



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

STUDI BAHAN AKUSTIK *SILICONE RUBBER* BERPORI BERPENGUAT NANO SELULOSA DARI SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

AFIRA AINUR ROSIDAH
NRP. 2713 100 114

Dosen Pembimbing :
Ir. Moh. Farid, DEA
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR- TL 141584

**STUDI BAHAN AKUSTIK *SILICONE RUBBER*
BERPORI BERPENGUAT NANO SELULOSA DARI
SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

**AFIRA AINUR ROSIDAH
NRP. 2713 100 114**

**Dosen Pembimbing
Ir. Moh. Farid, DEA
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**STUDY OF POROUS SILICONE RUBBER
ACOUSTICAL MATERIAL REINFORCED BY
NANOCELLULOSE FROM OIL PALM EMPTY
FRUIT BUNCH FIBER**

**AFIRA AINUR ROSIDAH
NRP. 2713 100 114**

**Advisors
Ir. Moh. Farid, DEA
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICAL
ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**STUDI BAHAN AKUSTIK *SILICONE RUBBER*
BERPORI BERPENGUAT NANO SELULOSA DARI
SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

**AFIRA AINUR ROSIDAH
NRP. 2713 100 114**

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Ir. Moh. Farid, DEA (Pembimbing I)

Alvian Toto Wibisono, ST, MT (Pembimbing II)



Studi Bahan Akustik *Silicone Rubber* Berpori Berpenguat Nano Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Nama : Afira Ainur Rosidah
NRP : 2713 100 114
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Ir. Moh Farid, DEA
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

ABSTRAK

Komposit berpenguat nano filler saat ini menjadi salah satu material yang sedang dikembangkan. Salah satu aplikasinya dapat digunakan sebagai bahan akustik. Bahan akustik digunakan untuk menyerap suara. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh ukuran dan fraksi berat terhadap morfologi, densitas dan nilai koefisien absorpsi suara. Penelitian ini menggunakan silicone rubber berpori sebagai matriks dan mikro selulosa serta nano selulosa sebagai filler. Fraksi berat yang dipakai yaitu 2%, 4% dan 6%. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi SEM, FTIR, densitas dan koefisien absorpsi suara. Ukuran filler dan penambahan fraksi berat menyebabkan perubahan jumlah dan bentuk pori. Pori teratur dengan jumlah besar ada pada silicone rubber berpori murni dengan 31,707% area. Ukuran filler menyebabkan rata-rata nilai α turun. Nilai α tertinggi pada frekuensi 4000 Hz ada pada SR berpori murni, yaitu sebesar 0,431. Sedangkan 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.

Kata kunci : *Bahan Akustik, Tandan Kosong Kelapa Sawit, Selulosa, Silicone Rubber Berpori*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**Study of Porous Silicone Rubber Acoustical Material
Reinforced by Nanocellulose from Oil Palm Empty Fruit
Bunch Fiber**

Name : Afira Ainur Rosidah
NRP : 2713 100 114
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisors : Ir. Moh Farid, DEA
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

ABSTRACT

Composite materials reinforced by nanofiller are now becoming one of the developed materials. It can be used as an acoustical material. Acoustical materials are often used as sound absorber. The purpose of this study was to analyze the effect of size and weight fraction of filler to the morphology, density and sound absorption coefficient. This study used porous silicone rubber as the matrix, microcellulose and nanocellulose as the filler. Weight fractions used for this research were 2%, 4% and 6%. Tests performed in this study were included SEM, FTIR, density and sound absorption coefficient. Size and weight fraction differences caused changing amount of pores and type of pores. Well-regulated pores with the highest amount of pores was obtained on pure porous silicone rubber with 31,707% area. Size differences caused decreasing the average of sound absorption coefficient value. The highest α value at 4000 Hz was obtained on pure porous silicone rubber, that was 0,431. On the other hand, weight fraction differences of microcellulose caused decreasing of α value. Addition of nanocellulose caused decreasing of α value at 2% and 4% fraction, but getting the highest α value at 6% fraction with α value at 4000 Hz was 0,425.

Keywords : *Acoustical Materials, Oil Palm Empty Fruit Bunch, Cellulose, Porous Silicone Rubber.*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufiq, hidayah dan inayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**STUDI BAHAN AKUSTIK SILICONE RUBBER BERPORI BERPENGUAT NANO SELULOSA DARI SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**”.

Sholawat serta salam tidak lupa penulis haturkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW, keluarga serta para sahabatnya yang senantiasa turut berjuang di jalan Allah SWT.

Selama melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih pada:

1. Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya
2. Mama dan papa atas dukungan moriil dan materiil yang luar biasa
3. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini
4. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku *co*-pembimbing yang senantiasa memberi bimbingan, arahan dan nasihat.
5. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc yang senantiasa mendengarkan keluh kesah dan memberikan saran-saran
6. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang senantiasa menyemangati
7. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS
8. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir serta seluruh dosen dan staff karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS
9. Keluarga HMMT dan MT15

10. Daru dan Bathara selaku teman jalan-jalan, karaoke dan hura-hura semenjak maba
11. Qory dan Mela selaku teman sekosan yang senantiasa menyemangati dan menemani makan
12. Alit dan Sita selaku teman yang selalu menemani dan memotivasi.
13. Arief, Jede, Imbang, Embal, dan seluruh pasukan kece selaku teman seperjuangan di Laboratorium Inovatif
14. Angga, Aldida, Lila, Maya dan seluruh teman Bhumi 9A atas waktu yang selalu ada di sela kesibukannya
15. Alit, Dony, Standley, Asis dan para staff Hubungan Luar 2015/2016 Prita, Emral, Jere, Riyan, Argya, Redha dan Ido atas keseruannya
16. Mas Anca, Mas Ocín dan keluarga Hubungan Luar 2014/2015 yang telah memberi motivasi dan pembelajaran
17. Keluarga SC/PSDM 2014/2015 atas semua pembelajaran tentang perjuangan yang diberikan
18. Seluruh pihak yang telah memberi dukungan dan motivasi yang tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan. Penulis berharap pembaca dapat mengambil ilmu yang ada dan memberikan kritik dan/saran untuk perkembangan teknologi yang lebih baik.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit.....	7
2.2 Komponen Komposit.....	9
2.2.1 Serat.....	9
2.2.2 Matriks.....	9
2.3 Serat Alami.....	10
2.3.1 Sifat Fisik.....	10
2.3.2 Sifat Kimia.....	12
2.4 Matriks <i>Silicone Rubber</i>	12
2.5 <i>Silicone Rubber</i> Berpori.....	15
2.6 Serat Kelapa Sawit.....	16
2.7 Nano Selulosa.....	19
2.8 Knalpot.....	21
2.9 Bunyi.....	23
2.10 Material Akustik.....	24
2.11 Material Absorpsi Suara.....	26
2.12 Penelitian Terdahulu.....	33

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	37
3.1.1 Diagram Alir Pembuatan Komposit	37
3.1.2 Diagram Alir Pembuatan <i>Filler</i> Mikro Selulosa ...	38
3.1.3 Diagram Alir Pembuatan <i>Filler</i> Nano Selulosa.....	39
3.1.4 Diagram Alir Pembuatan Komposit <i>Silicone Rubber</i> Berpori.....	40
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	40
3.2.1 Bahan Penelitian	40
3.2.2 Peralatan Penelitian	44
3.3 Variabel Penelitian.....	47
3.4 Metode Penelitian	47
3.4.1 Persiapan Bahan	47
3.4.1.1 Pengolahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	48
3.4.1.2 Pembuatan Matriks <i>Silicone Rubber</i> Berpori	49
3.4.1.3 Pembuatan Cetakan.....	50
3.4.1.4 Pembuatan Komposit	50
3.4.2 Proses Pengujian.....	52
3.4.2.1 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara.....	52
3.4.2.2 Pengujian SEM	53
3.4.2.3 Pengukuran %Area Pori dengan <i>Software</i> <i>ImageJ</i>	55
3.4.2.4 Pengujian FTIR.....	56
3.4.2.5 Pengujian Densitas.....	58
3.5 Rancangan Penelitian.....	59

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Preparasi Komposit SR Poros/Selulosa	61
4.2 Analisis FTIR	61
4.3 Analisis Morfologi.....	72
4.4 Analisis Densitas	76
4.5 Analisis Koefisien Absorpsi Suara	77

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan..... 83
5.2 Saran 83

DAFTAR PUSTAKAxxiii

LAMPIRAN..... xxxi

BIODATA PENULISxlvii

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rantai Utama Polidimetilsiloksan (Murice Morton, 1959)	13
Gambar 2.2	Reaksi Peroksida dengan Siloksan (Maurice Morton, 1963)	14
Gambar 2.3	Reaksi <i>Crosslink Silicone Rubber</i> pada <i>Two-Part System</i> RTV (Andre Colas, 2005)	15
Gambar 2.4	SEM Komposit <i>Silicone Rubber</i> Poros dengan Filler CMC (Kejiro Yoshimura, 2016)	16
Gambar 2.5	Pohon Kelapa Sawit (M. D. H Beg, 2015)	17
Gambar 2.6	Skema Persebaran Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin pada Serat Alam (M. D. H Beg, 2015)	18
Gambar 2.7	Struktur Kimia Selulosa	19
Gambar 2.8	TEM dari <i>Nano Fibrillated Cellulose</i> dengan Perbesaran 50.000x (Ireana, 2014).....	19
Gambar 2.9	Proses Hidrolisis Selulosa (B. L. Peng, 2011)	20
Gambar 2.10	(a) <i>Reactive Muffler</i> , (b) <i>Absorbitive Muffler</i> (D. W. Herrin, 2012)	22
Gambar 2.11	Tiga Tipe Utama Material Penyerap Suara Berpori (Jorge P. Arenas dan Malcolm J. Crocker, 2010)	27
Gambar 2.12	Zona Frekuensi Material Penyerap Berpori (Howard dan Angus, 2009)	30
Gambar 2.13	Zona Frekuensi Penyerap Resonant (Howard dan Angus, 2009).....	31
Gambar 2.14	Zona Frekuensi Tipe <i>Helmholtz</i> (Howard dan Angus, 2009)	32
Gambar 2.15	Zona Frekuensi Tipe <i>Wideband</i> (Howard dan Angus, 2009)	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Pembuatan Komposit	37

Gambar 3.2	Diagram Alir Pembuatan Serat Mikro Selulosa	38
Gambar 3.3	Diagram Alir Pembuatan Serat Nano Selulosa	39
Gambar 3.4	Diagram Alir Pembuatan Komposit <i>Silicone Rubber</i> Berporos	40
Gambar 3.5	Serat TKKS (Dokumentasi Pribadi).....	41
Gambar 3.6	Aquadres (Dokumentasi Pribadi).....	41
Gambar 3.7	Silicone Rubber RTV 585 (Dokumentasi Pribadi).....	41
Gambar 3.8	Katalis Bluesil (Dokumentasi Pribadi)	42
Gambar 3.9	NaCl (Dokumentasi Pribadi).....	42
Gambar 3.10	Heksana (Dokumentasi Pribadi)	42
Gambar 3.11	NaOH (Dokumentasi Pribadi).....	43
Gambar 3.12	H ₂ O ₂ (Dokumentasi Pribadi)	43
Gambar 3.13	H ₂ SO ₄ (Dokumentasi Pribadi).....	43
Gambar 3.14	Alat Pencacah Organik (Dokumentasi Pribadi)	44
Gambar 3.15	Alat <i>Sieving</i> ((Dokumentasi Pribadi)	45
Gambar 3.16	Alat Centrifuge (Dokumentasi Pribadi).....	45
Gambar 3.17	Alat Uji Absorpsi Suara	46
Gambar 3.18	Alat Uji SEM (Dokumentasi Pribadi)	46
Gambar 3.19	Tampilan <i>Software ImageJ</i>	47
Gambar 3.20	Alat Uji FTIR	47
Gambar 3.21	Metode <i>Water Bath</i> pada Hidrolisis	48
Gambar 3.22	Serat Hasil Bleaching, Alkali dan Hidrolisis	49
Gambar 3.23	Pemanasan Komposit pada 30°C	51
Gambar 3.24	Perendaman Komposit dalam Air Hangat	51
Gambar 3.25	Komposit Silicone Rubber yang Telah Hilang Kadar Garamnya	51
Gambar 3.26	Dimensi Spesimen Uji Absorpsi Suara	52
Gambar 3.27	Spesimen Uji Absorpsi Suara	53
Gambar 3.28	Prinsip Kerja SEM (Jinping Zhou, 2000)	54

Gambar 3.29	Spesimen Uji SEM	55
Gambar 3.30	Kotak Dialog Hasil Analissi %Area Pori dengan <i>Software ImageJ</i>	56
Gambar 3.31	Skema Uji FTIR (Jinping Zhou, 2000)	57
Gambar 3.32	Spesimen Uji FTIR	57
Gambar 3.33	Pengujian Densitas	58
Gambar 3.34	Spesimen Uji Densitas	58
Gambar 4.1	Hasil Preparasi Spesimen	61
Gambar 4.2	Hasil Uji FTIR Matriks <i>Silicone Rubber</i> Berpori	62
Gambar 4.3	Hasil Uji FTIR TKKS Murni, Alkali, <i>Bleaching</i> dan Hidrolisis	64
Gambar 4.4	Transmitansi <i>Filler</i> pada Beberapa Daerah Serapan (a) dan (b) Transmitansi O-H, (c) Transmitansi C-O-C, (d) Transmitansi -CH ₂ , (e) Transmitansi C=C	65
Gambar 4.5	Struktur Kimia pada TKKS Mentah atau <i>Washed</i> (a) Lignin, (b) Selulosa	68
Gambar 4.6	Reaksi pada Proses Alkali	68
Gambar 4.7	Reaksi pada Proses <i>Bleaching</i>	69
Gambar 4.8	Reaksi Hidrolisis pada Selulosa	70
Gambar 4.9	Pengaruh Mikro Selulosa dan Nano Selulosa terhadap Hasil Uji FTIR pada Komposit	71
Gambar 4.10	Transmitansi pada Beberapa Daerah Serapan (a) 3900-3100 cm ⁻¹ , (b) 2000-400 cm ⁻¹	72
Gambar 4.11	SEM Serat TKKS dengan Perbesaran 250x (a) Murni, (b) Alkali, (c) <i>Bleaching</i> , dan (d) Perbesaran 500x Setelah Hidrolisis	73
Gambar 4.12	SEM SR Berpori (a) SR Poros Murni, (b) SR. Berpori/Mikro Selulosa, (c) SR. Berpori/Nano Selulosa	74

Gambar 4.13	Pengaruh Jenis <i>Filler</i> (Mikro Selulosa dan Nano Selulosa) dan Fraksi Berat terhadap Massa Jenis Komposit	76
Gambar 4.14	Pengaruh Fraksi Massa terhadap Koefisien Absorpsi Suara SR Berpori/Mikroselulosa ...	78
Gambar 4.15	Pengaruh Fraksi Massa terhadap Koefisien Absorpsi Suara SR Berpori/Nano Selulosa....	80
Gambar 4.16	Pengaruh Jenis <i>Filler</i> (Mikro Selulosa dan Nano Selulosa) dan Fraksi Berat terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara pada 125 Hz	80
Gambar 4.17	Pengaruh Jenis <i>Filler</i> (Mikro Selulosa dan Nano Selulosa) dan Fraksi Berat terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara pada 4000 Hz	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kimia Serat Sabut Kelapa, Rami, Bambu dan Ampas Tebu (<i>Omar Faruk, 2012</i>)..	12
Tabel 2.2	Sifat Fisik dan Mekanik <i>Silicone Rubber</i> (Deni, 2014).....	13
Tabel 2.3	Komposisi Kimia pada Fiber Kelapa Sawit yang Berbeda (M. D. H Beg, 2015)	18
Tabel 2.4	Sifat dari Serat Kelapa Sawit (<i>Empty Fruit Bunch</i>)	18
Tabel 2.5	Perandangan Kebisingan pada Kendaraan 100cc dan 125cc	21
Tabel 2.6	Koefisien Absorpsi Dari Material Akustik (Doelle, Leslie L, 1993)	28
Tabel 2.7	Nilai Koefisien Serap Beberapa Jenis Produk (Priesma, 2012)	29
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian	59
Tabel 4.1	Daerah Serapan Infra Merah <i>Silicone Rubber</i> Poros	63
Tabel 4.2	Daerah Serapan Infra Merah Serat TKKS <i>Washed, Alkali, Bleaching</i>	67
Tabel 4.3	Pengaruh <i>Filler</i> Mikro Selulosa dan Nano Selulosa terhadap Perbedaan % Area Hasil Uji SEM	75
Tabel 4.4	Pengaruh Jenis <i>Filler</i> (Mikro Selulosa dan Nano Selulosa) dan Fraksi Berat terhadap Nilai Densitas Komposit	76
Tabel 4.5	Pengaruh Fraksi Massa terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara SR/Mikro Selulosa	77
Tabel 4.6	Pengaruh Fraksi Massa terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara SR/Nano Selulosa.....	79

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebisingan masuk dalam salah satu isu penting kesehatan dunia. *World Health Organization* (WHO) melaporkan terdapat 250 juta (4,2 %) penduduk dunia mengalami gangguan pendengaran dari dampak kebisingan dalam berbagai bentuk. Di Amerika Serikat terdapat sekitar 5-6 juta orang terancam menderita tuli akibat bising. Sedangkan Belanda jumlahnya mencapai 200.000-300.000 orang, di Inggris sekitar 0,2%, di Canada dan Swedia masing-masing sekitar 0,3 % dari seluruh populasi. Dan sekitar 75-140 juta (50%) di Asia Tenggara, dalam hal ini Indonesia menempati urutan ke empat di Asia Tenggara yaitu 4,6 % sesudah Srilanka (8,8%), Myanmar (8,4%) dan India (6,3%). Angka tersebut diperkirakan akan terus meningkat (Rahayu, 2010).

US EPA (*Environmental Protection Agency*) menyarankan batas maksimal pemaparan suara selama 24 jam di lingkungan pemukiman ialah 55 dBA (*A-weighted decibels*) untuk melindungi masyarakat dari masalah kesehatan serius, serta 70 dBA untuk menghindari rusaknya indra pendengaran. Menurut *National Institute on Deafness and Other Communication Disorders*, 50 dBA ialah tingkat suara yang dihasilkan oleh percakapan sehari-hari, sedang 70 dBA sama dengan suara yang dihasilkan oleh pengering rambut atau *vacuum cleaner*. Di Indonesia sendiri, terdapat peraturan mengenai batas kebisingan yang diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 tentang ambang batas kebisingan kendaraan bermotor tipe baru menyatakan bahwa kendaraan bermotor memiliki ambang batas kebisingan rata-rata 80 dB.

Pada kendaraan bermotor, suara keras yang dihasilkan dari *engine* yang disalurkan lewat knalpot dapat membuat



kebisingan lingkungan. Salah satu cara untuk mengurangi kebisingan akibat suara keras tersebut adalah dengan *muffler*. *Muffler* (atau biasa disebut juga dengan *Silencer*) adalah tabung peredam yang berada di knalpot motor/mobil. *Muffler* berfungsi untuk mengurangi jumlah suara yang dipancarkan oleh knalpot dari pembakaran internal mesin. *Muffler* mengandung dua bagian yaitu tabung berlubang dan *sound absorption materials*.

Penggunaan *sound absorption materials* pada *muffler* menghantarkan energi dari gelombang akustik menjadi panas dan juga menyimpan energi panas dari aliran gas buang. *Absorptive material* dapat meningkatkan *transmission loss* dari sistem pembuangan pada frekuensi sedang ke tinggi. Sebagai *absorption material* ditempatkan di dalam knalpot pada daerah ekspansi sehingga efektif mengurangi dan menyerap gelombang tekanan serta memantulkan dengan sangat sedikit. Beberapa *absorption materials* adalah *fibers*, *glasswool*, *woven glass fiber* dan sebagainya (Ujjal Kalita, 2014). Selain itu pada proses manufaktur *glasswool* menghasilkan sulfur oksida (SO_x) dan Nitrous Oksida (NO_x) (*EMEP/EEA Emision*, 2013). Oleh karena itu baru-baru ini banyak dikembangkan serat natural untuk mengatasi gas berbahaya tersebut. Serat natural bersifat lebih ramah lingkungan dan aman untuk kesehatan manusia.

Salah satu serat yang juga memiliki koefisien absorpsi suara yang cukup baik adalah serat kelapa. Frekuensi absorpsi *muffler* berkisar pada 2000-6000Hz. Absorpsi komposit terbaik dicapai oleh PU (50PPG:50PPI)-5%K sebesar 0.444 pada frekuensi 2000Hz (Farid dan Yusuf, 2016). Selain serat kelapa (*coir*), belakangan ini juga sedang dikembangkan *absorption material* berpenguat serat tandan kosong kelapa sawit. Penyerapan suara 15% berat *treated oil palm* pada komposit *epoxy* memiliki koefisien penyerapan suara lebih tinggi dari perubahan lain, yaitu sebesar 0,095 pada 6000Hz



(Muhammad Khusairy Bin Bakri, 2015). Sebanyak 3% nano OPFB/epoxy memiliki sifat *tensile* dan *impact* yang paling baik yaitu masing-masing 1,4 GPa dan 98 J/m (Naheed Saba, 2016). Fraksi berat maksimal nano *cellulose* pada matriks *polyurethane* untuk mencapai nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas optimum adalah 1% dan sebanyak 2% fraksi berat nano *cellulose* menunjukkan stabilitas termal yang baik terhadap komposit (A Ivdre, 2016). Telah banyak penelitian mengenai serat tandan kosong kelapa sawit (*Oil Palm Empty Fruit Bunch/OPFB*) yang dikembangkan dalam skala nano. Akan tetapi, penelitian mengenai nano *filler* maupun nano *cellulose* kebanyakan masih sebatas morfologi dan sifat mekaniknya.

