

PENGARUH VARIASI DIAMETER RONGGA TERHADAP KOEFISIEN SERAP BUNYI PADUAN ALUMINIUM-MAGNESIUM BERONGGA

Indra N. T.¹, Ikhwansyah Isranuri², Syahrul Abda³, Tugiman⁴, Farida Ariani⁵, Alfian Hamsi⁶

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Email: indra99nugraha@yahoo.com

ABSTRAK

Bunyi memiliki banyak manfaat untuk kehidupan manusia dan makhluk lainnya. Akan tetapi bunyi yang berlebihan atau yang disebut kebisingan akan sangat mengganggu dan akan menimbulkan kerugian bagi manusia. Pengendalian kebisingan sangat diperlukan untuk menciptakan lingkungan yang nyaman bebas dari kebisingan. Pengendalian kebisingan dapat dilakukan dengan berbagai teknik. Salah satu teknik pengendalian kebisingan itu adalah dengan menyerap bunyi. Terdapat banyak material teknik yang dapat digunakan sebagai bahan penyerap bunyi, salah satu contohnya adalah aluminium. Pada penelitian ini magnesium dipadukan dengan aluminium dengan cara pengecoran berongga dengan diameter rongga berbeda disetiap spesimen dan kemudian dilakukan pengujian serap bunyi dengan metode tabung impedansi sehingga dapat diketahui bagaimana pengaruhnya terhadap sifat penyerapan bunyi dari paduan aluminium-magnesium. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa koefisien serap bunyi tertinggi pada paduan aluminium-magnesium dengan diameter rongga 3 mm dan frekuensi yang paling baik diserap oleh material ini adalah 1500 Hz.

Kata kunci: bunyi, kebisingan, penyerap bunyi, aluminium, magnesium, pengecoran berongga, tabung impedansi, frekuensi.

1. PENDAHULUAN

Bunyi merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-hari. Begitu banyak hal menguntungkan yang dapat diperoleh dari bunyi akan tetapi bunyi yang tidak diharapkan atau lebih sering disebut dengan bising (noise) akan sangat mengganggu bahkan berbahaya bagi manusia. Sehingga manusia berusaha untuk membuat material yang dapat mengurangi atau bahkan menyerap intensitas sumber bunyi yang sering disebut sebagai material penyerap bunyi. Salah satu cara untuk mencegah perambatan/radiasi kebisingan ialah dengan penggunaan material akustik yang bersifat menyerap atau meredam bunyi sehingga bising yang terjadi dapat direduksi [1].

Aluminium merupakan logam non-ferrous dan merupakan logam terbesar kedua yang dipergunakan oleh industri komponen setelah baja. Magnesium juga merupakan unsur paduan dalam berbagai jenis logam non-ferrous. Hasil paduan dari kedua unsur ini lebih ringan dibandingkan dengan besi atau baja, ketahanan korosi yang baik, mengurangi kebisingan (low noise) [2].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Gelombang

Gelombang adalah suatu getaran, gangguan atau energi yang merambat. Dalam hal ini yang merambat adalah getarannya, bukan medium perantaranya. Satu gelombang terdiri dari satu lembah dan satu bukit (untuk gelombang transversal) atau satu renggangan dan satu rapatan (untuk gelombang longitudinal). Besaran-besaran yang digunakan untuk mendeskripsikan gelombang antarlain panjang gelombang (λ) adalah jarak antara dua puncak yang berurutan, frekuensi (f) adalah banyaknya gelombang yang melewati suatu titik tiap satuan waktu, periode (T) adalah waktu yang diperlukan oleh gelombang melewati suatu titik, amplitudo (A) adalah simpangan maksimum dari titik setimbang, kecepatan gelombang (v) adalah kecepatan dimana puncak gelombang (atau bagian lain dari gelombang) bergerak [3].

