



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 184834

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN ALKALISASI
SERAT DAN PENAMBAHAN NANOSELULOSA
TERHADAP NILAI SOUND TRANSMISSION LOSS
KOMPOSIT POLIESTER/SERAT
RAMI/NANOSELULOSA UNTUK APLIKASI
MATERIAL AKUSTIK**

MUHAMMAD ILHAM YOESSA
NRP. 0251154000085

Dosen Pembimbing
Ir. Moh. Farid, DEA
Vania Mitha Pratiwi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TL 184834

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN ALKALISASI
SERAT DAN PENAMBAHAN NANOSELULOSA
TERHADAP NILAI SOUND TRANSMISSION LOSS
KOMPOSIT POLIESTER/SERAT
RAMI/NANOSELULOSA UNTUK APLIKASI
MATERIAL AKUSTIK**

MUHAMMAD ILHAM YOESSA
NRP. 0251154000085

Dosen Pembimbing
Ir. Moh. Farid, DEA
Vania Mitha Pratiwi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**STUDY OF THE EFFECT IN FIBER
ALKALIZATION TREATMENT AND
NANOCELLULOSE ADDITION ON SOUND
TRANSMISSION LOSS OF POLYESTER/RAMI
FIBER/NANOCELLULOSE COMPOSITE FOR
APPLICATION OF ACOUSTIC MATERIAL**

MUHAMMAD ILHAM YOESSA
NRP. 0251154000085

Advisors
Ir. Moh. Farid, DEA
Vania Mitha Pratiwi, ST., MT.

DEPARTMENT OF MATERIAL ENGINEERING
Faculties Of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(This page left intentionally blank)

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN ALKALISASI
SERAT DAN PENAMBAHAN NANOSELULOSA
TERHADAP NILAI SOUND TRANSMISSION LOSS
KOMPOSIT POLIESTER / SERAT RAMI /
NANOSELULOSA UNTUK APLIKASI MATERIAL
AKUSTIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Bidang Material Inovatif
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD ILHAM YOESSA
NRP. 0251154000085

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Moh. Farid, DEA (Pembimbing I)
2. Vania Mitha Pratiwi, ST. MT (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN ALKALISASI
SERAT DAN PENAMBAHAN NANOSELULOSA
TERHADAP NILAI SOUND TRANSMISSION LOSS
KOMPOSIT POLIESTER/SERAT
RAMI/NANOSELULOSA UNTUK APLIKASI MATERIAL
AKUSTIK**

Nama : Muhammad Ilham Yoessa
NRP : 0251154000085
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Ir. Moh. Farid, DEA
Co-Pembimbing : Vania Mitha Pratiwi, ST. MT.

Abstrak

Kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Kebisingan dalam masyarakat perkotaan umumnya berasal dari kebisingan mesin kendaraan bermotor yang dapat mengganggu pengendara. Oleh karena itu, perlu adanya material akustik yang dapat mengurangi intensitas bunyi kebisingan mesin kendaraan bermotor. Komposit poliester berpenguat serat rami dan nanoselulosa merupakan sebuah alternatif material akustik yang dapat digunakan pada dashboard. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh perlakuan alkalisasi serat rami dan penambahan nanoselulosa terhadap nilai Sound Transmission Loss (STL), sifat fisik dan kekuatan dampak dari komposit. Penambahan komposisi nanoselulosa sebanyak 0%, 1%, dan 3% menjadi variasi dalam penelitian ini. Karakterisasi yang diterapkan pada penelitian ini yaitu uji SEM, uji FTIR, uji Sound Transmission Class, uji Densitas, uji Impak, uji Absorpsi Air dan uji Densitas. Dari hasil pengujian, nilai STL tertinggi pada frekuensi di bawah 350 Hz / pada rentang frekuensi kebisingan mesin diesel terdapat pada komposit 0% Nanoselulosa / Serat Rami Non Alkalisasi dengan nilai STL sebesar 68,52 dB. Harga Densitas tertinggi didapatkan pada komposit 1% Nanoselulosa / Serat Rami

Alkalisasi dengan nilai sebesar 4,005 KJ/m².

Kata Kunci: Alkalisasi, Komposit, Material Akustik, Nanoselulosa, Serat Rami, Sound Transmission Loss.

**STUDY OF THE EFFECT IN FIBER ALKALIZATION
TREATMENT AND NANOCELLULOSE ADDITION ON
SOUND TRANSMISSION LOSS OF POLYESTERS / RAMI
FIBER / NANOSCELULOSE COMPOSITE FOR
APPLICATION OF ACOUSTIC MATERIAL**

Name : Muhammad Ilham Yoessa
NRP : 0251154000085
Department : Material Engineering
Advisor : Ir. Moh. Farid, DEA
Co-Advisor : Vania Mitha Pratiwi, ST. MT.

Abstract

Noise is an unwanted sound that could cause human health and environmental comfort problems. Noise in urban communities generally comes from the noise of motorized vehicles that can disturb drivers. Therefore, it is necessary to have acoustic material that can reduce the intensity of engine noise. Polyester reinforced ramie fiber and nanocellulose composites are an alternative acoustic material that can be used on the dashboard. The purpose of this study was to analyze the effect of alkalization process on hemp fiber and the addition of nanaocellulose to the value of Sound Transmission Loss (STL), physical properties and impact strength of composites. In this study, the variations of nanocellulose addition on the composition was 0%, 1%, and 3%. Characterization applied in this research is SEM test, FTIR test, Sound Transmission Class test, Impact test, Water Absorption test and Density test. From the test results, the highest STL value at frequencies below 350 Hz / in the range of diesel engine noise frequency was found in the 0% Nanocellulose / Non-Alkaline Hemp Fiber composite with STL value of 68.52 dB. The highest impact value was obtained from 1% Nanocellulose / Alkaline Ramie Fiber composite with a value of 4.005 KJ / m².

Keywords : *Acoustic Material, Alkalization, Composite,*

Nanocellulose, Ramie Fiber, Sound Transmission Loss.

KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah Subhanahu Wata'ala atas segala rahmat dan pertolongan-Nya yang telah memberikan penulis kemudahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **“Analisa Pengaruh Perlakuan Alkalisasi Serat Dan Penambahan Nanoselulosa Terhadap Nilai Sound Transmission Loss Komposit Poliester / Serat Rami / Nanoselulosa Untuk Aplikasi Material Akustik”** untuk melengkapi kewajiban penulis dalam Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku ketua departemen Teknik Material FTI-ITS.
3. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA, dan Ibu Vania Mitha Pratiwi, ST. MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu dan motivasi untuk penulis.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc selaku Kaprodi Departemen Teknik Material FTI-ITS serta sebagai Dosen Wali penulis yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu, Penulis berharap masukan serta saran dan kritik yang membangun dari pembaca agar penulis bisa menjadi lebih baik lagi kedepannya. Akhir kata, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang keilmuan Teknik Material.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Komposit.....	5
2.1.1 Klasifikasi Material Komposit.....	8
2.1.2 Matriks Polimer	10
2.1.3 Serat.....	12
2.2 Poliester	14
2.3 Serat Alam	16
2.3.1 Selulosa.....	17
2.3.2 Lignin	19
2.4 Serat Rami	20
2.5 Nanoselulosa.....	22
2.6 Proses Alkalisasi.....	24
2.7 Gelombang dan Bunyi.....	26
2.7.1 Gelombang.....	26
2.7.2 Bunyi.....	27
2.8 Gelombang Bunyi.....	28
2.9 Material Akustik.....	29
2.10 Dashboard.....	31
2.11 Sound Transmission Loss.....	32
2.12 Sound Transmission Class.....	34

2.13 Hukum Pencampuran	35
2.14 Penelitian Terdahulu.....	36
BAB III METODOLOGI	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
3.1.1 Diagram Alir Pembuatan Filler Serat Rami	40
3.1.2 Diagram Alir Pembuatan Komposit	41
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	42
3.2.1 Bahan Penelitian.....	42
3.2.2 Peralatan Penelitian	43
3.3 Variabel Penelitian	47
3.4 Prosedur Penelitian.....	48
3.4.1 Persiapan Bahan	48
3.4.2 Pembuatan Komposit.....	50
3.4.3 Proses Pengujian.....	50
3.5 Rancangan Penelitian	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pengujian FTIR.....	61
4.1.1 Analisa Hasil Pengujian FTIR Serat Rami.....	61
4.1.2 Analisa Hasil Pengujian FTIR Komposit	64
4.2 Hasil Pengujian SEM	66
4.2.1 Analisa Hasil Pengujian SEM Serat Rami	66
4.2.2 Analisa Hasil Pengujian SEM Komposit.....	69
4.3 Hasil Uji Densitas.....	70
4.4 Hasil Pengujian STC	73
4.5 Hasil Uji Water Absorption.....	80
4.6 Hasil Uji Impak	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	97
UCAPAN TERIMA KASIH.....	129
BIODATA PENULIS	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh Tipe Penguat dan Jumlahnya pada Kekuatan Komposit	7
Gambar 2.2	Klasifikasi Material Komposit	10
Gambar 2.3	Jenis Material Termoplastik	11
Gambar 2.4	Jenis Material Termoset	12
Gambar 2.5	Jenis Serat Kontinue.....	13
Gambar 2.6	Jenis Serat Tak Kontinue	13
Gambar 2.7	Reaksi Pembentukan Unsaturated Polyester	15
Gambar 2.8	Struktur Kimia Selulosa	18
Gambar 2.9	Struktur Kimia Lignin	20
Gambar 2.10	Daun, Batang, dan Serat Rami	20
Gambar 2.11	Hasil Mikroskop Elektron dari Tiga Tipe Nanoselulosa : CNCs, CNFs dan BC	24
Gambar 2.12	Reaksi pada Proses Alkalisasi	25
Gambar 2.13	Gelombang Transversal	26
Gambar 2.14	Gelombang Longitudinal	27
Gambar 2.15	Ilustrasi Sound Transmission Loss.....	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2	Diagram Alir Pembuatan Filler Serat Rami Alkalisasi	40
Gambar 3.3	Diagram Alir Pembuatan Filler Serat Rami Non Alkalisasi	41
Gambar 3.4	Diagram Alir Pembuatan Komposit	42
Gambar 3.5	Timbangan Digital	44
Gambar 3.6	Mesin SEM Departemen Teknik Material FTI-ITS (a), dan Mesin SEM Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya (b)	44
Gambar 3.7	Mesin FTIR	45
Gambar 3.8	Oven	45

Gambar 3.9	Mesin Sieving	46
Gambar 3.10	Alat Uji Impak	46
Gambar 3.11	Alat Uji Sound Transmission Class (STC)	47
Gambar 3.12	Alat Pencacah	47
Gambar 3.13	Pemotongan Serat Rami.....	48
Gambar 3.14	Perendaman Serat Rami dalam Larutan NaOH ...	48
Gambar 3.15	Proses Pengeringan Serat Rami	49
Gambar 3.16	Proses Pengayakan Serat Rami	49
Gambar 3.17	Prinsip Kerja SEM	51
Gambar 3.18	Skema Alat Spektroskopi FTIR	52
Gambar 3.19	Tabung Impedansi Untuk Pengukuran Sound Transmission Loss	53
Gambar 3.20	Ukuran Spesimen Uji STC	53
Gambar 3.21	Spesimen Uji STC	55
Gambar 3.22	Pengujian Densitas.....	56
Gambar 3.23	Spesimen Uji Water Absorption dan Densitas	57
Gambar 3.24	Prinsip Pengujian Impak	57
Gambar 3.25	Spesimen Uji Impak	58
Gambar 4.1	Hasil FTIR Serat Rami Sebelum dan Sesudah Alkalisasi	62
Gambar 4.2	Hasil Uji FTIR Komposit	64
Gambar 4.3	Hasil SEM Serat Rami (a) Sebelum Proses Alkalisasi (b) Setelah Proses Alkalisasi Perbesaran 500x	67
Gambar 4.4	Hasi SEM Morfologi Serat Rami Setelah Alkalisasi Perbesaran 500x	68
Gambar 4.5	SEM Komposit (a) 1% Nanoselulosa / Serat Rami Alkalisasi, (b) 0% Nanoselulosa / Serat Rami Non Alkalisasi Perbesaran 500x	69
Gambar 4.6	Grafik Nilai Densitas Komposit.....	71
Gambar 4.7	Grafik Nilai Transmission Loss Komposit Berpenguat Serat Alkalisasi	75

Gambar 4.8	Grafik Nilai Transmission Loss Komposit Berpenguat Serat Non Alkalisasi	77
Gambar 4.9	Grafik Nilai Water Absorption Komposit.....	80
Gambar 4.10	Grafik Hasil Pengujian Impak.....	81

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keuntungan dan Kerugian Komposit	7
Tabel 2.2 Perbandingan Sifat Komposit Matriks Keramik, Logam, dan Polimer	9
Tabel 2.3 Sifat Resin Termoset Polyester pada 23°C	16
Tabel 2.4 Komposisi Kimia Serat Alam	17
Tabel 2.5 Sifat Selulosa dan Beberapa Material Penguat	19
Tabel 2.6 Perbandingan Sifat Mekanik Serat Alam	21
Tabel 2.7 Klasifikasi Nilai STC	35
Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu	37
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian.....	59
Tabel 4.1 Daerah Serapan Infrared Serat Rami	62
Tabel 4.2 Daerah Serapan Infrared Komposit	65
Tabel 4.3 Nilai Densitas Teoritis dan Eksperimen	72
Tabel 4.4 Nilai STL (Sound Transmission Loss) Komposit	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya perekonomian suatu negara merupakan wujud keberhasilan dalam segi pembangunan. Tentunya hal tersebut berdampak pada mobilitas barang dan jasa yang akan terus meningkat. Meningkatnya mobilitas barang dan jasa serta kemudahan akses dalam memperoleh kendaraan, menyebabkan jumlah pembelian kendaraan meningkat setiap tahunnya. Dari peningkatan tersebut, muncul berbagai permasalahan seperti pencemaran lingkungan yang berdampak pada kesehatan manusia. Salah satu bentuk pencemaran tersebut adalah pencemaran suara berupa kebisingan. Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor KEP-48/MENLH/11/1996, kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan.

Salah satu sumber kebisingan utama dalam masyarakat perkotaan adalah kebisingan yang disebabkan oleh lalu lintas. Tingkat kebisingan lalu lintas di jalan raya dapat mencapai 70-80 dB. Berdasarkan perMen LH no.7 tahun 2009, disebutkan bahwa batas maksimal suara pada kendaraan roda empat berpenumpang dibawah 8 orang adalah 77-80 dB. Kebisingan tersebut dapat menyebabkan berbagai gangguan terhadap kesehatan manusia, seperti gangguan fisiologis, gangguan psikologis, gangguan komunikasi hingga menyebabkan ketulian. Melihat dampak dari kebisingan tersebut, maka kebutuhan akan material penyerap atau peredam suara semakin meningkat. Peredam suara merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengurangi efek dari kebisingan (Mediastika, 2009).

Jenis bahan penyerap suara yang sudah ada yaitu bahan berpori, resonator dan panel (Doelle, 1993). Dari ketiga jenis bahan tersebut, bahan berporilah yang sering digunakan. Material penyerap bunyi memiliki peranan penting dalam akustik ruangan,

material ini dikenal dengan sebutan material akustik yang berfungsi untuk menyerap dan meredam suara. Kebanyakan saat ini bahan material akustik terbuat dari *glasswool* dan *rockwool*, namun karena harganya yang sangat mahal maka orang berupaya untuk mencari alternatif lain dengan membuatnya dari bahan yang praktis, murah dan tersedia melimpah di alam. Penggunaan material komposit polimer dengan *filler* serat alam mulai banyak dikenal dalam industri manufaktur (Lewis, 1994).

Komposit polimer komersial pada umumnya menggunakan resin termoset sebagai matriks karena penggunaannya yang lebih cocok untuk bidang struktural (Davallo, 2010). Diantara banyaknya jenis resin termoset, poliester tidak jenuh merupakan jenis yang paling umum digunakan karena memiliki sifat penyusutan yang rendah, dapat dicetak pada suhu ruangan, viskositas yang sangat rendah, ketahanan termal dan cuaca yang baik serta biayanya yang murah. Sementara itu, keunggulan yang dimiliki oleh serat alam antara lain: tidak abrasif, densitas rendah, harga lebih murah, ramah lingkungan, dan tidak membahayakan bagi kesehatan (Ray, 2005).

Untuk penelitian ini, akan digunakan serat rami dan nanoselulosa sebagai penguat material komposit. Tanaman rami adalah tanaman tahunan yang berbentuk rumpun, mudah tumbuh dan dikembangkan di daerah tropis. Tahan terhadap penyakit dan hama, serta dapat mendukung pelestarian lingkungan. Dalam hal tertentu serat rami mempunyai keunggulan dibandingkan serat yang lainnya seperti kekuatan tarik, daya serap terhadap air, tahan terhadap kelembapan dan bakteri, tahan terhadap panas serta peringkat nomor dua setelah sutra dibandingkan serat alam yang lainnya dan lebih ringan dibanding serat sintesis dan ramah lingkungan (Berger, 1969; Buxton dan Greenhalgh, 1989). Nanoselulosa merupakan salah satu jenis serat alam dari selulosa yang ditandai dengan peningkatan kristalinitas, peningkatan kemampuan dispersi serta biodegradasi. Adanya kemampuan ini, partikel nanoselulosa dapat digunakan sebagai *filler* penguat polimer, aditif untuk produk-produk *biodegradable*, penguat

membran, pengental untuk dispersi, dan media pembawa obat serta implan (Ieolovich, 2012).

Pembuatan komposit matriks poliester dengan campuran serat rami dan nanoselulosa diharapkan mempunyai kemampuan absorpsi suara yang baik serta memiliki kekuatan yang tinggi pada aplikasi material akustik.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh perlakuan alkalisasi serat dan penambahan nanoselulosa terhadap nilai *Sound Transmission Loss* komposit poliester berpenguat serat rami dan nanoselulosa?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan alkalisasi serat dan penambahan nanoselulosa terhadap sifat mekanik dan sifat fisik komposit poliester berpenguat serat rami dan nanoselulosa?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Kandungan pengotor diabaikan pada penelitian.
2. Kadar uap air serta gas yang ada pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
3. Pencampuran yang dilakukan dianggap homogen.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh perlakuan alkalisasi serat dan penambahan nanoselulosa terhadap nilai *Sound Transmission Loss* pada komposit poliester berpenguat serat rami dan nanoselulosa.
2. Menganalisa perlakuan alkalisasi serat dan penambahan nanoselulosa terhadap sifat mekanik dan sifat fisik komposit poliester berpenguat serat rami dan nanoselulosa.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mendapatkan inovasi baru dalam pengembangan teknologi material komposit berpenguat serat alami dalam aplikasinya sebagai penyerap suara.
2. Dapat digunakan sebagai rujukan terhadap penelitian-penelitian yang berkaitan dengan penggunaan serat alami dalam aplikasi sebagai penyerap suara.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Material komposit merupakan kombinasi dari dua atau lebih material yang menghasilkan sifat yang lebih baik daripada komponen penyusunnya yang apabila digunakan sebagai komponen individu. Berbeda dengan paduan logam, setiap komponen penyusunnya mempertahankan *chemical, physical, dan mechanical properties*. Material komposit terdiri atas dua bagian, yaitu bagian penguat dan bagian matriks. Keunggulan utama dari material komposit adalah mempunyai nilai kekuatan dan kekakuan yang tinggi, dapat dikombinasikan dalam kerapatan yang rendah dibanding dengan material pada umumnya, serta memungkinkan untuk adanya pengurangan berat pada hasil akhirnya.

Bagian penguat menyediakan kekuatan dan kekakuan. Umumnya, unsur penguat memiliki sifat lebih keras, kuat, dan kaku daripada unsur matriks. Unsur penguat biasanya berupa serat maupun sebuah partikulat. Komposit partikulat mempunyai dimensi yang hampir sama pada semua arah. Komposit partikulat dapat berupa *spherical, platelets*, atau bentuk yang teratur maupun tidak teratur. Komposit partikulat pada umumnya mempunyai sifat lebih lemah dan tidak sekaku pada material komposit serat kontinu, akan tetapi harga komposit partikulat biasanya jauh lebih murah. Pada umumnya komposit partikulat mempunyai komposisi penguat antara 40-50% volume total tergantung dari kesulitan proses dan kerapuhan material.

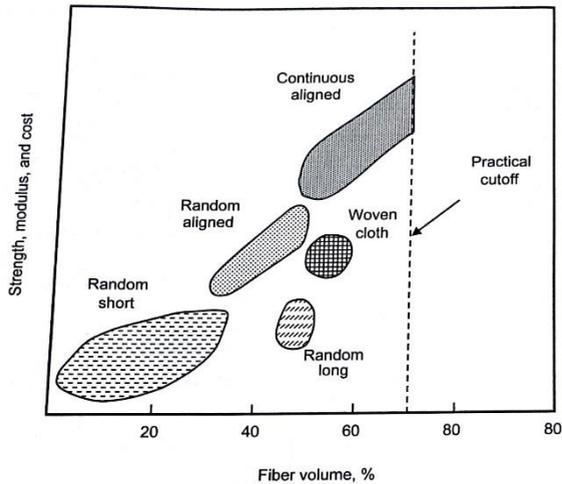
Serat mempunyai nilai panjang yang lebih tinggi dibanding dengan diameternya. Rasio antara panjang dan diameter serat dikenal sebagai aspek rasio dan mempunyai nilai yang sangat bervariasi. Serat kontinu mempunyai nilai aspek rasio yang lebih tinggi daripada serat tak kontinu. Komposit serat kontinu umumnya mempunyai arah serat yang sama, sedangkan komposit serat tak kontinu memiliki arah serat yang berbeda.

Matriks mempunyai peranan yang sangat penting terhadap komposit, seperti mengatur arah serat, mengatur jarak atau kerapatan serat, serta melindungi serat terhadap pengaruh lingkungan maupun abrasi. Matriks dalam material komposit dibagi menjadi tiga jenis, diantaranya matriks polimer, logam, dan keramik. Matriks polimer memiliki nilai kekuatan dan kekakuan yang rendah, sedangkan matriks logam umumnya memiliki nilai kekuatan dan kekakuan yang sedang akan tetapi nilai keuletannya tinggi, dan matriks keramik mempunyai nilai kekakuan dan kekuatan yang tinggi akan tetapi bersifat getas (Campbell, 2010).

Dengan penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, maka dapat diperbaiki sifat-sifat mekanik dan fisik dari material-material tersebut diantaranya adalah kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan gesek, konduktivitas termal, insulasi listrik, ketahanan fatik, berat, tampilan, insulasi panas (Sulistijono, 2012). Tipe dan jumlah dari penguat menentukan sifat akhir dari material komposit. Pada Gambar 2.1 menunjukkan bahwa nilai kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi dari material komposit didapatkan pada komposit yang memiliki serat kontinu. Terdapat batas sekitar 70% volume penguat yang dapat ditambahkan untuk membentuk komposit. Pada persentase yang lebih tinggi, terdapat sedikit matriks yang bekerja secara efektif untuk membantu kinerja serat agar dapat bekerja secara efektif.

Menurut Campbell pada tahun 2010, keunggulan dari material komposit diantaranya:

1. Mempunyai berat yang lebih ringan,
2. Mempunyai kemampuan untuk bekerja pada kondisi kekuatan dan kekakuan yang tinggi,
3. Dapat memperpanjang usia fatigue (*fatigue life*),
4. Mempunyai ketahanan terhadap korosi yang tinggi.



Gambar 2.1 Pengaruh Tipe Penguat dan Jumlahnya pada Kekuatan Komposit (Campbell, 2010).

Sedangkan menurut Peters pada tahun 2002 menjelaskan keuntungan dan kerugian komposit di dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Keuntungan dan Kerugian Komposit (Peters, 2002).

No.	Keuntungan	Kerugian
1	Berat berkurang	Biaya bertambah untuk bahan baku dan fabrikasi
2	Rasio antara kekuatan atau rasio kekakuan dengan berat tinggi	Sifat-sifat bidang melintang lemah
3	Kekuatan atau kekakuan dapat beradaptasi terhadap pengaturan beban	Matriks dapat menimbulkan degradasi lingkungan
4	Lebih tahan terhadap korosi	Sulit dalam mengikat
5	Kehilangan sebagian sifat dasar material	Analisa sifat-sifat fisik dan mekanik sulit dilakukan
6	Ongkos manufaktur rendah	Analisis untuk efisiensi damping tidak mencapai konsensus
7	Konduktivitas termal atau konduktivitas listrik meningkat atau menurun	

2.1.1 Klasifikasi Material Komposit

Berdasarkan terbentuknya, komposit dibedakan atas:

1. Komposit alam (*Natural Composites*): kayu, tulang, bambu, tebu, dll.
2. Komposit buatan: *Glass fiber reinforced plastic* (GFRP), *Metal Matrix Composite* (MMC), *Ceramic Matrix Composite* (CMC), dll.

Berdasarkan matriksnya, komposit dibagi menjadi:

1. *PMC (Polymer Matrix Composite)*
Matriks polimer merupakan kemudahan dalam proses fabrikasi dari bagian bagian yang kompleks dengan harga peralatan yang rendah dan harga investasi manufaktur yang rendah pula. Banyak sekali komposit yang dijual pada pasar komersil didesain menggunakan penguat plastik. (Barbero, 2011). Selain itu matriks polimer mempunyai ketahanan kimia yang lebih baik dibandingkan dengan matriks logam. Meski begitu, matriks polimer mempunyai kekuatan dan nilai modulus yang rendah, serta hanya dapat diaplikasikan pada temperature rendah. Selain itu karena ikatan kovalen yang bersifat predominan, membuat PMC tidak cocok untuk digunakan sebagai konduktor listrik maupun panas (Chawla, 1998).
2. *MMC (Metal Matrix Composite)*
Metal atau logam merupakan material yang sangat fleksibel dalam bidang teknik material. Logam bersifat kuat dan tangguh. Logam dapat dideformasi secara plastis, dan dapat dikuatkan oleh berbagai macam metode. Komposit bermatriks logam umumnya mempunyai nilai kekuatan dan kekakuan yang sedang, akan tetapi nilai keuletannya sangat tinggi. Sifat dari material komposit bermatriks logam sangat bergantung pada fase logam yang digunakan dan perlakuan panas yang dikenakan pada logam (Chawla, 1998).

