



TUGAS AKHIR – SF141501

**PENGARUH SUHU ARTIFICIAL AGING TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO KOMPOSIT
Al-Mg-Si**

**Affandy Subyanto
NRP 1105 100 055**

**Dosen Pembimbing
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
NIP. 19690904 199203.1.003**

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015**



FINAL PROJECT – SF141501

**EFFECT OF ARTIFICIAL AGING TEMPERATURE ON
MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE
OF COMPOSITE Al-Mg-Si**

**Affandy Subyanto
NRP 1105 100 055**

**Advisor
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
NIP. 19690904 199203.1.003**

**Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH SUHU ARTIFICIAL AGING TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO KOMPOSIT**

Al-Mg-Si

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Fisika Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

AFFANDY SUBYANTO

NRP. 1105 100 055

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
NIP. 19690904 199203.1.003



SURABAYA, JANUARI 2015

PENGARUH SUHU ARTIFICIAL AGING TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO KOMPOSIT Al-Mg-Si

Nama Mahasiswa : Affandy Subyanto
NRP : 1105 100 055
Jurusan : Fisika FMIPA
Dosen Pembimbing : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng

ABSTRAK

Penentuan suhu yang digunakan pada proses artificial aging akan menentukan pengerasan setelah proses quenching dan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis pada komposit Al-Mg-Si. Perbedaan suhu yang digunakan akan menghasilkan perbaikan sifat mekanis yang berbeda, sehingga dalam hal ini akan dicari pada suhu berapa yang tepat guna dilakukan aging untuk mendapatkan sifat mekanis yang optimum. Dengan studi literatur, maka dilakukan percobaan pada komposit Al-Mg-Si dengan perlakuan panas solution heat treatment 400°C dan di quenching pada media air yang dilanjutkan ke perlakuan aging dengan variasi suhu aging 130°C , 180°C , 230°C , 280°C dan 330°C dengan HT 1,5 jam. Setelah percobaan tersebut, dilakukan pengujian kekerasan dan pengamatan terhadap perubahan struktur mikro. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan yang dilanjutkan dengan pengujian, maka didapat fenomena dimana semakin tinggi suhu yang digunakan mulai dari 130°C - 280°C terjadi peningkatan nilai kekerasan bahan sebesar 10%. Nilai kekerasan naik dari 48,05 HV sebelum artificial aging hingga menjadi 53,13 HV.

Kata kunci: artificial aging, sifat mekanis, struktur mikro, perlakuan panas dan quenching

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

EFFECT OF ARTIFICIAL AGING TEMPERATURE ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF COMPOSITE Al-Mg-Si

Name : Affandy Subyanto
Student Identity : 1105 100 055
Department : Fisika FMIPA
Advisor : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng

Abstract

Temperature in artificial aging process will determine the hardness and mechanical properties of composites Al-Mg-Si after quenching process. This research aimed to search the match temperature on aging process to obtain optimum mechanical properties. Based on study literature, experiments done by heat treatment solution at 400°C and water as quenching medium then continued to aging process with temperature variation 130°C, 180°C, 230°C, 280°C and 330°C with HT 1.5 hours. Hardness testing and observation of its microstructure is done after aging process. This research resulted that higher temperature used on aging temperature range from 130°C – 280°C will increase 10% of material hardness, from 48.05 HV before artificial aging to be 53.13 HV.

Keywords: *artificial aging, mechanical properties, microstructure, heat treatment and quenching*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, serta shalawat dan salam kepada baginda Rosulullah Muhammad SAW beserta para sahabat dan umatnya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini, dengan judul :

“Pengaruh Suhu Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Komposit Al-Mg-Si”

Sebagai syarat yang harus dipenuhi untuk meraih gelar sarjana di jurusan Fisika FMIPA ITS.

Pada kesempatan ini, penulis juga menghaturkan banyak terima kasih atas segala bantuan, bimbingan dan dukungan serta fasilitasnya kepada :

1. Kedua Orang tua ku, atas do'a dan air mata yang senantiasa mengiringi setiap langkah. Maaf terlalu lama ananda menyelesaikan amanah ini, tersenyumlah....
Untuk istriku tercinta ini adalah buah perjuangan kita
2. Bapak Yono Hadi Pramono selaku dosen wali dan dosen pembimbing, terima kasih atas kebesaran hatinya
3. Bapak Zainuri dan Bapak Heny Faisal selaku dosen Fisika Bahan yang dengan sabar dan penuh pengertian telah membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
4. Bapak Sulistioso selaku pembimbing di PT BIN BATAN yang telah memberikan fasilitas alat dan waktu diskusinya
5. Bapak Yono dan Ibu Melanie selaku ketua jurusan dan sekretaris jurusan yang mengayomi jurusan dengan professional dan penuh kesabaran

6. Rekan-rekan lainnya yang pernah singgah dan memberi sumbangsih, karena terlalu banyaknya tidak terwakili di lembar ini

Penulis menyadari sepenuhnya banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Kritik dan saran sangat diharapkan untuk penyempurnaan laporan ini. Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi kita semua sebagai wacana ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	.....	i
Lembar Pengesahan	.....	v
Abstrak	.....	vii
Kata Pengantar	.....	xi
Daftar Isi	.....	xiii
Daftar Gambar	.....	xv
Daftar Tabel	.....	xvii
Daftar Lampiran	.....	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	.....	1
1.2 Perumusan Masalah	.....	2
1.3 Batasan Masalah	.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	.....	2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Komposit	.....	5
2.2 Karakteristik Bahan Penyusun Metal Matrix Composite ..		9
2.2.1 Diagram fasa Al-Si	.....	7
2.2.2 Diagram fasa Al-Mg	.....	8
2.3 Modulus Elastisitas / Modulus Young	.....	9
2.3.1 Modulus young komposit isotropis model kubus ...		9
2.3.2 Modulus young komposit isotropis model tabung..		10

2.3.3 Analisa sifat mekanik komposit <i>Upper</i> dan <i>Lower bound</i>	10
2.4 Metalurgi Serbuk	12
2.4.1 Penyusunan	12
2.4.2 Penekanan (kompaksi)	13
2.4.3 Pemanasan	15
2.5 Proses <i>Heat Treatment</i>	16
2.6 Pengujian Bahan	20
2.6.1 Difraksi Sinar X (XRD)	20
2.6.2 Metalografi	21
2.6.3 Uji Mekanik (kekerasan)	24

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Penelitian	25
3.2 Bahan dan Peralatan	26
3.2.1 Bahan	26
3.2.2. Peralatan	26
3.3 Proses Pembuatan Sampel	27
3.3.1 Penyusunan (<i>compounding</i>)	27
3.3.2 Pencampuran (<i>mixing</i>)	28
3.3.3 Penekanan (kompaksi)	28
3.3.4 Presinter+Sintering	29
3.3.5 <i>Aging</i>	29
3.4 Pengujian Bahan	29
3.4.1 Uji Mikroskop Optik	29
3.4.2 Uji Difraksi Sinar-X	29

3.4.3 Uji Kekerasan	30
3.4.4 Uji SEM+EDS	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pencampuran <i>Time Series</i>	33
4.2 Pengaruh Proses Kompaksi	33
4.3 Pengaruh Presinter dan Sintering	34
4.4 Pengaruh <i>Heat Treatment</i>	36
4.5 Pengujian Kekerasan	37
4.6 Analisa Struktur Mikro	40
4.7 Analisa Difraksi sinar-X	40

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45

DAFTAR PUSTAKA

47

LAMPIRAN

LAMPIRAN A Data Pengujian Difraksi Sinar-X	49
LAMPIRAN B Data Pengujian SEM	51
LAMPIRAN C Data Uji Kekerasan dengan Macro HV	54
LAMPIRAN D Hasil Foto Mikrostruktur	55

BIOGRAFI PENULIS

57

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat mekanik dan fisik logam aluminium	6
Tabel 4.1	Hasil Penyusutan Proses Aging	37
Tabel 4.2	Data hasil uji kekerasan	38

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi bahan komposit berdasar jenis penguatnya	6
Gambar 2.2	Diagram fasa Al-Si dan struktur mikro paduan hipoeutektik, eutektik, dan hipereutektik	8
Gambar 2.3	Diagram Fasa Al-Mg	9
Gambar 2.4	Perangkat kompaksi konvensional	13
Gambar 2.5	Alur proses mekanisme kompaksi	14
Gambar 2.6	Mekanisme ikatan antar permukaan	16
Gambar 2.7	Hubungan antara waktu <i>aging</i> dengan kekerasan aluminium	20
Gambar 2.8	Mekanisme kerja XRD	20
Gambar 2.9	Skema Kerja Alat SEM	21
Gambar 2.10	Backscattered elektron	22
Gambar 2.11	Mekanisme kontras electron sekunder	22
Gambar 2.12	Hasil Uji EDS	23
Gambar 2.13	Indentor Vickers	24
Gambar 3.1	Diagram Penelitian	25
Gambar 3.2	Alat pengujian XRD	30
Gambar 3.3	Macrohardness	30
Gambar 3.4	Seperangkat alat SEM+EDS	31
Gambar 4.1	Pengaruh variasi suhu terhadap nilai kekerasan sampel	39
Gambar 4.2	Hasil foto struktur mikro sampel	40
Gambar 4.3	Hasil XRD sampel setelah kompaksi	41
Gambar 4.4	Hasil XRD sampel setelah <i>quenching</i>	42
Gambar 4.5	Hasil XRD sampel setelah proses <i>aging</i>	42
Gambar 4.6	Perbandingan hasil XRD	43
Gambar 4.7	Hasil uji SEM+EDS komposit Al-Mg-Si setelah <i>quenching</i>	44

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium dan paduannya merupakan jenis material yang cukup penting dikarenakan nilai teknologinya yang tinggi dan aplikasinya yang luas. Aluminium banyak digunakan pada industri manufaktur karena aluminium ringan, dapat dengan mudah dikombinasikan dengan unsur lain (*alloying*) maupun dibentuk sebagai komposit (MMC) untuk mengatur karakteristik seperti sifat mekanis, sifat mampu cor (*castability*), sifat mampu mesin (*machineability*), ketahanan korosi, konduktifitas panas dan listrik, sifat mampu las (*weldability*), dan ketahanan terhadap hot tear (*hot tear resistance*). Kualitas dari produk hasil metalurgi modern tersebut juga masih dapat ditingkatkan dengan metode modifikasi, penghalusan butir serta perlakuan panas (*heat treatment*). Penambahan magnesium pada aluminium akan menyebabkan benda bertambah ringan dan meningkatkan ketahanan terhadap dampak (Surdia, 1992). Namun bahan komposit Al-Mg merupakan bahan yang tidak bisa laku panas dan sejak ditemukan penambahan unsur lain yaitu Si pada komposit Al-Mg, maka sifat tidak bisa laku panas menjadi suatu bahan yang bisa laku panas (Nebel, 1989).

Bahan komposit Al-Mg-Si yang termasuk dalam jenis laku panas mempunyai bentuk yang baik, mampu las, dan daya tahan korosi yang baik (Nebel, 1989). Komposit merupakan kombinasi dua bahan atau lebih (sebagai matriks dan penguat) yang sifatnya berbeda dengan sifat masing-masing unsur penyusunnya. Syarat terjadinya komposit adalah adanya ikatan antar permukaan matrik dan filler (Agarwal, 1980). Komposit Al-Mg-Si dipilih karena bahan ini banyak dipakai dalam rancangan konstruksi, industri pesawat terbang, komponen otomotif, industri listrik dan lain-lain. Namun, komposit Al-Mg-Si mempunyai sifat yang kurang baik yakni sifat keras tapi getas. Untuk memperbaikinya sifat tersebut dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas T6 (atau lebih dikenal dengan istilah

artificial aging. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengamati perubahan apa yang terjadi jika dilakukan perlakuan *aging* dengan variasi suhu pada komposit Al-Mg-Si dengan fraksi volum 60% Al, 25% Mg, dan 15% Si.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah untuk mempelajari pengaruh variasi suhu *aging* terhadap perubahan sifat mekanik dan mikrostruktur pada komposit Al-Mg-Si yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk.

1.3 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan timbul dan dikaji adalah bagaimana mempertahankan homogenitas filler terhadap matriks hingga proses *aging*, sehingga diperoleh distribusi sifat mekanik yang merata dan terjadi perbaikan setelah proses *artificial aging*

1.4 Batasan Masalah

Sampel bahan komposit Al-Mg-Si merupakan komposit dengan unsur utama Al sebagai matrik dan Mg-Si sebagai pengisinya. Komposit ini dibuat dengan metalurgi serbuk dengan kompaksi 3 ton dan dilanjutkan *sintering* pada suhu 450⁰ C dengan proses pendinginan pada kondisi kamar didalam furnace. Komposisi fraksi volum yang digunakan dalam penelitian ini adalah 60 % Al dengan filler 25% Mg dan 15% Si.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai acuan untuk penelitian lanjutan dan pengembangan dalam aplikasi metode metalurgi serbuk untuk pembuatan komposit Al-Mg-Si.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan penelitian ini mengikuti sistematika sebagai berikut:

- Bab I pendahuluan, meliputi latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penyajian laporan
- Bab II Tinjauan Pustaka, meliputi dasar teori sebagai landasan pelaksanaan penelitian dan pembahasan data hasil penelitian
- Bab III Metodologi percobaan, mengenai langkah-langkah penelitian hingga pengujian bahan
- Bab IV Hasil dan Pembahasan, yang merupakan data hasil penelitian dan menganalisa data yang diperoleh dan dilanjutkan dengan pembahasan dari hasil penelitian
- Bab V kesimpulan.

