihan Daun:

Daun pandan alas berukuran besar dan panjang dipilih untuk diambil seratnya.

2. Pengambilan Serat:

Serat diambil secara manual menggunakan pisau tajam melalui metode *scraping*, yaitu dengan cara mengikis lapisan daun hingga hanya tersisa bagian serat.

3. Pencucian Awal:

Serat dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran, getah, dan sisa jaringan daun.

4. Pengeringan Awal:

Setelah dicuci, serat dikeringkan dengan suhu ruang selama 1 hingga 4 hari hingga kadar airnya berkurang.

Dokumentasi proses persiapan serat pandan alas dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.5.2 Proses Alkalisasi Serat

Proses alkalisasi bertujuan untuk menghilangkan komponen non-selulosa seperti lignin, hemiselulosa, serta minyak atau lilin pada permukaan serat. Perlakuan ini dimaksudkan untuk meningkatkan daya ikat antara serat dan matriks resin melalui modifikasi permukaan serat.

Tahapan proses alkalisasi adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Larutan NaOH:

Larutan natrium hidroksida (NaOH) disiapkan dengan konsentrasi 5% dan 10%.

2. Perendaman Serat:

Serat pandan alas yang telah dikeringkan direndam dalam larutan NaOH sesuai variasi konsentrasi dan waktu perendaman, yaitu selama 3 jam dan 5 jam.

3. Pembilasan:

Setelah perendaman, serat dibilas dengan air mengalir, kemudian dicuci menggunakan air netral ($\text{pH} \pm 7$) untuk menghentikan reaksi kimia dan membersihkan sisa larutan basa.

4. Pengeringan Ulang:

Serat yang telah dibersihkan dikeringkan kembali dengan suhu ruang hingga benar-benar kering sebelum digunakan dalam proses pembuatan komposit.

Dokumentasi proses alkalisasi serat pandan alas dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.5.3 Pembuatan Spesimen Uji Komposit

Pembuatan spesimen uji komposit dilakukan menggunakan cetakan silikon dengan ukuran sesuai standar pengujian. Proses pembuatan spesimen dilaksanakan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pencampuran Resin dan Katalis:

Resin polyester dicampur dengan katalis *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKP) sebanyak 2% dari volume resin.

2. Penuangan Resin Lapisan Awal:

Sebagian resin yang telah tercampur dengan katalis dituangkan tipis pada dasar cetakan. Tujuannya untuk memastikan dasar cetakan tertutup sempurna oleh resin sehingga tidak terdapat rongga udara di bagian bawah spesimen.

3. Peletakan Serat:

Serat pandan alas yang telah dikeringkan dan dipotong sesuai ukuran spesimen disusun di atas lapisan resin awal secara merata di dalam cetakan. Penyusunan serat dilakukan dengan rapi agar serat tersebar merata di seluruh bagian spesimen.

4. Penuangan Resin Selanjutnya:

Sisa campuran resin dan katalis dituangkan kembali hingga seluruh serat terendam sempurna dan terbungkus oleh resin.

5. Pemberian Beban:

Permukaan cetakan diberi beban berupa batu atau benda berat. Tujuannya untuk menekan serat dan resin secara merata, mencegah spesimen melengkung, serta memastikan ketebalan spesimen tetap seragam selama proses pengerasan (*curing*).

6. Proses *Curing*:

Cetakan dibiarkan pada suhu ruang selama kurang lebih 2 jam hingga resin mengalami pengerasan sempurna.

7. Pelepasan dari Cetakan:

Setelah proses *curing* selesai, spesimen dilepaskan dari cetakan dengan hati-hati agar tidak terjadi kerusakan.

8. Penghalusan Permukaan:

Spesimen yang telah dilepaskan dari cetakan kemudian diampas pada bagian permukaannya agar menjadi rata dan sesuai dengan standar dimensi untuk pengujian.

Dokumentasi proses pembuatan spesimen dapat dilihat pada Lampiran 3.

3.5.4 Proses Pengujian Tarik dan Impak

Spesimen komposit yang telah selesai dibuat kemudian diukur dimensinya terlebih dahulu untuk memastikan kesesuaian dengan standar masing-masing pengujian. Setelah spesimen memenuhi ukuran standar, dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat mekaniknya melalui uji tarik dan uji impak.

Tahapan pengujian dilakukan sebagai berikut:

1. Uji Tarik:

- a. Uji tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM D638.
- b. Pengujian dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) hingga spesimen mengalami patah.
- c. Selama proses uji, data hasil pengujian dicatat untuk didapatkan nilai rata-ratanya dan dianalisis lebih lanjut.

2. Uji Impak:

- a. Uji impak menggunakan metode Charpy dengan standar ASTM D256-10.
- b. Pengujian menggunakan mesin uji impak manual, pendulum diayunkan dari sudut tertentu dan energi serap dihitung dari selisih sudut sebelum dan sesudah tumbukan.
- c. Nilai energi serap dicatat secara manual melalui skala sudut pada mesin.

Dokumentasi proses pengujian tarik dan impak serta pencatatan hasil dapat dilihat pada Lampiran 4.

3.6 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dirancang menggunakan pendekatan *Design of Experiment* (DoE) dengan metode faktorial untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan alkalisasi terhadap sifat mekanik bio komposit serat daun pandan alas. Metode faktorial dipilih karena mampu mengidentifikasi pengaruh masing-masing variabel bebas (*main effects*) terhadap respon mekanik secara sistematis dan efisien.

Variabel yang divariasikan dalam penelitian ini adalah:

1. Konsentrasi larutan NaOH: 0% (sebagai kontrol), 5%, dan 10%
2. Waktu perendaman dalam larutan NaOH: 3 jam dan 5 jam
3. Fraksi volume serat terhadap matriks: 10:90 dan 15:85

Variabel yang dijaga tetap meliputi:

1. Jenis resin (resin polyester)
2. Suhu dan lama *curing*
3. Jenis cetakan (silikon standar ASTM)
4. Rasio katalis 2% terhadap resin

Variabel respon atau data yang akan diukur adalah:

1. Nilai kuat tarik (MPa)
2. Nilai impak (kJ/m²)

Setiap kombinasi perlakuan (2 konsentrasi $\times$ 2 waktu perendaman $\times$ 2 jenis pengujian $\times$ 2 fraksi volume + 4 sample kontrol $\times$ 3 kali replikasi), sehingga total spesimen uji adalah 60.

Seluruh kombinasi perlakuan tersebut digunakan untuk memproduksi spesimen uji tarik dan uji impak. Hasil pengujian dari masing-masing kombinasi

kemudian dianalisis untuk menentukan pengaruh signifikan dari setiap faktor terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak bio komposit. Desain kombinasi perlakuan ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Eksperimen

Eksperimen	Fraksi Volume (%)	Lama Perendaman (Jam)	NaOH (%)
1	10:90	0	0
2	10:90	3	5
3	10:90	5	5
4	10:90	3	10
5	10:90	5	10
6	15:85	0	0
7	15:85	3	5
8	15:85	5	5
9	15:85	3	10
10	15:85	5	10

3.7 Pengolahan dan Analisis Data Hasil Penelitian

Data penelitian diperoleh dari hasil pengujian kuat tarik dan kekuatan impak pada bio komposit serat daun pandan alas dengan variasi perlakuan larutan natrium hidroksida (NaOH) (0% sebagai kontrol, 5%, dan 10%), waktu perendaman (3 jam dan 5 jam), serta fraksi volume serat (10% dan 15%) yang dikombinasikan dengan fraksi volume matriks resin polyester (90% dan 85%).

Langkah awal pengolahan data meliputi perhitungan nilai rata-rata dari setiap kombinasi perlakuan, guna memberikan gambaran umum mengenai karakteristik dan sebaran data mekanik yang dihasilkan. Nilai rata-rata digunakan sebagai representasi performa mekanik.

Selanjutnya, data dianalisis menggunakan metode *Design of Experiment* (DoE) factorial untuk mengevaluasi pengaruh variabel bebas, yaitu konsentrasi natrium hidroksida (NaOH), waktu perendaman, dan fraksi volume serat terhadap sifat

mekanik bio komposit. Analisis dilakukan dengan mengamati efek utama (*main effects*).

Untuk mengetahui signifikansi pengaruh masing-masing faktor, digunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan parameter statistik seperti nilai F dan p-value. Suatu faktor atau interaksi dinyatakan berpengaruh signifikan apabila nilai p-value $< 0,05$.

Hasil analisis kemudian divisualisasikan dalam bentuk diagram untuk mempermudah identifikasi kombinasi perlakuan yang paling berpengaruh terhadap karakteristik mekanik biokomposit. Visualisasi ini memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai efek perlakuan alkalisasi dan variasi komposisi terhadap performa material, serta menjadi dasar dalam perumusan kesimpulan dan rekomendasi untuk pengembangan biokomposit berbasis serat alam secara optimal.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini memakai serat dari daun tanaman pandan alas dengan variasi konsentrasi larutan, lama perendaman, dan perbandingan volume matriks dan serat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dan kekuatan impact spesimen sebagai bahan alternatif body kendaraan, joran pancing, mainan anak-anak, dan lainnya. Pengujian Tarik dilakukan menggunakan Mesin uji *Universal Testing Machine (UTM)* dan Pengujian Impact menggunakan Mesin uji *Impact Charpy*. Selanjutnya data yang telah didapat akan diolah untuk mendapatkan sebuah kesimpulan tentang variasi faktor yang akan menghasilkan nilai kekuatan tarik dan kekuatan impact yang diinginkan.

4.2 Hasil Perhitungan Volume Matriks dan Serat

Perhitungan volume matriks dan serat dilakukan untuk menentukan massa bahan sesuai variasi fraksi volume yang telah ditetapkan. Perhitungan ini bertujuan untuk memastikan proporsi matriks dan serat sesuai desain komposit, sehingga distribusi beban pada saat pengujian dapat merata dan hasil uji tarik dan uji impact menjadi representatif. Hasil perhitungan volume matriks dan serat untuk masing-masing spesimen disajikan pada subbab berikut.

