

**PENGARUH PENAMBAHAN  $Al_2O_3$  TERHADAP POROSITAS  
DAN DAYA LISTRIK PADA ALUMINIUM (A6061) FOAM  
YANG MENGGUNAKAN  $CaCO_3$  SEBAGAI BLOWING AGENT**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AFRIZAL HARDIANSYAH**  
**NIM. 115060202111001**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2016**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH PENAMBAHAN  $Al_2O_3$  TERHADAP POROSITAS DAN**  
**DAYA LISTRIK PADA ALUMINIUM (A6061) FOAM YANG**  
**MENGGUNAKAN  $CaCO_3$  SEBAGAI BLOWING AGENT**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AFRIZAL HARDIANSYAH**  
**NIM. 115060202111001**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 16 Mei 2016

Dosen Pembimbing I

**Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M. Eng.**  
**NIP. 19750710 199903 1 004**

Dosen Pembimbing II

**Rudianto Raharjo, ST.,MT.**  
**NIP. 19820225 201212 1 002**



Mengetahui  
Ketua Program Studi S1

**Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT.**  
**NIP. 19750802 199903 2 002**

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 16 Mei 2016

Mahasiswa,



Afrizal Hardiansyah  
NIM. 115060202111001

**JUDUL SKRIPSI :**

Pengaruh Penambahan  $Al_2O_3$  terhadap Porositas dan Daya Listrik pada *Aluminium* (A6061) *Foam* yang menggunakan  $CaCO_3$  sebagai *Blowing Agent*

Nama Mahasiswa : Afrizal Hardiansyah

NIM : 115060202111001

Program Studi : Teknik Mesin

Konsentrasi : Teknik Produksi

**KOMISI PEMBIMBING**

Dosen Pembimbing I : Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M. Eng.

Dosen Pembimbing II : Rudianto Raharjo, ST.,MT.

**TIM DOSEN PENGUJI**

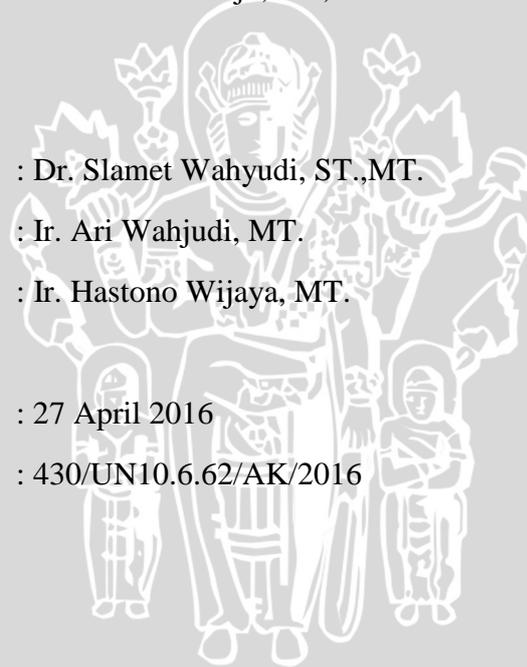
Dosen Penguji 1 : Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT.

Dosen Penguji 2 : Ir. Ari Wahjudi, MT.

Dosen Penguji 3 : Ir. Hastono Wijaya, MT.

Tanggal Ujian : 27 April 2016

SK Penguji : 430/UN10.6.62/AK/2016



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa melimpahkan berkat dan rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan laporan akhir yang harus dipenuhi dalam mata kuliah Tugas Akhir pada Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Untuk memenuhi syarat tersebut maka penyusun melakukan penelitian dengan judul **“Pengaruh Penambahan  $Al_2O_3$  terhadap Porositas dan Daya Listrik pada Aluminium (A6061) Foam yang menggunakan  $CaCO_3$  sebagai *Blowing Agent*”**.

Skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

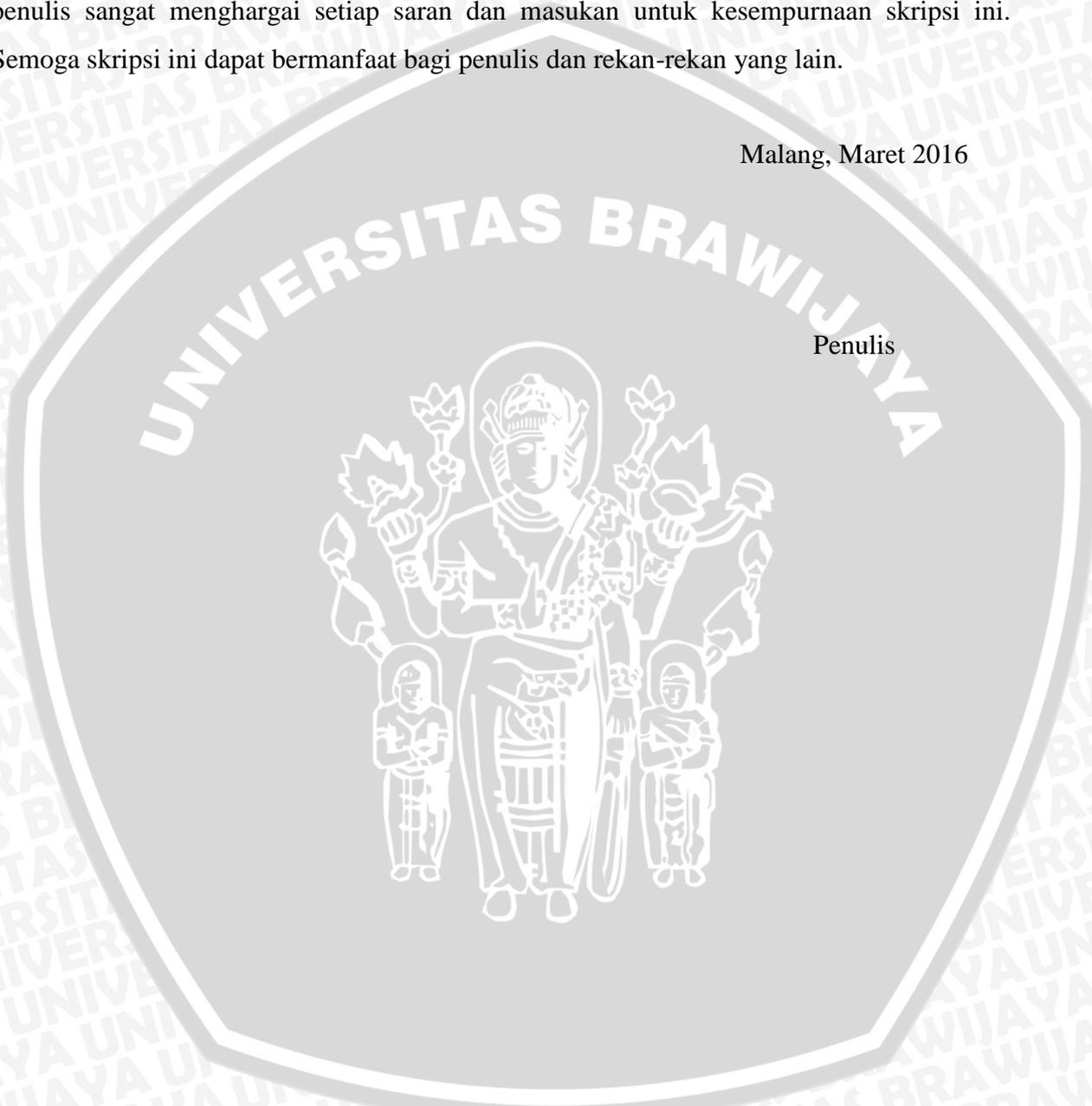
1. Bapak Dr. Eng Nurkholis Hamidi, ST, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami, ST, MT., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing 1 yang telah banyak memberikan pengarahan dan motivasi selama pelaksanaan skripsi.
4. Bapak Rudianto Raharjo, ST.,M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang telah banyak memberikan pengarahan dan motivasi selama pelaksanaan skripsi.
5. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST, M.Eng selaku dosen pembimbing akademik yang banyak memberikan masukan dalam perkuliahan.
6. Bapak Gatot Siswanto, selaku Laboran Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Seluruh dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Bapak (Hartoto), Ibu (Umu Latifah), Kakak (Anjar Anggraini Harum Ningtyas) dan Adik (Naurun Nisa'ul Rahkmah) yang selalu memberikan motivasi, pemahaman, nasehat dan bimbingan.
9. Keluarga Besar Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (Mas Oddy, Mas Djoni, Mas Rio, Mas Kelik, Iyan, Harsa, Darmawan, Jefri, Muklis, Aldi, Febri dan Nurul).
10. Keluarga Besar KAMIKAZE M'11 yang sudah menjadi keluarga dan menjadi penyemangat dalam perjuangan di Teknik Mesin.

- repository.ub.ac.id
11. KBMM (Keluarga Besar Mahasiswa Mesin) yang banyak memberikan pengalaman dalam pembentukan pola pikir dan pola sikap.
  12. Dan semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dan memberikan arahan selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat menghargai setiap saran dan masukan untuk kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan rekan-rekan yang lain.

Malang, Maret 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 <i>Metal Air Battery</i> .....	5
2.2.1 Definisi <i>Metal Air Battery</i> .....	5
2.2.2 Karakteristik <i>Metal Air Battery</i> .....	5
2.2.3 <i>Aluminium Air Battery</i> .....	6
2.3 Aluminium.....	7
2.3.1 Pengolahan Aluminium .....	7
2.3.2 Aluminium Paduan .....	8
2.3.3 Sifat-sifat Aluminium .....	9
2.4 <i>Metal Foam</i> .....	11
2.4.1 Definisi <i>Metal Foam</i> .....	11
2.4.2 Klasifikasi <i>Metal Foam</i> .....	12
2.4.3 Pembuatan <i>Metal Foam</i> .....	12
2.4.4 Pembentukan Pori pada <i>Aluminium Foam</i> .....	13
2.5 <i>Blowing Agent</i> .....	14
2.5.1 Titanium Hidrida (TiH <sub>2</sub> ) .....	14
2.5.2 Kalsium Karbonat (CaCO <sub>3</sub> ) .....	15
2.5.3 Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	16

2.6 Reaksi Elektrokimia .....	16
2.7 Densitas .....	17
2.7.1 Macam - Macam Densitas.....	17
2.8 Porositas .....	18
2.9 Uji SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ).....	18
2.10 Hipotesis .....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>20</b>
3.1 Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian .....	20
3.2 Variabel Penelitian .....	20
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	21
3.4 Instalasi Penelitian .....	23
3.5 Prosedur Penelitian.....	23
3.5.1 Prosedur Uji Porositas.....	23
3.5.2 Prosedur Pembuatan <i>Aluminium Air-Battery</i> .....	24
3.5.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	25
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Pengujian Porositas .....	27
4.1.1 Data Hasil Perhitungan dari Pengujian Porositas.....	27
4.1.2 Pembahasan Hasil Pengujian Porositas.....	33
4.2 Pengujian Daya Listrik .....	35
4.2.1 Data Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Listrik.....	35
4.2.2 Perhitungan Daya Listrik pada Spesimen <i>Aluminium Air-Battery</i> .....	38
4.2.3 Pembahasan Hasil Pengujian Daya Listrik .....	39
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Karakteristik dari Jenis <i>Metal Air Battery</i>	6
Tabel 2.2	Sifat-sifat fisik aluminium	10
Tabel 4.1	Data Hasil Komposisi SEM-EDAX <i>Al-Foam</i> untuk Variasi 1 % $\text{Al}_2\text{O}_3$	28
Tabel 4.2	Data Hasil Komposisi SEM-EDAX <i>Al-Foam</i> untuk Variasi 2 % $\text{Al}_2\text{O}_3$	29
Tabel 4.3	Data Hasil Komposisi SEM-EDAX <i>Al-Foam</i> untuk Variasi 3 % $\text{Al}_2\text{O}_3$	29
Tabel 4.4	Data Hasil Komposisi SEM-EDAX <i>Al-Foam</i> untuk Variasi 4 % $\text{Al}_2\text{O}_3$	29
Tabel 4.5	Data Hasil Perhitungan <i>True Density</i> pada variasi 1%, 2%, 3% dan 4%	30
Tabel 4.6	Data Hasil Perhitungan Porositas Spesimen <i>Aluminium Foam</i>	32
Tabel 4.7	Data Hasil Pengujian Tegangan Listrik <i>Aluminium Air-Battery</i>	36
Tabel 4.8	Data Hasil Pengujian Arus Listrik <i>Aluminium Air-Battery</i>	37
Tabel 4.9	Data Hasil Perhitungan Daya Listrik <i>Aluminium Air-Battery</i>	38

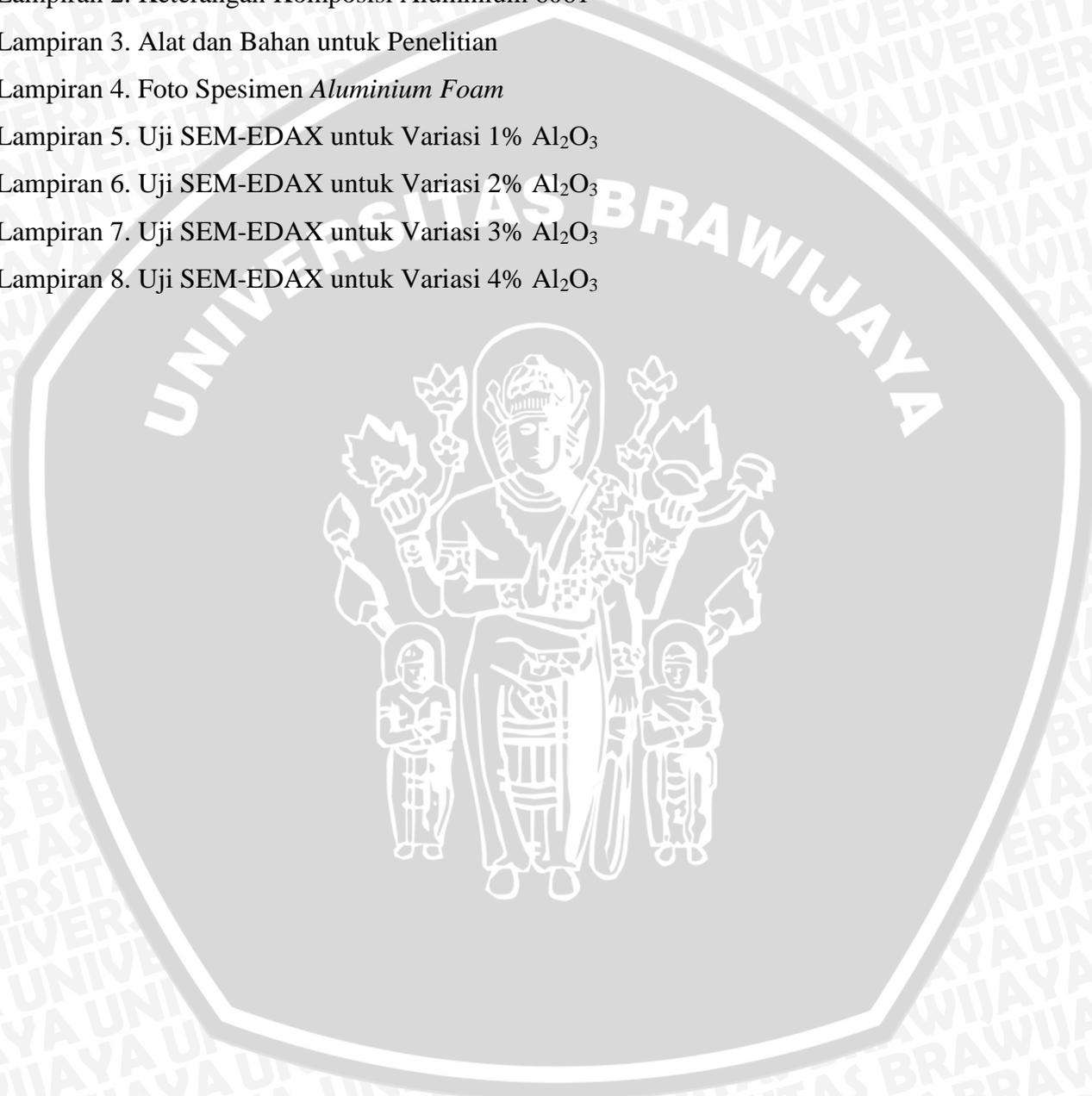


## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	(a) <i>Metal Air Battery</i> ; (b) <i>Lithium Air Battery</i>	6
Gambar 2.2	Jenis-jenis <i>metal foam</i> : (a) <i>Closed-Cell Foam</i> ; (b) <i>Open-Cell Foam</i>	11
Gambar 2.3	Macam-macam metode pembuatan <i>metal foam</i>	12
Gambar 2.4	Tahapan pembentukan pori pada <i>aluminium foam</i>	14
Gambar 2.5	Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )	15
Gambar 2.6	Sistematika Uji SEM	19
Gambar 3.1	Dapur Listrik	21
Gambar 3.2	Timbangan Elektrik	22
Gambar 3.3	Instalasi Penelitian ( <i>Aluminium Air Battery</i> )	23
Gambar 4.1	Spesimen 1% (1.1; 1.2; 1.3) elektroda <i>Aluminium Air-Battery</i>	27
Gambar 4.2	Spesimen 2% (2.1; 2.2; 2.3) elektroda <i>Aluminium Air-Battery</i>	27
Gambar 4.3	Spesimen 3% (3.1; 3.2; 3.3) elektroda <i>Aluminium Air-Battery</i>	28
Gambar 4.4	Spesimen 4% (4.1; 4.2; 4.3) elektroda <i>Aluminium Air-Battery</i>	28
Gambar 4.5	Pengujian <i>apparent density</i> dengan metode uji piknometri	31
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Variasi penambahan $\text{Al}_2\text{O}_3$ terhadap Porositas Rata-Rata pada <i>Aluminium Foam</i>	33
Gambar 4.7	Hasil foto makro spesimen <i>aluminium foam</i> dengan variasi $\text{Al}_2\text{O}_3$ (a) 1%; (b) 2%; (c) 3%; (d) 4%	34
Gambar 4.8	Hasil foto SEM EDAX spesimen <i>aluminium foam</i> dengan variasi $\text{Al}_2\text{O}_3$ (a) 1%; (b) 2%; (c) 3%; (d) 4%	34
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Pengaruh Porositas Rata-rata terhadap Daya Listrik yang dihasilkan <i>Aluminium Air-Battery</i>	39