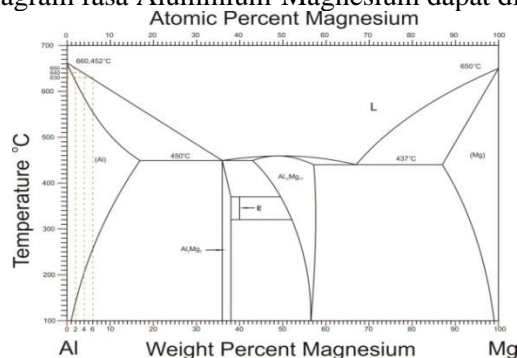
2.2. Pengertian Bunyi

Bunyi adalah suatu bentuk gelombang longitudinal yang merambat secara perapatan dan perenggangan terbentuk oleh partikel zat perantara serta ditimbulkan oleh sumber bunyi yang

mengalami getaran. Rambatan gelombang bunyi disebabkan oleh lapisan perapatan dan peregangannya partikel-partikel udara yang bergerak ke luar, yaitu karena penyimpangan tekanan. Hal serupa juga terjadi pada penyebaran gelombang air pada permukaan suatu kolam dari titik dimana batu dijatuhkan [4].

2.3. Paduan Aluminium-Magnesium

Aluminium lebih banyak dipakai sebagai paduan daripada logam murni sebab tidak kehilangan sifat ringan dan sifat-sifat mekanisnya serta mampu cornya diperbaiki dengan menambah unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan yang tidak ditambahkan pada aluminium murni selain dapat menambah kekuatannya juga dapat memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi dan ketahanan aus. Diagram fasa Aluminium-Magnesium dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram fasa paduan Al-Mg.

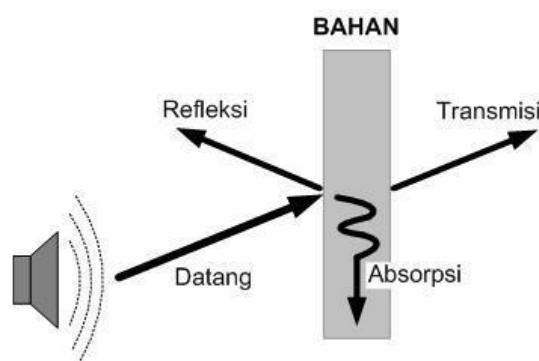
Gambar 2.1 di atas memperlihatkan penambahan Magnesium hingga 6% akan cenderung menurunkan titik cair dari paduan Aluminium. Penambahan Mg 6% akan menurunkan titik cair paduan Aluminium menjadi 630°C. Penambahan unsur Magnesium pada Aluminium untuk fase biner akan menghasilkan berbagai fase seperti Al (α) (0-17,1% Mg), Al_2Mg (β) (36,1-37,8% Mg), R (39%Mg), $Al_{12}Mg_{17}$ (γ) (42-58,0% Mg), Mg (87,1-100% Mg). Pada unsur 6%Mg fase yang terbentuk adalah fase Al (α). Garis di atas menunjukkan Aluminium memiliki titik cair pada suhu $\pm 630^\circ C$. Pada saat suhu mencapai 650°C maka Aluminium akan memasuki fase Liquid.

2.4. Proses Pengecoran

Proses pengecoran akan dihasilkan aluminium dengan sifat-sifat yang diinginkan. Aluminium murni memiliki sifat mampu cor dan sifat mekanis yang tidak baik, maka dipergunakanlah aluminium alloy untuk memperbaiki sifat tersebut. Beberapa elemen alloy yang sering ditambahkan diantaranya tembaga, magnesium, mangan, nikel, silikon dan sebagainya [5].

2.5. 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 [6]. Fenomena absorpsi suara ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. 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 [6].

2.6. Koefisien Serap Bunyi (*Absorpsi*)

Penyerapan suara (sound absorption) merupakan perubahan energi dari energi suara menjadi energi panas atau kalor.

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. Jika α bernilai 0, artinya tidak ada bunyi yang diserap sedangkan jika α bernilai 1, artinya 100% bunyi yang datang diserap oleh bahan [7]. 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 [8].

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

$$\alpha = \frac{\text{Absorbed Energy}}{\text{Incident Energy}}$$

2.7. Material Akustik

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

2.8. 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). Kedua metode dirancang untuk pengukuran pada sampel kecil. Metode rasio gelombang tegak mapan, tapi lambat sehingga diganti dengan metode transfer fungsi karena kecepatan dan akurasinya dalam pengukuran.

