

**PENGARUH VARIASI KETEBALAN SAMPEL DAN  
PENAMBAHAN *FOAMING AGENT* CaCO<sub>3</sub> DARI LIMBAH  
KULIT TELUR TERHADAP KEMAMPUAN ABSORBSI  
SUARA PADA ALUMINIUM *FOAM***

**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Firmansyah Said  
3334190059

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN**

**2024**

LEMBAR PENGESAHAN

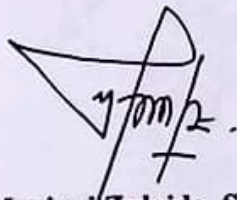
**PENGARUH VARIASI KETEBALAN SAMPEL DAN  
PENAMBAHAN *FOAMING AGENT* CaCO<sub>3</sub> DARI LIMBAH  
KULIT TELUR TERHADAP KEMAMPUAN ABSORBSI  
SUARA PADA ALUMINIUM *FOAM***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

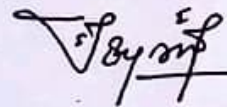
Pembimbing I



Yeni Muriani Zulaida, S.T., M.T.

NIP. 197401032005012001

Pembimbing II



Suryana, S.T., M.Si.

NIP. 197402162001121001

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI KETEBALAN SAMPEL DAN  
PENAMBAHAN *FOAMING AGENT* CaCO<sub>3</sub> DARI LIMBAH  
KULIT TELUR TERHADAP KEMAMPUAN ABSORBSI  
SUARA PADA ALUMINIUM *FOAM***

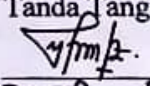
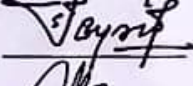

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

**Firmansyah Said**

**3334190059**

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada 1 Februari 2024

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: <u>Yeni Muriani Zulaida S.T., M.T.</u>	
Penguji II	: <u>Suryana, S.T., M.Si.</u>	
Penguji III	: <u>Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.</u>	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.**

NIP. 198003072005011002

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pengaruh Variasi Ketebalan Sampel dan Penambahan *Foaming Agent*  $\text{CaCO}_3$  dari Limbah Kulit Telur Terhadap Kemampuan Absorpsi Suara pada Aluminium *Foam*

Nama Mahasiswa : Firmansyah Said

NIM : 3334190059

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 1 Februari 2024



**Firmansyah Said**

**NIM. 3334190059**

## ABSTRAK

Aluminium merupakan material lunak logam paling berlimpah di dunia setelah besi. Aluminium merupakan material paling umum ketiga yang terdiri dari 8% kerak bumi. Fleksibilitas aluminium menjadikan logam yang paling banyak digunakan setelah baja, aluminium dapat dikembangkan dalam pembuatan aluminium *foam*. Teknik yang digunakan dalam pembuatan aluminium *foam* dengan menggunakan metode *melt route* dengan memanfaatkan limbah kulit telur yang mengandung  $\text{CaCO}_3$  sebagai *Foaming Agent* nya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui adanya pengaruh penambahan  $\text{CaCO}_3$  serta ketebalan dari aluminium *foam* terhadap kemampuan penyerapan suara pada aluminium *foam*, dengan variasi komposisi  $\text{CaCO}_3$  yaitu 3, 4, dan 5%wt dari aluminium yang digunakan dengan ketebalan yaitu 4, 5, dan 6 cm. Hasil yang didapat dari penelitian ini mendapatkan nilai optimal densitas sebesar  $0,246 \text{ gr/cm}^3$  dengan nilai porositas terbaik sebesar 91,02 % yang didapatkan dengan komposisi 5%wt  $\text{CaCO}_3$  dengan ketebalan sampel 5cm serta didapatkan hasil pengujian absorpsi suara sebesar 0,531 yang menandakan mampu meredam suara sebesar 53,1 %.

**Kata Kunci** : Aluminium *Foam*, *Foaming Agent*, Kulit Telur, *Melt Route*.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penyusunan skripsi ini dilaksanakan guna memenuhi persyaratan mata kuliah wajib di jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis sangat amat menyadari, bahwasanya tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan benar.

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak-pihak yang telah membantu, memberikan semangat kepada penulis, antara lain:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi FT. UNTIRTA
2. Ibu Yeni Muriani Zulaida, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Penelitian .
3. Bapak Suryana, S.T., M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik serta Dosen Pembimbing II penelitian.
4. Ibu, Almh. Susy Eviaty Simatupang yang sudah tiada tapi akan selalu dicintai, Ayah, Mohamad Patris Said yang selalu mendukung dan memberikan semangat.
5. Mahasiswi dengan NPM 3334210077 yang selalu mendukung penuh perjalanan saya dalam menyelesaikan skripsi, dan tidak pernah berhenti meyakinkan serta memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi.
6. Keluarga besar yang selalu mendukung dan mendoakan dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
7. Rekan-rekan Teknik Metalurgi angkatan 2019, yang selalu mendukung, memotivasi dan berbagi ilmu dalam menjalankan perkuliahan.



8. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung serta memberi nasehat dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Sekian dari Penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya di bidang penelitian pengecoran Logam.

Cilegon, 1 Februari 2024

Firmansyah Said

# DAFTAR ISI

Halaman

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Aluminium .....	6



2.1.1	Aluminum – <i>Alloy Die Casting</i> (ADC).....	11
2.2	Busa Logam ( <i>Metallic Foam</i> ).....	13
2.2.1	Karakteristik <i>Metallic Foam</i> .....	17
2.3	Teknik Pembuatan <i>Metallic Foaming</i> .....	18
2.4	Aplikasi <i>Metallic Foaming</i> .....	21
2.5	Peredam Suara ( <i>Sound Absorber</i> ).....	22
2.5.1	Nilai Koefisien Alpha pada Lingkungan.....	25
2.6	Standar Frekuensi Suara .....	26
2.7	<i>Metallic Foaming</i> Sebagai Penyerap Gelombang Suara .....	27
2.8	<i>Foaming Agent</i> .....	32
2.8.1	CaCO <sub>3</sub> Sebagai <i>Foaming Agent</i> .....	33
2.8.2	Kulit Telur Sebagai <i>Foaming Agent</i> CaCO <sub>3</sub> .....	34
2.9	Karakterisasi XRF.....	37
2.10	Karakterisasi XRD.....	39
2.11	Pengujian Densitas dan Porositas .....	41
2.12	Pengujian <i>Impedance Tube Testing</i> ( <i>ITT</i> ).....	42
2.13	Pengujian Metalografi .....	45
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>47</b>
3.1	Diagram Alir .....	47
3.2	Alat dan Bahan.....	49

3.2.1	Alat-alat.....	49
3.2.2	Bahan-bahan.....	49
3.3	Prosedur Percobaan.....	50
3.3.1.	Prosedur Pembuatan Kalsium Karbonat .....	50
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>54</b>
4.1	Hasil Karakterisasi <i>Foaming Agent</i> .....	54
4.1.1	Karakterisasi XRF .....	54
4.1.2	Hasil Karakterisasi XRD .....	56
4.2	Hasil Analisa Struktur Makro .....	58
4.2.1	Pengaruh Ketebalan terhadap Ukuran Pori .....	60
4.2.2	Pengaruh Konsentrasi CaCO <sub>3</sub> terhadap Rata-rata Pori ....	61
4.2.3	Hasil Struktur Makro Pori Pada Sampel .....	62
4.3	Hasil dan Nilai Densitas Aluminium <i>Foam</i> .....	64
4.3.1	Pengaruh Variasi Ketebalan terhadap Densitas .....	64
4.3.2	Pengaruh Konsentrasi <i>Foaming Agent</i> terhadap Densitas	
	66	
4.4	Hasil dan Nilai Porositas Aluminium <i>Foam</i> .....	68
4.4.1	Pengaruh Variasi Ketebalan terhadap Nilai Porositas.....	69
4.4.2	Pengaruh Konsentrasi <i>Foaming Agent</i> terhadap Porositas.	
	.....	70

4.5	Hasil Pengujian ITT ( <i>Impedance Tube Testing</i> ) .....	72
4.5.1	Pengaruh Ketebalan terhadap Absorpsi Suara. ....	73
4.5.2	Pengaruh Komposisi CaCO <sub>3</sub> terhadap Absorpsi Suara....	75
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>77</b>
5.1	Kesimpulan .....	77
5.2	Saran .....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>79</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>85</b>
<b>Lampiran A. Contoh Perhitungan .....</b>		<b>86</b>
<b>Lampiran B. Data Penelitian .....</b>		<b>94</b>
<b>Lampiran C. Alat dan Bahan.....</b>		<b>105</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2. 1 Designasi Aluminium Sesuai <i>Aluminum Association (AA)</i> .....	10
Tabel 2. 2 Komposisi Paduan Aluminium ADC 12.....	12
Tabel 2. 3 Sifat Fisik Aluminium ADC 12 .....	13
Tabel 2. 4 Pengaplikasian <i>Metallic Foaming</i> .....	21
Tabel 2. 5 Rekomendasi Nilai Alpha Untuk Lingkungan.....	26
Tabel 2. 6 Komposisi Kulit Telur .....	35
Tabel 4. 1 Hasil Difraksi XRF.....	55
Tabel 4. 2 Hasil Ukuran Pori.....	59
Tabel 4. 3 Hasil Densitas Sampel .....	64
Tabel 4. 4 Hasil Porositas Sampel .....	68
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian ITT .....	72

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Skematik Teknik <i>Melt Foaming</i> .....	19
Gambar 2. 2 Skematik Teknik <i>Powder Metallurgy</i> .....	20
Gambar 2. 3 Skema <i>Open</i> dan <i>Closed Cell</i> .....	24
Gambar 2. 4 Klasifikasi Kelas Peredam Suara BSEN ISO 354 .....	25
Gambar 2. 5 Proses Dari Karakterisasi XRF.....	38
Gambar 2. 6 Mekanisme dari Karakterisasi XRF.....	38
Gambar 2. 7 Mekanisme Karakterisasi XRD. ....	41
Gambar 2. 8 Skematik Pengujian ITT .....	43
Gambar 2. 9 Sketsa Sampel Aluminium <i>Foam</i> .....	44
Gambar 2. 10 Inspeksi Metalografi (A) Struktur Makro; (B) Struktur Mikro .....	45
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pembuatan <i>Foaming Agent</i> .....	47
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian Aluminium <i>Foam</i> .....	48
Gambar 3. 3 Sketsa Sampel Aluminium <i>Foam</i> .....	51
Gambar 4. 1 Berat Unsur XRF .....	55
Gambar 4. 2 Nilai $2\theta$ untuk senyawa $\text{CaCO}_3$ (Renny, 2021) .....	56
Gambar 4. 3 Hasil Difraksi XRD .....	57
Gambar 4. 4 Hasil Struktur Makro Sampel .....	58
Gambar 4. 5 Pengaruh Ketebalan terhadap Rata-rata Pori .....	60
Gambar 4. 6 Pengaruh Komposisi $\text{CaCO}_3$ Terhadap Rata-rata Pori .....	61

<b>Gambar 4. 7</b> Hasil Pori pada Sampel.....	63
<b>Gambar 4. 8</b> Pengaruh Ketebalan terhadap Densitas .....	65
<b>Gambar 4. 9</b> Pengaruh Komposisi CaCO <sub>3</sub> terhadap Densitas .....	66
<b>Gambar 4. 10</b> Pengaruh Ketebalan terhadap Porositas.....	69
<b>Gambar 4. 11</b> Pengaruh Konsentrasi <i>Foaming Agent</i> Terhadap Porositas.....	70
<b>Gambar 4. 12</b> Pengaruh Ketebalan Terhadap Koefisien Absorpsi.....	73
<b>Gambar 4. 13</b> Pengaruh CaCO <sub>3</sub> Terhadap Koefisien Absorpsi.....	75
<b>Gambar B. 1</b> Hasil Karakterisasi XRF Kulit Telur .....	94
<b>Gambar B. 2</b> Hasil Karakterisasi XRD Kulit Telur.....	94
<b>Gambar B. 3</b> Hasil Pengukuran TL sampel 3% CaCO <sub>3</sub> & ketebalan 4cm .....	95
<b>Gambar B. 4</b> Hasil Pengukuran TL sampel 3% CaCO <sub>3</sub> & ketebalan 5cm .....	96
<b>Gambar B. 5</b> Hasil Pengukuran TL sampel 3% CaCO <sub>3</sub> & ketebalan 6cm .....	97
<b>Gambar B. 6</b> Hasil Pengukuran TL sampel 4% CaCO <sub>3</sub> & ketebalan 4cm .....	98
<b>Gambar B. 7</b> Hasil Pengukuran TL sampel 4% CaCO <sub>3</sub> & ketebalan 5cm .....	99
<b>Gambar B. 8</b> Hasil Pengukuran TL sampel 4% CaCO <sub>3</sub> & ketebalan 6cm .....	100
<b>Gambar B. 9</b> Hasil Pengukuran TL sampel 5% CaCO <sub>3</sub> & ketebalan 4cm .....	101
<b>Gambar B. 10</b> Hasil Pengukuran TL sampel 5% CaCO <sub>3</sub> & ketebalan 5cm .....	102
<b>Gambar B. 11</b> Hasil Pengukuran TL sampel 5% CaCO <sub>3</sub> & ketebalan 6cm .....	103

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era sekarang ini, penggunaan material aluminium *foam* sudah banyak diaplikasikan di berbagai bidang. Aluminium *foam* sudah banyak diterapkan pada bidang *aerospace*, *aviation*, otomotif dan konstruksi. Selain itu, salah satu penerapan aluminium *foam* yang sekarang mengalami perkembangan adalah sebagai material penyerap gelombang suara. Kehadiran material aluminium *foam* ini diharapkan mampu meredam polusi yang disebabkan oleh suara dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini dikarenakan karakteristik dari material aluminium *foam* yang tahan terhadap guncangan, mampu menyerap energi, kinerjanya yang dapat menahan aktivitas elektromagnetik, insulasi panas yang sangat baik dan tahan pada temperatur tinggi sangatlah cocok untuk digunakan sebagai material penyerap gelombang suara (Tripathi et al., 2020).

Aluminium *foam* memiliki berbagai bentuk pori di dalamnya. Perilaku penyerapan suara pada aluminium *foam* sangat bergantung pada struktur seluler yang dibagi menjadi dua jenis, yaitu sel terbuka (*open-cell*) dan sel tertutup (*closed-cell*). Fenomena penyerapan gelombang suara berarti menjelaskan gelombang suara insiden tidak dipantulkan atau ditransmisikan, melainkan energinya diserap oleh aluminium *foam* tersebut (Liang et al., 2018).



Proses pembuatan aluminium *foam* ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya menggunakan metode *melt route*. Metode *melt route* sangat populer dikarenakan mampu menghasilkan *foaming* yang relatif murah dengan hasil sifat yang diinginkan (Parveez et al., 2022). Pada kesempatan penelitian kali ini, proses aluminium *foam* dengan menggunakan metode *melt route* dan ditambahkan *foaming agent* CaCO<sub>3</sub>. *Foaming agent* CaCO<sub>3</sub> diyakini dapat memproduksi gelembung-gelembung *foam* yang membuat aluminium *foam* ini membentuk struktur sel tertutup. Pada penelitian Ghaleh dkk (2020) menjelaskan bahwa proses pembuatan aluminium *foam* menggunakan metode *melting route* dengan adisi *foaming agent* CaCO<sub>3</sub> dengan ukuran partikel 10 mikron dengan berat sebesar 2,5 hingga 3,5 wt%. Dari sintesis ini dihasilkan struktur sel tertutup dengan kisaran densitas 0,12–0,44 g/cm<sup>3</sup> dan ukuran sel rata-rata sebesar 1,5–3,1 cm (Ghaleh, 2020). Penggunaan CaCO<sub>3</sub> sebagai *foaming agent* telah banyak digunakan, karena lebih efektif dan mudah didapat dimana saja (A. Osman et al., 2017).

Maka dari itu, pada penelitian ini akan melanjutkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ikhsan Ekariadi yang memanfaatkan kulit telur sebagai *foaming agent* CaCO<sub>3</sub> dengan metode *melt route* guna menghasilkan aluminium *foam* untuk pengaplikasian material penyerap gelombang suara. Pada penelitian ini juga menggunakan pengujian ITT (*Impedance Tube Testing*) untuk mengetahui nilai alpha yang dihasilkan dari aluminium *foam* tersebut.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka masalah yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa aluminium ADC 12 dapat dikembangkan menjadi aluminium *foam* dengan memanfaatkan limbah kulit telur sebagai *Foaming Agent*  $\text{CaCO}_3$ . Pada proses pembuatannya aluminium dilebur hingga meleleh sempurna kemudian ditambahkan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  untuk menstabilkan temperatur dan meningkatkan viskositasnya, yang kemudian ditambahkan *Foaming Agent*  $\text{CaCO}_3$  yang akan terdekomposisi pada leburan logam untuk dapat menghasilkan pori pada hasil aluminium *foam*. Dimana aluminium *foam* sedang banyak dikembangkan untuk dapat digunakan sebagai panel peredam suara menggantikan panel peredam suara konvensional. Serta untuk mengetahui pengaruh dari variasi komposisi *foaming agent*  $\text{CaCO}_3$  terhadap pembentukan struktur sel pada sampel aluminium *foam*, pengaruh variasi komposisi *foaming agent*  $\text{CaCO}_3$  terhadap nilai densitas, persentase porositas, dan nilai koefisien serap suara Serta pengaruh variasi ketebalan sampel aluminium *foam* terhadap nilai densitas, persentase porositas, dan nilai koefisien serap suara.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian secara umum adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *foaming agent*  $\text{CaCO}_3$  yang dilakukan dalam proses pembuatan aluminium *foam*. Adapun tujuan penelitian ini secara khusus, yaitu:

1. Menganalisis pengaruh variasi komposisi *foaming agent* CaCO<sub>3</sub> terhadap pembentukan struktur sel pada sampel aluminium *foam*.
2. Menganalisis pengaruh variasi komposisi *foaming agent* CaCO<sub>3</sub> terhadap nilai densitas, nilai porositas, dan nilai koefisien serap suara ( $\alpha$ ).
3. Menganalisis pengaruh variasi ketebalan aluminium *foam* terhadap nilai densitas, nilai porositas, dan nilai koefisien serap suara ( $\alpha$ ).

#### **1.4 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup pada penelitian kali ini adalah, sebagai berikut:

1. *Foaming agent* CaCO<sub>3</sub> yang diperoleh dari kulit telur
2. Aluminium yang digunakan adalah aluminium ADC12.
3. Metode yang digunakan adalah *melt route* pada pembuatan aluminium *foam* ini.
4. Variabel bebas yang diterapkan adalah variasi komposisi *foaming agent* CaCO<sub>3</sub> 3, 4 dan 5 wt% dari massa aluminium yang digunakan.
5. Variabel bebas yang diterapkan lainnya, yaitu variasi ketebalan aluminium *foam* 5,6 dan 7 cm.
6. Variabel tetap yang diterapkan adalah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dimasukkan ke dalam *crucible* sebanyak 1,5 wt% aluminium yang digunakan.
7. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Laporan skripsi ini terdiri atas lima bab. Bab I menjelaskan tentang latar belakang untuk dilakukannya penelitian mengenai pengaruh kulit telur terhadap kemampuan *foaming agent* dan sifat absorpsi aluminium *foam*, rumusan masalah yang menjadi dasar penelitian ini, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan tentang teori mengenai Aluminium, *Metal Foam*, Pembuatan *Metal Foam*, *Foaming Agent*, Kulit telur, Karakterisasi kulit telur, Pengujian absorpsi suara, pengujian metalografi, Pengujian densitas dan porositas. Bab III menjelaskan tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan serta prosedur penelitian. Bab IV menjelaskan tentang hasil, analisa dan pembahasan terkait penelitian yang telah dilakukan. Bab V menjelaskan tentang kesimpulan dan saran hasil penelitian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Aluminium

Aluminium adalah material lunak logam paling melimpah di dunia setelah besi. Aluminium adalah elemen paling umum ketiga yang terdiri dari 8% kerak bumi. Fleksibilitas aluminium menjadikannya logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Aluminium berasal dari mineral bauksit. Bauksit diubah menjadi aluminium oksida (alumina) melalui Proses *Bayer*. Semua logam aluminium primer diproduksi melalui proses *Hall-Heroult*. Alumina kemudian diubah menjadi logam aluminium menggunakan sel elektrolitik dan *Hall-Heroult Process*. Permintaan aluminium dunia sekitar 29 juta ton per tahun. Sekitar 22 juta ton adalah aluminium baru dan 7 juta ton adalah skrap aluminium daur ulang. Penggunaan aluminium daur ulang secara ekonomi sangatlah menguntungkan lingkungan. Dibutuhkan 14.000 kWh untuk memproduksi 1 ton aluminium baru. Sebaliknya, hanya dibutuhkan 5% dari jumlah ini untuk melebur dan mendaur ulang satu ton aluminium. Tidak ada perbedaan kualitas antara paduan aluminium murni (*aluminium alloys*) dan daur ulang (Alam & Husain Ansari, 2017).

Beberapa paduan aluminium kerap digunakan, salah satunya pada industri otomotif. Karena materialnya yang sangat ringan, bisa diaplikasikan pada industri otomotif, seperti tempa dan cor, sedangkan lembaran aluminium berpotensi untuk digunakan sebagai komponen kendaraan. Ada berbagai peluang untuk menggunakan aluminium dalam *powertrain* otomotif, sasis, dan struktur bodi.

Berbeda dengan baja, aluminium memiliki sifat mampu bentuk yang rendah, terutama pada suhu kamar sehingga lebih sulit untuk dicap. Beberapa peneliti telah melakukan beberapa cara untuk mengetahui proses yang dapat digunakan. Ada dua cara dalam pembuatan struktur bodi aluminium: 1) Dengan *stamping* ke dalam struktur dan 2) Melalui kombinasi banyak proses seperti pengecoran, ekstrusi dan *stamping* dan pengelasan seperti dalam rangka ruang (Ng et al., 2017).

