



**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR PADUAN DAN  $\text{nanoAl}_2\text{O}_3$   
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT ADC12/ $\text{nanoAl}_2\text{O}_3$  DENGAN  
METODE *STIR CASTING***

**SKRIPSI**

**Oleh :**

**Ahmad Al Kautsar**

**151910101116**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR PADUAN DAN  $\text{nanoAl}_2\text{O}_3$   
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT ADC12/ $\text{nanoAl}_2\text{O}_3$  DENGAN  
METODE *STIR CASTING***

**SKRIPSI**

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

**Oleh :**

**Ahmad Al Kautsar**

**151910101116**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT serta dengan tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Keluargaku, Ibunda Tutik Hananik, Ayahanda Bambang Iriono, adik-adikku Muhammad Zuhri dan Almas Mutsalas, atas semua kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, bantuan, motivasi, didikan dan bimbingan yang tulus dan tidak pernah putus.
2. Semua dosen dan staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya, terutama Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T selaku dosen pembimbing utama, Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Sumarji, S.T., M.T selaku dosen penguji I, Bapak Hari Arbiantara B., S.T., M.T. selaku dosen penguji II, serta Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Material Research Group.
3. Anggota MRG 3 yang tiada henti memberikan semangat untuk mengerjakan penelitian ini.
4. Seluruh guruku dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dan mengarahkan pada kebaikan.
5. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

**MOTTO**

"If you only knew the magnificence of the 3, 6 and 9, then you would have a key to the universe."

(Nicola Tesla)

“the desire that guides me in all I do is the desire to harness the forces of nature to the service of mankind.”

(Nicola Tesla)

“Man Jadda Wajada.”

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Al Kautsar

NIM : 151910101116

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR PADUAN DAN nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> DENGAN METODE *STIR CASTING*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 29 November 2017

Yang menyatakan,

(Ahmad Al Kautsar)

NIM 151910101116

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR PADUAN DAN  $\text{nanoAl}_2\text{O}_3$   
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT ADC12/ $\text{nanoAl}_2\text{O}_3$  DENGAN  
METODE *STIR CASTING***

Oleh

Ahmad Al Kautsar  
NIM 151910101116

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Penambahan Unsur Paduan Dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Terhadap Karakterisasi Komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Metode *Stir Casting*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 29 November 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Tim Penguji**

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T

NIP. 19751006 200212 1 002

NIP.19681207 199512 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Sumarji, S.T., M.T.

Hari Arbiantara B., S.T., M.T.

NIP.19680202 199702 1 001

NIP.13670924 199412 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.

NIP. 196612151995032001

## RINGKASAN

**Pengaruh Penambahan Unsur Paduan Dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Terhadap Karakterisasi Komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Metode *Stir Casting***; Ahmad Al Kautsar., 151910101116; 2017: 96 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Komposit matriks logam pada umumnya menggunakan logam Aluminium (Al) sebagai matriksnya karena densitasnya yang rendah, mampu proses yang tinggi, dan keuletan yang tinggi. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) digunakan sebagai partikel penguat pada komposit matriks logam karena memiliki stabilitas termal dan kekerasan yang baik serta modulus Young yang tinggi. Paduan aluminium-silikon (Al-Si) merupakan paduan yang sangat baik kecairannya, yang mempunyai permukaan bagus, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran. Penambahan magnesium (Mg) menghasilkan tingkat modifikasi dari eutektik silikon untuk Al-Si-Mg, dengan penambahan kadar magnesium (Mg) yang ditingkatkan, kekuatan tarik paduan meningkat tetapi nilai persen elongasi menurun. Strontium (Sr) merupakan unsur yang sering digunakan untuk memodifikasi fase eutektik dan bentuk Si dari *acicular* yang kasar kedalam bentuk berserat yang lebih halus dan bulat. Komposit matriks logam dengan penguat partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berukuran nano dapat dibuat menggunakan metode *stir casting* dengan penambahan Mg sebagai pembasah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hasil pengujian penambahan Mg, Sr, dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kekerasan tertinggi didapatkan pada variasi ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada angka 78.92 HRB. Kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada variasi ADC12-4Mg-0.01Sr/0.5nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada angka 169,01 MPa.



## SUMMARY

**Effect of Adding Alloy Elements And NanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> To The Composite Characterization Of ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> With Stir Casting Method;** Ahmad Al Kautsar., 151910101116; 2017: 96 pages; the Mechanical Department, the Faculty Of Engineering, Jember University.

Metal matrix composites generally use Aluminum metal (Al) as its matrix because of its low density, high processing, and high ductility. Tenacity is an important factor that must be possessed on the metal composite matrix because the amplifier used is rigid and brittle. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) is used as a reinforcing particle on a metal matrix composite because it has good thermal stability and hardness as well as a high Young modulus. Aluminum-silicon alloys (Al-Si) are excellent alloys of aquatic, which have a good surface, without hot grinding, and are excellent for cast alloys. The addition of magnesium (Mg) resulted in a modified rate of silicone eutectic for Al-Si-Mg, with enhanced magnesium (Mg) levels, increased alloy tensile strength but a decreasing percent elongation value. Strontium (Sr) is a common element used to modify eutectic and Si-shaped phases of rough acicular into finer and rounded fibrous forms. A metal matrix composite with a nano-sized Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle amplifier can be fabricated using stir casting method with the addition of Mg as a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wetting agent. Test results of the addition of Mg, Sr, and nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to the highest hardness of ADC12 / nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites were found in ADC12-8Mg-0.03Sr / 2.5nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> variation at 78.92 HRB. The highest tensile strength was found in ADC12-4Mg-0.01Sr / 0.5nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> variation at 169.01 MPa.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Penambahan Unsur Paduan Dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Terhadap Karakterisasi Komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Metode *Stir Casting*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dalam hidup ini.
2. Ayah Bambang Iriono dan Ibu Tutik Hananik yang telah menjadi orang tua yang sangat baik dalam hal mendidik, mengarahkan, memberi nasehat demi kehidupan yang lebih baik, kasih sayang, perhatian, materi, dan yang terpenting adalah doa yang selalu beliau panjatkan setiap saat untuk penulis dan keluarga.
3. Adik-adikku tersayang Muhammad Zuhri dan Almas Mutsalas, yang selalu memberi semangat baik moral, motivasi, serta do'a nya.
4. Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak
6. Hari Arbiantara B., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini;
7. Bapak Imam Sholahuddin. S.T., M.T selaku dosen pembimbing tim Material Research Group Universitas Jember;
8. Seluruh dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;

9. Teman – teman JERICO Zyco, mas Ald, Reza Toyol, Angga I, Angga II, Angga III, Angga IV, Rama, Dewa anal, Om Ketut, mas kokok, mas yan pentol, mas yudha, mas yuyuk, Ardhan Kontil, dan mas mamas mamas apa Yang selalu memberi semangat, dukungan, motivasi dan do'a-do'a yang selalu terucap;
10. Rekan tim Research MRG yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan sumber-sumber referensi;
11. Dulur teknik mesin 2012 semoga persaudaraan ini tetap terjaga hingga akhir waktu “ **SOLIDARITY FOREVER** “;
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 28 November 2017

Penulis

**DAFTAR ISI**

|   |              |
|---|--------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                            | <b>ii</b>    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>                      | <b>iii</b>   |
| <b>HALAMAN MOTTO .....</b>                            | <b>iv</b>    |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>                       | <b>v</b>     |
| <b>HALAMAN PEMBIMBINGAN.....</b>                      | <b>vi</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>                        | <b>vii</b>   |
| <b>RINGKASAN .....</b>                                | <b>viii</b>  |
| <b>PRAKATA .....</b>                                  | <b>xi</b>    |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                               | <b>xiii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                            | <b>xvi</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                             | <b>xviii</b> |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>                             |              |
| 1.1 Latar Belakang .....                              | 1            |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                             | 2            |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat.....                           | 3            |
| 1.3.1 Tujuan .....                                    | 3            |
| 1.3.2 Manfat .....                                    | 3            |
| 1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian.....         | 4            |
| 1.5 Hipotesa .....                                    | 4            |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>                        |              |
| 2.1 Aluminium.....                                    | 5            |
| 2.2 Aluminium paduan ADC12.....                       | 9            |
| 2.3 Unsur paduan.....                                 | 11           |
| 2.3.1 Magnesium (Mg) .....                            | 11           |
| 2.3.2 Strontium (Sr) .....                            | 13           |
| 2.3.3 Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) ..... | 15           |

|                                 |  |    |
|---------------------------------|--|----|
| 2.4                             | Pengecoran.....  | 16 |
| 2.4.1                           | Metode pengecoran .....  | 17 |
| 2.4.2                           | Tungku peleburan .....   | 18 |
| 2.5                             | Metode <i>Stir Casting</i> .....   | 21 |
| 2.6                             | Komposit .....   | 23 |
| 2.6.1                           | <i>Metal Matrix Composite</i> .....  | 25 |
| 2.7                             | Kemampubasahan.....  | 29 |
| 2.8                             | Pengujian Mekanik.....   | 31 |
| 2.8.1                           | Pengujian Tarik.....   | 31 |
| 2.8.2                           | Pengujian Kekerasan.....   | 32 |
| 2.9                             | Pengamatan Metalografi.....  | 34 |
| 2.9.1                           | Struktur Mikro .....   | 34 |
| 2.9.2                           | SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....                              | 34 |
| 2.10                            | Pengujian Physical Material .....  | 37 |
| 2.10.1                          | Pengujian Densitas-Porositas.....  | 37 |
| 2.10.2                          | XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....  | 38 |
| <b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> |  |    |
| 3.1                             | Metode Penelitian .....  | 41 |
| 3.2                             | Tempat Dan Waktu Penelitian.....   | 41 |
| 3.3                             | Alat Dan Bahan.....  | 41 |
| 3.3.1                           | Alat.....  | 41 |
| 3.3.2                           | Bahan .....  | 42 |
| 3.4                             | Variabel Penelitian.....   | 42 |
| 3.5                             | Proses Pembuatan Komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | 43 |
| 3.6                             | Pengujian Mekanik .....  | 44 |
| 3.6.1                           | Pengujian Kekerasan.....   | 44 |
| 3.6.2                           | Pengujian Tarik.....   | 44 |
| 3.7                             | Pengamatan Metalografi.....  | 45 |
| 3.7.1                           | Struktur Mikro .....   | 45 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.7.2 SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) ..... | 45        |
| 3.8 Pengujian Physical Material .....                   | 46        |
| 3.8.1 Pengujian Densitas-Porositas.....                 | 46        |
| 3.8.2 XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....             | 48        |
| 3.9 Diagram Alir .....                                  | 49        |
| <b>BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>                |           |
| 4.1 Pengujian Mekanik .....                             | 50        |
| 4.1.1 Pengujian Kekerasan.....                          | 50        |
| 4.1.2 Pengujian Tarik .....                             | 52        |
| 4.2 Pengamatan Metalografi .....                        | 57        |
| 4.2.1 Pengamatan Mikro .....                            | 57        |
| 4.2.2 SEM Dan EDX .....                                 | 61        |
| 4.3 Pengujian Physical Material .....                   | 66        |
| 4.3.1 Pengujian Densitas-Porositas.....                 | 66        |
| 4.3.2 XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....             | 69        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>                       |           |
| 5.1 Kesimpulan .....                                    | 71        |
| 5.2 Saran .....   | 71        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                             | <b>72</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                    | <b>75</b> |

