

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

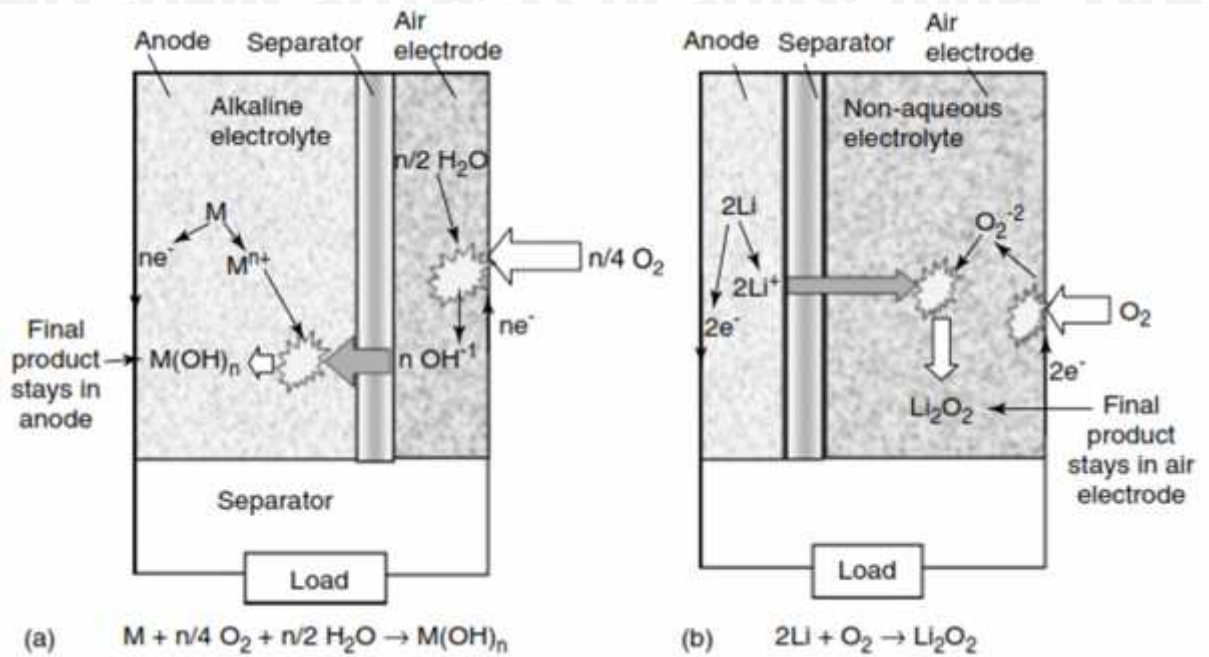
Yang (2002), penelitian sebelumnya membuktikan bahwa energi dari penggunaan *aluminium air battery* mampu menyaingi energi dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar bensin dalam jarak tempuh dan akselerasi kendaraan bermotor. Dalam analisis biaya yang dibutuhkan, biaya penggunaan energi dari bahan aluminium hanya berkisar US\$ 1,1 tiap kilogram.

Suwandi (2013), penelitian sebelumnya membuktikan bahwa untuk memperoleh performa yang baik untuk elektroda dengan porositas maka dilakukan optimasi model porositas dengan profil porositas yang bervariasi secara spasial untuk meminimalisasi resistansi ohmik. Parameter yang digunakan pada model elektroda berdasarkan *model electrochemical porous electrode*, yang secara umum biasa digunakan pada baterai ion lithium. Untuk model dengan porositas homogen menghasilkan nilai resistansi ohmik minimum pada kombinasi elektroda berbahan LiCoO_2 dan elektrolit LiPF_6 dengan variasi porositas bernilai 0.183.

Combronero (2009), menjelaskan bahwa dengan cara *casting (direct foam)*, kalsium karbonat, dapat digunakan sebagai *foaming agent (blowing agent)* dalam manufaktur sederhana. Ukuran partikel dari karbonat adalah salah satu variabel yang mempengaruhi dalam proses *foaming*. Variabel produksi seperti waktu pencampuran, tekanan ekstruksi panas atau waktu *foaming* lebih rendah dari bubuk marmer yang digunakan karena ukuran partikelnya. Penguraian sebagian kalsium karbonat memungkinkan pengembangan *foam* dengan meminimalkan pembekuan aluminium dan kekasaran lubang *foam*. Dan hasilnya *pore closed* dan ukuran yang baik, tekanan uniaxial lebih baik dengan kepadatan diantara 0.53 dan 0.56 g/cm_3 .

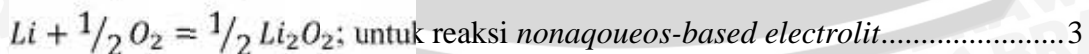
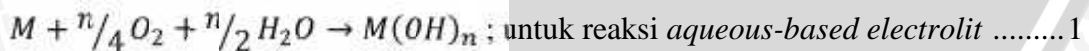
2.2 Metal Air Battery

Metal air battery mempunyai spesifik energi yang lebih tinggi daripada baterai primer dan baterai *rechargeable*, dan mulai dipergunakan antara permulaan tahun 1960 sampai 1970, *metal air battery* adalah sel baterai yang unik karena katoda yang dipergunakan adalah oksigen dan tidak memerlukan tempat dalam sel baterai untuk penyimpanannya.