Material penyerap suara memiliki nilai koefisien absorpsi suara yang tinggi jika material memiliki struktur berpori sehingga gelombang suara dapat diserap dan berkurang kebisingannya. *Silicone rubber* adalah material padat dengan struktur tanpa pori, akan tetapi struktur ini dapat dibuat menjadi *silicone rubber* berpori dengan mencampurkan NaCl pada campuran *silicone rubber* dan heksana (Keijiro Yoshimura, 2015). Selain itu, akan dibuat juga *filler* dalam skala nano yang diharapkan dapat meningkatkan nilai absorpsi suara. Oleh karena itu perlu disintesis dan dikaji lebih lanjut mengenai bahan akustik dari *silicone rubber* berpori nano selulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dibahas sebelumnya, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh mikro selulosa dan nano selulosa terhadap morfologi dan koefisien absorpsi suara pada komposit SR berpori/selulosa tandan kosong kelapa sawit?



2. Bagaimana pengaruh fraksi berat terhadap morfologi dan koefisien absorpsi suara pada komposit SR berpori/selulosa tandan kosong kelapa sawit?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan untuk mengasumsikan parameter konstanta yang pengaruhnya sangat kecil pada penelitian sehingga dapat diabaikan. Adapun batasan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Pengotor pada saat sintesis dan pengujian diabaikan.
2. Kadar uap air dan gas pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
3. Distribusi serat dianggap merata.
4. Nilai densitas air dianggap sama dengan 1 gr/cm^3

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis pengaruh mikro selulosa dan nano selulosa terhadap morfologi dan koefisien absorpsi suara pada komposit SR berpori /selulosa tandan kosong kelapa sawit.
2. Menganalisis pengaruh fraksi berat terhadap morfologi dan koefisien absorpsi suara pada komposit SR berpori /selulosa tandan kosong kelapa sawit.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menciptakan produk komposit baru dengan *silicone rubber* berpori berpenguat mikro dan nano selulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan dasar material penyerap suara pada *muffler*.



2. Memanfaatkan limbah organik dari tandan kosong kelapa sawit sehingga memiliki nilai guna lebih.
3. Memberikan alternatif material dengan memanfaatkan sumber daya alam sekitar.
4. Memberikan referensi untuk penelitian selanjutnya



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda (Sulistijono, 2012).. Multifasa yang terjadi pada material komposit bukan terjadi secara natural melalui reaksi, transformasi fasa dan sebagainya. Material komposit berbeda dengan material paduan. Material paduan adalah material yang dibentuk dari dua komponen atau lebih yang terbentuk secara natural dengan proses *casting*. (Chung, 2010).

Berdasarkan definisi, komposit atau material komposit merupakan suatu material yang tersusun atas lebih dari dua elemen penyusunnya. Komposit bersifat homogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing masing memiliki sifat yang berbeda, dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan keinginan (Krevelen, 1994).

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu

1. Komposit Partikel, yaitu komposit yang tersusun atas matriks kontinyu dan penguat (reinforced) yang diskontinyu yang berbentuk partikel, fiber pendek atau whiskers.
2. Komposit Serat, yaitu komposit yang tersusun atas matriks kontinyu dan memiliki penguat berbentuk serat/fiber
3. Komposit Laminat, yaitu komposit yang terdiri dari beberapa lapisan lamina berpenguat fiber atau lamina berpenguat partikel atau lamina logam atau kombinasi dari lamina-lamina dengan material yang berbeda



dimana lapisan saling terikat. Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu

1. *MMC: Metal Matriks Composite* (menggunakan *matriks* logam) Metal Matriks Composite adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam.
2. *CMC: Ceramic Matriks Composite* (menggunakan *matriks* keramik) CMC merupakan material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai penguat dan satu fasa sebagai matriks dimana matriksnya terbuat dari keramik.
3. *PMC: Polymer Matriks Composite* (menggunakan *matriks* polimer). Polimer merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material komposit. Karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan.

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit yaitu:

1. *Continuous Fibre Composite*, Tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya.
2. *Woven Fibre Composite (bi-directional)*, Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan.
3. *Composite*, tipe komposit dengan serat pendek. Tipe ini dibedakan lagi menjadi 3 :
 - a) *Aligned discontinuous fibre*
 - b) *Off-axis aligned discontinuous fibre*
 - c) *Randomly oriented discontinuous fibre*



2.2. Komponen Komposit

2.2.1 Serat

Serat terdiri dari ratusan bahkan ribuan filamen, masing-masing filament memiliki diameter 5 sampai 15 μm , sehingga dapat diproses lebih lanjut (Gay, 2015). Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu,

1. Serat pendek, dengan panjang fraksi dalam milimeter atau beberapa centimeter. Contohnya *felts*, *mats*, dan serat pendek untuk *injection molding*.
2. Serat panjang, dipotong selama proses fabrikasi material komposit, biasanya berupa anyaman (*woven*).

Ditinjau dari pembuatannya, serat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu serat sintetis dan serat alami. Kedua jenis serat itu digunakan sebagai penguat atau pengisi pada material komposit. Serat sintetis banyak berperan sebagai penguat, sedangkan serat alami digunakan sebagai pengisi.

Serat alami merupakan serat yang terbuat dari bahan-bahan alami seperti aren, serabut kelapa, pelepah pisang, serat pohon, residu kayu, dan lain-lain. Penggunaan serat alami bukanlah memberikan efek penguatan, tetapi hanya penambah massa dari material komposit sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah bahkan menurunkan kekuatan dan kekakuan matriks sebelumnya (Sulistijono, 2012).

2.2.2 Matriks

Matriks merupakan fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat bersama-sama. Matriks merupakan kontituen penyusun komposit yang berperan sebagai pengikat atau penyangga yang menjaga kedudukan antar fasa penguat. Karakteristik yang harus dimiliki matriks umumnya adalah ulet, kekuatan dan rigiditas rendah apabila dibandingkan penguat. Matriks harus mampu membeku pada temperatur dan tekanan yang wajar. Bahan matriks yang umum



digunakan pada komposit adalah matriks logam, matriks polimer, dan matriks keramik.

2.3. Serat Alami

Peningkatan kesadaran bahwa sumber daya non-terbarukan menjadi langka dan ketergantungan pada sumber daya terbarukan telah muncul. Saat ini contohnya adalah selulosa, karena semakin banyak sumber daya tanaman terbarukan untuk produk sedang diteliti. Tanaman, yang menghasilkan serat alam, diklasifikasikan sebagai primer dan sekunder tergantung pada pemanfaatannya. Tanaman primer adalah tanaman yang tumbuh untuk konten serat mereka sementara tanaman sekunder tanaman di mana serat diproduksi sebagai produk sampingan. Goni, rami, kenaf, dan sisal adalah contoh dari tanaman primer. Nanas, kelapa sawit dan sabut adalah contoh tanaman sekunder (Staiger MP, 2008).

Ada enam tipe dasar dari serat alami. Mereka diklasifikasikan sebagai berikut: serat kulit pohon (jute, rami, rami, rami dan kenaf), serat daun (abaca, sisal dan nanas), serat biji (coir, kapas dan kapuk), serat inti (kenaf, rami dan rami), rumput dan alang-alang serat (gandum, jagung dan beras) dan semua jenis lain (kayu dan akar) (Omar Faruk, 2012).

2.3.1 Sifat Fisik

a. Serat Sabut Kelapa (*Coir*)

Serat sabut kelapa terletak antara kulit dan kulit luar kelapa. Sebagai produk sampingan dari produk kelapa lainnya. Karakterisasi dan pemanfaatan serat sabut di komposit sabut/*rubber* (Wie W, 2009), perilaku mekanik dinamis komposit sabut/*rubber* (Geethamma VG, 2005), daya tahan komposit sabut/semu (Filho RDT, 2002), pengaruh serat sabut diperlakukan pada sifat fisiko-mekanik komposit sabut/PP (Haque M, 2009; Islam MN, 2010), dan efek fisik serat, kimia dan sifat permukaan pada sifat mekanik dan termal dari komposit sabut / PP diselidiki dan dievaluasi (Bledzky AK, 2010).



b. Serat Rami (*Ramie*)

Rami berasal dari keluarga *Urticaceae* (*Boehmeria*), yang mencakup sekitar 100 spesies. popularitas rami sebagai serat tekstil telah dibatasi terutama oleh daerah produksi dan komposisi kimia yang telah diperlukan lebih luas pre-treatment dari yang dibutuhkan dari serat kulit pohon komersial penting lainnya (Omar Faruk, 2012).

Serat rami digunakan sebagai penguat pada komposit dengan menggunakan poliester, epoxy-bioresin, protein kedelai, epoksi dan PP untuk matriksnya (Omar Faruk, 2012).

c. Serat Bambu

Bambu (*Bambusa Shreb.*) merupakan tanaman tahunan, yang tumbuh hingga 40 m di iklim muson. Umumnya, digunakan dalam konstruksi, pertukangan, tenun dan anyaman. Gorden yang terbuat dari serat bambu dapat menyerap radiasi ultraviolet dalam berbagai panjang gelombang, sehingga mengurangi bahayanya bagi tubuh manusia (Omar Faruk, 2012).

Teknik *steam explosion* diaplikasikan untuk mengekstrak serat bambu dari pohon bambu mentah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat bambu (bundel) memiliki kekuatan spesifik yang cukup, setara dengan serat kaca konvensional (Omar Faruk, 2012).

d. Serat Ampas Tebu (*Bagasse*)

Ampas tebu adalah residu berserat yang tersisa setelah batang tebu yang dihancurkan untuk mengekstrak sari buahnya. Saat ini digunakan sebagai serat alami terbarukan untuk pembuatan bahan komposit (Omar Faruk, 2012).

Proses kompresi dan injection molding dilakukan untuk mengetahui metode pencampuran yang lebih baik untuk serat (ampas tebu, ampas tebu selulosa dan benzylated ampas tebu) dan matriks PP. Proses injection molding dilakukan di bawah vakum terbukti bekerja terbaik. Komposit diperoleh dengan distribusi homogen dari serat



dan tanpa lecet. Meskipun, komposit tidak memiliki adhesi yang baik antara serat dan matriks sesuai dengan sifat mekanik mereka (Luz SM, 2007).

2.3.2 Sifat Kimia

Komponen kimia utama dari pohon hidup adalah air. Namun, pada kondisi kering, semua dinding sel tanaman terdiri dari polimer gula (selulosa, hemiselulosa) yang dikombinasikan dengan lignin dengan jumlah yang lebih rendah dari ekstraktif, protein, pati dan anorganik. Komponen kimia didistribusikan ke seluruh dinding sel, yang terdiri dari lapisan dinding primer dan sekunder. Komposisi kimia bervariasi dari tanaman untuk tanaman, dan dalam bagian yang berbeda dari tanaman yang sama. (Omar Faruk, 2012). Tabel 2.1 menunjukkan kisaran kandungan kimia rata-rata untuk masing-masing serat.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Serat Sabut Kelapa, Rami, Bambu dan Ampas Tebu (*Omar Faruk, 2012*)

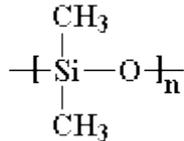
Fiber	Selulosa (wt%)	Hemiselulosa (wt%)	Lignin (wt%)	Wax (wt%)
Sabut Kelapa	32-43	0,15-0,25	40-45	-
Rami	68,6-76,2	13-16	0,6-0,7	0,3
Bambu	26-43	30	21-31	-
Ampas Tebu	55,2	16,8	25,3	-

2.4. Matriks *Silicone Rubber*

Rantai utama polimer silikon adalah polidimetilsiloksan dengan rantai utama Si-O dan dua gugus metil pada setiap silikon seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Rantai utama Si-O memberikan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap ozon, oksigen, panas (hingga 315 °C), sinar UV, kelembaban, dan efek



cuaca secara umum. Sedangkan pengganti gugus metil memberikan tingkat fleksibilitas yang tinggi. (Ciullo, 1996).



Gambar 2.1 Rantai Utama Polidimetilsiloksan (Murice Morton, 1959)

Pada umumnya, karet silikon merupakan campuran berkekuatan rendah yang berguna pada tingkat temperatur -80 hingga 450 °F (-62.2 hingga 232.2 °C). Karet silikon juga mempunyai ketahanan terhadap api, cahaya, dan ozon yang sangat baik. Karet silikon biasanya kurang tahan terhadap fluida. Karet silikon sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap panas karena mempunyai temperatur transisi glass yang rendah yaitu -197 °F (-127.2 °C) sehingga membuatnya memiliki fleksibilitas pada temperatur rendah yang cukup baik. Campuran yang berbasis karet silikon mempunyai kekuatan tear yang sangat rendah dan pada biasanya tidak cocok untuk aplikasi dinamik. (Dick, 2001).

Sifat permukaan karet silikon dipengaruhi oleh empat karakteristik struktural (Owens, 2012), yaitu :

1. Gaya intermolekul yang rendah antara gugus metil
2. Fleksibilitas yang tinggi dari rantai utama siloksan
3. Kekuatan yang tinggi dari ikatan siloksan
4. Ionik parsial alami yang dimiliki oleh ikatan siloksan

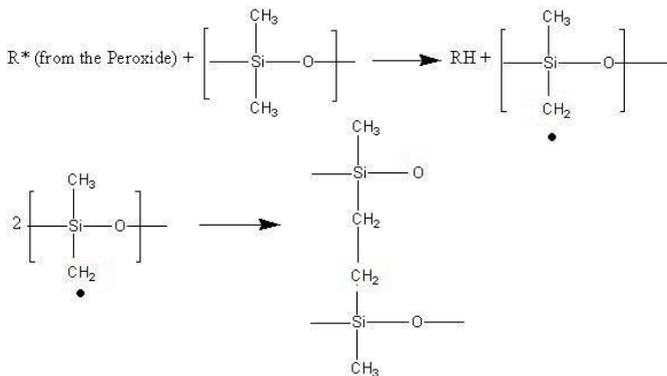
Sedangkan untuk sifat fisik dan mekanik yang dimiliki oleh Silicone Rubber dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Mekanik *Silicone Rubber* (Deni, 2014)

Densitas (g/cm ³)	0,8
Kuat Tarik (MPa)	4,4 – 9
Kuat Tekan (MPa)	10 -30
<i>Hardness Vickers</i> (VHN)	15



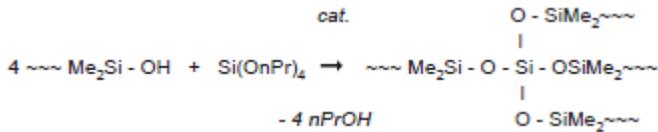
Silicone rubber dapat membentuk *crosslink* dengan beberapa senyawa. Polimer ini berikatan secara *crosslink* menggunakan katalis panas. Proses *curing/vulcanisir* ini bertujuan untuk membentuk *crosslink*, memperbaiki plastik yang kaku atau elastomer pelapis. Banyak *curing agent* yang dapat digunakan untuk membentuk *crosslink* pada *silicone rubber*, seperti benzoil peroksida dan katalis bluesil untuk resin RTV (*Room Temperature Vulcanisir*) *silicone rubber*.



Gambar 2.2 Reaksi Peroksida dengan Siloksan (Maurice Morton, 1963)

Benzoil peroksida ketika mencapai temperatur diatas 158°F akan terdegradasi, sehingga akan menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas ini akan bereaksi dengan metil dari silikon, kemudian bereaksi dengan hidrogen dan lepas dari CH₂ yang reaktif. Kemudian radikal bebas ini akan selalu berikatan dengan cabang -CH₂ hingga membentuk ikat silang (*crosslink*) seperti pada Gambar 2.2.

Silicone rubber RTV dengan sistem dua bagian memiliki pasangan resin dan katalis. Dimana katalis ini akan memicu terbentuknya *crosslink* seperti pada Gambar 2.3. Reaksi ini menghasilkan *byproduct* berupa alkohol (R'OH) setelah proses *curing* (Andre Colas, 2005).

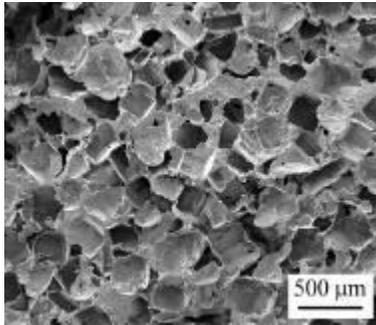


Gambar 2.3 Reaksi *Crosslink Silicone Rubber* pada *Two-Part System RTV* (Andre Colas, 2005)

2.5. *Silicone Rubber Berpori*

Polimer berpori memiliki aplikasi yang luas. Salah satu strategi untuk menghasilkan polimer berpori adalah dengan proses pemisahan fasa (M. Ulbricht, 2006). Metode pemisahan fasa dapat diklasifikasikan menjadi empat metode utama, yaitu presipitasi oleh pendinginan yang disebut *Thermal Induced Phase Separation* (TIPS), presipitasi oleh imersi yang disebut *Nonsolvent-Induced Phase Separation* (NIPS), presipitasi oleh penyerapan non pelarut (air) dari fase uap (*Vapor Induced Phase Separation/VIPS*) dan *Evaporation-Induced Phase Separation* (EIPS). (Jian Zhao, 2013)

Metode pembuatan silicone rubber porous yang berstruktur padat juga dapat dilakukan dengan mencampurkan prekursor *silicone rubber*, *curing agent* dan *sacrificial filler* untuk membentuk struktur porous. *Sacrificial filler* diutamakan adalah garam (J.P. Fuller, 2000). Silicone rubber memiliki kekentalan yang tinggi, sehingga akan sulit untuk melakukan pencampuran dengan *sacrificial filler*. Oleh karena itu digunakan heksana sebagai pelarut untuk menurunkan viskositas dari campuran (Keijiro Yoshimura, 2016). Heksana dapat diuapkan secara alami pada proses pengadukan selama 3 jam (Luheng Wang, 2010) atau diletakkan pada 30°C selama 60 menit untuk menguapkan heksana (Rui Xu, 2015). Untuk menghilangkan kandungan garam, setelah *curing*, campuran dicuci dengan air beberapa kali hingga kandungan garam hilang (Keijiro Yoshimura, 2016). Hasil morfologi dari *silicone rubber* berpori pada penelitian Keijiro (2016) dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 SEM Komposit *Silicone Rubber* Berpori dengan *Filler CMC* (Keijiro Yoshimura, 2016)

2.6. Serat Kelapa Sawit

Pada daerah tropis seperti Indonesia dan Malaysia, kelapa sawit, *Elaeis Guineensis*, memproduksi buah yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Secara fisik, buahnya memiliki warna merah dan tumbuh dalam ikat (*bunch*) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5. Biasanya setiap 100 kilogram ikat buahnya memproduksi 22 kilogram minyak sawit dan 1,6 kilogram minyak biji sawit (Fergyanto, 2009)

Gambar 2.5 menunjukkan bagian-bagian utama kelapa sawit. Tanaman kelapa sawit memiliki tiga bagian utama yang menghasilkan fiber yaitu, batang, daun palem, dan tandan kosong. Pohon-pohonnya memiliki rentang hidup sekitar 25 tahun dan tumbuh sampai ketinggian \approx 7-13 m dengan ketebalan 45-65 cm, yang diukur 1,5 m di atas permukaan tanah (Abdul Khalil et al., 2010)



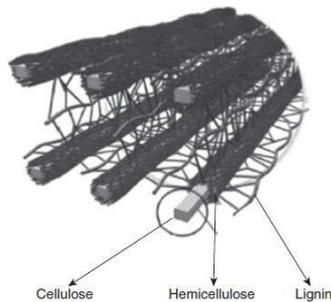
Gambar 2.5 Pohon Kelapa Sawit (M. D. H Beg, 2015)

Komposisi kimia alami serat (NF) secara umum bervariasi sesuai dengan spesies, kondisi pertumbuhan, metode serat persiapan, dan berbagai faktor lainnya (Bledzki dan Gassan, 1999). Kandungan kimia dari kelapa sawit serat *Cally* spesifik diketahui tergantung pada sumber tanaman (karena kondisi yang berbeda tanah dan iklim), usia, mekanisme ekstraksi fiber, dan adanya cacat (Chew dan Bhatia, 2008; Rowell et al. , 2000). Komposisi kimia dari kelapa sawit serat telah menjadi subyek dari beberapa penelitian (Abdul Khalil et al, 2008a;. Killman dan Lim, 1985; Hukum et al, 2007; Abdul Khalil et al, 2009; Punsuvon et al, 2005;. Shinoj et al, 2011; Chew dan Bhatia, 2008;. Mohamad et al, 1985; Abdul Khalil dan Rozman, 2004; Hukum dan Jiang, 2001;. Sreekala et al, 2001). Kandungan utama dalam serat kelapa sawit diperoleh dari studi ini dirangkum dalam Tabel 2.3. Serat kelapa sawit kandungan utamanya terdiri dari selulosa dan hemiselulosa diperkuat dalam matriks lignin (Raveendran et al, 1995;. Meier dan Faix, 1999; Demirba S 2000), seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar 2.6.