**DAFTAR GAMBAR**

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 a) Diagram fasa paduan Al-Si, b) Struktur mikro Al-hypoeutectic Si, c) Struktur mikro Al-eutectic Si, d) Struktur mikro Al-hypereutectic Si .....                      | 11 |
| Gambar 2.2 Diagram Fasa Al-Mg <sub>2</sub> Si.....  | 13 |
| Gambar 2.3 (a) Struktur mikro Al-15Si-14Mg-4Cu tanpa Sr (b) penambahan Sr 0,08%.....  | 15 |
| Gambar 2.4 Dapur Kupola yang digunakan untuk peleburan besi tuang .....   | 19 |
| Gambar 2.5 tiga jenis krusibel .....  | 20 |
| Gambar 2.6 Dapur induksi .....  | 21 |
| Gambar 2.7 Skema Peralatan <i>Stir Casting</i> .....  | 22 |
| Gambar 2.8 Skema klasifikasi komposit berdasarkan penguatnya.....   | 25 |
| Gambar 2.9 Ilustrasi dari jenis jenis penguat pada MMC.....   | 26 |
| Gambar 2.10 Sudut kontak yang terbentuk dengan variasi nilai energi antarmuka. ....   | 29 |
| Gambar 2.11 Struktur mikro dan distribusi silikon eutektik dalam paduan dengan penambahan modifier strontium (a) <i>spherical</i> (b) <i>lamellar</i> (c) <i>fine nidle</i> ..... | 34 |
| Gambar 2.12 Blok Diagram SEM.....   | 36 |
| Gambar 2.13 Skema Alat Uji XRD.....   | 39 |
| Gambar 3.1 Spesimen uji tarik ASTM B557 .....   | 45 |
| Gambar 3.2 Mesin SEM -EDX .....   | 46 |
| Gambar 3.3 Mesin XRD .....  | 48 |
| Gambar 3.4 Diagram alir penelitian.....   | 49 |
| Gambar 4.1 Nilai Kekerasan Komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....  | 51 |
| Gambar 4.2 Nilai kekuatan Tarik Komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....   | 54 |
| Gambar 4.3 Elongasi(%) komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....  | 56 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.4 Struktur mikro a) ADC12-4Mg-0.01Sr/0.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , b) ADC12-4Mg-0.01Sr/1.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , c) ADC12-4Mg-0.01Sr/2.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....  | 58 |
| Gambar 4.5 Struktur mikro ADC12-8Mg-0.03Sr/0.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,.....  | 59 |
| Gambar 4.6 Struktur mikro dari komposit ADC12-8Mg-0.03Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan persentase nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> a) 1.5% dan b) 2.5%.....  | 60 |
| Gambar 4.7 Hasil pengamatan a) SEM-EDX komposit ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> b)EDX map menunjukkan distribusi unsur O, Mg, Al, Si dari komposit ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....   | 62 |
| Gambar 4.8 Hasil pengamatan SEM-EDX menunjukkan adanya cacat pada material komposit ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....   | 63 |
| Gambar 4.9 Hasil EDX map menunjukkan distribusi unsur O, Mg, Al, Si dari komposit ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....   | 64 |
| Gambar 4.10 Hasil pengamatan a) SEM-EDX dan b) EDX map menunjukkan adanya <i>Aglomerate</i> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> pada komposit ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....  | 65 |
| Gambar 4.11 Grafik densitas aktual-densitas teoritis komposit ADC12-4Mg-0.01Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan 0%, 0.5%,1.5%,2.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , b) Grafik densitas aktual-densitas teoritis komposit ADC12-8Mg-0.03Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan 0%, 0.5%,1.5%,2.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , c) Grafik porositas komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | 67 |
| Gambar 4.12 Grafik Identifikasi Senyawa Pada komposit ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....   | 69 |



**DAFTAR TABEL**

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Komposisi Paduan Aluminium Menurut Standar JIS H5302 .....                                 | 9  |
| Tabel 2.2 Sifat Mekanik Paduan Aluminium Menurut JIS H5302.....                                      | 10 |
| Tabel 2.3 Aplikasi atau kegunaan material .....  | 10 |
| Tabel 2.4 Temperatur tuang logam .....   | 17 |
| Tabel 2.5 Keuntungan dan kerugian gravity casting.....   | 18 |
| Tabel 2.6 Penguat pada MMC .....   | 26 |
| Tabel 2.7 Aplikasi dari Metal Matrix Composite .....   | 27 |
| Tabel 2.8 Skala Kekerasan.....   | 33 |
| Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... | 51 |
| Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....   | 53 |
| Tabel 4.3 Pengujian densitas-porositas komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | 66 |

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam rangka menghadapi perkembangan pasar industri material, setiap perusahaan perlu meningkatkan kualitas produknya. Material yang baik akan mempengaruhi kinerja dan masa pakai suatu benda kerja. Seiring dengan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian-penelitian agar kualitas material dapat dioptimalkan dan disesuaikan dengan kebutuhan. Salah satu bahan yang sedang dikembangkan adalah komposit aluminium/nano-alumina.

Komposit bermatriks logam pada umumnya menggunakan logam Aluminium sebagai matriksnya karena densitasnya yang rendah, mampu proses yang tinggi, dan keuletan yang tinggi. Keuletan menjadi faktor penting yang harus dimiliki pada matriks komposit logam karena penguat yang digunakan bersifat kaku dan getas. Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) digunakan sebagai partikel penguat pada komposit matriks logam karena memiliki stabilitas termal dan kekerasan yang baik serta modulus Young yang tinggi (Chung, 2010).

ADC12 merupakan aluminium paduan dengan komposisi Al-Si. Paduan aluminium-silikon (Al-Si) merupakan paduan yang sering digunakan dalam industri otomotif dan kedirgantaraan. Paduan Al-Si sangat baik kecairannya, yang mempunyai permukaan bagus, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran. Sebagai tambahan, Al-Si mempunyai ketahanan korosi yang baik dan sangat ringan (Surdia, 2000).

Sifat-sifat Al-Si dapat diperbaiki oleh unsur paduan, Umumnya yang dipakai adalah paduan magnesium. Magnesium (Mg) adalah dasar unsur yang memberikan kekuatan dan kekerasan dalam paduan ini. Al-Si-Mg dengan kadar Mg tinggi adalah bahan yang memiliki sifat ringan yang memiliki peran penting dalam aplikasi industri karena memiliki kepadatan yang rendah serta ketahanan aus yang baik (Surdia, 2000).

Penambahan strontium (Sr) dalam paduan aluminium silikon digunakan sebagai modifier untuk memodifikasi fasa silikon eutektik. Dengan penambahan Sr

juga dapat meningkatkan kepadatan jumlah partikel fasa eutektik  $Mg_2Si$  dan Si yang berkaitan dengan berkurangnya ukuran partikel kedua fasa tersebut (Tabib, 2014). Sedangkan penambahan Sr sebesar 0,02% mampu meningkatkan kekuatan tarik paduan dari pada paduan tanpa Sr. Peningkatan ini disebabkan Sr mengubah morfologi partikel Si eutektik dari *spherical* menjadi bentuk halus berserat (Ibrahim, 2015).

Komposit matriks logam dengan penguat partikel  $Al_2O_3$  berukuran nano dapat dibuat menggunakan metode *stir casting* dengan penambahan Mg sebagai pembasah  $Al_2O_3$ . Schultz, Ferguson, dan Rohatgi (2011) pada penelitiannya menyebutkan bahwa penggunaan unsur Mg pada metode *stir casting* memiliki potensial untuk mengurangi efek *clustering* dan mampu meningkatkan kemapubasahan pada partikel penguat.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan komposit matriks aluminium dengan menggunakan metode *stir casting*. Penelitian ini juga akan mencari pengaruh penambahan unsur paduan dan  $nanoAl_2O_3$  terhadap karakterisasi komposit ADC12/ $nanoAl_2O_3$ . Pengujian dalam penelitian ini meliputi uji tarik, uji kekerasan, , pengamatan struktur mikro, pengamatan SEM-EDX, uji densitas-porositas, dan uji XRD. Dari hasil penelitian ini diharapkan ada peningkatan sifat mekanik dari komposit ADC12/ $nanoAl_2O_3$ .

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah utama yang akan dibahas pada penelitian ini berdasarkan latar belakang adalah untuk mengetahui efek dari penambahan fraksi massa Mg sebesar 4%, 8%, fraksi berat Sr sebesar 0.01%, 0.03%, dan fraksi berat  $nanoAl_2O_3$  sebesar 0.5%, 1.5%, 2.5% terhadap kekuatan tarik, kekerasan, metalografi, densitas-porositas dari komposit ADC12/ $nanoAl_2O_3$ .

### 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

#### 1.3.1 Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a) Untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg sebesar 4%, 8%, Sr sebesar 0.01%, 0.03%, dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 0.5%, 1.5%, 2.5% terhadap nilai kekerasan komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- b) Untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg sebesar 4%, 8%, Sr sebesar 0.01%, 0.03%, dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 0.5%, 1.5%, 2.5% terhadap nilai kekuatan tarik dan elongasi komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- c) Untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg sebesar 4%, 8%, Sr sebesar 0.01%, 0.03%, dan nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 0.5%, 1.5%, 2.5% hasil pengamatan struktur mikro komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- d) Untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg sebesar 4%, 8%, Sr sebesar 0.01%, 0.03%, dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 0.5%, 1.5%, 2.5% terhadap hasil pengamatan SEM-EDX komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- e) Untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg sebesar 4%, 8%, Sr sebesar 0.01%, 0.03%, dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 0.5%, 1.5%, 2.5% terhadap nilai densitas-porositas komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- f) Untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg sebesar 4%, 8%, Sr sebesar 0.01%, 0.03%, dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 0.5%, 1.5%, 2.5% terhadap hasil XRD komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### 1.3.2 Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a) Dapat mengetahui efek dari penambahan Mg, Sr dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap kekerasan komposit ADC12/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- b) Dapat mengetahui efek dari penambahan Mg, Sr dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap kekuatan tarik dan elongasi komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- c) Dapat mengetahui efek dari penambahan Mg, Sr dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap hasil pengamatan struktur mikro komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

- d) Dapat mengetahui efek dari penambahan Mg, Sr dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap hasil pengamatan SEM-EDX komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- e) Dapat mengetahui efek dari penambahan Mg, Sr dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap nilai densitas-porositas komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- f) Dapat mengetahui efek dari penambahan Mg, Sr dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap hasil XRD komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### 1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

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

- a. Material yang digunakan ADC 12 (Al-12%Si-1,5%Cu-0,3%Mg-1%Zn-1,3%Fe-0,5%Mn-0,5%Ni-0,2%Sn-0,3%Pb-0,2%Ti).
- b. Modifier yang digunakan Mg murni dan Al-15%Sr.
- c. Variasi Mg sebesar 4%, dan 8%.
- d. Variasi Sr sebesar 0.01% dan 0.03%
- e. Variasi nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 0.5%, 1.5%, 2.5%.
- f. Temperatur, kecepatan pengaduk (*Stirer*), dan kecepatan pendinginan diasumsikan tetap.