Selain itu, penerapan paduan aluminium juga bisa sebagai bahan struktural dan telah mengalami peningkatan beberapa tahun terakhir karena sifat-sifatnya yang sangat menguntungkan, yaitu rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, kemudahan fabrikasi, tingkat kemampuan kerja yang tinggi, keuletan yang cukup besar, konduktivitas termal yang sangat baik, ketahanan korosi yang tinggi dan penampilan yang menarik di hasil akhir alami mereka. Kemudahan ekstrusi yang membuat paduan aluminium menjadi bahan struktural serbaguna yang memungkinkan produksi bentuk penampang yang kompleks, cocok untuk struktur yang tidak dapat dikembangkan dari bahan struktural yang lebih konvensional, seperti beton atau baja. Ketahanan korosi yang menonjol membuatnya sangat cocok untuk aplikasi di lingkungan laut tanpa perlindungan permukaan dan dengan biaya perawatan yang rendah. Daya tahannya yang luar biasa memungkinkan struktur yang dapat mempertahankan sifat bawaannya bahkan dalam variasi suhu yang besar (Georgantzia dkk, 2018).

Paduan aluminium adalah komposisi kimia dengan menambahkan unsur lain ke dalam aluminium murni untuk meningkatkan sifat dan kekuatannya. Unsur-unsur lain termasuk tembaga, magnesium, besi, silikon, timah, seng dan mangan

pada tingkat yang digabungkan untuk membuat 15% dari total berat paduan. Paduan membutuhkan pencampuran menyeluruh dari aluminium murni dengan unsur-unsur lain pada bentuk cair. Elemen paduan utama yang ditambahkan ke paduan aluminium memungkinkannya untuk dikategorikan ke dalam beberapa kelompok. Kelompok-kelompok ini mewakili karakteristik material seperti kemampuannya untuk merespons perlakuan mekanis dan termal. Paduan aluminium terutama diberi nomor empat digit, di mana digit pertama mengidentifikasi seri paduan dengan mengkarakterisasi elemen paduan utamanya. Digit pertama (Xxxx) digunakan untuk menggambarkan seri paduan aluminium dan juga akan menunjukkan elemen paduan utama yang ditambahkan ke paduan aluminium. Digit tunggal kedua (xXxx) menunjukkan jumlah modifikasi yang dibuat untuk paduan tertentu, dan digit ketiga (xxXx) dan keempat (xxxX) adalah angka *arbitrer* yang digunakan untuk mengidentifikasi paduan tertentu dalam seri. Contoh: Dalam paduan 6105, angka 6 menunjukkan bahwa elemen paduan utama adalah seri paduan magnesium dan silicon, sedangkan 1 menunjukkan bahwa itu adalah modifikasi pertama dari paduan asli 6005 dan 05 mengidentifikasinya dalam seri 6xxx (Ng et al., 2017).

Paduan aluminium adalah salah satu aplikasi teknik yang disukai yang digunakan untuk berbagai industri seperti mobil, kedirgantaraan, dan unit pemrosesan mineral karena bobotnya yang lebih rendah dan sifat konduktivitas termal yang luar biasa. Komposit ini unggul di alam untuk aplikasi suhu tinggi ketika diperkuat dengan penambahan partikel keramik. Di antara beberapa seri paduan aluminium, paduan aluminium seri 6000 banyak dikembangkan jenisnya,



seperti Aluminium seri Al6060, Al6061 Al6063A, Al6065, Al6081, Al6082, Al6105, Al6162 dan Al6951, di antaranya paduan Al6061 tahan korosi tinggi, menunjukkan kekuatan yang wajar dan banyak ditemukan aplikasi di bidang pekerjaan konstruksi dan aplikasi mobil. Paduan aluminium 7075 memiliki kekuatan lebih tinggi, ketangguhan tinggi dan lebih disukai dalam industri kedirgantaraan dan industri otomotif. Umumnya paduan aluminium dan MMC digunakan secara luas karena kekuatannya yang lebih tinggi, kekakuan, ketahanan aus, ketangguhan patah (Saikrupa et al., 2021).

Aluminium murni tidak memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Namun, penambahan elemen paduan seperti mangan, silikon, tembaga dan magnesium dapat meningkatkan sifat kekuatan aluminium dan menghasilkan paduan dengan sifat yang disesuaikan untuk aplikasi tertentu. Aluminium sangat cocok untuk lingkungan yang dingin. Ini memiliki keunggulan dibandingkan baja karena kekuatan tariknya meningkat dengan penurunan suhu sambil mempertahankan ketangguhannya. Baja di sisi lain menjadi rapuh pada suhu rendah. Dan ketahanan korosi pada material paduan aluminium yang terpapar udara, lapisan aluminium oksida terbentuk hampir seketika pada permukaan aluminium. Lapisan ini memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi. Paduan aluminium cukup tahan terhadap sebagian besar asam, akan tetapi kurang tahan terhadap alkali. Konduktivitas termal aluminium sekitar tiga kali lebih besar dari baja. Hal ini membuat aluminium menjadi bahan penting untuk aplikasi pendinginan dan pemanasan seperti penukar panas. Dikombinasikan dengan sifatnya yang tidak

beracun, properti ini berarti aluminium digunakan secara luas dalam peralatan memasak dan peralatan dapur (Alam & Husain Ansari, 2017).

**Tabel 2. 1** Designasi Aluminium Sesuai *Aluminum Association (AA)*

No. Seri	Komposisi Paduan
1xxx	Aluminium murni
2xxx	Paduan aluminium – tembaga
3xxx	Paduan aluminium – mangan
4xxx	Paduan aluminium – silika
5xxx	Paduan aluminium – magnesium
6xxx	Paduan aluminium – magnesium – silika
7xxx	Paduan aluminium – seng
8xxx	Paduan aluminium – timah – litium
9xxx	Dsiapkan untuk penggunaan di masa depan

Penamaan atau designasi aluminium dilakukan oleh beberapa asosiasi *engineering* di dunia untuk memudahkan klasifikasi logam paduan aluminium. Salah satunya adalah yang dilakukan oleh *The Aluminium Association (AA)* seperti pada Tabel 2.1. Akan tetapi, penamaan ini juga dilakukan oleh instansi lainnya seperti *Japanese International Standard (JIS)* yang mengklasifikasikan menjadi ADC series.

Seiring dengan tembaga, aluminium memiliki konduktivitas listrik yang cukup tinggi untuk digunakan sebagai konduktor listrik. Meskipun konduktivitas dari paduan konduktor yang umum digunakan (1350) hanya sekitar 62% dari tembaga anil, hanya sepertiga beratnya dan oleh karena itu dapat menghantarkan listrik dua kali lebih banyak jika dibandingkan dengan tembaga dengan berat yang sama. Dari UV hingga inframerah, aluminium merupakan reflektor energi pancaran

yang sangat baik. Reflektifitas cahaya tampak sekitar 80% berarti banyak digunakan dalam perlengkapan lampu. Sifat reflektifitas yang sama membuat aluminium ideal sebagai bahan isolasi untuk melindungi dari sinar matahari di musim panas, sekaligus isolasi terhadap kehilangan panas di musim dingin. Aluminium dapat mengalami deformasi parah tanpa kegagalan. Hal ini memungkinkan aluminium dibentuk dengan menggulung, mengekstrusi, menggambar, permesinan, dan proses mekanis lainnya. Itu juga dapat dilemparkan ke toleransi tinggi. Paduan, pengerjaan dingin, dan perlakuan panas.

### **2.1.1 Aluminum – Alloy Die Casting (ADC)**

Aluminium *Alloy Die Casting* atau dikenal sebagai ADC merupakan salah satu bentuk penamaan dari logam paduan aluminium. Seri ADC digunakan untuk menentukan seri aluminium yang biasa disintesis dengan menggunakan metode *die casting*. Pada dasarnya, paduan ini merupakan paduan dari logam aluminium dengan silikon yang dimana ditandai dengan angka di penamaannya, salah satunya adalah ADC 12 yang menandakan bahwa paduan terdiri dari ~12% Si sebagai elemen pepadu utama (*main alloying element*). Paduan ADC 12 merupakan salah satu jenis paduan aluminium yang populer. Selain unsur silikon (Si), terdapat juga beberapa elemen pepadu dengan konsentrasi yang rendah seperti tembaga (Cu), magnesium (Mg), dan besi (Fe). Komposisi umumnya adalah sekitar 9.6-12% Si, 1.0-3.5% Cu, 0.3% Mg, dan 1.0% Fe dengan sisa berupa aluminium. ADC 12 sering digunakan dalam proses pengecoran tekan, terutama dalam pembuatan komponen otomotif dan produk konsumen

karena memiliki sifat mekanis yang baik serta ketahanan terhadap korosi. Beberapa karakteristiknya termasuk kekuatan yang baik, ketahanan terhadap aus, dan kemampuan untuk diolah dengan baik dalam proses pengecoran.

Kekuatan paduan ini dapat ditingkatkan dengan perlakuan panas atau pemanasan untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Ketahanannya terhadap korosi juga membuatnya menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi di lingkungan yang mengharuskan ketahanan terhadap elemen-elemen seperti air, udara, dan bahan kimia ringan. Pada penelitian ini menggunakan Aluminium ADC 12, adapun komposisi aluminium ADC 12 menurut standar JIS H 5032 ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

**Tabel 2. 2** Komposisi Paduan Aluminium ADC 12 (JIS H 5032).

Unsur	Kandungan (%)
Cu	1,5 – 3,5
Si	9,6 - 12
Mg	0,3 maks.
Zn	1,0 maks.
Fe	1,3 maks.
Mn	0,5 maks.
Ni	0,5 maks.
Sn	0,2 maks.
Ti	-
Al	Remainder

Adapun sifat fisik aluminium ADC 12 dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

**Tabel 2. 3** Sifat Fisik Aluminium ADC 12 (Wang, L., et al., 1995)

No	Properties	Value
1.	Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.75
2.	Melting range	590
3.	Tensile Strength	300
4.	Elongation (%)	2.5
5.	Hardness (BHN)	80

## 2.2 Busa Logam (*Metallic Foam*)

Busa adalah hasil dari kombinasi dua fasa yang diciptakan oleh berbagai proses yang sebagian besar meliputi dispersi gas melalui cairan tanpa melarutkan gas sepenuhnya. Ini sangat mirip dengan proses emulsi (kombinasi dua cairan yang tidak dapat bercampur) tetapi memiliki perbedaan bahwa fasa gas harus ada di dalam busa. Busa logam adalah struktur seluler yang terdiri dari logam padat, seringkali aluminium, serta fraksi volume besar dari pori-pori berisi gas. Pori-pori dapat disegel (busa sel tertutup), atau dapat membentuk jaringan yang saling berhubungan (busa sel terbuka). Aplikasi busa logam aluminium adalah aplikasi struktural, penukar panas dan mesin pendingin, peredam suara, aplikasi akustik, penahan api, aplikasi tahan korosi. Busa logam biasanya mempertahankan beberapa sifat fisik dari bahan dasarnya. Busa yang terbuat dari logam yang tidak mudah terbakar akan tetap tidak mudah terbakar dan busa umumnya dapat didaur ulang kembali ke bahan dasarnya. Koefisien ekspansi termal juga akan tetap sama sementara konduktivitas termal kemungkinan akan berkurang (Raut et al., 2011).

Busa logam adalah kelas material baru, yang belum sempurna, dengan kepadatan rendah dan sifat fisik, mekanik, termal, listrik, dan akustik yang baru. Busa logam menawarkan potensi struktur ringan, untuk penyerapan energi, dan manajemen termal; dan beberapa di antaranya, setidaknya, murah. Busa metalik (*metal foams*) adalah kelas material baru, yang tidak dikenal oleh sebagian besar insinyur. Saat ini *metfoam* tidak sepenuhnya dicirikan, dan proses yang digunakan untuk membuatnya tidak terkontrol secara sempurna, menghasilkan beberapa variabilitas sifat. Tetapi bahkan *metallic foam* generasi sekarang memiliki profil properti dengan potensi memikat, dan kontrol pemrosesan meningkat dengan cepat. *Metallic foam* menawarkan peningkatan kinerja yang signifikan dalam struktur yang ringan dan kaku, untuk penyerapan energi yang efisien, untuk manajemen termal dan mungkin untuk kontrol akustik dan lainnya, yang lebih terspesialisasi (Fleck, 2016).

Busa logam (*metallic foams*) terutama yang berbahan dasar logam ringan diketahui memiliki banyak kombinasi menarik dari berbagai sifat seperti kekakuan tinggi sehubungan dengan berat jenis yang sangat rendah atau kekuatan kompresi tinggi yang dikombinasikan dengan karakteristik penyerapan energi yang baik (Banhart, 2010). Busa logam adalah struktur seluler yang terdiri dari bahan padat dengan sebagian besar pori berisi gas berdasarkan volume. Karena struktur selulernya, busa logam memiliki serangkaian sifat mekanik dan fisik yang unik. sifat ini memungkinkan busa logam menjadi sangat efisien dalam beberapa aplikasi teknik, terutama dalam komponen untuk tahan ledakan, tahan api, insulasi termal, panel *sandwich* inti busa, dan peredam suara dan getaran. Selain itu, busa logam

dapat didaur ulang, tanpa masalah pembuangan. Akibatnya, bahan-bahan ini telah menarik perhatian besar dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu fitur busa yang luar biasa adalah sifat mekaniknya fleksibel, dan ukuran pori, geometri, kerapatan, dan pilihan bahan busa dapat dikontrol. Ketika digunakan sebagai bahan penyerap energi, busa ini dapat mengalami deformasi *substansial* di bawah tekanan yang hampir konstan. Dengan kemajuan pesat di bidang pertahanan, kedirgantaraan, dan otomotif, terdapat peningkatan permintaan akan material ringan dengan kekuatan khusus yang tinggi, efisiensi bahan bakar yang lebih baik, dan kapasitas penyerapan energi yang tinggi untuk menahan gaya tumbukan. Dengan demikian, sifat mekanik, akustik, listrik, termal, dan kimia yang baik membuatnya ideal untuk aplikasi struktural dan fungsional. Busa logam umumnya terdiri dari aluminium (Al), nikel (Ni), magnesium (Mg), tembaga (Cu), seng (Zn), dan baja. Secara khusus, Al dan paduannya banyak digunakan sebagai bahan yang tidak mudah terbakar untuk insulasi termal dan suara, inti *sandwich*, redaman mekanis, panel ringan dan ketahanan benturan dalam transportasi, *insulator* regangan, dan kontrol getaran (Parveez et al., 2022).

Busa logam adalah bahan yang sangat menantang karena pembuatannya melibatkan terjadinya fase padat, cair, dan gas secara bersamaan pada berbagai suhu dan morfologi busa yang dipadatkan cukup kompleks. Cukup banyak teknologi manufaktur untuk busa logam yang sekarang dikenal. Namun, proses manufaktur busa logam yang dilakukan selama kurun waktu 10 tahun terakhir, masih mengalami ketidakseragaman dan berbagai kekurangan. Untuk meningkatkan proses manufaktur dari busa logam, yaitu dengan cara meningkatkan teknologi



produksi yang lebih andal, mudah dipahami dan dapat dikendalikan. Dalam mengembangkan metode produksi, empirisme biasanya diterapkan daripada mengandalkan pengetahuan ilmiah yang mendalam. Oleh karena itu, pemahaman yang jelas tentang stabilitas busa diharapkan memungkinkan seseorang untuk meningkatkan kualitas busa dan kontrol proses dengan lebih mudah (Babcsán et al., 2003).

Sifat mekanik busa logam, terutama kekuatan tekan dan kapasitas penyerapan energinya, bergantung pada struktur sel, porositas, dan kerapatan relatifnya. Tegangan dataran tinggi telah ditemukan memiliki nilai yang lebih tinggi pada porositas bervariasi dari 60% sampai 70%, sedangkan kapasitas penyerapan energi lebih tinggi untuk nilai porositas yang lebih tinggi. Pengaruh morfologi pori terhadap kuat tekan busa Al menyimpulkan bahwa bentuk pori busa memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap sifat mekaniknya daripada ukuran pori. Selain itu, penambahan partikel  $TiH_2$  ke busa Al meningkatkan ekspansi busa maksimum secara signifikan karena fasa padat menurunkan ketebalan dinding sel minimum, memungkinkan ekspansi yang lebih besar sebelum sel pecah dan runtuh. Ini menghasilkan tegangan bukti yang lebih tinggi, kekuatan luluh dan lebih banyak penyerapan energi untuk regangan tertentu dibandingkan dengan busa Al murni (Parveez et al., 2022). Nilai porositas yang lebih tinggi dapat mengurangi kapasitas penyerapan energi, dikarenakan rongga yang saling berhubungan, sehingga memungkinkan cairan atau gas dapat mengalir melalui material tersebut (Alhusseny et al., 2018). Oleh karena itu, sangat penting untuk mengembangkan busa dengan porositas yang optimal. Dalam studi lain, porositas yang mengalami penurunan

dengan peningkatan densitas busa dan deformasi seragam dalam kompresi dan pengerasan yang sama dengan material tanpa tekanan yang tinggi. Sifat tekan dan perilaku penyerapan energi metalurgi serbuk fabrikasi busa Al yang diperkuat dengan serat kaca ditemukan bergantung pada fraksi volume serat kaca dan fraksi porositas. Selain itu, kuat tekan busa komposit lebih tinggi dibandingkan dengan busa Al murni (Parveez et al., 2022).

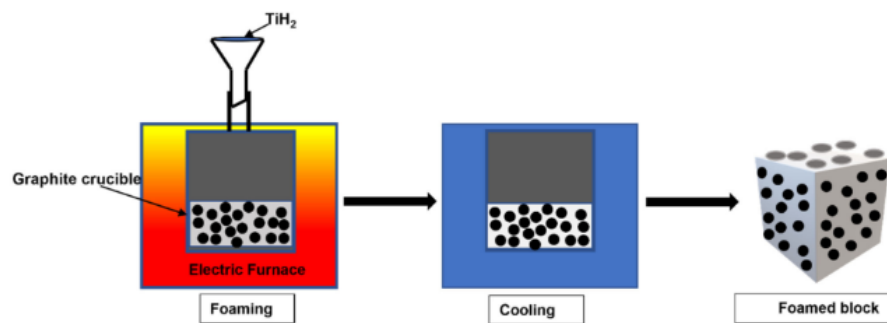
### **2.2.1 Karakteristik *Metallic Foam***

Metal foam memiliki beberapa karakteristik khusus yang membedakannya dengan material lain. Karakteristik ini menjadi ciri khas dan kelebihan dari metal foam itu sendiri. Beberapa karakteristik dari metal foam antara lain adalah strukturnya yang berpori. Meskipun memiliki struktur berpori (*porous structure*), *metallic foam* tetap dapat mempertahankan kekakuan dan kekuatan, sementara tetap ringan. Kombinasi ini menjadikan *metallic foam* cocok untuk aplikasi di mana kekuatan dan berat ringan sangat dibutuhkan. Selain itu, dengan sifatnya yang berpori *metallic foam* dapat digunakan untuk meredam suara karena struktur pori-porinya dapat menyerap gelombang suara. Hal ini menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi di mana isolasi suara atau penyerapan suara diperlukan. *Metallic foam* juga memiliki kemudahan dalam manufakturnya, dimana material ini dapat disintesis melalui berbagai metode manufaktur, termasuk teknik injeksi gas, ekstrusi logam cair, atau teknik paduan logam dengan agen penghasil gas yang menjadikannya lebih

fleksibel dalam menghasilkan berbagai bentuk dan ukuran busa logam (Rodinger, Coric, & Danko, 2023).

### **2.3 Teknik Pembuatan *Metallic Foaming***

Busa logam terutama diproduksi menggunakan teknik fasa cair (atau *melt foaming*) atau fasa padat (*powder metallurgy*). Metode *melt foaming* sangat populer karena menghasilkan busa yang relatif murah dengan sifat yang diinginkan. Kualitas busa tergantung pada berbagai parameter, seperti komposisi, suhu proses pembentukan, waktu penahanan dan kondisi pendinginan, ukuran, distribusi dan fraksi volume partikel penstabil busa yang diperkuat (misalnya, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dll.). Selama proses *foaming*, beberapa bahan pembusa dan gas injeksi yang umum termasuk TiH<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, zirkonium hidrida, dolomit (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), dll. Partikel penstabil seperti Ca, ZrB<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dll., juga ditambahkan ke dalam lelehan. Misalnya penambahan CaCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub> akan terurai karena terjadinya proses dekomposisi dan membentuk padatan CaO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in-situ, serta CO<sub>2</sub> dan gas reaktif CO. Akibat adanya penambahan CaCO<sub>3</sub>, dapat mempengaruhi nilai densitas dan porositas dari busa logamnya. Kandungan dari CaCO<sub>3</sub> dapat menurunkan densitas dan meningkatkan porositas dikarenakan leburan logam yang telah melalui proses peleburan akan menghasilkan lebih banyak gas di dalam lelehannya selama proses pengecoran logam berlangsung. Dalam proses *melt foaming*, campuran serbuk komposit ditempatkan dalam krus grafit dan dilebur menggunakan tanur hambatan listrik, yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini (Parveez et al., 2022).

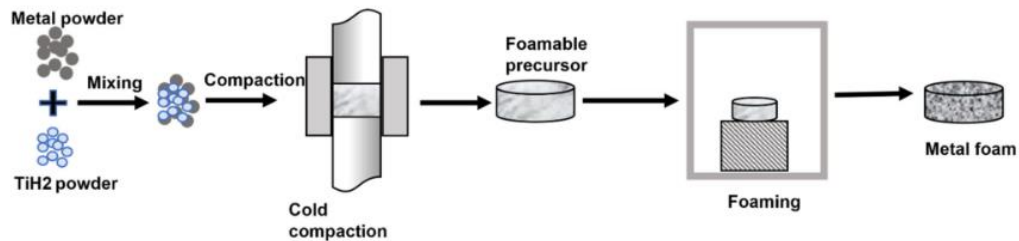


**Gambar 2. 1** Skematik Teknik *Melt Foaming* (Parveez et al., 2022).

Selain itu, Lelehan tersebut kemudian diaduk terus menerus agar bahan pembusa dan partikel penstabil tersebar merata. *Crucible* disimpan dalam tungku untuk mempertahankan suhu yang dibutuhkan untuk menguraikan TiH<sub>2</sub> dan melepaskan gas dan gelembung. Lelehan berbusa dikeluarkan dari tungku dan didinginkan di udara. Teknik ini digunakan untuk membuat busa komposit A356/20SiC dengan berbagai porositas dan ukuran sel dengan TiH<sub>2</sub> sebagai bahan peniup (Parveez et al., 2022).

