



TUGAS AKHIR - TL141584

**KARAKTERISASI SIFAT AKUSTIK, SIFAT
MEKANIK DAN MORFOLOGI KOMPOSIT
POLYURETHANE/SERBUK BAMBU SEBAGAI
APLIKASI PANEL PINTU MOBIL**

SITI KOMARIYAH
NRP. 2712100037

Dosen Pembimbing
Ir. Mohammad Farid, DEA.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**CHARACTERIZATION OF ACOUSTICAL
PROPERTIES, MECHANICAL PROPERTIES AND
MORPHOLOGY OF POLYURETHANE/BAMBOO
POWDER COMPOSITE AS CAR DOOR PANEL**

**SITI KOMARIYAH
NRP. 2712100037**

**Advisor
Ir. Mohammad Farid, DEA.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.**

**Material and Metallurgical Engineering Dept.
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**KARAKTERISASI SIFAT AKUSTIK, SIFAT MEKANIK DAN
MORFOLOGI KOMPOSIT POLYURETHANE/SERBUK BAMBU
SEBAGAI APLIKASI PANEL PINTU MOBIL**

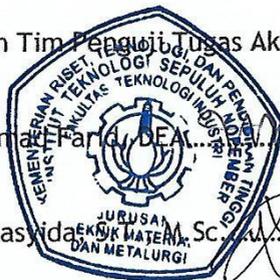
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Material Komposit
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
SITI KOMARIYAH
NRP 2712100037

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Mohammad Farid, DEA.....(Pembimbing 1)
2. Amaliya Rasyida, Sc.....(Pembimbing 2)



Surabaya,
Juli 2016

**KARAKTERISASI SIFAT AKUSTIK, SIFAT MEKANIK
DAN MORFOLOGI KOMPOSIT
POLYURETHANE/SERBUK BAMBU SEBAGAI APLIKASI
PANEL PINTU MOBIL**

Nama : Siti Komariyah
NRP : 2712100037
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Ir. Mohammad Farid, DEA.
Co Pembimbing : Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Panel pintu merupakan bagian dari mobil yang berfungsi untuk mengendalikan kebisingan. Salah satu cara untuk meningkatkan fungsi tersebut adalah dengan mensintesis material yang dapat menyerap suara. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dan mengetahui sifat akustik, sifat mekanik dan morfologi komposit polyurethane/serbuk bambu sebagai material penyerap suara pada panel pintu mobil. Bahan utama pembentuk komposit terdiri dari polyurethane dan serbuk bambu betung berukuran $< 140 \mu\text{m}$. Metode yang digunakan dalam pembuatan komposit adalah metode blending dengan variasi komposisi serbuk bambu 5%; 10%; dan 15% fraksi massa komposit. Adapun pengujian yang dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut, yakni uji FTIR, SEM, uji densitas dan uji absorpsi suara serta uji lentur. Uji absorpsi suara dan uji lentur dilakukan berdasarkan ASTM E 1050 dan ASTM D 790. Dari penelitian ini, diperoleh komposit dengan penambahan 15% serbuk bambu memiliki kemampuan absorpsi suara sebesar 0,428 pada frekuensi sedang dan kekuatan lentur 28,20 MPa.

Kata kunci : Komposit, serbuk bambu, polyurethane, sifat akustik

halaman (ini sengaja dikosongkan)

CHARACTERIZATION OF ACOUSTICAL PROPERTIES, MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF POLYURETHANE/BAMBOO POWDER COMPOSITE AS CAR DOOR PANEL

Name : Siti Komariyah
NRP : 2712100037
Department : Materials and Metallurgical Eng
Advisor : Ir. Mohammad Farid, DEA.
Co-Advisor : Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Door panel is a part of body car that can control the noises. One of the way to increase the control of the noise is by synthesis a new material that can absorb the sound. The aims of this research are to get and know about acoustical properties, mechanical properties and morphological of sound absorber composite as a car door panel. The engredients of composite consists of polyurethane and bamboo betung powder with size <140 μm . Blending method was choosen to make this composite and the variations are composition of bamboo powder about 5%; 10%; and 15% mass fraction of composite. To get the aims, FTIR, SEM, density test, sound absorbtion test and flexural test was done. Sound absorbtion test and flexural test based on ASTM E 1050 and ASTM D 790. Result of this research shown composite that added 15% bamboo powder has sound absorbtion coefficient about 0,428 at mid-freghency and flexural strength about 28,20 MPa.

Keywords: composite, bamboo powder, polyurethane, acoustical properties

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit	5
2.1.1 Serat Alami	5
2.1.2 Matrik.....	7
2.1.3 <i>Interface</i>	7
2.1.4 Hukum Pencampuran	8
2.2 Bambu.....	9
2.3 <i>Polyurethane</i> (PU)	11
2.4 Gelombang dan Bunyi	13
2.4.1 Gelombang.....	13
2.4.2 Bunyi.....	14
2.5 Absorpsi Suara.....	16
2.6 Material Akustik	17

2.7 Panel Pintu Mobil	21
2.8 Penelitian Terdahulu.....	22

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Peralatan dan Bahan	28
3.2.1 Peralatan.....	28
3.2.2 Bahan	29
3.3 Variabel Penelitian.....	30
3.4 Rancangan Penelitian.....	30
3.5 Prosedur Penelitian	30
3.5.1 Persiapan Bahan	30
3.5.2 Pembuatan Cetakan.....	31
3.5.3 Pembuatan Komposit	31
3.5.4 Pengujian.....	33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa FTIR	37
4.2 Analisa Morfologi.....	43
4.3 Analisa Densitas	48
4.4 Analisa Absorpsi Suara.....	49
4.6 Analisa Sifat Mekanik	54

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57

DAFTAR PUSTAKA.....xix

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) Struktur molekul lignin dan (b) struktur molekul selulosa.....	11
Gambar 2. 2 Gelombang <i>transversal</i>	13
Gambar 2. 3 Gelombang <i>longitudinal</i>	14
Gambar 2. 4 Pegas dan bola golf pada perumpamaan bunyi	15
Gambar 2. 5 Penyerapan dan pemantulan bunyi pada material ..	16
Gambar 2. 6 Kurva karakteristik material penyerap suara berpori	18
Gambar 2. 7 Kurva karakteristik material penyerap suara tipe resonansi.....	19
Gambar 2. 8 Kurva karakteristik material penyerap suara tipe Hemoltz.....	20
Gambar 2. 9 Kurva perpaduan tiga tipe material penyerap suara.....	21
Gambar 2.10 Panel pintu mobil BMW 7 series.....	22
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Diagram alir pengolahan serbuk bambu betung.....	27
Gambar 3. 3 (a) Spesimen uji FTIR dan SEM, (b) spesimen uji absorpsi suara dan (c) spesimen uji lentur.....	32
Gambar 3. 4 Spesimen densitas	34
Gambar 3. 5 Peralatan uji absorpsi suara.....	34
Gambar 3. 6 Prinsip kerja tabung impedansi.....	35
Gambar 3. 7 Metode <i>three point bend</i> pada uji kekuatan lentur.....	36
Gambar 3. 8 Spesimen uji kekuatan lentur	36
Gambar 4. 1 Hasil uji FTIR <i>Polyurethane A</i>	37
Gambar 4. 2 Hasil uji FTIR <i>Polyurethane B</i>	38
Gambar 4. 3 Hasil uji FTIR 100%PU.....	39
Gambar 4. 4 Perbandingan hasil FTIR PU A, PU B dan 100%PU.	40
Gambar 4. 5 Hasil uji FTIR serbuk bambu.....	41

Gambar 4. 6 Hasil uji FTIR 100%PU, 95%PU-SB dan serbuk bambu.	42
Gambar 4. 7 Hasil SEM pada perbesaran 50x : (a) 100%PU dan (b) 85%PU-SB.....	44
Gambar 4. 8 Hasil SEM pada perbesaran 150x : (a) 100%PU dan (b) 85%PU-SB.....	45
Gambar 4. 9 Hasil SEM pada perbesaran 250x : (a) 100%PU dan (b) 85%PU-SB.....	47
Gambar 4. 10 Grafik densitas komposit PU-SB	49
Gambar 4. 11 Grafik pengukuran koefisien absorpsi suara pada komposit PU-SB.....	52
Gambar 4. 12 Grafik pengukuran absorpsi suara pada frekuensi 1000-3000 Hz	53
Gambar 4. 13 Grafik kekuatan lentur komposit PU-SB.	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Produksi serat natural	10
Tabel 2. 2 Sifat mekanik serat natural	10
Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian	30
Tabel 4. 1 Hasil perhitungan densitas komposit	48
Tabel 4. 2 Hasil pengujian absorpsi suara komposit PU-SB.	50
Tabel 4. 3 Hasil pengujian kekuatan lentur.	54

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebisingan menjadi salah satu aspek yang dapat mengganggu aktivitas. Karena sifatnya yang mengganggu, maka kebisingan perlu dikendalikan (Goembira, 2003). Pengendalian kebisingan dalam berkendara dirasa penting mengingat semakin banyaknya pengguna kendaraan bermotor. Salah satu kendaraan bermotor yang memiliki konsumen terbanyak adalah mobil. Industri mobil atau otomotif sangat strategis dan diperkirakan basis industri otomotif kedepan sangat baik (Departemen Perindustrian 2010). Dengan potensi tersebut, penting kiranya dilakukan inovasi industri otomotif yang berkaitan dengan pengendalian kebisingan.

Salah satu bentuk pengendalian kebisingan pada kendaraan bermotor adalah dengan material absorpsi suara. Absorpsi merupakan fenomena akustik yang terjadi saat suara membentur suatu material dan material tersebut melakukan proses penyerapan baik sebagian maupun seluruh energi gelombang suara yang membenturnya. Semakin besar nilai absorpsi suatu material, maka semakin besar energi gelombang yang dapat diserap. Sebaliknya, semakin kecil nilai absorpsi suatu material, semakin kecil energi gelombang yang dapat diserap (Sarianto, 2010).

Material absorpsi yang seringkali digunakan adalah material *glasswool* dan *rockwool*. Akan tetapi, karena harganya yang mahal, dilakukan berbagai inovasi untuk memenuhi kebutuhan akan material kedap suara tersebut. Jenis bahan penyerap suara yang sudah ada, yaitu bahan berpori, resonator dan panel (Lee, 2003). Karena bahan berpori relatif lebih murah dan ringan, maka lebih banyak digunakan. Dalam hal ini, Youneung Lee (2003) telah berinovasi menciptakan material kedap suara dari serbuk *polyester* daur ulang. Sedang Koizumi (2002) mengembangkan material kedap suara dengan mutu sebaik material *glasswool* yang terbuat dari serat bambu.

Bambu merupakan salah satu tanaman yang dapat digunakan dalam mendesain dan mengembangkan material komposit polimer. Di Indonesia, bambu mudah ditemui dan telah dimanfaatkan sebagai fasilitas dan peralatan tradisional. Hanya saja, pemanfaatan bambu di Indonesia belum optimal khususnya dalam bidang teknologi. Serat bambu memiliki sifat fisik yang halus namun lebih getas dibandingkan dengan serbuk natural yang lain karena kandungan lignin yang lebih banyak (Khalil dkk, 2012). Terkait kemampuan bambu dalam menyerap suara, menurut Farid dkk (2015), kekasaran permukaan dari kombinasi *polyester* dan serat bambu dapat mempengaruhi kemampuan menyerap suara pada frekuensi medium 1000 Hz. Selain itu, *polyurethane* (PU) berupa *foam* tanpa *filler* dengan ketebalan 60 mm memiliki nilai koefisien absorpsi suara hingga 0,80. Sedang *polyurethane* dengan *filler* berupa *nanosilica* dan *glass fiber* diketahui memiliki koefisien absorpsi suara hingga 0,88, masing-masing pada frekuensi rendah, yakni antara 50 Hz hingga 200 Hz (Gayathri, dkk, 2014)

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengembangan material komposit *polyurethane* berpenguat serbuk bambu (SB) yang memiliki fungsi sebagai material absorpsi suara dalam industri otomotif. Melalui analisa morfologi, analisa absorpsi suara dan analisa mekanik komposit *polyurethane* dengan variasi komposisi serbuk bambu, diharapkan dapat diperoleh material kandidat sebagai aplikasi panel pintu mobil.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang terdapat dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi SB dengan matrik PU terhadap morfologinya ?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi SB dengan matrik PU terhadap sifat mekaniknya ?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi SB dengan matrik PU sebagai material komposit penyerap suara pada panel pintu mobil terhadap nilai koefisien serap suara ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Pengotor pada saat penelitian dianggap tidak ada
2. Kadar uap air serta gas yang ada pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
3. Tidak melibatkan reaksi kimia.
4. Distribusi serbuk dianggap merata.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Menganalisa morfologi pada variasi komposisi SB dengan matrik PU.
2. Menganalisa pengaruh variasi komposisi SB dengan matrik PU terhadap sifat mekaniknya.
3. Menganalisa pengaruh variasi komposisi SB dengan matrik PU terhadap nilai koefisien absorpsi suara sebagai material kandidat komposit penyerap suara pada panel pintu mobil.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memperoleh inovasi baru dalam pengembangan teknologi material komposit berpenguat serbuk natural sebagai material kandidat untuk aplikasi penyerap suara.
2. Memanfaatkan serat natural agar memiliki nilai guna yang lebih.
3. Sebagai penelitian rujukan dalam pengembangan komposit serat natural sebagai aplikasi panel pintu mobil.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Menurut Sulistijono (2012), komposit merupakan suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda, yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik yang dengan struktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Material campuran tersebut akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat unggul dari material pembentuknya. Dengan penggabungan dua atau lebih material yang berbeda maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat mekanik dan sifat fisik dari material-material tersebut, seperti kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan gesek, konduktivitas termal, insulasi listrik, dan insulasi panas.

Pada umumnya, bahan penyusun komposit terbagi menjadi dua, yaitu *reinforced* sebagai bahan penguatnya dan matrik sebagai bahan pengikatnya. *Reinforced* akan menentukan sifat mekanik suatu komposit, seperti kekuatan, kelenturan dan sifat mekanik lainnya, karena serat berfungsi sebagai penahan sebagian besar gaya-gaya yang akan bekerja pada komposit. Sedangkan matrik berfungsi untuk melindungi dan mengikat serat dalam komposit (Irwan, 2013).

Komposit dengan penguat yang homogen baik bentuk, ukuran dan distribusinya akan memberikan sifat isotropik. Sebaliknya bila penguatnya beragam baik bentuk, susunan, arah orientasi dan ukurannya seperti komposit berpenguat serat (*fiber*) yang arah orientasinya tidak teratur, maka akan memberikan sifat anisotropik pada komposit (Sulistijono, 2012).

