



DISERTASI-SF236601

**PEMANFAATAN SERAT ABAKA UNTUK APLIKASI
BAHAN KOMPOSIT PENYERAP AKUSTIK**

SUSILO INDRAWATI

7001202002

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Darminto

Dr. Mochamad Zainuri, M.Si

Dr. Suyatno, M.Si

**Program Studi Doktor Ilmu Fisika
Bidang Keahlian Fisika Material
Departemen Fisika
Fakultas Sains Dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2025**

LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI

Disertasi disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Doktor (Dr)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Susilo Indrawati

NRP: 7001201002

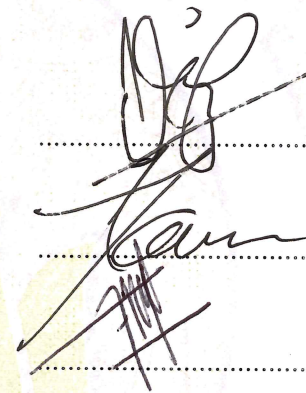
Tanggal Ujian: 24 Oktober 2024

Periode Wisuda: April 2025

Disetujui oleh:

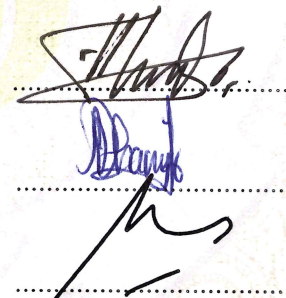
Pembimbing:

1. Prof. Dr Darminto, M.Si.
NIP.19600303 198701 1 002
2. Dr. Mochammad Zainuri, M.Si.
NIP.19640130 199002 1 001
3. Dr. Suyatno, M.Si.
NIP.19760620 200212 1 004



Penguji:

1. Prof. Dr. rer.nat. Triwikantoro, M.Sc
NIP. 19660114 199002 1 001
2. Dr. Eng. Dhany Arifianto, M.Eng.
NIP. 19731007 199802 1 001
3. Dr. Tetti Novalina Manik, M.T.
NIP. 19741227 200112 2 003



Kepala Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data

Dr. Lila Yuwana, M.Si

NIP: 19750908 200003 1 008



THE UTILIZATION OF ABACA FIBER FOR ACOUSTIC ABSORBER COMPOSITE MATERIAL APPLICATIONS

Name : Susilo Indrawati
Student ID : 7001202002
Supervisor : Prof. Dr. Darminto
Co-Supervisor : Dr. Mochamad Zainuri, M.Si
Dr. Suyatno, M.Si

ABSTRACT

Abaca fibers have been the focus of special research due to their attractive characteristics, mainly due to their high mechanical properties. Considering that abaca fiber is a natural fiber, it was treated with alkalization and acid hydrolysis. These treatments effectively reduced the lignin content by 53%. This reduction indicates an increase in the fiber's crystallinity, which is evidenced by the doubling of both the tensile strength and the Young's modulus of the single fibers. The characterization results from BET (Brunauer Emmett Teller) analysis showed that the pore size increased from an average of 30 nm to approximately 50 nm, while the surface area doubled to around 28 m²/g. This was also evident from the fiber morphology, which appeared rougher and more uniform. In terms of acoustic properties, abaca fibers demonstrated an optimal absorption coefficient of $\alpha = 0.9$ at frequencies above 2500 Hz.

The treated fibers were subsequently processed into composite materials with varying volume fraction ratios between the matrix and fibers, namely 20:80, 30:70, and 40:60, as well as varying thicknesses of 10 mm, 20 mm, and 30 mm. The research results indicated that at a thickness of 10 mm, the optimal sound energy absorption occurred within the frequency range of 2500–5000 Hz. Increasing the composite thickness not only enhanced sound absorption capabilities but also caused a shift in the peak absorption towards lower frequencies. The composite with a 20:80 epoxy-to-fiber volume fraction and a thickness of 30 mm exhibited optimal absorption coefficients, with values of 0.72 at 500 Hz, 0.98 at 1000 Hz, 0.73 at 2000 Hz, and 0.96 at 5000 Hz. This composite demonstrated low thermal insulation capability (0.078 W/mK) and also low mechanical strength (tensile strength of 2.15 MPa). Among the composite variations produced, the 30:70 epoxy-to-fiber volume fraction with a thickness of 30 mm showed high sound

energy absorption, with absorption coefficients of 0.6 at 500 Hz, 0.95 at 1000 Hz, and 0.9 at 5000 Hz. Furthermore, this composite also exhibited relatively high tensile strength (3.94 MPa) and low thermal conductivity (0.104 W/mK). With these characteristics, this composite can be applied as a noise reducer and for acoustic improvement in buildings.

Keywords: Abaca fiber, alkalization, Acid hydrolysis, acoustic characteristics, mechanical property, thermal conductivity

PEMANFAATAN SERAT ABAKA UNTUK APLIKASI BAHAN KOMPOSIT PENYERAP AKUSTIK

Nama Mahasiswa : Susilo Indrawati
NRP : 7001202002
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Darminto
Dr. Mochamad Zainuri, M.Si
Dr. Suyatno, M.Si

ABSTRAK

Serat abaka telah menjadi fokus penelitian khusus karena karakteristiknya yang menarik, terutama karena sifat mekaniknya yang tinggi. Mengingat serat abaka merupakan serat alam, serat ini dilakukan perlakuan alkalisasi dan asam hidrolisis. Efek dari perlakuan ini mampu menurunkan kandungan lignin 53%. Penurunan ini menunjukkan bahwa serat menjadi lebih kristalin, terlihat dari peningkatan kekuatan tarik dan modulus Young serat tunggal menjadi dua kali lipat. Hasil karakterisasi dengan analisa BET (Brunauer Emmett Teller) menunjukkan bahwa ukuran pori terjadi peningkatan rata-rata 30 nm menjadi sekitar 50 nm, sedangkan luas permukaannya terjadi peningkatan dua kali lipat menjadi sekitar 28 m²/g, hal ini juga terlihat dari segi morfologi serat yang tampak lebih kasar dan lebih seragam. Oleh karena itu, serat ini cocok sebagai penguat pada bahan komposit. Berdasarkan sifat akustiknya, serat abaka menunjukkan koefisien serapan = 0,9 pada frekuensi di atas 2500 Hz.

Serat yang telah diberi perlakuan selanjutnya dibuat menjadi bahan komposit dengan variasi perbandingan fraksi volume antara matriks dan serat, yaitu 20:80, 30:70 dan 40:60, serta variasi ketebalan 10 mm, 20 mm dan 30 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ketebalan 10 mm, kemampuan penyerapan energi suara optimal berada pada rentang 2500–5000 Hz. Peningkatan ketebalan komposit tidak hanya meningkatkan kemampuan menyerap suara, tetapi juga menyebabkan pergeseran puncak absorpsi maksimum ke frekuensi yang lebih rendah. Komposit dengan fraksi volume epoksi dan serat 20:80 serta ketebalan 30 mm menunjukkan nilai koefisien absorpsi yang optimal, yaitu 0,72 pada frekuensi 500 Hz, 0,98 pada frekuensi 1000 Hz, 0,73 pada frekuensi 2000 Hz dan 0,96 pada frekuensi 5000 Hz.

Komposit ini memiliki kemampuan mengisolasi panas yang rendah (0,078 W/mK) dan kemampuan mekanik yang juga rendah (kekuatan tarik 2,15 Mpa). Diantara variasi komposit yang dibuat, fraksi volume antara epoksi dan serat (30:70) dengan tebal 30 mm menunjukkan kemampuan menyerap energi yang juga tinggi, dengan nilai koefisien absorpsi (0,6 pada frekuensi 500 Hz, 0,95 pada 1000 Hz, dan 0,9 pada frekuensi 5000 Hz). Selain itu, komposit ini juga memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi 3,94 Mpa serta konduktivitas termal yang rendah 0,104 W/mK. Dengan karakteristik tersebut, komposit ini dapat diaplikasikan sebagai peredam kebisingan dan perbaikan akustik bangunan.

Kata kunci: Serat abaka, Alkalisasi, Hidrolisis asam, sifat akustik, sifat mekanik, konduktivitas termal.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.3.1 Tujuan Penelitian.....	3
1.3.2 Manfaat Penelitian.....	4
1.4. Kontribusi dan Orisinalitas Penelitian.....	4
1.5. Peta jalan penelitian serat abaka untuk aplikasi penyerap akustik.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Serat Abaka.....	7
2.1.1 Kandungan Kimia Serat Abaka.....	9
2.1.2 Sifat Mekanik Serat Abaka.....	12
2.1.3 Perlakuan Alkalisasi dan Hidrolisis Asam Pada Serat.....	14
2.2 Serat Alam Sebagai Absorber.....	15
2.3 Serat Alam Sebagai Penguat Pada Bahan Komposit.....	20
2.4 Hukum Pencampuran.....	22
2.5 Mekanisme Absorpsi dengan Formula Semi-Empirik Delany-Bazley.....	23

2.6 Konduktivitas termal.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Persiapan Serat Abaka	32
3.3 Sintesis Serat Abaka.....	33
3.4 Pembuatan Bahan Komposit.....	34
3.5 Karakterisasi.....	36
3.5.1 Gugus Fungsi.....	36
3.5.2 Derajat Kekristalan	36
3.5.3 Morfologi Permukaan.....	37
3.5.4 Pengukuran Pori	37
3.5.5 Kandungan Senyawa	37
3.5.6 Pengukuran Densitas	38
3.6 Pengujian Mekanik.....	38
3.6.1 Kekuatan Tarik	38
3.6.2 Uji Modulus Simpan dan Kekuatan Tarik Dinamis	38
3.7 Pengujian Konduktivitas termal.....	39
3.8 Pengujian Akustik.....	39
BAB IV KARAKTERISASI SERAT ABAKA	41
4.1 Struktur dan Morfologi Serat	41
4.2 Sifat Mekanik Serat.....	47
4.3 Sifat Akustik Serat	51
BAB V ANALISIS KOMPOSIT ABAKA/EPOKSI RESIN SEBAGAI BAHAN PENYERAP SUARA.....	55
5.1 Struktur dan Morfologi Bahan Komposit	55
5.2 Sifat Mekanik.....	59
5.3 Sifat Akustik	61

5.3.1 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Serat.....	61
5.3.2 Efek Ketebalan Terhadap Nilai Koefisien Absorpsi.....	64
BAB VI PEMODELAN NILAI KOEFISIEN ABSORPSI SERAT ABAKA	69
6.1 Perbandingan Nilai Koefisien Absorpsi Hasil Eksperimen dengan Model	70
6.2 Pencocokan Nilai Koefisien Absorpsi Hasil Eksperimen dengan Model ..	73
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	79
7.1 Kesimpulan.....	79
7.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN I	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta jalan penelitian serat abaka untuk aplikasi penyerap	6
Gambar 2.1	Pisang abaka (a) Pohon pisang abaka (b) Bagian-bagian pisang (c) Buah pisang abaka.....	7
Gambar 2.2	Proses pembuatan serat abaka (a) Batang pisang (b) Mesin decorticator (c) Serat abaka dijemur di bawah sinar matahari	8
Gambar 2.3	Struktur selulosa (Swift & Medical, 2014)	11
Gambar 2.4	Ilustrasi daerah struktur semi kristal	13
Gambar 2.5	Pola XRD untuk Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa	13
Gambar 2.6	Penelitian absorpsi suara (a) Jumlah publikasi (b) Negara yang paling banyak publikasi (c) Negara yang sering meneliti tentang penyerapan suara	16
Gambar 2.7	Serat alam yang telah diteliti sebagai bahan absorber.....	16
Gambar 2.8	Mekanisme energi suara yang mengenai bahan penyerap suara (absorber).....	24
Gambar 2.9	Tabung impedansi untuk pengukuran koefisien absorpsi	25
Gambar 2.10	Skema pengukuran metode komparatif.....	29
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian serat abaka sebagai absorber.....	31
Gambar 3.2	Budidaya Pisang Abaka (a) Kebun Pisang (b) Serat abaka yang sudah dikeringkan.....	32
Gambar 3.3	Sintesis serat abaka (a) proses alkalisasi (b) proses hidrolisis asam (c) pengeringan (oven) (d) pemotongan serat.....	33
Gambar 3.4	Pembuatan bahan komposit.....	34
Gambar 3.5	Diagram skema pengukuran koefisien absorpsi.....	40
Gambar 4.1	Spektrum FTIR Serat Abaka.....	43
Gambar 4.2	XRD Sintesis serat abaka	44
Gambar 4.3	Morfologi SEM Serat Abaka (a) AFUT (b) AFTA (c) AFAH	46
Gambar 4.4	Modulus penyimpanan (E') dan faktor redaman ($\tan \delta$) dari serat abaka [AFUT, AFTA & AFAH] (a) E' dalam kaitannya dengan suhu	

(b) E' dalam kaitannya dengan frekuensi (c) $\tan \delta$ dalam kaitannya dengan suhu (d) $\tan \delta$ dalam kaitannya dengan frekuensi.....	49
Gambar 4.5 Nilai koefisien absorpsi suara terhadap frekuensi [AFUT, AFTA, AFAH, serat kelapa dan serat pisang]	52
Gambar 5.1 Morfologi (a) Serat abaka setelah perlakuan (b) Sampel komposit MS461 (c) Sampel komposit MS281.....	57
Gambar 5.2 Grafik kurva hubungan antara tegangan dan regangan	60
Gambar 5.3 Pengaruh penambahan konsentrasi serat terhadap nilai α	62
Gambar 5.4 Pengaruh ketebalan terhadap nilai α pada konsentrasi (M _{epx} /S _{abk}) 30:70	65
Gambar 5.5 Pengaruh penambahan konsentrasi abaka terhadap nilai α untuk (a) Tebal 20 mm (b) Tebal 30mm.....	66
Gambar 6.1 Perbandingan hasil eksperimen dan beberapa hasil pemodelan	71
Gambar 6.2 Perbandingan nilai α hasil eksperimen dengan pemodelan semi empiris Delany-Bazley	72
Gambar 6.3 Perbandingan nilai α hasil eksperimen dan hasil pencocokan	74
Gambar 6.4 Perbandingan nilai α (a) M _{epx} /S _{abk} 30:70 (b) M _{epx} /S _{abk} 20:80 (c) serat sisal	75
Gambar 6.5 Perbandingan nilai α M _{epx} /S _{abk} 20:80 beberapa absorber di pasaran pada ketebalan 30 cm	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan senyawa serat abaka.....	9
Tabel 2.2 Sifat mekanik beberapa serat abaka	12
Tabel 2.3 Sifat mekanik serat alam	17
Tabel 2.4 Penelitian berbagai serat alam sebagai penyerap akustik	18
Tabel 2.5 Nilai Parameter Koefisien dan konstanta pada nilai z dan k (c_1 - c_8)	27
Tabel 2.6 Daftar komposit serat alam dan nilai konduktivitas termal efektif	30
Tabel 3.1 Variasi sampel pengujian.....	35
Tabel 4.1 Kandungan senyawa pada beberapa serat dengan dan tanpa perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam.....	41
Tabel 4.2 Sifat mekanik serat alam	48
Tabel 5.1 Karakterisasi serat abaka setelah proses alkalisasi dan hidrolisis asam.....	56
Tabel 5.2 Nilai konduktivitas termal bahan komposit	58
Tabel 6.1 Karakteristik bahan komposit.....	69
Tabel 6.2 Koefisien konstanta c_1 - c_8 pada nilai z dan k hasil pencocokan dengan eksperimen.....	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang semakin pesat di bidang industri di Indonesia mendorong peningkatan berbagai aktivitas industri dan transportasi. Kemajuan ini, selain memberikan dampak positif bagi kualitas hidup, juga memicu terjadinya kebisingan (Berquin, 2013; Lu et al., 2019; Rey Gozalo & Gómez Escobar, 2021). Salah satu upaya pengendalian kebisingan adalah dengan pemberian material akustik pada suatu ruangan yang berfungsi sebagai penyerap yang mampu meredam energi suara (Krüger & Leistner, 1997). Bahan penyerap suara yang tersedia di pasaran umumnya disebut absorber dan terbuat dari mineral alam, bahan sintesis seperti *rockwool*, *glasswool* serta material *foam*. Material tersebut tidak ramah lingkungan dan merusak kesehatan (Mansour et al., 2014). Absorber yang ramah lingkungan dan ekonomis berasal dari serat alam. Absorber berasal dari daun teh mampu mengabsorpsi 0,6 pada frekuensi 4000 – 6300 Hz (Ersoy & Küçük, 2009), sabut kelapa 0,84 pada 500 Hz (Sekar et al., 2019), ampas tebu 0,75 pada frekuensi 500 – 4000 Hz (Othmani et al., 2016), sekam jagung 0,45 pada frekuensi 500 – 2500 Hz, serat kayu 0,8 untuk frekuensi > 1800 Hz (Berardi & Iannace, 2015a). Absorber tersebut memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap suara, tetapi belum dilengkapi dengan pengujian terkait sifat mekanik dan konduktivitas termal.

Perkembangan absorber selanjutnya terbuat dari bahan komposit dengan serat alam sebagai pengisinya. Pelepah jagung dengan PP (polipropilena) sebagai matriksnya memiliki koefisien absorpsi 0,35-0,4 untuk frekuensi > 1700 Hz (Huda & Yang, 2009). Serat pisang dengan PP 50% memiliki koefisien absorpsi 0,13 dan serat sabut PP 50 % menjadi 0,17 pada frekuensi 1250. Meningkatnya kemampuan mekanik karena tambahan bahan matriks, ternyata menurunkan kemampuan penyerapan suara (Thilagavathi et al., 2010).

Salah satu serat alam yang memiliki sifat mekanik yang tinggi adalah serat abaka (Armecin, 2014; Setiawan, 2015; Vijayalakshmi, 2014). Serat ini dapat diolah sebagai bahan kertas (Jiménez et al., 2008), filter dan kertas pembungkus yang bermutu tinggi (L. Jimenez, E. Ramos, M.J. De la Torre, I. Perez, 2008), dan sebagai bahan tekstil (Texcoms, 2019; Wadje, 2009). Dalam perkembangannya serat abaka mampu menggantikan serat sintetis sebagai pengisi untuk bahan komposit (Cai et al., 2016a; Department of Agriculture, 2018; Ebrahim Taban, Ali Khavanin, Adolreza. Azma Putra, 2019; Indran & Raj, 2015; Kumar Sinha et al., 2017a; K. Liu et al., 2014; Reddy & Yang, 2005; Saragih, Lubis, Wirjosentono, et al., 2018; Suhelmidawati and Etri, 2016; Vilaseca et al., 2010). Perlakuan serat abaka yang tepat akan menghasilkan kekuatan dan kelenturan serat yang bagus serta mampu digunakan sebagai rompi anti peluru yang bersifat seperti Kevlar (Banowati et al., 2021; Jay, n.d.; Koundal et al., 2021; Saefullah & Harsono, 2023). Berdasarkan sifat mekanik dari serat diketahui memiliki kekuatan tarik (400-900) MPa dan modulus Young (6,2-40) GPa (Cai et al., 2016a; Saragih, Lubis, Wirjosentono, et al., 2018; Suhelmidawati and Etri, 2016).

Salah satu usaha untuk meningkatkan sifat mekanik pada serat adalah perlakuan alkalisasi, yaitu penambahan senyawa alkali (NaOH) (Cai et al., 2015; Pratama et al., 2017; Rahman & Sosiati, 2020; Sinha et al., 2017). Melihat kemampuan mekanik yang tinggi pada serat abaka, peneliti membuat material penyerap menggunakan serat abaka. Penelitian ini menggunakan resin epoksi sebagai matriks, dan serat abaka sebagai pengisinya. Variasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan bahan komposit yang terdiri dari matriks epoksi dan serat abaka (M_{epx}/S_{abk}), dengan rasio antara matriks dan serat adalah 20:80, 30:70 dan 40:60. Pada penelitian ini juga divariasikan pada masing-masing komposisi dengan variasi ketebalan 10 mm, 20 mm dan 30 mm.

Penelitian ini terdiri dari dua jenis karakterisasi. Pertama, dilakukan karakterisasi serat abaka hasil sintesis untuk mengkaji pengaruh perlakuan

alkalisasi dan hidrolisis asam, yang meliputi pengujian FTIR, XRD, Gravimeter, BET, SEM, DMA dan koefisien serap suara. Kedua, karakterisasi serat yang telah dijadikan komposit sebagai absorber yang nantinya akan di uji terkait kemampuan menyerap energi suara, kemampuan mekanik dan konduktivitas termal. Karakterisasi yang digunakan meliputi pengujian dengan alat DMA, pengukuran konduktivitas termal dan penggunaan tabung impedansi. Selain itu, penelitian ini juga melakukan pemodelan untuk menentukan nilai koefisien absorpsi dengan pendekatan persamaan semi empiris Delany-Bazley (Bhingare & Prakash, 2020; Delany & Bazley, 1970; Jones & Kessissoglou, 2015; X. Liu et al., 2021; Silva et al., 2019). Tujuan yang ingin dicapai adalah membuat absorber yang memiliki kemampuan menyerap suara pada rentang frekuensi yang lebih lebar disertai sifat mekanik yang baik dan konduktivitas termal yang rendah.

1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini memiliki dua permasalahan yang mendasar untuk dikaji. Pertama, pengaruh proses alkalisasi dan hidrolisis asam pada serat abaka terhadap perubahan sifat mekanik, kandungan senyawa, sifat fisis dan akustiknya. Kedua, menganalisis bahan komposit epoksi dan serat abaka dengan variasi fraksi volume matriks dan serat, terhadap sifat akustik, mekanik dan konduktivitas termal. Variasi konsentrasi serat yang digunakan pada penelitian ini yaitu 20, 30, dan 40%, sedangkan variasi ketebalan meliputi 10 mm, 20 mm dan 30 mm. Absorber yang memiliki nilai koefisien absorpsi tinggi, sifat mekanik yang handal, dan konduktivitas termal rendah dapat diperoleh berdasarkan variasi tersebut.

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa tujuan, diantaranya adalah:

1. Mengetahui karakter serat terhadap pengaruh perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam terhadap sifat mekanik, sifat kimia, sifat fisis serta kemampuan menyerap energi suara.
2. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi fraksi volume serat terhadap kekuatan mekanik komposit, konduktivitas termal dan kemampuan penyerap energi suara.
3. Mengetahui pengaruh ketebalan komposit terhadap kemampuan menyerap energi suara serta rentang frekuensi kerjanya.
4. Mengetahui kesesuaian antara metode pengukuran nilai koefisien absorpsi pada bahan komposit dengan metode pemodelan semi empiris Delany-Bazley.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain meliputi :

1. Memberi informasi baru mengenai peran serat abaka sebagai material penyerap energi suara yang ramah lingkungan.
2. Menjadikan serat alam abaka sebagai acuan dalam pengembangan bahan komposit absorber, yang didukung oleh sifat mekanik tinggi dan konduktivitas termal rendah.

1.4. Kontribusi dan Orisinalitas Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa kontribusi dan Orisinalitas Penelitian sebagai berikut:

1. Metode perlakuan alkalisasi (NaOH 0,5%) dan hidrolisis asam (CH₃COOH 50%) meningkatkan performa kekuatan tarik dan modulus Young meningkat dua kali lipat, sehingga serat tersebut dapat diaplikasikan sebagai penguat komposit.

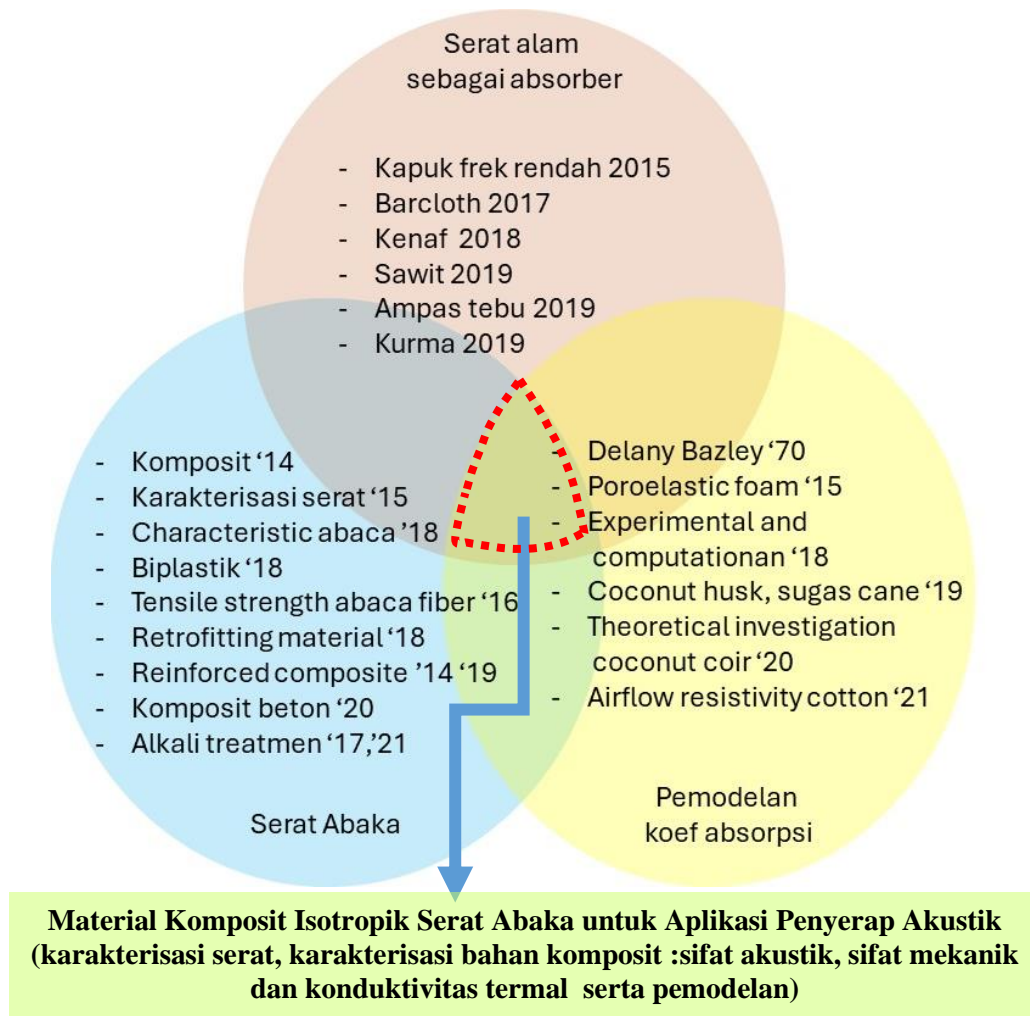
2. Teridentifikasi fenomena pergeseran nilai koefisien absorpsi menuju frekuensi yang lebih rendah seiring dengan penambahan konsentrasi serat pada komposit M_{epx}/S_{abk} .
3. Pengaruh kenaikan ketebalan pada setiap fraksi volume komposit menunjukkan adanya perubahan daerah koefisien absorpsi bergeser menuju ke frekuensi lebih rendah, tetapi nilai koefisien absorpsinya meningkat hingga dua kali lipat dari intensitas sebelumnya.
4. Nilai analisis konstanta propogasi dan impedansi pada penelitian ini diimplementasikan pada pemodelan semiempiris Delany-Bazley, untuk mendapatkan nilai koefisien absorpsi yang sesuai dengan bahan komposit (M_{epx}/S_{abk}) isotropik berbasis serat pendek abaka.

1.5. Peta jalan penelitian serat abaka untuk aplikasi penyerap akustik

Berikut adalah peta jalan penelitian serat abaka untuk aplikasi penyerap akustik, seperti yang ditunjukkan Gambar 1.1. Penggunaan serat alam sebagai bahan penyerap sudah banyak diteliti. Beberapa jenis serat alam yang telah banyak diteliti menunjukkan kemampuan dalam menyerap energi suara, antara lain serat kapuk (X. Liu et al., 2015a), kenaf (Lim et al., 2018b), sawit (Taban et al., 2019), ampas tebu (Silva et al., 2019), dan kurma (Taban et al., 2019). Selain itu, serat alam juga memiliki kemampuan yang baik sebagai bahan isolasi panas.

Pada penelitian ini, serat abaka digunakan sebagai bahan penyerap suara. Serat abaka cocok sebagai penguat dalam bahan komposit dan memiliki kemampuan mekanik yang meningkat dengan perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam (Valášek et al., 2015)(Cai et al., 2016b). Berdasarkan hasil penelitian, serat abaka memiliki sifat mekanik yang baik dan merupakan pengisi yang bagus ketika diaplikasikan pada bahan komposit (Cai et al., 2016b; Girisha et al., 2023; Iucolano et al., 2015; Kumar Sinha et al., 2018a). Serat ini memiliki struktur mikro yang unik, sehingga diharapkan selain mampu memiliki nilai koefisien absorpsi yang tinggi, juga disertai kemampuan mekanik yang tinggi dan

konduktivitas termal rendah. Selain itu, pada penelitian ini digunakan pemodelan nilai koefisien absorpsi suara semi empiris Delany-Bazley, yang kemudian dicocokkan dengan hasil eksperimen (Delany & Bazley, 1970; Hosseini Fouladi et al., 2011; Silva et al., 2019).



Gambar 1.1 Peta jalan penelitian serat abaka untuk aplikasi penyerap

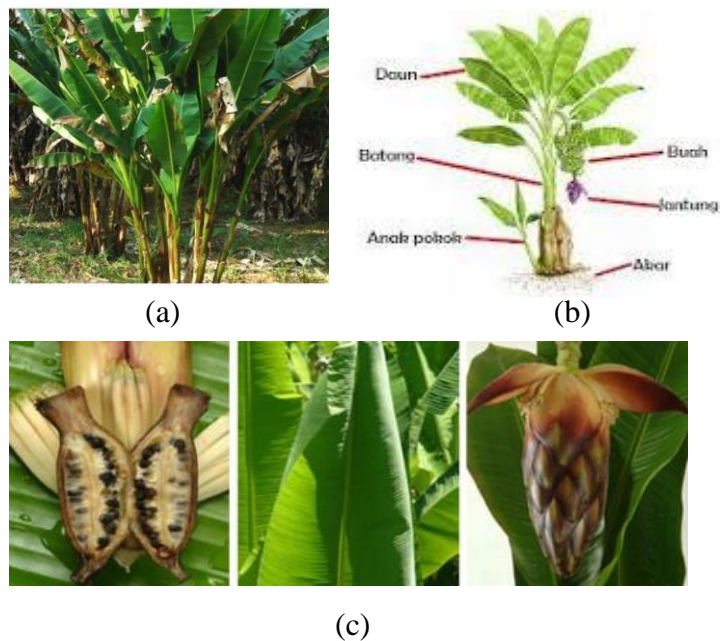
Peran serat abaka telah mengikuti dalam perkembangan teknologi dan metode produksinya, diharapkan dapat menggantikan bahan sintetis dalam berbagai aplikasi absorber akustik serta ramah lingkungan. Serat abaka digunakan sebagai bahan absorber karena memiliki beberapa keunggulan, di antaranya keberlanjutan, ketersediaan, dan dampak lingkungan yang lebih rendah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Abaka

Abaka merupakan jenis tanaman pisang yang berasal dari Filipina, dalam bahasa Tagalog (*Palacios dan Pena*). Tanaman ini juga dikenal sebagai *manila hemp*. Dalam Bahasa ilmiahnya abaka adalah *Musa Textilis Nee* karena tergolong jenis pisang (*Musaceane*) (Lihat Gambar 2.1a). Di Filipina tanaman ini adalah tanaman unggulan dan merupakan jenis tanaman industri “*Philippine Abaca Industri Roadmap 20188-2020* (Department of Agriculture, 2018). Tanaman ini tumbuh subur di lingkungan tropis yang teduh dan lembab, dengan kelembaban relatif sekitar 80% (Asraf et al., 2024).



Gambar 2.1 Pisang abaka (a) Pohon pisang abaka (b) Bagian-bagian pisang (c) Buah pisang abaka

(<https://kumparan.com/ochi-amanaturrosyidah/abaka-si-pisang-serba-bisa>)

Tanaman abaka berlimpah di negara - negara seperti Filipina, Ekuador, Kosta Rika dan Indonesia. Di Indonesia, budidaya pisang abaka pertama kali dikembangkan di Minahasa pada 1853. Budidaya ini tergolong mudah karena iklim yang sesuai, yaitu suhu 28 – 30°C. Hasil eksplorasi menunjukkan bahwa lahan pertanian terbesar berada di kepulauan Talaud (Sudjindro, 2004). Bagian-bagian dari pisang abaka memiliki kesamaan dengan bagian pisang lainnya (Gambar 2.1b). Namun, bagian yang dimanfaatkan dari pisang ini adalah batangnya (*stem*), karena buahnya kecil dan tidak layak untuk dikonsumsi (kementerian pertanian badan L. Pertanian, 2021) (Gambar 2.1c). Batang pisang memiliki tinggi 4 - 7 meter, diameter berkisar \pm 20 cm, dengan lebih dari 20 pelepah pisang (*pseudostem*).



Gambar 2.2 Proses pembuatan serat abaka (a) Batang pisang (b) Mesin decorticator (c) Serat abaka dijemur di bawah sinar matahari

(https://www.youtube.com/watch?v=_qaQLF7Ttdw&t=74s)

Waktu optimal untuk memanen batang pisang adalah saat tanaman berusia sekitar 18 bulan (Mamun AA, Heim HP, Faruk O, Bledzki AK (2015) *The Use.Pdf*, n.d.)(Gambar 2.2a)). Batang ditebang, kemudian pelepah dimasukkan ke dalam mesin decorticor (Gambar 2.2b) yang dilengkapi pisau tajam untuk memisahkan serat. Serat ini dipanaskan langsung di bawah sinar matahari,

kemudian serat dikemas dan siap dijual sebagai bahan baku (Gambar 2.2c). Serat abaka adalah bahan baku yang sangat penting karena kandungan selulosanya tinggi. Di Indonesia serat ini merupakan jenis ekspor HS 53 (serat tekstil dan benang kertas) yang terbesar (kementerian pertanian badan L. Pertanian, 2020)(Indonesia Eximbank Institute, 2019). Serat ini dapat diolah sebagai bahan kertas (Jiménez et al., 2008), filter (Series, 2021), pembungkus kabel (Department of Agriculture, 2018), bahan tekstil (Texcoms, 2019)(Wadje, 2009)(Dancel, 2018a)(Simbana et al., 2020), industri otomotif, perkapalan, permadani, kerajinan (Kumar Sinha et al., 2017b)(Marissa A. Paglicawan, Carlo S. Emolaga, Johanna Marie B, 2021).

2.1.1 Kandungan Kimia Serat Abaka

Serat abaka terdiri dari komponen kimia berupa selulosa, hemiselulosa, lignin dan zat yang larut dalam air (Simbana et al., 2020). Terkait kandungan senyawa pada serat abaka, dapat dilihat pada Tabel 2.1 dari beberapa penelitian sebelumnya.