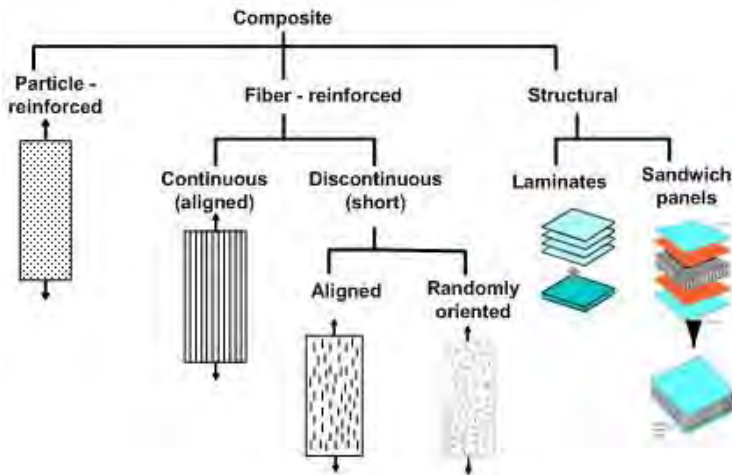
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Komposit

Material komposit merupakan kombinasi dua atau lebih material yang berbeda, dengan syarat adanya ikatan permukaan antara kedua material tersebut. Berdasarkan definisi tersebut maka kondisi ikatan permukaan sangat berpengaruh terhadap kekuatan komposit. Ikatan antar muka inilah yang menjadi jembatan transmisi tegangan luar yang diberikan dari matrik menuju partikel penguat. Bahan komposit dikembangkan sebagai bahan alternatif untuk mendapatkan sifat yang lebih baik seperti *high strength/modulus* dan *densitas* rendah yang sesuai diterapkan dalam industri otomotif, industri penerbangan serta antariksa.

Secara prinsip, penguat yang kontinu memberikan sifat kekuatan spesifik yang lebih baik. Namun sayangnya, *high strength fibred* dan metode pembuatannya lebih mahal dibanding jenis komposit lainnya dan hal inilah yang membatasi penggunaannya dalam industri. Oleh karena keterbatasan dari *continuos reinforce* tersebut maka sekarang banyak dan intensif dikembangkan jenis komposit lain, yaitu komposit dengan *discontinuous reinforce*. Meskipun komposit dengan penguat diskontinu menghasilkan sifat yang cenderung lebih rendah, akan tetapi biaya lebih murah, metode pembuatannya lebih mudah dan dapat diterapkan pada metode pembuatan konvensional. Kelebihan lainnya dari komposit dengan penguat diskontinu memberikan sifat yang *isotropik*, yaitu sifat yang sama dalam segala arah (baik dalam arah transversal maupun longitudinal). Bahan komposit partikulit terdiri dari partikel-partikel yang diikat matrik. Bentuk partikel ini dapat bermacam-macam seperti bulat, kubik tetragonal atau bahkan bentuk-bentuk yang tidak beraturan secara acak, tetapi secara rata-rata berdimensi sama.



Gambar 2.1 Klasifikasi bahan komposit berdasar jenis penguatnya

2.2 Karakteristik Bahan Penyusun Metal Matrix Composite

Metal matrik composite (MMCs) adalah material yang terdiri dari matrik berupa logam dan paduannya yang diperkuat oleh bahan penguat dalam bentuk *continuous fibre*, *whisker*, atau *particulate*. Sifat komposit tergantung dari beberapa faktor seperti adalah jenis material komposit yang digunakan, fraksi volume penguat, dimensi dan bentuk penguat.

Tabel 2.1. Sifat mekanik dan fisik logam aluminium

Sifat Fisis	
Density, ρ	2,69g/cm ³
Struktur Kristal	FCC
Titik lebur	660 ⁰ C
Sifat Mekanis	
Modulus young	71 Gpa
Modulus geser	26 Gpa
Hardness	19 VHN
Yield strength, σ_Y	25 Mpa
Thermal conductivity, C	237 W/mK

Aluminium banyak digunakan pada industri manufaktur karena aluminium ringan dapat dengan mudah dikombinasikan dengan unsur lain untuk mengatur karakteristik seperti sifat mekanis, sifat mampu cor, sifat mampu mesin, *surface finish*, ketahanan korosi, konduktivitas panas dan listrik, sifat mampu las. Selain itu dapat menghemat penggunaan energi dalam proses peleburannya serta sifat kelarutan gas yang kecil. Kualitas dari produk aluminium juga masih dapat ditingkatkan dengan metode modifikasi, penghalusan butir serta perlakuan panas (Callister, 1985)

Logam Magnesium mempunyai struktur kristal *hexagonal close packed* dan titik leleh pada temperatur $598,89^{\circ}\text{C}$. Magnesium mempunyai permukaan pelindung lapisan tipis oksida (MgO). Magnesium mempunyai densitas $1,74 \text{ gr/cm}^3$. Penambahan magnesium pada komposit matrik aluminium dapat mengurangi masa jenis komposit juga dapat meningkatkan kualitas sifat mekaniknya (Beumer, 1985).

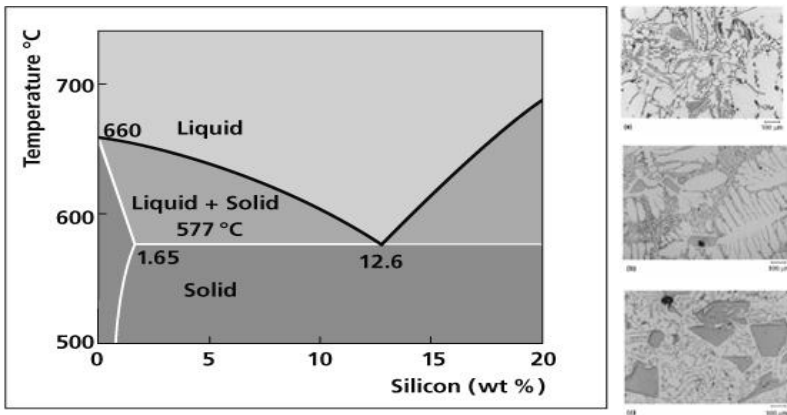
Logam Silikon mempunyai struktur kristal kubik intan. Silikon memiliki densitas $2,34 \text{ gr/cm}^3$ dan titik lelehnya pada temperatur $1437,78^{\circ}\text{C}$. Silikon adalah unsur yang paling sering ditemui pada paduan aluminium karena dapat memperbaiki sifat mampu alir dan tidak memberikan kontribusi penambahan berat produk. Sifat silikon yang keras digunakan sebagai peningkat kekerasan dan menahan keausan pada aluminium. Tetapi kadar yang berlebihan dapat menurunkan keuletan.

2.2.1 Diagram fasa Al-Si

Penggabungan Al-Si memiliki sifat mampu cor yang baik, tahan korosi, dapat diproses dengan permesinan dan dapat dilas. Diagram fasa dari Al-Si ditunjukkan pada gambar 2.2. Kandungan silikon pada fase diagram Al-Si ini terdiri dari 3 macam yaitu:

- a. hypoeutectic yaitu apabila terdapat kandungan silikon $< 11,7\%$ dimana struktur akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah struktur ferrite (α) kaya aluminium, dengan struktur eutektik sebagai tambahan.

- b. Eutectic yaitu apabila kandungan silikon yang terkandung di dalamnya sekitar 11,7% sampai 12,2% pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari fasa cair ke padat).
- c. Hypereutectic yaitu apabila komposisi silikon diatas 12.2% sehingga kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Keberadaan struktur Kristal silikon primer pada daerah ini mengakibatkan karakteristik yaitu ketahanan aus meningkat, ekspansi termal yang rendah, dan memiliki ketahanan retak (*hot tearing*) yang baik.



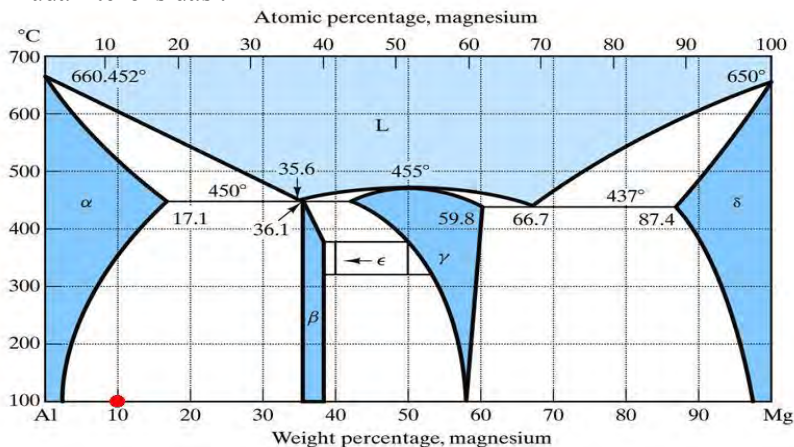
Gambar 2.2 Diagram fasa Al-Si dan Struktur mikro paduan hipoeutektik, eutektik, dan hipereutektik (Callister W.D, 1985)

Fungsi lain dari unsur silikon dapat mereduksi koefisien ekspansi termal dari komposit aluminium. Selama pemanasan terjadi, pemuaian volume komposit tidak terlalu besar. Hal ini akan sangat penting saat proses pendinginan dimana akan terjadi proses penyusutan volume komposit.

2.2.2 Diagram fasa Al-Mg

Diagram fasa Al-Mg pada gambar 2.3 dalam biner Al-Mg satu fasa yang ada dalam keseimbangan dengan *solid solution* Al adalah *solid solution* yang merupakan senyawa antar logam yaitu

Al_3Mg_2 . Titik eutektik pada 451°C , 35% Mg dan batas kelarutan padatnya pada temperatur eutektik adalah 14,9% Mg, yang menurun pada temperatur biasa hingga kira-kira 1,9% Mg, sehingga kemampuan *aging* dapat diharapkan. Secara praktis penambahan Mg tidaklah banyak memberi nilai pengerasan *aging*. Senyawa β mempunyai massa jenis yang rendah dan mudah teroksidasi.



Gambar 2.3 Diagram Fasa Al-Mg (Callister W.D, 1985)

2.3. Modulus Elastisitas / Modulus Young

Modulus elastisitas (E) adalah perbandingan antara tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pada daerah linier (*elastic*). Tetapi dalam komposit dimana bahan sudah tidak lagi mempunyai sifat homogen lagi maka dengan pendekatan teori tensor dan permodelan dapat dihasilkan beberapa perumusan:

2.3.1 Modulus young komposit isotropis model kubus

Formulasi modulus young isotropis dengan model kubus dapat dinyatakan sebagai berikut. (Robert M. Jones, 1973)

$$\frac{Ec}{Em} = \frac{Em + (Ef - Em)Vf^{2/3}}{Em + (Ef - Em)Vf^{2/3}(1 - Vf^{1/3})} \quad \dots\dots 2.1$$

2.3.2 Modulus young komposit isotropis model tabung

Formulasi model tabung dinyatakan oleh Hal pin Tsai. Persamaan dalam model tabung dinyatakan dalam bentuk:

$$E_c = \frac{3}{8}El + \frac{5}{8}Et \quad \dots\dots\dots 2.2$$

Dengan,

$$Et = \frac{Em[1 + 2 \ l Vf]}{1 - t Vf}$$

$$El = \frac{Em [1 + \left(\frac{2d}{l}\right) \ l Vf]}{1 - l Vf}$$

$$t = \frac{\left(\frac{Ef}{Em}\right) - 1}{\left(\frac{Ef}{Em}\right) + 2}$$

$$l = \frac{\left(\frac{Ef}{Em}\right) - 1}{\left(\frac{Ef}{Em}\right) + \left(\frac{2l}{d}\right)}$$

Dimana: d = diameter tabung
 l = tinggi tabung
 E_f = modulus elastisitas filler
 E_m = modulus elastisitas matrik
 V_f = fraksi volum filler
 t = etta tangensial
 l = etta longitudinal

(Agarwat, 1980)

2.3.3 Analisa sifat mekanik komposit *Upper dan Lower bound*

Komposit merupakan bahan yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang sifat mekaniknya berlainan, yang mempunyai persyaratan harus terjadi ikatan antar permukaan pada bahan pembentuk komposit dengan baik. Persyaratan ikatan permukaan ini diperlukan agar perlakuan mekanik yang dibebankan pada

bahan komposit dapat didistribusikan secara merata pada bahan-bahan pembentuk komposit

Peningkatan sifat mekanik komposit isotropis dapat diprediksi secara linier dari konsep *Rule of Mixture* (ROM) atau dengan Voight model dan inversnya yaitu Reuss model. Model voight hanya dapat diterapkan pada komposit dengan penguat fiber, dengan tegangan searah dengan penguatnya (longitudinal stress), sedangkan model Reuss digunakan untuk arah tegangan tegak lurus pada penguatnya (*transvers stress*). Untuk kasus komposit serat pendek dapat digunakan konsep Hal pin Tsai. Komposit yang diukur diasumsikan memiliki karekteristik struktur optimal, yaitu tanpa pori dan tidak terjadi pengelompokan pada partikel penguat.

$$E_{pper} = E_m V_m + E_f V_f \quad \dots\dots\dots 2.3$$

$$E_{ower} = \frac{E_m E_f}{V_m E_f + V_f E_m} \quad \dots\dots\dots 2.4$$

$$E_c = \frac{E_m (1 + 2 S q V_f)}{1 - q V_f} \quad \dots\dots\dots 2.5$$

$$q = \frac{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) - 1}{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) + 2S}$$

Dengan :

- E_c = modulus elastisitas komposit
- E_{Upper} = modulus young komposit upper bound
- E_{Lower} = modulus young komposit lower bound
- E_m = modulus young matrik (Al)
- E_f = modulus young filler
- V_m = fraksi volum matrik
- V_f = fraksi volum filler
- S = factor geometri fiber atau partikel

Kualitas komposit yang dihasilkan dapat diindikasikan dari nilai modulus elastisitas komposit yang secara grafis dapat di uji dengan membandingkan pada nilai modulus elastisitas pada *Upper-Lower Bound*. Nilai modulus elastisitas komposit yang dihasilkan harus berada diantara nilai upper dan lowernya, jika tidak maka dapat dipastikan bahwa kualitas ikatan antar matrik dan penguat kurang baik.