4.2.1 Volume Matriks dan Serat Spesimen Uji Tarik

Pada pembuatan spesimen uji tarik, dilakukan perhitungan rasio volume untuk menentukan massa matriks dan serat sesuai dengan variasi fraksi volume yang telah ditentukan. Hasil dari perhitungan rasio volume matriks dan serat untuk pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perhitungan Rasio Volume Untuk Spesimen Uji Tarik

No.	Fraksi Volume (%)	Lama	NaOH (%)	Berat	Berat
		Perendaman (Jam)		Resin (g)	Serat (g)
1	10:90	0	0	10,716	0,402

2	10:90	3	5	10,716	0,402
3	10:90	5	5	10,716	0,402
4	10:90	3	10	10,716	0,402
5	10:90	5	10	10,716	0,402
6	15:85	0	0	10,120	0,603
7	15:85	3	5	10,120	0,603
8	15:85	5	5	10,120	0,603
9	15:85	3	10	10,120	0,603
10	15:85	5	10	10,120	0,603

4.2.2 Volume Matriks dan Serat Spesimen Uji Impak

Pada pembuatan spesimen uji impact, dilakukan perhitungan rasio volume untuk menentukan massa matriks dan serat sesuai dengan variasi fraksi volume yang telah ditentukan. Hasil dari perhitungan rasio volume matriks dan serat untuk pengujian impact dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perhitungan Rasio Volume Untuk Spesimen Uji Impact

No.	Fraksi Volume (%)	Lama Perendaman (Jam)	NaOH (%)	Berat Resin (g)	Berat Serat (g)
1	10:90	0	0	4,714	0,176
2	10:90	3	5	4,714	0,176
3	10:90	5	5	4,714	0,176
4	10:90	3	10	4,714	0,176
5	10:90	5	10	4,714	0,176
6	15:85	0	0	4,452	0,265
7	15:85	3	5	4,452	0,265
8	15:85	5	5	4,452	0,265
9	15:85	3	10	4,452	0,265
10	15:85	5	10	4,452	0,265

4.3 Pengujian Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Tipe 1

Uji tarik merupakan salah satu metode penting dalam pengujian sifat mekanik bahan komposit, karena mampu memberikan informasi mengenai kemampuan material dalam menahan gaya tarik sebelum mengalami kegagalan. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar internasional ASTM D638 Tipe 1, yang secara khusus digunakan untuk menguji sifat tarik pada plastik dan material komposit berbasis polimer.

Spesimen uji tarik dibuat sesuai dengan dimensi dan geometri yang ditetapkan dalam standar tersebut, yakni berbentuk *dog-bone* (tulang anjing), guna memastikan distribusi regangan yang merata di sepanjang bagian pengujian. Pengujian dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* Zwick Roell model Z020 Xforce K, yang dilengkapi dengan sensor gaya dan ekstensiometer untuk merekam data tegangan dan regangan secara real-time. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar ASTM D638 Type 1. Adapun proses pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengujian Spesimen Uji Tarik

Pengujian dilakukan pada suhu ruang dengan kecepatan tarik yang disesuaikan sesuai ketentuan dalam standar. Setiap spesimen diuji hingga mengalami kegagalan atau patah. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi larutan NaOH, waktu perendaman serat, dan fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik komposit yang dihasilkan.

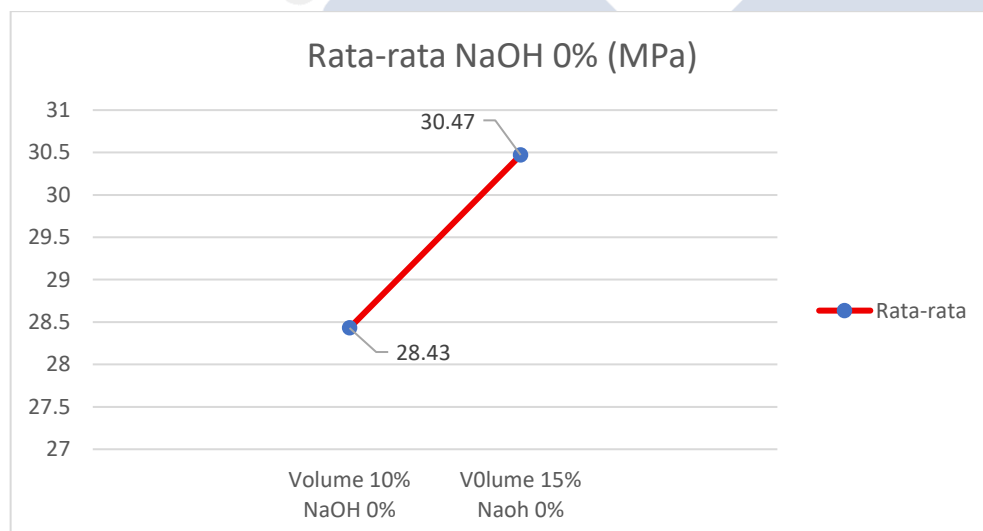
4.3.1 Hasil Pengujian Tarik Tanpa Perlakuan Alkalisasi

Pada tahap awal pengujian, dilakukan uji tarik terhadap spesimen komposit serat daun pandan alas tanpa perlakuan alkalisasi (NaOH 0%) dengan dua variasi fraksi volume serat, yaitu sebesar 10% dan 15%. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh nilai dasar (baseline) terhadap sifat mekanik komposit, khususnya dalam hal kekuatan tarik, sebelum diberikan perlakuan kimia berupa alkalisasi. Adapun data hasil pengujian untuk kekuatan tarik spesimen tanpa perlakuan alkalisasi dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Uji Tarik Tanpa Perlakuan Alkalisasi (NaOH 0%)

No.	Fraksi Volume (%)	Lama Perendaman (Jam)	NaOH (%)	Kekuatan Tarik (MPa)			Rata-rata (MPa)
				Sample 1	Sample 2	Sample 3	
1	10:90	0	0	29.6	28.4	27.3	28.43
2	15:85	0	0	30.4	29.8	31.2	30.47

Berdasarkan Tabel 4.3, apabila divisualisasikan dalam bentuk grafik, maka akan diperoleh representasi rata-rata grafis sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik hasil Uji Tarik Tanpa Perlakuan Alkalisasi (NaOH 0%)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen komposit tanpa perlakuan kimia menghasilkan nilai kekuatan tarik yang tinggi. Untuk spesimen dengan fraksi

volume serat 10%, diperoleh rata-rata kekuatan tarik sebesar 28,43 MPa, dengan nilai individu masing-masing 29,6 MPa, 28,4 MPa, dan 27,3 MPa. Sedangkan untuk spesimen dengan fraksi volume serat 15%, diperoleh rata-rata kekuatan tarik sebesar 30,47 MPa, dengan hasil individu sebesar 30,4 MPa, 29,8 MPa, dan 31,2 MPa.

Peningkatan kekuatan tarik pada fraksi serat yang lebih tinggi menunjukkan bahwa penambahan jumlah serat dalam batas tertentu dapat meningkatkan kemampuan material komposit dalam menahan beban tarik, karena meningkatnya efisiensi transfer beban dari matriks ke serat penguat.

Nilai kekuatan tarik yang tinggi diduga berasal dari struktur serat yang masih utuh secara alami. Hal ini terjadi karena kandungan selulosa tidak mengalami degradasi akibat perlakuan kimia. Selain itu, ketiadaan proses alkalisasi memungkinkan serat mempertahankan integritas morfologisnya, sehingga mampu mendistribusikan beban tarik secara lebih efektif dalam matriks polimer.

Namun demikian, meskipun nilai kekuatan tarik tampak tinggi, beberapa literatur melaporkan bahwa serat alami tanpa perlakuan alkalisasi umumnya memiliki kelemahan pada adhesi antarmuka antara serat dan matriks. Hal ini terbukti pada spesimen tanpa perlakuan alkalisasi, karakteristik patahan setelah pengujian tarik mengalami *fiber pull-out*, yaitu kondisi serat tertarik keluar dari matriks tanpa mengalami patah. *Fiber pull-out* menunjukkan bahwa kekuatan ikatan antara serat dengan matriks masih rendah disebabkan oleh masih adanya kandungan lignin, hemiselulosa, lilin, dan kotoran lain di permukaan serat yang dapat menghambat ikatan mekanik dan kimia antara kedua fase tersebut.

Dengan demikian, nilai kekuatan tarik yang tinggi pada kondisi tanpa perlakuan alkali menjadi parameter awal yang penting untuk dibandingkan dengan hasil komposit setelah diberi perlakuan alkalisasi.

4.3.2 Hasil Pengujian Tarik Dengan perlakuan Alkalisasi

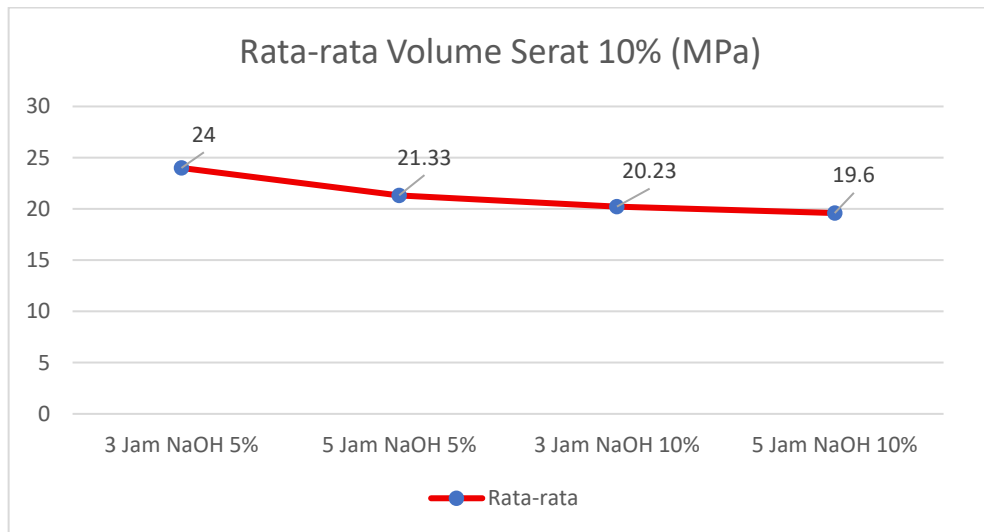
Setelah dilakukan pengujian terhadap spesimen tanpa perlakuan kimia, tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian tarik pada spesimen komposit serat daun pandan alas yang telah mengalami perlakuan alkalisasi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Perlakuan ini dilakukan dengan dua variasi

konsentrasi larutan, yaitu 5% dan 10%, serta dua durasi waktu perendaman masing-masing selama 3 jam dan 5 jam. Selain itu, dua fraksi volume serat, yaitu 10% dan 15%, juga diterapkan untuk mengevaluasi pengaruh variasi jumlah serat terhadap sifat tarik komposit. Adapun data hasil pengujian untuk kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

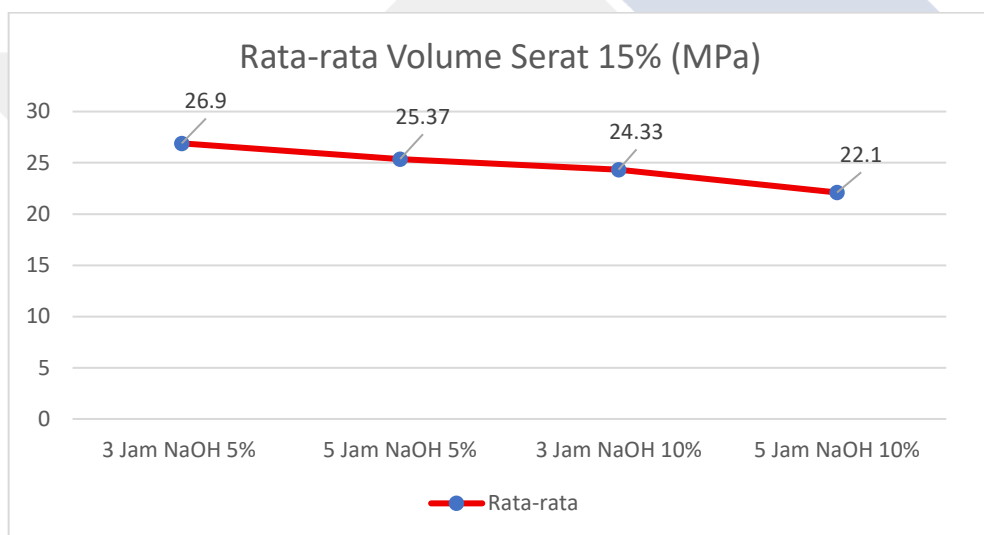
Tabel 4.4 Hasil Uji tarik Dengan Pelakuan Alkalisasi (Naoh 5% dan 10%)