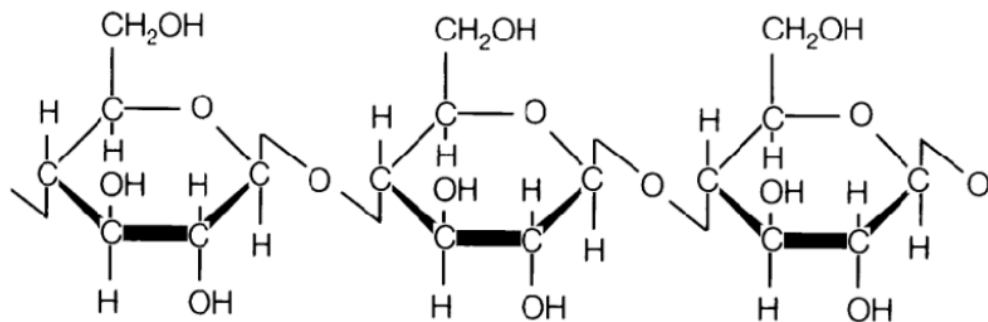
Tabel 2.1 Kandungan senyawa serat abaka

No	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Pektin (%)	Referensi
1	56-64	-	12,5-14	1,2	(Ramesh et al., 2022)
2	56-63	20-25	7-9	-	(Radoor & Parameswaranpillai, 2020) (Simbana et al., 2020)(Saragih, Lubis, Wirjosentono, et al., 2018)
3	60,8-64	24,7	13,6	-	(Mari et al., 2019)
4	60,8-68	17,5-21	5-15,1	<1	(Bourmaud et al., 2018)
5	66,43	24,7	13,6	-	(Saragih, Lubis, & Wirjosentono, 2018)
6	56-63	20-25	7-9	-	(Rohit & Savita Dixit, 2016)
7	56-64	25-29	11-14	-	(Cai et al., 2016a)

8	60,8-64	17,5-21	12-15,1	-	(Bledzki et al., 2015)
9	56-63	15-17	7-10	-	(Bar et al., 2015)
10	56-63	21,7	12-13	1	(Gurunathan et al., 2015)

Selulosa terdiri dari unit glukosa yang dihubungkan dalam rantai linier. Gugus hidroksil pada setiap residu glukosa membentuk ikatan hidrogen yang besar. Selain itu, selulosa terkenal dengan struktur kristalnya, ketahanan terhadap hidrolisis, dan kekuatannya (Lakshmi Narayana & Bhaskara Rao, 2021). Komposisi lain, seperti hemiselulosa, adalah campuran unit gula dengan struktur acak dan amorf yang tidak memiliki kekuatan struktural. Hemiselulosa mudah dihidrolisis oleh basa encer atau asam, menghasilkan senyawa kaya xilosa (Mahmud et al., 2021). Lignin, sebuah biopolimer kompleks, terdiri atas subunit alifatik dan aromatik. Lignin memiliki berat molekul melebihi 10.000 unit dan struktur amorf dengan sifat hidrofobik, serta mengandung banyak gugus hidroksil. Gugus fungsi ini membentuk ikatan sekunder berupa interaksi dipol, yang berkontribusi pada sifat mekanis dan ketahanan termal pada lignin. Berdasarkan Tabel 2.1 terlihat bahwa kandungan senyawa serat bervariasi. Variasi kandungan senyawa dalam serat tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi pertumbuhan tanaman, faktor geografis, dan metode ekstraksi serat (Muhammad H. Hamidon, Mohamed T.H. Sultan, Ahmad H. Ariffin, 2019).

Struktur kimia selulosa merupakan polimer yang terdiri dari unit-unit β -D-glukosa, yang terikat satu sama lain melalui ikatan glikosidik β -1,4. Setiap unit β -D-glukosa memiliki rumus molekul $C_6H_{10}O_5$, sehingga selulosa yang lebih kompleks dari monomer ini dapat memiliki variasi rumus molekul sesuai panjang rantainya. Berikut adalah struktur β -D-glukosa ($C_6H_{10}O_5$), unit dasar dalam selulosa, yang menunjukkan posisi ikatan antar atom karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Struktur ini menggambarkan susunan atom dalam bentuk cincin *piranosa* dengan ikatan yang terhubung di antara atom-atom sesuai urutannya (Lihat Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Struktur selulosa (Swift & Medical, 2014)

Selulosa memiliki struktur senyawa $C_6H_{10}O_5$, yaitu polimer alami yang memiliki rantai panjang dan tersusun dari rangkaian gula. Dalam struktur tersebut, molekul-molekul gula saling terhubung, yang menyebabkan hilangnya molekul air. Ikatan antar gula terbentuk melalui interaksi antara gugus H dari satu molekul gula dengan gugus -OH dari molekul gula lainnya, sehingga membentuk molekul disakarida yang disebut *cellobiose* (Gambar 2.3). Akibat struktur senyawanya yang linier, selulosa bersifat kristalin, sehingga polimer alami ini cenderung sulit larut dalam air. Namun, selulosa tidak berdiri sendiri dalam struktur serat. Selulosa berinteraksi dengan polisakarida lain, seperti hemiselulosa dan juga lignin (Aditama & Ardhyanta, 2017)

Hemiselulosa merupakan jenis polisakarida yang tersusun dari berbagai jenis gula. Struktur hemiselulosa bercabang dan memiliki rantai yang lebih pendek dibandingkan dengan selulosa. Akibat dari struktur ini, hemiselulosa mudah larut dalam air. Jenis polisakarida lainnya yang berinteraksi dengan selulosa adalah lignin. Lignin memiliki struktur senyawa $C_9H_{10}O_2(OCH_2)_n$. Lignin memiliki ciri khas yaitu sifatnya yang tidak larut dalam air dan stabil di alam. Pada serat alam, lignin berperan seperti lem karena menjadi penghubung antara selulosa dengan hemiselulosa, sehingga menjadikan struktur sel pada serat menjadi kuat (Watkins et al., 2015). Apabila serat diibaratkan sebagai komposit, hemiselulosa dan lignin merupakan matriks sedangkan selulosa sebagai penguat matriksnya (Devi et al., 2019). Oleh karena itu, apabila serat mengalami kehilangan lignin, serat tersebut

akan beralur yang menyebabkan luas permukaan serat bertambah. Akibatnya, volume serat juga akan meningkat sehingga densitas suatu serat ikut turun (Thakur et al., 2014).

2.1.2 Sifat Mekanik Serat Abaka

Kristalinitas dari serat abaka menunjukkan sifat mekanik yang tinggi. Beberapa penelitian sebelumnya terkait dengan karakteristik serat abaka berdasarkan sifat mekaniknya dapat dilihat pada Tabel 2. 2. Terlihat bahwa sifat mekanik serat abaka sangat tinggi, di mana kekuatan tarik mencapai 400 – 980 MPa, modulus elastisitas 6.2 -20 GPA dan elongation 1-10% (Suhelmidawati and Etri, 2016)(Setiawan, 2015)(Punyamurthy et al., 2014)(Saragih, Lubis, Wirjosentono, et al., 2018). Tingginya sifat mekanik pada serat abaka memungkinkan serat ini menggantikan serat sintetis. Hal inilah yang menjadi dasar penggunaan serat abaka dalam penelitian.

Tabel 2.2 Sifat mekanik beberapa serat abaka

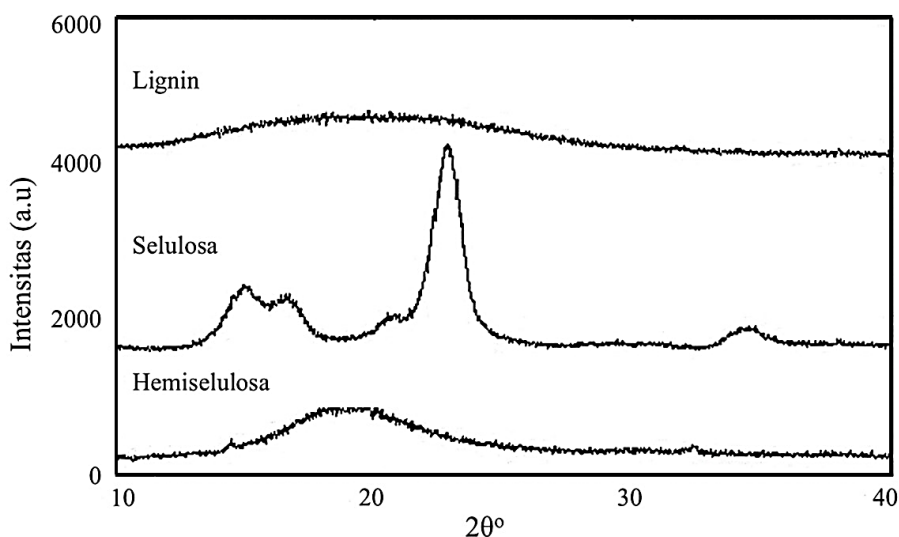
No	Densitas (g/cm ³)	Diameter (μm)	Kekuatan tarik (MPa)	Modulus Young (GPa)	Perpanjangan (%)	Referensi
1	1,5	-	400-677	34,4-41	3,4-11,1	(Simbana et al., 2020)
2	1,5	179-230	755-798	17,1-18,4	6,2-8,8	(Bourmaud et al., 2018)
3	-	114-130	418-486	12-13,8	-	(Sanjay et al., 2017)
4	-	265 \pm 62	717 \pm 83	18,6 \pm 1,9	4,2 \pm 0,2	(Cai et al., 2016b)
5	1,5	-	430-1135	9,8-35,1	3,4-11,1	(Bledzki et al., 2015)
6	1,5	-	430-813	31,1-33,6	2,9	(Gurunathan et al., 2015)



Gambar 2.4 Ilustrasi daerah struktur semi kristal

(Sumber: DoITPoMS, 2024)

Dalam serat, selulosa merupakan komponen utama yang bersifat kristalin. Kristalin menunjukkan bahwa serat tersebut memiliki struktur kristal yang tinggi. Jumlah struktur kristal tersebut disebut dengan derajat kristalinitas (%). Kristalin memiliki area kristal lebih luas dibandingkan daerah amorf. Gambar 2.4 mengilustrasikan bahan yang memiliki daerah kristal dan daerah amorf, di mana garis berwarna hijau menunjukkan daerah kristal, sedangkan garis berwarna hitam menunjukkan daerah amorf.



Gambar 2.5 Pola XRD untuk Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa

(Sivasangar et al., 2013)

Alkalisasi dan hidrolisis asam pada serat menjadi salah satu cara untuk memodifikasi kandungan selulosa pada serat, yang juga mempengaruhi kekuatan mekanis serat tumbuhan tersebut (Ikramullah et al., 2018; Wunna et al., 2017). Salah satu teknik yang digunakan untuk menganalisis struktur kristal dari material adalah menggunakan *X-ray Diffraction (XRD)*. Gambar pola XRD dari masing-masing komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin (Gambar 2.5). Derajat kristalinitas (%) yang tinggi dalam serat tumbuhan mampu meningkatkan kekuatan mekanis yang signifikan (Al-Gahtani et al, 2015).

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Wang et al juga memberikan informasi bahwa serat yang memiliki derajat kristalinitas tinggi cenderung sifatnya lebih kaku (Wang et al, 2018). Puncak kristalinitas selulosa menunjukkan puncak yang khas pada sudut (2θ) sekitar $15 - 16^\circ$, $22 - 23^\circ$, dan $34 - 35^\circ$. Puncak pada sekitar $22 - 23^\circ$ adalah yang paling dominan dan merupakan indikator utama kristalinitas selulosa. Sedangkan hemiselulosa dan lignin adalah amorf dan tidak menunjukkan puncak kristalinitas yang tajam dalam pola XRD (Gambar 2.5).

2.1.3 Perlakuan Alkalisasi dan Hidrolisis Asam Pada Serat

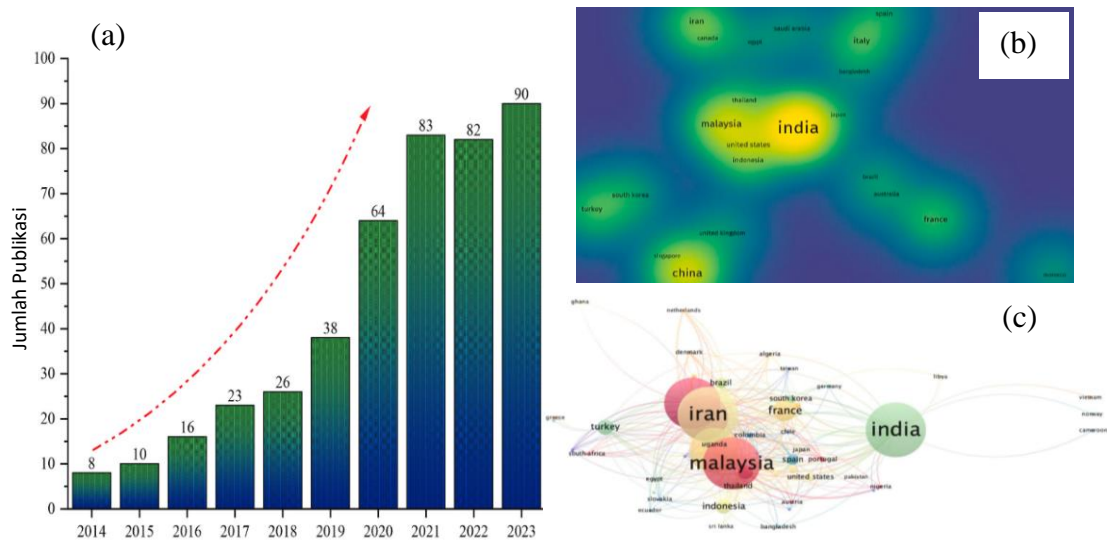
Perlakuan alkalisasi menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH) merupakan metode yang banyak digunakan untuk memodifikasi kandungan selulosa pada serat alam. Proses ini dilakukan dengan cara merendam serat pada larutan NaOH, yang menyebabkan serat alam terurai dan mengalami perubahan pada bentuk, ukuran dan struktur. Perlakuan alkalisasi dengan NaOH pada serat alam bertujuan untuk menghilangkan lapisan terluar yang mengandung zat pengotor, pektin, hemiselulosa dan lignin. Jika dilakukan dengan parameter yang tepat, modifikasi ini dapat meningkatkan kristalinitas serat dan mengurangi komponen amorf, sehingga memperbaiki sifat mekaniknya. Oleh karena itu, serat yang telah dimodifikasi menjadi lebih sesuai untuk digunakan sebagai penguat pada bahan komposit (Ikramullah et al., 2018; Wunna et al., 2017).

Selama proses alkalisasi, ikatan eter dan ester pada struktur lignin mengalami depolimerasi dan solubilisasi, yang menyebabkan lignin terkikis dan larut dalam air. Akibatnya, kandungan selulosa dalam serat meningkat, yang sebanding dengan peningkatan kekuatan mekanis akibat meluasnya daerah kristalin. Namun, konsentrasi NaOH yang berlebihan dan durasi perlakuan yang terlalu lama dapat mengikis hemiselulosa dan lignin secara berlebihan, sehingga merusak struktur serat. Selain mempengaruhi komposisi kimia serat, perlakuan alkalisasi juga memodifikasi struktur permukaan serat. Pengikisan lignin menyebabkan permukaan serat menjadi lebih kasar dengan luas permukaan yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan daya rekat dengan matriks pada bahan komposit dan menjadikannya penguat yang efektif. (Kumar Sinha et al., 2017a; Li et al., 2007; Seisa et al., 2022).

Proses hidrolisis asam merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk memecah struktur kompleks lignoselulosa, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin, menjadi komponen yang lebih sederhana. Proses ini juga dikenal sebagai tahap netralisasi atau pembersihan. Perlakuan hidrolisis asam biasanya dilakukan setelah perlakuan alkalisasi untuk menetralkan pH, sehingga lignin terlarut dapat diendapkan menjadi lignin bebas dan dipisahkan dari larutan alkali. Dalam reaksi kimia hidrolisis asam, selulosa diketahui lebih tahan terhadap hidrolisis asam dibandingkan hemiselulosa. Namun, pada kondisi yang ekstrem, selulosa juga dapat terurai menjadi glukosa.

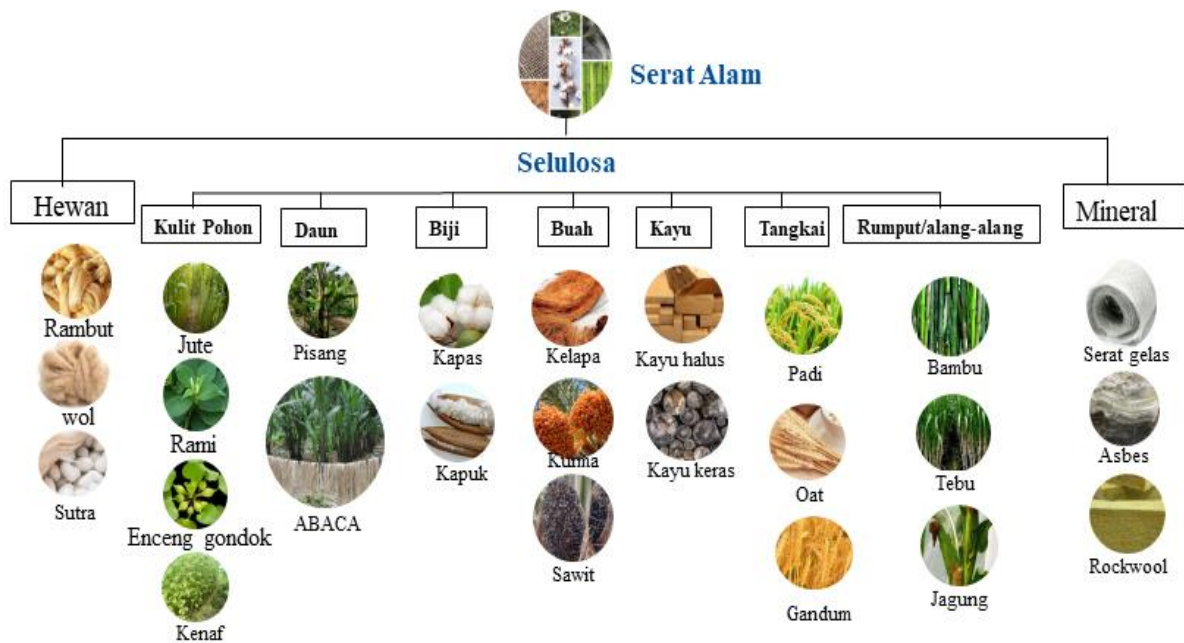
2.2 Serat Alam Sebagai Absorber

Serat alam memainkan peran yang sangat penting dalam bidang akustik. Kinerja bahan alami di bidang akustik dapat berubah dengan memvariasikan komposisi, porositas, ketebalan dan sifat lainnya. Bahan serat alami memiliki porositas internal yang cocok untuk penyerapan suara karena memberikan lebih banyak resistivitas aliran udara, sehingga banyak bahan serat alam digunakan dalam bidang akustik (Arenas, n.d.; Ren et al., 2017; X. H. Yang et al., 2015).



Gambar 2.6 Penelitian absorpsi suara (a) Jumlah publikasi (b) Negara yang paling banyak publikasi (c) Negara yang sering meneliti tentang penyerapan suara

(Sumber Seisa et al., 2022)



Gambar 2.7 Serat alam yang telah diteliti sebagai bahan absorber

Penelitian mengenai serat alam sebagai absorber semakin meningkat dari waktu ke waktu (Gambar 2.6a). Setiap tahun, semakin banyak peneliti yang tertarik untuk meneliti serat alam. Hal ini disebabkan oleh sifat serat alam merupakan serat alternatif pengganti sintetis yang memiliki sifat ramah lingkungan, ringan, ekonomis, *biodegradable* dan *biokompatibilitas*. Negara yang sering meneliti publikasi serat alam sebagai absorber adalah India, China, Iran dan Malaysia (Gambar 2.6b dan 2.6c). Adapun serat – serat yang diteliti berasal dari serat alam tumbuhan berupa kulit pohon, daun, biji-bijian, buah, tangkai dan sejenis rumput. Klasifikasi serat alam yang sering digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada (Gambar 2.7).

Serat alam seperti serat rami, kenaf, jute, sisal dan serat kelapa banyak digunakan karena ketersediaannya yang melimpah, biaya rendah, serta memiliki sifat-sifat mekanik yang cukup tinggi. Beberapa serat alam yang memiliki sifat mekanik tinggi dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Sifat mekanik serat alam

Jenis serat	Densitas (g/cm ³)	Kekuatan tarik (MPA)	Modulus Young (GPA)	Perpanjangan (%)
Abaka	1,5	400 – 677	34,4 -41	3,4 11,1
Flax	1,4 – 1,5	345 – 1500	27,6 – 80	2,7 – 3,2
Rami	1,48	550 – 900	70	1,6
Kayu lunak	1,5	1000	40	-
Kapas	1,5 – 1,6	287 – 597	5,1 -12,6	7 – 8
Rami	1,3 – 1,5	393 – 800	10 – 30	1,16 – 1,5
Sisal	1,3-1,5	400 – 700	9 – 38	3 – 7
Nilon 6,6	1,14	950	4	18

Zulkifli dkk. Meneliti sifat penyerapan suara serat dari serat sabut kelapa yang dikombinasikan dengan panel berlubang dan lapisan berpori. Penambahan lapisan berpori meningkatkan kinerja penyerapan suara pada frekuensi rendah,

dengan koefisien penyerapan sebesar 0,97 pada frkuensi 2750 – 2825 Hz untuk panel dengan ketebalan 20 mm. Sementara itu, kombinasi serat sabut kelapa dan panel berlubang menghasilkan koefisien penyerapan suara sebesar 0,94 – 0,95 pada rentang frekuensi 2600 – 2700 Hz (Zulkifli et al., 2010). Performa akustik beton bertulang serat kelapa menunjukkan bahwa penyerapan suara beton dengan serat sabut kelapa meningkat dibandingkan dengan beton tanpa serat (Gideon et al., 2018). AL Rahman dkk. menyelidiki kelayakan serat sabut kelapa dan serat kurma untuk bahan penyerapan suara pada frekuensi sedang dan tinggi. Penambahan ketebalan sampel meningkatkan puncak penyerapan suara bergerak menuju frekuensi yang lebih rendah. Serat sabut kelapa menunjukkan kapasitas penyerapan suara yang baik pada frekuensi sedang dan tinggi (Alrahman et al., 2013)(Mamtaz et al., 2017). Informasi lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Penelitian berbagai serat alam sebagai penyerap akustik

No	Material	ketebalan	Temuan utama	referensi
1	Serat daun teh	10 mm, 20 mm, 30 mm	Membandingkan absorpsi akustik dari daun teh dengan anyaman tekstil	(Ersoy & Küçük, 2009)
2	Pelepah jagung, polietilena	3,2 mm	Pelepah jagung bisa meningkatkan absorpsi akustik	(Huda & Yang, 2009)
3	Bambu, pisang dan rami	4,28 mm, 4,93, mm, 6,43 mm	Bambu/polipropilena memiliki nilai yang bagus dalam penyerapan akustik	(Thilagavathi et al., 2010)
4	Serat sabut	20 mm, 50 mm	Koefisien absorpsi = 0,8 untuk $f > 1360$ Hz pada ketebalan 20 mm	(Sekar et al., 2019)
5	Ramie, flax, jute	40 mm	Lumen berongganya berkontribusi pada penyerapan akustik	(W. D. Yang & Li, 2012)
6	Serat kapuk	60 mm	Serat kapuk memiliki nilai penyerapan akustik yang lebih baik dari pada <i>glass wool</i> dan kapas	(Bhingare et al., 2019a)
7	Ijuk kurma	25 mm	Koefisien absorpsi suara dari ijuk kurma kecil pada frekuensi rendah	(Khidir et al., 2014)
8	Serat fique	5 mm, 10 mm, 15 mm	Serat <i>fique</i> memiliki keuntungan yaitu ringan, murah dan <i>biodegradability</i>	(Navacerrada et al., 2014)

9	Kain kulit kayu	0,7 – 1,4 mm	Penyerapan suara dari serat kulit kayu	(Rwawiire et al., 2017)
10	Kenaf, rami dan kelapa	50 mm. 100 mm	Panel penyerapan suara serat alam	(Berardi & Iannace, 2015b)
11	Serat kapuk	5 mm, 10 mm, 20 mm	Serat kapuk memiliki koefisien absorpsi yang baik dari pada polipropilen pada frekuensi renda	(X. Liu et al., 2015b)
12	Kapuk dan <i>milkweed</i>	2,3 – 13,5 mm	Kapas/ <i>milkweed nonwoven</i> memiliki kemampuan mereduksi lebih baik dari kapas/kapuk	(Ganesan & Karthik, 2016)
13	Serat luffa yang diperkuat dengan epoksi	4,5 mm	Perlakuan dengan alkalisasi menurunkan nilai koefisien absorpsi	(Zhou et al., 2015)
14	Kulit jagung	0,652 – 2,916 mm	Penyerapan akustik yang kuat karena alur struktur	(Tang et al., 2018)

Sari dkk (Sari et al., 2017) menyelidiki sifat akustik bahan komposit resin poliester sebagai matriks dan serat sekam sebagai pengisinya. Efek fraksi volume sampel dengan volume serat 80% menunjukkan kinerja akustik yang baik, sedangkan sampel yang terdiri dari 80% resin poliester memiliki kinerja akustik rendah karena gelombang suara sulit bergerak melalui jumlah resin yang tinggi. Lim dkk (Lim et al., 2018a) mengeksplorasi sifat penyerapan suara pada serat kenaf. Efek ketebalan sampel dan densitas meningkatkan koefisien penyerapan suara.

Putra dkk (Putraa et al., 2013) meneliti serat tebu sebagai penyerapan suara. Variasi konsentrasi matriks poliester dan serat tebu (30:70) menunjukkan kinerja yang baik dan memiliki nilai koefisien penyerapan suara lebih besar dari 0,5 untuk rentang frekuensi 1000 - 4500 Hz. Othmani dkk (Othmani et al., 2016) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa ukuran serat kecil meningkatkan kinerja sebagai bahan absorber. Berardi dkk. (Berardi et al., 2015) menyebutkan bahwa koefisien penyerapan suara bergantung pada diameter serat, panjang serat, kepadatan, porositas dan ketebalan. Ketebalan sampel meningkatkan penyerapan suara pada wilayah frekuensi yang lebih rendah meningkat dengan menggunakan tabung impedansi.

2.3 Serat Alam Sebagai Penguat Pada Bahan Komposit

Secara umum, serat terdiri dari dua jenis, yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang diperoleh langsung dari alam. Dalam bahan komposit, serat berperan sebagai elemen utama penahan beban, sehingga kekuatan bahan komposit sangat bergantung pada kekuatan serat yang membentuknya. Semakin kecil ukuran bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal), maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Oroh et al., 2012).

Serat merupakan bahan yang kuat, kaku, dan getas. Karena berfungsi terutama untuk menahan gaya luar, terdapat dua hal yang mempengaruhi kemampuan serat dalam menahan gaya yaitu:

1. Perekatan (*bonding*) antara serat dan matriks (*interfasial bonding*) sangat baik dan kuat sehingga tidak mudah lepas dari matriks (*debonding*).
2. perbandingan (*aspect ratio*) antara panjang serat dengan diameter serat cukup besar.

Serat memiliki ciri-ciri berupa modulus dan kekuatannya yang sangat tinggi, elongasi (daya rentang yang baik), stabilitas panas yang baik, kemampuan untuk diubah menjadi filamen–filamen, serta sejumlah sifat lain yang bergantung pada pemakaian. Salah satu serat alam yang memiliki sifat mekanis yang baik adalah serat abaka. Klemens dkk membuat bahan komposit menggunakan serat abaka dan resin epoksi sebagai matriksnya, dalam pengujiannya bahan komposit tersebut memiliki sifat mekanik setara dengan Kevlar (Ui, 2010) (Banowati et al., 2021; Jay, n.d.; Koundal et al., 2021; Saefullah & Harsono, 2023). Kekuatan mekaniknya meningkat sebesar 16,7% Robert R. DanCel (Dancel, 2018b). Serat abaka yang menggunakan matriks PLA memiliki kekuatan tarik 8000MPa, impact stress 5,3kJ/m² (Bledzki et al., 2009a).

Dalam meningkatkan sifat mekanik pada serat abaka diperlukan perlakuan terlebih dahulu. Perlakuan alkalisasi menggunakan NaOH mampu meningkatkan kekuatan tarik dari 723,65 MPa menjadi 762,36MPa, modulus

elastisitas dari 31,24 MPa menjadi 42,58 MPa Yucheng Liu (Rajak et al., 2019). Penambahan perlakuan alkalisasi dengan asam sulfat H_2SO_4 dengan ratio 30:50:20 untuk Jute: abaka : epoksi Terjadi peningkatan uji Tarik 125%, modulus 144% dan kelenturan 132% Yogeshwaran (Yogeshwaran et al., 2020a)

Interaksi antara serat dan matriks menghasilkan ikatan kimiawi, reaksi, dan mekanik di daerah antarmuka. Ikatan kimia terbentuk secara alami pada permukaan serat dan matriks. Selain itu, kekasaran permukaan serat memungkinkan terbentuknya *interlocking* dengan matriks, yang disebut sebagai ikatan mekanik. Ikatan reaksi di daerah antarmuka terjadi ketika atom atau molekul dari serat dan matriks saling berdifusi pada permukaannya. Proses ini menciptakan lapisan tambahan di antarmuka yang memiliki sifat berbeda dari serat maupun matriks. Ikatan di daerah antarmuka sangat penting untuk menentukan sifat mekanik komposit. Jika ikatan antarmuka lemah, fungsi matriks sebagai pelindung serat berkurang, sehingga serat lebih rentan terhadap paparan bahan-bahan berbahaya dari lingkungan (Kaw, 2006).

Salah satu jenis ikatan yang dapat terbentuk antara dua bahan berbeda adalah adhesi. Namun, serat alam memiliki kelemahan dalam membentuk ikatan antarmuka dengan matriks karena kekuatan adhesinya yang lemah. Ikatan adhesi pada daerah antarmuka memegang peranan penting dalam menentukan sifat mekanik bahan komposit. Adhesi yang lemah pada daerah antarmuka menimbulkan sifat mekanik yang lemah bahan komposit (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020). Selain mempengaruhi sifat mekanik, seperti kekuatan tarik dan tekanan, ikatan adhesi juga berpengaruh pada konduktivitas termal bahan komposit. Adhesi yang lemah menyebabkan lemahnya ikatan mekanik antara dua fasa, yang menimbulkan *void* atau rongga-rongga udara di daerah antarmuka. Hal ini menyebabkan peningkatan resistansi panas antarmuka akibat meningkatnya resistansi panas kontak antara serat dan matriks. Panas hanya dapat merambat secara konveksi dan radiasi dalam *void* sehingga fenomena ini dapat dikatakan sebagai resistansi panas (Karol & S., 2015).

2.4 Hukum Pencampuran

Material komposit dipengaruhi oleh jenis bahan pembentuk, fraksi bahan pembentuk, dimensi penguat terkait kerekatan luas permukaan, geometri material pembentuk, orientasi penguat, serta distribusi penguat pada komposit terkait dengan hasil kekuatan mekanik. Maka material pembentuk komposit dan pembentukannya penting diperhatikan, karena menentukan kualitas sifat fisik dan mekanik produk yang dihasilkan (Sulistijono, 2012).

Jumlah dari massa fiber dan matriks disebut total massa komposit, dapat dituliskan dengan persamaan :

$$m_c = m_m + m_f \quad (2.1)$$

$$\rho_c V_c = \rho_m V_m + \rho_f V_f \quad (2.2)$$

Dimana sehingga didapatkan massa jenis dari komposit

$$\rho_c = \frac{(\rho_m V_m + \rho_f V_f)}{V_c} \quad (2.3)$$

Diubah menjadi fraksi massa menjadi

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{m_m}{\rho_m} + \frac{m_f}{\rho_f}} \quad (2.4)$$

Untuk mempermudah perhitungan dari fraksi volum atau fraksi berat, persamaan dapat digunakan :

$$M_m + M_f = 1 \quad (2.5)$$

$$V_f + V_m + V_v = 1 \quad (2.6)$$

Pada perhitungan fraksi volum komposit, dimasukkan juga fraksi volum *void*. *Void* merupakan ruang kosong dalam komposit yang dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit. Sehingga mempengaruhi secara kualitatif yaitu jenis bahan dan kuantitatif yaitu fraksi komposisi. Komposit yang baik memiliki $V_v <$

1% sedang komposit yang jelek memiliki V_v mencapai 5% dengan dapat diketahui nilai *void* didapat dari nilai massa jenis komposit secara teoritis dikurangi dengan secara eksperimen dan dibagi secara teori (Chawla, 2012).

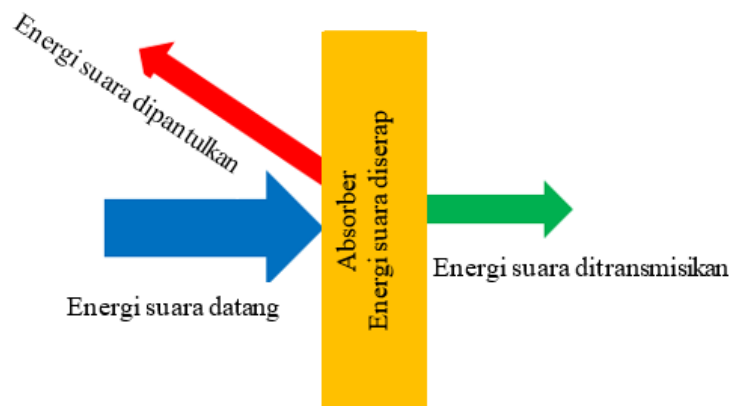
$$V_v = (\rho_{ct} - \rho_{ce}) / \rho_{ct} \quad (2.7)$$

2.5 Mekanisme Absorpsi dengan Formula Semi-Empirik Delany-Bazley

Efisiensi penyerapan suara suatu bahan pada suatu frekuensi tertentu dinyatakan oleh koefisien penyerapan suara (α). Bahan yang dapat menyerap suara memiliki permukaan yang lembut dan berpori disebut absorber. Kemampuan mengabsorpsi (menyerap) suatu permukaan bergantung pada kerapatan atau kepadatan material dan frekuensi suara yang mengenainya. Beberapa material seperti kain, kertas, dan karpet dapat digunakan sebagai absorber. Namun besarnya absorpsi material-material tersebut berbeda-beda. Kemampuan absorpsi material ditentukan oleh koefisien absorpsi, yaitu banyaknya energi yang diserap dibandingkan keseluruhan energi suara yang mengenai permukaan. Besarnya koefisien absorpsi (α) adalah antara 0 sampai 1. Apabila $\alpha_{\text{bahan}} = 0,3$ berarti 30% energi suara yang datang diserap oleh permukaan bahan dan 70% dipantulkan.

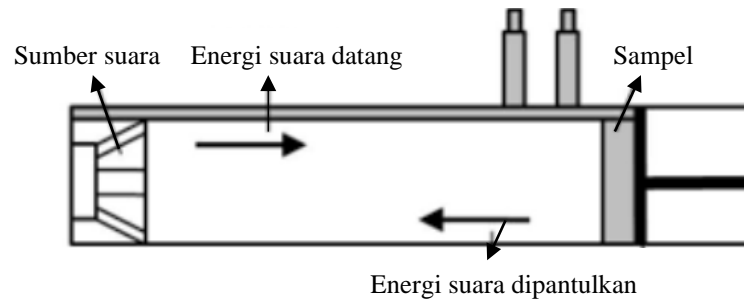
Suara yang tidak dipantulkan akan diserap oleh permukaan atau benda dalam ruang. Energi yang diserap sebagian masih akan diteruskan/ditransmisikan ke sisi lain bahan, sehingga yang benar-benar diserap dan diubah menjadi energi panas hanyalah sebagian dari energi yang tak dipantulkan (Gambar 2.8). Energi yang diserap diubah menjadi energi panas oleh molekul-molekul bahan, namun energi suara yang diserap itu memiliki kuantitas yang sangat kecil. Sehingga dibutuhkan waktu yang sangat lama untuk dapat menaikkan suhu permukaan tersebut. Metode pengukuran untuk menentukan nilai α pada suatu bahan yaitu dengan metode ruang dengung (*reverberation room method*) dan tabung impedansi (*impedance tube method*). Metode ruang

dengung dalam aplikasinya jarang dilakukan karena berdasarkan ISO 354 memerlukan ruang yang besar serta sampel uji dengan ukuran 3 x 3 meter. Sedangkan pengukuran metode tabung impedansi selain lebih efisien, presisi tinggi serta ukuran sampel relatif lebih kecil yaitu diameter 3 dan 10 cm.