2.8.1. Metode Pengukuran Koefisien Serap Bunyi Menggunakan Tabung Impedansi

a. Metode Perbandingan Gelombang Tegak (ISO 105432-1:1996) [9]

Metode ini berdasarkan pada fakta bahwa hanya ada gelombang datar yang datang dan dipantulkan sepanjang sumbu axis dalam tabung. 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:

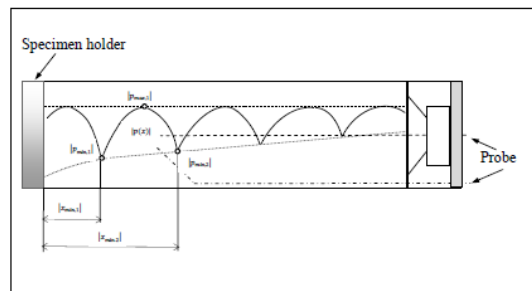
$$s = \frac{|p_{max}|}{|p_{min}|}$$

Faktor refleksi dan koefisien serap bunyiii didefinisikan oleh:

$$|r| = \frac{s - 1}{s + 1}$$

$$\alpha = 1 - |r|^2$$

Tabung impedansi yang menggunakan metode ini diilustrasikan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pandangan skematis metode rasio gelombang tegak.

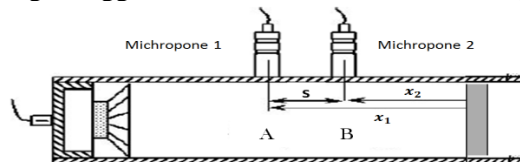
a. Metode Transfer Fungsi (ISO 10534-2:1998) [10]

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

$$p_1 = Ae^{-jkx_1} + Be^{jkx_1}$$

$$p_2 = Ae^{-jkx_2} + Be^{-jkx_2}$$

Tabung impedansi yang menggunakan metode ini diilustrasikan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. 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 mikropon terjauh (m)
- x_2 adalah jarak antara sampel dan mikropon terdekat (m)

sehingga transfer fungsi akustik kompleks antara kedua mikropon ini yaitu:

$$H_{21} = \frac{p_1}{p_2}$$

dan faktor refleksinya :

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

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

$$H_R = e^{jks}$$

$$s = x_1 - x_2$$

maka koefisien serap bunyi dapat ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$\alpha = 1 - |r|^2$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Pengecoran

3.1.1. Aluminium

Proses peleburan pada penelitian menggunakan aluminium dalam bentuk batangan (ingot). Aluminium yang digunakan pada proses pengecoran ini sebanyak 5 kg. Aluminium inilah yang menjadi bahan utama pada penelitian.



Gambar 3.1. Batangan Aluminium

3.1.2. Magnesium

Magnesium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang **Mg** dan nomor atom 12. Magnesium akan dilebur dengan aluminium batangan (ingot). Magnesium yang digunakan pada proses pengecoran ini adalah sebanyak 300 gram.



Gambar 3.2. Batangan Magnesium

3.2. Proses Pengecoran

Pada proses pengecoran ini hal yang dilakukan yaitu mencairkan aluminium yang diperlukan, aluminium yang di peroleh dari ingot (aluminium batangan) dicairkan atau dilebur.

Penambahan unsur Magnesium (Mg) dilakukan terhadap aluminium sesuai dengan variasi yang diinginkan, titik lebur magnesium adalah 650°C namun jika magnesium dipadukan dengan aluminium maka titik lebur paduan aluminium-magnesium menjadi 630°C . Aluminium terlebih dahulu dilebur hingga mencapai temperatur $450 - 550^{\circ}\text{C}$, setelah mencapai suhu tersebut, magnesium dimasukkan ke dalam cairan aluminium yang sedang dilebur.

Setelah proses peleburan antara Aluminium-Magnesium berlangsung, maka akan dilakukan proses pengadukan agar campuran Aluminium-Magnesiumnya merata.

Setelah dilakukan proses pengadukan dan telah mencapai titik lebur paduan aluminium-magnesium yaitu pada suhu 630°C maka hasil peleburan antara Aluminium-Magnesium dituang ke dalam cetakan pasir yang telah di sediakan sebelumnya.