Pada teknik *powder metallurgy*, bubuk logam dicampur dengan beberapa fraksi massa bahan pembusa seperti serbuk TiH<sub>2</sub> atau penahan ruang dalam *mixer* bubuk. Serbuk campuran kemudian dipadatkan dingin, menggunakan pemadatan uniaksial, dalam cetakan baja perkakas yang dilumasi pada tekanan yang diperlukan untuk mencapai kerapatan hijau prekursor. Spesimen prekursor kemudian dibawa ke tungku, sehingga prosedur pembusaan berlangsung di bawah suhu tinggi untuk *compacts* hijau dengan *foaming agent*, sedangkan untuk *compacts* dengan *space holder*, porositas diperoleh dengan proses pelindian diikuti dengan *sintering*. Serbuk metalik dan *foaming agent* seperti titanium *hydride powder* dicampur

kemudian dipadatkan dingin, dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini (Parveez et al., 2022).



**Gambar 2. 2** Skematik Teknik *Powder Metallurgy* (Parveez et al., 2022).

Sampel yang dipadatkan ini kemudian ditempatkan di dalam tungku untuk *sintering* di mana titanium hidrida terurai, menghasilkan rongga bertekanan tinggi. Ini mengembang dengan aliran semi-padat, dan logam membengkak, membentuk busa yang mengisi cetakan sebelum mendinginkan dan menstabilkannya. Proses tersebut menghasilkan komponen yang memiliki bentuk yang mirip dengan cetakan tetapi memiliki densitas yang relatif lebih rendah. Logam seperti timah, kuningan, seng, timah, dan perunggu juga dapat dibuat busa dengan menggunakan parameter proses dan bahan pembusa yang benar. Kekuatan kompresi busa seng secara signifikan lebih rendah pada kerapatan yang sama tetapi serupa pada porositas yang sama (Parveez et al., 2022). *Foaming agent* juga dapat dibuat menggunakan limbah kulit telur, karena kulit telur tersusun dari kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang melimpah yaitu kurang lebih 98,2 % dan kalsium sekitar 28% dari total bobot kulit (King Ori, 2011).

## 2.4 Aplikasi *Metallic Foaming*

Busa logam mencakup berbagai aplikasi seperti yang disebutkan dalam Tabel 2.2 di bawah ini, dan penggunaan baru muncul setiap saat. Distributor *foam* Alporas Eropa (Gleich) dari Shinko mengembangkan alat pengangkat vakum untuk produsen skala besar (Pilkington) produk kaca lembaran menggunakan proses kaca apung. Mengganti seluruh bagian Al produk kaca lembaran menggunakan proses kaca apung. Mengganti seluruh bagian Al alat dengan busa Alporas mengurangi bobot dari 82 menjadi 32 kg. Dengan demikian, alat ini menjadi berguna saat dirubah secara manual. Meskipun alat busa diproduksi dalam skala kecil, yaitu lima hingga enam buah per tahun, busa Al ini dapat bertahan pada suhu setinggi 400°C karena ketahanan panasnya yang lebih tinggi. Kemampuan mesinnya yang luar biasa semakin mendorong penggunaan bahan ini. Alpora sel tertutup lainnya (inti busa Al) dibuat menjadi balok komposit dengan menanamkan busa paduan  $AlZn_{10}Si_8Mg$  sepenuhnya di kulit paduan  $AlZn_{10}Si_8Mg$  yang lebih padat menggunakan teknik pengecoran pasir (Parveez et al., 2022).

**Tabel 2. 4** Pengaplikasian *Metallic Foaming*

<i>Foams</i>	Aplikasi
Mg	Implan tulang
<i>Metallic foam</i>	<i>Heat exchanger</i>
Ni-Cu	Elektroda untuk superkapasitor
Al7075 dan 6061 alloy	Boks pengirim obat-obatan
Al alloy ( $AlSi_{12}$ )	<i>Foaming</i> pengikat elemen

Baja A356	Pelindung radiasi
Al foam	Struktur bodi kapal

Busa logam itu sendiri dapat memantulkan sinar transversal yang mampu meredam frekuensi getaran hingga 370 Hz dengan gesekan internal atau antarmuka yang tergelincir antara inti dan kulit. Bagian ini dilengkapi dengan 700 mesin sejauh ini. Dalam rentang frekuensi ini, redaman suara hingga 60% tercapai. sistemnya memenuhi kebutuhan pelanggan berdasarkan kerangka kerja yang sama. Selain itu, inti busa Al untuk penyerap energi tumbukan dikembangkan dengan ekstrusi campuran bubuk, yang diikuti dengan penanaman cangkang karet dengan busa. Peredam ini diproduksi dalam ratusan unit untuk operator dan pabrikan trem lainnya (Parveez et al., 2022).

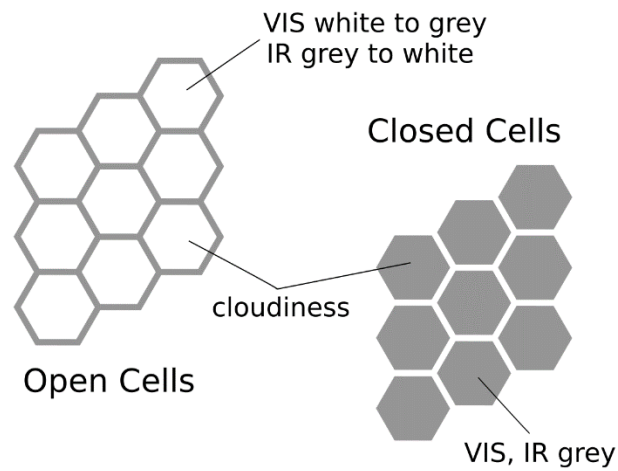
## 2.5 Peredam Suara (*Sound Absorber*)

Dalam dunia industri, peredam suara menjadi faktor penting untuk mengurangi tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh mesin-mesin, peralatan, atau proses-proses produksi. Penggunaan peredam suara bertujuan untuk melindungi karyawan, mengurangi dampak negatif pada lingkungan kerja, serta mematuhi regulasi dan standar keselamatan yang berlaku. Terdapat beberapa material yang digunakan dalam membuat material *noise absorber*, antara lain adalah bahan berpori, logam berlubang, dan karet elastomer. Material berpori seperti busa akustik, wol mineral, atau serat kaca digunakan untuk menyerap dan memantulkan gelombang suara, mengurangi pantulan dan intensitas suara yang keluar. Sementara itu, logam berlubang seperti baja atau aluminium dengan lubang-lubang tertentu dapat meredam suara dengan cara membiarkan gelombang suara masuk dan

menyerapnya di dalam material tersebut. Karet dan Material Elastomerik merupakan material yang paling umum digunakan untuk isolasi getaran serta mengurangi transmisi suara dari satu komponen mesin ke komponen lainnya.

Pada dasarnya, peredam suara memiliki prinsip mengubah gaya. Ketika gelombang suara bertemu dengan material peredam suara, energinya diubah menjadi getaran mekanis di dalam material tersebut dan kemudian berubah menjadi energi panas akibat gesekan antar partikel di dalam material. Material dengan struktur berpori atau serat-serat memiliki kemampuan yang baik untuk menyerap suara (Raut et al., 2011). Dikenal beberapa istilah dalam peredam suara, seperti *closed cell* dan *open cell*. *Open cell* dan *closed cell* adalah dua jenis struktur yang umumnya ditemukan pada material peredam suara, terutama pada material berpori seperti busa atau *foam* yang digunakan untuk tujuan tersebut. *Open cell foam* memiliki struktur yang terbuka atau pori-pori yang saling terhubung satu sama lain. Karena pori-porinya yang terbuka, material ini cenderung lebih baik dalam menyerap suara. Gelombang suara masuk ke dalam pori-pori dan kemudian diubah menjadi energi panas melalui gesekan antar partikel di dalam material. Sementara itu, *Closed cell foam* memiliki struktur pori-pori yang tertutup, artinya pori-pori tersebut tidak saling terhubung. Sel jenis ini cenderung lebih padat dan kuat secara mekanis karena struktur pori-porinya yang tertutup.





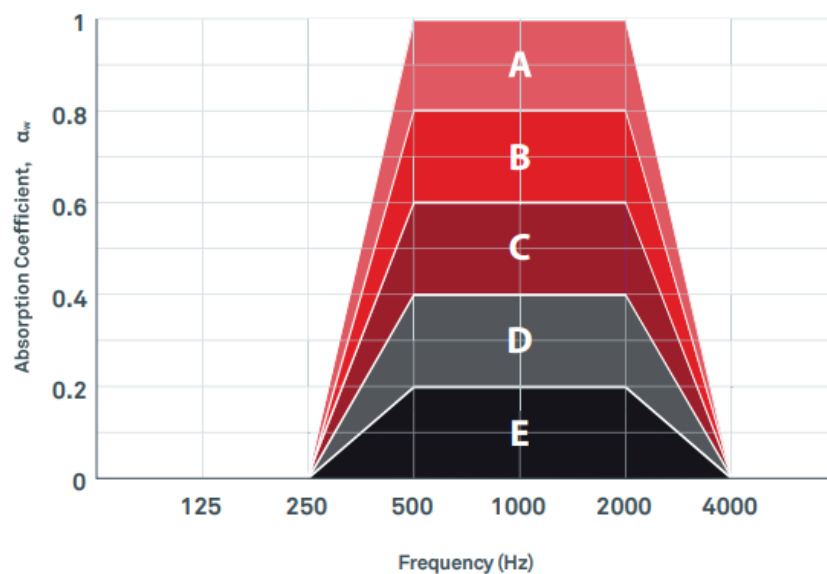
**Gambar 2.3** Skema *Open* dan *Closed Cell* (Carbajo et al., 2023)

Dalam dunia pekerjaan, *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) mengizinkan standar suara yang layak dalam waktu kerja 8 jam sehari adalah 85 dB. Hal ini ditujukan untuk meringankan *stress* dan gangguan mental para pekerja. Apabila intensitas suara yang didapatkan lebih dari standar yang ditetapkan, maka diperlukan adanya isolator untuk mencegah kebisingan lebih lanjut. Salah satunya adalah dengan menerapkan material *sound absorber* pada beberapa titik tertentu yang menjadi pusat kebisingan (Carbajo et al., 2023).

Adapun Mekanisme *Metal Foam* dalam menyerap suara adalah dengan adanya pori yang terbentuk, gelombang suara yang dipancarkan akan masuk ke dalam pori tersebut kemudian dikonversi menjadi energi lainnya, biasanya menjadi energi kalor. Ketika material berpori menyerap energi suara, terjadi gesekan antara gelombang suara dengan permukaan material yang menyebabkan suara menjadi terserap (Khotimah, 2015).

### 2.5.1 Nilai Koefisien Alpha pada Lingkungan

Dalam lingkungan sehari-hari, suara atau kebisingan menjadi problem utama yang dapat mengganggu kinerja seseorang ataupun sebuah organisasi. Oleh karena itu, diberlakukanlah penggunaan *noise reductor* atau *sound absorber* untuk mengurangi dampak kebisingan dari lingkungan kerja. Dalam standar BS EN ISO 354, dijelaskan bahwa nilai koefisien *alpha* yang dibutuhkan pada material bergantung kepada lingkungan yang ditempatinya. Kapasitas peredam suara ini dibedakan menjadi kelas A - E, dimana kelas A merepresentasikan kelas dengan nilai *alpha* tertinggi (paling menyerap suara) yang berkisar antara 0.8 sampai dengan 1, sementara itu untuk nilai E merepresentasikan kelas dengan nilai *alpha* paling rendah dengan nilai *alpha* pada interval 0 – 0,2 seperti pada Gambar 2.4 berikut ini.



**Gambar 2. 4** Klasifikasi Kelas Peredam Suara BSEN IS O 354

Dari nilai ini, diperoleh rata-rata nilai alpha dan kelas absorpsi pada beberapa lingkungan yang melibatkan banyak orang. Rata-rata penggunaan nilai *alpha* tersebut direpresentasikan pada Tabel 2.3 di bawah ini dimana nilai tersebut merupakan nilai aproksimasi nilai akustik pada sebuah lingkungan. Nilai ini tidak diatur dalam standar melainkan merupakan pertimbangan pada bagian HSE dari sebuah instansi yang melibatkan kalkulasi mengenai jumlah orang terlibat, luas ruangan, dan banyak faktor lain.

**Tabel 2. 5** Rekomendasi Nilai Alpha Untuk Lingkungan

Lingkungan	Alpha Rekomendasi	Kelas Absorpsi
Perkantoran	0,2 – 0,5	E – D
<i>Workshop Pabrik</i>	0,3 – 0,7	D – B

## 2.6 Standar Frekuensi Suara

Dalam praktiknya, suara penggunaan dan kehadiran suara dalam dunia kerja diatur dalam beberapa standar yang disepakati oleh dunia internasional. Standar suara yang diizinkan dalam industri dan kehidupan sehari-hari merupakan hal penting dalam mempertahankan kesehatan dan kenyamanan manusia. Organisasi kesehatan seperti WHO dan lembaga regulasi di berbagai negara telah menetapkan batasan-batasan terkait tingkat kebisingan yang diperbolehkan. Standar ini bertujuan untuk melindungi pendengaran manusia dari efek negatif yang diakibatkan oleh paparan suara berlebihan. Kebisingan tingkat rendah di sektor

industri atau lingkungan sehari-hari bisa memiliki dampak serius pada kesehatan. Paparan suara yang tinggi dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan pendengaran, stres, gangguan tidur, dan bahkan masalah kesehatan mental. Kesehatan pekerja dalam industri seperti konstruksi, manufaktur, atau sektor transportasi sangat rentan terhadap bahaya suara berlebihan. Di kehidupan sehari-hari, kebisingan dari lalu lintas, alat-alat elektronik, atau lingkungan perkotaan juga dapat berkontribusi pada risiko kesehatan yang serupa.

Intensitas suara yang diizinkan atau batasan kebisingan yang diperbolehkan bervariasi tergantung pada standar dan regulasi di berbagai negara serta konteks paparan suara tersebut. Sebagai contoh, di bagian Amerika umumnya batas kebisingan yang diperbolehkan untuk lingkungan kerja atau industri berkisar antara 80 hingga 85 decibel (dB) selama 8 jam kerja (Torras, 2017). Paparan suara di atas level ini, terutama dalam jangka waktu yang lama, dapat menyebabkan kerusakan pendengaran yang permanen. Dalam kehidupan sehari-hari, berbagai negara juga memiliki regulasi terkait kebisingan lingkungan. Misalnya, di daerah perkotaan, batas kebisingan malam hari mungkin berkisar antara 45 hingga 55 dB untuk memastikan kenyamanan tidur. Penting untuk diingat bahwa setiap penilaian terhadap kebisingan harus mempertimbangkan tidak hanya tingkat decibelnya tetapi juga durasi paparan, frekuensi, dan jenis suara (misalnya, suara yang berulang atau suara tajam dapat lebih mengganggu daripada suara yang terus-menerus).

## **2.7 *Metallic Foaming* Sebagai Penyerap Gelombang Suara**

Penyerapan suara sangat penting karena meminimalkan kebisingan yang datang dari dalam ke luar – gym, kantor, musik, tepuk tangan, dll. Dan sebaliknya

– suara dari mobil, pesawat terbang, perusahaan industri, dll. Suara ini diserap oleh bahan yang digunakan untuk penyerapan suara aplikasi. Misalnya: wol mineral, busa akustik plastik, bahan akustik kayu, dan bahan bitumen. Setiap jenis menyerap suara dengan cara yang berbeda. Wol mineral dan busa akustik plastik adalah penyerap berpori dan menyerap suara dengan mekanisme kehilangan kental akibat gesekan ketika molekul udara yang bergetar dipaksa melalui pori-pori dan berinteraksi dengan serat atau dinding pori. Peredam ini bagus untuk penyerapan frekuensi tinggi (Nosko & Kováčik, 2017).

Perilaku penyerapan suara diperiksa dan dikorelasikan dengan hambatan aliran udara untuk busa aluminium dengan ukuran pori dan bukaan pori yang dapat dikontrol dalam penelitian ini. Sampel aluminium foam diproduksi dengan proses infiltrasi tekanan udara menggunakan partikel *spherical sodium chloride* (NaCl) sebagai material *space holder* yang dibuat dengan cara mensinter serbuk NaCl. Pembukaan struktur sel tertutup dari Al berbasa padat disediakan oleh retakan berukuran mikrometer memanjang domain eutektik yang dibuat oleh perlakuan panas akhir yang mencakup pemanasan di bawah suhu solidus diikuti dengan pendinginan air. Jenis baru dari busa titanium seluler, yang porositas totalnya dicapai setinggi 86% -90% dan pori-pori utama berskala milimeter bulat, baru-baru ini berhasil disiapkan dengan metode pembusaan yang ditingkatkan untuk melelehkan bubuk logam. Busa titanium ini menunjukkan kinerja penyerapan suara yang baik, dan koefisien penyerapan suaranya bisa lebih dari 0,4 pada rentang frekuensi gelombang suara 3150–6300 Hz dan bahkan melebihi 0,9 pada frekuensi resonansi (Raut et al., 2011).

Perilaku penyerapan suara dari busa Al bersel terbuka yang diproduksi oleh proses infiltrasi, dan mekanisme yang terlibat. Busa menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam penyerapan suara dibandingkan dengan busa Al bersel tertutup, karena hambatan alirannya yang tinggi. Sebuah metodologi diusulkan untuk merancang bahan berserat berpori dengan penyerapan suara yang optimal di bawah pita frekuensi yang ditetapkan. Bahan tersebut diasumsikan memiliki kerangka yang kaku dan susunan serat heksagonal (Raut et al., 2011). Oleh karena itu, biasanya ada cukup ruang di industri bangunan, panel aluminium tebal yang disusun khusus yang terbuat dari busa aluminium dapat berhasil digunakan sebagai pengganti lembaran aluminium dan baja sederhana dengan berat konstan atau bahkan lebih sedikit. Struktur sel yang unik adalah alasan bahwa pada berat konstan panel busa aluminium lebih kaku dan kuat. Selain itu, busa aluminium dapat digunakan dalam suasana reaktif dan lembab, tahan api, memiliki daya tahan lama, dapat didaur ulang dengan baik, dapat menahan sendiri dan struktur berporinya menawarkan tingkat kemampuan penyerapan suara yang baik. Dari alasan ini busa aluminium sudah digunakan secara industri dalam panel penyerap suara (Nosko & Kováčik, 2017).

Busa logam yang memiliki sel setengah terbuka dikatakan memiliki kapasitas penyerap suara. Diketahui bahwa mereka memiliki kapasitas redaman dan frekuensi getaran alami yang lebih tinggi daripada padatan yang mereka buat panel *sandwich* dengan inti busa logam menawarkan potensi yang signifikan untuk manajemen getaran dan akustik, tetapi ini tidak sama dengan penyerapan suara. Penyerapan suara berarti gelombang suara insiden tidak dipantulkan atau

ditransmisikan; energinya diserap dalam materi. Ada banyak cara di mana hal ini dapat terjadi: (i) dengan kehilangan viskositas saat gelombang tekanan memompa udara masuk dan keluar dari rongga di penyerap, (ii) dengan redaman elastis termal, (iii) dengan resonator tipe *Helmholtz*, (iv) dengan *vortex shedding* dari ujung yang tajam, (v) dengan peredaman mekanis langsung pada material itu sendiri, dan seterusnya. Berbeda dengan busa elastis seperti wol kaca, kekakuan kerangka logam yang relatif besar menunjukkan bahwa efek mekanisme, (v) pada penyerapan suara biasanya kecil pada busa logam. Kontribusi mekanisme, dan (iv) terhadap penyerapan bunyi juga dapat diabaikan jika tidak ada aliran rata-rata yang diasosiasikan dengan bunyi atau amplitudo tekanan bunyi tidak terlalu tinggi sehingga membatalkan linearitas (Lu et al., 1999).

Proses dimulai dengan inisiasi pori ketika bahan mentah aluminium atau paduannya dipanaskan. *Foaming agent* yang terkandung dalam bahan akan melepaskan gas pada suhu tinggi, menciptakan gelembung mikroskopis dalam logam cair. Selama fase *melting*, logam cair yang mengandung gelembung gas ditekan melalui cetakan, sehingga gelembung gas didistribusikan secara merata di dalam logam cair melalui tekanan dan aliran material. Pada tahap pembekuan, aluminium mengalami pembekuan cepat, dan selama proses ini, gelembung gas terperangkap dalam matriks aluminium yang membeku. Pembekuan yang cepat adalah elemen kunci untuk memastikan struktur pori tetap tertutup dan distribusi pori yang merata. Setelah pembekuan, sampel aluminium *foam* diambil untuk analisis mikrostruktur. Metode seperti mikroskop optik atau mikroskop elektron digunakan untuk memeriksa dan mengukur karakteristik struktur mikro, termasuk

ukuran pori, distribusi pori, dan bentuk pori. Informasi dari struktur mikro memberikan wawasan tentang bagaimana pori-pori ini terbentuk dan apakah mereka tetap tertutup secara efektif. Berdasarkan analisis struktur mikro, busa aluminium dapat mengalami langkah-langkah pemrosesan lanjutan seperti perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekanis dan strukturalnya. Proses ini juga dapat mempengaruhi struktur mikro dan distribusi pori, memberikan kontrol lebih lanjut terhadap sifat-sifat material yang diinginkan (Nosko & Kováčik, 2017).

Mekanisme penyerapan busa diproduksi melalui infiltrasi tekanan negatif dan bekerja berdasarkan prinsip memasukkan suara ke struktur terbuka. Suara memasuki struktur dan menggetarkan untaian internal, sehingga energi akustik diserap oleh disipasi pada untaian yang bergetar. Lebih banyak energi suara dihamburkan dalam struktur dan kemampuan penyerapan ditingkatkan ketika ukuran pori per satuan luas meningkat. Peningkatan ukuran pori per satuan luas dicapai dengan penurunan diameter granul selama pembuatan. Kemampuan penyerapan suara tergantung pada porositas juga. Jika porositas terlalu rendah, sebagian besar gelombang suara dipantulkan. Jika porositas terlalu tinggi, gelombang suara menembus struktur dan energi yang diserap berkurang. Porositas ideal untuk penyerapan suara yang baik diperkirakan secara eksperimental menjadi 75-80%. Di mana mekanisme penyerapan suara dijelaskan melalui getaran untaian, bahwa struktur pori terlalu kaku untuk getaran untaian dan kemampuan penyerapan sebagian besar tergantung pada resistivitas aliran struktur. Resistivitas aliran yang diatur oleh ukuran pori dan lubang yang menghubungkannya juga bergantung pada



ketebalan sampel. Untuk menyerap suara pada frekuensi yang lebih rendah, celah udara harus diterapkan antara struktur dan dinding kaku (Nosko & Kováčik, 2017).