Gambar 2.1 : (a) *metal – air battery* (b) *lithium - air battery*
 Sumber : martin 2011:760

Gambar diatas menjelaskan skematik dari proses reaksi dalam baterai *metal air* (a). Sebuah baterai yang menggunakan elektrolit *aqueous-based*, dimana M menunjukkan logam (contoh Zn, Al, Mg, Fe, Ca). Hidroksida (OH^-) adalah pemindah pembawa ion dari elektroda udara ke anoda. Produk dari reaksinya diakumulasi elektroda. (b). Sebuah baterai *Lithium air* yang bersumber dari elektrolit *nonaqueous*, reaksinya diakumulasi di elektroda udara. Ada beberapa keuntungan dan kerugian yang dimiliki oleh metal air battery yang ditunjukkan oleh tabel 2.1. *Metal air battery* pada umumnya menggunakan *aqueous-based elektrolit* tapi ada juga yang menggunakan *nonaqueous-based elektrolit*, reaksinya adalah



Tabel 2.1 keuntungan dan kerugian penggunaan *metal air battery*

Keuntungan	Kerugian
Densitas energi yang besar	Keterbatasan pada masalah lingkungan (energi habis ketika disimpan pada lingkungan bebas)
Voltase saat <i>discharging</i> yang datar	Daya yang dihasilkan terbatas
Umur simpan yang panjang	Range temperatur yang terbatas
Ketidakadaan masalah ekologi	Terkorosi
Biaya yang murah	Terjadi karbonasi pada elektrolit alkali

Sumber: handbook of batteies 3rd edition. Halaman 1121

Reaksi yang khas dari proses *nonaqueous-based metal air battery* yang ditunjukkan dari reaksi diatas, dimana M adalah Zn, Al, Mg, Fe, dan Ca. Dan salah satu yang penting dari metal air battery yaitu (OH⁻) hidroksida yang dibawa oleh ion dari elektroda udara ke anoda. Ada beberapa jenis *metal air battery* yang telah banyak dikembangkan, yaitu pada tabel karakteristik sel dibawah ini

Tabel 2.2 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

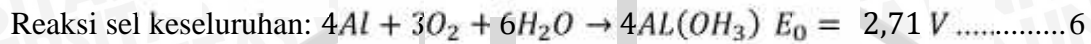
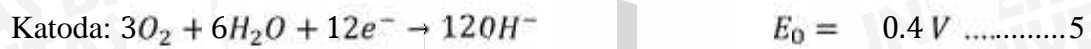
Sumber: handbook of batteies 3rd edition. Halaman 1121

2.2.1 Aluminium Air Battery

Alumunium dapat juga diaplikasikan dalam bentuk logam saat dipergunakan menjadi anoda baterai, dan dapat menghasilkan reaksi kimia sebesar 2980 Ah kg⁻¹. Konsep baterai tradisional yang umumnya tipe *single-use (primary)*. Sistem yang paling berkembang di "*metal-air*" batteries adalah yang menggunakan reduksi dari oksigen

dari lingkungan sebagai reaksi katoda. Contohnya (-) Al/KOH/O₂ (+) atau (-) Al/air laut/O₂ (+). Di lain hal oksigen dapat didapat dari dekomposisi hidrogen peroksida.

Aluminium air battery secara teoritis memiliki spesifik energi 8.1 kWh per kilo aluminium, dan densitas enerenya 219 kWh per panjangnya. Reaksi utamanya adalah:



Prinsipnya, semua reaksi dapat berlangsung pada air murni, tetapi untuk mendapatkan hasil maksimal, elektrolit adalah konduktor yang lebih baik, seperti KOH atau NaOH atau air laut.

Saat direndam pada larutan alkali, masalah yang muncul adalah korosi pada aluminium, hal itu dapat diselesaikan dengan menambahkan inhibitor sebagai pelindung seperti seng oksida (ZnO), ion seng, dan sebuah kombinasi dari jenis seng sebagai aditif, atau dengan mengganti air di elektrolit dengan metanol, aluminium anoda pada air laut akan beraksi aktif memecah lapisan permukaan pasif dengan *etchant*.

Pada aluminium baterai sebaiknya memakai Aluminium murni (Al 99%) dikarenakan pada proses elektrokimia baterai semakin banyak kandungan aluminium pada anoda baterai ini maka akan semakin banyak reaksi yang dihasilkan, dan semakin banyak pula elektron yang berpindah dan pasti akan memperbesar muatan dari baterai tersebut (*AmpereHour*).

Aluminium air battery juga dikembangkan sebagai baterai untuk kendaraan listrik, dengan energi densitas antara 300 sampai 400 Wh/kg, sebuah kendaraan listrik dapat menempuh jarak 100 sampau 200 mil. Kunci dari pemakaian *aluminium air battery* sebagai energi kendaraan listrik adalah:

1. kemudahan dalam penggantian aluminium anoda dalam rangkaian baterai
2. penggunaan katoda udara yang adalah aplikasi penggunaan yang terputus-putus
3. penanganan produk dari reaksi elektrokimia yang terjadi, misal munculnya aluminium hidroksida sebagai penghambat terjadinya reaksi

2.3 Aluminium

2.3.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki banyak kelebihan. Selain ringan, beratnya hanya 1/3 baja, tembaga atau kuningan. Memiliki kekuatan yang baik, bahkan beberapa aluminium paduan kekuatannya melebihi baja. Aluminium tahan terhadap korosi, mampu melawan pengaruh korosi dari elemen-elemen di atmosfer, air (termasuk air garam), oli dan bahan kimia lainnya. Memiliki konduktivitas termal yang tinggi, konduktivitas listrik dan panas yang baik. Aluminium tidak bersifat magnet, tidak beracun sehingga aman digunakan untuk peralatan dan industri makanan.