2.4 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan bagian disiplin metalurgi yang mempelajari hal-hal yang mengenai serbuk, pembentukan benda jadi dari serbuk melalui penekanan kemudian dengan proses *sintering* dibawah temperatur leleh. Pembuatan komposit dengan teknik metalurgi serbuk meliputi penyusunan (*compounding*), pencampuran (*mixing*), penekanan, pemanasan (*sintering*).

2.4.1 Penyusunan

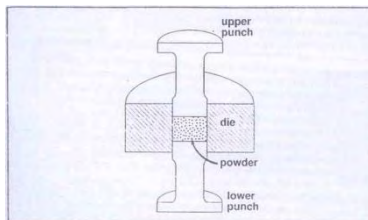
Penyusunan disini bertujuan untuk pemilihan bahan yang sesuai dengan kebutuhan. Pemilihan bahan ini berkaitan dengan sifat mekanik dan fisik, sehingga sifat bahan komposit yang dibutuhkan dapat benar-benar diperkirakan di awal penelitian. Setelah itu dilanjutkan dengan proses pencampuran yang harus dilakukan dengan benar sesuai dengan karakteristik bahan penyusun komposit, karena sifat dari bahan komposit ini nantinya tergantung pada kesempurnaan proses pencampuran ini. Terdapat 2 metode pencampuran yaitu:

1. Pencampuran basah (*wet mixing*), pencampuran antara matriks dan filler dilakukan dengan menggunakan pelarut polar atau pun non polar. Biasanya dilakukan pada bahan yang mudah teroksidasi, semacam aluminium. Selain itu beberapa bahan yang digunakan sebagai filler terkadang memiliki karakteristik mengalami aglomerasi pada proses pencampuran semisal magnesium dengan silikon, sehingga diperlukan media pencampur polar guna mencapai kondisi homogen. Media yang biasa digunakan pada pelarut polar adalah n-butanol, tetra metil hydroxide, dan alkohol.

2. Pencampuran kering (*dry mixing*), pencampuran biasa (tanpa pelarut) adalah pencampuran di udara terbuka tanpa menggunakan larutan untuk membantu melarutkannya. Pencampuran model ini jarang digunakan.

2.4.2 Penekanan (kompaksi)

Proses kompaksi dilakukan untuk mengkonsolidasikan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Salah satu cara adalah dengan proses press uniaksial yaitu penekanan serbuk oleh *punch* dalam suatu cetakan sehingga menghasilkan produk mentah (*green compact*) dengan kekuatan (*green strength*) dan densitas (*green density*) tertentu. Skema alat press dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3.



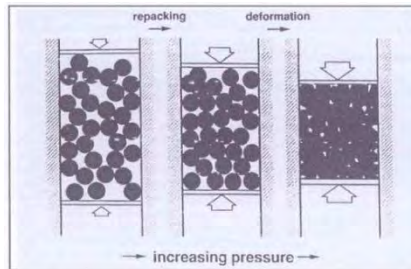
Gambar 2.4 Perangkat kompaksi konvensional

Bila kompaksi diberikan dari dua arah yaitu atas dan bawah, prosesnya disebut *double action pressing*, dan bila penekanan diberikan hanya dari satu arah disebut *single action pressing*. Mekanisme yang terjadi selama kompaksi dijelaskan sebagai berikut:

Tahap I adalah *restracking* atau *packing* partikel-partikel serbuk yang menunjukkan adanya pengaturan kembali (*rearrangement*) posisi partikel menjadi lebih rapat mengisi rongga antar partikel yang ada. Dalam hal ini jumlah kontak dan luas permukaan yang saling berkontak antar partikel serbuk menjadi lebih besar akibatnya porositasnya menurun.

Tahap II adalah terjadinya *deformasi elastis* dan *plastic* pada partikel. Deformasi plastis mulanya terjadi pada bidang kontak antar partikel, selanjutnya aliran plastis akan menyebar keseluruhan bagian partikel.

Tahap III adalah partikel akan mengalami fracture atau pecah dan membentuk kepingan atau pecahan serbuk yang lebih halus. Fenomena *fracture* terjadi pada serbuk yang getas. Batas antara ketiga tahap diatas tidak jelas karena bisa terjadi secara bersamaan. Gambar 2.4 memberikan ilustrasi mekanisme kompaksi.



Gambar 2.5 Alur proses mekanisme kompaksi (Callister W.D, 1985)

Metode penekanan ini ada dua macam yaitu penekanan dingin (*cold pressing*) dan penekanan panas (*hot pressing*). Pemilihan metode penekanan ini disesuaikan dengan bahan yang akan dipadatkan. Untuk bahan tertentu yang mudah teroksidasi maka penekanan dingin adalah pilihan yang tepat. Besarnya gaya yang diberikan sesuai dengan jenis bahan yang digunakan. Akibat dari gaya tekan yang diberikan pada sampel maka ada tiga kemungkinan model serbuk yang terjadi, yaitu:

Model bola-bola

Besar gaya tekan yang diberikan kepada serbuk dibawah kekuatan luluh (*yield strength*) dari matriks dan filler. Pada penekanan ini menyebabkan serbuk tidak mengalami perubahan bentuk secara permanen, karena serbuk mengalami deformasi elastisitas sehingga serbuk dapat kembali ke bentuk semula.

$$F_v = \frac{(h)}{16 Z_0^2} r \quad \dots\dots\dots 2.6$$

Model bola bidang

Besar gaya tekan yang diberikan kepada serbuk berada diantara kekuatan luluh (*yield strength*) dari matrik dan fillernya. Pada penekanan ini menyebabkan sebagian serbuk mengalami deformasi plastis, sedangkan sebagian yang lain mengalami deformasi elastis sehingga butir serbuk seolah-olah berbentuk plat dan bola.

$$F_v = \frac{(h)}{8 Z_0^2} r \quad \dots\dots\dots 2.7$$

Model bidang-bidang

Besar gaya tekan yang diberikan kepada serbuk berada diatas kekuatan luluh (*yield strength*) dari matrik dan filler. Pada penekanan ini menyebabkan serbuk mengalami deformasi plastis, sehingga butir serbuk seolah-olah berbentuk plat-plat.

$$F_v = \frac{(h)}{8 Z_0^3} r \quad \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana:

F_v = gaya Van der Waals

(h) = konstanta Lifshits (1-10eV)

Z_0 = $4A^0$ jarak maksimum antar permukaan atom untuk melakukan kontak

r = jari-jari bola

2.4.3 Pemanasan

Pemanasan sampel setelah dikompaksi diawali dengan *presinter* dimana dilakukan dengan pemanasan 1/3 titik leleh, sedangkan pada proses sinter dipanaskan pada 2/3 dari titik leleh, pada komposit yang dijadikan acuan adalah suhu leleh matriknya dan biasanya menggunakan skala jam. Hal ini merupakan tahapan lanjutan untuk meningkatkan kekuatan ikatan antar permukaan. Selama sintering terdapat dua fenomena utama, pertama adalah penyusutan (*shrinkage*) yaitu proses eliminasi porositas, dan

kedua adalah pertumbuhan butir. Parameter *sintering* diantaranya adalah temperatur, waktu, kecepatan pemanasan dan pendinginan. Selain itu juga dipengaruhi oleh atmosfer penyinteran. Terdapat beberapa atmosfer penyinteran antara lain udara luar, gas inert dan vakum (Fritz V. Lenel, 1980). Pada proses ini terikatnya serbuk akibat karena adanya:

1. *interlocking* antar permukaan, mekanisme penguncian terjadi antara 2 permukaan, yaitu filler dan matrik. Kondisi permukaan yang kasar dapat menyebabkan *interlocking* yang terjadi semakin banyak dan *mechanical bonding* menjadi semakin efektif. Ikatan menjadi efektif jika beban yang diberikan parallel terhadap interface.



Gambar 2.6 Mekanisme ikatan antar permukaan

2. adhesi kohesi, yaitu suatu interaksi akibat adanya ikatan logam dan ikatan Vander Waals pada butiran
3. difusi antar permukaan, yaitu terjadi transportasi massa (dalam skala mikroskopik) di dalam bahan padatan.

Sintering merupakan proses yang meliputi pembakaran (pemanasan pada suhu tinggi) disertai perubahan dimensional. Dalam proses ini terjadi kenaikan kohesi antar partikel-partikel penyusun benda dan pepadatan melalui proses eliminasi porositas (Suasmoro, 2000). Terdapat tiga tahapan dalam sintering, yaitu tahap awal, intermediet dan tahap akhir. Pada keadaan awal terjadi penyusunan kembali (*rearrangement*) yaitu sedikit gerakan atau rotasi partikel untuk mempertinggi jumlah kontak antar permukaan, dan pembentukan ikatan antar butir (*neck*). Pada tahapan intermediet (kedua), ukuran ikatan antar butir tumbuh dan porositasnya menurun dikarenakan gerakan partikel-partikel. Pada tahapan ini dimulai terjadi pertumbuhan butir (*grain growth*). Pada tahapan akhir terjadi eliminasi porositas melalui difusi batas antar butir dan pertumbuhan butir.

2.5 Proses Heat Treatment

Penggunaan Aluminium baik dalam *powder metallurgy* maupun *cast product* dapat ditingkatkan sifat mekanisnya dengan cara heat treatment, sedangkan untuk material yang tidak dapat di heat treatment hanya mengandalkan pengerjaan dingin untuk pencapaian sifat mekanis yang dibutuhkan.

Tujuan utama proses heat treatment pada aluminium adalah:

1. Melunakkan paduan untuk meningkatkan proses pengerjaan (tidak relevan untuk casting)
2. Untuk meningkatkan kekuatan dan menghasilkan property mekanis yang diinginkan
3. Untuk menstabilkan property fisik ataupun mekanis atau ketahanan korosi, dan untuk menghindari perubahan yang akan muncul karena waktu pada temperatur ruang atau temperatur yang dinaikkan.
4. Untuk memastikan kestabilan dimensi selama pemakaian
5. Untuk menghilangkan tegangan sisa yang disebabkan oleh pendinginan yang tak merata

a. Pemanasan

Untuk mendapatkan tingkat kekerasan yang diinginkan maka harus dilakukan kombinasi pemanasan, pendinginan, waktu, jenis pemanasan, fraksi volume, ukuran, dan distribusi dari partikel presipitat yang dihasilkan. Hal-hal yang mungkin terjadi didalam proses solution treatment ini adalah *overheating* dan juga *underheating*. *Overheating* terjadi apabila temperatur sudah melewati garis eutektik sehingga terdapat fasa liquid. Fasa liquid yang terjadi ini pada umumnya berawal dari batas butir karena memiliki tingkat energi yang tinggi akibat dari *segregasi impurities* yang menurunkan temperatur lebur. Akibat dari *overheating* ini adalah kerusakan struktur mikro akibat adanya porositas yang dapat menurunkan sifat mekanik. *Underheating* adalah temperatur solution treatment yang terlalu rendah sehingga tidak semua unsur penguat larut sempurna. Hal ini menyebabkan sedikitnya kuantitas dari partikel penguat yang akan terjadi

sehingga kekuatan yang didapatkan tidak akan sesuai dengan yang diinginkan.

b. Quenching

Quenching merupakan tahapan yang paling kritis dalam proses perlakuan mendinginkan logam yang telah dipanaskan kedalam media pendingin. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses quenching karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan yang relatif rendah seperti logam aluminium.

