



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

# KARAKTERISASI BAHAN AKUSTIK POLIURETAN BERPENGUAT PARTIKEL CANGKANG KELAPA SAWIT

ABDILAH SISMANTORO  
NRP 2713 100 145

Dosen Pembimbing :  
Ir. Moh. Farid, DEA.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

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





**TUGAS AKHIR- TL 141584**

**KARAKTERISASI BAHAN AKUSTIK POLIURETAN  
BERPENGUAT PARTIKEL CANGKANG KELAPA  
SAWIT**

**ABDILAH SISMANTORO  
NRP. 2713 100 145**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Moh. Farid, DEA.  
Haniffudin Nurdiansah, 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**

**CHARACTERIZATION OF POLYURETHANE/OIL  
PALM SHELL PARTICLES ACOUSTICAL  
MATERIALS**

**ABDILAH SISMANTORO  
NRP. 2713 100 145**

**Advisor**

**Ir. Moh. Farid, DEA.**

**Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**

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

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

**KARAKTERISASI BAHAN AKUSTIK  
POLIURETAN BERPENGUAT PARTIKEL  
CANGKANG 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 dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Abdilah Sismantoro**  
NRP. 2713 100 145

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Ir. Moh. Farid , DEA..... (Pembimbing I)

Haniffudin Nurdiansan..... (Pembimbing II)



**JANUARI 2017**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **Karakterisasi Bahan Akustik Poliuretan Berpenguat Partikel dari Cangkang Kelapa Sawit**

**Nama** : Abdilah Sismantoro  
**NRP** : 2713 100 145  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Moh Farid, DEA.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

### **ABSTRAK**

*Suara yang ditimbulkan oleh getaran mesin kendaraan akan sangat mengganggu kenyamanan pengendara maupun penumpang. Untuk mengurangi kebisingan tersebut, maka diaplikasikanlah sound absorption material pada interior kendaraan, semisal pada doorpanel. Bahan komposit Polyurethane berbahan dasar penguat partikel Oil Palm Shell (OPS) merupakan sebuah alternatif material peredam suara yang ramah lingkungan. Pada penelitian kali ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh fraksi massa partikel Oil Palm Shell terhadap morfologi, kekuatan lentur dan koefisien absorpsi suara pada aplikasi doorpanel. Dari hasil SEM didapat bahwa penambahan filler dapat mengecilkan pori dari foam PU. Komposit PU/OPS ini termasuk jenis porous absorber. Sedangkan hasil dari uji koefisien absorpsi suara dan kekuatan lentur tertinggi didapatkan pada fraksi massa 3% partikel OPS yaitu sebesar 0,432232 pada 4000 Hz dan 27,5274 MPa*

*(kata kunci : Sound Absorption Material, Doorpanel, Oil Palm Shell, Polyurethane, Porous Absorber)*

*(Halaman sengaja dikosongkan)*

## Characterization of Polyurethane/Oil Palm Shell Particles Acoustical Materials

**Name** : Abdilah Sismantoro  
**SRN** : 2713 100 145  
**Major** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Advisor** : Ir. Moh Farid, DEA  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

### ABSTRACT

*The noise that is generated by the vehicle engine would irritate the comfort in the car cabin. In reducing the noise, sound absorption material was used in the car cabin, specifically on the doorpanel. The Polyurethane/ Oil Palm Shell (OPS) particle-based composite can be chosen as the alternative sound absorption material since it utilizes the agricultural waste, which makes it environmentally friendly. The aim of this research was to analyze the effect of the OPS particle mass fraction on the morphology, flexural strength and sound absorption coefficient as the doorpanel application. The SEM result showed that the addition of OPS particle would reduce the pore size of the PU foam. The acoustic test showed that the PU/OPS particle composite was a porous absorber type. Meanwhile, the highest value of flexural modulus and sound absorption coefficient was obtained on the 3% OPS particle weight fraction with 0,432232 on 4000 Hz and 27,5274 MPa respectively. All of these result was within the range of the doorpanel properties standard.*

(kata kunci : Sound Absorption Material, Doorpanel, Oil Palm Shell, Polyurethane, Porous Absorber)

*(Halaman sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia, kesehatan, keselamatan, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul ***“KARAKTERISASI BAHAN AKUSTIK POLIURETAN BERPENGUAT PARTIKEL CANGKANG KELAPA SAWIT”***. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Selama melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan baik moriil maupun materiil
2. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberikan dukungan, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T selaku dosen pembimbing 2 yang telah sabar dalam memberikan dukungan, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS
5. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc selaku dosen wali penulis
6. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang serta Seluruh Dosen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS
7. Bathara, Mas Zul, Jede, dan Afira selaku teman seperjuangan Tugas Akhir

8. Teman-teman angkatan MT15, khususnya paramonster yang senantiasa menghadirkan canda dan tawa di tengah-tengah proses pengerjaan Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, Hal ini dikarenakan adanya keterbatasan kemampuan penulis dalam penyusunan laporan ini. Namun, penulis dapat mewujudkan laporan ini secara lengkap berkat adanya perhatian, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak. Dengan adanya kekurangan dan kesalahan dalam penulisan laporan ini. Untuk itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk menjadi evaluasi selanjutnya.

Demikian penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya khususnya bagi sesama mahasiswa yang menggeluti bidang material inovatif.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Material Komposit .....	5
2.2 Komposit Partikulat .....	7
2.3 Polyurethane .....	9
2.4 Serat Alam .....	13
2.5 Cangkang Kelapa Sawit.....	14
2.6 Faktor Ikatan <i>Filler</i> -Matriks .....	16
2.7 Hukum Pencampuran.....	18
2.8 Gelombang dan Bunyi .....	19
2.8.1 Gelombang.....	19
2.8.2 Bunyi.....	22
2.9 Kebisingan .....	24
2.10 Material Akustik .....	26
2.11 Koefisien Serap Bunyi.....	32
2.12 Standard untuk <i>Doorpanel</i> .....	35
2.13 Penelitian Terdahulu .....	36
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	39

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian .....	40
3.2.1 Bahan Penelitian .....	40
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	42
3.3 Variabel Penelitian .....	46
3.4 Metode Penelitian .....	46
3.4.1 Persiapan Bahan .....	46
3.4.1.1 Pengolahan Partikel OPS .....	46
3.4.1.2 Pengolahan Matriks Polyurethane .....	47
3.4.1.3 Pembuatan Cetakan.....	49
3.4.1.4 Pembuatan Komposit .....	50
3.4.2 Proses Pengujian.....	51
3.4.2.1 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara.....	51
3.4.2.2 Pengujian SEM/EDX.....	52
3.4.2.3 Pengujian FTIR .....	54
3.4.2.4 Pengujian Bending .....	56
3.4.2.5 Pengujian Densitas.....	57
3.4.2.6 Pengujian PSA .....	58
3.5 Rancangan Penelitian .....	59

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 FTIR .....	61
4.1.1 Analisa Hasil FTIR <i>Polyurethane</i> .....	61
4.1.2 Analisa Hasil FTIR OPS dan PU/OPS.....	64
4.2 SEM/EDX .....	66
4.2.1 Analisa SEM OPS .....	66
4.2.2 Analisa SEM PU/OPS.....	69
4.3 <i>Flexural</i> .....	72
4.4 Absorpsi Suara .....	75
4.5 Densitas .....	79

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran .....	81

**DAFTAR PUSTAKA .....**xxiii

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Komposit .....	7
Gambar 2.2	Komposit Partikulat.....	8
Gambar 2.3	Ikatan uretan dan reaksi pembentukan <i>Polyurethane</i> .....	10
Gambar 2.4	<i>Opened dan Closed Cell</i> .....	11
Gambar 2.5	Cangkang Kelapa Sawit.....	15
Gambar 2.6	Gelombang Transversal .....	20
Gambar 2.7	Gelombang Longitudinal .....	22
Gambar 2.8	Taraf Kebisingan .....	25
Gambar 2.9	Taraf Kebisingan terhadap Frekuensi.....	26
Gambar 2.10	Tipe Material Penyerap Suara .....	28
Gambar 2.11	Karakteristik <i>Porous Absorber</i> .....	29
Gambar 2.12	Karakteristik <i>Resonant Absorber</i> .....	30
Gambar 2.13	Karakteristik <i>Helmholtz Absorber</i> .....	31
Gambar 2.14	Karakteristik <i>Wideband Absorber</i> .....	32
Gambar 2.15	Skema Penyerapan Material <i>Absorber</i> .....	34
Gambar 2.16	Grafik Koefisien Absorpsi <i>Doorpanel</i> .....	35
Gambar 3.1	Diagram Alir.....	39
Gambar 3.2	<i>Oil Palm Shell</i> .....	40
Gambar 3.3	Air Destilasi .....	40
Gambar 3.4	Methanol.....	41
Gambar 3.5	PU A .....	41
Gambar 3.6	PU B .....	42
Gambar 3.7	<i>Muffle Furnace</i> .....	42
Gambar 3.8	Alat <i>Sieving</i> .....	43
Gambar 3.9	<i>Planetary Ball Mill</i> .....	43
Gambar 3.10	Alat Uji Absorpsi Suara.....	44
Gambar 3.11	SEM.....	44
Gambar 3.12	PSA.....	45
Gambar 3.13	FTIR .....	45
Gambar 3.14	Alat Uji <i>Flexural</i> .....	46
Gambar 3.15	Perendaman metanol.....	47
Gambar 3.16	Cetakan Spesimen Absorpsi .....	49

Gambar 3.17	Cetakan Spesimen <i>Flexural</i> .....	49
Gambar 3.18	Pencampuran Matriks dan <i>Filler</i> .....	50
Gambar 3.19	Dimensi Spesimen Absorpsi Suara.....	51
Gambar 3.20	Spesimen Absorpsi Suara .....	52
Gambar 3.21	Prinsip Kerja SEM.....	53
Gambar 3.22	Sampel Uji SEM.....	54
Gambar 3.23	Skema Uji FTIR.....	55
Gambar 3.24	Sampel Uji FTIR .....	55
Gambar 3.25	Dimensi Uji <i>Flexural</i> .....	56
Gambar 3.26	Spesimen Uji <i>Flexural</i> .....	57
Gambar 3.27	Sampel Uji Densitas .....	58
Gambar 3.28	Sampel Uji PSA.....	58
Gambar 4.1	Grafik Hasil Uji FTIR PU.....	61
Gambar 4.2	Skema Reaksi PU .....	63
Gambar 4.3	Grafik Hasil Uji FTIR PU/OPS .....	64
Gambar 4.4	Hasil SEM partikel OPS .....	66
Gambar 4.5	Hasil EDX partikel OPS .....	67
Gambar 4.6	Grafik Distribusi Partikel OPS .....	68
Gambar 4.7	Hasil SEM <i>Pure</i> PU.....	69
Gambar 4.8	Hasil SEM perbesaran 50x .....	70
Gambar 4.9	Hasil SEM perbesaran 250x .....	71
Gambar 4.10	Grafik Hasil Uji <i>Flexural Strength</i> .....	73
Gambar 4.11	Grafik Hasil Uji <i>Modulus</i> .....	75
Gambar 4.12	Grafik Hasil Uji Absorpsi Suara.....	77
Gambar 4.13	Grafik NRC.....	78
Gambar 4.14	Grafik Hasil Uji Densitas.....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat <i>Polyurethane</i> .....	13
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Serat Alam .....	14
Tabel 2.3 Sifat Cangkang Kelapa Sawit.....	15
Tabel 2.4 Komposisi Kimia Limbah Kelapa Sawit.....	16
Tabel 2.5 Koefisien Penyerapan Bunyi Material Akustik.....	33
Tabel 2.6 <i>Properties Doorpanel natural fiber-based</i> .....	36
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian .....	59
Tabel 4.1 Daerah Serapan PU A .....	62
Tabel 4.2 Daerah Serapan PU B.....	62
Tabel 4.3 Daerah Serapan <i>Pure</i> PU.....	63
Tabel 4.4 Daerah Serapan Partikel OPS.....	65
Tabel 4.5 Daerah Serapan 5%OPS/PU.....	65
Tabel 4.6 Hasil Uji PSA Nano .....	68
Tabel 4.7 Hasil Uji <i>Flexural Strength</i> .....	72
Tabel 4.8 Hasil Uji <i>Flexural Modulus</i> .....	73
Tabel 4.9 Hasil Uji Absorpsi Suara.....	76
Tabel 4.10 Hasil Uji Densitas.....	79

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Belakangan ini, jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya. Menurut Badan Pusat Statistik pada tahun 2016, jumlah kendaraan bermotor di Indonesia telah mencapai angka 104 juta unit. Melihat fenomena ini, sudah jelas bahwa tingkat kebisingan pun akan sangat tinggi. Terlalu tingginya jumlah kendaraan bermotor ini akan berdampak pada polusi suara yang timbul, semisal dari bunyi knalpot, klakson, bahkan suara getaran mesin kendaraan itu sendiri, khususnya pada kendaraan bermesin diesel yang notabene memiliki suara getaran mesin yang lebih tinggi. Kebisingan yang disebabkan oleh lalu lintas memiliki tekanan bunyi 80-100 dB. Terlebih lagi, sumber kebisingan tertinggi pada kehidupan manusia adalah pada kendaraan bermotor (55%).

Kebisingan yaitu bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan (KepMenLH No.48 Tahun 1996) atau semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat proses produksi dan atau alat-alat kerja pada tingkat tertentu dapat menimbulkan (KepMenNaker No.51 Tahun 1999). Kebisingan ini bukan merupakan hal yang bisa kita anggap sepele, karena merupakan polusi yang akan mengganggu pendengaran seseorang, dan juga akan mengakibatkan manusia bisa mengalami stress. (Lee, 2003).

Untuk menanggulangi permasalahan tersebut, berbagai teknologi sudah dilakukan. Seperti misalnya pada interior kabin penumpang. Suara dari luar yang masuk ke dalam kabin bisa mengurangi kenyamanan ketika berkendara. Hal ini biasa terjadi karena sistem peredaman di dalam mobil yang tidak optimal. Sistem peredaman suara ini biasanya terletak pada *doorpanel*. Tentunya untuk pembuatan interior kabin kendaraan, khususnya



pada *doorpanel* ini menggunakan bahan yang dapat mengabsorpsi suara. Sebagian besar bahan absorpsi suara yang diaplikasikan pada interior kabin ini masih banyak yang menggunakan bahan sintesis yang mana sangat tidak ramah lingkungan, terkadang mahal, bahkan sangat berpengaruh pada kesehatan manusia. Untuk itu digunakanlah serat alami sebagai bahan alternatifnya. Serat alami yang biasa digunakan yaitu rami, bambu, kenaf, kelapa dan lain-lain. Namun di antara serat-serat alami tersebut, pada penelitian kali ini dipilihlah cangkang kelapa sawit karena selain harganya murah, ramah lingkungan, juga ketersediaannya yang melimpah. Kelapa sawit yang digunakan berasal dari kota Dumai, provinsi Riau.

Afrika barat dan juga negara-negara asia tenggara, seperti Indonesia dan malaysia merupakan negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia (Okpala. 1990). Setiap 1 ha ladang kelapa sawit, per tahunnya menghasilkan 55 ton limbah pertanian dalam bentuk sumber serat dan 5,5 ton minyak (Hasamudin dkk.2002). Jumlah limbah pertanian ini juga merupakan salah satu problematika yang ingin ditanggulangi dengan pemakaian cangkang kelapa sawit sebagai serat alam untuk *sound absorber* ini.

Pada penelitian yang dilakukan Okpala (1990) didapatkan bahwa koefisien absorpsi suara semakin meningkat seiring dengan peningkatan rasio fraksi campuran cangkang kelapa sawit, yaitu didapatkan koefisien sebesar 0,34 dan 0,35 untuk rasio komposisi campuran 0,5% dan 0,6%. Hal ini sangat cocok untuk diaplikasikan untuk *doorpanel*, mengingat rata-rata koefisien absorpsi untuk aplikasi *doorpanel* ini sebesar 0,3 (Morkhlt, 2011).

Sementara itu, material *sound absorber* yang baik memiliki nilai koefisien absorpsi suara yang tinggi. Hal tersebut dapat tercapai jika material memiliki struktur berpori sehingga gelombang suara dapat diserap. Salah satu matriks yang memiliki struktur berpori adalah *Polyurethane*. *Polyurethane* merupakan polimer berbentuk *foam* yang mudah dibuat dan berlimpah. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai pengaplikasian serat cangkang kelapa sawit dengan matriks



*polyurethane* sebagai komposit penyerap suara pada aplikasi *doorpanel*.

Dengan pembuatan komposit untuk *sound absorption material* menggunakan komposit cangkang kelapa sawit dan matriks *polyurethane* ini diharapkan nantinya tercipta material *sound absorption* untuk komponen *doorpanel* yang memiliki kemampuan absorpsi yang tinggi dengan harga yang murah dan ramah lingkungan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, perumusan masalah yang akan diidentifikasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh fraksi massa partikel cangkang kelapa sawit terhadap morfologi untuk aplikasi *doorpanel*?
2. Bagaimana pengaruh fraksi massa partikel cangkang kelapa sawit terhadap nilai *flexural strength* dan *flexural modulus* untuk aplikasi *doorpanel*?
3. Bagaimana pengaruh fraksi massa partikel cangkang kelapa sawit terhadap nilai koefisien absorpsi suara untuk aplikasi *doorpanel*?
4. Fraksi massa partikel OPS mana yang sesuai untuk aplikasi *doorpanel*?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dimaksud untuk mengasumsikan parameter konstanta yang pengaruhnya dianggap sangat kecil pada penelitian ini, sehingga dapat diabaikan. Adapun batasan masalah tersebut, yaitu:

1. Pengotor pada saat penelitian dianggap tidak ada
2. Kadar uap air serta gas yang ada pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh
3. Distribusi serat dianggap merata



4. Densitas air dianggap  $1 \text{ gr/cm}^3$

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Menganalisa pengaruh fraksi massa partikel cangkang kelapa sawit terhadap morfologi untuk aplikasi *doorpanel*.
2. Menganalisa pengaruh fraksi massa partikel cangkang kelapa sawit terhadap *flexural strength* dan *flexural modulus* untuk aplikasi *doorpanel*.
3. Menganalisa pengaruh fraksi massa partikel cangkang kelapa sawit terhadap nilai koefisien absorpsi suara untuk aplikasi *doorpanel*.
4. Mengetahui fraksi massa partikel yang sesuai untuk aplikasi *doorpanel*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, diantaranya yaitu:

1. Menciptakan produk komposit baru dengan penguat partikel cangkang kelapa sawit dan polymer *polyurethane* sebagai material penyerap suara pada *doorpanel*
2. Sebagai solusi permasalahan limbah pertanian kelapa sawit, yaitu dengan pemanfaatan limbah organik yang ada sehingga dapat memberikan nilai guna lebih
3. Memberikan material alternatif di masa yang akan datang dengan memanfaatkan sumber daya alam disekitar.
4. Sebagai referensi penelitian yang berkaitan di masa yang akan datang

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Material Komposit**

Material Komposit dapat didefinisikan sebagai perpaduan antara dua material atau lebih untuk mendapatkan sifat yang lebih baik dari material penyusunnya ketika berdiri sendiri. Lain halnya dengan paduan logam, material penyusun pada komposit ini tetap mempertahankan masing-masing sifat kimiawi, fisik, maupun mekaniknya satu sama lain (Campbell, 2010).