Tabel 2.3 Komposisi Kimia pada Fiber Kelapa Sawit yang Berbeda (M. D. H Beg, 2015)

Komposisi	EFB (wt%)	Fronde (wt%)	Trunk (wt%)
Selulosa	43-65	40-50	29-37
Hemiselulosa	17-33	34-38	12-17
Lignin	13-37	20-21	18-23
Ash	1-6	2-3	2-3



Gambar 2.6 Skema Persebaran Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin pada Serat Alam (M. D. H Beg, 2015)

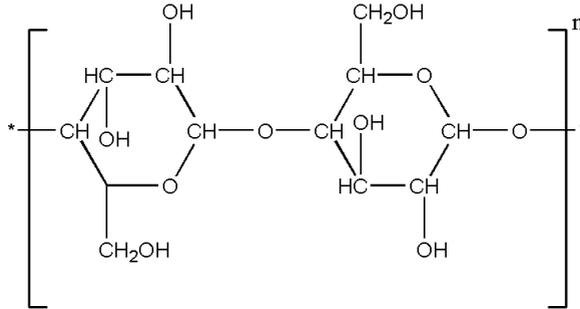
Selain komposisi kimia, serat kelapa sawit juga memiliki sifat tertentu (Mohd. Zuhri Mohamed Yusoff, 2010) seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat dari Serat Kelapa Sawit (*Empty Fruit Bunch*) (Mohd. Zuhri Mohamed Yusoff, 2010)

OPEFB	
Diameter (μm)	250-610
Kadar Air (%)	2,2-9,5
Kekuatan Tensile (MPa)	71
Modulus <i>Young</i> (MPa)	1.703
Elongasi saat Patah (%)	11



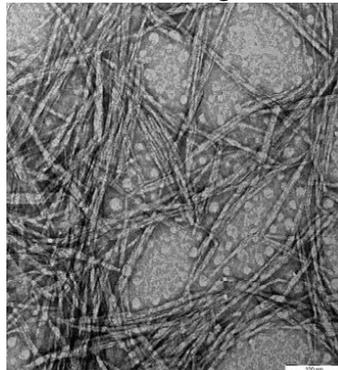
Gambar 2.7 di bawah ini merupakan struktur kimia dari komposisi serat tandan kosong kelapa sawit yaitu selulosa.



Gambar 2.7 Struktur Kimia Selulosa

2.7. Nano Selulosa

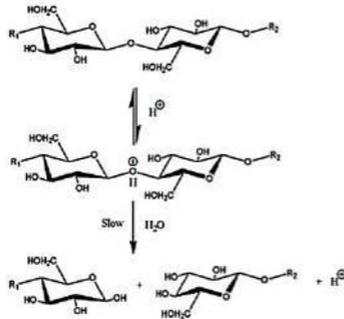
Nano selulosa adalah istilah yang mengacu pada selulosa berstruktur nano. Baik *nanofibers* selulosa (CNF), *microfibrillated* selulosa (MFC), nanokristalin selulosa (NCC), atau nano selulosa bakteri, yang mengacu pada selulosa berstruktur nano yang dihasilkan oleh bakteri. Gambar 2.8 menunjukkan salah satu contoh morfologi nano selulosa.



Gambar 2.8 TEM dari *Nano Fibrillated Cellulose* dengan Perbesaran 50.000x (Ireana, 2014)



Proses perlakuan asam memecah struktur jaringan lignoselulosa untuk membuat fibril selulosa, kemudian disintesis lebih lanjut menjadi struktur nano. Serat selulosa adalah bentuk beberapa kelompok microfibril, yang dihasilkan dari bundel microfibril (diameter 5-50 nm dan panjang dalam mikrometer) yang terhubung oleh sekitar 36 rantai molekul selulosa individu melalui ikatan hidrogen (B. Peng, 2011). Skema reaksi hidrolisis yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Proses Hidrolisis Selulosa (B. L. Peng, 2011)

Pada umumnya, hidrolisis asam adalah proses utama untuk sintesis nanoselulosa. Hidrolisis asam melibatkan depolimerisasi rantai selulosa dengan pemecahan secara hidrolitik pada ikatan glikosida. Depolimerisasi selulosa terjadi secara acak, dimana asam cenderung menyerang selulosa amorf daripada kristal, sehingga mengakibatkan pembentukan ukuran seragam nanoselulosa (L. Brinci, 2013). Sehingga, daerah amorf dalam microfibril selulosa mudah terurai menjadi kristal lebih pendek ketika lignoselulosa mengalami depolimerisasi (Beck-Candanedo, 2005). Hidrolisis asam juga menyebabkan turunnya stabilitas termal (Joao Paulo, 2012).

Dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4), ikatan hidrogen *intra* dan *inter* akan pecah dan mengakibatkan pembentukan sulfat yang dilapisi selulosa kompleks. Permukaan nano selulosa dengan muatan negatif akan menyebabkan



stabilisasi anion yang akan mencegah terjadinya agregasi nano selulosa (M. Ieolovich, 2012).

2.8. Knalpot

Exhaust system atau yang biasa disebut knalpot merupakan salah satu bagian vital dari sebuah kendaraan bermotor. Mesin kendaraan menghasilkan suara bising antara 100-130 dB tergantung dari jenis dan tipe dari mesin tersebut. Padahal, seharusnya ambang batas yang bisa didengar oleh manusia adalah 80dB (Rahman, 2005).

Dengan adanya knalpot, dapat mengurangi suara yang dihasilkan oleh mesin kendaraan tersebut sekitar 10-20%. Tabel 2.5 menunjukkan perbandingan kebisingan yang dihasilkan dari sepeda motor 100cc dan 125cc dengan menggunakan knalpot dan tanpa knalpot..

Tabel 2.5 Perbandingan Kebisingan pada Kendaraan 100cc dan 125cc (Pamungkas, 2012)

Putaran Mesin (rpm)	Kebisingan (dB)			
	100cc		125cc	
	Dengan Knalpot	Tanpa knalpot	Dengan Knalpot	Tanpa knalpot
1050	66.47	77.38	62.86	70.53
1545	72.23	82.9	67.28	81.2
2070	76.13	84.62	71.46	84.15
2550	77.28	87.21	73.47	85.41
3060	81.11	91.41	75.58	87.38
3540	82.99	93.66	78.04	89.43
4020	84.64	95.42	80.67	91.93
4515	86.57	96.35	84.45	95.06
5070	86.39	98.68	86.29	100.13



Pada konstruksi knalpot terdapat dua saluran utama yaitu header dan muffler. *Muffler* adalah alat peredam kebisingan pada kendaraan, baik pada mobil, sepeda motor, dan lain sebagainya. Dalam hal ini *muffler* merupakan alat untuk meredam tekanan gas buang yang ditimbulkan dari pembakaran antara udara dan bahan bakar pada ruang bakar suatu kendaraan baik kendaraan diesel atau kendaraan berbahan bakar bensin.

Secara umum terdapat dua jenis *muffler*, yaitu *absorbitive muffler* dan *reactive muffler*. Gambaran umum jenis *muffler* ditunjukkan pada Gambar 2.10. *Reactive muffler* adalah *muffler* yang dirancang dengan menggunakan ruang resonansi untuk menghilangkan gelombang suara yang dipantulkan pada dinding-dinding *muffler* sesuai dengan metode superposisi. Knalpot jenis ini dirancang berdasarkan prinsip Helmholtz. Dalam prinsip ini terdapat suatu rongga atau celah yang dipasang di dalam knalpot dimana pada frekuensi tertentu, rongga tersebut akan beresonansi yang mengakibatkan gelombang suara tersebut terpantul kembali ke arah mesin.

Sedangkan *absorbitive muffler* adalah *muffler* yang dirancang khusus menggunakan peredam untuk menyerap gelombang suara yang keluar dari mesin tanpa memperdulikan tekanan gas buang. Gelombang udara yang masuk kedalam *muffler* direduksi dan dirubah menjadi energi panas oleh material penyerap suara.



Gambar 2.10 (a) *Reactive Muffler*, (b) *Absorbitive Muffler* (D. W Herrin, 2012)

Material penyerap suara yang biasa digunakan pada *muffler* adalah *glasswool*. Gelombang suara dengan tekanan tinggi yang



masuk ada *muffler* akan dikeluarkan melalui lubang-lubang yang terdapat pada inner pipe. Gelombang suara tersebut kemudian akan diserap oleh glasswool yang terdapat pada *muffler*.

2.9. Bunyi

Bunyi adalah gelombang getaran mekanis dalam udara atau benda padat yang masih bisa ditangkap oleh telinga normal manusia dengan rentang frekuensi antara 20-20.000 Hz atau dapat juga didefinisikan sebagai gelombang mekanik longitudinal berfrekuensi 20-20.000 Hz yang menjalar melalui medium padat, cair, gas yang dapat ditangkap oleh indra dengar manusia. Jangkauan frekuensi ini sebagai jangkauan pendengaran atau *audible range*. (Halliday dan Resnick, 1996)

Bunyi memiliki dua definisi yaitu:

- a. Secara fisis merupakan pergerakan partikel melalui medium udara, disebut sebagai bunyi obyektif.
- b. Secara fisiologis bunyi dianggap sebagai sensasi dari pendengaran yang ditimbulkan oleh kondisi fisik, disebut sebagai bunyi subyektif. (Doelle, 1993)

Bunyi terjadi karena adanya benda yang bergetar yang menimbulkan gesekan dengan zat di sekitarnya. Sumber getaran dapat berupa objek yang bergerak dan dapat pula udara yang bergerak. Gerakan dari objek atau udara tersebut akan menyentuh partikel zat yang ada di dekatnya. Partikel zat yang pertama disentuh (yang paling dekat dengan objek) akan meneruskan energi yang diterimanya ke partikel sebelahnya. Demikian seterusnya partikel-partikel zat akan saling bersentuhan sehingga membentuk rapatan dan renggangan. (Christina, 2005)

Gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal yang terjadi karena perpindahan dan perenggangan dalam medium gas, cair atau padat yang arah getarannya sejajar dengan arah perambatan gelombang. (Tipler, 1998)

Berdasarkan frekuensinya, gelombang bunyi dapat dibedakan menjadi tiga kategori yaitu:



- a. Gelombang infrasonik, yaitu gelombang dengan frekuensi <math><20\text{ Hz}</math>
- b. Gelombang audiosonik, yaitu gelombang dengan frekuensi 20-20.000 Hz
- c. Gelombang ultrasonik, yaitu gelombang dengan frekuensi >20 kHz

Dari ketiga macam bunyi tersebut yang dapat didengar oleh telinga manusia adalah bunyi audiosonik. (Tipler, 1998)

2.10. Material Akustik

Fenomena suara yang terjadi akibat adanya berkas suara yang bertemu atau menumbuk bidang permukaan bahan, maka suara tersebut akan dipantulkan (*reflected*), diserap (*absorb*), dan diteruskan (*transmitted*) (Ruijgrok, 1993).

Material akustik dapat dibagi kedalam tiga kategori dasar, yaitu: (1) material penyerap (*absorbing material*), (2) material penghalang (*barrier material*), (3) material peredam (*damping material*) (Lewis dan Douglas, 1993).

Material penghalang yang efektif mempunyai sifat dasar umum yaitu massanya padat. Kebanyakan material penghalang yang efektif juga mempunyai derajat redaman internal yang tinggi, yang secara kualitatif dinyatakan dengan nilai kelemasan. Material peredam biasanya adalah lapisan plastik polimer, logam, epoksi, atau lem yang relatif tipis yang dapat digunakan untuk melapisi suatu benda.

Parameter yang digunakan untuk menjelaskan isolasi atau kemampuan menghentikan bunyi adalah koefisien transmisi τ . Koefisien transmisi didefinisikan sebagai perbandingan daya bunyi yang ditransmisikan melalui suatu material terhadap daya bunyi yang datang. Semakin kecil nilai transmisinya, maka semakin bagus sifat isolasinya. Pada umumnya material penyerap secara alami bersifat resistif, berserat (*fibrous*), berpori (*porous*) atau dalam kasus khusus bersifat resonator aktif.

Ketika gelombang bunyi menumbuk material penyerap, maka energi bunyi sebagian akan diserap dan diubah menjadi



panas. Besarnya penyerapan bunyi pada material penyerap dinyatakan dengan koefisien serapan (α). Koefisien serapan (α) dinyatakan dalam bilangan antara 0 dan 1. Nilai koefisien serapan 0 menyatakan tidak ada energi bunyi yang diserap dan nilai koefisien serapan 1 menyatakan serapan yang sempurna. (Mediastika, 2009).

Besarnya energi suara yang dipantulkan, diserap atau diteruskan bergantung pada jenis dan sifat dari bahan atau material tersebut. Pada umumnya bahan yang berpori akan menyerap energi suara yang lebih besar dibandingkan dengan jenis bahan lainnya. Adanya pori-pori menyebabkan gelombang suara dapat masuk ke dalam material tersebut. Energi suara yang diserap oleh bahan akan dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya, pada umumnya diubah ke energi kalor. Perbandingan antara energi suara yang diserap oleh suatu bahan dengan energi suara yang datang pada permukaan bahan tersebut didefinisikan sebagai koefisien penyerap suara atau koefisien absorpsi (α) (Yusril, 2013).

$$\alpha = \frac{\text{absorbed sound energy}}{\text{incident sound energy}} \quad (2.1)$$

Bunyi yang dihasilkan mempunyai nada rendah atau tinggi bergantung pada frekuensi dan dipengaruhi oleh dimensi, kerapatan, dan elastisitas bunyi yang dihasilkan dari nada yang lebih tinggi. Ketika gelombang bunyi yang dihasilkan oleh sumber lain yang menjangkau kayu, sebagian dari energi akustiknya dipantulkan dan sebagian masuk ke dalam kayu. Suara atau bunyi biasanya merambat melalui udara, suara atau bunyi tidak dapat merambat melalui ruang hampa (Tsoumis, 1991).

Ciri akustik bahan penyerap berbeda satu dengan yang lainnya, bergantung kepada jenis bahan. Bahan penyerap akustik umumnya dibedakan sebagai bahan berpori dan busa sintetis. Bahan berpori yang biasanya digunakan ialah serat gelas dan wol batu. Bahan-bahan ini mempunyai ciri penyerapan akustik yang



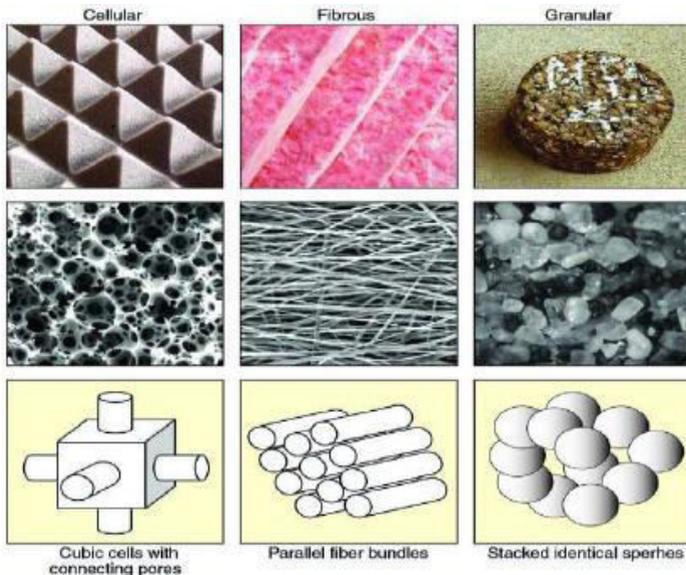
tinggi dan tahan api. Akan tetapi serat-serat halus bahan tersebut dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan paru-paru manusia, apabila terhirup dan juga berharga cukup mahal (Zulkarnain dkk, 2011).

2.11. Material Absorpsi Suara

Material penyerap suara menyerap energi suara yang melewatinya membuat nya sangat berguna untuk mengontrol kebisingan. Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang telah ada. Pada tahun 1970-an, masalah kesehatan masyarakat membantu menemukan material utama bahan penyerap suara berbasis asbes untuk serat sintetis baru. Meskipun serat ini lebih aman bagi kesehatan manusia namun dapat berakibat pada pemanasan global. Produksi bahan sintetis berkontribusi pada emisi karbon dioksida, metana dan nitro oksida yang nantinya berbahaya pula bagi kesehatan manusia. Maka mulailah bermunculan penelitian penyerap suara yang memanfaatkan serat alami. (Lord HW, et al, 1987)

Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang ada, material ini memiliki sifat absorpsi yang berganung pada frekuensi, komposisi, ketebalan, kehalusan permukaan dan metode pembuatan. Namun biasanya material yang memiliki nilai koefisien penyerap suara yang tinggi adalah material berpori. Material penyerap berpori adalah material solid yang mengandung rongga sehingga gelombang suara dapat masuk melewatinya. Material penyerap berpori dapat diklasifikasikan sebagai selular, serat, dan granular pada konfigurasi mikroskopisnya. Material ini terdiri dari lubang kecil sebagai jalan masuknya gelombang suara. Sel *Polyurethane* dan *foam* adalah salah satu jenis dari material selular. Sementara material serat biasanya terdiri dari serat alami dan serat sintetis. Dan contoh dari *granular material* yaitu asphalt, tanah liat, pasir, tanah dan sebagainya. (Jorge P. Arenas dan Malcolm J. Crocker, 2010)

Berikut Gambar 2.11 mengenai klasifikasi material penyerap berpori yang dibagi menjadi tiga yaitu, selular, serat dan granular.



Gambar 2.11 Tiga Tipe Utama Material Penyerap Suara Berpori (Jorge P. Arenas dan Malcolm J. Crocker, 2010)

Material penyerap pada umumnya berpori (*porous*) dan berserat (*fibrous*). Besarnya penyerapan bunyi ketika gelombang bunyi menumbuk material penyerap dinyatakan dengan koefisien absorpsi (α). Kemampuan suatu material dalam menyerap bunyi sangat bervariasi. Selain itu kemampuan tersebut juga bergantung pada struktur dan massa jenis material. Berikut ini adalah beberapa koefisien absorpsi dari material akustik yang dapat dilihat pada Tabel 2.6.



Tabel 2.6 Koefisien Absorpsi Dari Material Akustik (Doelle, Leslie L, 1993)

Material	Frekuensi (Hz)					
	150	250	500	1000	2000	4000
Gypsum board (13 mm)	0,29	0,1	0,05	0,04	0,07	0,09
Kayu	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
Gelas	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Betom yang dituang	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Bata yang tidak dihaluskan	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Steel deck (150 mm)	0,58	0,64	0,71	0,63	0,47	0,4

Kualitas dari bahan penyerap suara ditunjukkan dengan harga α (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi). Semakin besar nilai α maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai α berkisar dari 0 sampai 1. Jika α bernilai 0, artinya tidak ada bunyi yang diserap. Sedangkan jika α bernilai 1, artinya 100% bunyi yang datang diserap oleh bahan (Khuriati, 2006)

Selain material diatas, masih banyak pula produk yang dihasilkan yang memiliki kemampuan untuk menyerap suara. Beberapa dari produk tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.7.