#### 1.5 Hipotesis

Semakin besar persentase penambahan unsur paduan dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, maka akan meningkatkan nilai kekerasan dan menurunkan nilai kekuatan tariknya karena semakin besar persentase nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang terdapat pada komposit semakin besar pula persentase porositasnya.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Aluminium

Aluminium merupakan unsur logam paling banyak di kerak bumi. Umumnya ditemukan dengan bersenyawaan dengan unsur lain. Di alam, aluminium tidak atau sangat jarang ditemukan dalam keadaan bebas. Ia banyak ditemukan dalam bentuk bijihnya. Jika dilihat dari sifat fisik aluminium, logam ini merupakan logam yang punya warna putih agak kebiru-biruan, mengkilat, dapat ditempa, mudah dibengkokkan, merupakan konduktor panas dan listrik yang baik, mempunyai densitas cukup rendah  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , jika digosok menghasilkan permukaan yang mengkilap, serta punya titik leleh  $658 \text{ }^\circ\text{C}$ . Aluminium diproduksi dari proses *Hall-Heroult* (Surdia, 2000).

Aluminium secara luas digunakan pada aplikasi industri. Aluminium merupakan logam selain besi yang paling banyak digunakan, atau berada dibawah besi dan baja secara keseluruhan. Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1807 sebagai unsur dan kemudian direduksi pertama kali sebagai logam oleh H.C Oersted, dan kemudian Hall dan Heroult berhasil memisahkan logam aluminium dan alumina. Proses Hall Heroult sampai saat ini masih digunakan untuk memproduksi aluminium. Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik, mudah dibentuk dan merupakan penghantar listrik yang baik. Serta beberapa sifat baik lainnya sebagai sifat suatu logam. Kekuatan mekaniknya dapat meningkat dengan penambahan unsur – unsur seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan lain sebagainya secara unsur mandiri atau bersamaan. Selain itu sifat - sifat baik lainnya, seperti ketahanan terhadap korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian yang rendah dan lain sebagainya juga akan meningkat (Surdia, 2000).

#### 2.1.1 Sifat Aluminium

Perlu diketahui aluminium merupakan logam yang paling banyak terkandung di kerak bumi. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga

8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar 30 juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain. Saat ini aluminium berkembang luas dalam banyak aplikasi industri seperti industri otomotif, rumah tangga, maupun elektrik, karena beberapa sifat dari aluminium itu sendiri, yaitu (Ron Cobden, 1994):

a. Ringan (*light in weight*)

Aluminium memiliki sifat ringan, bahkan lebih ringan dari magnesium dengan densitas sekitar 1/3 dari densitas besi. Kekuatan dari paduan aluminium dapat mendekati dari kekuatan baja karbon dengan kekuatan tarik 700 Mpa (100 Ksi). Kombinasi ringan dengan kekuatan yang cukup baik membuat aluminium sering diaplikasikan pada kendaraan bermotor, pesawat terbang, alat-alat konstruksi seperti tangga, scaffolding, maupun pada roket.

b. Mudah dalam pembentukannya (*easy fabrication*)

Aluminium merupakan salah satu logam yang mudah untuk dibentuk dan mudah dalam fabrikasi seperti ekstrusi, forging, bending, rolling, casting, drawing, dan machining. Struktur kristal yang dimiliki aluminium adalah struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*), sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Bahan aluminium mudah dibentuk menjadi bentuk yang kompleks dan tipis sekalipun, seperti bingkai jendela, lembaran aluminium foil, rel, gording, dan lain sebagainya.

c. Tahan terhadap korosi (*corrosion resistance*)

Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Hal tersebut dapat terjadi karena permukaan aluminium mampu membentuk lapisan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) bila bereaksi dengan oksigen.

d. Konduktifitas panas tinggi (*high thermal conductivity*)

Konduktifitas panas aluminium tiga kali lebih besar dari besi, maupun dalam pendinginan dan pemanasan. Sehingga aplikasi banyak digunakan pada radiator

mobil, koil pada evaporator, alat penukar kalor, alat-alat masak, maupun komponen mesin.

e. Konduktifitas listrik tinggi (*high electrical conductivity*)

Konduktifitas listrik dari aluminium dua kali lebih besar dari pada tembaga dengan perbandingan berat yang sama. Sehingga sangat cocok digunakan dalam kabel transmisi listrik.

f. Tangguh pada temperatur rendah (*high toughness at cryogenic temperature*)

Aluminium tidak menjadi getas pada temperatur rendah hingga  $-100^{\circ}\text{C}$ , bahkan menjadi lebih keras dan ketangguhan meningkat. Sehingga aluminium dapat digunakan pada material bejana yang beroperasi pada temperatur rendah (*cryogenic vessel*).

g. Tidak beracun (*non toxic*)

Aluminium tidak memiliki sifat racun pada tubuh manusia, sehingga sering digunakan dalam industri makanan seperti kaleng makanan dan minuman, serta pipa-pipa penyalur pada industri makanan dan minuman.

h. Mudah didaur ulang (*recyclability*)

Aluminium mudah untuk didaur ulang, bahkan 30% produksi aluminium di Amerika berasal dari aluminium yang didaur ulang. Pembentukan kembali aluminium dari material bekas hanya membutuhkan 5% energi dari pemisahan aluminium dari bauksit.

Dengan berbagai keunggulan dari aluminium tersebut, saat ini penggunaan aluminium sangat berkembang pesat terutama pada industri pesawat terbang dan otomotif. Masih banyak pengembangan yang dilakukan sehingga dapat menciptakan paduan aluminium baru yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda. (Ron Cobden, 1994)

### 2.1.2 Paduan Aluminium

Paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu aluminium *wrought alloy* (lembaran) dan aluminium *casting alloy* (batang cor). Aluminium



(99,90%) memiliki berat jenis sebesar  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , dan titik leburnya pada suhu  $660^\circ\text{C}$ , aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium dari permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, serta stabil (tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya) sehingga melindungi bagian dalam. Macam-macam Unsur paduan aluminium dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Surdia, 2000):

a. Paduan aluminium – tembaga, aluminium – tembaga - silikon.

Paduan aluminium - tembaga adalah paduan aluminium yang mengandung tembaga 4,5 %, memiliki sifat-sifat mekanik dan mampu mesin yang baik sedangkan mampu cornya agak jelek. Paduan aluminium tembaga – silikon dibuat dengan menambah 4 – 5 % silikon pada paduan aluminium tembaga untuk memperbaiki sifat mampu cornya. Paduan ini dipakai untuk bagian-bagian motor mobil, dan rangka utama dari katup (Surdia, 2000).

b. Paduan aluminium – silikon, aluminium – silikon – magnesium.

Paduan dari aluminium dan silikon sekitar 2 % disebut silumin yang memiliki mampu cor yang baik, sehingga terutama dipakai untuk bagian – bagian mesin biasa. Tetapi paduan yang biasa dicor mempunyai sifat mekanik yang jelek karena butir – butir silikon yang besar, sehingga dicor dengan tambahan strontium, natrium dan agitasi dari logam cair untuk membuat kristal halus dan memperbaiki sifat – sifat mekanik, tetapi cara ini tidak efektif untuk coran besar. Paduan aluminium silikon diperbaiki sifat mekaniknya dengan menambahkan magnesium, tembaga atau mangan dan selanjutnya diperbaiki dengan perlakuan panas (Surdia, 2000).

c. Paduan aluminium – magnesium.

Paduan aluminium yang mengandung magnesium 4 % atau 10 % mempunyai ketahanan korosi dan sifat mekanik yang baik. Paduan ini mempunyai kekuatan tarik diatas 30 kgf/mm dan perpanjangan diatas 12 % dipakai untuk alat – alat industri kimia , kapal laut, dan pesawat terbang (Surdia, 2000).

d. Paduan aluminium tahan panas.

Paduan ini terdiri dari Al – Cu – Ni – Mg yang kekuatannya tidak berubah sampai 300°C, sehingga paduan ini dipakai untuk torak dan tutup silinder (Surdia, 2000).

## 2.2 Aluminium paduan ADC 12

ADC 12 merupakan aluminium paduan dengan komposisi Al-Si. Paduan Al-Si sangat baik kecairannya, yang mempunyai permukaan yang sangat bagus, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran. Sebagai tambahan, paduan ini memiliki ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang sangat kecil, dan sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Karena memiliki kelebihan yang baik, paduan ini sangat banyak dipakai. Tetapi dalam hal ini modifikasi tidak perlu dilakukan. Berikut komposisi ADC 12 menurut standar JIS terlihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Komposisi Paduan Aluminium Menurut Standar JIS H5302

| Unit : %   |             |            |              |              |          |          |            |           |           |           |           |           |
|------------|-------------|------------|--------------|--------------|----------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| JIS symbol | ISO symbol  | Cu         | Si           | Mg           | Zn       | Fe       | Mn         | Ni        | Sn        | Pb        | Ti        | Al        |
| ADC1       |             | 1.0 max.   | 11.0 to 13.0 | 0.3 max.     | 0.5 max. | 1.3 max. | 0.3 max.   | 0.5 max.  | 0.1 max.  |           |           | Remainder |
| ADC1C      | Al-Si12CuFe | 1.2 max.   | 11.0 to 13.5 | 0.3 max.     | 0.5 max. | 1.3 max. | 0.5 max.   | 0.30 max. | 0.1 max.  | 0.20 max. | 0.2 max.  | Remainder |
| ADC2       | Al-Si12Fe   | 0.10 max.  | 11.0 to 13.5 | 0.10 max.    | 0.1 max. | 1.3 max. | 0.5 max.   | 0.1 max.  | 0.05 max. | 0.1 max.  | 0.20 max. | Remainder |
| ADC3       |             | 0.6 max.   | 9.0 to 10.0  | 0.4 to 0.6   | 0.5 max. | 1.3 max. | 0.3 max.   | 0.5 max.  | 0.1 max.  |           |           | Remainder |
| ADC5       |             | 0.2 max.   | 0.3 max.     | 4.0 to 8.5   | 0.1 max. | 1.8 max. | 0.3 max.   | 0.1 max.  | 0.1 max.  |           |           | Remainder |
| ADC6       |             | 0.1 max.   | 1.0 max.     | 2.5 to 4.0   | 0.4 max. | 0.8 max. | 0.4 to 0.6 | 0.1 max.  | 0.1 max.  |           |           | Remainder |
| ADC7       | Al-Si5Fe    | 0.10 max.  | 4.5 to 6.0   | 0.1 max.     | 0.1 max. | 1.3 max. | 0.5 max.   | 0.1 max.  | 0.1 max.  | 0.1 max.  | 0.20 max. | Remainder |
| ADC8       | Al-Si6Cu4Fe | 3.0 to 5.0 | 5.0 to 7.0   | 0.3 max.     | 2.0 max. | 1.3 max. | 0.2 to 0.6 | 0.3 max.  | 0.1 max.  | 0.2 max.  | 0.2 max.  | Remainder |
| ADC10      |             | 2.0 to 4.0 | 7.5 to 9.5   | 0.3 max.     | 1.0 max. | 1.3 max. | 0.5 max.   | 0.5 max.  | 0.2 max.  |           |           | Remainder |
| ADC10Z     |             | 2.0 to 4.0 | 7.5 to 9.5   | 0.3 max.     | 3.0 max. | 1.3 max. | 0.5 max.   | 0.5 max.  | 0.2 max.  |           |           | Remainder |
| ADC11      | Al-Si8Cu3Fe | 2.5 to 4.0 | 7.5 to 9.5   | 0.3 max.     | 1.2 max. | 1.3 max. | 0.6 max.   | 0.5 max.  | 0.2 max.  | 0.3 max.  | 0.2 max.  | Remainder |
| ADC12      |             | 1.5 to 3.5 | 9.6 to 12.0  | 0.3 max.     | 1.0 max. | 1.3 max. | 0.5 max.   | 0.5 max.  | 0.2 max.  |           |           | Remainder |
| ADC12Z     |             | 1.5 to 3.5 | 9.6 to 12.0  | 0.3 max.     | 3.0 max. | 1.3 max. | 0.5 max.   | 0.5 max.  | 0.2 max.  |           |           | Remainder |
| ADC14      |             | 4.0 to 5.0 | 16.0 to 18.0 | 0.45 to 0.65 | 1.5 max. | 1.3 max. | 0.5 max.   | 0.3 max.  | 0.3 max.  |           |           | Remainder |