Material komposit merupakan bahan gabungan secara makro yang didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda dalam bentuk dan atau komposisi material yang tidak dapat dipisahkan (Schwartz, 1984).

Dengan Penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat-sifat mekanik dan fisik dari material-material tersebut diantaranya adalah (Sulistijono, 2013):

- Konduktivitas Termal
- Ketahanan Fatik
- Kekuatan
- Tampilan
- Kekakuan
- Ketahanan Korosi
- Ketahanan Gesek
- Insulasi Listrik
- Berat
- Insulasi Panas

Keuntungan utama dari material komposit yaitu kekuatan dan kekakuan yang tinggi, digabungkan dengan densitas yang rendah jika dibandingkan dengan *bulk material*, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan material yang lebih ringan. (Campbell, 2010)



Material komposit terdiri dari dua penyusun utama yaitu matriks dan filler:

1. Matriks

Matriks adalah fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat secara bersamaan. Karakteristik yang dimiliki matriks umumnya adalah ulet, serta memiliki kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah dibanding reinforcednya (Sulistijono, 2013). Matriks ini juga mempunyai fungsi yaitu:

- a. Matriks mengikat *fibres*, menjaga agar tetap sejajar dengan arah tegangan. Beban yang diberikan terhadap komposit akan didistribusikan ke *fibres*, memungkinkan komposit untuk menerima *compression*, *flexural*, maupun *shear force*. Kemampuan komposit untuk menerima berbagai beban tergantung pada matriks sebagai media pentransfer beban, dan juga efisiensi dari transfer beban juga berkaitan dengan kualitas dari ikatan antara matriks dan *fibres*. (Harris, 1999):
- b. Matriks melindungi *reinforcing filaments* dari kerusakan mekanik, misalnya abrasi dan juga dari kondisi lingkungan lingkungan (Nayiroh, 2013).
- c. Matriks menyumbang beberapa sifat seperti kekakuan, ketangguhan dan tahanan listrik (Nayiroh, 2013).

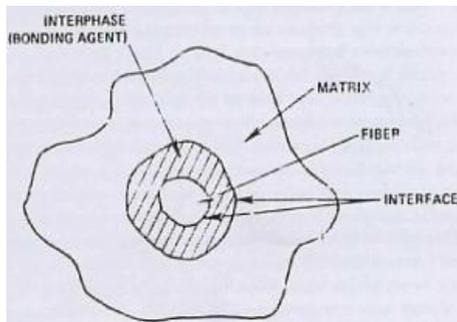
2. Reinforced

Reinforced adalah penguat yang ditempatkan di dalam matriks pada komposit dan harus memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi dari matriksnya. Penguat tidak selalu berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik komposit dan memberikan efek penguatan, tetapi juga digunakan untuk mengubah sifat-sifat fisik seperti sifat tahan aus, koefisien friksi atau konduktivitas termal.



Serat-serat penguat dapat dibuat dari logam, keramik, dan polimer yang diubah menjadi serat yang disebut kevlar atau serat grafit yang disebut dengan serat karbon. Serat yang ditanam dalam matriks akan meningkatkan modulus matriks. Ikatan yang kuat sepanjang serat memberikan modulus yang sangat tinggi (Sulistijono, 2013).

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; Matriks, sebagai penyusun dengan fraksi volume terbesar, Reinforced, sebagai penahan beban utama, *Interphase*, sebagai pelekat antar dua penyusun, dan *interface*, sebagai permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain. Berikut adalah Struktur komposit sebagaimana tertera pada gambar 2.1



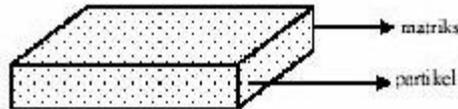
**Gambar 2.1** Struktur Komposit (Nayiroh, 2013)

## 2.2 Komposit Partikulat

Komposit partikulat merupakan komposit yang mengandung bahan penguat berbentuk partikel atau serbuk. Partikel sebagai bahan penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matrik. Ukuran, bentuk, dan material partikel adalah faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dari komposit partikel.



(Sulian, 2008). Ilustrasi komposit partikulat ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini



**Gambar 2.2** Komposit Partikulat (Sulian, 2008)

Sifat-sifat komposit partikel dipengaruhi beberapa faktor, antara lain (Sulian, 2008):

1. Ukuran dan bentuk partikel
2. Sifat-sifat atau bahan partikel
3. Rasio perbandingan antara partikel
4. Jenis matriks.

Partikel sebagai elemen penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matriks. Ukuran, bentuk dan material partikel adalah faktor-faktor yang mempengaruhi property mekanik dari komposit partikel. Pengaruh peningkatan kehalusan partikel pada komposit antara lain (Sulian, 2008):

1. Meningkatkan kerapatan
2. Meningkatkan nilai porositas
3. Meningkatkan kekuatan tekan dan kekuatan lentur.

Keunggulan komposit polimer yang menggunakan partikel antara lain dapat meningkatkan sifat fisis material seperti kekuatan mekanis, dan modulus elastisitas, serta kekuatan komposit lebih homogen. (Sulian, 2008)

Peran partikel dalam komposit partikel adalah membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat



deformasi plastik matriks yang ada di sela-sela partikel. Beberapa jenis partikel dapat dibagi menjadi seperti di bawah ini:

1. Partikulat  
Aspek rasio panjang terhadap diameter kurang dari 5 mikrometer
2. Dispersoidal  
Sama seperti partikulat, bahkan diameter kurang dari 1 mikrometer
3. Platelet  
Berbentuk plat dengan rasio diameter terhadap ketebalan lebih besar dari 2 mikrometer
4. Fiber pendek (Mat)  
Berbentuk silinder dengan rasio panjang terhadap diameter lebih besar dari 5 mikrometer
5. Whiskers  
Berupa kristal tunggal yang memanjang, dengan rasio panjang terhadap diameter lebih besar dari 10 mikrometer (Sulistijono, 2013)

### **2.3 Polyurethane**

Poliuretan merupakan bahan polimer yang mempunyai ciri khas adanya gugus fungsi uretan (-NHCOO-) dalam rantai utama polimer. Gugus fungsi uretan dihasilkan dari reaksi antara isosianat dengan senyawa yang mengandung gugus hidroksil (Ashida, 2007).

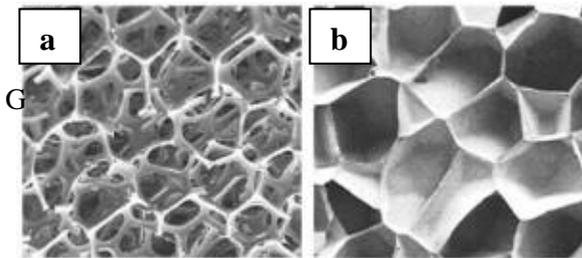
*Polyurethane* dibuat dengan mereaksikan molekul yang memiliki gugus isosianat dengan molekul yang memiliki gugus hidroksil, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Dengan demikian, jenis dan ukuran setiap molekul pembentuk akan memberikan sumbangan terhadap sifat *polyurethane* yang terbentuk. Hal inilah yang membuat *polyurethane* menjadi polimer yang sangat fleksibel baik dalam sifat mekanik maupun aplikasinya.





aplikasi sebagai insulasi dinding, *polyurethane* juga dapat dibuat menjadi tahan api dengan penambahan senyawa halogen.

*Polyurethane foam* didefinisikan sebagai substansi yang dibentuk dengan menjebak gelembung gas di dalam cairan atau padatan. *Polyurethane foam* diklasifikasikan ke dalam 3 tipe, yaitu flexible foam, rigid foam dan semi rigid foam. Perbedaan sifat fisik dari 3 tipe *polyurethane foam* tersebut berdasarkan pada perbedaan berat molekul, fungsionalitas polyol dan fungsionalitas isocyanate. Berdasarkan struktur selnya, foam dibedakan menjadi dua, yaitu closed cell (sel tertutup) dan opened cell (sel terbuka), seperti ditunjukkan pada gambar 2.4. Foam dengan struktur closed cell merupakan jenis rigid foam sedangkan foam dengan struktur opened cell adalah flexible foam. (Cheremisinoff,1989).



**Gambar 2.4** (a) *Opened Cell PU* (b) *Closed Cell PU* (Lee, 2005)

Polyurethane foam biasanya dibuat dengan menambahkan sedikit bahan volatile yang dinamakan sebagai bahan pengembang (blowing agent) untuk mereaksikan campuran. Acetone, methylene chloride dan beberapa chlorofluorocarbon (CFC13) yang sering digunakan sebagai bahan pengembang (blowing agent) pada pembuatan polyurethane. *Blowing agent* ini nantinya akan membentuk void pada polyurethane sehingga dalam jumlah yang banyak akan terbentuk foam.



Terdapat dua sistem yang dapat digunakan untuk membentuk polyurethane yaitu sistem one-step (one-shot process) dan Sistem two-step (prepolymer process). Sistem one-step umumnya digunakan dalam pembentukan polyurethane foam, sedangkan sistem two-step diaplikasikan pada produksi elastomer. Sistem one-step (one-shot process) adalah semua bahan baku untuk menghasilkan polimer dicampur bersama-sama (Klempner, 2001).

Keunggulan *polyurethane* dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya (*rubber, metal, wood dan plastic*):

1. Tingkat kekerasan suatu *spare part* sangat penting dalam penggunaan suatu mesin. Dengan menggunakan bahan *polyurethane* kekerasan suatu *spare part* dapat diatur sedemikian rupa dari *hardness 10 shore A* sampai dengan *95 shore A*.
2. Mempunyai tingkat abrasi yang tinggi yang mengakibatkan *spare part* yang terbuat dari bahan *polyurethane* tidak mudah aus.
3. *Spare part* yang terbuat dari bahan *polyurethane* dapat *flexible* terhadap temperature rendah (*low temperature*), bahan dapat dioperasikan sampai dengan dibawah  $0^{\circ}\text{C}$ .
4. *Spare part* yang terbuat dari bahan *polyurethane* tidak mudah sobek, kekuatannya lebih baik dari bahan *rubber*. Pemakaian *polyurethane* di Indonesia sebagai bahan pendukung industry masih sangat tergantung pada impor, walaupun beberapa industri sudah mulai mencoba memproduksi *polyurethane* di dalam negeri. Banyaknya pabrik kertas, furnitur, industri otomotif dan industri alas kaki di Indonesia membuat prospek usaha di bidang *polyurethane* di masa depan cukup menjanjikan, asalkan kita mau tekun mendalami teknik pembuatan dan pencetakannya.



Berikut dilampirkan sifat dari *polyurethane* pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Sifat *Polyurethane* (Kricheldorf, 2005)

Sifat fisik	
Massa jenis	1.12-1.24 gr/cm <sup>3</sup>
Serapan air	0.15-0.19 %
Penyusutan	0.4-1 %
Sifat mekanik	
Kekuatan Tarik	4500-9000 Psi
Perpanjangan hingga patah	60-550 %
Kekuatan terhadap impak Izod	1.5-1.8 ft-lb/in (tidak patah)
Sifat thermal	
Titik lebur	75-137 °C
Temperatur proses	370-500 °F

## 2.4 Serat Alam

Belakangan ini, para peneliti telah beralih untuk memanfaatkan serat alam karena sangat efektif dan ekonomis, serta dapat menghasilkan kualitas yang baik untuk aplikasi struktural, bangunan dan kebutuhan lainnya. Hal ini dikarenakan oleh ketersediaannya yang tinggi dan telah bertransformasi menjadi material alternatif.

Keuntungan dari penggunaan serat alam yang lain adalah berasal dari sumber yang dapat didaur ulang, keuntungan penting lainnya memiliki energi masuk yang rendah dalam proses pembuatannya. Beberapa kerugian dari penggunaan serat alam seperti penyerapan lembab yang tinggi, ketahanan panas yang rendah, dan sifat kekristalan yang rendah (Al-Kanbashi, 2005). Sifat mekanik dari berbagai serat alam ditunjukkan pada tabel 2.2 di bawah ini



**Tabel 2.2** Sifat Mekanik Serat Alam (Faruk, 2012)

<i>Fiber</i>	<i>Tensile strength (MPa)</i>	<i>Young's modulus (GPa)</i>	<i>Elongation at break (%)</i>	<i>Density (g/cm<sup>3</sup>)</i>
Abaca	400	12	3-10	1.5
Bagasse	290	17	-	1.25
Bamboo	140-230	11-17	-	0.6-1.1
Flax	345-1035	27.6	2.7-3.2	1.5
Hemp	690	70	1.6	1.48
Jute	393-773	26.5	1.5-1.8	1.3
Kenaf	930	53	1.6	-
Sisal	511-635	9.4-22	2.0-2.5	1.5
Ramie	560	24.5	2.5	1.5
Oil palm	248	3.2	25	0.7-1.55
Pineapple	400-627	1.44	14.5	0.8-1.6
Coir	175	4-6	30	1.2
Curaua	500-1150	11.8	3.7-4.3	1.4

## 2.5 Cangkang Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas andalan Indonesia yang perkembangannya sangat pesat. Selain produksi minyak sawit yang tinggi, produk samping atau limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak sawit juga tinggi, baik limbah cair maupun limbah padat. Limbah padatnya berupa tandan buah kosong dan cangkang kelapa sawit (Faruk, 2012).

Cangkang kelapa sawit termasuk dalam golongan kayu keras, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 dan secara kimia memiliki komposisi kimia yang hampir mirip dengan kayu yaitu tersusun dari lignin, selulosa, dan hemisellulosa dengan komposisi yang berbeda-beda. Kandungan selulosa pada cangkang sawit ini sebesar 45% dan hemisellulosa sebesar 26% (Faruk, 2012). Untuk sifat dari CKS ditunjukkan pada tabel 2.3,



sedangkan perbandingan komposisi kimia dari bagian kelapa sawit tertera pada tabel 2.4



**Gambar 2.5** Cangkang kelapa Sawit (Alengaram, 2013)

**Tabel 2.3** Sifat Cangkang Kelapa Sawit (Akinyosoye, 1976)

<i>Property</i>	<i>Quantity</i>
<i>Apparent Specific Gravity</i>	1,5
<i>Water Absorption</i>	21,3%
<i>Loose Bulk Density</i>	545 kgm <sup>-1</sup>
<i>Compacted Bulk Density</i>	595 kgm <sup>-1</sup>
<i>Thermal Conductivity</i>	0,19 Wm <sup>-1</sup> °C-t
<i>Aggregate Crushing Value</i>	4,67%
<i>Aggregate Compressive Strength</i>	12,06 Nmm <sup>-1</sup>
<i>Compressive Strength</i>	1,98 Nmm <sup>-1</sup>
<i>Porosity</i>	37%



**Tabel 2.4** Komposisi Kimia dari Limbah Kelapa Sawit (Saka, 2005)

Tipe Limbah Kelapa Sawit	Komposisi Kimia				
	<i>Cellulose</i>	<i>Hemicellulose</i>	<i>Lignin</i>	<i>Extractive</i>	<i>Ash</i>
Empty Fruit Bunch	38,3	35,3	22,1	2,7	1,6
Palm Kernel Shells	20,8	22,7	50,7	4,8	1,0
Palm Kernel Trunks	34,5	31,8	25,7	3,7	4,3
Fronds	30,4	40,4	21,7	1,7	5,8
Mesocarp Fiber	33,9	26,1	27,7	6,9	3,5

## 2.6 Faktor Ikatan *Filler*-Matriks

Dengan adanya partikel berupa filler, maka pada beberapa daerah pada resin sebagai matriks akan terisi oleh partikel, sehingga pada saat terjadi interlamellar stretching, deformasi yang terjadi pada bagian amorph dapat diminimalisir oleh partikel. Mekanisme penguatannya adalah bahwa dengan adanya partikel, maka jarak antara bagian polimer yang strukturnya kristalin (berbentuk seperti lempengan/lamelar) akan diperpendek oleh adanya partikel tadi. Dengan semakin meningkatnya jumlah partikel yang ada (sampai pada batasan tertentu dimana matriks masih mampu mengikat partikel), maka deformasi yang terjadi juga akan semakin berkurang, karena beban yang sebelumnya diterima oleh matriks akan diteruskan



atau ditanggung juga oleh partikel sebagai penguat. (Schwartz, 1984)

Ikatan antara matriks dan filler harus kuat. Apabila ikatan yang terjadi cukup kuat, maka mekanisme penguatan dapat terjadi. Tetapi apabila ikatan antar permukaan partikel dan matriks tidak bagus, maka yang terjadi adalah filler hanya akan berperan sebagai impurities atau pengotor saja dalam spesimen. Akibatnya filler akan terjebak dalam matriks tanpa memiliki ikatan yang kuat dengan matriksnya. Sehingga akan ada udara yang terjebak dalam matriks sehingga dapat menimbulkan cacat pada spesimen. Akibatnya beban atau tegangan yang diberikan pada spesimen tidak akan terdistribusi secara merata. Hal inilah yang menyebabkan turunnya kekuatan mekanik pada komposit.

Ikatan antar permukaan yang terjadi pada awalnya merupakan gaya adhesi yang ditimbulkan karena kekasaran bentuk permukaan, yang memungkinkan terjadinya interlocking antar muka, gaya elektrostatis yaitu gaya tarik menarik antara atom bermuatan ion, ikatan Van der Waals karena adanya dipol antara partikel dengan resin. Permulaaan kekristalan (nukleasi) pada polimer bisa terjadi secara acak di seluruh matriks ketika molekul-molekul polimer mulai bersekutu (nukleasi homogen) atau mungkin juga terjadi disekitar permukaan suatu kotoran (impurities asing), yaitu mungkin suatu nukleator sengaja ditambahkan sehingga terjadi nukleasi heterogen. Jadi partikel yang ditambahkan pada polimer akan berpengaruh terhadap kristalisasi dari polimer itu sendiri.

Peningkatan volume filler akan mengurangi deformability (khususnya pada permukaan) dari matriks sehingga menurunkan keuletannya. Selanjutnya, komposit akan memiliki kekuatan lentur yang rendah. Namun apabila terjadi ikatan antara matriks dan filler kuat sifat mekanik akan meningkat karena distribusi tegangan merata.