3. CMC (Ceramic Matrix Composite)

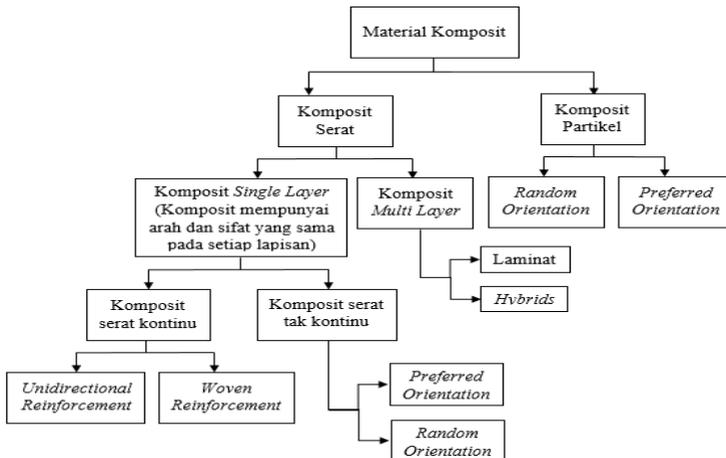
Material keramik merupakan material yang memiliki sifat keras dan getas. Secara umum keramik tersusun dari satu atau lebih kombinasi logam dengan non logam seperti oksigen, karbon, dan nitrogen. Material keramik mempunyai nilai modulus elastisitas yang tinggi, densitas yang rendah, dan dapat bertahan pada temperature kerja yang sangat tinggi. Akan tetapi material keramik mempunyai ikatan kovalen dan ikatan *ionic* yang sangat kuat. Oleh sebab itu, material keramik mempunyai nilai regangan *failure* yang rendah dan ketangguhan yang rendah. Apabila material dibutuhkan untuk mempunyai sifat getas, matriks keramik kurang berpadu dalam pemerataan sifat dan mempunyai nilai termal yang rendah. Selain itu nilai ketahanan gaya impact dan nilai *tensile strength* juga rendah. (Chawla, 1998).

Perbandingan sifat dari komposit matriks keramik, logam, dan polimer dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan Sifat Komposit Matriks Keramik, Logam, dan Polimer (Park, 2011).

	Ceramic	Metal	Polymer
Hardness	↑	↓	↓
Elastic modulus	↑	↑	↓
High temperature strength	↑	↓	↓
Thermal expansion	↓	↑	↑
Ductility	↓	↑	↑
Corrosion resistance	↑	↓	↓
Resistance to wear	↑	↓	↓
Electrical conductivity	↓	↑	↓
Density	↓	↑	↓
Thermal conductivity	↓	↑	↓
↑ Tendency to high values		↓ Tendency to low values	

Berdasarkan penguatnya, material komposit dapat diklasifikasikan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Klasifikasi Material Komposit (Park, 2011).

2.1.2 Matriks Polimer

Material matriks harus memenuhi beberapa fungsi dari struktur komposit, yang dimana sangat vital untuk performa atau kerja dari komposit tersebut. Kegunaan material matriks pada komposit adalah sebagai berikut:

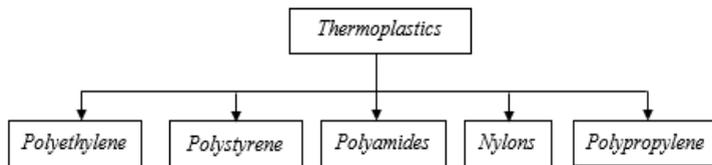
1. Matriks mengikat *fiber* dan meneruskan beban ke *fiber*.
2. Matriks memberikan bentuk kepada komposit.
3. Matriks mengisolasi *fiber*, sehingga *fiber* tersebut dapat terpisah, hal ini memperlambat munculnya *crack*.
4. Matriks memberikan hasil yang baik pada permukaan dari komposit.
5. Matriks melindungi fiber dari cairan kimia dan kerusakan akibat pemakaian.

Matriks pada material komposit mempunyai banyak fungsi, diantaranya menggabungkan serat yang dapat mendistribusikan beban dari luar komposit. Beban tersebut didistribusikan melalui *interface* menuju serat penguat. Jenis beban yang dapat

didistribusikan diantaranya *transverse stress*, *interlaminar shear stress*, dan *bearing stress*. Sifat dari matriks menentukan kondisi kerja dari material komposit dalam hal *range temperature*, ketahanan kimia, ketahanan absorpsi, dan kapasitas ketahanan cuaca (*weather capability*). Selain itu matriks mempunyai peranan penting dalam menentukan konduktivitas panas dan listrik dari material komposit (Chawla, 1998).

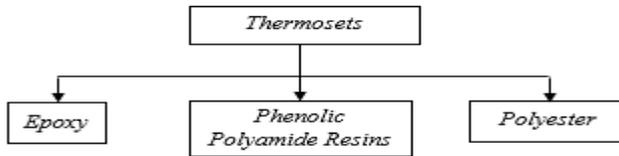
Salah satu jenis matriks pada material komposit adalah matriks polimer. Polimer merupakan molekul besar yang tersusun dari pengulangan molekul yang kecil dan sederhana. (Fred W. Billmeyer, Jr, 1970). Polimer merupakan material yang ideal karena dapat diproses dengan mudah dan mempunyai sifat mekanik yang diinginkan. Berdasarkan sifat termalnya, polimer dibagi menjadi dua jenis yaitu *thermoset* dan *thermoplastics*.

- Termoplastik memiliki sifat yang melunak ketika dipanaskan dan mengeras ketika didinginkan, sebuah proses yang reversibel dan dapat berulang. Jenis material *thermoplastic* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jenis Material Termoplastik (Callister, 2010).

- Termoset yang menjadi keras secara permanen ketika pembentukannya, dan tidak melunak pada pemanasan. (Callister, 2010). Jenis material termoplastik dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Jenis Material Termoset (Cheng, 2011).

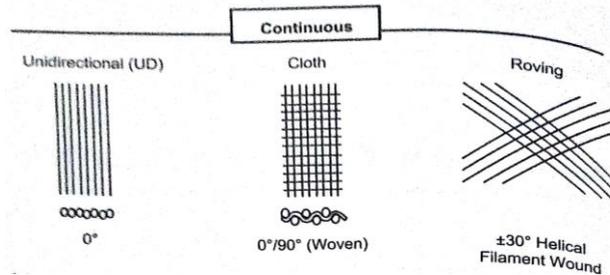
Polimer *thermosetting* memiliki ikatan-ikatan silang yang mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer ini, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer. Hanya pemanasan berlebih yang akan menyebabkan beberapa ikatan *crosslink* dan polimer itu sendiri mengalami degradasi. Polimer *thermosetting* lebih keras dan kuat daripada termoplastik dan mempunyai stabilitas dimensional yang lebih baik (Cheng, 2011).

2.1.3 Serat

Serat banyak digunakan dalam material komposit karena mempunyai sifat ringan, kaku, dan kuat. Kumpulan serat lebih kuat daripada *bulk material*, hal ini disebabkan karena adanya orientasi molekul yang mengikuti arah serat dan juga karena munculnya pengurangan jumlah cacat pada saat penambahan serat. Serat dapat diklasifikasikan berdasarkan panjang pendeknya serat, kontinuitas serat, serta komposisi kimia dari serat. Berdasarkan kontinuitas serat, serat dapat diklasifikasikan menjadi komposit serat kontinu dan komposit serat tak kontinu:

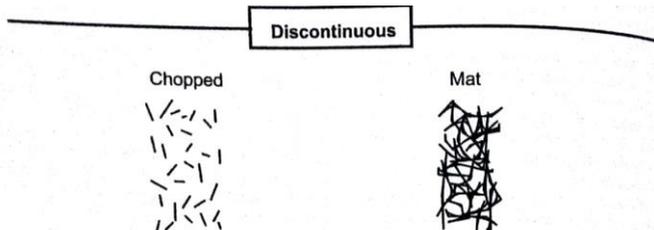
- Komposit serat kontinu banyak digunakan pada komposit yang membutuhkan nilai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Pada komposit serat kontinu, beban didistribusikan searah dengan orientasi arah serat. Komposit serat kontinu mempunyai biaya proses manufaktur yang mahal dan lambat. Susunan serat kontinu pada komposit serat kontinu dapat dibagi menjadi tiga diantaranya *unidirectional*, *woven cloth*,

dan *helical* winding seperti pada Gambar 2.5. Untuk menanggulangi biaya proses manufaktur yang mahal, maka alternatif yang dapat dilakukan yaitu membuat komposit serat tak kontinu (Barbero, 2011).



Gambar 2.5 Jenis Serat *Continue* (Barbero, 2011).

- Komposit serat diskontinu didapatkan dengan cara memotong serat kontinu, atau menghasilkan serat pendek secara langsung untuk mengurangi biaya. Susunan serat tak kontinu pada komposit dapat dibagi menjadi *chopped fibers* dan *random mat* (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Jenis Serat Tak *Continue* (Barbero, 2011).

Fungsi utama dari fiber dalam komposit adalah :

1. Menerima beban, pada komposit *structural*, 70%-90% beban diterima oleh *fiber*
2. Memberikan kekakuan, kekuatan, stabilitas termal, dan sifat *structural* lainnya dari komposit

3. Memberikan konduktivitas atau sebagai isolator listrik, tergantung jenis *fiber* apa yang di gunakan. (Barbero, 2011).

2.2 Poliester

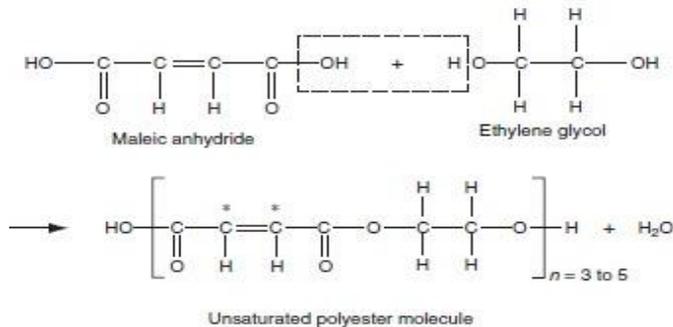
Poliester adalah suatu kategori polimer yang mengandung gugus fungsional ester dalam rantai utamanya. Poliester termasuk zat kimia yang alami, seperti zat kutin dari kulit ari tumbuhan, maupun zat kimia sintetis seperti polikarbonat dan polibutirat. Poliester digunakan pula secara luas sebagai penghalus pada produk kayu berkualitas tinggi seperti gitar, piano, dan bagian dalam kendaraan / perahu pesiar (Avner, 1974). Secara umum, resin poliester tahan terhadap kelembaban dan sinar UV apabila dibiarkan di luar, kemampuan cuaca sangat baik tetapi sifat tembus cahaya akan rusak dalam beberapa tahun (Surdia, 1999).

Resin *unsaturated polyester* merupakan resin yang termasuk kelompok *thermoset polymers* dan biasanya digunakan secara umum dalam bidang otomotif, kelautan, kimia dan kelistrikan. *Unsaturated polyester* banyak digunakan dalam produk produk komposit karena biaya relative rendah, mempunyai sifat-sifat mekanik yang baik, mempunyai daya tahan terhadap lingkungan yang baik dan mempunyai viskositas rendah pada temperatur ruang. Resin poliester digunakan dalam keadaan basah “*wet resin*” dan dapat dibuat untuk keperluan komposit dalam berbagai bentuk, berupa hand *lay-up*, *spray lay-up*, *resintransfer moulding* dan *resin infusion*. Poliester tak jenuh merupakan termoset yang banyak digunakan sebagai matrik komposit dengan penguat dari serat alam selulosa (Mwaikambo, 1999).

Resin poliester tak jenuh memiliki nilai ekonomis karena memiliki sifat-sifat berupa gaya adhesi yang cukup baik namun lebih rendah dari *epoxy* dan membentuk komposit yang baik dengan kayu, logam, serat gelas, plastik, dan serat alam. Di samping keunggulan yang dimilikinya, poliester juga memiliki kelemahan, antara lain: nilai regangan lebih rendah dibandingkan resin epoksi, serta sifat ketahanan nyala api dan ketahanan panas lebih rendah dibandingkan resin *phenolyc*. Pemberian bahan

tambahan katalis pada resin poliester berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan cairan resin (*curing*). Penambahan katalis dalam jumlah banyak akan menimbulkan panas yang berlebihan pada saat proses *curing* (Bilmeyer, 1984). Gambar 2.7 menunjukkan reaksi pembentukan *unsaturated polyester*.

Pada penelitian Sita dan Farid (2013), didapatkan bahwa nilai koefisien absorpsi suara dari *Unsaturated Polyester Resin UPR* pada frekuensi 125 Hz mencapai 0,2176 dan pada frekuensi 500 Hz mencapai 0,2642. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa UPR memiliki kemampuan yang kurang baik pada penyerapan / absorpsi suara di frekuensi rendah.



Gambar 2.7 Reaksi Pembentukan *Unsaturated Polyester* (Mallick, 2008).

Selain itu, UPR dapat mengeras pada temperatur kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti banyak resin termoset lainnya. (Michael, 2013). Tabel 2.3 menunjukkan sifat resin poliester pada 23°C.

Tabel 2.3 Sifat Resin Termoset Poliester pada 23°C (Mallick, 2007)

Sifat	Nilai
Densitas (g/cm ³)	1.1 – 1.43
Kekuatan tarik (<i>tensile strength</i>), MPa (psi)	34.5 – 103.5 (5000-15000)
Modulus elastisitas (<i>tensile modulus</i>), GPA (10 ⁶ psi)	2.1 – 3.45 (0.3 – 0.5)
Elongasi (%)	1 – 5
<i>Cure shrinkage</i> (%)	5 – 12

2.3 Serat Alam

Serat alam merupakan serat yang dapat diambil dan dapat ditemukan di alam. Banyak sekali serat alam yang bisa diambil dan digunakan pada kondisi yang tidak membutuhkan nilai tegangan yang tinggi. Menurut fakta, *kingdom* sayuran merupakan sumber terbesar untuk mendapatkan serat alam. Serat selulosa umumnya dapat ditemukan di alam pada kapas, tanaman *flax*, goni, tanaman rami, dan tanaman lidah buaya. Serat pada tanaman tersebut secara umum telah banyak digunakan pada industri pembuatan kertas. (Chawla, 1998).

Penggunaan serat alam merupakan usaha yang dilakukan untuk mengurangi dampak lingkungan karena mudahnya terurai di lingkungan secara alami. Selain itu penggunaan serat alam ini mempunyai beberapa kelebihan diantaranya mudah didapat, jumlahnya berlimpah dan dapat diperbaharui. Komposit dengan serat selulosa seperti kayu, bersifat *biodegradable* dan dapat diperbarui. Kayu merupakan polimer komposit alami yang terbuat dari sesulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kayu banyak digunakan karena kelebihannya dengan material logam, semen, dan polimer sintesis. Dengan sifat keindahan dan harga pemrosesan yang murah, membuat komposit ini banyak digunakan sebagai material untuk konstruksi bangunan. (Chawla, 1998).

Indonesia kaya akan sumber serat alam yang dapat diekstrak dari berbagai jenis tanaman baik kayu maupun non-kayu. Akibat deforestasi hutan, tanaman cepat tumbuh seperti bambu menjadi

alternatif pengganti serat dari sumber non-kayu. Saat ini serat bambu banyak dimanfaatkan untuk kerajinan, alat musik, struktural, dan juga tekstil. Sebagai sumber serat, bambu dalam bentuk *bundle* memiliki kandungan selulosa sebesar 60,8% dan lignin 32,2% dengan kekuatan berkisar 140-800 MPa (Liu dkk., 2012). Komposisi kimia dari beberapa serat alam dapat dilihat pada Tabel 2.4.

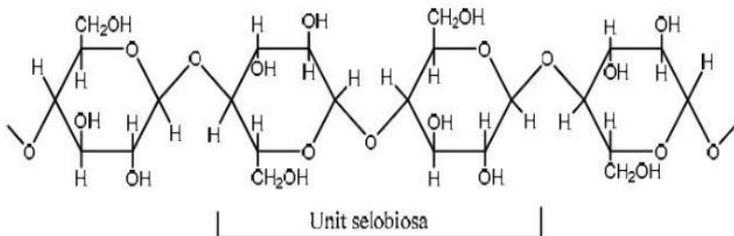
Tabel 2.4 Komposisi Kimia Serat Alam (Lilholt, 2000).

Nama	Selulosa (%)	Hemi Selulosa (%)	Lignin (%)	Keterangan
Abaka	60-65	6-8	5-10	Pisang
Coir	43	1	45	Sabut Kelapa
Kapas	90	6	-	Bungkus, Biji
Flax	70-72	14	4-5	-
Jute	61-63	13	3-13	-
Mesta	60	15	10	-
Palmirah	40-50	15	42-45	-
Nenas	80	-	12	Daunnya
Rami	80-85	3-4	0,5-1	Kulit Batang
Sisal	60-67	10-15	8-12	Daun
Straw	40	28	18	-

2.3.1 Selulosa

Selulosa merupakan suatu polisakarida yang mempunyai formula umum seperti pati ($C_6H_{10}O_5$)_n. Sebagian besar selulosa terdapat pada dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuhan-tumbuhan. Serat selulosa merupakan serat yang memiliki struktur kristalin. Komponen utama serat adalah holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa) yang memiliki gugus hidroksil sehingga bersifat polar hidrofilik dan mudah berikatan dengan air. Selulosa adalah polimer semikristalin berserat dengan massa molar tinggi dan *biopolymer* yang paling umum di bumi.

Selulosa sudah banyak digunakan secara luas, misalnya dalam pembuatan kertas dan dalam pembuatan turunan selulosa. Selulosa memiliki fungsi mekanis yang penting dalam tumbuhan, bakteri, jamur, alga, dan pada beberapa hewan. Selulosa, lignin dan hemiselulosa merupakan komponen penyusun tumbuhan yang berfungsi membentuk bagian struktural dan sel tumbuhan. Struktur kimia selulosa dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8 (Fan et al, 1982).



Gambar 2.8 Struktur Kimia Selulosa (Fan et al, 1982).

Rantai selulosa terdiri dari satuan glukosa anhidrida yang saling berikatan melalui atom karbon pertama dan keempat. Ikatan yang terjadi adalah ikatan β - 1,4 glikosidik. Secara alamiah molekul-molekul selulosa tersusun dalam bentuk fibril-fibril yang terdiri dari beberapa molekul selulosa yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik. Fibril-fibril ini membentuk struktur kristal yang dibungkus oleh lignin. Komposisi kimia dan struktur yang demikian membuat kebanyakan bahan yang mengandung selulosa bersifat kuat dan keras. Sifat kuat dan keras yang dimiliki oleh sebagian besar bahan berselulosa membuat bahan tersebut tahan terhadap peruraian secara enzimatik. Secara alamiah peruraian selulosa berlangsung sangat lambat (Fan et al., 1982). Tabel 2.5 menunjukkan sifat selulosa dibandingkan dengan beberapa material penguat lainnya.

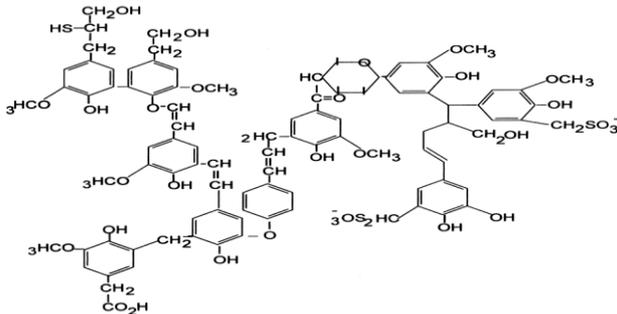
Tabel 2.5. Sifat Selulosa dan Beberapa Material Penguat (Chen, 2014)

Material	$\rho/g\ (cm^{-3})$	$\sigma_f\ (GPa)$	$E_A\ (Gpa)$	$E_v\ (Gpa)$
<i>Kevlar -49 fiber</i>	1.4	3.5	124-130	2.5
<i>Carbon fiber</i>	1.8	1.5 – 5.5	150-500	-
<i>Steel Wire</i>	7.8	4.1	210	-
<i>Clay Nanoplatelets</i>	-	-	170	-
<i>Carbon Nanotubes</i>	-	11 – 63	270-950	0.8-30
<i>Boron nanowhiskers</i>	-	2 – 8	250-360	-
<i>Crystalline Cellulose</i>	1.6	7.5 – 7.7	110-220	10-50

P = density, σ_f = tensile strength, E_A = elastic modulus in axial direction, E_v = elastic modulus in transverse direction

2.3.2 Lignin

Lignin merupakan polimer alami yang memiliki fungsi utama sebagai perekat pada lapisan tumbuhan. Lignin berifat *hydrophobic* secara alami dan memiliki gugus fungsi seperti hidroksi, karbonil dan metoksi serta memiliki kelarutan yang rendah terhadap air sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai perekat dan plastik *biodegradable* (Chuah and Ibrahim, 2004). Lignin mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen dan oksigen. Kandungan karbon pada lignin terisolasi yaitu sebesar 60,2- 67,5% dan kandungan hydrogen 4,5-6,4%. Lignin sangat stabil dan sukar untuk dipisahkan dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam karenanya susunan lignin yang pasti di dalam kayu tetap tidak menentu. Di dalam dinding sel lignin sangat erat hubungannya dengan selulosa dan berfungsi untuk memberikan ketegaran pada sel. Lignin memiliki kandungan gugus-gugus metoksil (OCH_3) dan gugus-gugus hidroksil, serta lignin merupakan gugus fenolik yang berasal dari alam (Haygreen dan Bowyer 1996). Struktur kimia lignin dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur Kimia Lignin (Khan, Ashral 2006).

2.4 Serat Rami

Rami merupakan tanaman tahunan dengan bentuk tanaman herba berumpun yang banyak menghasilkan serat dari kulit batangnya. Serat rami tergolong dalam serat panjang, kuat, dan baik untuk bahan baku tekstil karena memiliki struktur yang mirip dengan serat kapas (Berger, 1969; Buxton dan Greenhalgh, 1989). Untuk diambil seratnya, batang tanaman rami dipanen setiap dua bulan sekali dan diproses dengan mesin dekoritikator sehingga menghasilkan serat kasar (*china grass*). Sebelum dipintal menjadi benang, serat kasar yang masih banyak mengandung gerah (*gum*) perlu dibersihkan melalui proses *degumming*, dan proses pemutihan serta pelemasan dengan pemberian minyak (*oiling*) sehingga menjadi serat yang putih dan halus (*Rami top*).



Gambar 2.10 Daun, Batang, dan Serat Rami (Dieter, 2014).

Gambar 2.10 merupakan gambar daun, batang, dan serat rami. Tanaman rami (*Boehmeria nivea*) merupakan tanaman tahunan yang mudah tumbuh dan berkembang baik di daerah tropis. Rami merupakan tanaman yang serbaguna. Daunnya merupakan bahan kompos dan pakan ternak bergizi tinggi, pohonnya baik untuk bahan bakar, tetapi yang paling bernilai ekonomi tinggi adalah serat dari kulit kayunya. Serat rami panjangnya sangat bervariasi dari 2,5 cm sampai dengan 50 cm dengan panjang rata-rata 12,5 cm sampai dengan 15 cm. diameternya berkisar antara 25 μ sampai dengan 75 μ dengan rata-rata 30 – 50 μ . Bentuk memanjang serat rami seperti silinder dengan permukaan bergaris-garis dan berkerut-kerut membentuk benjolan-benjolan kecil. Sedangkan irisan lintang berbentuk lonjong memanjang dengan dinding sel yang tebal dan lumen yang pipih. Massa jenis serat rami 1,5 g/cm³ (Dieter, H. Mueller, 2014). Perbandingan sifat mekanik serat alam dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Perbandingan Sifat Mekanik Serat Alam (Muller dan Krobjilowski, 2003)

Fiber	Properties					
	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Elongation (%)	Density (gr/cm ³)	Diameter (μ m)	Length (mm)
Ramie Bast	1050	61,5	3,6-3,8	1,5-1,6	40-80	60-26
Kenaf Bast	930	53	1,6	1,4	200	2-6
Coco Shell	175	4-6	25	1,2	100-400	-
Sisal Leaf	835	9,4-22	2-4	1,16-1,5	50-200	1-5
Banana Bast	540	-	3	1,3	50-250	-
Pineapple Leaf	740	-	2,4	-	-	-
E-Glass	1800	69-73	2-3	2,5	5-25	-

Kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh ukuran diameter serat, kadar selulosa, dan kadar lignin. Semakin besar diameter serat, maka semakin rendah nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) dan modulus elastisitas (*modulus of elasticity*), demikian pula sebaliknya. Tingginya kadar selulosa dan rendahnya kadar lignin rami juga turut meningkatkan kekuatan serat rami. Oleh karena itu, serat rami menempati urutan nilai teratas di antara serat-serat alam nabati yang ada (Berger, 1969; Buxton dan Greenhalgh, 1989).

Pada penelitian Arenas (2010), ditemukan bahwa serat rami memiliki nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0,5-0,8 pada frekuensi 375-500 Hz. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa serat rami memiliki kemampuan yang baik pada penyerapan di frekuensi rendah, sehingga diharapkan penambahan serat rami mampu memberikan nilai absorpsi yang baik pada frekuensi rendah.

2.5 Nanoselulosa

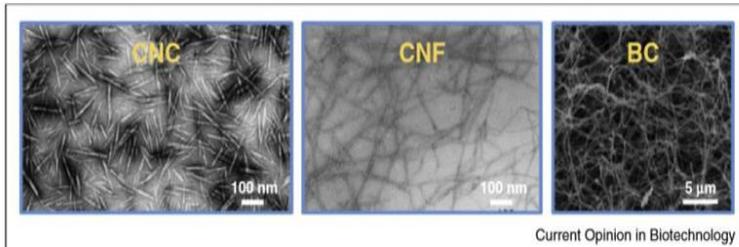
Nanoselulosa merupakan material yang terbuat dari selulosa yang memiliki ukuran nano dengan diameter sekitar 1-100 nm dan panjangnya 10-100 nm (Lee et al, 2014). Material ini bersifat *thixotropy*, yaitu memiliki viskositas yang tinggi dalam kondisi normal namun dengan pengadukan secara terus - menerus viskositasnya dapat diturunkan (lebih encer). Nanoselulosa memiliki sifat yang unggul yaitu kekuatan tarik (*Tensile strength*) yang mencapai hingga 500 MPa, mirip dengan aluminium. Kekakuannya sekitar 140 - 220 GPa yang hampir menyaingi kevlar, dan rasio kekuatannya 8 kali dari *stainless steel* (Zhou, 2012). Nanoselulosa menjadi perhatian para peneliti maupun kalangan industri. Keunggulan nanoselulosa lainnya selain dalam kekuatan mekaniknya juga memiliki luas permukaan yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai *reinforcing nanofiller* pada material komposit. Nanoselulosa juga bersifat *biodegradable* sehingga ramah lingkungan. Berdasarkan keunggulan-keunggulan ini, harga nanoselulosa dapat mencapai US\$20-100/kg, jauh di atas harga selulosa yang hanya US\$ 0,6-0,8/kg. Nanoselulosa dapat

diaplikasikan sebagai aerogel, penguat bahan pada komposit, kosmetik, adsorben, pengemulsi minyak di air, coating agent, komponen elektronik dan lain sebagainya (Zhou, 2012).

Partikel nanoselulosa merupakan material jenis baru yang mengalami perubahan, perubahan ini berupa peningkatan kristalinitas, luas permukaan, peningkatan dispersi dan biodegradasi. Dengan adanya perubahan dari selulosa menjadi nanoselulosa menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari selulosa dapat dimanfaatkan sebagai *filler* penguat polimer, aditif untuk produksi *biodegradable*, penguat membran, pengental untuk dispersi, dan media pembawa obat (Ioelovich, 2012).