2.1.1 Serat Alami

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

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

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

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

Serat alami memiliki keunggulan karena densitas yang rendah, sifat mekanik yang baik, mudah diproses, stabilitas yang tinggi, resiko untuk kesehatan yang lebih rendah, ramah lingkungan, ketersediaan yang besar, dan murah (Berardi, 2015). Tanaman sebagai penghasil serat alami, diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan pemanfaatannya. Jenis pertama adalah tanaman yang tumbuh dengan kandungan serat, sedangkan jenis yang kedua adalah tanaman yang seratnya diproduksi untuk menjadi sebuah produk (Staiger dan Tuckner, 2008). Terdapat enam pengelompokan umum serat alami. Pengelompokan tersebut, yakni serat kulit pohon (*bast fiber*), serat daun (*leaf fiber*), serat dari bunga (*seed fiber*), serat dari inti tanaman (*core fiber*), serat dari rumput dan serat dari tanaman sejenis alang-alang atau *reed fiber* (Faruk dkk, 2012). Sifat mekanik serat alami dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah sifat hidrofilik (suka air). Sifat hidrofilik akan memberikan efek proteksi terhadap air karena akan mengurangi difusifitas antar muka (Lim dkk, 2008).

2.1.2 Matrik

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

Komposit berdasarkan jenis matriknya, dibagi menjadi tiga kelompok, yakni Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composite*), Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composite*), dan Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composite*).

Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composite*) merupakan komposit dengan matrik berupa polimer seperti epoksi, *polyester*, *polyurethane*, diberi penguat berupa serat dengan diameter yang kecil seperti grafit, aramid, dan boron. Contohnya, komposit grafit/epoksi memiliki kekuatan lima kali lebih tinggi apabila dibandingkan dengan baja pada berat yang sama. Hal ini menjadi alasan penggunaan komposit matrik polimer yang luas, karena harganya yang murah, kekuatan tinggi, dan proses manufaktur yang relatif sederhana (Sulistijono, 2012).

2.1.3 Interface

Interface dapat didefinisikan sebagai permukaan batas antara matrik dan penguat atau serat. *Interface* menentukan seberapa baik matrik mentransfer beban ke serat. Reaksi kimia, reaksi mekanik dan ikatan terdapat pada *interface*. Lemahnya *interface* dapat mengakibatkan kerusakan pada komposit dan menurunkan pengaruh sifat matrik. Lemahnya *interface* disebabkan karena adanya gas panas dan lembab antara serat. Dalam komposit berpenguat serat, *interface* yang dibutuhkan adalah *interface* dengan ikatan yang kuat (Autar K. Kaw, 2006).

Untuk komposit berpenguat serat, kekuatan *interface* bergantung pada nilai *surface to volum ratio* dari komposit. Perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$S/V = 2\pi r l / \pi r^2 = 2/l \quad (1)$$

dimana :

r : jari-jari serat

l : panjang serat

S : *surface area*

V : volum

Agar kekuatan komposit meningkat, maka *surface area* yang dibutuhkan harus besar. Untuk menciptakan *surface area* yang besar, dibutuhkan jari-jari serat yang semakin kecil (Chawla, 2013)

2.1.4 Hukum Pencampuran

Sulistijono (2012) menuliskan, sifat-sifat komposit pada umumnya ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya : jenis, bentuk geometris, struktur, rasio perbandingan, daya lekat, orientasi bahan penguat dan bahan penyusun, serta proses pembuatan.

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

$$m_c = m_m + m_f \quad (2)$$

$$\rho_c \cdot V_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \quad (3)$$

sehingga didapatkan massa jenis dari komposit :

$$\rho_c = (\rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f) / V_c \quad (4)$$

jika dirubah kedalam fraksi massa, maka persamaannya menjadi :

$$\rho_c = 1 / (m_m/\rho_m + m_f/\rho_f) \quad (5)$$

Untuk mempermudah perhitungan dari fraksi volum ataupun fraksi beratnya dapat dituliskan dengan persamaan :

$$M_m + M_f = 1 \quad (6)$$

$$V_f + V_m + V_v = 1 \quad (7)$$

Dimana :

m_c : massa komposit (gr)

ρ_c : massa jenis komposit (gr/cm³)

V_c : volum komposit (cm³)

m_f : massa fiber (gr)

ρ_f : massa jenis fiber (gr/cm³)

V_f : volum fiber (cm³)

m_m : massa matrik (gr)

ρ_m : massa jenis matrik (gr/cm³)

V_m	: volum matrik (cm^3)
M_f	: fraksi massa fiber
M_m	: fraksi massa matrik
V_f	: fraksi volum fiber
V_m	: fraksi volum matrik
V_v	: fraksi massa <i>void</i>

Pada perhitungan fraksi volum komposit, dimasukkan juga fraksi volum *void*. *Void* merupakan ruang kosong dalam komposit yang dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit. Komposit yang baik memiliki $V_v < 1\%$ sedang komposit yang jelek memiliki V_v mencapai 5% (Chawla, 2013).

2.2 Bambu

Bambu (*Bambusa Shreb.*) adalah tanaman hijau yang tumbuh hingga mencapai 40 meter di daerah beriklim tropis. Pada umumnya, bambu sebagai bahan konstruksi, bahan tenun, dan lain sebagainya (Faruk dkk, 2012). Bambu merupakan salah satu tanaman yang dapat dengan mudah ditemui di kawasan Asia dan Amerika Selatan (Coutts, 1994). Sekitar 80% jenis bambu di dunia berada dikawasan Asia Selatan dan Asia Tenggara (Ucimura, 1980). Di banyak negara di Asia, pemanfaatan bambu masih tidak optimal walaupun sudah banyak penelitian yang mempertimbangkan bambu sebagai kandidat bahan serat. Bahan *sustainable* ini dapat menjadi penunjang sosial ekonomi masyarakat (Khalil, 2012). Besarnya produksi bambu di dbunia, ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Produksi serat natural (Faruk dkk, 2012)

Fiber source	World production (10 ³ ton)
Bamboo	30,000
Jute	2300
Kenaf	970
Flax	830
Sisal	378
Hemp	214
Coir	100
Ramie	100
Abaca	70
Sugar cane bagasse	75,000
Grass	700

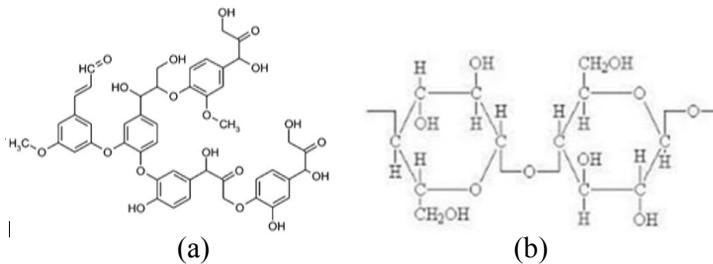
Pada penelitiannya, Faruk dkk juga membandingkan sifat mekanik bambu seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas dan densitas bambu dengan serat lainnya yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Sifat mekanik serat natural (Faruk dkk, 2012)

Fiber	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Elongation at Break (%)	Density (gr/cm ³)
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
Pinapple	400-627	1,44	14,5	0,8-1,6
Coir	175	4-6	40	1,2
Curaua	500-1150	11,8	3,7-4,3	1,4

Bambu yang digunakan pada penelitian ini adalah Bambu Betung (*Dendrocalamus asper*). Menurut Dransfield dan Widjaja (1995), kadar air pada bambu betung sebesar 55%, kadar air kering udara sebesar 15%, kandungan holoselulosa 53%, pentosan 19%, lignin 25%, abu 3%, kelarutan dalam NaOH sebesar 22%. Holoselulosa terdiri dari selulosa dan hemiselulosa. Kadar Selulosa yang tinggi mengindikasikan serat yang kuat, warna *pulp* yang lebih putih, relatif tahan terhadap bahan kimia serta tidak larut dalam pelarut organik (Casey, 1980). Hemiselulosa yang tinggi menyebabkan sifat yang fleksibel, serat yang lebih ringan dan plastis (Widya dan Euis, 2008).

Lignin merupakan bagian dari bambu yang berperan sebagai pengikat. Lignin memiliki sifat yang kaku dan memberi warna kuning pada bambu. Kehadiran zat lignin mengakibatkan kegetasan serta resin yang sulit meresap pada serat bambu sehingga ikatan antar matrik dan serat tidak kuat dan akan berpengaruh pada sifat mekanik komposit (Arfie, 2010). Kandungan lignin dapat dihilangkan dengan perlakuan alkali untuk meningkatkan ikatan antar serat dan matrik (Khalil, dkk 2012). Struktur molekul lignin dan selulosa ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a) Struktur molekul lignin dan (b) struktur molekul selulosa

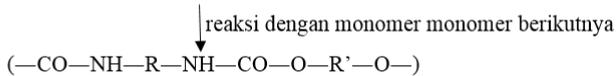
2.3 Polyurethane (PU)

Polyurethane (PU) merupakan salah satu dari material yang banyak dikembangkan. PU banyak diaplikasikan dalam bidang otomotif, pesawat, bangunan, sepatu dan tekstil. Dalam bidang otomotif, *polyurethane* dapat dijumpai pada bagian eksterior dan interior, seperti *bumper*, panel-panel *body* dan tempat

duduk (Woods, 1987). PU memiliki sifat tahan air, tahan bahan kimia ringan, tahan gesek juga tahan terhadap cuaca (Hartomo, 1992). Akan tetapi, PU juga memiliki kekurangan seperti stabilitas termal dan kekuatan mekanik yang rendah (Pradhan dan Nayak, 2012).

PU terbentuk dari reaksi antara poliol dengan diisosianat (Cowd, 1991). Gugus isosianat —NCO , merupakan gugus yang sangat reaktif dan dapat membentuk uretan dengan alcohol. Jika diisosianatkan atau poliisosianat bereaksi dengan diol atau poliol (senyawa polihidrat), maka akan terbentuk *polyurethane*.

$$\text{OCN—R—NCO} + \text{HO—R'—OH} \rightarrow \text{OCN—R—NH—CO—O—R'—OH}$$



(Cowd, 1991)

PU foam diklasifikasikan kedalam 3 tipe, yaitu *flexible PU foam*, *rigid PU foam* dan *semirigid PU foam*. *Flexible PU foam* merupakan material termoset sedangkan *rigid PU foam* merupakan material termoplastik. *Flexible PU foam* biasanya memiliki derajat *cross linking* yang rendah dengan tipe *open cell*. Sedangkan *rigid PU foam* memiliki derajat *cross linking* yang tinggi dan bertipe *closed cell* (Hoogten dkk, 2014). *Rigid PU foam* terbentuk karena adanya reaksi antara isosianat dan poliol yang menghadirkan *blowing agent*.

PU banyak dimanfaatkan sebagai bahan absorpsi suara. Gayathri dan Vasanthakumari (2014) telah melakukan penelitian terkait komposit berpori *polyurethane* berpenguat *nano silica* (NS) dan *nano clay* (NC). Pada ferkuensi rendah (100-200 Hz), koefisien absorpsi suara komposit tersebut sebesar 0,8 hingga 0,88 berdasarkan variasi komposisi penguat dan ketebalan komposit.

Sedang komposit PU dengan *filler* berupa serat daun teh, menunjukkan kemampuan absorpsi suara yang signifikan, dengan nilai absorpsi tertinggi 0,8 pada frekuensi 3000 Hz (Ekici, 2012).

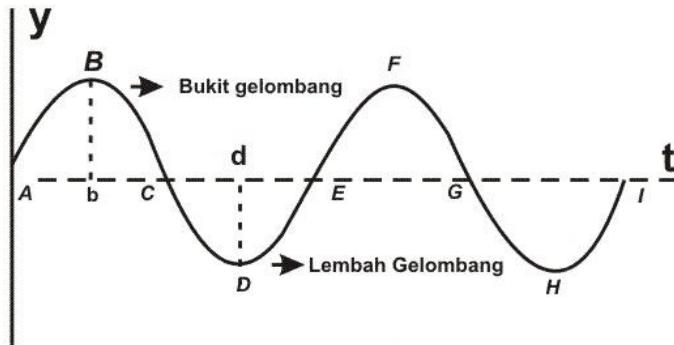
2.4 Gelombang dan Bunyi

2.4.1 Gelombang

Gelombang merupakan getaran yang merambat melalui medium berupa zat padat, cair atau gas. Gelombang terjadi karena adanya sumber getaran yang bergerak terus-menerus. Berdasarkan arah getar dan arah rambatnya, gelombang dibedakan menjadi dua jenis, yaitu gelombang *transversal* dan gelombang *longitudinal*.

1. Gelombang *transversal*

Gelombang *transversal* merupakan gelombang dengan arah rambat tegak lurus terhadap arah getarnya. Contohnya adalah gelombang pada tali, gelombang pada permukaan air dan gelombang cahaya (Nurhusaeni, 2010). Ilustrasi gelombang *transversal* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



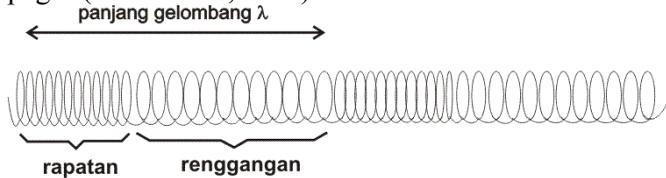
Gambar 2.2 Gelombang *transversal*
(belajar.kemdikbud.go.id)

Dari Gambar 2.2 tersebut, A-B-C disebut sebagai bukit gelombang dan C-D-E disebut sebagai lembah gelombang. Satu gelombang terdiri dari satu bukit dan satu lembah (A-B-C-D-E). B-b dan D-d disebut sebagai amplitudo gelombang sedang A-C-E sama dengan satu gelombang atau biasa disimbolkan sebagai λ .

2. Gelombang *longitudinal*

Gelombang *longitudinal* merupakan gelombang yang arah rambatnya searah dengan arah getarnya. Gelombang

longitudinal terdiri dari rapatan dan regangan. Gambar 2.3 menunjukkan gelombang *longitudinal*. Contoh gelombang *longitudinal* seperti gelombang bunyi dan gelombang pada pegas (Nurhusaeni, 2010).



Gambar 2.3 Gelombang *longitudinal*
(belajar.kemdikbud.go.id)

Jumlah getaran-getaran yang terjadi dalam sebuah satuan waktu atau jumlah siklus yang terjadi dalam satuan waktu disebut frekuensi. Satuan frekuensi adalah *Hertz* (Hz), dimana satu *Hertz* sama dengan satu siklus perdetik. Perbandingan terbalik dari frekuensi disebut dengan periode. Periode adalah waktu untuk sebuah siklus getaran sempurna yang diukur dalam perbandingan waktu seperdetik (Harahap, 2011)

$$f = \frac{1}{T} \quad (7)$$

dimana :

f = frekuensi (Hz)

T = periode

2.4.2 Bunyi

Bunyi merupakan hasil getaran dari partikel-partikel yang ada di udara (*Sound Research Laboratory*, 1976). Energi yang terdapat dalam bunyi dapat meningkat sangat cepat dan dapat menempuh jarak yang jauh. Terdapat tiga syarat terdengarnya bunyi, yaitu adanya sumber bunyi, media dan adanya penerima atau pendengar.



Gambar 2.4 Pegas dan bola golf pada perumpamaan bunyi (Howard dan Angus, 2009)

Gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi bunyi yang dapat digambarkan seperti bola golf dan pegas. Bola golf menunjukkan massa suatu molekul pada suatu material dan pegas menunjukkan gaya intermolekul diantara bola. Jika suatu bola golf terdorong, maka pegas akan bergerak searah, mendorong bola golf yang ada di depannya dan seterusnya. Akan tetapi, karena massa dari bola golf, maka terdapat relai waktu sebelum akhirnya bergerak menuju pegas berikutnya.