3.3. Pengujian Tabung Impedansi

Pengujian tabung impedansi (*impedance tube*) ini bertujuan untuk mendapatkan koefisien serap bunyi dari paduan aluminium-magnesium. Tempat dilaksanakannya pengujian ini adalah di Laboratorium Noise/Vibration Research Center, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

3.3.1. ALat dan Bahan Pengujian

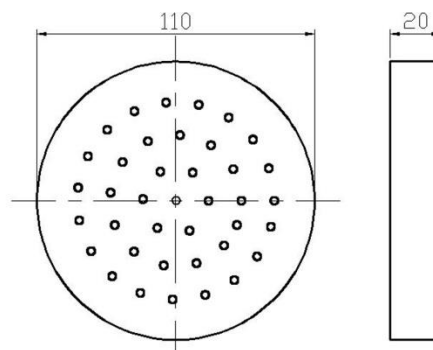
a. Alat

Adapun peralatan yang di pergunakan selama penelitian ini adalah:

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

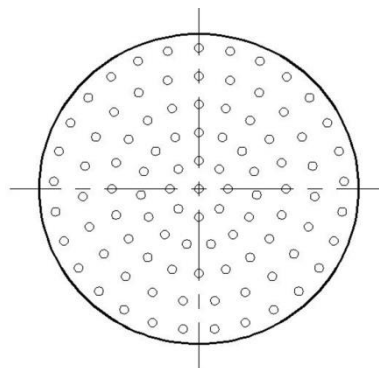
a. Bahan

Adapun bahan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan aluminium-magnesium (Al-Mg) dengan ketebalan 20 mm. Dimensi spesimen dapat dilihat pada gambar 3.3.

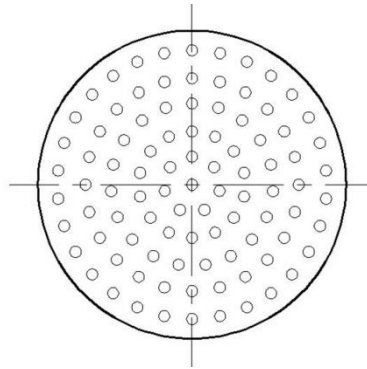


Gambar 3.3. Dimensi Spesimen Uji

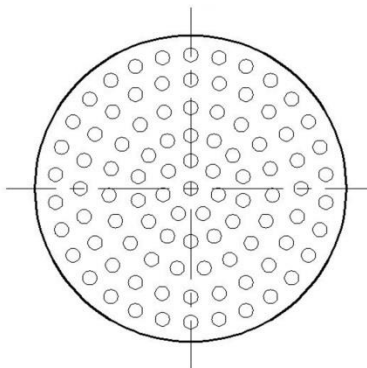
Variasi spesimen yang digunakan didalam penelitian ditunjukkan pada gambar 3.4. , 3.5. dan 3.6.



Gambar 3.4. Spesimen Al-Mg dengan Diameter Rongga 3 mm.



Gambar 3.5. Spesimen Al-Mg dengan Diameter Rongga 4 mm.



Gambar 3.6. Spesimen Al-Mg dengan Diameter Rongga 5 mm.

3.4. 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 2000 Hz.
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. Hubungkan output chanel pre-amp mic ke chanel 1 dan chanel 2 pada labjack.
5. Hubungkan Labjack ke port USB pada Laptop lalu buka Software DAQFactory untuk menganalisis sinyal.
6. Pada DAQFactory buka program Sound Recorder 4ch.
7. Untuk membangkitkan sinyal bunyi, buka program ToneGen. Bunyi yang dikeluarkan berupa pure tone.
8. Atur frekuensi pada ToneGen lalu buka kembali DAQFactory untuk melihat grafik tegangan suara pada masing-masing mikropon.
9. Klik Start/Stop Save untuk Logging data. Data grafik akan otomatis tersimpan dalam drive (D:) pada laptop.
10. Ambil nilai tegangan rata-rata pada masing-masing mikropon (A dan B) untuk dihitung koefisien absorpsinya dengan bantuan MATLAB.

3.5. Teknik 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 sesuai dengan persamaan diatas, 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)