Nanoselulosa dapat diperoleh dengan cara mendegradasi selulosa. Proses degradasi selulosa menjadi nanoselulosa dapat dilakukan dengan berbagai metode, yakni dengan perlakuan mekanik (homogenisasi dengan tekanan tinggi dan sonifikasi), perlakuan biologi (enzimatik dengan mikroorganisme) dan perlakuan kimiawi (oksidasi dan hidrolisis asam). Metode hidrolisis asam banyak dipilih untuk mendegradasi selulosa. Lee *et al* (2014) menyebutkan bahwa perlakuan kimiawi banyak dipilih karena merupakan metode yang efisien dan memerlukan biaya yang ekonomis.

Nanoselulosa dapat dibedakan menjadi tiga tipe material yaitu: (1) *Cellulose Nanocrystals* (CNCs), bisa juga disebut sebagai *Nanocrystalline Cellulose* (NCC) dan *Cellulose Nanowhiskers* (CNWs), (2) *Cellulose Nanofibrils* (CNFs), bisa juga disebut sebagai *Nano-Fibrillated Cellulose* (NFC), dan (3) *Bacterial Cellulose* (BC). Perbedaannya pada ekstrak nanopartikel dari sumber selulosanya, partikel yang dihasilkan dengan kristalinitas yang bervariasi, ikatan pada permukaan, dan sifat mekaniknya. Hasil dari mikroskop elektron dari ketiga tipe nanoselulosa ini ditunjukkan pada Gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11 Hasil Mikroskop Elektron dari Tiga Tipe Nanoselulosa: CNCs, CNFs dan BC. (Nechporchuk, 2016)

Pada penelitian yang dilakukan Farid dan Sita (2017), menunjukkan bahwa penambahan nanoselulosa pada komposit mampu meningkatkan nilai absorpsi suara dari material pada rentang frekuensi yang lebar atau dalam arti lain mampu menjadikan material tersebut sebagai tipe material *wideband absorber maerial*.

2.6 Proses Alkalisasi

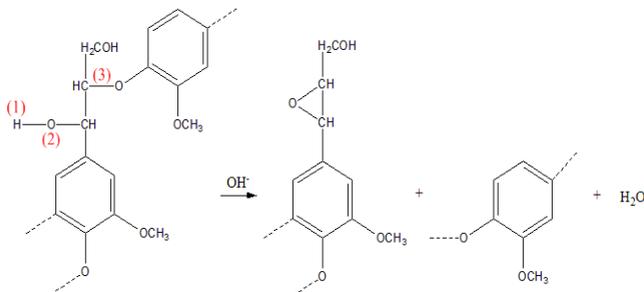
Sifat serat MFC (serat selulosa mikrofibril) yang mudah menyerap air menyebabkan sulit digunakan untuk proses kering pada pembuatan biokomposit. Tanpa pengeringan fisik yang baik, dimungkinkan akan terjadi ikatan hidrogen antar serat yang menyebabkan serat saling berikatan dan menggumpal (aglomerasi) sebelum digunakan sebagai matrik pada komposit. Untuk menghindari aglomerasi MFC, perlu adanya teknik pengeringan seperti *freeze drying*, *spray drying*, *supercritical drying* yang saat ini masih relatif sulit dilakukan dengan konsumsi energi cukup besar (Abdul, 2014).

Oleh karena itu, diperlukan modifikasi permukaan yang dapat membatasi penyerapan air pada MFC. Salah satu proses yang dapat memberikan sediaan MFC dalam bentuk kering dengan pengurangan ikatan gugus hidroksil pada serat serta peningkatan keterbasahan (*wettability*) adalah dengan modifikasi kimia permukaan serat. Beberapa metode modifikasi kimia diantaranya

perlakuan alkali, *silane*, asetilasi, dan benzoilasi (Li dkk, 2007; Thielemans dkk, 2008).

Alkalisasi merupakan metode yang paling banyak digunakan yang memiliki tujuan untuk menghilangkan kandungan lignin dan minyak yang menutupi permukaan luar serat. Efek yang timbul dari perlakuan alkalisasi adalah berubahnya ikatan hidrogen dalam struktur jaringan serat yang mengakibatkan permukaan serat menjadi kasar. Perlakuan alkalisasi menyebabkan sifat mekanik komposit menjadi semakin unggul apabila dibandingkan dengan serat yang tanpa diberi perlakuan alkalisasi.

Perlakuan alkalisasi sendiri dilakukan dengan melakukan perendaman serat dalam larutan alkali basa yang biasanya berupa larutan NaOH. Pada proses alkalisasi, lignin yang terdapat pada serat akan bereaksi dengan larutan basa NaOH. Reaksi yang terjadi selama proses alkalisasi berlangsung ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Reaksi pada Proses Alkalisasi (Li dkk, 2007; Thielemans dkk, 2008).

Pada proses alkalisasi, lignin bereaksi dengan larutan bereaksi dengan gugus H pada lignin, kemudian membentuk H_2O . Hal ini menyebabkan gugus O membentuk radikal bebas dan reaktif dengan C membentuk cincin epoksi (C-OC). Sehingga menyebabkan serangkaian gugus melepaskan NaOH yang terdisosiasi menjadi Na^+ dan OH^- . Ion OH^- ikatan pada gugus O. Reaksi menghasilkan dua cincin benzene yang terpisah, dimana masing-masing cincin memiliki gugus O yang reaktif. Gugus O

reaktif ini bereaksi dengan Na dan ikut larut dalam larutan basa sehingga lignin hilang apabila dibilas. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan sifat dari selulosa, maka dilakukan proses alkalisasi dengan larutan NaOH yang bertujuan untuk menghilangkan lignin dan mengurangi diameter dari serat itu sendiri.

2.7 Gelombang dan Bunyi

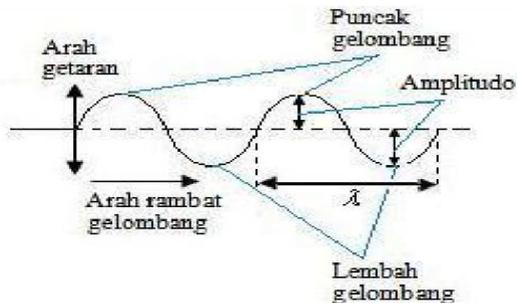
2.7.1 Gelombang

Gelombang merupakan rambatan energi getaran yang merambat melalui medium atau tanpa melalui medium (Halliday, 2010). Berdasarkan mediumnya gelombang dibedakan menjadi dua yaitu gelombang mekanik dan elektromagnetik.

- Gelombang mekanik adalah gelombang yang arah rambatannya memerlukan medium perantara sedangkan
- Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang arah rambatannya tanpa menggunakan medium.

Berdasarkan rambatannya gelombang dibagi menjadi dua yaitu gelombang transversal dan longitudinal.

- Gelombang yang arah rambatannya tegak lurus terhadap arah getarnya, contohnya gelombang pada tali, gelombang permukaan air, gelombang cahaya. Gelombang transversal ditunjukkan oleh Gambar 2.13



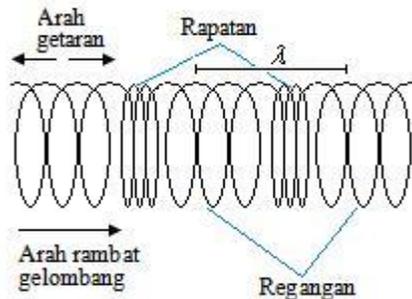
Gambar 2.13 Gelombang Transversal (Haliday, 2010).

Keterangan:

λ = Panjang Gelombang, Satuannya Meter (m)

Amplitudo = Simpangan Maksimum Dari Titik Seimbang.

- Gelombang longitudinal adalah gelombang yang rambatannya sejajar dengan getaran dan mediumnya (Haliday, 2010). Gambar gelombang longitudinal dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Gelombang Longitudinal (Haliday, 2010).

2.7.2 Bunyi

Bunyi merupakan gelombang mekanik jenis longitudinal yang merambat dan sumbernya berupa benda yang bergetar. Bunyi bisa didengar sebab getaran benda sebagai sumber bunyi menggetarkan udara di sekitar dan melalui medium udara bunyi merambat sampai ke gendang telinga, sebenarnya merupakan variasi tekanan udara secara periodik di sepanjang lintasan perambatannya. Tekanan udara periodik inilah yang menggetarkan selaput gendang telinga. Bunyi yang dapat didengar manusia berada pada kawasan frekuensi pendengaran, yaitu antara 20 Hz sampai dengan 20 kHz. Bunyi-bunyi yang muncul pada frekuensi di bawah 20 Hz disebut bunyi infrasonik, sedangkan yang muncul di atas 20.000 Hz disebut bunyi ultrasonik. Dalam rentang 20 Hz sampai 20.000 Hz tersebut, bunyi masih dibedakan lagi menjadi bunyi dengan frekuensi rendah (dibawah 1000 Hz), frekuensi

sedang (1000-4000 Hz) dan frekuensi tinggi (diatas 4000 Hz). Frekuensi ini menyebabkan perbedaan tinggi rendahnya nada (Mediastika, 2009).

Apabila gelombang bunyi melalui suatu medium, maka gelombang bunyi mengadakan suatu penekanan. Satuan tekanan bunyi adalah mikro bar ($0,1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ dyne/cm}^2$) ($1 \text{ mikro bar} = 10^{-6} \text{ atmosfer}$) (Gabriel, 2001). Penyimpangan dalam tekanan atmosfer yang disebabkan getaran partikel udara karena adanya gelombang bunyi yang disebut tekanan bunyi. Telinga tanggap terhadap jangkauan tekanan bunyi yang sangat lebar, walaupun tekanannya sendiri kecil.

Skala standar yang digunakan untuk mengukur tekanan bunyi dalam akustik fisis mempunyai jangkauan yang lebar, yang menyebabkan susah digunakan. Tingkat tekanan bunyi diukur oleh meter tingkat bunyi yang terdiri dari mikrofon, penguat dan instrumen keluaran atau (*Output*) yang mengukur tingkat tekanan bunyi efektif dalam desibel.

Intensitas merupakan mengalirnya energi bunyi per unit waktu melalui luas suatu medium (luas) di mana arah gelombang bunyi tegak lurus dengan medium. (Gabriel, 2001)]. Intensitas gelombang yang merambat didefinisikan sebagai jumlah rata-rata energi yang dibawa persatuan waktu oleh gelombang per satuan luas permukaan yang tegak lurus pada arah rambatan. Singkatnya intensitas ialah daya rata-rata yang dibawa per satuan luas.

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 menunjukkan nilai ambang batas kebisingan dari tipe kendaran bermotor baru. Untuk kebisingan mobil tipe M1 dengan kapasitas penumpang kurang lebih sama dengan 8 orang, nilai ambang kebisingannya sebesar 80 dB dan untuk truk sebesar 81 dB.

2.8 Gelombang Bunyi

Sama halnya dengan gelombang pada umumnya, bila gelombang bunyi sampai ke suatu permukaan, maka sebagian gelombang bunyi akan dipantulkan dan sebagian yang lain akan ditransmisikan. Peristiwa ini terjadi ketika suatu bunyi diudara

menumbuk suatu permukaan padat atau cair. Berkas yang terpantul membentuk sudut dengan garis normal permukaan yang besarnya sama dengan sudut berkas datang, sebaliknya berkas yang ditransmisikan akan dibelokkan atau menjauh dari garis normal, bergantung pada medium. Pemantulan bunyi mengikuti hukum pemantulan yaitu sudut datang sama dengan sudut pantul. (Tipler, 1991).

Ketika bunyi mengenai suatu permukaan bahan, maka bunyi tersebut akan mengalami tiga keadaan. Dimana ketiga keadaan tersebut yaitu transmisi, absorpsi, dan reflektansi. Bunyi awal yang mengenai permukaan bahan akan dibagi menjadi dua gelombang bunyi, yaitu bunyi yang direflektansi atau di pantulkan. Bunyi yang dipantulkan akan memiliki arah yang berlawanan dengan arah datangnya bunyi, sehingga bunyi yang direflektansi akan menyebabkan terjadinya gema atau gaung karena energi suara itu sendiri yang dipantulkan. Kemudian, untuk suara yang diteruskan, akan mengalami keadaan yang dinamakan dengan absorpsi suara. Absorpsi suara menyebabkan energi suara yang diteruskan melewati suatu bahan dapat diserap. Penyerapan energi tersebut dapat terjadi karena bunyi memiliki energi berupa energi kinetik. Energi kinetik tersebut kemudian dirubah menjadi panas karena bergesekan dengan bahan penghalang yang ada. Sehingga, hal tersebut menyebabkan energi bunyi akan berkurang. Energi bunyi yang merupakan energi sisa kemudian dapat melewati bahan penghalang yang ada. Bunyi yang berhasil melewati bahan merupakan bunyi yang mengalami keadaan transmisi. (Miller, 1982).

2.9 Material Akustik

Material akustik adalah material yang memiliki fungsi utama untuk menyerap bunyi. Beberapa jenis bahan yang memiliki karakteristik akustik permukaan, diantaranya yaitu:

1. Bahan penyerap suara (*absorber*) yaitu permukaan yang terbuat dari material yang dapat menyerap sebagian besar energi suara yang datang padanya, misalnya *glasswool*.

2. Bahan pemantul suara (*reflector*) yaitu permukaan yang terbuat dari material yang dapat memantulkan sebagian besar energi suara yang datang padanya, misalnya *gypsum board*.
3. Bahan penyebar suara (*diffusor*) yaitu permukaan yang terbuat dari material yang dapat menyebarkan sebagian besar energi yang datang padanya. Material ini dibuat tidak merata secara akustik, misalnya *QRD diffusor* (Doelle, 1993).

Sementara itu, menurut Howard (2009), jika ditinjau dari karakteristik penyerapan suara, ada 4 jenis material absorpsi suara yaitu *porous absorber*, *resonant absorber*, *helmholtz absorber* dan *wideband absorber*.

1. Bahan berpori seperti karpet, korden, *foam*, *glasswool*, *rockwool*, *cellulose fiber*, dan material lunak lainnya, menyerap energi suara melalui energi gesekan yang terjadi antara komponen kecepatan gelombang suara dengan permukaan materialnya. Bahan penyerap suara tipe ini akan menyerap energi suara lebih besar di frekuensi tinggi.
2. Bahan penyerap suara tipe resonansi seperti panel kayu tipis, menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran, yang kemudian diubah menjadi energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya (misal oleh udara, atau material berpori). Ini berarti, material tipe ini lebih sensitif terhadap komponen tekanan dari gelombang suara yang datang, sehingga lebih efektif apabila ditempelkan pada dinding. Bahan penyerap tipe ini lebih dominan menyerap energi suara ber frekuensi rendah. Frekuensi resonansi bahan ini ditentukan oleh kerapatan massa dari panel dan kedalaman (tebal) rongga udara dibaliknya.
3. Tipe lain dari bahan penyerap suara ini adalah *Resonator Helmholtz*. Efektifitas bahan penyerap suara tipe ini ditentukan oleh adanya udara yang terperangkap di “pipa atau leher” diatas bidang berisi udara (bentukan seperti leher botol dsb). Permukaan berlobang seperti *reactive muffler* menjadi ciri utama resonator yang bekerja pada frekuensi tertentu,

tergantung pada ukuran lubang, leher, dan volume ruang udaranya.

4. Kombinasi antara proses gesekan dari komponen kecepatan gelombang suara dan resonansi dari komponen tekanan gelombang suara, akan membuat kinerja penyerapan energi suara oleh material besar untuk seluruh daerah frekuensi. Material seperti ini disebut *wideband absorber* (Howard, 2009).

2.10 Dashboard

Pengaplikasian material akustik dalam dunia otomotif dapat ditemukan pada beberapa bagian seperti *floor tray*, *door panel*, *drive shaft* dan *dashboard* (Sairy, 2017). *Dashboard* adalah panel pada interior mobil bagian depan. Di sini biasanya terdapat beberapa fasilitas seperti, laci, radio / tape, dan AC. Selain itu pada dashboard ditempatkan indikator-indikator kendaraan. Indikator-indikator kendaraan pada umumnya berupa speedometer, tachometer, petunjuk BBM, petunjuk suhu mesin, petunjuk oli, petunjuk pengisian accu, indikator handbrake, engine check, indikator belok, hazard dan indikator lampu jauh (beam). Indikator-indikator tersebut sangat penting fungsinya untuk pengemudi dalam menjalankan kendaraannya guna keselamatan diperjalanan.

Penggunaan serat alam sebagai bahan baku pembuatan dashboard merupakan suatu inovasi yang lahir dari perkembangan teknologi fisika dan kimia pada serat serta semakin meningkatnya kesadaran akan pentingnya penggunaan bahan alam. Salah satu produsen mobil *Daimler-Bens* telah memanfaatkan serat serabut kelapa sebagai penguat dalam bahan komposit untuk *dashboard* (Suddel dan Evans, 2005).

Menurut standar *dashboard* dengan material ABS *High Impact*, *dashboard* memiliki nilai kekuatan impak senilai 13,48 KJ/m². Apabila nilai harga impak material yang diuji pada penelitian ini melebihi standar, maka dinyatakan material ini telah memenuhi standar (ISO 179-1:2000). Berdasarkan standar

dashboard pada penelitian terdahulu, maka material komposit polimer dengan penguat serat rami memiliki nilai *water absorption* maksimum sebesar 19,6% (Venkatesh, 2016).

2.11 Sound Transmission Loss

Suara adalah gelombang tekanan yang berubah-ubah dengan cepat melalui suatu medium. Ketika suara bergerak melalui udara, tekanan atmosfer bervariasi secara berkala. Jumlah variasi tekanan per detik disebut frekuensi suara, dan diukur dalam Hertz (Hz) yang didefinisikan sebagai siklus per detik. Semakin tinggi frekuensinya, semakin tinggi suara yang dirasakan. Suatu suara keras biasanya memiliki variasi tekanan yang lebih besar dan yang lemah memiliki variasi tekanan yang lebih kecil. Variasi tekanan dan tekanan dinyatakan dalam Pascal, disingkat sebagai Pa, yang didefinisikan sebagai N /m² (Newton per meter persegi).

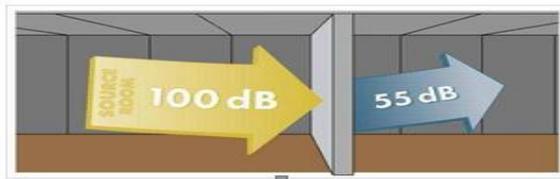
Telinga manusia dapat merasakan berbagai tekanan suara yang sangat luas. Suara paling lembut yang dapat dideteksi telinga manusia normal memiliki variasi tekanan 20 Pascals mikro, disingkat sebagai μPa , yaitu $20 \times 10 \text{ Pa}$ ("*20 millionth of a Pascal*") dan disebut *Threshold of Hearing*. Untuk menghindari pengekspresian suara atau bunyi dalam hal Pa, yang dapat melibatkan beberapa angka yang tidak dapat dikelola, skala desibel atau dB digunakan. Skala ini menggunakan ambang pendengaran $20 \mu\text{Pa}$ atau $20 \times 10^9 \text{ Pa}$ sebagai tingkat referensi. Ini didefinisikan sebagai 0 dB.

Tingkat tekanan suara, yang sering disingkat SPL atau Lp, dalam desibel (dB), kemudian dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 2.1 (Hawkins, 2014).

$$\text{STL(dB)} = 20 \log_{10} \frac{\text{Tekanan suara terukur}}{\text{Tekanan Referensi}} \dots\dots(2.1)$$

Perbedaan antara energi suara di satu sisi dinding atau lantai dan yang terpancar dari sisi kedua/sisi lainnya (keduanya dinyatakan dalam desibel) disebut dengan *Sound Transmission*

Loss (STL). Semakin besar *sound transmission loss* (dalam desibel), semakin kecil jumlah energi suara yang lewat dan akibatnya, semakin sedikit suara yang didengar. STL tergantung pada frekuensi. Frekuensi rendah melewati dinding / lantai jauh lebih mudah daripada frekuensi tinggi. Itu sebabnya gitar bass dan drum suara dari unit yang berdekatan mudah didengar. Persepsi kenyaringan tidak berkurang pada tingkat yang sama dengan penurunan energi suara. (Warcnock, 2018).



Gambar 2.15 Ilustrasi *Sound Transmission Loss* (Warcnock, 2018).

Gambar 2.15 menunjukkan bahwa ada sumber suara sebesar 100 dB yang datang setelah suara tersebut mengenai dinding, suara yang didengar hanya 55 dB. Kondisi ini menunjukkan bahwa dinding tersebut mempunyai STL 45 dB.

Adapun langkah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai STL diantaranya :

1. Meningkatkan Massa/ Ketebalan

Peningkatan *sound transmission loss* diharapkan terjadi dengan meningkatnya massa dinding atau sistem langit-langit karena semakin berat elemen, semakin bergetar dalam menanggapi gelombang suara, maka, energi suara yang lebih sedikit akan terpancar di sisi lain.

2. Kontruksi Rongga

Salah satu cara paling efektif untuk meningkatkan kehilangan transmisi suara adalah dengan menggunakan konstruksi lapisan ganda, yaitu dua lapisan material yang dipisahkan oleh ruang udara. Sistem rongga ideal ini tidak akan memiliki hubungan struktural antara lapisan. Rongga memberikan

pengurangan kebisingan yang meningkat karena hanya sebagian kecil dari energi bunyi yang ditransmisikan melalui permukaan, kemudian rongga dan lagi permukaan lain.

3. Material Absorptif

Mengisi rongga dengan bahan isolasi absorptif (serat selulosa, serat kaca atau wol mineral) dapat meningkatkan STL secara substansial, terutama ketika rongganya besar. Batts lebih tebal dari dua pertiga dari dinding atau lantai / langit-langit lebar atau kedalaman rongga memberikan sedikit peningkatan tambahan dalam STC (Warcnock, 2018).

2.12 Sound Transmission Class

Sound Transmission Class merupakan metode penilaian STL melalui udara dari dinding atau lantai / perakitan langit-langit pada frekuensi yang berbeda dengan menggunakan nomor tunggal. Pada tahun 1961, STC diperkenalkan sebagai metode untuk membandingkan berbagai rakitan dinding, langit-langit, lantai, pintu, dan jendela. STC dihitung dengan mengambil nilai-nilai *Transmission Loss* (TL) yang diuji pada 16 frekuensi standar pada kisaran 125 Hz hingga 4000 Hz dan diplot pada grafik. STC ditentukan dari nilai-nilai STL dari suatu perakitan dan diperoleh dari sistem yang diuji di laboratorium. Nilai STC ditetapkan berdasarkan baku mutu ASTM E 413 tentang *Classification for Rating Sound Insulation* yang dikeluarkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) . Deskripsi dari nilai STC adalah dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Klasifikasi Nilai STC (ASTM E413)

No.	Nilai STC	Keterangan
1	50-60	Sangat bagus sekali, suara Keras terdengar lemah/tidak sama sekali
2	40-50	Sangat bagus, suara terdengar lemah
3	35-40	Bagus, suara keras terdengar tetapi harus lebih didengarkan
4	30-35	Cukup, suara keras cukup terdengar
5	25-30	Jelek, suara normal mudah atau jelas didengar
6	20-25	Sangat jelek, suara pelan dapat terdengar.

Kebanyakan, STC suatu bahan yang beredar dimasyarakat umum merupakan STC berjenis absorpsi atau serapan. STC jenis ini akan bekerja dengan melakukan penyerapan energi suatu bunyi sehingga *output* bunyi yang dihasilkan merupakan bunyi yang memiliki nilai desibel lebih kecil daripada bunyi input. Selain STC berjenis serapan, terdapat STC lain yang bekerja dengan memantulkan sebagian energi bunyi dan mentransmisikan sisa energi bunyi. Perbedaan mendasar antar kedua jenis STC ini adalah yang pertama material akan menyerap energi, sedangkan yang kedua akan memantulkan energi bunyi. Perbedaan antara STC dan *transmission loss* terletak pada arti fisiknya, dimana STC lebih ke sifat dalam mereduksi suara. Sedangkan untuk *transmission loss* lebih ke nilai dalam mereduksi suara (Anhar, 2006).

2.13 Hukum Pencampuran

Sifat-sifat komposit pada umumnya ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain: jenis, bentuk geometris dan struktur, rasio perbandingan, daya lekat, orientasi bahan penguat bahan penyusun, dan proses pembuatan (Sulistijono, 2012). Total massa dari komposit ialah jumlah dari massa *fiber* dan matriks, dituliskan dengan Persamaan 2.2. Persamaan 2.3 dan 2.4 menunjukkan rumus perhitungan densitas dari komposit.

$$m_c = m_m + m_f \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\rho_c \cdot v_c = \rho_m \cdot v_m + \rho_f \cdot v_f \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\rho_c = (\rho_m \cdot v_m + \rho_f \cdot v_f) / v_c \dots \dots \dots (2.4)$$

Apabila di rubah kedalam fraksi massa, maka persamaannya berubah menjadi Persamaan 2.5.

$$\rho_c = 1 / (m_f/\rho_f + m_m/\rho_m) \dots \dots \dots (2.5)$$

Sehingga, persamaan fraksi massa komposit dapat dilihat pada Persamaan 2.6.

$$M_f + M_m = 1 \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

- m_c : massa komposit (gr)
- v_c : volume komposit (cm^3)
- ρ_c : massa jenis komposit (gr/cm^3)
- m_f : massa fiber (gr)
- v_f : volume fiber (cm^3)
- ρ_f : massa jenis fiber (gr/cm^3)
- m_m : massa matriks (gr)
- v_m : volume matriks (cm^3)
- ρ_m : massa jenis matriks (gr/cm^3)
- M_f : fraksi massa fiber M_m : fraksi massa matriks

2.14 Penelitian Terdahulu

Telah banyak penelitian mengenai pengaplikasian komposit dengan menggunakan serat alam sebagai material penyerap suara. Penggunaan serat alam untuk *filler* komposit polimer telah digunakan oleh Farid (2017), dimana serat bambu digunakan untuk meningkatkan sifat penyerapan *wideband* pada komposit. Komposit poliester berpenguat bambu-rami, nilai α serat rami mencapai 0.836 pada frekuensi 125 Hz. Serat bambu mencapai nilai α 0.972 pada frekuensi 1000Hz. Terdapat kenaikan secara signifikan nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 125 Hz untuk material poliester berpenguat serat rami dan pada frekuensi

menengah 1000 Hz untuk material poliester berpenguat serat bambu. (Farid dan Hosta, 2015).

Untuk komposit dengan serat kelapa, nilai koefisien absorpsi suara dengan matriks fenol formaldehide bervariasi tergantung pada rentang frekuensinya. Nilai koefisien absorpsi suara semuanya berada di atas 0,15 yang merupakan syarat minimal material dikategorikan sebagai material akustik berdasarkan ISO 354 dan ISO 11654. Absorpsi komposit terbaik dicapai oleh PU (50PPG:50PPI)-5%K sebesar 0,444 pada frekuensi 2000Hz (Farid dan Rani, 2016).