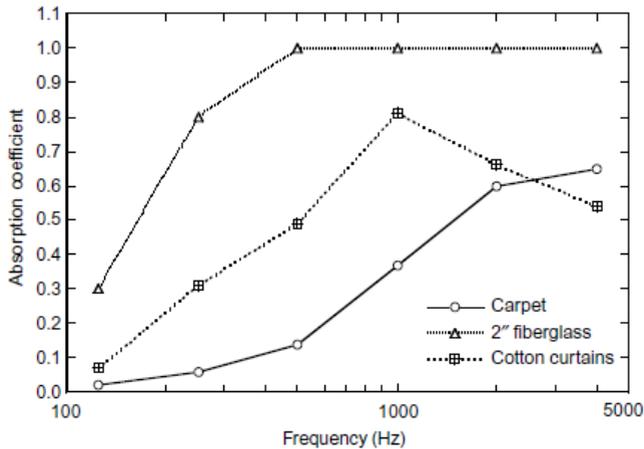
Tabel 2.7 Nilai Koefisien Serap Beberapa Jenis Produk (Priesma, 2012)

Jenis Produk	Ketebalan (cm)	Kerapatan (cm)	Frekuensi (Hz)		
			500	1000	2000
Glasswool	5	0,05	0,65	0,75	0,8
Rockwool	5	0,05	0,52	0,83	0,91
Komersial yumen board	5	0,5	0,12	0,27	-
Solidwool	5	0,5	0,11	0,28	-

Terdapat dua jenis material penyerap (*absorption*) yaitu material penyerap resonant dan material penyerap berpori. Kedua jenis tersebut memiliki karakteristik yang sangat berbeda karena perbedaan mekanisme dalam penyerapan suara. Secara lengkap penjelasan material penyerap adalah sebagai berikut.

a. Penyerap berpori

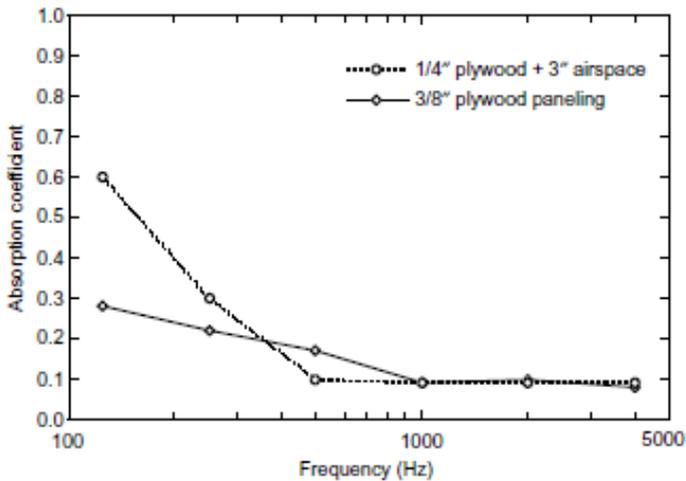
Bahan berpori seperti karpet, korden, *foam*, *glasswool*, *rockwool*, *cellulose fiber*, dan material lunak lainnya, menyerap energi suara melalui energi gesekan yang terjadi antara komponen kecepatan gelombang suara dengan permukaan materialnya. Bahan penyerap suara tipe ini akan menyerap energi suara lebih besar di frekuensi tinggi. Tipikal kurva karakteristik penyerapan energi suaranya sebagai fungsi frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut



Gambar 2.12 Zona Frekuensi Material Penyerap Berpori
(Howard dan Angus, 2009)

b. Penyerap resonant

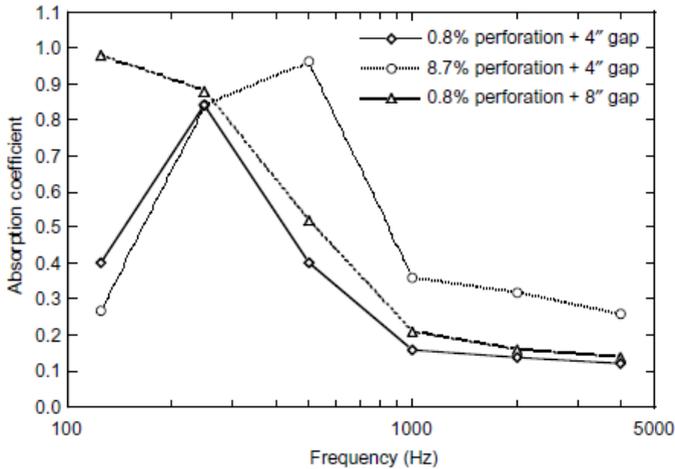
Bahan penyerap suara tipe resonansi seperti panel kayu tipis, menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran, yang kemudian diubah menjadi energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya (misal oleh udara, atau material berpori). Ini berarti, material tipe 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 berfrekuensi rendah. Frekuensi resonansi bahan ini ditentukan oleh kerapatan massa dari panel dan kedalaman (tebal) rongga udara dibaliknya. Tipikal respon frekuensi bahan penyerap tipe resonant ditunjukkan oleh Gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.13 Zona Frekuensi Penyerap Resonant (Howard dan Angus, 2009)

c. Penyerap *Resonant Helmholtz*

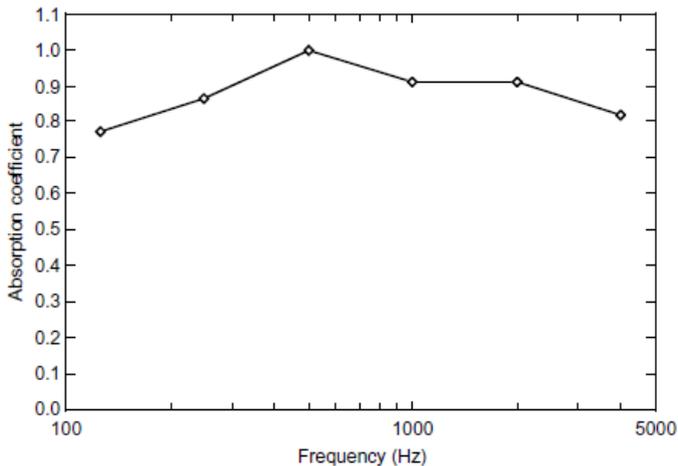
Tipe lain dari bahan penyerap suara ini adalah apa yang disebut sebagai Resonator *Helmholtz*. Efektifitas bahan penyerap suara tipe ini ditentukan oleh adanya udara yang terperangkap di “pipa atau leher” diatas bidang berisi udara (bentukan seperti leher botol dsb). Permukaan berlobang menjadi ciri utama resonator yang bekerja pada frekuensi tertentu, tergantung pada ukuran lubang, leher, dan volume ruang udaranya. Zona frekuensi tipe helmlotz ditunjukkan oleh Gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 2.14 Zona Frekuensi Tipe *Helmholtz* (Howard dan Angus, 2009)

d. Penyerap *Wideband*

Apabila diinginkan sebuah material yang memiliki frekuensi kerja yang lebar (rendah, menengah, dan tinggi), maka harus digunakan gabungan ketiga bahan penyerap suara tersebut. 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. Kurva tipe *Wideband* ditunjukkan oleh Gambar 2.15 dibawah ini.



Gambar 2.15 Zona Frekuensi Tipe *Wideband* (Howard dan Angus, 2009)

2.12. Penelitian Terdahulu

Telah banyak penelitian mengenai pengaplikasian komposit dengan menggunakan serat alam sebagai material penyerap suara. Komposit polyester berpenguat bambu-rami dengan aspek rasio 90, 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 frekwensi menengah 1000 Hz untuk material poliester berpenguat serat bambu. (Farid dan Hosta, 2015).

Komposit serat tebu dan bambu betung dengan (30% Gypsum) tmempunyai kemampuan penyerapan suara yang berbeda-beda pada frekuensi tertentu. Pada frekuensi rendah nilai α (koefisien absorpsi)nya sebesar 0,154 pada frekuensi 125 Hz, namun menurun pada frekuensi 160 Hz dengan nilai α sebesar



0,154. Akan tetapi pada frekuensi selanjutnya 200, 250, 315, 400 sampai 630 Hz nilai α nya terus meningkat sampai 0,36. Pada rentang frekuensi sedang antara 800 sampai 2000 Hz, nilai α nya terus mengalami kenaikan sampai nilai 0,406. Sedangkan pada rentang frekuensi tinggi 2000 Hz sampai 4000 Hz kemampuan menyerap suaranya sangat baik dengan peningkatan nilai α sampai 0,444 sehingga kemampuan penyerapan terbaik ada pada frekuensi 4000 Hz dengan nilai α tertinggi (Alldi dan Farid, 2015). Semakin besar nilai dari koefisien absorpsi suara suatu material bukan berarti bahwa material tersebut bagus karena tergantung pada kegunaannya (Suban dan Farid, 2015).

Komposisi pada pembuatan spesimen komposit sangat mempengaruhi dari hasil nilai koefisien absorpsi suara. Pengaruh dari serat yang ditambahkan pada material komposit bermatriks gypsum akan menghasilkan nilai koefisien absorpsi yang berbeda. Hal ini dikarenakan serat terdiri dari beberapa serat halus yang apabila dilihat dari mikroskop optik terlihat bahwa serat tersebut memiliki pori-pori yang mampu menampung suara. Selain itu, ikatan fisis antara serat sebagai penguat dan matriks gypsum juga akan membentuk rongga-rongga halus yang akan menampung suara yang diterima oleh spesimen komposit (Farid dan Agung, 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. Nilai α maksimum didapatkan dengan perbandingan serat dan matrik 5:3 pada frekuensi 2792-2832 Hz dengan nilai 0,984. Sedangkan penelitian lain menunjukkan, absorpsi komposit terbaik dicapai oleh PU (50PPG:50PPI)-5%K sebesar 0.444 pada frekuensi 2000Hz (Farid dan Rani, 2016). Selain serat kelapa (coir), belakangan ini juga sedang dikembangkan absorpsi material berpenguat serat tandan kosong kelapa sawit. Penyerapan suara 15% berat *treated*



oil palm pada komposit *epoxy* memiliki koefisien penyerapan suara lebih tinggi dari perubahan lain dalam hasil serat isinya, yaitu sebesar 0,095 pada 6000Hz (Muhammad Khusairy Bin Bakri, 2015). Sebanyak 3% nano OPFB/*epoxy* memiliki sifat *tensile* dan *impact* yang paling baik yaitu masing-masing 1,4 GPa dan 98 J/m (Naheed Saba, 2016). Fraksi berat maksimal nano *cellulose* pada matriks *polyurethane* untuk mencapai nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas optimum adalah 1% dan sebanyak 2% fraksi berat nano selulosa menunjukkan stabilitas termal yang baik terhadap komposit (A Ivdre, 2016).



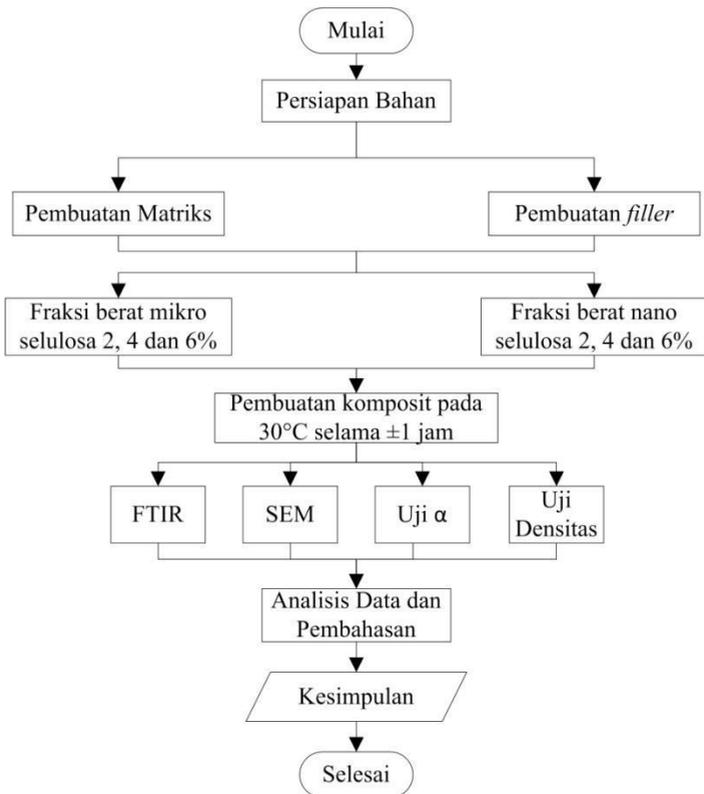
(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Diagram Alir Pembuatan Komposit

Gambar 3.1 berikut menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan.

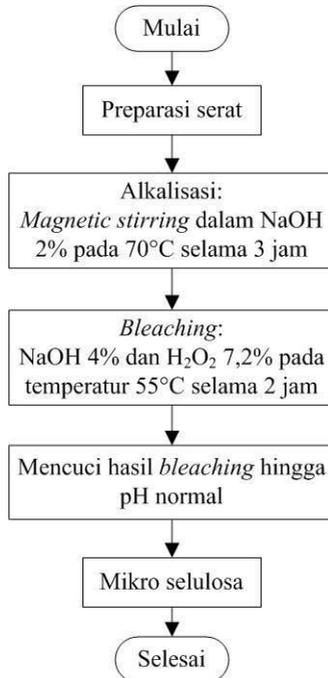


Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Komposit



3.1.2 Diagram Alir Pembuatan *Filler* Mikro Selulosa

Pada Gambar 3.2 menunjukkan diagram alir pada proses sintesis mikro selulosa dari serat TKKS.

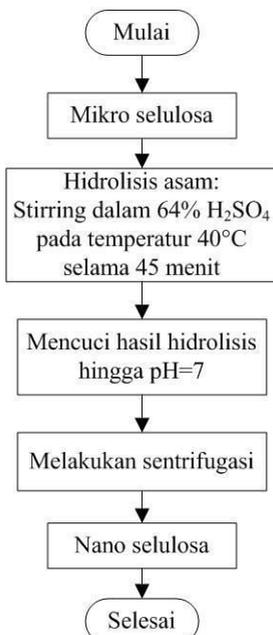


Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Serat Mikro Selulosa



3.1.3 Diagram Alir Pembuatan *Filler* Nano Selulosa

Gambar 3.3 berikut menunjukkan diagram alir pada proses sintesis nano selulosa dari serat TKKS.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Serat Nano Selulosa



3.1.4 Diagram Alir Pembuatan Komposit *Silicone Rubber* Berpori

Gambar 3.4 adalah diagram alir dalam pembuatan komposit *Silicone Rubber* berpori/selulosa.



Gambar 3.4 Diagram Alir Pembuatan Komposit *Silicone Rubber* Poros

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5 sampai Gambar 3.13.



1. Serat tandan kosong kelapa sawit



Gambar 3.5 Serat TKKS (Dokumentasi Pribadi)

2. *Aquades*



Gambar 3.6 Aquades (Dokumentasi Pribadi)

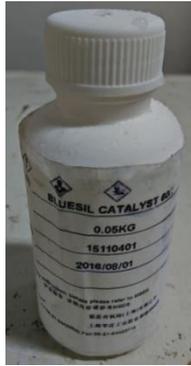
3. *Silicone rubber RTV 585*



Gambar 3.7 Silicone Rubber RTV 585 (Dokumentasi Pribadi)



4. Katalis



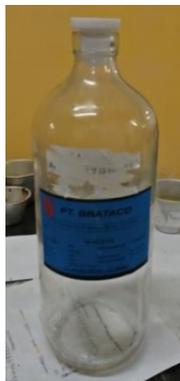
Gambar 3.8 Katalis Bluesil (Dokumentasi Pribadi)

5. NaCl



Gambar 3.9 NaCl (Dokumentasi Pribadi)

6. Heksana



Gambar 3.10 Heksana (Dokumentasi Pribadi)

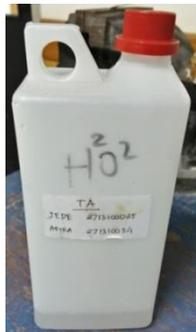


7. NaOH



Gambar 3.11 NaOH (Dokumentasi Pribadi)

8. H₂O₂



Gambar 3.12 H₂O₂ (Dokumentasi Pribadi)

9. H₂SO₄



Gambar 3.13 H₂SO₄ (Dokumentasi Pribadi)



3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Cetakan
Cetakan digunakan untuk mencetak spesimen uji
2. Timbangan digital
Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan yang akan digunakan
3. Penggaris
Penggaris digunakan untuk mengukur dimensi specimen
4. *Cutter*
Cutter digunakan untuk melepaskan specimen dari cetakan
5. Gelas Beker
Digunakan untuk mencampurkan larutan
6. Spatula
Digunakan untuk mengaduk larutan
7. Kertas pH
Digunakan untuk mengukur pH
8. Oven
Oven digunakan untuk mengeringkan serat. Oven yang digunakan milik Laboratorium Inovasi Material di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
9. Mesin pencacah organik
Mesin pencacah organik yang digunakan seperti Gambar 3.14 milik Laboratorium Kimia dan Bahan Alam milik Jurusan Teknik Kimia FMIPA ITS



Gambar 3.14 Alat Pencacah Organik (Dokumentasi Pribadi)



10. Mesin *sieving*

Mesin *sieving* yang digunakan milik Laboratorium Fisika Material milik Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS seperti pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Alat *Sieving* ((Dokumentasi Pribadi)

11. *Hot plate* dan *magnetic stirrer*

Hot plate dan *magnetic stirrer* yang digunakan milik Laboratorium Inovasi Material milik Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

12. *Centrifuge*

Centrifuge yang digunakan milik Laboratorium Limbah Padat dan B3 di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Alat *Centrifuge* (Dokumentasi Pribadi)



13. Alat Uji Absorpsi Suara

Alat uji Absorpsi suara milik Laboratorium Akustik Material di Jurusan Teknik Fisika FTI ITS seperti pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Alat Uji Absorpsi Suara

14. Alat Uji SEM

Alat SEM yang digunakan milik laboratorium di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.18.

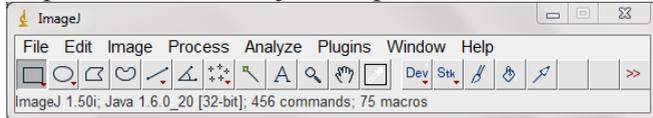


Gambar 3.18 Alat Uji SEM (Dokumentasi Pribadi)



15. *Software ImageJ*

Software yang digunakan untuk menghitung persebaran %area pori pada morfologi berpori hasil uji SEM. Tampilan software ditunjukkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Tampilan *Software ImageJ*

16. Alat Uji FTIR

Alat uji FTIR yang digunakan seperti Gambar 3.20, milik Divisi Karakterisasi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS



Gambar 3.20 Alat Uji FTIR

3.3. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbedaan jenis *filler* (mikro dan nano) dan perbandingan fraksi berat serat masing-masing komposisi sebesar 2, 4 dan 6%.

3.4. Metode Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Untuk dapat melaksanakan pengujian, terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan. Persiapan bahan ini sangat penting



untuk dilakukan karena dapat mempengaruhi hasil pengujian dan dapat mempengaruhi hasil dari analisa dan pembahasan.

3.4.1.1 Pengolahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dijemur selama ± 2 hari
2. Serat dari TKKS diambil dan dibersihkan dari pengotor dengan air bersih
3. Serat dikeringkan dalam oven pada temperatur 60°C selama 12 jam.
4. Melakukan *mechanical crushing* dengan mesin pencacah organik
5. Serat di-*meshing* untuk mendapatkan ukuran yang homogen sampai 280 mikron.
6. Melakukan alkalisasi pada serat TKS dengan NaOH 2%wt selama 3 jam pada temperatur 70°C menggunakan *magnetic stirrer*
7. Melakukan *bleaching* dalam larutan yang mengandung NaOH 4%wt dan H_2O_2 7,2%wt selama 2 jam pada 55°C
8. Kemudian mencuci hasil rendaman dengan air sampai pH netral.
9. Hasil filler ini kemudian disebut mikro selulosa.
10. Serat dihidrolisis asam menggunakan H_2SO_4 64% pada temperatur 40°C dengan pengadukan manual selama 45 menit
11. Proses hidrolisis dilakukan dengan metode *water bath* seperti pada Gambar 3.21.
12. Melarutkan air sebanyak 10 kali dari jumlah H_2SO_4
13. Melakukan pencucian dengan air sampai pH mencapai netral .
14. Melakukan *centrifuge* pada 5000 rpm selama 15-20 menit.
15. Hasil pencucian dikeringkan pada 55°C
16. Nano selulosa ditimbang sesuai perhitungan



Gambar 3.21 Metode *Water Bath* pada Hidrolisis



Gambar 3.22 Serat Hasil *Bleaching*, Alkali dan Hidrolisis

3.4.1.2 Pembuatan Matriks *Silicone Rubber Berpori*

1. Mencampurkan silicone rubber, hexane dan NaCl sesuai rasio yang telah ditentukan
2. Menambahkan katalis sebanyak 2%
3. Melakukan pengadukan
4. Memanaskan pada 30°C selama 1 jam untuk menguapkan hexane.
5. Membiarkan hingga curing.
6. Merendam hasilnya pada air hangat hingga dapat mengapung.



7. Melakukan *drying* pada 110°C untuk menghilangkan sisa air

3.4.1.3 Pembuatan Cetakan

1. Untuk cetakan uji Absorpsi suara terbuat dari pipa PVC dengan diameter 100 mm dan tinggi 10 mm

3.4.1.4 Pembuatan Komposit

1. Pembuatan spesimen dilakukan dengan menimbang massa silicone rubber, heksana dan NaCl sesuai rasio yang telah ditentukan
2. Setelah itu menimbang massa serat sesuai dengan fraksi yang ditentukan
3. Serat yang telah ditimbang lalu dimasukkan ke dalam campuran silicone rubber, hexane dan NaCl sesuai rasio yang telah ditentukan, kemudian diaduk hingga homogen.
4. Menambahkan katalis sebanyak 2%
5. Memanaskan pada 30°C selama 1 jam untuk menguapkan heksana seperti pada Gambar 3.23.
6. Membiarkan hingga curing.
7. Merendam hasilnya pada air hangat untuk melarutkan garam, hingga dapat mengapung seperti pada Gambar 3.24 dan Gambar 3.25.
8. Melakukan *drying* pada 110°C untuk menghilangkan sisa air
9. Spesimen dikeluarkan dari cetakan.
10. Spesimen disesuaikan dimensinya dengan standar pengujian.



Gambar 3.23 Pemanasan Komposit pada 30°C



Gambar 3.24 Perendaman Komposit dalam Air Hangat



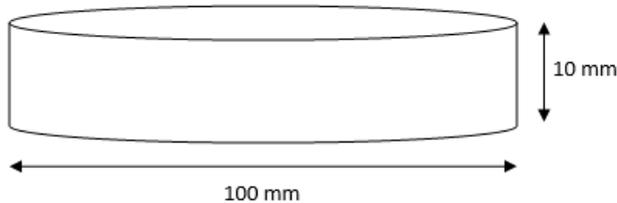
Gambar 3.25 Komposit Silicone Rubber yang Telah Hilang Kadar Garamnya



3.4.2 Proses Pengujian

3.4.2.1 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara

Peralatan yang digunakan untuk mengukur koefisien absorpsi suara adalah tabung impedansi dengan standarisasi menurut ASTM E1050. Pengujian dilakukan di Laboratorium Akustik Material, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS. Dimensi spesimennya berbentuk tabung dengan diameter 100 mm dan tinggi 10 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.26 berikut.



Gambar 3.26 Dimensi Spesimen Uji Absorpsi Suara

Pengujian Absorpsi suara adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material untuk menyerap suara. Kualitas material penyerap suara di tentukan dari harga α (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi). Semakin besar nilai α maka semakin baik kemampuan material tersebut dalam menyerap suara. Nilai α berkisar dari 0 sampai 1. Jika α bernilai 0 maka tidak ada bunyi yang diserap oleh material tersebut sedangkan jika α bernilai 1 maka 100 % bunyi yang datang diserap oleh material tersebut.

Prinsip pengujian koefisien absorpsi suara adalah spesimen yang berbentuk lingkaran dimasukkan ke dalam bagian kepala tabung impedansi kemudian diatur frekuensi suara pada amplifiier dengan frekuensi 125 – 5000 Hz maka speaker akan memberikan suara ke dalam tabung impedansi dan sound level meter.