(Sumber: JIS H5302, 2000)

Selain itu pada paduan aluminium ADC 12 juga terdapat sifat mekanik yang terkandung pada aluminium paduan tersebut seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Paduan Aluminium Menurut JIS H5302

| Sym-bols | Tensile test         |          |      |                  |          |      |              |          |      | Hardness test |          |      |         |          |
|----------|----------------------|----------|------|------------------|----------|------|--------------|----------|------|---------------|----------|------|---------|----------|
|          | Tensile strength MPa |          |      | Proof stress MPa |          |      | Elongation % |          |      | HB            |          |      | HRB     |          |
|          | Average              | $\sigma$ | ASTM | Average          | $\sigma$ | ASTM | Average      | $\sigma$ | ASTM | Average       | $\sigma$ | ASTM | Average | $\sigma$ |
| ADC 1    | 250                  | 46       | 290  | 172              | 22       | 130  | 1.7          | 0.6      | 3.5  | 71.2          | 3.5      | 72   | 36.2    | 5.5      |
| ADC 3    | 279                  | 48       | 320  | 179              | 35       | 170  | 2.7          | 1.0      | 3.5  | 71.4          | 1.8      | 76   | 36.7    | 2.2      |
| ADC 5    | (213)                | 65       | 310  | (145)            | 26       | 190  | —            | —        | 5.0  | (66.4)        | 2.4      | 74   | (30.1)  | 3.7      |
| ADC 6    | 266                  | 61       | 280  | 172              | 23       | —    | 6.4          | 3.2      | 10.0 | 64.7          | 2.3      | 67   | 27.3    | 3.9      |
| ADC10    | 241                  | 34       | 320  | 157              | 18       | 160  | 1.5          | 0.5      | 3.5  | 73.6          | 2.4      | 83   | 39.4    | 3.0      |
| ADC12    | 228                  | 41       | 310  | 154              | 14       | 150  | 1.4          | 0.8      | 3.5  | 74.1          | 1.5      | 86   | 40.0    | 1.8      |
| ADC14    | 193                  | 28       | 320  | 188              | 31       | 250  | 0.5          | 0.1      | <1   | 76.8          | 1.7      | 108  | 43.1    | 2.1      |

(sumber: JIS H5302, 2000)

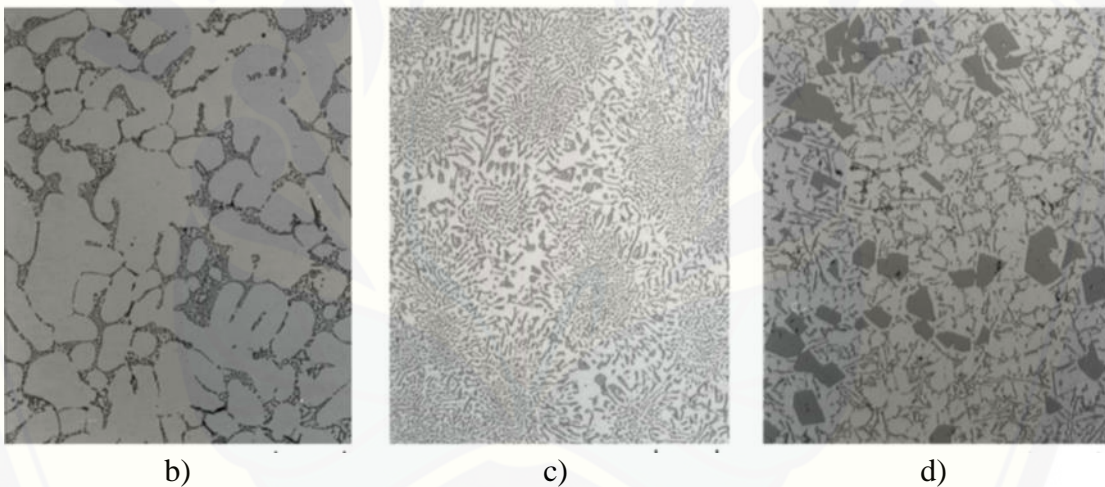
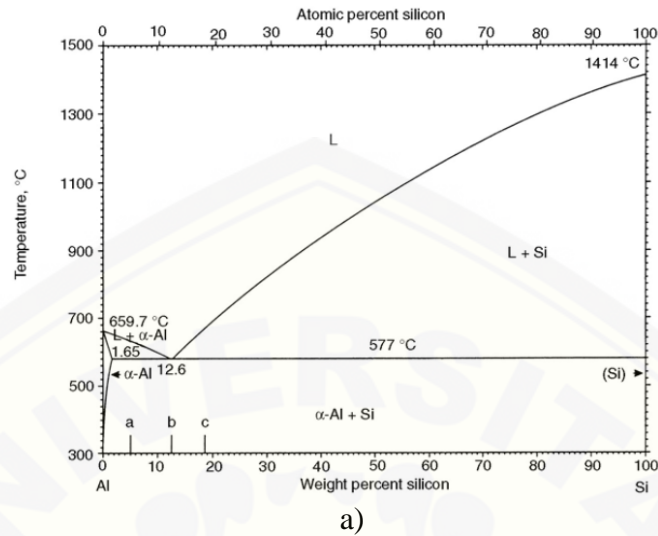
Pada paduan aluminium ADC 12 juga dapat digunakan untuk pembuatan bahan dasar seperti yang terlihat pada Tabel 2.3. Material ADC 12 pada standar ASM Handbook sama dengan material dengan kode 384.

Tabel 2.3. Aplikasi atau kegunaan material menurut

|              |  |
|--------------|--|
| A360.0       | Cover piring, peralatan tas, bagian-bagian sistem irigasi; bagian motor tempel; engsel                 |
| 380.0        | rumah untuk mesin pemotong rumput dan pemancar radio; udara coran rem; kasus gigi                      |
| A380.0       | Aplikasi membutuhkan kekuatan pada suhu tinggi   |
| <b>384.0</b> | <b>Pistons dan aplikasi layanan lainnya; transmisi otomatis</b>  |
| 390.0        | Piston dengan mesin pembakaran dalam, blok, manifold, dan kepala silinder                              |
| 413.0        | Arsitektur, hias, laut, dan makanan dan aplikasi peralatan susu  |
| A413.0       | piston motor tempel, peralatan gigi, frame mesin tik; jalan perumahan lampu                            |
| 443.0        | Cookware; pipa fitting, fitting laut; cetakan ban; badan karburator                                    |
| 514.0        | Alat kelengkapan untuk kimia dan penggunaan limbah; susu dan makanan peralatan penanganan; cetakan ban |

(Sumber: D.M. Stefanescu, 1998)

Dalam gambar 2.1 dibawah ini merupakan diagram fasa serta struktur mikro dari paduan Al-Si hypoeutectic, eutectic dan hypereutectic.



Gambar 2.1. a) Diagram fasa paduan Al-Si, b) Struktur mikro Al-hypoeutectic Si, c) Struktur mikro Al-eutectic Si, d) Struktur mikro Al-hypereutectic Si (Sumber: Baker, 2004)

## 2.3 Unsur Paduan

### 2.3.1 Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur yang cukup melimpah dalam lapisan kerak bumi dimana di dalam tabel periodik memiliki simbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Dengan kepadatan hanya dua pertiga dari aluminium, magnesium memiliki banyak aplikasi dalam kasus di mana berat yang ringan sangat penting, yaitu dalam konstruksi pesawat terbang dan rudal. Ia juga memiliki banyak kegunaan

kimia dan sifat metalurgi yang baik, sehingga membuatnya sesuai untuk berbagai aplikasi non-struktural lainnya. (Hyeon, 2016)

Mg merupakan logam paling ringan diantara logam yang biasa dipakai dalam suatu struktur. Mg dengan kadar jumlah yang besar dapat meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik paduan Al-Mg, tetapi akan menurunkan regangan dari paduan tersebut. Karakteristik mekanik paduan ini dipengaruhi oleh ukuran butir distribusi dan morfologi fase kedua paduan dalam struktur mikro (Sholihudin, 2013).

Logam Mg telah dibuat secara industri dalam tahun 1930-an dengan jalan elektrolisa campuran kloridanya yang terfusikan. Pada tahun 1956 ditemukan suatu cara yang dinamakan Pidgeon dimana campuran dolomit yang dikalsinasikan dan ferrosilikon dalam bentuk bubuk direduksi dalam vakum pada temperatur tinggi. Memiliki densitas  $1,74 \text{ g/cm}^3$ , dengan ketahanan korosi magnesium mendekati ketahanan korosi aluminium dan lebih baik dari pada ketahanan korosi baja lunak (Surdia,2000). Untuk menghindari ketidak murnian yang menyebabkan korosi, maka dibuat ingot murni dengan jalan destilasi.

Paduan magnesium mempunyai kelebihan sebagai berikut:

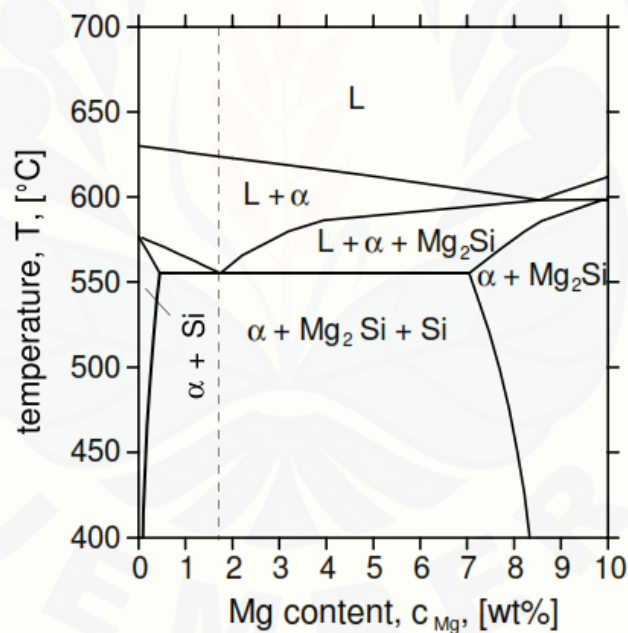
- a. Massa jenis yang rendah jika dibandingkan dengan material lain.
- b. Mampu cor yang baik, cocok untuk pengecoran bertekanan tinggi.
- c. Proses pemesinan dapat dilakukan pada kecepatan tinggi.
- d. Sifat konduktor listrik dan panas yang lebih baik serta dapat didaur ulang.

Penambahan unsur Mg akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada aluminium tanpa terlalu menurunkan keuletannya. Tingkat kekerasan paduan aluminium juga ditentukan oleh presentase unsur paduan yang ditambahkan. Besarnya presentase dan unsur paduan yang ditambahkan juga akan berpengaruh pada struktur mikro hasil coran (Surdia,2000).

