



**PENGARUH HOMOGENEZING DAN SOLUTION TREATMENT
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT A356/nano-AL₂O₃**

SKRIPSI

Oleh :

Moch. Ginanjar Widodo Mukti

151910101117

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017



**PENGARUH HOMOGENEIZING DAN SOLUTION TREATMENT
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT A356/nano-AL₂O₃**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan program studi teknik mesin (S1)
dan mencapai gelar sarjana teknik

Oleh :

Moch. Ginanjar Widodo Mukti

151910101117

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017

PERSEMBAHAN

Proyek Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Eny Muzayati dan Ayahanda Ali Rochmat yang tercinta, terima kasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat dan air mata yang menetes dalam setiap untaian do'a yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis;
2. Guru-guru sejak TK hingga SMA, dosen, dan seluruh civitas akademika Universitas Jember khususnya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin yang telah menjadi tempat menimba ilmu dan telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran;
3. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

MOTTO

Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai sesanggupannya.

(Q.S. Al-Baqarah:286)

atau

Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah.

(Thomas Alfa Edison)

atau

Kadang keberhasilan baru akan tiba setelah kesulitan dialami. Maka jangan menyerah dalam menggapai keberhasilan walau kesulitan menghadang.

(Mario Teguh)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moch. Ginanjar Widodo Mukti

NIM : 151910101117

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi dengan judul "*Pengaruh Homogenezing dan Solution Treatment Terhadap Karakterisasi Komposit A356/nano-AL₂O₃*" adalah hasil karya dan penelitian sendiri terkecuali kutipan-kutipan yang sudah sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab tanpa ada unsur pemaksaan serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2017

Yang Menyatakan,

Moch. Ginanjar Widodo Mukti
151910101117

SKRIPSI

**PENGARUH HOMOGENEZING DAN SOLUTION TREATMENT
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT A356/nano-AL₂O₃**

oleh

Moch. Ginanjar Widodo Mukti

NIM 151910101117

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Moch. Edoward R., S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr . Salahudin Junus, S.T.,M.T.

PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi berjudul ” Pengaruh Homogenezing dan Solution Treatment Terhadap Karakterisasi Komposit A356/nano- Al_2O_3 ” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

hari, tanggal : Kamis, 14 Desember 2017

tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Tim Penguji,

Ketua,

Sekretaris,

Moch. Edoward R., S.T., M.T.

Dr. Salahudin Junus, S.T., M.T.

NIP 19870430 201404 1 001

NIP. 19751006 200212 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T,

Sumarji, S.T., M.T.

NIP 19681205 199702 1 002

NIP 19680202 199702 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.

NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Homogenezing dan Solution Treatment Terhadap Karakterisasi Komposit A356/nano-Al₂O₃; Moch. Ginanjar Widodo Mukti, 151910101117; 2017; 64 halaman; Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Pemberian proses perlakuan panas terhadap Aluminium memiliki bermacam-macam tujuan, yang salah satunya adalah untuk menyeragamkan butiran, untuk memperhalus butiran, menaikkan kekerasan, menambah keuletan, meningkatkan machinability ataupun untuk tujuan lainnya. Maka untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut diperlukan proses perlakuan panas yang berbeda. Perbedaan tersebut juga mencakup perbedaan pada tingginya temperatur pemanasan, lamanya waktu tahan pada temperatur pemanasan, laju pendinginan dan media pendinginnya. Semua hal tersebut harus memperhatikan komposisi unsur paduan materialnya

Proses perlakuan panas yang dilakukan, seringkali sifat mekanik yang didapatkan tidak sesuai dengan standar walaupun ada beberapa yang sesuai dengan standar. Hal ini disebabkan kurang uletnya material karena perlakuan panas yang digunakan kurang sesuai. Perlakuan panas yang kurang sesuai akan menyebabkan sifat mekanik pada benda kerja tidak sesuai yang diinginkan. Begitu pula dengan temperatur pemanasan yang terlalu tinggi menghasilkan butiran yang kasar dan mengakibatkan kurang uletnya material tersebut. Selain tingginya temperatur pemanasan hal tersebut juga dipengaruhi oleh laju pendinginan dan media pendingin. Oleh karena itu digunakan proses perlakuan panas yang tepat untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan sesuai dengan fungsi dari material tersebut.

SUMMARY

Effect of Homogenizing and Solution Treatment on A356 / nano-Al₂O₃ Composite Characterization; Moch. Ginanjar Widodo Mukti, 151910101117; 2017; __ page; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Heat treatment process against Aluminum has a variety of purposes, one of which is to uniform grains, to soften grain, to increase hardness, increase ductility, increase machinability or for other purposes. to get these properties required different heat treatment process. The differences also include differences in the height of the heating temperature, the duration of the holding time at the heating temperature, the cooling rate and the cooling medium. All these things should pay attention to the composition of the material alloys.

The process of heat treatment is done, often the mechanical properties obtained are not in accordance with the standards although there are some that conform to the standard. This is due to less ductile material because the heat treatment is used less appropriate. Inadequate heat treatment will cause the mechanical properties of the workpiece not to be desired. Similarly, the heating temperature is too high to produce coarse grains and result in less ductile material. In addition to high heating temperatures it is also affected by the cooling rate and the cooling medium. Therefore, a suitable heat treatment process is used to obtain the desired mechanical properties according to the function of the material.

PRAKATA

Alhamdulillah ucapan syukur yang tak hingga penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir dengan judul “ Pengaruh *Homogenezing* dan *Solution Treatment* Terhadap Karakterisasi Komposit A356/nano- Al_2O_3 ”.

Penulis Proyek Akhir ini tidak dapat terlepas dari bimbingan, arahan, semangat dan motivasi dari pihak lain dengan kerendahan hati, penulis mengucapkan rasa terima kasih sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam penulisan laporan proyek akhir ini, antara lain kepada:

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan proyek akhir ini;
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan proyek akhir ini;
3. Moch. Edoward S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Salahudin Junus S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran memberi bimbingan, dorongan, meluangkan waktu, pikiran, perhatian dan saran kepada penulis selama penyusunan proyek akhir ini sehingga dapat terlaksana dengan baik;
4. Hary Sutjahjono S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Sumarji S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II, terima kasih atas saran dan kritiknya;
5. Boy Arifahri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama kuliah;
6. Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tim Material Research Group (MRG);
7. Seluruh Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, bimbingan, pengorbanan, saran dan kritik kepada penulis;

8. Ibunda Eny Muzayati dan Ayahanda Ali Rochmat yang telah memberikan segalanya kepada penulis;
9. Kedua Kakak Kandung Saya Heppy Arik Rahmawati dan alm.M.Arief Sururi yang telah memberikan semangat sempurna untuk penulis;
10. Tim MRG 3 Legend, Luput, Igun, Septa, Kacong, Agung, Ireng, Novi, Haho, Rahmat, MRG 2 Mas deki, Mas Abduh, Haidzar dan juga MRG 4 yang telah membantu, memberi saran masukan dalam penyusunan skripsi dan memberi hiburan tersendiri di waktu luang
11. Teman-temanku seperjuangan Teknik Mesin 2012 yang selalu menjunjung tinggi solidarity forever kepada penulis;
12. Sahabat kentel Angie, Mega, Dedi yang selalu memberi support kepada penulis;
13. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan proyek akhir ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, September 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN_MOTTO	iv
HALAMAN_PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN_PENGESAHAN SKRIPSI	vii
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang	1
1. 2 Perumusan Masalah	2
1. 3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.3.1 Tujuan dari penelitian ini adalah:	3
1.3.2 Manfaat dari penelitian ini adalah:	3
1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian	3
1.5 Hipotesis	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Aluminium	5

2.1.1 Sifat Aluminium.....	5
2.1.2 Paduan Aluminium.....	6
2.2 Aluminium A356	8
2.3 Alumina (Al₂O₃)	11
2.5 Komposit	12
2.6 Metal Matrix Composite (MMC)	13
2.6.1 Aluminium Matrix Composite (AMC)	14
2.7 Perlakuan Panas.....	15
2.7.1 Homogenizing	16
2.7.2 Perlakuan Panas T6 (Solution treatment dan Artificial Aging)	18
2.8 Pengujian Sifat Mekanik	26
2.8.1 Pengujian tarik	26
2.8.2 Pengujian kekerasan.....	27
2.9 Pengamatan Metalografi	29
2.9.1 Struktur mikro	29
2.9.2 SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	30
2.9.3 XRD (X-Ray Diffraction)	31
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	34
3.1 Metode Penelitian.....	34
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	34
3.3 Alat dan Bahan.....	34
3.3.1 Alat.....	34
3.3.2 Bahan	35
3.4 Variabel penelitian.....	35
3.4.1 Variabel bebas	35

3.4.2 Variabel kontrol	35
3.4.3 Variabel terikat.....	35
3.4.4 Variabel tetap	35
3.5 Pelaksanaan Penelitian	36
3.5.1 Prosedur Penelitian	36
3.6 Pengujian	37
3.6.1 Uji Tarik.....	37
3.6.2 Uji Kekerasan.....	38
3.6.3 Struktur mikro.....	38
3.6.4 Uji SEM	39
3.6.5 Uji XRD	40
3.7 Diagram alir	42
BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Pengujian kekerasan.....	43
4.2 Pengujian Tarik	46
4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro	50
4.3.1 Perbandingan Struktur Mikro Antar Variasi.....	50
4.4 Pengamatan SEM dan EDX.....	54
4.5 Pengamatan XRD.....	58
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Aluminium ingot murni (Stenna aluminium AB, 2007)	5
Gambar 2.2 Diagram fasa Al-Si (ASM Handbook 2004).....	9
Gambar 2.3 Struktur mikro Al-Si pada fase (a) <i>Hypoeutectic</i> . (b) <i>Eutectic</i> . (c) <i>Hypereutectic</i> (ASM International, 2004).....	9
Gambar 2.4 Pengecoran Logam (<i>European Aluminium Association</i> , 2002)	10
Gambar 2.5 Serbuk Alumina (Singh, I. B., Gupta, Akanksha., Dubey, Swati., dan Shafeeq, M, 2015).....	12
Gambar 2.6 Kurva spesimen yang dihomogenezing (Ashkan 2015).....	17
Gambar 2.7 Skematik evolusi mikro dan mekanisme pembubaran domain Mg selama perlakuan panas homogenisasi (Ashkan 2015).	18
Gambar 2.8 Perlakuan Panas T6	19
Gambar 2.9 Diagram fase pemanasan logam paduan	20
Gambar 2.10 Urut-urutan perubahan fasa dalam proses <i>artificial aging</i>	22
Gambar 2.11 Proses <i>aging</i> aluminium-tembaga(Al-Cu)(a) <i>supersaturated solute solution</i> , (b) fasa " mulai terbentuk <i>precipitate</i> (Al-Cu), (c) fasa keseimbangan Al-Cu.....	24
Gambar 2.12 Hubungan antara lamanya waktu (<i>aging</i>) terhadap kekuatan dan kekerasan paduan aluminium (Smith, 1995).....	25
Gambar 2.13 Paduan Al-12,7Si-0,7Mg sebelum perlakuan panas (Liu Fang, 2011)	29
Gambar 2.14 Paduan Al-12,7Si-0,7Mg sesudah perlakuan panas (Liu Fang, 2011)	29
Gambar 2.15 Blok Diagram SEM (Sumber : Sujatno, 2015)	31
Gambar 2.16 Skema Alat Uji XRD (Sumber : Widodo, 2009)	32
Gambar 3.1 Kurva Temperatur	36
Gambar 3.2 Kurva Perlakuan Panas Homogenezing dan T6.....	37
Gambar 3.3 Spesimen uji tarik ASTM B557	38
Gambar 3.4 Prinsip kerja SEM	39