Gambar 2.8 Mekanisme energi suara yang mengenai bahan penyerap suara (absorber)

Saat ini, formulasi koefisien penyerapan suara dapat diklasifikasikan menjadi model empiris dan model mikro struktural. Perambatan gelombang suara pada komposit serat terutama ditentukan oleh densitas *bulk*, ketebalan, porositas, ukuran serat, dan berbagai parameter mikro struktur (distribusi serat, orientasi serat, dan bentuk serat). Dalam teori yang di kembangkan dari prediksi penyerapan akustik telah banyak digunakan untuk memprediksi koefisien penyerapan akustik. Pengukuran dalam tabung impedansi (*impedance tube*) memungkinkan penentuan karakteristik akustik seperti koefisien absorpsi suara dan impedansi karakteristik permukaan material. Dalam tabung impedansi, gelombang suara ditembakkan ke dalam tabung yang berisi sampel material berpori. Sensor diletakkan di sepanjang tabung untuk mengukur tekanan suara dan kecepatan partikel.



Gambar 2.9 Tabung impedansi untuk pengukuran koefisien absorpsi

Gambar 2.9 menunjukkan konfigurasi umum dari tabung impedansi. Gelombang suara dari sumber masuk ke tabung, berinteraksi dengan material uji dan sebagian dari gelombang suara dipantulkan, diserap dan diteruskan melalui material. Mikrofon di dalam tabung digunakan untuk mengukur data yang diperlukan untuk menghitung koefisien absorpsi dan impedansi material. Teori Zwikker dan Kosten berdasarkan konsep impedansi akustik mengusulkan rumus koefisien penyerapan akustik untuk bahan berpori (Tang & Yan, 2017). Persamaan tersebut terdiri dari impedansi karakteristik permukaan Z dan penyerapan akustik α , impedansi karakteristik Z_0 , konstanta propagasi γ , ketebalan l , kerapatan udara ρ_0 , dan kecepatan suara c_0 . Rumusan lengkapnya dapat digambarkan sebagai berikut

$$Z = Z_0 \coth(\gamma l) \quad (2.8)$$

$$\alpha = 1 - \left| \frac{Z - \rho_0 c_0}{Z + \rho_0 c_0} \right| \quad (2.9)$$

Metode empiris dibuat dengan menerapkan persamaan regresi ke berbagai parameter mengenai impedansi dan resistivitas aliran spesifik. Perlu dicatat bahwa setiap metode empiris berlaku untuk jenis bahan berserat terbatas dengan karakteristik intrinsik tertentu. Misalnya, Delany dan Bazley mengusulkan model empiris yang mudah untuk bahan berserat, yang memprediksi perilaku akustik hanya dengan parameter non-akustik resistivitas aliran udara. Metode yang ditetapkan terutama terdiri dari dua indeks, yaitu

impedansi karakteristik $Z_0 = R + jX$ dan koefisien propagasi $\gamma = \alpha + j\beta$. Nilai R dan X masing-masing adalah bagian real dan bagian imajiner dari impedansi karakteristik Z_0 dan masing-masing α dan β adalah bagian real dan bagian imajiner dari koefisien propagasi γ . Rumus komputasi sebagai berikut:

$$R = \rho_0 c_0 \left[1 + c_1 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{c_2} \right] \quad (2.10)$$

$$X = \rho_0 c_0 \left[c_3 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{c_4} \right] \quad (2.11)$$

$$\alpha = c_5 \frac{2\pi f}{c_0} \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{c_6} \quad (2.12)$$

$$\beta = \frac{2\pi f}{c_0} \left[1 + c_7 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{c_8} \right] \quad (2.13)$$

Dimana f adalah frekuensi gelombang propagasi (Hz). $\rho_0 c_0$ adalah karakteristik impedansi udara (Pa.s/m), ρ_0 adalah densitas udara, c_0 adalah kecepatan udara (m/s), σ adalah resistivitas aliran spesifik (Ray.l/m) dan $c_1 - c_8$ adalah parameter koefisien dan regresi yang nilainya bergantung kepada material berpori yang berbeda (Tang & Yan, 2017).

Delany dan Bazley mengusulkan model empiris yang mudah untuk bahan berserat, yang memprediksi perilaku akustik hanya dengan parameter non-akustik resistivitas aliran udara. Nilai resistivitas aliran udara pada komposit didapatkan dari pengujian densitas menggunakan persamaan Kozeny-Carman yang banyak digunakan untuk memperkirakan resistivitas aliran udara pada tekstil, terutama pada serat polimer menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{180\mu(1 - \phi)^2}{d^2\phi^3} \quad (2.14)$$

μ adalah viskositas dinamik, yaitu konstanta yang diturunkan dari persamaan Poiseuille pada aliran laminar untuk cairan, dengan nilai $1.81 \times 10^{-5} Pa \cdot s$ pada percobaan ini, d adalah ukuran partikel, diasumsikan kepada diameter serat. σ adalah resistivitas aliran udara dan ϕ adalah porositas, dimana didapatkan dari perhitungan rasio densitas matriks ρ_m , dengan densitas serat ρ_f dalam persamaan berikut (Berardi & Iannace, 2015).

$$\phi = 1 - \left(\frac{\rho_m}{\rho_f} \right) \quad (2.15)$$

Pada Model Delany-Bazley dan Miki keduanya menggunakan perumusan komputasi yang sama pada persamaan (2.10 – 2.13). Berikut adalah nilai parameter $c_1 - c_8$ yang disajikan kedalam Tabel 2.5 (Tang & Yan, 2017).

Tabel 2.5 Nilai Parameter Koefisien dan konstanta pada nilai z dan k (c_1-c_8)

Model	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8
Delany-Bazley	0,057	0,754	0,087	0,732	0,189	0,595	0,098	0,700
Miki	0,070	0,632	0,107	0,632	0,160	0,618	0,109	0,618
Dunn-Davern	0,114	0,369	0,099	0,758	0,169	0,715	0,136	0,491
Garai-pompoli	0,078	0,623	0,074	0,660	0,159	0,571	0,121	0,530
Ramis	0,046	0,255	0,112	0,967	0,060	1,256	0,039	0,541
Yoon	0,057	0,734	0,087	0,732	0,0978	0,700	0,189	0,595

2.6 Konduktivitas termal

Setiap bahan memiliki kemampuan tersendiri untuk menghantarkan energi panas yang disebut dengan konduktivitas termal. Konduktivitas termal sering dilambangkan dengan simbol k atau λ . Satuan konduktivitas termal dalam sistem

internasional (SI) adalah watt per meter kelvin (W/m.K). persamaan yang menggambarkan konduktivitas termal adalah dengan menggunakan hukum Forier yang dinyatakan sebagai:

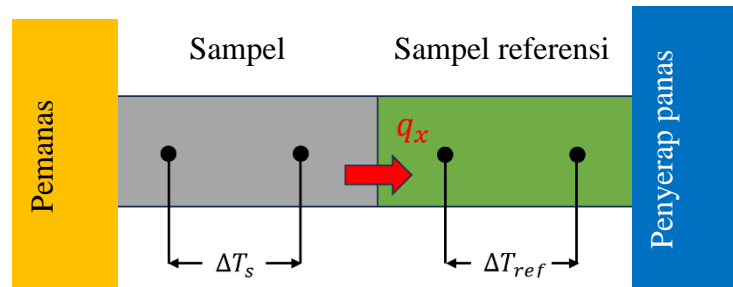
$$q = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.16)$$

dengan q adalah laju aliran panas, k adalah konduktivitas termal, A adalah luas penampang. ΔT adalah perbedaan suhu dan Δx adalah ketebalan material. $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ merupakan gradien suhu di sepanjang bahan dalam K/m (Callister Jr & Rethwisch, 2018). Apabila sumber panas stabil, fluks panas yang dirambatkan bernilai konstan sehingga nilai konduktivitas termal berbanding terbalik dengan gradien suhu di sepanjang bahan. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal, maka semakin rendah gradien suhunya yang menandakan bahwa panas semakin mudah merambat di sepanjang bahan (Lienhard, 2020).

Pada bahan insulasi, panas dapat merambat secara konduksi melalui bagian padat bahan, serta pori-pori bahan secara konduksi dan radiasi sehingga penting untuk mengetahui nilai konduktivitas termal semu bahan sebelum diaplikasikan. Pada skala makroskopis, konduktivitas termal bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu, kadar kelembaban, densitas, dan penuaan bahan. Sedangkan secara mikroskopis, konduktivitas termal dipengaruhi oleh ukuran pori, diameter dan susunan serat/partikel, jenis dan tekanan gas, serta ikatan antar partikel (Hung Anh & Pásztor, 2021).

Metode pengukuran komparatif dilakukan dengan bahan referensi yang telah diketahui nilai konduktivitas termalnya untuk menentukan konduktivitas termal sampel tanpa melibatkan parameter aliran panas. Dalam hal ini, bahan referensi dan sampel disusun secara seri serta diapit oleh pemanas dan pendingin di salah satu ujungnya, seperti pada Gambar 2.10. Panas akan menjalar di sepanjang bahan secara satu dimensi sehingga perbedaan suhu pada kedua bahan dapat

diukur dengan dua atau lebih sensor suhu. Pada keadaan *steady*, panas yang mengalir pada kedua bahan sama besar.



Gambar 2.10 Skema pengukuran metode komparatif

Hubungan antara konduktivitas termal sampel dan bahan referensi dapat ditentukan, yaitu:

$$k_s = k_{ref} \left(\frac{A_{ref} \Delta T_{ref} L_s}{A_s \Delta T_s L_{ref}} \right) \quad (2.17)$$

dengan A_{ref} , ΔT_{ref} , dan L_{ref} masing-masing adalah luas penampang dalam m^2 , selisih suhu dalam $^{\circ}C$, dan panjang bahan referensi dalam meter, sedangkan A_s , ΔT_s , dan L_s masing-masing adalah luas penampang dalam m^2 , selisih suhu dalam $^{\circ}C$, dan panjang sampel dalam meter (Wang et al., 2019). Metode komparatif dapat digunakan pada bahan homogen, heterogen, dan komposit padat dengan rentang konduktivitas termal efektif berkisar antara 0,15 – 150 W/mK dengan rentang suhu 100 – 1300 K. Metode ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu serba guna, fleksibel, dan dapat digunakan pada bahan berukuran kecil (Tye, 1992).

Tabel 2.6 Daftar komposit serat alam dan nilai konduktivitas termal efektif

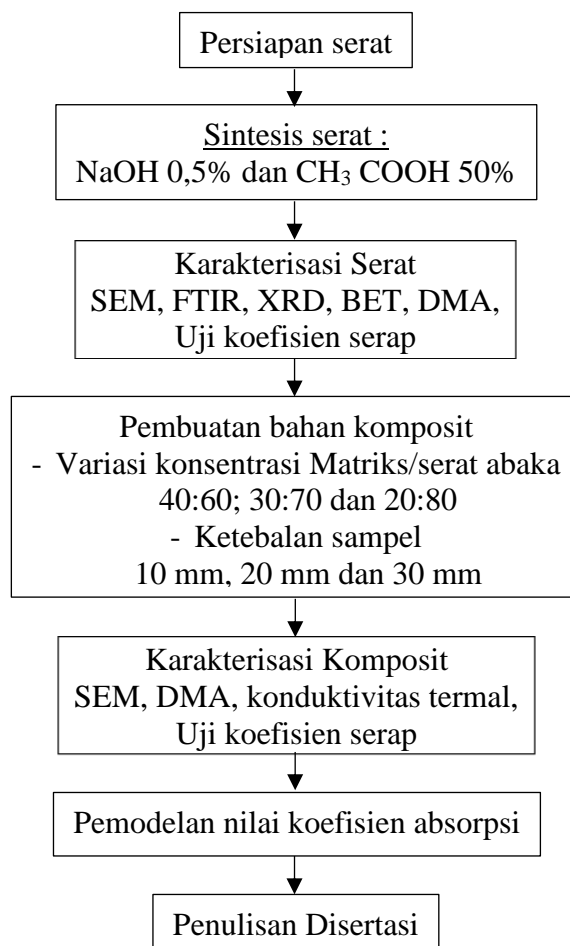
No.	Serat Alam	Matriks	Fraaksi Volume Serat (%)	Konduktivitas termal efektif (W/mK)	Referensi
1	Serat daun nanas	<i>Phenol-formaldehyde</i>	36,6	0,26	(Mangal et al., 2003)
			46,4	0,25	
2	Serat pisang	Resin epoksi	40	0,23	(Pujari et al., 2017)
			60	0,23	
3	Serat rami	Resin epoksi	40	0,24	(Pujari et al., 2017)
			60	0,23	
4	Serat kelapa	Serat rami dan <i>polyurethane foam</i>	50	0,14	(Veeraprabahar et al., 2022)
			60	0,15	
			70	0,13	

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini meliputi tiga tahapan yaitu sintesis serat abaka (karakterisasi I), pembuatan absorber menggunakan serat abaka sebagai pengisi dan epoksi sebagai matriksnya (Karakterisasi II) dan yang terakhir adalah pemodelan nilai koefisien penyerapan energi suara. Adapun tahapan singkat yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir penelitian Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian serat abaka sebagai absorber

3.2 Persiapan Serat Abaka

Serat abaka yang digunakan dalam penelitian berasal dari Medan, Indonesia. Salah satu serat unggulan Indonesia yang dikembangkan oleh Petani yang bernama Bapak Faisal lihat Gambar 3.2 a. Serat abaka berasal dari pelepah pisang bagian batang kemudian dipisahkan menggunakan mesin *decorticator* dan dijemur dengan sinar matahari secara langsung.

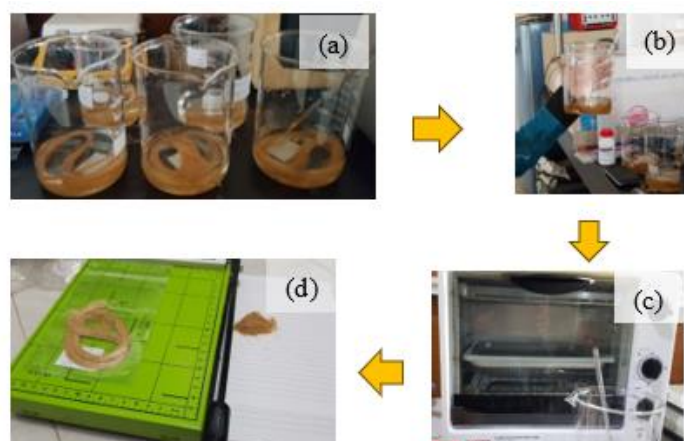


Gambar 3.2 Budidaya Pisang Abaka (a) Kebun Pisang (b) Serat abaka yang sudah dikeringkan

Waktu pengeringan serat abaka setelah diproses dengan mesin *decorticator* hingga siap dikemas dan dipasarkan bervariasi tergantung kondisi cuaca dan kelembapan lingkungan. Proses ini bisa berkisar antara 5 – 10 hari, tergantung pada intensitas sinar matahari. Setelah serat abaka kering, dilakukan proses lebih lanjut untuk pemilihan mutu, pengemasan dan siap diasarkan. Bahan yang siap dipasarkan dapat dilihat pada Gambar 3.2b yang digunakan pada penelitian ini.

3.3 Sintesis Serat Abaka

Langkah pertama dalam memproses serat abaka adalah mengeringkannya di dalam oven pada suhu 100-150°C selama 0,5 - 1 jam untuk mengurangi kadar air. Langkah selanjutnya melibatkan perlakuan alkalisasi dengan NaOH 0,5%, yang dilakukan melalui perendaman serat selama satu jam (Cai et al., 2016a; Indrawati et al., 2023; Sinha et al., 2017), diikuti dengan pencucian menyeluruh menggunakan air mengalir. Tahap terakhir adalah perlakuan hidrolisis asam dengan CH₃COOH 50% selama 1 jam (Indrawati et al., 2023; K. Liu et al., 2014; Yogeshwaran et al., 2020b) (Gambar 3.3), diikuti dengan pencucian kembali menggunakan dengan air mengalir hingga bersih. Kedua perlakuan ini bertujuan untuk mengurangi kandungan lignin sehingga meningkatkan sifat mekanis serat abaka.



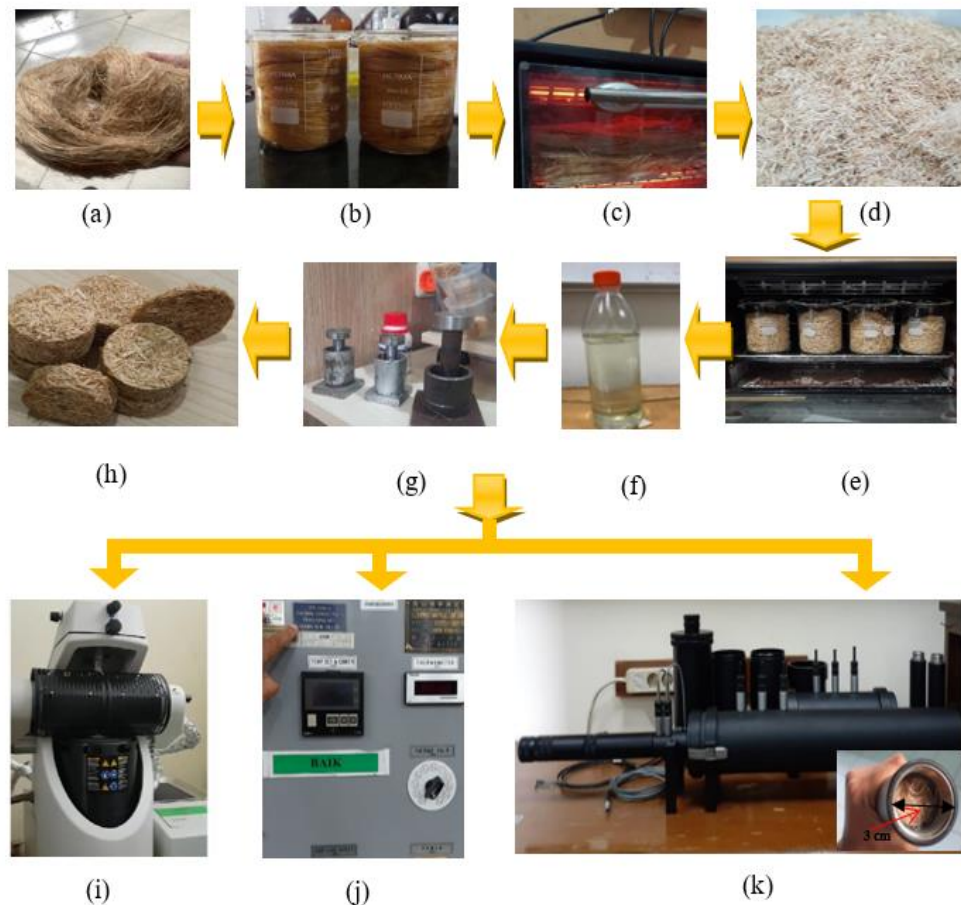
Gambar 3.3 Sintesis serat abaka (a) proses alkalisasi (b) proses hidrolisis asam (c) pengeringan (oven) (d) pemotongan serat

Serat kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 100-150°C selama 1-2 jam hingga tidak terjadi penyusutan lebih lanjut. Untuk mempermudah identifikasi sampel, dalam penelitian ini serat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu: serat abaka tanpa perlakuan (AFUT), serat abaka dengan perlakuan alkalisasi (AFTA), dan serat abaka dengan perlakuan alkali dan hidrolisis asam

(AFAH). Setiap jenis serat kemudian disimpan dalam tempat kedap udara yang dilengkapi gel silika untuk mencegah pengaruh lingkungan.

3.4 Pembuatan Bahan Komposit




Penelitian ini berfokus pada variasi penambahan serat abaka sebagai pengisi dalam pembuatan bahan komposit dengan matriks resin epoksi, serta variasi ketebalan komposit. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan bahan penyerap yang tidak hanya memiliki kemampuan absorpsi suara yang tinggi, tetapi juga diharapkan memiliki sifat mekanik yang unggul dan konduktivitas termal yang rendah.



Gambar 3.4 Pembuatan bahan komposit

Serat yang digunakan dalam pembuatan bahan komposit merupakan serat yang telah diberikan perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam (Gambar 3.4 a-c). Serat hasil perlakuan tersebut kemudian dipotong dengan ukuran ± 5 mm (Indrawati et al., 2023) (Gambar 3.4 d) dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100-150°C selama 1 jam (Gambar 3.4 e). Tahap selanjutnya adalah proses pencetakan (*molding*) komposit menggunakan resin (Gambar 3.4f).

Tabel 3.1 Variasi sampel pengujian.

Nama sampel	Komposisi M_{epx}/S_{abk}	Densitas (g/mL)	Tebal (mm)	Massa (gr) serat : epoksi
MS461	40 : 60	0,446	10 - 11	1,63 : 1,62
MS462			22 - 23	3,26 : 3,24
MS463			31 - 33	4,89 : 4,86
MS371		30 : 70	11 - 12	1,91 : 1,22
MS372		0,373	23 - 25	3,81 : 2,44
MS373			34 - 36	5,71 : 3,66
MS281			20 : 80	13 - 15
MS282		0,336	27 - 30	4,34 : 1,42
MS283			38 - 42	6,51 : 2,13
MS101			100:0	1,15

Cetakan yang digunakan disesuaikan dengan alat uji: diameter 3 cm (Gambar 3.4g) untuk pengujian koefisien absorpsi suara (Gambar 3.4k), diameter 4 cm dengan ketebalan 4 mm dan 2 mm untuk pengujian konduktivitas termal

(Gambar 3.4i), serta 4 x 20 mm untuk pengujian mekanik menggunakan DMA (*Dinamic mechanical analysis*) (Gambar 3.4j). Peralatan *molding* menggunakan *single compacting* dengan tekanan tetap sebesar 145 Pa (Gambar 3.4 g). Penggunaan tekanan rendah ini bertujuan untuk meningkatkan porositas. Porositas yang lebih tinggi memungkinkan terbentuknya lebih banyak ruang atau saluran dalam struktur material, sehingga gelombang suara dapat masuk dan berinteraksi lebih lama dengan material. Hal ini berdampak pada peningkatan koefisien absorpsi suara.

Variasi sampel ditentukan berdasarkan komposisi (M_{epx}/S_{abk}), dengan penamaan sampel terdiri atas dua huruf dan tiga angka (Tabel 3.1). Dua huruf pertama, yaitu “MS”, merupakan singkatan dari Matriks dan Serat, sedangkan tiga angka berikutnya menunjukkan persentase komposisi dan ketebalan sampel. sebagai contoh, MS461 menunjukkan komposisi 40% Matriks dan 60% Serat dengan ketebalan 10 mm. Sementara itu, MS101 menunjukkan komposisi 100% matriks, 0% serat dengan ketebalan 10mm.

3.5 Karakterisasi

3.5.1 Gugus Fungsi

Uji gugus fungsi menggunakan spektroskop FTIR (*Fourier transform infrared*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi (ikatan senyawa kimia) dan jumlah ikatan yang terbentuk selama proses alkalisasi dengan (NaOH 0,5%) dan hidrolisis asam (asam asetat 50%). Pengujian ini menggunakan alat uji FTIR yang dilakukan di Laboratorium Divisi Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

3.5.2 Derajat Kekristalan

Uji derajat kekristalan pada serat menggunakan alat XRD (*X-Ray Diffraction*). Alat ini digunakan untuk identifikasi fase kristal dan dapat memberikan informasi tentang dimensi unit sel. Bahan yang dianalisis adalah dapat berupa padat (terutama yang mempunyai struktur kristal) dalam bentuk

serbuk atau tepung. Pengujian ini menggunakan alat XRD yang dilakukan di Laboratorium Divisi Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

3.5.3 Morfologi Permukaan

Struktur mikro sampel komposit pada permukaan serat abaka, baik dengan maupun tanpa perlakuan, dapat dianalisis menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Dalam penelitian ini, pembesaran yang berbeda digunakan untuk mengamati morfologi distribusi serat pada sampel dan ikatan yang terbentuk antara serat dan matriksnya. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM ITS.

3.5.4 Pengukuran Pori

Pengukuran pori dan volume pori serat abaka dilakukan menggunakan metode BET (Brunauer-Emmett-Teller) yang memanfaatkan prinsip adsorpsi gas untuk menentukan luas permukaan spesifik, ukuran pori, serta distribusi volume pori, sehingga memberikan informasi mendalam tentang karakteristik mikrostruktur serat. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM ITS.

3.5.5 Kandungan Senyawa

Analisis gravimeter merupakan cara analisis kuantitatif yang didasarkan pada berat tetap/berat konstan. Dalam analisis ini, unsur atau senyawa yang dianalisis dipisahkan dari bahan lainnya. Sebagian besar dari analisis gravimeter melibatkan perubahan unsur atau gugus dari unsur atau senyawa yang dianalisis menjadi senyawa yang murni, sehingga berat tetapnya dapat diketahui. Pengujian gravimeter bertujuan untuk mengukur kadar lignin, selulosa dan hemiselulosa pada serat sebelum dan setelah diberi perlakuan (alkalisasi dan

hidrolisis asam). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium kimia FMIPA Universitas Brawijaya.

3.5.6 Pengukuran Densitas

Karakterisasi sifat fisika bahan dalam penelitian ini terkait dengan densitas serat abaka sebelum dan setelah diberi perlakuan alkalisasi serta hidrolisis asam. Pengukuran densitas juga dilakukan pada komposit untuk menganalisis variasi pengaruh penambahan konsentrasi serat pada komposit fraksi volume M_{epk}/S_{abk} . Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk menentukan besarnya porositas pada komposit, karena porositas memiliki kaitan erat dengan kemampuan menyerap energi suara. Proses pengujian densitas dilakukan menggunakan alat densimeter dengan tipe BK-DME300D yang berada di Laboratorium Zat Padat, Departemen Fisika ITS.

3.6 Pengujian Mekanik

3.6.1 Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dan modulus Young pada serat tunggal sebelum dan setelah diberi perlakuan (alkalisasi dan hidrolisis asam) menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) dengan kapasitas maksimum 10000N. Standar pengujian menggunakan Metode Uji Standar ASTM D3379-75 (1989). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Divisi Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

3.6.2 Uji Modulus Simpan dan Kekuatan Tarik Dinamis

Pengujian modulus simpan serta kekuatan tarik dinamis dari bahan komposit menggunakan alat DMA (*Dinamic mechanical analysis*). Peralatan ini merupakan sebuah teknik di mana deformasi kecil diterapkan pada sebuah sampel dalam gaya siklik. Material tersebut merespons dengan menampilkan regangan dan redaman yang berupa modulus simpan, tan delta, modulus Young, kekuatan tarik dll. Pengujian DMA Selain itu pengujian menggunakan alat ini

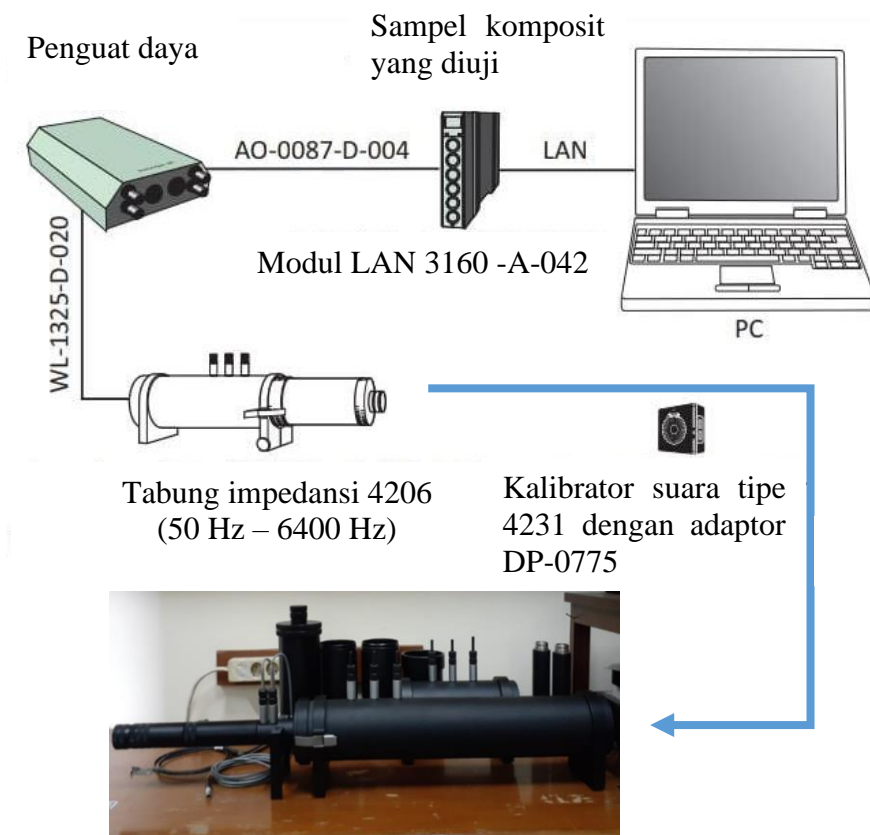
juga untuk mengetahui modulus Young, kekuatan tarik Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Zat Padat, Departemen Fisika ITS.

3.7 Pengujian Konduktivitas termal

Konduktivitas termal adalah sifat suatu bahan yang menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien suhunya satu. Konduktivitas termal berubah dengan suhu, tetapi dalam banyak rekayasa, perubahannya cukup kecil sehingga dapat diabaikan. Nilai konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu, udara termasuk isolator termal yang paling efektif dengan konduktivitas termal berkisar 0,024 – 0,026 W/mK. Nilai konduktivitas Peralatan yang digunakan untuk mengukur konduktivitas termal adalah: **Thermal conductivity Measuring Apparatus** dengan tipe OSK 4565-A Tokyo Meter Co., model : HVS-4000S. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium perpindahan kalor dan massa departemen teknik mesin dan industri Fakultas teknik UGM.

3.8 Pengujian Akustik

Pengujian mengenai kemampuan bahan untuk menyerap energi suara Salah satunya menggunakan metode tabung impedansi. Pengukurannya sesuai dengan ISO 10534-2 Gambar 3.5. Metode tabung impedansi ini merupakan uji non-destruktif untuk mengukur koefisien absorpsi suara dan impedansi akustik material. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium iARG (*The Iwany Acoustics Research Group*) departemen Fisika UNS.



Gambar 3.5 Diagram skema pengukuran koefisien absorpsi

BAB IV

KARAKTERISASI SERAT ABAKA

4.1 Struktur dan Morfologi Serat

Serat abaka memiliki tiga komponen kimia utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Cagrl Uyanik & Tamer Erturk, 2023; Cai et al., 2016b; Kumar Sinha et al., 2017b, 2018b; Saragih, Lubis, Wirjosentono, et al., 2018; Simbana et al., 2020; Yogeshwaran et al., 2020c). Proses alkalisasi dan hidrolisis asam mempengaruhi kandungan senyawa pada serat. Identifikasi serat dibagi menjadi tiga jenis: serat abaka tanpa perlakuan (AFUT), serat dengan perlakuan alkalisasi (AFTA), dan serat dengan perlakuan alkalisasi serta hidrolisis asam (AFAH). Kandungan senyawa pada serat dapat diidentifikasi menggunakan metode kimia analitik gravimeter. Hasil pengukuran, termasuk kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin, disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kandungan senyawa pada beberapa serat dengan dan tanpa perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam

Serat	Diameter (μm)	selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Luas permukaan jenis (m^2g^{-1})	volum pori jenis (cc g^{-1})	Rata-rata pori (nm)
Kelapa		32-43,8	15-20	40-45	-		
Pisang		63,9	1,3	18,6	-	-	-
Abaka		56 -66	20 -30	7 – 13	-	-	-
AFUT	230	72,25	8,56	8,69	28,63	0,09	4,940
AFTA	210	73,23	9,06	9,63	16,98	0,03	1,960
AFAH	180	71,91	14,05	4,14	13,72	0,05	3,320

Proses alkalisasi memiliki efek pada peningkatan kandungan selulosa dalam serat, hal ini disebabkan oleh penghilangan sebagian besar zat pengotor seperti, pektin, lemak, dan protein, serta pengurangan hemiselulosa dan lignin

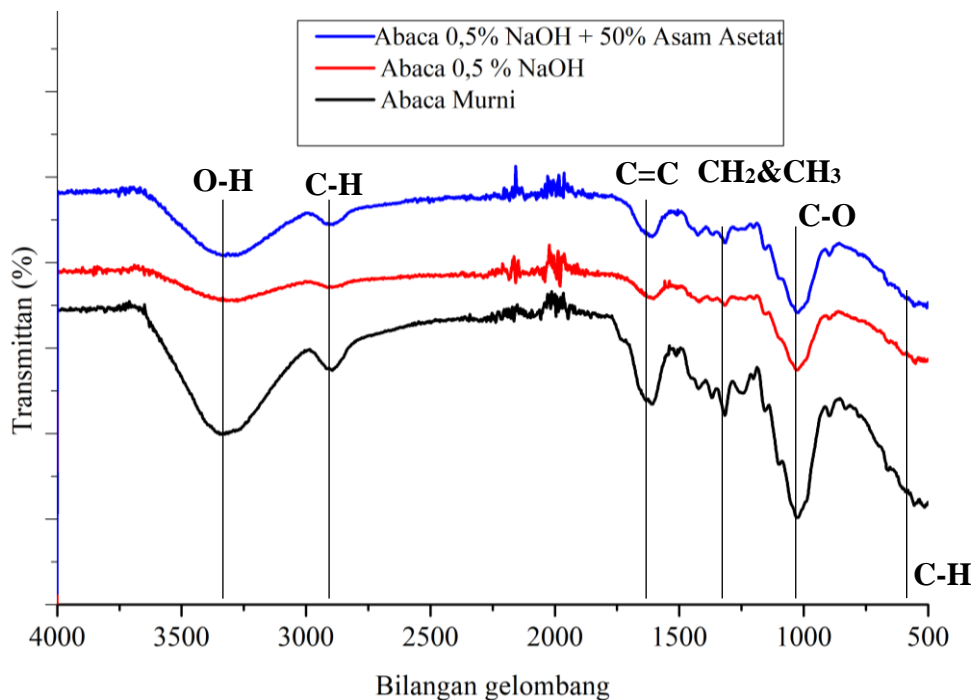
(Cagrl Uyanik & Tamer Erturk, 2023; Kumar Sinha et al., 2017b, 2018b). Proses alkalisasi pada penelitian ini tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap peningkatan kandungan selulosa. Hal tersebut disebabkan oleh rendahnya konsentrasi NaOH (0,5%), yang hanya mampu menghilangkan zat pengotor selain lignin dan hemiselulosa. Sebaliknya, perubahan yang lebih signifikan terjadi pada proses hidrolisis asam, dimana kandungan lignin menurun dari 9,63% menjadi 4,14% (Ikramullah et al., 2018; Wunna et al., 2017) (lihat Tabel 4.1).

Hidrolisis asam mampu memecah ikatan eter dan ikatan kimia lainnya dalam struktur lignin, sehingga menyebabkan degradasi dan erosi (Santiagoo et al., 2021; Sawpan et al., 2011; Seisa et al., 2022). Kandungan selulosa yang lebih tinggi (>70%) dan pengurangan lignin berkontribusi pada peningkatan karakteristik mekanik serat (Yogeshwaran et al., 2020b). Oleh karena itu, berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, abaka dianggap sebagai penguat yang baik untuk material komposit (Cai et al., 2016a; Punyamurthy et al., 2014).

Tabel 4.1 juga menunjukkan efek proses alkalisasi dan hidrolisis terhadap luas permukaan, volume pori, dan ukuran pori. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai luas permukaan spesifik AFUT, AFTA, dan AFAH mengalami penurunan masing-masing menjadi $28,629 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, $16,983 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, dan $13,721 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$. Penurunan tersebut diakibatkan hilangnya komponen kimia, seperti kotoran lainnya termasuk pektin, protein, dan lignin (Nindiyasari et al., 2016; B. Zhang et al., 2019).