Penambahan fraksi berat merubah bentuk dan jumlah pori, pori teratur dengan jumlah besar ada pada SR poros murni. Semakin besar fraksi berat mikro selulosa menyebabkan penurunan nilai koefisien absorpsi suara. Sedangkan penambahan *filler* nano selulosa akan menyebabkan penurunan nilai α pada fraksi 2% dan 4% akan tetapi mencapai nilai α tertinggi pada 6% berat dengan nilai α pada frekuensi 4000 Hz sebesar 0,425 (Farid dan Afira, 2017). Tabel 2.8 menunjukkan penelitian yang telah dilakukan mengenai material penyerap suara.

Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu

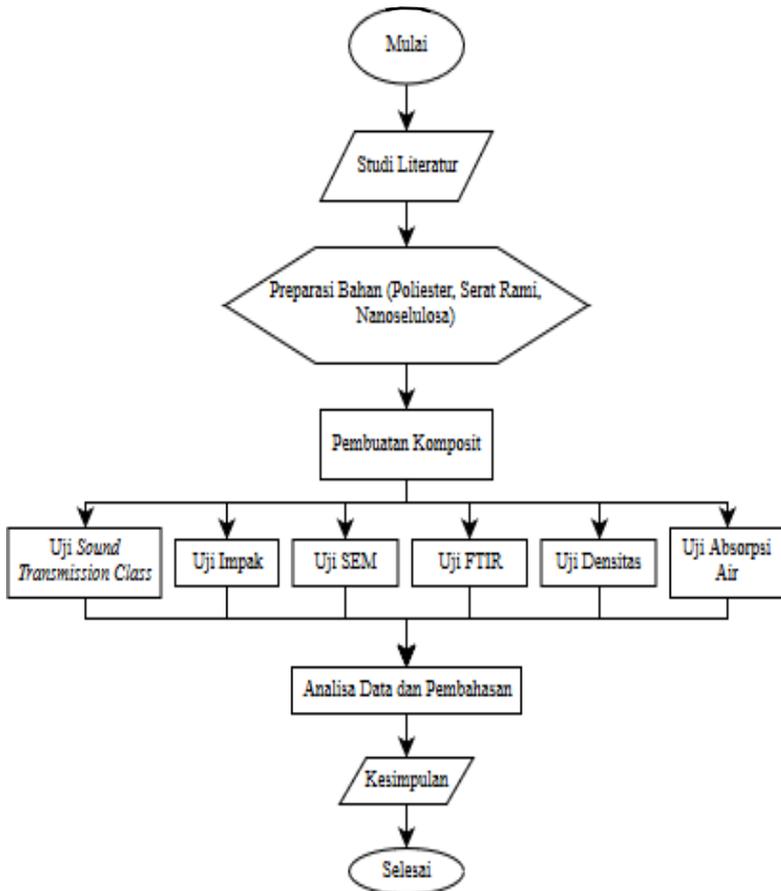
Nama Peneliti	Serat dan Matriks	Metode Pembuatan	Hasil Pengujian Absorpsi Suara
Farid, Tri (2013)	Rami dan Poliester	-	Frekuensi 1255 Hz, nilai α sebesar 0.835
Farid dan Hosta (2015)	Bambu – Rami dan Poliester	-	Dengan aspek rasio 90, nilai α serat rami mencapai 0.836 pada frekuensi 125 Hz. Serat bambu mencapai nilai α 0.972 pada frekuensi 1000 Hz.

Nama Peneliti	Serat dan Matriks	Metode Pembuatan	Hasil Pengujian Absorpsi Suara
Farid dan Nabilla (2015)	Rami – Bambu Betung dan <i>Gypsum</i>	<i>Hand Lay-up</i>	Frekuensi 500 Hz, nilai α sebesar 0.372. Frekuensi 1000 Hz, nilai α sebesar 0.386. Frekuensi 2000 Hz, nilai α sebesar 0.412. Frekuensi 4000 Hz, nilai α sebesar 0.44.
Farid dan Rani (2016)	Serat Kelapa dan Poliurethane	Penuangan	Frekuensi 2000 Hz nilai α sebesar 0,444
Farid dan Afira (2017)	Serat Nanoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit dan <i>Sillicone Rubber</i>	Penuangan	Frekuensi 4000 Hz nilai α sebesar 0.425
Limin et al (2014)	Serat Kayu dan Poliester	-	Frekuensi 4660 Hz nilai α sebesar 0.97
Farid dan Aljabir (2018)	Poliester/Nanose lulsoa/ <i>Fiber Glass</i>	<i>Hand Lay-up</i>	Nilai STC 30 Pada Ketebalan 3 mm

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan studi material komposit poliester berpenguat serat rami dan nanoselulosa untuk aplikasi material akustik. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1



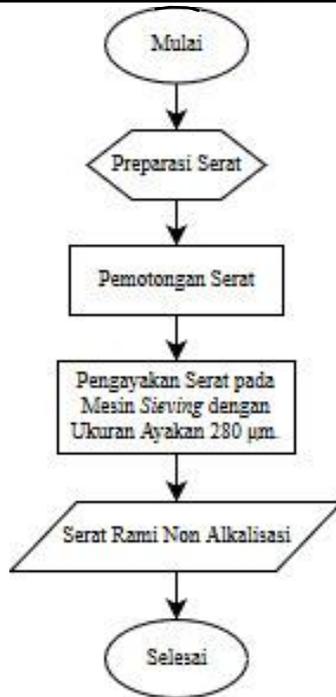
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.1.1 Diagram Alir Pembuatan *Filler* Serat Rami

Serat rami dipreparasi dengan diberikan perlakuan kimia untuk mendapatkan *filler* serat rami alkalisasi, serta melakukan pemotongan serat untuk *filler* serat rami non alkalisasi. Diagram alir pembuatan *filler* serat rami ditunjukkan oleh Gambar 3.2 dan 3.3.



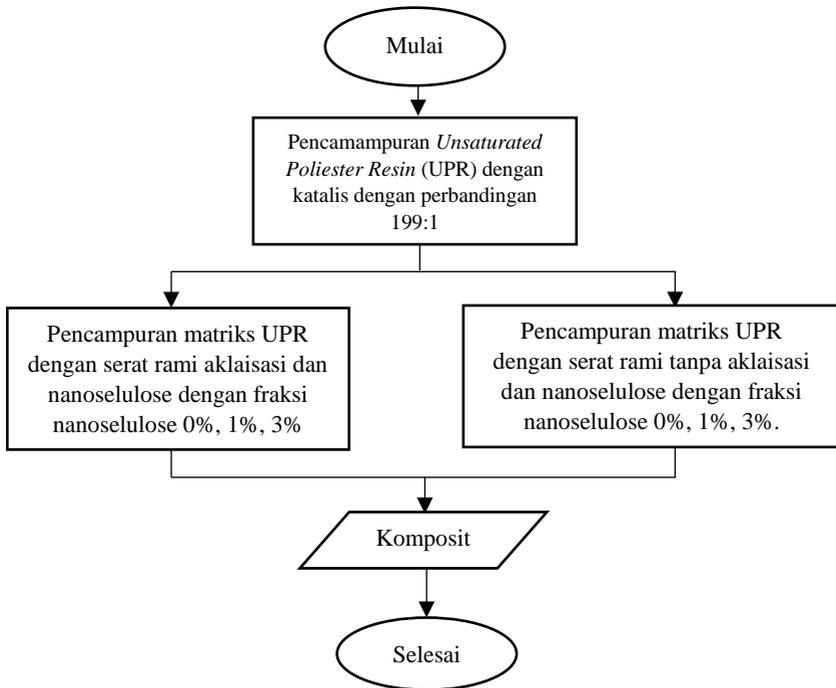
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan *Filler* Serat Rami Alkalisasi.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan *Filler* Serat Rami Non Alkalisasi.

3.1.2 Diagram Alir Pembuatan Komposit

Pembuatan komposit dilakukan dengan mencampurkan matriks poliester dengan serat rami dan nanoselulosa. Persen berat nanoselulosa yang digunakan yaitu 0%, 1%, dan 3%. Diagram alir pembuatan komposit ditunjukkan oleh Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir Pembuatan Komposit.

3.2 BAHAN DAN PERALATAN PENELITIAN

3.2.1 BAHAN PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Serat Rami
Serat rami didapatkan dari petani rami di daerah Yogyakarta dan pada penelitian ini digunakan sebagai *filler* pada komposit.
2. Poliester
Poliester yang digunakan adalah poliester YUKALAC 157 dan termasuk kedalam *unsaturated poliester* yang

digunakan sebagai matriks pada komposit. Poliester didapatkan dari PT. Justus.

3. Katalis

Jenis katalis yang digunakan yaitu katalis *mepoxe (Methyl Ethyl Ketone Peroxide)* yang digunakan untuk membantu proses *curing*. Katalis didapatkan dari PT. Justus.

4. NaOH

Pada penelitian ini NaOH digunakan dalam proses alkalisasi untuk menghilangkan lignin. NaOH didapatkan dari Toko kimia SIP.

5. Aquades

Aquades digunakan untuk berbagai macam keperluan, yaitu untuk mencuci serat dan melarutkan larutan. Aquades didapatkan dari Toko Kimia SIP.

6. Nanoselulosa

Nanoselulosa yang digunakan merupakan nanoselulosa yang didapat dari pembelian di *Blue Goose Biorefineries inc*, Canada dan pada penelitian ini digunakan sebagai *filler* pada komposit.

3.2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Cetakan

Cetakan uji *Sound Transmission Class* berbentuk tabung dengan diameter 10 cm dan tebal 1 cm, sedangkan untuk uji impak cetakan yang digunakan berbentuk balok dengan ukuran 6,35 cm x 1 cm x 1 cm.

2. Timbangan Digital

Gambar 3.5 menunjukkan timbangan yang digunakan untuk menimbang massa dari bahan sesuai dengan

komposisi yang telah ditentukan.



Gambar 3.5 Timbangan Digital.

3. Mesin Uji SEM

Mesin SEM yang digunakan merupakan milik laboratorium di Departemen Material FTI-ITS, dan mesin SEM milik Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya. Mesin SEM dapat dilihat pada Gambar 3.6.



(a)



(b)

Gambar 3.6 Mesin SEM Departemen Teknik Material FTI- ITS (a), dan Mesin SEM Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya (b).

4. Mesin Uji FTIR

Mesin FTIR yang digunakan merupakan milik laboratorium di Departemen Teknik Material FTI-ITS,

yang dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Mesin FTIR.

5. Oven

Oven yang digunakan merupakan milik Laboratorium Inovasi Material, Departemen Teknik Material FTI-ITS. Oven digunakan untuk mengeringkan serat rami setelah proses alkalisasi. Oven dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Oven.

6. Mesin *Sieving*

Mesin *sieving* digunakan untuk menyaring serat rami agar memiliki ukuran serat yang seragam. Mesin *sieving* yang digunakan milik Laboratorium Fisika Material Departemen Teknik Material FTI – ITS. Mesin *sieving* ditunjukkan oleh Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 Mesin *Sieving*.

7. Alat Uji Impak

Alat uji impak yang digunakan merupakan milik laboratorium pengolahan bahan di Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya. Alat Uji Impak ditunjukkan oleh Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Alat Uji Impak.

8. Alat Uji *Sound Transmission Class (STC)*

Alat uji *Sound Transmission Class (STC)* yang digunakan merupakan milik Departemen Teknik Fisika FTI-ITS. Alat uji *Sound Transmission Class (STC)* ditunjukkan oleh

Gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3.11 Alat Uji *Sound Transmission Class* (STC).

9. Mesin Pencacah

Mesin pencacah yang digunakan yaitu blender. Mesin pencacah digunakan untuk menjadikan serat menjadi bentuk serbuk. Mesin Pencacah dapat ditunjukkan oleh Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Alat Pencacah

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah fraksi massa nanoselulosa dengan komposisi sebesar 0%,

1% dan 3% serta penggunaan serat rami alkalisasi dan non alkalisasi pada komposit.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Pelaksanaan penelitian memerlukan persiapan bahan yang baik dan benar. Persiapan bahan dapat mempengaruhi analisis pada produk dimana persiapan yang baik akan menghasilkan spesimen sesuai dengan yang diinginkan.

- A. Proses Pengolahan Serat Rami Alkalisasi
1. Memotong serat rami menjadi ukuran yang lebih kecil. Proses memotong serat rami dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Pemotongan Serat Rami.

2. Mencacah serat rami menggunakan blender.
3. Merendam serat rami yang sudah dipotong kedalam larutan NaOH 2% selama 24 jam. Proses perendaman serat rami dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Perendaman Serat Rami dalam Larutan NaOH.

4. Membilas serat yang sudah direndam dengan aquades.
5. Mengeringkan serat yang sudah dicuci di dalam oven dengan temperatur 100°C selama 4 jam. Proses memasukan serat ke dalam oven dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Proses Pengeringan Serat Rami.

6. Mengayak serat dengan alat *sieving* dengan ukuran ayakan $280\ \mu\text{m}$. Proses pengayakan serat rami menggunakan alat *sieving* dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Proses Pengayakan Serat Rami.

7. Menimbang massa serat sesuai dengan komposisi yang diinginkan.

-
- B. Proses Pengolahan Serat Rami Non Alkalisasi
1. Memotong serat rami menjadi ukuran yang lebih kecil.
 2. Mencacah serat rami menggunakan blender.
 3. Mengayak serat dengan alat sieving dengan ukuran ayakan 280 μm
 4. Menimbang massa serat sesuai dengan komposisi yang diinginkan.
- C. Pembuatan Komposit
1. Melapisi permukaan cetakan dengan *aluminium foil* agar spesimen mudah diambil setelah mengering.
 2. Memberikan *wax* pada permukaan cetakan agar spesimen tidak melekat atau lengket pada aluminium foil, sehingga setelah mengering, *aluminium foil* mudah untuk dilepaskan.
 3. Menimbang massa dari poliester, serat rami dan nanoselulosa sesuai dengan komposisi yang diinginkan.
 4. Mencampur poliester, serat rami, dan nanoselulosa yang telah dihitung massanya hingga tercampur merata
 5. Memasukan poliester, serat rami, dan nanoselulosa ke dalam cetakan, kemudian ditunggu hingga mengering.

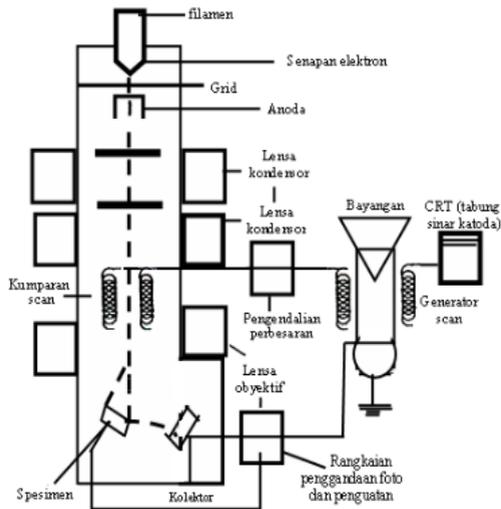
3.4.3 Proses Pengujian

A. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, depth of field 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. SEM memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang

muncul dari permukaan obyek (Prasetyo, 2011). Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut :

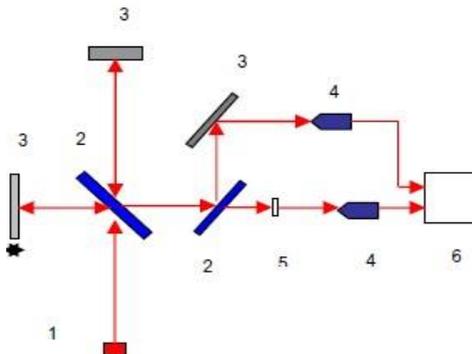
1. Senapan elektron menghasilkan *electron beam* dari filamen. Pada umumnya senapan elektron yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT. Cara kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Prinsip Kerja SEM (Prasetyo, 2011).

B. Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

(*Fourier Transform Infrared*) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi Fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Inti spektroskopi FTIR adalah *interferometer Michelson* yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang atau bilangan gelombang.



Gambar 3.18 Skema Alat Spektroskopi FTIR (Marcott, 1986).

Gambar 3.18 menunjukkan skema alat spektroskopi, angka 1 menunjukkan sumber inframerah yang ditembakkan ke pembagi berkas (*beam splitter*), lalu inframerah diteruskan ke sampel uji (5), setelah melewati benda uji kemudian melewati sensor inframerah, dan menghasilkan gambar akhir (Marcott, 1986).

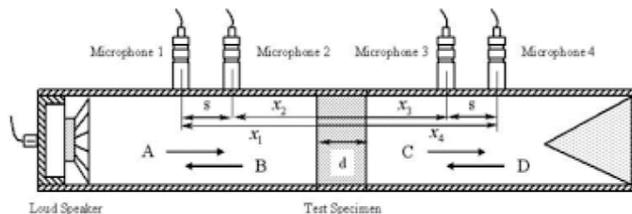
Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Spesimen yang digunakan untuk pengujian FTIR berupa cuplikan kecil dari material yang

dibuat. Mesin uji FTIR yang digunakan adalah Nicolet IS10. Sampel diletakkan *sample holder*, kemudian *detector* didekatkan pada sampel. Pastikan sampel uji memiliki permukaan yang rata dan ketebalan yang sama.

C. Uji Sound Transmission Class

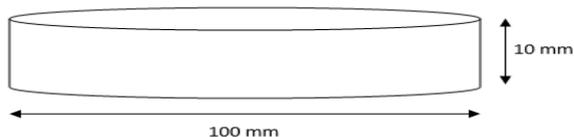
Sound Transmission Loss (STL) dan *Sound Transmission Class (STC)* adalah dua parameter yang digunakan dalam bidang akustik untuk mengetahui seberapa kuat sebuah material untuk menyerap suara yang merambat melalui udara. Adapun metode perhitungan nilai STC yang dilakukan pada penelitian ini yaitu metode tabung impedansi.

Metode ini menggunakan sebuah tabung dan 2 buah mikrofon sebagai sensor penangkap bunyi. Metode ini mengacu pada ASTM E413-16. Gambar 3.19 menunjukkan skema diagram tabung impedansi untuk mengukur *sound transmission loss*.



Gambar 3.19 Tabung Impedansi Untuk Pengukuran *Sound Transmission Loss* (Warcnock, 2018).

Dimensi spesimennya berbentuk tabung dengan diameter 100 mm dan tinggi 10 mm seperti pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Ukuran Spesimen Uji STC (Warcnock, 2018).

Langkah dari pengujian STC diantaranya:

1. Memasukan Spesimen uji berbentuk tabung dengan diameter 10 cm ke dalam tabung impedansi dengan posisi melintang.
2. Memasang mikrofon pada daerah sumber bunyi dan daerah setelah suara melewati spesimen atau pada ujung ujung tabung impedansi. Mikrofon berfungsi sebagai sensor suara
3. Menghubungkan *amplifier* dengan sumber listrik dan speaker yang sudah dipasang di salah satu ujung tabung sebagai sumber suara. Suara yang diberikan dengan adalah 1/3 oktaf dengan range frekuensi 125 Hz s.d 4000 Hz yang diatur dengan amplifier. Gelombang suara yang diberikan dimulai dengan frekuensi yang paling rendah terlebih dahulu sampai frekuensi yang paling tinggi secara bertahap. Gelombang awal yang datang dari speaker ditangkap oleh mikrofon 1 dan gelombang akan terus berjalan ke arah spesimen. Gelombang yang ditransmisikan akan ditangkap oleh mikrofon 2 yang diletakkan setelah spesimen.
4. Hasil dari gelombang suara yang ditangkap oleh kedua mikrofon akan diolah oleh Ni cDAQ 9178 menjadi fungsi koding yang selanjutnya akan diproses oleh laptop dengan aplikasi LabView. Kemudian didapatkan dari nilai transmission loss pada pengujian.

Nilai tersebut merupakan selisih antara *sound insulation contour* (dB) yang datang dengan yang diteruskan oleh sampel. *Deficeincy* adalah perbandingan selisih antara *sound insulation contour* dengan TL pada pengukuran. Untuk menentukan nilai STC diproses dengan *software* matlab yang digunakan acuan tabel *Sound insulation contour* yang mana nilai dari *deficiency* tidak boleh lebih dari 8 dB dan ketika dijumlahkan semua nilai kurang dari 32 dB. Hasil spesimen uji STC pada percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Spesimen Uji STC.

D. Pengujian Densitas

Densitas adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi densitas (massa jenis) suatu benda, maka semakin besar pula setiap volumenya. Densitas rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki densitas lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda yang bermassa sama yang memiliki densitas yang lebih rendah. Standar yang digunakan adalah ASTM D2395. Pengujian dilakukan dengan perhitungan massa spesimen dalam udara dan dalam air. Perhitungan massa dalam air dilakukan ketika *specimen* dicelupkan dalam air pada temperatur ruangan dengan menggunakan benang (holder) untuk menahan spesimen agar tidak menyentuh dasar bejana. Pengujian densitas dapat dilihat pada Gambar 3.22. Setelah diperoleh masa sampel, baik di udara (kering) maupun di dalam air (basah), selanjutnya dilakukan perhitungan dengan Persamaan 3.1.

$$\rho = A \times \rho \text{ air murni} / (A' - b) \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

- ρ = massa jenis (g/cm^3)
- $\rho \text{ air murni}$ = masa jenis air ($0,997 \text{ g/cm}^3$)
- A = massa sampel di udara (g)
- A' = masa sampel tergantung dalam air (g)
- b = masa holder (benang) (g)



Gambar 3.22 Pengujian Densitas.

E. Pengujian Absorpsi Air (*Water Absorption*)

Water-absorption dalam komposit merupakan kemampuan komposit dalam menyerap air dalam waktu tertentu. Pengujian *water absorbability* digunakan untuk menghitung perubahan berat dari suatu material akibat air yang menyerap ke dalam pori di antara partikel pokok dibandingkan dengan pada saat kondisi kering. Pengujian daya serap air (*water absorption*) pada masing – masing komposit dapat dilakukan dengan cara menimbang massa kering sampel dan massa basah. Massa kering adalah massa pada saat sampel dalam keadaan kering, dan massa basah diperoleh setelah sampel mengalami perendaman selama 24 jam di dalam air. Spesimen uji *water-absorption* dapat dilihat pada Gambar 3.23. Menurut ASTM D570-98 untuk mendapatkan nilai penyerapan air dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.2.

$$\text{Daya serap air (\%)} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan:

Mb = massa sampel dalam keadaan basah (gr)

Mk = massa sampel dalam keadaan kering (gr)

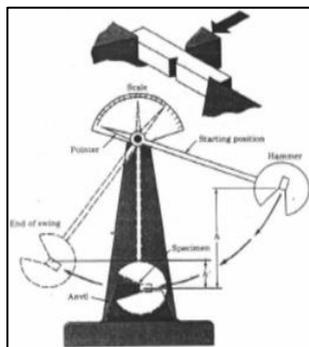


Gambar 3.23 Spesimen Uji *Water Absorption* dan Densitas.

F. Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan suatu pengujian untuk mengukur ketahanan beban terhadap beban kejut. Pengujian impak mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Standar pengujian impak yang digunakan pada penelitian ini yaitu standar astm A370.

Uji impak ini membutuhkan tenaga untuk mematahkan benda uji dengan sekali pukul, alat pukul yang digunakan berupa sebuah palu dengan berat tertentu yang dijatuhkan dengan cara dilepaskan dari sudut 150° (α) dan sisi pisau pada palu mengenai benda uji berbentuk persegi panjang dengan ukuran 10×10 mm, panjang 55 mm dan takikan 2 mm serta sudut takik 45° karena pukulan tersebut benda uji akan patah, kemudian palu akan berayun kembali membentuk sudut (β) dan hasil dari keliatan benda uji. Prinsip pengujian impak dapat dilihat pada Gambar 3.24.



Gambar 3.24 Prinsip Pengujian Impak (ASTM A370).

Untuk menghitung harga impact komposit digunakan Persamaan 3.3.

$$E = Pd [(\cos \beta - \cos \alpha) - (\cos \alpha' - \cos \alpha) (\alpha + \beta / \alpha + \alpha')]. \quad (3.3)$$

Keterangan:

- E : Absorbed energy during specimen breaking (J).
 Pd : Measured Pendulum Moment (Nm) = 1,0718 Nm (Constant).
 α : Rising Angle ($^{\circ}$) = 150° (Constant).
 α' : Reverse Rising Angle after the pendulum empty impact ($^{\circ}$) = 149° (Constant).
 β : The Reverse Side Rising Angle After the Specimen Ruptured.

Setelah ditemukan harga E, maka perhitungan harga impact dihitung menggunakan Persamaan 3.4.

$$HI = \frac{E}{A} \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan:

- HI : Harga Impact (KJ/m²).
 E : Absorbed energy during specimen breaking (KJ).
 A : Luas Area Di Bawah Takik (m²).

Spesimen uji impact pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Spesimen Uji Impact.

3.5 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Spesimen Uji	Pengujian					
	Sem	Ftir	Impak	<i>Sound Transmission Class</i>	Densitas	Absorpsi air
Serat Rami Alkalisasi	V	V	-	-	-	-
Serat Rami Non Alkalisasi	V	V	-	-	-	-
UPR/Rami Alkalisasi/Nano selulosa 0%	-	-	V	V	V	V
UPR/Rami Alkalisasi/Nano selulosa 1%	V	V	V	V	V	V
UPR/Rami Alkalisasi/Nano selulosa 3%	-	-	V	V	V	V
UPR/Rami Tanpa Alkalisasi/Nano selulosa 0%	V	V	V	V	V	V
UPR/Rami Tanpa Alkalisasi/Nano selulosa 1%	-	-	V	V	V	V
UPR/Rami Tanpa Alkalisasi/Nano selulosa 3%	-	-	V	V	V	V

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

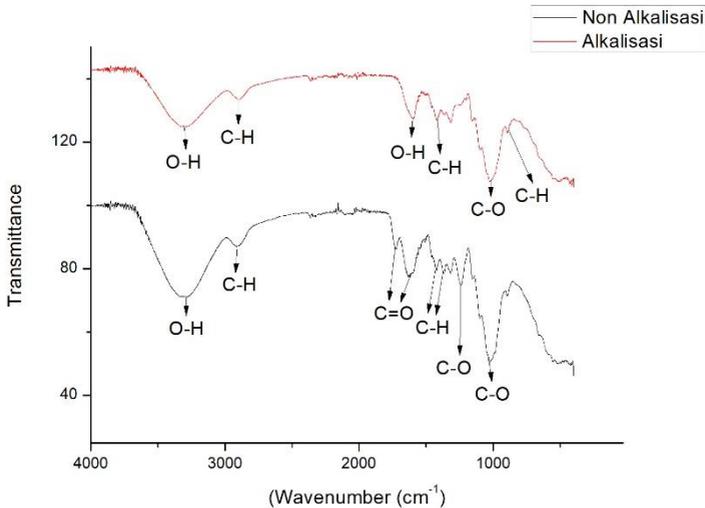
Pada penelitian ini, komposit yang diteliti merupakan komposit berpenguat serat rami dan nanoselulosa dengan matriks poliester. Analisa yang dilakukan pada komposit tersebut yaitu analisa morfologi, nilai STC, serta sifat mekanik dan sifat fisik dari komposit.

