

PENGARUH VARIASI POLYURETHANE TERHADAP SIFAT FISIS DAN KOEFISIEN SERAP BUNYI PADA MATERIAL KOMPOSIT *POLYMERIC FOAM* UNTUK PEMBUATAN BADAN PESAWAT UAV

Frans Dinata¹, Ikhwansyah Isranuri², Farida Ariani³, A. Husein Siregar⁴, Marragi M.⁵

^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

E-mail : Fdinata_92@yahoo.co.id

ABSTRAK

Material akustik adalah material teknik yang fungsi utamanya adalah untuk menyerap suara. Material akustik adalah suatu bahan yang dapat menyerap energi suara, namun besarnya energi yang diserap berbeda-beda untuk tiap bahan. Tujuan umum dalam penelitian ini adalah menganalisa sifat fisis dan koefisien serap bunyi material komposit *polymeric foam* yang diperkuat serat batang kelapa sawit yang dipakai untuk badan pesawat. Dalam penelitian ini digunakan tabung impedansi guna mengukur koefisien serap bunyi material *polymeric foam* dengan variasi ketebalan 5, 10, dan 15mm. Dari penelitian ini didapat bahwa variabel II memiliki sifat fisis dan sifat mekanik yang baik dengan massa 1,6367g, volume 3,03ml, dan massa jenis 539,56 kg/m³. Dan untuk pengujian daya serap bunyi digunakan spesimen dengan variabel II. Frekuensi yang paling baik diserap oleh material komposit yaitu pada frekuensi menengah. Untuk ketebalan 5mm nilai koefisien absorpsi paling tinggi sebesar 0,5557 yaitu pada frekuensi 1500Hz, sedangkan pada ketebalan 10mm nilai koefisien absorpsi paling tinggi sebesar 0,5060 pada frekuensi 1000Hz, dan pada ketebalan 15mm nilai koefisien absorpsi paling tinggi sebesar 0,5109 pada frekuensi 500Hz.

Kata kunci: massa, volume, massa jenis, koefisien absorpsi, material akustik, tabung impedansi.

1. PENDAHULUAN

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal[1]. Bahan komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut.

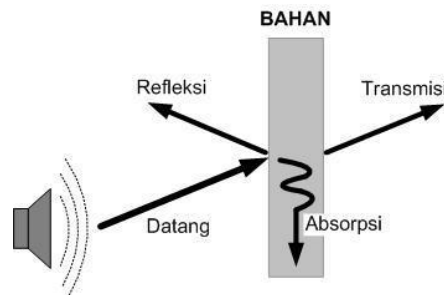
Material akustik adalah material teknik yang fungsi utamanya adalah untuk menyerap suara / bising[2]. Material akustik adalah suatu bahan yang dapat menyerap energi suara yang datang dari sumber suara. Pada dasarnya semua bahan dapat menyerap energi suara, namun besarnya energi yang diserap berbeda-beda untuk tiap bahan.

Tujuan umum dalam penelitian ini adalah menganalisa sifat fisis dan koefisien serap bunyi material komposit *polymeric foam* yang dipakai untuk badan pesawat dengan variasi pada *polyurethane*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sifat 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[3]. Fenomena absorpsi suara oleh suatu permukaan bahan ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 1 Fenomena absorpsi suara oleh suatu permukaan bahan

Fenomena suara yang terjadi akibat adanya berkas suara yang bertemu atau menumbuk bidang permukaan bahan, maka suara tersebut akan dipantulkan (*reflected*), diserap (*absorb*), dan diteruskan (*transmitted*) atau ditransmisikan oleh bahan tersebut[4]. Medium gelombang bunyi dapat berupa zat padat, cair, ataupun gas. Frekuensi gelombang bunyi dapat diterima manusia berkisar antara 20Hz sampai dengan 20kHz, atau dinamakan sebagai jangkauan yang dapat didengar (*audible range*).

Koefisien Absorpsi

Penyerapan suara (*sound absorption*) merupakan perubahan energi dari energi suara menjadi energi panas atau kalor[5].