Pola distribusi dari partikel juga akan mempengaruhi kekuatan mekanik. Pola distribusi partikel dalam matriks dapat



dianalisa secara sederhana dengan menghitung densitas dari komposit pada beberapa bagiannya dalam satu variabel. Dari hasil perhitungannya, densitas komposit memiliki nilai-nilai yang berbedabeda dalam satu variabelnya. Hal ini menunjukkan pola sebaran dari partikel yang kurang homogen

## 2.7 Hukum Pencampuran

Sifat-sifat komposit pada umumnya ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain : jenis, bentuk geometris dan struktur, rasio perbandingan, daya lekat, orientasi bahan penguat bahan penyusun, dan proses pembuatan. (Zulhanif,2010)

Bila  $v_c$  adalah volume komposit yang mengandung volume serat  $v_f$  dan volume matriks  $v_m$  , maka diperoleh persamaan,

$$v_c = v_f + v_m \quad (2.1)$$

Jika fraksi volume serat  $V_f$  , fraksi volume matriks  $V_m$  , maka

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} ; V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (2.2)$$

Bila  $w_c$  adalah berat komposit yang mengandung berat serat  $w_f$  dan berat matriks  $w_m$  , maka diperoleh persamaan,

$$w_c = w_f + w_m \quad (2.3)$$

Jika fraksi berat serat  $W_f$  , fraksi volume matriks  $V_m$  , maka

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} ; W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad (2.4)$$

Dengan mengetahui densitas dari komposit, serat, dan matriks, maka bisa diperoleh konversi dari fraksi volume ke fraksi berat, sebagai berikut,

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot \frac{v_f}{v_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot V_f \quad (2.5)$$



$$W_f = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot V_f \quad (2.6)$$

$$W_m = \frac{\rho_m}{\rho_c} \cdot V_m \quad (2.7)$$

Densitas komposit, ditentukan dari persamaan dibawah ini

$$\rho_c \cdot v_c = \rho_f \cdot v_f + \rho_m \cdot v_m \quad (2.8)$$

$$\rho_c = \rho_f \cdot \frac{v_f}{v_c} + \rho_m \cdot \frac{v_m}{v_c} \quad (2.9)$$

$$\rho_c = \rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m \quad (2.10)$$

$$\rho_c = \frac{1}{\left(\frac{W_f}{\rho_f}\right) + \left(\frac{W_m}{\rho_m}\right)} \quad (2.11)$$

## 2.8 Gelombang dan Bunyi

### 2.8.1 Gelombang

Gelombang dapat didefinisikan sebagai getaran yang merambat melalui medium yang dapat berupa zat padat, cair, dan gas. Gelombang terjadi karena adanya sumber getaran yang bergerak terus-menerus. Medium pada proses perambatan gelombang tidak selalu ikut berpindah tempat bersama dengan rambatan gelombang. Misalnya bunyi yang merambat melalui medium udara, maka partikel-partikel udara akan bergerak osilasi (lokal) saja.

Gelombang berdasarkan medium perambatannya dapat dikategorikan menjadi :

- Gelombang mekanik:



Gelombang mekanik terdiri dari partikel-partikel yang bergetar, dalam perambatannya memerlukan medium. Contohnya gelombang bunyi, gelombang pada air, gelombang tali.

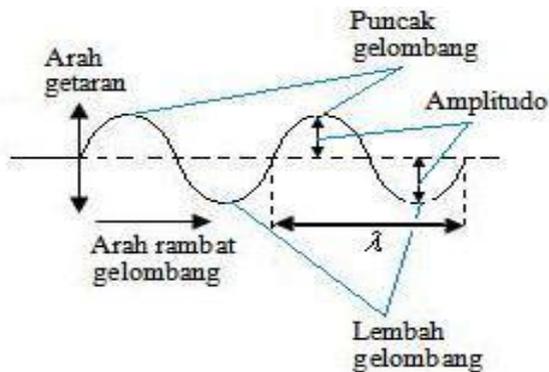
- Gelombang elektromagnetik:

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dihasilkan dari perubahan medan magnet dan medan listrik secara berurutan, arah getar vektor medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus. Perambatan gelombang ini tidak memerlukan medium dan bergerak mendekati kelajuan cahaya. Contohnya sinar gamma ( $\gamma$ ), sinar X, sinar ultra violet, cahaya tampak, infra merah, gelombang radar, gelombang TV, gelombang radio.

Berdasarkan arah getar dan arah rambat, gelombang dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

- Gelombang transversal

Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatnya tegak lurus terhadap arah getarnya, seperti pada gambar 2.6. contohnya seperti gelombang pada tali, gelombang permukaan air, gelombang cahaya.



**Gambar 2.6** Gelombang transversal (Irwan, 2013)



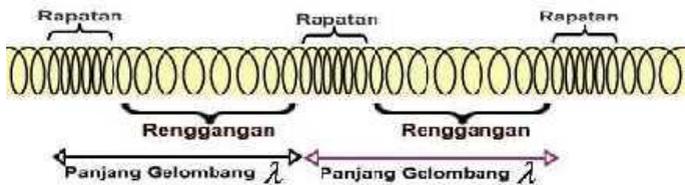
Jarak yang ditempuh oleh suatu gelombang per detik disebut cepat rambat gelombang. Cepat rambat gelombang dilambangkan dengan  $v$  dan satuannya m/s. Frekuensi ( $f$ ) adalah banyaknya gelombang yang melewati satu titik tiap satuan waktu, satuannya 1/sekon. Periode ( $T$ ) adalah waktu yang diperlukan oleh gelombang untuk melewati suatu titik, satuannya sekon. Hubungan antara  $v$ ,  $\lambda$ ,  $T$ , dan  $f$  ialah :

$$f = 1/T$$
$$\lambda = v \times T$$
$$\lambda = v/f$$
$$v = \lambda \times f$$

Jangkauan pendengaran telinga manusia dapat mendengar frekuensi 20 Hz sampai 20000 Hz. Jangkauan ini berbeda dari orang ke orang. Satu kecenderungan umum adalah jika bertambah tua, mereka makin tidak bisa mendengar frekuensi yang tinggi, sehingga batas frekuensi tinggi mungkin menjadi 10000 Hz atau kurang.

o Gelombang longitudinal.

Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah merambatnya searah dengan arah getarnya, contohnya gelombang bunyi dan gelombang pada pegas. Gelombang ini terdiri dari rapatan dan regangan. Rapatan adalah daerah-daerah dimana kumparan-kumparan mendekat selama sesaat. Regangan adalah daerah-daerah dimana kumparan-kumparan menjauh selama sesaat. Rapatan dan regangan berhubungan dengan puncak dan lembah pada gelombang transversal. Gambar 2.7 menunjukkan pola rapatan dan renggangan pada gelombang longitudinal.



**Gambar 2.7** Gelombang longitudinal (Irwan, 2013)

### 2.8.2 Bunyi

Bruel dan Kjaer (1986) mendefinisikan bahwa bunyi identik dengan pergerakan gelombang di udara yang terjadi bila sumber bunyi mengubah partikel terdekat dari posisi diam menjadi partikel yang bergerak. Bunyi merupakan hasil getaran dari partikel-partikel yang berada di udara dan energi yang terkandung dalam bunyi dapat meningkat secara cepat dan dapat menempuh jarak yang sangat jauh Howard, 2009).

Doelle (1972) menyatakan bahwa bunyi mempunyai dua definisi, yaitu:

- Secara fisis, bunyi adalah penyimpangan tekanan, pergeseran partikel dalam medium elastik seperti udara. Definisi ini dikenal sebagai bunyi *Obyektif*.
- Secara fisiologis, bunyi adalah sensasi pendengaran yang disebabkan penyimpangan fisis yang digambarkan pada bagian atas. Hal ini disebut sebagai bunyi *subyektif*.

Secara harafiah, bunyi dapat diartikan sebagai sesuatu yang kita dengar. Bunyi adalah suatu bentuk gelombang longitudinal yang merambat secara perapatan dan perenggangan terbentuk oleh partikel zat perantara serta ditimbulkan oleh sumber bunyi yang mengalami getaran.

Gelombang bunyi adalah gelombang yang dirambatkan sebagai gelombang mekanik longitudinal yang dapat menalar



dalam medium padat, cair dan gas. Medium gelombang bunyi ini adalah molekul yang membentuk bahan medium mekanik ini. Gelombang bunyi ini merupakan vibrasi/getaran molekul-molekul zat dan saling beradu satu sama lain namun demikian zat tersebut terkoordinasi menghasilkan gelombang serta mentransmisikan energi bahkan tidak pernah terjadi perpindahan partikel (Resnick dan Halliday , 1992). Apabila gelombang bunyi mencapai batas maka gelombang bunyi tersebut akan terbagi dua yaitu sebagian energi ditransmisikan/diteruskan dan sebagian lagi direfleksikan/dipantulkan. (Giancoli, 1998).

Bunyi merupakan gelombang longitudinal dengan membentuk rapatan-rapatan atau renggangan pada zat yang dilaluinya. Bunyi termasuk gelombang mekanik, karena dalam perambatannya bunyi memerlukan medium perantara, yaitu udara.

Syarat terdengarnya bunyi yaitu :

- Ada sumber bunyi yang bergetar
- Ada zat perantara (medium) yang memperlambat gelombang-gelombang bunyi, dari sumber bunyi ke telinga
- Getaran mempunyai frekuensi tertentu ( 20 Hz – 20.000 Hz )
- Indra pendengar dalam keadaan baik. (Yusril, 2013)

Bunyi dapat didengar oleh telinga manusia, apabila mempunyai frekuensi antara 16 Hz sampai 6 kHz. Jangkauan frekuensi ini disebut frekuensi audio (audible range). Frekuensi bunyi dibawah ambang batas pendengaran manusia (<16Hz) disebut frekuensi infrasonik. Sedangkan frekuensi diatas ambang batas pendengaran manusia (>16kHz) disebut frekuensi ultrasonik.

Secara umum tingkat frekuensi yang dipakai dalam pengukuran akustik lingkungan adalah 125. 250. 500. 1000. 2000 dan 4000 Hz atau 128. 256 .512. 1024. 2048. 2048 Hz. Tekanan



bunyi dan frekuensi sangat berpengaruh terhadap kebisingan. (Munthe, 2008)

## 2.9 Kebisingan

Kebisingan adalah bunyi atau suara yang tidak dikehendaki dan dapat mengganggu kesehatan dan kenyamanan lingkungan yang dinyatakan dalam satuan *desibel* (dB). Kebisingan juga dapat didefinisikan sebagai bunyi yang tidak disukai, suara yang mengganggu atau bunyi yang menjengkelkan. Berdasarkan Kepmenaker, kebisingan adalah suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat, proses produksi yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan kesehatan dan pendengaran (Nasri, 1997).

Bunyi yang menimbulkan kebisingan disebabkan oleh sumber suara yang bergetar. Getaran sumber suara ini mengganggu keseimbangan molekul udara sekitarnya sehingga molekul-molekul udara ikut bergetar. Getaran sumber ini menyebabkan terjadinya gelombang rambatan energi mekanis dalam medium udara menurut pola rambatan longitudinal. Rambatan gelombang diudara ini dikenal sebagai suara atau bunyi sedangkan dengan konteks ruang dan waktu sehingga dapat menimbulkan gangguan kenyamanan dan kesehatan (Nasri, 1997).

Sumber bising ialah sumber bunyi yang kehadirannya dianggap mengganggu pendengaran baik dari sumber bergerak maupun tidak bergerak. Umumnya sumber kebisingan dapat berasal dari kegiatan industri, perdagangan, pembangunan, alat pembangkit tenaga, alat pengangkut dan kegiatan rumah tangga. Di Industri, sumber kebisingan dapat di klasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu

- Mesin ; kebisingan yang ditimbulkan oleh aktifitas mesin.



- Vibrasi ; kebisingan yang ditimbulkan oleh akibat getaran yang ditimbulkan akibat gesekan, benturan atau ketidakseimbangan gerakan bagian mesin. Terjadi pada roda gigi, roda gila, batang torsi, piston, fan, bearing, dan lain-lain.
- Pergerakan udara, gas dan cairan; kebisingan ini ditimbulkan akibat pergerakan udara, gas, dan cairan dalam kegiatan proses kerja industri misalnya pada pipa penyalur cairan gas, outlet pipa, gas buang, jet, flare boom, dan lain-lain (Sastrowinoto, 1985).

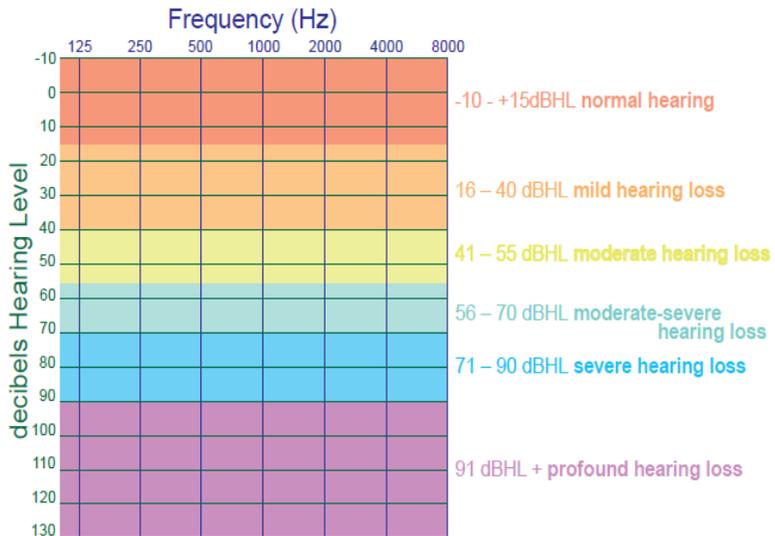
Kebisingan diklasifikasikan berdasarkan intensitas bunyi dari kebisingan itu sendiri, seperti ditunjukkan pada gambar 2.8 di bawah ini

Sound Pressure Level (dBA)	Typical Source	Subjective Evaluation
140 130 120 110	Long range gun, gunner's ear Threshold of pain Jet take-off at 100m Night club dance floor	Extremely noisy to intolerable
100 90	Loud car horn at 3 metres Heavy truck at 10m	Very noisy
80 70	Curbside of busy street Car interior	Loud
60 50	Normal conversation at 1m Office noise	Moderate to quiet
40 30	Living room in quiet area Inside bedroom at night	Quiet to very quiet
20	Unoccupied recording studio	Almost silent

**Gambar 2.8** Taraf Kebisingan (Jane, 2013)



Sedangkan untuk hubungan antara frekuensi dengan intensitas bunyi terhadap pendengaran manusia ditunjukkan oleh gambar 2.9 di bawah ini



**Gambar 2.9** Taraf kebisingan terhadap frekuensi (Audiogram, 2012)

## 2.10 Material Akustik

Material akustik adalah material teknik yang fungsi utamanya adalah untuk menyerap suara/bising. Material akustik adalah suatu bahan yang dapat menyerap energi suara yang datang dari sumber suara. Material penyerap suara menyerap energi suara yang melewatinya membuatnya sangat berguna untuk mengontrol kebisingan. Pada dasarnya semua bahan dapat menyerap energi suara, namun besarnya energi yang diserap berbeda-beda untuk tiap bahan. Energi suara tersebut dikonversi menjadi energi panas, yang merupakan hasil dari friksi dan



resistansi dari berbagai material untuk bergerak dan berdeformasi. Sama halnya dengan besar energi suara yang sangat kecil bila dilihat dalam satuan Watt, energi panas yang dihasilkan juga sangat kecil sehingga secara makroskopis tidak akan terlalu terasa perubahan temperatur pada bahan tersebut.

Menurut Lewis dan Douglas dalam Himawanto (2007) material akustik dapat dibagi ke dalam tiga kategori dasar, yaitu material penyerap (absorbing material), material penghalang (barrier material), material peredam (damping material). Material penghalang pada dasarnya memiliki massa yang padat, untuk material peredam biasanya adalah lapisan yang tipis untuk melapisi benda. Lapisan tersebut biasanya adalah plastik, polimer, *epoxy*, dan lain-lain. Sedangkan untuk material penyerap, biasanya berpori (*porous*) dan berserat (*vibrous*). Pada material penyerap suara, energi suara datang yang tiba pada suatu bahan akan diubah sebagian oleh bahan tersebut menjadi energi lain, seperti misalnya getar (vibrasi) atau energi panas. Oleh karena itu, bahan yang mampu menyerap suara pada umumnya mempunyai struktur berpori atau berserat.

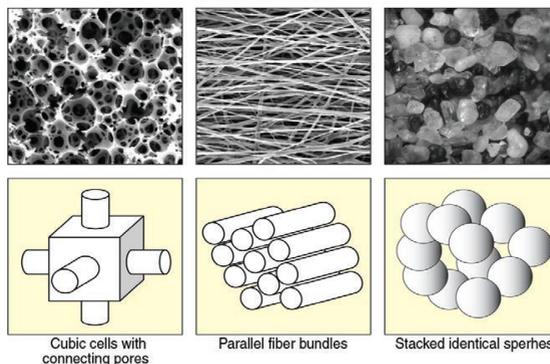
Ketika suara menumbuk material yang berserat, maka gelombang akan diserap kedalam material dan gelombang akan menjalar melewati celah diantara serat-serat sehingga gelombang suara yang keluar dari material akan berkurang. Sementara ketika gelombang suara memasuki material berpori, gelombang akan menyebar didalam porinya.

Bahan-bahan akustik yang tergolong sebagai bahan penyerap suara antara lain adalah *glass wool*, *rock wool*, *soft board*, *carpet*, kain, busa, *acoustic tiles*, *resonator*, dan lain-lain. Penyerap jenis berserat adalah penyerap yang paling banyak dijumpai, sebagai contoh jenis selimut mineral *wool* (*rockwool* atau *glasswool*). Penyerap jenis ini mampu menyerap bunyi dalam jangkauan frekuensi yang lebar dan lebih disukai karena tidak mudah terbakar. Namun kelemahannya terletak pada model permukaan yang berserat sehingga harus digunakan dengan hati-



hati agar lapisan serat tidak rusak/cacat dan kemungkinan terlepasnya serat-serat halus ke udara karena usia pemakaian. Penyerap dari bahan berserat dipasarkan dari berbagai ketebalan dan kerapatan sehingga yang paling sesuai dengan frekuensi bunyi yang hendak diserap. Sebagai gambaran umum untuk menyerap bunyi frekuensi rendah diperlukan penyerap berserat dalam ketebalan yang lebih bila dibandingkan dengan untuk menyerap suara berfrekuensi tinggi. Sebagai contoh bila untuk suara berfrekuensi tinggi dibutuhkan ketebalan 30 mm, maka untuk frekuensi rendah dibutuhkan ketebalan 75 mm sampai dengan 100 mm (Mediastika, 2009).

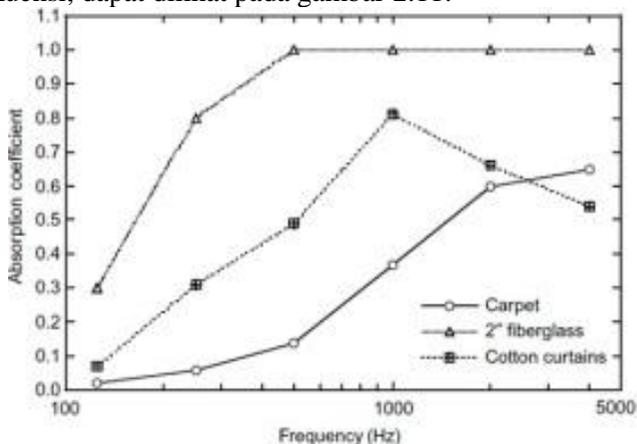
Material penyerap berpori dapat diklasifikasikan sebagai selular, serat, dan granular pada konfigurasi mikroskopisnya. Material ini terdiri dari lubang kecil sebagai jalan masuknya gelombang suara. Sel Polyurethane dan foam adalah salah satu jenis dari material selular. Sementara material serat biasanya 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 2.10 mengenai klasifikasi material penyerap berpori yang dibagi menjadi tiga yaitu, selular, serat dan granular.