4.1 Hasil Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Pengujian FTIR dilakukan pada serat rami sebelum dan sesudah alkalisasi. Selain itu pengujian FTIR juga dilakukan pada komposit berpenguat 1% nanoselulosa dan serat rami alkalisasi, serta komposit 0% nanoselulosa berpenguat serat rami non alkalisasi.

4.1.1 Analisa Hasil Pengujian FTIR Serat Rami

Uji FTIR pada serat rami dengan perlakuan alkalisasi dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia yang terkandung dalam serat setelah dan sebelum proses alkalisasi. Perlakuan alkalisasi bertujuan untuk menghilangkan lignin yang terkandung dalam serat. Lignin dapat menjadi penghalang bagi serat agar dapat berikatan dengan matriks yang menyebabkan terbentuknya *interface* yang buruk. Selain itu penghilangan lignin meningkatkan kompatibilitas antara polimer yang bersifat hidrofobik dengan serat rami yang bersifat hidrofilik (Oksman dkk, 2003).



Gambar 4.1 Hasil FTIR Serat Rami Sebelum dan Sesudah Alkalisasi

Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan grafik *peak* pada serat rami sebelum dan sesudah alkalisasi. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ada *peak* yang hilang karena proses alkalisasi.

Tabel 4.1 Daerah Serapan Infrared Serat Rami

Jenis Serat	Wavenumber (cm ⁻¹)	Jenis Ikatan
Serat Rami Sebelum Alkalisasi	3284,66	O-H Streching
	2915,03	C-H Streching
	1725,16	C=O Streching
	1636,95	C=O Streching
	1420,54	C-H Deformasi
	1369,38	C-H Deformasi
	1317,01	CH ₂ Vibrasi
	1241,14	C-O Streching
Serat Rami Setelah Alkalisasi	1026,44	C-O Streching
	3284,24	O-H Streching
	2892,82	C-H Streching
	1596,77	O-H Deformasi
	1420,01	C-H Deformasi
	1316,17	CH ₂ Vibrasi
	1020,65	C-O Streching
	895,17	C-H Streching

Tabel 4.1 menunjukkan daerah serapan serat rami sebelum dan sesudah perlakuan alkalisasi. Puncak serapan $3284,66\text{ cm}^{-1}$ dan $3284,24\text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah peregangan O-H. Pada puncak $2915,03$ dan $2892,24\text{ cm}^{-1}$ adalah daerah C-H yang mengalami peregangan. Ikatan O-H dan C-H tersebut merupakan ikatan grup hidroksil dari ikatan hidrogen yang dimiliki selulosa (Sentharamaikkannan, 2018, Kolpak, 1976). Pada puncak $1420,54\text{ cm}^{-1}$ dan $1420,01\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi *aromatic* C-H deformasi pada selulosa. Puncak $1317,01\text{ cm}^{-1}$ dan $1316,17\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi CH_2 dalam selulosa (Poletto, 2012). Pada puncak $1026,44\text{ cm}^{-1}$ dan $1020,65\text{ cm}^{-1}$ merupakan peregangan ikatan C-O yang dimiliki oleh selulosa (Ozgenc, 2017). Ikatan struktur kimia dalam selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.8.

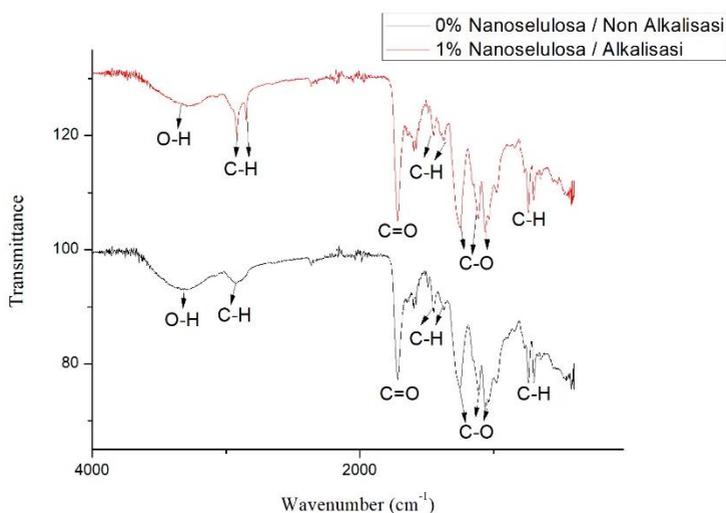
Pada serat rami sebelum alkalisasi, terdapat puncak serapan $1725,16\text{ cm}^{-1}$ dan $1636,95$ yang merupakan peregangan C=O. Ikatan C=O stretching pada puncak $1725,16$ merupakan ikatan yang dimiliki oleh hemiselulosa, sedangkan pada puncak $1636,95$ merupakan ikatan lignin (Ozgenc, 2017). Puncak $1369,38\text{ cm}^{-1}$ merupakan C-H deformasi yang merupakan ikatan yang dimiliki lignin. (Negawo, 2019). Pada puncak $1241,14\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C-O yang dimiliki oleh lignin (Han, 2015).

Pada serat rami setelah alkalisasi, puncak $1369,38\text{ cm}^{-1}$, $1241,14\text{ cm}^{-1}$, dan $1636,95$ tidak dapat ditemukan. Hal tersebut terjadi karena proses alkalisasi dilakukan untuk mengurangi atau menghilangkan lignin dari serat. Ikatan O-H deformasi pada daerah puncak $1596,77\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya penyerapan air pada selulosa (Lojewska, 2004). Pada puncak 895 cm^{-1} merupakan peregangan C-H yang dimiliki oleh selulosa (Ozgenc, 2017). Puncak $1725,16\text{ cm}^{-1}$ yang sebelumnya ada pada serat rami sebelum alkalisasi, tidak ditemukan pada serat rami alkalisasi. Hal tersebut terjadi karena proses alkalisasi mampu memutuskan ikatan dari hemiselulosa (Negawo, 2019). Pada puncak *wavenumber* antara 3000 dan 3500 cm^{-1} mengindikasikan ikatan O-H mengalami peregangan akibat pengaruh alkalisasi. Perlakuan alkalisasi mereduksi ikatan hidrogen akibat penghilangan

kelompok hidroksil dengan bereaksi bersama sodium hidroksida, sehingga meningkatkan konsentrasi $-OH$ (Lojewska, 2004).

4.1.2 Analisa Hasil Pengujian FTIR Komposit

Hasil uji FTIR komposit yang telah dibuat ditampilkan pada Gambar 4.2. Komposit yang dikenakan pengujian FTIR adalah komposit Poliester berpenguat serat rami non alkalisasi dengan 0% Nanoselulosa, dan Poliester berpenguat serat rami alkalisasi dengan 1% Nanoselulosa.



Gambar 4.2 Hasil Uji FTIR Komposit.

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hasil uji FTIR. Puncak serapan $3289,78\text{ cm}^{-1}$ dan $3294,33\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan peregangan O-H. Pada puncak serapan $2918,69\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan peregangan ikatan C-H. Pada puncak serapan $1717,73\text{ cm}^{-1}$ dan $1716,41\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C=O yang mewakili gugus ester. Sedangkan pada puncak serapan $1597,96\text{ cm}^{-1}$ dan $1589,88\text{ cm}^{-1}$, serta $1578,60\text{ cm}^{-1}$ dan $1579,88\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C=C yang mewakili gugus Aromatik. Pada daerah serapan $1490,06\text{ cm}^{-1}$ dan $1491,25\text{ cm}^{-1}$, $1448,52\text{ cm}^{-1}$ dan, $1448,65\text{ cm}^{-1}$ serta $1371,28\text{ cm}^{-1}$ dan $1374,66\text{ cm}^{-1}$

menunjukkan ikatan C-H yang mewakili gugus Alkana. Sedangkan pada daerah serapan 1062,40 dan 1062,95, 1112,55 dan 1115,17, serta 1253,83 dan 1252,84 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-O yang mewakili gugus Ester. Daerah serapan 740,81 cm^{-1} dan 740,33 cm^{-1} menunjukkan peregangan ikatan C-H, sedangkan pada puncak 702,59 cm^{-1} dan 700,16 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H Deformasi.

Tabel 4.2 Daerah Serapan Infrared Komposit

Komposit	Wavenumber (cm^{-1})	Jenis Ikatan
0% Nanoselulosa/Serat Rami Non Alkalisasi	700,16	C-H Deformasi
	740,33	C-H Streching
	1062,40	C-O stretching
	1112,55	C-O stretching
	1253,83	C-O stretching
	1371,28	C-H deformasi
	1448,65	C-H Deformasi
	1491,25	C-H Deformasi
	1579,88	C=C Streching
	1589,88	C=C Streching
	1716,41	C=O Streching
1% Nanoselulosa/Serat Rami Alkalisasi	2919,39	C-H Streching
	3294,33	O-H Streching
	702,59	C-H Deformasi
	740,81	C-H Streching
	1062,95	C-O stretching
	1115,17	C-O stretching
	1252,84	C-O stretching
	1374,66	C-H deformasi
	1448,52	C-H Deformasi
	1490,06	C-H Deformasi
	1578,60	C=C Streching
1597,96	C=C Streching	
1717,94	C=O Streching	
2894,21	C-H Streching	
2918,69	C-H Streching	
3289,78	O-H Streching	

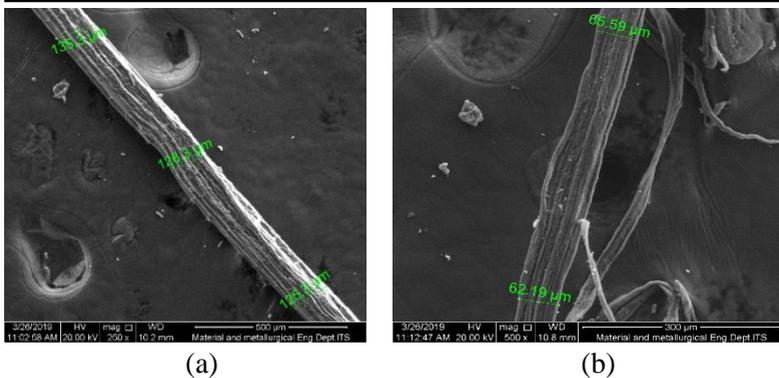
Tabel 4.2 menunjukkan puncak serapan infrared dari kedua komposit. Puncak yang berada pada rentang $1730-1715\text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus ester tak jenuh $\text{C}=\text{O}$, yang menjadi ciri khas poliester tak jenuh (Sugiman, 2015). Pada komposit 1% nanoselulosa/serat rami alkalisasi terdapat puncak $2894,21\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan peregangan ikatan $\text{C}-\text{H}$. Puncak tersebut dapat terjadi karena adanya hidrolisis pada grup *acetyl* dari hemiselulosa (Esteves, 2013). Puncak gugus fungsi $\text{C}-\text{H}$ tersebut merupakan ciri gugus nanoselulosa (Chieng, 2017). Ada tiga faktor yang mempengaruhi ikatan pada *unsaturated polyester*, yakni: penjangkaran mekanik (*mechanical anchoring*), ikatan kimia antara serat alam dan resin dimana gugus hidroksil ($-\text{OH}$) pada rantai belakang resin (poliester tidak jenuh) menyediakan sebuah daerah untuk mengadakan ikatan hidrogen terhadap serat alam yang mengandung banyak gugus hidroksil dalam struktur kimianya dan gaya molekular atraktif (gaya *van der waals* dan ikatan hidrogen) (Ray, 2005), sehingga serat rami yang telah mengalami alkalisasi akan mempunyai ikatan yang lebih baik dari pada serat rami tanpa alkalisasi.

4.2 Hasil Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui morfologi serat dan komposit yang diperlihatkan oleh citra fotomikrografi. SEM juga dapat menunjukkan diameter dari serat yang diamati. Pengujian SEM serat dilakukan di Laboratorium Karakterisasi, Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, sedangkan pengujian SEM komposit dilakukan di Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.

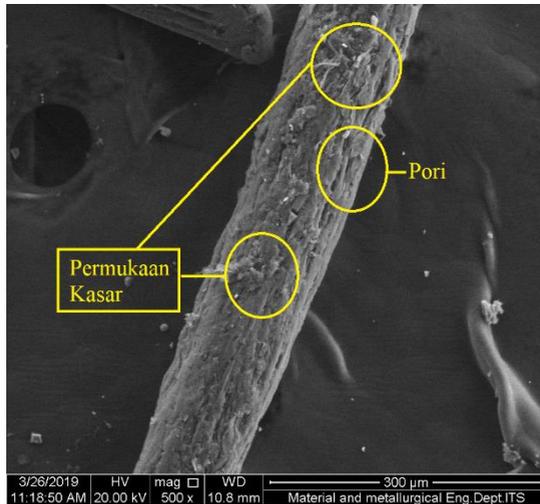
4.2.1 Analisa Hasil Uji SEM Serat Rami

Pengujian SEM serat rami dilakukan pada serat rami sebelum dan setelah proses alkalisasi. Hasil pengujian SEM serat rami dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil SEM Serat Rami (a) Sebelum Proses Alkalisasi (b) Setelah Proses Alkalisasi Perbesaran 500x.

Gambar 4.3 (a) menunjukkan hasil pengamatan SEM pada serat rami sebelum alkalisasi dengan perbesaran 250x dan (b) menunjukkan hasil pengamatan SEM pada serat rami setelah proses alkalisasi. Terlihat pada Gambar (a) bahwa diameter serat rami memiliki ukuran 125– 135 μm . Permukaan serat alam yang belum diberi perlakuan alkalisasi terdiri atas lapisan lilin, pektin, lignin, substansi lemak serta pengotor (Senthamaraikannan, 2018). Pada Gambar (b) terlihat bahwa diameter serat rami mengalami pengurangan menjadi 62–65 μm . Pengurangan diameter pada serat setelah proses alkalisasi mengindikasikan adanya pengurangan lignin dan pengotor pada permukaan serat. (Senthamaraikannan, 2018). Pengurangan diameter pada serat alam setelah proses alkalisasi juga didapatkan pada penelitian Shanmugasundaram (2018), dimana proses alkalisasi menggunakan larutan NaOH 15% pada serat palem pinang menyebabkan pengurangan diameter serat dari 285–330 μm menjadi 210–265 μm .

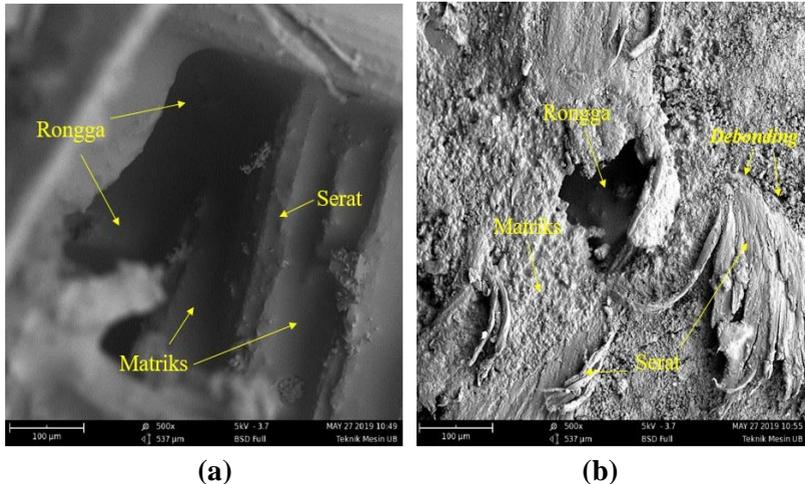


Gambar 4.4 Hasil SEM Morfologi Serat Rami Setelah Alkalisasi Perbesaran 500x.

Gambar 4.4 menunjukkan hasil SEM morfologi serat rami yang telah dialkalisasi dengan perbesaran 500x. Pada gambar tersebut terlihat adanya bagian permukaan serat yang kasar. Menurut penelitian yang dilakukan oleh kathiresan (2018), proses alkalisasi serat alam dapat meningkatkan kekasaran permukaan serat. Hal tersebut terjadi karena adanya pengurangan lignin, pektin, substansi lemak, serta pengotor yang dapat menyebabkan kekasaran pada permukaan serat meningkat. Hasil tersebut menandakan bahwa proses alkalisasi mampu meningkatkan kekasaran pada permukaan serat alam, sehingga sifat *wettability* dan kekuatan adhesi antara serat dengan matriks polimer dapat meningkat. (Balaji & Nagarajan, 2017). Selain itu, pada Gambar 4.2 juga ditemukan adanya pori pada permukaan serat. Pori tersebut dapat terbentuk karena pengotor dan substrat yang tidak diinginkan pada permukaan serat hilang akibat dari perlakuan alkalisasi (Rajendran, 2018). Pori yang terbentuk dapat meningkatkan ikatan *interface* antara serat dengan matriks

sehingga mampu meningkatkan sifat mekanik dari komposit serat yang diperkuat matriks polimer (Thiruchitrabalam, 2012).

4.2.2 Analisa Hasil Pengujian SEM Komposit



Gambar 4.5 SEM Komposit (a) 1% Nanoselulosa / Serat Rami Alkalisasi, (b) 0% Nanoselulosa / Serat Rami Non Alkalisasi Perbesaran 500x.

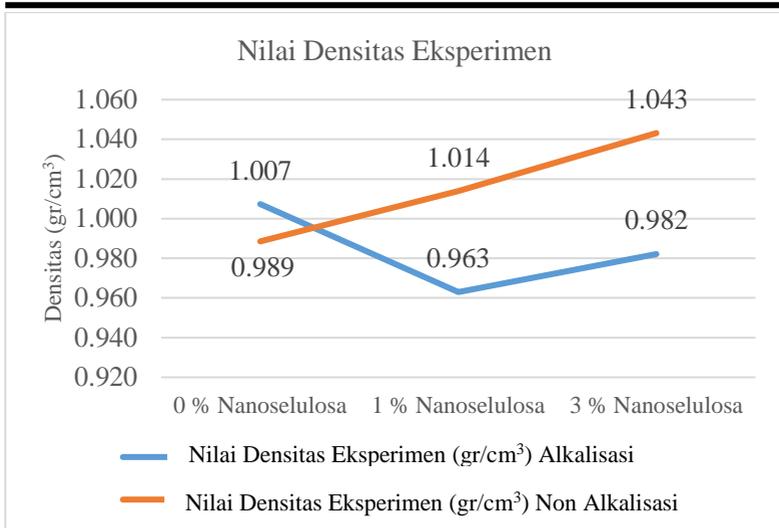
Gambar 4.5 menunjukkan hasil uji SEM komposit. Pada hasil SEM komposit berpenguat serat alkalisasi dengan penambahan 1% nanoselulosa (Gambar a), nampak bahwa banyak matriks yang menempel atau berikatan dengan serat. Hal tersebut terjadi karena proses alkalisasi serat mampu meningkatkan kekuatan adesi *interface* antara serat dan matriks dengan cara memudahkan resin untuk meresap ke dalam bundel dan fibril serat, sehingga menghasilkan kontak yang lebih baik dan meningkatkan area kontak antara serat dan poliester (Negawo, 2019). Peningkatan ikatan tersebut juga dibantu oleh adanya pori serta permukaan kasar yang dimiliki oleh serat dengan perlakuan alkalisasi. Ikatan adesi yang baik antara serat dan matriks akan membantu meningkatkan sifat mekanik dari komposit yang diperkuat serat

dan bermatriks polimer (Thiruchitrabalam, 2012). Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa rongga yang terbentuk memiliki ukuran yang cukup besar. Hal tersebut terjadi karena nanoselulosa itu sendiri memiliki kemampuan untuk membentuk rongga sehingga menghasilkan material berpori (Kargarzardeh, 2018).

Pada gambar hasil SEM komposit serat rami non alkalisasi tanpa penambahan nanoselulosa (Gambar b), terlihat bahwa serat rami tidak berikatan sempurna dengan matriks. Hal tersebut terlihat dengan adanya bagian *debonding* atau celah yang terdapat diantar serat dan matriks. Peristiwa *debonding* juga ditemukan pada penelitian Ridzuan (2016), dimana pada hasil pengujian SEM komposit bermatriks *epoxy* berpenguat serat purpureum tanpa perlakuan, terlihat adanya *debonding* pada bagian interface antara serat dan matriks. Peristiwa ini terjadi karena lemahnya ikatan *interface* antara matriks dan serat yang diakibatkan oleh ketidakcocokan sifat hidrofilik serat serta hidrofobik matriks poliester. Selain itu, adanya pengotor, lignin dan lapisan lilin yang ada pada permukaan serat menyebabkan ikatan yang kuat antara serat dan matriks sulit terjadi (Oushabi, 2017).

4.3 Hasil Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui densitas komposit yang telah dibuat. Pengujian densitas dilakukan di Departemen Teknik Material ITS. Berikut merupakan grafik nilai densitas komposit dari percobaan ini.



Gambar 4.6 Grafik Nilai Densitas Komposit.

Pada Gambar 4.6, terlihat pada titik 0% nanoselulosa, nilai densitas dari komposit berpenguat serat rami alkalisasi memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dari pada komposit berpenguat serat non alkalisasi. Hasil tersebut juga ditemukan pada penelitian Liu (2019), dimana pemberian *silane solution* pada serat *corn stalk* menyebabkan nilai densitas komposit lebih tinggi daripada serat *corn stalk* tanpa perlakuan. Selain itu pada penelitian Shanmugasundaram (2012), juga didapatkan hasil yang sama, dimana nilai densitas lebih tinggi didapat pada serat *areca palm leaf stalk* yang diberi perlakuan alkalisasi dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan. Hal tersebut terjadi karena proses alkalisasi yang mampu menghilangkan senyawa *non-celulosic* dari permukaan serat (Shanmugasundaram, 2012).

Pada komposit berpenguat serat rami alkalisasi, pada penambahan 1% nanoselulosa, nilai komposit berkurang. Hal tersebut karena nanoselulosa memiliki kemampuan untuk membuat pori pada material (Kargarzardeh, 2018), sehingga menjadikan nilai densitas komposit mengalami penurunan (Heath,

2010). Namun pada penambahan 3%, terjadi peningkatan nilai densitas komposit. Peningkatan tersebut terjadi karena adanya kemungkinan agregasi dan aglomerasi dari serat rami yang telah dialkalisasi dengan nanoselulosa yang ditambahkan. Agregasi dan aglomerasi sangat mungkin terjadi karena saat penambahan nanoselulosa secara berlebihan akan menghasilkan interaksi antar sesama pengisi menjadi semakin kuat, sehingga kerapatan komposit akan meningkat, begitu juga densitas kompositnya (Triyastiti, 2018). Perlakuan alkalisasi serat dapat menyebabkan difusi atau dispersi dari serat kurang merata (Rajesh, 2017), sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya aglomerasi pada pengisi komposit. Agregasi pada komposit dengan penambahan nanopartikel juga ditemukan pada penelitian Shi (2016), dimana pada penambahan 3% nano silica terjadi peningkatan densitas komposit akibat agregasi/aglomerasi.

Pada komposit berpenguat serat rami non alkalisasi, penambahan nanoselulosa menyebabkan nilai densitas komposit semakin meningkat. Hal ini dikarenakan, penggunaan *filler* berupa nanoselulosa, dimana ukuran nano akan membentuk massa dengan kerapatan lebih besar, akibat pengurangan rongga-rongga antar partikel. Peningkatan kerapatan juga terjadi karena nanoselulosa terdistribusi secara merata, sehingga peralihan beban dari matriks ke serat berlangsung secara efektif (Mueller, 2014)

Tabel 4.3 Nilai Densitas Teoritis dan Eksperimen

Jenis Spesimen	Nilai Densitas Teoritis (gr/cm ³)	Nilai Densitas Eksperimen (gr/cm ³)	
		Alkalisasi	Non Alkalisasi
0 % Nanoselulosa	1.2498	1.0073	0.9885
1 % Nanoselulosa	1.2505	0.9630	1.0139
3 % Nanoselulosa	1.2518	0.9822	1.0431

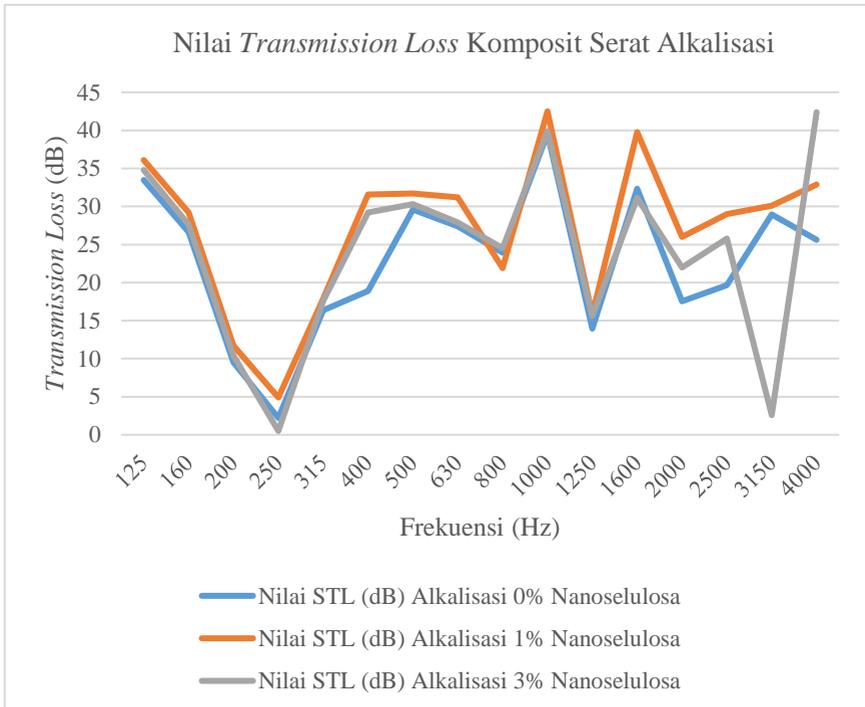
Dari Tabel 4.3 tersebut, terlihat bahwa nilai densitas eksperimen lebih rendah daripada nilai densitas teori. Hasil yang sama juga didapatkan pada penelitian Mardiyati (2017), dimana nilai densitas komposit serat rami berpenguat polipropilena memiliki nilai densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai densitas teori. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya rongga/*void* pada komposit (Mardiyati, 2017).