Efek proses alkalisasi dan hidrolisis asam dapat diamati melalui spektrum FTIR serat abaka. Spektrum FTIR pada Gambar 4.1 menunjukkan enam puncak sinyal yang signifikan. Puncak-puncak ini diidentifikasi berdasarkan bilangan gelombang yang mewakili jenis ikatan atom atau gugus molekuler tertentu. Pada rentang bilangan gelombang $3275\text{-}3347 \text{ cm}^{-1}$, terlihat adanya gugus hidroksil (-OH), yang berkaitan dengan struktur hemiselulosa dan selulosa (Elder & Rials, 2013). Hal ini ditunjukkan oleh garis merah dan biru yang lebih landai dibandingkan garis hitam, menandakan kandungan hemiselulosa dan selulosa

yang lebih tinggi pada garis hitam. Pada rentang bilangan gelombang 2895-2919 cm^{-1} , sinyal yang menunjukkan keberadaan ikatan -CH (alifatik dan aromatik) juga berhubungan dengan struktur hemiselulosa, selulosa dan lignin. Meskipun perbedaan puncaknya tidak signifikan, garis hitam tetap menunjukkan penurunan intensitas. Hal serupa terjadi pada bilangan gelombang 1594-1621 cm^{-1} (C=C). Puncak pada kurva garis hitam mengalami penurunan, yang mengindikasikan berkurangnya kandungan lignin (A et al., 2021).

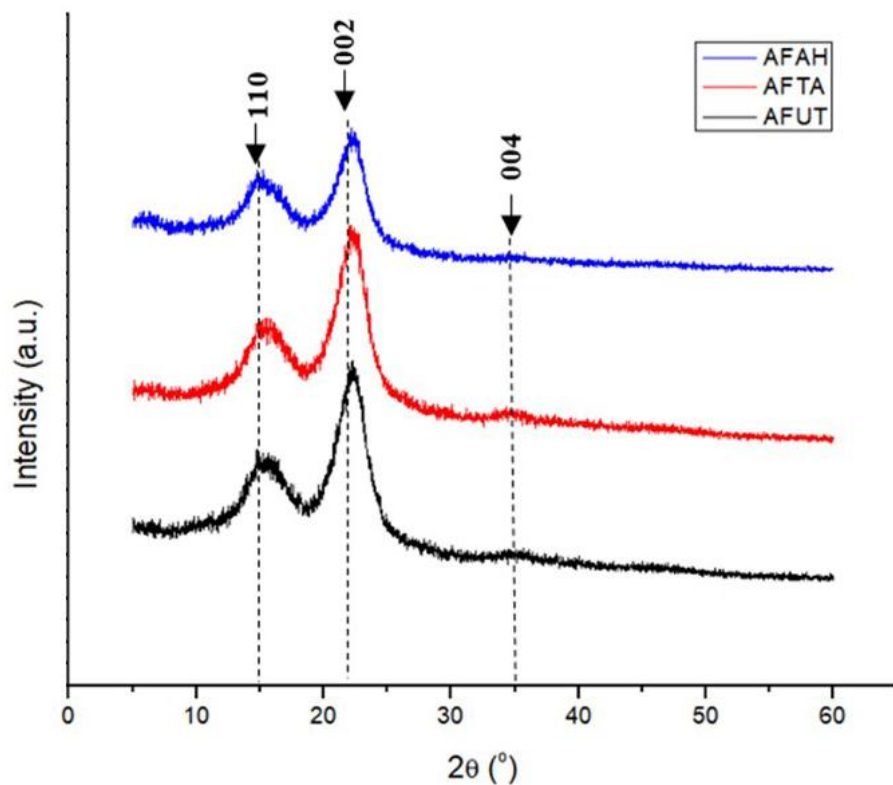


Gambar 4.1 Spektrum FTIR Serat Abaka

Pada bilangan gelombang 1315-1317 cm^{-1} menunjukkan vibrasi peregangan C-O pada Amina Alifatik (Ikramullah et al., 2018; Indran & Raj, 2015; Lakshmi Narayana & Bhaskara Rao, 2021; Reddy & Yang, 2005; Saragih, Lubis, Wirjosentono, et al., 2018). Pada puncak tersebut, tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Pada bilangan gelombang 1018-1086 cm^{-1} , yang ditunjukkan oleh garis hitam, terlihat kurva yang lebih curam, mengindikasikan kandungan lignin yang lebih tinggi (Elder & Rials, 2013), yang berkaitan dengan keberadaan

alkohol sekunder dan eter alifatik. Sementara itu, pada rentang bilangan gelombang 594 - 623 cm^{-1} , ditemukan ikatan C-H aromatik, yang juga menandakan kadar lignin lebih tinggi pada kurva garis hitam, yaitu sebelum dilakukan perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam.

Karakterisasi XRD digunakan untuk menentukan derajat kristalinitas dalam serat sebelum dan sesudah alkalisasi dan hidrolisis asam. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tiga jenis serat (AFAH, AFTA, dan AFUT) memiliki tiga puncak 2θ pada 15° , $22,5^\circ$, dan $35,5^\circ$, dengan indeks Miller berturut-turut [1 1 0], [0 0 2] dan [0 0 4]. Pola XRD yang diperoleh dari penelitian ini serupa dengan pola XRD pada selulosa (Nindiyasari et al., 2016; B. Zhang et al., 2019), seperti yang juga terlihat pada Gambar 2.5 pola XRD untuk selulosa. Hal ini sejalan dengan pengujian gravimeter sebelumnya, yang menunjukkan bahwa kandungan utama serat abaka (lebih besar dari 70%) adalah selulosa.



Gambar 4.2 XRD Sintesis serat abaka

Nilai FWHM (*Full Width at Half Maximum*) dapat diperoleh dengan menganalisis hasil karakterisasi XRD dan berbanding terbalik dengan ukuran kristal. Semakin sempit FWHM, semakin besar ukuran kristalnya. Hal ini sesuai dengan persamaan Debye Scherrer (William D. Callister, 1991):

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4.1)$$

Dimana :

D = ukuran kristal (nanometer)

K = faktor bentuk (konstanta Scherrer), nilainya yang digunakan 0,9

λ = Panjang gelombang sinar -X (dalam nanometer / Angstrom)

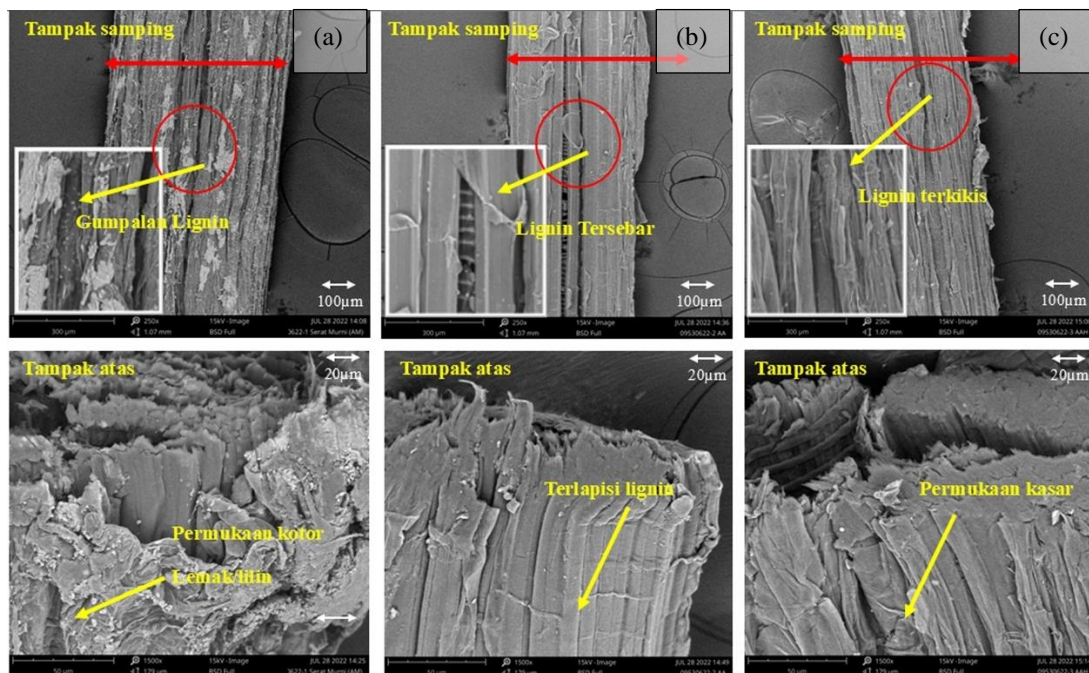
β = FWHM dari puncak difraksi (dalam radian)

θ = Sudut Bragg dari puncak difraksi (dalam radian)

Nilai FWHM untuk serat AFUT, AFTA, dan AFAH berturut-turut 1,1364, 1,0361, dan 0,133. Ini berarti bahwa ukuran kristal menjadi besar yang mengakibatkan sifat mekanik semakin meningkat dengan pemberian proses alkalisasi dan hidrolisis asam. Penurunan FWHM pada AFTA tidak signifikan karena rendahnya tingkat NaOH yang diberikan. Karena itu, lignin tidak berkurang. Menariknya, FWHM AFAH mencapai penurunan signifikan sebesar 90% dari 1,0361 menjadi 0,1337. Hasil ini mengungkapkan bahwa perlakuan alkalisasi dan hidrolisis meningkatkan derajat kristalinitas yang terkait dengan peningkatan sifat mekanik (Rajak, Dipen Kumar, Durgesh D. Pagar, Pradeep L, n.d.; Ramadevi et al., 2012; Saragih, Lubis, & Wirjosentono, 2018; Sari et al., 2016; Yogeshwaran et al., 2020a).

Morfologi permukaan AFUT, AFTA, dan AFAH seperti yang terungkap pada Gambar 4.3, menunjukkan serat terkikis. Karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan bahwa proses alkalisasi berhasil mengurangi zat pengotor pada serat. Hal ini terbukti pada Gambar 4.3 a, di mana AFUT memiliki diameter yang lebih besar (230 μm) dan menampilkan warna putih mengkilap, menunjukkan

adanya zat pengotor dan lignin (Cai et al., 2016b). Pada Gambar 4.3 b, diamati bahwa zat pengotor telah hilang, yang sesuai dengan pengurangan diameter serat menjadi 210 μm dan disertai dengan peningkatan kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin seperti yang dijelaskan pada subbagian sebelumnya. Zat pengotor pada serat berupa pektin, zat lilin, protein dan pigmen (tannin/klorofil) (Cai et al., 2016b; Valášek et al., 2015). Perlakuan hidrolisis asam pada serat AFAH menghasilkan permukaan serat yang lebih kasar dan seragam (Butt, 2023; Dewri & Gnanamoorthy, 2023; Kumar Sinha et al., 2017a; Seisa et al., 2022; Yogeshwaran et al., 2020c).



Gambar 4.3 Morfologi SEM Serat Abaka (a) AFUT (b) AFTA (c) AFAH

Kekasaran permukaan meningkatkan luas kontak antara serat dan matriks dalam bahan komposit. Hal ini menghasilkan ikatan yang lebih kuat, sehingga memperbaiki sifat mekanik komposit, seperti kekuatan tarik dan kekuatan lentur. Selain itu, peningkatan kekasaran ini memberikan keuntungan tambahan dengan

membantu membentuk mekanisme *interlocking* antara serat dan matriks. Mekanisme ini berfungsi untuk meningkatkan transfer beban secara lebih efisien di dalam struktur komposit.

Kekasaran permukaan juga meningkatkan ikatan sekunder antara serat dan matriks epoksi, seperti ikatan hidrogen atau interaksi van der Waals, yang berkontribusi pada peningkatan kekuatan mekanik material. Akibatnya, material komposit yang dihasilkan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap gaya eksternal, baik dalam aplikasi statis maupun dinamis. Dukungan empiris untuk efek ini dapat ditemukan dalam berbagai penelitian sebelumnya (Cai et al., 2016b; Girisha et al., 2023; Kumar Sinha et al., 2018b; Sivasankar et al., 2023)

4.2 Sifat Mekanik Serat

Serat abaka telah terbukti secara ilmiah memiliki sifat mekanik yang tinggi (Punyamurthy et al., 2014; Saragih, Lubis, Wirjosentono, et al., 2018; Suhelmidawati and Etri, 2016). Serat ini dapat diterapkan sebagai penguat dalam matriks polimer (Sinha et al., 2021; Tampi et al., 2020; Vijaya Ramnath et al., 2014; Yogeshwaran et al., 2020c). Dibandingkan dengan serat pisang lainnya, serat abaka memiliki keunggulan dalam sifat mekaniknya. Sebagai contoh, serat pisang kepok memiliki kekuatan tarik sebesar 158,77 Mpa, serat pisang kluthuk 75,93 Mpa, sedangkan serat abaka mencapai 437,9 Mpa (lihat Tabel 4.2). Tabel tersebut juga menunjukkan bahwa perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam secara signifikan meningkatkan sifat mekanik serat, dengan peningkatan kekuatan tarik sebesar 250% dan peningkatan Modulus Young sebesar 212% (Indrawati et al., 2023).

Modulus penyimpanan (E') serat AFAH meningkat secara signifikan pada suhu di atas 35°C. Seiring dengan peningkatan suhu, E' juga mengalami kenaikan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.4a. Kecenderungan kurva E' ini menyerupai kapasitas panas padatan dan energi mekanik dalam getaran kisi kristal (fonon), yang berkorelasi dengan energi mekanik terkuantisasi (Charles,

1987). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan E' dengan suhu terjadi akibat keberadaan fonon, di mana suhu yang lebih tinggi menghasilkan fonon yang lebih terkuantisasi (vibrasi menyebabkan energi mekanik disimpan dan bertransformasi menjadi energi thermal).

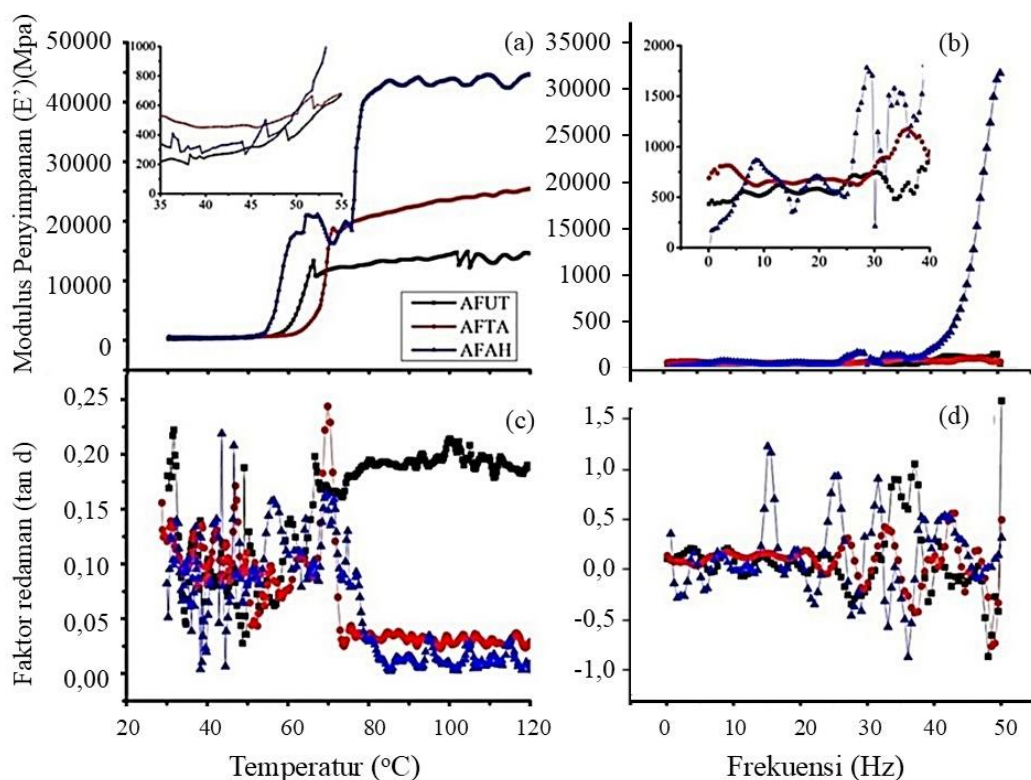
Tabel 4.2 Sifat mekanik serat alam

Serat	Kekuatan tarik (MPa)	Modulus Young (GPa)	Perpanjangan (%)	Diameter (μm)	Densitas (g cm^{-3})
Coir	95-230	2,8-6	15-51,4	10-460	1,15-1,46
Banana	355-754	7,7 – 33,8	1-12		0,75-0,95
Abaka	400 – 980	6,2 – 20	1-10	114-265	1,5
AFUT	437,19	18,51	2,76	230	0,79-0,80
AFTA	236,24	12,58	2,30	210	0,82-0,84
AFAH	1106,79	39,37	3,24	180	0,77-0,65

Kecenderungan kurva E' untuk serat AFUT, AFTA, dan AFAH menunjukkan bahwa jumlah fonon mencapai titik jenuh pada suhu tertentu, yaitu masing-masing 64 ° C, 70 ° C, dan 90 ° C. Secara khusus, untuk AFAH, nilai E' terus meningkat seiring suhu hingga mencapai kondisi konstan pada suhu 90°C dengan nilai sebesar $4,45 \times 10^4$ MPa. Peningkatan ini disebabkan oleh pengurangan senyawa lignin, sebagaimana ditunjukkan oleh penurunan kandungan lignin pada Gambar 4.2. Sifat kristal pada serat membuat material lebih kaku, dengan nilai E' yang lebih tinggi mencerminkan peningkatan kekakuan dan kemampuan serat dalam menahan beban (Menard, 2008).

Modulus penyimpanan serat AFAH tampaknya meningkat, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.4b. Peningkatan ini dikenal sebagai fenomena pengerasan regangan (Illampas et al., 2023). Fenomena tersebut disebabkan oleh perubahan struktural pada tingkat atom, terutama yang melibatkan dislokasi, yaitu ketidaksempurnaan dalam struktur kristal. Akumulasi dislokasi ini

menghambat gerakan atom-atom dalam kristal, sehingga meningkatkan kekuatan dan kekerasan serat AFAH. Akibatnya, serat menjadi lebih tahan terhadap deformasi. Puncak resonansi diamati pada serat AFAH setelah perlakuan alkalisasi dan hidrolisis. Puncak ini terjadi karena adanya rongga dan pori-pori di dalam serat. Selain itu, jumlah puncak yang lebih kecil menunjukkan elastisitas yang lebih tinggi dan kapasitas menahan beban yang lebih besar (Menard, 2008)



Gambar 4.4 Modulus penyimpanan (E') dan faktor redaman ($\tan \delta$) dari serat abaka [AFUT, AFTA & AFAH] (a) E' dalam kaitannya dengan suhu (b) E' dalam kaitannya dengan frekuensi (c) $\tan \delta$ dalam kaitannya dengan suhu (d) $\tan \delta$ dalam kaitannya dengan frekuensi

Gambar 4.4b menunjukkan bahwa modulus penyimpanan AFAH menampilkan puncak yang lebih beresonansi, menandakan bahwa serat masih mempertahankan beberapa pori-pori setelah proses alkalisasi dan hidrolisis asam,

karena sebagian besar lignin pada permukaan serat hilang. Temuan ini sejalan dengan hasil pengujian BET, yang mengungkapkan bahwa ukuran pori dalam serat AFAH meningkat karena terkikisnya kadar lignin.

Nilai faktor redaman pada serat AFTA dan AFAH terlihat menurun, sedangkan pada serat AFUT mengalami peningkatan (Gambar 4.4c). Faktor redaman merupakan indikator rasio antara modulus rugi dan modulus simpan, yang menunjukkan efisiensi suatu material mengubah energi mekanik menjadi energi panas. Serat AFUT menunjukkan penyerapan energi yang lebih besar akibat kandungan lignin yang tinggi. Kandungan lignin yang tinggi mencerminkan adanya polimer kompleks yang meningkatkan kekakuan serta ketahanan serat terhadap serangan biologis (kerusakan/degradasi material yang disebabkan oleh aktivitas makhluk hidup misalnya mikroorganisme : bakteri, jamur, alga dll).

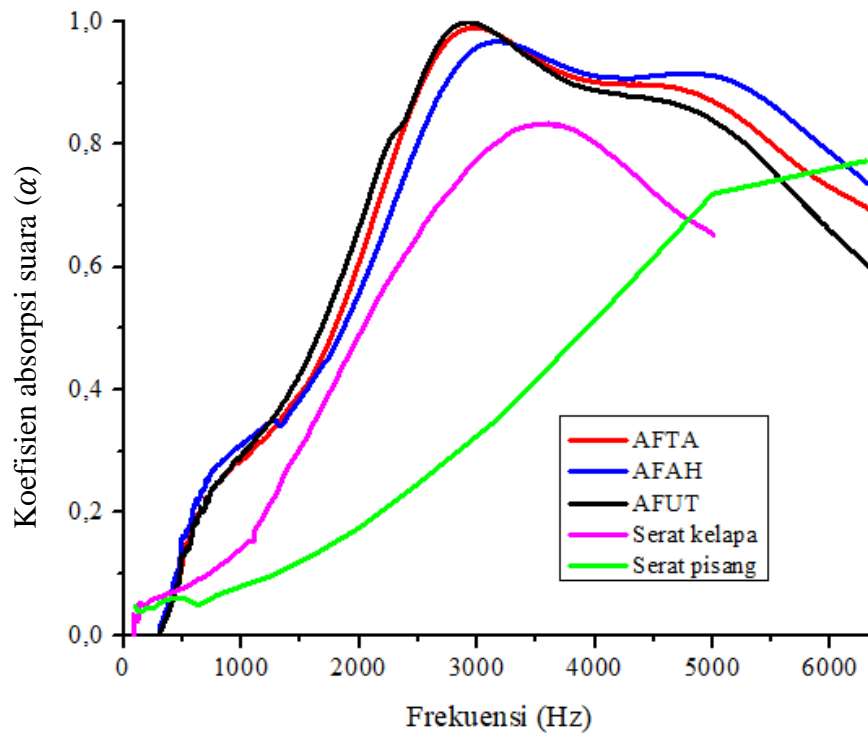
Dalam pengujian DMA, lignin menunjukkan karakteristik redaman yang unik karena strukturnya yang kompleks dan heterogen. Lignin cenderung memiliki nilai faktor redaman yang lebih tinggi pada suhu rendah dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa, disebabkan oleh sifatnya yang lebih aromatik dan kaku. Parameter ini memberikan peran penting untuk menentukan kinerja akustik serat, ditandai dengan kemampuannya menyerap energi suara. Serat menyerap lebih banyak energi ketika nilai faktor redaman lebih besar dari satu (Goken et al., 2018). Gambar 4.4d menunjukkan bahwa $\tan \delta$ serat AFAH dan AFUT lebih besar dari satu pada beberapa puncak frekuensi, yang mengarah pada kesimpulan bahwa semua serat memiliki potensi yang baik sebagai bahan penyerap energi suara (Manik et al., 2021). Faktor redaman stabil pada suhu mencapai 70 ° C, karena peningkatan mobilitas molekuler dan gerakan yang lebih sistematis. Sebaliknya, pada suhu yang lebih rendah, volume ruang antarmolekul dalam serat lebih besar, yang menyebabkan berkurangnya kecepatan pergerakan molekul.

4.3 Sifat Akustik Serat

Tantangan menggunakan serat alami sebagai peredam suara terletak pada sifat organiknya, yang cenderung kurang tahan lama dibandingkan dengan serat sintetis dan juga memiliki sifat mekanik yang lebih rendah. Perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam merupakan salah satu metode untuk meningkatkan sifat mekanik pada serat. Menurut karakterisasi yang dilakukan, perlakuan tersebut menyebabkan perubahan fisik dan kimia pada serat, termasuk perubahan ukuran pori, luas permukaan, kepadatan, diameter serat, kekasaran permukaan, dan kekakuan serat, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Penelitian ini menunjukkan karakterisasi awal kemampuan penyerapan suara serat abaka sebelum dan sesudah perlakuan. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu AFUT, AFTA, dan AFAH, dipilih karena untuk mengkaji efek perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam terhadap kemampuan menyerap energi suara. Semua sampel memiliki massa, ketebalan, dan diameter yang sama. Penyerapan energi suara dipengaruhi oleh jumlah dan ukuran pori-pori dalam serat; semakin sedikit dan kecil pori-porinya, semakin rendah kemampuan penyerapan suara.

Berdasarkan pengujian BET (lihat Tabel 4.1) terkait ukuran pori-pori serat menunjukkan orde ukuran pori pada rentang 2 – 5 nm, dimana termasuk mesoporous yang memiliki kemampuan mengabsorpsi di frekuensi menengah hingga tinggi (Fuertes et al., 2020). Hal ini sesuai yang ditunjukkan oleh Grafik 4.5 bahwa untuk serat abaka tanpa dan dengan perlakuan (AFUT, AFTA dan AFAH) memiliki kemampuan yang sama yaitu mengabsorpsi frekuensi menengah hingga tinggi (Berardi & Iannace, 2015a; Cao et al., 2018; Hassani et al., 2021). Gambar 4.5 menunjukkan bahwa serat (AFUT dan AFTA) menunjukkan kecenderungan kurva yang sama, yang optimal pada rentang frekuensi 2000-3500 Hz dengan penyerapan yang hampir sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan alkalisasi tidak signifikan dalam mempengaruhi kinerja menyerap energi suara.



Gambar 4.5 Nilai koefisien absorpsi suara terhadap frekuensi [AFUT, AFTA, AFAH, serat kelapa dan serat pisang]

Ketika serat AFAH diberi perlakuan hidrolisis asam, rentang frekuensi penyerapan suara bergeser ke kanan dan memiliki jangkauan yang lebih luas dibandingkan dengan serat lainnya (AFUT dan AFTA), yaitu 3400–6400 Hz. Perubahan ini berkorelasi dengan penurunan signifikan pada konten lignin. Pada tingkat atomik, perlakuan alkalisasi dan hidrolisis menghilangkan lignin, hemiselulosa dan zat non selulosa lainnya pada serat alam. Pembersihan komponen non – selulosa ini memungkinkan rantai selulosa menyusun ulang strukturnya, sehingga meningkatkan derajat kristalinitas (Gambar 4.2). Dalam struktur yang lebih kristalin, pergerakan atom menjadi lebih teratur, yang secara langsung mempengaruhi pergerakan fonon. Peningkatan kristalinitas menyebabkan fonon bergerak lebih terarah dan mengalami hambatan yang lebih sedikit di dalam jaringan atom. Akibatnya, material menjadi lebih kaku, yang dapat mengurangi kemampuan untuk menyerap energi akustik, terutama pada

frekuensi rendah. Dalam struktur yang lebih kaku, fonon cenderung lebih sulit diredam atau dihambat, sehingga gelombang suara yang dihasilkan akan lebih mudah dipantulkan daripada diserap. Penjelasan lebih rinci pada skala atomik akan dilakukan pada penelitian mendatang (Charles, 1987)(Beranek, 1993)

Serat sabut, seperti yang ditunjukkan oleh kurva magenta (Gambar 4.5), memiliki kecenderungan kurva yang mirip dengan serat abaka (AFUT, AFTA, dan AFAH), meskipun kemampuan penyerapan energi suaranya masih lebih rendah (Hosseini Fouladi et al., 2011). Di sisi lain, serat pisang, yang diwakili oleh kurva hijau, menunjukkan kemampuan optimal dalam menyerap suara pada frekuensi 6000 Hz dengan koefisien $\alpha = 0,8$ (Mendes and de Araújo Nunes, 2022). Namun, di bawah frekuensi tersebut, koefisien penyerapan suara mengalami penurunan seiring dengan penurunan frekuensi.

Berdasarkan hasil penelitian ini, serat AFAH memiliki kemampuan penyerapan suara yang melampaui serat sabut dan pisang. Hal ini menunjukkan bahwa serat abaka dengan perlakuan alkali dan hidrolisis asam memiliki kemampuan optimal untuk menyerap energi suara pada rentang frekuensi 2000-6000 Hz. Rentang frekuensi ini termasuk dalam sensitivitas pendengaran manusia dan sesuai dengan frekuensi kebisingan mesin pabrik serta pesawat terbang saat lepas landas dan mendarat. Oleh karena itu, serat abaka dapat digunakan sebagai bahan Insulasi suara dan diintegrasikan dalam teknik konstruksi untuk mereduksi kebisingan, sehingga menjadi solusi dalam mencegah risiko kerusakan pada organ Corti (Beranek, 1993; Tracy, 2012)(Beranek, 1993; Tracy, 2012). Informasi lebih rinci mengenai perbandingan dengan bahan absorber lainnya dapat ditemukan pada subbab 6.2, pada Gambar 6.5 yang membahas perbandingan nilai alfa komposit serat abaka dengan bahan absorber yang tersedia di pasaran.

BAB V

ANALISIS KOMPOSIT ABAKA/EPOKSI RESIN SEBAGAI BAHAN PENYERAP SUARA

Polusi suara dan pemanasan global menjadi perhatian utama karena memiliki dampak yang negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, bahan konstruksi pada bangunan seharusnya memiliki kemampuan menyerap suara dan mengisolasi panas secara efektif. Penelitian ini menyajikan kinerja komposit berbasis serat abaka sebagai bahan penyerap suara. Absorber dibuat menggunakan resin epoksi sebagai matriks dengan serat abaka yang telah diberi perlakuan khusus (lihat Subbab 3.4) sebagai pengisi. Beberapa sampel absorber dibuat dan diuji menggunakan tabung impedansi untuk mengukur nilai koefisien penyerapan energi suara. Selain itu, sampel juga diuji untuk menentukan konduktivitas termal dan kekuatan mekaniknya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi dan menganalisis absorber berbasis serat abaka yang tidak hanya memiliki kemampuan menyerap suara yang baik, tetapi juga didukung oleh kemampuan mengisolasi panas dan kekuatan tarik yang tinggi. Data yang diukur dan dianalisis mencakup parameter kepadatan serat abaka, struktur morfologi sampel, konduktivitas termal, kekuatan mekanik dan koefisien absorpsi suara. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji pengaruh penambahan konsentrasi serat dalam komposit pada fraksi volume tertentu (M_{epx}/S_{abk}) serta pengaruh ketebalan komposit terhadap setiap fraksi volume (M_{epx}/S_{abk}).

5.1 Struktur dan Morfologi Bahan Komposit

Pada material komposit berbasis serat alam, struktur dan morfologi sangat bergantung pada jenis serat alam yang digunakan, jenis matriks, serta metode pembuatan dan pengolahan yang diterapkan dalam proses produksi

(Bledzki et al., 2009b; Teramoto et al., 2004; Vijaya Ramnath et al., 2013). Serat abaka memiliki struktur mikroskopis yang berserat dan berbentuk silindris. Komponen kimia utama dalam serat abaka adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sifat mekanik serat abaka dapat ditingkatkan melalui pemurnian selulosa atau penghilangan bahan non-selulosa, seperti lignin (Cagrl Uyanik & Tamer Erturk, 2023; Cai et al., 2016b; Kumar Sinha et al., 2017b, 2018b; Valášek et al., 2015).

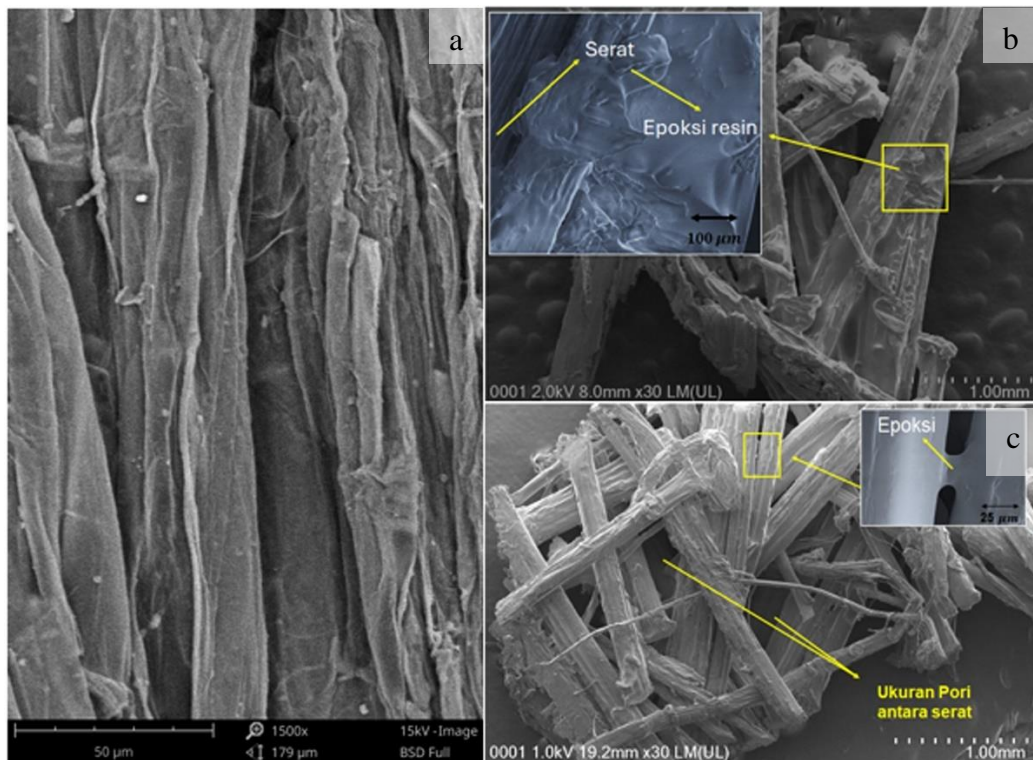
Penelitian ini serat abaka dilakukan proses alkalisasi dan hidrolisis asam. Pada proses alkalisasi menggunakan 0,5% NaOH direndam selama 1 jam. Kemudian dilanjutkan perendaman menggunakan 50% CH₃COOH selama 1 jam (Indrawati et al., 2023, 2024a). Efek proses alkalisasi dan hidrolisis asam pada serat abaka menyebabkan serat kehilangan sebagian besar ligninnya. Menghilangnya lignin akan memudahkan proses adhesi sehingga serat mudah terikat dengan matriks (Cagrl Uyanik & Tamer Erturk, 2023; Cai et al., 2016b; Kumar Sinha et al., 2017b, 2018b; Valášek et al., 2015). Lignin yang telah terkikis dari permukaan serat menyebabkan permukaan menjadi lebih kasar (lihat Gambar 5.1a). Adapun karakterisasi serat yang telah diberi perlakuan dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Karakterisasi serat abaka setelah proses alkalisasi dan hidrolisis asam

Kandungan Senyawa	Luas permukaan dan pori	Sifat mekanik	Sifat fisis
- Selulosa 71,91 %	- Luas permukaan jenis 13,77 m ² .g ⁻¹	- Kekuatan tarik 1106,79 MPa	- Densitas 0,77 – 0,65 gr.cm ⁻³
- Hemiselulosa 14,05%	- Ukuran pori jenis 3,32 nm	- Elongation 3,24 - Modulus Young 39,37GPa	- Diameter 180 μm
- Lignin 4,14%			

Salah satu karakteristik lignin adalah memiliki sifat hidrofobiknya yang tinggi, sehingga bahan tersebut memiliki adhesivitas yang rendah terhadap

bahan lain. Pada Tabel 5.1 ditunjukkan bahwa kandungan lignin hanya sebesar 4.14%, sedangkan kandungan selulosa mencapai 71,91%. Berkurangnya kadar lignin menyebabkan kontur permukaan serat menjadi lebih kasar, yang pada gilirannya meningkatkan kemungkinan ikatan mekanik saling mengunci antara serat abaka dengan matriks. Pada Gambar 5.1b terlihat penampakan serat yang lebih bersinar, menandakan adanya interaksi yang baik antara serat dan matriks epoksi. Serat terdispersi secara merata di dalam matriks. Adhesi antara serat dan matriks terlihat lebih baik, karena setiap serat dapat dilingkupi oleh matriks. Namun, ketika konsentrasi matriks dikurangi dengan rasio matriks epoksi terhadap serat 20:80, secara kualitatif terlihat penurunan interaksi ikatan antara muka matriks dan serat. Hal ini dapat diamati pada Gambar 5.1b dan 5.1c, di mana sampel komposit dengan rasio (M_{epx}/S_{abk}) 40:60 tampak lebih padat dibandingkan dengan sampel rasio 20:80.