Gambar 3.5 Mesin XRD	41
Gambar 3.6 Diagram alir penelitian.....	42
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell Perlakuan Panas Komposit A356/nano-Al ₂ O ₃	44
Gambar 4.2 Perbandingan persentase <i>solution treatment</i> terhadap nilai kekerasan komposit A356/nano-Al ₂ O ₃ . Guanghao Zhang, (2014).....	45
Gambar 4.3 Grafik pengaruh penambahan variasi <i>homogenizing</i> terhadap kekuatan tarik komposit A356/nano-Al ₂ O ₃	47
Gambar 4.4 Grafik pengaruh penambahan temperatur terhadap persentase elongasi komposit A356/nano-Al ₂ O ₃	48
Gambar 4.5 Struktur mikro komposit A356/nano-Al ₂ O ₃ Mg perbesaran 20X (a.) <i>Homogenezing</i> 400 °C, (b.) <i>Homogenezing</i> 415 °C (c.) <i>Homogenezing</i> 430 °C, (d.) <i>Homogenezing</i> 500 °C.....	51
Gambar 4.6 Struktur mikro pernghalusan butir dengan penambahan heatreatment (Akhil 2014).....	52
Gambar 4.7 struktur mikro Al-3.0wt.%Cu-5.5wt.%Si sebelum perlakuan panas T6 (Thiago 2016).....	53
Gambar 4.8 struktur mikro Al-3.0wt.%Cu-5.5wt.%Si sesudah perlakuan panas T6 (Thiago 2016).....	53
Gambar 4.9 Foto SEM dan EDX Komposit A356/nano-Al ₂ O ₃ Titik 1 perbesaran 2500× dengan penambahan temperatur <i>homogenezing</i> sebesar 430 °C selama 24 jam.....	54
Gambar 4.10 Foto SEM dan EDX Komposit A356/nano-Al ₂ O ₃ (b) Titik 2 perbesaran 3000x dengan penambahan temperatur <i>homogenezing</i> sebesar 430 °C selama 24 jam.	55
Gambar 4.11 Foto SEM dan EDX Komposit A356/nano-Al ₂ O ₃ Titik 3 perbesaran 2500x dengan penambahan temperatur <i>homogenezing</i> sebesar 430 °C selama 24 jam,.....	56

Gambar 4.12 Foto SEM dan EDX Komposit A356/nano-Al₂O₃ Titik 4 perbesaran 3000x dengan penambahan temperatur homogenezing sebesar 430 °C selama 24 jam.....57

Gambar 4.13 Grafik Identifikasi Senyawa *homogenezing* dan perlakuan panas T6 Pada komposit A356/nano-Al₂O₃.....59



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat mekanik aluminium murni	6
Tabel 2.2 Komposisi paduan aluminium	6
Tabel 2.3 Komposisi A356	8
Tabel 2.4 Sifat mekanik reinforce MMC	13
Tabel 2.5 Skala Kekerasan.....	28
Tabel 4.1 Nilai kekerasan perlakuan panas komposit A356/nano-Al ₂ O ₃	35
Tabel 4.2 Nilai Pengujian Tarik Komposit A356-7Mg-0.03Sr/3 nanoAl ₂ O ₃	47
Tabel 4.3 Kekuatan Tarik T6 (Man Zhu 2011)	49
Tabel 4.4 Pengecekan Komposisi Unsur Pada A356-7Mg-0.03Sr/3 nano- Al ₂ O ₃ Menggunakan EDX	58

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium pada saat ini telah menempati peranan penting dalam industri. Industri otomotif sebagai contoh penggunaan aluminium, aluminium menduduki peringkat kedua untuk logam setelah besi dan baja. Produksi pertahunnya di dunia mencapai 15 juta per tahun pada tahun 1981. Hal ini didasarkan karena salah satu sifat mekanik aluminium yaitu massa jenisnya yang hanya $\pm 2.79 \text{ g/cm}^3$. Oleh karena sifatnya yang sangat ringan tersebut aluminium banyak disukai dalam industri (Surdia,2000).

Aluminium merupakan elemen yang paling melimpah di kerak bumi. Aluminium murni memiliki banyak keuntungan untuk digunakan secara luas di bidang industri, seperti konduktivitas listrik yang baik dan lebih bagus jika dibandingkan dengan tembaga, konduktivitas panas yang lebih baik, densitas yang lebih rendah dan plastisitas yang lebih tinggi (Z. Henghua dkk, 2006; Du., 2006; J.A Omotoyinbo dkk, 2010). Untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik dari aluminium, maka dibutuhkan unsur lain sebagai *modifier*.

Casting atau Pengecoran adalah suatu proses pembentukan logam dengan cara menggunakan cetakan (*die*) berongga yang diisi oleh logam cair. Pengecoran yang saat ini sering dilakukan adalah pengecoran besi dan aluminium, terutama aluminium dikarenakan banyaknya penggunaan aluminium dalam industri otomotif dunia. Dalam pengecoran, produk yang dihasilkan tidak lepas dari cacat (*defect*) sehingga untuk mengantisipasi dari kecacatan dari pengecoran tersebut perlu dilakukan pengaturan terhadap parameter penting dalam proses pengecoran. Parameter yang perlu dikontrol guna mendapatkan hasil yang optimal meliputi: komposisi modifier, ukuran partikel, dan sebagainya.

Komposit logam atau *Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan material yang dibentuk dengan menggabungkan dua material atau lebih untuk memperoleh

material baru yang mempunyai sifat mekanik yang lebih baik. MMC terdiri dari matriks dan *reinforce*, matriks dari MMC biasanya menggunakan logam lunak seperti aluminium, dan *reinforce* menggunakan material keramik berukuran mikro hingga nano seperti SiC, Al₂O₃, dan sebagainya. (Sadi, 2013).

Pemberian proses perlakuan panas terhadap Aluminium memiliki bermacam-macam tujuan, yang salah satunya adalah untuk menyeragamkan butiran, untuk memperhalus butiran, menaikkan kekerasan, menambah keuletan, meningkatkan *machinability* ataupun untuk tujuan lainnya. Maka untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut diperlukan proses perlakuan panas yang berbeda. Perbedaan tersebut juga mencakup perbedaan pada tingginya temperatur pemanasan, lamanya waktu tahan pada temperatur pemanasan, laju pendinginan dan media pendinginnya. Semua hal tersebut harus memperhatikan komposisi unsur paduan materialnya

Proses perlakuan panas yang dilakukan seringkali didapatkan sifat mekanik yang tidak sesuai dengan standar walaupun ada beberapa yang sesuai dengan standar. Hal ini disebabkan kurang uletnya material karena perlakuan panas yang digunakan kurang sesuai. Perlakuan panas yang kurang sesuai akan menyebabkan sifat mekanik pada benda kerja tidak sesuai yang diinginkan. Begitu pula dengan temperatur pemanasan yang terlalu tinggi akan merubah fasa suatu material yang menghasilkan butiran menjadi halus dan mengakibatkan kurang uletnya material tersebut. Selain tingginya temperatur pemanasan hal tersebut juga dipengaruhi oleh laju pendinginan dan media pendingin. Oleh karena itu digunakan proses perlakuan panas yang tepat untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan sesuai dengan fungsi dari material tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini akan dilakukan pembahasan berdasarkan latar belakang yaitu untuk mengetahui efek yang ditimbulkan dari perlakuan panas T6. Dengan variasi *homogenezing* pada suhu 500 °C selama 24 jam, 430 °C selama 24 jam, 415

°C selama 24 jam, terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro komposit A356/nano- Al_2O_3 .

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 dan Homogenezing terhadap nilai kekerasan suatu komposit A356/nano- Al_2O_3
2. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 dan Homogenezing terhadap kekuatan tarik komposit A356/nano- Al_2O_3 .
3. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 dan Homogenezing terhadap optical microscopie dan XRD.

1.3.2 Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 dan Homogenezing terhadap nilai kekerasan suatu komposit A356/nano- Al_2O_3
2. Dapat mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 dan Homogenezing terhadap kekuatan tarik komposit A356/nano- Al_2O_3 .
3. Dapat mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 dan Homogenezing terhadap optical microscopi dan XRD

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Ruang lingkup dan batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan A356 (Al-7,5%Si-0,002%Cu-0,17%Mg—0,1%Fe-0,02%Mn-0,03%Ni-0,005%Sr), dan nano Al_2O_3
2. Hasil pengecoran diasumsikan tidak ada cacat (*defect*)
3. Homogenezing suhu 500 °C, 430 °C, 415 °C, 400 °C selama 24 jam
4. Solution treatment 540 °C selama 6 jam

5. *Artificial Aging* 115 °C selama 5 jam

1.5 Hipotesis

Penambahan *homogenizing* berfungsi sebagai penyeragaman dan *solution treatment* berperan melarutkan semua atom yang berada pada paduan aluminium untuk membentuk fasa tunggal (), *quencing* atau pendinginan cepat tidak memungkinkan adanya difusi, proses ini menghasilkan larutan padat lewat jenuh, fasa yang setimbang adalah + , namun fasa sendiri tak sempat terbentuk. *Artificial Aging* dimana larutan padat lewat jenuh membentuk fasa , fasa ini muncul dalam bentuk endapan halus yang terdispersi dan meningkatkan kekuatan logam. Sehingga nilai kekerasan dan kekuatan tarik pada komposit A356/nano-Al₂O₃ akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya proses perlakuan panas pada penambahan konsentrasi suhu *homogenizing*. Kekuatan tarik terbaik berada pada temperatur 500 °C dan kekerasan terbaik ada pada temperatur 430 °C.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey pada tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H.C Oersted pada tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Herroult di Perancis dan C.M Hall di Amerika Serikat memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisis. Sampai sekarang proses Hall-Herroult masih digunakan untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam menempati peringkat ke dua setelah besi dan baja. Produksi aluminium tahunan di dunia mencapai 25,51 juta ton per tahun pada tahun 2016.

Aluminium selain ringan juga mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Sifat mekaniknya juga bertambah dengan adanya penambahan unsur Mg, Cu, Mn, Si, Ni, dsb. Aluminium tidak hanya digunakan sebagai peralatan dapur, namun juga dalam skala industri, aerospace, konstruksi, otomotif, dsb.