## DAFTAR LAMPIRAN

- | No.         | Judul  |
|-------------|--|
| Lampiran 1. | Surat Permohonan Ijin Penggunaan Fasilitas Laboratorium Pengecoran Logam |
| Lampiran 2. | Keterangan Komposisi Aluminium 6061                                      |
| Lampiran 3. | Alat dan Bahan untuk Penelitian  |
| Lampiran 4. | Foto Spesimen <i>Aluminium Foam</i>                                      |
| Lampiran 5. | Uji SEM-EDAX untuk Variasi 1% $Al_2O_3$                                  |
| Lampiran 6. | Uji SEM-EDAX untuk Variasi 2% $Al_2O_3$                                  |
| Lampiran 7. | Uji SEM-EDAX untuk Variasi 3% $Al_2O_3$                                  |
| Lampiran 8. | Uji SEM-EDAX untuk Variasi 4% $Al_2O_3$                                  |



## RINGKASAN

Afrizal Hardiansyah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2016, *Pengaruh Penambahan  $Al_2O_3$  terhadap Porositas dan Daya Listrik pada Aluminium (A6061) Foam yang menggunakan  $CaCO_3$  sebagai Blowing Agent*, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Rudianto Raharjo.

Perkembangan teknologi pada bidang transportasi semakin pesat, sehingga berpengaruh terhadap bahan bakar yang merupakan sumber energi utama untuk melakukan proses pembakaran. Dengan meningkatnya permintaan BBM secara terus menerus akan berdampak pada krisis energi yang ada di Indonesia. Salah satu teknologi energi baru yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan menggunakan *teknologi aluminium air-battery*. Teknologi *aluminium air-battery* merupakan salah satu teknologi baterai yang ramah lingkungan yang dapat menghasilkan sumber daya listrik dan penyimpanan energi. Reaksi kimia yang terjadi didapat dari aluminium yang sebagai anoda dan udara sebagai katoda. Sedangkan *aluminium foam* merupakan aluminium hasil rekayasa yang mempunyai struktur pori pada tiap bagian aluminium sehingga berat pada *aluminium foam* lebih ringan dibandingkan aluminium padat. Proses pembuatan *metal foam* terdapat dua cara yaitu melalui fasa cair (*melt process*) dan melalui fasa padat (*powder metallurgy*). Penelitian ini menggunakan cara *melt process* dengan metode *direct foam* yang menggunakan *blowing agent* untuk proses pembuatan *aluminium foam* yang akan dijadikan spesimen untuk elektroda pada *aluminium air-battery*. Porositas pada *aluminium foam* berpengaruh terhadap hasil dari daya listrik. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Al-6061 (Al-Mg-Si), serbuk  $CaCO_3$  sebagai *blowing agent*, dan alumina ( $Al_2O_3$ ) sebagai penstabil gelembung gas. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah penambahan serbuk  $Al_2O_3$  yaitu 1% wt, 2% wt, 3% wt dan 4% wt. Spesimen yang diuji sebanyak 12 spesimen dengan tiap variasi dilakukan pengujian 3 spesimen selama 60 menit dan pengambilan data diambil dalam selang waktu tiap 5 menit. Dari hasil pengujian porositas dan daya listrik tertinggi yang didapat adalah variasi alumina 3% wt dengan prosentase porositas sebesar 55,482% dan daya sebesar 0,024 Watt.

Kata kunci: *Aluminium foam*, *aluminium air-battery*, alumina ( $Al_2O_3$ ), *blowing agent*, porositas, daya listrik

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Dalam dunia modern sekarang ini, perkembangan teknologi pada bidang transportasi semakin pesat, sehingga berpengaruh terhadap bahan bakar yang merupakan sumber energi utama untuk melakukan proses pembakaran. Dengan hal ini bahan bakar yang banyak digunakan adalah Bahan Bakar Minyak (BBM) untuk proses pembakaran pada transportasi. Dengan meningkatnya permintaan BBM secara terus menerus akan berdampak pada krisis energi yang ada di Indonesia. Saat ini sisa cadangan minyak Indonesia mencapai 3,7 miliar barel yang diperkirakan habis 11 tahun kedepan (Akhmad, 2015). Jika Indonesia tidak menemukan persediaan energi terbarukan secepatnya maka bisa jadi akan mengalami kelangkaan BBM.

Dari permasalahan diatas, maka diperlukan solusi yang tepat yaitu dengan mengembangkan energi terbarukan. Energi terbarukan ini merupakan energi dari alam yang berkelanjutan meliputi energi matahari, energi air, energi listrik, energi minyak bumi dan gas, sedangkan energi terbatas atau tidak dapat diperbarui di alam meliputi energi yang berasal dari fosil dan batubara. Seperti energi surya yang dapat dimanfaatkan oleh semua pihak untuk mencukupi kebutuhan pembangkit tenaga listrik di Indonesia. Energi baru adalah bentuk energi yang dihasilkan dari hasil penelitian teknologi baru, baik yang berasal dari energi terbarukan maupun energi tak terbarukan, antara lain *coal bed methane*, batubara yang dicairkan (*liquefied coal*), batubara yang digaskan (*gassified coal*), dan nuklir (Nahattands, 2006). Teknologi energi baru yang tepat untuk mengatasi permasalahan diatas yaitu dengan menggunakan teknologi baterai ramah lingkungan yaitu *aluminium-air battery*. Teknologi *aluminium air battery* merupakan salah satu teknologi baterai yang ramah lingkungan yang dapat menghasilkan sumber daya listrik dan penyimpanan energi. Reaksi kimia yang terjadi didapat dari aluminium yang sebagai anoda dan udara sebagai katoda. Banyak keuntungan aluminium yang diinginkan bila digunakan yaitu memiliki daya hantar listrik yang tinggi, emisi rendah, portabilitas, kepadatan energi yang tinggi, berat yang ringan dan tahan korosi. Sedangkan *aluminium foam* merupakan aluminium hasil rekayasa yang mempunyai struktur pori pada tiap bagian aluminium sehingga berat pada *aluminium foam* lebih ringan dibandingkan aluminium padat.

Namun, dalam perkembangan teknologi *aluminium air battery* terdapat kekurangan yang menjadi menghambat dalam proses teknologi *aluminium air battery* sehingga kurang dikembangkan oleh masyarakat pada umumnya. Kekurangan yang didapat pada *aluminium air battery* adalah korosi pada *aluminium foam* sebagai elektroda akibat reaksi reduksi yang berlebihan dan akan menghambat reaksi elektrokimia. Selain itu, kurangnya tegangan listrik bila porositas pada *aluminium foam* terlalu rendah. Oleh karena itu dalam mengoptimalkan kinerja baterai dengan menyempurnakan desain dari baterai aluminium, dan meningkatkan kapasitas penyerapan tegangan dan energi.

**Irawan, dkk. (2015)** melakukan penelitian sebelumnya yang berjudul Pengaruh Penambahan *Blowing Agent*  $\text{CaCO}_3$  terhadap Porositas dan Tegangan Listrik pada A-6061 *Foam* sebagai *Air Electrode* dalam *Al-Air Battery*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh porositas pada logam sebagai elektroda terhadap tegangan listrik *aluminium air-battery*. Hasil dari penelitian ini *aluminium-air battery* dengan tebal elektroda 5 mm dan diameter penampang 6 cm dapat menghasilkan tegangan listrik maksimal pada porositas 21,9% yang mencapai 1103 mV. Dimana pada prosentase porositas elektroda tersebut memiliki luas bidang kontak yang cukup dengan jumlah kandungan aluminium yang cukup banyak, sehingga laju reaksi elektrokimia pada sel *aluminium-air battery* yang cukup optimal.

Dalam pengembangan teknologi *aluminium air battery* dengan menggunakan *aluminium foam* sebagai elektroda diharapkan mampu meningkatkan kinerja dari baterai tersebut dan dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Dalam penelitian ini, proses pembuatan *aluminium foam* sebagai elektroda menggunakan proses pengecoran logam dengan metode *stir casting* dengan  $\text{CaCO}_3$  sebagai *blowing agent* dan ditambahkan serbuk alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang berfungsi untuk memperbaiki persebaran *blowing agent* secara merata (*wettability*) dari serbuk kalsium karbonat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diungkap dalam penelitian kali ini adalah “Bagaimana pengaruh penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terhadap porositas dan daya listrik pada *aluminium* (A6061) *foam* yang menggunakan  $\text{CaCO}_3$  sebagai *blowing agent*”

## 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu meluas, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Aluminium yang digunakan adalah aluminium series A6061.
2. Pembuatan elektroda *aluminium foam* menggunakan metode *direct foam*.
3. *Blowing agent* yang digunakan yaitu serbuk kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )
4. Pengambilan data daya listrik menggunakan multimeter.
5. Elektrolit yang digunakan adalah larutan NaCl 6 M

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terhadap porositas dan daya listrik pada *aluminium (A6061) foam* yang menggunakan  $\text{CaCO}_3$  sebagai *blowing agent*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dapat menerapkan teori yang didapat pada saat perkuliahan terutama yang berkenaan dengan proses pengecoran logam.
2. Memberikan masukan yang bermanfaat bagi dunia perindustrian dalam peningkatan kualitas material.
3. Mengetahui pengaruh porositas pada elektroda terhadap daya listrik *aluminium air battery*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

**Irawan, dkk. (2015)** melakukan penelitian yang berjudul Pengaruh Penambahan *Blowing Agent*  $\text{CaCO}_3$  terhadap Porositas dan Tegangan Listrik pada A6061 *Foam* sebagai *Air Electrode* dalam *Al-Air Battery*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh porositas pada logam sebagai elektroda terhadap tegangan listrik *aluminium air-battery*. Hasil dari penelitian ini pengujian sel *aluminium-air battery* dengan tebal 5 mm dan diameter penampang 6 cm dapat menghasilkan tegangan listrik optimal pada porositas 21,9% yang mencapai 1103 mV. Dimana pada persentase porositas elektroda tersebut memiliki luas bidang kontak yang cukup dengan persentase volume aluminium yang cukup banyak, sehingga kecepatan dan banyak reaksi elektrokimia pada tingkatan yang cukup optimal.

**Alizadeh, dkk. (2011)** penelitian sebelumnya dengan judul *Compressive Properties and Energy Absorption Behavior of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composite Foam Synthesized by Space-Holder Technique*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui sifat kekuatan tekan dan perilaku penyerapan energi dari *Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foam* komposit dengan menggunakan teknik *space-holder*. Pengujian dilakukan pada sampel *Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foam* komposit dengan memvariasikan fraksi volume  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mulai dari 0-10% dan memvariasikan fraksi porositas yaitu 50%, 60% dan 70%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat tekan dan perilaku penyerapan energi pada *aluminium foam* tergantung pada fraksi volume  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan fraksi porositas. Meningkatnya fraksi volume  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dari 0% sampai dengan 2% menyebabkan peningkatan kapasitas penyerapan tegangan dan energi. Tetapi meningkatnya fraksi volume  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dari 2% hingga 10% menyebabkan penurunan tegangan dan kapasitas penyerapan energi. Tingkat penurunan ini menurun dengan bertambahnya fraksi porositas.

**Yang, dkk. (2008)** melakukan penelitian mengenai *Study on Fabrication and Foaming Mechanism of Mg Foam Using CaCO<sub>3</sub> as Blowing Agent*. Pada penelitian ini menjelaskan bahwa pembuatan *Mg foam* menggunakan metode *melt foaming* dengan  $\text{CaCO}_3$  sebagai *blowing agent* dan dua *Mg foam* paduan, AZ90 dan AM60 telah berhasil dibuat. Dalam proses *foaming*, yang menjadi *blowing gas* bukanlah  $\text{CO}_2$  dari dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  tetapi  $\text{CO}$  gas yang dilepaskan dari reaksi cair-padat antara Mg dan  $\text{CaCO}_3$ .

Penelitian ini menggunakan temperatur untuk *foaming* yang melelehkan Mg ke dalam struktur selular yang baik adalah 690-720°C.

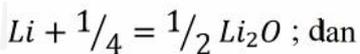
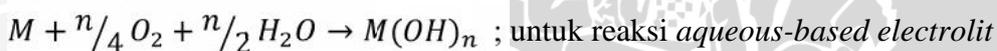
## 2.2 Metal Air Battery

### 2.2.1 Definisi Metal Air Battery

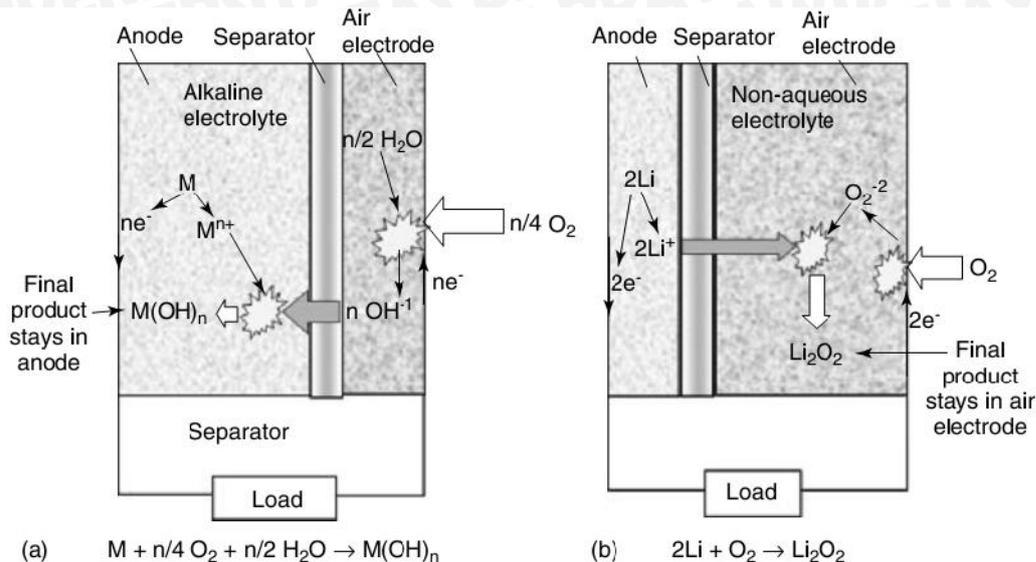
*Metal Air Battery* merupakan teknologi baterai baru yang dimana terdapat katoda yang digunakan adalah udara, anoda yang digunakan adalah *metal alloys* (seperti Zn, Li, Al, Mg dan Ni) atau *metal foam*, dan menggunakan cairan elektrolit diantara katoda dan anoda. Dalam prosesnya berbeda dengan baterai lainnya yang harus membawa katoda dan anoda ke tempat penyimpanan, untuk *metal air battery* ini katoda yang digunakan berupa oksigen yang di dapat dari udara di lingkungan tanpa harus dibawa ke penyimpanan. *Metal Air Battery* memiliki energi spesifik yang lebih tinggi dibandingkan dengan baterai pada umumnya (baterai primer dan baterai *rechargeable*) dan mulai dipergunakan sekitar tahun 1960-an sampai awal 1970-an.