Kualitas dari bahan peredam suara ditunjukkan dengan harga α (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi), semakin besar α maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai α berkisar dari 0 sampai 1[6]. Jika α bernilai 0, artinya tidak ada bunyi yang diserap sedangkan jika α bernilai 1, artinya 100% bunyi yang datang diserap oleh bahan. Besarnya energi suara yang dipantulkan, diserap, atau diteruskan bergantung pada jenis dan sifat dari bahan atau material tersebut. Pada umumnya bahan yang berpori (*porous material*) akan menyerap energi suara yang lebih besar dibandingkan dengan jenis bahan lainnya. Adanya pori-pori menyebabkan gelombang suara dapat masuk ke dalam material tersebut. Energi suara yang diserap oleh bahan akan dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya, pada umumnya diubah ke energi kalor.

Perbandingan antara energi suara yang diserap oleh suatu bahan dengan energi suara yang datang pada permukaan bahan tersebut didefinisikan sebagai koefisien penyerapan suara atau koefisien absorpsi (α)[7].

$$\alpha = \frac{\text{Absorbed Energy}}{\text{Incident Energy}} \dots (2.1)$$

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai serap bunyi. Faktor-faktor yang mempengaruhi penyerapan bunyi pada material adalah:

1. Ukuran serat,
2. Resistensi aliran udara,
3. Porositas (rongga pori),
4. Ketebalan,
5. Densitas,
6. Permukaan impedansi[8].

Material Akustik

Material akustik adalah material teknik yang fungsi utamanya adalah untuk menyerap suara / bising[1]. Material akustik adalah suatu bahan yang dapat menyerap energi suara yang datang dari sumber suara. 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.

Tabung Impedansi

Ada dua metode standar yang digunakan untuk mengukur koefisien serap bunyi untuk sampel berukuran kecil yaitu menggunakan metode rasio gelombang tegak (ISO 105432-1) dan metode transfer fungsi (ISO 105432-2)[9]. Kedua metode dirancang untuk pengukuran pada sampel kecil. Metode rasio gelombang tegak mapan, tapi lambat sehingga diganti dengan metode transfer fungsi karena kecepatan dan akurasi dalam pengukuran. Pada penelitian ini digunakan tabung impedansi yang dirancang dan dibuat oleh Felix Asade pada skripsinya.

Metode Perbandingan Gelombang Tegak (ISO 10534-1:1996)

Metode ini berdasarkan pada fakta bahwa hanya ada gelombang datar yang datang dan dipantulkan sepanjang sumbu axis dalam tabung[10]. Gelombang bunyi sinusoidal yang datang dibangkitkan oleh loudspeaker pada salah satu ujung tabung. Pada ujung lainnya dibatasi oleh lapisan material yang memiliki reflektifitas tinggi. Pengukuran dapat dilakukan dalam satu oktaf atau 1/3 oktaf frekuensi. Dengan menggunakan definisi dari rasio gelombang tegak:

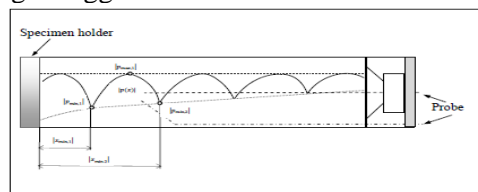
$$S = \frac{|p_{max}|}{|p_{min}|} \dots\dots\dots (2.2)$$

Faktor refleksi dan koefisien serap bunyi didefinisikan oleh:

$$|r| = \frac{s-1}{s+1} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\alpha = 1 - |r|^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Tabung impedansi yang menggunakan metode ini diilustrasikan pada gambar 2.



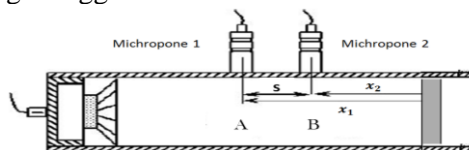
Gambar 2 Pandangan skematis metode rasio gelombang tegak

Metode Transfer Fungsi (ISO 10534-2:1998)

Metode ini menggunakan dua buah mikropen yaitu pada posisi x_1 dan x_2 . Tekanan bunyi pada posisi ini masing-masing adalah:

$$p_1 = Ae^{-jkx_1} + Be^{-jkx_1} \dots(2.5) \quad p_2 = Ae^{-jkx_2} + Be^{-jkx_2} \dots(2.6)$$

Tabung impedansi yang menggunakan metode ini diilustrasikan pada gambar 3.