Gambar 2.1 Aluminium ingot murni (Stenna aluminium AB, 2007)

2.1.1 Sifat Aluminium

Selain ketahanan korosi yang baik dan penghantar listrik yang baik, aluminium mempunyai sifat mekanik lain seperti kekerasan, *ultimate tensile strength*, *strain* dan *stress*. Pergerakan dislokasi yang tinggi dan ketahanan terhadap pergerakan dislokasi yang rendah menyebabkan sifat aluminium menjadi ulet. Sifat mekanik dari aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Sifat mekanik aluminium murni

Kemurnian (%)	Hardness (HV)	UTS (MPa)	Strain	Stress (MPa)
99,9	65	78	0,3	30

Sumber: Aluminium and Aluminium Alloys (2001)

2.1.2 Paduan Aluminium

Aluminium paduan merupakan material aluminium yang ditambahkan unsur lain guna meningkatkan sifat mekaniknya sehingga dapat digunakan di berbagai bidang. Unsur yang biasa digunakan untuk paduan aluminium adalah Mg, Si, Zr, Zn, Ni, Cu, dsb. Komposisi paduan aluminium dapat dilihat pada tabel 2.2,

Tabel 2.2 Komposisi paduan aluminium

Seri Aluminium	Komposisi	Metode Penguatan
1xxx	Al	<i>Cold work</i>
2xxx	Al-Cu(1-2,5%)-Mg	Heat treatment
2xxx	Al-Cu(3-6%)-Mg	Heat treatment
3xxx	Al-Mn-Mg	Cold work
4xxx	Al-Si	Cold work
5xxx	Al-(1-2,5%)Mg	Cold work
5xxx	Al-(3-6%)Mg-Mn	Cold work
6xxx	Al-Mg-Si	Heat treatment
7xxx	Al-Zn-Mg	Heat treatment
7xxx	Al-Zn-Mg-Cu	Heat treatment

Sumber: Aluminium and Aluminium Alloys (2001)

a. Seri 2xxx

Pada aluminium seri 2xxx, Cu merupakan unsur tambahan yang utama. Aluminium paduan seri 2xxx memerlukan perlakuan panas pada fase cair

(*Solution*) untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimal. Aluminium seri 2xxx tidak memiliki ketahanan korosi yang baik seperti kebanyakan seri paduan aluminium lainnya. Seri 2xxx cocok untuk digunakan untuk *sparepart* dan struktur yang membutuhkan rasio *strength-to-weight* yang tinggi.

b. Seri 3xxx

Pada aluminium seri 3xxx, Mn merupakan unsur tambahan yang utama. Aluminium seri 3xxx tidak termasuk dalam golongan paduan aluminium yang dilakukan perlakuan panas (*Heat treatment*) namun memiliki kekuatan 20% lebih tinggi dibandingkan Aluminium 1xxx (Aluminium murni). Kandungan Mn yang efektif untuk paduan seri 3xxx sebanyak 1,5%.

c. Seri 4xxx

Pada aluminium seri 4xxx, Si merupakan unsur tambahan yang utama. Si dapat ditambahkan pada paduan seri 4xxx hingga 12% untuk mengurangi *temperature* leleh tanpa membuat kegetasan. Kebanyakan aluminium seri 4xxx tanpa perlakuan panas. Koefisien *thermal* aluminium seri 4xxx rendah dan ketahanan terhadap keausannya tinggi sehingga sangat cocok untuk komponen mesin seperti piston.

d. Seri 5xxx

Pada aluminium seri 5xxx Mg merupakan unsur tambahan utama. Ketika Mg digunakan pada paduan Aluminium, menghasilkan paduan yang memiliki kekuatan menengah-tinggi. Mg lebih efektif dibandingkan Mn dalam hal peningkatan pengerasan, 0,8% Mg setara dengan 1,25% Mn. Aluminium seri 5xxx ketahanan korosinya tinggi dan mampu lasnya baik.

e. Seri 6xxx

Pada aluminium seri 6xxx mengandung komposisi Si dan Mg yang cukup untuk pembentukan Mg_2Si , yang kemudian menjadikan seri 6xxx *Heat treatable*. Aluminium seri 6xxx walaupun tak sekuat seri 2xxx dan 7xxx, namun mampu las, mampu mesin dan ketahanan korosinya cukup baik.

f. Seri 7xxx

Pada aluminium seri 7xxx, Zn merupakan unsur tambahan utama (1 – 8%). Dengan penambahan sedikit Mg akan menjadikan aluminium seri 7xxx *Heat treatable* dan memiliki kekuatan yang tinggi.

2.2 Aluminium A356

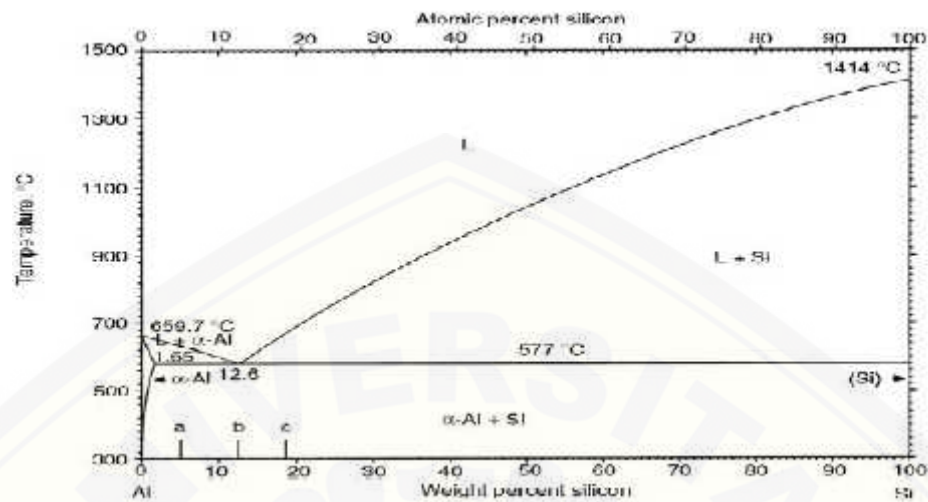
Aluminium paduan memiliki banyak kontribusi dalam bidang industri maupun otomotif. Tiap Seri paduan aluminium memiliki keunggulan dan perannya tersendiri di bidang tertentu. Komposisi aluminium A356 dapat dilihat di tabel 2.3,

Tabel 2. 3 Komposisi A356

JIS symbol	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Pb	Ti
A356	1,5- 3,5	9,6- 12,0	0,3 max	1,0 max	1,3 max	0,5 max	0,5 max	0,2 max	0,3 max	0,2 max

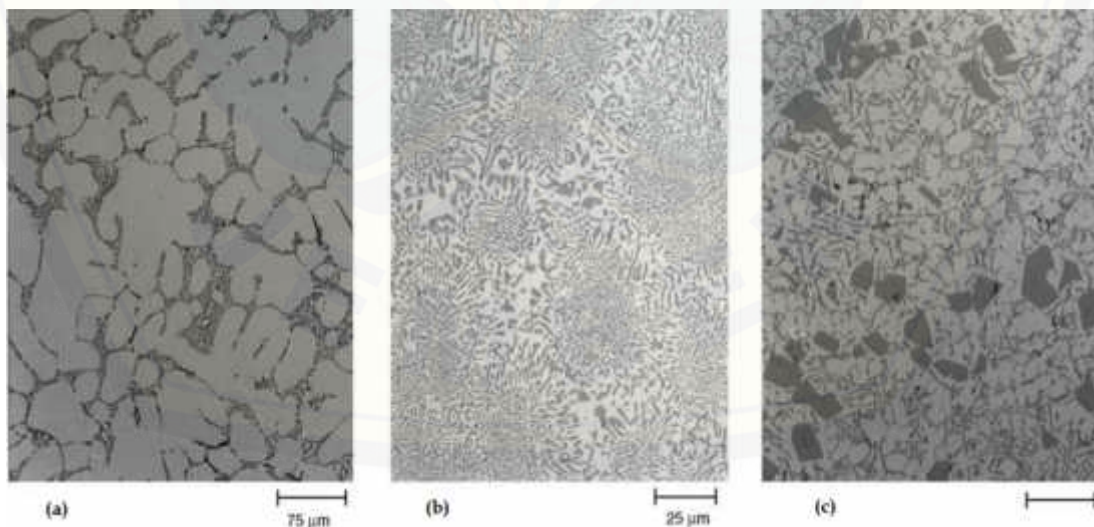
Sumber: JIS Handbook. (2000)

A356 memiliki perubahan fasa, perubahan fasa tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram fasa Al-Si (ASM Handbook 2004)

Terdapat 3 Fasa pada paduan ADC 12 (Al-Si), yakni Hypoeutektik, Eutektik, Hypereutektik. Perbedaan dari ketiga fasa tersebut terdapat pada kandungan Si dalam paduan Al-Si, Hypoeutektik (<12,6%), Eutektik (12,6%), Hypereutektik (>12,6%), struktur mikro dari ke 3 fase dapat dilihat pada gambar 2.3.



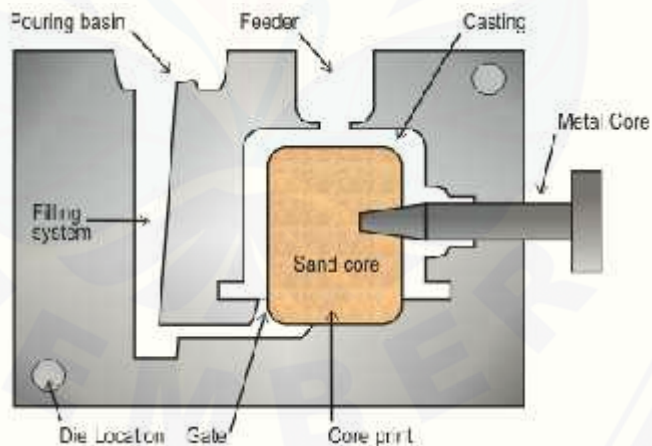
Gambar 2.3 Struktur mikro Al-Si pada fase (a) *Hypoeutectic*. (b) *Eutectic*. (c) *Hypereutectic* (ASM International, 2004)

Pengecoran (*casting*) adalah suatu proses penuangan cairan yang berasal dari logam yang dimasukkan ke dalam cetakan (*die*), kemudian dibiarkan mengeras di dalam cetakan dan setelah mengeras kemudian dikeluarkan dari cetakan. Pengecoran dilakukan untuk membuat komponen mesin yang kompleks.

Pengecoran digunakan untuk membentuk logam dalam kondisi panas sesuai dengan bentuk cetakan yang dibuat. Proses pengecoran dibagi menjadi dua: *expandable* dan *non-expandable mold casting*.

Pengecoran diawali dengan pembuatan cetakan dengan bahan pasir. Cetakan pasir dapat dibuat secara manual maupun dengan mesin. Pembuatan cetakan tangan dengan dimensi besar dapat ditambahkan campuran tanah liat sebagai pengikat.

Pengerjaan dalam pengecoran logam aluminium meliputi beberapa tahap diantaranya: bahan baku, pembuatan cetakan, proses peleburan, penuangan coran, pembongkaran, pembersihan serta pemeriksaan hasil coran. Industri logam khususnya pengecoran logam mempunyai peranan yang sangat penting dalam menunjang pembangunan saat ini. Untuk itu perlu penanganan yang khusus. (Warsono, 2004).



Gambar 2.4 Pengecoran Logam (*European Aluminium Association, 2002*)

2.3 Alumina (Al_2O_3)

Al_2O_3 pada dasarnya merupakan *reinforce* pada material *metal-matrix-composite* (MMC), aluminium berperan sebagai matrix dan Al_2O_3 berperan sebagai *reinforce*. Kombinasi ini menjadikan MMC sebagai salah satu pilihan dalam bidang *aerospace* dan otomotif. Penambahan Al_2O_3 dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit A356/nano- Al_2O_3 seperti keuletan dan *strength*, hal tersebut dikarenakan persebaran nano partikel dari Al_2O_3 . Al_2O_3 digunakan sebagai *reinforce* dikarenakan mempunyai stabilitas *thermal* dan kekerasan yang baik serta *modulus Young* yang tinggi (Davis, 2010). Penggunaan Al_2O_3 Yang terlalu berlebih dapat mengurangi sifat mekanik dari MMC, seperti penurunan keuletan dan untuk menanggulangi hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan Al_2O_3 dengan ukuran nano. Untuk mendapatkan Al_2O_3 yang berukuran nano dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti disperse *ultrasonic*, *DC Thermal Plasma*, *ball milling* dan *deposisi spray*. Al_2O_3 yang ditambahkan pada komposit A356/nano- Al_2O_3 dapat memberikan perbaikan Kekuatan-Keuletan, selain itu partikel alumina dapat menaikkan tingkat viskositas secara cepat. Nano-Alumina memiliki sifat yang sepadan dengan paduan Al, seperti konduktivitas *thermal* yang tinggi. Konduktivitas *thermal* inilah yang mempengaruhi persebaran dan hasil dari sebaran nano partikel tersebutlah yang memperkuat komposit A356/nano- Al_2O_3 .