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit (Al_2O_3). Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrolisis sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium. Aluminium adalah logam terpenting dari logam nonferrous. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia dan Kenji, 1996 : 129). Keutamaannya dari aluminium dalam bidang teknik adalah sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya yang ringan, konduktivitas listrik dan panas baik. (De Garmo, 1997 : 157).

2.3.2 Aluminium Paduan

Dibawah ini adalah beberapa paduan aluminium yang penting :

1. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si merupakan paduan yang baik fluiditasnya, mempunyai permukaan coran yang baik, tahan korosi, penghantar panas yang baik, dan ringan.

2. Paduan Al-Zn

Merupakan paduan banyak mengandung aluminium dan tahan terhadap korosi. Diaplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar. Titik lebur paduan ini adalah 476-657 °C

3. Paduan Al-Mn

Mn adalah unsur paduan yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan digunakan untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung adalah 25,3% (Surdia dan Kenji, 1996 : 136).

4. Paduan Al-Cu

Merupakan paduan yang dapat diperlakukan panas. Dengan dikeraskan endapannya ataupun penyepuhan sifat mekanis, paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak akan tetapi daya tahan korosinya lebih rendah dibanding jenis paduan lainnya (Heine, 1976:294).

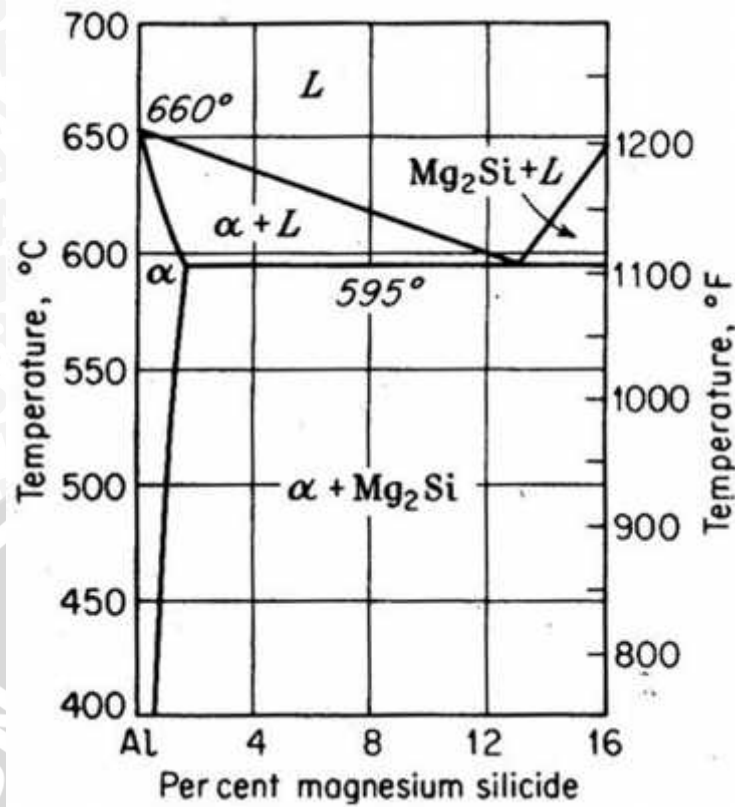
5. Paduan Al-Mg

Merupakan paduan yang tahan korosi. Paduan ini disebut *hidronalium*. Cu dan Fe tidak dapat dicampur pada paduan ini karena adalah unsur pengotor bagi Al-Mg.

6. Paduan Al-Mg-Si

Paduan aluminium-magnesium-silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan panas dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang baik (Wirjosumarto, 2000). Jika magnesium dan silikon dipadukan bersama aluminium, maka akan terbentuk magnesium silikat (Mg_2Si), kebanyakan aluminium paduan mengandung Si, sehingga penambahan magnesium diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1% (Heine, 1995:320).

Logam paduan murni dan coran yang diperlakukan panas mengandung beberapa fase terlarut, yang muncul dalam jumlah dan lokasi yang bervariasi dalam mikrostruktur bergantung pada temperatur spesimen. Pada seri paduan 6xxx, fase intermetalik yang umum adalah Mg_2Si .



Gambar 2.2 Diagram fase magnesium-silikon pada aluminium paduan. Sumber: Hiene (1995).

Pada diagram diatas tampak bahwa kelarutan Mg_2Si semakin menurun terhadap kelarutan aluminium yakni dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Kelarutan Mg_2Si dalam aluminium/fasa α terjadi sampai 16% pada $595^{\circ}C$. Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur $595^{\circ}C$ dengan komposisi 13% Mg_2Si dan 87% Al. Beberapa sifat yang dimiliki paduan Al-Mg-Si ditunjukkan dalam Tabel 2.3

Tabel 2.3 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
Density	2.71 g/cm ³
Melting Point	600°C
Modulus of Elasticity	67 Gpa
Electrical Resistivity	0.035x10 ⁻⁶ .m
Thermal Conductivity	180 W/m.K
Coefficient of Friction	0.42

Sumber: aalco (2007)

2.3.3 Sifat-sifat Aluminium

Kekurangan dari aluminium dari segi teknik adalah sifat elastisitas aluminium sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemanduan maupun dengan perlakuan panas. Aluminium mempunyai beberapa sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Sifat-sifat fisik aluminium.