4.4 Hasil Pengujian STC

Pengujian STC (*Sound Transmission Class*) merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai STC pada suatu material. Pengujian STC dilakukan di Jurusan Teknik Fisika ITS. Hasil pengujian STC yang dilakukan pada metrial dalam percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 4.4. Secara umum, nilai transmission loss dari keenam spesimen mengalami kenaikan dan penurunan, hal ini dikarenakan setiap frekuensi memiliki ciri khas daam mengurangi energi suara yang dinyatakan bahwa pengurangan energi suara tiap frekuensi bersifat logaritmik sehingga tidak selalu berbanding lurus dengan yang lain (Warcnock, 2018). Perbedaan nilai transmission loss di tiap frekuensi juga ditemukan pada penelitian Shi (2016), dimana pada penelitian tersebut mengalami kenaikan dan penurunan nilai STL pada frekuensi tertentu.

Tabel 4.4 Nilai STL (*Sound Transmission Loss*) Komposit

Frekuensi (Hz)	Nilai STL (dB)					
	Alkalisasi			Non Alkalisasi		
	0% Nanose lulosa	1% Nanose lulosa	3% Nanose lulosa	0% Nanose lulosa	1% Nanose lulosa	3% Nanose lulosa
125	33.50	36.1	34.8	68.52	41.72	37
160	26.64	29.2	27.6	61.79	35.03	30.1
200	9.51	11.7	10.4	51.82	14.87	16.4
250	2.21	4.9	0.5	32.46	6.06	7.4
315	16.38	17.9	17.6	54.81	27.32	21.6
400	18.91	31.6	29.2	37.66	32.47	36.4
500	29.59	31.7	30.3	65	42.95	36.2
630	27.38	31.2	27.9	61.91	35.80	37.4
800	23.93	21.9	24.5	53	35.36	28.9
1000	39.57	42.5	39.9	59.99	51.03	52.7
1250	13.96	15.8	15.6	37.72	32.36	17.2
1600	32.33	39.8	31.1	45.88	41.80	35.6
2000	17.53	26	22	32.5	23.53	16
2500	19.66	29	25.8	42.65	42.16	25.4
3150	28.95	30.1	2.6	46.1	33.98	21.4
4000	25.61	32.9	42.4	39.74	30.92	29.6
STC	16	19	6	36	21	19

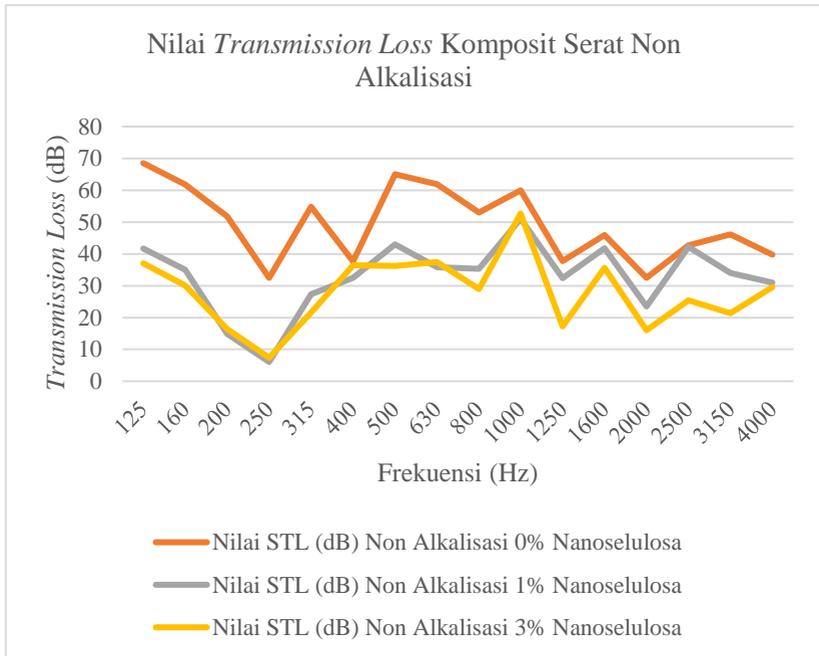


Gambar 4.7 Grafik Nilai *Transmission Loss* Komposit Berpenguat Serat Alkalisasi.

Gambar 4.7 menunjukkan nilai STL pada rentang frekuensi 125 - 4000 Hz komposit berpenguat serat rami alkalisasi. Dapat dilihat bahwa nilai STL yang tinggi terdapat pada frekuensi STL yang tinggi terdapat pada frekuensi 1000 Hz, dengan rentan nilai STL berkisar 39-43 dB. Bila dilihat pada frekuensi 4000 Hz dan 1600 Hz, terjadi peningkatan nilai STL pada komposit dengan penambahan 1% dan 3%, bahkan pada penambahan 3% nanoselulosa, nilai STL mencapai 42 dB. Hal tersebut dapat terjadi karena penambahan nanoselulosa pada komposit serat rami alkalisasi mampu untuk menghasilkan pori pada material (Karzargardeh, 2018). Menurut Howard (2009), material berpori akan merubah energi bunyi yang datang menjadi energi panas dalam pori-pori, kemudian energi tersebut akan

diserap dan sisa dari energi tersebut akan melewati penghalang dan bunyi yang berhasil melewati penghalang tersebut merupakan bunyi yang ditransmisikan. Material jenis ini akan efektif digunakan untuk menyerap bunyi dengan frekuensi diatas 1000 Hz. Akan tetapi, pada komposit dengan penambahan nanoselulosa sebanyak 3%, ditemukan penurunan nilai STL yang signifikan pada frekuensi 3000 Hz. Kemungkinan besar hal tersebut disebabkan oleh peristiwa aglomerasi antar pengisi serat yang menyebabkan penurunan nilai STL pada titik frekuensi tertentu, sehingga mengurangi nilai STCnya.

Nilai STC pada komposit serat rami alkalisasi tanpa penambahan nanoselulosa memiliki nilai sebesar 17, kemudian meningkat menjadi 19 pada penambahan 1% nanoselulosa, dan mengalami penurunan menjadi 6 pada penambahan 3% nanoselulosa. Apabila nilai STC tersebut dikorelasikan dengan nilai densitas komposit, maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai densitas komposit, maka nilai STC nya semakin kecil. Sedangkan adanya penurunan densitas pada komposit, menyebabkan nilai STC nya semakin meningkat. Hal tersebut sesuai dengan teori korelasi antara nilai densitas komposit dengan nilai STC, dimana semakin kecil densitas yang dimiliki oleh komposit maka nilai STC dari suatu material semakin besar dan semakin tinggi nilai densitas komposit maka nilai STC nya akan semakin kecil (Alim, 2017).



Gambar 4.8 Grafik Nilai *Transmission Loss* Komposit Berpenguat Serat Non Alkalisasi.

Pada Gambar 4.8, menunjukkan menunjukkan nilai STL pada rentang frekuensi 125 - 4000 Hz komposit berpenguat serat rami non alkalisasi. Dapat dilihat bahwa nilai STL komposit tanpa penambahan nanoselulosa, memiliki puncak nilai STL pada frekuensi rendah (dibawah 1000 Hz), yaitu pada frekuensi 125 Hz dengan nilai STL hingga mencapai 69 dB, sedangkan untuk komposit dengan penambahan nanoselulosa 1% dan 3% memiliki puncak nilai STL pada frekuensi 1000 Hz dengan nilai STL 51-52 dB. Terlihat pula bahwa pada frekuensi sedang (1000-4000 Hz) nilai STL dari komposit mengalami penurunan dibanding nilai STL pada frekuensi rendah. Menurut Howard (2009), material yang mempunyai keefektifan dalam penyerapan pada frekuensi rendah termasuk ke dalam jenis material penyerap resonator. Daerah

interface antara serat dan matriks yang memiliki *debonding* menyebabkan banyaknya pori dalam ruang sempit, sehingga udara dalam pori tersebut tidak dapat bergerak secara bebas sehingga mampu untuk meredam gelombang suara (Shi, 2016).

Nilai STC pada komposit serat non rami alkalisasi tanpa penambahan nanoselulosa memiliki nilai sebesar 36, kemudian mengalami penurunan menjadi 21 pada penambahan 1% nanoselulosa, dan pada penambahan 3% nanoselulosa juga mengalami penurunan menjadi 19. Hasil yang sama juga ditemukan pada penelitian Samuel (2017), dimana penambahan nanoselulosa menurunkan nilai koefisien absorpsi suara daripada material tanpa penguat nanoselulosa. Penurunan nilai STC tersebut sesuai dengan teori korelasi antara nilai densitas komposit dengan nilai STC, dimana semakin kecil densitas yang dimiliki oleh komposit maka nilai STC dari suatu material semakin besar dan semakin tinggi nilai densitas komposit maka nilai STC nya akan semakin kecil (Alim, 2017).

Menurut Siano (2017), untuk tipe mobil M1 atau kendaraan penumpang dengan kapasitas dibawah atau sama dengan 8 orang bermesin diesel, nilai intensitas bunyi yang dapat didengarkan di dalam mobil mencapai angka 80 dB pada frekuensi dibawah 350 Hz. Intensitas bunyi tersebut ditemukan saat putaran mesin berada pada rentan 1100-1500 rpm dan 2200-2700 rpm, atau saat mobil melaju pada kecepatan rendah dan melaju pada kecepatan tinggi..

Bila dilihat pada hasil nilai STL komposit berpenguat serat rami alkalisasi, nilai maksimum STL pada frekuensi dibawah 350 Hz mempunyai range 33-36 dB, sehingga suara mesin yang masih bisa ditransmisikan akan mempunyai intensitas berkisar diatas 45 dB. Pada komposit berpenguat serat rami non alkalisasi, nilai STL tertinggi pada frekuensi dibawah 350 Hz didapatkan pada komposit tanpa penambahan nanoselulosa dengan nilai sebesar 68,52 dB. Dari data tersebut dapat diperkirakan bahwa intensitas bunyi yang dapat ditransmisikan dari mesin diesel hanya tersisa 11 dB. Untuk komposit dengan penambahan 1% nanoselulosa, nilai STL

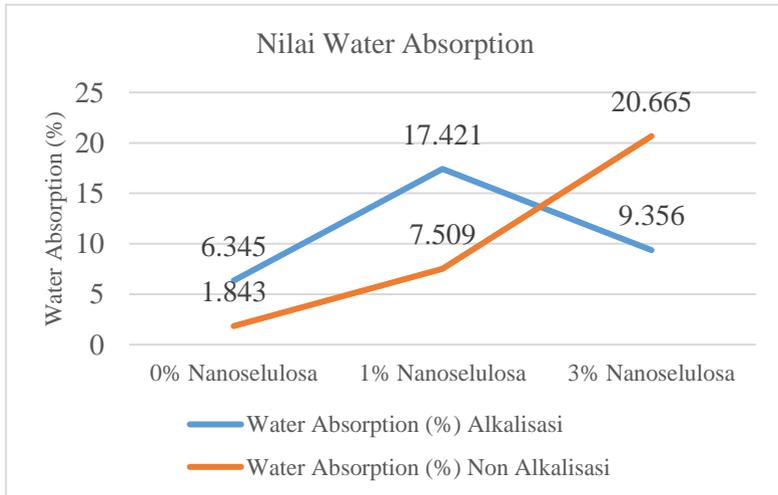
tertinggi pada frekuensi di bawah 350 Hz memiliki nilai sebesar 42 dB, dan pada penambahan 3% nanoselulosa sebesar 37 dB. Sehingga dapat disimpulkan bahwa material yang paling efektif dalam penurunan intensitas bunyi oleh mobil bermesin diesel adalah komposit berpenguat serat rami non alkalisasi tanpa penambahan nanoselulosa.

Secara keseluruhan, nilai STC dari komposit berpenguat serat rami non alkalisasi memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding dengan komposit berpenguat serat rami alkalisasi. Hal ini disebabkan karena proses alkalisasi sendiri menyebabkan penyebaran / dispersi serat pada komposit menjadi tidak rata (Rajesh, 2017), sehingga akan menyebabkan ukuran rongga yang lebih besar pada komposit. Dapat dilihat pada hasil SEM komposit, rongga yang terbentuk pada komposit berpenguat serat rami alkalisasi memiliki ukuran yang lebih besar daripada komposit berpenguat serat rami non alkalisasi. Ukuran rongga yang besar pada komposit dapat menyebabkan suara lebih mudah untuk ditransmisikan daripada terasbsorpsi oleh komposit, sehingga akan menurunkan nilai dari STLnya (Alim, 2017). Penambahan nanoselulosa pada komposit berpenguat serat rami alkalisasi meningkatkan nilai STL pada frekuensi 400 Hz dan 4000 Hz dan pada komposit berpenguat serat rami non alkalisasi, penambahan nanoselulosa menyebabkan peningkatan pada frekuensi 400 Hz. Dari hal tersebut terlihat bahwa penambahan nanoselulosa mampu meningkatkan kemampuan peredaman suara komposit pada frekuensi rendah dan tinggi, sehingga disimpulkan bahwa penambahan nanoselulosa menyebabkan material komposit tersebut memiliki sifat penyerapan *wideband absorber*.

Menurut ASTM A413, nilai STC tertinggi pada komposit dalam penelitian ini masuk dalam kategori bagus dengan suara keras terdengar, namun perlu lebih didengarkan.

4.5 Hasil Uji *Water Absorption*

Pengujian *Water Absorption* dilakukan untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menyerap air. Data nilai *Water Absorption* dari komposit dapat dilihat dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Nilai *Water Absorption* Komposit.

Pada grafik tersebut terlihat adanya peningkatan nilai *water absorption* pada komposit berpenguat serat rami non alkalisasi seiring dengan penambahan nanoselulosa. Hal tersebut terjadi karena molekul selulosa terdiri atas ikatan hidroksil yang dapat menarik air melalui ikatan hidrogen, sehingga semakin banyak *filler* nanoselulosa, maka daerah kontak akan semakin banyak, sehingga akan meningkatkan nilai daya serap airnya (Das, 2017).

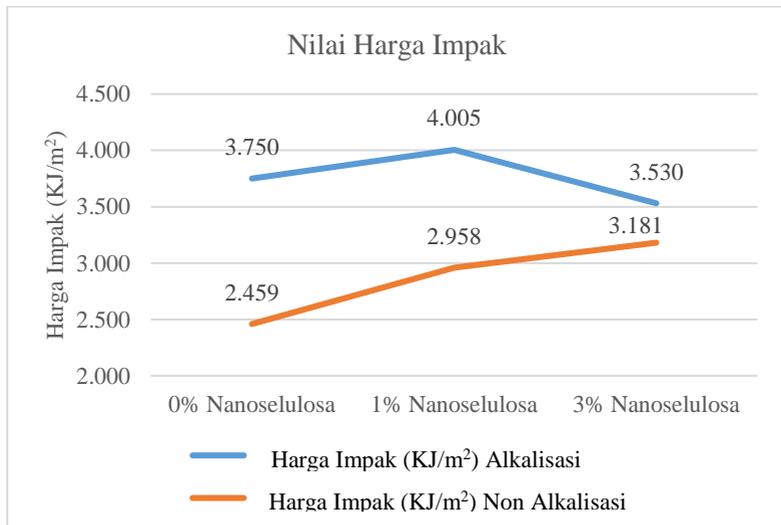
Dapat dilihat pula bahwa nilai daya serap air pada komposit berpenguat serat rami alkalisasi dengan penambahan 0% dan 1% nanoselulosa memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding komposit berpenguat serat non alkalisasi. Hal tersebut terjadi karena alkalisasi mampu mengurangi / menghilangkan lignin yang ada pada permukaan serat, sehingga akan meningkatkan konten

selulosa dalam serat dan meningkatkan nilai daya serap air komposit (Hom, 2015). Namun pada penambahan 3% nanoselulosa, nilai daya serap air komposit mengalami penurunan. Hal tersebut terjadi karena aglomerasi yang terjadi antar pengisi komposit, sehingga air sulit berikatan dengan *filler* komposit.

Menurut standar yang didapatkan pada penelitian terdahulu, maka hanya komposit berpenguat serat rami non alkalisasi dengan penambahan 3% nanoselulosa yang tidak memenuhi standar, karena nilai maksimum *water absorption* sebesar 19,6% (Venkatesh, 2016).

4.6 Hasil Uji Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui harga impak dari komposit yang telah dibuat. Pengujian dilakukan di Laboratorium Pengolahan Bahan, Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya. Dari pengujian tersebut didapatkan nilai harga impak komposit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Hasil Pengujian Impak.

Berdasarkan Gambar 4.10, nilai harga dampak tertinggi didapatkan pada komposit dengan *filler* serat rami alkalisasi dan 1% nanoselulosa dengan nilai sebesar 4,005 KJ/m². Sedangkan komposit dengan *filler* serat rami non alkalisasi dan 0% nanoselulosa menunjukkan nilai harga dampak terendah yaitu 2,459 KJ/m². Dapat dilihat bahwa komposit berpenguat serat rami yang telah diproses alkalisasi, secara keseluruhan memiliki nilai harga dampak yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit berpenguat serat rami non alkalisasi. Hasil ini sesuai dengan pengujian yang dilakukan oleh Sarkar (2002), dimana komposit berpenguat serat rami yang diberi perlakuan alkalisasi dengan larutan NaOH 5% selama 8 jam, memiliki harga dampak yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit berpenguat serat rami tanpa perlakuan. Hal tersebut terjadi karena ikatan *interface* antara serat dan matriks yang lebih baik, sehingga meningkatkan efektifitas transfer beban pada komposit.

Penambahan nanoselulosa 1 % dalam komposit berpenguat serat rami non alkalisasi dan serat rami alkalisasi dapat menyebabkan peningkatan nilai harga dampak. Menurut Lee, dkk (2014), penambahan nanoselulosa pada komposit, walaupun dalam jumlah yang sedikit, dapat meningkatkan sifat mekanik komposit dibandingkan dengan matriks polimernya saja. Peningkatan sifat mekanik disebabkan karena nanofiber atau serat yang berukuran nano akan menghasilkan luas permukaan yang besar sehingga mampu meningkatkan efektifitas transfer beban pada komposit.

Sementara itu penambahan nanoselulosa sebanyak 3% pada komposit berpenguat serat rami alkalisasi, mengalami penurunan nilai. Hal ini disebabkan oleh adanya kemungkinan agregasi dan aglomerasi dari serat rami yang telah dialkalisasi dengan nanoselulosa yang ditambahkan. Agregasi dan aglomerasi sangat mungkin terjadi karena saat penambahan nanoselulosa secara berlebihan akan menghasilkan interaksi antar sesama pengisi menjadi semakin kuat, sehingga menyebabkan interaksi antara pengisi dan matrik menjadi berkurang (Triyastiti, 2018).

Dispersi serat yang tidak baik dapat menyebabkan terjadinya aglomerasi di dalam komposit. Aglomerasi dapat mengurangi jumlah daerah kontak antara matriks dan serat rami yang dapat mengurangi efektifitas transfer beban pada komposit sehingga harga impak komposit akan menjadi lebih rendah dibandingkan dengan seharusnya (Mueler, 2014). Ukuran partikel serat yang lebih kecil dapat memperbaiki dispersi serat di dalam komposit (Mardiyati, 2017).

Menurut standar *dashboard* material ABS, dapat disimpulkan bahwa nilai uji impak dalam penelitian ini belum memenuhi standar. Adapaun langkah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik komposit adalah dengan penambahan *coupling agent*. Menurut Penelitian yang dilakukan Dayo (2018), penambahan *coupling agent* pada komposit bermatriks polybenzoxazin berpenguat serat rami yang diberi *coupling agent* mampu meningkatkan sifat mekanik secara keseluruhan dari komposit.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Nilai STL tertinggi pada frekuensi di bawah 350 Hz dalam penelitian ini didapatkan pada komposit berpenguat serat rami non alkalisasi dengan 0% nanoselulosa dengan nilai STL sebesar 68,52 dB. Pada komposit berpenguat serat non alkalisasi, nilai STL di bawah frekuensi 350 Hz pada penambahan 1% dan 3% nanoselulosa memiliki nilai sebesar 41,72 dB dan 37 dB. Pada komposit berpenguat serat rami alkalisasi, penambahan 1% nanoselulosa mampu meningkatkan nilai STL pada frekuensi di bawah 350 Hz dari 33,5 dB menjadi 36,1 dB, akan tetapi menyebabkan penurunan pada penambahan 3% nanoselulosa menjadi 34,8 dB. Menurut hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa material komposit dalam penelitian ini cukup efektif dalam mengurangi kebisingan pada kendaraan bermesin diesel.
2. Hasil SEM menunjukkan serat rami alkalisasi mempunyai ikatan *interface* dengan matriks yang lebih baik dari pada serat rami non alkalisasi. Pada komposit berpenguat serat rami non alkalisasi, penambahan nanoselulosa, mampu meningkatkan nilai densitas, harga impak komposit, dan *water absorption* dari komposit. Pada komposit berpenguat serat rami alkalisasi, penambahan nanoselulosa 1 % mampu menurunkan nilai densitas, serta meningkatkan harga impak komposit, dan *water absorption* dari komposit. Akan tetapi pada penambahan 3% nanoselulosa menyebabkan kenaikan densitas komposit, menurunkan harga impak dan *water absorption* dari komposit

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik antara lain:

1. Memilih antara serat alam atau nanoselulosa saja yang digunakan sebagai *filler* dalam komposit untuk meningkatkan nilai STC, sifat mekanik dan sifat fisik dari komposit.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan serat alam murni (non alkalisasi) sebagai bahan penguat dalam komposit, untuk melihat seberapa baik pengaruh serat alam non alkalisasi dalam meningkatkan nilai STC komposit.
3. Menambahkan *coupling agent* pada komposit untuk meningkatkan sifat mekanik dari komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul khani, A., Hosseinzadeh, J., and Ashori, A. 2014. Preparation and Characterization of Modified Cellulose Nanofiber Reinforced PLA Nanocomposite. India. **Polymer Testing**, 35, pp. 73-79.
- Alim, M. Istajarul. Maslahah. Anggoro, Dicky. 2017. **Pengukuran Transmission Loss (TL) dan Sound Transmission Class (STC) Pada Suatu Sampel Uji**. Surabaya. Laboratorium Akustik.
- Arenas, P. Jorge. Crocker, J. Malcolm. 2015. **Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials**. Chile. Research Gate.
- ASM. 2001. **Composites, ASM Handbook**, Volume 21
- Avner, S. H. 1974. **Introduction to Physical Metallurgy**. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- Balaji, A. N., & Nagarajan, K. J. (2017). Characterization Of Alkali Treated And Untreated New Cellulosic fiber From Saharan Aloe Vera Cactus Leaves. **Carbohydrate Polymers**, 174, 200–208.
- Barbero, Ever J. 2011. **Introduction to Composite Materials design**. USA. Taylor and Francis.
- Berger, J. 1969. **Fibre Crops; Their Cultivation and Manuring**. Centre d'Etude de l' Azote, Zurich.
- Bilmeyer Jr, F.W. 1984. **Textbook of Polymer Science, 3rd Ed**. John Wiley & Sons, Inc.
- Buxton, A. and P. Greenhalgh. 1989. "Ramie, Short Lived Curiosity Or Fibre Of The Future". **Textile Outlook International**. London. p. 62-71.
- Callister, William D dan David G Rethwisch. 2010. **Materials Science and Engineering an Introduction 8th Edition**. USA: John Wiley & Sons.
- Campbell, F.C. 2010. **Structural Composite Materials**. USA. ASM International.
- Chawla, Krishan K. 1998. **Composite Materials Science and Engineering**. USA. Springer – Verlag.