Aluminium oksida (Alumina) merupakan senyawa kimia yang terbentuk akibat oksidasi antara aluminium dan oksigen dimana rumus kimia dari alumina adalah Al_2O_3 . Alumina tergolong material sangat ringan dengan warna putih dengan bentuk kristal *corundum* (Veeradate Piriya Wong, Voranuch Thongpool, Piyapong Asanithi, and Pichet Limsuwan, 2012).



Gambar 2.5 Serbuk Alumina (Singh, I. 2015)

Aluminium oksida (Al_2O_3) memiliki bermacam kelebihan pada sifat termal, kimia, dan fisiknya, bila dibandingkan dengan beberapa bahan keramik lainnya. Dalam hal ini alumina (Al_2O_3) memiliki massa molar sebesar $101,96 \text{ g mol}^{-1}$ dan kerapatan $3,95\text{-}4,1 \text{ g cm}^{-3}$. Pada sifat *thermal* alumina mempunyai titik lebur dan titik didih yang tinggi, masing-masing $2072 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $2977 \text{ }^\circ\text{C}$ sehingga material ini sangat berguna sebagai material tahan api dan lapisan tungku khusus (Khamirul Amin Matori, Loy Chee Wah, Mansor Hashim, Ismayadi Ismail and Mohd Hafiz Mohd Zaid, 2012)

Pada Industrial, lebih dari sekitar 45 Juta ton Al_2O_3 diproduksi dan dipasarkan ke berbagai dunia, yang mana alumina diproduksi dengan *metode Bayer* menggunakan Bauksit, sekitar 5 juta ton dari Al_2O_3 diproduksi sebagai grade kimia dan digunakan untuk berbagai tujuan dalam segala bidang. Dan Sekitar 1,5 juta ton Al_2O_3 digunakan sebagai serbuk mentah di dunia (Takashi Shirai, 2009)

2.5 Komposit

Material komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari pada logam, memiliki

kekuatan dengan skala yang bisa diatur (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength/weight*) dan kekakuan jenis (modulus Young/density) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, memiliki sifat *isolator* panas dan suara, serta dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi.

2.6 Metal Matrix Composite (MMC)

Komposit logam atau biasa dikenal MMC adalah material yang terdiri dari matrik berupa logam dan paduannya yang diperkuat oleh bahan penguat dalam bentuk *continous fibre*, *whiskers*, atau *particulate*. Sifat komposit tergantung dari beberapa faktor yang mempengaruhinya di antaranya adalah jenis material komposit yang digunakan, fraksi volume penguat, dimensi dan bentuk penguat dan beberapa variabel proses lainnya. Bahan matrik umumnya adalah aluminium dan paduannya, magnesium dan paduannya serta titanium dan paduannya, Sedangkan material penguat yang digunakan umumnya dari bahan keramik seperti SiC, SiO₂, Al₂O₃, B₄C, karbon, grafit, dsb.

Tabel 2. 4 Sifat mekanik reinforce MMC

Properties	Reinforce			
	SiC	Al ₂ O ₃	TiB	Si ₃ N
Densitas, g/cm ³	3,21	3,87	4,5	3,18
UTS, Mpa	100- 800	70-1000	100-700	250-100
Young Modulus, GPa	200- 480	380	514-574	304

Kombinasi material matriks yang memiliki sifat keuletan tinggi, densitas rendah, titik lebur rendah dan penguat keramik yang keras dan getas ini akan

menghasilkan karakteristik komposit MMC yang mempunyai sifat lebih baik dari keduanya, yaitu kekuatan, modulus elastisitas, ketangguhan, ketahanan *impact*, konduktivitas listrik dan panas yang tinggi.

Logam aluminium dan paduannya memiliki densitas sekitar sepertiga dari densitas baja ($2,7\text{kg/m}^3$ vs $7,8\text{kg/m}^3$) dan mempunyai kekuatan dan modulus yang rendah dibandingkan baja (Gibson, 1994). Namun bila aluminium tersebut ditambahkan keramik sebagai penguat maka rasio kekuatan dan modulus material komposit ini akan meningkat secara signifikan bahkan melebihi sifat besi tuang dan baja.

2.6.1 Aluminium Matrix Composite (AMC)

Material Al *alloy* digabungkan dengan keramik SiC tergolong dalam jenis material komposit *Aluminium Matrix Composite* (AMC). Pada proses perekayasaan material *Aluminium Matrix Composites* (AMC) dapat menggunakan logam aluminium *alloy* sebagai matrik dengan keramik SiC dan alumina sebagai bahan penguat/pengisi. Perbedaan dari material penyusun komposit, antara matrik dan pengisi (*filler*), agar berikatan dengan kuat, maka perlu penambahan aditif atau penguat. (Sciti, 2002).

Proses pembentukan komposit dengan matriks aluminium pada skala industri diklasifikasikan dalam 2 (dua) kelompok utama yaitu: proses keadaan padat (*solid state processes*) dan proses keadaan cair (*liquid state processes*) (Surappa, 2003). :

a) Proses keadaan padat (*solid state processes*)

1. *Powder blending and consolidation (PM processing)*

Memadukan serbuk paduan aluminium dengan partikel keramik serat pendek adalah teknik serbaguna untuk produksi AMCs. *Blending* dapat dilakukan kering atau dalam suspensi cair. *Blending* biasanya diikuti oleh pemadatan dingin, pengalengan, degassing dan suhu tahap konsolidasi tinggi seperti isostatik panas menekan (HIP) atau ekstrusi.

2. *Diffusion bonding Mono filament* diperkuat AMCs terutama dihasilkan oleh ikatan difusi (*foil-seratfoil*) rute atau oleh penguapan lapisan yang relatif tebal dari aluminium pada permukaan serat. 6061 Al-boron komposit serat telah diproduksi oleh ikatan difusi melalui proses foil-serat-foil. Namun, proses ini lebih sering digunakan untuk menghasilkan *titanium* komposit berbasis serat diperkuat. Proses ini rumit dan memperoleh serat fraksi *volume* tinggi dan distribusi serat homogen sulit. Proses ini tidak cocok untuk menghasilkan bentuk yang kompleks dan komponen.

3. *Physical vapour deposition* Proses ini melibatkan bagian kontinyu serat melalui daerah tekanan parsial tinggi dari logam untuk disimpan, di mana kondensasi terjadi sehingga menghasilkan lapisan yang relatif tebal di serat.

b) Proses keadaan cair (*liquid state processes*)

Stir casting Hal ini melibatkan penggabungan partikel keramik menjadi satu dengan aluminium cair dan memungkinkan campuran untuk diperkuat. Di sini, hal yang penting adalah untuk menciptakan pembasahan yang baik antara penguatan partikulat dan lelehan aluminium paduan cair. Teknik paling sederhana dan paling komersial digunakan dikenal sebagai teknik *vortex* atau teknik aduk pengecoran. Teknik pusaran melibatkan partikel keramik yang diperlakukan ke dalam pusaran aluminium cair yang dihasilkan oleh *impeller* berputar.

2.7 Perlakuan Panas

Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada *electric terance* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam terutama

sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam di samping posisi kimianya, contoh suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya.

Perlakuan panas merupakan proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan sehingga penentuan bahan logam yang tepat pada hakekatnya merupakan kesepakatan antara berbagai sifat, lingkungan dan cara penggunaan hingga sampai dimana sifat bahan logam tersebut dapat memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Sifat –sifat bahan logam perlu dikenal secara baik karena bahan logam tersebut dipakai pada berbagai kepentingan dan dalam keadaan sesuai dengan fungsinya. Tetapi terkadang sifat-sifat bahan logam ternyata kurang memenuhi persyaratan sesuai dengan fungsi dan kegunaannya. Sehingga diperlukan suatu usaha untuk dapat meningkatkan atau memperbaiki sifat-sifat logam. Sifat-sifat logam tersebut dapat ditingkatkan dengan salah satunya adalah perlakuan panas.

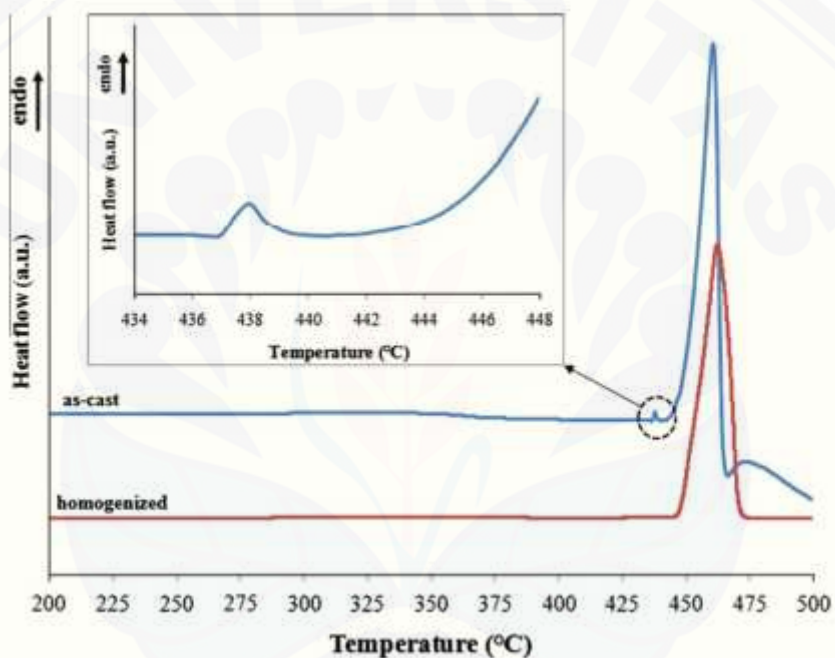
Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat dari logam dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur yang cocok, kemudian dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan ke temperatur yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai. (Tata Surdia dan Kenji Chijiwa, 1991)

2.7.1 Homogenezing

Paduan aluminium yang memperoleh dari hasil proses pengecoran cenderung memiliki mikrostruktur yang tidak seragam. Untuk itu perlu dilakukan suatu perlakuan untuk memperbaiki mikrostruktur paduan. Perlakuan yang umum dilakukan pada komposit A356/nano- Al_2O_3 pada hasil pengecoran adalah *homogenezing*. *Homogenezing* merupakan suatu proses pemanasan pada temperatur tinggi yang

bertujuan untuk menghilangkan efek segregasi kimia dan memperbaiki sifat mampu pengerjaan panas yang umum dilakukan pada ingot hasil pengecoran.