### 2.2.2 Karakteristik Metal Air Battery

*Metal air battery* pada umumnya menggunakan *aqueous-based elektrolit* tapi ada juga yang menggunakan *nonaqueous-based elektrolit*, reaksinya adalah



Secara umum, proses reaksi kimia yang terjadi pada *aqueous-based elektrolit* dapat dilihat pada persamaan (1) diatas, dimana M adalah Zn, Al, Mg, Fe, dan Ca. Dan yang terpenting dari *metal air battery* yaitu hidroksida (OH) merupakan pembawa ion yang ditransfer dari elektroda udara ke anoda.



Gambar 2.1 (a) *Metal Air Battery* ; (b) *Lithium Air Battery*  
 Sumber : *Handbook of Battery Materials, 2nd Edition*. Halaman 760

Pada gambar 2.1(a) menjelaskan skematik dari proses reaksi yang terdapat dalam *metal air battery* dan dijelaskan dari persamaan (1). Sedangkan gambar 2.1(b) menjelaskan sebuah *lithium air battery* yang bersumber dari elektrolit *nonaqueous*, yang reaksinya diakumulasi di elektroda udara. Ada beberapa banyak jenis logam sebagai anoda untuk *metal air battery* yang banyak dikembangkan, dan tiap jenis logam tersebut memiliki karakteristik berbeda yang dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik dari Jenis *Metal Air Battery*

Anoda Logam	Reaksi Keseimbangan Elektrokimia (Ah/g)	Tegangan Teoritis (V)	Perubahan Valensi	Energi Spesifik (kWh/kg)	Voltase Aktual (V)
Li	3.86	3.4	1	13	2.4
Ca	1.34	3.4	2	4.6	2
Mg	2.2	3.1	2	6.8	1.2-1.4
Al	2.98	2.7	3	8.1	1.1-1.4
Zn	0.82	1.6	2	1.3	1-1.2
Fe	0.96	1.3	2	1.2	1

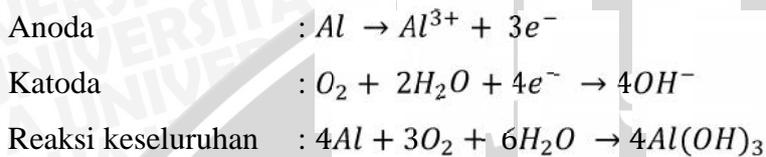
Sumber : *Handbook of Batteries 3<sup>rd</sup> edition*. Halaman 1121

### 2.2.3 Aluminium Air Battery

Dalam perkembangan *metal air battery*, logam aluminium banyak dipakai sebagai anoda karena memiliki keunggulan dalam tegangan dan energi yang spesifik. Selain

aluminium, logam yang dapat digunakan sebagai anoda pada *metal air battery* adalah lithium (Li), kalsium (Ca), magnesium (Mg), seng (Zn), besi (Fe). Namun yang sering digunakan pada *metal air battery* adalah logam aluminium karena ekonomis dan mudah didapat. Logam aluminium dapat menghasilkan energi spesifik 8,1 kWh/kg dan dapat menghasilkan tegangan 1,1 – 1,4 volt. Aluminium dapat digunakan sebagai anoda pada baterai yang dapat menghasilkan reaksi kimia sebesar 2980 Ah kg<sup>-1</sup>.

Sistem *aluminium air battery* ini menggunakan reduksi oksigen dari lingkungan sekitar sebagai katoda. Dengan reaksi pada *aluminium air battery* adalah :



Dengan penggunaan elektrolit alkali dapat menyebabkan korosi pada anoda aluminium sehingga kemampuan yang dihasilkan *aluminium air battery* kurang maksimal. Tetapi untuk mengurangi korosi tersebut dapat ditanggulangi oleh penambahan inhibitor sebagai zat pelindung seperti penambahan asam fosfat atau asam sitrat untuk elektrolit sehingga meningkatkan stabilitas zat besi dan seng.

## 2.3 Aluminium

### 2.3.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium merupakan logam *nonferrous* yang memiliki banyak keunggulan. Termasuk logam ringan yang memiliki ketahanan terhadap korosi berupa elemen-elemen di atmosfer, oli, air (termasuk air garam) dan bahan kimia lainnya. Aluminium sangat menarik bagi dunia industri, karena memiliki sifat yang ringan, ketahanan korosi yang tinggi, dapat dibentuk dengan baik, densitasnya rendah, serta memiliki daya konduktivitas yang tinggi, baik konduktivitas panas maupun listrik. Namun pada aluminium murni memiliki kelemahan dalam hal kekuatan yang kurang baik dan lebih rendah dibandingkan dengan logam lain, khususnya baja. Tetapi apabila aluminium diberi paduan (*alloying*) dengan unsur lain seperti Magnesium (Mg), Silikon (Si), atau Tembaga (Cu) akan memiliki sifat fisik dan mekanis yang baik.

Penggunaan aluminium di dunia permesinan dan industri untuk menunjang proses fabrikasi telah banyak diterapkan oleh berbagai perusahaan material. Aluminium digunakan dalam bidang yang luas, bukan hanya untuk peralatan rumah tangga tapi juga

dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi-konstruksi yang lain. (Kalpakjian, 1990 : 187)

### 2.3.2 Aluminium Paduan

Logam aluminium murni dapat dengan mudah dipadukan dengan logam lain. Paduan aluminium yang sering digunakan antara lain :

#### 1. Paduan Al-Cu

Paduan ini memiliki kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Termasuk paduan yang dapat diperlakukan panas. Paduan aluminium ini telah digunakan secara luas pada produk pengecoran dan tempa yang mempunyai kekuatan dan *toughness* yang tinggi.

#### 2. Paduan Al-Si

Merupakan paduan yang memiliki fluiditas, mampu cor, dan ketahanan korosi yang baik. Aluminium silikon ini juga memiliki *thermal expansion* yang rendah sehingga mengurangi terjadinya penyusutan dalam pengecoran logam.

#### 3. Paduan Al-Mg

Jenis ini termasuk paduan tidak dapat diberi perlakuan panas, tetapi memiliki ketahanan korosi yang baik. Selain itu paduan ini memiliki *machinability* yang bagus dan tampilan yang menarik entah hanya sebagai produk cor, dipoles atau di *anodizing*.

#### 4. Paduan Al-Zn

Merupakan paduan yang banyak mengandung unsur aluminium dan memiliki ketahanan terhadap korosi. Jenis ini termasuk jenis paduan yang memiliki kekuatan tertinggi diantara paduan lainnya. Dapat diberi perlakuan panas dan daya tahan korosinya lebih baik apabila ditambah dengan unsur paduan lainnya. Penggunaan paduan ini yang paling besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara. (Kaufiman, 2004:13)

#### 5. Paduan Al-Cu-Si

Paduan aluminium yang sering digunakan adalah paduan aluminium yang mengandung tembaga dan silikon. Jumlah penambahan kedua unsur tersebut bervariasi sehingga komposisi unsur paduan tembaga lebih mendominasi dan sisanya adalah silikon. Tembaga menyebabkan meningkatkan kekuatan dan *machinability*. Sedangkan silikon meningkatkan mampu cor dan mengurangi *hot shortness*.

#### 6. Paduan Al-Mg-Si

Paduan ini merupakan jenis paduan yang dapat diberi perlakuan panas dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang baik. Jika magnesium dan silikon dipadukan bersama aluminium, maka akan terbentuk

magnesium silikat ( $Mg_2Si$ ) yang banyak didominasi mengandung silikon, sehingga penambahan magnesium diperlukan hanya untuk memperoleh efek pengerasan dari magnesium silikat tersebut.

Jenis dan pengaruh unsur-unsur paduan terhadap perbaikan sifat aluminium antara lain:

1. Silikon (Si)

Dengan atau tanpa paduan lainnya silikon mempunyai ketahanan terhadap korosi. Bila bersama aluminium ia akan mempunyai kekuatan yang tinggi setelah perlakuan panas, tetapi silikon mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang jelek, selain itu juga mempunyai ketahanan koefisien panas yang rendah.

2. Tembaga (Cu)

Dengan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasannya dan kekuatannya karena tembaga bisa memperhalus struktur butir dan akan mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu tempa, keuletan yang baik dan mudah dibentuk.

3. Magnesium (Mg)

Dengan unsur magnesium pada aluminium akan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu las serta kekuatannya cukup.

4. Nikel (Ni)

Dengan unsur nikel aluminium dapat bekerja pada temperature tinggi, misalnya piston dan silinder head untuk motor.

5. Mangan (Mn)

Dengan unsur mangan aluminium sangat mudah dibentuk, tahan korosi baik, sifat dan mampu lasnya baik.

### 2.3.3 Sifat-sifat Aluminium

Dalam penggunaannya, aluminium cukup diminati dalam industri pengecoran. Disamping titik lebur yang rendah, aluminium memiliki beberapa keunggulan dibanding besi dan baja, dimana aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi serta hantaran listrik yang baik dan mudah untuk pengerjaan lanjutan (De Garmo, 1998:157). Aluminium mempunyai beberapa sifat fisik yang ditunjukkan pada tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (kg/dm <sup>3</sup> ) (20°C)	2,6989	2,71
Titik Cair (°C)	660,2	653-657
Panas Jenis (Cal/g°C)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,91	59
Tahanan listrik koefisien temperatur (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (M/°C) (20-100°C)	23,86 x 10 <sup>6</sup>	23,5 x 10 <sup>6</sup>
Jenis kristal, konstanta kisi	FCC, = 4,013kX	FCC, = 4,013kX

Sumber : Surdia dan Chijiwa,1999:134

Sedangkan untuk sifat-sifat mekanik dari aluminium yaitu sebagai berikut:

#### 1. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas aluminium rendah, jadi harus dipertimbangkan pada saat bahan tersebut dikerjakan dingin karena adanya spring back atau pengurangan regangan pada saat beban pembentukan dihilangkan. Keburukan yang paling mendasar dari segi teknik adalah sifat elastisitas aluminium sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemaduan maupun dengan heat treatment dan sifatnya yang getas.

#### 2. Kekuatan *creep*

Kekuatan *creep* aluminium biasanya dibatasi penggunaannya hanya pada temperatur yang rendah. Sebagai contoh untuk campuran jenis 20185-T61 memiliki kekuatan luluh 48000 psi pada temperatur ruang, namun hanya akan memiliki kekuatan luluh 17000 psi pada temperatur 250°C. Kekuatan luluh beberapa campuran yang lain menunjukkan penurunan yang serupa pada temperatur yang sama.

#### 3. Ketahanan Korosi

Sifat tahan korosi aluminium diperoleh akibat pembentukan lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium, lapisan oksida ini melekat pada permukaan yang kuat dan rapat serta sangat stabil. Paduan aluminium tahan terhadap konsentrasi asam nitrit, asam organik, dan asam sulfur. Ketahanan korosi aluminium juga menunjukkan ketahanan yang bagus.

#### 4. Ketahanan aus

Ketahanan aus dari aluminium sangat jelek, hal ini bisa dilihat dari harga batas luluh dan kekerasan yang sangat rendah. Namun sifat ini dapat diperbaiki dengan aluminium dengan logam lainnya seperti Cu.

## 5. Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur adalah kekuatan aluminium untuk menahan gaya-gaya yang berusaha melengkungkan aluminium. Pada balok sederhana yang dikenai beban maka bagian bawah akan mengalami bagian tarik dan bagian atas mengalami tegangan tekan maksimal. Tegangan ini secara perlahan-perlahan menurun kebagian tengah dan menjadi nol pada sumbu netral. Kekuatan lentur aluminium biasanya dinyatakan dengan modulus patah.

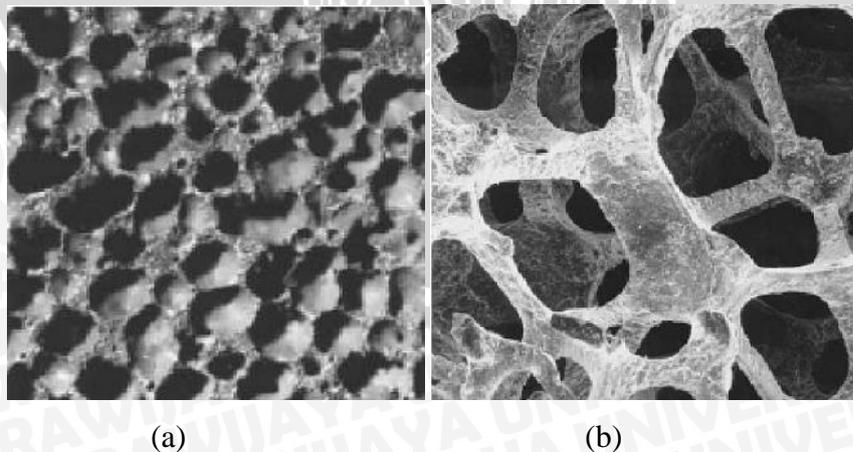
### 2.4 Metal Foam

#### 2.4.1 Definisi Metal Foam

*Metal foam* (logam busa) merupakan suatu logam yang memiliki tingkat porositas yang tinggi pada struktur material logamnya yang solid dengan volume fraksi pori sebesar 75%-95%, istilah umumnya sering disebut logam berpori. Logam busa disebut juga *cellular foam* yang didefinisikan suatu “ruang” dalam material yang terbagi menjadi cell-cell tertentu yang memiliki batas-batas antar cell yang terbentuk dari logam padat.

#### 2.4.2 Klasifikasi Metal Foam

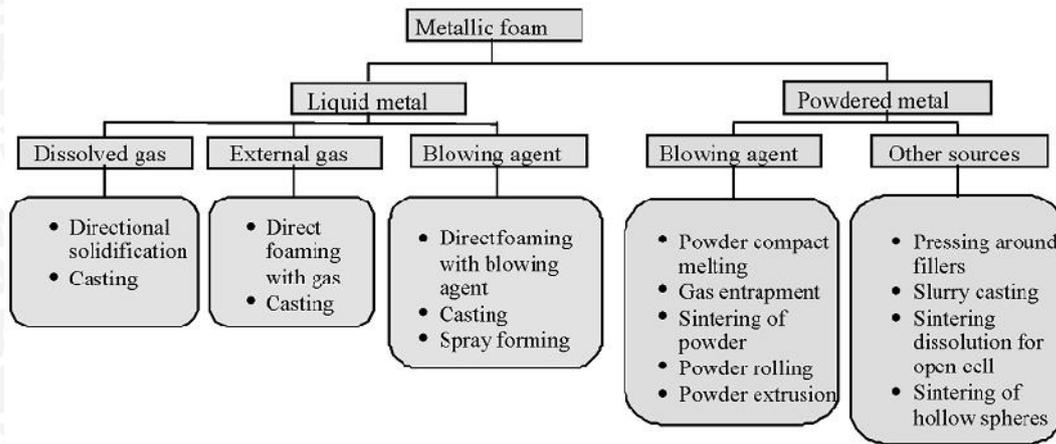
Dilihat dari struktur porinya, *metal foam* ini memiliki dua jenis yaitu *Closed-Cell Foam* dan *Open-Cell Foam*. *Closed-Cell Foam* adalah logam berpori yang cell-cellnya tertutup lebar sebesar 3 mm. Sedangkan untuk *Open-Cell Foam* adalah logam berpori yang tiap cell-nya terhubung dengan lebar antar cell-nya sekitar 5 mm. Jenis-jenis *metal foam* dapat di ilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jenis-jenis *metal foam* : (a)*Closed-Cell Foam* ; (b)*Open-Cell Foam*  
Sumber : Srivastava dan Sahoo, 2007:734

### 2.4.3 Pembuatan *Metal Foam*

Pada dasarnya proses pembuatan *metal foam* terdapat dua cara yaitu melalui fasa cair (*melt process*) dan melalui fasa padat (*powder metallurgy*). Meskipun terdapat perbedaan pada pembuatan *metal foam*, namun memiliki tujuan yang sama yaitu memproduksi *metal foam* dengan ukuran dan bentuk yang sama.