Untuk pengujian absorbs suara specimen dibuat dengan cetakan pipa PVC dengan ukuran diameter 10cm dan tebal 1cm. Pada pipa tersebut dilapisi dengan Aluminium Foil agar tidak terjadi reaksi antara specimen dengan cetakan. Kemudian specimen dirapikan. Specimen yang telah dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 3.27.



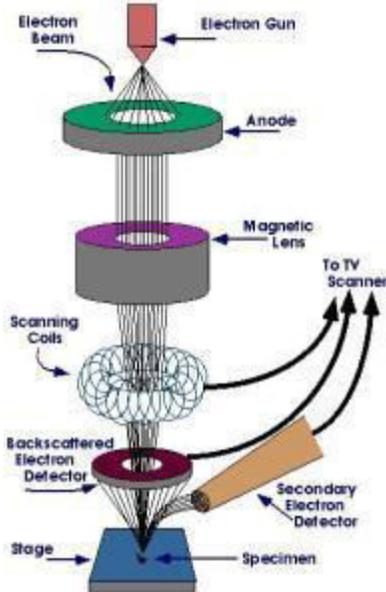
Gambar 3.27 Specimen Uji Absorpsi Suara

3.4.2.2 Pengujian SEM

Scanning Electron Microscope adalah jenis mikroskop elektron yang memanfaatkan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola raster scan sehingga dapat menampilkan gambar morfologi sampel. Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian



diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display. Skema prinsip kerja SEM ditunjukkan pada Gambar 3.28.



Gambar 3.28 Prinsip Kerja SEM (Jinping Zhou, 2000)

Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material. Standar yang digunakan adalah ASTM E986. Spesimen uji seperti ditunjukkan pada Gambar 3.29. Mesin SEM yang digunakan adalah Inspect S50. 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. Perbesaran yang digunakan adalah 50-250 kali.



Gambar 3.29 Spesimen Uji SEM

3.4.2.3 Pengukuran %Area Pori dengan *Software ImageJ*

Software ImageJ merupakan *software* yang dapat digunakan untuk mengetahui persebaran ukuran pori yang direpresentasikan dalam bentuk %area melalui gambar hasil pengujian morfologi suatu material yang diolah. Selain dapat memperoleh %area, *software* ini dapat dipakai untuk melakukan estimasi penskalaan pada gambar hasil uji morfologi.

Untuk menggunakan *software* ini, pertama buka gambar hasil uji morfologi yang ingin dihitung %area porinya. Atur penskalaan pada gambar dengan menarik garis untuk membuat skala, memilih menu *analyze* kemudian *set scale* dan tentukan unit yang diinginkan. Kemudian *crop* gambar pada area berpori yang akan dianalisis. Lalu mengubah gambar ke dalam resolusi 8 bit dengan cara memilih menu *image* kemudian *type*, pilih 8 bit. Setelah itu, untuk mengidentifikasi pori, edit gambar ke dalam *threshold* dengan memilih menu *image* kemudian *adjust* sehingga dapat menentukan area gelap terang dimana area gelap adalah daerah yang dianggap berpori. Setelah melakukan *apply* pada hasil edit, langkah terakhir adalah melakukan analisis untuk mendapatkan %area pori yaitu dengan cara memilih menu



analyze lalu memilih *analyze particles*. Pastikan *results*, *summarize*, *include holes* dan *excude edges* tercentang. Kemudian pilih *OK*. Maka akan muncul kotak dialog seperti Gambar 3.30 dan terdapat kolom %area inilah yang disebut sebagai %area pori.

File	Edit	Font		
Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area
50x (2).tif	3959	251.556	0.064	30.391

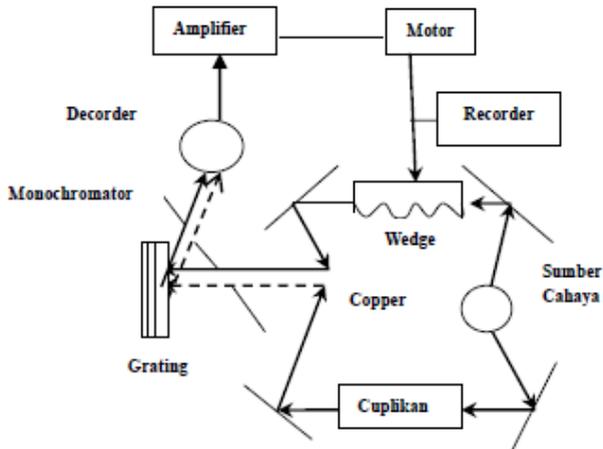
Gambar 3.30 Kotak Dialog Hasil Analisis %Area Pori dengan *Software ImageJ*

3.4.2.4 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pertama kali karena untuk mengetahui ikatan serta untuk mengkonfirmasi apakah bahan yang dipakai telah sesuai. Skema dari mesin FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.31 Adapun cara kerja FTIR seperti berikut ini: Mula mula zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati *chopper*. Setelah melalui prisma atau grating, berkas akan jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh



rekorder. Selanjutnya diperlukan amplifier bila sinyal yang dihasilkan sangat lemah.



Gambar 3.31 Skema Uji FTIR (Jinping Zhou, 2000)

Spesimen yang digunakan untuk pengujian FTIR berupa cuplikan kecil dari material yang dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 3.32. 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.



Gambar 3.32 Spesimen Uji FTIR



3.4.2.5 Pengujian Densitas

Pengujian dilakukan dengan perhitungan massa spesimen dalam udara dan dalam air masing-masing spesimen komposit menggunakan standar pengujian ASTM D792 seperti pada Gambar 3.33 dengan spesimen uji seperti pada Gambar 3.34



Gambar 3.33 Pengujian Densitas



Gambar 3.34 Spesimen Uji Densitas



3.5. Rancangan Penelitian

Untuk pelaksanaan penelitian, Tabel 3.1 menunjukkan rancangan pada penelitian ini.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

No	Spesimen Uji	Pengujian			
		SEM	FTIR	Densitas	α
1	<i>Silicone Rubber</i> Poros	v	v	v	v
2	TKKS alkalisasi	v	v	-	-
3	TKKS bleaching	v	v	-	-
4	TKKS hidrolisis	v	v	-	-
5	SR. P/mikro selulosa 2%	-	-	v	v
6	SR. P/mikro selulosa 4%	-	-	v	v
7	SR. P/mikro selulosa 6%	v	v	v	v
8	SR. P/nano selulosa 2%	-	-	v	v
9	SR. P/nano selulosa 4%	-	-	v	v
10	SR. P/nano selulosa 6%	v	v	v	v

SR = *Silicone Rubber* **TKKS = Tandan Kosong Kelapa Sawit**



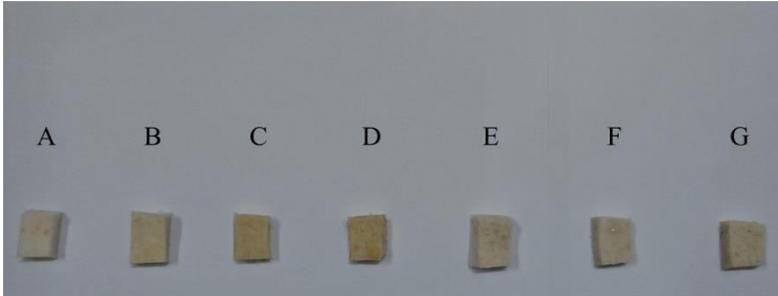
Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Preparasi Komposit SR Berpori/Selulosa

Gambar 4.1 merupakan hasil preparasi spesimen yang diamati secara visual.



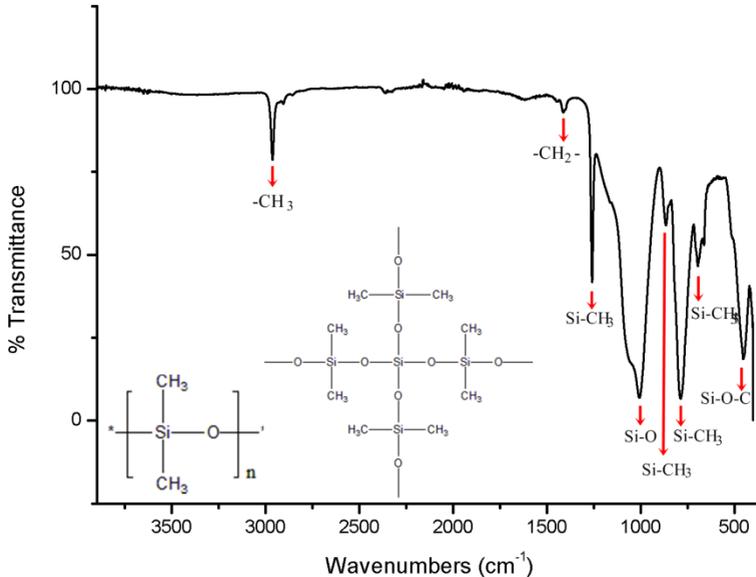
Gambar 4.1 Hasil Preparasi Spesimen

Spesimen A merupakan *silicone rubber* berpori murni, seperti yang terlihat bahwa SR Berpori murni memiliki warna yang lebih putih. Spesimen B adalah komposit SR Berpori/mikro selulosa 2% dengan warna sedikit kekuningan karena penambahan *filler*. Spesimen C adalah komposit SR Berpori/mikro selulosa 4% dengan warna yang gelap kekuningan dan spesimen D adalah komposit SR Berpori/mikro selulosa 6% dengan warna yang semakin gelap karena penambahan *filler*.

Spesimen dengan label E, F dan G adalah komposit SR Berpori/nano selulosa dengan masing-masing fraksi massa 2%, 4% dan 6%. Pada komposit ini terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan warna antarfraksi meskipun memiliki besar fraksi massa yang berbeda.

4.2. Analisis FTIR

Hasil pengujian matriks *silicone rubber* pori ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Uji FTIR Matriks *Silicone Rubber* Berpori

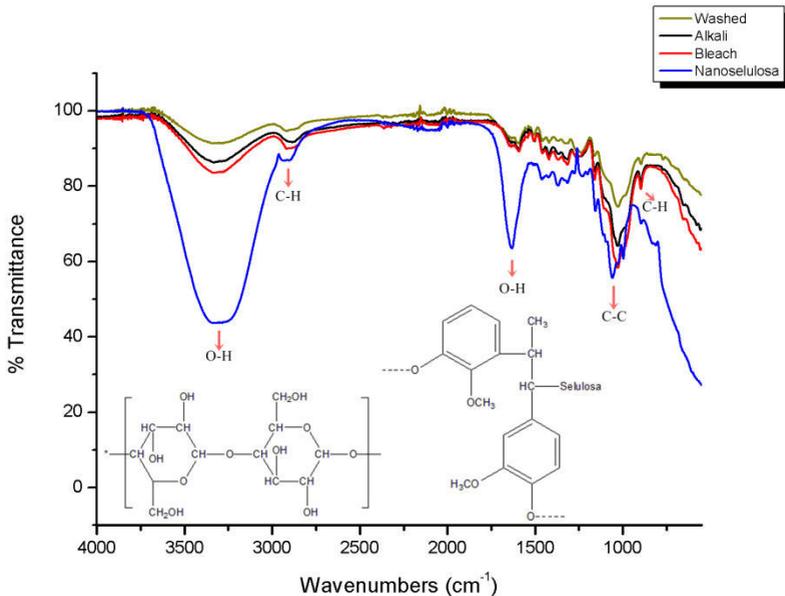
Dari Tabel 4.1, terdapat ikatan gugus siloksan Si-O pada puncak gelombang $1005,89 \text{ cm}^{-1}$ serta senyawa silikon organik yang mengalami vibrasi dengan ikatan Si-CH₃ pada puncak gelombang $1258,04$; $864,02$ dan $786,21 \text{ cm}^{-1}$. Puncak $2962,00 \text{ cm}^{-1}$ mengidentifikasi adanya gugus alifatik -CH₃. Selain itu terdapat gugus vinil -CH₂- yang mengalami deformasi vibrasi yang menandakan adanya *byproduct* dan gugus silikon organik Si-CH₃ yang mengalami vibrasi. Gugus ini secara berturut-turut terdapat pada puncak gelombang $1412,28$ dan $693,80 \text{ cm}^{-1}$. Puncak $451,05 \text{ cm}^{-1}$ mengidentifikasi gugus silikon organik Si-O-C yang mengalami deformasi vibrasi. *Silicone rubber* dengan *two-part systems* memiliki jenis *crosslink* dengan rantai utama $\sim\text{O-Si-OSi}(\text{CH}_3)_2\sim\sim$ dan menghasilkan *byproduct* berupa alkohol (R'OH) (Andre Colas, 2005)



Tabel 4.1 Daerah Serapan Infra Merah *Silicone Rubber* Berpori

Daerah Serapan (cm^{-1})	Ikatan	Gugus Fungsi	Jenis Gugus Fungsi
2962,00	-CH ₃	Alifatik	-
1412,28	-CH ₂ -	Vinil	Deformasi vibrasi
1258,04	Si-CH ₃	Silikon organik	Vibrasi
1005,89	Si-O	Siloksan	Si-C stretching
864,02	Si-CH ₃	Silikon organik	Vibrasi
786,21	Si-CH ₃	Silikon organik	Vibrasi
693,80	Si-CH ₃	Silikon organik	Vibrasi
451,05	Si-O-C	Silikon organik	Deformasi vibrasi

Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) mengandung lignin, hemiselulosa dan selulosa. Zat-zat ini biasanya tersusun dari alkana, ester, aromatik, keton dan alkohol dengan gugus fungsional oksigen yang berbeda (E. Abraham, 2011). Gambar 4.3 menunjukkan pengujian FTIR pada serat kelapa sawit dengan berbagai perlakuan.

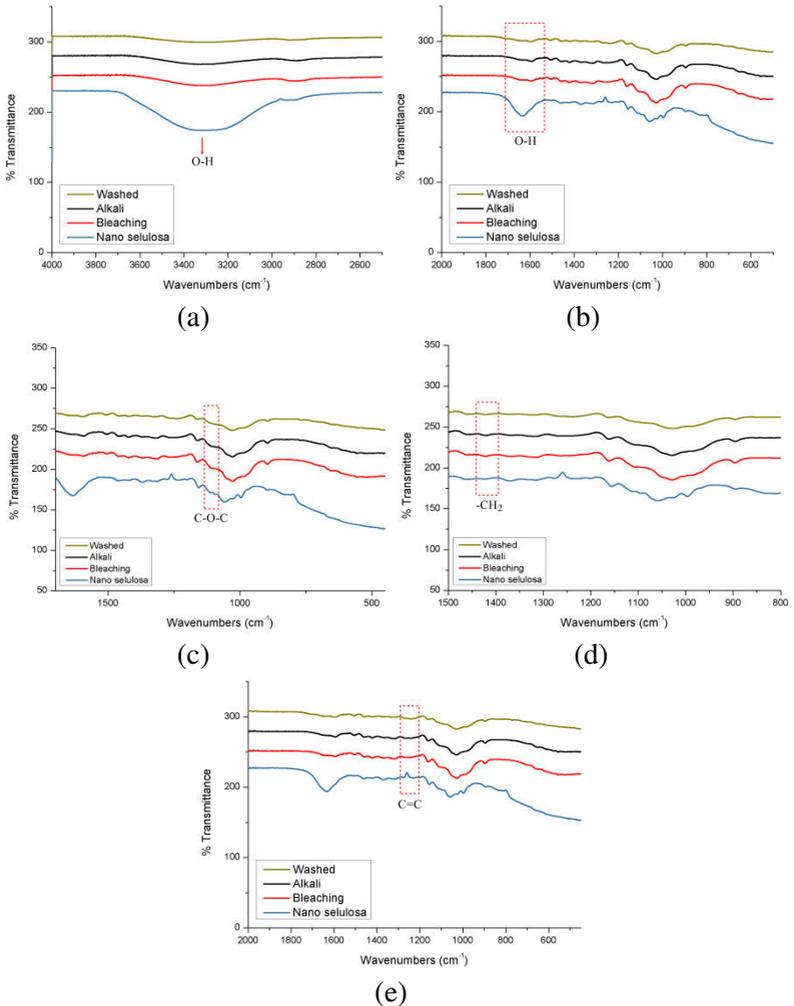


Gambar 4.3 Hasil Uji FTIR TKKS Murni, Alkali, *Bleaching* dan Hidrolisis

Tabel 4.2 menunjukkan berbagai daerah serapan pada masing-masing perlakuan serat. Pada daerah serapan antara 3300 dan 3500 cm⁻¹ menunjukkan ikatan O-H yang mengalami peregangan. Puncak serapan sekitar 2900 cm⁻¹ menunjukkan peregangan gugus alifatik C-H (B. Shanmugarajah, 2015). Ikatan -OH deformasi terdapat pada daerah serapan sekitar 1590 cm⁻¹. Lignin ditunjukkan oleh adanya peak pada rentang 1200-1300 cm⁻¹ dengan gugus aromatik C=C. Ikatan C-O-C yang mengalami peregangan didapat pada daerah serapan sekitar 1161 cm⁻¹. Pada puncak sekitar 1027 cm⁻¹ menunjukkan ikatan C-C yang mengalami peregangan. Puncak pada daerah serapan sekitar 896 cm⁻¹ menunjukkan ikatan C-H deformasi. Ikatan C-H ini disebut ikatan β-glukosida dalam gula (B. Shanmugarajah, 2015). Setelah hidrolisis terdapat empat daerah serapan utama yaitu 3330,61 cm⁻¹, 1631,84 cm⁻¹, 1059,47 cm⁻¹ dan 996,53 cm⁻¹ yang masing-



masing menunjukkan ikatan O-H *stretching*, O-H deformasi, C-C *stretching* dan C-H deformasi.



Gambar 4.4 Transmittansi *Filler* pada Beberapa Daerah Serapan
(a) dan (b) Transmittansi O-H, (c) Transmittansi C-O-C, (d)
Transmittansi -CH₂, (e) Transmittansi C=C



Semakin banyak perlakuan terhadap *filler*, menyebabkan meningkatnya konsentrasi dan menghilangnya beberapa ikatan. Perlakuan pertama adalah alkalisasi, adanya alkalisasi mengurangi ikatan hidrogen karena gugus hidroksil bereaksi dengan sodium hidroksida. Hal ini menyebabkan meningkatnya konsentrasi $-OH$ jika dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan (Lojewska, 2005) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4(a) dan 4.4(b). Ikatan $-OH$ deformasi pada daerah serapan sekitar 1590 cm^{-1} menunjukkan penyerapan air oleh selulosa (Lojewska, 2005). Selain itu, alkalisasi juga menyebabkan hilangnya daerah serapan ikatan $C=C$ seperti pada Gambar 4.4(e).

Perlakuan kedua adalah *bleaching*. *Bleaching* bertujuan untuk meningkatkan kadar kemurnian dengan mengurangi lignin dan pengotor yang tersisa dari proses alkalisasi. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4(e) bahwa semakin lanjut proses pemurnian maka daerah serapan yang menunjukkan ikatan $C=C$ akan menghilang. Hal ini disebabkan oleh $NaOH$ dan *bleaching* yang dapat menghilangkan kandungan lignin (E. Abraham, 2011).

Pada perlakuan ketiga, hidrolisis, tidak menunjukkan adanya daerah serapan untuk ikatan $C=C$, $C-O-C$ dan $-CH_2$ seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4(c), (d) dan (e). Ikatan $C=C$ menunjukkan ikatan pada lignin, ikatan $C-O-C$ juga terdapat pada lignin. Daerah serapan sekitar 1420 cm^{-1} menunjukkan ikatan $-CH_2$ yang berdeformasi dalam selulosa. Daerah ini menunjukkan area kristalin, dimana daerah serapan meningkat seiring proses pemurnian (L. Alves, 2014). Perlakuan ini menunjukkan penurunan % transmitansi ikatan $O-H$ yang sangat signifikan pada daerah serapan $3330,61\text{ cm}^{-1}$. Hal ini dikarenakan adanya pemutusan ikatan hidrogen dalam selulosa (M. Ieolovich, 2012). Daerah serapan lain yang muncul menunjukkan bahwa tidak adanya hemiselulosa dan lignin karena perlakuan hidrolisis asam (B. Shanmugarajah, 2015). Hal ini ditunjukkan dengan tidak munculnya daerah serapan sekitar 1400 cm^{-1} dan 1200 cm^{-1} yang identik dengan lignin dan hemiselulosa.