Setelah homogenisasi 32 h pada 400 ° C, *endotermik* kecil (reaksi eutektik) hilang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6, yang mengindikasikan bahwa semua struktur eutektik Mg + Al₁₂ Mg hilang. Selanjutnya, puncak *endotermik* yang tajam sesuai dengan pencairan sampel homogen Al₁₂ Mg₁₇ sedikit bergeser ke suhu yang lebih tinggi dengan T masing-masing sekitar 447,3 dan 462,2 ° C. (Ashkan 2015)



Gambar 2.6 Kurva spesimen yang dihomogenezing (Ashkan 2015)

Seperti ditunjukkan pada pada Gambar 2.6, ada puncak endotermis kecil pada temperatur 437 °C yang diyakini disebabkan oleh reaksi eutektik cairan Al₁₂ Mg₁₇ + Mg → liquid. Jumlah pelepasan panas yang disebabkan oleh reaksi eutektik, yang diperoleh dengan mengintegrasikan daerah di bawah puncak, jauh lebih sedikit dari pada yang diakibatkan oleh lelehan Al₁₂ Mg₁₇ yang menunjukkan bahwa fase eutektik yang sangat kecil meleleh sebelum mencairnya fase utama Al₁₂ Mg₁₇. Hasil *thermal* dan struktural karakterisasi cukup sesuai dengan diagram fase biner. (Ashkan 2015)

Secara skematis menggambarkan mekanisme yang diusulkan dari urutan disolusi fase kedua selama perlakuan panas homogenisasi berdasarkan pengamatan eksperimental dari gambar OM dan SEM, seperti pada gambar 2.7

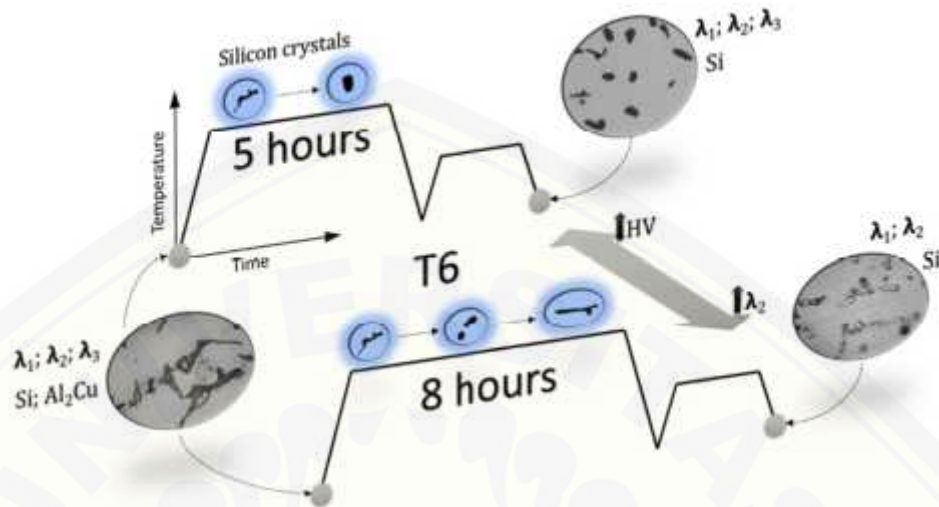


Gambar 2.7 Skematik evolusi mikro dan mekanisme pembubaran domain Mg selama perlakuan panas homogenisasi (Ashkan 2015).

Langkah pertama proses adalah pemisahan di mana domain kaya Mg dalam struktur eutektik Mg + Al₁₂Mg₁₇ menjadi cepat sehingga lebar fase kedua menurun sampai fase kedua terputus-putus di beberapa daerah sempit dan saling berpisah. Pada tahap kedua, penipisan fase kedua secara bertahap berlanjut sampai *lamellas diskrit* dan penghentian menyebabkan *fragmentasi* fase kedua. Pada tahap ketiga, fase yang terpisah dan rusak cenderung *spheroidisasi*. Sebenarnya, fase kedua mengambil bentuk berbentuk bulat panjang dan *spheroidization* terus berlanjut sementara fase kedua mengambil bentuk bola. Gaya penggerak yang bertanggung jawab atas *spheroidisasi* adalah penurunan energi permukaan fase kedua dengan penurunan panjang antar muka antara fase kedua dan matriks. (Ashkan 2015)

2.7.2 Perlakuan Panas T6 (Solution treatment dan Artificial Aging)

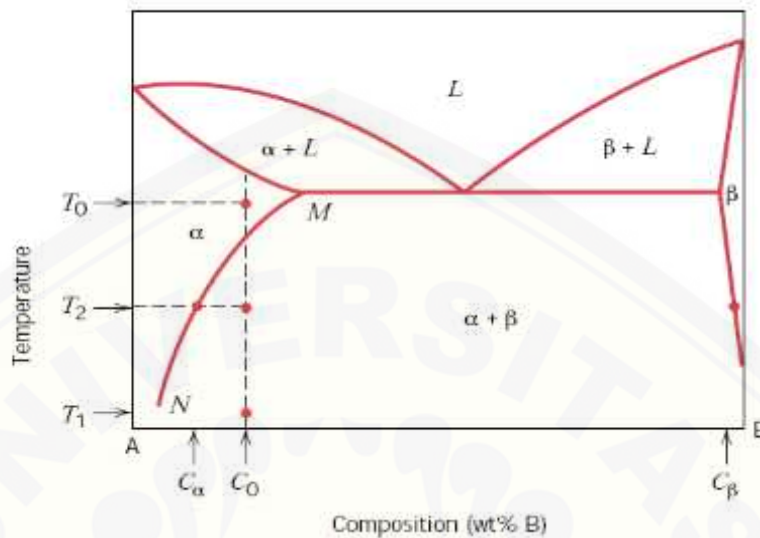
Perlakuan panas T6 adalah salah satu jenis temper pada paduan aluminium. T menunjukkan bahwa temper yang diberikan adalah perlakuan *thermal*, sedangkan pengerasan regang ditandai dengan H, anil ditandai dengan 0 dan as-fabricated ditandai dengan F. T6 adalah perlakuan panas di mana material mengalami *solution heat treatment* dan dilanjutkan dengan *artificial aging*.



Gambar 2.8 Perlakuan Panas T6

Tahap pertama dalam proses *age hardening* yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 540 °C-560 °C dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja (Schonmetz, 1990). pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen.

Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam gambar 2.9 dimana logam paduan aluminium pertama kali dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur T1. Pada temperatur T1 fase logam paduan aluminium akan berupa kristal campuran dalam larutan padat. Pada temperatur T1 tersebut pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen.



Gambar 2.9 Diagram fase pemanasan logam paduan

2.7.2.1 Tahap Pengejutan / Pendinginan (*Quenching*)

Quenching merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas. *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin. Dalam proses *age hardening* logam yang *diquenching* adalah logam paduan aluminium yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin air. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan atau *hardenability* yang relatif rendah seperti logam paduan aluminium

Pendingin dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas (505 °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 menyebabkan jumlah kekosongan atom tetap besar. Adanya kekosongan atom dalam jumlah besar dapat membantu proses difusi atom pada temperatur ruang untuk membentuk zona Guinier - Preston (Zona GP). Zona Guinier - Preston (Zona GP) adalah kondisi didalam paduan dimana terdapat agregasi atom padat atau pengelompokan atom padat. (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1992)

2.7.2.2 Tahap Penuaan (Aging)

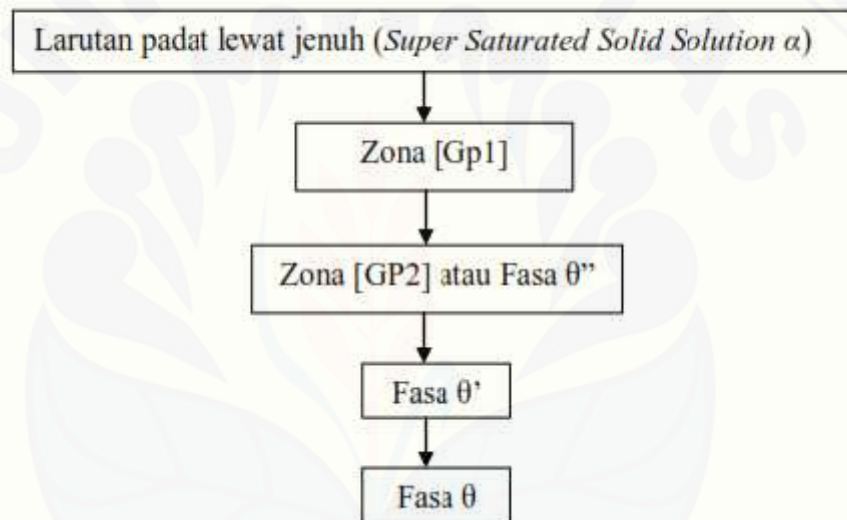
Setelah *solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *age hardening* adalah *aging* atau penuaan. Perubahan sifat-sifat dengan berjalanya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. *Aging* atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*).

Penuaan 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 lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam. (Schonmetz,1990).

Pada tahap *artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperatur *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150 °C), di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium.(Schonmetz,1990). Penuaan

buatan (*artificial aging*) berlangsung pada suhu antara 100 °C – 200 °C, lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam.

Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur antara 100 °C -200 °C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur. Perubahan fasa tersebut akan memberikan sumbangan terhadap pengerasan. Urut-urutan perubahan fasa dalam proses *artificial aging* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.10 Urut-urutan perubahan fasa dalam proses *artificial aging*

a. Larutan Padat Lewat Jenuh (*Super Saturated Solid Solution*)

Setelah paduan alumunium melawati tahap *solution heat treatmen* dan *quenching* maka akan didapatkan larutan padat lewat jenuh pada temperatur kamar. Pada kondisi ini secara simultan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Setelah pendinginan atau *quenching*, maka logam paduan alumunium menjadi lunak jika dibandingkan dengan kondisi awalnya.

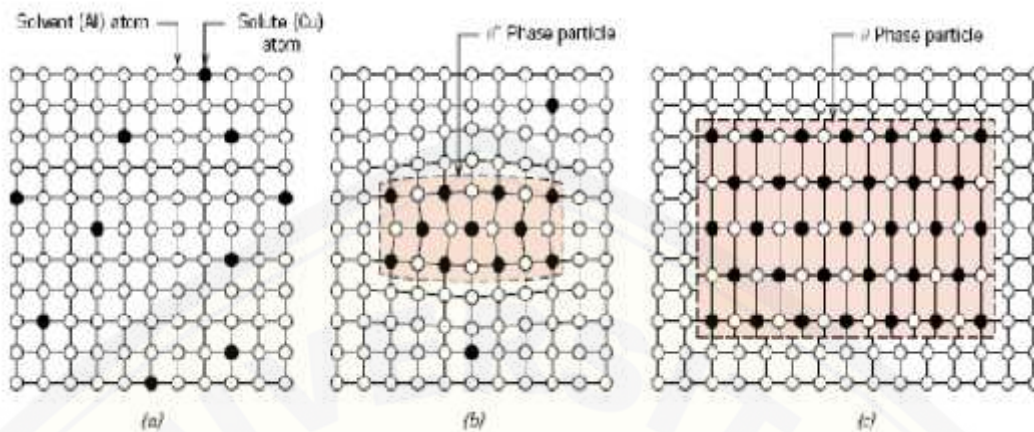
b. Zona [GP 1]

Zona [GP 1] adalah zona *presipitasi* yang terbentuk oleh temperatur penuaan atau *aging* yang rendah dan dibentuk oleh segregasi atom Cu dalam larutan padat lewat jenuh atau *super saturated solid solution* .(Smith, 1995)

Zona [GP 1] akan muncul pada tahap mula atau awal dari proses *artificial aging*. Zona ini terbentuk ketika temperatur *artificial aging* dibawah 100 C atau mulai temperatur ruang hingga temperatur 100 0 C dan Zona [GP 1] tidak akan terbentuk pada temperatur *artificial aging* yang terlalu tinggi. Terbentuknya Zona [GP 1] akan mulai dapat meningkatkan kekerasan logam paduan alumunium (Smith, 1995). Jika *artificial aging* ditetapkan pada temperatur 100 C, maka tahap perubahan fasa hanya sampai terbentuknya zona [GP 1] saja. Proses pengerasan dari larutan padat lewat jenuh sampai terbentuknya zona [GP 1] biasa disebut dengan pengerasan tahap pertama.

c. Zona [GP 2] atau Fasa 0''

Setelah temperatur *artificial aging* melewati 100 °C ke atas, maka akan mulai muncul fasa 0'' atau zona [GP 2]. Pada temperatur 130 °C akan terbentuk zona [GP2] dan apabila waktu penahanan *artificial agingnya* terpenuhi maka akan didapatkan tingkat kekerasan yang optimal (Smith, 1995). Biasanya proses *artificial aging* berhenti ketika sampai terbentuknya zona [GP 2] dan terbentuknya fasa antara yang halus (*presipitasi 0''*), karena setelah melewati zona [GP 2] maka paduan akan kembali menjadi lunak kembali. Jika proses *artificial aging* berlangsung sampai terbentuknya fasa 0'' atau zona [GP 2], maka disebut dengan pengerasan tahap kedua. Gambar 2.10. menunjukkan terbentuknya kembali fasa keseimbangan pada proses aging aluminium-tembaga (Al-Cu) sehingga paduan akan kembali ke fasa awal yaitu