Jika ukuran pori terlalu rendah (0,5 mm ke bawah) penyerapan awal disebabkan oleh hilangnya viskositas dan tidak ada mekanisme resonator rongga yang terjadi karena resistivitas aliran struktur yang tinggi. Jika ukuran pori lebih tinggi (1,5 - 2,5 mm) resonator rongga terjadi karena kontribusi kehilangan viskos yang lebih rendah dan kemampuan gelombang suara melewati struktur. Namun, sampel dengan pori yang lebih kecil dapat disesuaikan dengan mekanisme resonator rongga jika ketebalannya lebih rendah daripada sampel dengan pori yang lebih besar. Peningkatan celah udara di belakang sampel memindahkan koefisien penyerapan suara ke frekuensi yang lebih rendah tanpa perubahan dalam rentang frekuensi yang diserap di atas 50% dari koefisien penyerapan suara. Juga jika ketebalan sampel meningkat, kemampuan penyerapan struktur berbusa meningkat karena peningkatan hambatan aliran. Pada Peredam Suara, penyerapan akan bertambah seiring dengan bertambahnya ketebalan, terutama pada frekuensi rendah, efisiensi bahan peredam berpori akan semakin membaik dengan terjadinya penambahan terhadap ketebalan (Doelle, 1999).

## **2.8 *Foaming Agent***

Dalam proses pembuatan *metallic foam* dengan metode *gas-releasing particle decomposition* dibutuhkan *foaming agent* yang merupakan senyawa yang berperan sebagai penghasil gas dengan mekanisme dekomposisi senyawa di dalam lelehan. Pemilihan suatu senyawa sebagai *foaming agent* dilihat dari sisi termodinamika meliputi temperatur dekomposisi, densitas, *wettability* dan biaya.

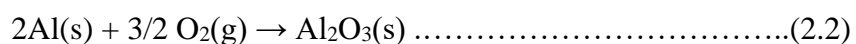
Senyawa yang baik digunakan sebagai *foaming agent* adalah yang memiliki temperatur dekomposisinya tidak berbeda jauh dengan temperatur lebur logam yang akan digunakan yang apabila temperatur dekomposisi *foaming agent* terlalu rendah, reaksi akan terjadi lebih cepat saat serbuk dimasukkan ke dalam lelehan hingga waktu yang dibutuhkan *foaming agent* untuk terdispersi pada lelehan tidak cukup, dan apabila temperatur dekomposisi terlalu tinggi, *foam* yang terbentuk dapat runtuh sebelum terjadi solidifikasi sehingga proses menjadi tidak ekonomis. *Foaming agent* sebaiknya memiliki densitas yang nilainya tidak berbeda jauh dengan lelehan logam dengan memiliki wettability yang baik agar dapat terdispersi dengan sempurna saat dilakukan pengadukan (Anfilov, N. V., et al., 2015)

### 2.8.1 CaCO<sub>3</sub> Sebagai Foaming Agent

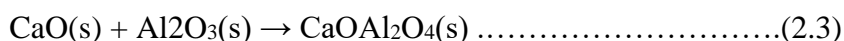
Senyawa karbonat yang biasa digunakan sebagai *foaming agent* untuk pembuatan aluminium foam adalah kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dengan densitas 2,71 g/cm<sup>3</sup> dan rentang temperatur dekomposisi 650 – 780°C. Selama proses pembuatan aluminium foam, senyawa CaCO<sub>3</sub> akan terdekomposisi dan menghasilkan CaO solid dan gas CO<sub>2</sub> yang merupakan pembentuk poros. Mekanisme dari pembentukan gas CO<sub>2</sub> dari CaCO<sub>3</sub> dapat ditunjukkan dengan persamaan reaksi (1).



Dalam kondisi pengadukan dengan kecepatan tinggi, lelehan aluminium akan bereaksi dengan oksigen dari udara yang akan menghasilkan senyawa Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seperti pada persamaan reaksi (2).



Selanjutnya, CaO juga akan bereaksi dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> membentuk kalsia alumina seperti pada persamaan reaksi (3)



Kalsia alumina berperan selain untuk meningkatkan viskositas lelehan juga menstabilkan rongga pori yang terbentuk oleh gas CO<sub>2</sub> yang terperangkap selama proses solidifikasi (Sutarno, 2015).

### **2.8.2 Kulit Telur Sebagai *Foaming Agent* CaCO<sub>3</sub>**

Telur merupakan makanan yang banyak dikonsumsi di Indonesia. Produksi telur yang semakin meningkat menimbulkan semakin banyaknya limbah kulit telur yang dihasilkan. Masih kurangnya upaya masyarakat untuk memanfaatkan limbah kulit telur, disebabkan karena sejauh ini limbah tersebut sangat mudah terkontaminasi oleh mikroorganisme. Kulit telur tersebut masih sangat sulit didegradasi oleh mikroorganisme sehingga memungkinkan dapat menjadi bahan pencemar bagi lingkungan (Kusumaningrum dan Rahayu, 2018). Pemanfaatan limbah kulit telur terus dilakukan oleh para peneliti untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan juga untuk memberikan nilai jual. Penelitian yang akan dilakukan pada kali ini adalah dengan memanfaatkan kandungan CaCO<sub>3</sub> yang terdapat pada kulit telur (*shell*).

Menurut Badan Pusat Statistik (2018- 2020), produksi telur di Indonesia dari tahun ketahun semakin meningkat dan pada tahun 2020 sementara mencapai 5.044.394,99 ton (BPS, 2020). Semakin maju perkembangan ilmu pengetahuan banyak peneliti yang memanfaatkan

limbah kulit telur. Kandungan gizi kulit telur yang tidak kalah dengan kandungan telurnya tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber suplemen kalsium bagi kesehatan masyarakat di Indonesia (Puspitasari dan Swasono, 2018). Komposisi kulit telur secara umum terdiri atas: air (1,6%) dan bahan kering (98,4%). Dari total bahan kering yang ada, dalam kulit telur terkandung unsur mineral (95,1%) dan protein (3,3%). Berdasarkan komposisi mineral yang ada, maka kulit telur tersusun atas kristal  $\text{CaCO}_3$  (98,43%);  $\text{MgCO}_3$  (0,84%) dan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (0,75%) (Kusumaningrum dan Rahayu, 2018). Komposisi nutrisi kulit telur dapat secara lengkap dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2. 6** Komposisi Kulit Telur (Warsy, dkk., 2016)

Nutrisi	Kandungan pada Kulit Telur (% berat)
Air	29 – 35 %
Protein	1,4 – 4 %
Lemak murni	0,10 – 0,20 %
Kalsium	35,1 – 36,4 %
Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )	90,9 – 98,43%
Fosfor	0,12 %
Sodium	0,15 – 0,17 %
Magnesium	0,37 – 0,40 %

Pottasium	0,10 – 0,13 %
Sulfur	0,09 – 0,19 %
Alanin	0,45 %
Arginin	0,56 – 0,57 %

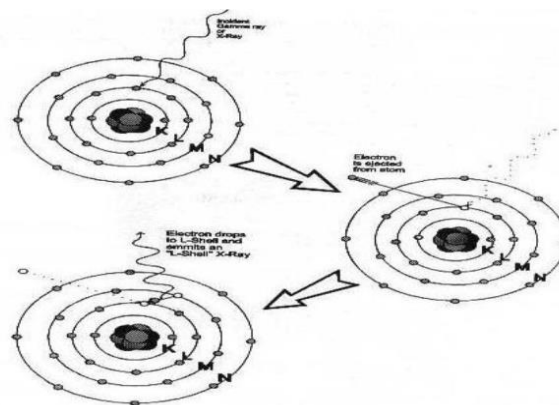
Kulit telur dapat digunakan sebagai agen pembentuk busa (*foaming agent*) dalam pembuatan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Ketika kulit telur terkena suhu tinggi, protein yang terdapat dalam kulit telur mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Gas  $\text{CO}_2$  tersebut dapat berperan sebagai agen pembentuk busa atau pembentuk pori dalam pembuatan  $\text{CaCO}_3$ . Dalam konteks pembuatan aluminium *foam*,  $\text{CaCO}_3$  adalah bahan yang penting dalam pembentukan pori dalam struktur foam. Dalam proses tersebut, kulit telur dapat digunakan untuk memberikan sumber gas  $\text{CO}_2$  yang diperlukan untuk membentuk pori-pori dalam  $\text{CaCO}_3$ . Pada suhu yang tepat,  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan dari dekomposisi kulit telur akan bereaksi dengan kalsium dalam bentuk larutan untuk membentuk kalsium karbonat. Penggunaan kulit telur sebagai agen pembentuk busa dalam pembuatan  $\text{CaCO}_3$  adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam industri material seperti pembuatan aluminium *foam*. *Foaming agent* yang digunakan yaitu  $\text{CaCO}_3$  dari limbah kulit telur ayam, karena pada kulit telur ayam tersusun dari kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang melimpah yaitu kurang lebih 98,2 % dan kalsium sekitar 28% dari total bobot kulit (King Ori, 2011). *Foaming agent* yang

digunakan dalam fabrikasi metal foaming agent dapat bervariasi tergantung pada kebutuhan dan jenis material yang digunakan. Salah satu bahan yang telah digunakan sebagai agen pengembang dalam pembuatan *metallic foaming agent* adalah  $\text{CaCO}_3$  yang berasal dari limbah kulit telur ayam. Limbah kulit telur ayam mengandung kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), yang merupakan senyawa kimia yang dapat melepaskan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) saat dipanaskan. Gas  $\text{CO}_2$  ini dapat bertindak sebagai agen pengembang dalam proses pembentukan pori-pori dalam busa logam. Penggunaan limbah kulit telur ayam sebagai sumber  $\text{CaCO}_3$  untuk agen pengembang dalam metal foaming agent memiliki beberapa keuntungan, antara lain sumber bahan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, biaya yang relatif rendah, dan potensi pengolahan limbah yang lebih efisien (Jintao., et al., 2021).

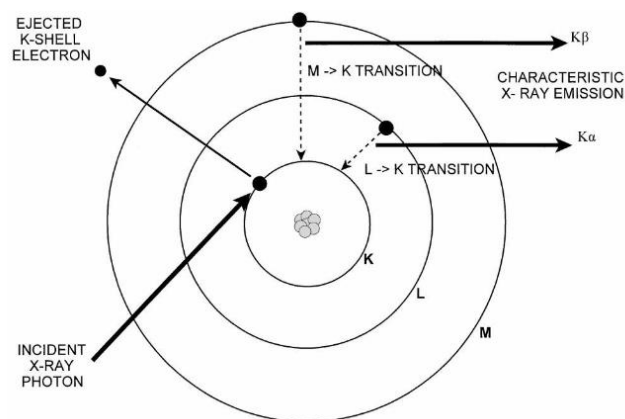
## **2.9 Karakterisasi XRF**

Dasar-dasar XRF terletak pada atom-atom sampel penerima yang memancarkan energi berbeda ketika dieksitasi oleh sinar-X. Foton yang tereksitasi memungkinkan analisis kualitatif dan kuantitatif sebagian besar elemen dalam sampel tertentu. Pertama, sinar-X mengeluarkan atom dari kulit bagian dalam. Atom dari kulit terluar mengisi kulit dalam (K atau L). Atom yang tereksitasi melepaskan energi di wilayah sinar-X dari panjang gelombang saat kembali ke keadaan dasar. Foton yang dilepaskan dengan energi setara dengan perbedaan antara dua kulit yang berbeda. Misalnya, transisi dari kulit L ke kulit K menghasilkan garis spektral, yang disebut K, sedangkan transisi dari kulit M ke

kulit K menghasilkan garis spektral, yang disebut  $K\beta$ . Dengan demikian, setiap elemen memiliki garis karakteristik yang berbeda dalam spektrum karena setiap jenis transisi orbit menghasilkan sinar-X yang berbeda. XRF menunjukkan bahwa ketika atom tertentu tereksitasi, mereka melepaskan energi dalam bentuk fluoresensi saat mereka kembali ke keadaan tidak tereksitasi. Foton yang dipancarkan kemudian dideteksi oleh instrumen. Pada Gambar 2.3 memberikan gambaran tentang dasar-dasar teori XRF (Lim, 2013).



**Gambar 2. 5** Proses Dari Karakterisasi XRF (Lim, 2013).



**Gambar 2. 6** Mekanisme dari Karakterisasi XRF (Lim, 2013).

XRF dapat digunakan untuk mendeteksi sebagian besar unsur dalam tabel periodik mulai dari Na hingga U dan bahkan unsur-unsur dengan nomor atom ( $Z$ ) yang lebih tinggi, meskipun pendeteksian unsur-unsur dengan  $Z$  rendah memerlukan penggunaan vakum atau gas pembersih helium. Instrumen XRF portabel lapangan modern, bagaimanapun, telah meningkatkan detektor *solid state* dengan resolusi energi yang cukup untuk analisis multi-elemen dengan sedikit masalah interferensi spektral, dan tidak memerlukan pendinginan nitrogen cair. Banyak model telah dikembangkan dan dipasarkan untuk aplikasi khusus seperti analisis Pb dalam cat. Dalam keadaan normal, deteksi positif sampel dikonfirmasi oleh beberapa garis fluoresensi dengan energi berbeda yang dapat diperluas untuk menunjukkan resolusi penganalisis yang terbatas. Namun, interpretasi spektrum XRF yang mengandung banyak tumpang tindih garis fluoresensi bisa menjadi sangat rumit karena keterbatasan mendasar detektor dalam membedakan foton dengan energi serupa (Lim, 2013).

## **2.10 Karakterisasi XRD**

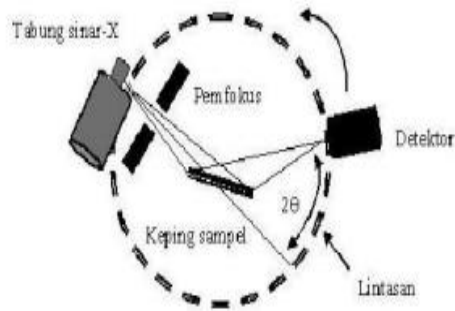
*X-Ray Diffraction* adalah teknik analisis yang cepat terutama digunakan untuk identifikasi fasa dari bahan kristal dan dapat memberikan informasi tentang dimensi sel satuan Max von Laue, pada tahun 1912, menemukan bahwa zat kristal bertindak sebagai tiga dimensi kisi-kisi difraksi untuk panjang gelombang sinar X. Difraksi sinar-X sekarang menjadi teknik umum untuk studi struktur kristal dan jarak atom. Difraksi sinar-X didasarkan pada interferensi konstruktif dari monokromatik sinar-X dan sampel kristal.



Sinar-X dihasilkan oleh tabung sinar katoda, disaring untuk menghasilkan radiasi monokromatik, collimated untuk berkonsentrasi, dan diarahkan ke sampel. Interaksi sinar dengan sampel menghasilkan interferensi konstruktif ketika kondisi memenuhi hukum Bragg. Hukum ini berkaitan dengan panjang gelombang radiasi elektromagnetik untuk sudut difraksi kisi dan jarak dalam sampel kristal. Difraksi sinar-X kemudian terdeteksi, diproses dan dihitung. Konversi puncak difraksi dengan jarak  $d$  memungkinkan identifikasi mineral karena mineral masing-masing memiliki satu set unik jarak  $d$ . Biasanya, hal ini dicapai dengan perbandingan jarak  $d$  dengan pola referensi standar (Taqiyah, 2012).

X-ray difraktometer terdiri dari tiga elemen dasar: sebuah tabung sinar-X, pemegang sampel, dan detektor sinar-X. Sinar-X dihasilkan dalam tabung sinar katoda dengan memanaskan *filament* untuk menghasilkan elektron, mempercepat elektron menuju target dengan menerapkan tegangan dan membombardir 2-5 bahan target dengan elektron. Ketika elektron memiliki energi yang cukup untuk mengeluarkan *electron shell* dalam diri bahan target, karakteristik spectrum sinar-X dihasilkan. Spektrum ini terdiri dari beberapa komponen  $K\alpha$  yang paling umum dan  $K\beta$ .  $K\alpha$  terdiri dari  $K\alpha_1$  dan  $K\alpha_2$ .  $K\alpha_1$  memiliki panjang gelombang lebih pendek dan dua kali intensitas sebagai  $K\alpha_2$ .

Sebuah catatan *detector* dan proses pada sinyal sinar-X terjadi yang kemudian mengubah sinyal menjadi tarif hitungan yang kemudian dikeluarkan melalui perangkat seperti printer atau monitor computer. *X-ray Diffraction* paling banyak digunakan untuk identifikasi bahan kristalin seperti mineral dan senyawa anorganik (Pratapa et al, 2010).



**Gambar 2. 7** Mekanisme Karakterisasi XRD (<https://rolanrusli.com>).

### 2.11 Pengujian Densitas dan Porositas

Pengujian densitas bertujuan untuk menentukan kondisi sampel dalam penyerapan air, densitas, porositasnya dan berat jenis dari sampel. Pengukuran densitas, porositas, dan berat jenis adalah alat untuk menentukan tingkat kematangan benda, atau untuk menentukan sifat struktural yang mungkin diperlukan untuk aplikasi tertentu (ASTM C373-88, 2006). Sedangkan pengujian porositas dilakukan untuk kita mengetahui berapa banyak ruang kosong yang terbentuk pada sampel. Sampel perlu dilakukan proses pengeringan pada temperatur 105°C agar kadar air didalamnya sepenuhnya hilang. Pengeringan spesimen hingga massa konstan dan penentuan massanya dapat dilakukan sebelum atau sesudah spesimen diresapi dengan air. Biasanya massa kering ditentukan sebelum impregnasi. Namun, jika spesimen rapuh atau bukti menunjukkan bahwa partikel terlepas selama impregnasi, spesimen harus dikeringkan dan ditimbang setelah massa tersuspensi dan massa jenuh telah ditentukan. Berikut adalah persamaan 2.4 yang digunakan untuk menghitung densitasnya.

$$\rho = \frac{m}{\pi \times r^2 \times t} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$\rho$  = Massa jenis aluminium *foam* (g/cm<sup>3</sup>)

m = Massa sampel (g)

$\pi r^2 t$  = Volume tabung (cm<sup>3</sup>)

Setelah itu, hasil yang diperoleh dari pengujian densitas, dimasukkan kembali untuk menghitung porositas yang terbentuk didalam sampel dengan persamaan 2.5 berikut ini (Sutarno et al., 2015).

$$\% \text{Porositas} = \left(1 - \left(\frac{\rho_{\text{Al foam}}}{\rho_{\text{Al}}}\right)\right) \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

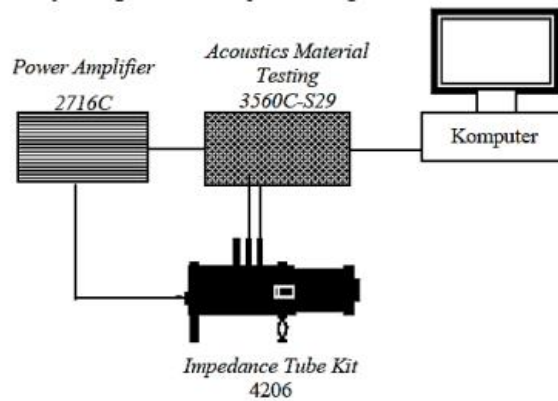
%Porositas = Persentase Porositas (%)

$\rho_{\text{Al Foam}}$  = densitas aluminium *foam* (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_{\text{Al}}$  = densitas aluminium ADC 12 (2,74 g/cm<sup>3</sup>)

### 2.12 Pengujian *Impedance Tube Testing* ( *ITT* )

Untuk *metallic foam*, sifat akustik diukur dengan menentukan impedansi input spesimen menggunakan tabung impedansi yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Bentuk gelombang akustik dihasilkan di satu ujung dari *metal foam* ditempatkan di ujung lain tabung. Penghentian ujung menampilkan piston yang dapat digerakkan yang memungkinkan untuk menciptakan kedalaman udara yang sewenang-wenang di bagian belakang busa logam jika perlu (Arjunan et al., 2019).



**Gambar 2. 8** Skematik Pengujian ITT

Susunan alat terdiri dari :

1. *Acoustic Material Testing* 3560C-S29 : Untuk menganalisa sinyal yang diterima mikrofon
2. *Power Amplifier* 2716C : Untuk menguatkan gelombang bunyi
3. *Impedance Tube Kit* 4206 : Sebagai tempat pengukuran kemampuan absorpsi suara sampel.
4. Komputer : Untuk mengolah dan menampilkan data hasil pengujian.

Sumber suara adalah gelombang sinus yang diputar melalui pengeras suara yang diprakarsai oleh generator nada dalam rentang frekuensi 125 hingga 5000 Hz. Respon akustik yang direkam oleh mikrofon kemudian diperkuat dan dianalisis melalui penganalisa frekuensi. Pola gelombang berdiri yang dihasilkan dalam tabung adalah hasil nilai koefisien serap suara oleh busa logam. Kemudian koefisien penyerapan suara ( $\alpha$ ) kemudian dapat dihitung menggunakan Persamaan.

(2.6)

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

$\alpha$  = Koefisien penyerapan suara

$W_a$  = Intensitas suara yang diserap oleh sampel (*Absorbed Sound*).

$W_i$  = Intensitas suara sebelum melewati sampel (*Incident Sound*).

Nilai  $\alpha$  menyatakan energi suara datang yang diserap oleh tabung impedansi termasuk sampel busa logam. Pengujian absorpsi suara bertujuan untuk mengetahui kemampuan material untuk menyerap suara. Kualitas material penyerap suara ditentukan dari harga  $\alpha$  (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi)(Arjunan et al., 2019). Semakin besar nilai  $\alpha$  maka semakin baik kemampuan material tersebut dalam menyerap suara. Nilai  $\alpha$  berkisar dari 0 sampai 1. Jika  $\alpha$  bernilai 0 maka tidak ada bunyi yang diserap oleh material tersebut atau seluruh bunyi dipantulkan sedangkan jika  $\alpha$  bernilai 1 maka seluruh bunyi yang datang diserap oleh material tersebut (Khotimah, 2015).