Gambar 5.1 Morfologi (a) Serat abaka setelah perlakuan (b) Sampel komposit MS461 (c) Sampel komposit MS281

Variasi konsentrasi serat pada komposit mempengaruhi konduktivitas termal material. Pada konsentrasi serat yang rendah, struktur komposit cenderung memiliki sifat panas yang didominasi oleh matriksnya. Konduktivitas termal merupakan karakteristik material yang menggambarkan kemampuan untuk menghantarkan atau mengisolasi panas. Material dengan konduktivitas termal rendah memberikan isolasi panas yang lebih efektif, sehingga sangat bermanfaat untuk aplikasi pada bangunan. Nilai konduktivitas panas untuk berbagai variasi konsentrasi serat dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Nilai konduktivitas termal bahan komposit

Nama sampel	Densitas (g/mL)	Konduktivitas termal (W/mK)	Porositas (%)	Kekuatan tarik (MPa)	Modulus Young (Pa)
MS461	0,446	0,122	36	6,63	61,72
MS462					
MS463					
MS371	0,373	0,104	47	3,94	28,04
MS372					
MS373					
MS281	0,336	0,078	52	2,15	12,60
MS282					
MS283					
MS101	1,15	0,3	-	-	-

Konsentrasi serat alam dalam matriks epoksi atau polimer lainnya memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai konduktivitas termal komposit. Secara umum, dengan meningkatnya konsentrasi serat, konduktivitas termal komposit cenderung menurun apabila serat memiliki konduktivitas termal lebih

rendah dibandingkan dengan matriksnya (Mehrzaad et al., 2022)(Mehrzaad et al., 2022). Memahami dan mengontrol rasio ini sangat penting untuk merancang material komposit yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi spesifik, terutama yang berkaitan dengan isolasi panas atau pengelolaan panas.

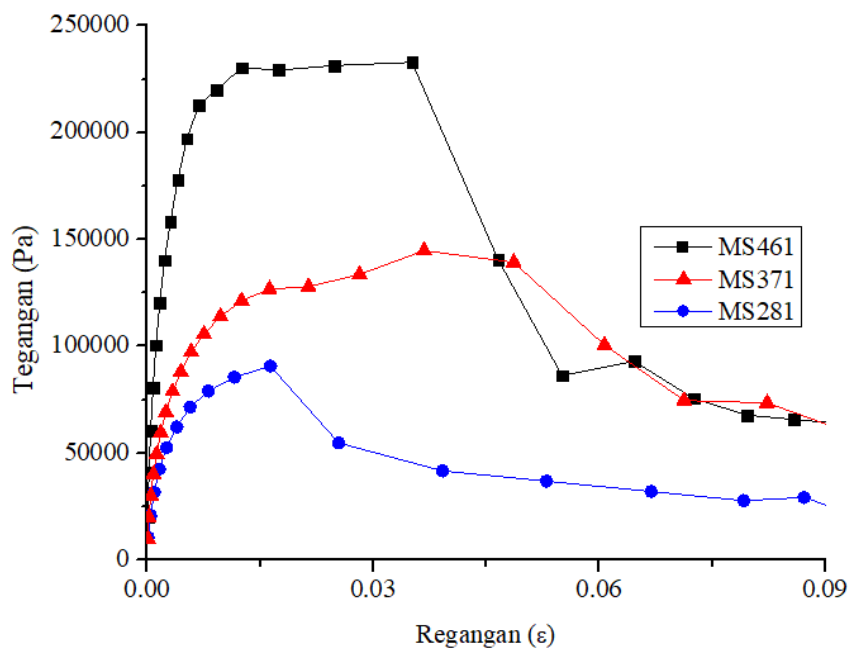
Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.2, peningkatan konsentrasi serat menghasilkan penurunan nilai konduktivitas termal komposit. Penurunan ini disebabkan oleh meningkatnya porositas dalam material, yang diakibatkan oleh interaksi antara matriks dan serat. Porositas yang lebih tinggi menyebabkan lebih banyak udara terperangkap dalam pori-pori, dengan nilai konduktivitas termal udara sekitar 0,025 W/m·K. Udara yang terperangkap tersebut berkontribusi secara signifikan terhadap penurunan nilai konduktivitas termal bahan komposit. Nilai konduktivitas termal pada sampel absorber MS281 (lihat Tabel 5.2) sebesar 0,078 W/mK, material ini memiliki potensi aplikasi yang luas, termasuk sebagai isolasi pada bangunan, sistem HVAC industri, serta industri konstruksi. Oleh karena itu, material komposit ini sangat cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi tersebut.

5.2 Sifat Mekanik

Sifat mekanik yang unggul dari serat abaka telah menarik perhatian banyak ilmuwan untuk meneliti potensi pemanfaatannya sebagai bahan pengisi atau penguat berbagai aplikasi komposit. Penelitian ini mengembangkan komposit berbasis serat abaka yang dirancang khusus untuk digunakan sebagai bahan penyerap energi suara. Orientasi serat yang digunakan bersifat isotropik, dengan konsentrasi fraksi volume M_{epx}/S_{abk} sebagaimana tercantum dalam Tabel 5.2. Tujuan utama penelitian ini adalah menghasilkan bahan penyerap suara berbasis serat abaka. Dalam proses pembuatan penyerap suara menggunakan bahan komposit M_{epx}/S_{abk} .

Salah satu syarat utama bahan komposit sebagai penyerap suara adalah terbentuknya struktur yang berpori. Pori-pori ini dirancang untuk

terbentuk baik di antara serat-serat maupun di antara serat dengan matriks. pembentukan struktur pori tersebut merupakan kunci untuk kemampuan material dalam menyerap energi suara. Sebagaimana dijelaskan pada Bab 4 (Gambar 4.5), struktur intrinsik berongga pada serat abaka dapat meningkatkan efektivitas penyerapan suara.



Gambar 5.2 Grafik kurva hubungan antara tegangan dan regangan

Data kekuatan tarik dan modulus Young yang disajikan pada Tabel 5.2 adalah hasil representasi kurva grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.2. terlihat jelas pada gambar tersebut bahwa peningkatan konsentrasi serat berbanding terbalik dengan sifat mekaniknya. Sampel MS281 memiliki porositas terbesar, yaitu 52%. Namun, peningkatan porositas ini berbanding terbalik dengan sifat mekanik material, baik pada kekuatan tarik maupun pada modulus Young (Akindoyo et al., 2024; Bhat et al., 2023; Thangapandian et al., 2024). Peningkatan jumlah serat yang menyebabkan peningkatan porositas juga mengakibatkan penurunan kekuatan mekanik material. Penurunan ini

disebabkan oleh berkurangnya area kontak antara serat dan matriks epoksi, yang mengurangi kekompakan dan integritas struktur material. Material komposit yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan memiliki daya tahan yang tinggi, tidak mengalami kebusukan, dan tidak mudah rusak.

5.3 Sifat Akustik

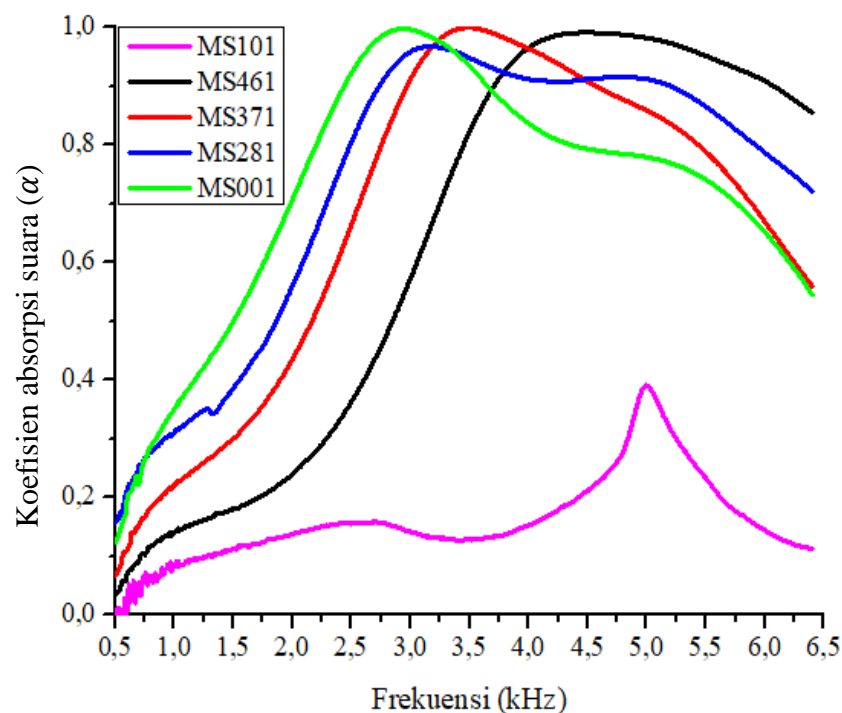
Penelitian ini memilih serat abaka karena memiliki sifat mekanis yang tinggi. Efek perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam terbukti meningkatkan sifat mekanis serat tersebut tanpa mengubah karakteristiknya dalam mengabsorpsi energi suara (Indrawati et al., 2024a). Serat abaka memiliki kemampuan untuk mengabsorpsi energi suara pada frekuensi > 2500 Hz. Sifat akustik dari komposit M_{epx}/S_{abk} diuji menggunakan tabung impedansi B&K 4206 sesuai dengan standar pengujian material akustik berdasarkan ASTM E1050-12 dan ISO 10534-2.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien absorpsi suara pada sampel. Parameter yang mempengaruhi koefisien penyerapan suara bahan penyerap meliputi ketebalan, kepadatan (ukuran pori), pengaruh celah udara, dan ukuran serat (Berardi & Iannace, 2015a; Bhingare et al., 2019b; *Ersoy, Küçük - 2009*, n.d.; Putra^a et al., 2013). Dalam penelitian ini, variasi yang dianalisis mencakup pengaruh penambahan konsentrasi serat dan pengaruh ketebalan sampel. Penjelasan lebih lanjut dapat ditemukan pada subbab 5.3.1 dan 5.3.2.

5.3.1 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Serat

Epoksi resin memiliki sifat yang relatif keras dan padat, sehingga secara alami kurang efektif dalam menyerap suara dibandingkan dengan material berpori seperti serat alam. Pada sebagian besar komposit, matriks epoksi cenderung lebih banyak memantulkan suara daripada menyerapnya. Oleh karena itu, epoksi sendiri tidak memberikan kontribusi besar dalam

meningkatkan penyerapan suara, terutama pada frekuensi rendah, tetapi lebih berperan dalam meningkatkan sifat struktural. Peran utama epoksi adalah sebagai pengikat yang mengelilingi serat dan mempertahankan integritas struktural komposit. Dengan mengikat serat, epoksi membantu menjaga posisi serat sehingga struktur berpori dan jalur untuk peredaman suara tetap terjaga. Namun, jika epoksi terlalu banyak atau terlalu padat, hal ini dapat menutupi pori-pori atau ruang antarsel serat, sehingga mengurangi kemampuan penyerapan suara secara keseluruhan. Pada penelitian ini, epoksi resin digunakan hanya sebagai pengikat, sebagaimana telah dijelaskan pada subbab 3.4 mengenai pembuatan bahan komposit.



Gambar 5.3 Pengaruh penambahan konsentrasi serat terhadap nilai α

Variasi konsentrasi serat pada fraksi volume komposit (M_{epx}/S_{abk}) dapat dianalisis untuk menentukan kombinasi optimal yang menghasilkan kemampuan penyerapan energi suara yang tinggi. Pada Gambar 5.3 dapat

dilihat hubungan antara nilai koefisien absorpsi dan frekuensi terhadap pengaruh konsentrasi serat untuk ketebalan 10 mm. Nilai α menunjukkan semakin banyak penambahan konsentrasi serat, nilai α bergeser ke sebelah kiri menuju frekuensi rendah.

Sampel MS101 dengan garis magenta menunjukkan bahwa 100% konsentrasi matriks epoksi dengan ketebalan sampel 10 mm, kurva memiliki nilai α yang tinggi pada frekuensi 5000 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa resin memiliki karakteristik yang mampu mengabsorpsi pada frekuensi 5000 Hz. Konsentrasi serat yang ditambahkan pada sampel MS461 garis hitam menunjukkan nilai α menjadi lebih optimal pada frekuensi 4000 Hz yaitu mendekati 1, yang berarti serat mengabsorpsi hampir 100%. Kenaikan nilai α tersebut juga disertai bergesernya kurva ke arah kiri, yaitu frekuensi rendah.

Pada sampel MS371, juga diperoleh nilai α yang optimal dengan pergerakan frekuensi pada 3500 Hz, demikian pula pada MS281 dan MS001. Bertambahnya konsentrasi serat menyebabkan optimalnya nilai α bergeser menuju frekuensi rendah (Silva et al., 2019) (Hosseini Fouladi et al., 2011). Karakteristik serat abaka yang digunakan dalam penelitian ini MS001, menunjukkan bahwa serat tersebut memiliki kemampuan menyerap energi suara pada frekuensi 2500 – 3000 Hz (Indrawati et al., 2024b). Dapat dilihat juga bahwa untuk variasi penambahan konsentrasi serat memiliki rentang frekuensi antara karakter serat abaka dan resin. Hal ini menunjukkan bahwa apabila kandungan serat lebih banyak, maka rentang frekuensi mendekati karakter serat, sebaliknya apabila konsentrasi serat sedikit (lebih banyak resin), maka rentang frekuensi mendekati 5000 Hz.

Dalam komposit serat alam dengan menggunakan epoksi resin, perpindahan fonon dipengaruhi oleh batas antarmuka antara serat dan matriks epoksi. Batas antarmuka ini sering kali menyebabkan hamburan

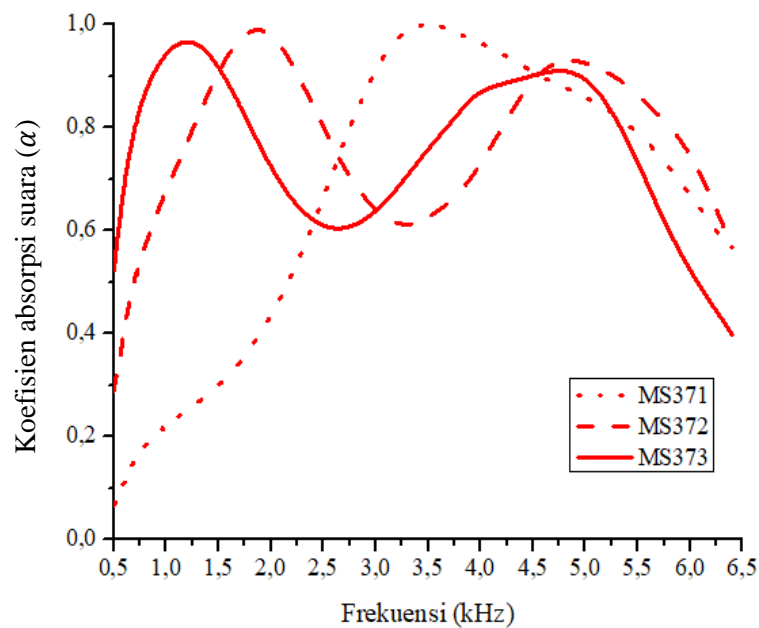
fonon akibat perubahan modulus elastisitas antara serat dan matriks. Hamburan fonon pada antarmuka tersebut dapat berkontribusi pada penyerapan suara, terutama pada frekuensi rendah. Fonon yang terbentuk pada serat akan cenderung mentransmisikan vibrasi fonon pada struktur kristal selulosa, sementara epoksi sebagai matriks berperan dalam mengarahkan getaran atau fonon pada frekuensi tinggi. Oleh karena itu, komposit ini lebih efektif menyerap suara pada frekuensi tinggi (5000 Hz Lihat Gambar 5.3).

Peningkatan kekakuan serat akibat perlakuan alkalisasi, serta keberadaan epoksi, dapat meningkatkan kecepatan propagasi fonon. Pada material yang lebih kaku, fonon bergerak lebih cepat dan cenderung mengalami lebih sedikit hambatan atau redaman pada frekuensi rendah, akibatnya, kemampuan menyerap energi akustik pada frekuensi rendah menjadi berkurang. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan sifat mekanik akibat penambahan matriks dapat menurunkan kemampuan menyerap suara (Thilagavathi et al., 2010). Penurunan ini terjadi pada rentang frekuensi tertentu. Gambar 5.3 menunjukkan bahwa nilai α tetap sama meskipun terdapat penambahan matriks, tetapi karakteristik frekuensi bergeser ke kanan, yaitu menuju frekuensi yang lebih tinggi sesuai dengan karakteristik epoksi resin.

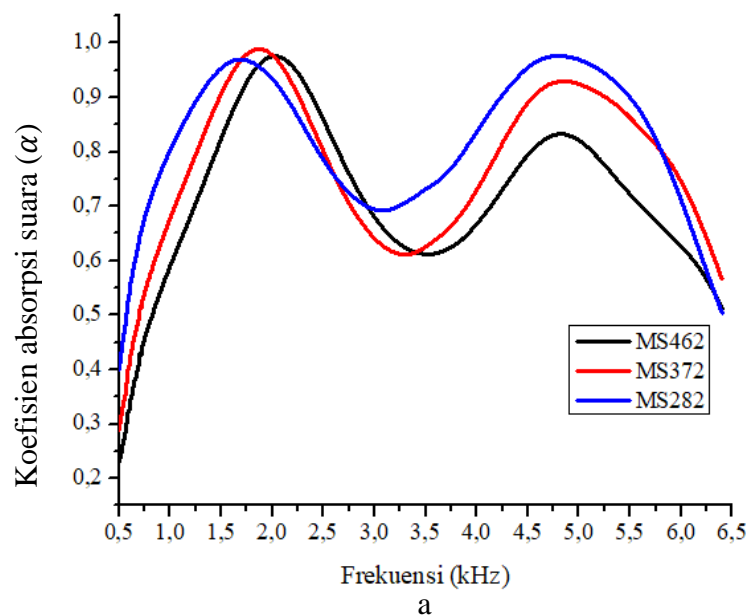
5.3.2 Efek Ketebalan Terhadap Nilai Koefisien Absorpsi

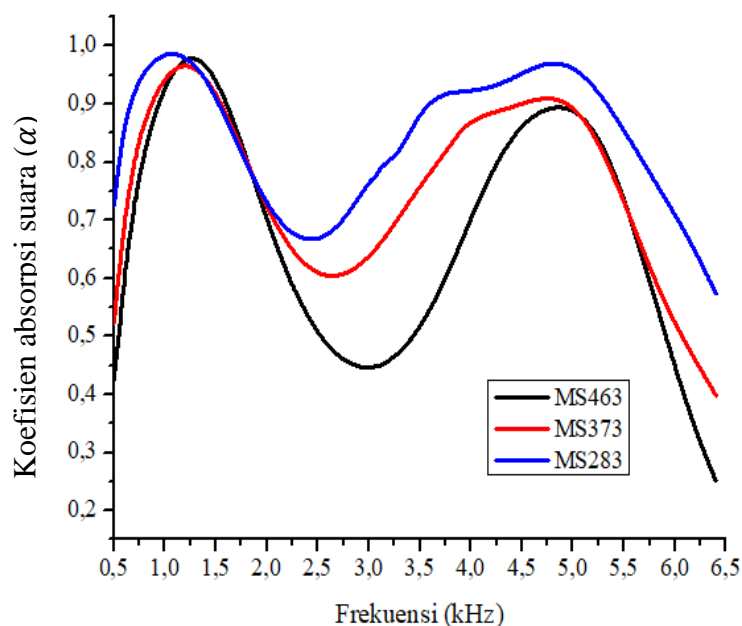
Secara umum, semakin tebal peredam suara, semakin efektif bahan tersebut dalam menyerap energi suara. Ketebalan yang lebih besar menyediakan lebih banyak material untuk menyerap dan meredam gelombang suara. Sebagaimana terlihat pada Gambar 5.4, ketebalan sampel mempengaruhi nilai α . Kurva garis merah menunjukkan konsentrasi (M_{epx}/S_{abk}) 30:70. Garis titik-titik menunjukkan ketebalan 10 mm, garis

putus-putus menunjukkan ketebalan 20 mm, sedangkan garis lurus menunjukkan ketebalan 30 mm. Saat ketebalan meningkat, puncak kurva bergeser ke frekuensi rendah (Taban et al., 2020). Fenomena ini terjadi karena gelombang suara dengan frekuensi rendah memiliki panjang gelombang yang lebih panjang, sehingga bahan dengan ketebalan lebih besar dapat memberikan jalur yang lebih panjang untuk menyerap energi suara.



Gambar 5.4 Pengaruh ketebalan terhadap nilai α pada konsentrasi (Mepx/Sabk) 30:70





b

Gambar 5.5 Pengaruh penambahan konsentrasi abaka terhadap nilai α untuk (a) Tebal 20 mm (b) Tebal 30mm

Selain meningkatkan nilai α pada frekuensi rendah, juga terlihat bahwa sampel memiliki dua puncak frekuensi dalam penyerapan energi suara. Timbulnya kedua puncak kedua frekuensi pada 5000 Hz juga terjadi pada penelitian serat jagung menggunakan PVA sebagai matriks (Fattahi et al., 2023). Puncak pada 5000 Hz juga merupakan puncak penyerapan energi suara dalam resin epoksi (Gambar 5.3 garis ungu). Hal ini mungkin terjadi karena peningkatan ketebalan sampel juga meningkatkan konsentrasi serat serta kandungan resin. Oleh karena itu, dengan meningkatnya kandungan epoksi, kemampuan penyerapan pada frekuensi 5000 Hz juga meningkat. Timbulnya dua puncak frekuensi dalam penyerapan suara juga sama ditunjukkan pada ketebalan 20 mm (Gambar 5.5a) dan ketebalan 30 mm (Gambar 5.5b)

Pada frekuensi 3000 Hz, terdapat penurunan kemampuan dalam menyerap energi suara. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan ketebalan absorber yang juga menghasilkan resonansi, yaitu amplifikasi suara akibat pantulan gelombang suara. Terlihat pada Gambar 5.2 dan 5.3

bahwa hubungan antara ketebalan dan nilai koefisien absorpsi suara menunjukkan peningkatan nilai intensitas yang bergeser ke frekuensi yang lebih rendah, serta munculnya puncak gelombang tambahan. Fenomena ini juga diamati pada penelitian Zhang dkk, dimana ketika ketebalan beton berpori 50 mm hanya terdapat satu puncak. Ketika ketebalan meningkat dua kali lipat menjadi 100 mm, muncul dua puncak gelombang. Selanjutnya, pada ketebalan 150 mm, terdapat tiga puncak gelombang (Y. Zhang et al., 2020).

Ketebalan yang tepat dapat mengurangi efek pembauran dan meningkatkan kemampuan penyerapan suara pada frekuensi tertentu. Penyesuaian ketebalan absorber terhadap panjang gelombang suara tertentu dapat menciptakan efek resonansi yang mendukung peningkatan kemampuan penyerapan. Namun, dalam pengaplikasian di dalam ruangan, ketebalan berlebih harus dihindari yang dapat mengakibatkan pantulan kembali ke dalam ruangan. Dengan demikian, pemahaman tentang pengaruh ketebalan absorber pada kemampuannya untuk menyerap energi suara sebagai fungsi frekuensi sangat penting untuk pengembangan bahan akustik yang efektif dan aplikasi desain yang tepat.

BAB VI
PEMODELAN NILAI KOEFISIEN ABSORPSI SERAT
ABAKA

Serat abaka dalam penelitian ini merupakan serat alam yang diaplikasikan sebagai penyerap akustik untuk pengendalian kebisingan dan perbaikan cacat akustik pada ruangan. Penggunaan serat abaka dapat menjadi alternatif untuk menggantikan serat sintetis lainnya. Penelitian ini selain menganalisis kemampuan serat abaka sebagai penyerap suara juga mengevaluasi koefisien penyerapan suara dengan menggunakan metode pengukuran dengan tabung impedansi dan pemodelan semi empiris Delany-Bazley (Delany & Bazley, 1970) (Silva et al., 2019). Metode tabung impedansi yang digunakan sesuai ISO 10534-2. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 3 variasi konsentrasi serat: matriks, serta ketebalan sampel 10 mm, 20 mm dan 30 mm. Informasi lebih lengkap mengenai sampel pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.1 berikut ini:

Tabel 6.1 Karakteristik bahan komposit

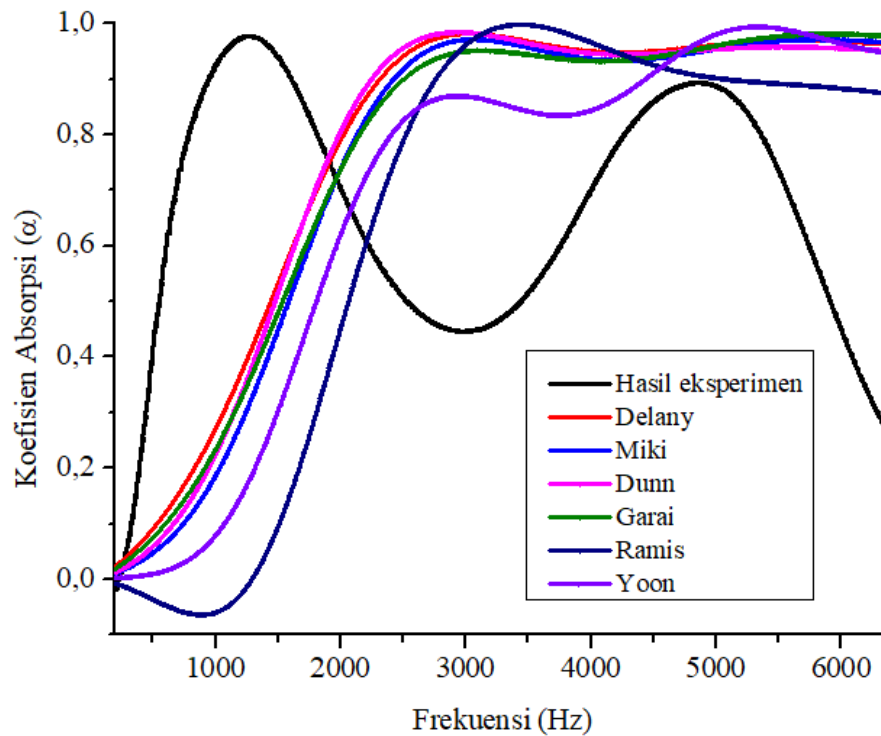
Nama sampel	Ketebalan (mm)	Densitas (g/mL)	Resistivitas aliran udara (σ) [Pa.s/m ²]
MS461	10 – 11	0,446	854.422,50
MS462	22 – 23		
MS463	31 – 33		
MS371	11 – 12	0,373	280.077,69
MS372	23 – 25		
MS373	34 – 36		
MS281	13 – 15	0,336	164.770,14
MS282	27 – 30		
MS283	38 – 42		

Delany dan Bazley mengusulkan model empiris yang mudah untuk bahan berserat, yang memprediksi perilaku akustik hanya dengan parameter non-akustik resistivitas aliran udara. Nilai resistivitas aliran udara pada komposit didapatkan dari pengujian densitas menggunakan persamaan Kozeny-Carman pada persamaan 2.14. sedangkan untuk pemodelan nilai koefisien absorpsi menggunakan persamaan semi empiris Delany- Bazley (2.10 – 2.13). Tabel 6.1 menunjukkan hasil dari σ dan ρ dari sampel serta nilai ketebalan sampel yang digunakan pada penelitian. Metode pemodelan semi empiris akan dibandingkan dan dicocokkan untuk mendapatkan nilai konstanta baru yang sesuai, sehingga dapat dijadikan acuan sebelum pembuatan sampel di masa depan.

6.1 Perbandingan Nilai Koefisien Absorpsi Hasil Eksperimen dengan Model

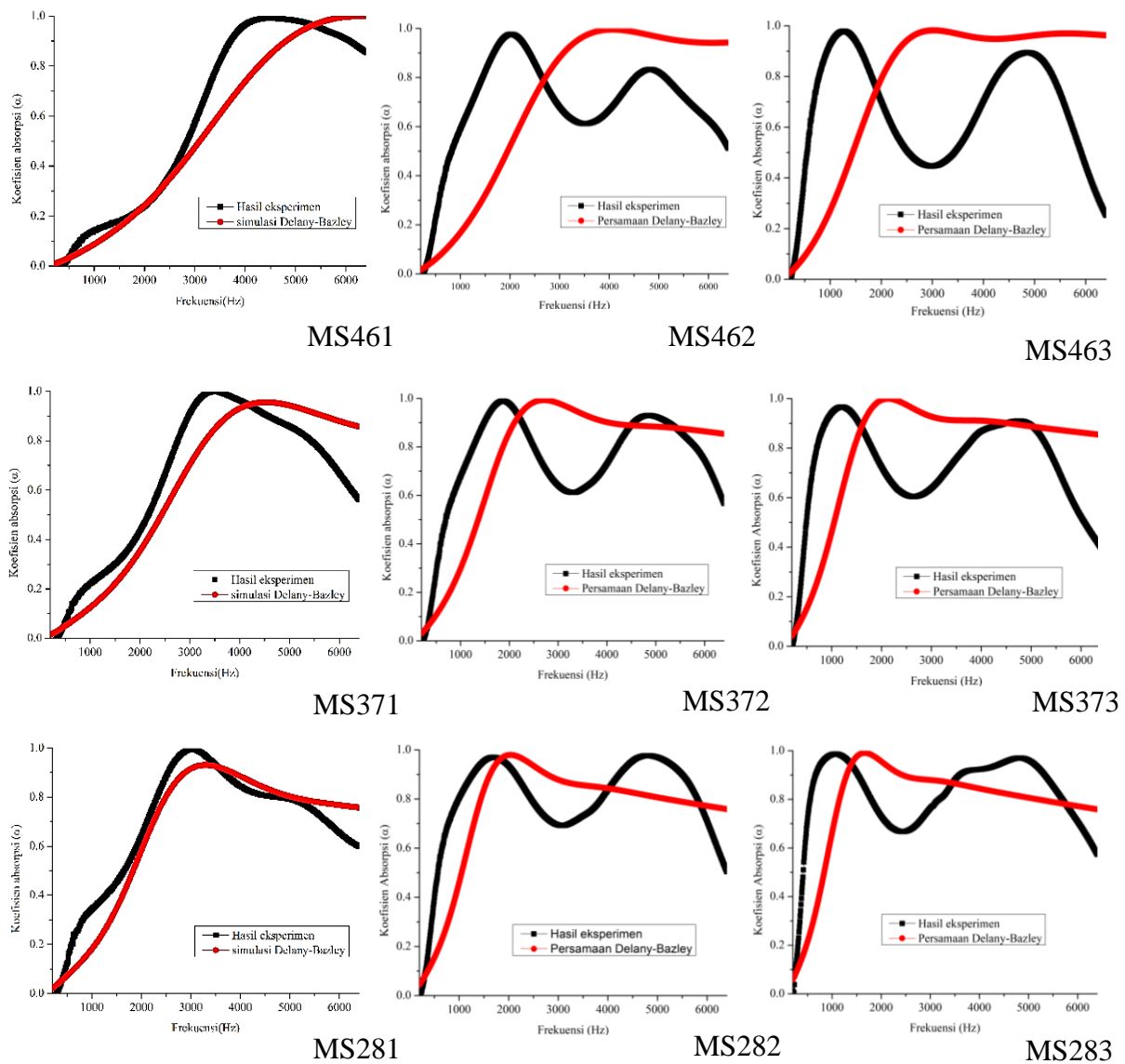
Terdapat beberapa peneliti sebelumnya terkait dengan penentuan nilai konstanta untuk kesesuaian nilai α hasil eksperimen dengan hasil prediksi/pemodelan (Bhingare & Prakash, 2020; Hosseini Fouladi et al., 2011; Jones & Kessissoglou, 2015; X. Liu et al., 2021; Silva et al., 2019; Soltani et al., 2018). Gambar 6.1 disajikan dalam bentuk grafik terkait dengan perbandingan nilai α hasil eksperimen terhadap beberapa pemodelan sebelumnya.

Gambar 6.1 menunjukkan perbandingan antara hasil eksperimen yang ditandai dengan garis berwarna hitam dengan beberapa hasil pemodelan (garis merah (Delany-Bazley), biru (Miki), magenta (Dunn), hijau (Garai), Navy (ramis) dan ungu (Yoon). Pemodelan semi empiris menggunakan persamaan Delany- Bazley dengan menggunakan beberapa konstanta c_1 - c_8 yang berbeda sesuai dengan Tabel 2.5. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk pemodelan (Delany, Miki dan Dunn-Davern) memiliki pola yang mendekati hasil data eksperimen.



Gambar 6.1 Perbandingan hasil eksperimen dan beberapa hasil pemodelan

Pemodelan semi empiris Delany-Bazley menunjukkan hasil yang paling mendekati dengan eksperimen. Gambar 6.2 merupakan perbandingan antara hasil eksperimen (garis hitam) dengan pemodelan semi empiris Delany-Bazley (garis merah). Perbandingan ini didasarkan pada perbedaan konsentrasi serat terhadap matriks (dari atas ke bawah) dan perbedaan ketebalan (dari kiri ke kanan). Berdasarkan data pola grafik yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa untuk sampel ketebalan 10 mm (MS461, MS371 dan MS281). Data dari atas ke bawah menunjukkan kurva hasil eksperimen memiliki pola yang sama dengan pemodelan. Menariknya, semakin besar konsentrasi serat, semakin mirip dengan pemodelan. Namun semakin tebal sampel data (dari kiri ke kanan), pola pemodelan semakin menjauh dari hasil eksperimen.



Gambar 6.2 Perbandingan nilai α hasil eksperimen dengan pemodelan semi empiris Delany-Bazley

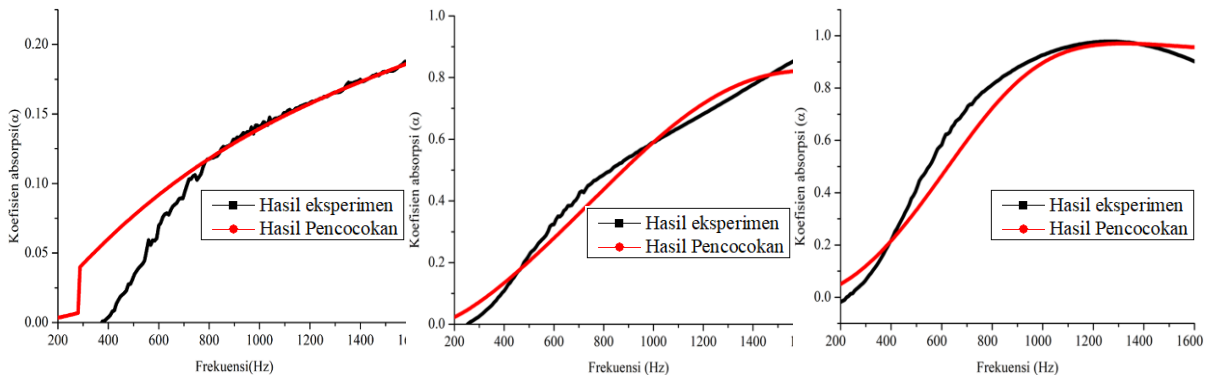
Pola yang ditampilkan pada Gambar 6.2 menunjukkan bahwa semakin banyak konsentrasi serat yang diberikan, nilai α optimum mengalami pergeseran ke frekuensi rendah, baik berdasarkan hasil eksperimen maupun hasil pencocokan (Silva et al., 2019). Hal ini juga terjadi pada penambahan ketebalan sampel, yang menyebabkan nilai α optimum bergeser ke frekuensi rendah.

Menariknya, untuk data peningkatan ketebalan, nilai α hasil eksperimen memiliki dua puncak penyerapan. Puncak penyerapan kedua erat kaitannya dengan karakterisasi resin (subbab 5.3.2).