Gambar 2.11 Proses *aging* aluminium-tembaga (Al-Cu) (a) *supersaturated solute solution*, (b) fasa " " mulai terbentuk *precipitate* (Al-Cu), (c) fasa keseimbangan Al-Cu

d. Fasa 0'

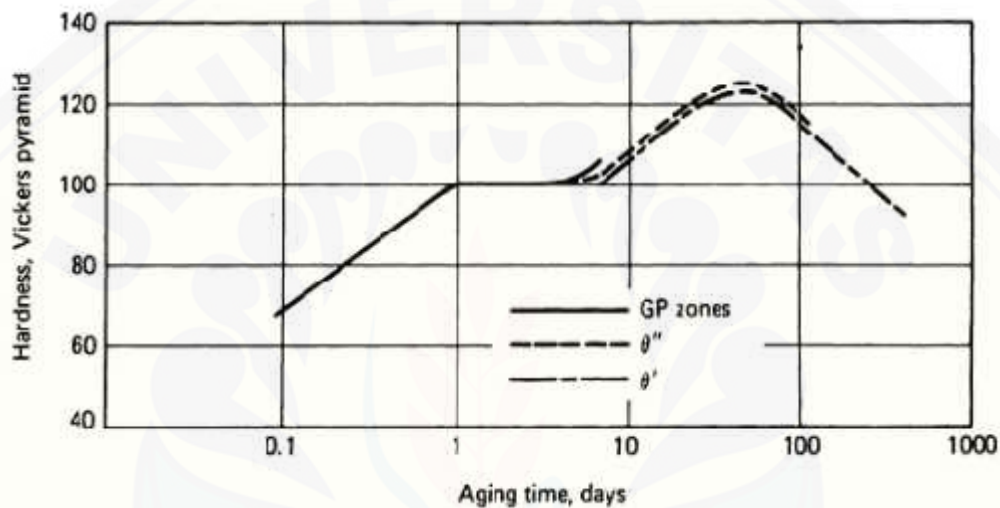
Kalau paduan aluminium dinaikkan temperatur *aging* atau waktu *aging* diperpanjang tetapi temperaturnya tetap, maka akan terbentuk presipitasi dengan struktur kristal yang teratur yang berbeda dengan fasa 0. Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa 0'. Terbentuknya fasa 0' ini masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan pada paduan aluminium. Peningkatan kekerasan yang terjadi pada fasa 0' ini berjalan sangat lambat.

e. Fasa 0

Apabila temperatur dinaikkan atau waktu penuaan diperpanjang, maka fasa 0' berubah menjadi fasa 0. Jika fasa 0 terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium kembali menjadi lunak.

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 struktur atau perubahan fasa paduan aluminium. Sehingga pemilihan waktu penahan *artificial aging* harus dilakukan dengan hati-hati.

Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan paduan aluminium diawali oleh proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *precipitation hardening* dimana fasa berawal dari *supersaturated solute solution*, setelah proses *quenching*. Kemudian paduan akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru seiring bertambahnya waktu, Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.12 Hubungan antara lamanya waktu (*aging*) terhadap kekuatan dan kekerasan paduan aluminium (Smith, 1995).

Dalam kurva penuaan tersebut, pada awal-awal tahap *artificial aging* struktur atau fasanya masih berupa larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*). Seiring dengan penambahan waktu penuaan atau ketika penuaan sampai di daerah *under aged*, maka mulai terbentuk zona presipitat zona [GP 1] dan paduan aluminium menjadi agak kuat dan keras. Ketika waktu *aging* ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *peak aged*. Pada daerah *peak aged* presipitat mengumpul atau mulai terbentuk zona [GP 2] dan fasa antara yang halus (fasa $0'$). Jika fasa-fasa tersebut mulai terbentuk maka akan didapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan logam paduan aluminium yang optimal. Apabila setelah mencapai *peak aged* (puncak penuaan) waktu *artificial aging* masih ditambah lagi maka akan masuk

dalam daerah *over aged*. Pada daerah *over aged* ini akan didapatkan fasa 0, jika fasa 0 ini terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium menjadi lunak kembali dan berkurang kekerasannya (Smith, 1995).

2.8 Pengujian Sifat Mekanik

2.8.1 Pengujian tarik

Proses pengujian tarik mempunyai tujuan utama untuk mengetahui kekuatan tarik bahan uji. Bahan uji adalah bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi, agar siap menerima pembebanan dalam bentuk tarikan. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya yang berlawanan pada benda dengan arah menjauh dari titik tengah atau dengan memberikan gaya tarik pada salah satu ujung benda dan ujung benda yang lain di ikat. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari suatu bahan yang diberi beban secara statis. Sifat-sifat yang akan diketahui adalah tegangan luluh, tegangan *Ultimate*, tegangan patah, regangan dan sifat mekanis lainnya.

Pengujian tarik diberikan dengan memberikan beban tarik pada batang spesimen uji secara perlahan-lahan sampai patah. Bila kita terus menarik suatu bahan sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap berupa kurva. Kurva ini menunjukkan hubungan antara tegangan dengan regangan. Perubahan panjang dalam kurva disebut sebagai regangan teknik, yang didefinisikan sebagai perubahan panjang yang terjadi akibat perubahan statik (ΔL) terhadap panjang batang mula-mula (L_0). Tegangan yang dihasilkan pada proses ini disebut dengan tegangan teknik, dimana didefinisikan sebagai nilai pembebanan yang terjadi (F) pada suatu luas penampang awal (A_0). Tegangan normal tersebut akibat gaya tarik dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

σ : Tegangan tarik (Mpa)

F : Gaya tarik (N)

A_0 : Luas penampang spesimen mula-mula (mm^2)

Regangan akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

ε : Regangan akibat daya tarik (%)

ΔL : Perubahan panjang spesimen (mm)

L : Panjang spesimen mula-mula (mm)

Pada umumnya nilai hasil pengukuran tegangan pada suatu pengujian tarik merupakan nilai teknik. Regangan akibat gaya tarik yang terjadi, panjang akan bertambah dan diameter pada spesimen akan semakin mengecil, maka ini akan terjadi deformasi plastis. Hubungan antara *stress* dan *strain* dirumuskan

$$E = \dots\dots\dots(3)$$

2.10.2 Pengujian kekerasan

Kekerasan adalah sifat yang dapat diandalkan sebagai pengganti kekuatan bahan. Kekerasan suatu material dapat didefinisikan sebagai ketahanan material tersebut terhadap gaya penekanan atau penetrasi semetara dari material yang lebih keras. Terdapat beberapa jenis atau metode pengujian kekerasan salah satunya adalah dengan metode *rockwell*. *Rockwell* merupakan metode yang paling umum digunakan karena *simple* dan tidak menghendaki keahlian khusus. Digunakan kombinasi variasi indenter dan beban untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai

keras. Berdasarkan besar beban minor dan major, uji kekerasan *rockwell* dibedakan atas 2 yaitu *Rockwell* dan *Rockwell superficial* untuk bahan tipis (Nazwa, 2014).

Tabel 2.5 dibawah ini menunjukkan skala kekerasan rockwell yang di sesuaikan dengan indentornya.

Tabel 2.5 Skala Kekerasan

Simbol	Indentor	Beban Major (Kg)
A	Intan	60
B	Bola 1/6 inch	100
C	Intan	150
D	Intan	100
E	Bola 1/8 inch	100
F	Bola 1/16 inch	60
G	Bola 1/16 inch	150
H	Bola 1/8 inch	60
K	Bola 1/8 inch	150

(Sumber : Nazwa, 2014)

Skala yang umum dipakai dalam pengujian *Rockwell* adalah (Nazwa, 2014) :

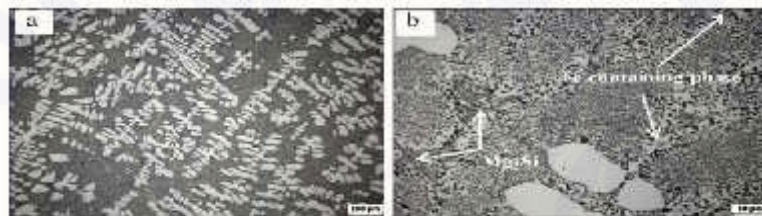
- a. HRA (untuk material yang sangat keras)
- b. HRB (untuk material yang lunak). Indentor berupa bola baja dengan diameter 1/16 inch untuk beban uji 100 kgf.
- c. HRC (untuk material dengan kekerasan sedang). Indentor berupa kerucut intan dengan sudut puncak 120° dan beban uji sebesar 150 kgf.

Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut.

2.9 Pengamatan Metalografi

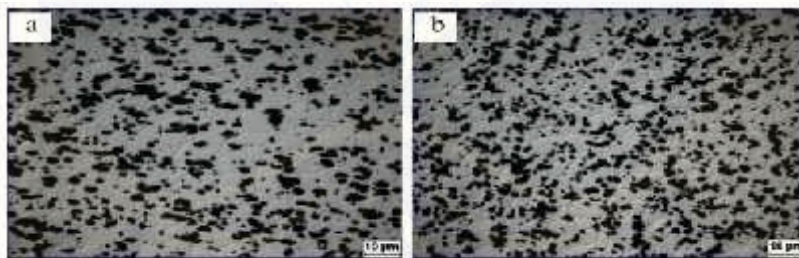
2.9.1 Struktur mikro

Sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tergantung dari struktur mikro material tersebut. Struktur mikro dalam logam (paduan) di tunjukan dengan besar, bentuk dan orientasi butirnya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Pengujian struktur mikro atau *mikrografi* dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi.

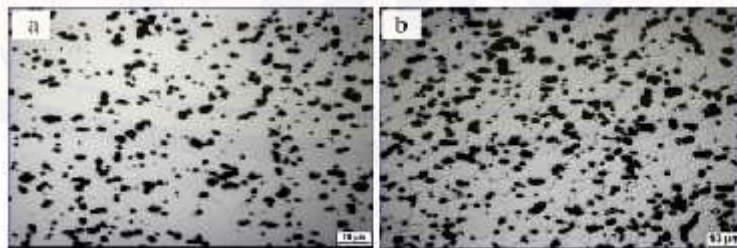


Optical micrographs of the DC cast Al-12,7Si-0,7Mg alloy showing (a) Fully developed Al₁₂Si phase and (b) Fine eutectic.

Gambar 2.13 Paduan Al-12,7Si-0,7Mg sebelum perlakuan panas (Liu Fang, 2011)



Optical micrographs of casted Al-12,7Si-0,7Mg alloy: (a) longitudinal section, (b) cross-section.



Optical micrographs of the alloy after heat treatment, (a) solution treatment (540 °C/90 min), (b) artificial aging (180 °C/3h).