Gambar 3 Tabung Impedansi untuk pengukuran koefisien serap bunyi

Dimana: A dan B adalah amplitudo tegangan (Volt) k adalah nomor gelombang (m^{-1}) x_1 adalah jarak antara sampel dan mikropen terjauh (m) x_2 adalah jarak antara sampel dan mikropen terdekat (m) Sehingga transfer fungsi akustik kompleks antara kedua mikropen ini yaitu:

$$H_{21} = \frac{p_1}{p_2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dan faktor refleksinya:

$$r = \frac{H_{21} - H_I}{H_R - H_{21}} e^{2jkx_1} \dots\dots(2.8)$$

Dimana: $H_I = e^{-jks}$

$$H_R = e^{jks}$$

$$s = x_1 - x_2 \text{ (jarak kedua mikropori)}$$

Maka koefisien serap bunyi dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\alpha = 1 - |r|^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

3 METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan Spesimen

Alat dan Bahan Pembuatan Spesimen

Dalam pembuatan spesimen ini dibutuhkan bahan sebagai berikut:

1. Serat Batang Kelapa Sawit (BKS)
2. Polyester / Resin Tak Jenuh
3. Katalis MEKP (*Methyl Ethyl Keton Peroksida*)
4. *Polyurethane / Blowing Agent*

Adapun alat-alat yang dibutuhkan untuk membuat spesimen yaitu:

1. Wax
2. Cetakan Spesimen Uji Akustik
3. Mistar
4. Timbangan
5. Mangkok
6. Sendok
7. Mesin bubut
8. Gergaji

Prosedur Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen ini dilakukan dengan mencampur serat batang kelapa sawit, resin dan *polyurethane*. Pembuatan spesimen dibagi menjadi dua sesuai dengan tujuan pengujian yaitu pengujian massa, volume dan massa jenis dan pengujian material akustik.

a. Pembuatan spesimen Massa, Volume dan Massa Jenis.

Pembuatan spesimen ini dapat juga menggunakan cetakan uji akustik dimana spesimen akan dipotong berbentuk kubus dengan ukuran 10mm. Terdapat tiga variabel yang digunakan dalam pengujian ini dimana salah satu variabel akan digunakan untuk pengujian akustik dan pembuatan badan pesawat. variabel yang digunakan adalah:

- a. Variabel kelompok I dengan resin 85%, *polyurethane* 10%, Serat 5%,
- b. Variabel kelompok II dengan resin 75%, *polyurethane* 20%, Serat 5%,
- c. Variabel kelompok III dengan resin 65%, *polyurethane* 30%, Serat 5%,

Adapun langkah-langkah pembuatan spesimen adalah:

1. Melapisi cetakan dengan wax,
2. Menimbang berat serat batang sawit, resin, *polyurethane* dan katalis sesuai komposisi yang digunakan,
3. Campurkan serat dengan resin yang telah diaduk dengan rata ke campuran *polyurethane* sambil mengaduknya hingga merata lalu tambahkan katalis,
4. Tuangkan campuran kedalam cetakan kemudian tutup permukaan atas agar mengembang rata dan membentuk sesuai cetakan.
5. Cetakan dibuka kemudian digergaji berbentuk kubus dengan ukuran 10mm,
6. Ulangi langkah 2 sampai 5 dengan variabel yang telah ditentukan.

b. Pembuatan spesimen uji akustik

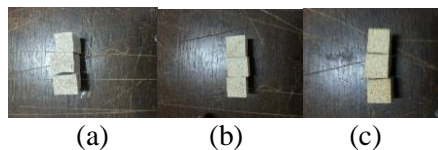
Pada pembuatan spesimen uji akustik digunakan variabel yang telah ditentukan dari hasil pengujian massa jenis. Adapun prosedur untuk pembuatan spesimen dari komposit ini adalah:

1. Lapisi permukaan dalam cetakan uji akustik dengan wax agar spesimen dapat mudah dilepas dari cetakan,
2. Menimbang berat serat batang sawit, resin, *polyurethane* dan katalis sesuai komposisi yang digunakan,
3. Campurkan serat dengan resin yang telah diaduk dengan rata ke campuran *polyurethane* sambil mengaduknya hingga merata lalu tambahkan katalis,
4. Tuangkan campuran kedalam cetakan kemudian tutup permukaan atas agar mengembang rata dan membentuk sesuai cetakan,
5. Cetakan dibuka dan kemudian spesimen diukur dan digergaji untuk mendapatkan ketebalan yang sesuai kita inginkan yaitu 5mm, 10mm dan 15mm.

Pengukuran Massa, Volume dan Massa Jenis

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah spesimen berbentuk kubus berukuran 10mm dengan 3 variabel yang telah ditentukan.



Gambar 4 Spesimen massa, volume dan massa jenis; (a) variabel I, (b) variabel II, (c) variabel III

Adapun alat yang digunakan adalah

1. Timbangan / Neraca Analitik,
2. Gelas Ukur,
3. Benang,
4. Paku.

Prosedur Pengukuran Massa, Volume dan Massa Jenis

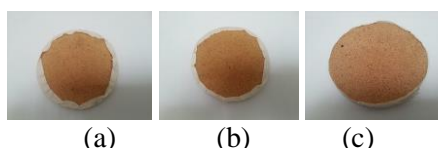
Langkah-langkah dalam mencari massa, volume dan massa jenis suatu benda adalah sebagai berikut:

1. Spesimen ditimbang dengan neraca massa,
2. Ukur volumenya, masing-masing dengan cara:
 - a. Masukkan air kedalam gelas ukur dengan volume tertentu, dan catat volumenya pada gelas ukur (misalkan X ml),
 - b. Masukkan paku sebagai pemberat pada gelas ukur dan catat volumenya (misalkan Z ml),
 - c. Masukkan spesimen dengan pemberat pada gelas ukur,
 - d. Catatlah volume gelas ukur setelah benda dimasukkan (misalkan Y ml),
 - e. Maka volume benda tersebut adalah $Y - X - Z$ ml.
3. Carilah Massa jenis benda dengan cara membagi massa dengan volume,
4. Ulangi prosedur diatas untuk spesimen lainnya.

Pengujian Koefisien Serap Bunyi

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah spesimen uji akustik dengan variabel II dengan ketebalan 10mm, 15mm dan 20mm.



Gambar 5 Spesimen uji akustik; (a) ketebalan 5mm, (b) ketebalan 10mm, (c) ketebalan 15mm

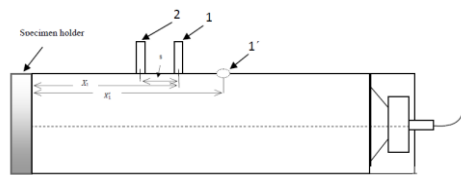
Adapun alat yang digunakan adalah:

1. Laptop,
2. LabJack U3-LV,
3. Amplifier,
4. Speaker,
5. Mikropon,
6. Tabung Impedansi.

Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Siapkan semua peralatan uji dengan diatur sesuai gambar set up peralatan pengujian,
2. Masukkan spesimen uji dalam tabung impedansi, yaitu ditengah ruang uji dengan posisi tegak lurus terhadap arah ruang tabung,
3. Pengukuran dilakukan pada frekuensi 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 1500Hz dan 2000Hz,
4. Hubungkan mikropon 1 dan mikropon 2 pada pre-amp mic channel 1 dan 2. Untuk frekuensi dibawah 228Hz yaitu frekuensi 125Hz dipakai mikropon 1' dan 2. Agar lebih jelas dapat dilihat pada gambar 6,



Gambar 6 Posisi mikropon 2, 1 dan 1'