Mg adalah unsur yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada paduan *heat treated* Al-Si dan umumnya digunakan pada paduan Al-Si kompleks yang mengandung Cu, Ni dan elemen lain yang berfungsi sama (Baker, 2004). Mg memiliki kelarutan 17,4% pada temperatur  $450^{\circ}\text{C}$  (Surdia, 2000). Mg bersama-sama

dengan Si membentuk senyawa  $Mg_2Si$ , dimana senyawa ini akan menutup ruang kosong dalam struktur kristal yang lebih rapat sehingga akan meningkatkan sifat mekanik seiring penambahan magnesium (Salleh, 2015). Selain meningkatkan kekuatan dan kekerasan, unsur Mg juga meningkatkan ketahanan terhadap korosi paduannya namun menurunkan *castability* (Suharno, 2011).

Penambahan Mg pada komposit berfungsi juga untuk meningkatkan kemampubasahan penguat. Penambahan Mg pada komposit ADC12/nano- $Al_2O_3$  akan menurunkan sudut kontak antara Al dengan  $Al_2O_3$  sehingga pembasahan penguat lebih baik. Dengan pembasahan yang baik maka diharapkan terbentuk interface yang baik pula dan penyebaran beban dari matriks menuju penguat menjadi efektif (Schultz, 2011). Gambar 2.2 dibawah ini merupakan diagram fasa Al- $Mg_2Si$ .



Gambar 2.2 Diagram Fasa Al- $Mg_2Si$  (Sumber : Erhard, 2002)

### 2.3.2 Strontium (Sr)

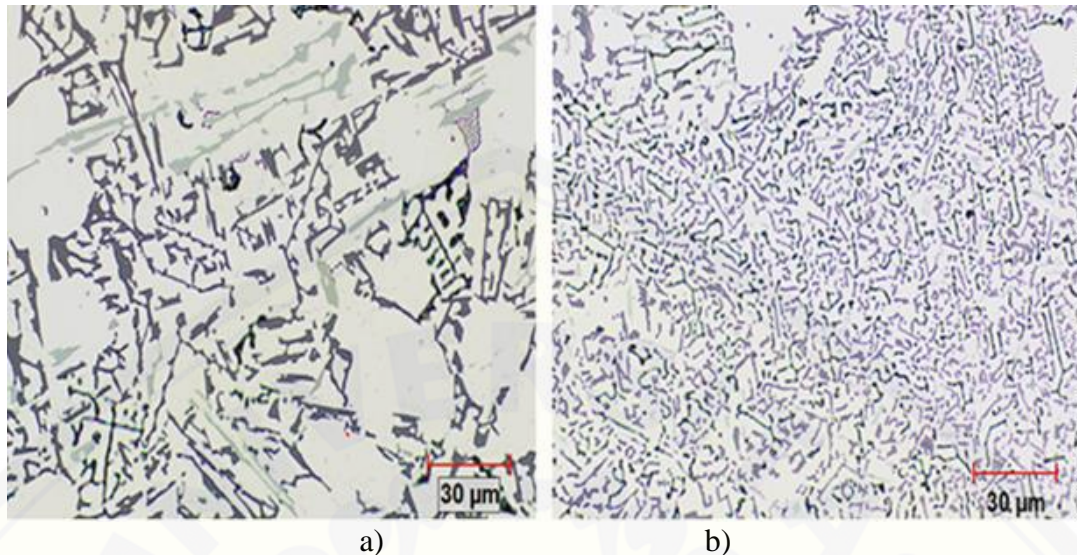
Strontium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Sr dan nomor atom 38. Stronsium termasuk dalam logam alkali tanah dengan bentuk fisik putih keabu-abuan atau logam kekuningan yang sangat reaktif

secara kimia. Strontium adalah logam berwarna putih perak yang terjadi secara alami sebagai celestite ( $\text{SrSO}_4$ ) dan strontianite ( $\text{SrCO}_3$ ). Strontianite pertama kali ditemukan pada tahun 1790 oleh Adair Crawford (Joseph, 1991).

Strontium merupakan elemen yang kurang dipandang dalam produksi masal, namun situasi ini sedikit berubah setelah ditemukan berbagai aplikasi komersial yang menggunakan strontium. Strontium telah digunakan dalam industri otomotif dan kedirgantaraan sejak tahun 1970, yang mengakibatkan meningkatnya permintaan strontium. Strontium merupakan logam reaktif sehingga untuk proses produksinya sulit dan mahal serta memerlukan kontrol yang sangat hati-hati (Joseph, 1991).

Penambahan strontium dalam paduan aluminium silikon digunakan sebagai modifier untuk memodifikasi fasa silikon eutektik. Dengan penambahan konsentrasi rendah strontium dapat memodifikasi struktur mikro dari fasa Si dengan mengubah struktur fasa Si menjadi lebih bulat, sehingga meningkatkan daktilitas, kekuatan impact dan ketahanan thermal. Gruzleski dan Closet juga telah mempelajari pengaruh strontium pada sifat mekanik paduan A356 dimana hasil penelitian mereka menunjukkan kekuatan impact meningkat 3 kali dan nilai perpanjangan meningkat 2 kali (Jenifer, 2014).

Penambahan strontium sebesar 0,08% membuat fasa  $\text{Mg}_2\text{Si}$  paduan menjadi lebih halus. Dimana ukuran partikel  $\text{Mg}_2\text{Si}$  menurun dari 46,4  $\mu\text{m}$  menjadi 5,3  $\mu\text{m}$ , sedangkan ukuran fasa Si dari 26,2  $\mu\text{m}$  menjadi 7,5  $\mu\text{m}$ . Strontium meningkatkan kepadatan jumlah partikel fasa eutektik  $\text{Mg}_2\text{Si}$  dan Si yang berkaitan dengan berkurangnya ukuran partikel kedua fasa tersebut (Tebib, 2014). Sedangkan dengan penambahan strontium (Sr) sebesar 0,02% mampu meningkatkan kekuatan tarik paduan dari pada paduan tanpa strontium. Peningkatan ini disebabkan strontium mengubah morfologi partikel silikon eutektik dari *spherical* menjadi bentuk halus berserat (Ibrahim, 2015). Pada gambar 2.4 dapat dilihat perbedaan struktur mikro dari penambahan Sr sebesar 0,08% dalam paduan Al-15Si-14Mg-4Cu.



Gambar 2.3 Perbedaan struktur mikro (a) Al-15Si-14Mg-4Cu tanpa Sr (b) Al-15Si-14Mg-4Cu dengan penambahan Sr 0,08% (Sumber: Tebib, 2014)

### 2.3.3 Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Alumina adalah senyawa kimia yang tersusun dari aluminium dan oksigen dengan rumus kimia  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang umumnya digunakan sebagai abrasif karena kekerasannya yang tinggi. Alumina memiliki ketahanan termal dan kimia yang baik, kekuatan yang relatif baik, sifat insulasi termal dan elektrik yang baik (Auerkari, 1996). Karena memiliki sifat-sifat inilah alumina menjadi salah satu partikel penguat yang digunakan pada komposit matriks logam.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  digunakan sebagai partikel penguat pada komposit matriks logam karena memiliki stabilitas termal dan kekerasan yang baik serta modulus Young yang tinggi (Davis, 2010). Penggunaan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebagai partikel penguat dalam komposit matriks logam diketahui dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh dari logam (Reddy, 2003). Pada umumnya, partikel yang digunakan sebagai penguat berukuran mikro, namun saat konsentrasi partikel alumina ditingkatkan, keuletan dari komposit matriks logam menurun secara signifikan. Untuk mengatasi masalah ini digunakan partikel penguat alumina berukuran nano yang dapat memperkuat matriks logam, tanpa mengurangi sifat keuletan secara signifikan (Thünemann, 2007).



## 2.4 Pengecoran

*Casting* adalah sebuah proses di mana aliran logam cair, dialirkan oleh gravitasi atau kekuatan lain ke dalam cetakan, dimana ia membeku dalam bentuk rongga cetakan. *Casting* adalah salah satu proses membentuk tertua sejak 6000 tahun lalu. Prinsip pengecoran sangat sederhana yaitu : mencairkan logam, menuangkan ke dalam cetakan, dibiarkan dingin dan mengeras. Namun ada banyak faktor dan variabel yang harus diperhatikan untuk mencapai operasi *casting* yang baik (Mikell P. Groover, 2010).

Tata surdia dan Chijiwa kenji (2010) menyebutkan bahwa untuk membuat coran, harus dilakukan proses-proses seperti : pencairan logam, pembuatan cetakan, persiapan, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembongkaran dan pembersihan coran.

Beberapa keuntungan proses *casting* antara lain;

- a. Dapat membuat berbagai bentuk produk dari yang sederhana sampai tingkat yang rumit
- b. Tingkat presisi baik
- c. Dapat diproduksi dalam skala satuan maupun massal
- d. *Minimum* proses pengerjaan akhir

Namun proses *casting* juga memiliki beberapa kelemahan antara lain;

- a. Terbentuknya struktur dendrit
- b. Diperlukan *Heat treatment* untuk memperbaiki sifat mekanis

Temperatur proses pengecoran logam ada bermacam-macam yang tergantung dari jenis logam yang digunakan. Adapun jenis logam dan temperatur tuangnya dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4 Temperatur tuang logam.

| Jenis Logam   | Temperatur tuang (°C) |
|---------------|-----------------------|
| Paduan ringan | 650-750               |
| Kuningan      | 950-1100              |
| Tembaga       | 1100-1250             |
| Besi cor      | 1250-1450             |
| Baja cor      | 1500-1550             |

(sumber: Surdia, 2000)

#### 2.4.1 Metode Pengecoran

Dalam perkembangannya pembentukan benda kerja melalui proses pengecoran ini meliputi mesin-mesin perkakas *modern* sebagaimana yang kita gunakan saat ini. Metode-metode yang digunakan dalam proses ini pun berbagai macam antara lain meliputi:

##### a) *Gravity casting*

*Gravity casting* merupakan teknik pengecoran dengan tanpa menggunakan tekanan selain tekanan yang berasal dari tinggi cairan logam ke dalam cetakan. Dimana logam cair di tuangkan kedalam cetakan (logam), saat proses penuangan tidak dipergunakan tekanan kecuali tekanan yang berasal dari tinggi cairan logam ke dalam cetakan. Sebagai bahan cetakan dipakai baja khusus atau besi cor paduan. Sedangkan untuk bahan coran umumnya diambil paduan bukan besi yang mempunyai titik cair rendah seperti paduan aluminium, paduan magnesium atau paduan tembaga. (Samuel, 2014).

Pengecoran *gravity casting* dengan menggunakan cetakan permanen akan menghasilkan benda kerja yang memiliki struktur mikro yang lebih halus dengan pori-pori yang lebih kecil sehingga mampu untuk meningkatkan sifat mekaniknya.

Dalam tabel 2.5 dibawah ini ditampilkan keuntungan dan kerugian pengecoran *gravity casting*.

Tabel 2.5 Keuntungan dan kerugian *gravity casting*

| No | Keuntungan                            | Kerugian                             |
|----|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. | Ketelitian ukuran sangat baik         | Tidak sesuai untuk produksi kecil    |
| 2. | Struktur yang dihasilkan lebih rapat  | Sukar membentuk cetakan bentuk rumit |
| 3. | Proses mudah dan produktivitas tinggi | Pembetulan cetakan sulit dan mahal   |

(Sumber: Surdia, 2000)

#### b) *High-pressure die casting (HPDC)*

HPDC adalah proses pengecoran yang melibatkan kecepatan tekanan injeksi logam cair ke dalam cetakan sampai membeku dibawah pengaruh tekanan. Tekanan yang digunakan untuk HPDC berkisar antara 20Mpa-80Mpa (Samuel, 2014).