6.2 Pencocokan Nilai Koefisien Absorpsi Hasil Eksperimen dengan Model

Penelitian ini fokus pada frekuensi rendah yaitu frekuensi 200 – 1600 Hz. Pemilihan rentang frekuensi mengacu pada Gambar 6.2, di mana pemodelan yang diberikan oleh Delany-Bazley menunjukkan pola yang serupa untuk rentang 200 – 1600 Hz (frekuensi rendah). Rentang frekuensi tersebut juga mengacu pada penelitian sebelumnya, yang menunjukkan bahwa serat sisal, serat jagung dan ampas tebu memiliki rentang frekuensi yang sama (Silva et al., 2019)(Berardi & Iannace, 2017). Tabel 6.2 menunjukkan hasil optimalisasi koefisien konstanta c_1 – c_8 yang diperoleh dari interpolasi data eksperimen sesuai dengan persamaan (2.14 – 2.17). Hasil pencocokan koefisien tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.3. Nilai-nilai hasil eksperimen ditunjukkan oleh garis berwarna hitam, sedangkan hasil pencocokan ditunjukkan oleh garis berwarna merah.

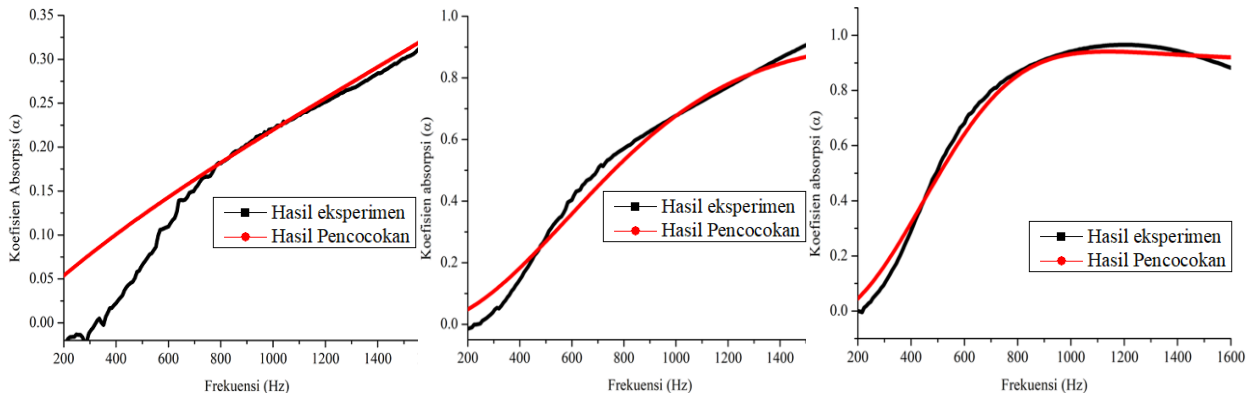
Hasil verifikasi dari Tabel 6.2 menunjukkan bahwa koefisien teroptimasi z (impedansi) dan k (konstanta propagasi) untuk nilai konstanta (c_1 – c_8) berbeda untuk setiap konsentrasi serat dan setiap ketebalan sampel, meskipun jenis materialnya sama. Perilaku ini mencegah generalisasi sifat akustik untuk bahan alami dan menjadikan optimasi z dan k menjadi alternatif yang baik untuk karakterisasi akustik yang tepat (Silva et al., 2019)(Berardi & Iannace, 2017).



MS461

MS462

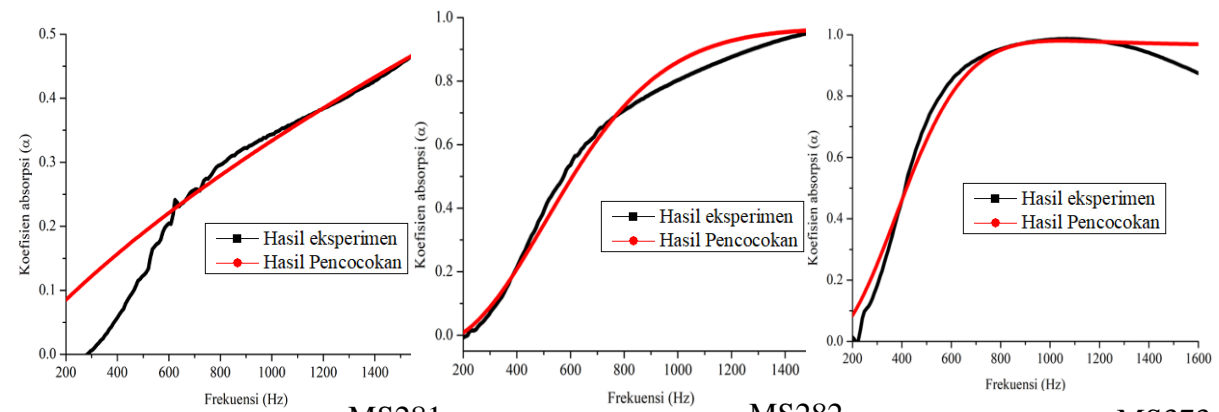
MS463



MS371

MS372

MS283



MS281

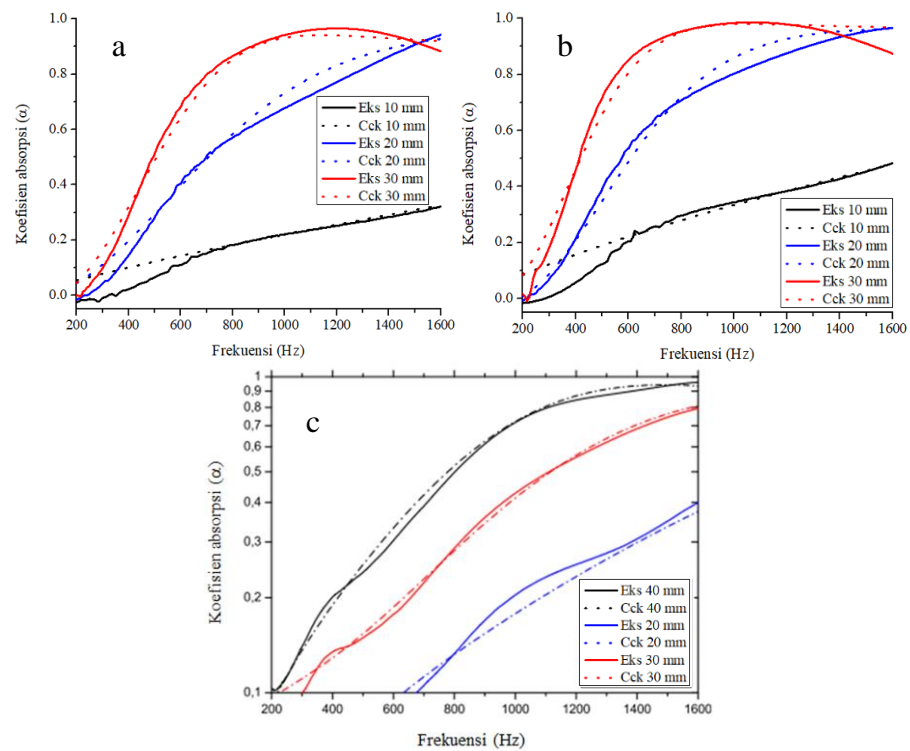
MS282

MS373

Gambar 6.3 Perbandingan nilai α hasil eksperimen dan hasil pencocokan

Tabel 6.2 Koefisien konstanta c1-c8 pada nilai z dan k hasil pencocokan dengan eksperimen

Sampel	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇	c ₈
MS461	0,070	0,94	0,099	0,832	0,300	0,085	0,058	0,750
MS462	0,990	0,82	0,289	0,049	0,991	0,670	0,580	0,332
MS463	0,594	0,070	0,116	0,290	0,999	0,980	0,680	0,332
MS371	0,057	0,04	0,100	0,332	0,385	0,050	0,098	0,075
MS372	0,029	0,04	0,216	0,499	0,460	0,75	0,180	0,012
MS373	0,398	0,450	0,205	0,290	0,513	0,265	0,200	0,480
MS281	0,077	0,020	0,100	0,232	0,545	0,005	0,098	0,075
MS282	0,009	0,400	0,248	0,190	0,313	0,865	0,390	0,080
MS283	0,089	0,030	0,188	0,290	0,413	0,865	0,90	0,080



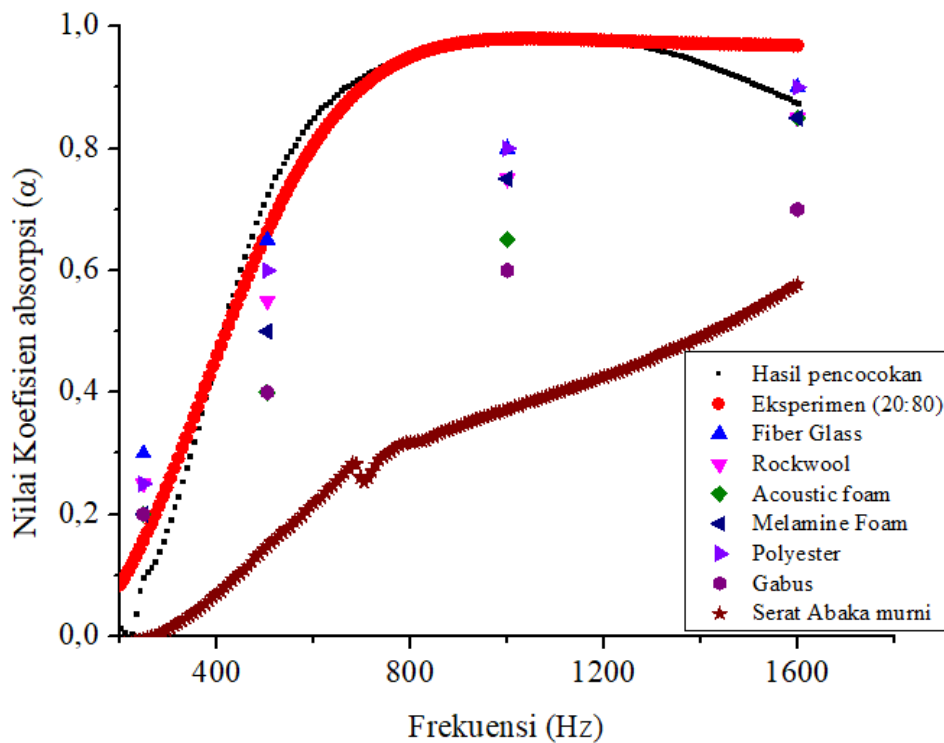
Gambar 6.4 Perbandingan nilai α (a) M_{epx}/S_{abk} 30:70 (b) M_{epx}/S_{abk} 20:80 (c) serat sisal

Pada Gambar 6.3, ditunjukkan adanya kesesuaian yang baik antara nilai α hasil eksperimen dan pemodelan pada ketebalan 10 mm untuk frekuensi 600 – 1600 Hz. Sementara itu, untuk sampel dengan ketebalan 20mm dan 30 mm, kesesuaian terlihat pada rentang 200 – 1600 Hz. Hal ini menunjukkan efektivitas metodologi pencocokan yang diusulkan dalam penelitian ini (Silva et al., 2019). Pada Gambar 6.4, diperlihatkan perbandingan antara hasil eksperimen dan pemodelan untuk serat abaka dan serat sisal (Gambar 6.4c). Berdasarkan Gambar 6.4a, untuk sampel dengan konsentrasi fraksi volume ($M_{\text{epx}}/S_{\text{abk}}$) 30:70, semakin tebal sampel, kurva hasil pemodelan mendekati hasil eksperimen. Hal serupa juga terjadi pada sampel dengan konsentrasi fraksi volume ($M_{\text{epx}}/S_{\text{abk}}$) 20:80 (Gambar 6.4b). Data yang diperoleh oleh Silva dkk, juga menunjukkan kesesuaian yang serupa pada sampel serat sisal (Gambar 6.4c), di mana semakin tebal ukuran sampel, kurva pemodelan semakin mendekati hasil eksperimen (Silva et al., 2019).

Namun, perbedaan mendasar antara penelitian ini dan penelitian Silva dkk adalah pada variasi ketebalan sampel. penelitian Silva dkk, dimulai dari ketebalan 20 mm, 30 mm dan 40 mm, sedangkan penelitian ini menggunakan ketebalan 10 mm, 20 mm dan 30 mm. Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa pemodelan semi empiris Delany-Bazley efektif untuk ketebalan sampel > 20 mm. Jika dibandingkan dengan data yang diperoleh dalam penelitian (Silva et al., 2019), serat komposit berbasis abaka memiliki nilai koefisien absorpsi yang lebih tinggi, baik pada konsentrasi serat pada komposit fraksi volume ($M_{\text{epx}}/S_{\text{abk}}$) 40:60; 30:70; 20:80 maupun untuk ketebalan 20 cm dan 30 cm. oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa serat abaka sangat efektif sebagai bahan dasar pembuatan penyerap energi suara dibandingkan dengan serat sisal.

Komposit serat abaka memiliki potensi yang sangat menjanjikan sebagai bahan penyerap suara dibandingkan dengan material absorber yang umum tersedia di pasaran, seperti fiberglass, rockwool, akustik foam, melamin, dan

gabus poliester. Berdasarkan karakteristiknya, serat abaka menunjukkan kemampuan absorpsi suara yang lebih tinggi, terutama pada rentang frekuensi menengah hingga tinggi. Gambar 6.5 menunjukkan kurva perbandingan nilai α sampel absorber MS283 terhadap material absorber umum di pasaran dengan ketebalan masing-masing 30 cm. kurva tersebut memperlihatkan bahwa nilai α pada komposit MS283 unggul mulai dari frekuensi ≥ 500 Hz, sebanding atau bahkan melampaui performa fiberglass dan rockwool. Namun, untuk frekuensi rendah < 500 Hz, performa fiber glass, polyester dan rockwool masih lebih dominan.



Gambar 6.5 Perbandingan nilai α M_{epx}/S_{abk} 20:80 beberapa absorber di pasaran pada ketebalan 30 cm

Selain itu, serat abaka memiliki keunggulan dalam hal keberlanjutan karena bersifat biodegradable dan berbasis sumber daya terbarukan, berbeda dengan fiberglass dan melamin yang dapat berdampak negatif terhadap

lingkungan selama produksi maupun setelah pembuangan. Dibandingkan dengan akustik foam dan gabus poliester, serat abaka menawarkan daya tahan yang lebih baik terhadap perubahan lingkungan seperti suhu dan kelembaban, sekaligus memiliki keunggulan estetika dan tekstur alami yang lebih menarik untuk aplikasi desain interior. Dengan karakteristik mekanis yang cukup baik, serat abaka juga dapat dikembangkan menjadi panel akustik multifungsi yang tidak hanya menyerap suara, tetapi juga memiliki ketahanan mekanis yang memadai, menjadikannya alternatif yang layak dan ramah lingkungan untuk bahan penyerap suara yang tersedia dipasaran.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Pada disertasi ini telah dianalisis kemampuan serat abaka sebagai penyerap akustik, dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakter serat terhadap pengaruh perlakuan alkalisasi dan hidrolisis asam mampu meningkatkan sifat mekanik (kekuatan tarik, modulus Young) sebesar 212%, mengurangi lignin 52,36% serta kemampuan menyerap energi suara $\alpha = 0,9$ untuk frekuensi 2500 Hz.
2. Pengaruh konsentrasi komposisi serat/matriks epoksi terhadap kekuatan mekanik komposit menunjukkan penurunan, konduktivitas termal naik dan kemampuan penyerap energi suara meningkat.
3. Pengaruh ketebalan material komposit terhadap kemampuan menyerap energi suara menunjukkan nilai α yang meningkat dengan pergeseran frekuensi yang lebih rendah. Sampel MS373 dengan ketebalan 3 cm mampu menyerap energi suara 0,52 pada frekuensi 500 Hz, dengan puncaknya 0,95 pada frekuensi 1250 Hz dan 0,9 pada frekuensi 5000 Hz.
4. Metode pemodelan semi empiris Delany-Bazley untuk prediksi nilai koefisien absorpsi menunjukkan kesesuaian dengan hasil pengukuran untuk data ketebalan sampel $> 20\text{mm}$.
5. Sampel absorber MS283 memiliki nilai koefisien absorpsi yang lebih unggul dibandingkan dengan fiber glass, polyester dan rockwool pada frekuensi ≥ 500 Hz.

7.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ke depannya adalah sebagai berikut ini:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan membahas modifikasi permukaan serat alam menggunakan metode kimia atau fisika untuk meningkatkan sifat mekanik dan menurunkan konduktivitas termal. Misalnya, penggunaan *coating* atau perlakuan plasma pada serat
2. Studi mengenai pembuatan komposit berbasis serat abaka dengan matriks polimer atau bahan lainnya yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan mengontrol konduktivitas termal. Misalnya, penggunaan nanoteknologi.
3. Penelitian mengenai penerapan praktis serat abaka sebagai bahan penyerap di berbagai industri. Misalnya, otomotif, konstruksi dan elektronik.
4. Investigasi tentang kombinasi sifat akustik dan termal dari potensi serat abaka sebagai bahan multifungsi untuk aplikasi di bidang isolasi suara dan panas.
5. Meneliti aspek keberlanjutan dan daur ulang serat abaka tidak hanya bermanfaat secara teknis tetapi juga ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- A, M. K., N, D. A., S, A., & M, B. (2021). Numerical investigation of mechanical properties of hybrid fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.096>
- Aditama, A. G., & Ardhyanta, H. (2017). Isolasi Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Nano Filler Komposit Absorpsi Suara: Analisis FTIR. *Jurnal Teknik ITS*, *6*(2), 228–231. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24098>
- Akindoyo, J. O., Pickering, K., Mucalo, M., Beg, M. D., & Hicks, J. (2024). Mechanenzymatic production of natural fibre from harakeke (New Zealand flax) and its characterization for potential use in composites for building and construction applications. *Industrial Crops and Products*, *214*(April). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118507>
- Alrahman, L. A., Raja, R. I., & Rahman, R. A. (2013). *Experimental Study on Natural Fibers for Green Acoustic Absorption Materials*. *10*(10), 1307–1314. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2013.1307.1314>
- Arenas, J. P. (n.d.). *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials*. 12–17.
- Armezin, R. B. (2014). *Biomass and Bioenergy* (Issue August). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07578-5>
- Asraf, M. R. M., Ng, L. F., Khoo, P. S., Yahya, M. Y., S. A, H., Madenci, E., & Khan, T. (2024). Lignocellulosic abaca fibre-reinforced thermoplastic composites as future sustainable structural materials: a bibliometric analysis and literature review. *Cellulose*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10570-024-05921-w>
- Banowati, L., Sari, P., & Hadi, B. K. (2021). *Comparison analysis of abaca fiber / polyester and abaca-e- glass / polyester hybrid composites to impact strength and its application to ballistic Comparison analysis of abaca fiber / polyester and abaca-e- glass / polyester hybrid composites to impact s*. 2–

8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1173/1/012068>
- Bar, M., Alagirusamy, R., & Das, A. (2015). Flame Retardant Polymer Composites. *Fibers and Polymers*, *16*(4), 705–717.
- Beranek, L. L. (1993). *Acoustics* (M. 02138 Cambridge (Ed.); 2nd ed.). the acoustial Society of America.
- Berardi, U., & Iannace, G. (2015a). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. In *Building and Environment* (Vol. 94, pp. 840–852). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.029>
- Berardi, U., & Iannace, G. (2015b). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building and Environment*, *94*, 840–852. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.029>
- Berardi, U., & Iannace, G. (2017). Predicting the sound absorption of natural materials: Best-fit inverse laws for the acoustic impedance and the propagation constant. *Applied Acoustics*, *115*, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.012>
- Berquin, A. (2013). Douleur chronique : quelques repères pour mieux comprendre et agir. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *56*, e108. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.07.210>
- Bhat, A. R., Kumar, R., & Mural, P. K. S. (2023). Natural fiber reinforced polymer composites: A comprehensive review of Tribo-Mechanical properties. *Tribology International*, *189*(September). <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108978>
- Bhingare, N. H., & Prakash, S. (2020). An experimental and theoretical investigation of coconut coir material for sound absorption characteristics. *Materials Today: Proceedings*, *43*(xxxx), 1545–1551. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.401>
- Bhingare, N. H., Prakash, S., & Jatti, V. S. (2019a). A review on natural and waste material composite as acoustic material. *Polymer Testing*, *80*(October), 106142. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106142>

- Bhingare, N. H., Prakash, S., & Jatti, V. S. (2019b). A review on natural and waste material composite as acoustic material. *Polymer Testing*, 106142. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106142>
- Bledzki, A. K., Franciszczak, P., Osman, Z., & Elbadawi, M. (2015). Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, abaca, jute, and kenaf fibers. *Industrial Crops & Products*, 70, 91–99. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.013>
- Bledzki, A. K., Jaszkievicz, A., & Scherzer, D. (2009a). Mechanical properties of PLA composites with man-made cellulose and abaca fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(4), 404–412. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.01.002>
- Bledzki, A. K., Jaszkievicz, A., & Scherzer, D. (2009b). Mechanical properties of PLA composites with man-made cellulose and abaca fibres. In *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* (Vol. 40, Issue 4, pp. 404–412). <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.01.002>
- Bourmaud, A., Beaugrand, J., Shah, D. U., & Placet, V. (2018). Towards the design of high-performance plant fibre composites. *Progress in Materials Science*, 97, 347–408. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.05.005>
- Butt, M. S. (2023). *Tannic acid treatment of natural fibers and its effect on moisture absorption and mechanical properties of subsequent composites*. 1–21.
- Cagrl Uyanik, M., & Tamer Erturk, A. (2023). Recent Developments of Natural Fibres: Natural Fibre Biocomposites, Treatments, and Characterizations. *Journal of Physics: Conference Series*, 2549(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2549/1/012001>
- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Katoh, M., Ueki, T., Waterhouse, G. I. N., & Li, Y. (2015). *Influence of alkali treatment on internal microstructure and tensile properties of abaca fibers*. 65, 27–35.
- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Li, Y., & Waterhouse, G. I. N. (2016a).

- Effect of alkali treatment on interfacial bonding in abaca fiber-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 90, 589–597. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.08.025>
- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Li, Y., & Waterhouse, G. I. N. (2016b). Effect of alkali treatment on interfacial bonding in abaca fiber-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 90, 589–597. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.08.025>
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering - An Introduction. In *Materials Science and Engineering - An Introduction*.
- Cao, L., Fu, Q., Si, Y., Ding, B., & Yu, J. (2018). Porous materials for sound absorption. *Composites Communications*, 10(May), 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2018.05.001>
- Charles, K. (1987). *Quantum Theory of Solid State Physics*. John Wiley & Sons.
- Dancel, R. R. (2018a). Abaca Fiber as a Retrofitting Material. *Proceedings of Researchfora International Conference, November*, 1–5.
- Dancel, R. R. (2018b). Abaca Fiber as a Retrofitting Material. *Proceedings of Researchfora International Conference, August*.
- Delany, M. E., & Bazley, E. N. (1970). Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Applied Acoustics*, 3(2), 105–116. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(70\)90031-9](https://doi.org/10.1016/0003-682X(70)90031-9)
- Department of Agriculture. (2018). *Philippine Abaca Industry Roadmap 2018-2022 - Executive Summary*.
- Devi, D., Astutik, D., Cahyanto, M. N., & Djaafar, T. F. (2019). Kandungan Lignin, Hemiselulosa Dan Selulosa Pelepah Salak Pada Perlakuan Awal Secara Fisik Kimia Dan Biologi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 7(2), 273–282. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v7i2.148>
- Dewri, S. P., & Gnanamoorthy, R. (2023). Effect of alkali treatment on the friction coefficient of single coconut fiber. *Materials Today: Proceedings*, xxx, 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.466>

- Ebrahim Taban, Ali Khavanin, Adolreza. Azma Putra, A. J. . (2019). *study on the acoustic characteristics of natural date palm fibres: Experimental and theoretical approaches*. *Buiding and Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106274>
- Elder, T., & Rials, T. G. (2013). *Characterization of Organosolv Lignins using Thermal and FT-IR Spectroscopic Analysis*. 8(2), 2752–2767.
- Ersoy, Küçük - 2009. (n.d.).
- Ersoy, S., & Küçük, H. (2009). Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties. *Applied Acoustics*, 70(1), 215–220. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.12.005>
- Fattahi, M., Taban, E., Soltani, P., Berardi, U., Khavanin, A., & Zaroushani, V. (2023). Waste corn husk fibers for sound absorption and thermal insulation applications: A step towards sustainable buildings. *Journal of Building Engineering*, 77(May). <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107468>
- Fuertes, M. C., Scientific, N., & Ortiz, O. (2020). *Mesoporous Thin-Films for Acoustic Devices in the Gigahertz Range*. April. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.03977>
- Ganesan, P., & Karthik, T. (2016). Development of acoustic nonwoven materials from kapok and milkweed fibres. *Journal of the Textile Institute*, 107(4), 477–482. <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1045251>
- Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2020). A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications. In *Journal of Materials Science* (Vol. 55, Issue 3). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03990-y>
- Gideon, B., Uche, N. Ben, Efomo, A. O., Gideon, A., & Joshua, J. K. (2018). Data in Brief Data on acoustic behaviour of coconut fibre-reinforced concrete. *Data in Brief*, 21, 1004–1007. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.10.133>
- Girisha, L., Kandasamy, K., Sivaraman, G., Anisha fathima, B., Benham, A., & Hasane Ahammad, S. k. (2023). Assessment of mechanical properties on

- abaca fiber strengthened nano sandstone filler hybrid polymer composite. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.517>
- Goken, J., Fayed, S., Schafer, H., & Enzenauer, J. (2018). A study on the correlation between wood moisture and the damping behaviour of the tonewood spruce. *Acta Physica Polonica A*, 133(5), 1241–1260. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.133.1241>
- Gurunathan, T., Mohanty, S., & Nayak, sanjay K. (2015). A Review of the Recent Developments in Biocomposites Based on Natural Fibres and Their Application Perspectives. *Composites : Part A*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>
- Hassani, P., Soltani, P., Ghane, M., & Zarrebini, M. (2021). Porous resin-bonded recycled denim composite as an efficient sound-absorbing material. *Applied Acoustics*, 173, 107710. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107710>
- Hosseini Fouladi, M., Ayub, M., & Jailani Mohd Nor, M. (2011). Analysis of coir fiber acoustical characteristics. *Applied Acoustics*, 72(1), 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.09.007>
- Huda, S., & Yang, Y. (2009). A novel approach of manufacturing light-weight composites with polypropylene web and mechanically split cornhusk. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.12.007>
- Hung Anh, L. D., & Pásztor, Z. (2021). An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102604>
- Ikramullah, Rizal, S., Thalib, S., & Huzni, S. (2018). Hemicellulose and lignin removal on typha fiber by alkali treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 352(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/352/1/012019>
- Illampas, R., Oliveira, D. V., & Lourenço, P. B. (2023). Design of Strain-Hardening Natural TRM Composites: Current Challenges and Future

- Research Paths. *Materials*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/ma16134558>
- Indonesia Eximbank Institute. (2019). Proyeksi Ekspor Berdasarkan Industri: Komoditas Unggulan. *Indonesia Eximbank*, 280. [https://fem.ipb.ac.id/d/2019/Proyeksi Ekspor Berdasarkan Industri - Komoditas Unggulan.pdf](https://fem.ipb.ac.id/d/2019/Proyeksi%20Ekspor%20Berdasarkan%20Industri%20-%20Komoditas%20Unggulan.pdf)
- Indran, S., & Raj, R. E. (2015). Characterization of new natural cellulosic fiber from *Cissus quadrangularis* stem. *Carbohydrate Polymers*, 117, 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.09.072>
- Indrawati, S., Maligi, A., Zainuri, M., & Darminto. (2023). *Development of natural fibers from banana's stem as composite reinforcer*. 020011(September 2020), AIP Conference Proceedings 2604, 020011 (2023). <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0115270>
- Indrawati, S., Yuwana, L., & Zainuri, M. (2024a). Abaca Fiber as a Potential Reinforcer for Acoustic Absorption Material at Middle-High Frequencies. *Journal of Renewable Materials*.
- Indrawati, S., Yuwana, L., & Zainuri, M. (2024b). *Abaca Fiber as a Potential Reinforcer for Acoustic Absorption Material at Middle-High Frequencies*. <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.048452>
- Iucolano, F., Caputo, D., Leboffe, F., & Liguori, B. (2015). Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers. *Construction and Building Materials*, 99, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.020>
- Jay, A. (n.d.). *Ballistic performance simulation of abaca fiber-reinforced epoxy matrix composite using finite element analysis*. December 2023, 180556.
- Jiménez, L., Ramos, E., De la Torre, M. J., Pérez, I., & Ferrer, J. L. (2008). Bleaching of soda pulp of fibres of *Musa textilis* nee (abaca) with peracetic acid. *Bioresource Technology*, 99(5), 1474–1480. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.061>
- Jones, P. W., & Kessissoglou, N. J. (2015). Simplification of the Delany-Bazley approach for modelling the acoustic properties of a poroelastic foam. *Applied Acoustics*, 88, 146–152.

- <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.08.013>
- Karol, W., & S., T. (2015). A review of models for effective thermal conductivity of composite materials. *Journal of Power Technologies*, 95(1), 14–24.
- Kaw, A. K. (2006). *Mechanics of Composite Materials* (2nd Editio). Taylor and Francis Group, LLC.
- Khidir, E. A., Ali, M. O. M., Ali, M. M., Tahir, M. F. M., & Zulkifli, R. (2014). Analysis of sound absorption of date palm fibers based on flow resistivity. *Applied Mechanics and Materials*, 471, 285–290. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.471.285>
- Koundal, N. K., Kumar, S., Mehta, V., & Grewal, J. S. (2021). *Comparative study of Abaca fiber and Kevlar fibers based brake friction composites. September*. <https://doi.org/10.1002/pc.26405>
- Krüger, J., & Leistner, P. (1997). Noise reduction with actively absorbing silencers. *Applied Acoustics*, 51(2), 113–120. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(96\)00063-1](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(96)00063-1)
- Kumar Sinha, A., Narang, H. K., & Bhattacharya, S. (2017a). Effect of Alkali Treatment on Surface Morphology of Abaca Fibre. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 8993–8996. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.251>
- Kumar Sinha, A., Narang, H. K., & Bhattacharya, S. (2017b). Effect of Alkali Treatment on Surface Morphology of Abaca Fibre. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 8993–8996. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.251>
- Kumar Sinha, A., Narang, H. K., & Bhattacharya, S. (2018a). Evaluation of Bending Strength of Abaca Reinforced Polymer Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 7284–7288. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.396>
- Kumar Sinha, A., Narang, H. K., & Bhattacharya, S. (2018b). Evaluation of Bending Strength of Abaca Reinforced Polymer Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 7284–7288. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.396>
- L. Jimenez, E. Ramos, M.J. De la Torre, I. Perez, J. L. F. (2008). Bleaching of

- Soda Pulp of Fibres of *Musa Textilis* Nee (abaca) with Peracetic Acid. *Bioresource Technology*, 99, 1474–1480.
- Lakshmi Narayana, V., & Bhaskara Rao, L. (2021). A brief review on the effect of alkali treatment on mechanical properties of various natural fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 44, 1988–1994. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.117>
- Li, X., Tabil, L. G., & Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1), 25–33. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0042-3>
- Lienhard, J. H. (2020). *A Heat Transfer Textbook 5th Edition* (5th ed.). Phlogiston Press.
- Lim, Z. Y., Putra, A., Nor, M. J. M., & Yaakob, M. Y. (2018a). Sound absorption performance of natural kenaf fibres. *Applied Acoustics*, 130(June 2017), 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.09.012>
- Lim, Z. Y., Putra, A., Nor, M. J. M., & Yaakob, M. Y. (2018b). Sound absorption performance of natural kenaf fibres. *Applied Acoustics*, 130(September 2017), 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.09.012>
- Liu, K., Zhang, X., Takagi, H., Yang, Z., & Wang, D. (2014). Effect of chemical treatments on transverse thermal conductivity of unidirectional abaca fiber/epoxy composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 66, 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2014.07.018>
- Liu, X., Xiong, X., Pang, J., Wu, L., & Zhang, H. (2021). Airflow resistivity measurement and sound absorption performance analysis of sound-absorb cotton. *Applied Acoustics*, 179, 108060. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108060>
- Liu, X., Yan, X., Li, L., & Zhang, H. (2015a). Sound-Absorption Properties of Kapok Fiber Nonwoven Fabrics at Low Frequency. In *Journal of Natural Fibers* (Vol. 12, Issue 4, pp. 311–322).