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (Kg/dm ³) (20°C)	2,6989	2,71
Titik cair (°C)	660,2	653-657
Panas jenis (Cal/g.°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperature (1/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuai (M/°C) (20-100°C)	23,86 x 10 ⁶	23,5 x 10 ⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	FCC, = 4,013 Kx	FCC, = 4,04 Kx

Sumber: Surdia dan Kenji. 1996:134

2.4 Pengecoran Logam

2.4.1 Definisi Pengecoran Logam

Definisi pengecoran logam (*metal casting*) adalah salah satu proses manufaktur dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan kedalam rongga cetakan (*cavity*) yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat.

Dalam hal ini dijelaskan prinsip dasar pengecoran logam adalah mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam cetakan, yang mana cetakan itu memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk rongga cetakan sesuai bentuk logam yang dibuat, kemudian dibiarkan dingin lalu membeku. Terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan dalam melakukan pengecoran logam diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, pembersihan logam, dan pemeriksaan hasil coran. Keuntungannya antara lain:

- Mampu digunakan untuk produksi massal

- Sifat-sifat mekanik yang jauh lebih baik mampu dihasilkan dengan proses pengecoran.
- Mampu menghasilkan produk yang menyerupai replikanya.
- Mampu membuat bentuk yang rumit, baik di bagian luar maupun bagian dalam sehingga banyak proses yang dapat diminimalisir
- Mampu membuat benda dengan ukuran yang sangat besar dan berat.

2.4.2 Macam-Macam Pengecoran Logam

Berikut beberapa macam pengecoran logam :

A. *Expandable mold casting*

Expandable mold casting adalah suatu alat cetak yang hanya dapat digunakan untuk sekali proses pengecoran. Bahan yang digunakan untuk cetakan ini adalah gips, pasir, keramik, dan sejenis material yang dicampur bahan pengikat. Berikut macamnya :

2.1 *Sand Casting*

Dalam hal ini cetakan dibuat dengan cara memadatkan pasir di atas pola. Sehingga saat pola diangkat maka terbentuklah rongga cetakan.

2.2 *Plaster Mold Casting*

Pada proses ini cetakan dibuat dari gips untuk bentuk 3 dimensi. Biasanya digunakan untuk membuat patung, wajah, fosil, dan paleontologi.

2.3 *Ceramic Mold Casting*

Hampir sama dengan *Plaster Mold Casting*, namun cetakan yang terbuat dari keramik ini membuatnya lebih tahan suhu logam cair yang tinggi.

2.4 *Expendable Graphite Molds*

Cetakan ini digunakan untuk logam titanium yang cenderung bereaksi dengan cetakan pada umumnya. Cetakan ini diperkuat dengan semen, kanji, dan air. Cetakan ini perlu dipanaskan sampai 1000°C untuk memperkuat grafit.

2.5 *Rubber Mold Casting*

Terbuat dari elastomer sintesis yang dapat dicampur dalam bentuk cair kemudian dituang ke pola. Cetakan ini digunakan untuk produk dengan ukuran kecil dan material dengan titik lebur rendah.

2.6 *Investment Casting*

Adalah proses pengecoran kuno, digunakan untuk produk yang sangat rumit. Pola dibuat dari lilin, kemudian dicelupkan ke dalam keramik cair. Didiamkan sampai

keramik yang melapisi pola mengeras. Setelah itu logam cair dituang sehingga mencairkan pola lilin dan memenuhi cetakan keramik. Jadilah produk sesuai cetakan yang diinginkan.

B. *Multiple-use mold casting*

Multiple-use mold casting adalah proses pengecoran yang mengatasi banyak keterbatasan, proses ini memiliki kelebihan tersendiri. Namun biasanya digunakan dalam pengecoran dengan material logam *nonferrous*. Kebanyakan ukuran dari bagian produk terbatas, juga tingginya harga pembuatan cetakannya. Berikut macamnya :

1. *Permanent Mold Casting*

Proses pengecoran yang cetakannya dapat digunakan kembali. Cetakan biasanya terbuat dari besi cor abu – abu, baja, kuningan, grafit. Cetakan dipanaskan terlebih dahulu, kemudian dijepit tutup. Logam cair dituang dengan sederhana searah gravitasi. Jenis *permanent mold casting* adalah *slush casting*, *Corthias casting*, *low-pressure permanent mold casting*, *vacuum permanent mold casting*.

2. *Die Casting*

Berbeda dengan *permanent mold casting*, pada *die casting* logam dipaksa memasuki rongga cetakan dengan menggunakan tekanan 1000 pound/inch dan menahannya selama proses pembekuan. Cetakannya sangat kuat dan produk yang dihasilkan sangat kompleks.

3. *Squeeze Casting (Liquid-Metal Forging)*

Adalah kombinasi dari pengecoran dan *forging*. Volume yang tepat dituang ke dalam cetakan dan setelah sebagian logam membeku, bagian cetakan atas turun memberikan tekanan selama proses pembekuan.

4. *Centrifugal Casting*

Memanfaatkan gaya inersia sehingga dapat merotasikan logam cair. Tujuannya adalah supaya logam cair dapat terdistribusikan merata dalam rongga cetakan. Kecepatannya biasa mencapai 300 rpm. Biasanya digunakan untuk produk silinder pipa.