No.	Fraksi Volume (%)	Lama Perendaman (Jam)	NaOH (%)	Kekuatan Tarik (MPa)			Rata-rata (MPa)
				Sample 1	Sample 2	Sample 3	
1	10:90	3	5	23.4	24.7	23.9	24.00
2	10:90	5	5	21.4	20.5	22.1	21.33
3	10:90	3	10	20.7	20.1	19.9	20.23
4	10:90	5	10	19.6	19.1	20.1	19.60
5	15:85	3	5	26.4	25.1	25.6	25.70
6	15:85	5	5	24.5	23.6	24.1	24.07
7	15:85	3	10	23.1	22.7	22.4	22.73
8	15:85	5	10	22.4	21.6	21.7	21.90

Berdasarkan Tabel 4.4, apabila divisualisasikan dalam bentuk grafik, maka akan diperoleh representasi rata-rata grafis sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Grafik Rata-rata Uji Tarik Fraksi Volume 10%



Gambar 4.4 Grafik Rata-rata Uji Tarik Fraksi Volume 15%

Hasil uji tarik menunjukkan bahwa terdapat penurunan nilai kekuatan tarik setelah serat diberi perlakuan alkalisasi, terutama pada perlakuan dengan konsentrasi NaOH yang lebih tinggi (10%) dan durasi perendaman yang lebih lama (5 jam). Nilai kekuatan tarik terendah dicatat pada spesimen dengan perlakuan 10% NaOH dan waktu perendaman 5 jam pada fraksi volume 10%, dengan rata-rata kekuatan tarik sebesar 19,60 MPa.

Pada spesimen yang telah mengalami perlakuan alkalisasi, Karakteristik patahan setelah pengujian tarik menunjukkan terjadinya *fiber break* yaitu kondisi di mana serat dalam komposit mengalami patah akibat beban atau tegangan yang melebihi

kekuatan serat. Perlakuan alkalisasi meningkatkan kekasaran permukaan serat sehingga memperkuat adhesi antara serat dan matriks resin. Namun, proses alkalisasi juga menyebabkan degradasi struktur serat karena hilangnya fraksi penting dari dinding sel dan terkikisnya sebagian selulosa. Kondisi ini membuat serat menjadi lebih rapuh dan kurang mampu menahan beban tarik. Akibatnya, meskipun adhesi antara serat dan matriks meningkat, nilai kekuatan tarik justru menurun karena serat mudah patah saat menerima beban kejut. Dengan demikian, peningkatan adhesi tidak sepenuhnya diimbangi oleh kekuatan serat itu sendiri, yang berdampak pada penurunan kekuatan biokomposit setelah perlakuan alkalisasi.

Fenomena ini sejalan dengan temuan dalam beberapa literatur yang menyatakan bahwa perlakuan kimia yang berlebihan dapat menyebabkan lemahnya integritas struktural serat, sehingga efektivitasnya sebagai penguat dalam komposit berkurang. Hal ini menyebabkan turunnya daya dukung serat terhadap beban mekanik, meskipun tujuan awal dari alkalisasi adalah untuk memperbaiki ikatan antarmuka antara serat dan matriks.

Meskipun secara umum terjadi penurunan sifat mekanik akibat perlakuan alkalisasi, terdapat indikasi bahwa peningkatan fraksi volume serat dari 10% menjadi 15% dapat memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kekuatan tarik, khususnya pada kondisi perlakuan NaOH 5%. Sebagai ilustrasi, pada perlakuan dengan larutan NaOH 5% selama 3 jam, kekuatan tarik mengalami peningkatan dari 24,00 MPa pada fraksi volume serat 10% menjadi 25,70 MPa pada fraksi volume serat 15%, yang menunjukkan bahwa penambahan fraksi serat dalam batas tertentu mampu memperkuat struktur komposit.

Hal ini menunjukkan bahwa jumlah serat yang lebih tinggi dapat membantu meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan gaya tarik, kemungkinan karena meningkatnya distribusi beban antar serat, selama ikatan antarmuka masih dalam kondisi yang cukup baik.

Namun efek peningkatan fraksi volume tidak selalu linier, karena tetap dipengaruhi oleh kondisi permukaan serat pasca-alkalisasi. Jika permukaan serat sudah mengalami kerusakan atau pengelupasan secara mikroskopis akibat

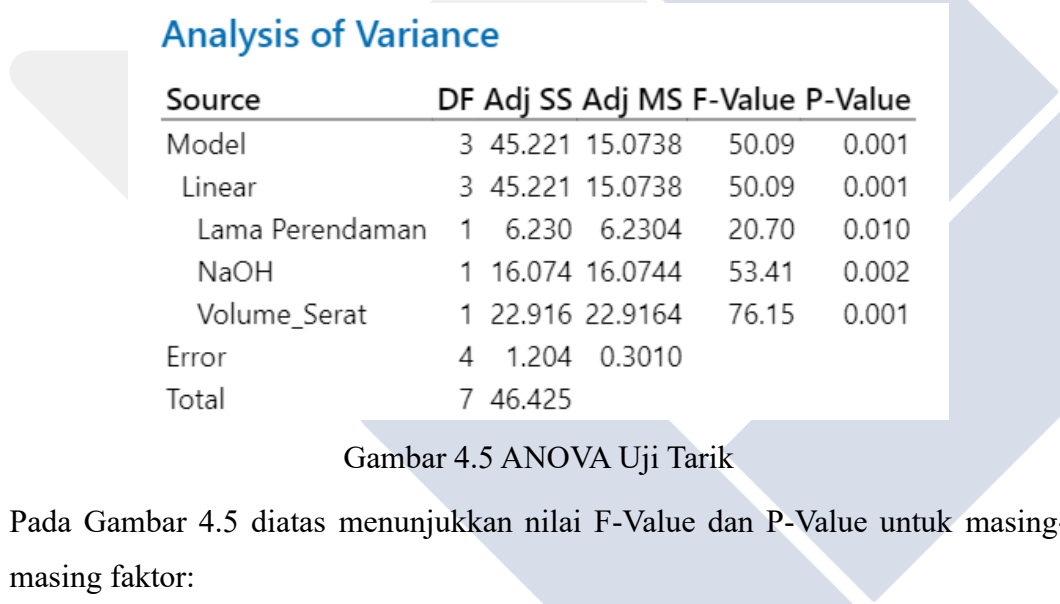
perlakuan kimia, maka peningkatan jumlah serat tidak serta-merta meningkatkan kekuatan komposit secara signifikan.

4.3.3 Analisis Statistik Kekuatan Tarik

Untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan tarik bio komposit dilakukan analisis statistik menggunakan metode *Design of Experiment* (DoE) faktorial penuh 2^3 dengan 3 faktor, yaitu:

1. Konsentrasi larutan NaOH: 0% (sebagai kontrol), 5%, dan 10%
2. Waktu perendaman dalam larutan NaOH: 3 jam dan 5 jam
3. Fraksi volume serat terhadap matriks: 10:90 dan 15:85

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab, dan hasil analisis varian ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 ANOVA Uji Tarik

Pada Gambar 4.5 diatas menunjukkan nilai F-Value dan P-Value untuk masing-masing faktor:

1. Lama Perendaman memiliki nilai F sebesar 20.70 dan P-Value sebesar 0.010. Karena $P\text{-Value} < 0.05$, maka faktor ini berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik.
2. NaOH (konsentrasi larutan) memiliki nilai F sebesar 53.41 dan P-Value sebesar 0.002. Ini menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan.
3. Volume Serat memiliki nilai F sebesar 76.15 dan P-Value sebesar 0.001, menandakan pengaruh yang paling signifikan di antara ketiga faktor.

Berdasarkan hasil ANOVA, ketiga faktor yaitu lama perendaman, konsentrasi NaOH, dan fraksi volume serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap

kekuatan tarik karena nilai p-value semuanya lebih kecil dari 0,05. Volume serat memiliki nilai F tertinggi (76.15) dan p-value terkecil (0.001), yang menunjukkan bahwa faktor ini merupakan variabel paling dominan dalam memengaruhi kekuatan tarik biokomposit. NaOH juga menunjukkan pengaruh signifikan dengan nilai F yang tinggi (53.41), sedangkan lama perendaman menunjukkan kontribusi yang signifikan namun relatif lebih rendah ($F = 20.70$). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan dalam volume serat dan konsentrasi NaOH dapat secara langsung memengaruhi peningkatan atau penurunan kekuatan tarik material komposit.

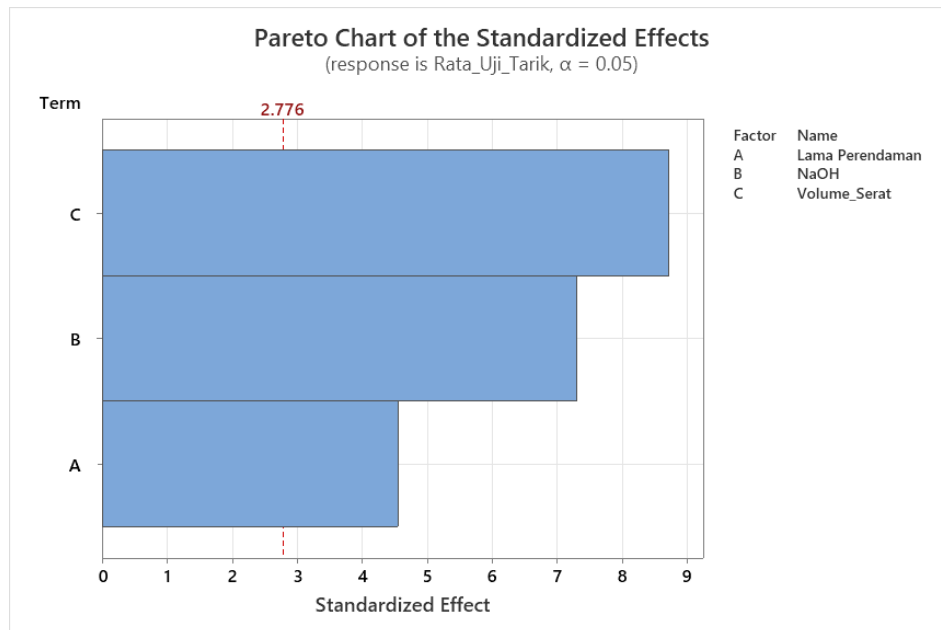
Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa ketiga faktor utama berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik material komposit.