Gambar 2.3 Macam-macam metode pembuatan *metal foam*  
Sumber : Srivastava dan Sahoo, 2007:735

Proses pembuatan *metal foam* pada fasa cair umumnya menggunakan suatu bahan yang dapat membentuk pori (*blowing agent*). *Blowing agent* ini dipilih karena dapat menghasilkan gas saat dipanaskan bersamaan dengan logam yang akan dijadikan logam busa (*metal foam*). *Blowing agent* yang dapat digunakan untuk menghasilkan gas adalah zat kimia seperti  $\text{TiH}_2$ ,  $\text{ZrH}_2$ ,  $\text{MgCO}_3$  dan  $\text{SrCO}_3$ . Selain menggunakan *blowing agent*, pembuatan *metal foam* pada fasa cair dapat dilakukan dengan metode *dissolved gas* dan *external gas*. Pada metode ini pembuatan *metal foam* dibentuk oleh gas-gas yang terlarut dalam logam cair. Pada saat solidifikasi gas yang terlarut tadi meninggalkan logam sehingga mengakibatkan bentuk berpori. Gas yang digunakan pada metode *dissolved gas* adalah hidrogen dan oksigen, sedangkan untuk metode *external gas* menggunakan nitrogen dan argon.

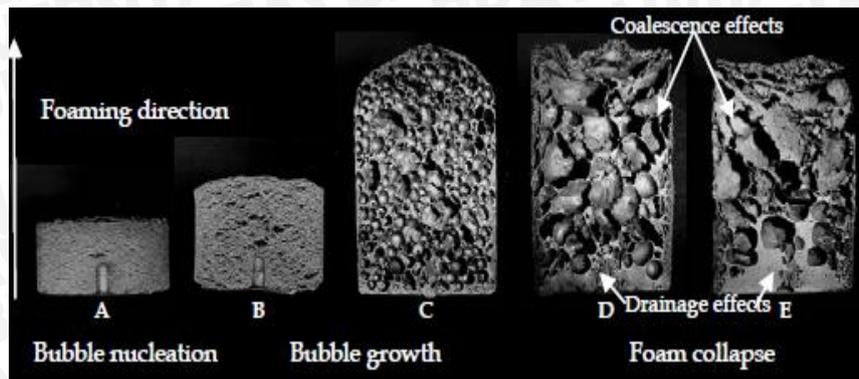
Untuk pembuatan *metal foam* dengan fasa padat dalam prosesnya melibatkan proses metalurgi serbuk. Metode ini banyak memiliki keuntungan dibandingkan dengan metode yang lain. Keuntungannya adalah dapat mengontrol bentuk sel, ukuran sel, dan distribusi porositas yang baik dan didapat bentuk berpori yang diinginkan.

#### 2.4.4 Pembentukan Pori pada *Aluminium Foam*

*Aluminium foam* merupakan material logam padat yang memiliki struktur pori pada seluruh bagiannya. Struktur pori pada material *aluminium foam* ini terbentuk dari adanya gas yang terperangkap atau terjebak dalam aluminium cair dan ikut tersolidifikasi. Proses *foaming* pada pembuatan *aluminium foam* dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam berdasarkan dari cara gas tersebut dibawa ke dalam aluminium cair yaitu dengan sumber gas internal dan gas eksternal. Untuk yang sumber gas internal yaitu terbentuknya gas berasal dari dekomposisi termal serbuk *blowing agent*. Sedangkan sumber gas eksternal yaitu terbentuknya gas berasal dari luar dengan cara meniupkan atau menyuntikkan gas melalui pipa kapiler, gas yang biasanya digunakan yaitu gas argon, nitrogen dan oksigen. Atmosfer, kecepatan pemanasan dan suhu dari siklus pembusaan termal adalah beberapa parameter manufaktur yang mempengaruhi kualitas dan sifat busa yang dihasilkan.

Proses pembusaan (*foaming*) dapat dibagi menjadi tiga tahapan; nukleasi gelembung, pertumbuhan gelembung dan pengempisan (*collapses*) busa yang dapat dilihat gambar 2.4. Nukleasi gelembung terjadi biasanya dalam keadaan padat, tekanan yang dihasilkan oleh gas bisa merusak bentuk dari matriks logam, proses ini merupakan proses yang dikendalikan oleh prinsip pengolahan logam semi padat, dinamika pertumbuhan gelembung diatur oleh dekomposisi termal dari serbuk *blowing agent* dan proses peleburan logam. Bentuk dari gelembung gas sangat beragam selama proses pembusaan. Pertumbuhan gelembung gas mungkin tidak seragam karena hal ini tergantung pada karakteristik bahan atau material yang digunakan. Perubahan morfologi busa dapat diklasifikasikan menjadi 4 macam, yaitu:

1. Aliran adalah pergerakan gelembung gas terhadap satu sama yang lainnya disebabkan oleh kekuatan eksternal atau perubahan tekanan gas internal misalnya selama proses pembusaan.
2. *Drainase* (pengeringan) adalah aliran logam cair yang melewati perbatasan Plateau - perpotongan tiga film busa disebabkan oleh gaya kapiler dan gravitasi.
3. Pecah (atau pergabungan) adalah ketidakstabilan yang terjadi secara tiba-tiba dalam sebuah film yang mengarah pada hilangnya gelembung gas.
4. Pengasaran (atau *Ostwald ripening*) adalah difusi gas yang terjadi secara lambat dari gelembung kecil menjadi gelembung yang lebih besar disebabkan oleh perbedaan tekanan gas internal.



Gambar 2.4 Tahapan pembentukan pori pada *aluminium foam*  
 Sumber : Duarte dan Oliveira,2012:61

## 2.5 Blowing Agent

*Blowing agent* atau sering disebut *foaming agent* merupakan zat kimia yang dapat menghasilkan gelembung gas melalui proses *foaming* untuk membuat struktur berpori pada material (karet, plastik, keramik dan logam).

Pemilihan serbuk *blowing agent* sangat mempengaruhi keberhasilan dari proses *foaming* atau pembusaan. Karakteristik dari serbuk logam harus diketahui agar dalam pemilihan serbuk *blowing agent* didapatkan serbuk logam yang maksimal. Karakteristik tersebut berupa kemurnian, ukuran partikel, unsur-unsur paduan kimia, perilaku paduannya dan dekomposisi *thermal* dari *blowing agent*. *Blowing agent* yang biasa digunakan untuk membuat *aluminium foam* paduan adalah hidrida logam, seperti titanium hidrida ( $\text{TiH}_2$ ), zirconium hidrida ( $\text{ZrH}_2$ ) dan magnesium hidrida ( $\text{MgH}_2$ ) (Banhart, 2000). Senyawa logam lainnya seperti oksida, nitride, sulfide, dan karbonat juga cocok untuk digunakan proses pembuatan *foaming* sebagai *blowing agent*.

### 2.5.1 Titanium Hidrida ( $\text{TiH}_2$ )

Titanium Hidrida ( $\text{TiH}_2$ ) merupakan salah satu senyawa penghasil gas yang berasal dari titanium dan hidrogen, dengan hidrida yang sangat reaktif.  $\text{TiH}_2$  telah banyak digunakan dalam pembuatan *metal foam* sebagai *blowing agent*, baik melalui jalur cair (*melt process*) atau jalur padat (*powder metallurgy*). Titanium hidrida merupakan senyawa penghasil gas yang baik dan sangat teruji mampu menghasilkan *foam* yang baik untuk *metal foam*, namun kekurangannya adalah senyawa ini sangat mahal bila digunakan untuk produksi skala kecil.

### 2.5.2 Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>)

Kalsium karbonat umumnya berwarna putih dan sering di jumpai pada batu kapur, kalsit, marmer dan batu gamping. Seperti namanya, kalsium karbonat ini terdiri dari 2 unsur kalsium dan 1 unsur karbon dan 3 unsur oksigen. Setiap unsur karbon terikat kuat dengan 3 oksigen, dan ikatan ini ikatannya lebih longgar dari ikatan antara karbon dengan kalsium pada satu senyawa.



Gambar 2.5 Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>)  
Sumber : indonesian.alibaba.com (2015)

Kalsium karbonat memiliki densitas yang hampir sama dengan aluminium yaitu sekitar 2710 kg m<sup>-3</sup> sehingga dapat terdispersi secara baik pada aluminium cair dan telah digunakan untuk membuat *metal foam*. Proses pembusaan (*foaming*) pada aluminium paduannya dengan menggunakan serbuk CaCO<sub>3</sub> sebagai *blowing agent* disebabkan oleh dekomposisi termal dari kalsium karbonat yang berhubungan dengan aluminium cair pada suhu di atas 700°C. Reaksi kimia yang terjadi pada serbuk CaCO<sub>3</sub> diakibatkan oleh adanya panas yang ditimbulkan oleh aluminium cair dengan suhu peleburan yang digunakan yaitu 750°C. Adapun reaksi yang terjadi dapat dilihat berikut ini:



Pada reaksi tersebut, terlihat bahwa serbuk CaCO<sub>3</sub> jika terkena panas akan pecah dan berubah menjadi serbuk kalsium oksida (CaO). Hal ini disebabkan karena pada reaksi yang terjadi tersebut tiap molekul dari kalsium berikatan dengan 1 atom oksigen sedangkan molekul yang lainnya berikatan dengan oksigen dan menghasilkan gas karbon monoksida (CO<sub>2</sub>). Gas inilah yang dimanfaatkan untuk proses pembusaan (*foaming*) pada proses pembuatan *aluminium foam*.

### 2.5.3 Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

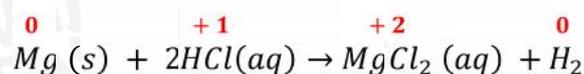
Alumina atau yang sering disebut dengan *Aluminium Oxide* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) merupakan salah satu jenis keramik oksida yang keras dan digunakan dalam jangkauan aplikasi yang luas. Beberapa aplikasi dari alumina antara lain *spark plugs*, *wear part*, *milling media* dan insulator. Aluminium oksida mempunyai rumus kimia yaitu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Aluminium oksida memiliki wujud padat berwarna putih tidak berbau dan sangat higroskopik. Pada umumnya, aluminium oksida memiliki bentuk kristal yang disebut korundum. Aluminium oksida berperan untuk proses ketahanan logam aluminium dari korosi. Aluminium oksida memiliki sifat mekanik yang baik contohnya kekuatan dan kekerasan yang tinggi, sehingga banyak juga digunakan sebagai amplas atau gerinda, sebagai bahan mata pahat untuk proses permesinan dengan kecepatan yang tinggi dan pemotongan logam-logam yang keras.

Dalam penelitian ini, alumina digunakan sebagai serbuk penambah yang fungsinya untuk memperbaiki sifat mampu basah (*wettability*) dari serbuk CaCO<sub>3</sub> sebagai *blowing agent*. *Wettability* merupakan kemampuan suatu cairan untuk membasahi seluruh permukaan zat padat, sehingga matrik mampu membasahi partikel (CaCO<sub>3</sub>) yang dapat meningkatkan sifat mekanis yang dihasilkan. Tujuannya agar saat serbuk kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dicampurkan ke dalam aluminium cair mampu terdispersi secara merata ke seluruh bagian dan mampu terdekomposisi sempurna. Selain itu juga penambahan serbuk alumina berfungsi sebagai partikel penstabil gelembung gas yang berasal dari dekomposisi serbuk CaCO<sub>3</sub>.

### 2.6 Reaksi Elektrokimia

Reaksi elektrokimia merupakan salah satu cabang ilmu kimia yang mengkaji tentang perubahan bentuk energi listrik menjadi energi kimia dan sebaliknya. Proses elektrokimia melibatkan reaksi redoks yang mana terdapat pelepasan energi oleh reaksi spontan dan dikonversi menjadi energi listrik atau biasanya energi listrik yang disebabkan karena terjadinya reaksi tidak spontan.

Dalam reaksi redoks, elektron berpindah dari satu substansi ke substansi lainnya. Seperti contoh reaksi redoks antara manesium dan asam klorida di bawah ini :



Pada reaksi yang ditunjukkan, angka yang berwarna merah adalah angka oksidasi, apabila angka oksidasi yang dipunyai oleh sebuah elemen bertambah hal itu menunjukkan

elemen tersebut kehilangan elektron selama proses oksidasi dengan ditandai peningkatan angka oksidasi dari sebuah elemen. Pada proses reduksi, ada penurunan angka oksidasi hasil dari pemasukan electron dari sebuah elemen. Pada proses sebelumnya logam Mg dioksidasi dan ion  $H^+$  direduksi dan ion  $Cl^-$  adalah ion yang diam saja.

## 2.7 Densitas

Densitas (simbol:  $\rho$  – Greek: rho) adalah sebuah ukuran massa per volum. Rata-rata kepadatan dari suatu obyek yang sama massa totalnya dibagi oleh volume totalnya.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2-1)$$

dengan:

$\rho$  = kepadatan sebuah benda ( $gr/cm^3$ ).

$m$  = massa total benda (gr).

$v$  = volume benda ( $cm^3$ ).

### 2.7.1 Macam - Macam Densitas

Dalam perhitungan porositas menggunakan perbandingan antara dua macam densitas, yaitu *True Density* dan *Apparent Density*.

- *True density*

*True density* atau densitas teoritis merupakan kepadatan dari sebuah benda tanpa adanya porositas yang terdapat di dalamnya. Dapat didefinisikan sebagai perbandingan massa terhadap volume sebenarnya ( $gr/cm^3$ ). Persamaan dari *True density* ada pada standar ASTM E252-84 sebagai berikut:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left( \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left( \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc. \right\}} \quad (2-2)$$

dengan:

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis atau *True Density* ( $gr/cm^3$ ).

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$  = Densitas unsur ( $gr/cm^3$ ).

$\%Al, \%Cu, etc$  = Prosentase berat unsur (%).

- *Apparent density*

Adalah berat setiap unit volume material termasuk cacat yang terdapat pada material yang akan diuji ( $gr/cm^3$ ). Menurut ASTM B311-93 rumus dari *Apparent density* adalah:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-3)$$

dengan:

- $\rho_s$  = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm<sup>3</sup>).
- $\rho_w$  = Densitas air (gr/cm<sup>3</sup>).
- $W_s$  = Berat sampel di luar air (gr).
- $W_b$  = Berat keranjang di dalam air (gr).
- $W_{sb}$  = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr).

## 2.8 Porositas

Porositas adalah terbentuknya udara dan penyerapan gas oleh logam pada saat penuangan. Porositas dalam pengecoran logam pada umumnya merupakan sebuah cacat yang disebabkan oleh gas yang terjebak pada logam cair saat dituang ke dalam cetakan. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hidrogen dalam benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari produk cor tersebut. Penyebabnya antara lain kurang memperhatikan gas yang terasorpsi dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, 2000), yaitu:

$$\% P = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \quad (2-4)$$

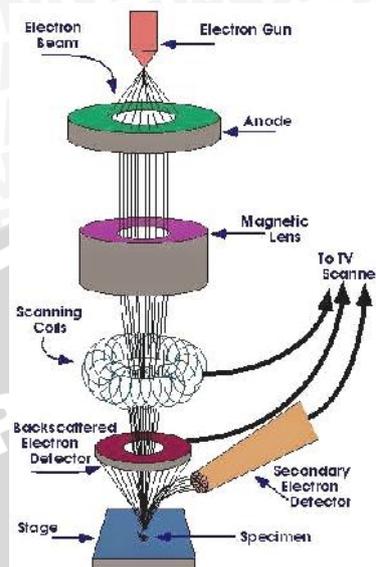
dengan:

- % P = Prosentase porositas.
- $\rho_s$  = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm<sup>3</sup>).
- $\rho_{th}$  = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm<sup>3</sup>).