5. Hubungkan output channel pre-amp mic ke channel 1 dan channel 2 pada Labjack,
6. Hubungkan Labjack ke port USB pada Laptop lalu buka *software DAQFactory* untuk menganalisis sinyal,
7. Pada *DAQFactory* buka program *Sound Recorder 4ch*,
8. Untuk membangkitkan sinyal bunyi, buka program *ToneGen*. Bunyi yang dikeluarkan berupa *pure tone*,
9. Atur frekuensi pada *ToneGen* lalu buka kembali *DAQFactory* untuk melihat grafik ketegangan suara pada masing-masing mikropon,
10. Klik Start/Stop Save untuk Logging data. Data grafik akan otomatis tersimpan dalam drive (D:) pada laptop,
11. Ambil nilai tegangan rata-rata pada masing-masing mikropon (A dan B) untuk dihitung koefisien absorpsinya dengan bantuan MATLAB,
12. Hitung tekanan suara pada masing-masing mikropon dengan rumus: $p_1 = Ae^{-jkx_1} + Be^{-jkx_1}$ (3.1) $p_2 = Ae^{-jkx_2} + Be^{-jkx_2}$ (3.2)
13. Hitung faktor Refleksi dan koefisien serap bunyi dengan rumus:

$$r = \frac{H_{21} - H_1}{H_R - H_{21}} e^{2jkx_1} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\alpha = 1 - |r|^2 \dots\dots\dots (3.4)$$
14. Ulangi prosedur diatas untuk frekuensi dan sampel yang berbeda,
15. Masukkan data yang telah dihitung ke dalam tabel dan di a plot ke dalam bentuk grafik agar dapat melihat perbandingan koefisien serap bunyi pada frekuensi yang berbeda dan pada masing-masing sampel.

Teknik Pengukuran, Pengolahan dan Analisa Data

Pengukuran koefisien serap bunyi dihitung sesuai standar ISO 10543-2:1998 dan ASTM E-1050 untuk tabung impedansi 2 mikropon. Untuk memudahkan perhitungan koefisien serap bunyi digunakan *software MATLAB*. Dengan kode MATLAB sebagai berikut.

```

>> % Reflection and Absorption coefficients measurements
freq=[];           % frequency vector (Hz)
c=343;             % speed of sound in air at 23 Celsius (m/s)
k=(2*pi*freq)/c;   % wavenumber in air (m^-1)
A=[];              % Amplitude at mic1 (Volt)
B=[];              % Amplitude at mic2 (Volt)
x1=0.275;          % distance between the sample and the farther microphone
x2=0.2;            % distance between the sample and the closer microphone
s=0.075;           % microphone spacing (m)

% Sound Pressure at mic1 & mic2
p1=(A*exp(-j.*k.*x1))+(B*exp(j.*k.*x1));
p2=(A*exp(-j.*k.*x2))+(B*exp(j.*k.*x2));

% H21 is Transfer function measured between two mics
H21=p1/p2;

% Reflection coefficient
r = ( H21 - exp(-j.*k.*s) ) ./ (exp(j.*k.*s) - H21).*exp(2.*j.*k.*x1);

% Absorption coefficient
alpha = 1 - abs(r).^2;

```

Variabel Bebas (VB):

1. Ketebalan spesimen (5mm, 10mm dan 15mm),
2. Frekuensi (125Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz dan 2000 Hz).

Variabel Terikat (VT):

1. Komposisi material,
2. Volume pada amplifier,
3. Koefisien serap (absorpsi) (α).

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Massa

Berikut adalah massa yang didapat dari pengujian dengan menggunakan timbangan digital.

1. Variabel I

Pada variabel ini massa yang didapat adalah spesimen I 3,5665g; spesimen II 3,5155g; spesimen III 3,8270g. Sehingga massa rata-rata dari variabel ini adalah 3,6363g.

2. variabel II

Pada variabel ini massa yang didapat adalah spesimen I 1,5825g; spesimen II 1,6479g; spesimen III 1,6796g. Sehingga massa rata-rata dari variabel ini adalah 1,6367g.

3. Variabel III

Pada variabel ini massa yang didapat adalah spesimen I 0,6828g; spesimen II 0,6839g; spesimen III 0,6661g. Sehingga massa rata-rata dari variabel ini adalah 0,6776g.