Uji Hipotesis

Uji hipotesis dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan tarik. Dengan tingkat signifikansi 0,05, maka suatu faktor dianggap berpengaruh signifikan apabila $P\text{-Value} < 0,05$. Berdasarkan hasil ANOVA, semua faktor—lama perendaman ($P\text{-Value} = 0,010$), konsentrasi NaOH (0,002), dan volume serat (0,001)—memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik karena nilai P-Value lebih kecil dari 0,05. Oleh karena itu, hipotesis nol (H_0) untuk masing-masing faktor ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima, yang berarti bahwa ketiga faktor tersebut terbukti memberikan pengaruh nyata terhadap kekuatan tarik.

Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah grafik batang yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling signifikan dalam suatu permasalahan atau proses. Untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap hasil pengujian, dilakukan analisis menggunakan diagram Pareto. Diagram ini membantu mengidentifikasi faktor dominan berdasarkan kontribusi pengaruhnya terhadap respon yang diamati. Pada Gambar 4.6 menunjukkan diagram Pareto dari hasil analisis terhadap data uji tarik, yang menggambarkan faktor-faktor paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik biokomposit.



Gambar 4.6 Diagram Pareto Uji Tarik

Diagram Pareto di atas menunjukkan pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan Tarik biokomposit. Tiga faktor yang dianalisis adalah

1. Lama Perendaman (A)
2. Konsentrasi NaOH (B)
3. Volume Serat (C)

Garis merah vertikal dengan nilai 2,776 menunjukkan batas signifikansi statistik pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Setiap batang yang melewati garis ini dianggap memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respons.

Hasil grafik memperlihatkan bahwa semua faktor memiliki efek yang signifikan, karena nilai efek terstandarisasi untuk A, B, dan C semuanya melewati garis batas signifikansi tersebut. Di antara ketiganya, Volume Serat (C) memiliki pengaruh paling besar terhadap kekuatan tarik, diikuti oleh Konsentrasi NaOH (B). Sementara itu, Lama Perendaman (A) juga memberikan pengaruh yang signifikan, namun relatif lebih kecil dibandingkan dua faktor lainnya.

Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya serat yang digunakan memiliki pengaruh paling besar dalam meningkatkan atau menurunkan kekuatan tarik biokomposit, diikuti oleh konsentrasi NaOH. Meskipun pengaruh lama perendaman tidak sebesar dua faktor lainnya, faktor ini tetap memberikan kontribusi yang

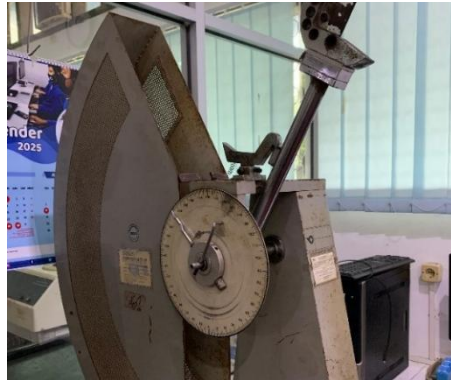
signifikan terhadap perubahan sifat mekanik. Hasil dari diagram Pareto ini konsisten dengan temuan yang diperoleh dari analisis ANOVA sebelumnya.

4.4 Pengujian Spesimen Uji Impak ASTM D256-10

Pengujian impak merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengevaluasi ketangguhan (*toughness*) suatu material komposit terhadap beban kejut atau benturan mendadak. Ketangguhan ini mencerminkan kemampuan material dalam menyerap energi selama proses deformasi plastis sebelum mengalami kegagalan, khususnya ketika dikenai beban secara tiba-tiba. Dalam konteks material komposit, sifat ketangguhan sangat penting untuk mengetahui sejauh mana serat penguat dan matriks dapat bekerja secara sinergis dalam menahan propagasi retak akibat beban impak.

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh nilai kekuatan impak (*impact strength*), yang didefinisikan sebagai energi per satuan luas penampang spesimen yang dibutuhkan untuk mematahkan material dalam kondisi uji tertentu. Nilai ini memberikan gambaran kuantitatif terhadap resistansi material terhadap beban benturan, yang selanjutnya menjadi parameter penting dalam mengevaluasi kelayakan aplikasi material komposit dalam lingkungan yang rawan terhadap beban dinamis.

Metode pengujian yang digunakan mengacu pada standar ASTM D256-10, yaitu standar pengujian *Pendulum Impact Resistance of Plastics* menggunakan metode Charpy. Standar ini mengatur secara rinci dimensi spesimen, prosedur pengujian, serta perhitungan nilai energi impak yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, spesimen uji dipersiapkan sesuai dengan spesifikasi standar tersebut, baik dari segi bentuk, ukuran takik, maupun orientasi serat pada komposit. Adapun proses pengujian impak dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pengujian Spesimen Uji Impak

Pengujian dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dengan menggunakan mesin uji impak GOTECH model GT-7045 tipe Charpy. Mesin ini bekerja dengan prinsip ayunan bandul yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu untuk memberikan energi kinetik kepada spesimen. Ketika bandul menghantam spesimen, sebagian energi diserap oleh material hingga terjadi patahan, sedangkan sisa energi diukur untuk menentukan besarnya energi yang telah diserap selama proses tersebut.

Nilai energi impak (Joule) yang diperoleh dari hasil pengujian selanjutnya dikonversi ke dalam satuan ketangguhan impak (kJ/m^2) dengan membagi energi terhadap luas penampang spesimen. Hasil pengujian ini menjadi acuan dalam menganalisis pengaruh perlakuan alkalisasi terhadap ketangguhan material biokomposit berbasis serat daun pandan alas.

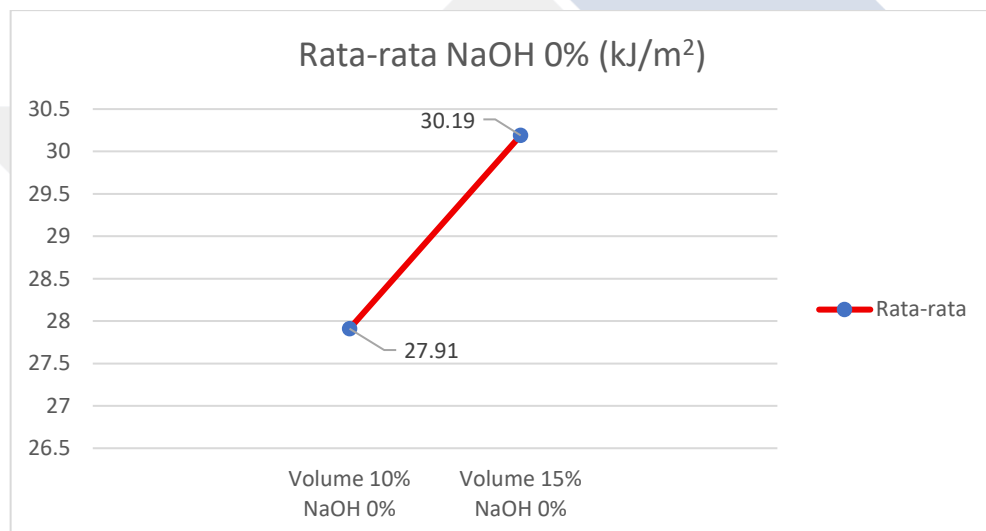
4.4.1 Hasil Pengujian Impak Tanpa Perlakuan Alkalisasi

Pada tahap awal pengujian, dilakukan uji impak terhadap spesimen komposit serat daun pandan alas tanpa perlakuan alkalisasi (NaOH 0%) dengan dua variasi fraksi volume serat, yaitu sebesar 10% dan 15%. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh nilai dasar (baseline) terhadap sifat mekanik komposit, khususnya dalam hal kekuatan impak, sebelum diberikan perlakuan kimia berupa alkalisasi. Adapun data hasil pengujian untuk kekuatan impak spesimen tanpa perlakuan alkalisasi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Uji Impak Tanpa Perlakuan Alkalisasi (NaOH 0%)

No.	Fraksi Volume (%)	Lama Perendaman (Jam)	NaOH (%)	Kekuatan Impak (kJ/m ²)			Rata-rata (kJ/m ²)
				Sample 1	Sample 2	Sample 3	
1	10:90	0	0	27.16	27.16	29.43	27.91
2	15:85	0	0	29.43	31.73	29.43	30.19

Berdasarkan data yang tersaji pada Tabel 4.5, apabila divisualisasikan dalam bentuk grafik, maka akan diperoleh representasi grafis sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik hasil Uji Impak Tanpa Perlakuan Alkalisasi (NaOH 0%)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen komposit tanpa perlakuan kimia menghasilkan nilai kekuatan impak yang tinggi. Untuk spesimen dengan fraksi volume serat 10%, diperoleh rata-rata kekuatan impak sebesar 27.91 kJ/m², dengan nilai individu masing-masing 27.16 kJ/m², 27.16 kJ/m², dan 29.43 kJ/m². Sedangkan untuk spesimen dengan fraksi volume serat 15%, diperoleh rata-rata kekuatan impak sebesar 30.19 KJ/M², dengan hasil individu sebesar 29.43 KJ/M², 31.73 kJ/m², dan 29.43 kJ/m².

Peningkatan kekuatan impak pada fraksi serat yang lebih tinggi menunjukkan bahwa penambahan jumlah serat dalam batas tertentu dapat meningkatkan

kemampuan material komposit dalam menahan beban impact, karena meningkatnya efisiensi transfer beban dari matriks ke serat penguat.

Nilai kekuatan impact yang tinggi diduga berasal dari struktur serat yang masih utuh secara alami. Hal ini terjadi karena kandungan selulosa tidak mengalami degradasi akibat perlakuan kimia. Selain itu, ketiadaan proses alkalisasi memungkinkan serat mempertahankan integritas morfologisnya, sehingga mampu mendistribusikan beban impact secara lebih efektif dalam matriks polimer.

Namun demikian, meskipun nilai kekuatan impact tampak tinggi, beberapa literatur melaporkan bahwa serat alami tanpa perlakuan alkalisasi umumnya memiliki kelemahan pada adhesi antarmuka antara serat dan matriks. Hal ini terbukti pada spesimen tanpa perlakuan alkalisasi, karakteristik patahan setelah pengujian impact mengalami *fiber pull-out*, yaitu kondisi serat tertarik keluar dari matriks tanpa mengalami patah. *Fiber pull-out* menunjukkan bahwa kekuatan ikatan antara serat dengan matriks masih rendah disebabkan oleh masih adanya kandungan lignin, hemiselulosa, lilin, dan kotoran lain di permukaan serat yang dapat menghambat ikatan mekanik dan kimia antara kedua fase tersebut.

Dengan demikian, nilai kekuatan impact yang tinggi pada kondisi tanpa perlakuan alkali menjadi parameter awal yang penting untuk dibandingkan dengan hasil komposit setelah diberi perlakuan alkalisasi.