Dalam material, densitas suatu material menunjukkan efektifitas massa suatu molekul. Densitas yang tinggi memberikan efektifitas massa yang tinggi pula dan perambatan suara akan berjalan semakin lambat. Pegas yang ditunjukkan oleh gambar, juga memberikan pengaruh pada perambatan suara. Pada material, kekuatan pegas sama dengan nilai modulus elastisitas material. Semakin tinggi modulus elastisitas suatu material, maka semakin kaku pegas yang ada dan menyebabkan semakin cepat perambatan suara.

Bunyi termasuk dalam gelombang *longitudinal*. Pada gelombang *longitudinal* material solid, kecepatan rambat suara dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (8)$$

Dimana :

c = kecepatan, m/s^2

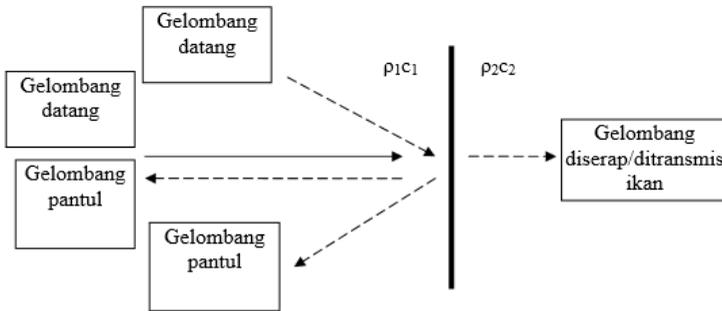
ρ = densitas material (kg/m^3)

E = *Young modulus* material (N/m^2)

(Howard dan Angus, 2009)

Gelombang bunyi menurut Sutrisno (1988) merupakan gelombang yang dirambatkan sebagai gelombang mekanik *longitudinal* dan dapat merambat melalui media padat, cair maupun gas. Apabila gelombang bunyi telah mencapai batas, maka energi

dari gelombang bunyi akan terbagi dua. Sebagian akan diteruskan/ditransmisikan oleh objek sedang sebagian yang lain direfleksikan/dipantulkan (Resnick dan Halliday, 1992). Gelombang yang diteruskan atau dipantulkan di ilustrasikan pada Gambar 2.5 sebagai berikut.



Gambar 2.5 Penyerapan dan pemantulan bunyi pada material (Doelle, Leslie L, 1993)

2.5 Absorpsi Suara

Absorpsi merupakan fenomena akustik yang terjadi saat suara membentur suatu material dan material tersebut melakukan proses penyerapan baik sebagian maupun seluruh energi gelombang suara yang membenturnya. Semakin besar absorpsi suatu material, maka semakin besar energi gelombang yang dapat diserap. Sebaliknya, semakin kecil nilai absorpsi suatu material, semakin kecil energi gelombang yang dapat diserap (Howard dan Angus, 2009).

Suara dapat diserap ketika berinteraksi dengan objek fisik. Ketika gelombang suara memukul sebuah objek, objek tersebut akan bergetar, kecuali jika objek tersebut bersifat sangat kaku. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa energi getar ditransfer dari gelombang suara menuju objek. Sebagian energi gelombang akan terserap karena terjadi gesekan internal dengan material pembentuk objek. Sedang sebagian lagi akan hilang ketika gelombang suara menabrak objek atau diteruskan di pori-pori material. Dalam kasus ini, sebagian besar permukaan material

merupakan serat atau pori. Besarnya energi yang terserap saat bergesekan dengan material, dipengaruhi oleh kecepatan permukaan komponen dalam menyerap gelombang suara. Semakin besar luas permukaan, semakin besar energi yang diserap, yang mana ini terjadi pada material berpori (Howard dan Angus, 2009).

Menurut Lewis dan Doughlas (1993), parameter yang digunakan untuk menjelaskan isolasi atau kemampuan menghentikan bunyi adalah koefisien transmisi τ . Koefisien transmisi didefinisikan sebagai perbandingan daya bunyi yang ditransmisikan melalui suatu material terhadap daya bunyi yang datang. Semakin kecil nilai transmisinya, maka semakin bagus sifat isolasinya. Ketika gelombang bunyi menumbuk material penyerap, maka energi bunyi sebagian akan diserap dan diubah menjadi panas. Besarnya penyerapan bunyi pada material penyerap dinyatakan dengan koefisien serapan (α). Koefisien serapan (α) dinyatakan dalam bilangan antara 0 dan 1.

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i} \quad (9)$$

dimana : W_a = daya suara yang diserap (dB)

W_i = daya suara yang tiba dipermukaan material (dB)

Nilai koefisien serapan 0 menyatakan tidak ada energi bunyi yang diserap dan nilai koefisien serapan 1 menyatakan serapan yang sempurna (Mediastika, 2009).

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

2.6 Material Akustik

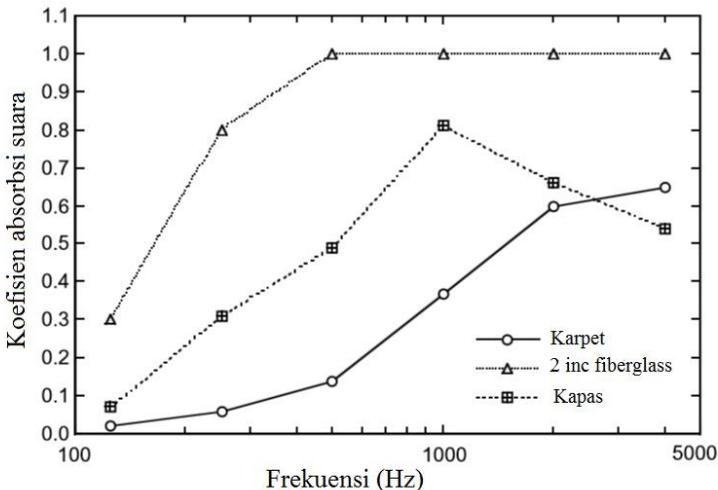
Kata akustik berasal dari bahasa Yunani yaitu *akoustikos*, yang artinya segala sesuatu yang bersangkutan dengan pendengaran pada suatu kondisi ruang yang dapat mempengaruhi mutu bunyi. Fenomena suara yang terjadi akibat adanya berkas suara yang menumbuk bidang permukaan bahan, maka suara

tersebut akan dipantulkan (*reflected*), diserap (*absorb*), dan diteruskan (*transmitted*) (Howard dan Angus, 2009). Medium gelombang bunyi dapat berupa zat padat, cair, ataupun gas.

Bahan penyerap suara atau lebih sering disebut material kedap suara memiliki peranan penting untuk mengendalikan suara dalam suatu tempat atau ruangan. Menurut Howard dan Angus (2009), material penyerap suara dibagi menjadi dua tipe utama, yaitu tipe berpori (*porous absorber*) dan tipe resonansi (*resonant absorber*).

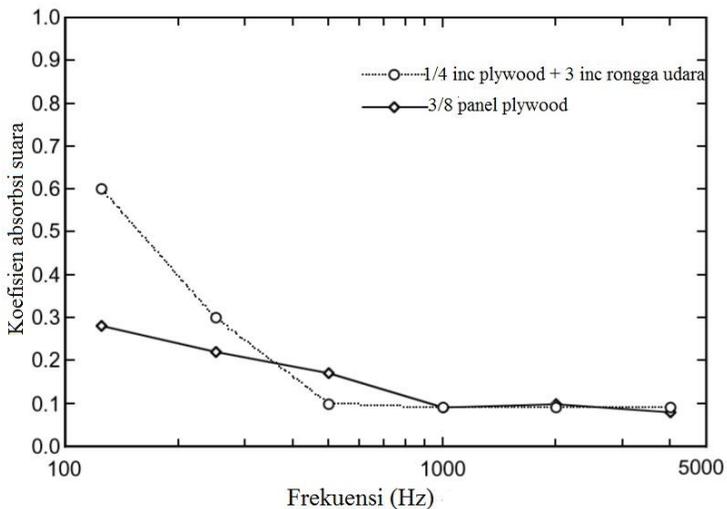
Material penyerap suara berpori, menyerap energi suara melalui energi gesekan yang terjadi antara komponen gelombang suara dengan permukaan material. Contoh material penyerap suara tipe berpori adalah karpet, *foam*, *glasswool*, *cellulose fiber* dan material lunak lainnya. Tipe penyerap suara berpori memiliki koefisien absorpsi suara yang tinggi pada frekuensi 1000-3000 Hz (Cameron, 2009). Material yang memiliki kemampuan absorpsi suara yang tinggi, pada umumnya adalah jenis penyerap suara berpori (Arenas dan Crocker, 2010).

Tipikal kurva karakteristik penyerapan energi suara sebagai fungsi frekuensi dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.



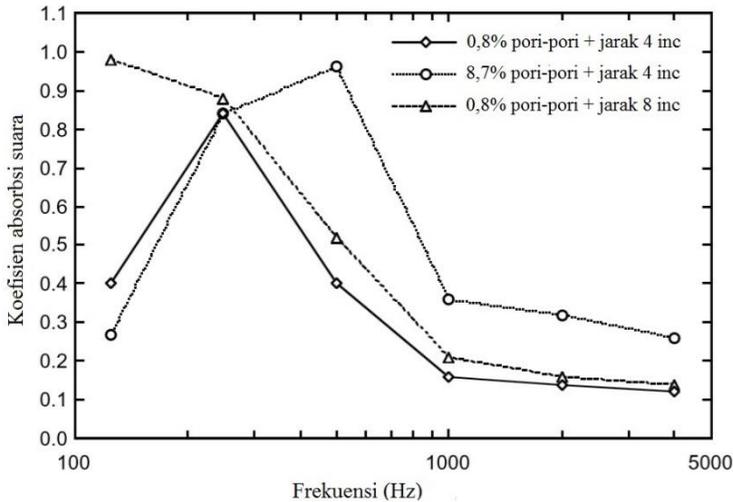
Gambar 2.6 Kurva karakteristik material penyerap suara berpori (Howard dan Angus, 2009)

Sedang bahan penyerap suara tipe resonansi seperti bahan 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 didalamnya (seperti udara atau material berpori lainnya). Bahan tipe ini lebih dominan menyerap energi suara pada frekuensi rendah. Frekuensi resonansi bahan tipe ini ditentukan oleh kerapatan massa dari panel dan kedalaman (tebal) rongga udara dibaliknya. Tipikal respon frekuensi bahan penyerap suara tipe resonansi ditunjukkan pada Gambar 2.7.



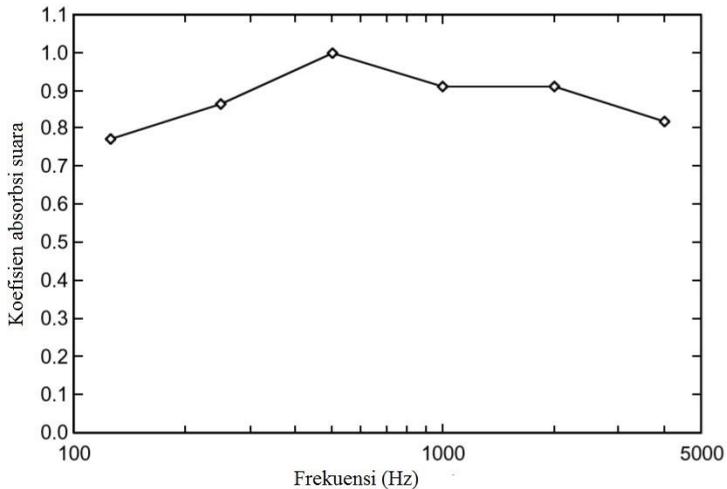
Gambar 2.7 Kurva karakteristik material penyerap suara tipe resonansi (Howard dan Angus, 2009)

Tipe lain dari bahan penyerap suara resonansi adalah resonator Hemoltz. Efektifitas kerja penyerap suara tipe ini ditentukan oleh adanya udara yang terperangkap di pipa atau leher diatas bidang berisi udara (bentuknya seperti botol). Permukaan berlubang menjadi ciri utama resonator jenis ini, yang bekerja pada frekuensi tertentu, tergantung pada ukuran lubang, volum ruang udaranya dan leher. Tipe resonator Hemoltz ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kurva karakteristik material penyerap suara tipe Hemoltz (Howard dan Angus, 2009)

Jika material yang diinginkan adalah material yang memiliki frekuensi kerja yang lebar (rendah, menengah dan tinggi), maka perpaduan dari ketiga tipe material tersebut dapat dikombinasikan. Kombinasi antara komponen gesekan dengan kecepatan gelombang suara dan resonansi dari komponen tekanan gelombang suara, akan menyebabkan kinerja penyerapan suara oleh material lebih besar untuk seluruh daerah frekuensi. Perpaduan dari tiga material penyerap suara tersebut, ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kurva perpaduan tiga tipe material penyerap suara (Howard dan Angus, 2009)

2.7 Panel Pintu Mobil

Komponen pada mobil, umumnya dibagi menjadi tiga bagian, yakni *body*, *chasis* dan bagian mesin. Sebagian besar *body* mobil terbuat dari logam dan material termoplastik. Diantara jenis material termoplastik yang banyak digunakan pada *body* mobil, yakni polipropilen, polyester, dan PU. Bahan tersebut dipilih sebagai material *body* mobil karena ringan dan memiliki kekuatan mekanik yang baik. Hingga saat ini, banyak dilakukan inovasi pada *body* mobil, salah satunya adalah inovasi material penyerap suara pada *body* mobil.

Untuk mobil, bahan penyerap suara dapat diletakkan di beberapa tempat, seperti di atap, panel pintu dan karpet. Mengontrol udara luar dapat mengurangi kebisingan. Solusi yang biasa digunakan untuk mengurangi kebisingan udara luar tersebut, diantaranya dengan memanfaatkan dinding akustik (*acoustic baffles*), *urethane filler foam*, karet penyumbat (*rubber plugs*) serta *adhesive seam* yang biasa digunakan untuk menghalangi masuknya kebisingan dari luar (Cameron, 2009).



Gambar 2.10 Panel pintu mobil BMW 7 series
(www.naturalfibersforautomotive.com)

Gambar 2.10 menunjukkan panel pintu mobil yang merupakan salah satu bagian dari *body* mobil dan banyak berperan dalam mengurangi kebisingan dengan lingkungan luar mobil. Panel pintu mobil pada umumnya terbuat dari polipropilen, polyester atau PU dengan kekuatan lentur berkisar antara 11 hingga 25 MPa dan kekuatan tarik berkisar antara 30 hingga 95 MPa. Akan tetapi, sejak tahun 2015, *European Union's end-of-life of Vehicles (ELV)* menekankan untuk menggunakan material daur ulang, yang menjadikan penambahan serat natural pada beberapa *body* mobil sebagai tren terbaru (Marsh, 2003). Mørkholt dkk (2011) melakukan simulasi tentang “*Sound Intensity Measurements in Vehicle Interiors*”. Dari hasil simulasi tersebut, diketahui koefisien absorpsi suara pada panel pintu mobil berkisar antara 0,1 hingga 0,3. Penelitian ini juga dilakukan berdasarkan *European Union research project Cabin Noise Reduction by Experimental and Numerical Design Optimization (CREDO)*

2.8 Penelitian Sebelumnya

Farid dan Heriyanto (2013) menunjukkan adanya kinerja penyerapan suara material komposit berbasis serat rami dalam ruangan mencapai 99% dan hanya 1% energi suara yang direfleksikan.