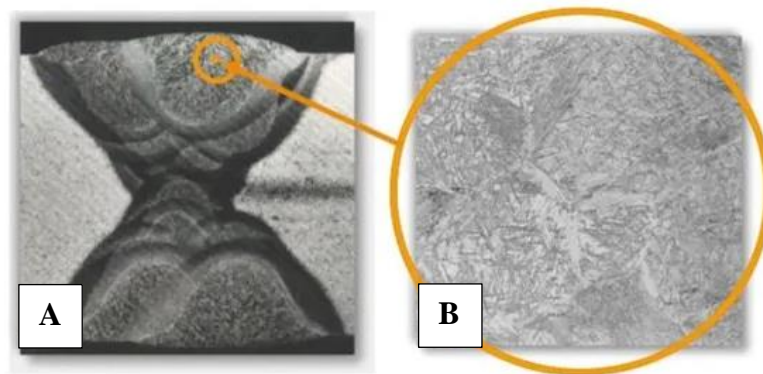
Dimensi spesimennya berbentuk lingkaran dengan diameter 9,8 cm dan ketebalan bervariasi 5,6 dan 7 cm. Bentuk sampel yang akan diuji dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah ini.



**Gambar 2. 9** Sketsa Sampel Aluminium *Foam*

### 2.13 Pengujian Metalografi

Dalam menguji spesimen secara makroskopis, digunakanlah pengujian metalografi dalam praktiknya. Metalografi adalah perpaduan ilmu dan seni yang mempelajari tentang struktur mikroskopis logam dan paduan menggunakan mikroskop optik, mikroskop elektron atau jenis mikroskop lainnya. Kinerja dan sifat material terutama sifat mekanik logam ditentukan oleh struktur mikro, dengan menganalisis struktur mikro material maka kinerja dan keandalan saat digunakan dapat dipahami dengan lebih baik. Terdapat dua jenis pengujian metalografi, dimana mencakup kepada *macro examination* dan *micro examination* (ASM International, 2004). Kedua pengujian ini mempelajari mengenai struktur dari material yang dimana masing-masing memiliki tujuan yang berbeda. Pada *macro examination*, biasanya dilakukan untuk mengamati visual terhadap cacat pada permukaan material. Observasi ini dilakukan dengan skala perbesaran kurang dari 5x. Sementara itu, untuk *micro examination*, pengujian dilakukan dengan mengamati struktur butir (*grain structure*) dan cacat pada skala butir.



**Gambar 2. 10** Inspeksi Metalografi  
(A) Struktur Makro; (B) Struktur Mikro

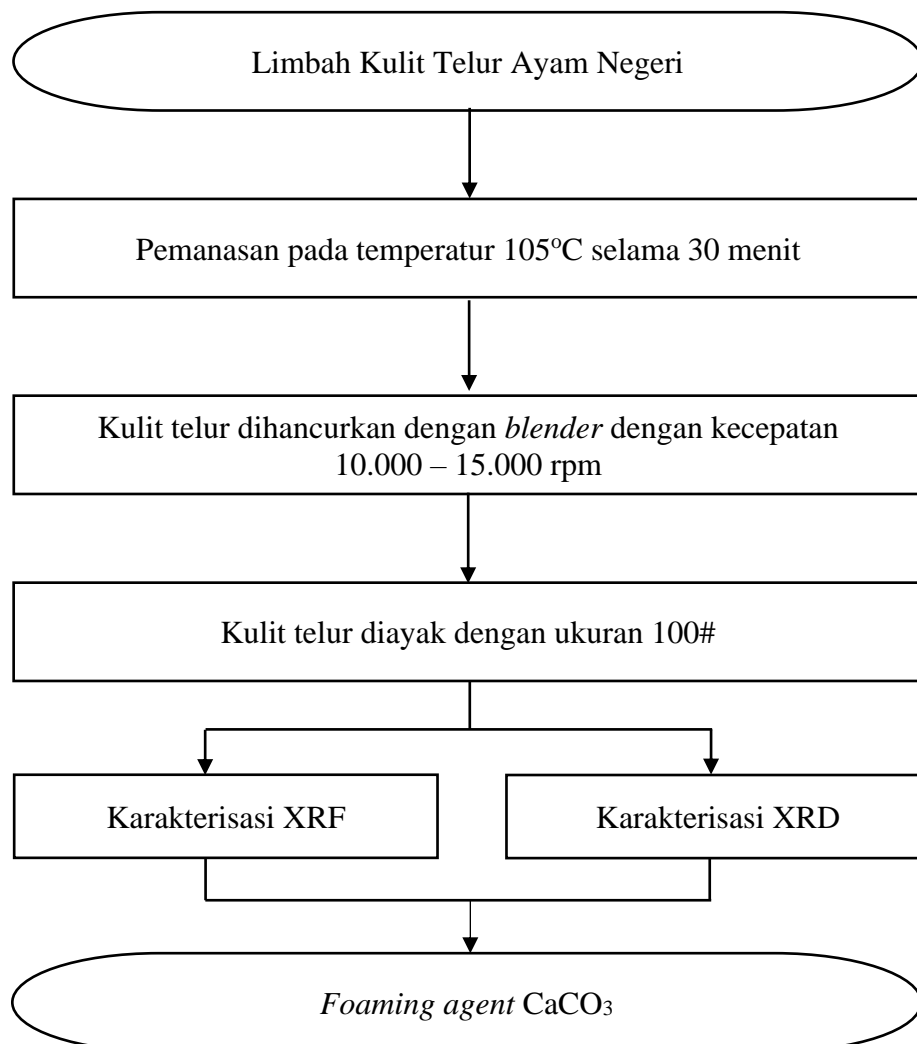
Pengujian metalografi melibatkan beberapa standar yang digunakan dalam ranah internasional. Standar-standar ini mengatur mengenai designasi dari nominal ukuran butir, cara perhitungan, dan jenis-jenis pengujian yang dilakukan. Standar analisis metalografi atau mikrostruktur mencakup, tetapi tidak terbatas pada, jenis analisis Grain size (ASTM E112, E930, E1181), Analisis fasa (ASTM E566), dan *Micro crack and porosity*.

Tujuan dari pengujian metalografi sendiri secara *engineering* adalah mengidentifikasi dan memahami struktur mikroskopis dari material logam seperti butir logam, batas butir, dan fasa-fasa yang ada. Hal ini memberikan wawasan tentang bagaimana material tersebut terorganisir secara mikroskopis. Selain itu, pengujian metalografi juga dapat mengevaluasi kualitas dan kondisi material dan mendeteksi cacat atau perubahan struktural yang mungkin terjadi selama proses produksi atau pengolahan. Salah satu aplikasinya, pengujian dapat membantu dalam mengidentifikasi retakan, porositas, atau inhomogenitas dalam struktur logam, dan dapat mengetahui mengenai struktur pori dari suatu material (ASM International, 2004)

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

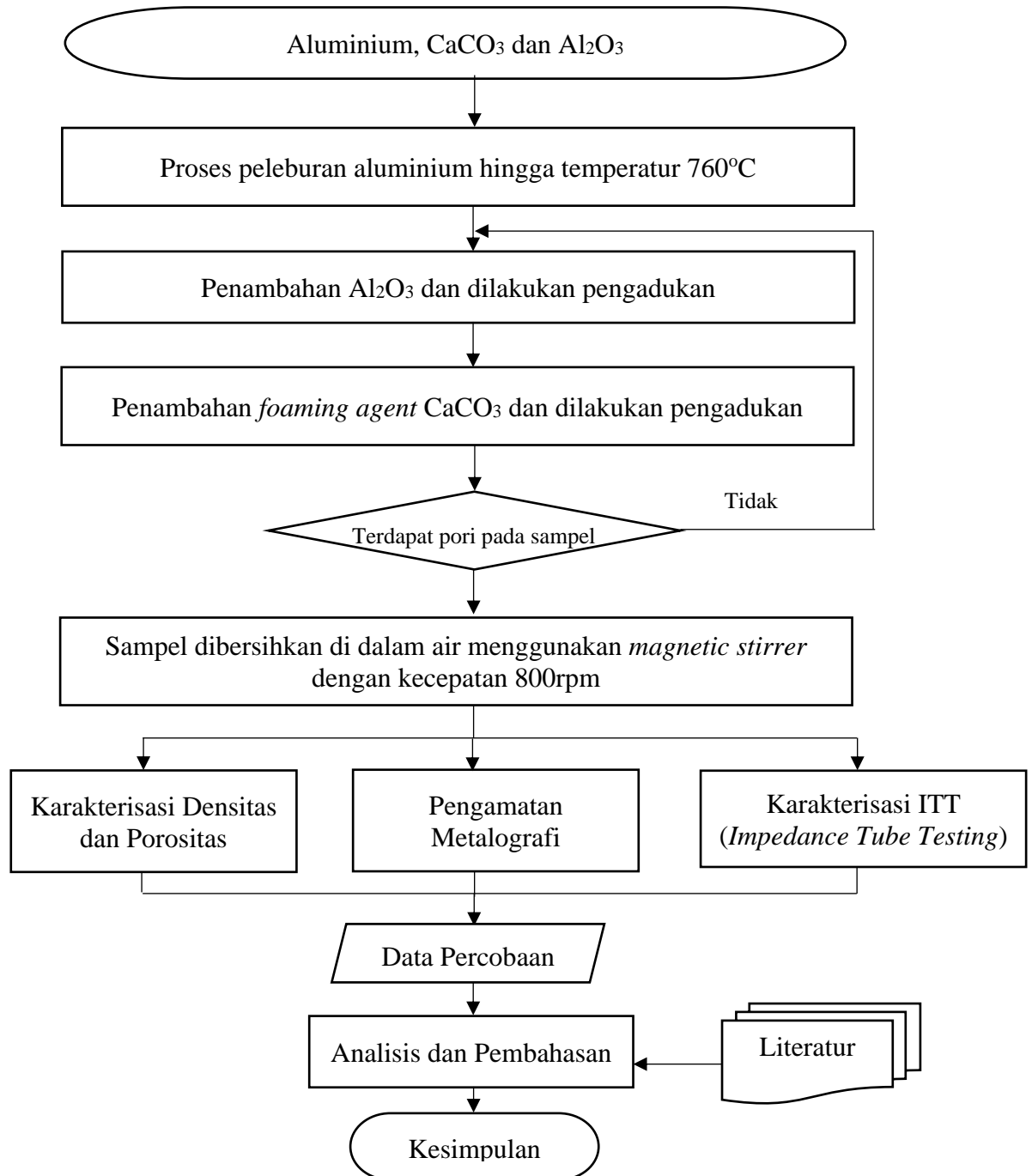
Berikut ini terdapat 2 proses yang perlu dilewati. Proses pertama, yaitu proses pembuatan *foaming agent* dari kulit telur yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Pembuatan *Foaming Agent*



Kemudian setelah melalui proses pembuatan dan karakterisasi *Foaming Agent*  $\text{CaCO}_3$  dari limbah cangkang telur, terdapat proses pembuatan aluminium *foam* yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Penelitian Aluminium *Foam*

## **3.2 Alat dan Bahan**

### **3.2.1 Alat-alat**

Berikut alat-alat yang digunakan pada penelitian kali ini, yaitu:

1. Alat pelindung diri
2. Batang pengaduk
3. Cetakan Logam
4. *Crucible*
5. *Furnace Gas*
6. Gergaji
7. Gerinda
8. Gunting
9. *Magnetic Stirrer*
10. Penggaris
11. Penjepi
12. Spidol
13. *Stopwatch*
14. *Thermogun*
15. Timbangan Digital

### **3.2.2 Bahan-bahan**

Berikut bahan-bahan yang digunakan pada penelitian kali ini, yaitu:

1.  $\text{Al}_2\text{O}_3$
2. Aluminium
3. Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dari Kulit Telur

### 3.3 Prosedur Percobaan

Pembuatan serbuk kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) berasal dari limbah kulit telur. Kulit telur dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *oven* pada temperatur  $105^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Setelah itu, kulit telur dikeluarkan dan dihancurkan menggunakan *blender*, lalu diayak menggunakan ayakan dengan ukuran 100#. Kulit telur yang telah diayak dilakukan karakterisasi XRF agar mengetahui unsur yang mendominasi adalah  $\text{CaCO}_3$ . Proses yang dilakukan pada tahap ini mengacu pada penelitian yang sebelumnya yang dilakukan oleh Ikhsan Ekariadi.

#### 3.3.1. Prosedur Pembuatan Kalsium Karbonat

1. Limbah kulit telur dibersihkan dengan air mengalir.
2. Kulit telur dikeringkan menggunakan *furnace* dengan temperatur  $105^\circ\text{C}$  selama 30 menit untuk kapasitas 1 kg kulit telur.
3. Kulit telur dihancurkan dengan *blender*.
4. Kulit telur diayak dengan ukuran 100#
5. *Powder* kulit telur dilakukan karakterisasi XRF & XRD
6. Didapatkan *Foaming Agent*  $\text{CaCO}_3$

#### 3.3.2. Prosedur Pembuatan aluminium *foam*

Prosedur pembuatan aluminium *foam* adalah sebagai berikut:

1.  $\text{CaCO}_3$  ditimbang dengan variasi komposisi 3, 4 dan 5 wt% aluminium.
2. Aluminium dipanaskan hingga temperatur  $760^\circ\text{C}$ .

3.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ditambahkan sebesar 1,5 wt% Al dan diaduk selama 5-10 detik, penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  berguna untuk menaikkan nilai viskositas cairan logam dan sebagai penstabil temperatur untuk menahan gelembung pada suhu tinggi (Sutarno, dkk, 2017).
4. Kemudian, ditambahkan *foaming agent*  $\text{CaCO}_3$  yang telah ditakar berdasarkan variasi komposisi, lalu diaduk selama 60 detik pada setiap variasi komposisi dan dilakukan penahanan selama 60 detik.
5. Aluminium *foam* didinginkan pada temperatur kamar.
6. Sampel dilakukan pembersihan dengan cara dimasukkan kedalam gelas beker yang telah berisikan air, lalu dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* untuk membersihkan aluminium *foam* dari  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tersisa.

Adapun sketsa bentuk sampel dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3. 3** Sketsa Sampel Aluminium *Foam*

### **3.3.3. Prosedur Karakterisasi Densitas**

Sampel aluminium *foam* dilakukan karakterisasi densitas menggunakan standar ASTM C373-88 sebagai berikut:

1. Sampel dipotong terlebih dahulu, kemudian ditimbang dalam kondisi sampel kering.
2. Sampel diukur volumenya dengan menggunakan jangka sorong.
3. Setelah sampel dicatat masing-masing massa dan volumenya, kemudian dihitung menggunakan persamaan 2.1.

### **3.3.4. Prosedur Karakterisasi Persentase Porositas**

Sampel aluminium *foam* selanjutnya dilakukan karakterisasi porositas sebagai berikut:

1. Data yang sudah diperoleh dari karakterisasi densitas, kemudian dilanjutkan untuk perhitungan persentase porositas.
2. Persentase porositas dapat diperoleh dengan persamaan 2.2.

### **3.3.5. Prosedur Pengujian ITT (*Impedance Tube Testing*)**

Peralatan yang digunakan untuk mengukur kemampuan absorpsi suara adalah tabung impedansi dengan standarisasi ASTM E-1050. Pengujian dilakukan di Laboratorium Akustik Material, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

1. Sampel dilakukan pemotongan berbentuk tabung dengan variasi ketebalan 4, 5 dan 6 cm dan diameter 9,8cm.
2. Pengujian dilakukan di Lab Akustik Teknik Fisika FTI ITS.
3. Sampel kemudian diletakkan ke dalam bagian kepala tabung impedansi.
4. Frekuensi suara pada *amplifier* di atur dengan frekuensi 125 – 4000 Hz, yang kemudian suara tersebut akan di berikan oleh speaker ke dalam tabung impedansi.
5. Respon dari pengujian tersebut akan diproses dan diolah langsung oleh *computer* untuk menampilkan data hasil pengujian

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Karakterisasi *Foaming Agent***

Dalam mengetahui kandungan pada kulit telur yang bertindak sebagai *foaming agent*, maka dilakukan beberapa metode karakterisasi. Karakterisasi yang dilakukan mencakup kepada analisa bahan dan unsur yang dimiliki, serta analisa mengenai fasa yang terkandung pada bahan tersebut. Sebelum melakukan analisa bahan melalui metode karakterisasi, sampel dilakukan metode preparasi terlebih dahulu. Metode preparasi yang digunakan mencakup kepada proses *grinding* dan *sieving* pada kulit telur yang sudah dikalsinas dengan ukuran 100#. Saat sampel menjadi *fine powder*, maka dilakukan proses karakterisasi.

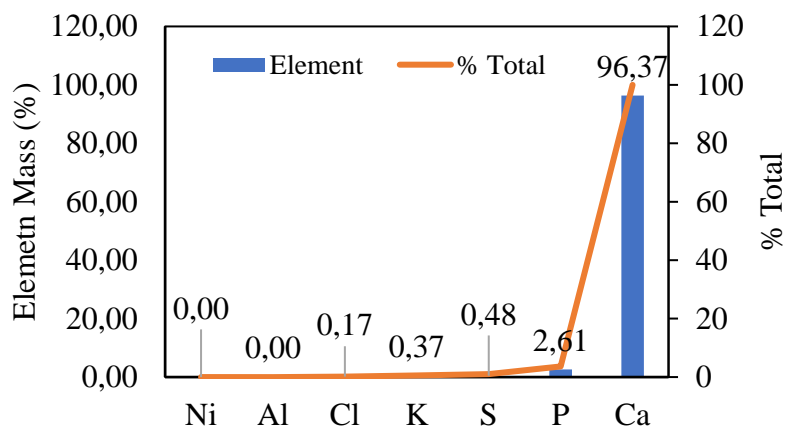
##### **4.1.1 Karakterisasi XRF**

Dalam proses karakterisasi unsur kandungan pada bahan, digunakan metode XRF untuk mengetahui unsur berdasarkan dispersi energi pada proton ( $Z$ ). Dari hasil spektrum emisi sinar X pada XRF untuk sampel kulit telur, Didapatkan pula hasil dari berat unsur pada hasil pengujian sebagai berikut ini:

**Tabel 4. 1** Hasil Difraksi XRF

<i>Element</i>	<i>Parameter</i>	<i>% berat</i>
Ni		0,00
Pd		0,00
Cl		0,17
K	<i>Mass %</i>	0,37
S		0,48
P		2,61
Ca		96,37

Metode XRF (*X-ray fluorescence*) bekerja dengan memanfaatkan sifat-sifat radiasi elektromagnetik, khususnya sinar-X, yang dihasilkan saat energi tinggi diberikan pada atom. Didapatkan hasil dari pengujian yang dilakukan sebagai berikut.



**Gambar 4. 1** Berat Unsur XRF

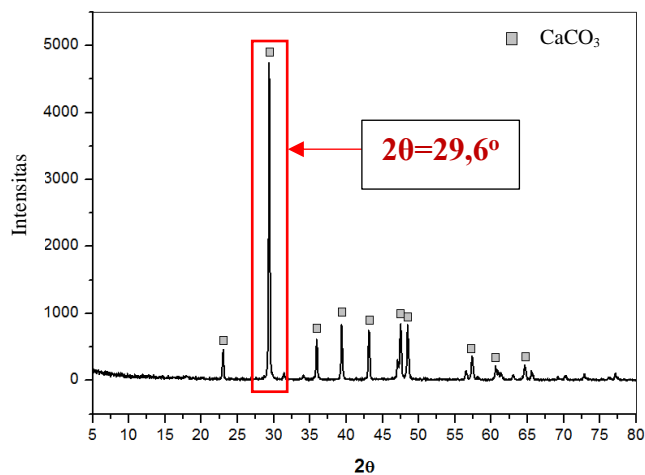
Melalui representasi Gambar 4.1, dilakukan pengujian XRF dengan alat XRF Epsilon3<sup>XLE</sup> didapatkan bahwa mayoritas unsur yang terdeteksi adalah kalsium (Ca) dengan bobot berat sebesar 96,37% dari keseluruhan



sampel (diluar unsur C dan O). Oleh karena itu, selanjutnya akan ditinjau mengenai fasa yang terdapat pada sampel kalsium yang akan digunakan sebagai *foaming agent* kali ini.

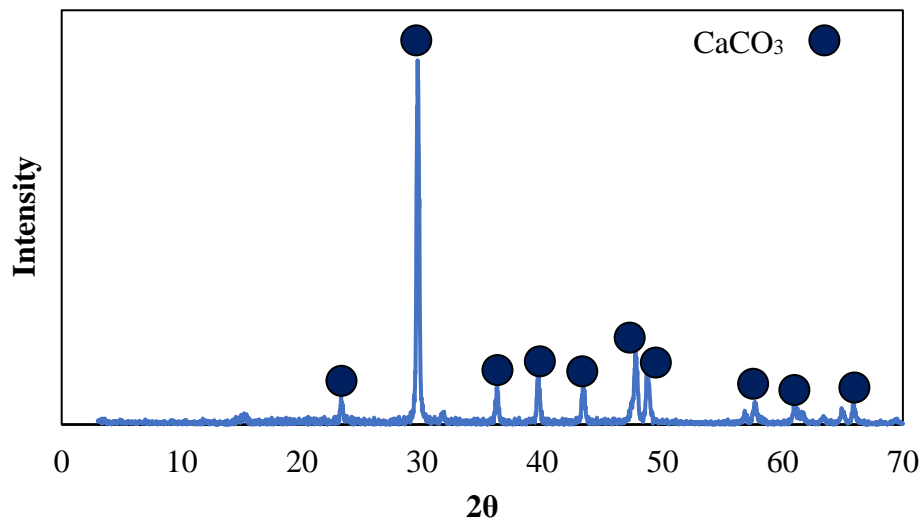
#### 4.1.2 Hasil Karakterisasi XRD

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal serta senyawa yang terkandung pada sampel. Pengujian dilakukan menggunakan alat XRD Rigaku dengan tipe Miniflex 600 di PT. Lab *Systematic* Indonesia. Setelah diketahui bahwa sampel kalsium karbonat, maka sampel serbuk (*powder*) tersebut dilakukan karakterisasi dengan XRD. Dari hasil XRD diperoleh bahwa puncak difraksi kristal berada pada sudut  $2\theta = 29,6^\circ$  dengan intensitas mencapai 500 cps. Nilai hasil XRD ini mendapatkan hasil *goodness of fit* sebesar 1,212 untuk kecocokan data antara database difraksi kristal dengan *peak* hasil sampel pengujian.