#### c) *Centrifugal casting*

Proses penuangan dengan menggunakan cetakan logam dimana cetakan diputar pada saat penuangan sehingga logam cair akan terlempar keluar dari posisi penuangan. Proses ini biasa digunakan untuk benda kerja bulat dan silindris. Proses ini digunakan untuk *casting* benda dengan ketebalan yang sangat tipis, biasanya dalam bentuk pipa dengan perbandingan antara panjang dan ketebalan dengan rasio yang besar (Samuel, 2014).

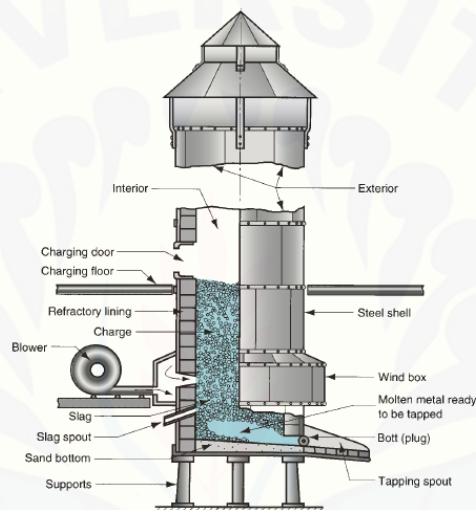
#### 2.4.2 Tungku peleburan atau dapur peleburan

Dalam proses pengecoran logam tahapan peleburan untuk mendapatkan logam cair, dilakukan dengan menggunakan suatu tungku pelebur di mana material bahan baku dan jenis tungku yang akan digunakan harus disesuaikan dengan material yang akan dilebur, jenis energinya atau kapasitasnya (Mikell P. Groover, 2010).

Dalam industri peleburan dan pengecoran logam dikenal beberapa tipe tungku peleburan antara lain:

a) Dapur kupola

Kupola adalah dapur yang digunakan untuk melebur besi tuang. Dapur ini berbentuk silindrik tegak, terbuat dari baja dan bagian dalamnya dilapisi dengan batu tahan api. Sebagai bahan bakar digunakan kokas (*coke*), dan batu kapur digunakan sebagai fluks, sedang bahan bakunya adalah besi bekas dan seringkali ditambahkan besi kasar. Dapur Kupola yang digunakan untuk peleburan besi tuang dapat dilihat pada gambar 2.4



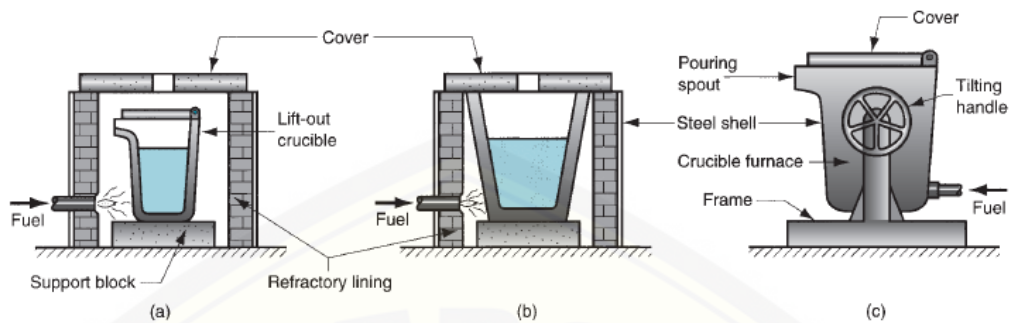
Gambar 2.4 Dapur Kupola yang digunakan untuk peleburan besi tuang (Sumber: Mikell P. Groover, 2010)

b) Dapur pembakaran langsung

Dapur pembakaran langsung terdiri dari tungku kecil yang terbuka. Logam yang akan dilebur ditempatkan di dalam tungku tersebut, dan dipanaskan dengan pembakar yang ditempatkan disebelah tungku. Bahan bakar yang digunakan adalah gas alam. Dapur jenis ini biasanya digunakan untuk melebur paduan tembaga dan aluminium (Mikell P. Groover, 2010).

c) Dapur krusibel

Dapur ini melebur logam tanpa berhubungan langsung dengan bahan pembakaran tidak langsung.



Gambar 2.5 tiga jenis krusibel (Sumber: Mikell P. Groover, 2010)

Dalam gambar 2.5 ditunjukkan 3 jenis dapur krusibel yang biasa digunakan yaitu :

(a) krusibel angkat

Krusibel ditempatkan didalam dapur dan dipanaskan hingga logam mencair. Sebagai bahan bakar digunakan minyak, gas, dan serbuk batubaru. Bila logam telah melebur, krusibel diangkat dari dapur dan digunakan sebagai ladell penuangan.

(b) pot tetap

Dapur tidak dapat dipindah, logam cair diambil dari kontainer dengan ladell.

(c) dapur tukik.

Dapat ditukik untuk menuangkan logam cair.

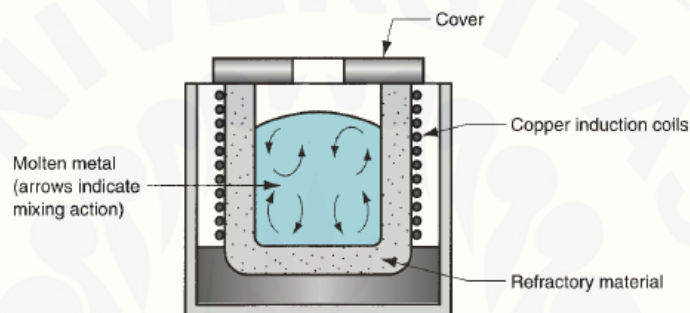
Dapur krusibel digunakan untuk peleburan logam non-besi seperti perunggu, kuningan, paduan seng dan aluminium. Kapasitas dapur umumnya terbatas (Mikell P. Groover, 2010).

d) Dapur busur listrik

Dalam jenis dapur ini, bahan baku dilebur dengan panas yang dihasilkan dari suatu busur listrik. Biasanya menggunakan dua atau tiga elektrode. Konsumsi daya tinggi, tetapi dapur ini dapat dirancang kapasitas lebur tinggi (25 s/d 50 ton/jam), dan biasanya digunakan untuk pengecoran baja (Mikell P. Groover, 2010).

## e) Dapur induksi

Dapur induksi adalah dapur yang menggunakan arus bolak-balik yang dialirkan ke suatu kumparan untuk menghasilkan medan magnet dalam logam, dan dihasilkan arus induksi sehingga terjadi pemanasan dan peleburan logam yang sangat cepat. Dapur jenis ini biasa digunakan untuk peleburan baja, peleburan besi tuang, peleburan paduan aluminium, dan semua paduan yang lain (Mikell P. Groover, 2010). Dapur induksi dapat dilihat pada gambar 2.6 :



Gambar 2.6 Dapur induksi (Sumber: Mikell P. Groover, 2010)

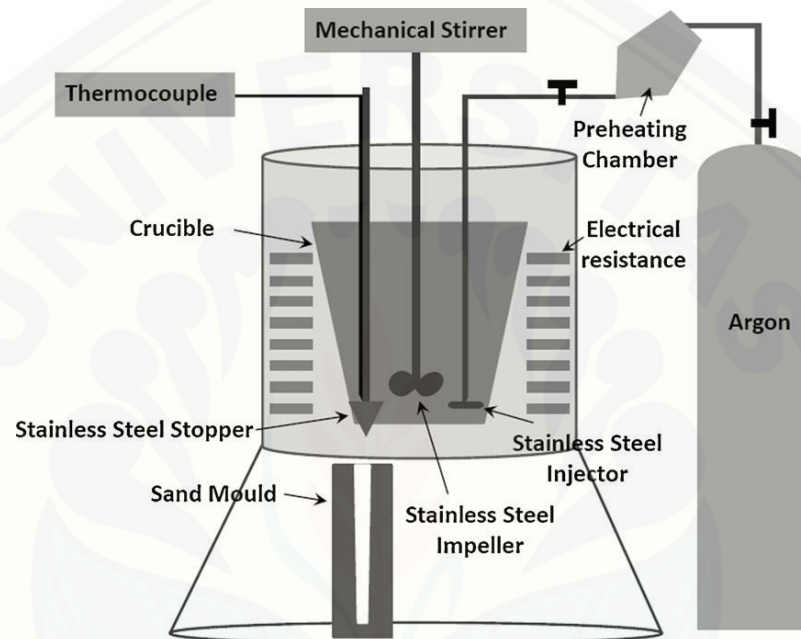
Pemilihan dapur peleburan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti:

- a) Paduan atau logam yang akan di cor
- b) Temperatur lebur dan temperatur penuangan
- c) Kapasitas dapur yang dibutuhkan
- d) Biaya investasi
- e) Pengoperasian
- f) Pemeliharaan

## 2.5 Metode *Stir Casting*

Metode *stir casting* ialah metode yang tergolong mudah dan murah untuk membuat komposit. *Stir casting* ialah metode pengecoran komposit dimana matriksnya dalam fasa cair pada saat penambahan penguat dan dilakukan pengadukan agar tidak terbentuk klaster-klaster dari penguat yang dapat menurunkan sifat dari

komposit yang ingin dibentuk. Pada *stir casting* diperlukan baling baling yang berfungsi sebagai pembuat pusaran dan memperbaiki dispersi dan distribusi dari partikel penguat yang ditambahkan seperti dilustrasikan pada Gambar 2.7 (Sajjadi, 2011).



Gambar 2.7 Skema Peralatan Stir Casting (Sumber : Sajjadi, 2011)

*Stir casting* adalah proses pengecoran dengan cara menambahkan suatu logam murni (biasanya aluminium) dengan suatu unsur penguat, dengan cara melebur logam murni tersebut kemudian logam murni yang sudah mencair tersebut diaduk-aduk secara terus menerus hingga terbentuk sebuah pusaran, kemudian unsur penguat (berupa serbuk) tersebut dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusaran yang telah terbentuk. Pencairan logam menggunakan metode stir casting sangat baik untuk manufaktur berbagai bentuk komponen dengan biaya yang relatif rendah. Metode ini mencakup tahapan yang menggabungkan partikel keramik ke dalam logam cair dengan pengadukan, pengadukan campuran dilakukan setelah pemasangan partikel, agar penyebaran lebih seragam (Fuadi, 2013).

Pada proses *Stir casting* pengadukan yang cepat membentuk pusaran dimana partikel dimasukkan kedalam pusaran tersebut. Pembentukan pusaran tidak hanya berpengaruh pada masuknya penguat, tetapi udara juga dapat terperangkap didalamnya. Sulit untuk menghilangkan udara yang terperangkap dimana viskositas cairan terus meningkat (Hashim, 2001). Kecepatan putar dari pengaduk juga mempengaruhi baik buruknya dispersi dari penguat, semakin cepat putarannya maka dispersi dari penguat semakin baik. Tetapi kecepatan putar yang tinggi menyebabkan masuknya udara semakin banyak karena kontak antara udara dengan lelehan. Sehingga kecepatan putar yang baik yaitu pada kecepatan 450 rpm dengan waktu pengadukan antara 30-45 detik (Sajjadi, 2011).