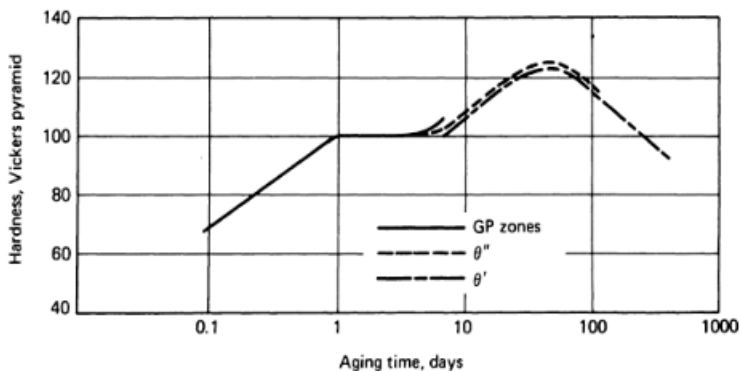
Pendinginan dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas (400°C) ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Pada tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang. Pada proses *quenching* tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga untuk memastikan bahwa ada suatu jumlah minimum dari kisi yang kosong agar dapat terjadi proses difusi pada temperatur rendah. Jika tidak ada proses *quenching*, maka atom-atom terlarut tersebut akan bermigrasi ke daerah yang tidak teratur sehingga tidak didapatkan kekuatan yang diinginkan. Parameter yang ada pada proses *quenching* ini adalah jeda waktu antara transportasi sampel menuju media *quenching* dan jenis dari media *quenching* tersebut. Tetapi pada umumnya jeda waktu yang digunakan adalah secepat mungkin dan media quenchnya adalah air yang memiliki suhu temperatur ruang.

c. Aging

Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu pada umumnya dinamakan *aging*. *Aging* pada aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*). Penuan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam

keadaan dingin, natural *aging* berlangsung pada temperatur ruang antara 15°C - 25°C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100°C - 200°C dan dengan waktu lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam (Schonmetz, 1990). Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur 100°C - 200°C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan fasa.

Sementara waktu penahanan dalam *artificial aging* merupakan salah satu komponen yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening* secara keseluruhan. Seperti halnya temperatur, waktu penahanan pada tahap *artificial aging* akan mempengaruhi perubahan fasa pada sampel. Hubungan antara waktu *aging* dengan kekerasan aluminium diawali oleh proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *precipitation hardening* dimana fasa berasal dari daerah *supersaturated solute solution*, setelah proses *quenching*. Kemudian akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru seiring bertambahnya waktu, hubungan antara waktu *aging* dengan kekerasan.

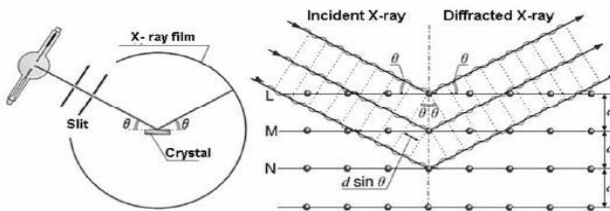


Gambar 2.7. Hubungan antara waktu *aging* dengan kekerasan aluminium (Smith,1995).

2.6 Pengujian Bahan

2.6.1 Difraksi Sinar X (XRD)

Sebuah kristal terdiri atas deretan atom-atom yang letaknya teratur sehingga setiap atom dapat menghamburkan gelombang elektromagnetik yang datang padanya. Berkas sinar-X monokromatik jatuh pada sebuah kristal akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom, pada arah tertentu gelombang hampur itu akan berinterferensi konstruktif, sedangkan yang lainnya bertinterferensi destruktif. Atom-atom dalam kristal dapat dipandang sebagai unsur yang membentuk kumpulan bidang datar dengan masing-masing kumpulan mempunyai jarak karakteristik antara bidang-bidang yang diberi nama bidang Bragg. Syarat yang diperlukan supaya radiasi yang dihambur atom kristal membentuk interferensi konstruktif dapat diperoleh seperti gambar 2.7.



Gambar 2.8 Mekanisme kerja XRD

XRD pada dasarnya terdiri atas sumber sinar-X, sampel dan detector. Difraktometer sinar-X merupakan salah satu alat yang dapat mengidentifikasi senyawa kimia dari suatu sampel uji dengan menggunakan hasil analisa kuantitatif dan kualitatif sebagai tolak ukurnya. Umurnya informasi data tentang proses difraksi sinar-X oleh sebuah kristal digambarkan dengan grafik $I = f(2\theta)$ dimana profil didalamnya menentukan karakteristik bahan dan senyawa kimianya. Berbasis hukum Bragg bahwa hubungan antara panjang gelombang datang dengan sudut hambur untuk kasus interferensi konstruktif diungkapkan dengan:

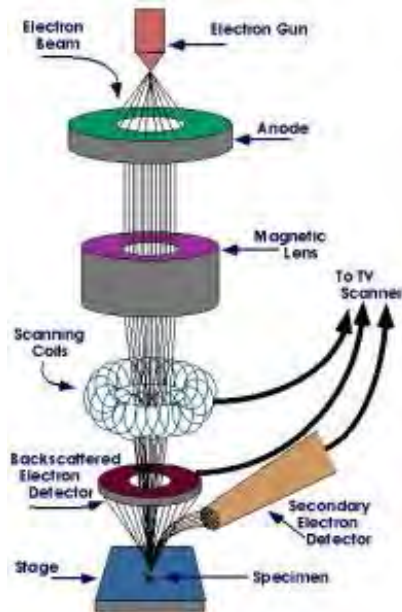
$$2d \sin\theta = n\lambda \quad \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :
 d = jarak bidang kisi
 θ = sudut difraksi
 n = bilangan bulat
 λ = panjang gelombang sinar-X

metode yang biasanya digunakan untuk mengetahui fasa yang terdapat dalam sampel adalah dengan membandingkan dengan fasa yang ada dalam ASTM, atau dengan membandingkan pola difraksi serbuk standar yang sudah diketahui.

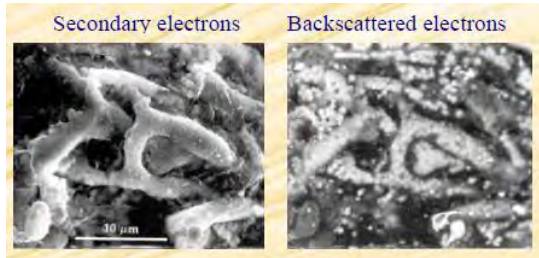
2.6.2 Metalografi

Metalografi merupakan suatu metode untuk mengamati struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Biasanya disebut foto struktur mikro, pembesarannya 100-1000 kali kalau untuk mikroskop optik sedangkan untuk mikroskop elektron biasa 5.000-30.000 kali. Secara lengkap skema SEM dijelaskan oleh gambar 2.8:



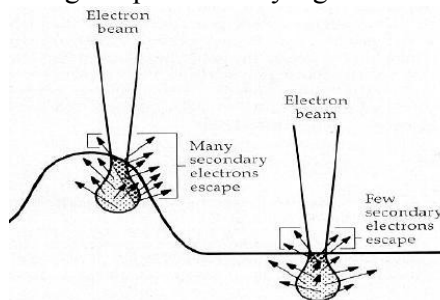
Gambar 2.9 Skema Kerja Alat SEM

Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron*. Perbedaan gambar dari sinyal elektron sekunder dengan *backscattered* adalah sebagai berikut: elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah. Sedangkan *backscattered* elektron memberikan perbedaan berat molekul dari atom – atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah dari pada atom dengan berat molekul rendah. Contoh perbandingan gambar dari kedua sinyal ini disajikan pada gambar dibawah ini.



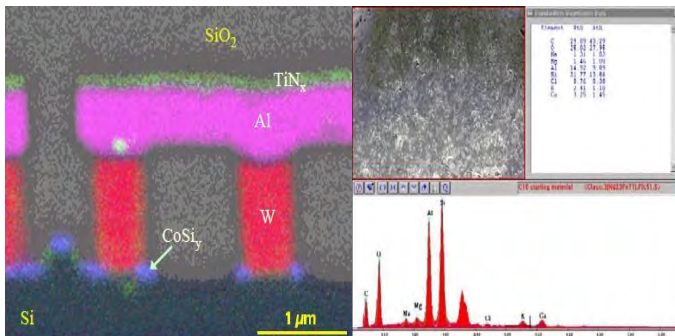
Gambar 2.10 Backscattered elektron

Mekanisme kontras dari elektron sekunder dijelaskan dengan gambar dibawah ini. Permukaan yang tinggi akan lebih banyak melepaskan elektron dan menghasilkan gambar yang lebih cerah dibandingkan permukaan yang rendah atau datar.



Gambar 2.11 Mekanisme kontras electron sekunder

Sedangkan mekasime kontras dari backscattered elektron secara prinsip atom–atom dengan densitas atau berat molekul lebih besar akan memantulkan lebih banyak elektron sehingga tampak lebih cerah dari atom berdensitas rendah. Maka teknik ini sangat berguna untuk membedakan jenis atom. Namun untuk mengenali jenis atom dipermukaan yang mengandung multi atom para peneliti lebih banyak menggunakan teknik EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). EDS dihasilkan dari karakteristik Sinar X, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak–puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Dengan EDS juga bisa dibuat pemetaan elemen dengan memberikan warna berbeda–beda dari masing–masing elemen di permukaan bahan. EDS bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing – masing elemen.



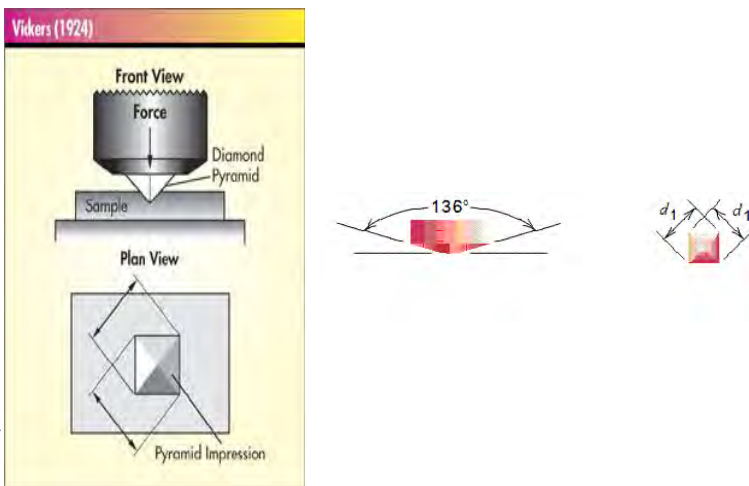
Gambar 2.12 Hasil Uji EDS

Aplikasi dari teknik SEM-EDS bisa dirangkum sebagai berikut:

1. Topografi : menganalisa permukaan dan tekstur
2. Morfologi : menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel
3. Komposisi : menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif

2.6.3 Uji Mekanik (kekerasan)

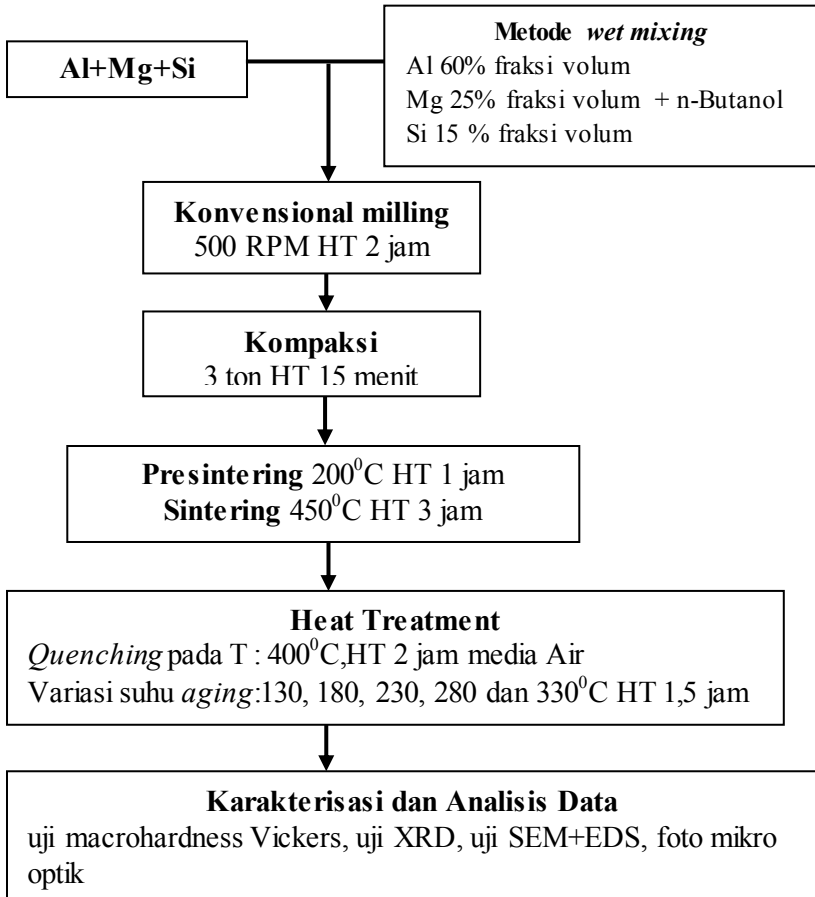
Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Penelitian ini pengujian kekerasaannya dengan metode uji kekerasan makro Vickers. Uji kekerasan Vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudutnya antara permukaan-permukaan pyramid yang saling berhadapan adalah 136° . Kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan membagi gaya pada luas bekas tekanan berbentuk piramida.