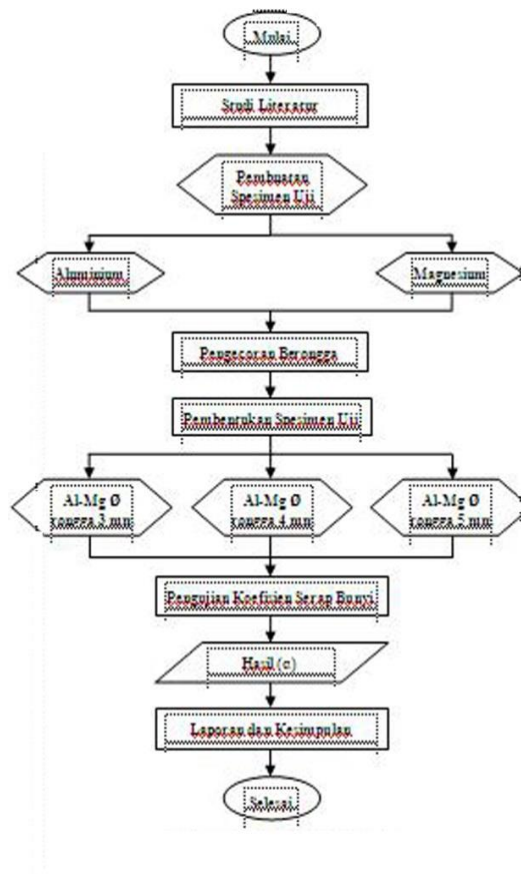
% Sound Pressure at mic1 & mic2
p1=(A*exp(-j.*k.*x1))+(B*exp(j.*k.*x1));
p2=(A*exp(-j.*k.*x2))+(B*exp(j.*k.*x2));

% 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;
    