**Gambar 2.10** Tipe material Penyerap Suara (Arenas, 2010)



Sementara itu, menurut Howard (2009), jika ditinjau dari karakteristik penyerapan suara, ada 4 jenis material absorbs suara yaitu *porous absorber*, *resonant absorber*, *helmholtz absorber* dan *wideband absorber*. 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 2.11:

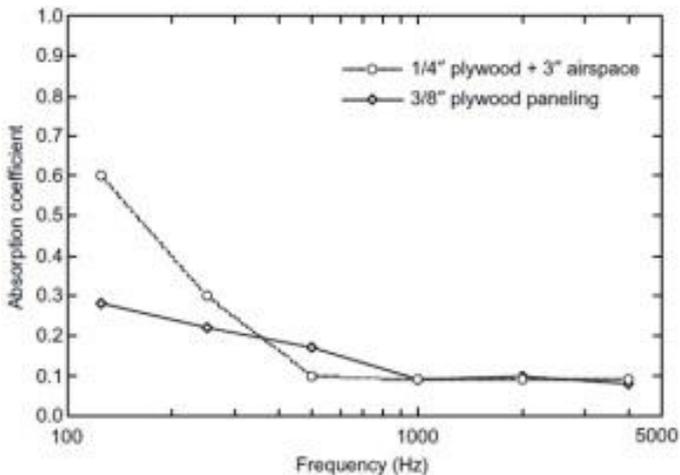


**Gambar 2.11** Karakteristik Penyerapan Suara *Porous Absorber* (Howard, 2009)

Bahan penyerap suara tipe resonansi seperti panel kayu tipis, menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran, yang kemudian diubah menjadi energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya (misal oleh udara, atau material berpori). Ini berarti, material tipe ini lebih sensitif terhadap komponen tekanan dari gelombang suara

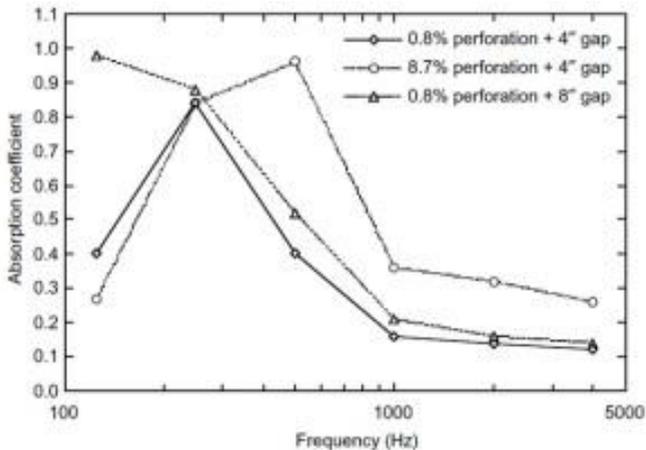


yang datang, sehingga lebih efektif apabila ditempelkan pada dinding. Bahan penyerap tipe ini lebih dominan menyerap energi suara ber frekuensi rendah. Frekuensi resonansi bahan ini ditentukan oleh kerapatan massa dari panel dan kedalaman (tebal) rongga udara dibaliknya . Tipikal respon frekuensi bahan penyerap tipe ini adalah seperti pada gambar 2.12:



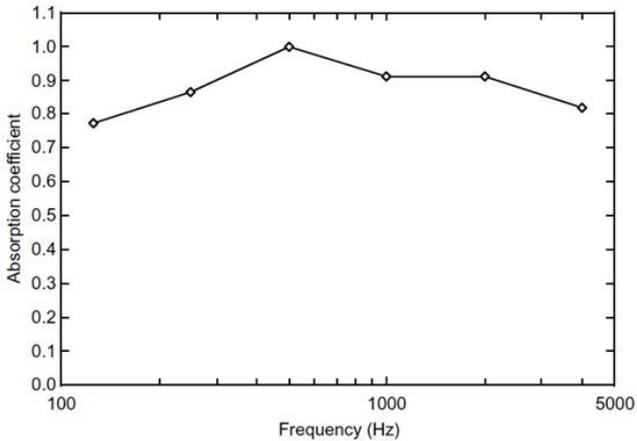
**Gambar 2.12** Karakteristik Penyerapan Suara *Resonant Absorber* (Howard, 2009)

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 seperti *reactive muffler* menjadi ciri utama resonator yang bekerja pada frekuensi tertentu, tergantung pada ukuran lubang, leher, dan volume ruang udaranya. Tipikal respon frekuensi bahan penyerap tipe ini adalah seperti pada gambar 2.13 di bawah ini



**Gambar 2.13** Karakteristik Penyerapan Suara *Helmholtz Absorber* (Howard, 2009)

Apabila diinginkan sebuah dinding 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 dinding atau partisi besar untuk seluruh daerah frekuensi. Material seperti ini disebut *wideband absorber*. Tipikal respon frekuensi bahan penyerap tipe ini adalah seperti pada gambar 2.14 di bawah ini



**Gambar 2.14** Karakteristik Penyerapan Suara *Wideband Absorber* (Howard, 2009)

## 2.11 Koefisien Serap Bunyi

Kemampuan suatu material untuk menyerap bunyi sangat bervariasi. Besarnya penyerapan bunyi ketika gelombang bunyi menumbuk material penyerap dinyatakan dengan koefisien serap bunyi ( $\alpha$ ). Selain itu kemampuan tersebut juga bergantung pada struktur dan massa jenis material. Kualitas dari bahan peredam suara ditunjukkan dengan harga  $\alpha$  (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi), semakin besar  $\alpha$  maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai  $\alpha$  berkisar dari 0 sampai 1. Jika  $\alpha$  bernilai 0, artinya tidak ada bunyi yang diserap. Sedangkan jika  $\alpha$  bernilai 1, artinya 100% bunyi yang datang diserap oleh bahan. Untuk nilai koefisien penyerapan bunyi pada berbagai material dengan ketebalan tertentu dapat dilihat pada tabel 2.5 dibawah ini

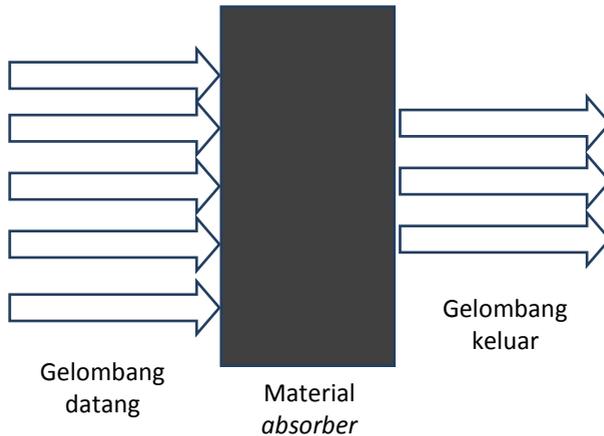


Tabel 2.5 Keofisien penyerapan bunyi dari material akustik  
(Doelle, 1993)

Material	Frekuensi (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Gypsum board</i> (13mm)	0,2 9	0,1 0	0,0 5	0,04	0,07	0,09
Kayu	0,1 5	0,1 1	0,1 0	0,07	0,06	0,07
Gelas	0,1 8	0,0 6	0,0 4	0,03	0,02	0,02
Beton	0,0 1	0,0 1	0,0 2	0,02	0,02	0,03
Bata	0,0 3	0,0 3	0,0 3	0,04	0,05	0,07
<i>Steel deck</i>	0,5 8	0,6 4	0,7 1	0,63	0,47	0,40

Proses pemindahan daya bunyi dari suatu ruang tertentu, dalam mengurangi tingkat tekanan bunyi dalam volume tertentu, dikenal sebagai penyerapan bunyi. Proses ini berkaitan dengan penurunan jumlah energi bunyi dari udara yang menjalar hingga ia mengenai suatu media berpori atau fleksibel. Bagian energi terserap ketika gelombang bunyi dipantulkan darinya disebut dengan koefisien serapan bunyi dari material.

Proses penyerapan bunyi dari suatu material terjadi ketika gelombang bunyi menumbuk material tersebut. Kemudian beberapa gelombang akan diserap dan yang lain diteruskan melewati material tersebut, seperti pada gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Skema Penyerapan Suara Oleh Material Absorber (Doelle, 1993)

Nilai absorpsivitas suara dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i} \quad (2.10)$$

Sementara,

$$W_a = W_i - W_o \quad (2.11)$$

Sehingga

$$\alpha = \frac{W_i - W_o}{W_i} \quad (2.12)$$

Dimana,  $W_a$  adalah daya suara yang diserap dengan satuan dB.  $W_i$  adalah daya suara yang tiba pada permukaan bahan dengan satuan dB.  $W_o$  adalah daya suara yang keluar dari permukaan bahan dengan satuan dB.  $\alpha$  adalah nilai absorpsi suara.

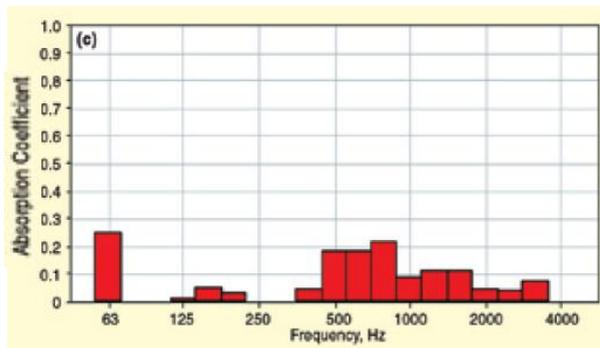


## 2.12 Standard untuk *Door Panel*

Kebisingan pada kabin kendaraan banyak disebabkan oleh beberapa sumber, seperti suara getaran mesin, suara roda, lalu lintas luar, knalpot, bahkan angin. Hal tersebut sangat mengganggu kenyamanan pengendara di dalam kabin kendaraan (Kiran, 2005)

*Door panel* merupakan salah satu komponen interior kabin yang diaplikasikan sebagai *sound absorber*. Untuk metode pembuatan *door panel* ini, *polyurethane* dapat digunakan sebagai substrat, *backfill*, bahkan sebagai dekorasi. Substratnya biasanya *polyurethane* dengan 10 hingga 20% *filler* (Mazzoni, 2005)

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan Jakob pada tahun 2005, didapatkan bahwa pada aplikasi *door panel*, koefisien absorpsi suara pada rentang pita 1/3 oktaf memiliki nilai seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16



**Gambar 2.16** Hasil Pengujian Koefisien Absorpsi Suara Aplikasi Doorpanel (Jakob, 2005)

Pengaplikasian serat natural pada *doorpanel* juga telah dilakukan oleh Johnson Control pada tahun 2014 dengan menggunakan *Wood-Stock*, *Technogor*, dan *Gornaf* dalam bentuk *thermoplastic sheet*. Penggunaan serat alam pada aplikasi *doorpanel* ini telah digunakan oleh mobil Peugeot 406 Coupe.



Tabel 2.6 menunjukkan *properties* dari komposit untuk aplikasi *doorpanel* tersebut.

**Tabel 2.6** *Properties* dari *Doorpanel Natural Fiber-based*  
(Gardiner, 2014)

Nama Komposit	Density ( $gr/cm^3$ )	Flexural Modulus (MPa)
Wood-Stock®	1,1	18
Technogor® natural fiber	1,0	23
Technogor® mineral fiber	1,2	26
Gornaf ®	0,96	33

### 2.13 Penelitian Terdahulu

Banyak penelitian mengenai pengaplikasian komposit dengan menggunakan serat alam sebagai material penyerap suara. Menurut Bella dan Farid (2016), komposit serat bambu betung dan rami dengan matriks gypsum memiliki kemampuan penyerapan suara yang berbeda-beda pada frekuensi tertentu. Pada frekuensi 500Hz didapatkan nilai  $\alpha$  sebesar 0,347. Pada frekuensi 1000 Hz, nilai  $\alpha$  sebesar 0,376. Pada frekuensi 2000 Hz, nilai  $\alpha$  sebesar 0,404. Sedangkan pada frekuensi 4000 Hz, nilai  $\alpha$  sebesar 0,435. Seiring bertambahnya frekuensi, besar  $\alpha$  pun meningkat

Farid dan Erdin (2016), komposit serat bambu dengan *polyurethane* mempunyai kemampuan penyerapan suara yang berbeda-beda pada frekuensi tertentu. Pada frekuensi 500 Hz, nilai  $\alpha$  (koefisien absorpsi) sebesar 0,404. Seiring bertambahnya frekuensi, besar  $\alpha$  pun meningkat. Pada frekuensi 2000 Hz, nilai rata-rata  $\alpha$  sebesar 0,428 dan frekuensi 4000 Hz, nilai rata-rata  $\alpha$  sebesar 0,435. Selain itu, komposit *polyurethane* berpenguat serat kelapa mengalami peningkatan koefisien absorpsi seiring bertambahnya frekuensi. Nilai koefisien absorpsi terbaik terjadi



pada frekuensi 2000 dan 4000 Hz yaitu sebesar 0,444 (Farid dan Rani, 2016). Akan tetapi, perlu diketahui bahwa semakin besar nilai dari koefisien absorpsi suara suatu material bukan berarti bahwa material tersebut bagus, hal ini dikembali lagi pada kegunaannya (Suban dan Farid, 2015).

Okpala (2015) melakukan penelitian mengenai penambahan serbuk cangkang kelapa sawit sebagai agregat dari konkrit. Didapatkan bahwa koefisien absorpsi pada fraksi massa powder 0,5% dan 0,6% adalah sebesar 0,34 dan 0,35.

Nabinejad dan Sujan (2014) meneliti tentang komposit berpenguat serbuk cangkang kelapa sawit dengan berbagai variasi ukuran partikel bermatriks *polyester*, didapatkan bahwa ukuran powder  $600 \mu\text{m} < \text{size} < 1.18 \text{ mm}$  memiliki *flexural* dan *tensile modulus* tertinggi yaitu senilai 4000 MPa dan 1500 Mpa, sedangkan ukuran powder  $50 \mu\text{m} < \text{size} < 75 \mu\text{m}$  memiliki *flexural strength* tertinggi yaitu senilai 83 Mpa. Sehingga sifat mekanik akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel.

Sakti (2012) mendapatkan hasil bahwa dengan penambahan *blowing agent* akan memperbaiki dan memperbanyak *foam*. Dikarenakan *blowing agent* memiliki *boiling temperature* yang rendah sehingga ketika terjadi reaksi pada pembuatan *polyurethane* akan menguap dan memperbanyak *foam*.

Selain itu, Saba et al. (2016) mendapatkan sifat mekanik yang baik untuk komposit epoksi berpenguat *nanofiller* dari serat kelapa sawit pada penambahan *nano filler* sebanyak 3%. Sifat mekanik yang didapat antara lain kekuatan tarik, elongasi, dan modulus elastisitas. Pada pengujian, diperoleh kekuatan tarik sebesar 29 MPa, elongasi 1,4%, dan modulus elastisitas sebesar 1,25 GPa.

Berdasarkan penelitian terdahulu, masih diperlukan bahan akustik yang memiliki daya serap suara yang tinggi dan juga sifat mekanik yang baik. Serat kelapa dan kelapa sawit memiliki



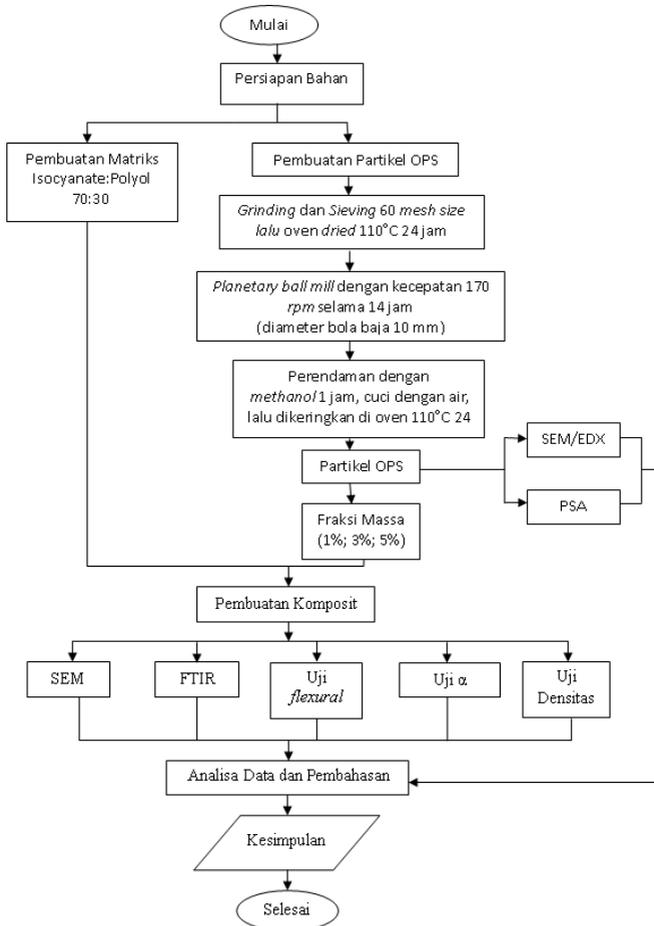
perbedaan pada kandungan selulosanya, dimana pada kelapa sawit memiliki kandungan selulosa yang lebih banyak. Hal ini berpengaruh ke sifat mekanik yang lebih baik. Namun, merujuk pada penelitian terdahulu pula, sangat jarang ditemukan penelitian yang mengaplikasikan kelapa sawit, terutama bagian cangkangnya, untuk dijadikan aplikasi penyerap suara.

Sehingga, pada penelitian kali ini, akan dilakukan sintesis komposit partikel cangkang kelapa sawit/*polyurethane*, kemudian dilakukan analisa pengaruh fraksi massa *nanoparticles* cangkang kelapa sawit terhadap koefisien absorpsi suara, morfologi, serta kelenturan, dengan harapan didapatkan fraksi massa partikel cangkang kelapa sawit yang optimal sebagai aplikasi bahan akustik yang baik dan ramah lingkungan.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 3.1 menunjukkan diagram alir dari penelitian kali ini



**Gambar 3.1** Diagram Alir



### **3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian**

#### **3.2.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang diperlukan pada penelitian ini antara lain:

1. *Oil Palm Shell (OPS)*



**Gambar 3.2** *Oil Palm Shell*

2. Air Destilasi



**Gambar 3.3** Air Destilasi



### 3. *Methanol*



**Gambar 3.4** Methanol

### 4. Polimer *Isocyanate*



**Gambar 3.5** Polyurethane A

### 5. Polimer *Polyol*



**Gambar 3.6** Polyurethane B

### 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. *Muffle Furnace*  
*Muffle furnace* yang digunakan milik Laboratorium Kimia Analitik di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, seperti ditunjukkan pada gambar 3.7 di bawah ini.