Gambar 2.13 Indentor Vickers

BAB III METODOLOGI

3.1 DIAGRAM PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga bahan serbuk yakni aluminium, magnesium dan silikon. Dimana aluminium sebagai matrik sedangkan magnesium dan silikon sebagai *filler* (penguat). Langkah-langkah yang dilakukan adalah persiapan sample yang meliputi penyusunan, pencampuran, pembuatan pellet, *sintering* dan *aging*. Dan dilanjutkan dengan uji bahan yang meliputi foto mikroskop optik, makrohardnes vickers, Uji XRD, dan uji SEM+EDS.

3.2 BAHAN DAN PERALATAN

3.2.1 Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah produksi Merck dengan kemurnian bahan Aluminium 90%, Magnesium 98,5% dan Silikon metal 99,99% produksi cerac. Bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. n-butanol, pelarut polar yang digunakan sebagai media pencampur
2. Pelumas (zinc stearat) berbentuk gel putih yang digunakan untuk pelumas dinding cetakan pada saat kompaksi

3.2.2 Peralatan

Pada penelitian ini peralatan yang digunakan pada saat pembuatan sampel dan pengujian sampel adalah sebagai berikut:

1. Timbangan digital, digunakan untuk menimbang masa aluminium, magnesium, silikon sebagai bahan komposit Al-Mg-Si
2. Alat tekan *cold compaction* di laboratorium karekterisasi fisika ITS, digunakan untuk membuat pelet
3. Alat uji kekerasan macrohardness vickers (wolpert probat) dilaboratorium persiapan bahan teknik PT BIN BATAN.

4. Difraksi sinar-X, digunakan untuk mengetahui perubahan fase dan terbentuknya fase baru (karakteristik struktur kristal) akibat perlakuan temperatur mulai dari serbuk, sintering sampai aging dari komposit Al-Mg-Si dan kemungkinan adanya unsur pengotor yang tidak diinginkan terhadap sampel uji.
5. SEM+EDS, digunakan untuk mengetahui lebih jelas struktur mikro sampel serta komposisi kimia dari permukaan sampel secara kuantitatif dan kualitatif.

3.3 PROSES PEMBUATAN SAMPEL

3.3.1 Penyusunan (*compounding*)

Bahan yang digunakan adalah aluminium ($\rho_m = 2,69 \text{ gr/cm}^3$), magnesium ($\rho_f = 1,74 \text{ gr/cm}^3$), dan silicon ($\rho_f = 2,34 \text{ gr/cm}^3$). Dengan perbandingan fraksi volum Al 60%, Mg 25%, Si 15%. Pada penelitian ini sampel yang dibuat berbentuk silinder dengan diameter 1,5 cm dan tinggi 0,7 cm.

$$\begin{aligned} \text{Volume total}(v_c) &= \text{volume Al} + \text{volume Mg} + \text{volume Si} \\ (v_c) &= \pi r^2 t \\ &= \pi (0,75)^2(0,7) \\ &= 1,236 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Sehingga, volume total komposit yang harus dihasilkan adalah $\geq 1,236 \text{ cm}^3$.

Masa bahan dapat ditentukan melalui rumusan berikut:

Massa jenis sampel

$$\begin{aligned} \rho_c &= \rho_{Al} \cdot V_{Al} + \rho_{Mg} \cdot V_{Mg} + \rho_{Si} \cdot V_{Si} \\ &= (2,69)(0,6) + (1,74)(0,25) + (2,34)(0,15) \\ &= 2,4 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

massa sampel

$$\begin{aligned} m_c &= \rho_c \cdot v_c \\ &= (2,4)(1,236) \\ &= 2,9664 \text{ gram} \end{aligned}$$

Menghitung volume masing-masing unsur

$$\begin{aligned} V_{AL} &= v_{AL} : (v_{AL} + v_{Mg} + v_{Si}) = v_{AL} : v_C \\ V_{AL} &= V_{AL} \cdot v_C \\ &= 0,6 \times 1,236 = 0,7416 \text{ cm}^3 \\ v_{Mg} &= 0,25 \times 1,236 = 0,309 \text{ cm}^3 \\ v_{Si} &= 0,15 \times 1,236 = 0,1854 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Massa masing-masing unsur,

$$\begin{aligned} M_{AL} &= \rho_{AL} \times v_{AL} \\ &= 2,69 \times 0,7416 = 1,995 \text{ gram} \\ M_{Mg} &= 1,74 \times 0,309 = 0,537 \text{ gram} \\ M_{Si} &= 0,185 \times 2,34 = 0,433 \text{ gram} \end{aligned}$$

3.3.2 Pencampuran (*mixing*)

Pencampuran serbuk logam aluminium, magnesium dan silikon sesuai dengan fraksi volume masing-masing 60% aluminium, 25 % magnesium dan 15 % silikon. Semua bahan matrik dan filler diaduk dengan larutan n-butanol (pencampuran basah/wet mixing) sebagai media pencampur didalam proses milling dengan lama milling 2 jam menggunakan kecepatan 500 rpm. Pencampuran ini bertujuan agar serbuk tercampur merata (homogen). Kualitas sampel sangat dipengaruhi kehomogenitasan komponen penyusun bahan melalui proses pencampuran. Setelah pencampuran merata dilakukan pemanasan (di dalam oven) untuk menguapkan/menghilangkan seluruh cairan n-butanol.

3.3.3 Penekanan (*kompaksi*)

Merupakan proses pemadatan bahan serbuk dengan cara ditekan. Campuran serbuk logam Al, Mg, Si yang sudah homogen dimasukkan dalam cetakan berbentuk silinder yang dinding cetakannya diberi pelumas sebelumnya untuk mengurangi gesekan antar serbuk dengan dinding cetakan. Kemudian ditekan dengan cold pressing dengan gaya sebesar 3 ton. Gaya yang diberikan ditahan selama 15 menit, hal ini dilakukan supaya distribusi gaya tekan merata.

3.3.4 Presinter+Sintering

Setelah sampel terbentuk, dilanjutkan dengan tahap perlakuan panas (presinter+sintering), untuk meningkatkan kekuatan ikatan antar butir. Setelah dikompaksi sampel dilakukan presinter (pemanasan awal) dengan suhu 200°C selama 1 jam. Presinter perlu dilakukan untuk menghilangkan internal stress dan menghilangkan gas-gas yang tersisa pada saat pencampuran dan pemadatan. Kemudian dilanjutkan sintering pada suhu 450°C selama 3 jam dilanjutkan pendinginan pada kondisi kamar furnace.

3.3.5 Aging

Setelah dilakukan proses sintering, sampel diberi perlakuan aging, dimana sampel setelah dipanaskan kembali pada suhu 400°C selama 2 jam kemudian sampel di quenching pada media air dan dilanjutkan dengan pemanasan kembali dengan variasi suhu 130°C, 180°C, 230°C, 280°C dan 330°C dimana sampel ditahan selama 1,5 jam pada suhu tersebut.

3.4 PENGUJIAN BAHAN

3.4.1 Uji mikroskop optik

Pada uji mikroskop optik ini dimaksudkan untuk mengetahui struktur mikro bahan dan distribusi filler terhadap matrik. Mikroskop optik yang digunakan adalah di laboratorium Persiapan bahan teknik PT BIN BATAN. Sebelum di foto mikro sampel terlebih dahulu dilakukan polishing guna memmerhalus permukaan yang telah halus.

3.4.2 Uji difraksi sinar-X

Uji difraksi sinar-x dilakukan dilaboratorium XRD PT BIN BATAN dengan menggunakan difraktometer sinar-X. pengukuan dilakukan untuk jangkauan 2θ : 15°-80° dengan kenaikan sudut 0,04°. Pengujian ini untuk mengetahui fase yang terbentuk dalam proses pembuatan komposit Al-Mg-Si dan kemungkinan adanya unsur pengotor yang tidak diinginkan.



Gambar 3.2 Alat pengujian XRD

3.4.3 Uji kekerasan

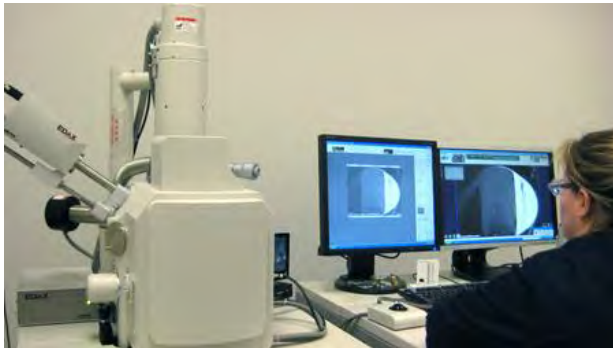
Uji kekerasan dilakukan dilaboratorium PT BIN BATAN, dengan menggunakan macrohardness Vickers, dengan alat wolpert probat. Metode yang digunakan adalah metode pengujian kekerasan Vickers.



Gambar 3.3 Macrohardness

3.4.4 Uji SEM+EDS

Uji SEM+EDS dilakukan di PT BIN BATAN, sampel yang digunakan adalah sampel yang sama yang dibuat foto mikro, karena SEM pada prinsipnya sama dengan mikroskop optik tetapi memiliki tingkat keakuratan yang lebih tinggi, serta jika ditambah dengan EDS dapat mengetahui komposisi kimia yang terkandung.



Gambar 3.4 Seperangkat alat SEM+EDS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pencampuran *wet mixing*

Material komposit merupakan gabungan dari dua material atau lebih yang mensyaratkan terjadinya ikatan antar muka keduanya. Pada material komposit, fraksi volume penguat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisik maupun mekanik komposit. Pada penelitian ini menggunakan fraksi volum Al 60%, Mg 25% dan Si 15%. Material dengan fraksi volum terbesar disebut matriks dan material dengan fraksi volum lebih rendah disebut penguat. Hubungan antara fraksi volum penguat dan sifat mekanik yang salah satunya adalah nilai kekerasan. Pada umumnya penambahan fraksi volum penguat sebanding dengan peningkatan sifat mekanik material komposit.

Dalam proses metalurgi serbuk, pencampuran antara bahan pembentuk komposit merupakan proses yang cukup penting dan sangat diperhatikan. Pada penelitian ini dilakukan dengan metode *wet mixing* dengan menambahkan n-butanol yang merupakan pelarut polar dengan dimilling konvensional menggunakan kecepatan 500 rpm dengan HT 2 jam. Pelarut polar berfungsi mendispersikan partikel-partikel filler (Mg dan Si) menyebar merata keseluruh bagian matrik dengan didukung kecepatan pencampuran dan waktu penahanan yang cukup. Pelarut polar yang bermuatan akan saling tarik menarik dengan muatan yang berbeda pada partikel filler dan tolak menolak dengan muatan yang sejenis, sehingga hal ini dapat menjadikan campuran aluminium, magnesium dan silikon tercampur secara homogen.

4.2 Pengaruh proses kompaksi

Proses kompaksi merupakan proses pemadatan serbuk dengan cara penekanan, dalam penelitian ini proses penekanan yang dilakukan adalah metode penekanan dingin (*cold compaction*), dikarenakan untuk menghindari terjadinya reaksi oksida pada sampel, dalam hal ini adalah matrik aluminium yang sangat mudah mengalami oksidasi. Pada proses ini merupakan

proses yang cukup berperan dalam penentuan sifat mekanik bahan yang dihasilkan.

Pada proses ini banyak faktor yang mempengaruhinya, diantaranya faktor gaya gesek, faktor pelumas (*lubricant*), pengaruh lama waktu kompaksi, gaya adhesi akibat gaya Van Der Waals merupakan gaya yang terjadi akibat adanya fluktuasi dipol pada partikel serbuk baik partikel filler maupun matrik, kohesi akibat elektrostatis dimana hal ini akibat adanya dua partikel yang berbeda muatan yang disebabkan oleh faktor gesekan baik antara partikel maupun partikel dengan dinding cetakan, dan interlocking antar permukaan serbuk yang timbul karena adanya perbedaan kekasaran serbuk yang mana kekasaran partikel yang tinggi akan menyebabkan kontak antar permukaan yang semakin luas.