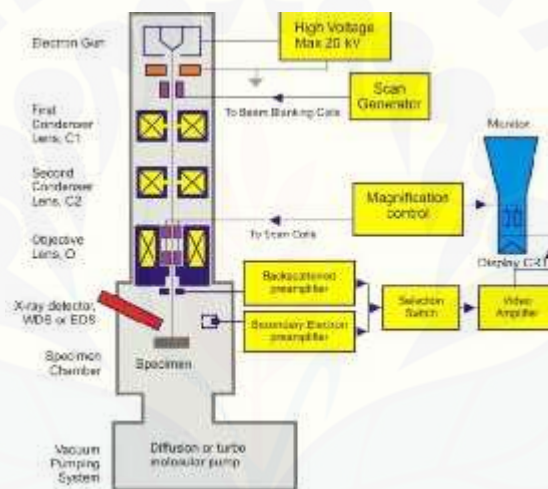
Gambar 2.14 Paduan Al-12,7Si-0,7Mg sesudah perlakuan panas (Liu Fang, 2011)

2.9.2 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Teknik karakterisasi konvensional yang berbasis pada panjang gelombang 650nm keatas, seperti mikroskop optik pada analisis metalografi tidak memiliki resolusi yang cukup untuk mendapatkan informasi ilmiah yang diharapkan. Oleh karena itu diperlukan metode identifikasi dan karakterisasi lain yang dapat memberikan resolusi yang lebih tinggi sehingga dapat memberikan bantuan “penglihatan” bagi para peneliti untuk dapat mengamati apa yang terjadi di dalam dan sekitar *interface* antara bahan dengan lapisan oksida secara detil atau bahkan secara *In-Situ*. Untuk keperluan tersebut, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dipahami sebagai teknik yang sesuai yang diterima dan diakui oleh komunitas peneliti material dunia, ini ditandai dengan diberikannya penghargaan Nobel terhadap para penemunya, Ernst Ruska dan Max Knoll (Sujatno, 2015).

Identifikasi struktur mikro komposit A356/nano- Al_2O_3 dengan menggunakan SEM tidaklah sekedar pengambilan gambar dan fotografi, tetapi harus dilakukan dengan teknik dan metode operasi yang benar mengingat proses pembentukan *image* pada alat ini merupakan proses fisika yang merupakan interaksi *korpuskular* antara elektron sumber dengan atom pada bahan. Meskipun sinyal data yang dihasilkan cukup kuat dibanding *mikroskop optik* atau XRD, tetapi karena seringkali obyek pengamatan yang terbilang kecil dan mengandung komponen non konduktif, seperti lapisan pasivasi oksida pada permukaan, SEM dapat memberikan kontras yang relatif rendah terlebih pada perbesaran tinggi. Oleh karena itu SEM harus dioperasikan dengan pengaturan parameter elektron seperti *high voltage*, *spot size*, bias dan *beam current* juga parameter optik seperti kontras, fokus dan *astigmatismus* yang tepat sehingga diperoleh hasil gambar yang optimal secara ilmiah dan tidak memberikan interpretasi ganda. Selain itu, proses pengambilan gambar dan analisis kimia dengan SEM sangatlah dipengaruhi oleh jenis spesimen berikut cara penanganannya serta teknik preparasinya disamping kemampuan operasional dari operatornya (Sujatno, 2015).

Yang kedua adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan *Lantanum Hexaboride* LaB_6 atau *Cerium Hexaboride* CeB_6 , yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoretis memiliki energi tunggal (monokromatik). Ketiga adalah *imaging detector*, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/*image*. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor SE dan detektor BSE (Sujatno, 2015).



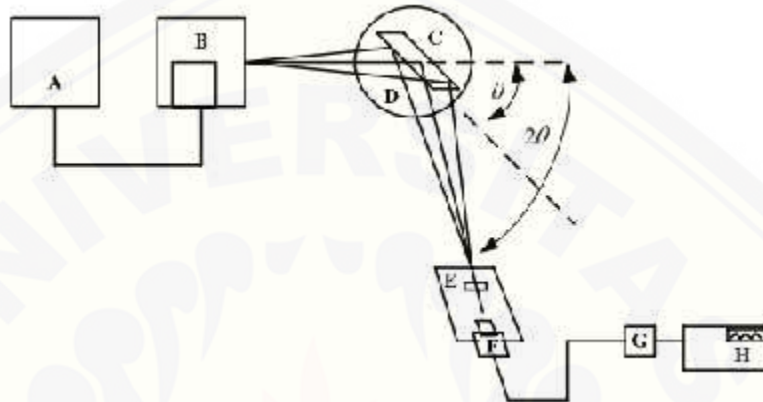
Gambar 2.15 Blok Diagram SEM (Sumber : Sujatno, 2015)

2.9.3 XRD (X-Ray Diffraction)

X-Ray Diffractometer adalah alat yang dapat memberikan data-data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi (2θ) dari suatu bahan. Tujuan dilakukannya pengujian analisis struktur kristal adalah untuk mengetahui perubahan fase struktur bahan dan mengetahui fase-fase apa saja yang terbentuk selama proses pembuatan spesimen uji (Widodo, 2009).

Tahap pertama yang dilakukan dalam analisa sinar-X adalah melakukan analisa pemeriksaan terhadap spesimen x yang belum diketahui strukturnya. Spesimen

ditempatkan pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat ditengah-tengah *plate* yang digunakan sebagai tempat yaitu sebuah pelat tipis yang berlubang ditengah berukuran sesuai dengan spesimen (*pellet*) dengan perekat pada sisi baliknya (Widodo, 2009).



Gambar 2.16 Skema Alat Uji XRD (Sumber : Widodo, 2009)

Secara umum prinsip kerja XRD ditunjukkan oleh gambar 2.15 berikut (Widodo, 2009):

1. Generator tegangan tinggi (A) berfungsi sebagai catu daya sumber sinar-X (B).
2. Spesimen berbentuk *pellet* (C) diletakkan diatas tatakan (D) yang dapat diatur.
3. Berkas sinar-X didifraksikan oleh spesimen dan difokuskan melewati celah (E), kemudian masuk ke alat pencacah (F). Apabila spesiemen berputar sebesar 2θ maka alat pencacah berputar sebesar θ .
4. Intensitas difraksi sinar-X direkam dalam bentuk kurva terhadap jarak antara bidang d.

Untuk mengetahui fasa dan struktur material yang diamati dapat dilakukan dengan cara sederhana, yaitu dengan cara membandingkan nilai d yang terukur dengan nilai d pada data standar. Data standar dapat diperoleh melalui *Joint*

Committee of Powder Diffraction Standart (JCPDS) atau dengan hanawalt (Widodo, 2009)



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *heat treatment* T6 dengan variasi *homogezing*, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji hasil pengecoran terhadap komposit A356/nano- Al_2O_3

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Heat treatment komposit A356/nano- Al_2O_3 dilakukan di Laboratorium Kemasan dan Laboratorium Teknologi Terapan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember, waktu penelitian dimulai bulan April 2017 sampai dengan bulan Juni 2017

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

1. *Elektrik Funace*
2. Stirrer
3. Sendok
4. Sarung Tangan
5. Gergaji
6. Mesin bubut
7. Permanen Mold
8. Bak Pasir
9. Mesin Uji Tarik
10. Mesin Uji Kekerasan
11. Mickroscope digital
12. SEM
13. Kertas gosok
14. Autosol
15. Tungku peleburan
16. Mesin Poles
17. Jangka sorong
18. Dapur Pengecoran

3.3.2 Bahan

1. ADC 12
2. Al₂O₃
3. HNO₃
4. Resin
5. Katalis

3.4 Variabel penelitian

3.4.1 Variabel bebas

Variabel bebas merupakan parameter yang ditentukan sebelum melakukan penelitian. Dalam hal ini variable bebasnya *homogenizing* dengan suhu 500 °C, 430 °C, 415 °C, 400 °C selama 24 jam.

3.4.2 Variabel kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang besar nilainya dikontrol selama penelitian. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah temperatur pada termokopel

3.4.3 Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya ditentukan berdasarkan variabel bebas. Pada penelitian ini yang dijadikan variabel terikat adalah pengujian komposit A356/nano-Al₂O₃, melalui pengujian uji tarik, uji kekerasan dan foto mikro.

3.4.4 Variabel tetap

Variabel tetap merupakan variable yang nilainya tidak berubah selama penelitian dilakukan. Dalam hal ini variable tetapnya adalah *solution treatment* (540 °C selama 6 jam), dan *artificial aging* (115 °C selama 5 jam)



Gambar 3.1 Kurva Temperatur

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Prosedur Penelitian

Pengerjaan penelitian ini dilakukan beberapa tahap antara lain:

1. Peleburan komposit A356/nano- Al_2O_3 , dimasukkan saat suhu 800°C (Dimasukkan bergantian setelah A356 leleh kemudian Mg dan nano- Al_2O_3 dimasukkan, setelah itu Sr dimasukkan)
2. Setelah bahan dimasukkan dan leleh, kemudian dilakukan proses *stirring* dengan kecepatan 450 rpm selama 5 detik
3. Setelah proses stiring dilakukan proses pengargonan, untuk mengurangi udara yang terjebak pada paduan yang sudah meleleh
4. Proses penuangan coran pada cetakan
5. Setelah mengeras, keluarkan hasil coran dari cetakan
6. Kemudian melakukan proses *heat treatment homogenizing* dan *T6* menggunakan *furnice*
7. Potong runner dengan gergaji

8. Pembuatan takikan pada hasil coran dengan proses permesinan untuk uji tarik
9. Potong melingkar hasil coran kemudian haluskan permukaannya untuk digunakan uji kekerasan
10. Potong melintang hasil coran, cor dengan resin hasil coran aluminium kecuali bagian permukaan, kemudian haluskan bagian permukaan permukaan hingga mengkilap.
11. Beri etsa pada permukaan untuk mengetahui batas butir.
12. Untuk proses terakhir mengamati hasil struktur mikro menggunakan mikroskop dan kemudian dilanjutkan pengujian SEM dan XRD



Gambar 3.2 Kurva Perlakuan Panas Homogenezing dan T6

3.6 Pengujian

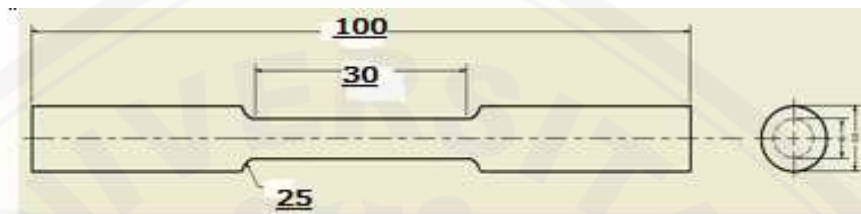
3.6.1 Uji Tarik

Uji tarik pada komposit A356/nano- Al_2O_3 ini dilakukan menggunakan standart ASTM B 557. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian uji tarik antara lain sebagai berikut:

1. Persiapan sampel sesuai pengujian tarik ASTM B 557

2. Memasang material di alat penjepit untuk uji tarik
3. Melakukan pengujian dengan mesin uji tarik
4. Mencatat hasil yang dikeluarkan oleh mesin uji tarik.

Gambar 3.1 dibawah ini merupakan gambar dari spesimen uji tarik sesuai standart ASTM B557.



Gambar 3.3 Spesimen uji tarik ASTM B557

3.6.2 Uji Kekerasan

Uji kekerasan pada komposit A356/nano- Al_2O_3 ini dilakukan menggunakan uji kekerasan brinell standart ASTM E 110. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian uji tarik antara lain sebagai berikut:

1. Persiapan sampel sesuai pengujian kekerasan brinell ASTM E 110.
2. Memasang material pada alat uji kekerasan brinell.
3. Melakukan pengujian dengan mesin uji kekerasan brinell.
4. Mencatat hasil yang dikeluarkan oleh mesin uji kekerasan brinell.

3.6.3 Struktur mikro

Pengujian struktur mikro pada komposit A356/nano- Al_2O_3 ini dilakukan menggunakan Mikroskop. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian antara lain sebagai berikut:

Proses pengujian dimulai dengan pemotongan bahan, kemudian *dimounting* dengan menggunakan resin, lalu dilakukan pengamplasan di mulai dengan ampas dengan kehalusan 500, 800, 1000, 1500 dan 2000. Kemudian dilakukan pemolesan dengan menggunakan kain bludru dan alumina yang dicampur dengan air. Kemudian dilakukan proses etsa, dimana untuk proses etsa bahan komposit ADC12/nano- Al_2O_3

sesuai ASTM E407-07, etsa menggunakan campuran 2,5ml HNO₃ dan 100ml air. Lama proses etsa adalah 30 detik. Kemudian dicuci menggunakan air dan dikeringkan dengan *heatgun*. Kemudian sampel diletakkan pada alat mikroskop dan dilakukan pengambilan data yang diperlukan.