**Gambar 3.7** *Muffle Furnace*



4. Mesin *sieving*

Mesin *sieving* yang digunakan milik Laboratorium Fisika Material milik Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS, seperti ditunjukkan pada gambar 3.8 di bawah ini.



**Gambar 3.8** Alat *Sieving*

5. *Planetary Ball Mill*

*Planetary Ball Mill* yang digunakan milik Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS, seperti ditunjukkan pada gambar 3.9



**Gambar 3.9** *Planetary Ball Mill*



6. Alat Uji Absorpsi Suara  
Alat uji absorpsi suara milik Laboratorium Akustik Material di Jurusan Teknik Fisika ITS, seperti ditunjukkan pada gambar 3.10



**Gambar 3.10** Alat Uji Absorpsi Suara

7. Alat Uji SEM  
Alat SEM yang digunakan milik laboratorium di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS, seperti ditunjukkan pada gambar 3.11 di bawah ini.



**Gambar 3.11** Alat SEM



8. Alat Uji PSA  
Alat PSA yang digunakan yaitu milik Fisika LIPI, seperti ditunjukkan pada gambar 3.12



**Gambar 3.12** Alat PSA

9. Alat Uji FTIR  
Alat uji FTIR yang digunakan milik laboratorium di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS, seperti ditunjukkan pada gambar 3.13



**Gambar 3.13** Alat FTIR



#### 10. Alat Uji Flexural

Alat uji flexural yang digunakan milik Laboratorium Farmasi Universitas Airlangga, seperti ditunjukkan pada gambar 3.14.



**Gambar 3.14** Alat *Flexural*

### **3.3 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbandingan fraksi massa partikel OPS masing-masing komposisi sebesar 1%, 3% dan 5%.

### **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 yang kita lakukan.

##### **3.4.1.1 Pengolahan Partikel *Oil Palm Shell (OPS)***

1. OPS dijemur selama 2 hari untuk menghilangkan kelembaban



2. Lalu dilakukan *grinding* dan *sieving* hingga 60 *mesh size*
3. Lakukan pengeringan dengan *muffle furnace* pada temperatur 110°C selama 24 jam
4. Serbuk halus cangkang kelapa sawit di *grinding* kembali dengan *Planetary ball mill* pada 170 rpm selama 14 jam (ball to powder weight ratio of 10:1) (diameter bola baja 10mm) (*Zirconium Ball*)
5. Setelah itu dilakukan perendaman dengan *methanol* selama 1 jam lalu cuci dengan air untuk menghilangkan *impurities.*, seperti pada gambar 3.15



**Gambar 3.15** Perendaman Methanol

6. Lakukan pengeringan dengan *muffle furnace* kembali 110°C selama 24 jam untuk menghindari aglomerasi dan menghindari kontak dengan moisture

### **3.4.1.2 Pengolahan Matriks *polyurethane***

*Phenyl-Isocyanate* (*Polyurethane A*) dan *Polypropylene Glycol* (*Polyurethane B*) dimasukkan dalam wadah berbeda lalu ditimbang sesuai perhitungan.

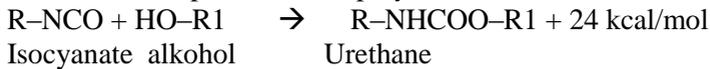
Ada dua reaksi kimia penting pada pembentukan *Polyurethane Foam*. Reaksi pertama adalah antara *Isocyanate* dengan *Polyol* membentuk *Polyurethane*. Reaksi kedua adalah



reaksi antara air dan *Isocyanate* menghasilkan poliurea dan gas CO<sub>2</sub> sebagai *chemical blowing agent* (Wang, 1998)

Reaksinya secara sederhana dapat dituliskan sebagai berikut:

- Reaksi pembentukan polyurethane :



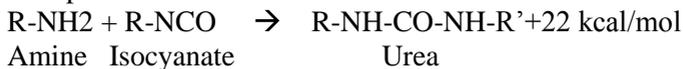
Salah satu faktor yang penting dalam pembuatan *Polyurethane* adalah reaksi oleh *Isocyanate*. *Isocyanate* sangat reaktif terhadap suatu nukleofil, hal ini disebabkan oleh posisi atom C pada *isocyanate* berada di antara dua elemen elektronegatif, yaitu oksigen dan nitrogen. Pada kondisi ini, atom karbon menjadi kekurangan elektron sehingga ketika bertemu dengan atom yang kaya elektron (nukleofil), dengan cepat akan membentuk suatu ikatan. Dengan kata lain, atom C adalah elektron akseptor dan sebagai elektron donor adalah atom oksigen dari polyol, ikatan kedua atom tersebut kemudian menghasilkan polyurethane.

- Reaksi produksi gas :

Tahap I:



Tahap II :



Adanya senyawa hidrogen aktif dalam air akan mempercepat reaksi antara air dan *isocyanate*, dimana reaksi tersebut diawali dengan memproduksi asam karbamat yang tidak stabil sehingga cepat terdekomposisi menjadi amine dan melepaskan gas CO<sub>2</sub>. Selanjutnya amine akan bereaksi dengan isocyanate yang belum terkonversi untuk menghasilkan urea sebagai *hard segment*.

Halokarbon dan hidrokarbon dipilih sebagai *blowing agent* sebab memiliki titik didih pada atau mendekati suhu kamar.



Karena reaksi polimerisasi bersifat isotermik, *blowing agent* ini menguap menjadi gas saat proses reaksi berlangsung. Keduanya mengisi dan memuai matriks polimer, menciptakan *foam*. Sel *foam* merupakan hasil *blowing agent* yang tercampur baur ke dalam gelembung yang diaduk ke dalam sistem di waktu pencampuran. Kenyataannya, *foam* mikroseluler berdensitas tinggi bisa dibentuk tanpa penambahan *blowing agent* dengan pembuihan secara mekanis komponen polioliol sebelum digunakan (Wang, 1998).

### 3.4.1.3 Pembuatan Cetakan

1. Untuk cetakan uji absorpsi suara terbuat dari cetakan kue dengan diameter 100 mm, seperti ditunjukkan pada gambar 3.16



**Gambar 3.16** Cetakan Spesimen Absorpsi Suara

2. Untuk cetakan Uji Bending terbuat dari seng dengan ukuran 140x15x5 mm, seperti ditunjukkan pada gambar 3.17



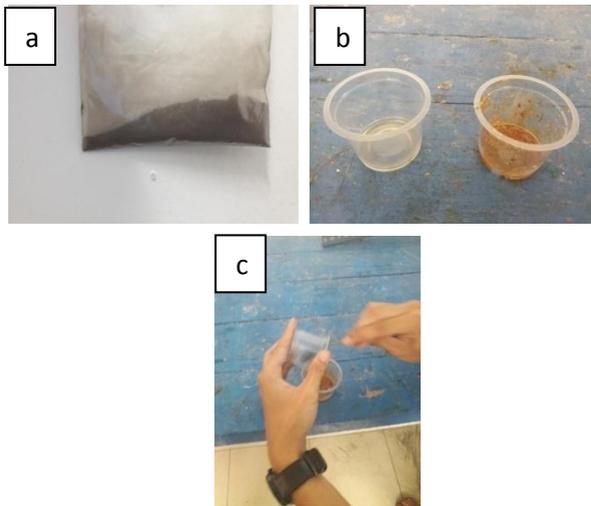
**Gambar 3.17** Cetakan Spesimen *Flexural*



#### 3.4.1.4 Pembuatan Komposit

1. Pembuatan spesimen dilakukan dengan menimbang massa *phenylisocyanate* dan *polypropyleneglycol* sesuai dengan perbandingan komposisi yang ditentukan
2. Setelah itu menimbang massa partikel OPS sesuai dengan fraksi yang ditentukan
3. Partikel OPS yang telah ditimbang lalu dimasukkan kedalam wadah yang berisi polypropyleneglycol, kemudian diaduk hingga rata.
4. Kemudian menuangkan *phenylisocyanate* kedalam wadah dan diaduk hingga pencampuran homogen dan campuran menjadi berwarna terang.
5. Campuran tersebut dituangkan kedalam cetakan dan dibiarkan selama 1 hari.
6. Spesimen dikeluarkan dari cetakan.
7. Spesimen disesuaikan dimensinya dengan standar pengujian.

Gambar 3.18 menunjukkan tahapan pencampuran dalam membuat komposit PU/OPS.



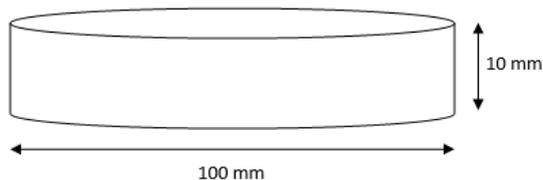


**Gambar 3.18** (a) Partikel OPS (b) Polyol dan Isocyanate (c) mencampurkan ketiga bahan

### 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 3.19 berikut :



**Gambar 3.19** Dimensi Spesimen Uji Absorpsi Suara

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

Prinsip pengujian koefisien absorpsi suara adalah specimen yang berbentuk lingkaran dimasukkan ke dalam bagian kepala tabung impedansi kemudian diatur frekuensi suara pada amplifier dengan frekuensi 125 – 4000 Hz maka speaker akan



memberikan suara ke dalam tabung impedansi dan sound level meter.

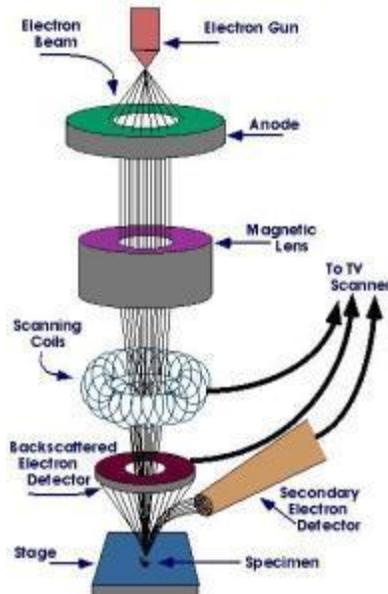
Untuk pengujian absorbs suara specimen dibuat dengan cetakan kue dengan ukuran diameter 10cm dan tebal 1cm. Pada cetakan kue tersebut dilapisi dengan Aluminium Foil agar mudah dilepas, kemudian specimen dirapikan. Specimen ditunjukkan seperti pada gambar 3.20



**Gambar 3.20** Spesimen Uji Absorpsi Suara

#### **3.4.2.2 Pengujian SEM/EDX**

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 3.21.



**Gambar 3.21** Prinsip Kerja SEM

Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material. Standar yang digunakan adalah ASTM E986. Sampel uji seperti ditunjukkan pada Gambar 3.22. 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.

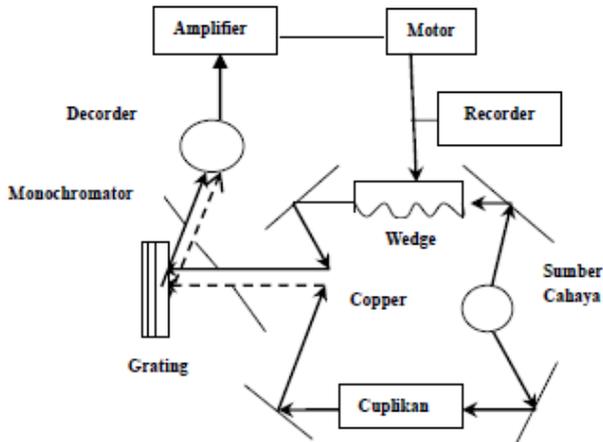


**Gambar 3.22** Sampel Uji SEM

### 3.4.2.3 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia/gugus fungsi yang ada pada serbuk cangkang kelapa sawit, *polyol*, *isocyanate*, dan juga komposit secara keseluruhan. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pertama kali karena untuk mengetahui ikatan dari serbuk cangkang kelapa sawit, *polyol* dan *isocyanate*, serta untuk mengkonfirmasi apakah bahan yang dipakai telah sesuai.

Skema dari mesin FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.23 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 3.23** Skema Uji FTIR

Spesimen yang digunakan untuk pengujian FTIR berupa cuplikan kecil dari material yang dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 3.24. Mesin uji FTIR yang digunakan adalah Nicolet IS10. Sampel diletakkan *sample holder*, kemudian *detector* didekatkan pada sampel. Sampel, yang dapat dengan mudah diuji oleh FTIR, termasuk pelet polimer, bagian, sampel buram, serat, bubuk, pelapis kawat, dan cairan.



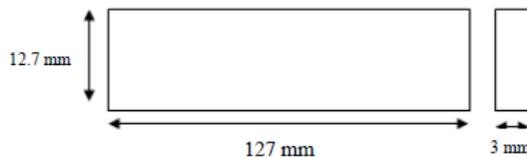
**Gambar 3.24** Sampel Uji FTIR



### 3.4.2.4 Pengujian *Bending*

Nilai kelenturan digunakan untuk menunjukkan kekakuan dari suatu material ketika dibengkokkan. Pengujian dilakukan dengan prinsip *Three Point Bending Test* sesuai dengan ASTM D 790. Alat uji *flexural* yang digunakan yaitu *Autograph* AG-10TE, SHIMADZU milik Laboratorium Farmasi Universitas Airlangga.

Dimensi specimen yang diuji ialah sebesar 127x12,7x3 mm yang ditunjukkan oleh gambar 3.25 berikut:



**Gambar 3.25** Dimensi Spesimen Uji Kelenturan

Kekuatan lentur suatu material dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_f = (3 PL / 2 bd^2) \quad (3.1)$$

Keterangan:

$\sigma_f$  = Kekuatan Lentur (MPa)

L = Support Span (mm)

P = Beban Patah (N)

b = Lebar Spesimen (mm)

d = Tebal Spesimen (mm)

Sedangkan Modulus Kelenturan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E_f = (L^3P / 4bd^3D) \quad (3.2)$$

Keterangan:

$E_f$  = Modulus Lentur (MPa)

L = Support Span (mm)

P = Beban Patah (N)

b = Lebar Spesimen (mm)



$d$  = Tebal Spesimen (mm)

$D$  = Defleksi (mm)

Untuk spesimen uji *flexural* ini ditunjukkan pada gambar 3.26 di bawah ini



**Gambar 3.26** Spesimen Uji *Flexural*

### 3.4.2.5 Pengujian Densitas

Uji densitas dilakukan sesuai dengan ASTM D792. Mula-mula sampel ditimbang di udara, lalu siapkan gelas ukur berisi air dan kawat untuk menimbang sampel dalam air. Sampel ditunjukkan pada gambar 3.27. Setelah itu dilakukan perhitungan yaitu dengan rumus:

*Specific Gravity* :  $a/(a + w - b)$

*Density* : *Specific Gravity* x massa jenis air

Keterangan:

$a$  = massa sampel di udara

$w$  = massa kawat yang tercelup sebagian

$b$  = massa sampel dalam air dan massa kawat yang tercelup



**Gambar 3.27** Spesimen Uji Densitas

#### **3.4.2.6 Pengujian Particle Size Analyzer (PSA)**

Uji PSA ini bertujuan untuk mengetahui ukuran serta distribusi dari partikel OPS. Alat PSA yang digunakan bernama NanoPlus3. Penyinaran sinar laser pada analisis ukuran partikel dalam keadaan tersebar. Pengukuran distribusi intensitas difraksi cahaya spasial dan penyebaran cahaya dari partikel. Distribusi ukuran partikel dihitung dari hasil pengukuran. Difraksi sinar laser analisis ukuran partikel meliputi perangkat laser untuk menghasilkan sinar laser ultraviolet sebagai sumber cahaya dan melekatkan atau melepaskan fluorescent untuk mengetahui permukaan photodiode array yang menghitung distribusi intensitas cahaya spasial dan penyebaran cahaya selama terjadinya pengukuran (Totoki, 2007). Sampel uji PSA tertera pada gambar 3.28



**Gambar 3.28** Sampel Uji PSA



### 3.5 Rancangan Penelitian

Untuk rancangan penelitian ditunjukkan pada tabel 3.1 di bawah ini adalah rancangan penelitian yang dilakukan.

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

No.	Spesimen Uji		Pengujian					
	Matriks	OPS	SEM/EDX	FTIR	$\alpha$	Densitas	Bending	PSA
1.	PU(70PPI:30PG)	-	v	v	v	v	v	-
2.		1%	v	-	v	v	v	-
3.		3%	v	-	v	v	v	-
4.		5%	v	v	v	v	v	-
5.	-	OPS	v	v	-	-	-	v

**PU = Polyurethane**

**PPI = Polyphenyl isocyanate**

**PPG = Polypropylene Glycol**

**OPS=Oil Palm Shell**



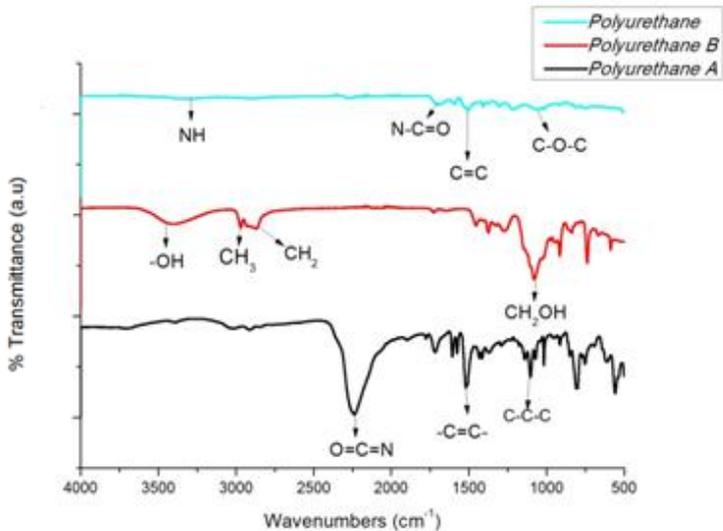
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

#### 4.1.1 Analisa Hasil FTIR *Polyurethane*

Hasil pengujian FTIR untuk *Polyurethane* ditampilkan pada gambar 4.1 di bawah ini. Pada grafik tersebut dibandingkan kurva dari ketiga sampel, yaitu PU A, PU B, serta *Polyurethane*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung, serta menganalisa apakah terjadi reaksi kimia antara PU A dan PU B sehingga membentuk *Polyurethane*.



**Gambar 4.1** Grafik Hasil Uji FTIR *Isocyanate*, *Polyol*, dan *Polyurethane*

Pada Kurva berwarna hitam, menunjukkan adanya ikatan O=C=N pada puncak gelombang 2239 cm<sup>-1</sup>. Ikatan inilah yang mengindikasikan bahwa sampel *Polyurethane* A merupakan *isocyanate*. Selain itu, terdapat pula ikatan C=C pada puncak 1530 cm<sup>-1</sup> dan C-C-C pada 1104 cm<sup>-1</sup>. Daerah serapan dari



masing-masing peak untuk PU A ini ditunjukkan pada tabel 4.1 di bawah ini.