Besarnya nilai gaya tekan kompaksi yang diberikan pada proses kompaksi akan menghasilkan beberapa bentuk formasi partikel matrik dan penguatnya, dalam penelitian ini diharapkan terbentuk formasi bola-bidang (gaya tekan yang diberikan diantara titik luluh matrik dan filler) sehingga gaya tekan yang diberikan pada saat proses pembuatan komposit Al-Mg-Si yaitu 3 ton, di atas titik luluh aluminium dan dibawah titik luluh silikon Formasi inilah yang diharapkan, karena luas permukaannya yang lebih besar dan pori-pori yang terbentuk relatif kecil, dengan pori-pori yang relatif kecil akan memudahkan proses eliminasi pori-pori pada saat proses sintering dan diharapkan mampu meningkatkan kompaktibilitas bahan komposit yang dihasilkan dengan banyaknya transportasi masa antar partikel penyusun bahan komposit.

4.3 Pengaruh Presinter dan Sintering

Setelah sampel dikompaksi dilanjutkan dengan proses pemanasan yang bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar permukaan komposit yang telah dibuat dengan pepadatan serbuk. Bahan komposit Al-Mg-Si terlebih dahulu dilakukan presinter 200°C selama 1 jam, dengan tujuan untuk menghindari kejutan termal (*shock termal*) pada sampel yang dapat menyebabkan terjadinya retakan karena adanya perbedaan koefisien muai panas

antara Al-Mg-Si. Proses presinter juga berguna untuk menghindari distribusi panas yang tidak merata baik pada bagian tepi, atas, bawah maupun tengah. Dan juga menghilangkan gas-gas yang terjebak saat proses kompaksi serta menghindari *creep* dikarenakan perbedaan koefisien muai bahan penyusun

Sintering merupakan proses perlakuan panas pada serbuk padatan dibawah temperatur lelehnya bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar permukaan partikel yang saling berdekatan sehingga kerapatannya semakin tinggi yang menyebabkan kekuatan mekanisnya bertambah pula, sebab didalamnya terdapat dua fenomena penting yaitu penyusutan yang merupakan eliminasi porositas dan pertumbuhan butir. Parameter sintering meliputi temperatur, waktu, kecepatan pemanasan, kecepatan pendinginan dan atmosfer pemanasan.

Dalam penelitian ini temperatur sinter yang digunakan adalah sebesar 450°C. Pemberian temperatur yang agak jauh dari titik leleh aluminium dikarenakan menghindari terbentuknya oksida yang terlalu banyak pada sampel dikarenakan lingkungan atmosfer pemanasan pada ruang furnace tidak dikontrol (*vacum gas inert*) serta menghindari terjadinya *alloy* karena pengaruh suhu yang mendekati titik leleh matrik. Proses sintering terbagi menjadi tiga tahapan, tahap pertama pertumbuhan leher (*necking*) antar partikel dimana partikel-partikel padat yang terpisah mempertahankan keadaannya. Selama tahap ini penyusutan yang terjadi relatif sedikit. Tahap kedua *intermediate stage*, dimana terjadi kontak antar pori-pori batas butir yang telah sempurna sehingga porositasnya digambarkan dengan pembentukan jaringan saluran yang saling berhubungan dengan terletak disepanjang ujung-ujung butir. Tahap terakhir adalah *final stage*, dalam tahap ini pori-pori yang terjadi sebagai satu kesatuan yang terisolasi yang letaknya pada pojok-pojok butir masuk kedalam butir-butir sebagai hasil Bergeraknya batas-batas butir. Fenomena pada proses ini dapat diamati dari hasil pengamatan kehilangan masa yang terjadi pada proses ini dan hasil foto mikro dan XRD.

Tabel 4.2 memperlihatkan bahwa terjadi penyusutan masa sebesar 0,1693% pada tahapan ini, dan pastinya hal ini

berimplikasi pada nilai densitas komposit yang berakibat pada sifat mekanisnya. Hasil XRD menunjukkan bahwa sampel masih terbentuk sebagai komposit, karena tidak ditemukan puncak lain. Karena hanya terjadi penggabungan secara makroskopis tanpa terjadinya perubahan mikroskopis menjadi paduan.

4.4 Pengaruh *Heat Treatment*

Produk komposit dilakukan proses *heat treatment* dengan metode *artificial aging* yang diawali dengan tahapan pemanasan kembali guna mencapai tahapan solid solution treatment atau pemanasan pada suhu 400⁰C HT 2 jam kemudian di dinginkan mendadak pada media air pada suhu kamar 30⁰C. Hal ini bertujuan untuk mempertahankan kondisi struktur mikro agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Namun juga masih ada minimum dari kisi yang kosong agar dapat terjadi proses difusi pada suhu rendah, jika tidak ada proses quenching tahapan ini mesti dilakukan pada suhu tinggi. Waktu yang digunakan untuk proses quench pada air di asumsikan dengan waktu seminimal mungkin dengan tujuan untuk mempertahankan kondisi yang diharapkan pada *solution heat treatment*.

Aging atau pemanasan kembali setelah dilakukan proses *quenching*, pada penelitian ini menggunakan metode *artificial aging* dikarenakan menggunakan suhu di atas suhu ruang. *Aging* dilakukan dengan variasi suhu yang digunakan yakni 130, 180, 230, 280, dan 330 °C. pada proses ini suhu yang berikan pada sampel setelah proses *quench* dapat menyebabkan terjadinya penyusutan pada bagian kekosongan atom dan terjadinya pertumbuhan ukuran butir pada suhu yang relatif rendah. Terlihat dari pengamatan mikro struktur terjadi perubahan ukuran butir yang berakibat memberikan nilai kekerasan yang berbeda akibat perlakuan aging. Pengukuran penyusutan butir pada penelitian ini dimaksudkan untuk mendukung dari data-data kekerasan yang telah ada sehingga apa yang diinginkan dalam penelitian ini tercapai. Data penyusutan ini diambil dari masa sebelum dilakukan proses dan masa sesudah dilakukan proses *aging*.

Tabel 4.1 Hasil Penyusutan Proses Aging

Perlakuan suhu	M_0 (gr)	M_A (gr)	ΔM	$(\Delta M/M) \times 100\%$
S-450	2.4801	2.4759	0.0042	0.1693
Q400	2.4871	2.4769	0.0102	0.4101
A-130	3.0312	3.0174	0.0138	0.4552
A-180	3.0156	2.9958	0.0198	0.6565
A-230	3.016	2.9963	0.0197	0.6531
A-280	3.0881	3.0721	0.016	0.5181
A-330	3.0277	3.0148	0.0129	0.4260

Penyusutan ini dapat terjadi karena antar atom saling merapatkan diri dan meningkatkan reaksi tegangan permukaan. Fenomena penyusutan ini seringkali dikaitkan dengan aktivitas serbuk yang biasanya dipengaruhi oleh variabel seperti waktu sinter, temperatur, ukuran serbuk serta kemungkinan adanya bahan pengotor seperti pelumas atau gas yang terjebak dalam sampel.

Penyusutan terbesar terjadi pada suhu aging 180°C penyusutan ini terjadi karena transportasi masa yang disebabkan adanya proses difusi antar permukaan rongga porositas, sehingga dimensi porositas semakin kecil dibandingkan dengan pada saat sebelumnya. Dengan demikian dimensi secara keseluruhan pada komposit juga akan berkurang, hal ini menyebabkan antara filler dan matrik lebih menyatu, sehingga bila bahan komposit itu dikenai beban mekanis dari luar maka distribusi pembebanan pada penguat lebih merata, sehingga membuat bahan komposit menjadi lebih tangguh secara keseluruhan pada sifat mekanis.

4.5 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini dengan menggunakan metode macrohardness Vickers, dengan tujuan mengetahui kemampuan suatu bahan terhadap penetrasi dan indentasi. Pada penelitian ini uji kekerasan dilakukan pada 3 titik dengan tujuan mengetahui distribusi kekerasan bahan komposit Al-Mg-Si. Dimana nilai kekerasan dari bahan penyusun komposit

masing-masing yakni: Aluminium 35 HV, Magnesium 26,42 HV dan Silikon 87 HV.

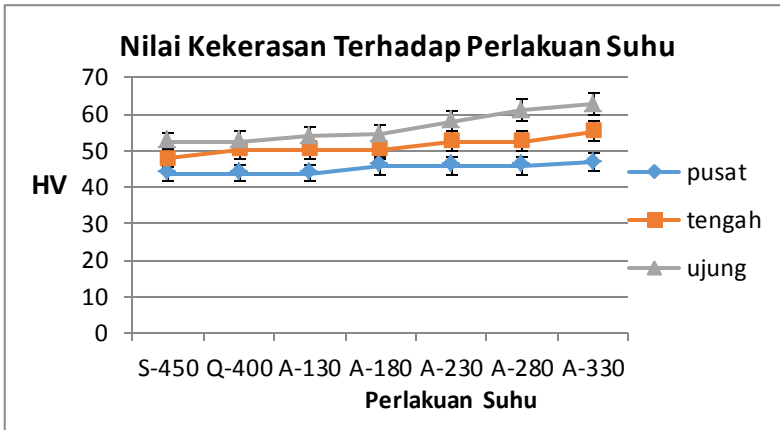
Tabel 4.2 Data hasil uji kekerasan

Perlakuan Suhu	HV			
	Pusat	Tengah	Ujung	\bar{x}
S-450	43.8	47.9	52.45	48,05
Q-400	43.8	50.2	52.6	48,86
A-130	43.8	50.2	53.9	49,30
A-180	45.8	50.2	54.5	50,16
A-230	45.8	52.6	58.0	52,13
A-280	45.8	52.6	61.0	53,13
A-330	45.8	51,3	60.2	52,43

Dari hasil pengujian kekerasan pada komposit Al-Mg-Si menunjukkan bahwa suhu *aging* juga berpengaruh terhadap perubahan nilai kekerasan. Semakin tinggi pemberian suhu aging, kekerasan yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini disebabkan sampel terlebih dahulu mengalami perlakuan panas yang bertujuan untuk keeluasaan atom-atom dalam berdifusi satu sama lain serta terjadinya transportasi massa yang menyebabkan antara penguat dan matrik lebih menyatu, dan juga karena minimnya kekosongan atom pada matrik.

Nilai kekerasan paling rendah terdapat pada awal proses perlakuan panas yakni *sintering* 52,45 HV. Hal ini dikarenakan pada saat sampel dipanaskan hingga $2/3$ suhu absolute matriknya dan didinginkan di dalam furnace berakibat masih banyak kekosongan atom maka kekerasan rendah. Pemanasan lebih lanjut setelah poses quenching terlihat setiap penambahan suhu 50^0 ada perubahan nilai kekerasan antara 1-4 HV. Perubahan paling baik terjadi pada saat suhu 230^0 , hal ini bersesuaian dengan teori bahwa aging terbaik terjadi pada suhu 100^0 - 200^0 C, yakni dari 54,5 HV menjadi 58 HV pada bagian daerah ujung sampel. Hal ini dikarenakan pada suhu tersebut, suhu terbaik untuk perbaikan

dislokasi akibat *quenching* dan pertumbuhan butir yang relatif kecil sehingga membantu menghambat dislokasi saat pemberian pembebanan.



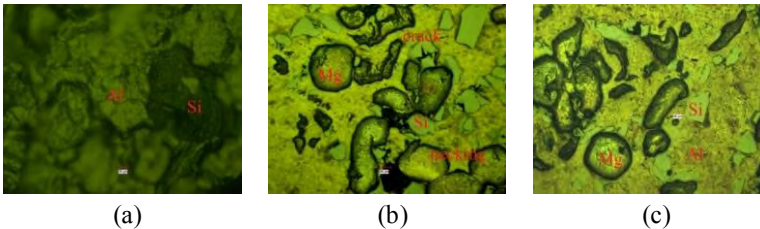
Gambar 4.1 Pengaruh variasi suhu terhadap nilai kekerasan sampel

Uji kekerasan yang maksimum didapatkan pada suhu aging 280 sebesar 61 HV, hal ini dikarenakan pada suhu tersebut partikel-partikel saling merapatkan diri yang mengakibatkan jarak antar partikel semakin rapat sehingga pergerakan dislokasinya juga akan terhambat. Dan didukung dari informasi struktur mikro, terlihat jelas ukuran butir semakin kecil dan filler terdispersi lebih merata pada matrik Aluminium dengan jarak partikel yang lebih rapat. Pada kondisi ini partikel cenderung membentuk kelompok dan sebagian terdispersi merata sehingga dapat menghalangi pergerakan dislokasi sebagai akibat kekerasan dari komposit Al-Mg-Si juga akan meningkat.

Penurunan kekerasan terjadi pada daerah menuju pusat sampel disebabkan pada proses kompaksi yang satu arah yang berakibat distribusi partikel filler cenderung bergerak kesamping saat di kompaksi. Hal ini diperkuat juga pada proses *quenching* dimana proses pendinginan diawali dari ujung-ujung sampel, dan diperkeras lagi dengan proses aging.

4.6 Analisa Struktur Mikro

Analisa mengenai struktur mikro sampel berkaitan dengan ukuran butir, distribusi partikel penguat ke dalam matrik. Struktur mikro digambarkan sebagai susunan butir-butir pada permukaan logam. Pada setiap butir, semua sel satuan teratur dalam arah dan pola tertentu. Antara butiran satu dengan lainnya mempunyai perbedaan atas arah orientasi Kristal, daerah ini dinamakan daerah batas butir. Faktor yang berpengaruh pada struktur mikro yakni: komposisi kimia, proses pembuatannya dan proses perlakuan panas yang diberikan.