3.6.4 Uji SEM

Proses pengujian SEM dimulai dengan memancarkan sinar electron dari electron gun yang dilengkapi filamen tungsten. Sinar electron difokuskan oleh satu atau dua lensa kondensor ke titik yang diameternya sekitar 0,4 nm sampai 5 nm. Sinar kemudian melewati sepasang gulungan pemindai di kolom electron yang membelokkan sinar di sumbu x dan y sehingga dapat dipindai dalam mode raster di area persegi permukaan spesimen



Gambar 3.4 Prinsip kerja SEM

Cara kerja SEM yakni:

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

Pengujian SEM memerlukan permukaan spesimen yang tidak rata, sehingga spesimen yang sudah halus dan rata dari pengujian mikroskop optik dan emission spectrometer dititik menggunakan palu agar permukaannya menjadi tidak rata.

3.6.5 Uji XRD

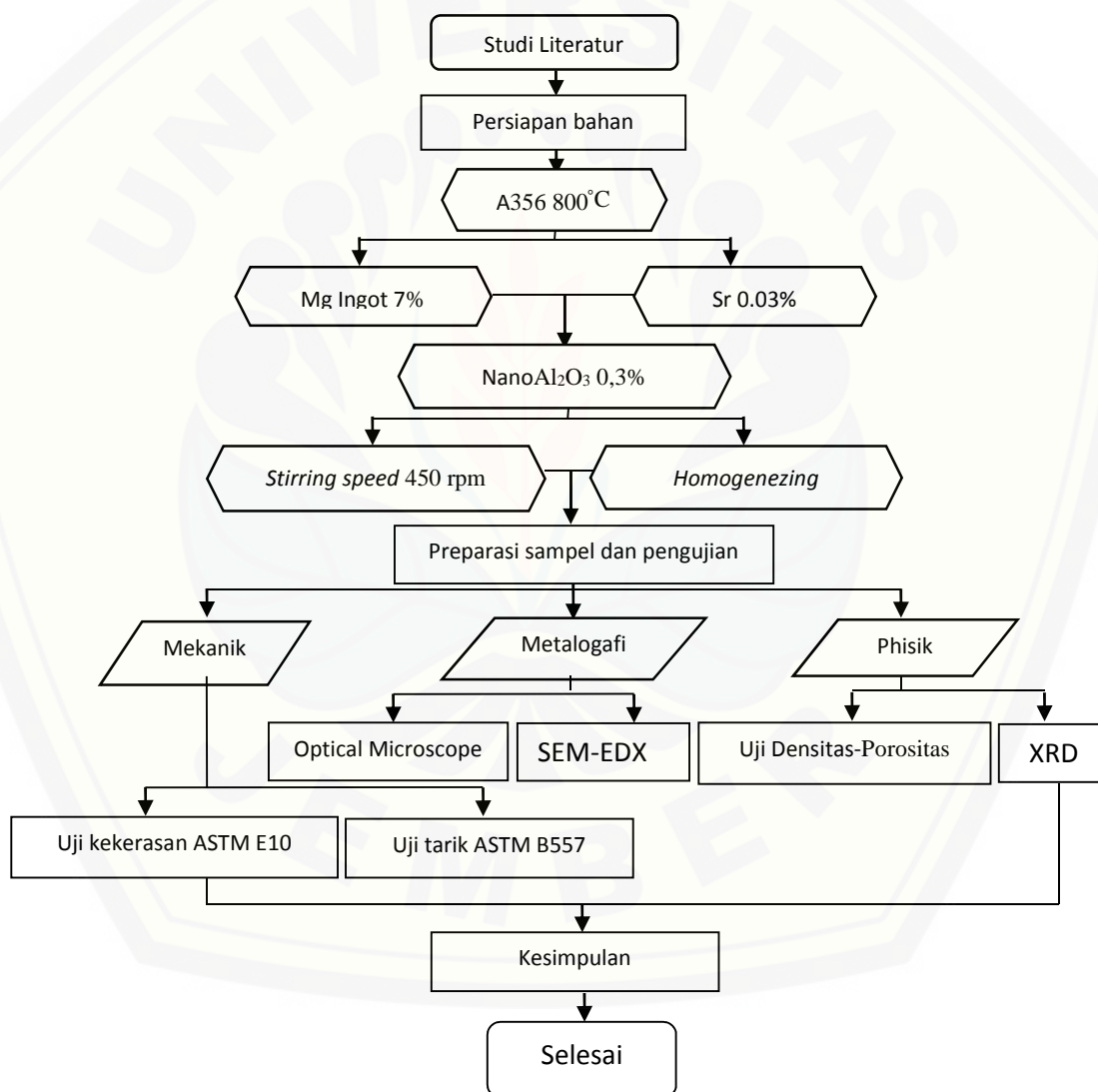
Pada pengujian XRD sampel yang berupa serpihan ditempelkan pada tempat pengujian XRD. Sampel yang digunakan menggunakan patahan dari uji tarik yang kemudian dihaluskan menjadi bubuk menggunakan penumbuk untuk analisa XRD. Spesimen berupa serpihan lebih mudah untuk dianalisa karena berbagai arah difraksi dapat diwakili oleh partikel tersebut. Kemudian didapatkan grafik dengan axis 2θ dan ordinat berupa intensitas. Senyawa yang memiliki 2θ dan intensitas spesifik sehingga untuk mengetahui bentuk senyawa yang berada dalam puncak suatu grafik XRD tersebut dapat dilakukan pencocokan dengan database International Centre for Diffraction Data.



Gambar 3.5 Mesin XRD

3.7 Diagram alir

Penelitian ini dimulai dari studi literatur, persiapan bahan, penimbangan bahan A356, Mg, Al₂O₃, dan Sr. Kemudian dilakukan peleburan dengan suhu 800 °C. Sebelum dituangkan, cetakan dipanaskan 250 °C, proses perlakuan panas *homogenizing*, *solution treatment*. Kemudian sampel dipersiapkan untuk pengujian tarik, kekerasan serta foto struktur mikro.



Gambar 3.6 Diagram alir penelitian

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan temperatur *homogenezing* dan perlakuan panas T6 dalam komposit A356/nano-Al₂O₃ mempengaruhi nilai kekerasan komposit A356/nano-Al₂O₃, kekerasan tertinggi didapat dengan penambahan temperatur sebesar 430°C, dengan nilai kekerasan sebesar 60,54HRB.
2. Penambahan temperatur *homogenezing* dan perlakuan panas T6 dalam komposit A356/nano-Al₂O₃ mempengaruhi nilai kekuatan tarik komposit A356/nano-Al₂O₃, dimana nilai kekuatan tarik tertinggi didapatkan dengan penambahan temperatur sebesar 500 °C. Dengan nilai kekuatan tarik sebesar 241,70 MPa.
3. Dari hasil pengamatan struktur mikro didapatkan perubahan bentuk partikel seiring dengan penambahan temperatur *homogenezing* dan perlakuan panas T6. Dengan penambahan temperatur didapatkan perubahan mikro struktur menjadi *spheroidization* dan *porosity formation* pada komposit A356/nano-Al₂O₃.

5.2 Saran

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Dengan banyaknya waktu yang dapat digunakan dalam memodifikasi , maka pengembangan optimalisasi *treatment* dapat dilakukan dengan menggunakan *treatment* lain.
2. Perlu dilakukan pengembangan *treatment* lainnya dengan melakukan perlakuan panas untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Vol. 15 : Casting. (1988). ASM Internasional.
- Brown, J. R. (1999). *Foseco Non-Ferrous Handbook*.
- Brown, J. R. (1994). *Foseco non-ferrous foundryman's handbook*. Oxford: Butterworth
- Chung, D. (2010). *Composite Materials, Science and Application*. Springer.
- Davis, K. (2010). *Material review : Alumina (Al₂O₃) . School of Doctoral Studies (European Union) Journal*, 109-114.
- Gibson, R. (1993). *Principles Composite Material Mechanics 2nd edision . New York: CRC Press Taylor & Francis Group*.
- Gruzleski, A. J. (1991). *Cast Met. The Effect of Mg on the Microstructure and Mechanical*, 62-71.
- Guanghao Zhang (2014). *Effects of Solution Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of the Mg-4.5Zn-4.5Sn-2Al-0.6Sr Alloy*
- JIS H 5302 : Alluminium Alloy Die Casting. (2000). Tokyo: JSA.
- Junus, S. (2006). Pengaruh prosentase magnesium dan waktu tahan terhadap karakteristik komposit matrik logam berbasis aluminium (Al/Al₂O₃) dengan proses *primex (infiltrasi tanpa tekanan)*. Depok: Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Man Zhu (2011). *Effects of T6 heat treatment on the microstructure, tensile properties, and fracture behavior of the modified A356 alloys*.
- Muzakki Sholihuddin M., H. P. (2013). Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Paduan Al-Mg Hasil Proses Metalurgi Serbuk. *Jurnal Teknik POMITS*.
- Sajjadi, S. (2011). *Microstructure and mechanical properties of Al-Al₂O₃ micro and nano composites. Materials Science and Engineering*.
- Schultz, B. (2011). *Microstructure and Hardness of Al₂O₃ Nanoparticle Reinforced Al – Mg Composites Fabricated by Reactive Wetting and Stir Mixing. Materials Science and Engineering A 530*, 87-97.
- Sciti, D. (2002). *Microstructure and Properties of AluminaSiC nanocomposites Prepared from Ultrafine Powders. Journal of Material Science*, 37.
- Sujatno, A. (2015). *STUDI SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) UNTUK KARAKTERISASI PROSES OXIDASI PADUAN ZIRKONIUM. Jurnal Forum Nuklir*, 45-46.
- Tata Surdia, S. S. (2000). Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: Pradnya Paramita
- Thiago A. Costa (2016). *Effect of solution time in T6 heat treatment on microstructure and hardness of adirectionally solidified Al–Si–Cu alloy*
- Widodo, S. (2009). Proses Sintesa dan Pengujian *X-Ray Diffraction (XRD) Hidroksiapatit dari Bulk Gypsum Alam Cicalong dengan Bejana Tekan*.
- Yuwono, A. H. (2009). *Buku panduan karakterisasi material 1 pengujian merusa (destructive test)*. Depok: Departemen Metallurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Z. Henghua, T. S. (2006). *Refining mechanism of salts containing Ti and B elementsin purity aluminum. GRAIN REFINEMENT OF COMMERCIAL PURE ALUMINIUM BY ZIRCONIUM*, 60-65.
- Zhang, M. X. (2005). *Crystallographic study of grain refinement in aluminum alloys using the edge-to-edge matching model. PENGARUH KOMBINASI PENAMBAHAN 0.1 wt. % Ti DAN VARIASI 0.003, 0.018, DAN 0.025 wt. % Sr TERHADAP KARAKTERISTIK PADUAN AC4B HASIL LOW PRESSURE DIE CASTING*, 1427-1438.

LAMPIRAN



Dapur pengecoran



cetakan spesimen



A356



Magnesium



Strontium



Nano Alumina



Hacksaw Machine



Proses Peleburan A356



Proses Peleburan Mg



Spesimen yang sudah di cor



Proses penggergajian



Proses bubut



Spesimen Uji Tarik



Spesimen yang telah di uji tarik



Alat Uji kekerasan



Mikroskop