## 2.9 Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Pengujian SEM merupakan teknik analisis unsur yang terkandung dalam logam dengan menggunakan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X. Pengujian ini juga dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang terutama banyak terdapat dalam material logam. Prinsip kerja pada uji SEM ini yaitu dengan pistol elektron yang memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda, kemudian lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan)

keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Setelah itu elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor.



Gambar 2.6 Sistematika Uji SEM  
Sumber : Chandra Purnomo, 2015

Dalam pengecoran logam, pengujian ini biasanya digunakan untuk mengetahui kadar komposisi dari produk yang dibuat dan dapat mengetahui *true density* suatu material untuk pengujian porositas.

## 2.10 Hipotesis

Dengan memvariasikan penambahan massa Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) pada pembuatan elektroda *aluminium air battery* akan mempengaruhi prosentase porositas pada logam corannya, sehingga semakin bertambahnya massa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada aluminium A6061 maka variasi porositas elektroda akan semakin tinggi dan tegangan listrik hasil dari reaksi elektrokimia akan semakin maksimal.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terhadap porositas elektroda dan tegangan listrik *aluminium air battery*.

#### 3.1 Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian

Tempat yang digunakan untuk penelitian ini adalah Laboratorium Pengecoran Logam, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya untuk proses pengecoran dalam pembuatan *aluminium foam* dan pengujian kinerja baterai.

#### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian.

Variabel bebas yang digunakan adalah penambahan fraksi berat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 1%, 2%, 3% dan 4%

##### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah daya listrik (Watt) yang diambil tiap 5 menit dengan lama pengambilan data 60 menit.

##### 3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besar nilainya dibuat konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah sebagai berikut:

- Larutan NaCl atau elektrolit yang dipakai kepekatannya 6 M
- Volume larutan NaCl 20 ml tiap pengujian spesimen
- Luas penampang spesimen 50x50 mm dengan tebal 5 mm
- Lapisan penyerap larutan elektrolit yang digunakan adalah kapas dengan ukuran dan tebal dari pabrikan

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah

#### 1. Dapur listrik

Merupakan alat yang digunakan untuk melebur aluminium paduan dan proses pembuatan *aluminium foam*. Berikut spesifikasinya:

Merk	: Nabertherm
Tahun	: 1990
Buatan	: Jerman
No. Seri	: 079660
Suhu Maksimal	: 1300°C
Daya	: 13 kW
Arus	: 27 A
Frekuensi	: 50 Hz
Voltase	: 380 V



Gambar 3.1 Dapur Listrik

Sumber : Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2015)

#### 2. Timbangan digital

Merupakan alat yang digunakan untuk menimbang serbuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , serbuk  $\text{CaCO}_3$ , hasil coran dan menguji porositas hasil coran.

Merk	: Melter
Type	: PJ 3000

Frekuensi : 50-60 Hz  
Voltage : 100-120 V 80 mA / 200-240 V 45 mA  
Kapasitas : 3000 gram  
Ketelitian : 0,01 gram



Gambar 3.2 Timbangan Elektrik

Sumber : Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2015)

3. Peralatan *safety* (standar laboratorium)

Adalah peralatan yang digunakan sebagai pengaman tubuh saat melakukan proses pengecoran.

4. Kamera digital

Adalah alat yang digunakan untuk dokumentasi

5. *Stopwatch*

Adalah alat yang digunakan untuk menghitung waktu proses pengambilan data.

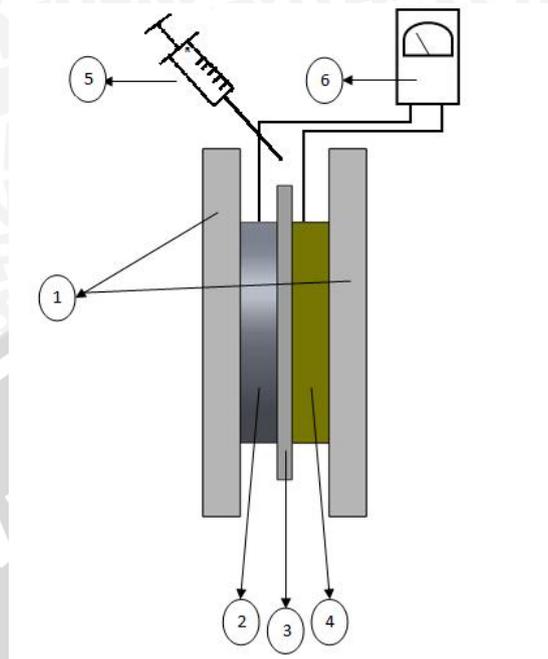
6. Digital Multimeter

Multimeter ini digunakan untuk mengukur beda potensial yang berada pada rangkaian penelitian.

7. Kabel

Digunakan untuk mengalirkan listrik dari regulator ke *electrolyzer* dan digunakan juga dalam instalasi kelistrikannya.

### 3.4 Instalasi Penelitian



Gambar 3.3 Instalasi Penelitian (*Aluminium Air Battery*)

Keterangan gambar 3.3 :

1. Akrilik
2. Elektroda *aluminium foam* dengan luas penampang 50x50 mm dan tebal 5 mm
3. Lapisan penyerap elektrolit berupa kapas
4. Plat tembaga (air katoda)
5. Suntik cairan elektrolit
6. Multimeter

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Prosedur Uji Porositas

Dalam penelitian ini, pengujian porositas menggunakan metode uji piknometri. Uji piknometri memerlukan data *true density* dan *apparent density*. Sebelum melakukan pengujian *apparent density*, diperlukan uji komposisi *aluminium foam* untuk data *true density*. Adapun langkah-langkah uji *apparent density* adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen yang sudah dipotong sesuai dengan bentuk dan dimensi.
2. Menyiapkan alat-alat yang digunakan seperti timbangan digital, keranjang, tali kawat dan bak penampung air.

3. Menimbang berat spesimen dengan menggunakan timbangan digital, kemudian catat hasilnya.
4. Menimbang berat keranjang di dalam air kemudian catat hasilnya.
5. Meletakkan spesimen pada keranjang yang ada didalam air kemudian catat hasilnya.
6. Setelah didapat data berat spesimen diudara dan berat spesimen di keranjang dalam air, kemudian memasukkan data tersebut kedalam rumus sebagai berikut :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)}$$

dengan:

$\rho_s$  = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm<sup>3</sup>).

$\rho_w$  = Densitas air (gr/cm<sup>3</sup>).

$W_s$  = Berat sampel di luar air (gr).

$W_b$  = Berat keranjang di dalam air (gr).

$W_{sb}$  = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr).

7. Lakukan langkah 1-6 untuk spesimen dengan variasi penambahan prosentase berat (% wt) serbuk Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1%, 2%, 3%, dan 4%.

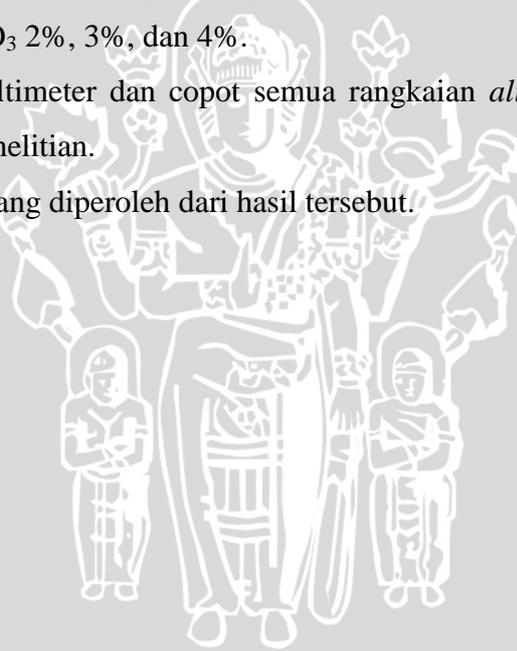
### 3.5.2 Prosedur Pembuatan Aluminium Air-Battery

1. Mempersiapkan semua bahan untuk pembuatan *aluminium air battery* yaitu akrilik bening, elektroda *metal foam* tipe 6061 dengan luas penampang 50x50 mm dengan tebal 5 mm, kabel NYAF sepanjang 10 cm, plat tembaga setebal 20 mm, karbon aktif, kapas untuk lapisan penyerap, baut ukuran 12 dengan panjang 70 mm sebanyak 4 buah, larutan NaCl 6 M, lakban, dan *multimeter*.
2. Memotong *aluminium foam* dengan ukuran 50 mm x 50 mm, menyiapkan pelat tembaga 30 mm x 30 mm dan kapas dilapisi dengan karbon aktif, potong kabel NYAF dengan ukuran 50 cm sebanyak 4 buah.
3. Memotong akrilik dengan ukuran 100 mm x 100 mm sebanyak 2 buah. Lubangi akrilik menggunakan mata bor berdiameter 8 mm, setiap sisi akrilik di beri 2 buah lubang.
4. Memasang kabel pada permukaan elektroda *metal foam* dan pelat tembaga yang telah dilapisi karbon aktif dengan menempelkan dengan lakban.
5. Memasang tumpukan bahan-bahan tersebut pada akrilik dan kemudian pasang baut dan kencangi baut sampai bahan tersebut tidak bergeser.
6. Aluminium air battery siap di uji.

### 3.5.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah pengujian daya listrik sebagai berikut:

1. Mempersiapkan semua peralatan yang dibutuhkan
2. Memasang kabel pada multimeter.
3. Mencampur 250 ml aquades dengan 87,75 gram NaCl dalam *beaker glass*. Aduk hingga NaCl terlarut semua, lalu masukkan larutan tersebut ke dalam suntik sebanyak 20 ml.
4. Memasang spesimen *aluminium foam* pada cover akrilik beserta kapas penyerap larutan elektrolit dan tembaga.
5. Menghidupkan multimeter.
6. Suntikkan larutan NaCl pada lapisan penyerap (kapas).
7. Mencatat data voltase dan arus tiap 5 menit sampai menit ke 60.
8. Mengulangi langkah nomor 4 sampai dengan 7 dengan elektroda *aluminium foam* yang dengan variasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2%, 3%, dan 4%.
9. Melepas kabel pada multimeter dan copot semua rangkaian *aluminium air battery*, lalu bersihkan tempat penelitian.
10. Menganalisa hasil data yang diperoleh dari hasil tersebut.



### 3.6 Diagram Alir Penelitian



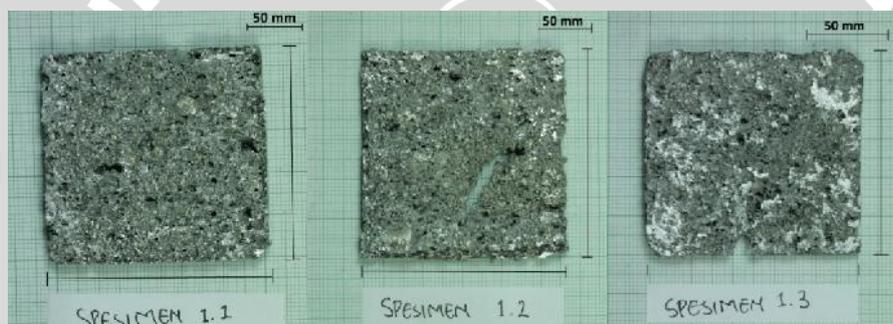
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

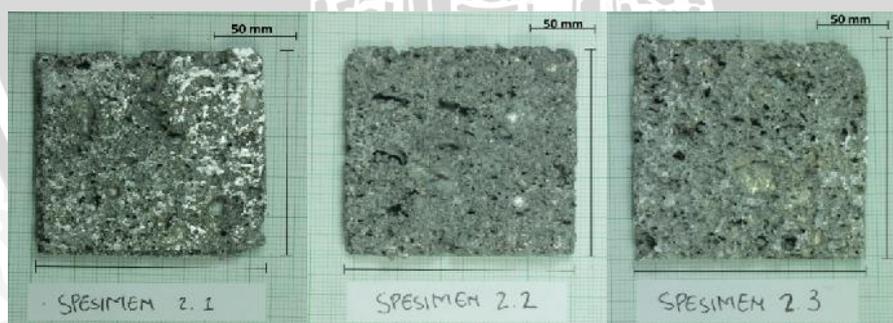
#### 4.1 Pengujian Porositas

##### 4.1.1 Data Hasil Perhitungan dari Pengujian Porositas

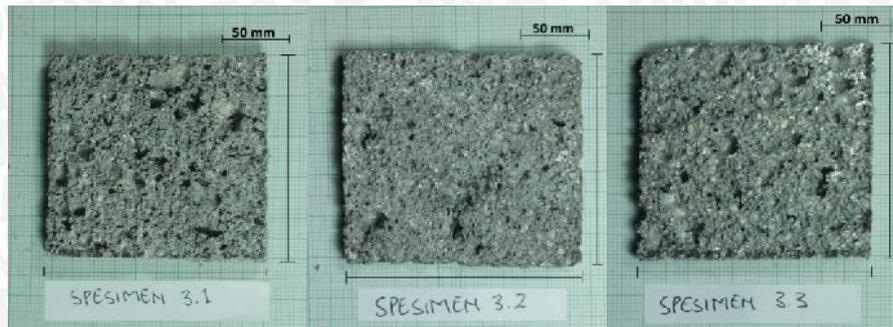
Dari hasil pengecoran elektoda dengan penambahan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang menggunakan  $\text{CaCO}_3$  sebagai *blowing agent* didapatkan berbagai macam prosentase porositas tiap variasi yang dimiliki oleh spesimen, penambahan serbuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dilakukan pada saat peleburan logam di suhu  $750^\circ\text{C}$  dengan menggunakan metode *stir casting*. Berikut merupakan spesimen dengan variasi penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1%, 2%, 3% dan 4%.



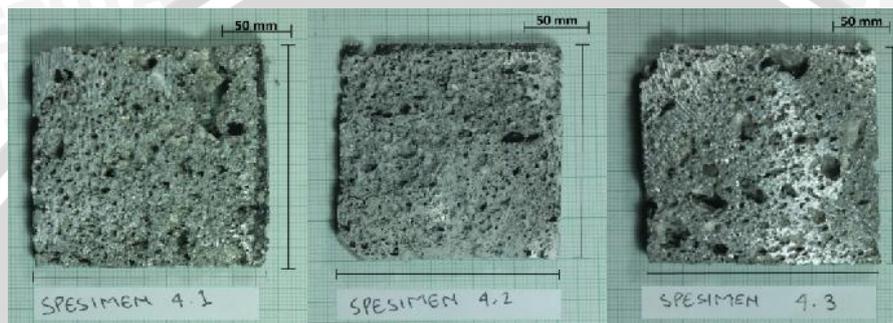
Gambar: 4.1 Spesimen 1% (1.1; 1.2; 1.3) elektroda Aluminium Air-Battery



Gambar: 4.2 Spesimen 2% (2.1; 2.2; 2.3) elektroda Aluminium Air-Battery



Gambar: 4.3 Spesimen 3% (3.1; 3.2; 3.3) elektroda Aluminium Air-Battery



Gambar: 4.4 Spesimen 4% (4.1; 4.2; 4.3) elektroda Aluminium Air-Battery

*True density* atau densitas teoritis merupakan kepadatan dari sebuah spesimen tanpa adanya porositas yang terdapat di dalamnya.. Untuk mendapatkan nilai *true density* diperlukan komposisi elemen penyusun dari tiap – tiap spesimen yang diperoleh dengan pengujian SEM EDAX. Berikut merupakan hasil komposisi spesimen *aluminium foam*.