-
- Cheng, Q., DeVallance, D., Wang J., and Wang,S. 2011. “Advance Cellulosic Nanocomposites Materials” (ed B. Attaf) **INTECH Open Access Publisher**, pp. 547-564.
- Chieng, Buong Woei. Lee, Syn Huey. Ibrahim, N. Azowa, Then, Yoon Yee. Loo, Yuet Ying. 2017. “Isolation and Characterization of Cellulose Nanocrystals from Oil Palm Mesocarp Fiber”. Malaysia. **Journal Polymers**: 9, 355.
- Chuah SB, Ibrahim MNM. 2004. “Characterization of lignin precipitated from the soda black liquor of oil palm empty fruit bunch fibers by various mineral acids”. **AJSTD**. 21:5767.
- Das, Sekhar. 2017. “Mechanical and Water Swelling Properties of Waste Paper Reinforced Unsaturated Polyester Composites”. India. **Construction and Building Materials 138**: 469–478.
- Davallo M., Pasdar H., Mohseni M. 2010. “Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin”. **International Journal of ChemTech Research** Vol.2 (4) 2113-2117.
- Dayo, Abdul Qadeer. 2018. “The Influence of Different Chemical Treatments on The Hemp Fiber/Polybenzoxazine Based Green Composite: Mechanical, Thermal and Water Absorption Properties”. Pakistan. **Materials Chemistry and Physics** 217: 270–277.
- Dieter. H. Mueller. 2014. **Improving the Impact Strength of Natural Fiber Reinforced Composites by Specifically Designed Material and Process Parameters**. INJ Winter.
- Doelle, L. L., Lea Prasetyo. 1993. **Akustik Lingkungan** . Jakarta: Erlangga
- Esteves, B.; Marques, A.V.; Domingos, I.; Pereira, H. 2013. “Chemical Changes Of Heat Treated Pine And Eucalypt Wood Monitored By FTIR”. **Maderas-Cienc Tecnol** 15 (2): 245-258.
- Fan. 1982. “The Nature of Lignocellulosic and Their Pretreatment for Enzymatic Hydrolysis”. **Adv. Bichem. Eng.** 23: 158-187.
-

-
- Farid, M. Agung, P. Diah, S. Priyono, S. Ardhyana, H. Rahmasita, H. M. E. "Nanocellulose based polymer composite for acoustical materials". Surabaya, Indonesia, **Research Center of Physics, Indonesian Institute of Sciences**: 020025-1 – 020025-6, (2018)
- Farid, M. et. al. 2017. "Improvement of acoustical characteristics: wideband bamboo based polymer composite", **J. Material Science and Engineering**, Vol. 23, 223, 011021
- Fred W. Billmeyer, Jr. 1970. **Textbook of Polymer Science**, 1st Ed. United Kingdom. Blackwell.
- Gabriel, J.F. 2001. **Fisika Lingkungan**. Jakarta: Hipokrates.
- Halliday, Resnick, dan Walker. 2010. **Fisika Dasar Edisi ke 7**. Jakarta: ERLANGGA.
- H.Lilholt, J.M. Lawther. 2000. "Natural organic fibres". In **Comprehensive Composite Materials**, eds. A. Kelly and C. Zweben, (6 vols), vol. 1, chapter 10, pp 303-325, Elsevier Science.
- Han, Hongchang. 2015. **Study of Agro-Composite Hemp/Polypropylene: Treatment of Fibers, Morphological and Mechanical Characterization**. Prancis. Ecole Doctorale "Sciences et Technologies".
- Hawkins, Thimoty Gerald. 2014. **Studies and Research Regarding Sound Reduction Materials With The Purpose Of Reducing Sound Pollution**. The Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- Haygreen JG, JL Bowyer. 1996. **Hasil Hutan dan Ilmu Kayu Suatu Pengantar**. Terjemahan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Heath, L., Thielemans, W. 2010. **Cellulose Nanowhisker Aerogels**. Green Chem. Vol. 12. Hal. 1448.
- Herwandi. Sugianto. Somawardi. Subhan, M. 2014. **Pengaruh Volume Serat Rekel Terhadap Kekuatan Tarik dan Impact Komposit Sebagai Bahan Pembuatan Dashboard Mobil**. Jakarta. ISSN : 2407 – 1846.
-

-
- Hom, Nath Dhakal, Fabrizio, Sarasini, Carlo, Santulli, Jacopo, Tirillo, Zhongyi, Zhang, Vellayaraj, Arumugam, 2015. "Effect Of Basalt fiber Hybridisation On Post-Impact Mechanical Behaviour Of Hemp fiber Reinforced Composites". **Compos. Part A Appl. Sci.** 75, 54-67.
- Howard, David M, Angus, Jamie AS. 2009. **Acoustics and Pshycoacoustic**. Burlington: Focal Press.
- Ioelovich, M. 2012. "Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles". **Nanocrystals and Nanotechnology**: 2(2), 9-13.
- J. Lojewska, P. Miskowicz, T. Lojewski, L. M. Proniewicz. 2005. "Cellulose oxidative and hydrolytic degradation: In situ FTIR approach" **Polymer Degradation and Stability** 88: 512-520
- Kargarzadeh J. Huang, N. Lin, I. Ahmad, M. Mariano, A. Dufresne, S. Thomas, Andrzej Gałeski. H. Kargarzadeh. 2018. "Recent developments in nanocellulose - based polymers biodegradable thermoplastic polymers, and porous nanocomposites". **Progress in Polymer Science** 87 : 197–227.
- Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor Per.13Men/X/2011. Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja. Jakarta.
- Khan MA and Ashral SM. 200. "Development and Characterzation Shell Lignin Modified Phenol Formaldehyde Wood Adhesive", **Indian Journal of Chemical Tecnology**, vol 13, pp 347-352.
- Kolpak, F. J. & Blackwell, J. (1976). "Determination of the Structure of Cellulose II". **Macromlecules**, Vol.9, No.2, pp. 273-278, ISSN 0024-9297.
- Lee, H. V., S. B. A. Hamid, S. K. Zain. 2014. "Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocellulose". **Structure and Chemical Process Review Article Scientific World Journal**. Vol 27 : 631013.
-

-
- Lee, Koon Yang. Aitomaki, Yvonne. Berglund, Lars A. Oksman, Kristiina. Bismarck, Alexander. 2014. **One of The Use of Nanocellulose as Reinforcement in Polymer Matrix**. Sweden. *Composites Science and Technology* 105: 15–27.
- Li, X., Lope, G.T., and Panigrahi, S. 2007. "Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites (A Review)". **Journal Polymer Environemnt**, 15. pp. 25-33.
- Liu, D., Song, J., Anderson, D.P., Chang, P.R., and Hua, Y. 2012. **Bamboo Fiber and its Reinforced Composites: Structure and Properties**, *Cellulose*, 19, pp. 1449-1480.
- Lewis H. Bell, Dougals H. Bell. 1994. **Industrial Noise Control Fundamentals and Applications**. New York.
- Mallick, P. 2007. **Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design**. Michigan: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Marcott, C., 1986, "Material Characterization Hand Book vol. 10: Infrared Spektroskopy", **ASM International**, Amerika.
- Mardiyati. Srahputri, Nurdesri. Suratman, Rochim. 2017. **Sifat Tarik dan Sifat Impak Komposit Polipropilena High Impact Berpenguat Serat Rami Acak yang Dibuak Dengan Metode Injection Molding**. Bandung. *MESIN*, Vol. 26, No. 1, 8-16.
- Mediastika, E Christina. 2009. **Material Akustik Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan**. Yogyakarta.
- Michael, E. S. 2013. **Daya Serap Air dan Kandungan Serat (Fiber Content) Komposit Poliester Tidak Jenuh (unsaturated polyester) berpengisi serat tandan kosong sawit dan selulosa**. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 17-21.
- MRTFC, Warcnock A.C.C. 2018. **Understanding and Improving Sound Transmission Loss**. Forest and Wood Products Research and Development Corporation, Australia.
- Muller, D. H. and Krobjilowski, A. 2003. "New Discovery in the Properties of Composite Reinforced with Natural Fibers". **Journal of Industrial Textiles**, 33: 111-130.
-

-
- Mwaikambo, L.Y., Bisanda, E.T.N. 1999. "The performance of cotton–kapok fabric– polyester composites". **Polymer Testing** Vol. 18, pp 181–198.
- N. Shanmugasundaram, I. Rajendran, T. Ramkumar. 2018. "Characterization of untreated and alkali treated new cellulosic fiber from an Areca palm leaf stalk as potential reinforcement in polymer composites". **Carbohydrate Polymers** 195 : 566–575.
- Nechyporchuk O, Belgacem MN, Bras J. 2016. "Production of cellulose nanofibrils: a review of recent advances". **Ind Crops Prod**; 93:2–25.
- Negawo, A. Tolera. Polat, Yusuf. Buyuknalçaci, N. Feyza. Kilic, Ali. Saba, N. Jawaid, M. 2019. "Mechanical, Morphological, Structural and Dynamic Mechanical Properties of Alkali Treated Ensete Stem Fibers Reinforced Unsaturated Polyesters Composites". Turkey. **Composite Structures** 207 (2019) 589–597.
- Oksman, K., Skrifvars, M., dan Selin, J. F. 2003. **Natural Fibers as Reinforcement in Polyactic Acid (PLA) Composites**. Composites Science and Technology
- Ozgenç, Ozlem. Durmaz, Sefa. Kustas, Suleyman. 2017. **Chemical Analysis of Tree Barks using ATR-FTIR Spectroscopy and Conventional Techniques**. Turkey. "Tree bark analyses," *BioResources* 12(4), 9143-9151.
- Oushabi, A. Sair, S. Hassani, F. Oudrhiri. Abbound, Y. Taname, O. El Bouari, A. 2017. "The Effect Of Alkali Treatment On Mechanical, Morphological And Thermal Properties Of Date Palm fibers (Dpfs): Study Of The Interface Of Dpfepolyurethane Composite". Morocco. **South African Journal of Chemical Engineering** 23, 116-123.
- P. SenthamaraiKannan, M. Kathiresan. 2018. "Characterization Of Raw And Alkali Treated New Natural Cellulosic fiber From Coccinia Grandis". **Carbohydrate Polymers**. 186 : 332–343
-

-
- Park Soo Jin, Min Kang Seo. 2011. "Interface Science and Composites". Vol. 18. **Elsevier Ltd.**
- Peters, S.T. 2002. Chapter 4: **Composite Materials and Processes**. In: Harper, C.A. ed. Handbook of Plastics, Elastomers, & Composites. 4th ed. N.Y.: McGraw-Hill Companies, Inc. 229-320.
- Poletto, Matheus. Zattera, Ademir J. Santana, Ruth M. C. 2012. "Structural Differences Between Wood Species: Evidence from Chemical Composition, FTIR Spectroscopy, and Thermogravimetric Analysis". Jakarta. **Journal of Applied Polymer Science**: E336-E343.
- Rajesh, Gunti. Prasad, A.V. Ratna. Gupta. 2017. "Water Absorption Characteristics of Successive Alkali Treated Jute/Poly(lactic Acid) Composites". India. **Materials Today**: Proceedings 5: 24414–24421
- Ray, D., Rout, J., Thermoset Biocomposites, Dalam Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T. 2005. **Natural Fibers, Biopolymers, And Biocomposites**. CRC Press : U .S. A..
- Ray, D., Sarkar, B.K., Bose, N.R., 2002. **Impact fatigue behavior of vinyl ester resin matrix composite reinforced with alkali treated jute fibers**. Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. 33 (2) : 233-241.
- Ridzuan, M.J.M., Abdul Majid, M.S., Afendi, M., Mazlee, M.N., Gibson, A.G., 2016. **Thermal Behaviour And Dynamic Mechanical Analysis Of Pennisetum Purpureum/Glass-Reinforced Epoxy Hybrid Composites**. Compos. Struct. 152,850-859.
- Sairy, N.A et al. 2017. "Natural Fiber for Green Technology in Automotive Industry". **The Wood and Biofiber International Conference**. Malaysia.
- Sapuan, S.M. Kho, J.Y. Zainudin, E.S. Leman, Z. Ali, B.A, Ahmed. Hambali, A. 2011. Material Selection For Natural Fiber Reinforced Polymer Composites Using Analytical Hierarchy Process. Malaysia. **Indian Journal of**
-

-
- Engineering and Materials Sciences**, Vol. 18 pp. 255-267.
- Schwartz M.M., 1984. **Composite Materials Handbook**. New York, USA. McGraw-Hill
- Shi, Xuenjun. Wu Jingyi. Wang, Xiaoen. Zhou, Xingping. Xiaolin, Xie. Xue, Zhigang. 2017. **Novel Sound Insulation Materials Based On Epoxy/Hollow Silica Nanotubes Composites**. China. *Composite Part B*.
- Siano, D. Panza, A. M. 2017. **Sound Quality Analysis Of The Powertrain Booming Noise In A Diesel Passenger Car**. Italy. *Energy Procedia* 126 (201709) 971–978.
- Sugiman. Pra, IK Pradyana. Gozali, M. Hulaifi, Setyawan, Prayanto Dwi. 2015. **Penyerapan Air pada Epoxy dan Poliester Tak Jenuh dan Pengaruhnya pada Kekuatan Tarik**. Mataram. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV).
- Sulistijono. 2012. **Mekanika Material Komposit**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Suddell, B.C., dan Evans, W.J., 2005. **Natural Fiber Composites in Automotive Applications**. Mohanty, A.K., Misra, Manjusri, Drzal, L.T. **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites**. Chapter 7. CRC Press Taylor & Francis Group Broken Sound Parkway NW, Suite 300
- Surdia, T., dan Saito, S., 1999, **Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan Keempat**, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Tarmansyah, US .2007. **Pemanfaatan Serat Rami Untuk Pembuatan Selulosa**. Puslitbang Indhan Balitbang Dephan STT, 18 (2289).
- Thielemans. B.L.W., Dufresne, A., Chaussy, D., and Belgacem, M.N. 2008. “Surface Functionalization of Cellulose Fibers and their Incorporation on Renewable Polymer Matrices”. **Composites Science and Technology**, 68, pp. 3193-3201.
- Thiruchitrambalam, M., & Shanmugam, D. 2012. “Influence of Pre-Treatments on The Mechanical Properties of Palmyra
-

-
- Palm Leaf Stalk fiber–Polyester Composites”. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 31(20): 1400–1414.
- Tipler, Paul A. 1998. **Fisika Untuk Sains & Teknik Edisi Ketiga Jilid 1**. Alih Bahasa Prasetyo, Lea & Adi, Rahmad W. Penerbit Erlangga Jakarta.
- Triyastiti, Liska. Krisdiyanto, Didik. 2018. “Isolasi Nanokristal Selulosa Dari Pelepah Pohon Salak Sebagai *Filler* Pada Film Berbasis Polivinil Alkohol (PVA)”. Yogyakarta. **Indonesian Journal of Materials Chemistry**, Vol 1. No.1, 2018, 39-45.
- Venaktesh, R. Prasanna. Ramanathan, K. Raman, V. Srinivasa. 2016. “Tensile, Flexural, Impact, Water Absorption Properties of Natural Fibre Reinforced Polyester Hybrid Composites”. India. **Fibres & Textiles in Eastern Europe** 117: 90-94.
- Zhang, Chunhua. Li, Junqing. Zhu, Fenglei. Huang, Yudong. 2012. ”Correlation Between The Acoustic and Porous Cell Morphology of Polyurethane Foam: Effect of Interconnected Porosity”. China. **Materials and Design** 41: 319–325.
- Zhou, C., Wu, Qinglin. 2012. **Recent Development in Applications of Cellulose Nanocrystals for Advanced Polymer-Based Nanocomposites by Novel Fabrication Strategies**. Intech
-

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A
(Perhitungan Massa Spesimen Komposit)

Komponen Komposit	Densitas (g/cm³)
Poliester	1,2
Serat Rami	1,5
Nanoselulosa	1,6
Katalis	1,17

1. Perhitungan Massa Spesimen Uji *Sound Transmission Class*

Volume = 78,5 cm³

Jenis Spesimen	Komponen Komposit	Fraksi	Volume (cm³)	Massa (gr)
0 % Nanoselulosa	Poliester	0,795	62,408	74,889
	Serat Rami	0,2	15,7	23,55
	Nanoselulosa	0	0	0
	Katalis	0,005	0,393	0,459
1 % Nanoselulosa	Poliester	0,795	62,408	74,889
	Serat Rami	0,19	14,915	22,373
	Nanoselulosa	0,01	0,785	1,256
	Katalis	0,005	0,393	0,459
3 % Nanoselulosa	Poliester	0,795	62,408	74,889
	Serat Rami	0,17	13,345	20,018
	Nanoselulosa	0,03	2,355	3,768
	Katalis	0,005	0,393	0,459

2. Perhitungan Massa Spesimen Uji Impak

Volume = 6,35 cm³

Jenis Spesimen	Komponen Komposit	Fraksi	Volume (cm³)	Massa (gr)
	Poliester	0,795	5,048	6,058

0 % Nanoselulosa	Serat Rami	0,2	1,27	1,905
	Nanoselulosa	0	0	0
	Katalis	0,005	0,032	0,038
1 % Nanoselulosa	Poliester	0,795	5,048	6,058
	Serat Rami	0,19	1,207	1,809
	Nanoselulosa	0,01	0,064	0,1016
3 % Nanoselulosa	Katalis	0,005	0,032	0,038
	Poliester	0,795	5,048	6,058
	Serat Rami	0,17	1,079	1,619
3 % Nanoselulosa	Nanoselulosa	0,03	0,191	0,305
	Katalis	0,005	0,032	0,038

3. Perhitungan Massa Spesimen Uji SEM

Volume = 1 cm³

Jenis Spesimen	Komponen Komposit	Fraksi	Volume (cm ³)	Massa (gr)
0 % Nanoselulosa	Poliester	0,795	0,795	0,954
	Serat Rami	0,2	0,2	0,3
	Nanoselulosa	0	0	0
	Katalis	0,005	0,005	0,006
1 % Nanoselulosa	Poliester	0,795	0,795	0,954
	Serat Rami	0,19	0,19	0,285
	Nanoselulosa	0,01	0,01	0,016
	Katalis	0,005	0,005	0,006
3 % Nanoselulosa	Poliester	0,795	0,795	0,954
	Serat Rami	0,17	0,17	0,255
	Nanoselulosa	0,03	0,03	0,048
	Katalis	0,005	0,005	0,006

LAMPIRAN B

(Perhitungan Densitas, *Water Absorption*, Harga Impak, dan *Sound Transmission Class*)

Perhitungan Densitas

$$\rho = \frac{A}{A'-b} \times \rho \text{ air}$$

Keterangan:

- ρ = massa jenis (g/cm³)
 ρ air murni = masa jenis air (0,997 g/cm³)
 A = massa sampel di udara (g)
 A' = masa sampel tergantung dalam air (g)
 b = masa holder (benang) (g)

Jenis Spesimen	Berat Kering (Gram)	Berat Tercelup (Gram)	Nilai Densitas (gram/cm ³)	Nilai Densitas Rata-Rata (gram/cm ³)
0 % Nanoselulosa / Serat Rami Non Alkalisasi	3.13	3.13	0.997	0.989
	2.98	3	0.990	
	3.13	3.19	0.978	
0 % Nanoselulosa / Serat Rami Alkalisasi	3.61	3.61	0.997	1.007
	2.75	2.65	1.035	
	2.99	3.01	0.990	
1 % Nanoselulosa / Serat Rami Non Alkalisasi	2.16	2.18	0.988	1.014
	1.91	1.86	1.024	
	1.87	1.81	1.030	
1 % Nanoselulosa	2.47	2.49	0.989	0.963
	2.29	2.54	0.899	
	2.47	2.46	1.001	

/ Serat Rami Alkalisasi				
3 % Nanoselulosa / Serat Rami Non Alkalisasi	1.81	1.65	1.094	1.043
	2.32	2.26	1.023	
	2.65	2.61	1.012	
3 % Nanoselulosa / Serat Rami Alkalisasi	2.61	2.56	1.016	0.982
	2.48	2.64	0.937	
	2.84	2.85	0.994	

Perhitungan *Water Absorption*

$$\text{Daya serap air (\%)} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100 \%$$

Keterangan:

M_b = massa sampel dalam keadaan basah (gram)

M_k = massa sampel dalam keadaan kering (gram)

Jenis Spesimen	Massa basah (gram)	Massa kering (gram)	<i>Water Absorption</i> (%)	<i>Water Absorption</i> Rata Rata (%)
0% Nanoselulosa / Serat Rami Non Alkalisasi	3.21	3.13	2.556	1.843
	3.04	2.98	2.013	
	3.16	3.13	0.958	
0% Nanoselulosa / Serat Rami Alkalisasi	3.77	3.61	4.432	6.345
	2.94	2.75	6.909	
	3.22	2.99	7.692	

1% Nanoselulosa / Serat Rami Non Alkalisasi	2.27	2.16	5.093	7.509
	2.1	1.91	9.948	
	2.01	1.87	7.487	
1% Nanoselulosa / Serat Rami Alkalisasi	2.93	2.47	18.623	17.421
	2.81	2.29	22.707	
	2.74	2.47	10.931	
3% Nanoselulosa / Serat Rami Non Alkalisasi	2.18	1.81	20.442	20.665
	2.82	2.32	21.552	
	3.18	2.65	20.000	
3% Nanoselulosa / Serat Rami Alkalisasi	2.96	2.61	13.410	9.356
	2.73	2.48	10.081	
	2.97	2.84	4.577	

Perhitungan Harga Impak

$$E = Pd [(\cos \beta - \cos \alpha) - (\cos \alpha' - \cos \alpha) (\alpha + \beta / \alpha + \alpha')]$$

Keterangan:

E : Absorbed energy during specimen breaking (J)

Pd : Measured Pendulum Moment (Nm) = 1,0718 Nm
(Constant)

α : Rising Angle ($^{\circ}$) = 150° (Constant)

α' : Reverse Rising Angle after the pendulum empty impact
($^{\circ}$) = 149° (Constant)

β : The Reverse Side Rising Angle After the Specimen
Ruptured

Harga Impak:

$$HI = \frac{E}{A}$$

Keterangan:

HI : Harga Impak (KJ/m²)

E : Absorbed energy during specimen breaking (KJ)

 A : Luas Area Di bawah Takik (m²)

Jenis Spesimen	Nilai β (°)	Nilai E (J)	Harga Impak (KJ/m ²)	Harga Impak Rata – Rata (KJ/m ²)
0% Nanoselulosa/ Non Alkalisasi	122	0.351	2.786	2.459
	126	0.289	2.34	
	124	0.319	2.25	
0% Nanoselulosa/ Alkalisasi	115	0.467	3.592	3.749
	103	0.679	4.748	
	120	0.384	2.910	
1% Nanoselulosa/ Non Alkalisasi	130	0.231	2.406	2.958
	118	0.416	3.681	
	122	0.351	2.786	
1% Nanoselulosa/ Alkalisasi	107	0.607	4.669	4.005
	123	0.336	2.619	
	110	0.553	4.727	
3% Nanoselulosa/ Non Alkalisasi	116	0.449	3.742	3.181
	120	0.384	2.887	
	121	0.367	2.913	
	118	0.416	3.368	3.533

3% Nanoselulosa/ Alkalisasi	107	0.607	4.564	
	124	0.319	2.658	

Perhitungan *Sound Transmission Class*

Menurut ASTM E413, untuk menentukan nilai *Sound Transmission Class* ada beberapa kondisi STC yang harus dipenuhi :

1. Nilai dari defisiensi tidak boleh lebih dari 8
2. Total penjumlahan defisiensi tidak boleh lebih dari 32

I. Komposit Berpenguat Serat Rami Non Alkalisasi/0% Nanoselulosa

Frekuensi	STC Contour Adjusment	Transmission Loss	TL Contour Adjusment	Defisiensi
125	-16	68.52	20	0
160	-13	61.79	23	0
200	-10	51.82	26	0
250	-7	32.46	29	0
315	-4	54.81	32	0
400	-1	37.66	35	0
500	0	65.00	36	0
630	1	61.91	37	0
800	2	53.00	38	0
1000	3	59.99	39	0
1250	4	37.72	40	2.28
1600	4	45.88	40	0
2000	4	32.50	40	7.5
2500	4	42.65	40	0

3150	4	46.10	40	0
4000	4	39.74	40	0.26
Total Defisiensi				10.04 (Ok)

Pada spesimen komposit berpenguat serat rami non alkalisasi / 0% nanoselulosa nilai STC yang didapatkan setelah melakukan pengujian adalah STC-36.

II. Komposit Berpenguat Serat Rami Alkalisasi / 0% Nanoselulosa

Frekuensi	STC Contour Adjusment	Transmission Loss	TL Contour Adjusment	Defisiensi
125	-16	33.497	1	0
160	-13	26.643	4	0
200	-10	9.507	7	0
250	-7	2.21	10	7.79
315	-4	16.377	13	0
400	-1	19.73	16	0
500	0	29.59	17	0
630	1	27.377	18	0
800	2	23.927	19	0
1000	3	39.57	20	0
1250	4	13.964	21	7.037
1600	4	32.327	21	0
2000	4	17.53	21	3.47
2500	4	19.664	21	1.337
3150	4	28.95	21	0

4000	4	25.614	21	0
Total Defisiensi				19,634 (Ok)

Pada Komposit Berpenguat Serat Rami Alkalisasi / 0% Nanoselulosa, nilai STC yang didapatkan setelah melakukan pengujian adalah STC-17.

III. Komposit Berpenguat Serat Rami Non Alkalisasi / 1% Nanoselulosa

Frekuensi	STC Contour Adjusment	Transmission Loss	TL Contour Adjusment	Defisiensi
125	-16	41.723	5	0
160	-13	35.03	8	0
200	-10	14.873	11	0
250	-7	6.061	14	7.939
315	-4	27.319	17	0
400	-1	32.467	20	0
500	0	42.948	21	0
630	1	35.802	22	0
800	2	35.358	23	0
1000	3	51.03	24	0
1250	4	32.359	25	0
1600	4	41.804	25	0
2000	4	23.534	25	1.466
2500	4	42.158	25	0
3150	4	33.975	25	0
4000	4	30.922	25	0
				9.405 (Oke)

Pada Komposit Berpenguat Serat Rami Non Alkalisasi / 1% Nanoselulosa nilai STC yang didapatkan setelah melakukan pengujian adalah STC-21.

IV. Komposit Berpenguat Serat Rami Alkalisasi / 1% Nanoselulosa

Frekuensi	STC Contour Adjusment	Transmission Loss	TL Contour Adjusment	Defisiensi
125	-16	36.1	3	0
160	-13	29.2	6	0
200	-10	11.7	9	0
250	-7	4.9	12	7.1
315	-4	17.9	15	0
400	-1	31.6	18	0
500	0	31.7	19	0
630	1	31.2	20	0
800	2	21.9	21	0
1000	3	42.5	22	0
1250	4	15.8	23	7.2
1600	4	39.8	23	0
2000	4	26.0	23	0
2500	4	29.0	23	0
3150	4	30.1	23	0
4000	4	32.9	23	0
				14.3 (Oke)

Pada komposit berpenguat serat rami alkalisasi / 1% nanoselulosa, nilai STC yang dihasilkan adalah STC-19.

V. Komposit Berpenguat Serat Rami Non Alkalisasi / 3% Nanoselulosa

Frekuensi	STC Contour Adjusment	Transmission Loss	TL Contour Adjusment	Defisiensi
125	-16	37.0	4	0
160	-13	30.1	7	0
200	-10	16.4	10	0
250	-7	7.4	13	5.6
315	-4	21.6	16	0
400	-1	36.4	19	0
500	0	36.2	20	0
630	1	37.4	21	0
800	2	28.9	22	0
1000	3	52.7	22	0
1250	4	17.2	24	6.8
1600	4	35.6	24	0
2000	4	16.0	24	0
2500	4	25.4	24	0
3150	4	21.4	24	2.6
4000	4	29.6	24	0
				15 (Oke)

Pada komposit berpenguat serat rami non alkalisasi / 3% nanoselulosa, nilai STC yang dihasilkan adalah STC-20.

VI. Komposit Berpenguat Serat Rami Alkalisasi / 3% Nanoselulosa

Frekuensi	STC Contour Adjusment	Transmission Loss	TL Contour Adjusment	Defisiensi
125	-16	34.8	-10	0
160	-13	27.6	-7	0
200	-10	10.4	-4	0
250	-7	0.5	-1	0
315	-4	17.6	2	0
400	-1	29.2	5	0
500	0	30.3	6	0
630	1	27.9	7	0
800	2	24.5	8	0
1000	3	39.9	9	0
1250	4	15.6	10	0
1600	4	31.1	10	0
2000	4	22.0	10	0
2500	4	25.8	10	0
3150	4	2.6	10	7.4
4000	4	42.4	10	0
				7.4 (Oke)

Pada komposit berpenguat serat rami alkalisasi / 3% nanoselulosa nilai STC yang didapatkan adalah sebesar 6.