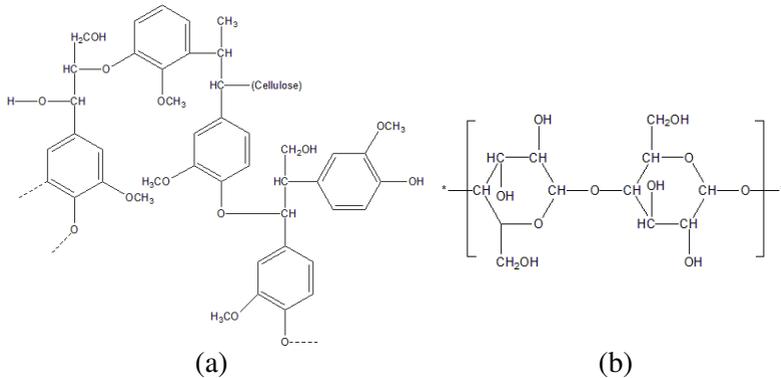


Tabel 4.2 Daerah Serapan Infra Merah Serat TKKS *Washed*,
Alkali, *Bleaching*

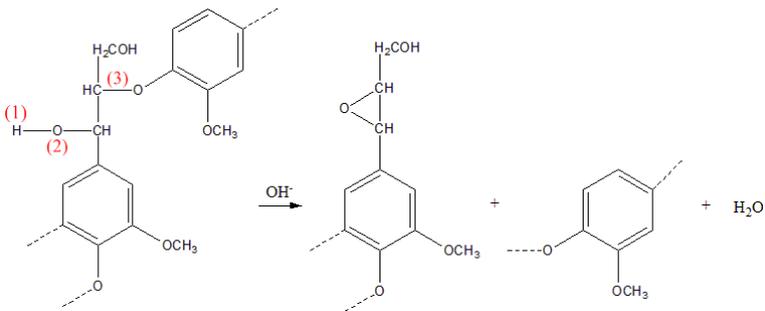
Daerah Serapan (cm^{-1})				Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi
<i>Washed</i>	<i>Alkali</i>	<i>Bleaching</i>	Nano selulosa	
3322,84	3333,30	3332,49	3330,61	O-H <i>stretching</i>
2918,62	2884,83	2917,49	-	C-H <i>stretching</i>
1593,46	1592,74	1593,90	1631,84	O-H deformasi
1420,29	1420,32	1420,34	-	-CH ₂ deformasi
1238,97	-	-	-	C=C cincin aromatik
1161,32	1161,69	1161,31	-	C-O-C <i>stretching</i>
1027,49	1028,63	1028,61	1059,47	C-C <i>stretching</i>
895,52	895,57	896,48	996,53	C-H deformasi

Tidak munculnya beberapa gugus fungsi dan bertambahnya konsentrasi ikatan O-H pada tiap proses pemurnian dikarenakan adanya reaksi. Reaksi-reaksi tersebut dikarenakan penambahan zat-zat kimia seperti NaOH, H₂O₂ dan H₂OS₄. Reaksi-reaksi tersebut ditunjukkan seperti pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.8 untuk masing-masing proses.

Pada Gambar 4.5 adalah struktur kimia lignin dan selulosa pada TKKS yang belum diberi perlakuan. Hal ini sesuai dengan hasil uji FTIR pada Gambar 4.3 yang menunjukkan adanya struktur kimia penyusun TKKS yaitu selulosa dan lignin.



Gambar 4.5 Struktur Kimia pada TKKS Mentah atau *Washed* (a) Lignin, (b) Selulosa

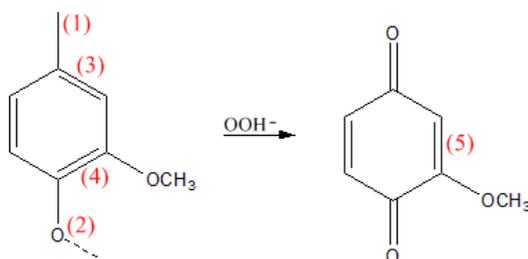


Gambar 4.6 Reaksi pada Proses Alkali

Gambar 4.6 menunjukkan reaksi yang terjadi saat alkalisasi. Lignin bereaksi dengan larutan NaOH yang terdisosiasi menjadi Na^+ dan OH^- . Ion OH^- bereaksi dengan gugus H pada lignin seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6 (1), kemudian membentuk H_2O . Hal ini menyebabkan gugus O pada Gambar 4.6 (2) membentuk radikal bebas dan reaktif dengan C membentuk cincin epoksi (C-O-C). Sehingga menyebabkan serangkaian gugus melepaskan ikatan pada gugus O seperti pada Gambar 4.6 (3). 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. Selain itu, reaksi ini juga menghasilkan H_2O . Karena selulosa bersifat hidrofilik, maka H_2O diikat oleh selulosa yang menyebabkan konsentrasi ikatan O-H meningkat pada hasil FTIR TKKS alkalisasi seperti pada Gambar 4.4 (a) dan (b).



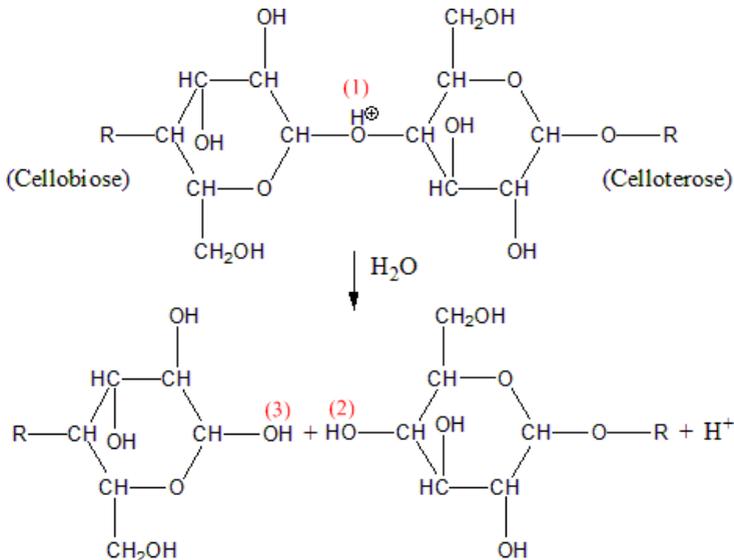
Gambar 4.7 Reaksi pada Proses *Bleaching*

Gambar 4.7 menunjukkan reaksi yang terjadi pada proses *bleaching*. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan sisa lignin dari proses alkali dengan memutus ikatan rangkap pada cincin benzena sehingga ikatan $\text{C}=\text{C}$ berkurang, kemudian hilang. Dapat dilihat bahwa adanya ion OOH^- yang berasal dari reaksi H_2O_2 dan OH^- dari NaOH yang terdisosiasi. Ion OOH^- bereaksi pada salah satu gugus seperti pada Gambar 4.7 (1) membentuk gugus O yang memiliki ikatan rangkap. Sehingga ikatan rangkap dalam benzena pada Gambar 4.7 (3) hilang dan berikatan rangkap dengan O. Hal ini menyebabkan tidak stabilnya gugus benzena, oleh karena itu ikatan rangkap pada Gambar 4.7 (4) akan menstabilkannya dengan membentuk ikatan rangkap penstabil seperti pada Gambar 4.7 (5). Sehingga gugus O seperti pada Gambar 4.7 (2) cenderung membentuk ikatan rangkap juga untuk menstabilkan gugus dalam benzena dengan memutuskan ikatan dengan gugus yang lain. Pada reaksi ini, ikatan rangkap $\text{C}=\text{C}$ seperti pada Gambar 4.7 (3) dan (4) hilang. Hal ini sesuai dengan hasil uji FTIR bahwa ikatan $\text{C}=\text{C}$ akan berkurang seperti pada



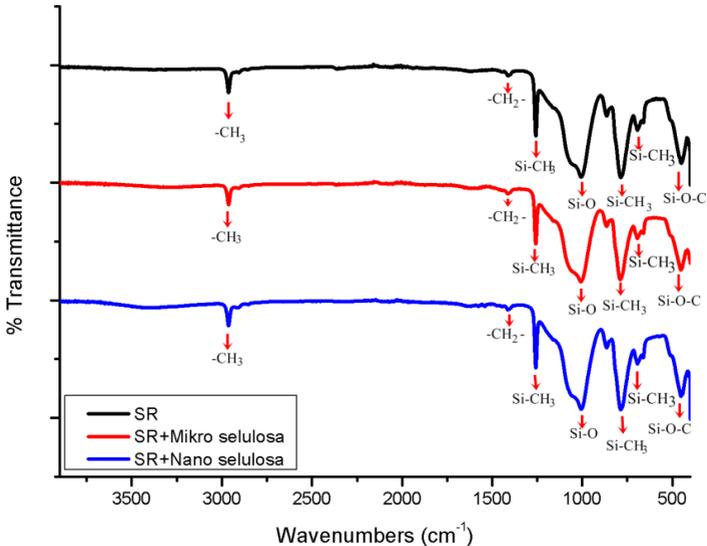
Gambar 4.4 (e). Gugus radikal $\text{OH}\cdot$ yang terlepas dari ion OOH^- yang telah bereaksi kemudian terikat bersama selulosa sehingga membuat konsentrasi ikatan O-H pada selulosa meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil uji FTIR pada Gambar 4.4 (a) dan (b).

Pada Gambar 4.8 menunjukkan reaksi hidrolisis asam pada selulosa. Asam sulfat yang diencerkan dengan air akan membentuk ion H_3O^+ yang kemudian ion H^+ bereaksi dengan salah satu cincin selulosa (*cellobiose*) seperti pada Gambar 4.8 (1) membentuk ikatan O-H pada Gambar 4.8 (2). Reaksi ini menghasilkan H_2O yang kemudian H_2O akan bereaksi dengan cincin selulosa yang satunya (*cellobiose*) membentuk ikatan O-H seperti Gambar 4.8 (3) dan menghasilkan ion H^+ . Meningkatnya ikatan O-H sesuai dengan hasil uji FTIR pada Gambar 4.4 (a) dan (b) yang menunjukkan kenaikan konsentrasi ikatan O-H.



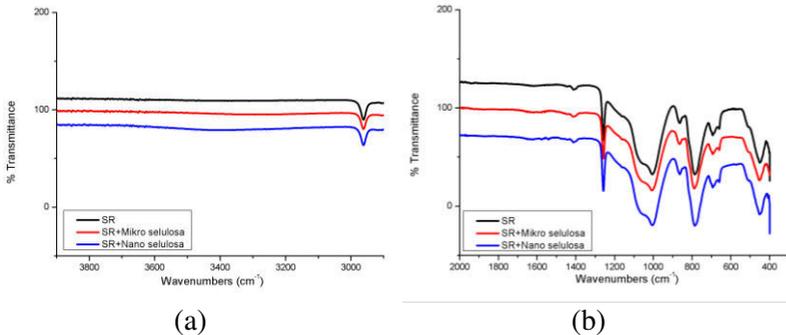


Hasil perbandingan uji FTIR untuk SR Berpori murni, SR Berpori/mikro selulosa dan SR Berpori/nano selulosa ditunjukkan oleh Gambar 4.9. Hasil uji FTIR menunjukkan tidak adanya perubahan ikatan kimia. Hal ini disebabkan oleh fraksi massa *filler* komposit yang tidak terlalu besar jumlahnya sehingga tidak menimbulkan perbedaan pada hasil uji FTIR.



Gambar 4.9 Pengaruh Mikro Selulosa dan Nano Selulosa terhadap Hasil Uji FTIR pada Komposit

Pada perbesaran daerah serapan $3900\text{--}3100\text{ cm}^{-1}$ seperti pada Gambar 4.10(a) tidak terlihat adanya perbedaan seperti puncak yang curam. Hal serupa juga terjadi untuk daerah serapan $2000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ seperti pada Gambar 4.10(b). Hanya terlihat adanya sedikit pergeseran transmitansi daerah serapan. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan adanya SR Berpori berpenguat mikro selulosa maupun nano selulosa dengan fraksi massa tertentu tidak menyebabkan perubahan ikatan kimia.



(a) (b)
Gambar 4.10 Transmittansi pada Beberapa Daerah Serapan
(a) 3900-3100 cm⁻¹, (b) 2000-400 cm⁻¹

4.3. Analisis Morfologi

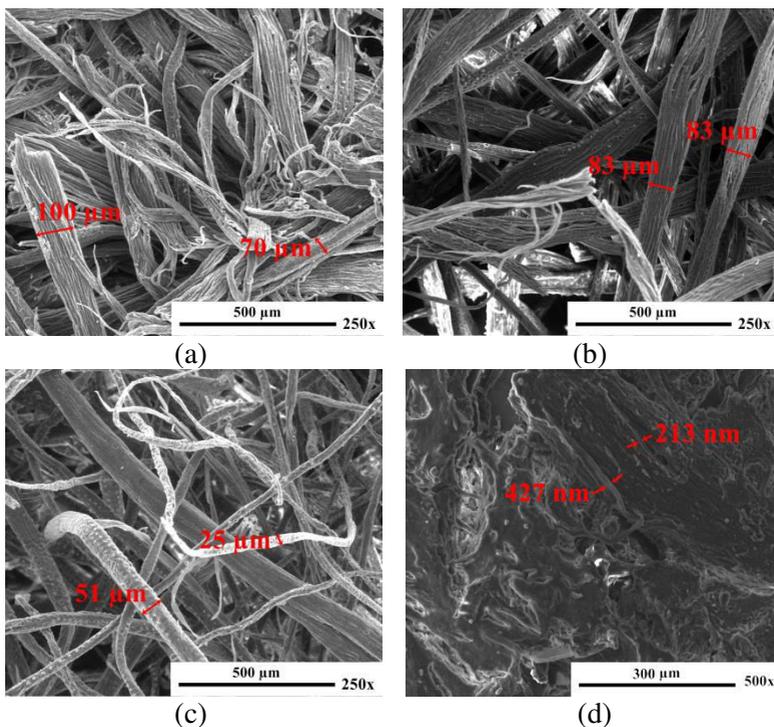
Pengamatan morfologi dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar 4.11 menunjukkan hasil uji SEM pada TKKS murni, alkali, *bleaching* dan hidrolisis.

Berdasarkan Gambar 4.11 terlihat bahwa ada perbedaan morfologi dari masing-masing perlakuan. Pada Gambar 4.11(a) adalah TKKS yang hanya dicuci dengan air biasa (belum dikenai perlakuan kimia), menunjukkan serat yang masih kasar dengan ukuran diameter sekitar 70-100 μm . Morfologi yang kasar ini disebabkan oleh kandungan lapisan lilin, substansi lemak, dan pengotor (J. Rout, 2000).

Perbedaan terlihat pada Gambar 4.11(b), yaitu TKKS yang telah diproses alkali dengan NaOH 2%. Terlihat bahwa permukaan menjadi lebih bersih dan kekasaran berkurang serta hampir tidak ada pengotor. Pada alkalisasi, lapisan lilin (lignin) pada permukaan menghilang karena interaksinya dengan sodium sehingga permukaan menjadi lebih halus (M.A. Norul Izani, 2012). Hal ini menyebabkan diameter berkurang, menjadi sekitar 50-83 μm .



Gambar 4.11 (c) menunjukkan bahwa ukuran diameter semakin kecil menjadi sekitar 25-51 μm dan permukaan semakin halus. Hal ini dikarenakan oleh *bleaching* dengan H_2O_2 dan NaOH yang bertujuan untuk menghilangkan lignin sisa alkali. Setelah dilakukan *bleaching* pada TKKS, kemudian dilakukan hidrolisis dengan asam sulfat 64%.

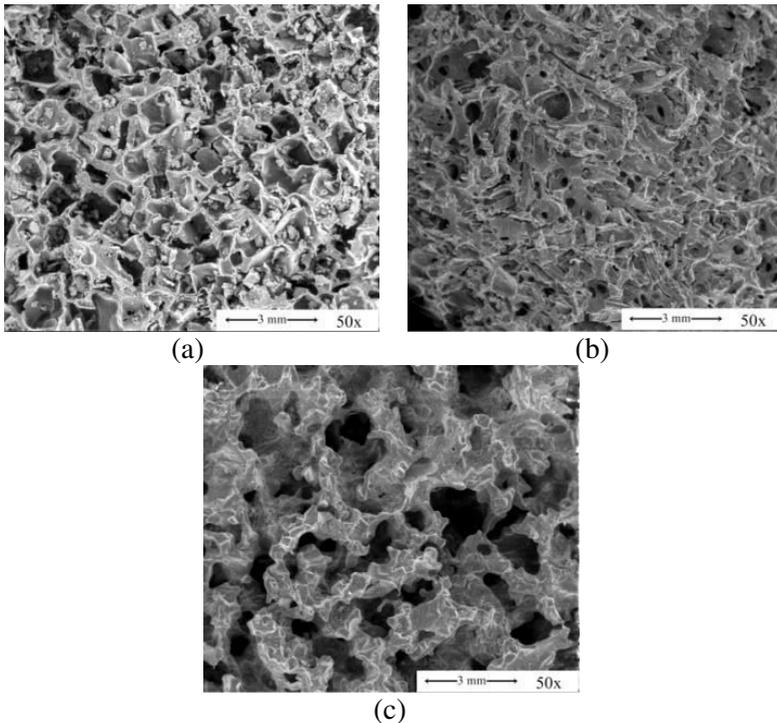


Gambar 4.11 SEM Serat TKKS dengan Perbesaran 250x (a) Murni, (b) Alkali, (c) *Bleaching*, dan (d) Perbesaran 500x Setelah Hidrolisis

Gambar 4.11 (d) menunjukkan hasil hidrolisis, terlihat bahwa terjadi penggumpalan. Struktur ini menunjukkan fiber



mengalami pemecahan. Hal tersebut dikarenakan proses hidrolisis yang memecah fiber-fiber selulosa. Morfologi berubah dari mikro ke nano selama proses pemisahan. Masing-masing serat yang terdiri dari serat tunggal melekat bersama (G. Mondragon, 2014). Ukuran yang terlihat pada perbesaran ini adalah sekitar 427-213 nm.



Gambar 4.12 Pengaruh Jenis *Filler* terhadap Morfologi Hasil SEM SR Berpori (a) SR Berpori Murni, (b) SR Berpori/Mikro Selulosa, (c) SR Berpori/Nano Selulosa

Gambar 4.12(a) menunjukkan hasil SEM dari *silicone rubber* berpori murni. Terlihat bahwa terbentuk pori yang teratur.



Penambahan serat mengakibatkan ukuran pori tidak beraturan dan cenderung mengecil seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8(b) untuk komposit SR/mikro selulosa. Hal ini dikarenakan penambahan serat menyebabkan pori terdeformasi (Chen, 2012).

Gambar 4.12(c) merupakan hasil SEM SR Berpori/nano selulosa. Pada gambar, terlihat lebih banyak pori yang tersebar. Hal tersebut dikarenakan nano selulosa memiliki kemampuan untuk menambah pori dengan penyebaran yang merata (Svagan, 2009).

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa jumlah pori yang terbentuk oleh masing-masing spesimen berbeda. Berdasarkan hasil perhitungan % area pori dengan *software ImageJ* didapat % area seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengaruh *Filler* Mikro Selulosa dan Nano Selulosa terhadap Perbedaan % Area Hasil Uji SEM

Spesimen	% Area
SR Berpori	31,707
SR Berpori/Mikro Selulosa 6%	22,262
SR Berpori/Nano Selulosa 6%	25,647

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa pori terbanyak dihasilkan oleh SR Berpori murni dengan 31,707% area, kemudian komposit SR Berpori/Nano selulosa dengan 25,647% area dan pori terendah dihasilkan oleh SR Berpori/Mikro Selulosa 6% dengan 22,262% area.

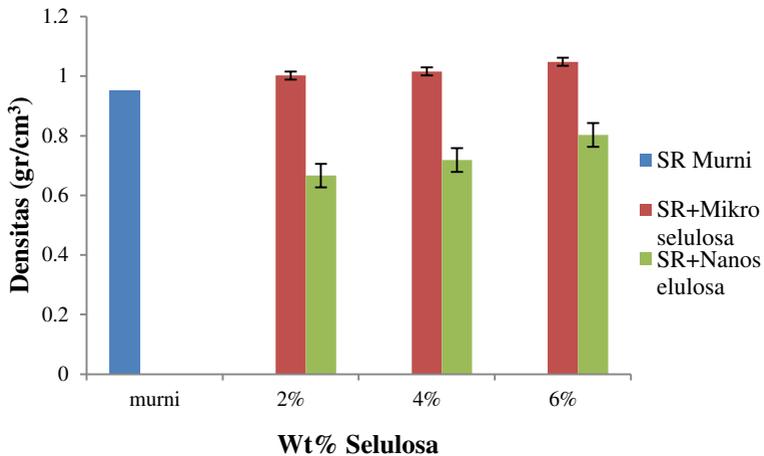
4.4. Analisis Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan mengukur massa spesimen dalam udara dan dalam air. Tabel 4.4 menunjukkan nilai massa jenis komposit *Silicone Rubber* berpori berpenguat mikro selulosa dan nano selulosa dengan fraksi massa 2, 4 dan 6%.



Tabel 4.4 Pengaruh Jenis *Filler* (Mikro Selulosa dan Nano Selulosa) dan Fraksi Berat terhadap Nilai Densitas Komposit

Spesimen	Densitas (gr/cm^3)	
	Mikro Selulosa	Nano Selulosa
SR Berpori	0,952±0,036	
SR. Berpori-2%	1,002±0,047	0,666±0,019
SR. Berpori -4%	1,016±0,036	0,719±0,010
SR. Berpori -6%	1,061±0,040	0,803±0,015



Gambar 4.13 Pengaruh Jenis *Filler* (Mikro Selulosa dan Nano Selulosa) dan Fraksi Berat terhadap Massa Jenis Komposit

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa dengan penambahan *filler* pada komposit menyebabkan kenaikan massa jenis komposit, seperti yang dikemukakan oleh Kuncoro Diharjo (2014). Akan tetapi kenaikan yang ditunjukkan tidak terlalu signifikan karena selisih penambahan fraksi massa yang tidak begitu besar. Densitas SR Berpori/nano selulosa lebih rendah dibandingkan dengan densitas SR Berpori/mikro selulosa. Hal tersebut



dikarenakan nano selulosa memiliki kemampuan dalam membuat pori (Svagan, 2009). Menurut Heath (2010), pori yang dibentuk oleh nano selulosa menyebabkan densitas rendah menjadi rendah.

Silicone rubber pori murni memiliki densitas lebih rendah daripada komposit SR Berpori berpenguat mikro selulosa. Hal ini disebabkan oleh penambahan serat yang mendeformasi pori (Chen, 2012). Sehingga berkurangnya pori yang disebabkan oleh penambahan fraksi massa membuat pori mengecil dan densitas bertambah. Sedangkan massa jenis *silicone rubber* pori murni lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposit *silicone rubber* pori/nano selulosa. Ini dikarenakan penambahan *filler* berupa nano selulosa menyebabkan bertambahnya pori sehingga menjadikan nilai densitasnya rendah, seperti yang dikemukakan oleh Heath (2010).