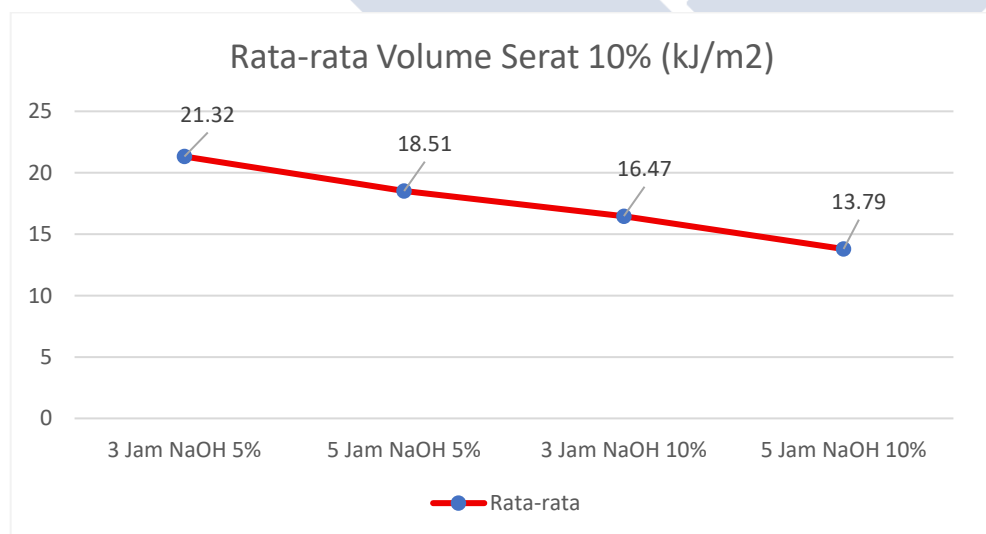
4.4.2 Hasil Pengujian Impact Dengan Perlakuan Alkalisasi

Setelah dilakukan pengujian terhadap spesimen tanpa perlakuan kimia, tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian impact pada spesimen komposit serat daun pandan alas yang telah mengalami perlakuan alkalisasi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Perlakuan ini dilakukan dengan dua variasi konsentrasi larutan, yaitu 5% dan 10%, serta dua durasi waktu perendaman masing-masing selama 3 jam dan 5 jam. Selain itu, dua fraksi volume serat, yaitu 10% dan 15%, juga diterapkan untuk mengevaluasi pengaruh variasi jumlah serat terhadap kekuatan impact komposit. Adapun data hasil pengujian untuk kekuatan impact dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini.

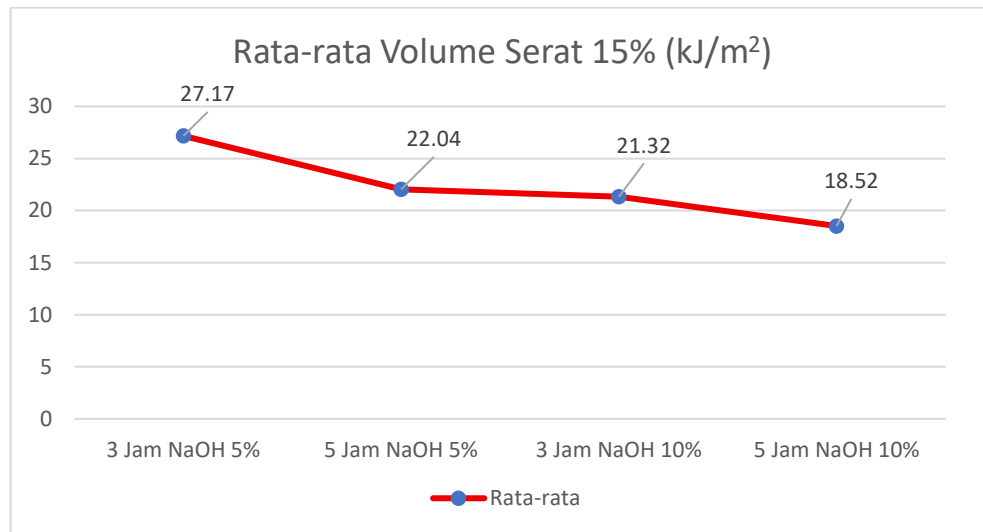
Tabel 4.6 Hasil Uji Impak Dengan Pelakuan Alkalisasi (NaOH 5% dan 10%)

No.	Fraksi Volume (%)	Lama Perendaman (Jam)	NaOH (%)	Kekuatan Tarik (kJ/m ²)			Rata-rata (kJ/m ²)
				Sample 1	Sample 2	Sample 3	
1	10:90	3	5	22.76	20.61	20.61	21.32
2	10:90	5	5	18.51	16.46	20.61	18.51
3	10:90	3	10	14.45	18.51	16.46	16.47
4	10:90	5	10	12.48	14.45	14.45	13.79
5	15:85	3	5	24.94	29.43	27.16	27.17
6	15:85	5	5	22.76	22.76	20.61	22.04
7	15:85	3	10	20.61	22.76	20.61	21.32
8	15:85	5	10	16.46	20.61	18.51	18.52

Berdasarkan data yang tersaji pada Tabel 4.6, apabila divisualisasikan dalam bentuk grafik, maka akan diperoleh representasi grafis sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10. Grafik tersebut memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai pola hubungan antar variabel yang diteliti, serta mempermudah dalam menginterpretasikan tren dan perbandingan antar perlakuan yang diberikan.



Gambar 4.9 Grafik Hasil Uji Impak Fraksi Volume 10%



Gambar 4.10 Grafik Hasil Uji Impak Fraksi Volume 15%

Hasil uji impak menunjukkan bahwa terdapat penurunan nilai kekuatan impak setelah serat diberi perlakuan alkalisasi, terutama pada perlakuan dengan konsentrasi NaOH yang lebih tinggi (10%) dan durasi perendaman yang lebih lama (5 jam). Nilai kekuatan impak terendah dicatat pada spesimen dengan perlakuan 10% NaOH dan waktu perendaman 5 jam pada fraksi volume 10%, dengan rata-rata kekuatan impak sebesar 13.76 kJ/m².

Pada spesimen yang telah mengalami perlakuan alkalisasi, Karakteristik patahan setelah pengujian impak menunjukkan terjadinya *fiber break* yaitu kondisi di mana serat dalam komposit mengalami patah akibat beban atau tegangan yang melebihi kekuatan serat. Perlakuan alkalisasi meningkatkan kekasaran permukaan serat sehingga memperkuat adhesi antara serat dan matriks resin. Namun, proses alkalisasi juga menyebabkan degradasi struktur serat karena hilangnya fraksi penting dari dinding sel dan terkikisnya sebagian selulosa. Kondisi ini membuat serat menjadi lebih rapuh dan kurang mampu menyerap energi tumbukan. Akibatnya, meskipun adhesi antara serat dan matriks meningkat, nilai kekuatan impak justru menurun karena serat mudah patah saat menerima beban kejut. Dengan demikian, peningkatan adhesi tidak sepenuhnya diimbangi oleh kekuatan serat itu sendiri, yang berdampak pada penurunan ketangguhan biokomposit setelah perlakuan alkalisasi.

Fenomena ini sejalan dengan temuan dalam beberapa literatur yang menyatakan bahwa perlakuan kimia yang berlebihan dapat menyebabkan lemahnya integritas struktural serat, sehingga efektivitasnya sebagai penguat dalam komposit berkurang. Hal ini menyebabkan turunnya daya dukung serat terhadap beban mekanik, meskipun tujuan awal dari alkalisasi adalah untuk memperbaiki ikatan antarmuka antara serat dan matriks.

Meskipun secara umum terjadi penurunan sifat mekanik akibat perlakuan alkalisasi, terdapat indikasi bahwa peningkatan fraksi volume serat dari 10% menjadi 15% dapat memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kekuatan impak, khususnya pada kondisi perlakuan NaOH 5%. Sebagai ilustrasi, pada perlakuan dengan larutan NaOH 5% selama 3 jam, kekuatan impak mengalami peningkatan dari 21.32 kJ/m² pada fraksi volume serat 10% menjadi 27.17 kJ/m² pada fraksi volume serat 15%, yang menunjukkan bahwa penambahan fraksi serat dalam batas tertentu mampu memperkuat struktur komposit.

Hal ini menunjukkan bahwa jumlah serat yang lebih tinggi dapat membantu meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan gaya impak, kemungkinan karena meningkatnya distribusi beban antar serat, selama ikatan antarmuka masih dalam kondisi yang cukup baik.

Namun efek peningkatan fraksi volume tidak selalu linier, karena tetap dipengaruhi oleh kondisi permukaan serat setelah proses alkalisasi. Jika permukaan serat sudah mengalami kerusakan atau pengelupasan secara mikroskopis akibat perlakuan kimia, maka peningkatan jumlah serat tidak serta-merta meningkatkan kekuatan komposit secara signifikan.

4.4.3 Analisis Statistik Kekuatan Impak

Untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor terhadap energi impak bio komposit, dilakukan analisis statistik menggunakan metode *Design of Experiment* (DoE) faktorial penuh 2³ dengan 3 faktor, yaitu:

1. Konsentrasi larutan NaOH: 0% (sebagai kontrol), 5%, dan 10%
2. Waktu perendaman dalam larutan NaOH: 3 jam dan 5 jam
3. Fraksi volume serat terhadap matriks: 10:90 dan 15:85

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab, dan hasil analisis varian ditunjukkan pada Gambar 4.11.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	112.254	37.4180	70.71	0.001
Linear	3	112.254	37.4180	70.71	0.001
Lama_Perendaman	1	22.479	22.4785	42.48	0.003
NaOH	1	44.888	44.8878	84.83	0.001
Volume_Serat	1	44.888	44.8878	84.83	0.001
Error	4	2.117	0.5292		
Total	7	114.371			

Gambar 4.11 Anova Uji Impact

Pada Gambar 4.11 menunjukkan nilai F-Value dan P-Value untuk masing-masing faktor:

1. Lama Perendaman memiliki nilai F sebesar 42.48 dan P-Value sebesar 0.003. Karena $P\text{-Value} < 0.05$, maka faktor ini berpengaruh signifikan terhadap kekuatan impact.
2. NaOH (konsentrasi larutan) memiliki nilai F sebesar 84.83 dan P-Value sebesar 0.001. Ini menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan.
3. Volume Serat juga memiliki nilai F sebesar 84.83 dan P-Value sebesar 0.001, menandakan pengaruh yang signifikan dan sebanding dengan NaOH.

Berdasarkan hasil ANOVA, ketiga faktor yaitu lama perendaman, konsentrasi NaOH, dan fraksi volume serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap energi impact karena nilai p-value semuanya lebih kecil dari 0,05. Konsentrasi NaOH dan fraksi volume serat memiliki nilai F tertinggi (84.83) dan p-value terkecil (0.001), yang menunjukkan bahwa kedua faktor ini merupakan variabel paling dominan dalam memengaruhi energi impact biokomposit. Waktu perendaman juga menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan impact meskipun nilai F-nya lebih kecil (42.48), yang menunjukkan bahwa lama perendaman tetap memberikan kontribusi penting terhadap sifat mekanik material. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH atau volume serat, dapat berpengaruh terhadap meningkat atau menurunnya energi serapan material.