<https://doi.org/10.1080/15440478.2014.919891>

- Liu, X., Yan, X., Li, L., & Zhang, H. (2015b). Sound-Absorption Properties of Kapok Fiber Nonwoven Fabrics at Low Frequency. *Journal of Natural Fibers*, 12(4), 311–322. <https://doi.org/10.1080/15440478.2014.919891>
- Lu, X., Kang, J., Zhu, P., Cai, J., Guo, F., & Zhang, Y. (2019). Influence of urban road characteristics on traffic noise. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 75(September), 136–155. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.026>
- Mahmud, S., Hasan, K. M. F., Jahid, A., & Mohiuddin, K. (2021). *Comprehensive review on plant fiber-reinforced polymeric biocomposites Resin Infusion under Flexible Tooling*.
- Mamtaz, H., Hosseini, M., Zaki, M., Narayana, S., Ghassem, M., & Al-atabi, M. (2017). Acoustic absorption of fibro-granular composite with cylindrical grains. *Applied Acoustics*, 126, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.05.012>
- Mamun AA, Heim HP, Faruk O, Bledzki AK (2015) *The use.pdf*. (n.d.).
- Mangal, R., Saxena, N. S., Sreekala, M. S., Thomas, S., & Singh, K. (2003). Thermal properties of pineapple leaf fiber reinforced composites. *Materials Science and Engineering: A*, 339(1–2), 281–285. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00166-1](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00166-1)
- Manik, T. N., Nuki, S. A., Fauziyah, N. A., Mashuri, Zainuri, M., & Darminto. (2021). Structure, dynamic-mechanical and acoustic properties of oil palm trunk modified by melamine formaldehyde. *Journal of Renewable Materials*, 9(9), 1647–1660. <https://doi.org/10.32604/jrm.2021.016089>
- Mansour, E., Loxton, C., Elias, R. M., & Ormondroyd, G. A. (2014). Assessment of health implications related to processing and use of natural wool insulation products. *Environment International*, 73, 402–412. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.08.004>
- Mari, E. L., Austria, C. O., Torres, A. S., & Emmanuel P. Domingo. (2019). Residual Grade and Waste Abaca Fibers as Reinforcement for Packaging

- and Printing/Writing Papers from Recycled Fiber. *Philippine Journal of Science*, 148(2), 349–358.
- Marissa A. Paglicawan, Carlo S. Emolaga, Johanna Marie B, S. and K. B. T. (2021). mechanical properties of abaca-glass fiber composites fabricated by vacuum-Assisted Resin Transfer Method. *Polymers*, 13, 2719. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym13162719>
- Mehrzad, S., Taban, E., Soltani, P., Samaei, S. E., & Khavanin, A. (2022). Sugarcane bagasse waste fibers as novel thermal insulation and sound-absorbing materials for application in sustainable buildings. In *Building and Environment* (Vol. 211). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108753>
- Menard, K. P. (2008). *Dynamic Mechanical Analysis* (second edi). CRC Press Taylor & Francis Group.
- Muhammad H.Hamidon, mohamed T.H. Sultan, Ahmad H. Ariffin, A. U. M. S. (2019). Effects of fibre treatment on mechanical properties of kenaf fibre reinforced composites_ a review _ Elsevier Enhanced Reader. *Journal of Materials Research and Technology*, 3327–3337.
- Navacerrada, M. A., Díaz, C., & Fernández, P. (2014). Characterization of a Material Based on Short Natural Figue Fibers. *BioResources*, 9(2), 3480–3496. <https://doi.org/10.15376/biores.9.2.3480-3496>
- Nindiyasari, F., Griesshaber, E., Zimmermann, T., Manian, A. P., Randow, C., Zehbe, R., Fernandez-Diaz, L., Ziegler, A., Fleck, C., & Schmahl, W. W. (2016). Characterization and mechanical properties investigation of the cellulose/gypsum composite. *Journal of Composite Materials*, 50(5), 657–672. <https://doi.org/10.1177/0021998315580826>
- Oroh, J., Sappu, F. P., & Lumintang, R. (2012). Analisis sifat mekanik material komposit dari serat sabut kelapa. *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*, 1(1), 1–10.
- Othmani, C., Taktak, M., Zein, A., Hentati, T., Elnady, T., Fakhfakh, T., & Haddar, M. (2016). Experimental and theoretical investigation of the acoustic performance of sugarcane wastes based material. *APPLIED*

- ACOUSTICS*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.02.005>
- Pertanian, kementerian pertanian badan L. (2020). *Musa textillis*. <https://www.litbang.pertanian.go.id/info-teknologi/4046/>
- Pertanian, kementerian pertanian badan L. (2021). *Abaka Dukung Industri Berbahan Baku Serat Alam*. 2020–2021. <https://www.litbang.pertanian.go.id/info-teknologi/4046/>
- Pratama, R. D., Farid, M., & Nurdiansah, H. (2017). Pengaruh Proses Alkalisasi terhadap Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 250–254. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24274>
- Pujari, S., Ramakrishna, A., & Balaram Padal, K. T. (2017). Investigations on Thermal Conductivities of Jute and Banana Fiber Reinforced Epoxy Composites. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 98(1), 79–83. <https://doi.org/10.1007/s40033-015-0102-8>
- Punyamurthy, R., Sampathkumar, D., Basavaraju, B., Patel, R., & Srinivasa C, V. (2014). Abaca Fiber Reinforced Epoxy Composites : Evaluation of Impact Strength International Journal of Sciences : Abaca Fiber Reinforced Epoxy Composites : Evaluation of Impact Strength. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research, December*, 305–317. <http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>
- Putra^a, A., Abdullah^a, Y., Efendy^a, H., Farid^a, W. M., Ayob^a, R., & Py^a, M. S. (2013). *Utilizing Sugarcane Wasted Fibers As A Sustainable Acoustic Absorber*. 53, 632–638. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.081>
- Radoor, S., & Parameswaranpillai, J. K. S. M. R. S. S. J. (2020). A review on the extraction of pineapple, sisal and abaca fibers and their use as reinforcement in polymer matrix. *Express Polymer Letters*, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3144/expresspolymett.2020.27>
- Rahman, M. B. N., & Sosiati, H. (2020). Pengaruh Perlakuan Sebelum Alkalisasi dan Waktu Alkalisasi terhadap Sifat Bending Komposit Serat Sisal / PMMA. *Semesta Teknika*, 23(1), 75–84. <https://doi.org/10.18196/st.231257>

- Rajak, Dipen Kumar, Durgesh D. Pagar, Pradeep L, M. (n.d.). *Fiber Reinforced Polymer Composites ,Manufacturing , Properties , and Applications.pdf*.
- Rajak, D. K., Menezes, P. L., & Linul, E. (2019). Fiber-Reinforced Polymer Composites : Manufacturing , Properties , and Applications. *Polymers*, 11. <https://doi.org/10.3390/polym11101667>
- Ramadevi, P., Sampathkumar, D., Srinivasa, C. V., & Bennehalli, B. (2012). Effect of alkali treatment on water absorption of single cellulosic abaca fiber. *BioResources*, 7(3), 3515–3524.
- Ramesh, M., Rajeshkumar, L., & V. Bhuvaneshwari. (2022). Leaf fibres as reinforcements in green composites: a review on processing. properties and applications. *Emergent Materials*, 5, 833-857. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42247-021-00310-6>
- Reddy, N., & Yang, Y. (2005). Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *Trends in Biotechnology*, 23(1), 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2004.11.002>
- Ren, S., Xin, F., Lu, T. J., & Zhang, C. (2017). NU SC. *Materials & Design*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.09.007>
- Rey Gozalo, G., & Gómez Escobar, V. (2021). Uncertainty evaluation of road traffic noise models in two Ibero-American cities. *Applied Acoustics*, 180, 108134. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108134>
- Rohit, K., & Savita Dixit. (2016). A Review - Future Aspect of Natural Fiber Reinforced Composite. *Polymers from Renewable Resources*, 7(2).
- Rwawiire, S., Tomkova, B., Militky, J., Hes, L., & Kale, B. M. (2017). Acoustic and thermal properties of a cellulose nonwoven natural fabric (barkcloth). *Applied Acoustics*, 116, 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.09.027>
- Saefullah, L., & Harsono, H. (2023). *Ballistic impact simulation on composite of abaca fiber / Hgm / epoxy / carbon fiber as body armor material □ Desain Sporty dan Stylish*. 1–4.
- Sanjay, M. ., Madhu, P., Jawaid, M., Senthamaraikannan, P., S. senthil, &

- Pradeep, S. (2017). Characterization and Properties of Natural Fiber Polymer Composites: A Comprehensive Review. *Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.101>
- Santiago, R., Hong, T. W., Azizan, N. Z. N., Andrew, A. M., Wahab, F., Seman, N. A. A., & Othman, N. S. (2021). The effect of stearic acid and different loading treated and untreated EFB fiber on the tensile, structural and chemical properties of polypropylene/ recycled acrylonitrile butadiene rubber/ empty fruit bunch composites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 765(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/765/1/012037>
- Saragih, S. W., Lubis, R., & Wirjosentono, B. (2018). Characteristic of abaca (*Musa textilis*) fiber from Aceh Timur as bioplastic Characteristic of Abaca (*Musa textilis*) Fiber from Aceh Timur as Bioplastic. *Transactions on Engineering and Sciences [1]* S. W. Saragih, R. Lubis, and B. Wirjosentono, “Characteristic of Abaca (*Musa Textilis*) Fiber from Aceh Timur as Bioplastic Characteristic of Abaca (*Musa Textilis*) Fiber from Aceh Timur as Bioplastic,” *Trans*, 020058(December).
- Saragih, S. W., Lubis, R., Wirjosentono, B., & Eddyanto. (2018). Characteristic of abaca (*Musa textilis*) fiber from Aceh Timur as bioplastic. *AIP Conference Proceedings*, 2049(December). <https://doi.org/10.1063/1.5082463>
- Sari, N. H., Wardana, I. N. G., Irawan, Y. S., & Siswanto, E. (2016). *Physical and Acoustical Properties of Corn Husk Fiber Panels. 2016*.
- Sari, N. H., Wardana, I. N. G., Irawan, Y. S., & Siswanto, E. (2017). *Corn Husk Fiber-Polyester Composites as Sound Absorber: Nonacoustical and Acoustical Properties. 2017*.
- Sawpan, M. A., Pickering, K. L., & Fernyhough, A. (2011). Effect of various chemical treatments on the fibre structure and tensile properties of industrial hemp fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(8), 888–895. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.03.008>

- Seisa, K., Chinnasamy, V., & Ude, A. U. (2022). Surface Treatments of Natural Fibres in Fibre Reinforced Composites: A Review. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 30(2), 82–89. <https://doi.org/10.2478/ftce-2022-0011>
- Sekar, V., Fouladi, M. H., Namasivayam, S. N., & Sivanesan, S. (2019). Additive Manufacturing: A Novel Method for Developing an Acoustic Panel Made of Natural Fiber-Reinforced Composites with Enhanced Mechanical and Acoustical Properties. *Journal of Engineering (United Kingdom)*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4546863>
- Series, C. (2021). *Metal incorporated Philippine Abaca fiber (Manila hemp) as a potential novel filter for water disinfection Metal incorporated Philippine Abaca fiber (Manila hemp) as a potential novel filter for water disinfection*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1731/1/012064>
- Setiawan, D. (2015). KARAKTERISASI SERAT ABACA SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL PENGUAT KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN. *INDEPT*, 4(1).
- Silva, C. C. B. da, Terashima, F. J. H., Barbieri, N., & Lima, K. F. de. (2019). Sound absorption coefficient assessment of sisal, coconut husk and sugar cane fibers for low frequencies based on three different methods. *Applied Acoustics*, 156, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.07.001>
- Simbana, E. A., Ordonez, P. E., Ordonez, Y. F., Guerrero, V. H., Mera, M. C., & Carvajal, E. A. (2020). Abaca: Cultivation, obtaining fibre and potential uses. *Handbook of Natural Fibres: Second Edition*, 1, 197–218. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00008-6>
- Sinha, A. K., Bhattacharya, S., & Narang, H. K. (2021). *Abaca fibre reinforced polymer composites : a review*. 4569–4587.
- Sinha, A. K., Narang, H. K., & Bhattacharya, S. (2017). *ScienceDirect Effect of Alkali Treatment on Surface Morphology of Abaca Fibre*. 4, 8993–8996.
- Sivasangar, S., Taufiq-Yap, Y. H., Zainal, Z., & Kitagawa, K. (2013). Thermal behavior of lignocellulosic materials under aerobic/anaerobic environments. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(36), 16011–16019.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.09.083>

- Sivasankar, G. A., Arun Karthick, P., Boopathi, C., Brindha, S., Nirmalraj, R. J. T., & Benham, A. (2023). Evaluation and comparison on mechanical properties of abaca and hemp fiber reinforced hybrid epoxy resin composites. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.400>
- Soltani, P., Azimian, M., Wiegmann, A., & Zarrebini, M. (2018). Experimental and computational analysis of sound absorption behavior in needled nonwovens. *Journal of Sound and Vibration*, 426, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.04.007>
- Sudjindro, U. S.-B. B. heliyanto and. (2004). *Eksplorasi Sumber Genetik Abaca di Kepulauan Sangihe-Talaud*. Buletin Plasma Nutfah vol.10 No 2.
- Suhelmidawati and Etri. (2016). Tensile Tests of Abaca Fiber as One of Alternative Materials for Retrofitting of Unreinforced Masonry (URM) Houses. *Rekayasa Sipil Volume, XIII(2)*, 22–28.
- Swift, L., & Medical, N. (2014). *Enzymatic degradation of cellulosic wastes*. September.
- Taban, E., Khavanin, A., Ohadi, A., Putra, A., & Jonidi, A. (2019). Study on the acoustic characteristics of natural date palm fibers : Experimental and theoretical approaches. *Building and Environment*, 161(April), 106274. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106274>
- Taban, E., Soltani, P., Berardi, U., Putra, A., Mohammad, S., Faridan, M., Ehsan, S., & Khavanin, A. (2020). *Measurement , modeling , and optimization of sound absorption performance of Kenaf fibers for building applications*. 180(June).
- Tampi, R., Parung, H., Djamaluddin, R., & Amiruddin, A. A. (2020). Reinforced concrete mixture using abaca fiber. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012060>
- Tang, X., & Yan, X. (2017). Acoustic energy absorption properties of fibrous

- materials: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 101(July), 360–380.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.07.002>
- Tang, X., Zhang, X., Zhang, H., Zhuang, X., & Yan, X. (2018). Corn husk for noise reduction: Robust acoustic absorption and reduced thickness. In *Applied Acoustics* (Vol. 134, pp. 60–68).
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.01.012>
- Teramoto, N., Urata, K., Ozawa, K., & Shibata, M. (2004). Biodegradation of aliphatic polyester composites reinforced by abaca fiber. *Polymer Degradation and Stability*, 86(3), 401–409.
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.04.026>
- Texcoms. (2019). *Textile Fibres : Textile Technology Knowledge Series 1. I*, 1–301. <https://www.texcoms.com/wp-content/uploads/2019/06/Textile-Fibres.pdf>
- Thakur, V. K., Thakur, M. K., Raghavan, P., & Kessler, M. R. (2014). Progress in green polymer composites from lignin for multifunctional applications: A review. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2(5), 1072–1092.
<https://doi.org/10.1021/sc500087z>
- Thangapandian, P., RajKumar, P., Kailasavalli, S., Paulsingarayar, S., & Seenivasan, S. (2024). Effects of chemical treatment on natural (rice straw/neem saw dust) fiber morphology and mechanical properties of its composite material. *Materials Letters*, 364(November 2023), 136288.
<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2024.136288>
- Thilagavathi, G., Pradeep, E., Kannaian, T., & Sasikala, L. (2010). Development of natural fiber nonwovens for application as car interiors for noise control. *Journal of Industrial Textiles*, 39(3), 267–278.
<https://doi.org/10.1177/1528083709347124>
- Tracy, J. (2012). Advice for Parents of Children with Hearing Loss Audiogram of Familiar Sounds. *American Academy of Audiology*, 213, 748–5481.
<http://www.jtc.org/wp->

content/uploads/2015/11/Audiogram_What_Does_Child_Hear.pdf

- Tye, R. P. (1992). The Measurement of Thermal Conductivity by the Comparative Method. *Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods*, 77–97. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3286-6_3
- Ui, F. T. (2010). *Pengembangan komposit...*, Klemens, FT UI, 2009.
- Valášek, P., Müller, M., Šleger, V., Kolář, V., Hromasová, M., D'amato, R., & Ruggiero, A. (2015). Influence of alkali treatment on the microstructure and mechanical properties of coir and abaca fibers. *Materials*, 14(10), 27–35. <https://doi.org/10.3390/ma14102636>
- Veeraprabahar, J., Mohankumar, G., Senthil Kumar, S., & Sakthivel, S. (2022). Development of natural coir/jute fibers hybrid composite materials for automotive thermal insulation applications. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 17. <https://doi.org/10.1177/15589250221136379>
- Vijaya Ramnath, B., Junaid Kokan, S., Niranjana Raja, R., Sathyanarayanan, R., Elanchezhian, C., Rajendra Prasad, A., & Manickavasagam, V. M. (2013). Evaluation of mechanical properties of abaca-jute-glass fibre reinforced epoxy composite. *Materials and Design*, 51, 357–366. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.102>
- Vijaya Ramnath, B., Manickavasagam, V. M., Elanchezhian, C., Vinodh Krishna, C., Karthik, S., & Saravanan, K. (2014). Determination of mechanical properties of intra-layer abaca-jute-glass fiber reinforced composite. *Materials and Design*, 60, 643–652. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.061>
- Vijayalakshmi, K. (2014). Abaca Fibre. *Transactions on Engineering and Sciences*, 2(9), 16–19.
- Vilaseca, F., Valadez-Gonzalez, A., Herrera-Franco, P. J., Pèlach, M. À., López, J. P., & Mutjé, P. (2010). Biocomposites from abaca strands and polypropylene. Part I: Evaluation of the tensile properties. *Bioresource Technology*, 101(1), 387–395.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.066>

Wadje, P. R. (2009). Textile - Fibre to fabric processing. *Journal of the Institution of Engineers (India), Part TX: Textile Engineering Division*, 90(AUG.), 28–36.

Wang, H., Chu, W., & Chen, G. (2019). A Brief Review on Measuring Methods of Thermal Conductivity of Organic and Hybrid Thermoelectric Materials. *Advanced Electronic Materials*, 5(11).
<https://doi.org/10.1002/aelm.201900167>

Watkins, D., Nuruddin, M., Hosur, M., Tcherbi-Narteh, A., & Jeelani, S. (2015). Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(1), 26–32.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.10.009>

William D. Callister, J. (1991). Materials Science and Engineering. In *Journal of Materials Science* (Vol. 26, Issue 14). <https://doi.org/10.1007/BF01184995>

Wunna, K., Nakasaki, K., Auresenia, J. L., Abella, L. C., & Gaspillo, P. A. D. (2017). Effect of alkali pretreatment on removal of lignin from sugarcane bagasse. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 1831–1836.
<https://doi.org/10.3303/CET1756306>

Yang, W. D., & Li, Y. (2012). Sound absorption performance of natural fibers and their composites. *Science China Technological Sciences*, 55(8), 2278–2283. <https://doi.org/10.1007/s11431-012-4943-1>

Yang, X. H., Ren, S. W., Wang, W. B., Liu, X., Xin, F. X., & Lu, T. J. (2015). A simplistic unit cell model for sound absorption of cellular foams with fully / semi-open cells. *118*, 276–283.
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2015.09.009>

Yogeshwaran, S., Natrayan, L., Udhayakumar, G., Godwin, G., & Yuvaraj, L. (2020a). Effect of waste tyre particles reinforcement on mechanical properties of jute and abaca fiber- epoxy hybrid composites with pre-treatment. In *Materials Today: Proceedings*.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.584>

- Yogeshwaran, S., Natrayan, L., Udhayakumar, G., Godwin, G., & Yuvaraj, L. (2020b). Effect of waste tyre particles reinforcement on mechanical properties of jute and abaca fiber - Epoxy hybrid composites with pre-treatment. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 1377–1380. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.584>
- Yogeshwaran, S., Natrayan, L., Udhayakumar, G., Godwin, G., & Yuvaraj, L. (2020c). Effect of waste tyre particles reinforcement on mechanical properties of jute and abaca fiber - Epoxy hybrid composites with pre-treatment. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 1377–1380. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.584>
- Zhang, B., Huang, C., Zhao, H., Wang, J., Yin, C., Zhang, L., & Zhao, Y. (2019). Effects of cellulose nanocrystals and cellulose nanofibers on the structure and properties of polyhydroxybutyrate nanocomposites. *Polymers*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/polym11122063>
- Zhang, Y., Li, H., Abdelhady, A., & Du, H. (2020). Laboratorial investigation on sound absorption property of porous concrete with different mixtures. *Construction and Building Materials*, 259, 120414. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120414>
- Zhou, Y., Fan, M., Chen, L., & Zhuang, J. (2015). Lignocellulosic fibre mediated rubber composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.02.028>
- Zulkifli, R., Jailani, M., & Nor, M. (2010). *Noise Control Using Coconut Coir Fiber Sound Absorber with Porous Layer Backing and Perforated Panel*. 7(2), 260–264.

Publikasi

Seminar international

1. Indrawati, S., Abidah, D. A., Yuwana, L., Prajitno, G., Suyatno, Zainuri, M., & Darminto. (2023). **Effect of Fiber's Size on Acoustic Absorption of Abaca Fiber/Epoxy Resin Composites**. *Key Engineering Materials*, 951, 59–64. <https://doi.org/10.4028/p-N7Buxr> (has been published)
2. Indrawati, S., Maligi, A., Zainuri, M., & Darminto. (2023). **Development of natural fibers from banana's stem as composite reinforcer**. 020011(September 2020), *AIP Conference Proceedings* 2604, 020011 (2023). <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0115270> (has been published)
3. Indrawati, S., Yuwana, L., Suyatno, & Zainuri, M. (2024). **The Characterization of Structures and Porosity of Abaca Fiber**. *Journal of Physics: Conference Series*, 2780(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2780/1/012005> (has been published)

Jurnal International

1. Indrawati, S., Yuwana, L., & Zainuri, M. (2024). **Abaca Fiber as a Potential Reinforcer for Acoustic Absorption Material at Middle-High Frequencies**. In *Journal of Renewable Materials* (v. 12, n. 5, p. 909). <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.048452> (has been published)
2. Indrawati, S., Allif Rosydy, Suyatno, Zainuri, M., & Darminto (2024). **Acoustic, Thermal and Mechanical Performance of Abaca Fiber/Epoxy Composites for Sound Absorption Applications**. (the revision process of the "Building Acoustics" journal)
3. Indrawati, S., Yuwana, L., & Zainuri, M., & Darminto (2024). **Optimizing the Sound Absorption Coefficient of Abaca Fibers for Low Frequencies Using the Delany-Bazley Model**. (drafting process)

BIODATA PENULIS



1. **Nama Lengkap** : Susilo Indrawati
2. **Jenis Kelamin** : Perempuan
3. **Tempat/tanggal lahir** : Sumenep, 20 Agustus 1986
4. **Pekerjaan** : Dosen
5. **NIP** : 1986201812001
6. **Fakultas/Jurusan** : FSAD/Fisika
7. **Perguruan Tinggi** : ITS Surabaya
8. **Almt Rmh & No.Telp.** : Jl. Tambak medokan ayu. Perum Bumi Ayu Indah no 24

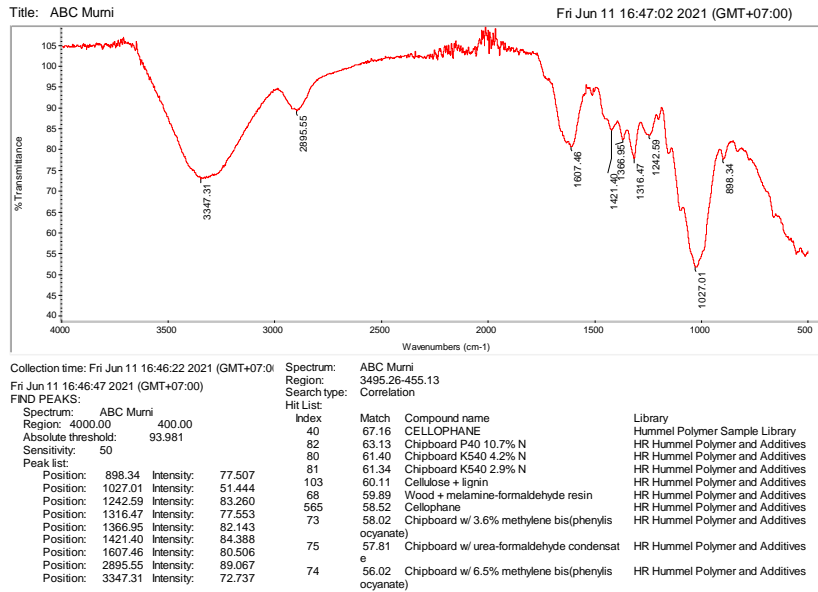
Riwayat Pendidikan

1. SDN Parsanga 1, Tahun 1995
2. SMPN 1 Sumenep Tahun 1998
3. SMAN 1 Sumenep, Tahun 2001
4. S1 Fisika FMIPA-ITS Surabaya, Tahun 2004
5. S2 Fisika FMIPA-ITS Surabaya, Tahun 2009
6. S3 Fisika FMIPA-ITS Surabaya, Tahun 2021

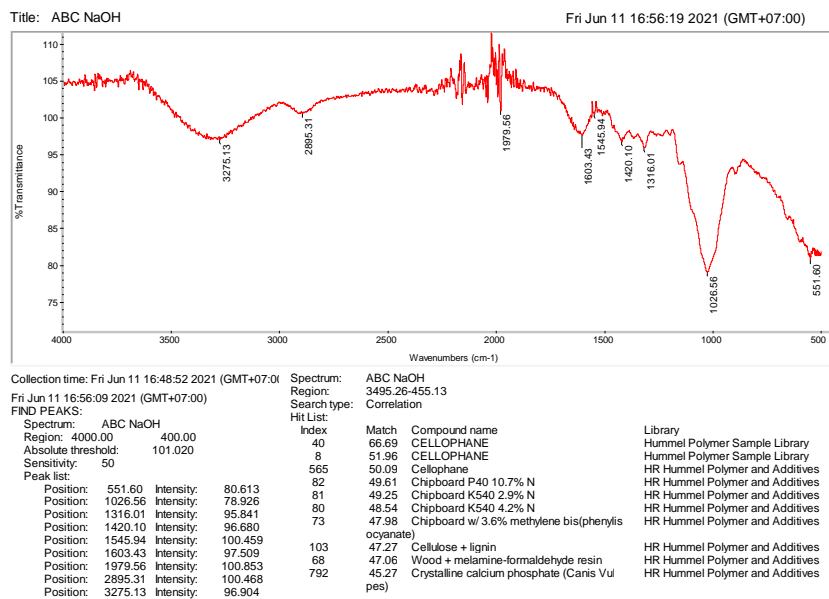
LAMPIRAN I

Karakterisasi Gugus Fungsi

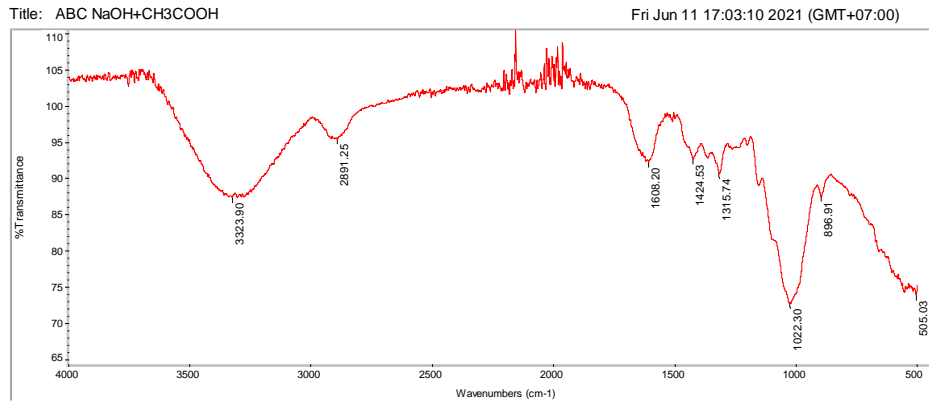
1.1 Data serat abaka murni (AFUT)



1.2 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi (AFTA)



1.3 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi dan asam (AFAH)



Collection time: Fri Jun 11 17:02:19 2021 (GMT+07:00) Spectrum: ABC NaOH+CH3COOH
 Fri Jun 11 17:02:59 2021 (GMT+07:00) Region: 3495.26-455.13
 FIND PEAKS: Search type: Correlation

Position	Intensity	Match Index	Compound name	Library
505.03	73.760	40	CELLOPHANE	Hummel Polymer Sample Library
896.91	87.349	82	Chipboard P40 10.7% N	HR Hummel Polymer and Additives
1022.30	72.563	80	Chipboard K540 4.2% N	HR Hummel Polymer and Additives
1315.74	90.593	68	Wood + melamine-formaldehyde resin	HR Hummel Polymer and Additives
1424.53	92.555	81	Chipboard K540 2.9% N	HR Hummel Polymer and Additives
1608.20	92.111	8	CELLOPHANE	Hummel Polymer Sample Library
2891.25	95.255	103	Cellulose + lignin	HR Hummel Polymer and Additives
3323.90	87.174	73	Chipboard w/ 3.6% methylene bis(phenylisocyanate)	HR Hummel Polymer and Additives
		75	Chipboard w/ urea-formaldehyde condensate	HR Hummel Polymer and Additives

Spectrum: ABC NaOH+CH3COOH
 Region: 4000.00 400.00
 Absolute threshold: 97.633
 Sensitivity: 50
 Peak list:

LAMPIRAN II

Karakterisasi Derajat Kekristalan

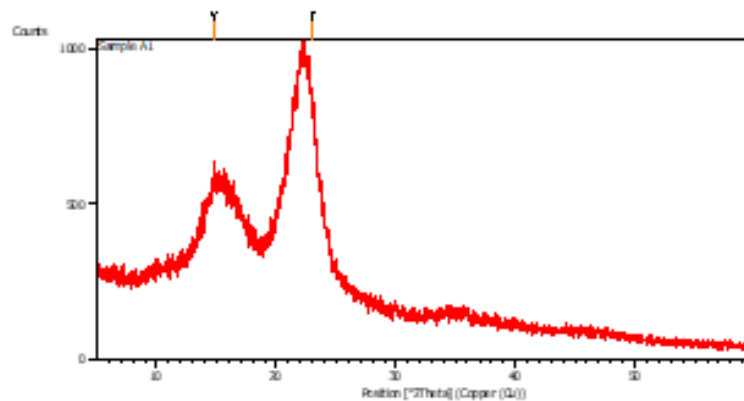
2.1 Data serat abaka murni (AFUT)

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

```

Dataset Name      Sample A1
File name         E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2021\Nopenber\Susilo\Sample
                  A1\Sample A1.ed
Comment           Configuration-Reflection-Transmission Sp
                  Goniometer-PW3050/60 (Theta/Theta), Mini
Measurement Date / Time  11/8/2021 9:51:00 AM
Raw Data Origin    PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis         Gonio
Start Position [°2Th.] 5.0084
End Position [°2Th.]  59.9864
Step Size [°2Th.]   0.0170
Scan Step Time [s]  10.1500
Scan Type         Continuous
Offset [°2Th.]     0.0000
Divergence Slit Type Fixed
Divergence Slit Size [°] 0.2500
Specimen Length [mm] 10.00
Receiving Slit Size [mm] 12.7500
Measurement Temperature [°C] -273.15
Anode Material     Cu
K-Alpha1 [Å]      1.54060
K-Alpha2 [Å]      1.54443
K-Beta [Å]        1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000
Generator Settings 30 mA, 40 kV
Diffractometer Type XPert MPD
Diffractometer Number 1
Goniometer Radius [mm] 200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00
    
```

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

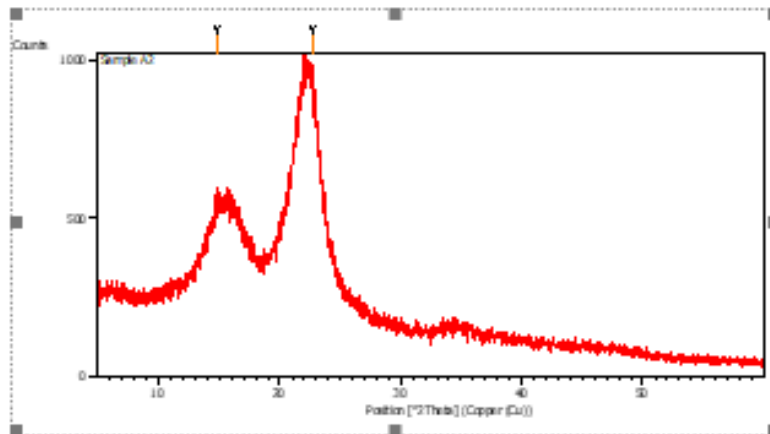
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.7766	132.11	0.2676	5.99516	47.44
23.0109	278.47	0.5353	3.86510	100.00

2.2 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi (AFTA)

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name Sample A2
 File name E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2021\Nopember\Susilo\Sample A2\Sample A2.rd
 Comment Configuration=Reflection-Transmission Sp
 Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
 Measurement Date / Time 11/8/2021 10:21:00 AM
 Raw Data Origin PHILIPS-binary (scan) (.RD)
 Scan Axis Gonio
 Start Position [°2Th.] 5.0084
 End Position [°2Th.] 59.9864
 Step Size [°2Th.] 0.0170
 Scan Step Time [s] 10.1500
 Scan Type Continuous
 Offset [°2Th.] 0.0000
 Divergence Slit Type Fixed
 Divergence Slit Size [°] 0.2500
 Specimen Length [mm] 10.00
 Receiving Slit Size [mm] 12.7500
 Measurement Temperature [°C] -273.15
 Anode Material Cu
 K-Alpha1 [Å] 1.54060
 K-Alpha2 [Å] 1.54443
 K-Beta [Å] 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type XPert MPD
 Diffractometer Number 1
 Goniometer Radius [mm] 200.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



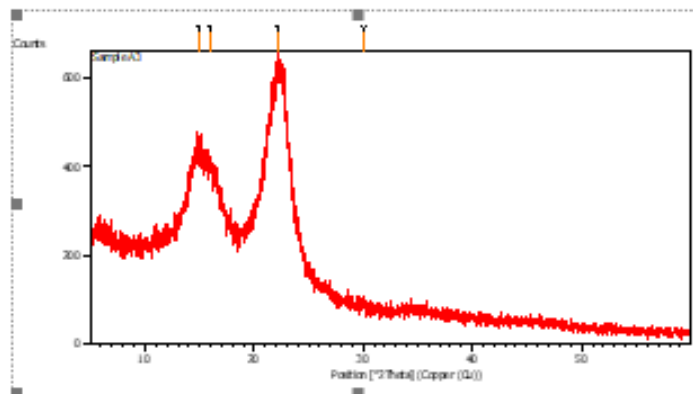
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.8817	107.29	0.5353	5.95306	31.04
22.7120	345.67	0.4015	3.91529	100.00

2.3 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi dan asam (AFAH)

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name Sample A3
 File name E:\DATA PENGULIAN\Pengujian 2021\Nopember\Susilo\Sample
 A3\Sample A3.rd
 Comment Configuration=Reflection-Transmission Sp
 Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
 11/8/2021 12:52:00 PM
 PHILIPS-binary (scan) (.RD)
 Measurement Date / Time
 Raw Data Origin
 Scan Axis Gonio
 Start Position [°2Th.] 5.0084
 End Position [°2Th.] 59.9864
 Step Size [°2Th.] 0.0170
 Scan Step Time [s] 10.1500
 Scan Type Continuous
 Offset [°2Th.] 0.0000
 Divergence Slit Type Fixed
 Divergence Slit Size [°] 0.2500
 Specimen Length [mm] 10.00
 Receiving Slit Size [mm] 12.7500
 Measurement Temperature [°C] -273.15
 Anode Material Cu
 K-Alpha1 [Å] 1.54060
 K-Alpha2 [Å] 1.54443
 K-Beta [Å] 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type XPert MPD
 Diffractometer Number 1
 Goniometer Radius [mm] 200.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00
Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



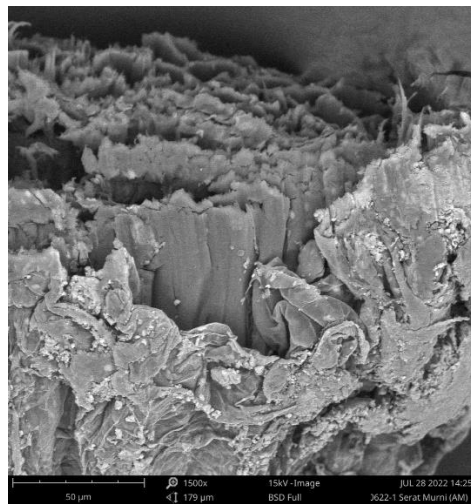
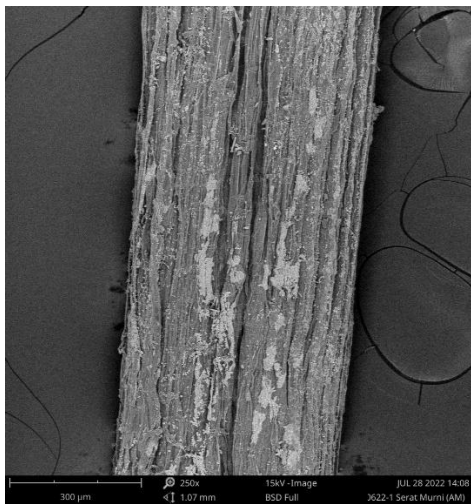
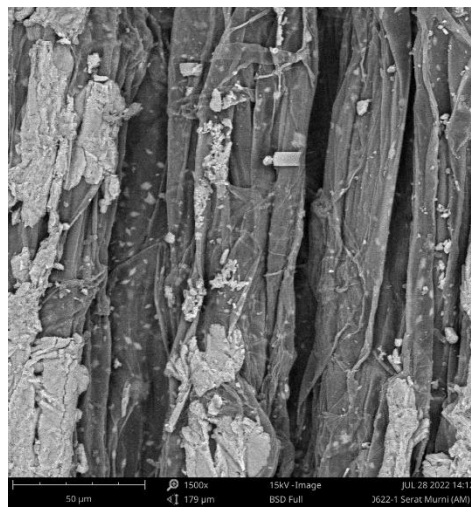
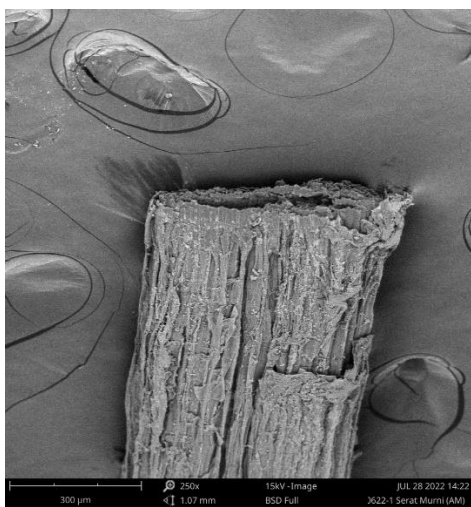
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.8805	148.20	0.8029	5.95353	100.00
15.9458	110.36	0.9368	5.55813	74.46
22.0542	136.44	0.0900	4.02722	92.06