Dari ketiga variabel, variabel III memiliki massa yang teringan dan variabel I memiliki massa terberat.

Volume

Berikut adalah volume yang didapat dari pengukuran dengan gelas ukur.

1. Variabel I

Pada variabel ini volume yang didapat adalah spesimen I 4,1ml; spesimen II 4,2ml; spesimen III 4,3ml. Sehingga volume rata-rata dari variabel ini adalah 4,2ml.

2. Variabel II

Pada variabel ini volume yang didapat adalah spesimen I 3ml; spesimen II 3ml; spesimen III 3,1ml. Sehingga volume rata-rata dari variabel ini adalah 3,03ml.

3. Variabel III

Pada variabel ini volume yang didapat adalah spesimen I 2,9ml; spesimen II 2,9ml; spesimen III 2,8ml. Sehingga volume rata-rata dari variabel ini adalah 2,87ml.

Dari ketiga komposisi didapat kesimpulan bahwa komposisi III memiliki volume terendah, sedangkan komposisi I memiliki Volume terbesar.

Massa Jenis

Dengan menggunakan rumus $\frac{\text{massa}}{\text{volume}}$, maka akan didapat massa jenis spesimen.

1. Variabel I

Massa jenis yang didapat dari ketiga spesimen berturut-turut adalah $869,87 \text{ kg/m}^3$; $837,02 \text{ kg/m}^3$; 890 kg/m^3 .

Maka:

$$\bar{x} = \frac{869,87 + 837,02 + 890}{3} = 865,63 \text{ kg/m}^3$$

2. Variabel II

Massa jenis yang didapat dari ketiga spesimen berturut-turut adalah $527,6 \text{ kg/m}^3$; $549,3 \text{ kg/m}^3$; $541,8 \text{ kg/m}^3$.

Maka:

$$\bar{x} = \frac{527,6 + 549,3 + 541,8}{3} = 539,56 \text{ kg/m}^3$$

3. Variabel III

Massa jenis yang didapat dari ketiga spesimen berturut-turut adalah $235,44 \text{ kg/m}^3$; $235,82 \text{ kg/m}^3$; $237,89 \text{ kg/m}^3$.

Maka:

$$\bar{x} = \frac{235,44 + 235,82 + 237,89}{3} = 236,38 \text{ kg/m}^3$$

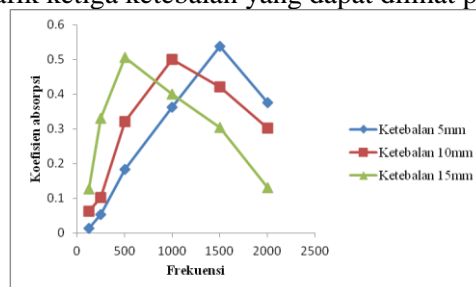
Dari perhitungan diatas didapat bahwa variabel III memiliki massa jenis yang lebih ringan yaitu $236,38 \text{ kg/m}^3$ sedangkan variabel I memiliki massa jenis yang lebih berat yaitu $865,63 \text{ kg/m}^3$.

Dengan membandingkan hasil diatas dan hasil pengujian uji tarik dan uji tekan dari ketiga variabel yang dilakukan oleh andri setiawan maka diambil variabel II dengan massa jenis $539,56 \text{ kg/m}^3$ untuk dijadikan variabel pembuatan badan pesawat.

Material Akustik

Pengujian akustik ini dilakukan dengan menggunakan tabung impedansi dengan spesimen variabel II dan ketebalan 5mm, 10mm dan 15mm.

Setelah melakukan pengukuran dan pengolahan data dari ketiga ketebalan spesimen maka didapat hasil dalam bentuk grafik ketiga ketebalan yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Grafik rekaptulasi hasil pengujian

Gambar 4.2 menunjukkan grafik rekaptulasi hasil pengujian komposisi II 20% dengan tiga ketebalan yaitu 5mm, 10mm dan 15mm. dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa penyerapan bunyi pada material komposit lebih baik pada frekuensi menengah dimana ketiga ketebalan memiliki daya serap bunyi yang baik pada frekuensi 1000Hz dengan masing-masing rata-rata 0,3618, 0,4215 dan 0,4012.