Proses pembuatan komposit dengan metode *Stir casting* diusahakan menggunakan turbin yang *inert* atau dengan menambahkan pelapisan pada turbin. Material dari turbin yang larut dapat membentuk intermetalik yang menyebabkan penurunan sifat mekanis dari komposit yang akan dibuat (Sajjadi, 2011).

## 2.6 Komposit

Komposit ialah gabungan dari dua material atau lebih yang memiliki fasa yang berbeda menjadi suatu material baru yang memiliki sifat lebih baik dari keduanya. Sementara itu Callister, William D. (2007) mendefinisikan komposit sebagai material dengan banyak fasa yang mempengaruhi sifat mekanis secara signifikan sehingga sifat sifat positif dari masing masing fasa bisa didapatkan. Klasifikasi dari komposit berdasarkan materialnya ialah :

1. Material logam.

Sifat sifat dari material induk logam umumnya yaitu memiliki ikatan logam, memiliki struktur kristal, memiliki konduktivitas baik, ulet, dan secara kimia tidak stabil.



## 2. Material keramik

Sifat sifat dari material induk keramik umumnya yaitu dapat kristalin atau amorf, memiliki konduktivitas yang buruk, tidak ulet bahkan relatif getas, dan stabil secara kimia.

## 3. Material polimer

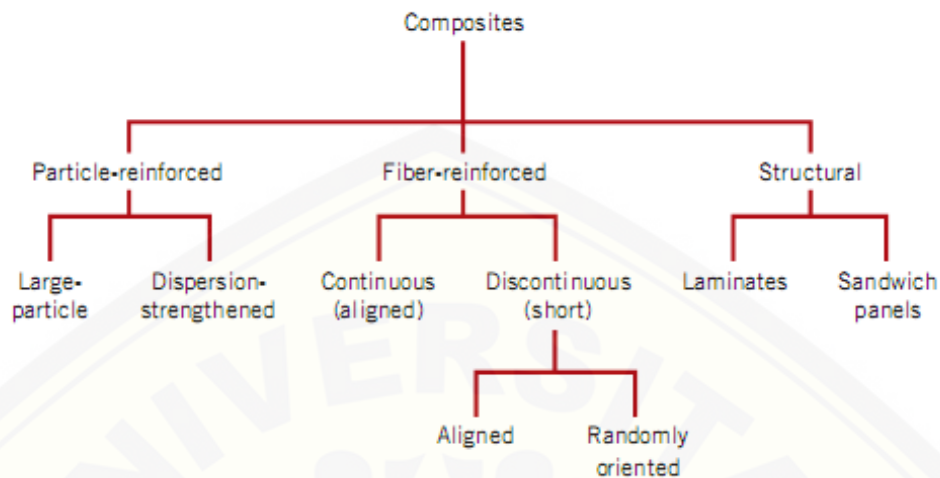
Sifat sifat dari material induk polimer umumnya yaitu ikatan dari kutub karena awan elektron, memiliki struktur amorf, memiliki konduktivitas yang buruk, ulet pada temperatur tinggi, dan secara kimia stabil.

Komposit yang banyak dikembangkan salah satunya ialah komposit logam.

Tujuan dari pengembangan komposit logam ialah (Kainer, 2006):

- 1) Meningkatkan kekuatan luluh dan kekuatan tarik pada suhu ruang maupun suhu tinggi.
- 2) Meningkatkan ketahanan luluh pada suhu tinggi dibanding dengan paduan monolitnya.
- 3) Meningkatkan kekuatan fatik, terutama di suhu yang lebih tinggi.
- 4) Meningkatkan ketahanan syok termal.
- 5) Meningkatkan ketahanan korosi.
- 6) Meningkatkan modulus kekakuan.
- 7) Menurunkan elongasi termal.

Peran yang penting dalam komposit salah satunya adalah penguat. Jenis jenis penguat memiliki pemahaman dan pendekatan teori yang berbeda beda dan karena itu digunakan dalam aplikasi yang berbeda misalnya pada komposit struktural digunakan *panel sandwich* untuk mendapatkan kekuatan diberbagai arah yang diinginkan. Pada Gambar 2.8 dijelaskan klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguatnya



Gambar 2.8 Skema klasifikasi komposit berdasarkan penguatnya (sumber: Callister, 2007)

Komposit yang digunakan pada bagian-bagian mesin banyak terbuat dari aluminium komposit karena beratnya yang relatif rendah daripada besi atau baja. Aluminium komposit dapat diperkuat dengan beberapa metode diantaranya dengan penambahan serbuk penguat atau *particle reinforced composite* (Callister, 2007).

### 2.6.1 Metal Matrix Composite

*Metal Matrix Composite* (MMC) ialah komposit dengan matriks logam. Kombinasi dapat dengan menggabungkan material logam (timbal, molibdenum, tungsten, aluminium) atau dengan material keramik (oksida, karbida, dan nitrida) (Nikilesh, 2006).

Penguat merupakan fasa lain penyusun komposit dengan nilai fraksi yang biasanya lebih kecil dari matriks itu sendiri. MMC dapat diklasifikasikan dalam berbagai jenis, salah satu yang biasanya dipakai ialah klasifikasi berdasarkan penguat yang terbagi menjadi tiga, yaitu dengan penguat partikulat, serat kontinyu, dan serat. Tabel 2.6 menjelaskan penguat penguat pada MMC dan Gambar 2.9 merupakan ilustrasi dari jenis penguat pada MMC (Nikilesh, 2006).

Tabel 2.6 Penguat pada MMC

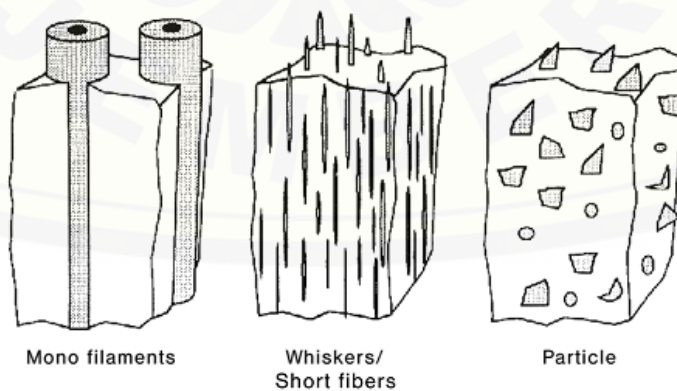
| Tipe                             | Aspect Ratio | Diameter, $\mu\text{m}$ | Contoh   |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Partikel                         | 1-4          | 1-25                    | SiC, $\text{Al}_2\text{O}_3$                     |
| <i>Whisker</i> atau serat pendek | 10 – 10.000  | 1-5                     | C, $\text{SiO}_2$ , SiC, $\text{Al}_2\text{O}_3$ |
| Serat <i>continuous</i>          | > 10.000     | 2-250                   | SiC, B, W, $\text{Nb}_2\text{Sn}$                |

(sumber: Nikilesh, 2006)

Penguatan pada MMC memiliki beberapa karakteristik tertentu, dimana sifat atau karakteristik ini ditentukan dari produksi dan proses pembuatan dari sistem matriks material komposit. Karakteristik yang ingin dicapai antara lain ialah (Nikilesh, 2006) :

- Densitas yang rendah,
- Koefisien termal yang rendah,
- Stabilitas termal yang baik,
- Kekakuan yang tinggi,
- Kemudahan pemrosesan,
- Kekuatan tarik dan tekan yang tinggi, dan
- Efisien secara ekonomi.

Pada gambar 2.9 di bawah ini merupakan ilustrasi dari jenis jenis penguat pada MMC.



Gambar 2.9 Ilustrasi dari jenis jenis penguat pada MMC (sumber: Nikilesh, 2006)

Berdasarkan Tabel 2.7, MMC memiliki potensi aplikasi yang besar, terutama pada dunia otomotif. Kebutuhan akan material yang sifat mekanis yang baik dan sifat tribologi yang baik serta densitas yang rendah dari material komposit juga dibutuhkan pada bagian bagian mesin seperti batang piston, piston, bearing utama crankshaft, blok mesin, dan lain lain.

Tabel 2.7 Aplikasi dari Metal Matrix Composite

| No | Aplikasi  | Material   | Pemrosesan  | Tujuan Pengembangan   |
|----|---|--|---|---|
| 1  | <i>Drive Shaft</i> pada kendaraan bermotor      | AlMg1SiCu + 20 vol.% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> P            | ekstrusi dari <i>cast feed material</i>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabilitas dinamis, kekauan tinggi</li> <li>- Densitas rendah</li> <li>- Kekuatan fatik tinggi</li> <li>- Ketangguhan yang mencukupi</li> <li>- Pengganti baja</li> </ul>  |
| 2  | Rem cakram berventilasi pada kendaraan bermotor | $\lambda$ -AlSi <sub>12</sub> Mg + 20 Vol. % SiC <sub>p</sub>    | Sand atau <i>gravity die casting</i>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ketahanan aus yang baik</li> <li>- Konduktivitas panas yang rendah</li> <li>- Pengganti material besi</li> </ul>   |
| 3  | <i>Stringer longitudinal</i> untuk pesawat      | AlCu <sub>4</sub> Mg <sub>2</sub> Zr + 15 vol.% SiC <sub>p</sub> | Ekstrusi dan penempaan dari <i>casted feed material</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabilitas dinamis, kekauan tinggi</li> <li>- Densitas rendah</li> <li>- Kekuatan fatik tinggi</li> <li>- Ketangguhan yang mencukupi</li> <li>- Kekuatan tinggi</li> </ul> |
| 4  | Kaliper rem cakram pada kendaraan bermotor      | Aluminium Alloy dengan <i>Nextel ceramic fibre 610</i>           |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengurangan beban hingga 55% dari besi tuang</li> </ul>  |

(sumber: Kainer, 2006)

Komposit matriks logam adalah material paling menjanjikan yang dapat meningkatkan sifat mekanis seperti kekerasan, modulus Young, kekuatan luluh, dan kekuatan tarik karena adanya partikel penguat berukuran mikro maupun nano di dalam matriks. Komposit matriks logam pada umumnya menggunakan aluminium sebagai matriksnya karena memiliki densitas yang rendah, mampu proses yang tinggi (karena titik lelehnya yang rendah), dan keuletan yang tinggi karena memiliki struktur kristal FCC. Mg di sisi lain, walaupun memiliki densitas dan titik leleh yang rendah, memiliki keuletan yang rendah karena struktur kristalnya HCP (Chung, 2010). Seperti dijelaskan pada subbab sebelumnya, keuletan merupakan faktor yang penting dalam pembuatan komposit matriks logam karena salah satu sifat akhir yang diinginkan adalah kekuatan spesifik yang tinggi.

Komposit dengan matriks yang lunak seperti aluminium dapat ditingkatkan sifat mekanisnya dengan menggunakan partikel penguat yang keras namun getas, seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan SiC. Aplikasi komposit matriks aluminium dengan penguat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  atau SiC secara bertahap meningkat di industri otomotif dan pesawat terbang, seperti pada piston, *cylinder heads*, dan *connecting rods* dimana sifat tribologi material menjadi sangat penting (Kainer, 2006).