```

3.6. Diagram Alir Penelitian

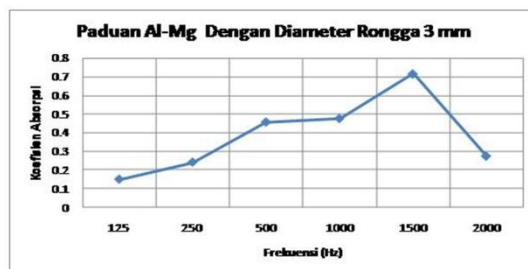


Gambar 3.8. Diagram Alir Penelitian

4. ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil Pengujian Paduan Al-Mg Dengan Diameter Rongga 3 mm

Setelah dilakukan pengujian kemudian dilakukan perhitungan dengan bantuan MATLAB maka diperoleh koefisien serap bunyi yang ditunjukkan pada gambar 4.1.

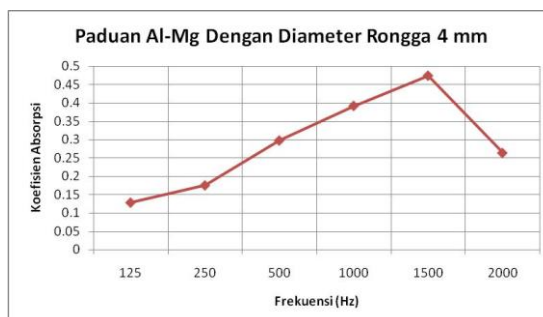


Gambar 4.1. Grafik Koefisien Serap Bunyi Paduan Al-Mg Dengan Diameter Rongga 3 mm.

Dari gambar 4.1. dapat diketahui bahwa nilai koefisien serap bunyi terendah paduan Al-Mg dengan diameter rongga 3 mm pada frekuensi 125 Hz yaitu 0.1478 dan terus meningkat hingga diperoleh nilai koefisien serap bunyi tertinggi pada frekuensi 1500 Hz yaitu 0.7168 dan nilai koefisien serap bunyi mengalami penurunan cukup signifikan pada frekuensi 2000 Hz yaitu 0.2727.

4.2. Hasil Pengujian Paduan Al-Mg Dengan Diameter Rongga 4 mm

Setelah dilakukan pengujian kemudian dilakukan perhitungan dengan bantuan MATLAB maka diperoleh koefisien serap bunyi yang ditunjukkan pada gambar 4.2.

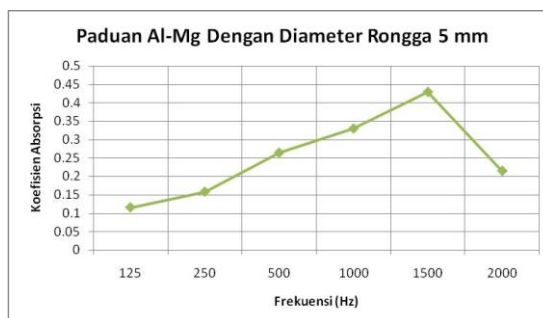


Gambar 4.2. Grafik Koefisien Serap Bunyi Paduan Al-Mg Dengan Diameter Rongga 4 mm.

Dari gambar 4.2. dapat diketahui bahwa nilai koefisien serap bunyi terendah paduan Al-Mg dengan diameter rongga 4 mm pada frekuensi 125 Hz yaitu 0.1287 dan terus meningkat hingga diperoleh nilai koefisien serap bunyi tertinggi pada frekuensi 1500 Hz yaitu 0.4743 dan nilai koefisien serap bunyi mengalami penurunan kembali pada frekuensi 2000 Hz yaitu 0.2639.

4.3. Hasil Pengujian Paduan Al-Mg Dengan Diameter Rongga 5 mm

Setelah dilakukan pengujian kemudian dilakukan perhitungan dengan bantuan MATLAB maka diperoleh koefisien serap bunyi yang ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik Koefisien Serap Bunyi Paduan Al-Mg Dengan Diameter Rongga 5 mm.

Dari gambar 4.3. dapat diketahui bahwa nilai koefisien serap bunyi terendah paduan Al-Mg dengan diameter rongga 5 mm pada frekuensi 125 Hz yaitu 0.1152 dan terus meningkat hingga diperoleh nilai koefisien serap bunyi tertinggi pada frekuensi 1500 Hz yaitu 0.4287 dan nilai koefisien serap bunyi mengalami penurunan kembali pada frekuensi 2000 Hz yaitu 0.2143.

5. KESIMPULAN

Dari seluruh kegiatan mulai dari pembuatan spesimen uji dan pengujian specimen maka penulis dapat menyimpulkan beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Telah dilakukan pembuatan 3 (tiga) buah specimen uji paduan Aluminium-Magnesium dengan perbandingan kadar Aluminium 94% - Magnesium 6% melalui proses pengecoran dengan cetakan pasir. Spesimen uji berbentuk bulat dengan diameter 110 mm dan tebal 20 mm dengan variasi diameter rongga 3 mm, 4 mm dan 5 mm.
2. Dalam penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin kecil diameter rongga pada material paduan Al-Mg maka semakin baik kemampuan serap bunyinya. Diperoleh nilai koefisien serap bunyi tertinggi pada specimen paduan Al-Mg dengan diameter rongga 3 mm yaitu 0.7168, pada specimen paduan Al-Mg dengan diameter rongga 4 mm nilai koefisien serap bunyi tertinggi yaitu 0.4743 sedangkan pada specimen paduan Al-Mg dengan diameter rongga 5 mm nilai koefisien serap bunyi tertinggi yaitu 0.4287.
3. Dari hasil pengujian koefisien serap bunyi dengan metode pengujian tabung impedansi (impedance tube) dapat diketahui bahwa frekuensi yang paling baik diserap oleh specimen paduan Al-Mg yaitu pada frekuensi 1500 Hz.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suhada, Khairul. 2010. "Kajian Koefisien Absorpsi Bunyi dari Material Komposit Serat Gergajian Batang Sawit dan Gypsum Sebagai Material Penyerap Suara Menggunakan Metode Impedance Tube" Tesis Master, USU.
- [2] Nasution, Muhammad Syahreza. 2012. "Pengaruh Penambahan Kadar Magnesium pada Aluminium terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro. Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [3] Harahap, Raja Naposo. 2010. "Kajian Eksperimental Karakteristik Material Akustik dari Campuran Serat Batang Kelapa Sawit dan Polyurethane dengan Metode *Impedance Tube*". Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [4] Doella, Leslie L. 1972. *Evironment Acoustics*. New York: Mc Graw-Hill Company, Inc.
- [5] Ostwald F. Phillip. 1979. "*Manufacturing Processes*." New York : John Wiley & Sons Inc.
- [6] Suptandar JP. Faktor Akustik dalam Perancangan Disain Interior. Jakarta: Ikrar Mandiriabadi. 2004.
- [7] Khuriati A, Komaruddin E dan Nur M. Disain Peredan Suara Berbahan Dasar Serabut Kelapa dan pengukuran Koefisien penyerapan Bunyinya. Berkala Fisika 9(1):15-25. 2006.
- [8] Wirajaya A. Karakteristik Komposit Sandwich Serat Alami sebagai Absorber Suara. Tesis Master, ITB, 2007.
- [9] British Standards.2001. "Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 1: Method using standing wave ratio", BS EN ISO 10534-1.
- [10] British Standards.2001. "Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes —Part 2: Transfer Function Method", BS EN ISO 10534-2.