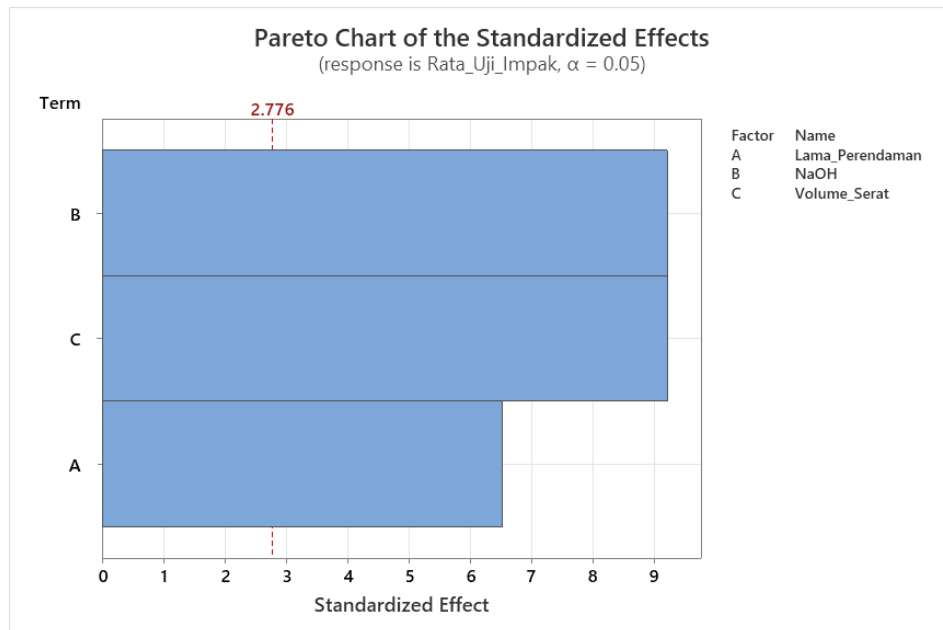
Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa ketiga faktor utama berpengaruh signifikan terhadap kekuatan impak material komposit.

Uji Hipotesis

Uji hipotesis dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan impak. Dengan tingkat signifikansi 0,05, maka suatu faktor dianggap berpengaruh signifikan apabila $P\text{-Value} < 0,05$. Berdasarkan hasil ANOVA, semua faktor—lama perendaman ($P\text{-Value} = 0,003$), konsentrasi NaOH (0,001), dan volume serat (0,001)—memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan impak karena nilai $P\text{-Value}$ lebih kecil dari 0,05. Oleh karena itu, hipotesis nol (H_0) untuk masing-masing faktor ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima, yang berarti bahwa ketiga faktor tersebut terbukti memberikan pengaruh nyata terhadap kekuatan impak.

Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah grafik batang yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling signifikan dalam suatu permasalahan atau proses. Untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap hasil pengujian, dilakukan analisis menggunakan diagram Pareto. Diagram ini membantu mengidentifikasi faktor dominan berdasarkan kontribusi pengaruhnya terhadap respon yang diamati. Pada Gambar 4.12 menunjukkan diagram Pareto dari hasil analisis terhadap data uji impak, yang menggambarkan faktor-faktor paling berpengaruh terhadap kekuatan impak biokomposit.



Gambar 4.12 Diagram Pareto Uji Impak

Diagram Pareto di atas menunjukkan pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan impak biokomposit. Tiga faktor yang dianalisis adalah

1. Lama Perendaman (A)
2. Konsentrasi NaOH (B)
3. Volume Serat (C)

Garis merah vertikal pada nilai 2,776 menunjukkan batas signifikansi statistik pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Setiap batang yang melewati garis ini dianggap memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respons.

Hasil grafik memperlihatkan bahwa semua faktor memiliki efek yang signifikan, karena ketiganya melewati garis batas signifikansi. Di antara ketiganya, konsentrasi NaOH (B) dan volume serat (C) menunjukkan pengaruh paling besar terhadap kekuatan impak, sedangkan lama perendaman (A) juga berpengaruh, namun lebih rendah.

Pengaruh NaOH dan volume serat yang tepat sangat memengaruhi perubahan kekuatan impak biokomposit, baik dalam hal peningkatan maupun penurunan. Sementara itu, waktu perendaman juga memberikan pengaruh, meskipun tidak sebesar dua faktor lainnya. Hasil dari diagram Pareto ini konsisten dan mendukung temuan dari analisis ANOVA sebelumnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai judul Analisis Pengaruh Alkalisasi NaOH Biokomposit Serat Daun Pandan Alas terhadap Uji Tarik dan Uji Impak, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Waktu Perendaman Larutan NaOH terhadap Kekuatan Tarik dan Impak:

Variasi konsentrasi NaOH dan waktu perendaman berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan impak biokomposit serat daun pandan alas. Berdasarkan hasil analisis statistik menggunakan ANOVA, diperoleh bahwa:

- a. Konsentrasi NaOH berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik dengan $p\text{-value} = 0,002$ dan terhadap kekuatan impak dengan $p\text{-value} = 0,001$.
- b. Waktu perendaman berpengaruh terhadap kekuatan tarik dengan $p\text{-value} = 0,010$, dan terhadap kekuatan impak dengan $p\text{-value} = 0,003$.

Meskipun demikian, kekuatan tarik dan impak tertinggi tetap dihasilkan oleh spesimen tanpa perlakuan alkalisasi (NaOH 0%) dengan fraksi volume serat 15%, yaitu 30,47 MPa untuk kekuatan tarik dan 30,19 kJ/m² untuk kekuatan impak.

Karakteristik kegagalan spesimen menunjukkan bahwa spesimen tanpa alkalisasi cenderung mengalami *fiber pull-out* (serat tertarik keluar saat patah), yang berarti serat mudah terlepas dari matriks saat uji tarik dan uji impak. Ini menandakan bahwa adhesi antara serat dan matriks masih rendah pada kondisi tanpa alkalisasi.

Sebaliknya, pada spesimen yang telah mengalami perlakuan alkalisasi terjadi *fiber break* (patah pada serat sejajar dengan resin) saat pengujian Tarik maupun pengujian impak. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan alkalisasi telah meningkatkan adhesi antar serat dan matriks, sehingga ikatan lebih kuat dan serat tidak mudah terlepas. Namun demikian, peningkatan adhesi tersebut tidak diiringi dengan kekuatan serat yang baik karena proses alkalisasi justru menurunkan kekuatan intrinsik serat akibat kerusakan struktur mikro, seperti degradasi sebagian selulosa akibat perlakuan kimia.

Dengan demikian, perlakuan alkalisasi meningkatkan adhesi antar serat dan matriks, namun menurunkan kekuatan struktural serat itu sendiri, sehingga nilai kekuatan tarik dan dampak menjadi lebih rendah dibandingkan spesimen tanpa perlakuan alkalisasi.

2. Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Performa Mekanik Biokomposit:

Fraksi volume serat memiliki pengaruh paling signifikan terhadap performa mekanik biokomposit baik pada uji tarik maupun uji dampak. Hasil analisis statistik ANOVA menunjukkan bahwa:

- a. Pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik dan dampak sangat signifikan, dengan $p\text{-value} = 0,001$ pada kedua pengujian.

Fraksi volume serat 15% memberikan kekuatan tarik dan dampak yang lebih tinggi dibandingkan fraksi volume 10%. Hal ini dikarenakan semakin tinggi fraksi volume serat, semakin banyak jumlah serat sebagai penahan beban dalam komposit, sehingga distribusi tegangan lebih baik dan kekuatan mekanik meningkat. Hasil ini konsisten pada seluruh variasi perlakuan, baik dengan atau tanpa alkalisasi.

Nilai kekuatan tertinggi diperoleh pada fraksi volume serat 15% tanpa perlakuan alkalisasi, yaitu 30,47 MPa untuk uji tarik dan 30,19 kJ/m² untuk uji dampak. Hasil tersebut juga diperkuat oleh diagram Pareto, di mana fraksi volume serat menjadi faktor dengan kontribusi pengaruh terbesar terhadap sifat mekanik biokomposit dibandingkan konsentrasi NaOH maupun waktu perendaman.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terkait penggunaan serat daun pandan alas sebagai alternatif biokomposit, peneliti menyampaikan beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Optimalisasi proses alkalisasi perlu mempertimbangkan penggunaan konsentrasi NaOH di bawah 5% serta durasi perendaman yang lebih singkat, agar tidak menyebabkan degradasi struktur serat namun tetap efektif dalam meningkatkan adhesi antar muka serat dan matriks.
2. Penggunaan fraksi volume serat sebesar 15% menunjukkan performa mekanik yang lebih baik dibandingkan fraksi 10%. Untuk pengembangan ke depan, disarankan mengeksplorasi fraksi yang lebih tinggi dengan tetap

memperhatikan pemerataan resin agar tidak menimbulkan porositas atau cacat ikatan yang dapat menurunkan kekuatan komposit.

3. Penelitian lanjutan sebaiknya mencakup pengujian tambahan, seperti uji lentur untuk menilai ketahanan terhadap beban fleksural, serta uji ketahanan terhadap faktor lingkungan seperti kelembapan dan suhu. Pengujian tersebut penting dilakukan guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai performa jangka panjang serta potensi aplikatif biokomposit serat pandan alas dalam kondisi operasional yang sesungguhnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Amirin, K., Noval, S., & Rita, D. (2020). Analisis Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida terhadap Sifat Mekanik Biokomposit Berpenguat Serat Sisal. *Jurnal Fisika UNNES*, 11-18.
- Diyana, Z. N., Jumaidin, R., Selamat, M. Z., Alamjuri, R. H., & Fahmi, A. M. (2021). Extraction and Characterization of Natural Cellulosic Fiber from Pandanus amaryllifolius Leaves. *Polymers*, 1-16.
- Fandy, Anita, & Handika. (2017). PENGARUH PEMANFAATAN SERAT SABUT KELAPA DENGAN PERLAKUAN ALKALI TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 1-8.
- Hendri, H., Dody, A., Khairul, A., Agus, N., Aditya, A., & Sudibyo. (2022). PENGARUH PERLAKUAN ALKALITERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANISERAT LANTUNG (ARTOCARPUS ELASTICUS). *Rekayasa Mesin*, 819-826.
- Ilham, D., & Edi, W. (2022). ANALISIS PENGARUH ALKALISASI NaOH TERHADAP SERAT DAUN NANAS SEBAGAI PENGUATAN BIOKOMPOSIT. *Jurnal Unesa*, 1-6.
- Irham, B. F. (2023). *ANALISA KEKUATAN TARIK DAN BENDING SERAT DAUN PANDAN LAUT SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF PENGUAT MATERIAL KOMPOSIT*. Jember: Universitas Jember.
- Isro, N. H., Sri, H., Nurhadi, N., Anaya, P. R., Ridwan, A., & Roy, A. P. (2023). Analisa Uji Tarik dan Uji Impak Pada Komposit Sekam Padi Perlakuan NaOH dan Pengisi Plastik Polypropylene (PP) dengan Matriks Resin. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(2), hal 155-166.
- Kris, W., Yudy, S. I., Rudy, S., & Heru, S. (2013). Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) Terhadap Morfologi dan Kekuatan Tarik Serat Mendong. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 227-234.
- Lindawati. (2022). *Modul Material Komposit*. Aceh Besar: Universitas Abulyatama.