LAMPIRAN C (Hasil Uji STC, Uji Impak, FTIR dan Spesifikasi Alat)

1. Hasil Uji *Sound Transmission Class*



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAXB : 1201
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>
email : akoestische@gmail.com

Surabaya, 24 Mei 2019

No : 290/PRO/VIBRASTIK/V/2019
Hal : Hasil Pengukuran *Sound Transmission Class*

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Transmission Loss pada "Specimen Komposit Poliester Berpenguat serat Rami 1" dari Yusa "SI Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS" yang dilakukan pada Rabu, 15 Mei 2019 pukul 02.00 WIB dengan ukuran $t = 1$ cm dan diameter (\varnothing) = 9,8 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

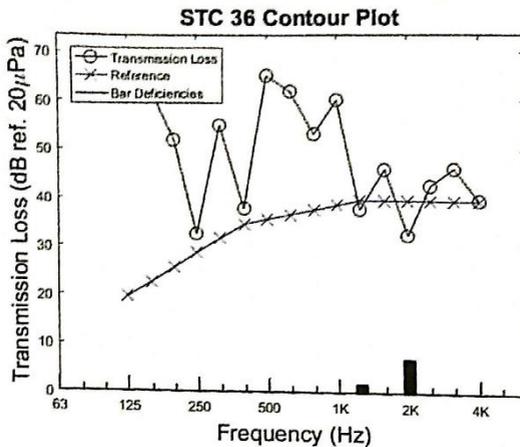
Tabel Transmission Loss Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Transmission Loss (dB)
125	68.52
160	61.79
200	51.82
250	32.46
315	54.81
400	37.66
500	65.00
630	61.91
800	53.00
1000	59.99
1250	37.72
1600	45.88
2000	32.50
2500	42.65
3150	46.10
4000	39.74



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>
email : akoesitscho@gmail.com



Grafik Transmission Loss Spesimen Uji

Kesimpulan

Pengujian Transmission Loss pada spesimen uji didapatkan hasil nilai STC sebesar 36. Berdasarkan *ASTM Standard E413*, "Classification for Rating Sound Insulation." *ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E0413-04*.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.
NIP. 19600229 198701 1 001



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAXB : 1201
<http://www.vibrastik.ep.its.ac.id>
email : akoestische@gmail.com

Surabaya, 24 Mei 2019

No 291/PRO/VIBRASTIK/V/2019
Hal Hasil Pengukuran *Sound Transmission Class*

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Transmission Loss "Specimen Komposit Poliester Berpenguat serat Rami 2" dari Yusa "S1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS" yang dilakukan pada Rabu, 16 Mei 2019 pukul 01.00 WIB dengan ukuran $t = 1$ cm dan diameter (\varnothing) = 9,8 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

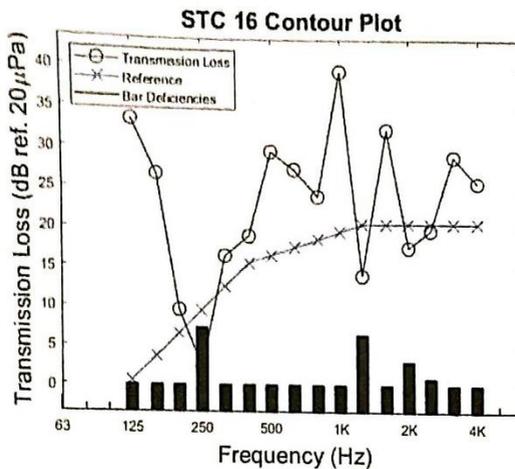
Tabel Transmission Loss Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Transmission Loss (dB)
125	33.50
160	26.64
200	9.51
250	2.21
315	16.38
400	18.91
500	29.59
630	27.38
800	23.93
1000	39.57
1250	13.96
1600	32.33
2000	17.53
2500	19.66
3150	28.95
4000	25.61



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947118, 599425-4 Fax. 03-5923626 FADK : 1201
<http://www.vibrastec.ep.its.ac.id>
email : akovallsche@gmail.com



Grafik Transmission Loss Spesimen Uji

Kesimpulan

Pengujian Transmission Loss pada spesimen uji didapatkan hasil nilai STC sebesar 16. Berdasarkan *ASTM Standard E413, "Classification for Rating Sound Insulation."* *ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E0413-04.*

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.
NIP. 19600229 198701 1 001



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947185, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAXB : 1201
<http://www.vibrastic.ep-its.ac.id>
email : akoestische@gmail.com

Surabaya, 24 Mei 2019

No : 292/PRO/VIBRASTIK/V/2019

Hal : Hasil Pengukuran *Sound Transmission Class*

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Transmission Loss pada "Specimen Komposit Poliester Berpenguat serat Rami 3" dari Yusa "SI Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS" yang dilakukan pada Rabu, 16 Mei 2019 pukul 01.30 WIB dengan ukuran $t = 1$ cm dan diameter (\varnothing) = 9,8 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

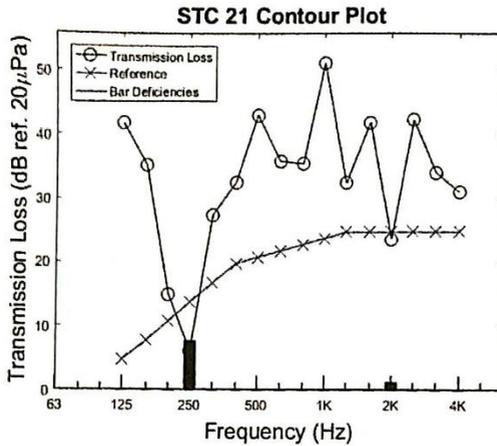
Tabel Transmission Loss Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Transmission Loss (dB)
125	41.72
160	35.03
200	14.87
250	6.06
315	27.32
400	32.47
500	42.95
630	35.80
800	35.36
1000	51.03
1250	32.36
1600	41.80
2000	23.53
2500	42.16
3150	33.98
4000	30.92



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>
email : akoestische@gmail.com



Grafik Transmission Loss Spesimen Uji

Kesimpulan

Pengujian Transmission Loss pada spesimen uji didapatkan hasil nilai STC sebesar 21. Berdasarkan *ASTM Standard E413*, "Classification for Rating Sound Insulation." *ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E0413-04*.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.
NIP. 19600229 198701 1 001



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923528 FAXBK : 1201
<http://www.vibrastec.ep.its.ac.id>
email : akoestische@gmail.com

Surabaya, 18 Mei 2019

No : 294/PRO/VIBRASTIK/IV/2019

Hal : Hasil Pengukuran *Sound Transmission Class*

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Transmission Loss pada "Specimen Poliester Berpenguat serat Rami 4" dari Yusa "S1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS" yang dilakukan pada Senin, 16 Mei 2019 pukul 01.30 WIB dengan ukuran $t = 1$ cm dan diameter (\varnothing) = 9,8 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

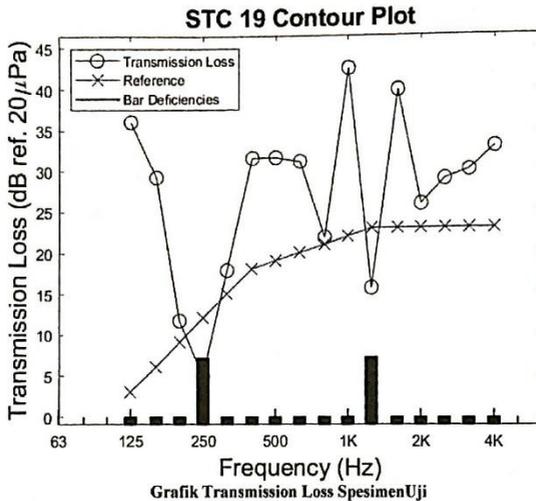
Tabel Transmission Loss Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Transmission Loss (dB)
125	36.1
160	29.2
200	11.7
250	4.9
315	17.9
400	31.6
500	31.7
630	31.2
800	21.9
1000	42.5
1250	15.8
1600	39.8
2000	26.0
2500	29.0
3150	30.1
4000	32.9



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5933626 FABX : 1201
<http://www.vibrastlc.ep.its.ac.id>
email : akoestischo@gmail.com



Kesimpulan

Pengujian Transmission Loss pada spesimen uji didapatkan hasil nilai STC sebesar 19. Berdasarkan *ASTM Standard E413, "Classification for Rating Sound Insulation."* *ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E0413-04.*

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.
NIP. 19600229 198701 1 001



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947166, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAX : 1201
<http://www.vibrastik.ap.its.ac.id>
email : akoestishe@gmail.com

Surabaya, 18 Mei 2019

No : 295/PRO/VIBRASTIK/IV/2019

Hal : Hasil Pengukuran *Sound Transmission Class*

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Transmission Loss pada "Specimen Poliester Berpenguat serat Rami S" dari Yusa "S1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS" yang dilakukan pada Senin, 16 Mei 2019 pukul 01.30 WIB dengan ukuran $t = 1$ cm dan diameter (\varnothing) = 9,8 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

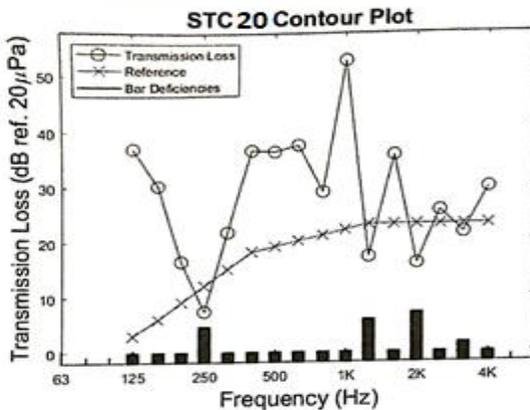
Tabel Transmission Loss Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Transmission Loss (dB)
125	37,0
160	30,1
200	16,4
250	7,4
315	21,6
400	36,4
500	36,2
630	37,4
800	28,9
1000	52,7
1250	17,2
1600	35,6
2000	16,0
2500	25,4
3150	21,4
4000	29,6



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 63-5923628 FAX : 1201
<http://www.vibrastec.ep.its.ac.id>
email : akoesstischa@gmail.com



Grafik Transmission Loss Spesimen Uji

Kesimpulan

Pengujian Transmission Loss pada spesimen uji didapatkan hasil nilai STC sebesar 19. Berdasarkan *ASTM Standard E413*, "Classification for Rating Sound Insulation." *ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E0413-04*.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika-ITS

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.
NIP. 19600229 198701 1 001



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung F-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5347106, 5994254 Fax. 03-8223628 FAX : 1201
<http://www.vibraeic.ep.its.ac.id>
email : akeestishe@gmail.com

Surabaya, 18 Mei 2019

No : 296 PRO-VIBRASTIK/IV/2019

Hal : Hasil Pengukuran *Sound Transmission Class*

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada "Specimen Poliester Berpenguat serat Rami 6" dari Yusa "S1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS" yang dilakukan pada Senin, 16 Mei 2019 pukul 01.30 WIB dengan ukuran $t = 1$ cm dan diameter (\varnothing) = 9,8 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

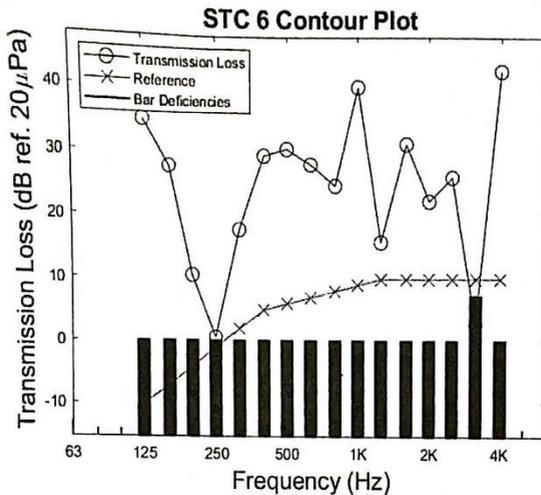
Tabel *Transmission Loss* Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	34.8
160	27.6
200	10.4
250	0.5
315	17.6
400	29.2
500	30.3
630	27.9
800	24.5
1000	39.9
1250	15.6
1600	31.1
2000	22.0
2500	25.8
3150	2.6
4000	42.4



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukelilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923826 FAXB : 1201
<http://www.vibrastec.ep.its.ac.id>
email : akoestischo@gmail.com



Grafik Transmission Loss Spesimen Uji

Kesimpulan

Pengujian Transmission Loss pada spesimen uji didapatkan hasil nilai STC sebesar 6. Berdasarkan *ASTM Standard E-413, "Classification for Rating Sound Insulation."* *ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E0413-04.*

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.
NIP. 19600229 198701 1 001

2. Hasil Uji Impak



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 0341 – 553286 Pes. 1214 Malang 65145

DATA HASIL PENGUJIAN

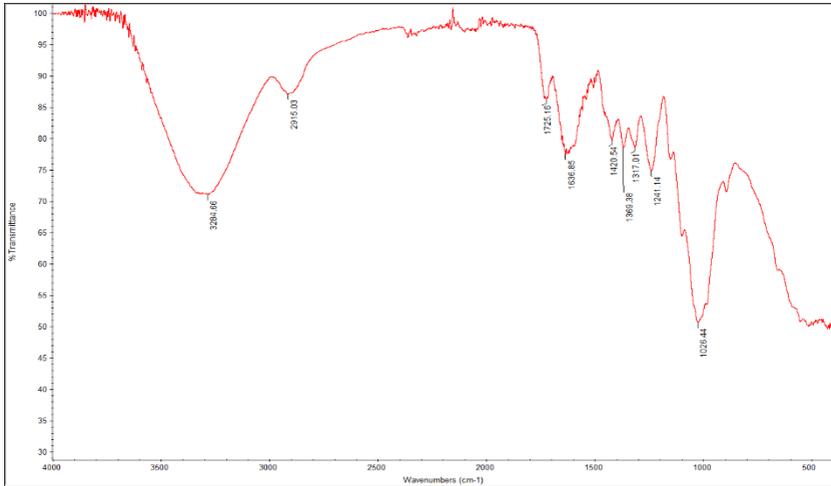
Jenis Pengujian : Impact Komposit
Penguji : Muhammad Ilham Yoessa
NRP. : 0251154000085
Fakultas : Teknologi Industri
Univ./Instansi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Tanggal Pengujian : 15 Mei 2019

Perlakuan Serat	Penambahan Nanoselulosa (%)	Sampel	Sudut α (°)	Sudut β (°)
Alkalisasi	0%	4	150	115
		5	150	103
		6	150	120
	1%	10	150	107
		11	150	123
		12	150	110
	3%	16	150	118
		17	150	107
		18	150	124
Non Alkalisasi	0%	1	150	122
		2	150	126
		3	150	124
	1%	7	150	130
		8	150	118
		9	150	122
	3%	13	150	116
		14	150	120
		15	150	121

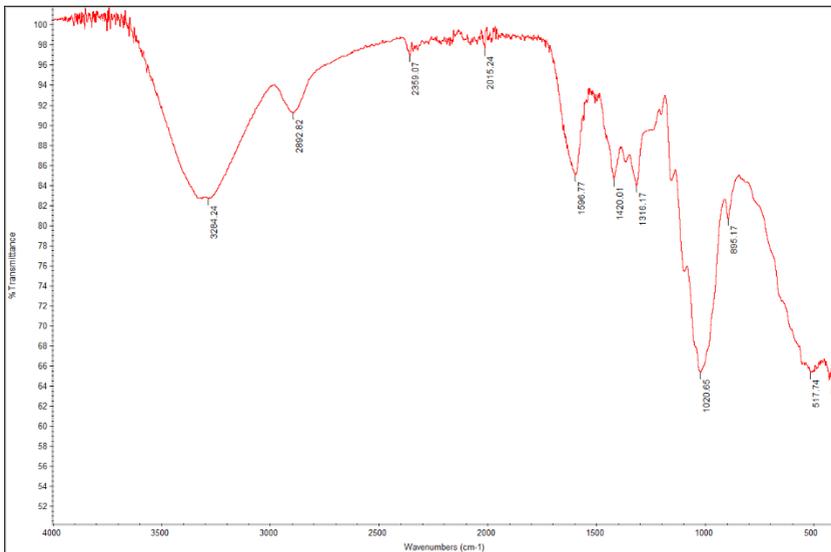


3. Hasil Uji FTIR

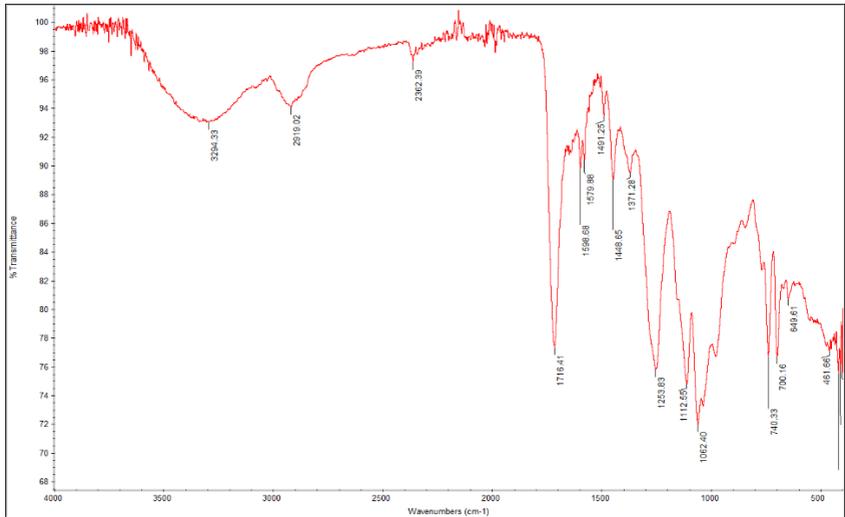
A. Hasil FTIR Serat Rami Sebelum Alkalisasi



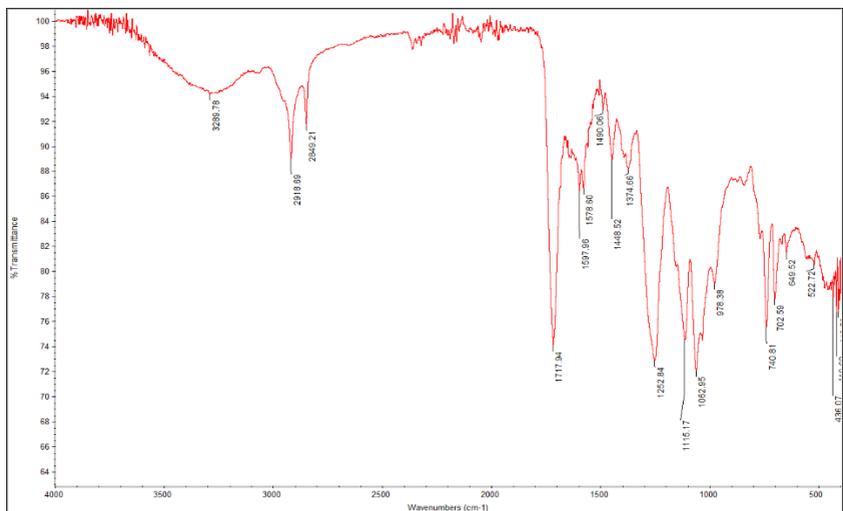
B. Hasil FTIR Serat Rami Setelah Alkalisasi



C. Hasil FTIR Komposit Serat Rami Non Alkalisasi / 0% Nanoselulosa



D. Hasil FTIR Komposit Sera Rami Alkalisasi / 1% Nanoselulosa



4. Spesifikasi Alat

A. Spesifikasi Mesin SEM

Spesifikasi dari mesin SEM di Departemen Teknik Material ITS adalah Inspect S50 dengan spesifikasi tegangan volt: 200 V – 30 kV, arus: sampai dengan 2 μ A, dan perbesaran: 13 - 1000000x untuk partikel, material berpori, dan serat serta komposit. Sampel yang digunakan berupa lembaran yang dilengketkan pada *holder* dengan menggunakan selotip karbon *double tape*. Kemudian dimasukkan ke dalam alat pelapis *autofine-coater* JFC-1100 untuk melapisi sampel dengan lapisan tipis Au-Pd (80:20). Lalu, sampel dimasukkan dalam *specimen chamber* pada alat SEM.

Adapun spesifikasi alat dari mesin SEM di Departemen Teknik Mesin Universitas Brawijaya adalah:

- Tipe : PhenomTM G2 pro
- System : *imaging module, 19" touch-screen monitor, rotary knob, mouse, diaphragm vacuum pump, power supply, USB 2.0 flash drive*
- *Imaging modes* : *light optical magnification 20-120 x, Electron optical magnification range : 80 - 45.000 x, Digital zoom max 12 x*
- *Illumination* : *Light optical selectable axial and off-axis LEDs, Electron Optical long-lifetime thermionic source, Acceleration Voltage 5 kV, Resolution 25 nm.*
- *Digital image* : *Light Optical color navigation camera, Electron Optical high-sensitivity backscattered electron detector*
- *Image format* : JPEG, TIFF, BMP
- *Image resolution* : 456 x 456, 684 x 684, 1024 x 1024, 2048 x 2048 pixels

- *Pixel resolution* : 2,9 nm
- *Sample size* : 25 mm (dia) x 30mm (h)
- *Sample loading* : *Light optical <5s, Electron Optical <30s*
- *Dimension & weight* : *Imaging module 286 (w) x 566 (d) x 495 (h) mm 50kg, Diaphragm Vacuum 145 (w) x 220 (d) x 213 (h) mm 4,5 kg, Power supply 156 (w) x 300 (d) x 74 (h) mm 3 kg, Monitor 375 (w) x 203 (d) x 395 (h) mm 7,9 kg*
- *Ambient Temp* : 15°C ~ 30°C (59 F ~ 86 F)
- *Humidity* : < 80 % RH
- *Power* : *Single-Phase AC 110-240 Volt 50/60 Hz, 300 W (max).*

B. Spesifikasi Mesin FTIR

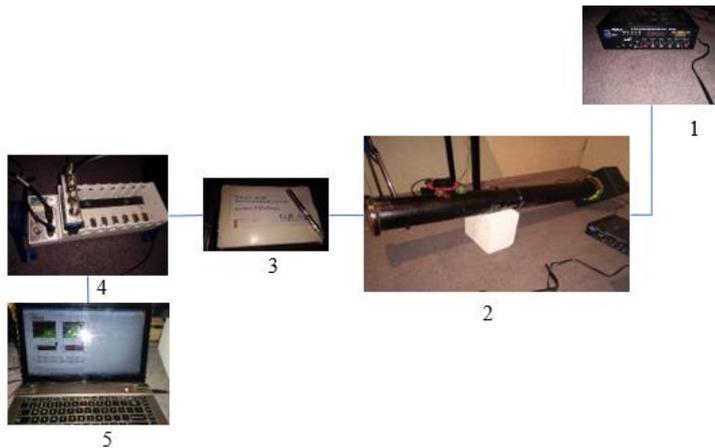
Adapun Spesifikasi Alat dari Mesin FTIR Nicolet IS10 adalah:

- *Height (Metric)* : 250 mm
- *Weight (Metric)* : 33 kg
- *Accepts* : *SMART Accessories TGA-IR, Continuum Microscope, Photoacoustic, Most Standard Accessories*
- *Applications* : *Biodiesel Blending Analysis; Gemstone Analysis; Polymers and Plastics; QA/QC; Pharmaceuticals; Forensics.*
- *Humidity* : *Tightly sealed to resist ambient humidity.*
- *Width (Metric)* : 570 mm
- *Interface* : PC USB 2.0
- *Beam Splitter* : *KBr/Ge mid - infrared optimized (standard); XT-*

- KBr/Ge extended range mid - infrared (optional).*
- *Laser* : HeNe
 - *Performance Verification* : ASTM E1421 to meet customer ISO / GLP. requirements,
 - *Components* : Mid - infrared Ever - Glo and Tungsten / halogen (both are user replaceable from sample compartment).
 - *Power Supply* : 100-240 V 50/60 Hz
 - *Depth (Metric)* : 550mm
 - *Source Type* : Mid - infrared Ever - Glo and Tungsten / halogen (both are user replaceable from sample compartment).
 - *Spectral Range* : 7800 - 350 cm^{-1} optimized, mid-infrared KBr beam splitter 11000 - 375 cm^{-1} XT KBr extended range mid-infrared optics.
 - *Description* : The Nicolet iS10 FTIR spectrometer is a complete infrared spectroscopy system for routine analytical needs delivering the highest confidence in the verification and identification of materials.
 - *Spectral Resolution* : Better than 0.4 wavenumber

- *Detector Type* : *Fast recovery deuterated triglycine sulfate (DTGS) (standard) ; Liquid-nitrogen-cooled mercury cadmium telluride (MCT) (optional)*
- *Item Description* : Nicolet iS10 FTIR Spectrometer

C. Spesifikasi Alat Uji STC



Gambar diatas menunjukkan rangkaian alat yang terdiri dari:

1. Amplifier berfungsi sebagai sumber suara dari listrik yang diubah menjadi suara dan sebagai pengatur frekuensi yang akan dibutuhkan.
2. Tabung impedansi sebagai tempat spesimen uji. Terbuat dari logam besi berdiameter 10 cm dan panjang 3 meter.
3. Microfon sebagai penangkap sensor suara yang diberikan kepada tabung impedansi. Adapun di dalam pengujian ini *microfon* jenis G.R.A.S 40 PH dipasang sebelum dan setelah spesimen uji. Sehingga ketika suara dengan frekuensi tertentu diberikan, suara datang akan ditangkap

-
- microfon* 1 dan setelah melewati spesimen uji akan ditangkap oleh *mikrofon* 2.
4. DAQ (*Data Aquisition*) sebagai pengolah data dari sensor suara yang akan diteruskan ke komputer. DAQ jenis NicDAQ-9178 dengan modul Ni9234 adalah yang digunakan dalam pengukuran.
 5. Komputer Sebagai pengolah data dari DAQ dan ditentukannya nilai STC.

D. Spesifikasi Alat Uji Impak

Adapun spesifikasi alat uji impak yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Standard : ISO179-1992, GB/T1043-93, JB/18762-1998.

Tipe : XJJ-5 *Charpy Impact Testing*.

Impact velocity : 2,9 m/s.

Pend. Energi : 0,5 J, 1J, 2J, 4J, 5J.

Pend. Moment : 1,0718 Nm.

Sudut awal : 150.

Panjang lengan : 230 mm.

Working Temp. : 15-35°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan kakak penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
2. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
3. Teman – teman LA16, Yohanes Redi Baskoro, M. Rifqi Fauzan, Hanifah Kurniawati, Aulia Azizah, Rahmadhani Nur F., Vicky Mahfudy, Eugenius Mauritz Rafael, Danika Clarafitri, Anggi Rio M., Syeila Rahmasuha, yang telah menemani, memotivasi dan menghibur penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
4. Teman – teman seluruh anggota PSM ITS yang senantiasa memberikan semangat dan doa kepada penulis.
5. Teman – teman Laboratorium Manufaktur yang telah membantu dan menyemangati penulis selama penulisan laporan Tugas Akhir.
6. Keluarga MT 17 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga kepada penulis selama jenjang perkuliahan.
7. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman - teman sekalian.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Ilham Yoessa. Dilahirkan di Gresik pada tanggal 13 Oktober 1997 dari pasangan Koestayanto dan Satuah. Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara dan memiliki kakak perempuan bernama Letizia Diah Oktaviani dan Dwi Ika Basitha. Penulis mulai menempuh pendidikan formal pada tahun 2003 di SDN 2 Tlogopatut Gresik, pada tahun 2009 di SMPN 3 Gresik, dan di tahun 2012 menempuh pendidikan jenjang SMA di SMAN 1 Gresik. Saat ini penulis merupakan salah satu mahasiswa di Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya sejak tahun 2015. Selama menjalankan pendidikan di Surabaya, penulis aktif berkegiatan di Unit Kegiatan Mahasiswa Paduan Suara Mahasiswa ITS (UKM PSM ITS) dan aktif di organisasi PSM ITS sebagai staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Musik di tahun 2016/2017 dan sebagai Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Musik pada tahun 2017/2018. Bersama PSM ITS, penulis mendapatkan berbagai prestasi dalam lomba paduan suara, baik di tingkat regional di tahun 2016, nasional pada tahun 2017 dan 2018, serta lomba tingkat internasional yang diselenggarakan di Wales, United Kingdom pada tahun 2017. Selain itu penulis juga tergabung dalam salah satu komunitas paduan suara *independent* di Surabaya bernama Coro Semplice Indonesia dan mendapatkan prestasi pada lomba paduan suara tingkat internasional di Singapura pada tahun 2018.

No. Telepon: 0895631861032, Email: yusa1310@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)