4.5. Analisis Koefisien Absorpsi Suara

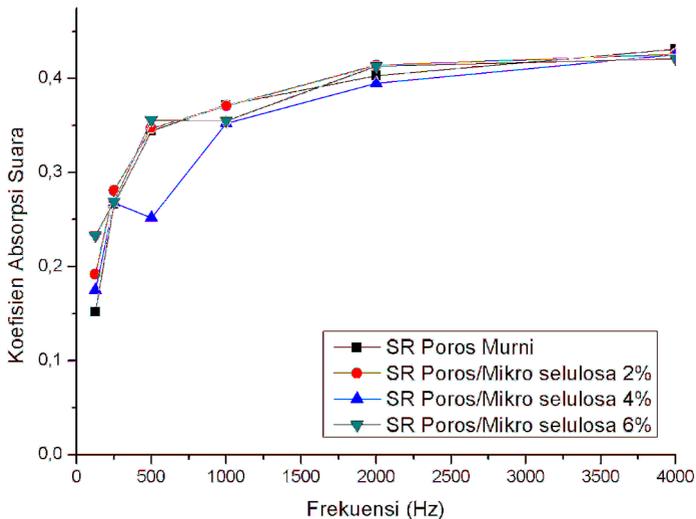
Berdasarkan data yang diperoleh, jika nilai α semakin mendekati 1 maka sifat material dalam menyerap dan meredam bunyi semakin baik. Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian absorpsi suara pada komposit *silicone rubber* berpori berpenguat mikro selulosa. Dapat dilihat bahwa nilai koefisien absorpsi suara terhadap frekuensi tiap spesimen berbeda-beda. Ini dikarenakan perbedaan komposisi yang menyebabkan perbedaan kerapatan ataupun ketidakhomogenan spesimen (Yusuf, 2016).

Tabel 4.5 Pengaruh Fraksi Massa terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara SR/Mikro Selulosa

Frekuensi (Hz)	Fraksi Massa (% wt)			
	0	2	4	6
125	0,152	0,192	0,175	0,233
250	0,266	0,281	0,268	0,269
500	0,344	0,347	0,252	0,356
1000	0,372	0,371	0,352	0,355
2000	0,403	0,414	0,395	0,413
4000	0,431	0,426	0,425	0,421



Gambar 4.14 menunjukkan karakteristik kemampuan penyerapan suara dari keempat spesimen. Perbedaan koefisien absorpsi suara terlihat berbeda di frekuensi rendah dan sedang, akan tetapi pada rentang frekuensi tinggi perbedaan koefisien penyerapan suaranya sangat kecil. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh antara banyaknya serat terhadap nilai koefisien absorpsi suara. Semakin naik frekuensi, secara umum menyebabkan semakin naiknya nilai absorpsi suara yang menandakan bahwa material tersebut merupakan *porous absorber* (Howard, 2009). Pada Gambar 4.14 terlihat bahwa terjadi adanya penurunan nilai koefisien absorpsi suara seiring bertambahnya fraksi massa *filler* berupa mikro selulosa. Hal ini dapat disebabkan oleh mengecilnya ukuran pori akibat penambahan serat, menurut Chen (2012) penambahan serat akan menyebabkan pori terdeformasi.



Gambar 4.14 Pengaruh Fraksi Massa terhadap Koefisien Absorpsi Suara SR Berpori/Mikroselulosa



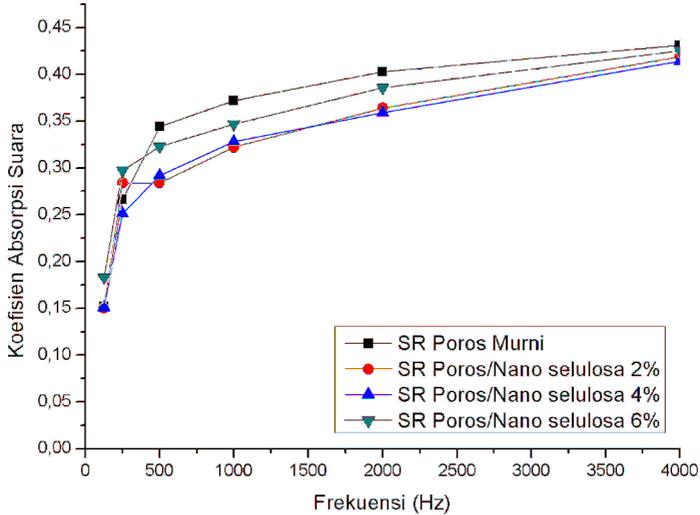
Tabel 4.6 menunjukkan nilai koefisien absorpsi suara pada komposit SR Berpori/Nano Selulosa dengan berbagai fraksi massa yang berbeda.

Tabel 4.6 Pengaruh Fraksi Massa terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara SR/Nano Selulosa

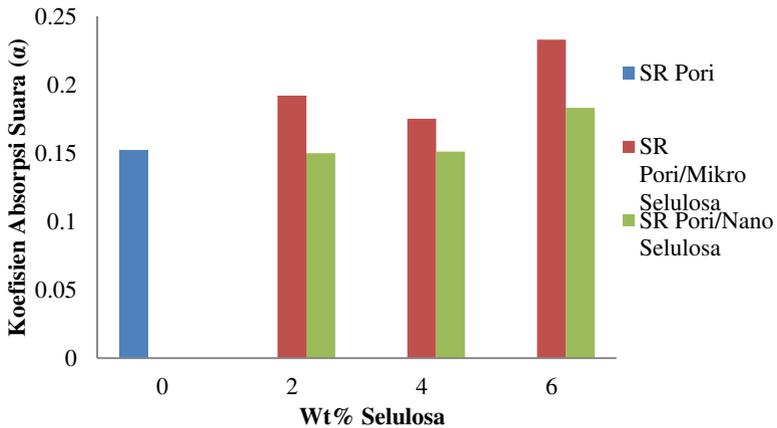
Frekuensi (Hz)	Fraksi Massa (% wt)			
	0	2	4	6
125	0,152	0,15	0,151	0,183
250	0,266	0,284	0,251	0,297
500	0,344	0,284	0,292	0,323
1000	0,372	0,322	0,328	0,347
2000	0,403	0,364	0,359	0,386
4000	0,431	0,419	0,414	0,425

Gambar 4.15 memiliki karakteristik yang mirip dengan Gambar 4.14. adanya perbedaan komposisi jenis filler menyebabkan nilai α yang berbeda. Akan tetapi tetap menunjukkan karakteristik penyerapan dengan jenis *porous absorber*. Pada Gambar 4.15 juga menunjukkan bahwa penambahan *filler* berupa nano selulosa menyebabkan semakin menurunnya nilai koefisien absorpsi suara, akan tetapi meningkat ketika fraksi *filler* sebesar 6%. Hal ini dapat disebabkan oleh bertambahnya pori yang dibentuk oleh nano selulosa. Dan jumlah pori mencapai nilai maksimal pada fraksi ini. Menurut Svagan (2009), nano selulosa memiliki kemampuan untuk membuat pori secara merata.

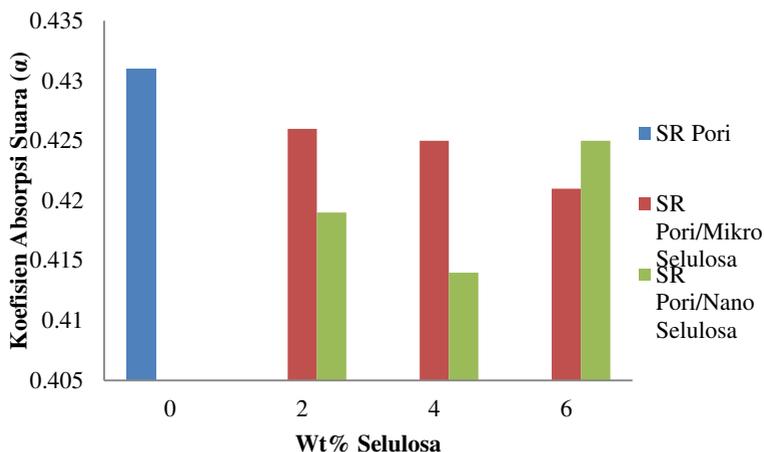
Apabila dibandingkan antara komposit SR Berpori berpenguat mikro selulosa dengan komposit SR Berpori berpenguat nano selulosa, komposit SR Berpori berpenguat nano selulosa memiliki karakteristik yang lebih stabil tren nilai koefisien absorpsi suaranya meskipun dengan nilai koefisien absorpsi suara yang lebih rendah.



Gambar 4.15 Pengaruh Fraksi Massa terhadap Koefisien Absorpsi Suara SR Berpori/Nano Selulosa



Gambar 4.16 Pengaruh Jenis *Filler* (Mikro Selulosa dan Nano Selulosa) dan Fraksi Berat terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara pada 125 Hz



Gambar 4.17 Pengaruh Jenis *Filler* (Mikro Selulosa dan Nano Selulosa) dan Fraksi Berat terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara pada 4000 Hz

Pada frekuensi rendah 125 Hz seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16, nilai koefisien absorpsi suara SR Berpori murni sebesar 0,152 dan komposit SR Berpori/mikro selulosa 2, 4, dan 6% berturut-turut sebesar 0,192; 0,175 dan 0,233. Sedangkan nilai koefisien absorpsi suara pada komposit SR Berpori/nano selulosa 2%, 4%, 6% secara berturut-turut sebesar 0,150; 0,151 dan 0,183. Dimana nilai koefisien absorpsi suara terbaik untuk frekuensi rendah 125 Hz adalah pada komposit SR Berpori/Mikro selulosa 6% yaitu sebesar 0,233 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16. Hal ini dikarenakan penyerapan suara pada frekuensi rendah baik untuk material dengan kerapatan tinggi. Sehingga nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 125 Hz akan semakin tinggi pada spesimen dengan rapat massa yang semakin tinggi (sedikit pori).

Pada frekuensi tinggi 4000 Hz seperti ditunjukkan pada Gambar 4.17, nilai koefisien absorpsi suara SR Berpori murni



sebesar 0,431 dan komposit SR Berpori/mikro selulosa 2, 4 dan 6% berturut-turut sebesar 0,426; 0,425 dan 0,421. Sedangkan nilai koefisien absorpsi suara pada komposit SR Berpori/nano selulosa 2, 4 dan 6% secara berturut-turut sebesar 0,419; 0,414 dan 0,425. Dimana nilai koefisien absorpsi suara terbaik adalah pada SR Berpori murni yaitu sebesar 0,431. Hal ini dikarenakan penyerapan suara pada frekuensi tinggi baik untuk material dengan kerapatan rendah (banyak pori). Sehingga nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 4000 Hz akan semakin baik pada spesimen dengan banyak pori yang teratur. Oleh karena itu, pada frekuensi ini komposit SR Berpori/mikro selulosa 6% memiliki nilai koefisien terendah yaitu sebesar 0,421 karena komposit ini memiliki jumlah pori yang paling sedikit yaitu sebesar 22,262% area. Sedangkan SR Berpori murni memiliki jumlah pori terbanyak yaitu sebesar 31,70% area.

Menurut Rolf Jebasinski (2002), *muffler* absorptif bekerja pada frekuensi di atas 2000Hz. Dan pada penelitian Mylaudy D. R (2015), menyatakan bahwa *muffler* absorptif dengan *glasswool* memiliki nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0,32. Sehingga bisa dikatakan bahwa SR Berpori murni maupun komposit SR berpori/mikro selulosa dan nano selulosa dapat menyaingi nilai koefisien absorpsi *glasswool* yang digunakan di *muffler*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan analisis data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan:

1. Ukuran *filler* menyebabkan perubahan jumlah dan bentuk pori. Ukuran *filler* menyebabkan rata-rata nilai α turun. Nilai α tertinggi pada frekuensi 4000 Hz ada pada SR poros murni, yaitu sebesar 0,431.
2. 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.

5.2 Saran

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai material penyerap suara berpori
2. Adanya penelitian lain mengenai sintesis nano selulosa dari serat natural lainnya
3. Menggunakan fraksi berat yang lebih besar agar koefisien absorpsi suara menunjukkan tren yang lebih baik
4. Adanya penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan *silicone rubber* berpori dengan metode *Vapor Induced Phase Separation/VIPS* agar menghasilkan pori berjenis *open cell*.



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham E., Deepa B., Pothan L.A., Jacob M., Thomas S., Cvelbar U., Anandjiwala R. 2011. "Extraction of Nanocellulose Fibrils from Lignocellulosic Fibres: A Novel Approach". Carbohydrate Polymers. Vol. 86. Hal. 1468-1475.
- Alves, Luis, Bruno Medronho, Filipe E. Antunes, Maria P. Fernández-García, João Ventura, João P. Araújo, Anabela Romano, Bjorn Lindman. 2015. "Unusual Extraction and Characterization of Nanocrystalline Cellulose from Cellulose Derivatives". Journal of Molecular Liquids. Vol. 210. Hal. 106-112.
- Autar, K. Kaw., 2006. *Mechanics of Composite Materials*. University of South Florida, Tampa. Taylor & Francis Group. Hal. 2.
- Ardhyananta, Hosta, Deni Budi Utomo. 2014. *Studi Pengaruh Katalis Curing Benzoil Peroksida terhadap Kekuatan Tarik dan Stabilitas Termal Karet Silikon*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Beck-Candanedo, S., M. Roman, and D.G. Gray. 2005. "Effect of Reaction Conditions on the Properties and Behavior of Wood Cellulose Nanocrystal Suspensions". Biomacromolecules, 6 (2). Hal. 1048-1054.
- Budiyanto, Cahyo. 2009. *Thermoplastik dalam Dunia Industri*. Yogyakarta : Teknika Medika.
- Brinchi, L., et al. 2013. "Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications". Carbohydrate Polymers, 94(1). Hal. 154-169.
- Callister Jr, William D, 2009. *Materials Science And Engineering An Introduction, 8th Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.
- Chen Wen Shan, 2012. *Study of Flexible Polyurethane Foams Reinforced with Coir Fiber and Tyre Particles*. Malaysia : UTHM.

- Chung, Deborah D.L. 2010. *Composite Materials*. Springer : London Dordrecht Heidelberg.
- Colas, Andre. 2005. *Silicones: Preparasi, Properties and Performance*. USA : Dow Corning Cooperation, Life Sciences.
- D. Klempner and V. Sendjarevic. 2004. *Polymeric Foams and Foam Technology, 2nd ed*. Munich: Hanser.
- Diharjo, Kuncoro, Ischiadica Elharomy, Agus Purwanto. 2014. "Pengaruh Fraksi Volume Filler terhadap Kekuatan Bending dan Ketangguhan Impak Komposit Nanosilika – Phenolic". *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 5. Hal. 27-32.
- Doelle, L. L. 1972. *Akuistik Lingkungan*. Jakarta: Erlangga.
- Faruk, Omar, Andrzej K. Bledzki, Hans-Peter Fink, Mohini Sain. 2012. "Biocomposites Reinforced with Natural Fibers". *Progress in Polymer Science*. No. 37, Hal. 1552-1596.
- Fatah, Ireana Yusra A, et al. 2014. "Exploration of a Chemo-Mechanical Technique for the Isolation of Nanofibrillated Cellulosic Fiber from Oil Palm Empty Fruit Bunch as a Reinforcing Agent in Composites Materials". *Polymers*, 6, Hal. 2611-2624.
- Gay, D., Hoa, S.V., Tsai, S.W., 2003. *Composite Material: Design and Applications, pen. CRC, Canada GNU Documentation*. 2002. Engineering Acoustics. Free Software Foundation, Inc : USA.
- Gunawan, E. Fergyanto, Hiroomi Homma, Satryo S. Brodjonegoro, Afzer Bin Baseri Hudin dan Aryanti Binti Zainuddin. 2009. "Mechanical Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber". *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*. Vol. 3, No. 7, Hal. 943.
- Heath, L., Thielemans, W. 2010. "Cellulose Nanowhisker Aerogels". *Green Chem*. Vol. 12. Hal. 1448.
- Herrin, D. W. 2012. "Vibro-Acoustic Design in Mechanical Systems". Department of Mechanical Engineering, University of Kentucky. Lexington.

- Howard dan Angus, 2009. *Acoustics and Psychoacoustics 4th Edition*. Burlington: Oxford.
- Ioelovich, M. 2012. "*Study of Cellulose Interaction with Concentrated Solutions of Sulfuric Acid*". ISRN Chemical Engineering. Vol. 2012. 7 Pages.
- Ivdre, A., et al. 2016. "*Nanocellulose Reinforced Polyurethane Obtained From Hydroxylated Soybean Oil*". Baltic Polymer Symposium 2015. IOP Publishing.
- Izani, M.A. Norul, M.T. Paridah, U.M.K. Anwar, M.Y. Mohd Nor, P.S. H. 2012. "*Effects of Fibre Treatment on Morphology, Tensile and Thermogravimetric Analysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches Fibres*". Composites Part B.
- Ji Z. *Acoustic Attenuation Performance of a Multi-chamber Muffler with Selective Sound-absorbing Material Placement*. SAE International. 200701-2202.
- Jinping Zhou, Lina Zhang. 2000. "*Structure and Properties of Blend Membranes Prepared from Cellulose and Alginate in NaOH/Urea Aqueous Solution*". Department of Chemistry, Wuhan University. China
- Jorge P. Arenas and Malcolm J. Crocker , 2010. *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials*. University Austral of Chile, Valdivia, Chile and, Auburn University, Auburn, Alabama, Sound and Vibration.
- J. Rout, M. Misra, S.S. Tripathy, S.K. Nayak, A.K. Mohanty. 2001. "*The Influence of Fibre Treatment on The Performance of Coir-Polyester Composites*". Composites Science and Technology. Vol. 61. Hal. 1303-1310.
- Jebasinski, Rolf. 2000. "*Absorption Mufflers In Exhaust System*". Germany: J. Eberspacher GmbH & Co.
- K. Yoshimuraa, K. Nakano, K. Okamoto, T. Miyake. 2012. "*Mechanical And Electrical Properties in Porous Structure of Ketjenblack/Silicone–Rubber Composites*". Sensors and Actuators A. Vol. 180. Hal. 55-62.
- Kalita, Ujjal, Abhijeet Pratap, Sushil Kumar. "*Absorption Materials Used In Muffler A Review*". International Journal

- of Mechanical and Industrial Technology. Vol. 2, Issue 2, Hal. 31-37, Bulan: Oktober 2014-Maret 2015.
- Khusairy, Muhammad et al. 2015. *"Reinforced Oil Palm Fiber Epoxy Composites: An Investigation on Chemical Treatment of Fibers on Acoustical, Morphological, Mechanical and Spectral Properties"*. Materials Today: Proceedings 2. Hal. 2747-2756.
- Krevelen, D. W. Van. 1994. *Properties of Polymers, Their Correlation with Chemical Structure, Their Numerical Estimated and Prediction from Additional Group Contributions 3rd Edition*. Elsevier Science B. V. Amsterdam. Nederlands.
- Lojewska, J., P. Miskowicz, T. Lojewski, L.M. Proniewicz. 2005. *"Cellulose oxidative and hydrolytic degradation: In situ FTIR approach"*. Polymer Degradation and Stability, 88, Hal. 512-520.
- L. Ting, M. LiangLiang, L. Fuwei, J. Wuzhou, H. Zhaobo and F. Pengfei, *"Preparation, Structure, and Properties of Flexible Polyurethane Foams Filled with Fumed Silica,"* Journal of Natural Sciences, vol. 16, no. 1, pp. 029-032, 2011.
- M. D. H Beg, M.F Mirna, R. M Yunus, A. K. M Moshiul Alam. 2015. *The Use of Biomass (OPB) Fibers as Reinforcement in Composites*. United Kingdom: Woodhead Publishing.
- Moh. Farid, Yusuf Sultoni. 2016. *"Pengaruh Proses Alkali dan Fraksi Massa terhadap Morfologi, kekuatan Bending dan Koefisien Absorpsi Suara Komposit Polyurethane/Coir Fiber pada Komponen Muffler"*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Moh. Farid, Rani Legiviani. 2016. *"Pengaruh Perbandingan Komposisi Penyusun Polyurethane dan Fraksi Massa Serat Kelapa terhadap Koefisien Absorpsi Suara dan Kekuatan Lentur Komposit Serat Kelapa pada Aplikasi Muffler"*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

- Moh. Farid, H. Ardhyananta, V. M. Pratiwi, S. P. Wulandari. 2015. *Correlation between Frequency and Sound Absorption Coefficient of Polymer Reinforced Natural Fibre*. Advanced Materials Research, Vol. 1112, pp. 329-332.
- Moh. Farid, T. Heryanto. 2013. *Correlation of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (NAC) and Random Incidence Sound Absorption Coefficient (RAC) of Polyester/Ramie Fibre Composite Materials*. Advanced Material Research. Vol. 789, pp.269-273
- Mondragon, G., S. Fernandes, A. Retegi, C. Pena, I. Algar, A. Eceiza, A. Arbelaiz. 2014. "A Common Strategy to Extracting Cellulose Nanoentities from Different Plants". Industrial Crops and Products. Vol. 55. Hal. 140-148.
- Morais, João Paulo Saraiva, et al. 2012. "Extraction and characterization of nanocellulose structures from raw cotton linter". Carbohydrate Polymers No. 91, hal. 229-235.
- Morton, Maurice. 1959. *Introduction to Rubber Technology*. New York : Reinhold Publishing Corporation.
- Mehta, P. K. 1986. *Structure, Properties, and Material*. New Jerse: Prentice Hall.
- Rahayu, Titiek. 2010. "Dampak Kebisingan Terhadap Munculnya Gangguan Kesehatan". Edisi Januari : 59 – 65.
- Peng, B., et al. 2011. "Chemistry and Applications of Nanocrystalline Cellulose and Its Derivatives: A Nanotechnology Perspective". The Canadian Journal of Chemical Engineering, 89 (5), 1191- 1206.
- Saba, Naheed et al. 2016. "Fabrication of Epoxy Nanocomposites from oil Palm Nano Filler: Mechanical and Morphological Properties". BioResources. Vo. 11, No. 3. Hal. 7721-7736.
- Shanmugarajah, Bawaanii, Peck Loo Kiew, Irene Mei Leng Chew, Thomas Shean Yaw Choong, Khang Wei Tan.2015. "Isolation of NanoCrystalline Cellulose (NCC) from Palm Oil Empty Fruit Bunch (EFB): Preliminary Result on FTIR and DLS Analysis". Chemical Engineering Transactions. Vol. 45. Hal. 1705-1710.

- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Svagan, A.J., Jensen, P., Berglund, L.A., Furó, I., and Dvinskikh, S.V. 2010. "*Towards Tailored Hierarchical Structures in Starch-Based Cellulose Nanocomposites Prepared by Freeze Drying*". *J. Mater. Chem.* Vol. 20. Hal. 6646.

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN MASSA SPESIMEN

A. Massa Spesimen Absorpsi Suara

Massa Total = 200 gram

- Fraksi Massa 2%

Massa Serat	= $0,02 \times 200$ gram	= 4 gram
Massa SR	= $0,02 \times (200-4)$ gram	= 30,18 gram
Massa Heksana	= $0,02 \times (200-4)$ gram	= 45,28 gram
Massa NaCl	= $0,02 \times (200-4)$ gram	= 120,54 gram
Massa Bluesil	= $0,02 \times 200$ gram	= 4 gram

- Fraksi Massa 4%

Massa Serat	= $0,04 \times 200$ gram	= 8 gram
Massa SR	= $0,04 \times (200-8)$ gram	= 29,57 gram
Massa Heksana	= $0,04 \times (200-8)$ gram	= 44,35 gram
Massa NaCl	= $0,04 \times (200-8)$ gram	= 118,08 gram
Massa Bluesil	= $0,02 \times 200$ gram	= 4 gram

- Fraksi Massa 6%

Massa Serat	= $0,06 \times 200$ gram	= 12 gram
Massa SR	= $0,06 \times (200-12)$ gram	= 28,95 gram
Massa Heksana	= $0,06 \times (200-12)$ gram	= 43,43 gram
Massa NaCl	= $0,06 \times (200-12)$ gram	= 115,62 gram
Massa Bluesil	= $0,02 \times 200$ gram	= 4 gram

B. Massa Spesimen Uji Densitas, SEM, FTIR

Massa Total = 31 gram

- Fraksi Massa 2%

Massa Serat	= $0,02 \times 31$ gram	= 0,62 gram
Massa SR	= $0,02 \times (31-0,62)$ gram	= 4,68 gram
Massa Heksana	= $0,02 \times (31-0,62)$ gram	= 7,018 gram
Massa NaCl	= $0,02 \times (31-0,62)$ gram	= 18,684 gram
Massa Bluesil	= $0,02 \times 31$ gram	= 0,62 gram

- Fraksi Massa 4%

Massa Serat	= $0,04 \times 31$ gram	= 1,24 gram
Massa SR	= $0,04 \times (31-1,24)$ gram	= 4,58 gram

- | | | |
|-------------------|-----------------------|----------------|
| Massa Heksana | = 0,04x(31-1,24) gram | = 6,875 gram |
| Massa NaCl | = 0,04x(31-1,24) gram | = 18,3024 gram |
| Massa Bluesil | = 0,02x31 gram | = 0,62 gram |
| • Fraksi Massa 6% | | |
| Massa Serat | = 0,06x31 gram | = 1,86 gram |
| Massa SR | = 0,06x(31-1,86) gram | = 4,487 gram |
| Massa Heksana | = 0,06x(31-1,86) gram | = 6,731 gram |
| Massa NaCl | = 0,06x(31-1,86) gram | = 17,9211 gram |
| Massa Bluesil | = 0,02x31 gram | = 0,62 gram |

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN MASSA JENIS KOMPOSIT

Massa Jenis Spesimen

- Mencari Massa Jenis :

$$\frac{\text{massa spesimen dalam udara (gr)}}{\text{massa spesimen dalam air (gr)}} \times \text{massa jenis air (1 gr/cm}^3\text{)}$$

1. SR Berpori Murni

Spesimen	Massa dalam Udara	Massa dalam Air	Densitas (gr/cm ³)
1	0,447	0,459	0,976
2	0,519	0,590	0,880
3	0,552	0,552	0,999
Rata-Rata			0,952

2. SR Berpori/Mikro selulosa 2%

Spesimen	Massa dalam Udara	Massa dalam Air	Densitas (gr/cm ³)
1	0,454	0,498	0,911
2	0,393	0,381	1,032
3	0,399	0,375	1,064
Rata-Rata			1,002

3. SR Berpori/Mikro selulosa 4%

Spesimen	Massa dalam Udara	Massa dalam Air	Densitas (gr/cm ³)
1	0,517	0,516	1,002
2	0,503	0,464	1,084
3	0,467	0,485	0,962
Rata-Rata			1,016

4. SR Berpori/Mikro selulosa 6%

Spesimen	Massa dalam Udara	Massa dalam Air	Densitas (gr/cm ³)
1	0,440	0,385	1,142
2	0,530	0,522	1,015
3	0,542	0,429	1,027
Rata-Rata			1,061

5. SR Berpori/Nano selulosa 2%

Spesimen	Massa dalam Udara	Massa dalam Air	Densitas (gr/cm ³)
1	0,556	0,887	0,627
2	0,545	0,793	0,687
3	0,542	0,791	0,685
Rata-Rata			0,666

6. SR Berpori/Nano selulosa 4%

Spesimen	Massa dalam Udara	Massa dalam Air	Densitas (gr/cm ³)
1	0,486	0,685	0,709
2	0,723	0,979	0,738
3	0,508	0,716	0,709
Rata-Rata			0,719

7. SR Berpori/Nano selulosa 6%

Spesimen	Massa dalam Udara	Massa dalam Air	Densitas (gr/cm ³)
1	0,638	0,765	0,834
2	0,600	0,763	0,787
3	0,477	0,605	0,789
Rata-Rata			0,803

LAMPIRAN C

HASIL PENGUJIAN

A. Silicone Rubber Berpori Murni

	LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111 Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 031-5923626 FAXB : 1201 http://www.vibrastic.ep.its.ac.id email : akoesistec@ gmail.com
Surabaya, 3 Januari 2017	
No	: 86/PRO/VIBRASTIC/I/17
Hal	: Hasil Pengukuran Alpha Material
<u>SURAT KETERANGAN</u>	
Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen <i>Silicon Rubber Murni</i> dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:	
Tabel Alpha Material Spesimen Uji	
Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0.151814
250	0.266351
500	0.343507
1000	0.37244
2000	0.402779
4000	0.431299
Kesimpulan	
Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.	
Mengetahui, Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik	
 VibrasticLab VIBRATION AND ACOUSTICS LABORATORY	
Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc NIP. 1960022918701 1 001	

B. SR. Berpori/Mikro Selulosa 2%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

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

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 87/PRO/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Silicon Rubber* ditambah 2% *Micro Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0.192396
250	0.280549
500	0.346638
1000	0.371172
2000	0.413882
4000	0.425598

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

C. SR. Berpori/Mikro Selulosa 4%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

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

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 88/PRO/VIBRASTIC/I/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Silicon Rubber* ditambah 4% *Micro Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0.174976
250	0.267737
500	0.25221
1000	0.35252
2000	0.394605
4000	0.425434

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

D. SR. Berpori/Mikro Selulosa 6%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

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

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 89/PRO/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Silicon Rubber* ditambah 6% *Micro Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0.232732
250	0.269347
500	0.355802
1000	0.354739
2000	0.413327
4000	0.420998

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

E. SR. Berpori/Nano Selulosa 2%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

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

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 90/PRO/VIBRASTIC/I/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Silicon Rubber* ditambah 2% *Nano Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut.

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,150266
250	0,28378
500	0,283779
1000	0,321537
2000	0,364106
4000	0,418879

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

F. SR. Berpori/Nano Selulosa 4%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

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

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 91/PRO/VIBRASTIC/I/17
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Silicon Rubber* ditambah 4% *Nano Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,1508
250	0,250849
500	0,291639
1000	0,327605
2000	0,359143
4000	0,413502

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

G. SR. Berpori/Nano Selulosa 6%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

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

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 92/PRO/VIBRASTIC/I/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Silicon Rubber* ditambah 6% *Nano Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,18348
250	0,296915
500	0,322809
1000	0,346772
2000	0,386208
4000	0,424781

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



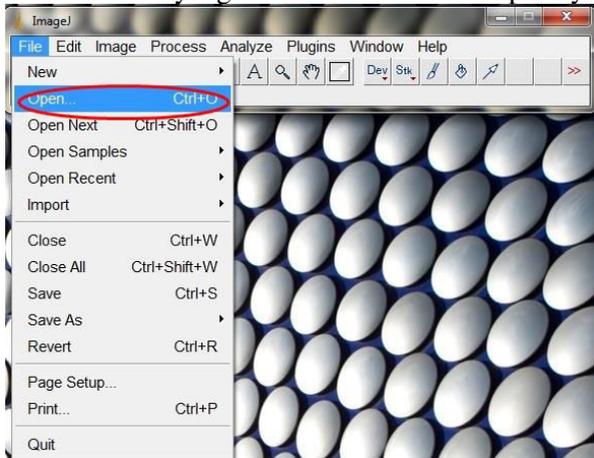
Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

LAMPIRAN D

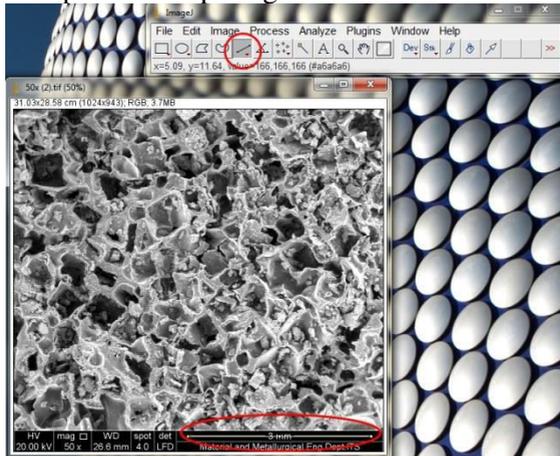
ANALISIS PORI DENGAN *SOFTWARE IMAGEJ*

A. Tahapan Analisis Pori

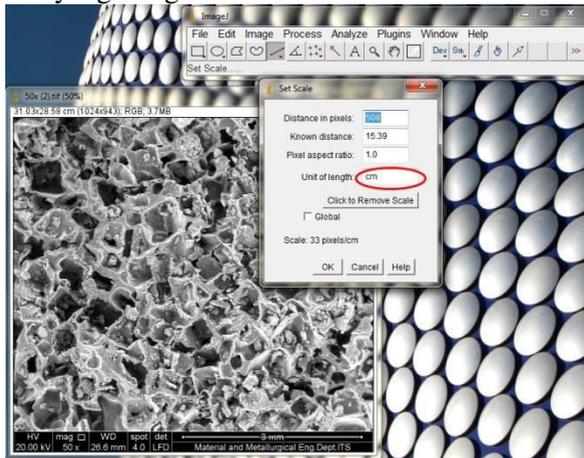
1. Membuka file yang akan dianalisis ukuran porinya



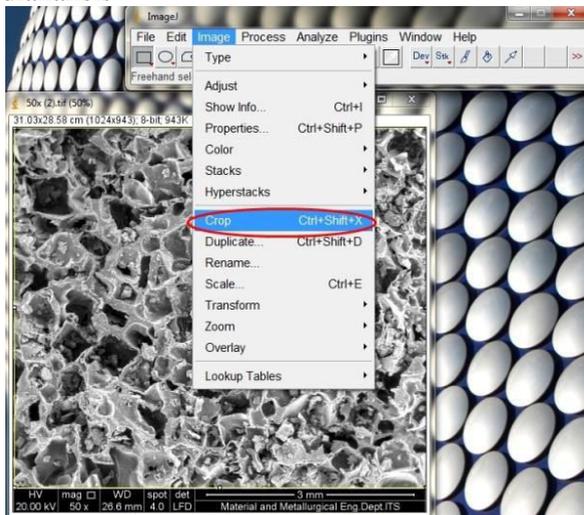
2. Atur penskalaan pada gambar



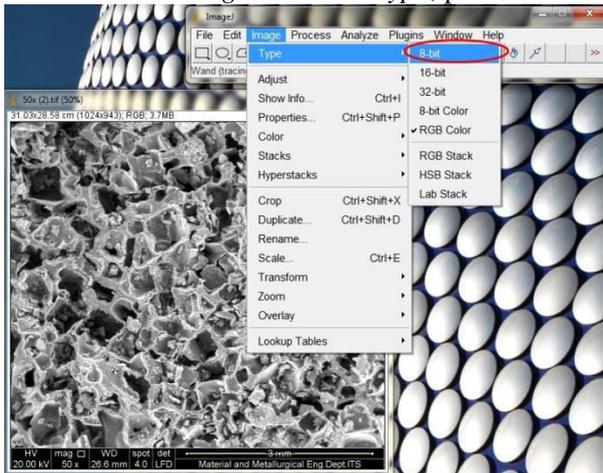
3. Memilih menu *analyze* kemudian *set scale* dan tentukan unit yang diinginkan



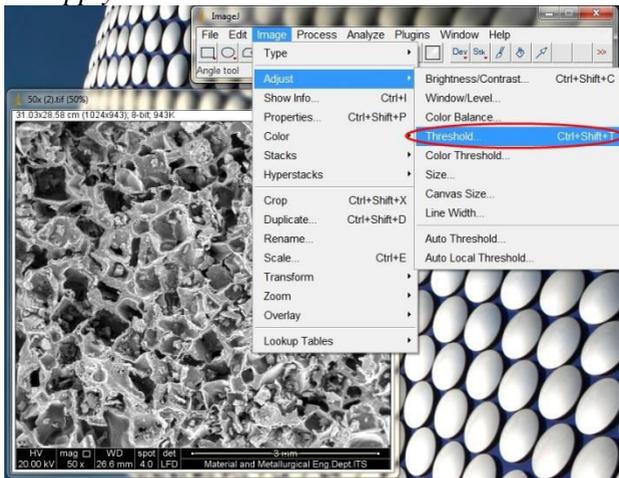
4. Melakukan *crop* gambar pada area berpori yang akan dianalisis



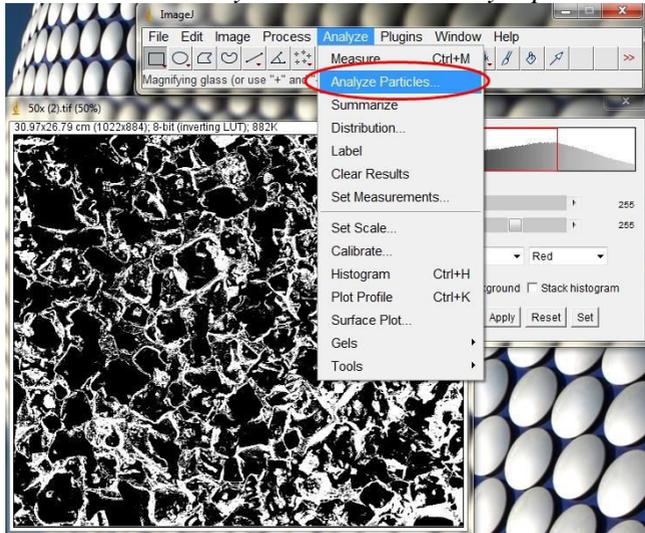
5. Mengubah gambar ke dalam resolusi 8 bit dengan cara memilih menu *image* kemudian *type*, pilih 8 bit



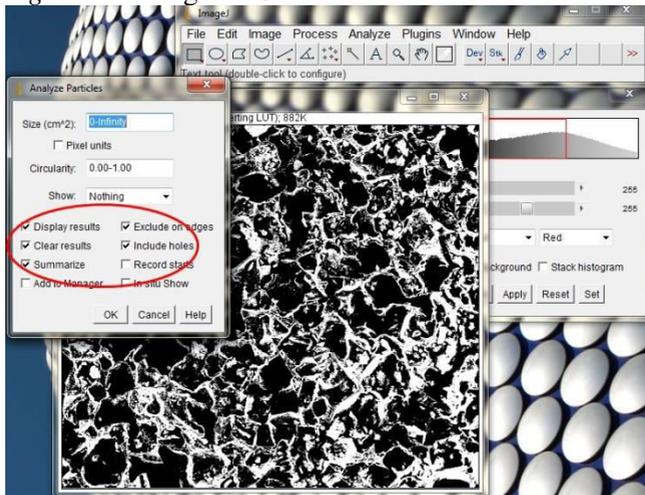
6. Untuk mengidentifikasi pori, edit gambar ke dalam *threshold* dengan memilih menu *image* kemudian *adjust* dan *apply*



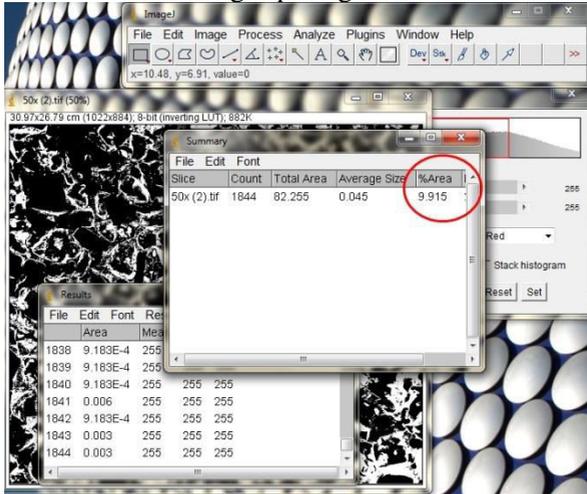
7. Memilih menu *analyze* lalu memilih *analyze particles*.



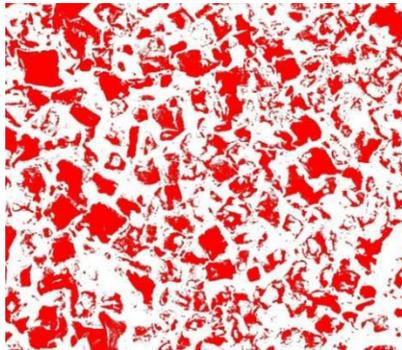
8. Memastikan *results*, *summarize*, *include holes* dan *exclude edges* tercentang lalu *OK*



9. Muncul kotak dialog seperti gambar di bawah

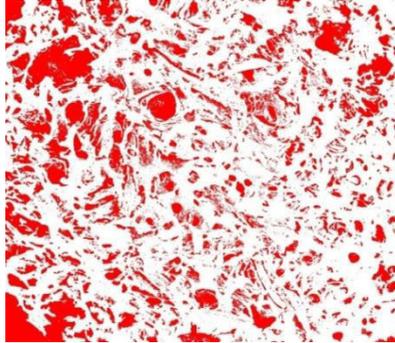


B. Hasil Analisis pada Silicone Rubbers Berpori Murni



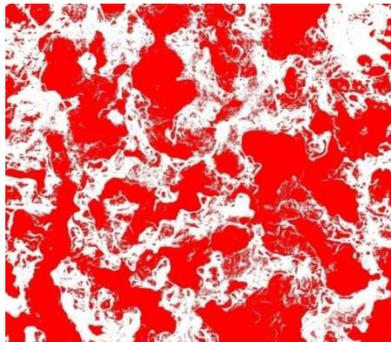
Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
50x (2).tif	3354	262.964	0.078	31.707	254.227

C. Hasil Analisis pada Komposit Silicone Rubber Berpori/Mikro Selulosa 6%



Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
50x.tif	5940	183.077	0.031	22.262	254.048

D. Hasil Analisis pada Komposit Silicone Rubber Berpori/Nano Selulosa 6%



Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
50x.tif	4907	212.287	0.043	25.647	253.925

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Afira Ainur Rosidah, lahir di Jombang pada tanggal 27 Juli 1995 dari ayah bernama Afin Haji Toyib dan ibu bernama Nur Ria Fasifik, S. Pd. Penulis adalah putri pertama dari dua bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Mancilan I, lalu SMP Negeri 1 Mojoagung, lalu SMA Negeri 2 Jombang. Penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Material dan Metalurgi melalui tes SBMPTN 2013. Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan kepanitiaan di kampus antara lain sebagai *Steering Committee* (SC) Kaderisasi merangkap Staff Hubungan Luar HMMT FTI ITS periode 2014/2015, *Instructor Committee* (IC) Gerigi ITS 2015 serta Wakil Kepala Departemen Hubungan Luar HMMT FTI ITS periode 2015/2016. Selain itu, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium untuk praktikum Kimia Analitik dan Fisika Dasar, Asisten Laboratorium Inovasi Material untuk praktikum Polimer serta Asisten Dosen Termodinamika Material. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktisi di Garuda *Maintenance Facilities* Aeroasia pada divisi *Base Maintenance* yang menangani *maintenance* komposit. Sebagai tugas akhir, penulis mengambil topik mengenai material inovatif (komposit).

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)