**Tabel 4.1** Daerah Serapan *Polyurethane A*

Wavenumbers (cm <sup>-1</sup> )	Ikatan	Gugus
2239	O=C=N	Cyanate
1518	C=C	Aromatik
1104	C-C-C	Alkana

Masih pada gambar 4.1, yaitu pada kurva berwarna merah, terindikasi adanya ikatan OH pada puncak gelombang 3403 cm<sup>-1</sup> dan CH<sub>2</sub> pada puncak gelombang 2872 cm<sup>-1</sup> yang merupakan gugus glycol. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel *Polyurethane B* adalah *Polyol*. Selain gugus fungsi tersebut, terdapat pula ikatan CH<sub>3</sub> pada puncak gelombang 2969 cm<sup>-1</sup> serta ikatan CH<sub>2</sub>OH pada 1081 cm<sup>-1</sup>. Untuk daerah serapan masing-masing peak dari PU B ini ditunjukkan pada tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.2** Daerah Serapan *Polyurethane B*

Wavenumbers (cm <sup>-1</sup> )	Ikatan	Gugus
3403	-OH	Hidroksil
2969	CH <sub>3</sub>	Alkana
2872	CH <sub>2</sub>	Alkana
1081	CH <sub>2</sub> OH	Hidroksil

*Polyurethane* terbentuk dari reaksi antara senyawa *isocyanate* dan *polyol* yang akan menghasilkan gugus ikatan N-H, C-N dan C-O. Hal tersebut teridentifikasi pada hasil FTIR seperti ditunjukkan oleh kurva berwarna biru pada gambar 4.1, dimana terdapat ikatan N-H pada puncak gelombang 3299 cm<sup>-1</sup>. Lalu terlihat adanya gugus urethane N-C=O pada puncak gelombang 1705 cm<sup>-1</sup> yang mana menunjukkan bahwa sampel tersebut merupakan *Polyurethane*. Selain itu juga terdapat ikatan C=C

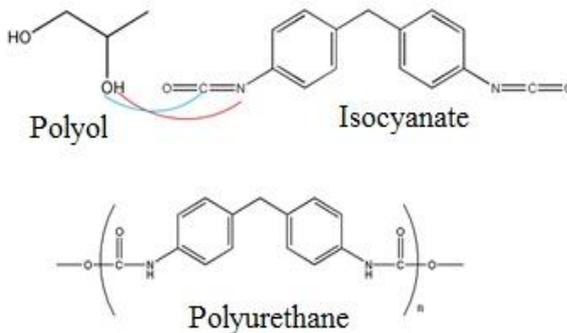


pada puncak gelombang  $1528\text{ cm}^{-1}$  dan C-O-C pada  $1050\text{ cm}^{-1}$ . Daerah serapan dari masing-masing peak untuk *Polyurethane* ini ditunjukkan pada tabel 4.3 di bawah ini.

**Tabel 4.3** Daerah Serapan *Polyurethane*

Wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ )	Ikatan	Gugus
3299	NH	<i>Amine</i>
1705	N-C=O	<i>Urethane</i>
1530	C=C	Aromatik
1050	C-O-C	Eter

Hasil pengujian pada Isocyanate yang terdapat pada tabel 4.1 menunjukkan adanya gugus cyanate dengan ikatan N=C=O, yang menunjukkan identifikasi utama dari Isocyanate. Hasil pengujian pada Polyol yang terdapat pada tabel 4.2 menunjukkan adanya gugus fungsi alkohol dengan OH dan beberapa ikatan dengan gugus alkane yang merupakan identifikasi utama dari Polyol. Polyurethane dibuat dengan mereaksikan gugus Cyanate pada Isocyanate dan Glycol pada Polyol sehingga membentuk gugus Urethane seperti ditunjukkan pada gambar 4.2

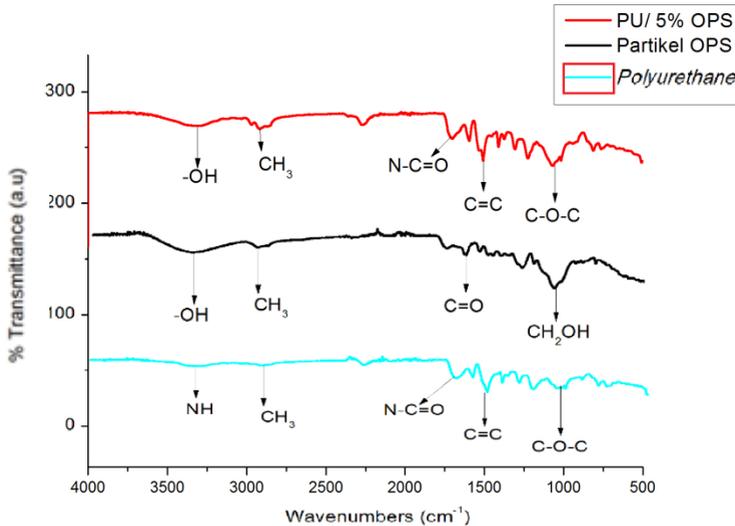


**Gambar 4.2** Skema Reaksi pada Polyurethane (Kricheldorf, 2005)



#### 4.1.2 Analisa FTIR Perbandingan Partikel OPS, PU, dan PU/5% OPS

Analisa ini bertujuan untuk menganalisa perbandingan hasil FTIR antara PU, partikel OPS, dan komposit PU/ 5% OPS. Hasil dari uji FTIR tersebut ditunjukkan pada gambar 4.3 di bawah ini



**Gambar 4.3** Grafik Hasil Uji FTIR partikel OPS, PU dan Komposit PU/ 5% OPS

Pada kurva Partikel OPS didapatkan identifikasi adanya peregangan dari ikatan O-H pada puncak  $3334\text{ cm}^{-1}$ . Selanjutnya pada puncak gelombang  $2922\text{ cm}^{-1}$  terjadi penyerapan gelombang pada ikatan  $\text{CH}_3$ . Lalu pada puncak  $1593\text{ cm}^{-1}$  terjadi penyerapan ikatan  $\text{C}=\text{O}$  yang merupakan gugus keton, dan terjadi penyerapan gugus hidroksil pada puncak  $1031\text{ cm}^{-1}$ . Dari gugus-gugus yang muncul, mengindikasikan bahwa partikel OPS ini mengandung lignin dan selulosa. Tabel 4.4 menunjukkan daerah serapan dari masing-masing *peak* hasil pengujian partikel OPS..



**Tabel 4.4** Daerah Serapan Partikel OPS

<i>Wavenumbers</i> (cm <sup>-1</sup> )	Ikatan	Gugus
3334	-OH	Hidroksil
2922	CH <sub>3</sub>	Alkana
1593	C=O	Keton
1031	CH <sub>2</sub> OH	Hidroksil

Selanjutnya pada tabel 4.5 ditunjukkan daerah serapan dari masing-masing *peak* hasil pengujian FTIR pada komposit PI/ 5% OPS. Gugus fungsi yang didapat mengindikasikan penyusun dari komposit PU/OPS ini. Analisa ini bertujuan untuk membuktikan bahwa tidak terjadi reaksi antara matriks dengan *fillernya*.

**Tabel 4.5** Daerah Serapan Komposit PU/ 5% OPS

<i>Wavenumbers</i> (cm <sup>-1</sup> )	Ikatan	Gugus
3327	-OH	Hidroksil
2916	CH <sub>3</sub>	Alkana
1705	N-C=O	<i>Urethane</i>
1508	C=C	<i>Cyanate</i>
1069	C-O-C	Eter

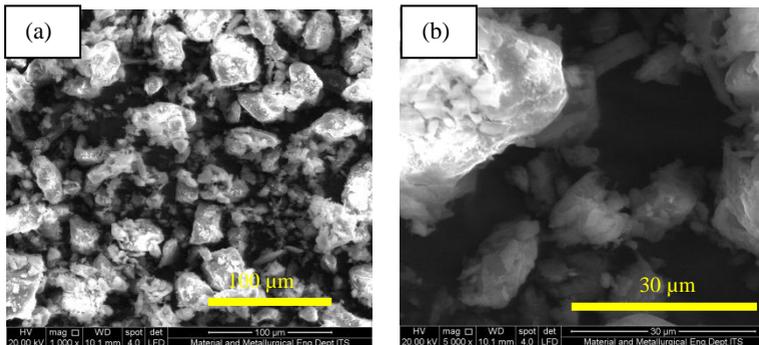
Setelah menganalisa grafik komparasi antara hasil uji FTIR antara partikel OPS, PU, serta komposit PU/ 5% OPS, seperti pada gambar 4.3. Dari ketiga grafik yang ditampilkan memiliki bentuk dan daerah serapan yang cenderung identik. Hal ini mengindikasikan bahwa pada komposit PU/OPS, yaitu antara partikel OPS sebagai *filler*, serta *Polyurethane* sebagai matriks, tidak terjadi reaksi secara kimia antara keduanya.



## 4.2 SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDX (*Energy Dispersive X-Ray*)

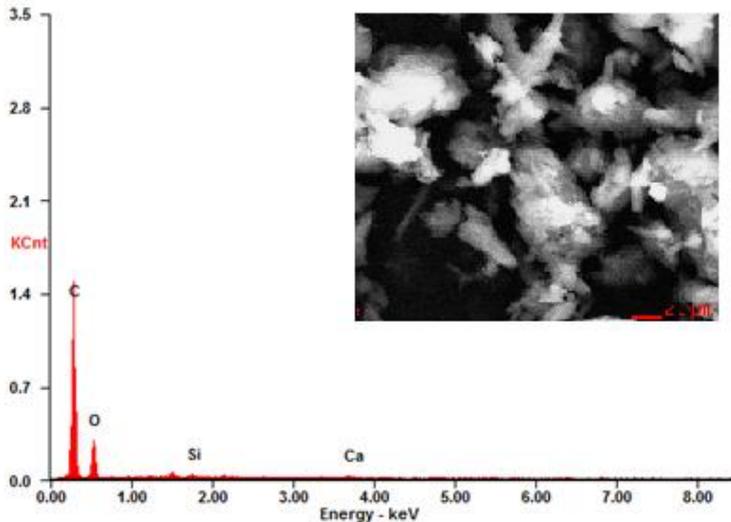
### 4.2.1 Analisa Hasil Uji SEM Partikel *Oil Palm Shell* (OPS)

Pada pengujian SEM ini bertujuan untuk menganalisa morfologi, persebaran, serta ukuran dari partikel OPS. Gambar 4.4 menunjukkan morfologi dari partikel OPS, dimana bisa kita lihat bahwa partikel OPS memiliki bentuk yang cenderung tidak beraturan. Hal ini disebabkan oleh proses *ball mill* yang telah dilakukan sebelumnya. Dari gambar 4.4 juga bisa kita lihat bahwa permukaan dari partikel OPS terlihat kasar, hal ini dapat meningkatkan *wettability* partikel OPS sebagai *filler* sehingga dapat membentuk ikatan interface yang baik dengan matriks (Nabinejad, 2015)



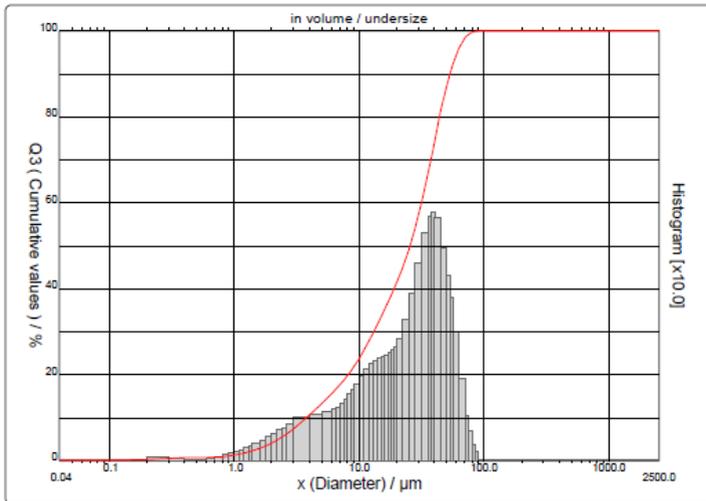
**Gambar 4.4** Hasil SEM Partikel OPS (a)perbesaran 1000x  
(b)perbesaran 5000x

Pada gambar 4.5 menunjukkan hasil EDX dari partikel OPS, dimana unsur penyusun utama dari partikel OPS yaitu berupa karbon (58,03%) dan oksigen (39,49%). Unsur penyusun lain yang terdeteksi yaitu berupa Si(1,10%) dan Ca(1,39%). Hal serupa juga telah dibuktikan oleh Dagwa pada tahun 2016, bahwa karbon dan oksigen lah unsur penyusun utama dari partikel OPS, dengan unsur lain dengan persentase kecil sebagai *impurities*.



**Gambar 4.5** Grafik hasil EDX partikel OPS

Untuk distribusi ukuran partikel OPS dapat kita lihat dari hasil Particle Size Analyzer, seperti pada gambar 4.6. di bawah ini. Hasil Uji PSA menunjukkan bahwa ukuran diameter rata-rata dari partikel OPS yaitu berkisar antara  $3,49 \mu\text{m}$  -  $51,11\mu\text{m}$ , dengan rincian yaitu  $3,49\mu\text{m}$  sebanyak 10%,  $24,62\mu\text{m}$  sebanyak 50%, serta  $51,11\mu\text{m}$  sebanyak 90% dari keseluruhan sampel partikel OPS. Dengan semakin kecilnya ukuran patikel OPS sebagai filler, maka akan meningkatkan *surface area* dari interface komposit itu sendiri (Rosamah, 2016).



**Gambar 4.6** Grafik Distribusi Partikel OPS

Dari hasil PSA nano didapatkan bahwa ukuran butir terkecil yang diperoleh dari sampel partikel OPS yaitu berkisar antara 10-18  $\mu\text{m}$ . Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel OPS belum menyentuh skala nano. Hal ini disebabkan oleh proses pengolahan yang kurang optimal. Tabel 4.6 menunjukkan hasil uji PSA nano.

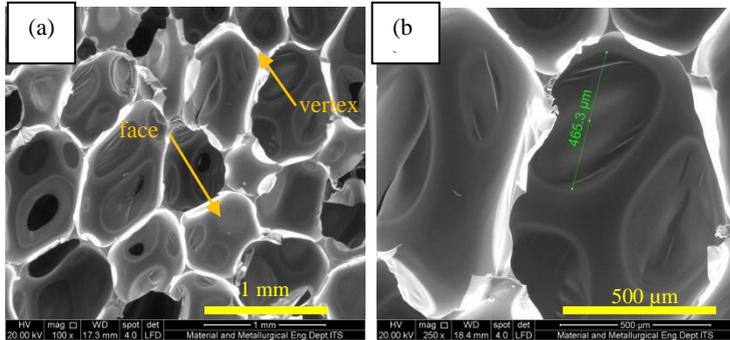
**Tabel 4.6** Hasil Uji PSA Nano

Sampel	Average Diameter (nm)	Standard Deviation (nm)
1.	10.142,6	11.119,4
2.	18.906,1	22.825,7
3.	18.312,5	17.150,2



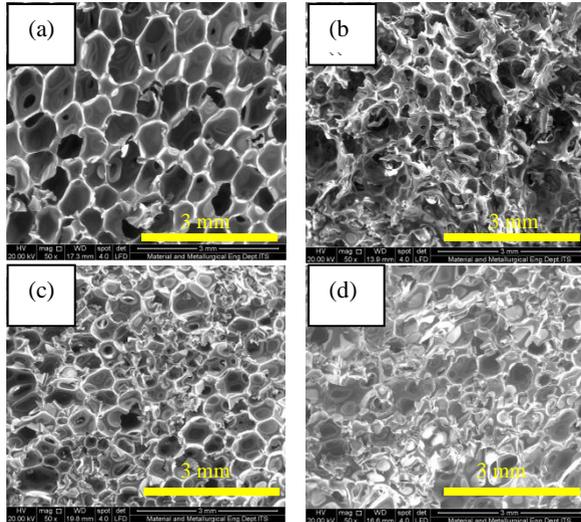
#### 4.2.2 Analisa Hasil Uji SEM Komposit *Polyurethane/OPS*

Pada gambar 4.7 ditunjukkan morfologi dari *pure polyurethane* dengan perbesaran 100x dan 250x.



**Gambar 4.7** Hasil Uji SEM *pure PU* (a) perbesaran 100x  
(b) perbesaran 250x

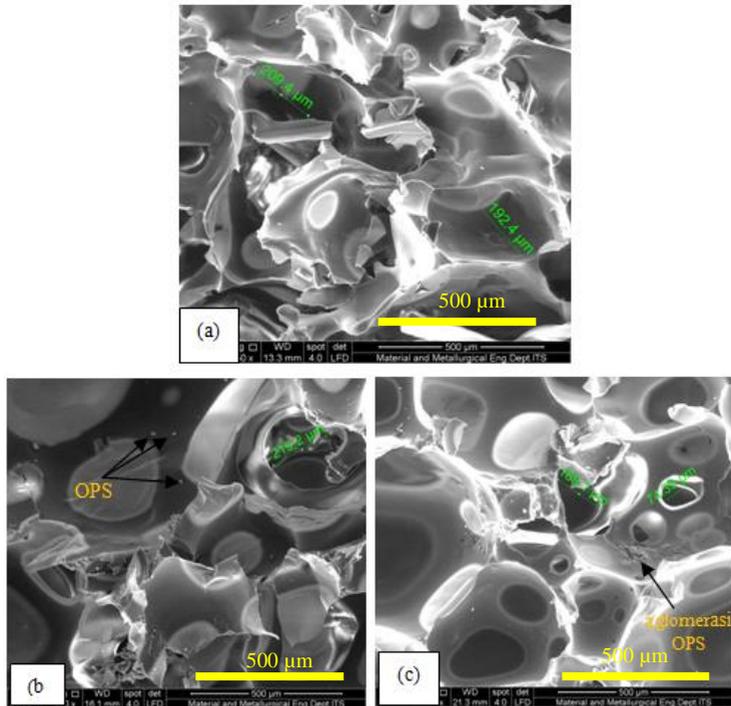
Pada gambar di atas terlihat bahwa *pure polyurethane* ini tergolong dalam kategori *closed cell foam* dengan ukuran pori berkisar pada angka 465,3  $\mu\text{m}$ . Hal ini dikarenakan morfologi dari *foam PU* itu sendiri yang memiliki vertex cenderung lebar dan terdapat pula lapisan face pada setiap porinya (Lee, 2005).