Dari hasil pengujian diatas, maka dapat dihitung koefisien reduksi bunyi (NRC) pada spesimen yaitu sebesar:

1. Nilai NRC pada ketebalan 5mm

$$NRC = \frac{0,0138 + 0,0526 + 0,1831 + 0,3618 + 0,5384 + 0,3767}{6}$$

$$NRC = 0,2544$$

2. Nilai NRC pada ketebalan 10mm

$$NRC = \frac{0,0622 + 0,1019 + 0,3212 + 0,5004 + 0,4215 + 0,3024}{6}$$

$$NRC = 0,2849333$$

3. Nilai NRC pada ketebalan 15mm

$$NRC = \frac{0,1274 + 0,3313 + 0,5066 + 0,4012 + 0,3033 + 0,1299}{6}$$

$$NRC = 0,29995$$

5 KESIMPULAN

Dari seluruh kegiatan penelitian mulai dari pembuatan bahan, pengukuran dan pengujian spesimen, maka penulis dapat menyimpulkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Dari hasil pengujian didapat massa dari ketiga variabel dimana variabel I memiliki massa terbesar yaitu 3,6363g, variabel II dengan massa 1,6367g dan variabel III memiliki massa terendah yaitu 0,6776g.
2. Volume yang didapat dari pengujian menunjukkan bahwa variabel I memiliki volume terbesar yaitu 4,2ml, variabel II dengan volume 3,03ml, dan variabel III sebesar 2,87ml yang merupakan volume terendah dari ketiga variabel.
3. Massa jenis yang didapat dari perhitungan massa dibagi volume menunjukkan bahwa massa jenis terbaik menggunakan variabel III yaitu sebesar $236,38 \text{ kg/m}^3$, sedangkan massa jenis tertinggi dimiliki variabel I yaitu $865,63 \text{ kg/m}^3$, dan variabel II sebesar $539,56 \text{ kg/m}^3$.
4. Frekuensi yang paling baik diserap oleh material komposit yaitu pada frekuensi menengah. Untuk ketebalan 5mm nilai koefisien absorpsi paling tinggi sebesar 0,5557 yaitu pada frekuensi 1500Hz, sedangkan pada ketebalan 10mm nilai koefisien absorpsi paling tinggi sebesar 0,5060 pada frekuensi 1000Hz, dan pada ketebalan 15mm nilai koefisien absorpsi paling tinggi sebesar 0,5109 pada frekuensi 500Hz.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smith, William F., 2004. *Foundation of Material Science and Engineering*. McGraw-Hill Company, inc/ New York.
- [2] Kinsler, L.E., Frey. A.R., 1982. *Fundamental of Acoustics*. John Wiley & Sons. Inc. New York.
- [3] Harris, Cyril M. 1979. *Handbook of Noise Control*. McGraw-Hill Company, inc. New York.
- [4] Hemond, Conrad J. 1983. *Engineering Acoustic and Noise Control*. Prentice Hall Inc. London.
- [5] Jailani M, Nor M, Jamaludin N, Tamiri FM. 2004. *A Preliminary Study of Sound Absorption Using Multilayer Coconut Coir Fibers*. Electronic Journal "Technical Acoustics".
- [6] Doella, Leslie L. 1972. *Eviroment Acoustic*. McGraw-Hill Company, inc. New York.
- [7] Lewis H. Bell, Dougals H. Bell., 1994, *Industrial Noise Control Fundamentals and Applications*. Harmony Publications. New York
- [8] Seddeq Hoda S. 2009. "Factors Influencing Acoustic Performance of Sound Absortive Materials". Australian Journal of Basic and Aplied Sciences.
- [9] Asade, Felix., "Perancangan Tabung Impedansi dan Kajian Eksperimental Koefisien Serap Bunyi Paduan Aluminium-Magnesium". Fakultas Teknik.Universitas Sumatera Utara, 2013. Medan.
- [10] Turo, Diego. 2012. "Impedance Tube - part I, Surface impedance, reflection and absorption coefficients measurements". Acoustic Metrology. The Catholic University of America.