Pada tahun 2015, Farid dkk melakukan penelitian terkait kemampuan absorpsi suara material komposit berpengetatan serat

natural. Adapun serat natural yang digunakan terdiri dari serat bambu betung dan serat rami dengan matrik berupa resin *polyester*. Dari penelitian tersebut diperoleh koefisien absorpsi suara komposit *polyester*/serat rami sebesar 0,836 untuk frekuensi rendah (125 Hz), sedang komposit *polyester*/serat bambu sebesar 0,973 untuk frekuensi sedang (1000 Hz). Hasil komposit *polyester*/serat bambu menunjukkan kemampuan absorpsi suara mendekati maksimum nilai absorpsi suara.

Pada tahun yang sama, Shabrina dan Farid melakukan penelitian terkait kemampuan absorpsi suara komposit *gypsum*/serat bambu dan serat rami. Dari penelitian tersebut diketahui nilai koefisien absorpsi suara tertinggi terjadi pada frekuensi 4000 Hz dengan nilai 0,435.

Pada tahun 2014, Agung dan Farid melakukan penelitian terkait koefisien absorpsi suara komposit *gypsum*/serat ampas tebu dan bambu betung. Dari penelitian tersebut diperoleh nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0,380 pada frekuensi 2000 Hz dan nilai tertinggi sebesar 0,424 pada frekuensi 4000 Hz. Komposit ini juga memiliki nilai kekuatan lentur sebesar 1,71 Mpa dan nilai kekuatan tekan sebesar 3,63 Mpa.

Gayathri dan Vasanthakumari (2014), melakukan penelitian terkait kemampuan komposit *polyurethane* berpenguat nanomaterial pada frekuensi rendah. Nanomaterial yang digunakan berupa *nano silica* (NS) dan *nano clay* (NC). Dari penelitian tersebut, diketahui *polyurethane* tanpa filler dengan tebal 60 mm memiliki nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0,8. Seding komposit *polyurethane*/nanomaterial dengan ketebalan antara 15-20 mm memiliki kemampuan absorpsi suara sebesar 0,8-0,88.

Penelitian tentang kemampuan absorpsi suara komposit *polyurethane*/serat teh dan *luffa cylindrica* (LC) dilakukan oleh Ekici dkk (2012). Komposisi serat yang digunakan pada penelitian tersebut, berkisar antara 5-24% wt. Dari penelitian tersebut, diketahui terdapat peningkatan kemampuan absorpsi suara diakibatkan penambahan komposisi serat. Untuk komposit *polyurethane* dengan tambahan 24% serat daun teh memiliki nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0,8 pada frekuensi 5000 Hz. Seding penambahan *luffa cylindrica* pada komposit *polyurethane*

meningkatkan nilai koefisien absorpsi suara menjadi 0,9 pada frekuensi 3000 Hz.

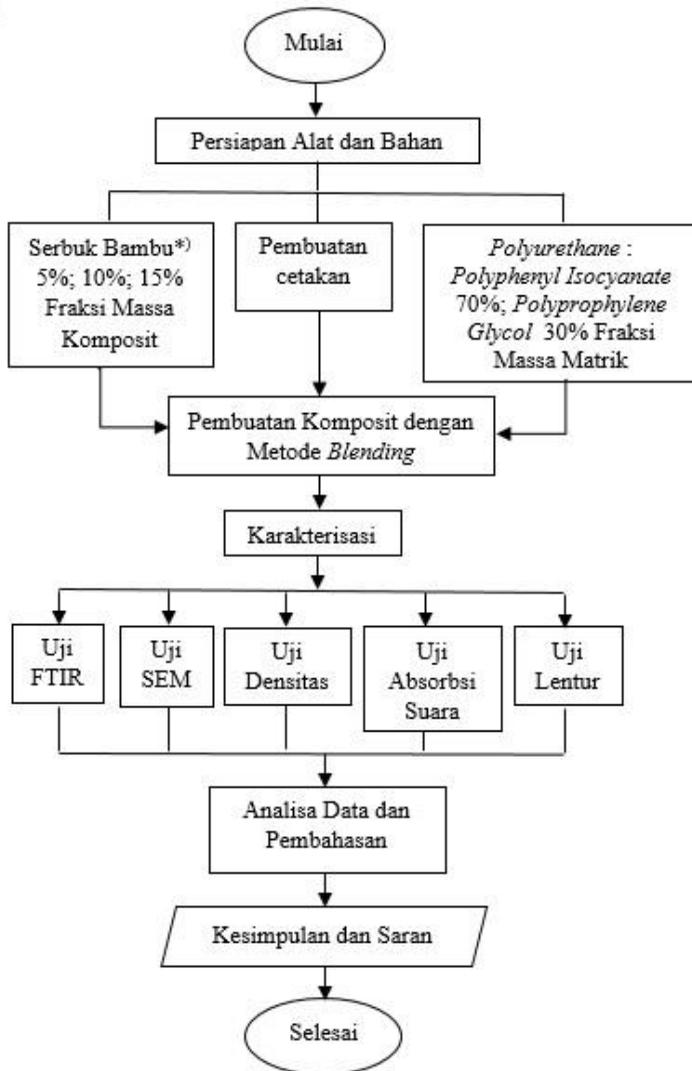
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa komposit dengan *filler* serat bambu memiliki nilai koefisien absorpsi suara yang cukup tinggi dan kekuatan mekanik yang baik. Sedang komposit *polyurethane* diketahui memiliki nilai koefisien absorpsi suara yang memenuhi kebutuhan panel pintu mobil sebagai fungsi akustik. Pada penelitian ini, dilakukan inovasi pembuatan komposit *polyurethane* dengan penambahan serbuk bambu betung. Dengan ditamhkannya serbuk bambu betung, diharapkan komposit yang terbentuk memiliki sifat akustik dan sifat mekanik yang lebih baik dan dapat diaplikasikan sebagai panel pintu mobil.

BAB III

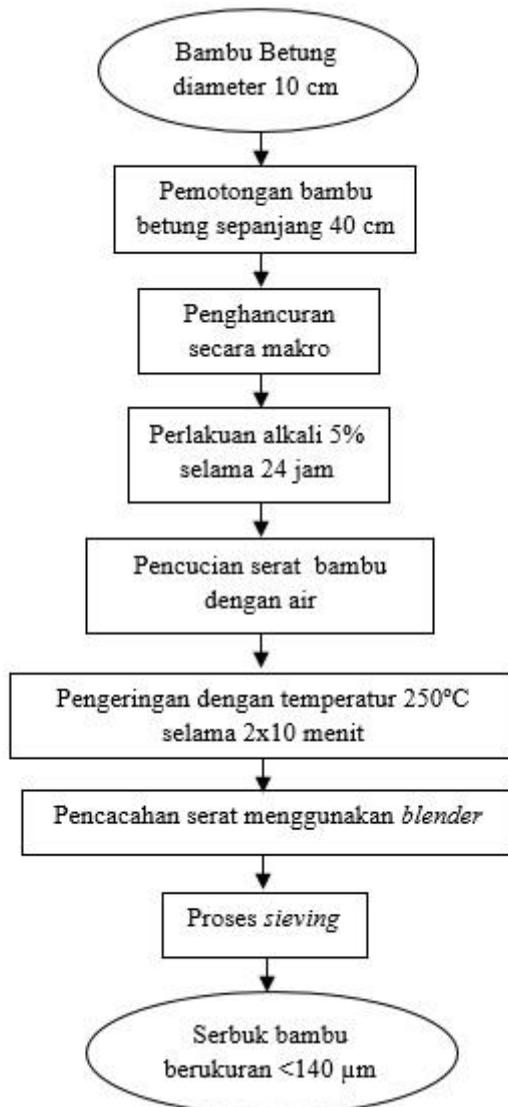
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan alur penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Penggunaan diagram alir penelitian yang digambar secara sistematis bertujuan untuk mempermudah pemahaman mengenai langkah-langkah penelitian yang dilakukan. Adapun pengolahan bambu betung hingga menjadi bahan komposit ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir pengolahan serbuk bambu betung

3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Alat cetak.
Alat cetak berfungsi sebagai pembentuk spesimen. Alat cetak yang digunakan terdiri dari cetakan spesimen absorpsi suara dan cetakan spesimen uji lentur.
2. Neraca analitik
Neraca analitik merek Mettler Toledo digunakan untuk menimbang massa bahan penelitian.
3. Oven
Digunakan sebagai alat bantu dalam mengeringkan serbuk bambu.
4. *Blender*
Digunakan untuk mencacah serat bambu agar berukuran lebih kecil.
5. Peralatan *Sieving*
Digunakan untuk menyaring serbuk bambu agar memiliki ukuran serbuk yang seragam. Alat *sieving* yang digunakan terdiri dari 1 mesin *sieving* dan tiga ayakan berukuran 450 μm , 244 μm dan 140 μm . Peralatan *sieving* yang digunakan adalah milik Laboratorium Fisika Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Mesin uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
Digunakan untuk melihat morfologi permukaan komposit. Mesin uji SEM yang digunakan adalah tipe FEI INSPECT S50, milik Divisi Karakterisasi Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
7. Mesin uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).
Uji FTIR menggunakan instrument Thermo Scientific Nicolet IS10 milik Divisi Karakterisasi Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, digunakan untuk

- mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada komposit.
8. Mesin uji absorpsi suara
Digunakan untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menyerap suara. Mesin uji koefisien absorpsi suara yang digunakan merupakan milik Laboratorium Akustik Material, Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
 9. Mesin Uji lentur
Digunakan untuk mengetahui kemampuan kekuatan lentur komposit. Uji kekuatan lentur menggunakan mesin uji AUTOGRAPH AG-10 TE SIMADZU milik Universitas Airlangga Surabaya.
 10. Peralatan laboratorium lainnya gelas ukur, penggaris, gunting, dan lain-lain.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bambu betung
Bambu betung yang digunakan berdiameter 10 cm, dan merupakan bahan utama dan berfungsi sebagai penguat komposit.
2. PU
Bahan pembentuk PU terdiri dari *polyphenyl isocyanate* dan *polypropylene glycol*, yang didapatkan dari PT. Justuz Kimia Raya, Surabaya. PU merupakan bahan utama yang berfungsi sebagai matrik.
3. NaOH
Digunakan untuk perlakuan alkali pada serat bambu.
4. Air
Digunakan untuk membersihkan serat bambu setelah perlakuan alkali.
5. Aluminium foil
Digunakan untuk melapisi cetakan agar tidak lengket dan tidak terjadi reaksi antara komposit dan cetakan.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi komposisi serbuk bambu. Variasi komposisi komposit yang dimaksud, yakni :

- 1) 100% *polyurethane* (100%PU)
- 2) Serbuk bambu 5 %, *PU* 95% (95%PU-SB)
- 3) Serbuk bambu 10 %, *PU* 90% (90%PU-SB)
- 4) Serbuk bambu 15 %, *PU* 85% (85%PU-SB)

3.4 Rancangan Penelitian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari uji FTIR, uji SEM, uji densitas (ρ), uji absorpsi suara (α) dan uji kekuatan lentur. Tabel 3.1 menunjukkan pengujian yang dilakukan pada setiap komposit.

Tabel 3.1 Rancangan penelitian

No.	Material Komposit	Pengujian				
		Uji FTIR	Uji SEM	ρ	α	Uji Lentur
1.	100%PU	√	√	-	√	-
2.	95%PU-SB	√	-	√	√	√
3.	90%PU-SB	-	-	√	√	√
3.	85%PU-SB	-	√	√	√	√

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan bahan

1) Pengolahan Bambu

Bambu betung berdiameter 10 cm dipotong sepanjang 40 cm dengan gergaji. Setelah dipotong, bambu dibelah menjadi beberapa bagian untuk mempermudah proses penghancuran secara makro. Bambu yang telah dibelah kemudian dipukul-pukul hingga hancur dan seratnya terpisah satu sama lain. Serat bambu lalu direndam dengan larutan NaOH 5% selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan lignin yang terdapat pada serat. Setelah itu, serat dicuci bersih dengan air, lalu jemur dibawah sinar

matahari langsung. Untuk hasil lebih baik, serat bambu dikeringkan kembali menggunakan oven dengan temperatur 250°C selama 2x10 menit. Serat yang sudah kering kemudian dipotong sepanjang 1 cm untuk mempermudah proses pencacahan. Serat dicacah menggunakan *blender* hingga menjadi serbuk. Serbuk yang telah halus kemudian melalui proses *sieving* agar serbuk yang digunakan memiliki ukuran yang seragam. Pada proses *sieving*, digunakan tiga ayakan berukuran 450 μm , 244 μm dan 140 μm . Serbuk bambu yang digunakan adalah serbuk berukuran <140 μm .

2) Pengolahan PU

PU dibuat dengan mencampurkan *Polyphenyl isocyanate* dan *Polypropylene glycol*. Adapun komposisi yang digunakan dalam pembuatan komposit ini adalah 70% untuk *Polyphenyl isocyanate* dan 30% untuk *Polypropylene glycol*.

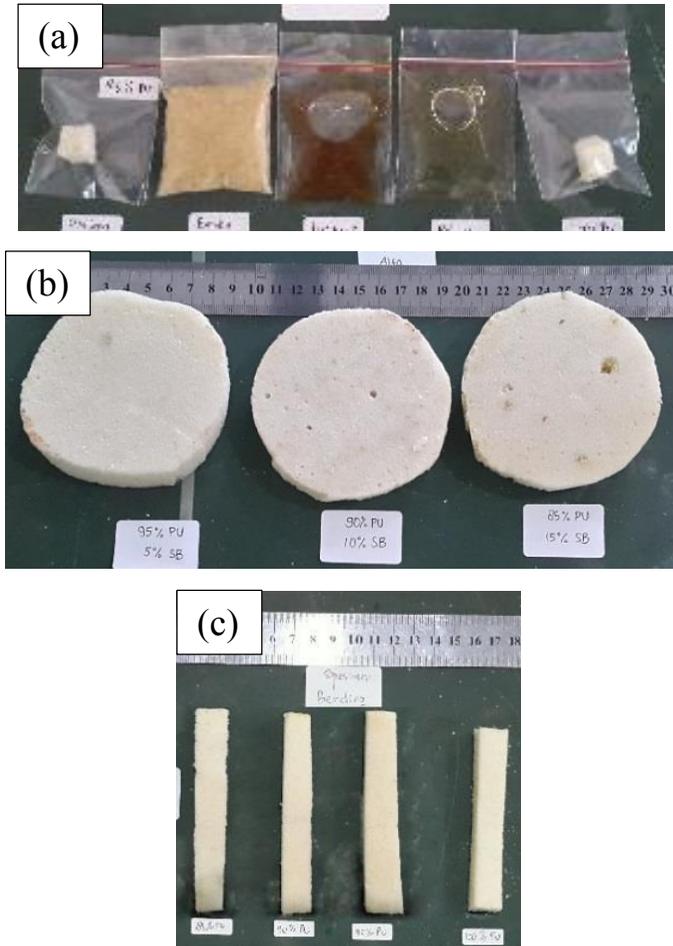
3.5.2 Pembuatan cetakan

Cetakan yang dibuat terdiri dari dua cetakan, yakni :

- a) Cetakan spesimen uji absorpsi suara, terbuat dari pipa plastik PVC dengan diameter 10,5 cm dan tinggi 5 cm dan dilapisi aluminium foil.
- b) Cetakan uji lentur, terbuat dari karton dengan ukuran 13 cm x 2,6 cm x 4 cm dan dilapisi aluminium foil.