**Gambar 4.8** Hasil Uji SEM perbesaran 50x (a) *pure* PU (b) PU/1% OPS (c) PU/3% OPS (d) PU/5% OPS

Gambar 4.8 menunjukkan morfologi dari *pure* PU, serta komposit PU/OPS setiap penambahan fraksi massa *fillernya*. Ketika ditambahkan serat, maka morfologi komposit PU dengan *partikel* OPS sebagai *filler* menjadi tidak beraturan dan sel pori semakin mengecil. Hal ini disebabkan karena reaksi ikatan antara isocyanate dan polyol yang tidak sempurna jika ditambahkan dengan *filler* (Chan, 2012).

Lalu pada gambar 4.9 menunjukkan morfologi dari Komposit PU/OPS setiap penambahan fraksi dari partikel OPS. Pada gambar 4.9 (a), yang mana merupakan komposit PU/1% OPS, persebaran partikel OPS cenderung tak terlihat, karena ukurannya yang sangat kecil dan juga jumlahnya yang sedikit. Pada gambar 4.9 (b), persebaran dari partikel OPS sudah terlihat dan cenderung terdispersi secara merata. Sedangkan pada gambar 4.9 (c), menunjukkan adanya penggumpalan



**Gambar 4.9** Hasil Uji SEM perbesaran 250x (a) PU/1%OPS (b) PU/3%OPS (c) PU/5%OPS

dari partikel OPS. Hal ini dikarenakan pada penambahan fraksi 5% ini, partikel OPS cenderung melakukan interaksi antar partikel OPS satu sama lain ketimbang interaksi partikel OPS-matriks PU. Hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Rosamah pada tahun 2016, bahwa partikel OPS memiliki kecenderungan untuk teragglomerasi dan membentuk seperti gumpalan apabila diinkorporasikan dalam jumlah yang banyak. Hal ini sangat mempengaruhi ikatan interface dengan matriks.



### 4.3 Uji *Flexural*

Pengujian *flexural* ini mengacu pada ASTM D790, yang mana menggunakan prinsip *3 point flexural test*. Spesimen berada pada titik tumpu di kedua ujungnya, lalu pada bagian tengahnya diberi gaya tekan hingga spesimen patah.

Pada tabel 4.7 ditunjukkan hasil uji *flexural strength*. Nilai kekuatan lentur *pure PU* sebesar 2,0385 MPa. Ketika penambahan 1% partikel OPS, kekuatan lentur berkurang menjadi 0,998 MPa. Lalu pada penambahan 3% partikel OPS, kekuatan lentur mengalami kenaikan menjadi 1,1679 MPa, sebelum akhirnya turun ke angka 0,5346 Mpa pada penambahan 5% partikel OPS

**Tabel 4.7** Hasil Uji *Flexural Strength*

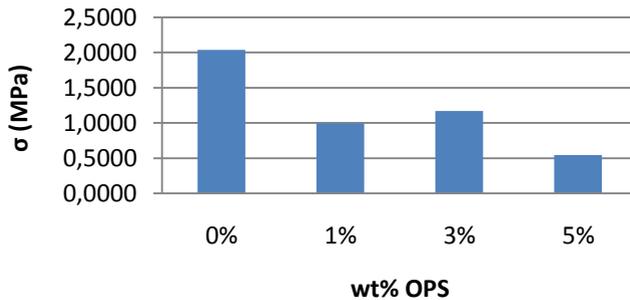
Fraksi Massa Serat (%)	$\sigma$ (MPa)
<i>Pure PU</i>	2,0385±0,8154
1%	0,9980±0,0368
3%	1,1679±0,1839
5%	0,5436±0,1177

*Pure PU* memiliki kekuatan lentur tertinggi. Hal ini dikarenakan susunan foam *pure PU* yang teratur. Adanya foam yang teratur ini menyebabkan kekuatan mekanik menjadi lebih bagus (Legiviani, 2016). Penambahan 1% partikel OPS cenderung menurunkan kekuatan lentur. Namun pada penambahan 3% terjadi kenaikan kekuatan lentur. Hal ini ditunjukkan pula pada gambar 4.10

Erdin dan Farid pada tahun 2016 juga menemui hal yang sama, dimana nilai *flexural strength* komposit lebih rendah dari *pure PU*. Hal ini dikarenakan penambahan partikel OPS pada matriks PU dapat merusak struktur dari foam PU. Yesim Buyukakinci *et al.* (2011) juga mengatakan demikian, bahwa dengan adanya filler atau penambahan serat cenderung



memodifikasi mikrostruktur PU menjadi sel yang lebih kecil dan menjadi tidak uniform. Faktor lain yang juga berpengaruh yaitu ketidakhomogenan dari distribusi partikel OPS itu sendiri di dalam matriks PU.



**Gambar 4.10** Grafik Flexural Strength

Tabel 4.8 di bawah menunjukkan nilai *flexural modulus* dari masing-masing sampel. Pada *pure* PU, nilai *flexural modulus* sebesar 18,7793 MPa. Lalu seiring dengan penambahan 1% hingga 5% partikel OPS, nilai *flexural modulus* mengalami kenaikan yaitu menjadi 22,8267 Mpa dan 27,5274 Mpa. Namun pada penambahan 5% partikel OPS, nilai *flexural modulus* menurun drastis menjadi hanya 6,8898 Mpa.

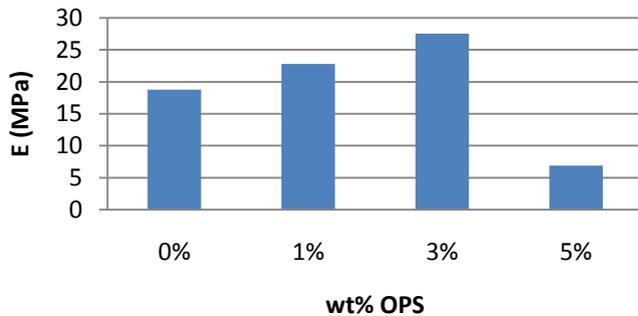
**Tabel 4.8** Hasil Uji *Flexural Modulus*

Fraksi Massa Serat (%)	E (Mpa)
<i>Pure</i> PU	18,7793±2,3665
1%	22,8267±0,7092
3%	27,5274±2,6789
5%	6,8898±1,6144



Menurut Rosamah (2016), secara umum, seiring dengan penambahan partikel OPS, nilai *flexural modulus* semakin meningkat pula. Hal ini dikarenakan penambahan partikel OPS ini memainkan peran penting dalam meningkatkan *surface area*. Penambahan 3% partikel OPS memiliki nilai *flexural modulus* tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan 3% partikel OPS dapat mengoptimalkan kemampuan matriks PU dalam menghantar dan mendistribusikan tegangan. Selain itu juga partikel OPS terdispersi secara *uniform* yang membuat ikatan antara *filler* dan matriks menjadi kuat, sehingga menghasilkan *flexural modulus* yang tinggi. Namun pada penambahan 5% partikel OPS terjadi penurunan drastis. Hal ini karena kecenderungan partikel OPS untuk teraglomerasi, yang sangat berpengaruh pada gaya adhesi antara matriks dan *filler*.

Gambar 4.11 menunjukkan grafik dari nilai *flexural modulus*. Dapat disimpulkan bahwa penambahan 3% partikel OPS memiliki *flexural modulus* tertinggi yaitu sebesar 27,5274 MPa. Nilai tersebut telah berada dalam range standar modulus yang dapat diaplikasikan pada doorpanel, yaitu kisaran 18-33 MPa. (Gardiner, 2004)



**Gambar 4.11** Grafik Flexural Modulus

#### 4. 4 Uji Absorpsi Suara

Pada pengujian absorpsi suara ini mengacu pada ASTM E1050 mengenai pengujian material akustik. Dari hasil pengujian dapat kita ketahui bahwa semakin besar nilai  $\alpha$ , maka penyerapan bunyinya semakin baik.

Tabel 4.9 menunjukkan hasil dari pengujian absorpsi suara. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai koefisien absorpsi suara setiap sampel berbeda seiring dengan perbedaan frekuensi dan fraksi massa serat. Hal ini disebabkan karena perbedaan komposisi dari masing-masing sampel yang menyebabkan perbedaan kerapatan, atau bisa juga ketidakhomogenanan dari sampel tersebut yang disebabkan oleh tidak meratanya persebaran serat hingga berdampak pada nilai koefisien absorpsi suara (Yusuf dan Farid, 2016). Berdasarkan tabel tersebut, nilai koefisien absorpsi tertinggi terdapat pada rentang frekuensi yang tinggi pula. Hal ini sesuai dengan grafik pada gambar 4.11 yang menunjukkan bahwa komposit PU/OPS sebagai material *porous absorber* (Howard, 2009)

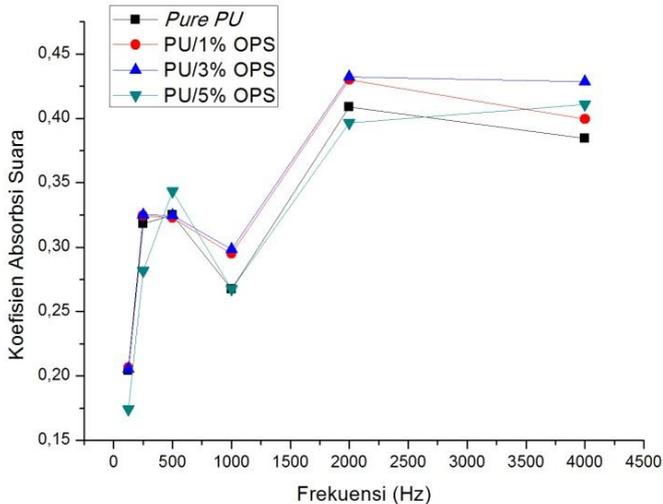


**Tabel 4.9** Hasil Pengujian Absorpsi Suara

Frekuensi (Hz)	Nilai Koefisien Absorpsi Suara			
	100% PU	Partikel OPS		
		1%	3%	5%
125	0,204118	0,206385	0,205172	0,174079
250	0,318356	0,324352	0,324961	0,28175
500	0,325159	0,322797	0,324651	0,343388
1000	0,267489	0,295013	0,298174	0,267446
2000	0,408931	0,429939	0,432232	0,396581
4000	0,384421	0,399483	0,428616	0,410971
<b>NRC</b>	<b>0,329984</b>	<b>0,343025</b>	<b>0,345005</b>	<b>0,322291</b>

Dari grafik pada gambar 4.12, secara umum seiring dengan penambahan partikel OPS, nilai  $\alpha$  meningkat. Hal ini juga serupa dengan apa yang dikemukakan Farid pada tahun 2013, dimana semakin tinggi penambahan fraksi massa *filler*, maka nilai koefisien absorpsi yang optimal akan berada pada rentang frekuensi yang semakin tinggi pula.

Lain halnya pada penambahan 5% partikel OPS, dimana pada setiap rentang frekuensi cenderung menurun dibanding fraksi lain. Hal ini karena komposit 5% OPS memiliki densitas yang lebih tinggi dari yang lainnya. Pertambahan densitas ini yang dapat menjadi penyebab berkurangnya nilai  $\alpha$ . Karena dengan pertambahan fraksi, akan menyebabkan ukuran pori mengecil akibat pori terisi dengan *filler* (Chan Wen Shan, 2012). Menyusutnya pori dapat menurunkan kemampuan material dalam mengabsorpsi suara.



**Gambar 4.12** Grafik Nilai Koefisien Absorpsi Suara

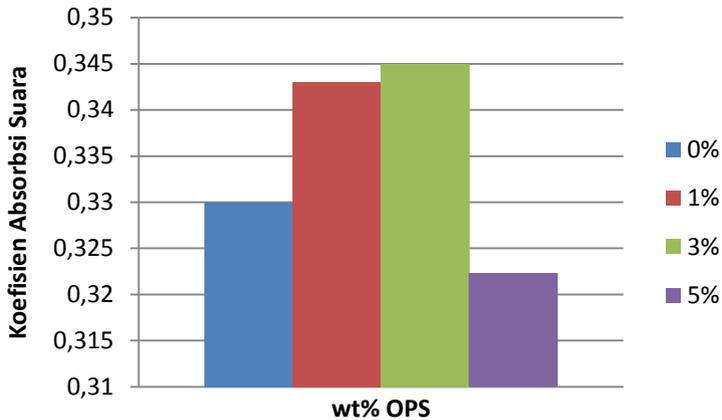
Selain itu, Yusril pada tahun 2013 juga mengatakan bahwa setiap penambahan fraksi *filler* belum tentu menaikkan nilai  $\alpha$ , karena fraksi *filler* yang tinggi akan cenderung tidak homogen distribusinya, atau bisa dibilang teraglomerasi pada satu titik. Hal ini berpengaruh pada nilai  $\alpha$

Pada rentang 1000 Hz, nilai  $\alpha$  cenderung menurun drastis, hal ini disebabkan karena karakteristik dari material itu sendiri dalam merefleksikan suara pada frekuensi tersebut (Jayamani, 2013). Selain itu, hasil ini disebabkan juga oleh *surface roughness* dari kombinasi PU dengan partikel OPS itu sendiri yang mempengaruhi kemampuan absorpsi suara pada rentang frekuensi 1000 Hz (Farid, 2015)

Selain itu, dilakukan pula perhitungan NRC (*Noise Reduction Coefficient*) untuk mengetahui nilai  $\alpha$  rata-rata dari setiap sampel di berbagai rentang frekuensi, yaitu pada 250 Hz.



500 Hz, 1000 Hz dan 2000 Hz. Gambar 4.13 menunjukkan grafik dari hasil perhitungan NRC.



**Gambar 4.13** Grafik *Noise Reduction Coefficient* dari Masing-masing Sampel

Secara garis besar, seiring dengan penambahan fraksi massa partikel OPS di setiap frekuensinya, nilai  $\alpha$  cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan oleh ukuran partikel OPS yang sangat kecil, mengacu hasil uji PSA, yaitu pada kisaran  $3,49 \mu\text{m} - 53,18 \mu\text{m}$ . Dengan ukuran partikel OPS yang sangat kecil, akan meningkatkan *surface area* dari interface antara PU/ partikel OPS, dimana energi akustik dapat terdisipasi menjadi energi panas. Terlebih lagi pada jenis *porous absorber*, yang mana perambatan suara terjadi pada jaringan yang terhubung antar pori yang dapat mendisipasikan energi akustik menjadi energi panas. Suara yang terserap bergerak menuju *cells* bagian dalam dengan bergesekan dengan udara. Gesekan inilah yang diubah menjadi energi panas. Bentuk morfologi yang bagus dari *filler* akan



seolah-olah memberi jalan untuk gelombang suara terserap. Sehingga nilai  $\alpha$  lebih baik (Gayathri, 2014)

Jakob Morkholt, pada European Union research project Cabin Noise Reduction by Experimental and Numerical Design Optimization (CREDO) tahun 2011 mengatakan bahwa nilai koefisien absorpsi suara didalam interior sebuah kendaraan dibedakan menjadi 3 yaitu untuk atap mobil, tempat duduk dan *doorpanel*. Untuk *doorpanel* nilai  $\alpha$  berada pada rentang 0,2-0,3 pada frekuensi 0 hingga 500 Hz. Dengan demikian, komposit PU/partikel OPS sudah berada di antaraa range tersebut.

#### 4.5 Uji Densitas

Pengujian Densitas ini mengacu pada ASTM D792. Mula-mula diukur massa dari sampel komposit dengan cara ditimbang diudara, setelah itu diukur pula massa sampel komposit ketika berada di air, yaitu dengan cara ditimbang dengan menggunakan kawat, sehingga sampel dapat mengapung dalam air. Setelah didapat nilai massa, lalu dilakukan perhitungan untuk mencari densitas, serta dihitung nilai rata-ratanya.

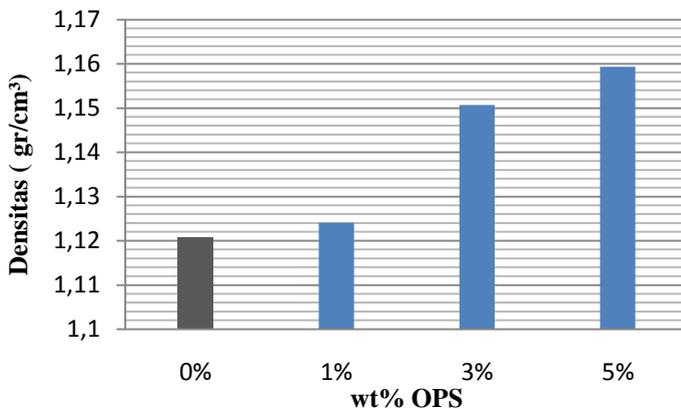
Tabel 4.10 di bawah menunjukkan data hasil uji densitas pada komposit PU/OPS. Pada sampel *pure* PU, didapatkan nilai densitas sebesar 1,12 gr/cm<sup>3</sup>. Sementara itu, nilai densitas dari komposit dengan penambahan partikel OPS dari 1%-5% naik dari 1,124 hingga 1,159 gr/cm<sup>3</sup>. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai densitas akan semakin naik seiring dengan penambahan partikel OPS.

**Tabel 4.10** Data Uji Densitas Komposit PU/OPS

Fraksi Massa Serat (%)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
<i>Pure</i> PU	1,1207±0,00895
1	1,12408±0,05688
3	1,15071±0,05510
5	1,15940±0,05954



Hasil tersebut dikarenakan densitas pada *polyurethane* tergantung pada ukuran pori. Semakin besar ukuran pori, semakin kecil densitas (Yusuf dan Farid, 2016). Seiring dengan penambahan fraksi massa serat, maka pori dari matriks *polyurethane* tersebut akan terisi oleh partikel OPS itu sendiri (Rosamah, 2016). Hal ini berdampak pada ukuran pori dari komposit yang menyusut dan mengecil, sehingga mengakibatkan nilai densitas yang semakin meningkat. Data hasil uji densitas secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 4.14 di bawah ini.



**Gambar 4.14** Grafik Hasil Uji Densitas Komposit PU/OPS

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan:

1. *Polyurethane* yang terbentuk berupa *closed cell foam* yang bersifat kaku. Seiring dengan pertambahan serat akan mempengaruhi struktur pori menjadi lebih kecil dan tidak beraturan.
2. Pertambahan partikel OPS meningkatkan *flexural strength* dan *flexural modulus*. Nilai tertinggi didapatkan pada fraksi massa 3% partikel OPS yaitu sebesar 1,1679 MPa dan 27,5274 MPa. Pada penambahan fraksi 5% OPS cenderung menurunkan nilai *flexural* maupun koefisien absorpsi suara. Hal ini dikarenakan partikel OPS pada fraksi 5% cenderung teraglomerasi sehingga mempengaruhi interface antara matriks PU dengan *filler* partikel OPS itu sendiri.
3. Komposit PU/OPS termasuk dalam tipe *porous absorber*. Seiring dengan penambahan fraksi partikel OPS dapat meningkatkan nilai koefisien absorpsi. Nilai NRC tertinggi didapatkan pada fraksi 3% OPS dengan  $\alpha$  rata-rata senilai 0,345005
4. Fraksi massa 3% partikel OPS merupakan komposisi komposit PU/OPS yang tepat untuk aplikasi *doorpanel*. Hal ini dikarenakan nilai dari densitas, koefisien absorpsi, serta *flexural* modulus komposit PU/3%OPS yang telah memenuhi standar untuk aplikasi *doorpanel*.