**Gambar 4. 2** Nilai  $2\theta$  untuk senyawa CaCO<sub>3</sub> (Renny, 2021)

Dapat dilihat dari Gambar 4.2 nilai ini sesuai dengan literatur dimana *peak* dari kalsium karbonat terletak pada range 28 – 29° dengan intensitas tertinggi (Renny, 2021). Dari kondisi ini, dapat diperoleh informasi bahwa kalsinasi dengan suhu 105°C dan pengayakan dengan ukuran ayakan 100# menghasilkan kalsium karbonat tanpa adanya pengotor yang akan mengganggu kinerja *foaming agent* yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



**Gambar 4. 3** Hasil Difraksi XRD

Dari hasil XRD, diperoleh bahwa senyawa yang terdeteksi dengan intensitas tertinggi adalah pada  $2\theta = 29^\circ$  yang dikenali sebagai fasa CaCO<sub>3</sub>. Nilai ini sesuai dengan literatur dimana *peak* dari kalsium karbonat terletak pada range 28 – 29° dengan intensitas tertinggi (Renny, 2021). Dari kondisi ini, dapat diperoleh informasi bahwa kalsinasi dengan suhu 105°C dan

pengayakan dengan ukuran ayakan 100# menghasilkan kalsium karbonat tanpa adanya pengotor yang akan mengganggu kinerja *foaming agent*.

#### 4.2 Hasil Analisa Struktur Makro

Melalui inspeksi secara makro, dan dengan dipadukan dengan pengolahan menggunakan bantuan *software* ImageJ, maka didapatkan Gambar sebagaimana Gambar 4.3 di bawah ini:



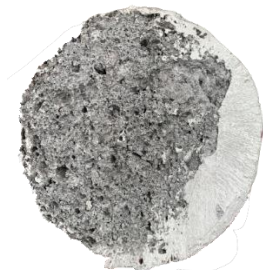
3% CaCO<sub>3</sub> – 4 cm



3% CaCO<sub>3</sub> – 5 cm



3% CaCO<sub>3</sub> – 6 cm



4% CaCO<sub>3</sub> – 4 cm



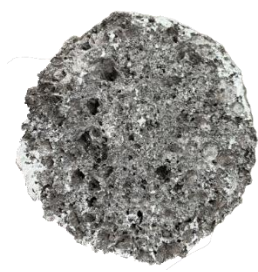
4% CaCO<sub>3</sub> – 5 cm



4% CaCO<sub>3</sub> – 6 cm



5% CaCO<sub>3</sub> – 4 cm



5% CaCO<sub>3</sub> – 5 cm



5% CaCO<sub>3</sub> – 6 cm

**Gambar 4. 4** Hasil Struktur Makro Sampel

Dari Gambar di atas, dilakukan proses data sehingga didapatkan rata-rata ukuran dan fraksi pori pada masing-masing sampel sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 4.2. di bawah ini.

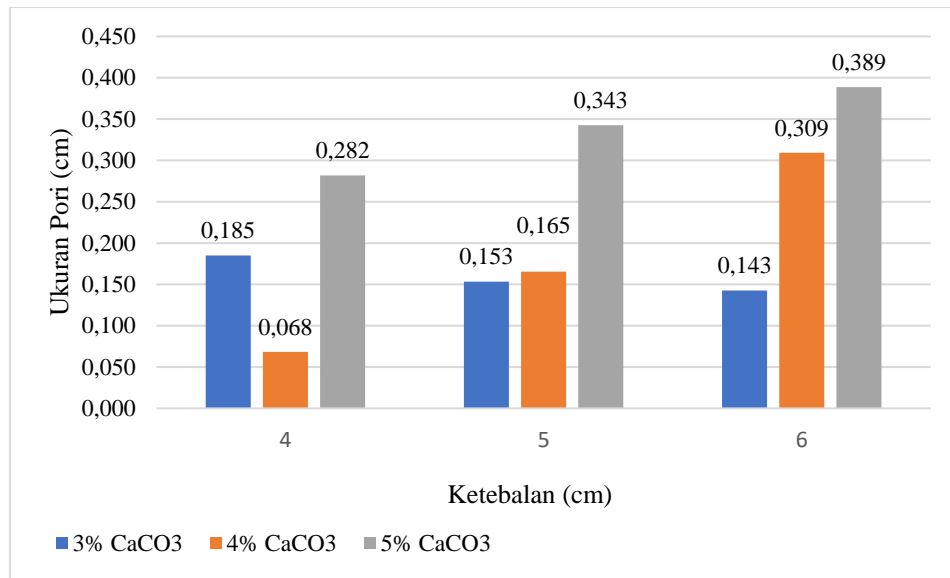
**Tabel 4. 2 Hasil Ukuran Pori**

<b>Sampel</b>	<b>Total Pori pada permukaan sampel</b>	<b>Luas Total (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>ukuran pori permukaan sampel (cm)</b>
3%-4cm	228	42,17	0,18
3%-5cm	263	40,32	0,15
3%-6cm	229	32,67	0,14
4%-4cm	340	23,27	0,07
4%-5cm	267	44,16	0,17
4%-6cm	177	54,72	0,31
5%-4cm	196	55,23	0,28
5%-5cm	164	56,19	0,34
5%-6cm	145	56,35	0,39

Melalui Tabel 4.2 diperoleh hasil dari pengukuran rata-rata ukuran pori pada setiap sampel. Didapatkan pola yang menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya ketebalan, maka fraksi porositas akan semakin meningkat dan juga berbanding lurus dengan meningkatnya konsentrasi CaCO<sub>3</sub>. Dilakukan analisa dari pengaruh masing-masing variabel terhadap ukuran rata-rata pori.

#### 4.2.1 Pengaruh Ketebalan terhadap Ukuran Pori

Dilakukan visualisasi data yang didapatkan terhadap variabel ketebalan, didapatkan grafik yang merepresentasikan sebagaimana Gambar 4.5 di bawah ini:



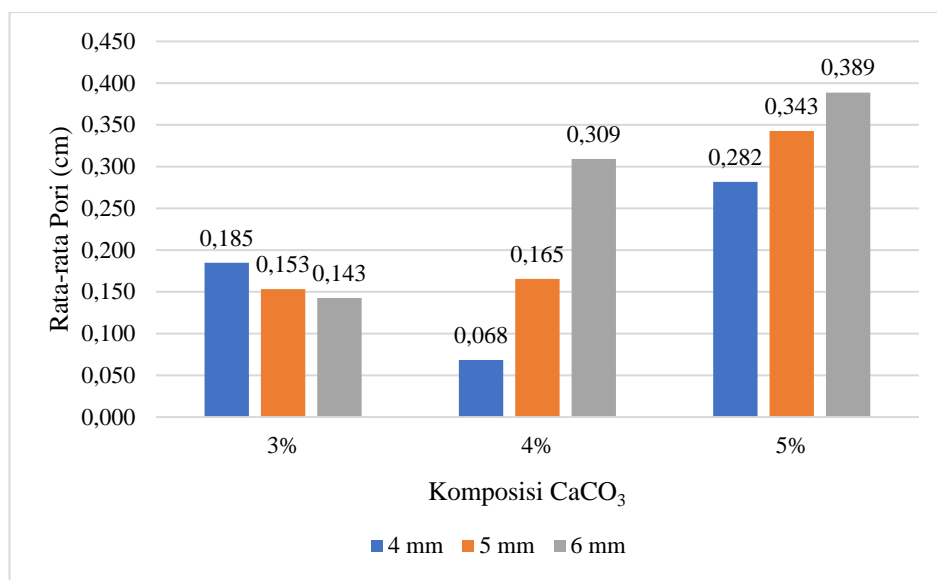
**Gambar 4. 5** Pengaruh Ketebalan terhadap Rata-rata Pori

Melalui Gambar 4.5, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya ketebalan, maka ukuran rata-rata pori akan semakin meningkat. Hal ini terjadi pada sampel dengan konsentrasi CaCO<sub>3</sub> sebesar 4%; dan 5%. Peningkatan ini terjadi dari nilai mula-mula 0,068 cm menjadi 0,165 dan 0,309 cm untuk peningkatan dari 4 cm ke 6 cm pada sampel 4% CaCO<sub>3</sub>. Fenomena ini dapat diakibatkan oleh distribusi *foaming agent* saat proses manufaktur yang memiliki keterlibatan dalam distribusi pori. Faktor distribusi *foaming agent*, temperatur, dan kecepatan *mixing* akan menimbulkan kecenderungan meratanya *foaming agent* dalam

pembentukan gelembung sehingga mengakibatkan pori yang terbentuk menjadi besar seiring dengan meningkatnya ketebalan. Selain itu, hal ini juga dapat dipengaruhi oleh standar deviasi ukuran pori yang cenderung tinggi pada ketebalan yang meningkat. Kondisi ini akan mengarahkan ukuran rata-rata menjadi tinggi (Ali et al., 2021). Namun, pada sampel dengan ketebalan 4 cm, didapatkan hasil yang tidak sesuai dengan pola peningkatan ukuran. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan ketidakmerataan distribusi pori pada tebal 4 cm sehingga menjadikan rata-rata cenderung bersifat fluktuatif dengan deviasi yang tinggi.

#### 4.2.2 Pengaruh Konsentrasi $\text{CaCO}_3$ terhadap Rata-rata Pori

Diperoleh hasil dari pengaruh konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  terhadap rata-rata ukuran pori sebagaimana Gambar 4.6 di bawah ini:



**Gambar 4. 6** Pengaruh Komposisi  $\text{CaCO}_3$  Terhadap Rata-rata Pori

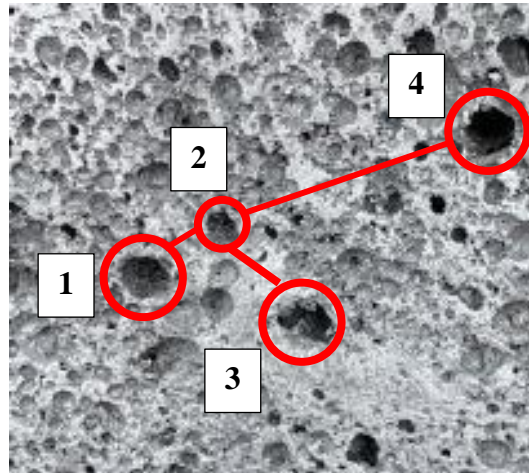
Dari Gambar 4.6, diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya konsentrasi dari  $\text{CaCO}_3$  sebagai *foaming agent*, maka didapatkan rata-rata ukuran pori yang meningkat. Dapat dilihat pada sampel dengan ketebalan 5cm, diperoleh ukuran rata-rata pori yang berubah dari nilai 0,153 cm menjadi 0,165 dan 0,343 cm untuk peningkatan komposisi  $\text{CaCO}_3$  dari 3% menjadi 5%. Hal ini juga terjadi pada sampel 6cm dimana terjadi peningkatan dari nilai 0,143cm menjadi 0,389cm untuk peningkatan konsentrasi dari 3% menjadi 5%  $\text{CaCO}_3$ . Hal ini sesuai dengan literatur dimana konsentrasi *foaming agent* yang meningkat akan menghasilkan pembentukkan sel yang lebih besar, dan akan meningkatkan ukuran pori pada material (Rodinger, 2023). Akan tetapi, pada sampel 4cm, diperoleh hasil yang tidak sesuai dengan pola sebelumnya. Nilai ukuran rata-rata pori cenderung berubah dari 3% menjadi 4% yang menurun dari nilai 0,185 cm menjadi 0,068cm, dan Kembali meningkat di 5%  $\text{CaCO}_3$  menjadi 0,282 cm. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh nukleasi atau pembentukan gelembung selama proses *foaming*, dimana pada tebal 4 cm, terjadi proses *rapid nucleation* sehingga mengarahkan ukuran gelembung yang kecil dan menjadikan rata-rata ukuran menjadi ikut tereduksi (Wang, Zuo, Zhou, & Liu, 2021).

#### **4.2.3 Hasil Struktur Makro Pori Pada Sampel**

Selanjutnya dilakukan pengamatan pada struktur dan bentuk pori yang terdapat pada sampel. Dari pengamatan ini, dilakukan *sampling* yang bersifat representatif yaitu dengan melakukan pengamatan pada sampel

4% - 5cm untuk mengetahui bentuk dari struktur pori secara makroskopis.

Didapatkan hasil potongan seperti Gambar 4.7 di bawah ini:



**Gambar 4. 7** Hasil Pori pada Sampel

Melalui Gambar 4.7 di atas, didapatkan hasil stuktur makro gambar yang dipertajam untuk mengetahui bentuk pori yang dihasilkan. Dari gambar ini diperoleh bahwa sel yang terbentuk adalah *closed cell* dimana sel sel ini terbungkus oleh dinding yang padat. Pori-pori ini tidak terhubung satu sama lain, sehingga gas atau udara tidak dapat dengan mudah mengalir di antara sel-sel (Kovacik, 2017). Dari poin nomor 1,2,3, dan 4, tidak didapatkan adanya koneksi dinding sel yang terbuka satu sama lain. Kondisi ini menandakan bahwa terjadinya resistensi aliran fluida udara sehingga menghambat adanya getaran suara yang ditransmisikan melalui udara. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa sampel yang dihasilkan membentuk sel dengan konsep sel tertutup.



### 4.3 Hasil dan Nilai Densitas Aluminium Foam

Setelah melalui proses *stirring* dan *casting*. Maka produk aluminium foam yang sudah mengembang dipotong dan diuji mengenai densitas yang dimilikinya berdasarkan variasi dari *foaming agent* serta ketebalan sampel. Melalui pengujian dengan metode *archimedes*, diperoleh nilai densitas pada sampel *aluminium foam*. Densitas yang didapat ditampilkan pada Tabel 4.3 berikut ini:

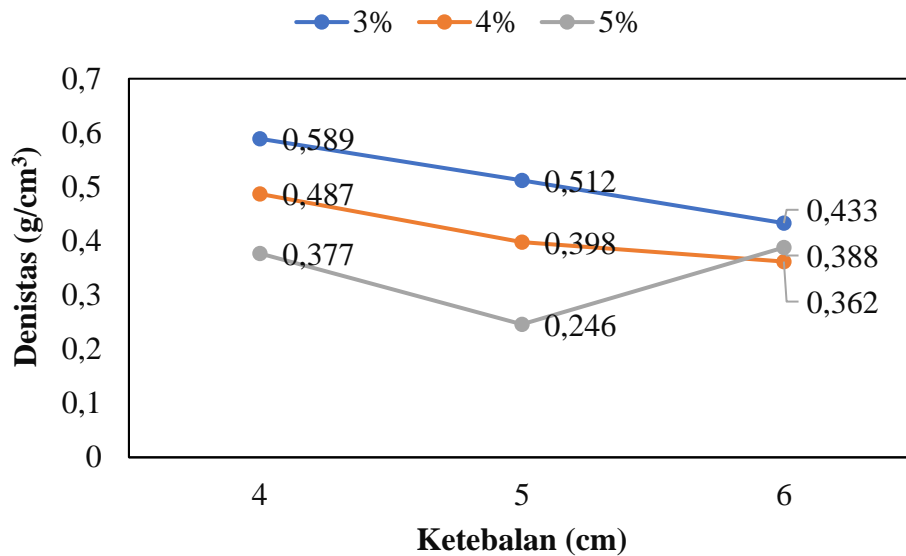
**Tabel 4.3** Hasil Densitas Sampel

Ketebalan (cm)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Densitas Praktikal (gr/cm <sup>3</sup> )
4	3%	0,589
	4%	0,487
	5%	0,377
5	3%	0,512
	4%	0,398
	5%	0,246
6	3%	0,433
	4%	0,362
	5%	0,388

Densitas aluminium secara teoritikal adalah sebesar 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Densitas sendiri merupakan sifat fisik yang penting karena membantu mengidentifikasi atau mengkarakterisasi bahan berdasarkan beratnya terhadap volume. Bahan dengan densitas yang lebih tinggi memiliki massa yang lebih besar dalam volume yang sama dibandingkan dengan bahan dengan densitas yang lebih rendah.

#### 4.3.1 Pengaruh Variasi Ketebalan terhadap Densitas

Ketebalan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap densitas yang dihasilkan. Pada pengujian ini, ketebalan yang divariasikan adalah 4; 5; dan 6 cm. Masing-masing dengan kandungan *foaming agent* sebesar 3%; 4%; dan 5% yang dapat dilihat melalui Gambar 4.8 dibawah ini.



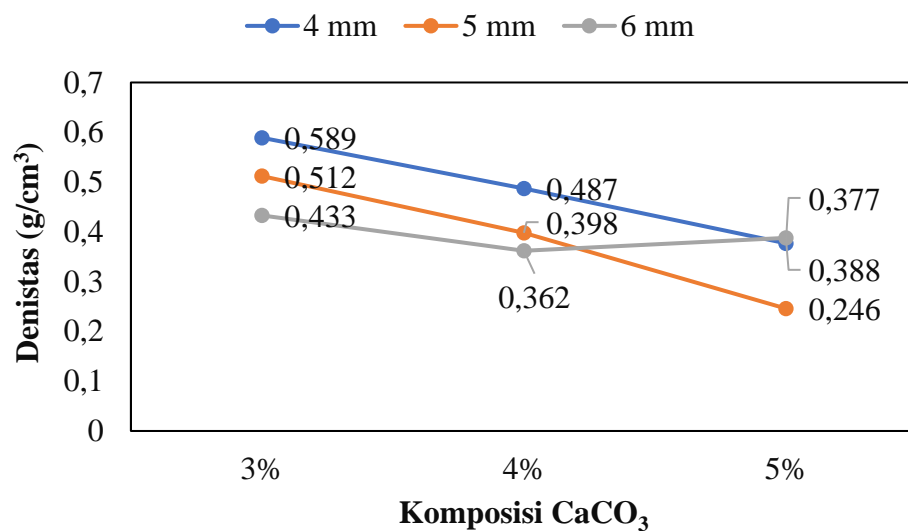
**Gambar 4. 8** Pengaruh Ketebalan terhadap Densitas

Melalui Gambar 4.8, didapatkan hasil variasi densitas terhadap ketebalan *aluminium foam*. Dapat dilihat bahwa semakin meningkat ketebalan, maka densitas yang dihasilkan cenderung semakin menurun. Komposisi *foaming agent* sebesar 3% pada tebal 4cm menghasilkan densitas 0,589 gr/cm<sup>3</sup>, dan terus menurun menjadi 0,512 gr/cm<sup>3</sup> pada ketebalan 5cm, dan menjadi 0,433 g/cm<sup>3</sup> pada ketebalan 6cm. Reduksi yang terjadi seiring dengan meningkatnya ketebalan sampel dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah distribusi pori yang berpengaruh kepada ukuran pori dan ketebalan dinding sel. Semakin meningkat ketebalan suatu sampel dengan konsentrasi yang sama dari segi *foaming agent*, maka akan menghasilkan distribusi pori yang semakin tidak merata. Ketidakmerataan ini akan berpengaruh kepada ketebalan dari dinding sel yang akan mengurangi massa pada sampel (Osman, 2017). Akan tetapi,

pada densitas sampel 5%-6cm didapatkan hasil densitas yang kembali meningkat. Kondisi anomali ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah nilai  $\text{CaCO}_3$  yang cenderung tinggi. Proses pembuatan busa aluminium melibatkan penambahan partikel non-logam ( $\text{CaCO}_3$ ) ke dalam leburan untuk menstabilkannya dan gas untuk menghasilkan busa. Hal ini berpotensi dapat menyebabkan penggabungan pori-pori. Namun, penggabungan dua pori kemungkinan akan mengurangi volume total pori-pori, yang dapat meningkatkan kerapatan busa aluminium (Patel et al., 2023).

#### 4.3.2 Pengaruh Konsentrasi *Foaming Agent* terhadap Densitas

Dilakukan analisis pada pengaruh dari konsentrasi *foaming agent* terhadap densitas yang dihasilkan pada sampel *aluminium foam*. Didapatkan hasil densitas terhadap konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini:



**Gambar 4. 9** Pengaruh Komposisi  $\text{CaCO}_3$  terhadap Densitas

Pada Gambar 4.9 diperoleh hasil dari nilai densitas yang cenderung menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi dari *foaming agent*. Pada ketebalan yang sama 4cm, diperoleh hasil densitas  $0,589 \text{ g/cm}^3$  untuk konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  sebesar 3%, namun nilai densitas ini menurun seiring dengan meningkatnya nilai konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  sebesar 4% dan 5%, dimana densitas menjadi  $0,487 \text{ g/cm}^3$  dan  $0,377 \text{ g/cm}^3$  secara berurutan. Hasil ini menandakan bahwa  $\text{CaCO}_3$  yang berperan sebagai *foaming agent* akan menghasilkan pori yang lebih banyak seiring dengan meningkatnya konsentrasi pada saat proses *foaming*. Reduksi densitas yang terjadi seiring dengan meningkatnya *foaming agent* terjadi akibat produksi dari gelembung gas dalam matriks aluminium yang meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi dari *foaming agent*. Pada saat proses dekomposisi, konsentrasi *foaming agent* berpengaruh terhadap pembentukan gelembung karbon dioksida yang akan menghasilkan pori atau rongga pada material. Seiring dengan meningkatnya komposisi *foaming agent*, maka pembentukan gas yang terjadi juga akan semakin meningkat yang berpengaruh kepada jumlah pori yang terbentuk. Hal ini akan berpengaruh kepada densitas yang tereduksi dikarenakan meningkatnya jumlah rongga kosong pada matriks untuk dimensi yang sama (Rodinger, Coric, & Danko, 2023). Oleh karena itu, semakin meningkatnya komposisi  $\text{CaCO}_3$  maka akan menurunkan nilai densitasnya.