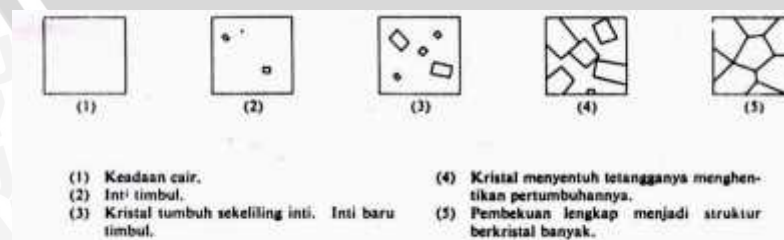
2.5 Pembekuan Logam

Seluruh logam saat proses pembekuan membentuk kristal, susunan teratur (*ordered*) dan atom-atom berulang (*repetitive*) dalam suatu ruang. Atom logam saat kondisi cair berada pada posisi tidak teratur. Saat akan mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Atom yang mula-mula menyusun diri adalah atom yang mengalami kestabilan pertama kalinya. Susunan awal atom dikenal dengan sebutan inti atom dan proses pembentukan inti atom disebut pengintian

(*crystallization*). Misalkan logam dengan kristal FCC, maka untuk membentuk inti atom membutuhkan 12 atom. Setelah terbentuk inti atom, atom-atom lainnya yang terdapat disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga seolah-olah inti atom berkembang dan memiliki cabang-cabang yang dikenal dengan sebutan *dendrite*.

Pada proses pengintian akan timbul banyak inti atom sehingga banyak pula muncul *dendrite*, masing-masing mempunyai arah atau orientasi yang berbeda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite* lain yang berkembang. Permukaan yang bersinggungan ini dikenal dengan sebutan batas butir (*grain boundary*), sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir dikenal dengan sebutan butir. Jika keadaan memungkinkan, misalkan energi yang tersedia cukup besar, satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam artian atom-atom dari butir lain yang kurang stabil akan mengikuti arah butir tersebut. Jika keadaan ini berlangsung terus-menerus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. Jika logam didinginkan secara lambat, maka *dendrite* mempunyai waktu yang cukup untuk tumbuh, sehingga akan terbentuk butiran-butiran yang besar. Sebaliknya, jika pendinginan logam secara cepat maka akan menimbulkan butiran-butiran yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.

Dalam proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan permukaan cetakan, dimana terjadi gradien temperatur yang tinggi, sehingga temperatur bagian luar logam cair lebih rendah dari pada bagian dalam, maka dari itu inti atom mulai terbentuk dari bagian yang dekat dengan cetakan, lalu berkembang kebagian dalam, dari bentuk kecil lalu menjadi besar sepanjang arah logam cair. Lalu inti tersebut membentuk butiran sepanjang luasan logam cair dan berbentuk kolom-kolom, dan akhirnya menjadi padat seluruhnya. Ilustrasi pembekuan logam dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam.

Sumber: Surdia dan Kenji. 1996 : 14

Terdapat tiga daerah yang terjadi saat pembekuan logam coran, yaitu :

- Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

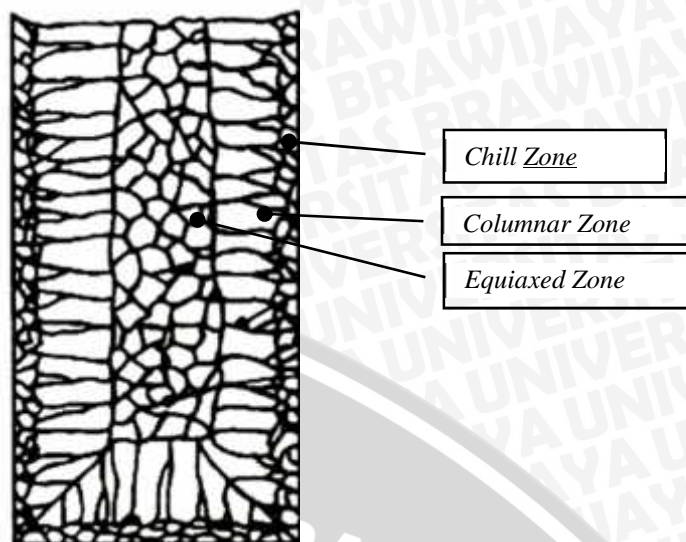
Selama proses penuangan logam cair kedalam cetakan, logam cair yang berkontak langsung dengan dinding cetakan akan mengalami pendinginan yang cepat dibawah temperatur likuidusnya. Daerah ini berada paling luar yang dipengaruhi oleh *heat removal*. Dalam hal ini struktur terbentuk saat kontak pertama antara dinding cetakan dengan *melt* saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang perlahan naik membuat kristal yang beku menyebar meninggalkan dinding akibat pengaruh aliran cairan dan apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada ditengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

- *Columnar zone*

Setelah penuangan, gradien temperatur pada dinding cetakan turun dan kristal pada daerah *chill* tumbuh memanjang dalam arah kristal tertentu. Kristal tersebut tumbuh memanjang berlawanan dengan arah perpindahan panas, yang bergerak dari cairan logam dari dinding cetakan yang bertemperatur tinggi kearah yang bertemperatur lebih rendah, yang dikenal dengan sebutan dengan dendrit. Setiap kristal dendrit mengandung banyak lengan dendrit (*primary dendrit*). Dengan meningkatnya panjang dendrit dan jika struktur yang terbentuk berfasa tunggal, maka lengan dendrit sekunder dan tersier akan timbul dari lengan dendrit primer. Daerah yang terbentuk antara ujung dendrit dan titik dimana sisa cairan terakhir akan membeku disebut sebagai *mushy zone* atau *pasty zone*. *Columnar zone* merupakan batas yang tumbuh setelah gradien suhu pada dinding cetakan turun dan kristal pada *chill zone* tumbuh secara dendritik dengan arah tegak lurus dengan dinding cetakan.