### 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai material penyerap dengan sifat berpori



2. Pencampuran antara PU dengan serat lebih baik menggunakan metode lain selain manual blending agar dapat tercampur secara merata
3. Perlu ditambahkan *coupling agent* agar ikatan antara matriks dan *filler* menjadi kuat

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahaddin, Erdinanto Eko. dan Moh. Farid. 2016. *Analisa Pengaruh Fraksi Massa Terhadap Sifat Akustik Dan Kekuatan Lentur Pada Pembuatan Komposit Polyurethane/Serat Bambu Betung Dengan Metode Hand Lay-Up Untuk Aplikasi Door Panel Mobil*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya.
- Akinyosoye, 1976. *Thermal Insulation And Good Sound Absorption*. Nigeria
- Alengaram. 2010. *Effect of aggregate size on concrete*. *Phys Sci* 1848
- Al-kanbashi. A dan Al-kaabi. K. 2005. *Date Palm Fiber As Polymeric matrix. Reinforcement : Fiber Characterization*. 26 (4). Hal 486-497
- Ashida, K. 2007. *Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology*. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton
- Audiogram, 2012. *Noise at Life*. British Society of Audiology
- ASTM D790. *Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials*, Annual book of ASTMStandards, Vol.08.01, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM D792. *Standard test methods for plastic density* Annual book of ASTMStandards, Vol.08.01, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.

ASTM-E1050-98. *Standard Test Method For Impedance And Absorbtion Of Acoustical Material Using A Tube, Two Microphones, And Digital Frequency Analysis System.* ASTM Subcommittee E33.01

ASTM E2809, *Standard Guide for Using Scanning Electron Microscopy/X Ray Spectrometry in Forensic Paint Examinations*, Annual book of ASTMStandards, Vol.08.01, American Society for Testing and Materials (ASTM),Philadelphia, USA.

Bruel & Kjaer.1986. *Noise Control Principles and Practices 2nd Edition.* Denmark: Naerum Offset.

Callister, William D, Jr. 2008. *Materials Science and Engineering : An Introduction 8<sup>th</sup> Edition.* New York : John Wiley & Sons, Inc.

Campbell, F.C. 2010. *Structural Compoite Materials.* Ohio: Materials Park.

Chang Li Chi, J. 2014. *Improving The Mechanical Performance of Wood Fiber Reinforced Bio-Based Polyurethane Foam.* Canada : Toronto University

Cheremisinoff, N.F. 1989. *Handbook of Engineering Polymeric Materials.* Society of the Plastics Ind., New York

Dagwa. 2012. *Characteristic Of Palm Shell Powder For Use I Polymer Matrix Composite.* Ijens

Doelle, L. L. 1972. *Akuistik Lingkungan.* Jakarta: Erlangga.

- Farid, 2013. *Correlation of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (NAC) and Random Incidence Sound Absorption Coefficient (RAC) of Polyester/ Ramie Fibre Composite Materials*. Advanced Materials Research Vol. 789 (2013) pp 269-273.
- Farid, 2015. *Correlation between Frequency and Sound Absorption Coefficient of Polymer Reinforced Natural Fibre*. Advanced Materials Research Vol. 1112 (2015) pp 329-332
- Faruk, 2012. *Effects of Oil Palm Plantations on Diversity of Tropical*. Institute of Zoology
- Gardiner, Ginger. 2014. *Thermoformable Composite Panels*.
- Gayathri, R. 2014. Advanced Materials Research Vol. 938 (2014) pp 170-175
- Giancoli, Douglas C. 2001. FISIKA. Jakarta :Erlangga.
- Harris, L. Marcus. *Metal Matrix Composite*. 1999. *Journal of Applied Polymer Science*
- Hasamudin, W., Soom, R.M., 2002. *Road making using oil palm fiber*. Malaysian Palm Oil Board Information Series, 171. Malaysian Palm Oil Board, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Howard M David, dan Angus S A Jamie. 2009. *Acoustic and Psychoacoustic 4<sup>th</sup> Edition*. Oxford United Kingdom : Focal press is an imprint of Elsevier.
- Irwan, 2013. *Gelombang Bunyi*. Jakarta : Elida press

- Klempner, D. 2001. *Recycling of Polyurethane*. Shropshire: Rapra Technology
- Kricheldorf, HR. 2005. *Handbook of Thermoplastic Elastomers*. Composite Science and Technology. Newyork
- Lee, Y and Changwhan, J. 2003. *Sound Absorption Properties of Recycled Polyester Fibrous Assembly Absorbers*. *AUTEX Research Journal*. Vol. 3, No.2.
- Lee L. J. Et al. *Composites Science and Technology* 65 (2005) 2344-2363
- Legiviani, Rani dan M. Farid, 2016. Pengaruh Perbandingan Komposisi Penyusun Poliuretan dan Fraksi Massa Serat Kelapa terhadap Koefisien Absorpsi Suara dan Kekuatan Lentur Komposit pada aplikasi *Muffler*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya.
- Mahajan R Sharad ,danBapad Vilas Prasad. 2013. “*Specialized Noise Control Materials in Automotive Industry*”. *International Journal of Emerging Science and Engineering*. 2 : 35-41
- Mediastika, E Christina. 2009. “Material Akustik Pengendali Kualitas Bunyi pada. Bangunan”. Edisi Pertama. Yogyakarta. Penerbit: Erlangga
- Morkhlt, Jakob. 2011. *Sound Intensity Measurement in Vehicle Interior*. *Sound and Vibration*

- Nabinejad, O. 2015. *Effect of oil palm shell powder on the Mechanical Properties* Material and Design 65 823-830
- Nasri, 1997. *Teknik Pengukuran dan Pemantauan Kebisingan di Tempat Kerja*.
- Nayiroh, Nurun. 2013. *Teknologi Material Komposit*. Malang: UIN
- Okpala,D.C. 1990, “*Palm Kernel Shell as a Lightweight Aggregate in Concrete*. *Building and Environment*,Vol, 25, No. 2 pp. 291-296
- Rosamah, Enih. 2016. *Properties Enhancement Using Oil Palm Shell Nanoparticles Polyester Composite*. *Advance Composite Materials*
- Resnick and Halliday, 1992. *Fundamental of Physics*. USA
- Saka, S. and E. Minami. 2005. *Handbook pf Plant-Based Biofuel*. Tokyo
- Sastrowinoto, 1985. *Penanggulangan Dampak Pencemaran Udara Dan Bising Dari Sarana Transportasi*
- Schwartz, M.M. 1984. *Composite Materials Handbook*.New York: McGraw-Hill Inc
- Shan, 2012. *Study of Flexible Polyurethane Foams Reinforced with Coir Fibres and Tyre Particle*. *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, Vol. 2, No. 2, March 2012

Sulian, Andri. 2008. *Material Komposit*. Jakarta

Sulistijono.2012. *Mekanika Material Komposit*. Surabaya : ITS Press.

Sultoni, Yusuf dan Moh. Farid. 2015. Pengaruh Proses Alkali Dan Fraksi Massa Serat Terhadap Morfologi, Kekuatan Lentur Dan Koefisien Absorpsi Suara Komposit Polyurethane/Coir Fiber Pada Komponen Muffler .Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya.

Wang, 1998. *Study on shape-memory behavior of polyether-based polyurethanes. Influence of the hard-segment content.*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Abdilah Sismantoro, lahir di kota Sukabumi, 22 Juni 1995 dari ayah bernama Achmad Ismojo Endro dan ibu bernama Sriyati. Penulis adalah anak bungsu dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Bnanjarsari 1 Kota Bandung, lalu SMP Negeri 5 Bandung, lalu SMA Negeri 8 Bandung. Penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI. Semasa kuliah penulis aktif di berbagai kegiatan intra dan ekstra kampus antara lain pernah menjadi staff Departemen HUBLU (Hubungan Luar) HMMT FTI-ITS 2014/2015, kemudian Staff Ahli Hublu HMMT FTI-ITS 2015/2016, dan berbagai kegiatan kepanitiaan HMMT FTI-ITS maupun di BEM fakultas dan BEM ITS. Selain itu penulis juga memiliki pengalaman kerja praktisi di PT. Dirgantara Indonesia dan ditempatkan di Direktorat Aerostructure pada divisi Teknologi Material dan Proses yang digunakan sebagai tahapan proses untuk perlakuan pada part pesawat. Sebagai tugas akhir, penulis mengambil topik mengenai Material Inovatif (Komposit Kayu).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**LAMPIRAN A**  
**PERHITUNGAN MASSA SPESIMEN**

Fraksi Massa Partikel OPS

1. Massa Komposit (Absorpsi Suara) : 25 gr

A. 1% Partikel OPS

Partikel OPS :  $1\% \times 25 \text{ gr} = 0.25 \text{ gr}$

Polyurethane:  $25\text{gr} - 0.25 \text{ gr} = 24.75\text{gr}$

- isocyanate 70 : polyol 30

isocyanate :  $70/100 \times 24.75 \text{ gr} = 17.325 \text{ gr}$

polyol :  $30/100 \times 24.75 \text{ gr} = 7.425 \text{ gr}$

B. 3% Partikel OPS

Partikel OPS :  $3\% \times 25 \text{ gr} = 0,75 \text{ gr}$

Polyurethane:  $25\text{gr} - 0,75\text{gr} = 24.25 \text{ gr}$

- isocyanate 70 : polyol 30

isocyanate :  $70/100 \times 24.25 \text{ gr} = 16.975 \text{ gr}$

polyol :  $30/100 \times 24.25 \text{ gr} = 7,275 \text{ gr}$

### C. 5% Partikel OPS

Partikel OPS :  $5\% \times 25 \text{ gr} = 1,25 \text{ gr}$

Polyurethane:  $25\text{gr} - 1,25 \text{ gr} = 23,75\text{gr}$

- isocyanate 70 : polyol 30

isocyanate :  $70/100 \times 23,75 \text{ gr} = 16,625 \text{ gr}$

polyol :  $30/100 \times 23,75 \text{ gr} = 7,125\text{gr}$

2. Massa Komposit (Flexural) : 8 gr

#### A. 1% Partikel OPS

Partikel OPS :  $1\% \times 8 \text{ gr} = 0,08 \text{ gr}$

Polyurethane:  $8 \text{ gr} - 0,08 \text{ gr} = 7,92 \text{ gr}$

- isocyanate 70 : polyol 30

isocyanate :  $70/100 \times 7,92 \text{ gr} = 5,544 \text{ gr}$

polyol :  $30/100 \times 7,92 \text{ gr} = 2,376 \text{ gr}$

#### B. 3% Partikel OPS

Partikel OPS :  $3\% \times 8 \text{ gr} = 0,24 \text{ gr}$

Polyurethane:  $8\text{gr} - 0,24 \text{ gr} = 7,76 \text{ gr}$

- isocyanate 70 : polyol 30

isocyanate :  $70/100 \times 7,76 \text{ gr} = 5,432 \text{ gr}$

polyol :  $30/100 \times 7,76\text{gr} = 2,328\text{gr}$

C. 5% Partikel OPS

Partikel OPS :  $5\% \times 8 \text{ gr} = 0,4 \text{ gr}$

Polyurethane:  $8\text{gr} - 1.25 \text{ gr} = 6.75\text{gr}$

- isocyanate 70 : polyol 30

isocyanate :  $70/100 \times 6.75 \text{ gr} = 4.725 \text{ gr}$

polyol :  $30/100 \times 6.75 \text{ gr} = 2.025 \text{ gr}$

## LAMPIRAN B

### HASIL PENGUJIAN

#### Hasil Pengujian Absorpsi Suara

100% PU (Isocyanate : Polyol, 70:30)

-Murni



**LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA**  
Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947158, 5984254-4 Fax. 031-5623826 FAX : 1261  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email: [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

---

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 93/PROV/VIBRASTIC/1/17  
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane Murni* 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 ( $\alpha$ )
125	0,204118
250	0,318356
500	0,325159
1000	0,267489
2000	0,408931
4000	0,384421

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 menyempit dan/atau meneruskan bunyi

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



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

---

# -1% Partikel OPS



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

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

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 104/PRO/VIBRASTIC/17  
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane* ditambah *1% Serat* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 22.30 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0,206385
250	0,324352
500	0,322797
1000	0,295013
2000	0,429939
4000	0,399483

### Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alfa seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alfa 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. Wihatno Argo Asmoro, M.Sc.  
NIP. 1960022918701 1 001

## -3% Partikel OPS



### LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60119  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax: 031-5923526 FAXB : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email: [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 105/PROV/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

#### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane* ditambah 3% *Serat* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 22.30 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut.

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0,205172
250	0,324961
500	0,324651
1000	0,298174
2000	0,432232
4000	0,428616

#### 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

## -5% Partikel OPS



### 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: [akoeistishe@gmail.com](mailto:akoeistishe@gmail.com)

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 106/PROV/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

#### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane* ditambah 5% Serat dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 22.30 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0,174079
250	0,28175
500	0,343388
1000	0,267446
2000	0,396581
4000	0,410971

#### 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

## Hasil Pengujian Densitas

Densitas	Massa Spesimen (g)			Massa spesimen dalam air (ml)			Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )			Densitas rata-rata (gr/cm <sup>3</sup> )
Pure PU	0,0568	0,0573	0,0496	0,054	0,0516	0,0441	1,126984	1,110465	1,12471	1,120721932
1%	0,0676	0,0624	0,0677	0,0627	0,0564	0,057	1,07815	1,106383	1,187719	1,124084066
3%	0,0898	0,0804	0,0844	0,0744	0,0733	0,0735	1,206989	1,096862	1,148299	1,150716926
5%	0,0969	0,0836	0,0998	0,0789	0,0744	0,0886	1,228137	1,123656	1,126411	1,15940121

# Hasil Pengujian PSA



## PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1190 Liquid

Range : 0.04  $\mu\text{m}$  - 2500.00  $\mu\text{m}$  / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_2	Ultrasounds : 60 s
Sample Name : cangkang	Obscurations : 5 / 0.23 %
Sample type : powder	Diameter at 10% : 3.49 $\mu\text{m}$
Comments : cangkang kelapa sawit	Diameter at 50% : 24.62 $\mu\text{m}$
Liquid :	Diameter at 90% : 51.11 $\mu\text{m}$
Dispensing agent : None	Fraunhofer
Operator : slamet	Density/Factor : -----
Company :	Specific surface : -----
Location :	Automatic dilution : No / No
Date : 04/01/2017 Time : 10:10:39	Meas./Rins. : 60s/60s/4
Index meas. : 2381	SOP name : Fraunhofer
Database name : CilasDB1	

	Standards classes					in volume / undersize				
x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.19	0.20	0.22	0.67	1.28	1.54	1.54	1.54	1.54	1.63
q3	0.00	0.00	0.01	0.06	0.14	0.08	0.00	0.00	0.00	0.06
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	1.77	1.93	2.13	2.35	2.59	2.85	3.44	4.08	4.76	5.46
q3	0.11	0.14	0.19	0.23	0.28	0.32	0.41	0.50	0.59	0.67
x	2.40	2.60	3.00	4.00	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
Q3	6.18	6.90	8.31	11.55	14.27	16.67	17.79	18.88	19.95	21.02
q3	0.76	0.83	0.90	1.03	1.12	1.21	1.28	1.35	1.42	1.52
x	8.50	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
Q3	22.10	23.17	25.30	27.38	29.39	31.32	33.17	34.93	36.61	38.22
q3	1.63	1.72	1.86	2.00	2.12	2.21	2.29	2.34	2.39	2.44
x	18.00	19.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	38.00	40.00
Q3	39.79	41.31	42.82	45.84	50.57	55.56	62.53	69.59	73.05	76.36
q3	2.52	2.58	2.70	2.91	3.40	4.04	4.79	5.50	5.87	5.92
x	45.00	50.00	53.00	56.00	63.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00
Q3	83.83	89.05	91.56	93.60	96.90	98.90	99.38	99.74	99.92	100.00
q3	5.66	4.72	3.95	3.40	2.57	1.54	0.80	0.51	0.27	0.13
x	95.00	100.0	106.0	112.0	125.0	130.0	140.0	145.0	150.0	160.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	242.0	250.0	300.0	400.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	1100.0	1200.0	1300.0	1400.0	1500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1600.0	1700.0	1800.0	1900.0	2000.0	2100.0	2200.0	2300.0	2400.0	2500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diameter /  $\mu\text{m}$  Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

	<b>LABORATORIUM PUSAT PENELITIAN FISIKA - LIPI</b> Komplek PUSPIPEK Gd 440-442 Tangerang Selatan 15314 Tel. 021-7560570 Fax. 021-7560554	Kode : DM-IV-F
		Bab : -
		Halaman : 16/34
		Revisi ke : 00
		Tanggal : 15 April 2016
<b>LAPORAN HASIL PENGUJIAN</b>		No. Dokumen : F-16

No. Kendali: IF/2016/12/0515/PSA-Nano/0005

<b>Pemakai Jasa</b>	: Slamet Priyono	<b>Pengujian</b>	: PSA-Nano
<i>Customer</i>		<i>Tested for</i>	
<b>Alamat Pemakai Jasa</b>	: Puslit Fisika LIPI	<b>Bahan</b>	: Cangkang sawit
<i>Customer Address</i>		<i>Material</i>	
<b>Tanggal Penerimaan Sampel</b>	: 12-2016	<b>Metoda</b>	: Dynamic Ligth Scattering
<i>Date of Sample Received</i>		<i>Method</i>	
<b>Tanggal Pengujian Sampel</b>	: 21-12-2016		
<i>Date of Sample Tested</i>			

**Hasil Pengujian** *Testing Results* :

Sample 003 – 2 jam

No Pengujian	Average diameter (nm)	Standar deviasi (nm)
1	10,142.6	11,119.4
2	18,906.1	22,835.7
3	18,312.5	17,150.0
Rataan		

**Komentar operator:**

- Larutan serbuk selulosa tidak stabil dalam air dimana dalam 1 menit sudah mengendap ke bawah, jadi data diambil per 30 detik dengan pengulangan 3 kali, dimana setiap pengulangan sample diaduk kembali.
- Hasil pengukuran menunjukkan sample berukuran mikro: sample 1,  $d = (\pm) \text{ nm}$
- Detil pengukuran terlampir.

**Keterangan** *Description* :

Semua sampel di uji dengan alat NanoPlus-3 dari Particulate System, USA. Ukuran partikel yang ditunjukkan oleh hasil pengujian merupakan ukuran partikel secara hidrodinamik (hydrodynamic size). Sample disiapkan dengan melarutkan sedikit serbuk dengan 3 ml aquades dan diaduk merata untuk meningkatkan homogenitasnya. Sample yang disiapkan langsung diuji.

**Catatan** *Note*:

Laporan ini mengacu pada kondisi sampel saat diterima dan hanya berhubungan dengan sampel yang diuji *This report refers to the condition when samples received and related only with sample tested*