#### 4.4 Hasil dan Nilai Porositas Aluminium Foam

Setelah melakukan pengujian mengenai densitas dari sampel, selanjutnya diperoleh mengenai nilai dari porositas pada sampel *aluminium foam*. Nilai porositas yang dihasilkan cenderung bervariasi dan fluktuatif apabila ditinjau dari kedua variable bebas dalam penelitian ini. Nilai hasil porositas pasca pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini:

**Tabel 4. 4** Hasil Porositas Sampel

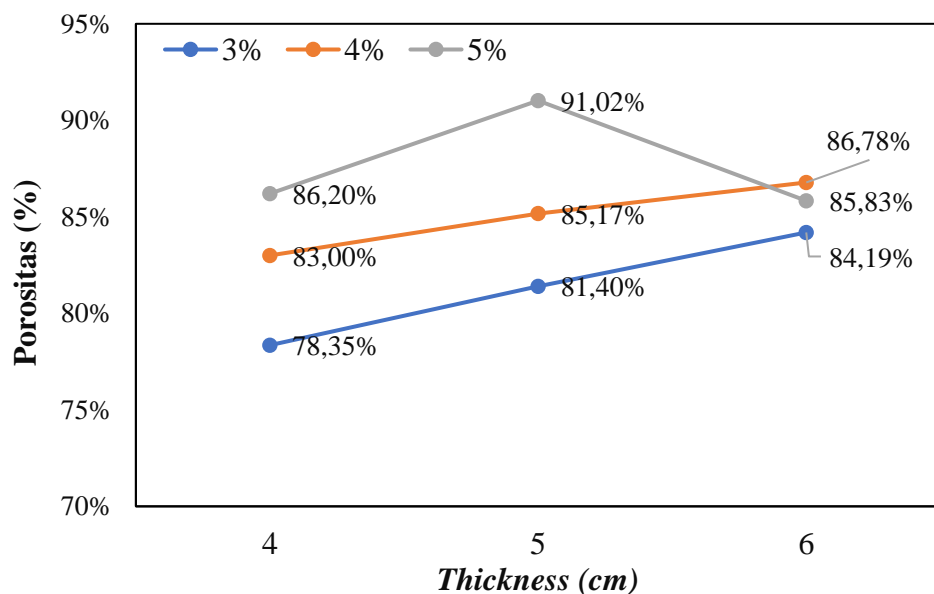
Ketebalan	CaCO <sub>3</sub> (%)	Porositas
4	3%	78,35%
	4%	83,00%
	5%	86,20%
5	3%	81,40%
	4%	85,17%
	5%	91,02%
6	3%	84,19%
	4%	86,78%
	5%	85,83%

*Metallic foam* memiliki volume porositas yang besar, biasanya berkisar antara 75-95% (Rajak, et al. 2020.). Hal ini menandakan bahwa sebagian besar volumenya tersusun atas pori-pori atau rongga udara. Porositas yang sangat tinggi inilah yang membuat metal foam memiliki densitas yang sangat rendah dibandingkan logam padat (Renny, 2021). Terdapat korelasi penting antara hasil pengukuran densitas dan porositas pada sampel *metallic foam*. Korelasi ini berbanding terbalik, dimana semakin tinggi densitas yang terukur, maka porositas akan cenderung semakin rendah. Sebaliknya, semakin rendah densitas sampel metal foam, maka dapat dipastikan porositas yang dimiliki akan semakin besar. Hubungan berbanding terbalik ini mengindikasikan makin rapatnya susunan

matriks logam tanpa adanya rongga udara. Dengan kata lain, *metallic foam* dengan densitas lebih tinggi cenderung lebih padat karena memiliki ruang kosong yang lebih sedikit.

#### 4.4.1 Pengaruh Variasi Ketebalan terhadap Nilai Porositas

Meninjau dari pengaruh nilai ketebalan, dilakukan pemetaan grafik dari Tabel 4.4 di atas untuk mengetahui pengaruh dari ketebalan terhadap nilai porositas.



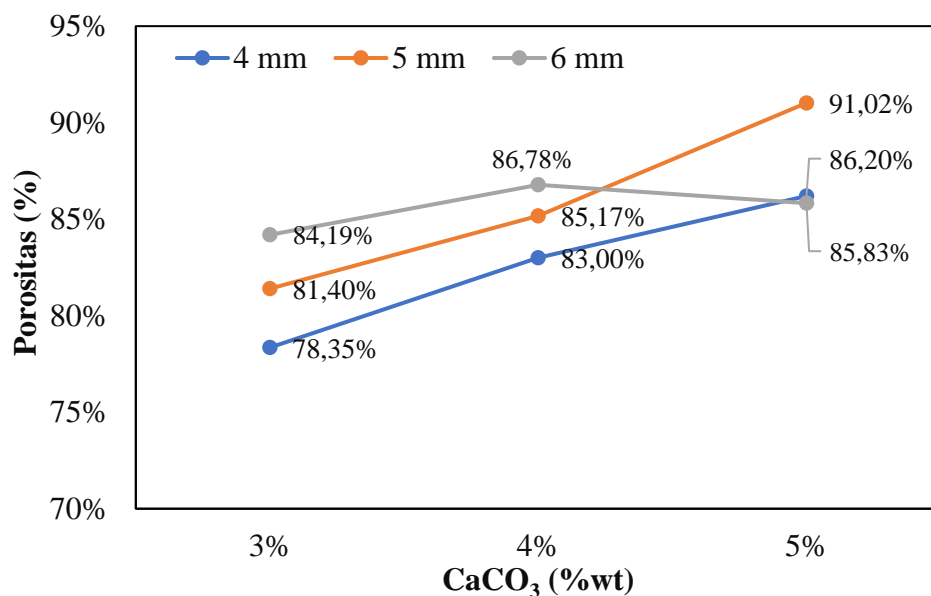
**Gambar 4. 10** Pengaruh Ketebalan terhadap Porositas

Pada Gambar 4.10 di atas ini, didapatkan bahwa porositas cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya ketebalan. Pada sampel 3%, didapatkan hasil porositas yang meningkat dari nilai 79,35% pada tebal 4cm, menjadi 81,40% dan 84,19% untuk peningkatan ketebalan menjadi 5 dan 6%. Hal ini juga terjadi pada sampel dengan komposisi  $\text{CaCO}_3$  sebesar 4% dan 5% dimana masing-masing menghasilkan peningkatan yang

signifikan kepada nilai porositas seiring dengan bertambahnya ketebalan. . Hal ini dapat terjadi karena semakin tebal sampel, maka semakin banyak ruang kosong yang terbentuk di dalamnya dan memungkinkan terjadinya porositas yang lebih besar. Konsentrasi foaming agent  $\text{CaCO}_3$  yang tetap di nilai 3% menunjukkan bahwa perubahan dalam ketebalan foam menjadi faktor utama yang mempengaruhi porositas.

#### 4.4.2 Pengaruh Konsentrasi *Foaming Agent* terhadap Porositas.

Dilakukan peninjauan kepada pengaruh dari *foaming agent* terhadap porositas yang terjadi pada sampel. Didapatkan data dari Tabel 4.4 sebagai berikut ini:



**Gambar 4. 11** Pengaruh Konsentrasi *Foaming Agent* Terhadap Porositas

Pada Gambar 4.11 dijelaskan mengenai pengaruh dari berat *foaming agent* terhadap hasil dari porositas yang dihasilkan. Dapat dilihat bahwa

seiring dengan meningkatnya berat (wt%) *foaming agent*, maka didapatkan nilai porositas yang cenderung meningkat secara signifikan. Peningkatan terjadi dari nilai 78,35% porositas untuk 3% CaCO<sub>3</sub> menjadi 83%; dan 86,2% untuk peningkatan masing-masing menjadi 4% dan 5% CaCO<sub>3</sub>. Hal ini juga terjadi pada ketebalan yang berbeda pada sampel. Kondisi ini disebabkan oleh adanya pembentukan pori yang terjadi selama proses dekomposisi gas CO<sub>2</sub> pada matriks. Meningkatnya konsentrasi dari *foaming agent* akan menghasilkan peningkatan intensitas pembentukan gas pada material. Selain itu, kondisi ini juga dipengaruhi oleh meningkatnya viskositas leleh (*melting viscosity*) saat pembentukan gelembung. Meningkatnya nilai viskositas akan berpengaruh kepada pembentukan pori yang lebih besar dan meningkatkan nilai porositas. Hal ini sesuai dengan literatur dimana meningkatnya *foaming agent* akan meningkatkan nilai porositas (Rodinger, Coric, & Danko, 2023).

Melalui adanya pengaruh dari ketebalan, serta pengaruh dari komposisi *foaming agent*, maka dapat didiskusikan perihal distribusi pori yang terbentuk terhadap intensitas pembentukan gelembung CO<sub>2</sub>. Semakin tinggi ketebalan, maka distribusi pori yang terjadi akan semakin heterogen, yang berdampak kepada menurunnya densitas dan meningkatnya porositas. Sementara itu, meningkatnya konsentrasi dari *foaming agent* menghasilkan intensitas pembentukan gelembung pada saat proses *foaming* menjadi lebih tinggi. Hal ini menjadikan pori cenderung lebih banyak apabila ditinjau dari



kuantitas. Kondisi ini menjadikan densitas juga ikut berkurang, dan porositas akan meningkat.

#### 4.5 Hasil Pengujian ITT (*Impedance Tube Testing*)

Pengujian Impedance Tube Testing (ITT) adalah metode yang digunakan dalam karakterisasi material absorpsi suara. Metode ini memanfaatkan tabung berdiameter kecil yang memiliki mikrofon di satu ujungnya dan *speaker* di ujung lainnya. Tujuannya adalah untuk mengukur karakteristik absorpsi suara dari berbagai material dalam berbagai frekuensi. Diperoleh hasil pengujian ITT yang menjelaskan mengenai kapabilitas dari material dalam menyerap suara. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini:

**Tabel 4. 5** Hasil Pengujian ITT

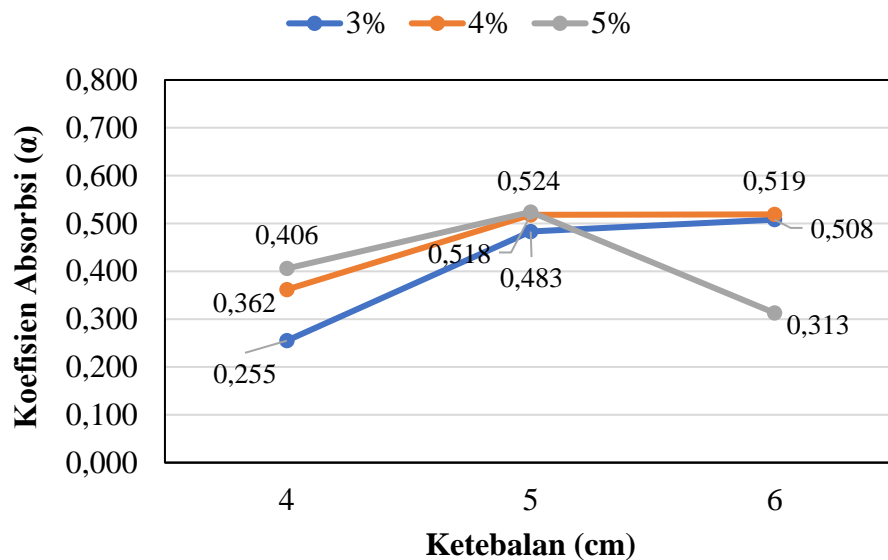
Ketebalan (cm)	CaCO <sub>3</sub>	<i>Transmission Loss</i> (dB)	$\alpha$
4	3%	21,750	0,255
5	3%	34,556	0,483
6	3%	46,481	0,508
4	4%	27,406	0,362
5	4%	45,544	0,518
6	4%	48,619	0,519
4	5%	36,131	0,406
5	5%	43,694	0,524
6	5%	26,869	0,313

Nilai alpha ( $\alpha$ ) ini merupakan ukuran seberapa efektif material dalam menyerap suara yang dikenakan padanya. Semakin tinggi nilai alpha, semakin baik kemampuan material dalam menyerap suara pada frekuensi yang diuji. Sementara itu, nilai *transmission loss* (TL) memberikan informasi tentang seberapa efektif material tersebut dalam mengurangi transmisi suara melalui material tersebut.

Semakin tinggi nilai *transmission loss*, semakin baik material dalam menahan atau mengurangi transmisi suara dari satu sisi ke sisi lainnya pada berbagai frekuensi yang diuji. Pengujian dilakukan dengan frekuensi 125 – 4000 Hz, dan didapatkan nilai *transmission loss* serta koefisien absorpsi ( $\alpha$ ). Dari data ini, selanjutnya dilakukan analisa mengenai pengaruh dari masing-masing variabel terhadap nilai koefisien absorpsi.

#### 4.5.1 Pengaruh Ketebalan terhadap Absorpsi Suara.

Melalui tabel 4.6, didapatkan visualisasi data mengenai keterlibatan ketebalan sampel terhadap hasil dari absorpsi suara. Diperoleh hasil sebagai berikut:



**Gambar 4. 12** Pengaruh Ketebalan Terhadap Koefisien Absorpsi

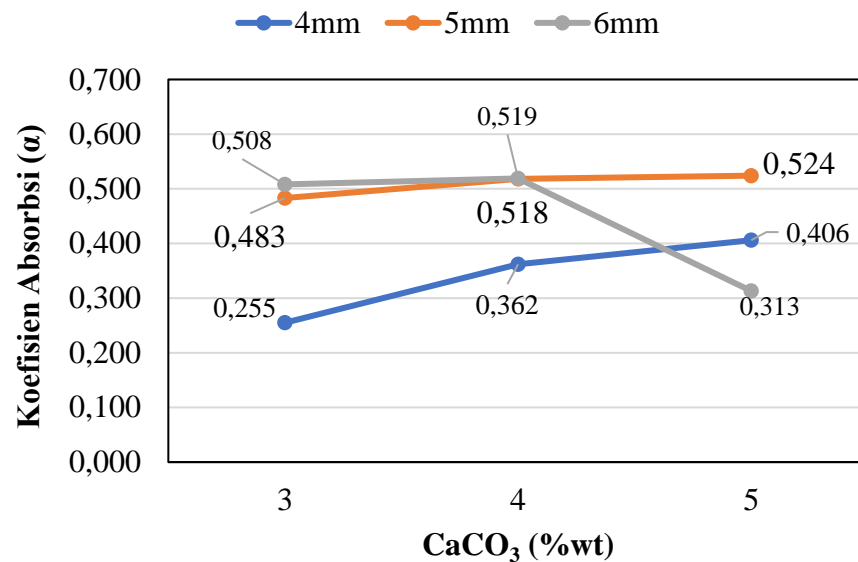
Pada Gambar 4.12, diperoleh hasil dari nilai  $\alpha$  yang dipengaruhi oleh ketebalan sampel. Dapat diperhatikan bahwa pola dari grafik yang

dihasilkan berbanding lurus dengan bentuk dari grafik nilai porositas, dimana koefisien absorpsi meningkat seiring dengan meningkatnya ketebalan sampel. Didapatkan peningkatan yang signifikan pada koefisien absorpsi pada sampel 3%  $\text{CaCO}_3$ , dimana nilai *alpha* meningkat dari 0,255 menjadi 0,483 dan 0,508 seiring dengan meningkatnya ketebalan dari 4cm hingga 6cm. Hal ini juga terjadi pada sampel 5%  $\text{CaCO}_3$  yang mengalami peningkatan yang serupa. Kondisi ini sesuai dengan literatur, dimana penelitian yang dilakukan oleh Javad Javari dkk (2023) telah menunjukkan bahwa kinerja absorpsi suara dari *metal foam* sangat meningkat seiring dengan nilai porositas yang tinggi dikarenakan resistensi aliran dan porositas dari busa tersebut. Porositas dari *metal foam* memengaruhi sifat serap suara, (nilai *alpha*) melalui jumlah pori yang saling terhubung yang tersebar di seluruh ketebalan material. Oleh karena itu, peningkatan porositas dari *metal foam* dapat menghasilkan peningkatan kinerja serapan suara (Javari, 2023). Akan tetapi, apabila dilihat kembali pada sampel 5%  $\text{CaCO}_3$ , didapatkan hasil yang tidak sesuai dengan pola sebelumnya. Apabila dianalisa, hal ini dapat diakibatkan oleh distribusi pori pada sampel sehingga terpengaruh dan menjadikannya tidak sesuai dengan sampel 3% dan 4%  $\text{CaCO}_3$ . Dari segi densitas dan porositas, nilai koefisien absorpsi meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah pori pada busa aluminium, atau dengan berkurangnya diameter pori (Li et al., 2011). Oleh karena itu, fenomena yang terjadi pada 5%  $\text{CaCO}_3$  dapat diakibatkan oleh porositas itu sendiri. Dari kenaikan ketebalan sampel, didapatkan nilai persentase

absorbs suara adalah sebesar >50% untuk peningkatan nilai ketebalan 1cm.

#### 4.5.2 Pengaruh Komposisi $\text{CaCO}_3$ terhadap Absorpsi Suara

Selanjutnya didapatkan hasil dari pengaruh komposisi atau konsentrasi dari  $\text{CaCO}_3$  pada busa aluminium terhadap koefisien absorpsi pada sampel. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini:



**Gambar 4. 13** Pengaruh  $\text{CaCO}_3$  Terhadap Koefisien Absorpsi

Pada Gambar 4.13 diperoleh hasil dimana nilai  $\alpha$  mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya nilai  $\text{CaCO}_3$  dimana pada sampel dengan ketebalan 4 cm, nilai  $\alpha$  meningkat dari nilai 0,255 menjadi 0,362 dan 0,406 secara progresif seiring dengan meningkatnya % $\text{CaCO}_3$  dari nilai 3% menjadi 5%. Hal ini juga terjadi pada sampel dengan tebal 5cm dimana terjadi peningkatan dari nilai 0,48 menjadi 0,52 untuk peningkatan

konsentrasi 3% menjadi 5%. Akan tetapi, pada sampel 6cm, hasil cenderung bersifat fluktuatif dimana nilai  $\alpha$  mengalami penurunan. Fluktuasi ini terjadi pada sampel 6 cm dimana nilai  $\alpha$  meningkat dari nilai 0,51 pada 3% CaCO<sub>3</sub>, menjadi 0,52 pada 4% CaCO<sub>3</sub>, namun Kembali menurun pada 5% CaCO<sub>3</sub> menjadi 0,31. Menurut literatur, semakin tinggi komposisi *foaming agent* maka akan menghasilkan pembentukan gelembung yang meningkat. Fenomena ini akan menghasilkan lebih banyak pori sehingga pori-pori ini nantinya dapat menyerap suara pada frekuensi yang diberikan (Li et al., 2011). Oleh karena itu, hasil iterasi pada sampel 5cm dan 6cm sesuai dengan literatur. Akan tetapi, pada sampel 4cm dapat dikatakan tidak sesuai. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan ukuran rata-rata pori pada sampel yang terdistribusi secara tidak merata serta memiliki nilai deviasi yang tinggi. Hal ini juga dapat dilihat pada Gambar 4.5 dimana seiring dengan meningkatnya CaCO<sub>3</sub>, ukuran rata-rata pori cenderung mengalami fluktuasi, yakni menurun dan meningkat kembali. Ketidakesesuaian ini dapat terjadi dikarenakan adanya kesalahan dalam pengadukan sehingga mempengaruhi porositas pada sampel.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Melalui penelitian ini, didapatkan beberapa kesimpulan yang mewakili dari hasil pengujian dan analisa yang dilakukan. Kesimpulan tersebut antara lain adalah:

1. Karakterisasi pada kulit telur (XRF dan XRD) menunjukkan dominasi kalsium (Ca) dari total unsur yang dikandung. Unsur ini didapatkan dalam bentuk karbonat sebagai kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).
2. Analisis makrostruktur menunjukkan hubungan antara ketebalan dan porositas. Didapatkan bahwa nilai distribusi pori pada sampel tinggi sehingga menghasilkan nilai rata-rata yang tinggi. Bentuk sel yang terbentuk adalah jenis sel dengan struktur tertutup (*closed cell*) dikarenakan tidak adanya rongga yang terbuka pada dinding sel dan pori.
4. Peningkatan konsentrasi *foaming agent*  $\text{CaCO}_3$  cenderung mengurangi densitas material *foam*. Komposisi  $\text{CaCO}_3$  yang lebih tinggi menyebabkan distribusi *foaming agent* yang lebih tersebar, menghasilkan struktur foam yang lebih ringan dan meningkatkan porositas. Hasil ini akan menciptakan kemampuan yang lebih baik dalam menyerap suara. Nilai tertinggi porositas terdapat pada sampel 5%  $\text{CaCO}_3$  – 5cm sebesar 91,02%. Struktur pori yang banyak dapat meredam gelombang suara, menciptakan material dengan koefisien suara yang lebih tinggi.
5. Ketebalan sampel memiliki pengaruh langsung terhadap densitas. Semakin tebal sampel, cenderung menghasilkan densitas yang lebih rendah.

Hubungan antara ketebalan dan porositas berbanding lurus dimana sampel dengan ketebalan yang lebih tinggi cenderung memiliki nilai porositas yang lebih tinggi dan nilai absorpsi suara yang semakin baik. Nilai densitas terendah adalah pada sampel 5% CaCO<sub>3</sub> – 5cm dengan nilai sebesar 0,246 g/cm<sup>3</sup>.

6. Nilai koefisien absorpsi tertinggi terdapat pada sampel 5% - 5cm dengan kemampuan absorpsi sebesar 0,524 yang dimana nilai ini berbanding lurus dengan nilai porositas. Nilai ini menjadikan komposisi 5% CaCO<sub>3</sub> – 5cm menjadi sampel terbaik untuk diaplikasikan sebagai peredam suara.