- *Equiaxed zone*

Terdiri dari butir-butir equiaxial yang tumbuh secara acak ditengah-tengah *ingot*. Dalam hal ini dipengaruhi oleh perbedaan temperatur yang ada dan tidak menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir memanjang. Struktur ini terdiri dari butiran bersumbu sama memiliki arah yang acak. Penyebab butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrit bila suhu disekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan tumbuh menjadi dendrit yang baru. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.4

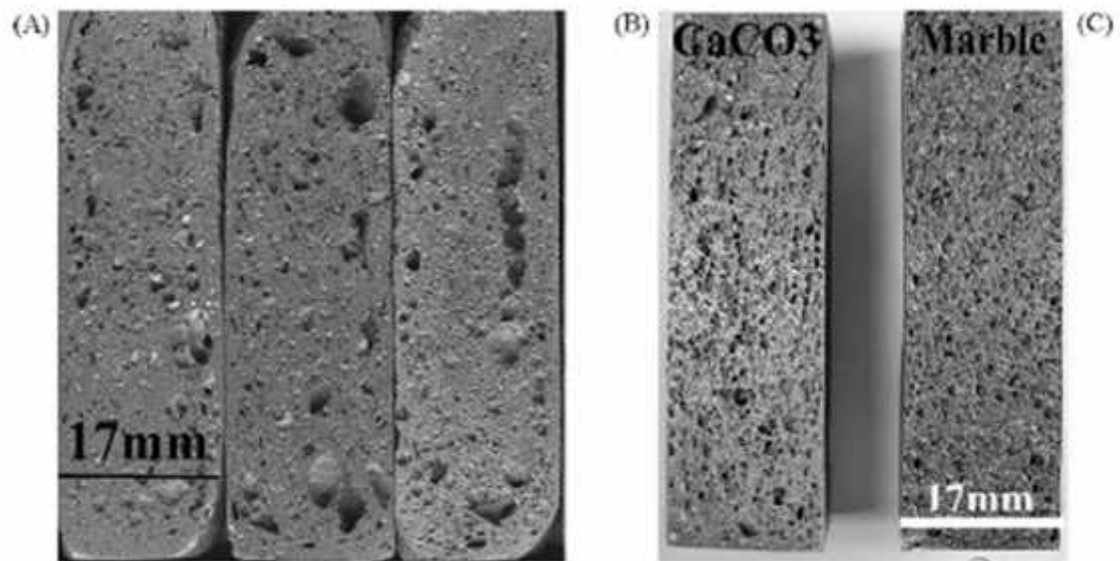


Gambar 2.4 : Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*.

Sumber: Kalpakjian. 1990 : 279

2.6 Metal Foam

Metal foam adalah struktur bertingkat yang berisi logam padat, lebih seringnya aluminium, porinya ada yang tertutup-berada di dalam (*closed-cell foam*) dan dapat membentuk jaringan koneksi tiap pori (*open-cell foam*), cairan metal foam adalah campuran dari gelembung udara dan paduan cair. Selama proses solidifikasi sebuah logam material berpori banyak berisi kombinasi sifat yang unik. *Metal foam* dapat dibuat dengan sintering, casting, electroplating atau deposisi penguapan kimiawi. Ada 2 strategi fundamental untuk membuat metal foam. *Direct foam* dimulai dari penyiapan logam cair yang berisi partikel non logam seragam yang tersebar merata yang diberikan untuk menghasilkan gelembung gas untuk menciptakan busa. Metode *indirect foaming* dilakukan dari bakal logam yang terdiri dari logam matrik yang berisi partikel blowing agent seragam yang menyebar, untuk dasar paduan Al paling sering menggunakan titanium atau zirconium hidrat, dan pada saat matrik meleleh, bakal logam akan mengembang dan terbentuk busa. (Banhart 2006:2)



Gambar 2.5 gambar struktur alumunium tipe 6061 + busa CaCO_3 a) dengan cacat karena segregasi karbonat b) ditambahkan keramik c) tanpa cacat.

Sumber: Combronero:2009

2.7 *Blowing agent*

Blowing agent adalah sebuah substansi yang mampu memproduksi struktur jaringan dengan proses foaming dalam sebuah berbagai material yang menjalani pengerasan atau fase transisi, misalnya polimer, plastik, dan logam. Dan penerapannya saat logam berfase cair. Struktur jaringan dalam bentuk matrisek dapat menurunkan kepadatan, dan meningkatkan isolasi termal dan getaran, dan dapat meningkatkan kekakuan dari sebuah polimer asli. *Blowing agent* atau sama dengan mekanisme untuk membuat lubang dalam matrik yang memproduksi material jaringan, *blowing agent* yang digunakan dalam pembuatan metal foam.

Blowing agent biasanya dicampurkan pada saar material parent dalam keadaan cair. Dimana senyawa *blowing agent* tersebut adalah zat stabil bila diletakkan pada kondisi ruangan, namun dapat melepaskan gas apabila dipanaskan. Syarat umum dari blowing agent adalah temperatur dekomposisinya sesuai dengan temperatur logam induk meleleh.

Kinetika dan reaksi dekomposisi penting, proses foaming harus terjadi secara cepat agar didapatkan ukuran rongga yang diinginkan sebelum gelembung keluar dari lelehan, volume gas yang dihasilkan oleh *blowing agent* juga merupakan hal penting, *blowing agent* yang menghasilkan gas yang tinggi membutuhkan pengadukan yang lebih sedikit.

Juga densitas dari blowing agent harus relatif sama dengan lelehan, agar dapat terdispersi secara merata.