Gambar 4.2 Hasil foto struktur mikro sampel; (a). Setelah dikompaksi; (b). Setelah *quenching*; dan (c). Setelah proses *aging*

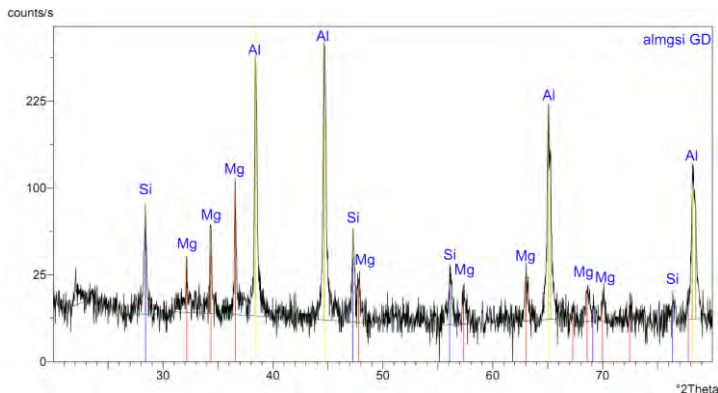
Berdasar beberapa foto mikro diatas bisa dilihat terjadi perubahan kondisi sampel mulai setelah dikompaksi hingga telah mengalami perlakuan aging. Hal ini terlihat terjadi proses *necking* dan penghilangan porositas akibat proses perlakuan panas yang berakibat pada naiknya sifat mekanik dari bahan. Pada beberapa foto mikro pada lampiran terlihat adanya perubahan ukuran dan distribusi dari butir pada komposit Al-Mg-Si dan fenomena *crack* karena proses pendinginan yang mendadak pada suhu tinggi.

4.7 Analisa Difraksi sinar-X

Pengujian sampel dengan difraksi sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi fase bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Bahan baku yang digunakan adalah aluminium serbuk, magnesium serbuk dan silikon serbuk. Dan terdapat kemungkinan akan muncul oksida logam yang disebabkan adanya proses oksidasi. Pengujian difraksi sinar-X dilakukan terhadap bahan dengan komposisi yang sama tetapi perlakuan suhu yang

berbeda untuk mengetahui temperatur terbaik untuk proses *aging*. Pengujian XRD pada dasarnya apabila sinar X jatuh pada kisi kristal maka sinar tersebut akan didifraksi yang artinya sinar sefasa akan diperkuat, sedangkan yang tidak akan saling meniadakan. Berkas sinar-X yang menumbuk permukaan suatu bahan dapat menghasilkan puncak difraksi dengan intensitas tertentu dan membentuk pola difraksi tertentu.

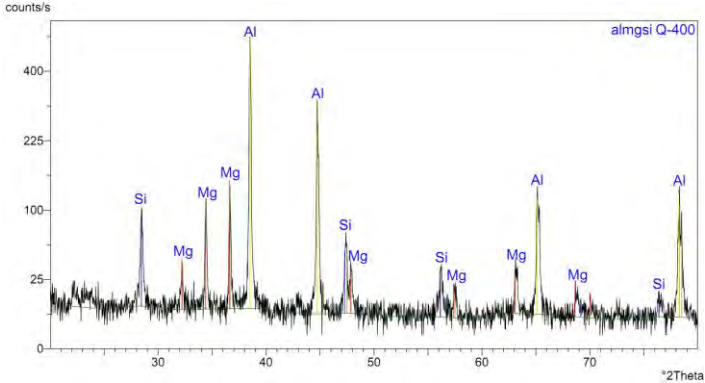
Menurut teori difraksi sinar-X bahwa struktur kristal suatu zat menentukan pola difraksi zat tersebut, bentuk dan besar sel satuan menentukan sudut dan garis difraksi, susunan atom dalam sel satuan menentukan intensitas relatif dari garis-garis. Dengan demikian maka dikatakan bahwa intensitas difraksi ditentukan oleh posisi atom-atom sel satuan. Posisi atom tersebut dinyatakan dengan bidang hkl.



Gambar 4.3 Hasil XRD sampel setelah kompaksi

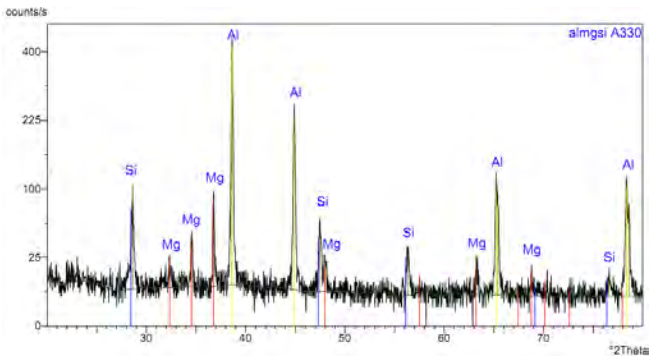
Hasil karakteristik struktur kristal sinar-X bahan komposit menghasilkan pola yang dengan menggunakan metode pencocokan terhadap data PCDFWIN maka dapat diidentifikasi fasa logam komposit Al-Mg-Si berdasarkan kecocokan orientasi puncak. Dari pola difraksi yang ditunjukkan terlihat bahwa fasa-fasa yang muncul fasa aluminium, magnesium, dan fasa silikon. Dikhawatirkan adanya fasa oksida logam yang terbentuk karena lingkungan kondisi pemanasan yang sulit dijaga, tetapi dalam hal

ini tidak terbentuk dikarenakan proses pencampuran yang *wet mixing* dengan pelarut polar dan metode pemadatan serbuk yang digunakan *cold compaction*.

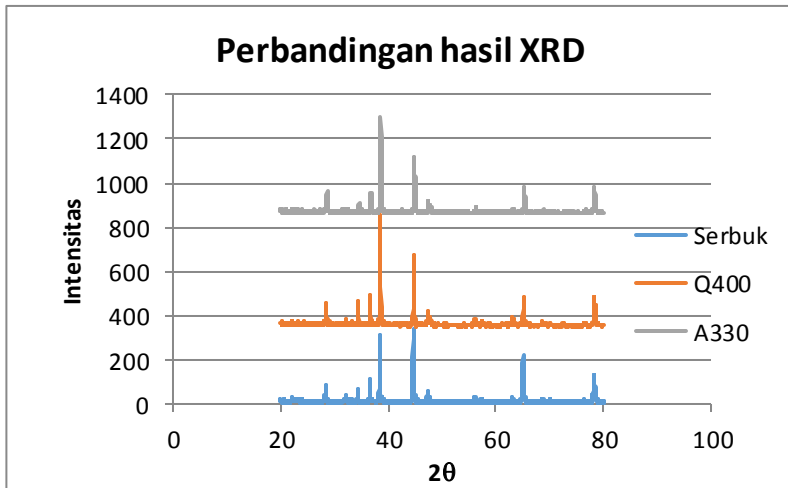


Gambar 4.4 Hasil XRD sampel setelah *quenching*

Pada perlakuan suhu yang relatif berbeda jauh, ternyata menghasilkan pola difraksi yang tidak jauh berbeda. Dari pola difraksi sebelum perlakuan panas. Pada pola difraksi yang didapatkan tidak ditemukan jumlah oksida yang terlalu banyak (kemungkinan <5% dari sampel) sehingga tidak menghasilkan pola puncak difraksi, tetapi dari uji EDS ditemukan sejumlah oksida. Oksida ini timbul dimungkinkan logam bereaksi dengan oksigen dan dipercepat proses oksidanya oleh suhu yang diberikan pada sampel.

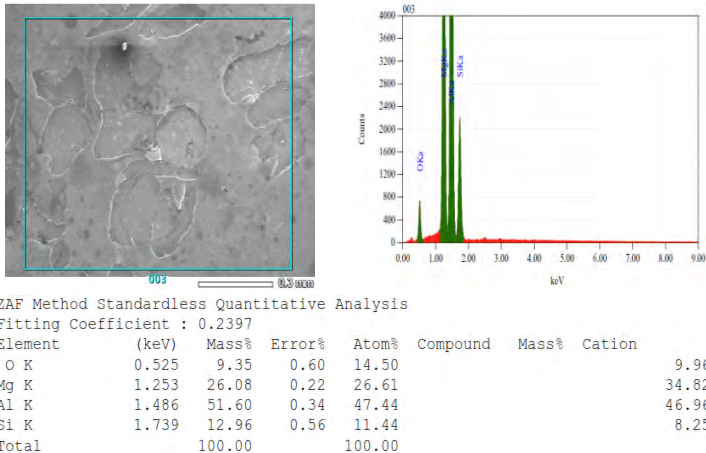


Gambar 4.5 Hasil XRD sampel setelah proses *aging*



Gambar 4.6 Perbandingan hasil XRD

Dengan membandingkan ketiga data XRD tampak adanya kesamaan pola difraksi pada intensitas yang berbeda. Kesamaan bahan awal komposit menyebabkan pola difraksi yang dihasilkan sama. Sedangkan perbedaan intensitas disebabkan karena sampel mendapat perlakuan suhu yang berbeda sehingga dimungkinkan terjadinya perbedaan kuantitas bidang kristal yang terdifraksi berbeda. Semakin kecil intensitas seiring bertambahnya suhu yang diberikan maka jumlah partikel juga semakin banyak. Karena bertambahnya suhu *aging* memberikan keleluasaan atom-atom untuk terdistribusi semakin besar sehingga memungkinkan jumlah bidang yang berorientasi sama tumbuh dan akan saling menguatkan ketika menumbuk sampel. Intensitasnya meningkat pada proses quenching dikarenakan proses perubahan termal yang mendadak berakibat struktur mikroskopik komposit belum tertata secara menyeluruh sehingga setelah mengalami proses *aging* terjadi penataan atom dan penghilangan internal stress. Sehingga bidang-bidang yang berorientasi sama menjadi lebih banyak. Hal itu berlaku pula untuk fasa yang lain.



Gambar 4.7 Hasil uji SEM+EDS komposit Al-Mg-Si setelah *quenching*

Pada hasil uji SEM+EDS terlihat bahwa aluminium sebagai matrik dan magnesium dan silicon sebagai filler pada komposit Al-Mg-Si dengan fraksi volum Al 60%, Mg 25%, Si 15%, hal ini terlihat pada persen massa yang mendekati nilai karakterisasi sampel di awal. Sekaligus memperlihatkan bahwa filler telah terdistribusi pada matrik. Pada hasil EDS juga menyakinkan bahwa ternyata timbul oksida pada sampel yang bernilai 9% dari keseluruhan bahan. Hal ini tidak terlihat pada uji XRD dikarenakan EDS berfungsi untuk mengetahui komposisi kimia sampel, sehingga kita tidak mengetahui fasa apa yang terbentuk akibat oksida tersebut

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melalui beberapa tahapan proses, dimulai dari penelitian yang kemudian dilanjutkan analisa data berikut pembahasannya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan suhu aging akan meningkatkan kekerasan komposit Al-Mg-Si, dengan nilai kekerasan maksimum terjadi pada daerah dekat ujung sampel dikarenakan distribusi penguat paling banyak didaerah ini.
2. Pengerasan *aging* memberikan nilai kekerasan sebesar 60,2 HV dibandingkan kekerasan awal sebesar 52,45 HV, dengan suhu optimun aging pada suhu 180°-280°C.
3. Tidak terjadi pengerasan *presipitat* dikarenakan suhu yang digunakan pada *solution treatment* (pemanasan sebelum *quenching*) masih dibawah suhu terjadinya *precipitate hardening*, sehingga berakibat tidak terbentuknya fasa baru pada produk komposit yang dibuat.