3.5.3 Pembuatan komposit

Pembuatan komposit menggunakan metode *blending*. PU dan serbuk bambu ditimbang sesuai dengan komposisi yang terdapat pada rancangan. Total massa kedua bahan tersebut per spesimen adalah 25 gr untuk spesimen absorpsi suara dan 20 gr untuk spesimen uji lentur. Setelah itu, kedua bahan dicampur dan diaduk secara merata selama 1 menit. Bahan kemudian di tuang dan didiamkan selama 24 jam. Setelah 24 jam, komposit dikeluarkan dari cetakan dan dipotong sesuai dengan standar pengujian. Gambar 3.3 menunjukkan spesimen yang digunakan dalam pengujian



Gambar 3.3 (a) Spesimen uji FTIR dan SEM, (b) spesimen uji absorpsi suara dan (c) spesimen uji lentur.

3.5.4 Pengujian

a) Analisa gugus fungsi

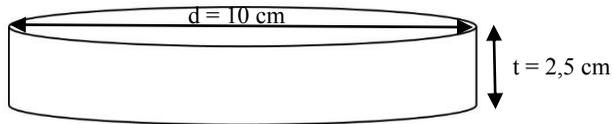
Analisa gugus fungsi dilakukan untuk mengetahui ikatan yang terdapat pada komposit. Prinsip dalam pengujian FTIR yakni interaksi energi dengan suatu materi. Ketika spesimen uji ditembakkan sinar inframerah, atom-atom pada spesimen uji akan bergetar dan bervibrasi karena energi yang berasal dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron. Besar energi vibrasi setiap komponen berbeda-beda tergantung kekuatan ikatan yang terdapat pada molekul. Hasil pengujian berupa grafik, dimana sumbu x menunjukkan panjang gelombang dan sumbu y menunjukkan persen transmitansi.

b) Analisa morfologi

Prinsip dasar SEM adalah dengan memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan objek dan mengambil gambar dengan mendeteksi electron di permukaan. Jika electron mengenai benda maka akan terjadi dua jenis pantulan, yakni pantulan elastis dan non-elastis. Dari pantulan elastis akan diperoleh sinyal *backscattered* elektron (BSE). Sedang dari pantulan non elastis akan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X. Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi BSE yang muncul dipermukaan sampel ketika sampel dipindai dengan electron.

c) Analisa densitas

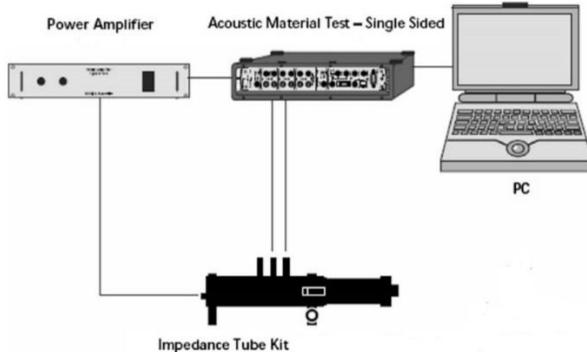
Analisa dilakukan untuk mengetahui massa jenis dari komposit. Analisa dilakukan dengan percobaan perhitungan massa jenis pada umumnya, yaitu menghitung hasil bagi dari massa komposit dan volum komposit. Adapun dimensi spesimen yang digunakan dalam analisa densitas ditunjukkan pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 Spesimen densitas

d) Analisa absorpsi suara

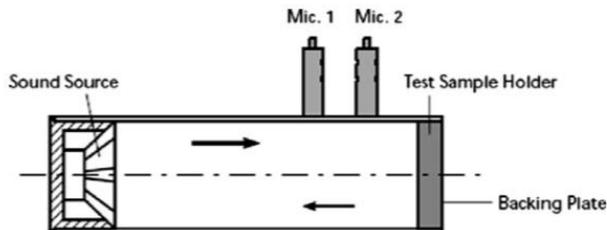
Analisis absorpsi suara bertujuan untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menyerap suara. Pengujian absorpsi suara dilakukan di Laboratorium Akustik Jurusan Teknik Fisika, FTI-ITS. Metode yang digunakan sesuai dengan standar pengujian material akustik ASTM E 1050. Komponen dalam pengujian terdiri dari dua buah mikrofon, sebuah *amplifier*, tabung impedansi B&K 4206, *pulse multi analyzer*, dan laptop. Komponen pengujian absorpsi suara ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Peralatan uji absorpsi suara (Ersoy, 2008)

Spesimen uji absorpsi suara berbentuk bulat dengan diameter 10 cm dan ketebalan 2,5 cm. Spesimen yang akan diuji diletakkan dalam tabung impedansi dengan posisi melintang dan diberi penyangga berupa plastisin.

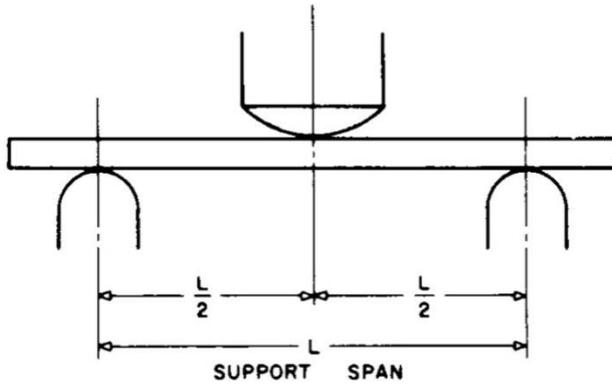
Mikrofon satu akan mengeluarkan suara dari gelombang suara paling rendah sampai dengan yang paling tinggi. *Amplifier* digunakan untuk menguatkan gelombang yang dihasilkan. Gelombang yang datang akan diserap oleh permukaan komposit kemudian ditangkap kembali oleh mikrofon kedua. Hasil dari gelombang suara yang datang dari mikrofon satu dan ditangkap oleh mikrofon dua, kemudian dianalisa untuk mendapatkan fungsi respon frekuensi. Perhitungan koefisien absorpsi suara menggunakan *software Pulse v.6*. Data yang diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk grafik dengan menggunakan *software matlab*. Prinsip kerja pengujian absorpsi suara ditunjukkan pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3.6 Prinsip kerja tabung impedansi (Ersoy, 2008)

e) Analisis kekuatan lentur

Analisis kekuatan lentur bertujuan untuk mengetahui kekakuan material ketika dibengkokkan. Pengujian dilakukan di Universitas Airlangga. Analisis kekuatan lentur dilakukan berdasarkan ASTM D 790 dengan metode *three point bend*, dimana spesimen diletakkan pada kedua tumpuan, dan beban diberikan ditengah spesimen. Spesimen yang digunakan berukuran 127 mm x 12,7 mm x 3,2 mm. Metode pengujian kekuatan lentur ditunjukkan pada Gambar 3.7 dan dimensi spesimen pengujian lentur berdasarkan ASTM D 790 ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Metode *three point bend* pada uji kekuatan lentur (ASTM D 790)



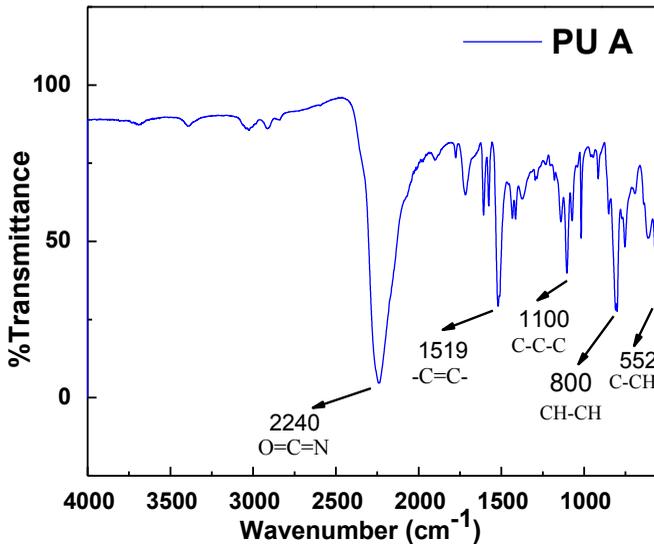
Gambar 3.8 Spesimen uji kekuatan lentur

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa FTIR

Tujuan dari analisa FTIR pada penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi komponen pembentuk PU (*isocyanate* dan *polyol*), mengidentifikasi kandungan lignin pada serbuk bambu, serta membuktikan tidak adanya reaksi antara serbuk bambu dan PU sehingga material dapat disebut komposit.

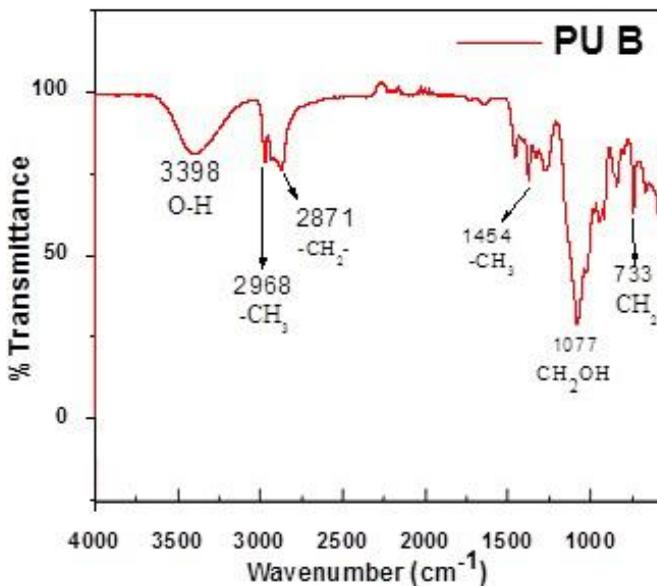
Komponen pembentuk PU pada penelitian ini terdiri dari PU A dan PU B. Untuk memperoleh sifat yang diinginkan, maka dilakukan uji FTIR pada kedua bahan terlebih dahulu. Hasil uji FTIR PU A ditunjukkan pada Gambar. 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Hasil uji FTIR *Polyurethane A*

Dari Gambar 4.1 diketahui pada polyurethane terjadi ikatan regang O=C=N pada puncak gelombang rendah 2240 cm⁻¹. Ikatan ini yang menjadi landasan bahwa PU A merupakan

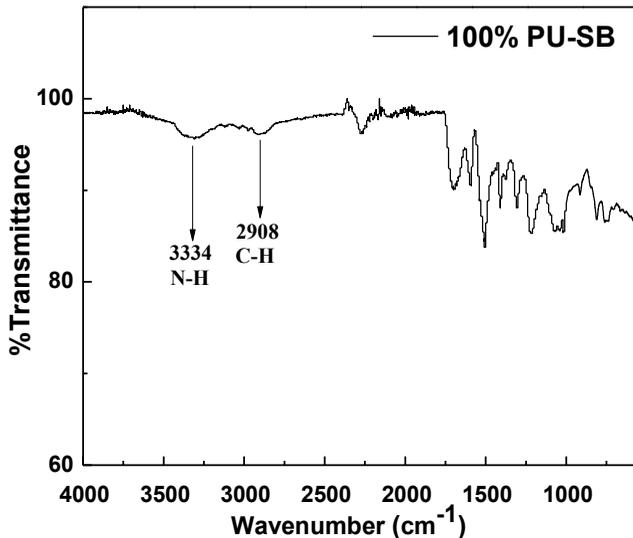
isocyanate. Pada puncak gelombang 1519 cm^{-1} , terlihat adanya penyerapan gelombang untuk ikatan —C=C— dan ikatan C—C—C pada gelombang 1100 cm^{-1} . Penyerapan gelombang CH double bond, teridentifikasi pada bilangan gelombang 800 cm^{-1} . Dan pada bilangan gelombang 552 cm^{-1} terjadi vibrasi regang pada ikatan C=CH gugus aromatik *isocyanate* (Socrates, 2001). Dengan demikian, diketahui bahwa PU A merupakan *isocyanate* dengan jenis *Polyphenyl Isocyanate*.



Gambar 4.2 Hasil uji FTIR *Polyurethane B*

Sedang pada Gambar 4.2, diketahui bahwa pada puncak gelombang sebesar 3398 cm^{-1} terdapat vibrasi regang pada ikatan O—H yang merupakan gugus hidroksil. Hal ini menunjukkan bahwa PU B merupakan *polyol*. Terdapat penyerapan gelombang regang pada bilangan puncak 1454 cm^{-1} dan 2968 cm^{-1} untuk ikatan —CH_3 . Pada puncak 733 cm^{-1} dan 2871 cm^{-1} terdeteksi gelombang ikatan $\text{—CH}_2\text{—}$, dan pada bilangan gelombang 1077 cm^{-1}

teridentifikasi peregangan CH_2OH (Socrates, 2001). Sehingga diketahui bahwa polyol merupakan jenis *polypropylene glycol*.

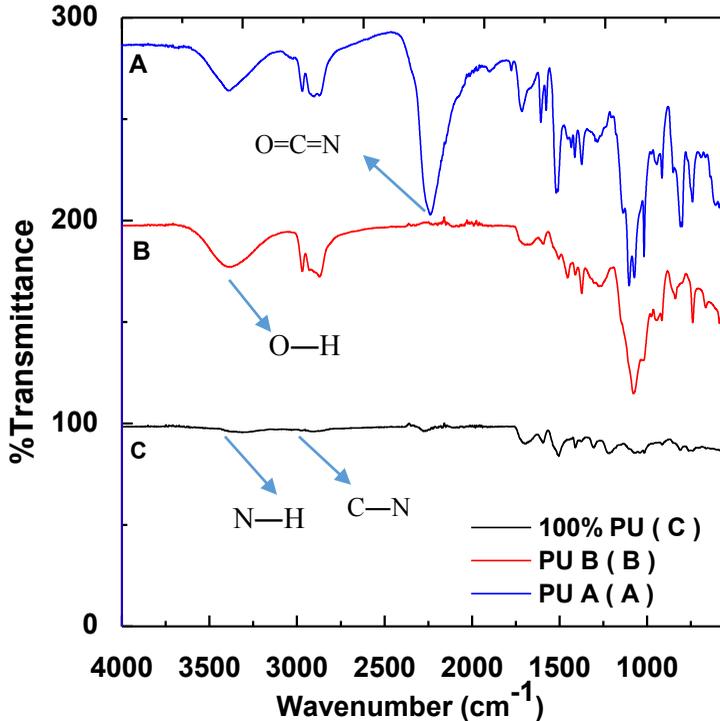


Gambar 4.3 Hasil uji FTIR komposit 100%PU

Mengacu pada Gambar 4.3 tentang hasil uji FTIR komposit 100%PU, pada bilangan gelombang 3334 cm^{-1} teridentifikasi adanya vibrasi regang ikatan N—H dan pada bilangan gelombang 2908 cm^{-1} terjadi penyerapan gelombang C—N (Mistry, 2009). N—H dan C—N merupakan gugus kimia yang terdapat pada polyurethane, yang terbentuk dari reaksi antara *polyphenyl isocyanate* dan *polypropylene glycol*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pencampuran *polyphenyl isocyanate* dan *polypropylene glycol* menghasilkan reaksi *polyurethane*.