- Lohdy, D., Arrad, G. S., & Muhammad, N. A. (2020). Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 4(2), 56-67.
- Mochammad, H. R., & Aisyah, E. P. (2019). ANALISA KEKUATAN TARIK DAN IMPAK KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT KELAPA DAN TEBU DENGAN PERENDAMAN NaOH DAN MENGGUNAKAN RESIN POLYESTER. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 31-40.
- Muhammad, S., Anugrah, E., & Yulianto. (2023). Komposit Hybride Serat Buah Kelapa dan Tebu Pada Bagian Akar, Batang, Pucuk Bermatrix Polyester BQTN 157. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 15(2), 192-197.
- Noviana, D. P., & Tri, W. (2024). ANALISIS KEKUATAN MATERIAL KOMPOSIT HYBRID BERPENGUAT SERAT SABUT KELAPA DAN SERAT KULIT JAGUNG MENGGUNAKAN METODE HAND LAY UP. *Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi*, 448-453.
- OSHA, O. S. (29 CFR 1910.1200). *Chemical hazard and PPE guidelines for handling caustic substances*. U.S Department of Labor.
- Riky, T. H., & Fitri, M. (2018). Pengaruh Ukuran Serat Ijuk Pada Material Komposit Matriks Polimer Terhadap Kekuatan Tariknya. *Zona Mesin*, 6-9.
- Santun, I. A. (2022). Study on the Use of Hybrid Coconut Coir Fiber with Polyester Resin Bqtn 157 as Composite Material Matrix. *International Journal of Mechanical Computational and Manufacturing Research*, 21-30.
- Sri, W., Lukman, H., & Fikri, H. (2016). PEMANFAATAN LIMBAH KALENG MINUMAN ALUMINIUM SEBAGAI PENGHASIL GAS HIDROGEN MENGGUNAKAN KATALIS NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 92-104.
- Sudarisman, Atmaja, N. S., Muhammad, B. N., & Purbono, K. (2019). Degumming, Perlakuan Alkali, dan Karakterisasi Serat Pandan Berduri (*Pandanus tectorius*). *Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 42-49.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Daftar Riwayat Hidup

Informasi Pribadi

Nama : Malvin Nurhidayat

NPM : 1042246

Tempat Tanggal Lahir : Sungailiat, 16 Mei 2004

Jenis Kelamin : Laki - laki

Prodi/Jurusan/Kelas : D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur/Rekayasa Mesin/3
TMM B

Alamat : Taman Pesona Bangka Blok AF No.15 Sungailiat, Kabupaten Bangka,
Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

Nama Orang Tua

Ayah : Iskandar Zulkarnain

Ibu : Medya Gustriana

No Hp : 085783968791

Email : malvinnur123hidayat@gmail.com



Lampiran 2

Proses Pengolahan Serat Daun Pandan Alas

1. Proses Pengambilan dan Perendaman Daun Tanaman Pandan Alas



2. Proses Pengambilan Serat dari Daun Tanaman Pandan Alas



3. Proses Pengeringan Serat Daun Tanaman Pandan Alas



4. Proses Alkalisasi Serat Daun Tanaman Pandan Alas



5. Proses Pengeringan Serat Daun Tanaman Pandan Alas Pasca Alkalisasi



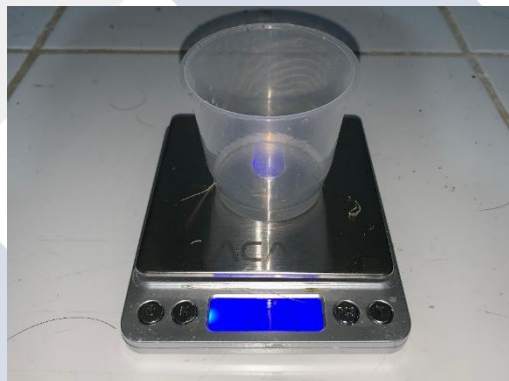
Lampiran 3

Proses Pembuatan Spesimen

1. Proses Penyiapan Cetakan Spesimen Uji



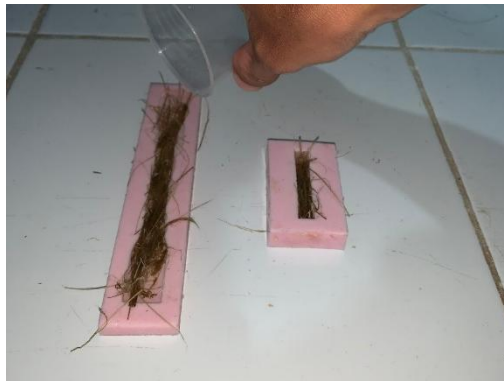
2. Proses Penimbangan Serat dan Matriks Resin



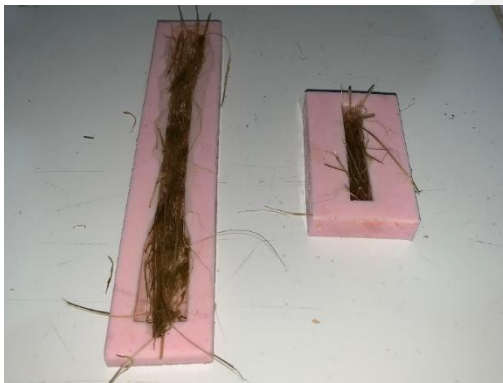
3. Proses Penyusunan Serat Sebelum Proses Pengujian



4. Proses Pencetakan Spesimen Pengujian



5. Proses Curing Spesimen Pengujian



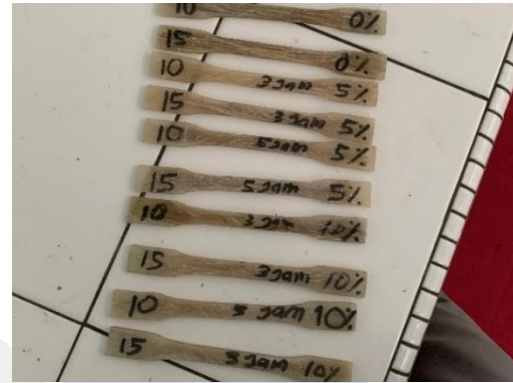
6. Proses Pengukuran dan Penghalusan Permukaan Spesimen Uji



Lampiran 4

Proses Pengujian Spesimen

1. Pengujian Spesimen Uji Tarik



2. Pengujian Spesimen Uji Impak



Lampiran 5

Hasil Perhitungan Rasio Volume Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type 1.

Volume Cetakan = $9,8 \text{ cm}^3$

Massa Jenis Serat Daun Pandan Alas = $0,4105 \text{ gram/cm}^3$

Massa Jenis Resin Polyester = $1,215 \text{ gram/cm}^3$

Rumus :

Massa Serat : $V_{\text{cetakan}} \times \text{Persentase Serat (\%)} = V_{\text{serat}} \times M_{\text{jenis serat}} = M_{\text{serat}}$

Massa Resin : $V_{\text{cetakan}} \times \text{Persentase Resin (\%)} = V_{\text{resin}} \times M_{\text{jenis resin}} = M_{\text{resin}}$

Massa Katalis : $M_{\text{resin}} \times \text{Persentase Katalis (\%)} = M_{\text{katalis}}$

Selanjutnya dilakukan perhitungan serat, resin ,dan katalis yang digunakan:

Hasil Perhitungan Rasio Volume Spesimen 10% Serat

Massa Serat : $9,8 \text{ cm}^3 \times 10\% = 0,98 \text{ cm}^3 \times 0,4105 = 0,40229 \text{ g}$

Massa Resin : $9,8 \text{ cm}^3 \times 90\% = 8,82 \text{ cm}^3 \times 1,215 = 10,7163 \text{ g}$

Massa Katalis : $10,7163 \text{ g} \times 2\% = 0,214326 \text{ g}$

Hasil Perhitungan Rasio Volume Spesimen 15% Serat

Massa Serat : $9,8 \text{ cm}^3 \times 15\% = 1,47 \text{ cm}^3 \times 0,4105 = 0,603435 \text{ g}$

Massa Resin : $9,8 \text{ cm}^3 \times 85\% = 8,33 \text{ cm}^3 \times 1,215 = 10,12095 \text{ g}$

Massa Katalis : $10,12095 \text{ g} \times 2\% = 0,202419 \text{ g}$

Hasil Perhitungan Rasio Volume Spesimen Uji Impak ASTM D256-10.

Volume Cetakan = $4,3117 \text{ cm}^3$

Massa Jenis Serat Daun Pandan Alas = $0,4105 \text{ g/cm}^3$

Massa Jenis Resin Polyester = $1,215 \text{ g/cm}^3$

Rumus :

Massa Serat : $V_{\text{cetakan}} \times \text{Persentase Serat (\%)} = V_{\text{serat}} \times M_{\text{jenis serat}} = M_{\text{serat}}$

Massa Resin : $V_{\text{cetakan}} \times \text{Persentase Resin (\%)} = V_{\text{resin}} \times M_{\text{jenis resin}} = M_{\text{resin}}$

Massa Katalis : $M_{\text{resin}} \times \text{Persentase Katalis (\%)} = M_{\text{katalis}}$

Selanjutnya dilakukan perhitungan serat, resin ,dan katalis yang digunakan:

Hasil Perhitungan Rasio Volume Spesimen 10% Serat

Massa Serat : $4,3117 \text{ cm}^3 \times 10\% = 0,43117 \text{ cm}^3 \times 0,4105 = 0,176995285 \text{ g}$

Massa Resin : $4,3117 \text{ cm}^3 \times 90\% = 3,88053 \text{ cm}^3 \times 1,215 = 4,71484395 \text{ g}$

Massa Katalis : $4,71484395 \text{ g} \times 2\% = 0,094296879 \text{ g}$

Hasil Perhitungan Rasio Volume Spesimen 15% Serat

Massa Serat : $4,3117 \text{ cm}^3 \times 15\% = 0,646755 \text{ cm}^3 \times 0,4105 = 0,265492928 \text{ g}$

Massa Resin : $4,3117 \text{ cm}^3 \times 85\% = 3,664945 \text{ cm}^3 \times 1,215 = 4,45290818 \text{ g}$

Massa Katalis : $4,45290818 \text{ g} \times 2\% = 0,0890581635 \text{ g}$

Lampiran 6

Perhitungan Hasil Pengujian Impak.