5.2 Saran

Sebaiknya dilakukan uji DTA/TGA pada sampel setelah mixing, sebelum perlakuan panas. Sehingga bisa diketahui pada suhu berapa fasa-fasa yang terbentuk pada proses *heat treatment* sehingga dapat mendasari proses pengerasan apa yang ingin dicapai

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, Bhagwan D. 1980. *Material Science and Engineering* (3th edition). New York: John Wiley and Sons.
- Beumer, B. J. M. 1985. *Ilmu bahan logam I* (diterjemahkan oleh Anwir). Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Callister W. D. 1985. *Material Science and Engineering, an introduction*. London: John Wiley & Sons.
- Jones, Robert M. 1973. *Hand Book of Material Science, Vol II*. Florida: Boca Raton
- Niebel, Benyamin W. 1989. *Elements of x-ray diffraction* (2nd edition). Amsterdam: Addison-Wesley
- Schonmetz, Paul. 1990. *Principles of Material Science & Engginering* (2nd edition). New york: Mc Graw Hill.
- Suasgoro. 2000. *Fisika Keramik*. Surabaya: Jurusan Fisika ITS.
- Smith, William F. 1995. *Foundation of Material Science and Engineering*, (4th Edition). Tokyo: McGraw-Hill.
- Surdia T. dan Saito S. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Pramita.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



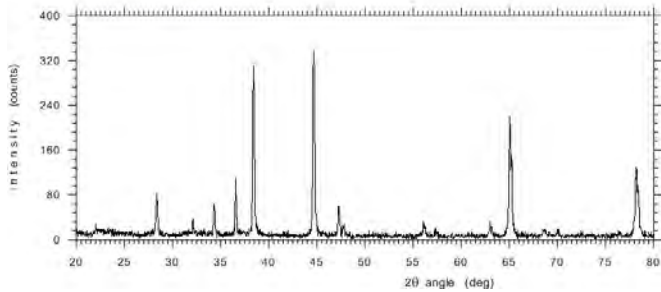
Affandy Subyanto, lahir di Kota Udang, Sidoarjo pada tanggal 12 Maret 1987. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dan memulai pendidikan formalnya di SDN Bungurasih 1 kemudian beranjak ke pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 22 Surabaya dan selanjutnya mengenyam pendidikan menengah atas di SMA Negeri 18 Surabaya. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan menimba ilmu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di Jurusan Fisika FMIPA dengan bidang minat Fisika Material. Selama kuliah, penulis aktif tidak hanya di dunia akademik melainkan juga aktif di dunia non akademik. Penulis pernah menjadi pengurus AAPG-ITS SC (*ITS Student Chapter American Association of Petroleum Geologist*), Lembaga Dakwah Jurusan Forum Studi Islam Fisika (LDJ FOSIF) ITS, dan pernah mengemban amanah sebagai wakil Ketua Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) ITS. Penulis juga pernah beberapa kali mengikuti ajang keilmiahan seperti Forum Mahasiswa Fisika Jawa Timur (FORMASI JATIM). Untuk keperluan berdiskusi, penulis dapat dihubungi di email fandy_05@hysics.its.ac.id.

LAMPIRAN A

Data Pengujian Difraksi Sinar-X

```

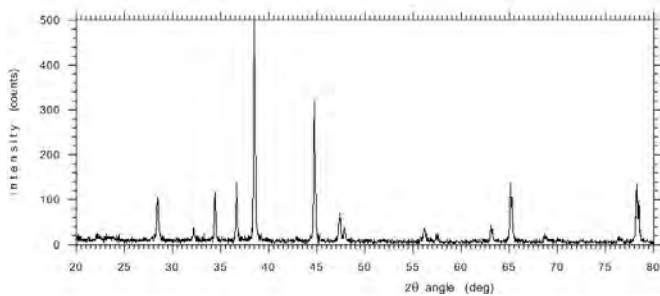
Lab: XRD  BBIN-PTBRN - BATAN
File: D:\DATA\DRK\11Agg\siac2011\Aalgrs GD.GRF >
-----
X - rays tube : target Cu      30 kV      30mA
          slit : (SS) 1 deg (HS) 1.0deg (HS) 0.1mm
-----
scan mode : CONT
  presc  time : 1 (s)
  step  width : - (degree)
  scan  speed : 1 (deg/min)
  
```



Hasil *Search Match* Sampel setelah di kompaksi

```

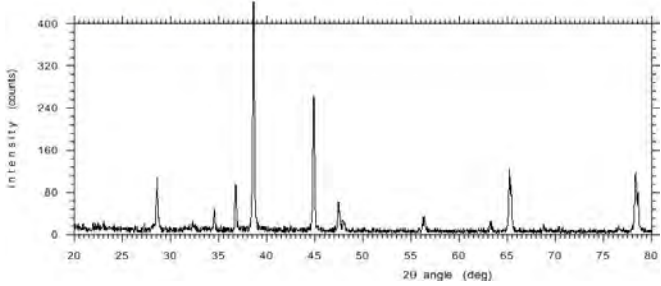
Lab: XRD  BBIN-PTBRN - BATAN
File: D:\DATA\DRK\11Agg\siac2011\AAMgrj GD.GRF >
-----
X - rays tube : target Cu      30 kV      30mA
          slit : (SS) 1 deg (HS) 1.0deg (HS) 0.1mm
-----
scan mode : CONT
  presc  time : 1 (s)
  step  width : - (degree)
  scan  speed : 1 (deg/min)
  
```



Hasil *Search Match* Sampel Komposit Al-Mg-Si pada Q-400 °C

Lab. XRD BRIN-PTBBN - BATAN
 = AMgLi-A330 10.01.2012 B:\DATA\BRK011Agustus2011\AMgLi_A330.GRF =

x-ray tube	mpgh Cu	30 kV	30mA
slit	(20) 1 deg	(20)	1 deg
scan mode	CONT		
start time	1	(h)	
stop time	-	(deg/min)	
scan speed	1	(deg/min)	

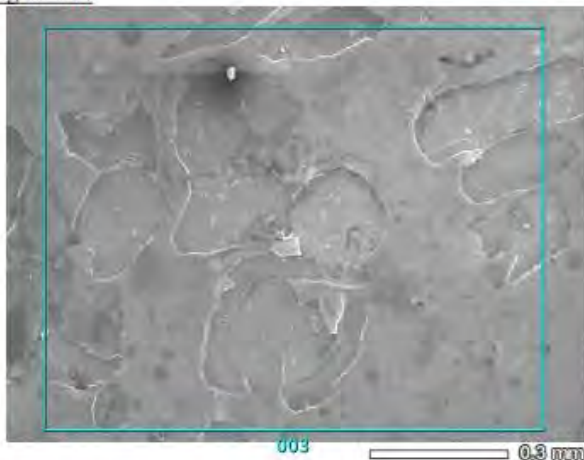


Hasil *Search Match* Sampel Serbuk Mg(OH)₂ pada 300 °C

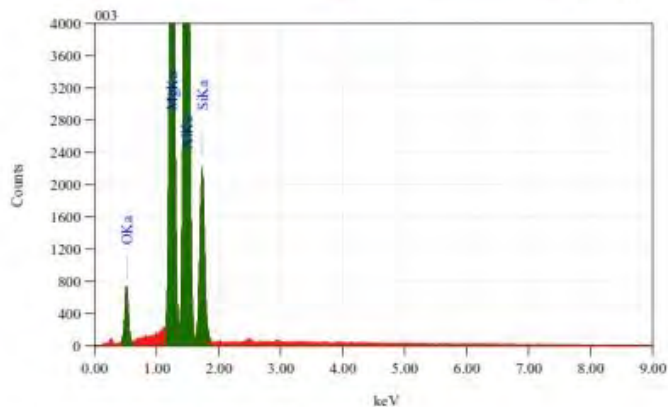
LAMPIRAN B Data Pengujian SEM

Al Mg Si 001

1/1



Title	: IM01
Instrument	: 6510 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 100
Date	: 2012/01/13
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: F3
Real Time	: 48.15 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 37 %
Counting Rate	: 882 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

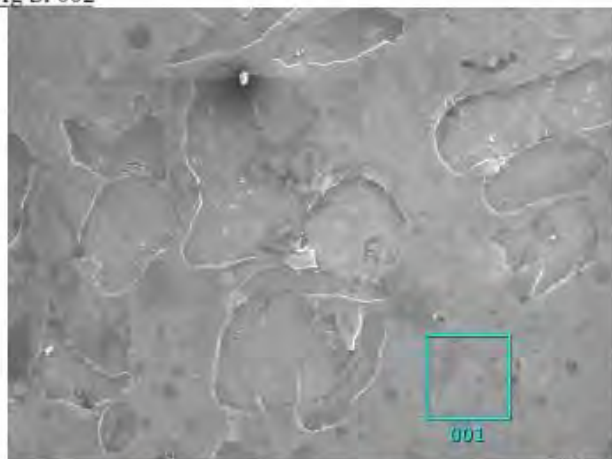
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2397

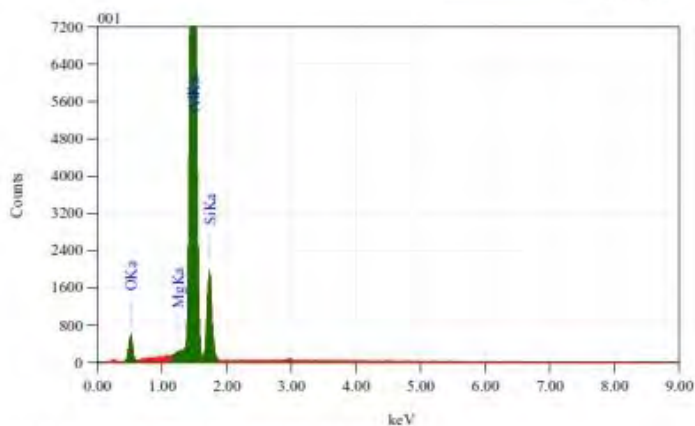
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
O K	0.525	9.35	0.60	14.50				9.9608
Mg K	1.253	26.08	0.22	26.61				34.8221
Al K	1.486	51.60	0.34	47.44				46.9665
Si K	1.739	12.96	0.56	11.44				8.2507
Total		100.00		100.00				

Al Mg Si 002

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6510 (1A)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 100
Date	: 2012/01/13
Pixel	: 512 x 384



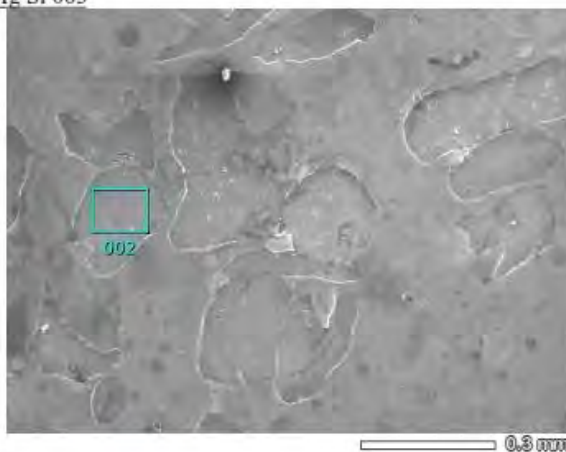
Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510 (1A)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T3
Real Time	: 47.69 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 37 %
Counting Rate	: 8865 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2825

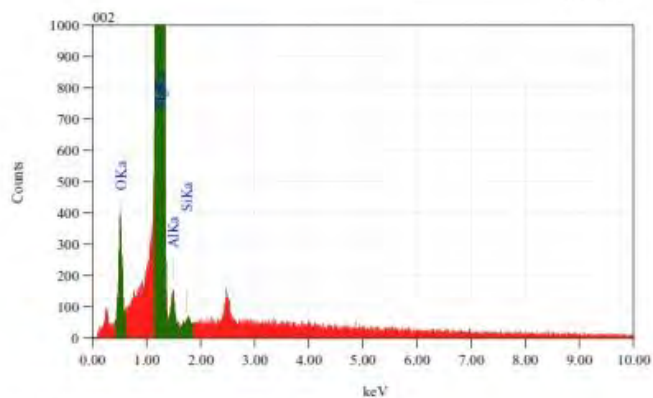
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Ratio	Z
O K	0.525	9.98	1.23	15.82				8.1926
Mg K ^α	1.253	0.79	0.42	0.83				0.8577
Al K	1.486	74.55	0.44	70.09				83.3969
Si K	1.739	14.68	1.09	13.26				7.5527
Total		100.00		100.00				

Al Mg Si 003



1/1

Title	: JMS1
Instrument	: 6510 (tA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 100
Date	: 2012/01/13
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510 (tA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T3
Real Time	: 50.03 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 40 %
Counting Rate	: 9735 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2472

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Eation	K
O K	0.525	4.44	1.13	6.59				3.8808
Mg K	1.253	95.48	0.44	93.34				96.0873
Al K*								
Si K*	1.739	0.08	1.33	0.07				0.0319
Total		100.00		100.00				

LAMPIRAN C
Data Uji Kekerasan dengan Macro HV

Sampel	Pusat			HV
	d1	d2	Avg d	
S-450	0.46	0.46	0.46	43.8
Q-400	0.46	0.46	0.46	43.8
A-130	0.46	0.46	0.46	43.8
A-180	0.45	0.45	0.45	45.8
A-230	0.45	0.45	0.45	45.8
A-280	0.45	0.45	0.45	45.8
A-330	0.44	0.44	0.45	45.8

Sampel	Tengah			HV
	d1	d2	Avg d	
S-450	0.44	0.44	0.44	47.9
Q-400	0.43	0.43	0.43	50.2
A-130	0.43	0.43	0.43	50.2
A-180	0.43	0.43	0.43	50.2
A-230	0.42	0.42	0.42	52.6
A-280	0.42	0.42	0.42	52.6
A-330	0.425	0.425	0.425	51.3

Sampel	Ujung			HV
	d1	d2	Avg d	
S-450	0.42	0.425	0.4225	52.45
Q-400	0.42	0.42	0.42	52.6
A-130	0.415	0.415	0.415	53.9
A-180	0.41	0.415	0.4125	54.5
A-230	0.4	0.4	0.4	58
A-280	0.39	0.39	0.39	61
A-330	0.39	0.395	0.3925	60.2

* Alat : wolpert
probat
* F : 5 Kgf

LAMPIRAN D

Hasil Foto Mikrostruktur