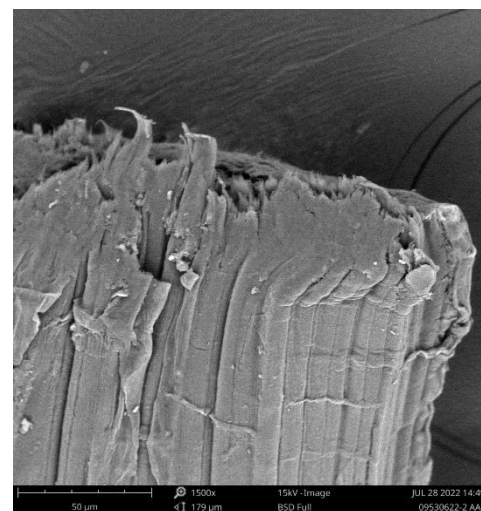
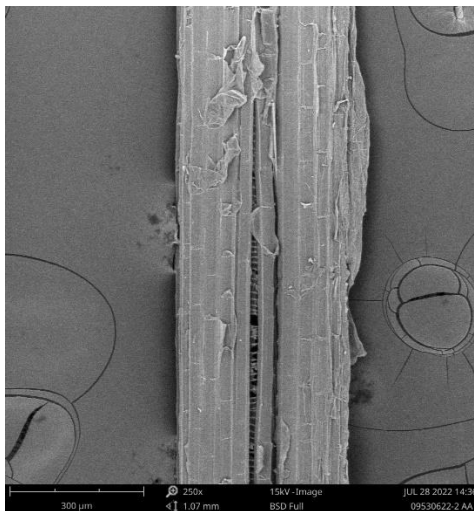
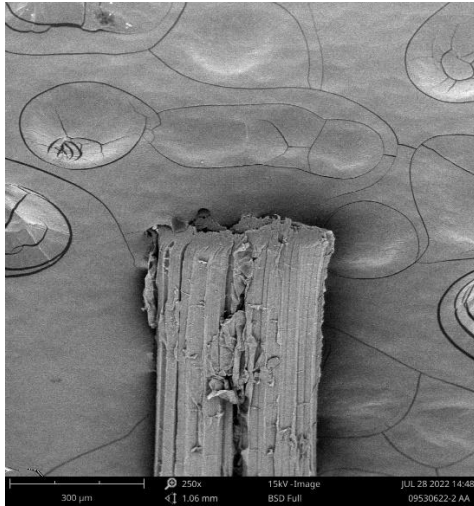
LAMPIRAN III
Morfologi Permukaan SEM dan BET

SEM (Scanning Electron Microscope)

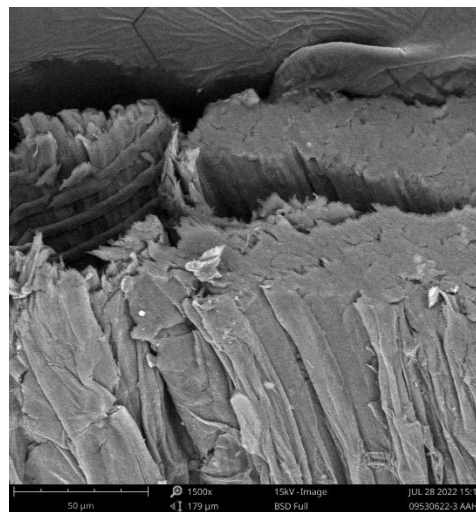
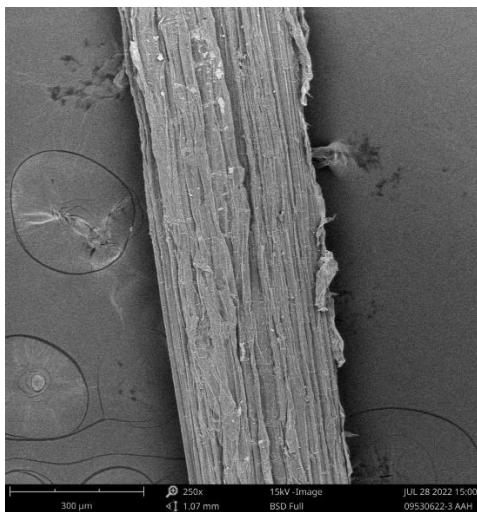
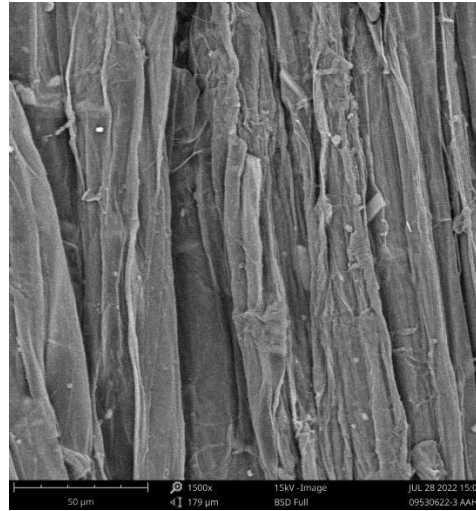
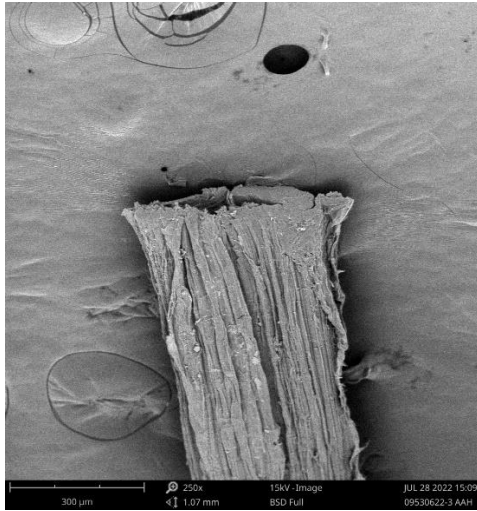
3.1 Data serat abaka murni (AFUT)



3.2 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi (AFTA)



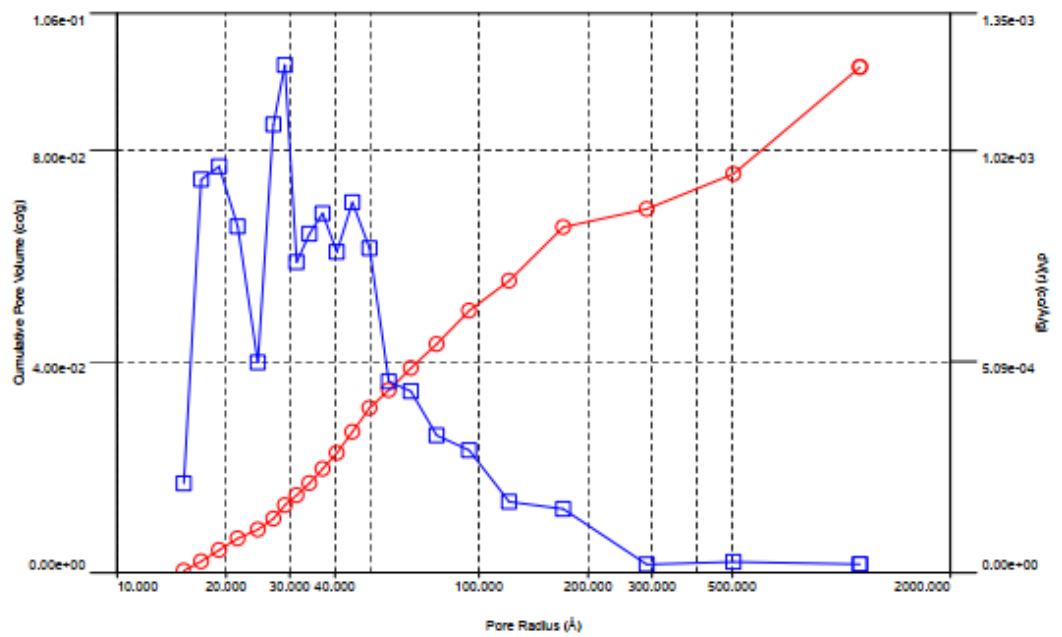
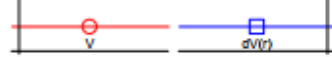
3.3 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi dan asam (AFAH)



BET (Brunauer-Emmett-Teller)

3.4 Data serat abaka murni (AFUT)

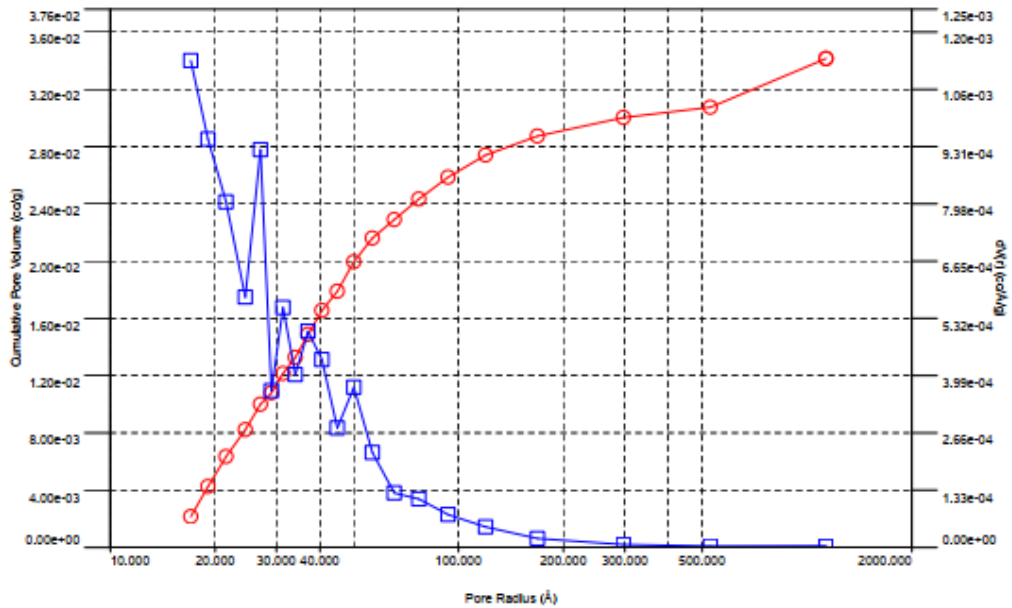
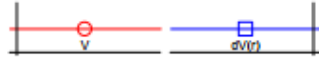
Data Reduction Parameters			
t-Method	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
BJH/DH method	Calc. method: de Boer	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
Adsorbate	Moving pt. avg.: off	Temperature: 77.350K	
	Nitrogen	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Molec. Wt.: 28.013		



BJH adsorption summary	
Surface Area =	28.629 m ² /g
Pore Volume =	0.096 cc/g
Pore Radius Dv(r) =	29.060 Å

3.5 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi (AFTA)

		Data Reduction Parameters:	
t-Method	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
BJH/DH method	Calc. method: de Boer	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
Adsorbate	Moving pt. avg.: off	Temperature 77.350K	
	Nitrogen	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Molec. Wt.: 28.013		



BJH adsorption summary	
Surface Area =	16.983 m ² /g
Pore Volume =	0.034 cc/g
Pore Radius Dv(r) =	17.036 Å

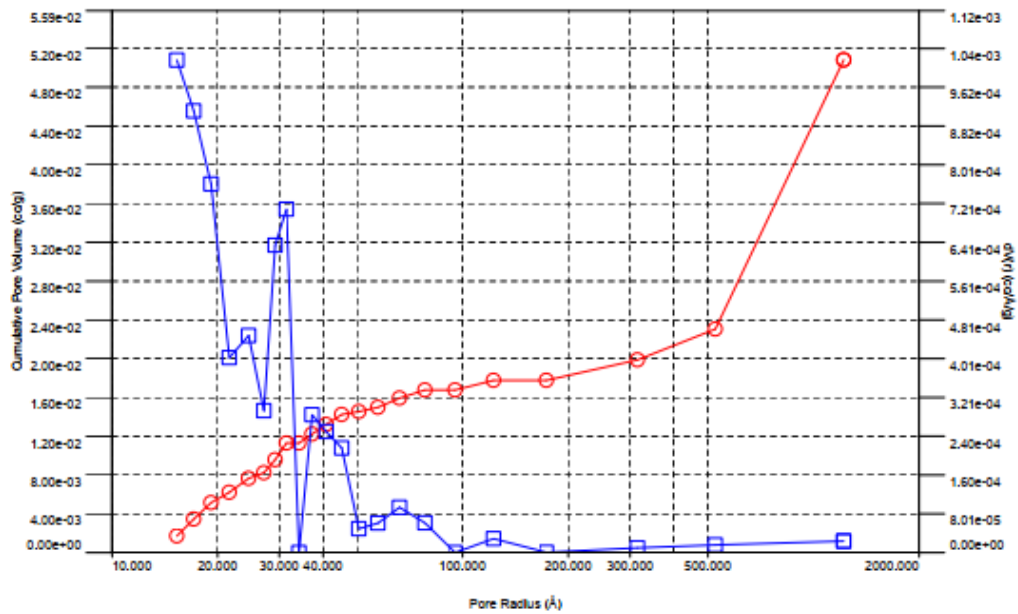
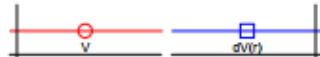
CONFIDENTIAL: AFTACORP, Advanced Fibre Analysis and Research Institute © 2002/07, Confidentiality Indicators under 3A

Report Id: {1095325230:20220712 080216156} Page 1 of 1

Activate Windows

3.6 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi dan asam (AFAH)

		Data Reduction Parameters	
<u>L-Method</u>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
<u>BJH/DH method</u>	Calc. method: de Boer	Ignoring P-lags below 0.35 P/Po	
<u>Adsorbata</u>	Moving pt. avg.: off	Temperature: 77.350K	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Nitrogen	Cross Section: 16.200 Å ²	
	Molec. Wt.: 28.013		



<u>BJH adsorption summary</u>	
Surface Area =	13.721 m ² /g
Pore Volume =	0.051 cc/g
Pore Radius Dv(r) =	15.310 Å

LAMPIRAN IV
Kandungan Senyawa

LAPORAN HASIL ANALISIS

NO : 20220020/R.1/T.1/R.1/TT.150803/2022

1. Data Konsumen
 Nama : Susilo Indrawati
 Instansi : Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Alamat : Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota SBY, Jawa Timur 60111
 Telepon : 081357361312
 Status : Mahasiswa S-3
 Keperluan Analisis : Uji Kualitas
2. Sampling Dilakukan Oleh : Konsumen
3. Identifikasi Sampel
 Nama Sampel : Serat Pisang (*Serat Murni; Hidrolisis 1 jam; Alkalisasi 1 jam*)
 Wujud : Padat
 Warna : Cokelat
 Bau : Tidak Ada Bau
4. Prosedur Analisis : Dilakukan oleh Unit Analisis dan Pengukuran Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya Malang
5. Penyampaian Laporan Hasil Analisis : Dikirim
6. Tanggal Terima Sampel : 13 April 2022
7. Data Hasil Analisis

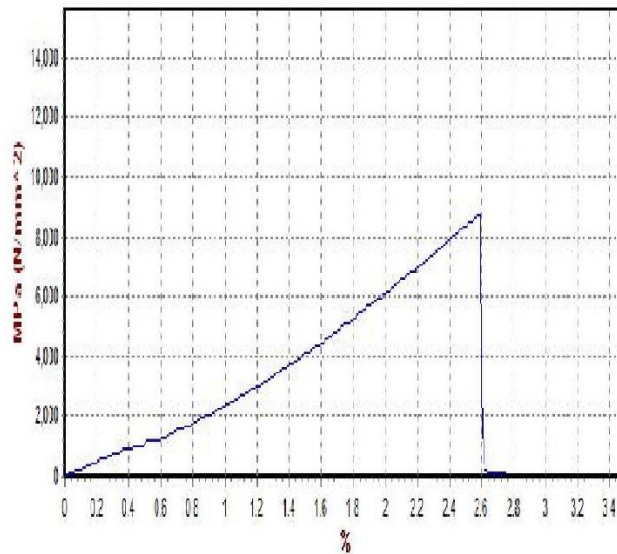
No	Kode	Parameter	Hasil Analisis		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1.	Serat murni	Selulosa	72,25	%	-	Gravimetri
		hemiselulosa	8,56	%	-	Gravimetri
		lignin	8,69	%	-	Gravimetri
2.	Hidrolisis 1 jam	Selolsa	71,91	%	-	Gravimetri
		Hemiselulosa	14,05	%	-	Gravimetri
		lignin	4,14	%	-	Gravimetri
3.	Alkalisasi 1 jam	Selolsa	73,23	%	-	Gravimetri
		Hemiselulosa	9,06	%	-	Gravimetri
		lignin	9,63	%	-	Gravimetri

LAMPIRAN V

Pengujian Mekanik

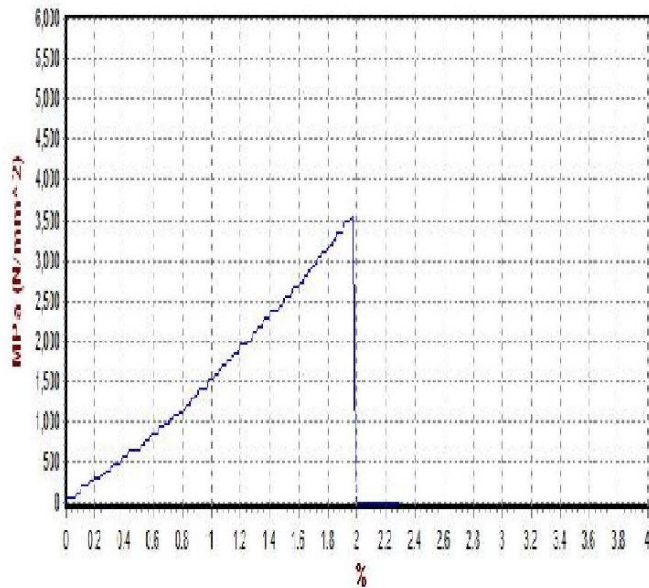
3.7 Data serat abaka murni (AFUT)

Specimens	Area mm ²	Max Force N	Yield Strength N/mm ²	Tensile Strength N/mm ²	Young's Modulus (E) N/mm ²	Elongation %
ABACA	0.002	17.2	1955.87	8743.89	370128.00	2.76



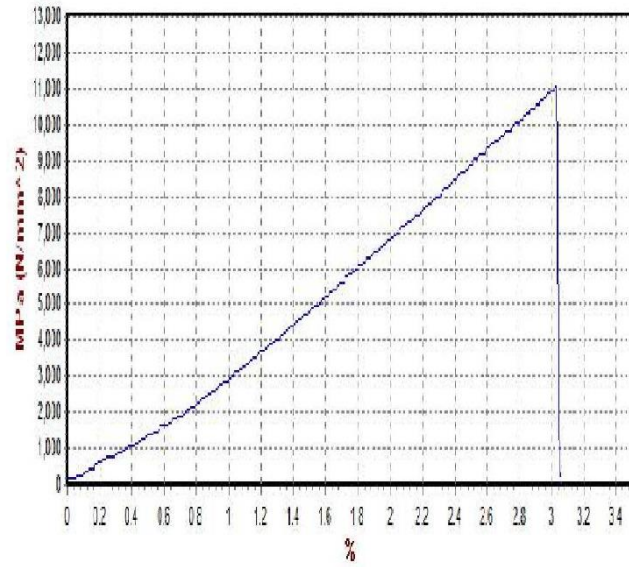
3.8 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi (AFTA)

Specimens	Area mm ²	Max Force N	Yield Strength N/mm ²	Tensile Strength N/mm ²	Young's Modulus (E) N/mm ²	Elongation %
ABACA	0.002	7.0	943.42	3543.58	188743.98	2.30



3.9 Data serat abaka menggunakan perlakuan alkalisasi dan asam (AFAH)

Specimens	Area mm ²	Max Force N	Yield Strength N/mm ²	Tensile Strength N/mm ²	Young's Modulus (E) N/mm ²	Elongation %
ABACA	0.002	21.7	4855.16	11067.92	393683.06	3.24



LAMPIRAN VI

Pengujian Konduktivitas termal

Hasil pengujian berupa manual

Waktu = 08.30 - 09.00 WIB. tgl. 13-4-2023. - 14-4-2023

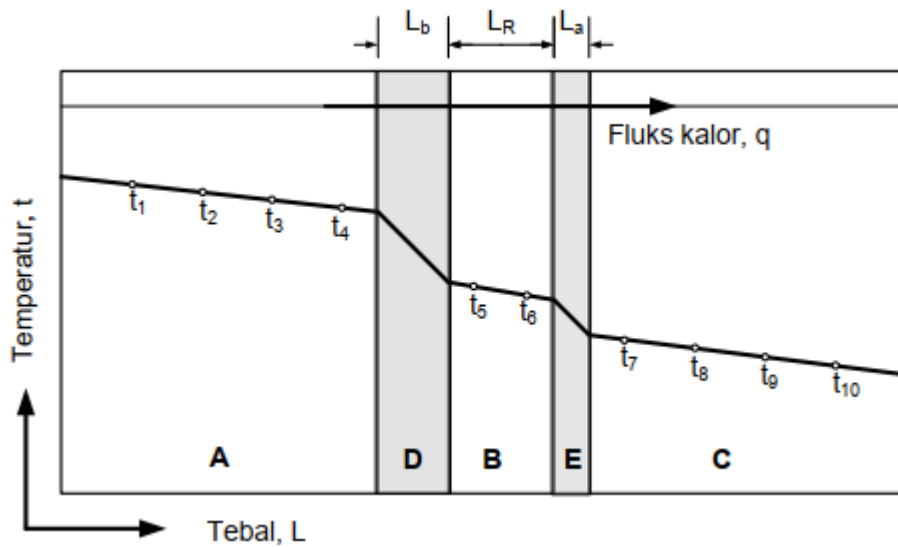
AFTA 80 setting temperatur 80°C.

	AFAH 70	AFUT 80	APAH 60	AFAH 80
T1 = 74,9	t1 = 74,8	t1 = 74,8	t1 = 74,8	t1 = 74,8
T2 = 74,7	t2 = 74,6	t2 = 74,6	t2 = 74,6	t2 = 74,7
T3 = 74,6	t2 = 74,4	t3 = 74,5	t3 = 74,4	t3 = 74,5
T4 = 74,5	t4 = 74,2	t4 = 74,4	t4 = 74,2	t4 = 74,4
T5 = 34,9	t5 = 38,6	t5 = 39,8	t5 = 38,7	t5 = 39,1
T6 = 34,3	t6 = 38,5	t6 = 39,8	t6 = 38,6	t6 = 39,0
T7 = 26,7	t7 = 26,9	t7 = 27,1	t7 = 26,5	t7 = 26,6
T8 = 26,7	t8 = 26,9	t8 = 27,0	t8 = 26,4	t8 = 26,6
T9 = 26,7	t9 = 26,8	t9 = 26,9	t9 = 26,3	t9 = 26,6
T10 = 26,7	t10 = 26,8	t10 = 26,9	t10 = 26,3	t10 = 26,5

Waktu = 08.30 - 09.00 WIB. tgl. 13-4-2023. - 14-4-2023

AFTA 80 setting temperatur 80°C.

	AFAH 70	AFUT 80	APAH 60	AFAH 80
T1 = 74,9	t1 = 74,8	t1 = 74,8	t1 = 74,8	t1 = 74,8
T2 = 74,7	t2 = 74,6	t2 = 74,6	t2 = 74,6	t2 = 74,7
T3 = 74,6	t2 = 74,4	t3 = 74,5	t3 = 74,4	t3 = 74,5
T4 = 74,5	t4 = 74,2	t4 = 74,4	t4 = 74,2	t4 = 74,4
T5 = 34,9	t5 = 38,6	t5 = 39,8	t5 = 38,7	t5 = 39,1
T6 = 34,3	t6 = 38,5	t6 = 39,8	t6 = 38,6	t6 = 39,0
T7 = 26,7	t7 = 26,9	t7 = 27,1	t7 = 26,5	t7 = 26,6
T8 = 26,7	t8 = 26,9	t8 = 27,0	t8 = 26,4	t8 = 26,6
T9 = 26,7	t9 = 26,8	t9 = 26,9	t9 = 26,3	t9 = 26,6
T10 = 26,7	t10 = 26,8	t10 = 26,9	t10 = 26,3	t10 = 26,5



Dengan menggunakan persamaan

$$\lambda = \frac{L_b - L_a}{\left\{ \frac{L_b}{\lambda_{b'}} - \frac{L_a}{\lambda_{a'}} \right\}} \text{ (kcal/m.jam.}^\circ\text{C)}$$

Di mana

$$\lambda_{a'} = \frac{\Delta t_R L_a}{\Delta t_a L_R} \lambda_R \quad \text{dan} \quad \lambda_{b'} = \frac{\Delta t_R L_b}{\Delta t_b L_R} \lambda_R$$

$$\Delta t_R = \frac{\Delta t_{1,2} + \Delta t_{2,3} + \Delta t_{3,4} + \Delta t_{7,8} + \Delta t_{8,9} + \Delta t_{9,10}}{6}$$

Sehingga diperoleh data

Sampel	Konduktivitas termal <i>kcal/m.jam.°C</i>
AFUT(80)	0.099688
AFTA(80)	0.043761
AFAH(80)	0.077973
AFAH(70)	0.104575
AFAH(60)	0.122079

LAMPIRAN VII
Pengujian Akustik

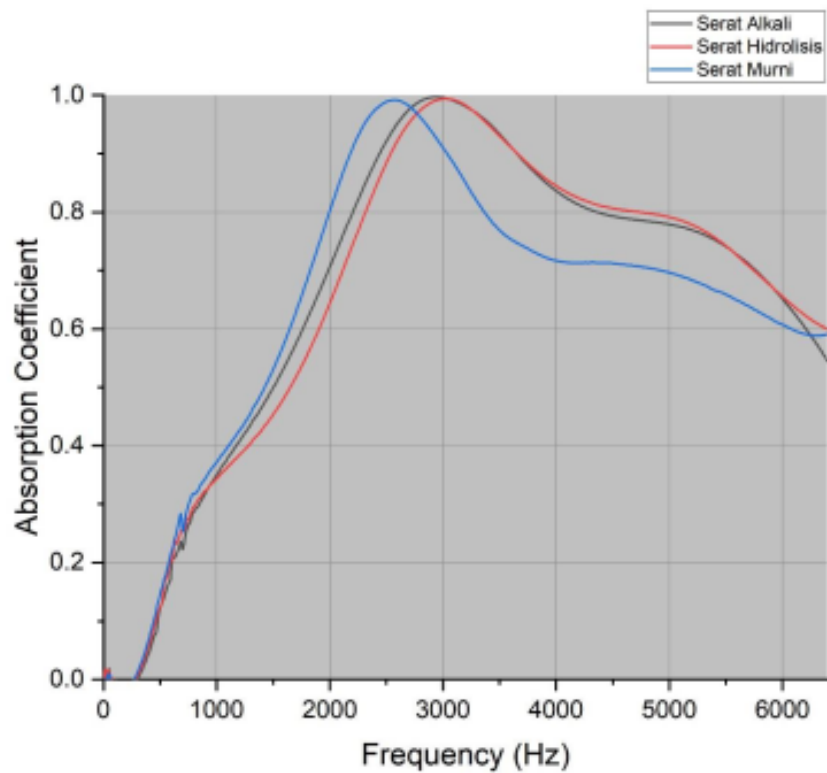
Serat Abaka

Hasil Pengujian Akustik Bahan

Nomor : 02/II/2023/alpha/S

Tanggal Pengujian : Selasa, 07 Februari 2023
Kode Sampel : 01/02-2023/alpha
Metode Pengujian : Tabung Impedansi 2 Mikrofon
Nama Operator : Jamaluddin Labib
Pemilik Sampel : Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Susilo Indrawati

Grafik Semua Sampel



Sampel komposit

Hasil Pengujian Akustik Bahan

Nomor : 04/TV/2023/alpha-TL/S


Tanggal Pengujian : Selasa, 11 April 2023

Kode Sampel : 01/04-2023/alpha-TL

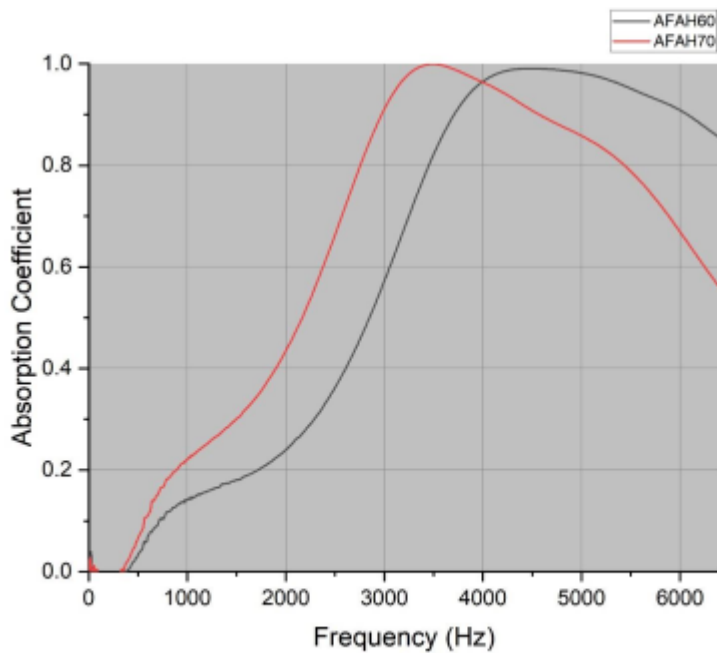
Metode Pengujian : Tabung Impedansi 2 Mikrofon
Tabung Impedansi 4 Mikrofon

Nama Operator : Jamaluddin Labib

Pemilik Sampel : Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Susilo Indrawati

Verifier	Iwan Yahya
Signature	

Grafik Semua Sampel



Hasil Pengujian Akustik Bahan

Nomor : 10/IX/2023/alpha/S

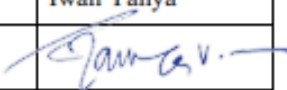
Tanggal Pengujian : Jum'at, 15 September 2023

Kode Sampel : 05/09-2023/alpha

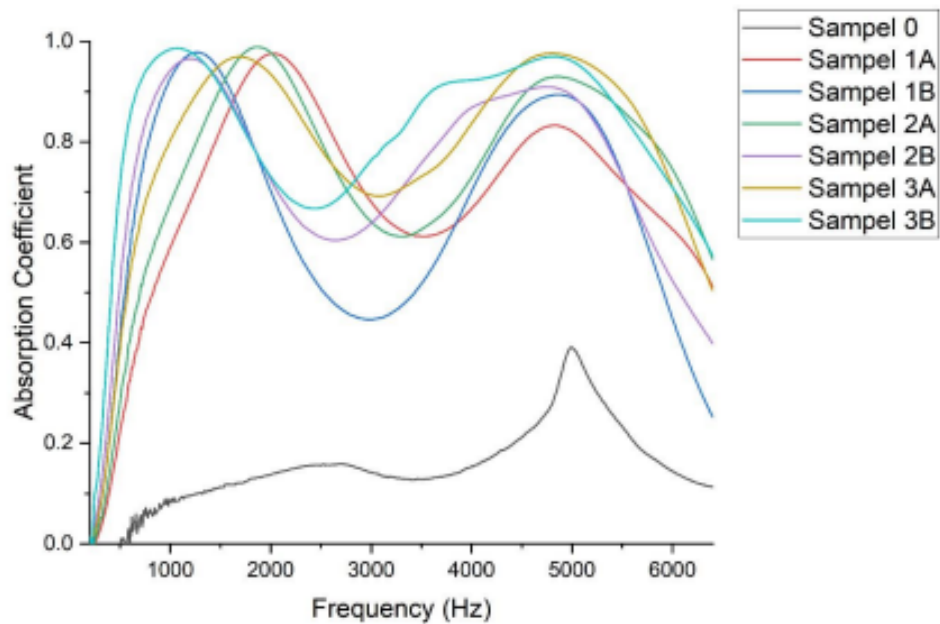
Metode Pengujian : Tabung Impedansi 2 Mikrofon

Nama Operator : Jamaluddin Labib

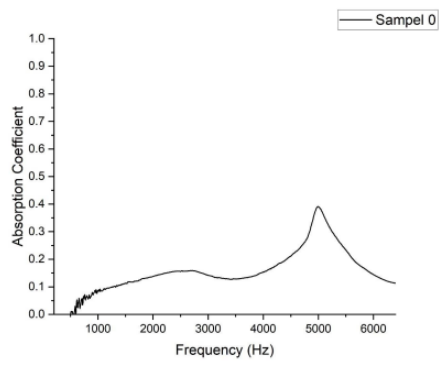
Pemilik Sampel : Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Susilo Indrawati

Verifier	Iwan Yahya
Signature	

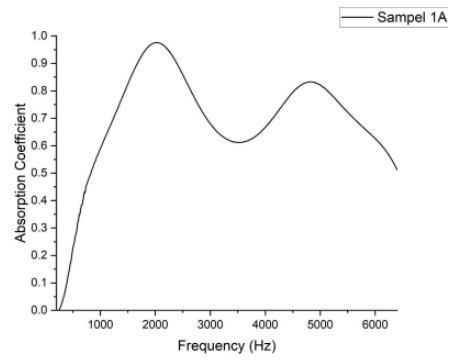
Grafik Semua Sampel



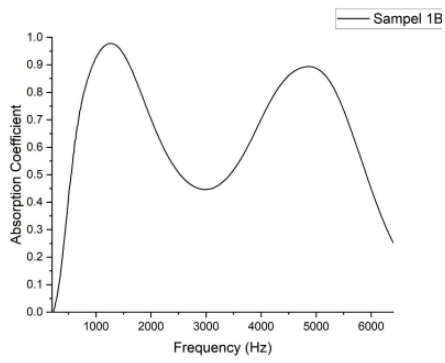
Grafik Absorption Coefficient Sampel 0



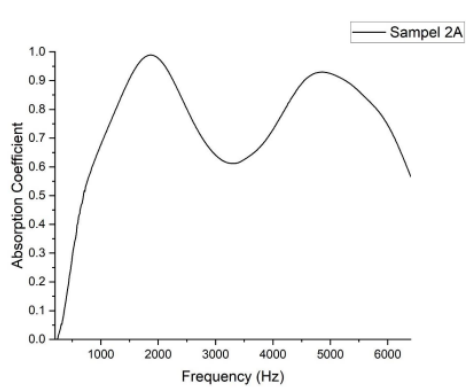
Grafik Absorption Coefficient Sampel 1A



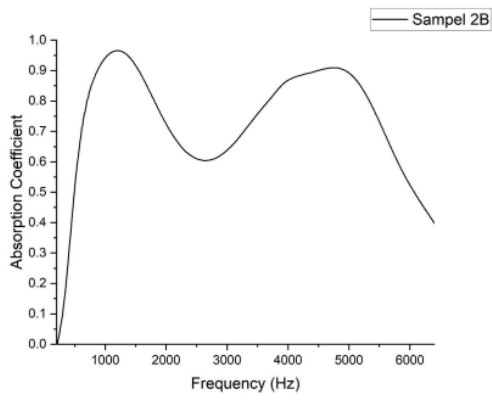
Grafik Absorption Coefficient Sampel 1B



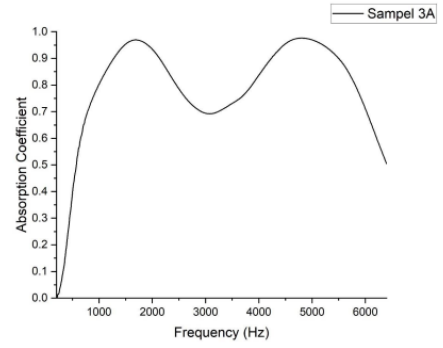
Grafik Absorption Coefficient Sampel 2A



Grafik Absorption Coefficient Sampel 2B



Grafik Absorption Coefficient Sampel 3A



Grafik Absorption Coefficient Sampel 3B