Tabel 4.1 Data Hasil Komposisi SEM-EDAX *Al-Foam* untuk Variasi 1 %  $Al_2O_3$

Element	Weight %	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Weight / Densitas (%)
Carbon	18,226	3,51	5,193
Oxygen	20,635	1,33	15,515
Magnesium	3,478	1,74	1,999
Aluminum	49,549	2,7	18,351
Silicon	0,959	2,33	0,412
Sulfur	0,531	2,06	0,258
Calcium	4,142	1,54	2,690
Iron	2,479	7,85	0,316

Tabel 4.2 Data Hasil Komposisi SEM-EDAX *Al-Foam* untuk Variasi 2 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 

Element	Weight %	Densitas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	%Weight / Densitas
Carbon	17,255	3,51	4,916
Oxygen	23,873	1,33	17,950
Magnesium	3,668	1,74	2,108
Aluminum	43,881	2,7	16,252
Silicon	0,895	2,33	0,384
Sulfur	0,952	2,06	0,462
Calcium	6,152	1,54	3,995
Titanium	0,580	4,51	0,129
Iron	2,745	7,85	0,350

Tabel 4.3 Data Hasil Komposisi SEM-EDAX *Al-Foam* untuk Variasi 3 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 

Element	Weight %	Densitas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	%Weight / Densitas
Carbon	13,442	3,51	3,830
Oxygen	18,659	1,33	14,029
Magnesium	3,305	1,74	1,899
Aluminum	53,891	2,7	19,960
Silicon	0,995	2,33	0,427
Sulfur	0,912	2,06	0,443
Calcium	4,404	1,54	2,860
Iron	2,745	7,85	0,350
Zinc	0,745	7,14	0,104
Barium	1,870	3,65	0,512

Tabel 4.4 Data Hasil Komposisi SEM-EDAX *Al-Foam* untuk Variasi 4 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 

Element	Weight %	Densitas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	%Weight / Densitas
Carbon	13,693	3,51	3,901
Oxygen	20,195	1,33	15,184
Magnesium	3,472	1,74	1,995
Aluminum	51,500	2,7	19,074
Silicon	0,765	2,33	0,328
Sulfur	1,158	2,06	0,562
Calcium	4,251	1,54	2,760
Iron	1,695	7,85	0,216
Zinc	0,585	7,14	0,082
Barium	2,684	3,65	0,735

Dari data hasil pengujian SEM EDAX yang ditampilkan pada tabel diatas, kemudian dilakukan perhitungan *true density*. Untuk mencari nilai *true density*, maka menggunakan persamaan rumus 2-2 sebagai berikut :

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left( \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left( \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc. \right\}}$$

Keterangan :

- $\rho_{th}$  = True density (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_{Ab}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$  = Densitas unsur (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $\%Al, \%Cu, etc$  = Prosentase berat unsur (%)

Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan *True Density* pada variasi 1%, 2%, 3% dan 4%

Variasi penambahan Alumina	1%	2%	3%	4%
<b>Tru Density (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2,235	2,148	2,252	2,23

Contoh perhitungan *True Density* variasi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1% :

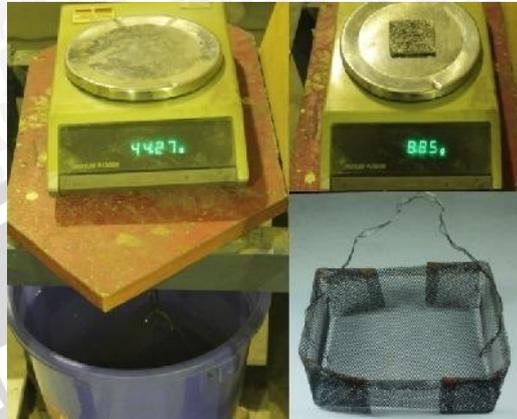
$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left( \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left( \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc. \right\}}$$

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{49,549}{2,7} \right) + \left( \frac{3,478}{1,74} \right) + \left( \frac{0,959}{2,33} \right) + \left( \frac{4,142}{1,54} \right) + \left( \frac{2,479}{7,85} \right) + \left( \frac{18,226}{3,51} \right) + \left( \frac{20,635}{1,33} \right) + \left( \frac{0,531}{2,06} \right) \right\}}$$

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ (18,351) + (1,999) + (0,412) + (2,690) + (0,369) + (5,193) + (15,515) + (0,258) \right\}}$$

$$\rho_{th} = 2,235 \text{ gr/cm}^3$$

*Apparent density* merupakan berat setiap unit volume material termasuk cacat yang terdapat pada material yang akan diuji ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ). Pengambilan data *apparent density* menggunakan metode uji piknometri.



Gambar 4.5 Pengujian *apparent density* dengan metode uji piknometri

Dalam uji piknometri, berat spesimen di udara dibandingkan dengan berat spesimen dan keranjang di dalam air. Untuk mencari nilai *apparent density*, maka menggunakan persamaan rumus 2-3 :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)}$$

dengan:

- $\rho_s$  = Densitas sampel atau *Apparent Density* ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).
- $\rho_w$  = Densitas air ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).
- $W_s$  = Berat sampel di luar air (gr).
- $W_b$  = Berat keranjang di dalam air (gr).
- $W_{sb}$  = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr).

Data yang di dapat dari perhitungan *apparent density*, porositas dapat ditentukan dengan persamaan rumus 2-4.

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\%$$

dengan:

- $\% P$  = Prosentase porositas.
- $\rho_s$  = Densitas sampel atau *Apparent Density* ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).
- $\rho_{th}$  = Densitas teoritis atau *True Density* ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

Tabel 4.6 Data Hasil Perhitungan Porositas Spesimen *Aluminium Foam*

Spesimen	Berat di udara (Ws)	Berat Spesimen + Keranjang (Wsb)	Apparent Density ( $\rho_s$ )	$\rho_s/\rho_{th}$	Porositas (% P)	Rata-rata
1.1	8,27	45,18	1,103	0,493	50,675	
1.2	6,5	45,62	1,229	0,550	45,035	46,527
1.3	9,85	46,41	1,255	0,561	43,870	
2.1	7,7	45,13	1,103	0,513	48,654	
2.2	6,3	45,16	1,135	0,528	47,165	48,210
2.3	8,38	45,17	1,100	0,512	48,813	
3.1	7,63	43,68	0,913	0,405	59,464	
3.2	7,42	44,77	1,051	0,467	53,321	55,482
3.3	6,74	44,69	1,043	0,463	53,661	
4.1	9,18	45,58	1,146	0,514	48,612	
4.2	8,85	44,77	1,042	0,467	53,260	54,678
4.3	7,89	42,95	0,844	0,378	62,163	

Contoh perhitungan *apparent density* untuk spesimen 1.1 :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)}$$

$$\rho_s = 1 \frac{8,27}{8,27 - (45,18 - 44,41)}$$

$$\rho_s = 1,103 \text{ gr/cm}^3$$

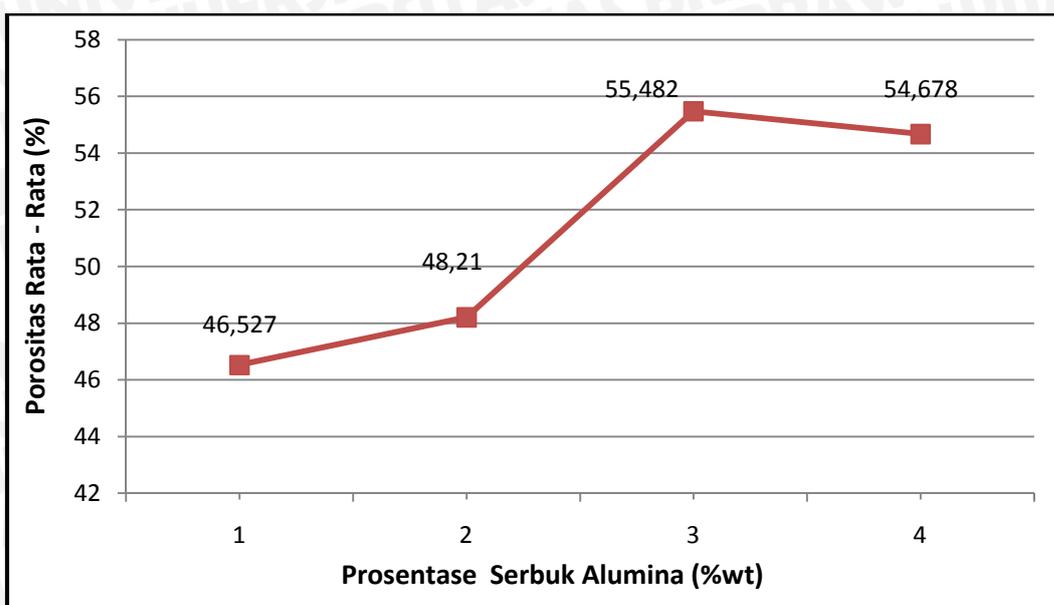
Contoh perhitungan porositas untuk spesimen 1.1 :

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\%$$

$$\% P = \left(1 - \frac{1,103}{50,675}\right) \times 100\%$$

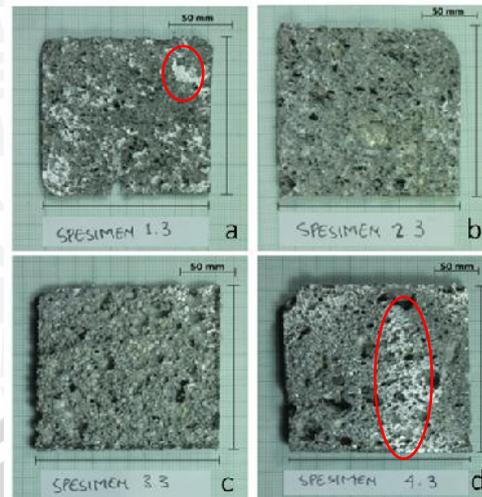
$$\% P = 50,675 \%$$

#### 4.1.2 Pembahasan Hasil Pengujian Porositas

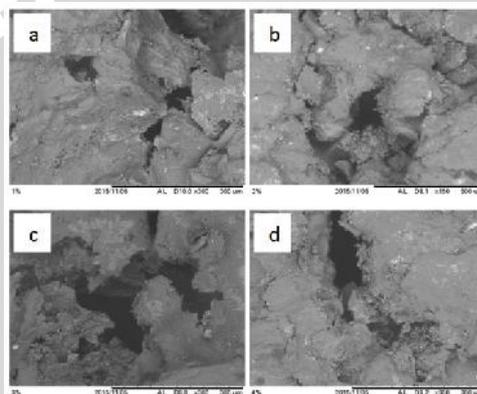


Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Variasi penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terhadap Porositas Rata- Rata pada *Aluminium Foam*

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan porositas rata – rata pada spesimen *aluminium foam*. Dengan bertambahnya prosentase  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , porositas yang ditunjukkan *aluminium foam* semakin meningkat. Nilai porositas terendah pada variasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1% sebesar 46,527 %, dilanjutkan dengan nilai porositas sebesar 48,21 % pada variasi 2 % dan untuk nilai porositas tertinggi pada variasi 3 % sebesar 55,482 %. Akan tetapi pada variasi 4 % mengalami penurunan porositas sebesar 54,678 %. Hal ini disebabkan banyaknya prosentase massa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada spesimen variasi 4 % yang terkandung, sehingga menyebabkan spesimen banyak yang berbentuk pejal dan tidak membentuk struktur berpori dibandingkan dengan spesimen 2% dan 3%, yang kemudian mengalami penurunan porositas.



Gambar 4.7 Hasil foto makro spesimen *aluminium foam* dengan variasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (a) 1%; (b) 2%; (c) 3%; (d) 4%



Gambar 4.8 Hasil foto SEM EDAX spesimen *aluminium foam* dengan variasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (a) 1%; (b) 2%; (c) 3%; (d) 4%

Dapat dilihat pada gambar 4.7 merupakan elektroda *Al-Battery* yang akan digunakan untuk pengujian. Untuk spesimen (a) merupakan variasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1%, dengan ukuran pori yang terbentuk mayoritas kecil dan masih banyak strukturnya yang berbentuk padat, sehingga prosentase porositas yang dihasilkan relatif lebih kecil. Sedangkan pada spesimen (b) dan (c), memiliki pori dengan ukuran relatif besar dibandingkan spesimen yang pertama. Namun spesimen (c) lebih memiliki pori dengan ukuran lebih besar dan lebih banyak dibandingkan dengan spesimen (b). Untuk spesimen (d) cenderung banyak yang padat seperti spesimen yang pertama dan tidak membentuk struktur berpori. Hal ini dikarenakan prosentase alumina sebanyak 4% membuat bentuk *aluminium foam* cenderung padat karena kurangnya reaksi pada kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Berbeda dengan spesimen dengan kandungan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% dan 3%, struktur porinya meningkat dikarenakan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang terbentuk dari dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  semakin banyak, sehingga pori yang terbentuk juga semakin banyak.

## 4.2 Pengujian Daya Listrik

### 4.2.1 Data Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Listrik

Setelah dilakukan pengujian tegangan dan arus listrik pada *Aluminium Air-Battery* tiap spesimen sebagai elektroda, didapatkan data tegangan dan arus listrik tiap elektroda dan porositas yang berbeda-beda. Berikut data yang diperoleh dari pengujian tegangan dan arus listrik yang menggunakan *multimeter* :



Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Tegangan Listrik Aluminium Air-Battery

Spesimen No.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
Porositas (%)	50,68	43,87	45,04	48,65	47,17	48,81	59,46	53,32	53,66	48,61	53,62	62,16
Waktu (menit)	Tegangan (mV)											
0	556	459	604	667	650	562	743	660	881	647	667	636
5	611	583	586	711	722	674	904	773	888	723	781	824
10	814	652	635	800	812	772	914	891	890	801	877	989
15	971	729	751	821	905	854	925	913	902	905	932	1057
20	982	763	774	914	972	919	938	923	914	1009	954	1073
25	975	748	793	961	1007	979	951	936	929	1027	985	1116
30	966	711	798	991	1020	1014	968	954	944	1011	1003	1134
35	886	708	726	1013	1036	1068	987	980	965	982	1021	1140
40	834	683	698	1025	1025	1073	1008	1008	988	962	1009	1101
45	798	674	667	1058	991	1081	1035	1036	1017	905	994	1066
50	744	665	635	1039	927	1089	1068	1072	1058	879	955	1039
55	711	640	604	1029	884	1093	1110	1124	1117	854	974	952
60	688	652	586	1017	887	1096	1120	1238	1109	848	970	940
Rata-rata	810,46	666,69	681,31	926,62	910,62	944,15	974,69	962,15	969,38	888,69	932,46	1005,15
Rata-rata tiap variasi	719,49			927,13			968,74			942,10		

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Arus Listrik Aluminium Air-Battery

Spesimen No.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
<b>Porositas (%)</b>	<b>50,675</b>	<b>43,87</b>	<b>45,035</b>	<b>48,654</b>	<b>47,165</b>	<b>48,813</b>	<b>59,464</b>	<b>53,321</b>	<b>53,661</b>	<b>48,612</b>	<b>53,62</b>	<b>62,163</b>
<b>Waktu (menit)</b>	<b>Arus (mA)</b>											
<b>0</b>	27,2	17,5	23,0	17,7	44,1	44,3	46,1	19,5	23,5	19,5	24,8	19,3
<b>5</b>	30,2	20,6	32,6	19,2	51,3	47,3	52,5	20,8	25,1	20,0	26,2	21,2
<b>10</b>	28,7	20,0	31,5	20,4	45,7	44,5	54,9	22,8	26,5	19,4	27,5	22,6
<b>15</b>	26,4	19,5	29,7	21,0	31,3	40,2	49,9	21,6	27,1	18,2	25,4	23,2
<b>20</b>	24,5	18,6	27,8	20,8	29,4	37,8	44,0	20,1	26,6	17,2	21,7	22,4
<b>25</b>	22,3	16,9	25,7	19,0	27,7	30,7	38,9	19,3	24,8	16,4	18,5	21,7
<b>30</b>	21,2	15,0	23,5	17,2	25,2	27,8	39,1	18,4	23,0	15,6	17,9	20,9
<b>35</b>	20,3	13,3	21,2	15,8	22,0	25,8	41,0	17,7	21,6	14,8	17,1	20
<b>40</b>	18,5	11,7	19,5	14,8	19,6	23,2	35,8	15,6	19,7	14,1	16,3	19,2
<b>45</b>	17,9	10,1	18,8	13,9	18,0	19,4	29,7	14,5	16,8	13,4	14,7	17,3
<b>50</b>	16,7	9,3	16,4	12,9	15,9	16,5	28,4	13,9	14,5	12,6	13,5	16,8
<b>55</b>	15,9	8,6	15,6	12,0	13,7	12,5	24,5	13,6	12,1	11,9	11,9	14,4
<b>60</b>	12,5	7,3	13,9	11,1	12,5	11,9	21,2	13,4	11,5	11,1	10,7	12,1
<b>Rata-rata</b>	<b>21,72</b>	<b>14,49</b>	<b>23,02</b>	<b>16,60</b>	<b>27,42</b>	<b>29,38</b>	<b>38,92</b>	<b>17,78</b>	<b>20,98</b>	<b>15,71</b>	<b>18,94</b>	<b>19,32</b>
<b>Rata-rata tiap variasi</b>	<b>19,74</b>			<b>24,46</b>			<b>25,90</b>			<b>17,99</b>		