Dari analisa hasil FTIR PU A, PU B dan 100%PU yang telah di jelaskan, maka dapat dibandingkan seperti pada Gambar 4.4. Pada Gambar 4.4 terjadi vibrasi regangan ikatan N—H antara *wavenumber* 3400- 3000 cm^{-1} . Mengacu pada Gambar 4.3, diketahui terjadi penyerapan gelombang C—N pada *wavenumber*

2908 cm^{-1} yang merupakan reaksi dari pencampuran *polyphenyl isocyanate* dan *polypropylene glycol*.



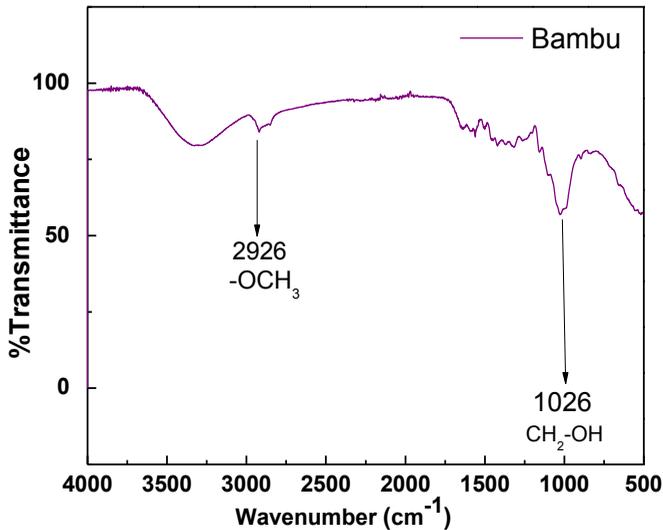
Gambar 4.4 Perbandingan hasil FTIR PU A, PU B dan 100% PU

Uji FTIR juga dilakukan pada serbuk bambu betung yang telah melalui perlakuan alkali 5% selama 24 jam. Tujuan dari FTIR serbuk bambu adalah untuk memastikan tidak adanya kandungan lignin pada serbuk bambu.

Lignin memiliki gugus $-\text{OCH}_3$ dan berada pada puncak gelombang sebesar $2860\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ (Socrates, 2001). Gambar 4.5 yang menunjukkan hasil uji FTIR serbuk bambu setelah melalui

perlakuan alkali. Pada gambar tersebut, terlihat adanya puncak gelombang pada *wavenumber* 2860-3000 cm^{-1} yang mengindikasikan bahwa masih terdapat lignin pada bambu yang telah melalui proses alkali.

Masih adanya lignin pada bambu dapat disebabkan karena kurangnya konsentrasi NaOH yang digunakan dan kurangnya waktu perendaman. Khalil (2012) dalam penelitiannya menuliskan bahwa perlakuan alkali dengan konsentrasi NaOH 20% memiliki hasil yang paling baik. Sedang pada penelitian Farid (2015), dilakukan perendaman dalam NaOH 10% selama 2 hari untuk menghilangkan lignin pada serat bambu betung.

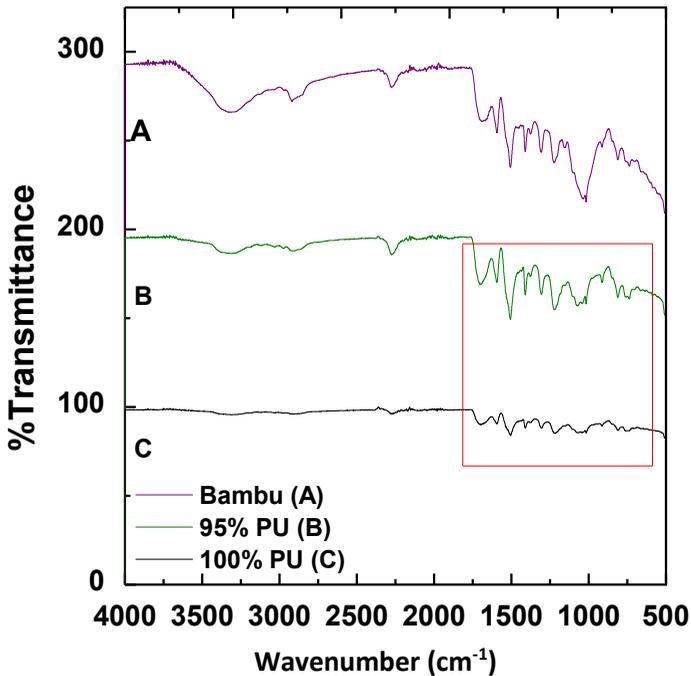


Gambar 4.5 Hasil uji FTIR serbuk bambu

Menurut Ku (2011), kandungan lignin dalam serat natural dapat mengurangi kekuatan mekanik dari komposit karena memiliki *interfacial adhesion* yang rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan *interfacial adhesion* tersebut adalah dengan

menambahkan *coupling agent*. Komposisi kimia yang terdapat pada coupling agent menjadikan coupling agent bereaksi dengan permukaan serbuk dan membentuk jembatan ikatan kimia antara serbuk dan matrik.

Gambar 4.5 juga menunjukkan adanya gugus CH_2OH yang terdeteksi pada *wavenumber* 1026 cm^{-1} . Gugus CH_2OH mengindikasikan selulosa pada serbuk bambu.



Gambar 4.6 Hasil Uji FTIR 100%PU, 95%PU-SB, dan serbuk bambu

Gambar 4.6 menunjukkan grafik FTIR 100%PU, komposit 95%PU-SB dan serbuk bambu. Dari gambar tersebut, diketahui komposit 95%PU-SB dan 100%PU memiliki gelombang yang

sama pada *wavenumber* 1750-550 cm^{-1} , sehingga dapat disimpulkan tidak terjadi reaksi antara serbuk bambu dengan PU sehingga material dapat disebut komposit. Hal ini sesuai dengan teori bahwa komposit memiliki sifat homogen secara makro dan heterogen secara mikro (Sulistijono, 2012).

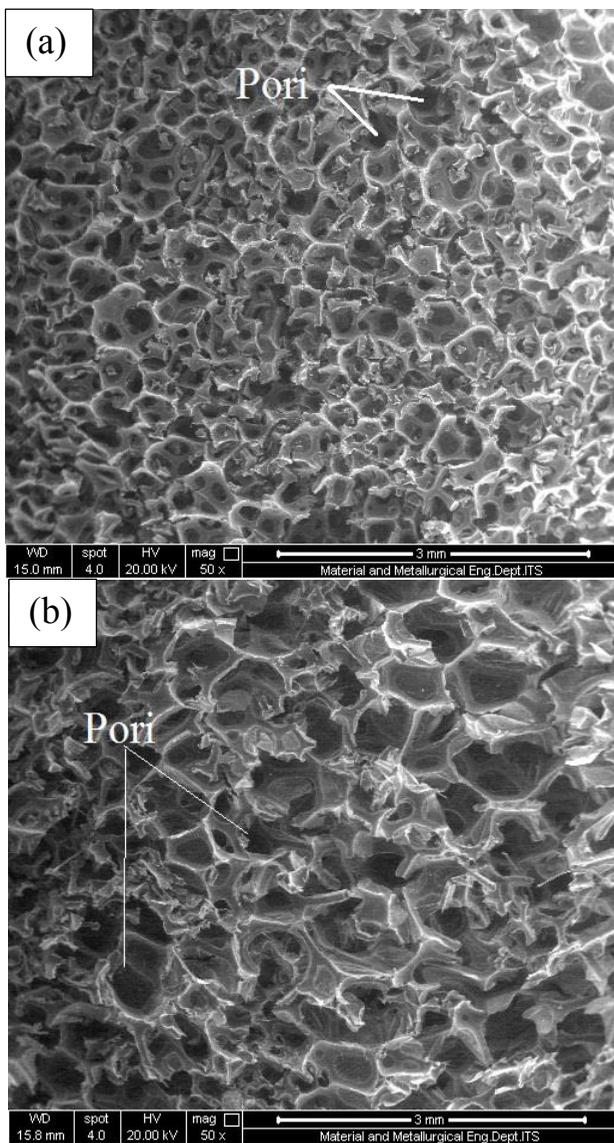
4.2 Analisa Morfologi

Analisa morfologi bertujuan untuk mengetahui struktur permukaan dari komposit. Gambar 4.7 menunjukkan hasil SEM 100%PU dan 85%PU-SB pada perbesaran 50x. Dari Gambar 4.7 (a) terlihat 100%PU memiliki permukaan yang berpori. Garis terang pada gambar menunjukkan dinding sel, sedangkan lubang-lubang berwarna hitam menunjukkan pori pada *foam*.

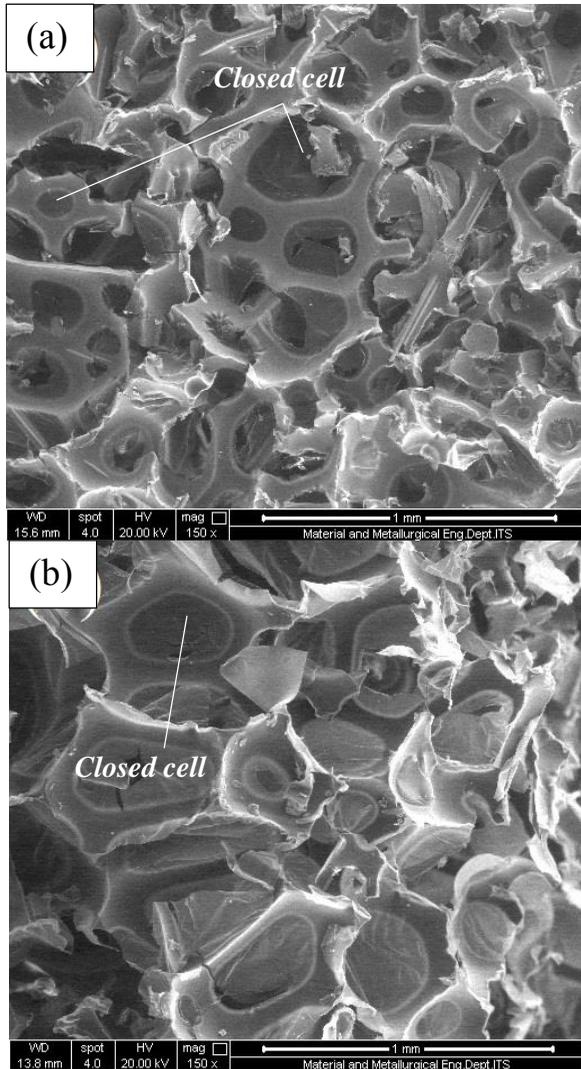
Hasil SEM komposit 85%PU-SB ditunjukkan pada Gambar 4.7 (b). Seperti halnya 100%PU, komposit 85%PU-SB juga memiliki permukaan yang berpori. Akan tetapi, komposit 85%PU-SB memiliki permukaan yang tidak beraturan. Hal ini disebabkan karena proses pemotongan spesimen menggunakan alat pemotong yang kasar. Pada komposit PU-SB, penambahan serbuk mengakibatkan lebarnya ukuran pori sehingga permukaan komposit rapuh dan mudah keropos.

Perbandingan hasil SEM 100%PU dan 85%PU-SB yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 memperlihatkan adanya perbedaan ukuran sel. Pada gambar terlihat 100%PU memiliki sel yang seragam dan berukuran kecil. Menurut Pradhan dan Nayak (2012), tidak adanya serbuk dapat menjadikan ukuran sel lebih halus dan seragam. Sel yang seragam menunjukkan sifat mekanik yang baik (Acero, 2014).

Selain berpengaruh terhadap sifat mekanik, ukuran sel juga berpengaruh terhadap densitas. Ukuran sel yang kecil pada 100%PU dapat menjadi penyebab tingginya nilai densitas yang dimilikinya (Kuranska, 2011). Sedang pada komposit 85%PU-SB, ukuran sel dan pori terlihat lebih besar. Berdasarkan teori, pengembangan ukuran sel dapat disebabkan karena adanya difusi gas (Gayathri, 2014).



Gambar 4.7 Hasil SEM pada perbesaran 50x : (a) 100%PU dan (b) 85%PU-SB



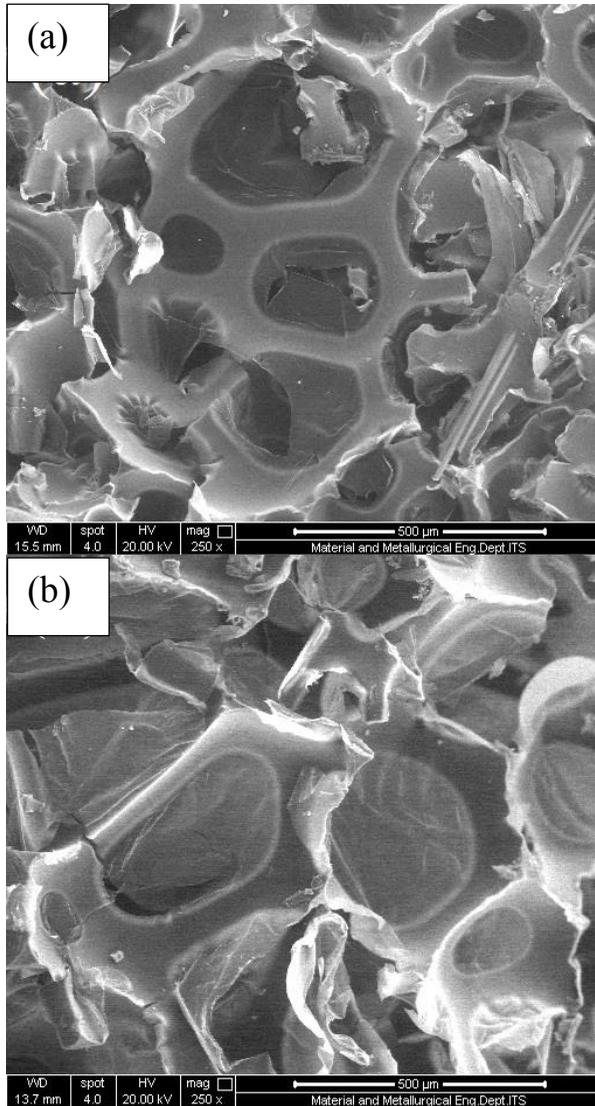
Gambar 4.8 Hasil SEM pada perbesaran 150x : (a) 100%PU dan (b) 85%PU-SB

Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan hasil SEM 100%PU dan 85%PU-SB pada perbesaran 150x. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa kedua hasil SEM merupakan tipe *closed cell. Foam* dengan tipe *closed cell* memiliki ciri khusus, yaitu pori yang tertutup oleh membran tipis (Ogam, 2015). Tipe *closed foam* diketahui memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap suara pada frekuensi sedang (1000 Hz - 2000 Hz).