Perhitungan Sample Sudut $\cos \beta$ 134°

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 134^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 134^\circ)$$

$$h_1 = \underline{677.8633 \text{ mm}}$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 677.8633) \text{ mm}$$

$$E = \underline{1.714 \text{ J}}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}^2}$$

$$H = E / A = 1.714 / 54 = 0.03173 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{31.73 \text{ kJ/m}^2}$$

Perhitungan Sample Sudut $\cos \beta 135^\circ$

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 135^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 135^\circ)$$

$$h_1 = \underline{682.8427 \text{ mm}}$$

$$E = m \times g \times (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 682.8427) \text{ mm}$$

$$E = \underline{1.589 \text{ J}}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}^2}$$

$$H = E / A = 1.589 / 54 = 0.02943 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{29.43 \text{ kJ/m}^2}$$

Perhitungan Sample Sudut $\cos \beta 136^\circ$

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 136^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 136^\circ)$$

$$h_1 = \underline{687.7359 \text{ mm}}$$

$$E = m \times g \times (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 687.7359) \text{ mm}$$

$$E = \underline{1.467 \text{ J}}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}^2}$$

$$H = E / A = 1.467 / 54 = 0.02716 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{27.16 \text{ kJ/m}^2}$$

Perhitungan Sample Sudut $\cos \beta 137^\circ$

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 137^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 137^\circ)$$

$$h_1 = \underline{692.5415 \text{ mm}}$$

$$E = m \times g \times (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 692.5415) \text{ mm}$$

$$E = \underline{1.347}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}^2}$$

$$H = E / A = 1.347 / 54 = 0.02494 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{24.94 \text{ kJ/m}^2}$$

Perhitungan Sample Sudut $\cos \beta 138^\circ$

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 138^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 138^\circ)$$

$$h_1 = \underline{697.2579 \text{ mm}}$$

$$E = m \times g \times (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 697.2579) \text{ mm}$$

$$E = \underline{1.229 \text{ J}}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}^2}$$

$$H = E / A = 1.229 / 54 = 0.02276 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{22.76 \text{ kJ/m}^2}$$

Perhitungan Sample Sudut $\cos \beta 139^\circ$

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 139^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 139^\circ)$$

$$h_1 = \underline{701.8838 \text{ mm}}$$

$$E = m \times g \times (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 701.8838) \text{ mm}$$

$$E = \underline{1.113}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}^2}$$

$$H = E / A = 1.113 / 54 = 0.02061 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{20.61 \text{ kJ/m}^2}$$

Perhitungan Sample Sudut akhir 140°

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 140^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 140^\circ)$$

$$h_1 = \underline{706.4178 \text{ mm}}$$

$$E = m \times g \times (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 706.4178) \text{ mm}$$

$$E = \underline{1.000 \text{ J}}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}^2}$$

$$H = E / A = 1.000 / 54 = 0.01851 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{18.51 \text{ kJ/m}^2}$$

Perhitungan Sample Sudut $\cos \beta 141^\circ$

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 141^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 141^\circ)$$

$$h_1 = \underline{710.8584 \text{ mm}}$$

$$E = m \times g \times (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 710.8584) \text{ mm}$$

$$E = \underline{0.889 \text{ J}}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}^2}$$

$$H = E / A = 0.889 / 54 = 0.01646 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{16.46 \text{ kJ/m}^2}$$

Perhitungan Sample Sudut $\cos \beta 142^\circ$

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 142^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 142^\circ)$$

$$h_1 = \underline{715.2043 \text{ mm}}$$

$$E = m \times g \times (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 715.2043) \text{ mm}$$

$$E = \underline{0.780 \text{ J}}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}}$$

$$H = E / A = 0.780 / 54 = 0.01445 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{14.45 \text{ kJ/m}^2}$$

Perhitungan Sample Sudut $\cos \beta 143^\circ$

Diket : $l = 400 \text{ mm}$

$$\cos \alpha = \cos 150^\circ$$

$$\cos \beta = \cos 143^\circ$$

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P = 6$$

$$L = 9$$

Ditanya : h_0 ?

$$h_1 ?$$

$$E ?$$

$$A ?$$

$$H ?$$

Jawab:

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = \underline{746.4102 \text{ mm}}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 143^\circ)$$

$$h_1 = \underline{719.4542 \text{ mm}}$$

$$E = m \times g \times (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \times 10 \times (746.4102 - 719.4542) \text{ mm}$$

$$E = \underline{0.674}$$

$$A = P \times L = 6 \times 9 = \underline{54 \text{ mm}^2}$$

$$H = E / A = 0.674 / 54 = 0.01248 \text{ J/mm}^2$$

$$H = \underline{12.48 \text{ kJ/m}^2}$$

SURAT PERNYATAAN

Saya/Kami yang bertandatangan dibawah ini telah menyelesaikan Proyek Akhir yang berjudul:
ANALISIS PENGARUH ALKALISASI NaOH BIOKOMPOSIT SERAT DAUN PANDAN
ALAS TERHADAP UJI TARIK DAN UJI IMPAK

.....

Oleh :

1. Malvin Nurhidayat /NPM 1042246

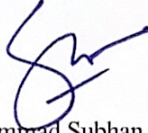
Dengan ini menyatakan bahwa isi laporan akhir proyek akhir sama dengan *hardcopy*.
Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya.

Sungailiat, 15 September 2025

1. Malvin Nurhidayat (.....)

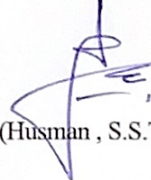
Mengetahui,

Pembimbing 1,



(Muhammad Subhan , S.S.T., M.T)

Pembimbing 2,



(Husman , S.S.T., M.T)

ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

6%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.polman-babel.ac.id Internet Source	4%
2	repository.usd.ac.id Internet Source	1%
3	journal.unesa.ac.id Internet Source	1%
4	ejournal.unesa.ac.id Internet Source	1%
5	docplayer.info Internet Source	1%
6	karya.brin.go.id Internet Source	1%
7	repository.its.ac.id Internet Source	1%
8	repository.ub.ac.id Internet Source	1%
9	eprints.polsri.ac.id Internet Source	<1%
10	123dok.com Internet Source	<1%

11	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
12	www.scribd.com Internet Source	<1 %
13	eprints.unram.ac.id Internet Source	<1 %
14	Vivian farani Agustine, Eka Askafi, Zulfia Rahmawati. "Analisis Ekuitas Merek Terhadap Keputusan Pembelian Produk Skincare Dengan Perilaku Konsumen Sebagai Variabel Intervening (Penelitian komparatif produk skincare Wardah dan Emina di Kabupaten Tulungagung)", REVITALISASI, 2024 Publication	<1 %
15	Submitted to Universitas Bengkulu Student Paper	<1 %
16	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
17	Submitted to Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung Student Paper	<1 %
18	media.neliti.com Internet Source	<1 %
19	core.ac.uk Internet Source	<1 %
20	adoc.pub Internet Source	<1 %

21	repo.poltekkesdepkes-sby.ac.id Internet Source	<1 %
22	Submitted to LL Dikti IX Turnitin Consortium Student Paper	<1 %
23	e-journal.uajy.ac.id Internet Source	<1 %
24	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
25	eprints.untirta.ac.id Internet Source	<1 %
26	Submitted to Sultan Agung Islamic University Student Paper	<1 %
27	repository.unib.ac.id Internet Source	<1 %
28	jurnal.untan.ac.id Internet Source	<1 %
29	repository.uinjkt.ac.id Internet Source	<1 %
30	repository.unbari.ac.id Internet Source	<1 %
31	repository.uma.ac.id Internet Source	<1 %
32	eprints.ums.ac.id Internet Source	<1 %
33	elib.stta.ac.id Internet Source	<1 %

34	repository.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
35	es.scribd.com Internet Source	<1 %
36	repository.unpas.ac.id Internet Source	<1 %
37	linter.untar.ac.id Internet Source	<1 %
38	repository.umsu.ac.id Internet Source	<1 %
39	www.politeknikmbp.ac.id Internet Source	<1 %
40	Submitted to Universitas Muhammadiyah Purwokerto Student Paper	<1 %
41	jfu.fmipa.unand.ac.id Internet Source	<1 %
42	Anis Siti Nurrohkayati, Dede Zulrahman, Sabaruddin Syach, Muhammad Khairul. "Welding Quality Engineering Using the Design of Experiment Method (Taguchi's Method)", Procedia of Engineering and Life Science, 2021 Publication	<1 %
43	repository.unja.ac.id Internet Source	<1 %
44	ejournal.unib.ac.id Internet Source	

<1 %

45

eprints.walisongo.ac.id

Internet Source

<1 %

46

Submitted to Universitas Pamulang

Student Paper

<1 %

47

ardifebry92.blogspot.com

Internet Source

<1 %

48

jurnal.ubl.ac.id

Internet Source

<1 %

49

butch-femme.net

Internet Source

<1 %

50

digilib.unhas.ac.id

Internet Source

<1 %

51

repository.unibos.ac.id

Internet Source

<1 %

52

www.tech-long.com

Internet Source

<1 %

53

Sesar Fikri Firmansyah, Rochmatino
Rochmatino, Kamsinah Kamsinah.
"PENGARUH PEMBERIAN IBA DAN KOMPOSISI
MEDIA TERHADAP PERTUMBUHAN STEK
Sansevieria cylindrica var. *patula*", Scripta
Biologica, 2014

Publication

<1 %

54

Submitted to Universitas Muria Kudus

Student Paper

<1 %

55	Submitted to Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya Student Paper	<1 %
56	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
57	repository.unmuhjember.ac.id Internet Source	<1 %
58	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
59	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
60	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
61	Ratih Kusuma Wardani. "Modifikasi Abu Bawah Batubara (Bottom Ash) Menggunakan Larutan Basa Kuat Natrium Hidroksida", Journal of Pharmacy and Science, 2018 Publication	<1 %
62	Submitted to Universitas Brawijaya Student Paper	<1 %
63	blog.ub.ac.id Internet Source	<1 %
64	digilib.uinsby.ac.id Internet Source	<1 %
65	ekyd.blogspot.com Internet Source	<1 %

eprints.ipdn.ac.id

66	Internet Source	<1 %
67	eprints.polbeng.ac.id Internet Source	<1 %
68	eprints.umm.ac.id Internet Source	<1 %
69	ojs.ummetro.ac.id Internet Source	<1 %
70	repository.unej.ac.id Internet Source	<1 %
71	repository.unika.ac.id Internet Source	<1 %
72	www.igi-global.com Internet Source	<1 %
73	www.mekanisasikp.web.id Internet Source	<1 %
74	Benjamin Golfin Tentua, Arthhur Yanny Leiwakabessy. "STUDI EKSPERIMENTAL SIFAT MEKANIS TARIK DAN BENDING KOMPOSIT SERAT EMPULUR SAGU", ALE Proceeding, 2021 Publication	<1 %
75	Supriyanto Supriyanto. "Karakterisik Kekuatan Komposit Serat Daun Nanas Dengan Variasi Panjang Serat", Jurnal Mesin Nusantara, 2021 Publication	<1 %
76	ejournal.undip.ac.id Internet Source	<1 %

77	id.123dok.com Internet Source	<1 %
78	id.scribd.com Internet Source	<1 %
79	journal.ubb.ac.id Internet Source	<1 %
80	jurnal.politap.ac.id Internet Source	<1 %
81	jurnal.sttkd.ac.id Internet Source	<1 %
82	jurnal.uisu.ac.id Internet Source	<1 %
83	kinematika.ulm.ac.id Internet Source	<1 %
84	repository.uin-alauddin.ac.id Internet Source	<1 %
85	repository.stieykpn.ac.id Internet Source	<1 %
86	repository.umy.ac.id Internet Source	<1 %
87	sisiduka.psmk-dindik.babelprov.go.id Internet Source	<1 %
88	Gunawan Refiadi, Yusi Siti Syamsiar, Hermawan Judawisastra. "SIFAT KOMPOSIT EPOKSI BERPENGUAT SERAT BAMBU PADA AKIBAT PENYERAPAN AIR", Jurnal Sains Materi Indonesia, 2018	<1 %

Exclude quotes	On	Exclude matches	Off
Exclude bibliography	On		