## 5.2 Saran

Melalui penelitian ini, penulis dapat memberikan saran kedepannya agar penelitian ini dapat dikembangkan lebih jauh lagi. Adapun saran yang dapat diutarakan adalah:

1. Menggunakan komposisi *foaming agent* yang berbeda
2. Menggunakan ukuran *foaming agent* yang berbeda
3. Memastikan kecepatan pengadukan yang stabil untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Osman, H., . M. Omran, A., . A. Atlam, A., & M. Kh., M. (2017). Characterization Of Aluminium Foam Produced From Aluminium Scrap by Using CaCO<sub>3</sub> as Foaming Agent. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 45(4), 448–459. <https://doi.org/10.21608/jesaun.2017.116283>
- Alam, T., & Husain Ansari, A. (2017). Review On Aluminium And Its Alloys For Automotive Applications. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 5(May), 278–294.
- Alhusseny, A. N. M., Nasser, A. G., & Al-zurf, N. M. J. (2018). High-Porosity Metal Foams: Potentials, Applications, and Formulations. *Porosity - Process, Technologies and Applications*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70451>
- Ali, H., Gábora, A., Naeem, M. A., Kalácska, G., & Mankovits, T. (2021). Effect of the manufacturing parameters on the pore size and porosity of closed-cell hybrid aluminum foams. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 12(3), 230–237. <https://doi.org/10.1556/1848.2021.00262>
- Arjunan, A., Baroutaji, A., Praveen, A. S., Olabi, A. G., & Wang, C. J. (2019). Acoustic Performance of Metallic Foams. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 44(0), 1–25. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11561-9>
- ASM International. (2004). *ASM Handbook Vol. 9: Metallography and Microstructure* (1st ed., Vol. 9). ASM International.



- ASTM C373-88. (2006). ASTM C373-14 Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products. *Astm C373-88*, 88(Reapproved), 1–2. <https://doi.org/10.1520/C0373-88R06.edges>
- Babcsán, N., Banhart, J., & Leitmeier, D. (2003). Metal Foams – Manufacture and Physics of Foaming. *Wire*, 5–15.
- Banhart, J. (2010). Metal Foams—from Fundamental Research to Applications. *Europhysics News*, 41(6), 3.
- Carbajo, J., Molina, J. M., Kim, S., Maiorano, L. P., Mosanenzadeh, S. G., & Fang, N. X. (2023). Design of Replicated Open-Pore Aluminium Cellular Materials with a Non-Stochastic Structure for Sound Absorption Applications. *Metals and Materials International*, 29(4), 1007–1018. <https://doi.org/10.1007/s12540-022-01279-5>
- Fleck, N. (2016). *Metal Foams : a Design Guide*. 3069(FEBRUARY 2002), 264.
- Georgantzia, Evangelia; Gkantou, Michaela; S. Kamaris. (2018). Aluminium alloys as structural material: A review of research. *LJMU Research Online*, 19.
- Geramipour, t., & oveisi, h. (2017). Effects of foaming parameters on microstructure and compressive properties of aluminum foams produced by powder metallurgy method. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 27(7), 1569–1579. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60178-X](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60178-X)
- Jafari, M. J., Khavanin, a., Ebadzadeh, T., Fazlali, M., Sharak, M. N., & Madvari, r. F. (2020). Optimization of the morphological parameters of a metal foam

- for the highest sound absorption coefficient using local search algorithm. *Archives of Acoustics*, 45(3), 487–497. <https://doi.org/10.24425/aoa.2020.134066>
- Kovacik, J. (2017). Closed Cell Aluminium Foams with Phase Change Material. *Metallic Foams*, 1(1), 42–48. <https://doi.org/10.23977/metf.2017.11003>
- Khotimah, K. (2015). Sifat Penyerapan Bunyi Pada Komposit Serat Batang Pisang. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA)*, 1, 91-100.
- Li, Y., Wang, X., Wang, X., Ren, Y., Han, F., & Wen, C. (2011). Sound absorption characteristics of aluminum foam with spherical cells. *Journal of Applied Physics*, 110(11). <https://doi.org/10.1063/1.3665216>
- Liang, L., Wu, X., Ma, N., Du, J., & Liu, M. (2018). The sound absorption properties comparison of metal foams and flexible cellular materials. *Materials Science Forum*, 933 MSF, 357–366. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.933.357>
- Lim, S. (2013). X-Ray Fluorescence (XRF) Analyzer - Theory, Utility, and QA/QC for Environmental and Commercial Product Samples in Cambodia. *Multidisciplinary Studies Theses*, 8, 1–34.
- Lu, T. J., Hess, A., & Ashby, M. F. (1999). Sound absorption in metallic foams. *Journal of Applied Physics*, 85(11), 7528–7539. <https://doi.org/10.1063/1.370550>
- Ng, C.-H., Yahaya, S. N. M., & Majid, A. A. A. (2017). Reviews on aluminum alloy series and its applications. *Academia Journal of Scientific Research*, 5(12), 708–716. <https://doi.org/10.15413/ajsr.2017.0724>

- Nosko, m., & Kováčik, j. (2017). Sound Absorption Ability of Aluminium Foams. *Metallic Foams*, 1(1), 15–41. <https://doi.org/10.23977/metf.2017.11002>
- Osman, H. A. (2017). Characterization of Aluminum foam produced from aluminium scrap by using CaCO<sub>3</sub> as foaming agent. *Journal of Engineering Science*, 448.
- Parveez, B., Jamal, N. A., Anuar, H., Ahmad, Y., Aabid, A., & Baig, M. (2022). Microstructure and Mechanical Properties of Metal Foams Fabricated via Melt Foaming and Powder Metallurgy Technique: A Review. *Materials*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/ma15155302>
- Patel, N., Mittal, G., Agrawal, M., & Pradhan, A. K. (2023). Aluminum foam production, properties, and applications: a review. *International Journal of Metalcasting*. <https://doi.org/10.1007/s40962-023-01174-8>
- Praveen Kumar, T. N., Suresh, N., Venkateswaran, S., & Seetharamu, S. (2015). Effect of Grain Size of Calcium Carbonate Foaming Agent on Compressive Strength of Eutectic Al-Si Alloy Closed Cell Foam. *American Journal of Materials Science*, 5(3c), 69–73. <https://doi.org/10.5923/c.materials.201502.14>
- Raut, S. V, Kanthale, V. S., & Kothavale, B. S. (2011). Review on Application of Aluminum Foam in Sound Absorption Technology. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(4), 178–181. <https://doi.org/10.14741/ijcet/22774106/spl.4.2016.36>
- Renny, F. (2021). Structure and phase analysis of calcium carbonate powder prepared by a simple solution method. *Heliyon*.

- Rodinger, T. C. D. (2023). The influence of foaming agents on aluminium foam cell morphology. *Metals*, 3.
- Saikrupa, Ch., Chandra Mohan Reddy, G., & Venkatesh, S. (2021). Aluminium metal matrix composites and effect of reinforcements – A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1057(1), 012098. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1057/1/012098>
- Sutarno, Soepriyanto, S., Korda, A. A., & Dirgantara, T. (2015). Pengaruh Kalsia Alumina (CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Pada Busa Aluminium AL-7000 Dengan Agen Pembusa Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>). *Prosiding Simposium Nasional Inovasi Dan Pembelajaran Sains 2015*, 2015(Snips), 149–152.
- Torras, O. (2017). The Cost-Effectiveness of Lowering Permissible Noise Levels Around U.S. Airports. *Int J Environ Res Public Health*, 12.
- Tripathi, O., Singh, D. P., Dwivedi, V. K., & Agarwal, M. (2020). A focused review on aluminum metallic foam: Processing, properties, and applications. *Materials Today: Proceedings*, 47(XXXX), 6622–6627. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.099>
- Ghaleh, M. H. (2020). High-Porosity Closed-Cell Aluminum Foams Produced By Melting. *AFS Institute*.
- Javari, J. (2023). Optimized design and experimental validation of sound absorption coefficient performance in aluminium metal foam by spark plasma sintering. *Heliyon*.

- Osman, H. A. (2017). Characterization of Aluminum foam produced from aluminium scrap by using CaCO<sub>3</sub> as foaming agent. *Journal of Engineering Science*, 448.
- Renny, F. (2021). Structure and phase analysis of calcium carbonate powder prepared by a simple solution method. *Heliyon*.
- Rodinger, T., Coric, & Danko. (2023). The influence of foaming agents on aluminium foam cell morphology. *Metals*, 3.
- Torras, O. (2017). The Cost-Effectiveness of Lowering Permissible Noise Levels Around U.S. Airports. *Int J Environ Res Public Health*, 12.
- Wang, T., Zuo, X., Zhou, Y., & Liu, Z. (2021). Stability mechanism of AlSi12 aluminum foam under the action of Al–Si–Ca second phase. *Journal of Materials Research and Technology*.

**LAMPIRAN A**  
**CONTOH PERHITUNGAN**



$$= (1 - (\frac{0,589}{2,74} \times 100\%))$$

$$= 78,35 \%$$

### A.2 Densitas & Persentase Porositas Sampel 2 ( 3% CaCO<sub>3</sub> & 5cm)

Diketahui:

$$\begin{array}{ll} m & : 166,1 \text{ gr} & D & : 9 \text{ cm} \\ t & : 5 \text{ cm} & r & : 4,5 \text{ cm} \\ v & : \rho r^2 t = (3,14 \times (4,5)^2 \times 5) = 317,925 \text{ cm}^3 \end{array}$$

Maka didapatkan nilai densitas & Persentase porositas sampel 2 sebesar :

- $\rho = \frac{m}{v} = \frac{166,1}{317,925} = 0,512 \text{ g/cm}^3$
- % Porositas =  $(1 - (\frac{\rho_{Al Foam}}{\rho_{Al}}) \times 100 \%)$   
 $= (1 - (\frac{0,512}{2,74} \times 100\%))$   
 $= 81,4 \%$

### A.3 Densitas & Persentase Porositas Sampel 3 ( 3% CaCO<sub>3</sub> & 6 cm)

Diketahui:

$$\begin{array}{ll} m & : 165,4 \text{ gr} & D & : 9 \text{ cm} \\ t & : 6 \text{ cm} & r & : 4,5 \text{ cm} \\ v & : \rho r^2 t = (3,14 \times (4,5)^2 \times 6) = 381,51 \text{ cm}^3 \end{array}$$

Maka didapatkan nilai densitas & Persentase porositas sampel 3 sebesar :

- $\rho = \frac{m}{v} = \frac{165,4}{381,51} = 0,433 \text{ g/cm}^3$









Maka didapatkan nilai densitas & Persentase porositas sampel 9 sebesar :

- $\rho = \frac{m}{v} = \frac{148,3}{381,51} = 0,388 \text{ g/cm}^3$
- % Porositas  $= (1 - (\frac{\rho_{Al Foam}}{\rho_{Al}}) \times 100 \%)$   
 $= (1 - (\frac{0,388}{2,74} \times 100\%))$   
 $= 85,83\%$

A.10 Perhitungan Nilai  $\alpha$  sampel 8 (5% CaCO<sub>3</sub> & 5cm)

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i}$$

Keterangan :

$\alpha$  = Koefisien penyerapan suara

$W_a$  = Intensitas suara yang diserap oleh sampel (*Absorbed Sound*).

$W_i$  = Intensitas suara sebelum melewati sampel (*Incident Sound*).

Dik :

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i}$$

$$\alpha = \frac{43,694}{83,385} = 0,524$$

Maka didapatkan nilai Koefisien serap suara sebesar 0,524 atau 52,4 %

A.11 Perhitungan Nilai  $\alpha$  sampel 6 (4% CaCO<sub>3</sub> & 6cm)

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i}$$

Keterangan :

$\alpha$  = Koefisien penyerapan suara

$W_a$  = Intensitas suara yang diserap oleh sampel (*Absorbed Sound*).

$W_i$  = Intensitas suara sebelum melewati sampel (*Incident Sound*).

Dik :

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i}$$

$$\alpha = \frac{48,619}{93,678} = 0,519$$

Maka didapatkan nilai koefisien sebesar 0,519 atau 51,9 %

**LAMPIRAN B**  
**DATA PENELITIAN**

## LAMPIRAN B. DATA PENELITIAN

23-Des-2023 13:25:26

### Sample results

Page 1

Sample ident
Kulit Telur - Firmansyah

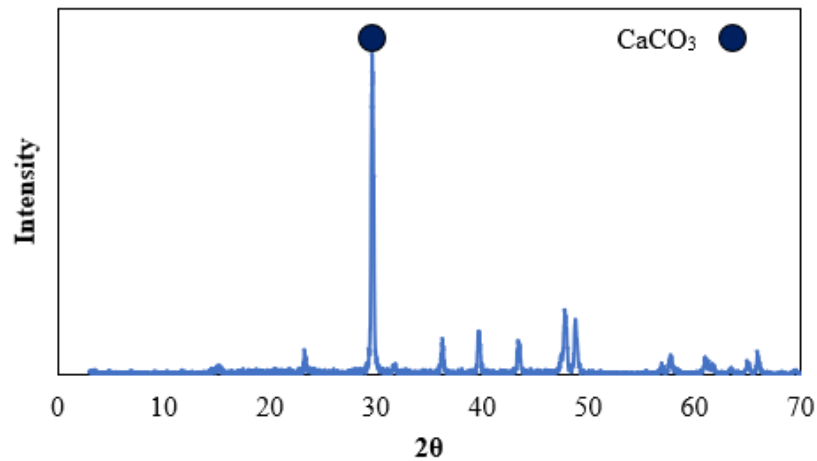
Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	4
Measurement time	23-Des-2023 11:27:37

Normalisation factor	1,557
----------------------	-------

Compound	Al	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr	P	Ag
Conc	0,349	0,480	1700,1	3712,3	96,37	117,6	0,0	809,2	527,1	869,3	500,3	2,61	0,12
Unit	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%

Compound	Sn	Sm	Re
Conc	0,6	0,0	0,0
Unit	ppm	ppm	ppm

Gambar B. 1 Hasil Karakterisasi XRF Kulit Telur



Gambar B. 2 Hasil Karakterisasi XRD Kulit Telur



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 21 Desember 2023

No : 401/PRO/VIBRASTIK/XII/2023

Hal : Hasil Pengukuran *Transmission Loss*

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji dengan sampel specimen campuran semen (**Sampel 1**) yang dilakukan pada Kamis, 21 Desember 2023 dengan ukuran  $t = \pm 4$  cm dan diameter ( $\varnothing$ ) =  $\pm 9$  cm, didapatkan hasil pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil *Transmission Loss* Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	29.4
160	15.9
200	16.16
250	18.08
315	12.33
400	24.83
500	18.35
630	32.34
800	27.31
1000	21.84
1250	3.38
1600	27.9
2000	22.69
2500	32.13
3150	16.14
4000	32.63

**Gambar B. 3** Hasil Pengukuran TL sampel 3% CaCO<sub>3</sub> & ketebalan 4cm





## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 21 Desember 2023

No : 402/PRO/VIBRASTIK/XII/2023

Hal : Hasil Pengukuran *Transmission Loss*

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji dengan sampel specimen campuran semen (**Sampel 2**) yang dilakukan pada Kamis, 21 Desember 2023 dengan ukuran  $t = \pm 5$  cm dan diameter ( $\varnothing$ ) =  $\pm 9$  cm, didapatkan hasil pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil *Transmission Loss* Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	31.44
160	38.15
200	39.89
250	52.53
315	46.74
400	41.39
500	46.48
630	53.52
800	38.29
1000	47.68
1250	28.92
1600	53.23
2000	18.38
2500	53.51
3150	38.52
4000	36.22

**Gambar B. 4** Hasil Pengukuran TL sampel 3% CaCO<sub>3</sub> & ketebalan 5cm



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 21 Desember 2023

No : 403/PRO/VIBRASTIK/XII/2023  
Hal : Hasil Pengukuran *Transmission Loss*

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji dengan sampel specimen campuran semen (**Sampel 3**) yang dilakukan pada Kamis, 21 Desember 2023 dengan ukuran  $t = \pm 6$  cm dan diameter ( $\varnothing$ ) =  $\pm 9$  cm, didapatkan hasil pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil *Transmission Loss* Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	40.71
160	58.73
200	42.68
250	49.04
315	38.20
400	39.91
500	40.41
630	46.03
800	41.79
1000	41.44
1250	29.18
1600	52.25
2000	41.86
2500	58.50
3150	38.88
4000	33.66

**Gambar B. 5** Hasil Pengukuran TL sampel 3% CaCO<sub>3</sub> & ketebalan 6cm



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 21 Desember 2023

No : 404/PRO/VIBRASTIK/XII/2023  
Hal : Hasil Pengukuran *Transmission Loss*

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji dengan sampel specimen campuran semen (**Sampel 4**) yang dilakukan pada Kamis, 21 Desember 2023 dengan ukuran  $t = \pm 4$  cm dan diameter ( $\varnothing$ ) =  $\pm 9$  cm, didapatkan hasil pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil *Transmission Loss* Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	39.07
160	22.30
200	24.98
250	26.32
315	19.95
400	35.95
500	26.94
630	42.51
800	38.21
1000	30.27
1250	16.03
1600	38.67
2000	19.75
2500	38.54
3150	31.64
4000	36.73

**Gambar B. 6** Hasil Pengukuran TL sampel 4% CaCO<sub>3</sub> & ketebalan 4cm



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 21 Desember 2023

No : 405/PRO/VIBRASTIK/XII/2023

Hal : Hasil Pengukuran *Transmission Loss*

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji dengan sampel specimen campuran semen (**Sampel 1**) yang dilakukan pada Kamis, 21 Desember 2023 dengan ukuran  $t = \pm 5$  cm dan diameter ( $\varnothing$ ) =  $\pm 9$  cm, didapatkan hasil pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil *Transmission Loss* Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	67.7
160	52.31
200	59.17
250	58.26
315	52.03
400	39.4
500	44.35
630	39.44
800	53.03
1000	50.44
1250	41.13
1600	58.25
2000	20.23
2500	49.68
3150	44.27
4000	33.13

**Gambar B. 7** Hasil Pengukuran TL sampel 4% CaCO<sub>3</sub> & ketebalan 5cm



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 21 Desember 2023

No : 406/PRO/VIBRASTIK/XII/2023  
Hal : Hasil Pengukuran *Transmission Loss*

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji dengan sampel specimen campuran semen (**Sampel 6**) yang dilakukan pada Kamis, 21 Desember 2023 dengan ukuran  $t = \pm 6$  cm dan diameter ( $\varnothing$ ) =  $\pm 9$  cm, didapatkan hasil pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil *Transmission Loss* Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	36.44
160	45.19
200	51.11
250	62.48
315	51.81
400	32.4
500	64.23
630	37.01
800	52.54
1000	37.91
1250	33.9
1600	45.45
2000	33.39
2500	34.72
3150	46.1
4000	51

**Gambar B. 8** Hasil Pengukuran TL sampel 4% CaCO<sub>3</sub> & ketebalan 6cm



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 21 Desember 2023

No : 407/PRO/VIBRASTIK/XII/2023

Hal : Hasil Pengukuran *Transmission Loss*

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji dengan sampel specimen campuran semen (**Sampel 7**) yang dilakukan pada Kamis, 21 Desember 2023 dengan ukuran  $t = \pm 4$  cm dan diameter ( $\varnothing$ ) =  $\pm 9$  cm, didapatkan hasil pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil *Transmission Loss* Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	42.64
160	25.43
200	27.4
250	28.21
315	21.36
400	42.77
500	32.87
630	46.7
800	48.21
1000	36.31
1250	21.52
1600	51
2000	24.33
2500	48
3150	40.52
4000	39.55

**Gambar B. 9** Hasil Pengukuran TL sampel 5% CaCO<sub>3</sub> & ketebalan 4cm



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 21 Desember 2023

No : 408/PRO/VIBRASTIK/XII/2023  
Hal : Hasil Pengukuran *Transmission Loss*

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji dengan sampel specimen campuran semen (**Sampel 8**) yang dilakukan pada Kamis, 21 Desember 2023 dengan ukuran  $t = \pm 5$  cm dan diameter ( $\varnothing$ ) =  $\pm 9$  cm, didapatkan hasil pengukuran sebagaimanaditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil *Transmission Loss* Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	63.67
160	42.93
200	47.17
250	48
315	40.44
400	44.45
500	46.38
630	49.65
800	55.18
1000	34.01
1250	31.56
1600	57.99
2000	25.91
2500	50.05
3150	29.26
4000	32.85

**Gambar B. 10** Hasil Pengukuran TL sampel 5% CaCO<sub>3</sub> & ketebalan 5cm



## LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FABX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 21 Desember 2023

No : 409/PRO/VIBRASTIK/XII/2023  
Hal : Hasil Pengukuran *Transmission Loss*

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran *Transmission Loss* pada spesimen uji dengan sampel specimen campuran semen (**Sampel 9**) yang dilakukan pada Kamis, 21 Desember 2023 dengan ukuran  $t = \pm 6$  cm dan diameter ( $\varnothing$ ) =  $\pm 9$  cm, didapatkan hasil pengukuran sebagaimanaditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil *Transmission Loss* Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	<i>Transmission Loss</i> (dB)
125	35.78
160	20.86
200	20.54
250	22.64
315	16.95
400	32.14
500	27.06
630	39.12
800	33.75
1000	27.73
1250	7.78
1600	37.31
2000	12.36
2500	30.33
3150	27.59
4000	38.74

**Gambar B. 11** Hasil Pengukuran TL sampel 5% CaCO<sub>3</sub> & ketebalan 6cm



**LAMPIRAN C**  
**GAMBAR ALAT DAN BAHAN**

## LAMPIRAN C. ALAT DAN BAHAN



**Gambar C.1** Alat *Safety*



**Gambar C.2** Aluminium ADC 12



**Gambar C.3**  $Al_2O_3$



**Gambar C.4** Ayakan



**Gambar C.5** *Burner*



**Gambar C.6** Bor Pengaduk



**Gambar C.7** *Crucible*



**Gambar C.8** *Furnace*



**Gambar C.9** *Gergaji Besi*



**Gambar C.10** *Gelas Ukur*



**Gambar C.11** *Thermogun*



**Gambar C.12** *Magnetic Stirrer*



**Gambar C.13** Neraca Digital



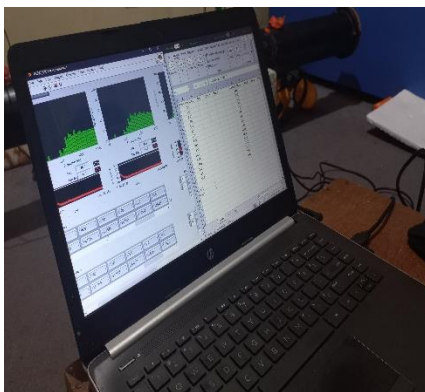
**Gambar C.14** Kulit Telur



**Gambar C.15** Oven



**Gambar C.16** Mesin XRF & XRD



**Gambar C.17** Laptop



**Gambar C.18** Set Tabung Impedansi