Gambar 4.8 juga menunjukkan ukuran pori pada komposit 85%PU-SB lebih besar dari pada 100%PU. Penambahan serbuk bambu sebanyak 15% menyebabkan ukuran sel menjadi lebih besar. Penyebaran serbuk pada matrik PU menyebabkan terjadinya difusi gas dan ukuran pori semakin melebar (Kuranska, 2011).

Pada perbesaran 250x yang terdapat pada Gambar 4.9, terlihat dinding sel 85%PU-SB lebih tebal daripada komposit 100%PU. Tebal dinding sel dapat mempengaruhi kekuatan mekanik. Semakin tebal dinding sel, maka kekuatan mekanik semakin baik (Gayathri, 2014). Besar kecilnya ukuran sel dan ketebalan dinding sel menjadi salah satu faktor tinggi rendahnya kemampuan absorpsi suara (Asadi dan Ohadi, 2015). Material dengan dinding sel yang tebal memiliki kemampuan absorpsi suara lebih baik.

Sample uji SEM 100%PU dan 85%PU-SB merupakan jenis komposit PU berbentuk *rigid foam*. Karena berbentuk *rigid foam*, maka penampakan serbuk bambu sulit ditemukan. PU berbentuk *foam* dalam proses pembentukannya akan mengembang 20x dari volum awal, sehingga serbuk turut menyebar ke segala arah. Akan tetapi, berdasarkan Gambar 4.7 dan Gambar 4.9 menunjukkan penambahan serbuk pada matrik PU berpengaruh terhadap morfologinya, terlihat dengan adanya pertambahan ukuran sel dan ketebalan dinding sel.



Gambar 4.9 Perbandingan hasil SEM pada perbesaran 250x : (a) 100%PU dan (b) 85%PU-SB

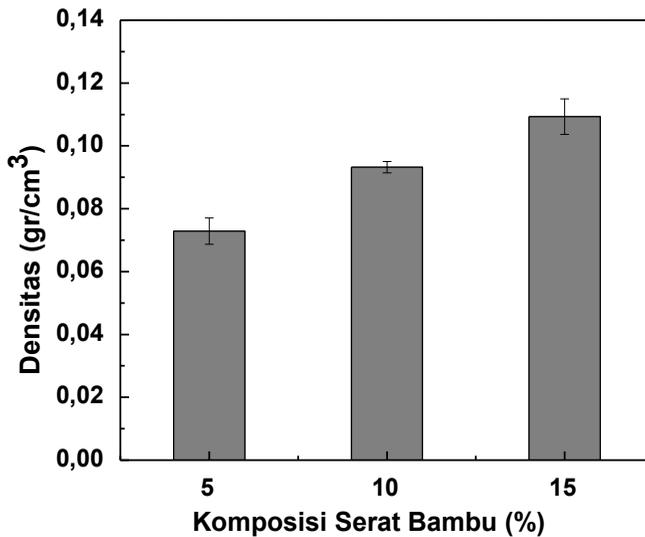
4.3 Analisa Densitas

Analisa densitas berkaitan dengan propertis komposit baik sifat mekanik maupun sifat akustik komposit. Dari perhitungan massa dibagi volum komposit, diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan densitas komposit PU-SB

No.	Komposit	Massa Jenis (gr/cm ³)	Massa Jenis Rata-rata (gr/cm ³)
1.	85%PU-SB	0.0494	0.1093
		0.0471	
		0.0386	
2.	90%PU-SB	0.0393	0.0932
		0.0413	
		0.0377	
3.	95%PU-SB	0.0348	0.0729
		0.0292	
		0.0267	

Dari Tabel 4.1 tersebut, diketahui komposit 85%PU-SB memiliki nilai densitas paling tinggi, yakni 0,1093 gr/cm³. Pada tabel tersebut terlihat, penambahan 5% serbuk memiliki nilai densitas sebesar 0,0729 gr/cm³. Pada penambahan serbuk sebanyak 10% dan 15%, nilai densitas komposit semakin meningkat, masing-masing menjadi 0,0932 gr/cm³ dan 0,1093. Dalam penelitiannya, Gayathri (2014) menuliskan, penambahan serbuk pada komposit dapat meningkatkan nilai densitas karena banyaknya serbuk dapat menciptakan *void* yang lebih banyak. Tingginya nilai densitas juga berpengaruh pada ukuran sel. Gambar 4.10 menunjukkan grafik perhitungan densitas komposit PU-SB.



Gambar 4.10 Grafik densitas komposit PU-SB

4.4 Analisa Absorpsi Suara

Pengujian absorpsi suara bertujuan untuk mengetahui kemampuan komposit PU-SB dalam menyerap suara. Kualitas absorpsi suara suatu material, ditunjukkan dengan harga α (nilai koefisien absorpsi suara). Nilai α berkisar dari 0 sampai 1. Semakin nilai α mendekati 1, artinya kemampuan material tersebut dalam menyerap suara semakin baik.

Dari pengujian koefisien absorpsi suara komposit PU-SB, diperoleh hasil seperti pada Table 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian absorpsi suara komposit PU-SB.

Frekuensi (Hz)	Koefisien absorpsi suara			
	100%PU	95%PU-SB	90%PU-SB	85%PU-SB
125	0.142	0.122	0.141	0.187
250	0.264	0.246	0.264	0.292
500	0.321	0.312	0.335	0.404
1000	0.378	0.373	0.363	0.379
2000	0.398	0.400	0.410	0.428
4000	0.426	0.437	0.438	0.434

Mengacu pada tabel tersebut, spesimen 100%PU memiliki nilai α sebesar 0,142 pada frekuensi 125 Hz. Pada frekuensi 250, 500, 1000 dan 2000, nilai koefisien absorpsi suara komposit 100%PU memiliki kenaikan signifikan menjadi 0,264; 0,321; 0,378; dan 0,398. Nilai α tertinggi dari komposit 100%PU terjadi pada frekuensi 4000 Hz, yakni sebesar 0,426. Akan tetapi, dibandingkan dengan komposit yang ditambahkan serbuk bambu, nilai α dari komposit 100%PU-SB cenderung lebih kecil.

Untuk komposit 95%PU-SB, nilai α pada frekuensi 125 Hz adalah sebesar 0,122. Nilai ini adalah nilai terkecil dibandingkan dengan komposit lain pada frekuensi yang sama. Pada frekuensi 125 Hz, nilai α komposit mencapai 0,187. Pada frekuensi 250 Hz dan 500 Hz, terjadi kenaikan signifikan, namun tetap memiliki nilai paling kecil dibandingkan dengan spesimen lain, yakni sebesar 0,246 dan 0,312. Dan pada frekuensi 1000 Hz, 2000 Hz, dan 4000 Hz, koefisien absorpsi suara 95%PU-SB terus meningkat mencapai 0,373; 0,400; dan 0,426. Seperti komposit 100%PU, nilai koefisien absorpsi suara tertinggi terjadi pada frekuensi 4000 Hz.

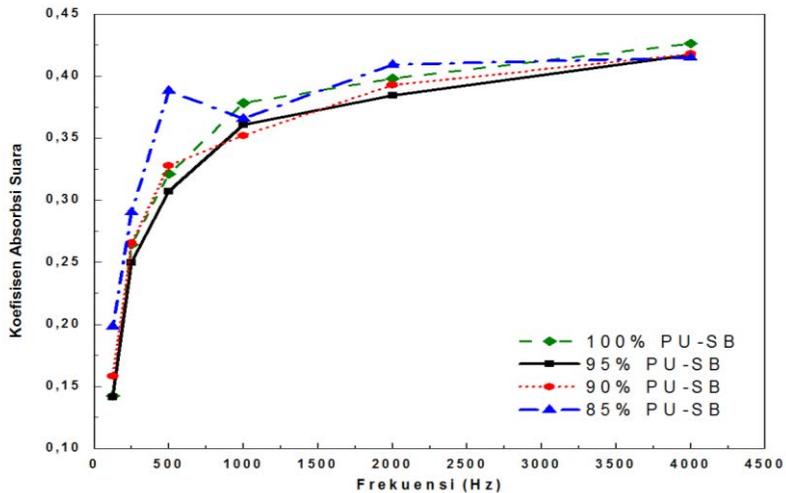
Pada frekuensi 125 Hz, komposit 90%PU-SB memiliki nilai α sebesar 0,141. Pada frekuensi 250; 500; 1000; dan 2000 Hz, seperti komposit-komposit sebelumnya, memiliki kenaikan signifikan menjadi 0,264; 0,335; 0,363; dan 0,410. Nilai α tertinggi komposit 90%PU-SB dicapai pada frekuensi 4000 Hz, yakni

sebesar 0,438 dan merupakan nilai α tertinggi pada frekuensi tersebut.

Sedang pada komposit 85%PU-SB, nilai koefisien absorpsi suara di frekuensi 125 Hz mencapai 0,187 dan merupakan nilai tertinggi pada frekuensi tersebut. Pada frekuensi 200, nilai α komposit meningkat, mencapai 0,292. Pada frekuensi 500 Hz, nilai α komposit 85%PU-SB mencapai 0,404 dan merupakan nilai α tertinggi dibandingkan dengan komposit lain pada frekuensi yang sama. Pada frekuensi 1000 Hz, nilai α komposit 85%PU-SB mengalami penurunan menjadi 0,379 dan pada frekuensi 2000 Hz dan 4000 Hz, masing-masing sebesar 0,428 dan 0,434.

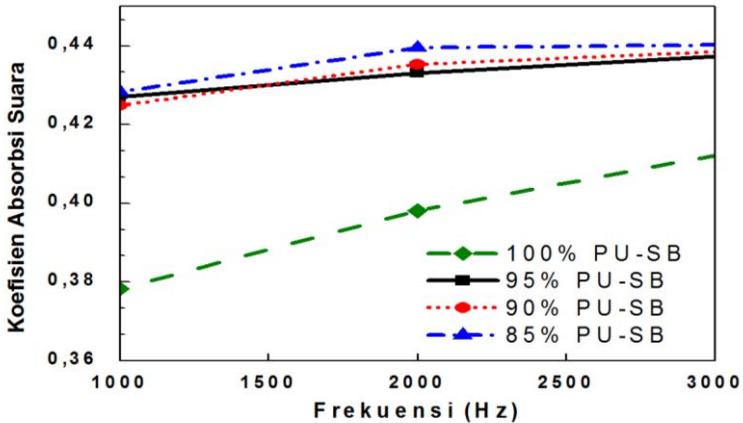
Dari hasil pengujian koefisien absorpsi suara pada Tabel 4.2 tersebut, diketahui masing-masing spesimen memiliki nilai absorpsi suara yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh perbedaan komposisi serbuk di masing-masing spesimen yang mengakibatkan perbedaan kerapatan. Akan tetapi, dari data tersebut terlihat bahwa masing-masing spesimen komposit PU-SB memiliki nilai koefisien absorpsi suara tertinggi pada frekuensi tinggi, yakni 4000 Hz. *Trend* yang sama terjadi pada penelitian Ersoy (2008), Ekici (2012), Lee (2011), dan Gayathri (2014). Hasil yang ditunjukkan sesuai dengan teori bahwa PU *foam* dengan tipe *closed cell* memiliki kemampuan absorpsi suara yang baik pada frekuensi 1000 Hz - 3000 Hz.

Masing-masing komposit memiliki nilai α yang signifikan seiring dengan tingginya frekuensi yang diberikan. Hal ini ditunjukkan dari Gambar 4.12. Dari grafik yang ditunjukkan, dapat disimpulkan bahwa komposit PU-SB termasuk dalam material penyerap suara tipe berpori (*porous absorber*).



Gambar 4.11 Grafik pengukuran koefisien absorpsi suara pada komposit PU-SB

Pada Gambar 4.11 terlihat hampir semua komposit memiliki peningkatan nilai koefisien absorpsi suara yang seragam. Jika dikaitkan dengan aplikasinya sebagai pintu panel mobil, maka grafik tersebut dapat di *zoom-in* seperti pada Gambar 4.12. Pada Gambar 4.12, *range* frekuensi yang diambil antara 1000-3000 Hz. *Range* tersebut merupakan frekuensi suara di udara ketika mobil berjalan (Cameron, 2009).



Gambar 4.12 Grafik pengukuran absorpsi suara pada frekuensi 1000-3000 Hz

Dari Gambar 4.12, terlihat komposit 85%PU-SB memiliki nilai koefisien absorpsi suara paling tinggi pada frekuensi 1000-3000 Hz. Sedangkan komposit 100%PU memiliki nilai koefisien absorpsi suara paling rendah. Hal ini sesuai dengan teori bahwa banyaknya serbuk dapat menyebabkan suara yang terserap lebih banyak akibat adanya ruang yang terbentuk dalam spesimen (Ekici, 2012).

Mørkholt dkk (2011) pada penelitiannya tentang “*Sound Intensity Measurements in Vehicle Interiors*”, menuliskan koefisien absorpsi suara pada panel pintu mobil berkisar antara 0,1 hingga 0,3. Penelitian ini juga dilakukan berdasarkan *European Union research project Cabin Noise Reduction by Experimental and Numerical Design Optimization* (CREDO). Mengacu pada Gambar 4.12, terlihat keempat komposit memiliki nilai koefisien absorpsi suara > 0,3. Sehingga dapat diasumsikan bahwa keempat sample PU-SB tersebut memenuhi syarat sebagai fungsi akustik pada aplikasi panel pintu mobil dengan nilai koefisien absorpsi suara tertinggi 0,428 milik komposit 85%PU-SB.

4.5 Analisa Sifat Mekanik

Analisa sifat mekanik bertujuan untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menerima beban mekanik. Sebagai aplikasi panel pintu mobil, dibutuhkan kekuatan mekanik yang baik. Analisa mekanik dalam penelitian ini berdasarkan hasil pengujian kekuatan lentur.

Analisa kekuatan lentur bertujuan untuk mengetahui kekuatan material ketika dibengkokkan. Analisa kekuatan lentur dilakukan berdasarkan ASTM D 790 dengan metode *three point bend* dan dimensi spesimen yakni 127 mm x 12,7 mm x 3,2 mm.

Data hasil perhitungan kekuatan lentur komposit PU-SB terdapat pada Table 4.3 sebagai berikut.