2.7.1 Titanium Hidrida (TiH_2)

Titanium Hidrida merupakan jenis senyawa penghasil gas yang termasuk dalam kategori *chemical blowing*. TiH_2 adalah senyawa kimia dari titanium dan hidrogen, dengan hidrida yang sangat reaktif. TiH_2 merupakan senyawa penghasil gas yang telah digunakan secara komersil dan telah banyak digunakan dalam industri. Titanium hidrida merupakan senyawa penghasil gas yang baik dan telah teruji dapat menghasilkan *foam* yang bagus untuk *metal foam*, namun kekurangannya adalah senyawa ini sangat mahal dan sangat tidak efektif jika hanya digunakan untuk produksi skala kecil.



Gambar 2.6 serbuk titanium hidrida
Sumber www.greeneearthchem.com (2014)

2.7.2 Zirkonium Hidrida (ZrH_2)

Merupakan senyawa kimia campuran antara hidrida dan zirkonium. Dipasaran biasanya berupa serbuk berwarna abu-abu kehitaman dan bersifat mudah terbakar. Sering digunakan dalam metalurgi serbuk sebagai hidrogen katalis dan sebagai *reducing agent*, *vacuum tube getter*, dan *foaming agent* pada produksi busa metal. Dalam pembuatan *aluminium foam* ZrH_2 bubuk dengan jumlah 0.6% - 1.4% (wt) ditambahkan pada aluminium cair, saat foaming pada temperatur antara 933 – 1013 K.



Gambar 2.7 serbuk zirconium hidrida
Sumber www.rboschco.com (2014)

2.7.3 Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

Dolomite atau yang dikenal juga Kalsium Magnesium Karbonat, dolomit adalah mineral yang berasal dari alam yang mengandung unsur hara magnesium dan kalsium berbentuk tepung dengan rumus kimia $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Sama halnya seperti CaCO_3 dolomit merupakan senyawa penghasil gas dan memiliki potensi yang bagus karena harga yang ekonomis dan ketersediaan yang banyak.



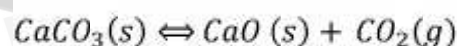
Gambar 2.8 serbuk dolomite
Sumber www.indiamart.com (2014)

2.7.4 Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Kalsium karbonat umumnya berwarna putih dan sering di jumpai pada batu kapur, kalsit, marmer dan batu gamping. Kalsium karbonat sendiri memiliki densitas (berat jenis) yang mirip dengan aluminium yaitu sekitar 2710 kgm^{-3} sehingga dapat terdispersi secara baik pada lelehan aluminium dan telah digunakan untuk membuat *metal foam*.

Proses *foaming* pada aluminium paduan dan komposit yang berbasis aluminium dengan CaCO_3 sebagai *blowing agent* disebabkan oleh dekomposisi termal dari kalsium karbonat yang berhubungan dengan aluminium cair pada suhu di atas 700°C . Reaksi kimia secara keseluruhan sangat kompleks, yang terdiri dari beberapa reaksi yang berurutan yang menyebabkan terbentuknya berbagai macam padatan (CaO , Al_2O_3 , Al_4C_3) dan fase gas (CO_2 , CO).

Reaksi penguraian CaCO_3 biasanya dijelaskan oleh reaksi dibawah ini:



Secara teoritis, di bawah tekanan atmosfer normal dekomposisi termal CaCO_3 murni secara termodinamika yang baik terjadi pada suhu di atas 900°C . Dekomposisi dapat terjadi pada temperatur yang lebih rendah. Jadi jika kita dapat mengurangi tekanan parsial CO_2 didalam rongga maka kita dapat melakukan *foaming* pada temperatur yang lebih rendah. Hal-hal inilah yang merupakan peluang penggunaan kalsium karbonat

sebagai senyawa penghasil gas. Kalsium karbonat merupakan senyawa penghasil gas yang memiliki potensi yang bagus karena murah dan ketersediannya yang banyak.



Gambar 2.9 serbuk kalsium karbonat
Sumber gimexjs.en.ec21.com (2014)

2.8 Reaksi Elektrokimia

Reaksi elektrokimia adalah cabang dari ilmu kimia yang berhubungan dengan perubahan energi antara energi listrik dan energi kimia. Proses elektrokimia adalah reaksi redoks yang mana terdapat pelepasan energi oleh reaksi spontan dan dikonversi menjadi energi listrik atau biasanya energi listrik disebabkan karena terjadinya reaksi tidak spontan.

Pada reaksi redoks, elektrin di pindahkan dari satu substansi ke substansi yang lain. Misal contohnya pada reaksi antara logam magnesium dan asam klorida seperti pada gambar dibawah ini



Gambar Contoh reaksi redoks antara logam magnesium dan asam klorida
Sumber Chang 2011, 662

Angka yang terdapat pada gambar reaksi diatas adalah elemen dari angka oksidasi dari sebuah elemen. Elektron yang hilang selama proses oksidasi ditandai dengan

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

2.8.1 Gibbs Free Energy

Hukum termodinamika yang kedua menjelaskan bahwa reaksi spontan meningkatkan entropi di alam semesta, yang mana $\Delta S > 0$. Dari rumus entropi ini kita bisa menjelaskan adanya *gibbs free energy* (G). Gibbs free energy ini digunakan untuk menunjukkan apakah sebuah reaksi yang terjadi adalah reaksi spontan atau bukan. Rumus dari *Gibbs free energy* adalah:

$$G = H - TS$$

yang mana

G = gibbs free energy

H = entalphy

T = temperature

S = entrophy

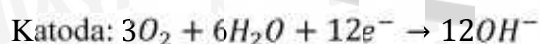
Yang mana nilai G adalah parameter dari sebuah reaksi berjalan spontan atau tidak, parameternya adalah