#### 4.2.2 Perhitungan Daya Listrik pada Spesimen *Aluminium Air-Battery*

Dari hasil pengujian tegangan dan arus listrik, maka dapat dicari daya listrik yang dihasilkan dari tiap spesimen. Daya dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = V.I$$

Keterangan :

$P$  = Daya listrik.....(Watt)

$V$  = Tegangan.....(Volt)

$I$  = Arus.....(Ampere)

Tabel 4.9 Data Hasil Perhitungan Daya Listrik *Aluminium Air-Battery*

Variasi	Porositas rata-rata (%)	Tegangan rata-rata (V)	Arus rata-rata (A)	Daya (W)
1%	46,527	0,719	0,019	0,013
2%	48,21	0,927	0,024	0,022
3%	55,482	0,968	0,025	0,024
4%	54,678	0,942	0,017	0,016

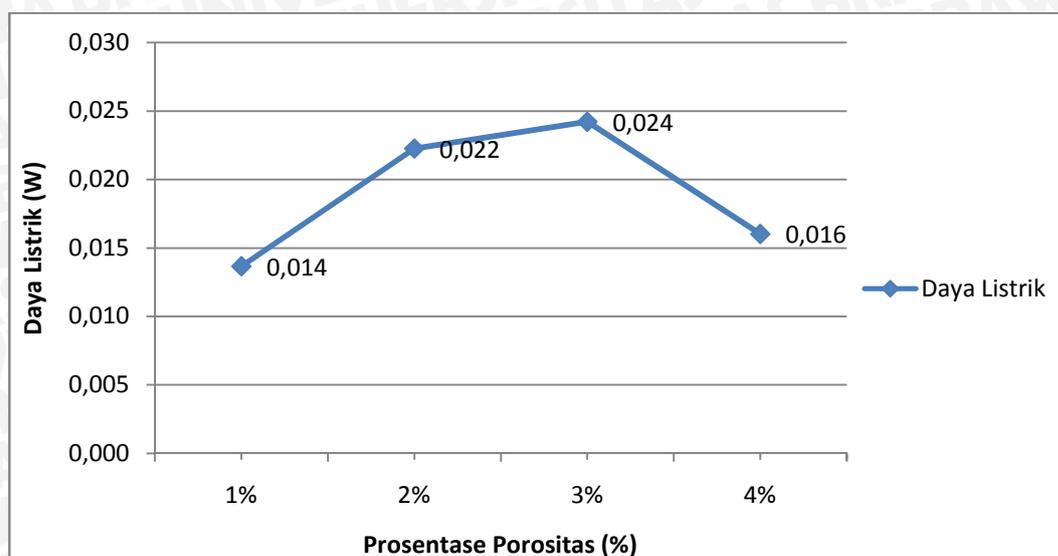
Contoh perhitungan daya listrik pada variasi alumina 1% :

$$P = V.I$$

$$P = 0,719 V. 0,019A$$

$$P = 0,013 W$$

### 4.2.3 Pembahasan Hasil Pengujian Daya Listrik



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Pengaruh Porositas Rata-rata terhadap Daya Listrik yang dihasilkan *Aluminium Air-Battery*

Gambar 4.9 menjelaskan hubungan antara porositas rata – rata dengan daya listrik yang dihasilkan *aluminium air-battery* dengan menggunakan *aluminium foam* sebagai elektroda. Pada grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi porositas *aluminium foam* sebagai anoda yang digunakan pada *aluminium air-battery* maka semakin tinggi pula daya listrik yang dapat dihasilkan. Daya listrik paling tinggi dihasilkan dari *aluminium foam* dengan porositas 55,53% sebesar 0,024 W, dan daya listrik paling rendah dihasilkan dari *aluminium foam* dengan porositas 46,53% sebesar 0,014 W. Tetapi pada porositas 54,68% mengalami penurunan daya sebesar 0,016 W, hal ini karena dipengaruhi penurunan porositas dan banyaknya struktur padat yang tidak membentuk pori pada elektroda dengan variasi alumina 4% sehingga daya listrik yang dihasilkan mengalami penurunan. Selain itu, penurunan juga disebabkan oleh reaksi kimia yang terjadi untuk menghasilkan daya listrik. Dalam hal ini yaitu laju reaksi kimia, laju reaksi kimia dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu kepekatan larutan elektrolit, suhu ruangan, dan luas penampang pada elekttroda *aluminium foam*.

Dari pengujian ini, faktor yang sangat mempengaruhi adalah luas dan bentuk penampang pada elektroda *aluminium foam*. Bentuk penampang yang dimaksud adalah struktur pori atau tingkat prosentase porositas. Semakin banyak pori yang terbentuk pada permukaan spesimen semakin luas permukaan sentuh. Dengan luasnya permukaan spesimen, elektron yang mampu diterima oleh spesimen menjadi lebih banyak, sehingga

reaksi kimia dapat berjalan lebih efektif dan meningkatkan tegangan listrik yang dihasilkan. Selain dari luas permukaan sentuh, kandungan unsur logam pada elektroda *aluminium foam* sebagai anoda juga memiliki pengaruh pada reaksi sehingga berakibat pada daya listrik yang dihasilkan dari *aluminium air battery*.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini didapatkan hasil yaitu bertambahnya prosentase  $Al_2O_3$  berpengaruh terhadap porositas dan daya listrik *aluminium air battery* dengan elektroda berpori sehingga dapat disimpulkan:

- Semakin bertambahnya prosentase alumina pada elektroda maka porositas mengalami peningkatan, akan tetapi mengalami penurunan porositas apabila terlalu banyak alumina yang terdapat pada *aluminium foam*.
- Bertambahnya prosentase porositas pada elektroda maka menghasilkan tegangan listrik yang tinggi karena kandungan oksigen pada pori elektroda yang berfungsi sebagai bahan reaksi elektrokimia tersebut banyak.
- Jika porositas lebih dari 55,48% dengan penambahan alumina 3% maka daya listrik yang dihasilkan menurun dikarenakan jumlah kandungan oksigen yang dibutuhkan reaksi elektrokimia semakin menurun. Dalam penelitian ini, daya listrik yang maksimal sebesar 0,024 Watt pada *aluminium-air battery* dengan tebal elektroda 5 mm dan luas penampang 50x50 mm dengan bahan elektroda A6061 hasil dari proses *stir casting* dengan penambahan alumina 3% dan  $CaCO_3$  sebagai *blowing agent*.
- Reaksi elektrokimia pada *aluminium-air battery* dipengaruhi oleh porositas *aluminium foam* yang sebagai elektroda A6061, luas penampang elektroda, kandungan Aluminium dan kepekatan larutan elektrolit yang dapat mengurangi laju reaksi elektrokimia antara aluminium dan udara sehingga daya listrik yang dihasilkan kecil.

## 5.2 SARAN

1. Sebaiknya diadakan penelitian lebih lanjut dengan metode pengadukan yang berbeda agar dapat menghasilkan porositas yang optimal.
2. Sebaiknya menggunakan larutan elektrolit yang lebih pekat, agar reaksi elektrokimia bisa lebih cepat dan daya listrik yang ditimbulkan lebih tinggi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad. 2015. 11 Tahun ke Depan, Sisa Cadangan Minyak-Bumi Indonesia Habis. Diakses 02 April 2015  
<http://ekonomibisnis.suarasurabaya.net/news/2015/149396-11-Tahun-ke-Depan,-Sisa-Cadangan-Minyak-Bumi-Indonesia-Habis>
- Alizadeh, M., Mirzaei, M. & Aliabdi. 2011. *Compressive Properties And Energy Absorption Behavior Of Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composite Foam Synthesized By Space-Holder Technique*. *Materials and Design*. 35: 419–424.
- Banhart, J. 2001. *Manufacture, Characterisation and Application of Cellular Metals and Metal Foams*. *Progress in Materials Science*. 46 (2001): 559–632.
- Besenhard, Jürgen O., 2011. *Handbook Of Battery Materials* Jerman: Betz-Druck Gmbh, Darmstadt
- Chang, Raymond. 2011. *General Chemistry 6h*. New York: Mc.Graw Hill.
- De Garmo, E. P. 1990. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc.
- Duarte, I. & Oliveira, M. 2012. *Aluminium Alloy Foams: Production and Properties*. Croatia: In Tech. <http://www.cymat.com/PDFs/Cymat%20SAF%20Automotive%20Applications.pdf>
- Irawan, Yudy S dan Halim, Rio P .2015. *Pengaruh Penambahan Blowing Agent CaCO<sub>3</sub> terhadap Porositas dan Tegangan Listrik pada A6061 Foam sebagai Air Electrode dalam Al-Air Battery*. ISSN 2407-4845
- Kalpakjian, Serope. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. United States of America : Addison-Wesley Publishing Company.
- Linden, David & Reddy, Thomas B. 2002. *Handbook of Batteries 3<sup>rd</sup> edition*. New York: Mc.Graw Hill.
- Revel, Renaud, dkk. 2014. *Non-aqueous aluminium–air battery based on ionic liquid electrolyte*. Volume 272, Pages 415–421
- Surdia, T & Chijjiwa, K. 1976. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.



# LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Permohonan Ijin Penggunaan Fasilitas Laboratorium Pengecoran Logam



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia  
Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430  
<http://mesin.ub.ac.id> E-mail : [mesin@ub.ac.id](mailto:mesin@ub.ac.id)

Nomer : 1039 /UN10.6.62/LK/2015  
Lampiran : -  
Perihal : Permohonan Izin Penggunaan Fasilitas Laboratorium

**Yth. Kepala Laboratorium Pengecoran Logam**  
**Jurusan Mesin Fakultas Teknik UB**  
**Malang**

Bersama ini kami hadapkan dengan hormat, mahasiswa kami :

No.	Nama	No. Induk Mahasiswa
1.	Afrizal Hardiansyah	115060202111001-62

Jurusan : Teknik Mesin

Mahasiswa tersebut membutuhkan fasilitas laboratorium Pengecoran Logam guna penelitian/ pengambilan data dalam rangka menyusun laporan Skripsi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Untuk itu kami mohon bantuan dan kesediaan Saudara agar memfasilitasi.

**Judul** : Pengaruh Penambahan  $Al_2O_3$  terhadap Porositas dan Tegangan Listrik pada Aluminium (A6061) Foam yang Menggunakan  $CaCO_3$  sebagai *Blowing Agent*

**Fasilitas yang dibutuhkan** : Dapur Listrik

**Waktu Pelaksanaan** : 1 Oktober 2015 s/d selesai

Perhatian, serta kesediaan Saudara kami ucapkan terima kasih.

Mengetahui,  
Sekretaris Jurusan

**Purnami, ST, MT.**  
**NIP. 19770707 200812 1 005**

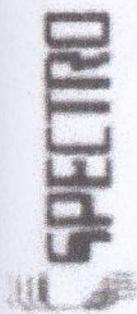
Pembimbing I Skripsi

**Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, S.T., M.Eng**  
**NIP 19750710 199903 1 004**

Tembusan Yth. :

1. Ketua Jurusan Mesin
2. Mahasiswa Yang Bersangkutan

Lampiran 2. Hasil Uji Komposisi Aluminium A6061



Method: Al-SS  
 Comment: Al-Base SS

Element Concentration

Sample ID: 6061

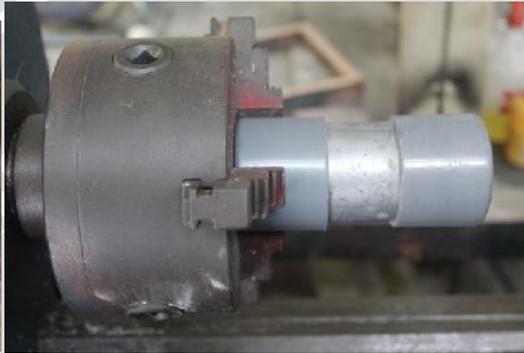
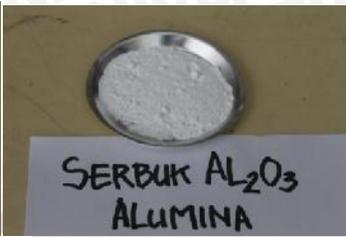
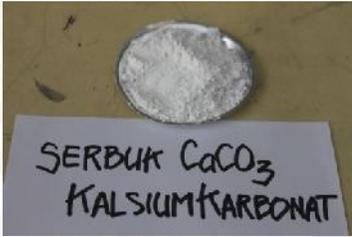
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.365	0.276	0.245	0.0234	0.687	0.0818	0.0486	0.0144
2	0.587	0.289	0.254	0.0236	0.909	0.0810	0.0504	0.0134
3	0.570	0.275	0.246	0.0234	0.693	0.0817	0.0486	0.0140

	Na	Ca	V	Ni	Pb	P	Sn	Sb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.00008	0.00019	0.00078	0.0030	0.00070	< 0.00050	0.00040	0.00016
2	0.00000	0.00019	0.00081	0.0020	0.00071	< 0.00050	< 0.00040	0.00015
3	0.00000	0.00021	0.00078	0.0020	0.00070	< 0.00050	< 0.00040	0.00015

	Bi	Zr	Cd	Al
	%	%	%	%
1	0.00008	0.0014	< 0.00010	97.8
2	0.00007	0.0014	< 0.00010	97.8
3	0.00007	0.0014	< 0.00010	97.8



### Lampiran 3. Alat dan Bahan untuk Penelitian



### Lampiran 4. Foto Spesimen Aluminium Foam



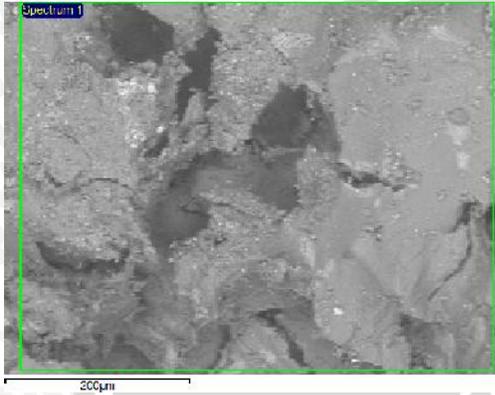
### Lampiran 5. Uji SEM-EDAX Variasi 1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

#### Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 1

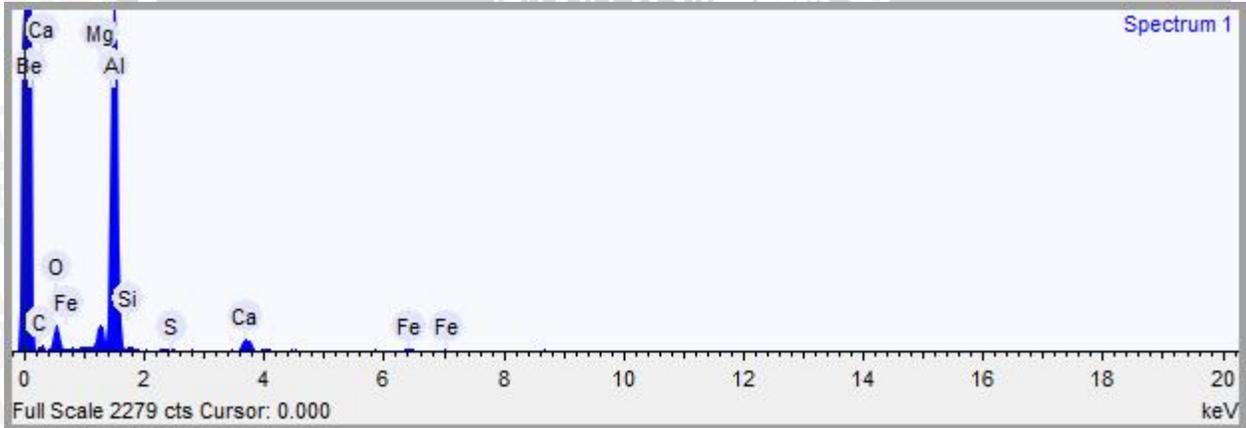
#### Electron Image

Image Width: 535.0 μm



#### Acquisition conditions

Acquisition time (s) 100.0 Process time 4  
Accelerating voltage (kV) 15.0



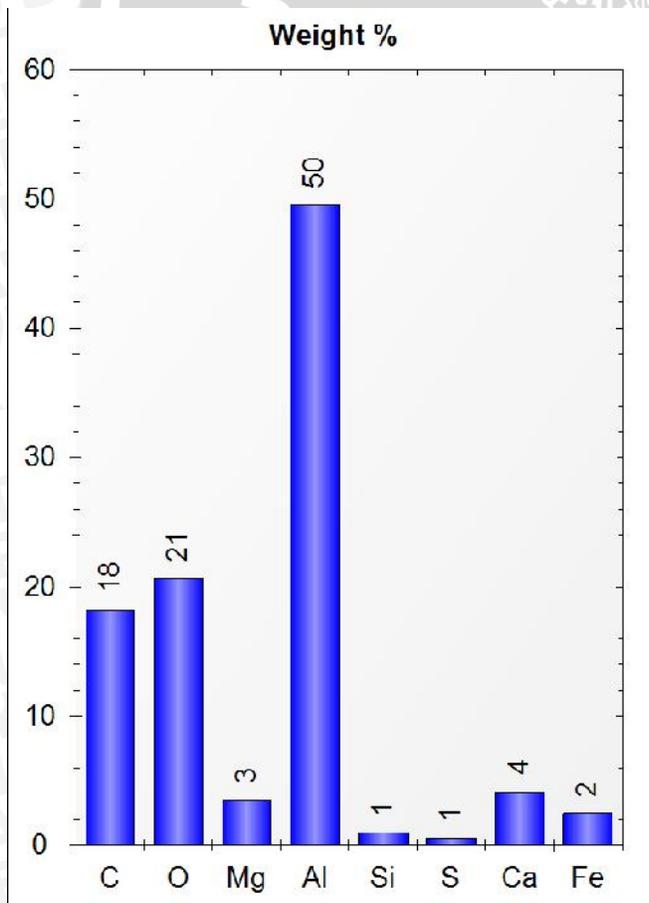
#### Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)  
Coating element None



### Summary results

Element	Weight %	Weight %	Atomic %
Carbon	18.226	1.785	30.440
Oxygen	20.635	1.019	25.872
Magnesium	3.478	0.220	2.869
Aluminum	49.549	1.274	36.837
Silicon	0.959	0.184	0.685
Sulfur	0.531	0.131	0.332
Calcium	4.142	0.259	2.073
Iron	2.479	0.417	0.890



### Lampiran 6. Uji SEM-EDAX Variasi 2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

#### Spectrum details

Project New project      Spectrum name Spectrum 1

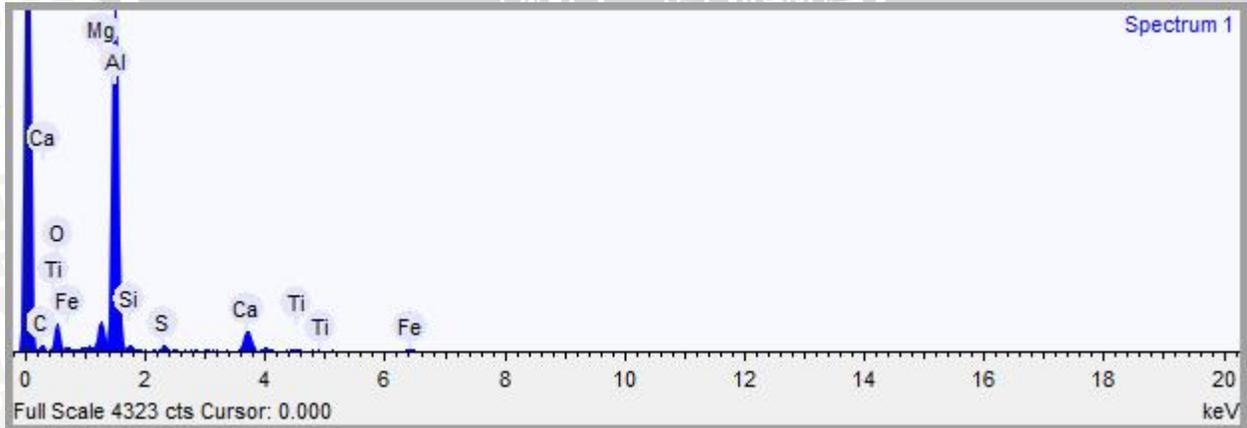
#### Electron Image

Image Width: 535.0 µm



#### Acquisition conditions

Acquisition time (s) 100.0      Process time 4  
Accelerating voltage (kV) 15.0

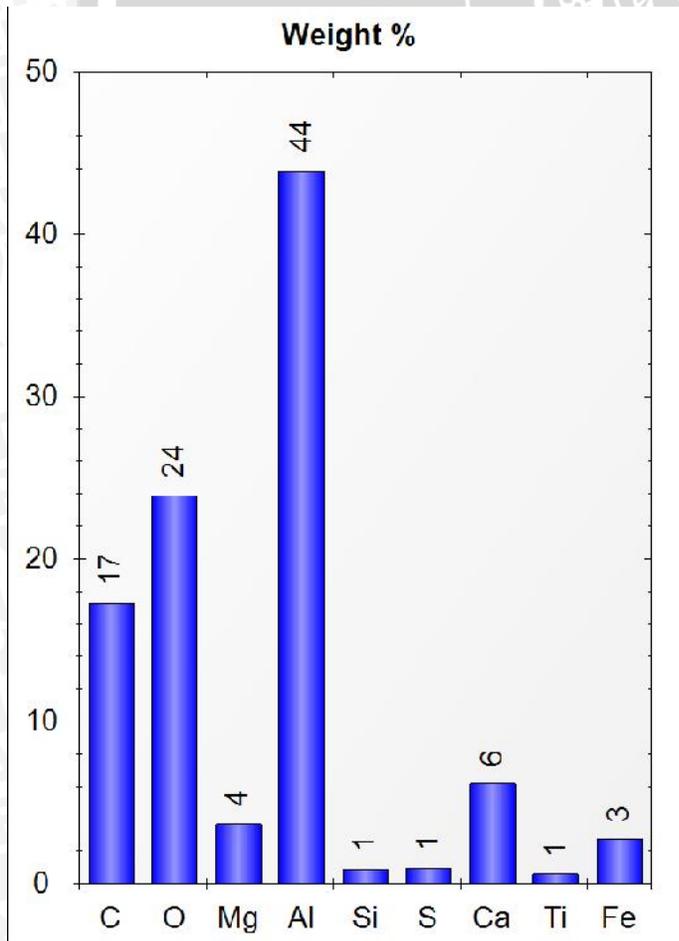


#### Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)  
Coating element None

### Summary results

Element	Weight %	Weight %	Atomic %
Carbon	17.255	1.094	28.834
Oxygen	23.873	0.772	29.950
Magnesium	3.668	0.153	3.028
Aluminum	43.881	0.749	32.642
Silicon	0.895	0.117	0.639
Sulfur	0.952	0.101	0.596
Calcium	6.152	0.205	3.081
Titanium	0.580	0.133	0.243
Iron	2.745	0.278	0.986



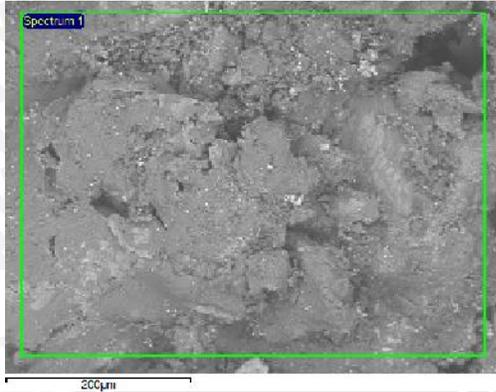
### Lampiran 7. Uji SEM-EDAX Variasi 3% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

#### Spectrum details

Project New project      Spectrum name Spectrum 1

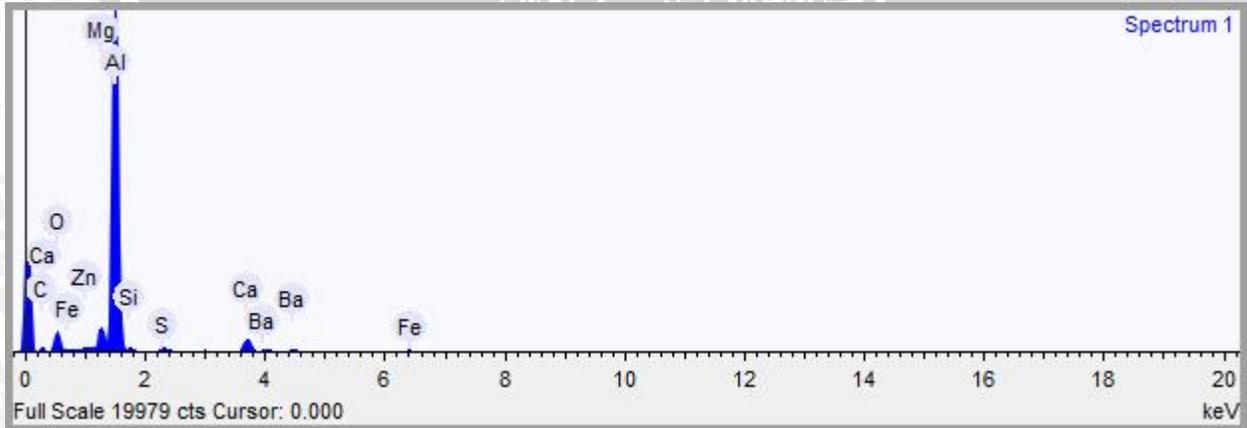
#### Electron Image

Image Width: 535.0 µm



#### Acquisition conditions

Acquisition time (s) 100.0      Process time 4  
Accelerating voltage (kV) 15.0



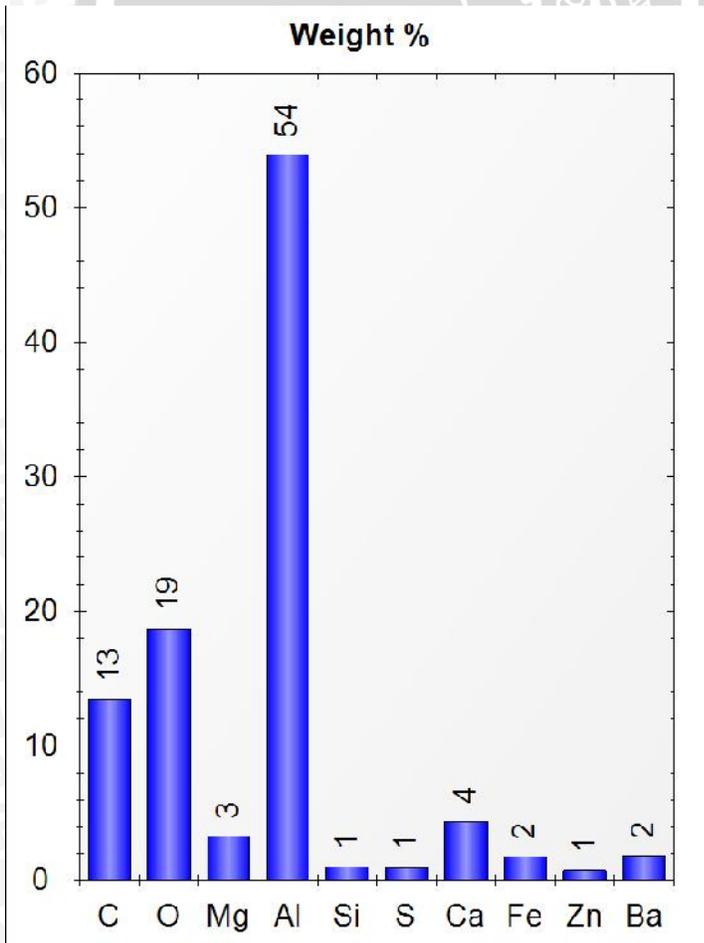
#### Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)  
Coating element None

#### Summary results



Element	Weight %	Weight %	Atomic %
Carbon	13.442	0.596	24.072
Oxygen	18.659	0.336	25.085
Magnesium	3.305	0.078	2.924
Aluminum	53.891	0.457	42.960
Silicon	0.995	0.066	0.762
Sulfur	0.912	0.057	0.612
Calcium	4.404	0.092	2.363
Iron	1.778	0.129	0.685
Zinc	0.745	0.114	0.245
Barium	1.870	0.168	0.293



### Lampiran 8. Uji SEM-EDAX Variasi 4% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

#### Spectrum details

Project New project      Spectrum name Spectrum 1

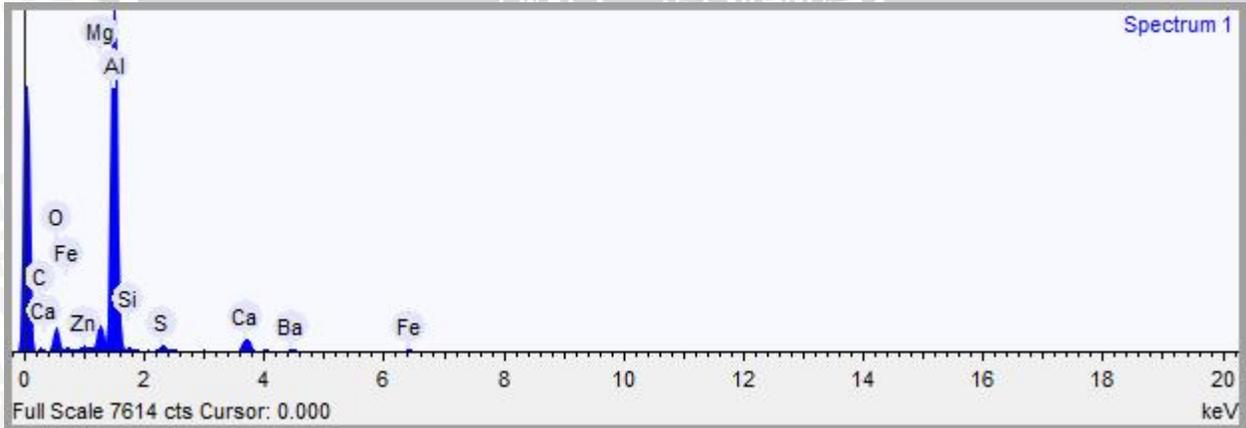
#### Electron Image

Image Width: 535.0 µm



#### Acquisition conditions

Acquisition time (s) 100.0      Process time 4  
Accelerating voltage (kV) 15.0



#### Quantification Settings

Quantification method All elements (normalised)  
Coating element None



### Summary results

Element	Weight %	Weight %	Atomic %
Carbon	13.693	0.928	24.349
Oxygen	20.195	0.541	26.959
Magnesium	3.472	0.126	3.050
Aluminum	51.500	0.691	40.765
Silicon	0.765	0.099	0.582
Sulfur	1.158	0.094	0.772
Calcium	4.251	0.140	2.265
Iron	1.695	0.206	0.648
Zinc	0.585	0.186	0.191
Barium	2.684	0.272	0.417