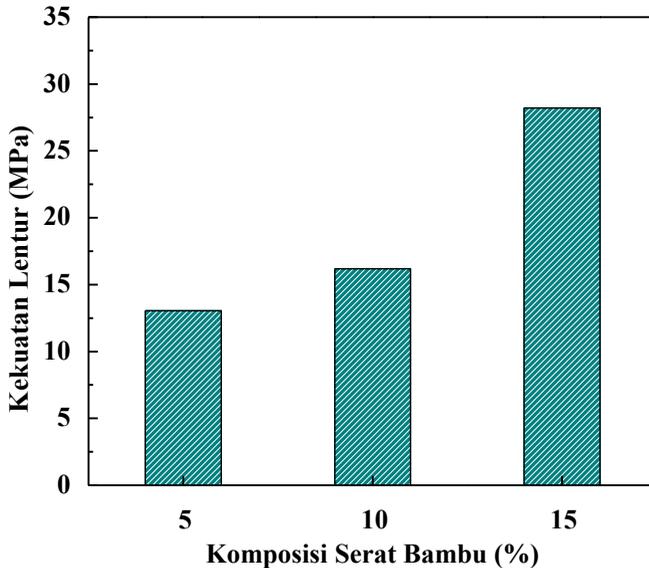
Tabel 4.3 Hasil pengujian kekuatan lentur

Komposit	Kekuatan Lentur (MPa)
85%PU-SB	28,20
90%PU-SB	16,19
95%PU-SB	13,06

Dari Table 4.3 tersebut, diketahui, komposit dengan 5% serbuk bambu (95%PU-SB) memiliki kekuatan lentur paling rendah, yakni 13,06 MPa. Menurut Wang (2015), sedikitnya fraksi massa serbuk menyebabkan jarak antara serbuk yang jauh, sehingga kontak area antara serbuk dan matrik menjadi lemah, dan pengaruh serbuk sebagai penguat menjadi berkurang. Seiring dengan penambahan komposisi serbuk bambu menjadi 10%, kekuatan lentur meningkat menjadi 16,19 MPa pada dan pada komposisi serbuk bambu 15%, kekuatan lentur komposit mencapai 28,20 MPa.

Pengujian lentur juga dilakukan pada polyurethane murni (100%PU) sebagai pembanding. Kekuatan lentur 100%PU mencapai 44,18 MPa. Kekuatan lentur 100% PU lebih tinggi daripada komposit 85%PU-SB karena penambahan serbuk pada komposit bukan berperan sebagai penguat namun sebagai pengisi dan penambah massa (Sulistijono, 2012). Berdasarkan analisa

morfologi dan densitas, diketahui tingginya nilai kekuatan lentur 100%PU disebabkan ukuran sel yang kecil dan pori yang lebih rapat. Dari seluruh pengujian lentur tersebut, maka diperoleh *trend* seperti Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13 Grafik kekuatan lentur komposit PU-SB

Grafik diatas menunjukkan rendahnya kekuatan lentur pada komposisi 5% serbuk bambu. Akan tetapi kekuatan lentur terus meningkat pada komposisi 10% dan 15% persen. *Trend* yang sama juga terjadi pada penelitian Kim (2008). Nilai kekuatan lentur yang meningkat dengan bertambahnya komposisi serbuk dapat terjadi karena peran serbuk dalam distribusi pembebanan (Hernandar, 2004).

Nilai kekuatan mekanik komposit dapat dipengaruhi oleh proses pembuatan komposit. Adanya kandungan lignin yang ditunjukkan pada hasil FTIR, dapat berpengaruh pada ikatan antara matrik dan serbuk bambu. Berdasarkan penelitian Marsh (2003)

terkait *Next Step for Automotive Material*, diketahui bahwa kekuatan lentur panel pintu mobil pada umumnya berkisar antara 11 hingga 25 MPa. Sehingga komposit PU-SB dapat diasumsikan memenuhi kebutuhan lentur panel pintu mobil.

LAMPIRAN

A. Perhitungan Massa Polyurethane dan Serat Bambu pada spesimen uji.

Pengujian	Spesimen	Massa Komposit (gr)	Massa Bahan (gr)		
			SB	PU A	PU B
Absorpsi Suara	85%PU-SB	25 gr	3,75	14,875	6,375
	90%PU-SB		2,5	15,75	6,75
	95%PU-SB		1,25	16,625	7,125
	100% PU		0	17,5	7,5

Pengujian	Spesimen	Massa Komposit (gr)	Massa Bahan (gr)		
			SB	PU A	PU B
Kekuatan Lentur	85%PU-SB	20 gr	3	11,9	5,1
	90%PU-SB		2	12,6	5,4
	95%PU-SB		1	13,3	5,7
	100% PU		0	14	6

B) Perhitungan kekuatan lentur berdasarkan ASTM D 790

Rumus yang digunakan untuk mencari kekuatan lentur adalah sebagai berikut :

$$\sigma_f = (3PL/2bd^2)[1 + 6(D/L)^2 - 4(d/L)(D/L)]$$

Spesimen	Lebar Spesimen (mm)	Tebal Spesimen (mm)	Beban Patah (N)	Support Span (mm)	Deflection (mm)	Kekuatan Lentur (MPa)	Rata-Rata σ_f
	B	d	P	L	D	σ_f	
100%PU	12.7	3	1.52	85	180.625	47.629	44.18
	12.7	3	1.46	85	180.625	45.749	
	12.7	3	1.25	85	180.625	39.169	
85%PU-SB	12.7	3	0.55	85	180.625	17.235	13.06
	12.7	3	0.3	85	180.625	9.401	
	12.7	3	0.4	85	180.625	12.535	
90%PU-SB	12.7	3	0.65	85	180.625	20.369	16.19
	12.7	3	0.5	85	180.625	15.669	
	12.7	3	0.4	85	180.625	12.535	
95%PU-SB	12.7	3	0.9	85	180.625	28.203	28.20
	12.7	3	1	85	180.625	31.336	
	12.7	3	0.8	85	180.625	25.069	

C) Perhitungan nilai densitas komposit

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai densitas komposit adalah sebagai berikut :

$$\rho = 1000m/v$$

Spesimen	Massa	Diameter	Tinggi	Jari-jari	Volume	Massa jenis	massa jenis rata rata
100%PU	8.21	9.67	2.21	4.835	162.2239152	0.050609061	0.1149
	8.21	9.59	2.39	4.795	172.5459508	0.047581528	
	8.21	9.24	2.45	4.62	164.2024692	0.049999248	
85%PU B	7.75	10.1	1.96	5.05	156.952586	0.049377969	0.1093
	7.75	9.9	2.14	4.95	164.646999	0.047070399	
	7.75	10.2	2.46	5.1	200.911644	0.03857417	
90%PU B	6.98	10.3	2.13	5.15	177.3877845	0.03934882	0.0932
	6.98	9.8	2.24	4.9	168.876736	0.041331922	
	6.98	9.4	2.67	4.7	185.198142	0.037689363	
95% PU B	5.78	9.51	2.34	4.755	166.1294197	0.034792152	0.0729
	5.78	9.28	2.93	4.64	198.0766259	0.029180626	
	5.78	9.39	3.13	4.695	216.6432583	0.026679806	

D. Hasil pengujian absorpsi suara



Surabaya, 05 Juni 2016

No : 10/PRO/VIBRASTIC/VI/16
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen 85% blending PU dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 02.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 2,5 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.156324
250	0.272949
500	0.318592
1000	0.360043
2000	0.394455
4000	0.438816

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng
NIP. 19731007 199802 1 001

Surabaya, 05 Juni 2016

No : 11/PRO/VIBRASTIC/VI/16
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen 90% blending PU dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 02.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 2,5 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.14157
250	0.263929
500	0.335269
1000	0.363095
2000	0.409714
4000	0.438146

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS



Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng
NIP. 19731007 199802 1 001

Surabaya, 05 Juni 2016

No : 12/PRO/VIBRASTIC/VI/16
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen 95% blending PU dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 02.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 2 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.122038
250	0.24582
500	0.311806
1000	0.373046
2000	0.400112
4000	0.437497

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS



Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng
NIP. 19731007 199802 1 001

Surabaya, 05 Juni 2016

No : 13/PRO/VIBRASIC/VI/16
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen 100% PU dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 02.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 2 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alpha
125	0.142357
250	0.26421
500	0.321143
1000	0.378292
2000	0.398087
4000	0.406276

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS



Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng
NIP. 19731007 199802 1 001

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan serbuk bambu pada komposit PU-SB berpengaruh pada morfologinya, ditunjukkan dengan adanya perbesaran pori dan ukuran sel.
2. Komposit 85%PU-SB memiliki nilai kelenturan paling baik, yakni sebesar 28,20 MPa.
3. Komposit 85%PU-SB memiliki nilai $\alpha > 0,3$ pada *range* frekuensi 1000-3000 Hz, sehingga memenuhi syarat sebagai material kandidat komposit penyerap suara pada panel pintu mobil.

Sehingga dari hasil analisa tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa komposit 85%PU-SB telah memenuhi standar absorpsi suara dan kekuatan lentur panel pintu mobil serta dapat digunakan sebagai material kandidat panel pintu .

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh, berikut beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Menggunakan cetakan dengan ukuran sesuai dengan standar pengujian.
2. Memperhitungkan kecepatan dan waktu pengadukan agar tidak terbentuk banyak *void* yang dapat mengurangi kekuatan mekanik komposit.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Acero, Naomi F. 2014. *Polyurethane Foams from Renewable and Sustainable Polyols*. Portugal : Instituto Superior Tecnico
- Arenas, J, dan Crocker, M. 2010. *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials*. **Sound and Vibration** July : 12
- Asadi, Mostafa dan A. Ohadi. 2015. *Improving Sound Absorption of Polyurethane Foams by The Incorporation of Nano-Particles*. Italy : The 22nd International Congress on Sound and Vibration
- ASTM D 790 2010. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. USA : ASTM International
- ASTM E 1050-98. *Standard Test Method for Impedance and Absorbtion of Acoustical Material Using a Tube, Two Microphones, and Digital Frequency Analysis System*. USA : ASTM International
- Berardi, U., G. Iannace. 2015. *Acoustic Characterization of Natural Fiber for Sound Absorption Application*. Elsevier : Building and Environment
- Chawla, Krishan K. 2013. *Composite Material Science and Engineering*. New York : Springer
- Cameron, C.J. 2009. *Design Multifunctional Body Panels in Automotive Application*. Sweden : KTH Engineering Sciences
- Doelle, Leslie L. 1972. *Akustik Lingkungan*. Jakarta : Erlangga.
- Ekici, B, et.al. 2012. *Improving Sound Absorption Property of Polyurethane Foams by Adding Tea-Leaf Fibers*. **Archives of Acoustic Vol. 37 No.4**
- Farid, M., dkk, 2015. *Correlation Between Frequency and Sound Absorption Coefficient of Polymer Reinforced Natural Fiber*. **Advance Materials Research. Vol.1112**, pp. 329-332

- Farid, M., Heriyanto. 2013. *Correlation of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (NAC) and Random Incidence Sound Absorption Coefficient (RAC) of Polyester/Ramie Fibre Composite Materials*. **Advance Materials Research**. Vol.789, pp. 269-273
- Faruk, O., dkk. 2012. *Biocomposite Reinforced with Natural Fibers : 2000-2010*. Elsevier : Progress in Polymer Science
- Gay, Daniel. 2015. *Composite Material : Design and Application 3rd Edition*. Boca Raton : CRC Press.
- Gayathri, R., R.Vasanthakumari. 2014. *Nanomaterials in PU Foam for Enhanced Sound Absorption at Low Frequency Region*. Switzerland : Advanced Materials Research Vol. 938
- Hoogten, Rob V., dkk. 2014. *Understanding The Effect of Particle Surface Free Energy on the Structural and Mechanical Properties of Clay-Laden Rigid Polyurethane Foams*. Elsevier : Europe Polymer Journal
- Howard, Angus. 2009. *Acoustic and Psychoacoustics 4th Edition*. Oxford : Local Press
- Irwan, Y. 2013. *Pembuatan dan Uji Karakteristik Akustik Komposit Papan Serat Sabut Kelapa*. Bandung : Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Jones., Robert M. 1999. *Mechanics of Composite Material 2nd Edition*. Philadelphia. Taylor and Francis, Inc.
- Kaw, Autar K. 2006. *Mechanics of Composite Material 2nd Edition*. New York : Taylor and Francis, Inc.
- Khalil dkk. 2012. *Bamboo Fiber Reinforced Biocomposite : A Review*. **Matter Des 2012** ;42:353-68
- Kim, S. J., dkk. 2008. *Mechanical Properties of Polypropylene/Natural Fibre Composite : Comparison of Wood Fiber and Cotton Fibre*. Elsevier : Polymer Testing.
- Koizumi, T., N. Tsujiuchi, A. Adachi. 2002. *The development of sound absorbing Materials Using Natural Bamboo Fibers*,

- High Performance Structure and Composite Book*. Jepang : WITPress.
- Ku, H., dkk. 2011. *A Review of the Tensile Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composite*. Elsevier. Composite : Part B
- Lim, H., dkk. 2008. *Effects of Silicone Surfactant in Rigid Polyurethane Foams*. Korea : Pusan National University
- Marsh , George. 2003. *Next Step for Automotive Materials*. Material Today : April 2003.
- Mediastika, E Christina. 2009. *Material Akustik Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan*. Yogyakarta : Andi Offset
- Mistry, B., D. 2009. *A Handbook of Spectroscopic Data*. Jaipur : Oxford Book Company
- Mørkholt, J, dkk, 2011. *Sound Intensity Measurements in Vehicle Interiors*. **Sound & Vibration December** : 12-14
- Nurhusaeni,M. 2011. *Gelombang Tranversal*. Jakarta : Erlangga
- Ogam, E, dkk. 2015. *Identification of The Mechanical Moduli of Closed Cell Porous Foams Using Transmitted Acoustic Waves in Air and The Transfer Matrik Methode*. Elsevier. Composite Structure.
- Pradhan, K. C., dan P. L. Nayak. 2012. *Synthesis and Characterization of Polyurethane Nanocomposite from Castor Oil- Hexamethylene Diisocyanate (HMDI)*. Odisha : Plagia Research Library
- Socrates, George. 2001. *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.
- Staiger, M. P., Tucker N. 2008. *Natural-fibre composites in structural applications*. In: Pickering K, editor. **Properties and performance of natural-fibre composites**. 2008. Cambridge, UK: Wood head
- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Surabaya : itspress
- Wang, L, W. Ding, Y. Sun. 2015. *Effect of different fiber materials on mechanical properties of polyurethane composites*.

China : 2nd International Workshop on Materials
Engineering and Computer Sciences (IWMECS 2015)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Siti Komariyah, lahir di Balikpapan, Kalimantan Timur pada tahun 1993. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Abdul Kadir dan Siti Muslimah. Penulis menempuh pendidikan formal di TK An-Ni”mah Sorong, MI Yapis Quba Sorong, MTsN Model Sorong, MAN Model Sorong dan sejak tahun 2012-sekarang aktif sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi

Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama masa kuliah, penulis aktif berorganisasi di Kementerian Kebijakan Publik Badan Eksekutif Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (BEM ITS), Kementerian Kaderisasi Kebangsaan BEM ITS, Departemen Humas Lembaga Dakwah Jurusan Ash-Habul Kahfi, Badan Pelayanan Umat Jama’ah Masjid Manarul Ilmi (JMMI-ITS) dan Forum Perempuan ITS.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Industri Kereta Api (INKA) periode Juni 2015 di divisi Teknologi Produksi. Topik Tugas akhir yang dipilih oleh penulis adalah material inovatif, dengan judul, “Karakterisasi Sifat Akustik, Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit *Polyurethane*/Serbuk Bambu sebagai Aplikasi Panel Pintu Mobil”. Untuk menghubungi penulis dapat melalui e-mail qomait@gmail.com.