$\Delta G < 0 \rightarrow$ reaksi berjalan spontan

$\Delta G > 0 \rightarrow$ reaksi berjalan tidak spontan

$\Delta G = 0 \rightarrow$ sistem sudah pada titik ekuilibrium. Tidak ada perubahan

Pada *aluminium air battery* ditemukan bahwa reaksi berjalan, yang ditunjukkan dengan perhitungan nilai G dibawah ini



$$\begin{aligned} E_{cell} &= E_{katoda} - E_{anoda} \\ &= 0,4 V - (-2,31 V) \\ &= 2,71 V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta G &= -n.F.E_{cell} \\ &= -3 \cdot \left(96.500 \text{ J/V.mol} \right) \cdot (2,71 \text{ V}) \\ &= -784.545 \text{ J/mol} = 7,84 \cdot 10^5 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan reaksi dari *aluminium air battery* berjalan secara spontan.

2.9 Porositas

Porositas adalah terbentuknya udara dan penyerapan gas oleh logam pada saat penuangan. Logam biasanya melarutkan gas atau udara dari cetakan atau permukaan *core* (jain 2003:197). Porositas biasanya dianggap sebagai sebuah cacat dari proses pengecoran logam dikarenakan porositas menyebabkan terjadinya rongga pada produk yang dihasilkan sehingga kekuatan fisik dari logam produk akan menjadi menurun, tetapi pada kasus *metal foam* porositas adalah inti dari semua proses pembuatannya, porositas dengan kadar tertentu akan menjadikan logam akan sesuai dengan keinginan dari produsen *metal foam*. Porositas bisa dianggap sebagai perbandingan nilai volume ruang kosong dan total volume. Ada beberapa jenis rumus untuk menghitung nilai porositas, tetapi yang lebih sering digunakan adalah

$$P = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}$$

yang mana

P = persen porositas dari logam yang dihitung (%)

ρ_s = nilai *apparent density* (gr/cm^3)

ρ_{th} = nilai *true density* (gr/cm^3)

Apparent density adalah nilai dari kepadatan yang sebenarnya dari sebuah logam, nilai *apparent density* bisa dihitung melalui rumus dibawah ini

$$\rho_s = \rho_w \frac{w_s}{w_s - (w_{sb} - w_b)}$$

Dengan:

ρ_s = *apparent density* (gr/cm^3)

ρ_w = massa jenis air (gr/cm^3)

w_s = berat produk diudara (gr)

w_b = berat keranjang dalam air (gr)

w_{sb} = berat produk dan keranjang dalam air (gr)

True density adalah nilai kepadatan dari sebuah produk sebenarnya tanpa adanya volume rongga di dalam volume totalnya. Nilai dari *True Density* bisa dihitung melalui rumus dibawah ini

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%U_1}{\rho_{U_1}} \right) + \left(\frac{\%U_2}{\rho_{U_2}} \right) + \left(\frac{\%U_3}{\rho_{U_3}} \right) + \dots \right\}}$$

Dengan:

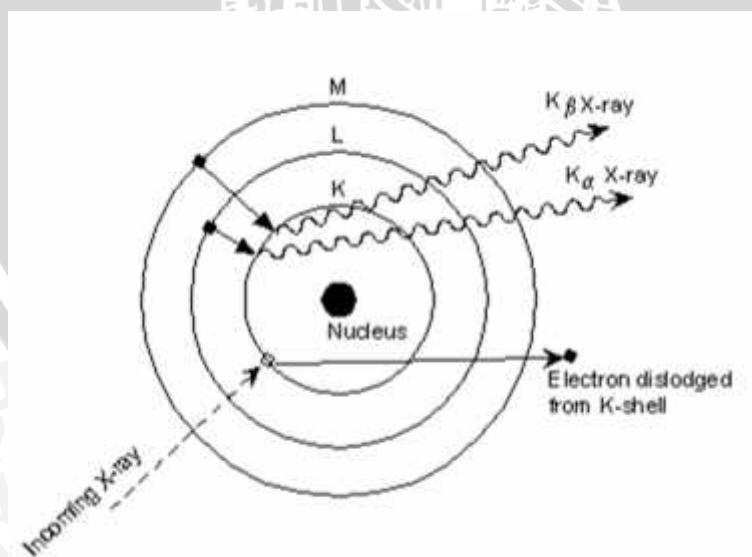
ρ_{th} = true density (gr/cm^3)

ρ_{U_n} = massa jenis unsur yang terkandung dalam produk (gr/cm^3)

$\%U_n$ = persentase berat unsur yang terkandung pada produk (%)

2.9.1 Uji XRF (X-Ray Florensence)

Pengujian XRF adalah sebuah teknik analisis untuk mengetahui unsur yang membentuk suatu materuail dengan dasar interaksi sinar x dengan dengan material uji, pada pengecoran biasanya digunakan dalam menentukan kadar komposisi dari produk pengecoran yang dibuat, sehingga dapat diketahui nilai *true density* suatu material.



Gambar 2.10 Sistematika Uji XRF
Sumber: Setiabudi, A. 2014

2.10 Hipotesa

Pada penambahan massa *blowing agent* CaCO_3 pada pembuatan elektroda *aluminium air battery* akan mempengaruhi banyaknya pori udara pada logam corannya, semakin banyak massa CaCO_3 pada aluminium tipe 6061 maka porositas elektroda akan semakin besar sehingga tegangan listrik hasil dari reaksi elektrokimia akan semakin besar pula sehingga tegangan listrik yang terbentuk akan semakin besar.