Untuk menghasilkan komposit aluminium/alumina dengan sifat akhir yang diinginkan diperlukan beberapa parameter seperti penghalusan ukuran butir dan partikel penguat yang digunakan. Partikel penguat sendiri memiliki beberapa parameter yang akan menentukan sifat akhir dari komposit seperti fraksi volum, ukuran, bentuk, dan distribusi partikel penguat di dalam matriks logam. Dari semua parameter ini, yang paling menentukan adalah fraksi volum dari partikel penguat (Shaw, 2004). Namun, penambahan fraksi volum pada komposit aluminium/alumina menyebabkan naiknya porositas pada komposit, karena itu penentuan nilai optimum dari fraksi volum alumina merupakan hal yang harus diteliti terlebih dahulu (Shaw, 2004).

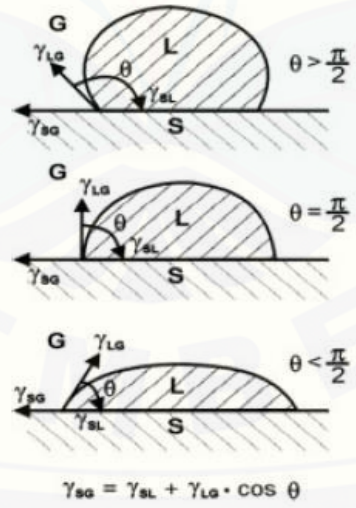
**2.7 Kemampubasahan**

Kekuatan dari material komposit bergantung pada ikatan antarmuka matriks dengan penguatnya. Matriks pada komposit menahan partikel, melindungi dari kerusakan eksternal, berperan dalam transfer dan mendistribusikan tegangan menuju partikel penguat (Gibson, 1993). Untuk menghasilkan ikatan antarmuka yang baik dibutuhkan pembasahan yang baik antara matriks dengan partikel penguat.

Pada dasarnya, kemampubasahan antara partikel penguat dengan lelehan logam dapat ditunjukkan dari persamaan Young :

$$\gamma_{SA} - \gamma_{LS} = \gamma_{LA} \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(1)$$

Dari persamaan diatas dapat terlihat bahwa sudut kontak yang terbentuk akan semakin kecil apabila energi permukaan fasa solid ditingkatkan, atau dengan menurunkan nilai energi permukaan dari fasa liquid. Pada gambar berikut terlihat sudut kontak yang terbentuk dengan variasi perbedaan energi antarmuka. Semakin kecil sudut kontak yang terbentuk, pembasahan antara fasa solid dan liquid semakin meningkat (Kainer, 2003).



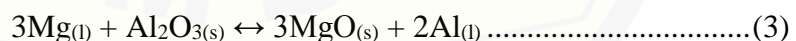
Gambar 2.10 Sudut kontak yang terbentuk dengan variasi nilai energi antarmuka (Sumber : Kainer, 2003)

Kemampubasahan alumina yang buruk terhadap lelehan logam menjadi salah satu masalah utama pada fabrikasi komposit matriks logam dengan proses liquid-state, terutama metode pengecoran aduk. Partikel alumina yang tidak terbasahi matriks, akan cenderung mengapung pada permukaan lelehan logam atau terkumpul di bawah karena perbedaan densitas (Kok, 2005). Hal ini membuat penyebaran partikel alumina menjadi tidak seragam. Terlebih lagi, penggunaan partikel alumina berukuran nano menyebabkan fenomena aglomerasi yang dapat mengurangi distribusi homogenitas dalam matriks. Peningkatan pembasahan antara partikel alumina dengan lelehan logam dapat dilakukan dengan penambahan unsur Mg dan Li (Schultz, 2011), dan melalui pelapisan partikel penguat (Zhiqiang, 2005). Namun, pelapisan partikel penguat dapat menghasilkan reaksi yang tidak diinginkan pada antarmuka matriks dan penguat.

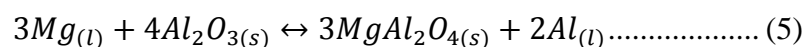
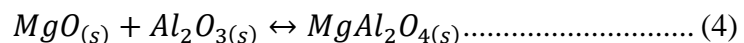
Penambahan magnesium diketahui dapat meningkatkan pembasahan antara alumina dan lelehan logam dengan meningkatkan energi permukaan dari partikel solid, menurunkan tegangan permukaan dari lelehan logam, dan menurunkan energi antarmuka antara partikel dan lelehan logam (Pai, 1993). Magnesium yang ditambahkan ke dalam lelehan logam akan bereaksi dengan oksigen pada permukaan partikel alumina yang menyebabkan penghilangan lapisan gas dan meningkatkan pembasahan alumina menurut reaksi berikut :



Kehadiran magnesium dalam lelehan logam dapat juga mereduksi alumina menjadi aluminium, melepaskan oksigen dan membentuk magnesia menurut reaksi berikut :



atau bereaksi langsung dengan alumina membentuk spinel menurut reaksi berikut :



McLeod dan Gabryel (1992) telah meneliti tentang stabilitas termodinamika beberapa oksida dengan variasi konsentrasi magnesium. Dalam penelitiannya mereka menyatakan bahwa MgO akan menjadi produk reaksi yang stabil jika konsentrasi Mg dalam lelehan ( $\text{massa Mg} / (\text{massa Paduan} + \text{massa Mg})$ ) lebih besar dari 1.7 %. Sementara spinel, Al-Mg, stabil pada konsentrasi Mg antara 0.04 – 1.7 %.

## 2.8 Pengujian Mekanik

### 2.8.1. Pengujian tarik

Tujuan utama dari proses pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan tarik bahan uji. Bahan uji merupakan bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi, agar siap menerima pembebanan dalam bentuk tarikan. Pembebanan tarik ialah 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 (Salahuddin, 2006). Untuk kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji dapat dilihat pada gambar 2.11.

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 ( $\Delta L$ ) 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 (Salahuddin, 2006) :



$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

$\sigma$  : Tegangan tarik (Mpa)

F : Gaya tarik (N)

$A_0$  : Luas penampang spesimen mula-mula (mm<sup>2</sup>)

Regangan akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

$\varepsilon$  : Regangan akibat daya tarik (%)

$\Delta L$  : 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

$$E = \sigma / \varepsilon \dots\dots\dots(8)$$

### 2.8.2. 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 2.8 dibawah ini menunjukkan skala kekerasan rockwell yang di sesuaikan dengan indentornya.

Tabel 2.8 Skala Kekerasan

| <b>Simbol</b> | <b>Indentor</b> | <b>Beban Major (Kg)</b> |
|---------------|-----------------|-------------------------|
| 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 sangatkeras)
- 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 (Soo Shin, 2011). Pada gambar 2.12 dibawah ini merupakan contoh Struktur mikro dan distribusi silikon eutektik dalam paduan dengan penambahan modifier strontium.



Gambar 2.11 Struktur mikro dan distribusi silikon eutektik dalam paduan dengan penambahan *modifier* strontium (a) *spherical* (b) *lamellar* (c) *fine needle* (Sumber: Soo Shin, 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

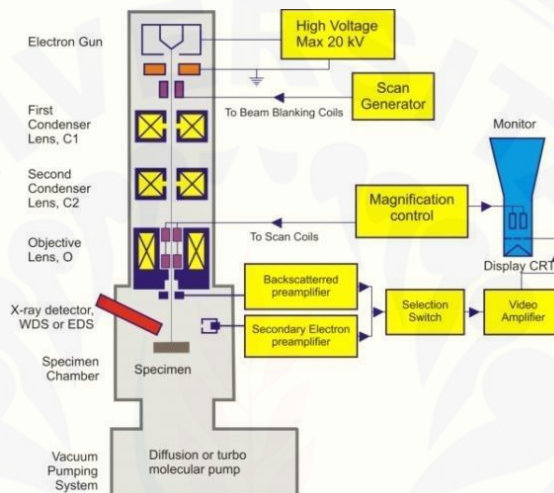
dunia, ini ditandai dengan diberikannya penghargaan Nobel terhadap para penemunya, Ernst Ruska dan Max Knoll (Sujatno, 2015).

Identifikasi struktur mikro komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 penangannya serta teknik preparasinya disamping kemampuan operasional dari operator nya (Sujatno, 2015).

Dalam Gambar 2.13 adalah skema diagram standar SEM JSM-6510LA dari fabrikasi JEOL dengan fasilitas analisis komposisi kimia berupa detektor sinar X. Komponen utama alat SEM ini pertama adalah tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang *scan coil* discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan spesimen. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Kesalahan fisika pada lensa-lensa elektromagnetik berupa *astigmatismus* dikoreksi oleh perangkat *stigmator*. SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasi lainnya (Sujatno, 2015).

Yang kedua adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan *Lantanum Hexaboride* LaB<sub>6</sub> 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 2.12 Blok Diagram SEM (Sumber : Sujatno, 2015)

Untuk menghindari gangguan dari molekul udara terhadap berkas elektron, seluruh jalur elektron (*column*) divakum hingga  $10^{-6}$  torr. Tetapi kevakuman yang tinggi menyebabkan naiknya sensitifitas pendeteksian alat terhadap non-konduktifitas, yang menyulitkan analisis pada bahan-bahan non-konduktif, seperti keramik dan oksida. Untuk mengatasi hal tersebut SEM ini memiliki opsi untuk dapat dioperasikan dengan vakum rendah, yang disebut *Low Vacuum Mode*. Dengan teknik *low vacuum* kita dapat menganalisis bahan yang non konduktif sekalipun. Tekanan pada mode ini berkisar antara 30 hingga 70 Pa (Sujatno, 2015).

## 2.10 Pengujian *Physical Material*

### 2.10.1 Pengujian Densitas-Porositas

Densitas ukuran kerapatan suatu zat yang dinyatakan banyaknya zat / massa per satuan volume. Jadi satuannya adalah satuan massa persatuan volume. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis berfungsi untuk menentukan zat. Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Dan satu zat berapapun massanya berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama. Perbedaan nilai kepadatan setiap bahan yang disebabkan oleh komponen penyusunnya akan menyisakan oleh komponen penyusunnya akan menyisakan celah celah kosong diantara rapat serbuk penyusun material tersebut. Faktor yang mempengaruhi tingkat porositas serbuk adalah ukuran butir (*Grain size*), bentuk butir, susunan butir, maka porositasnya pun akan semakin kecil. Demikian pula bentuk membundar (*spherical*) akan mengurangi nilai porositas dimana rongga kosong diantara serbuk semakin berkurang. Pengurangan nilai porositas dimana rongga kosong diantara serbuk semakin berkurang. Pengurangan nilai porositas pun juga dipengaruhi oleh susunan dan bahan serbuk. Dimana susunan serbuk yang homogeny akan semakin mengurangi jumlah rongga dan porositas (Callister, 2001).

Densitas merupakan salah satu sifat penting dari suatu zat adalah kerapatan atau massa jenisnya atau disebut densitas dimana perbandingan massa terhadap volume zat. Dimana  $\rho$  adalah massa jenis zat ( $\text{Kg/m}^3$ )  $m$  adalah massa zat ( $\text{Kg}$ ) dan  $V$  adalah volume zat ( $\text{m}^3$ ) (Callister, 2001).

Setiap benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya ke dalam fluida, akan mendapat gaya ke atas sebesar berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut itulah hukum Archimedes. Benda yang dicelupkan ke dalam air maka ada tiga kemungkinan yang akan dialami oleh benda tersebut, yaitu mengapung, melayang dan tenggelam. Benda yang dikatakan terapung dalam zat cair bila sebagian benda tercelup dan sebagian lagi muncul diudara, karena massa jenis benda lebih kecil dari massa jenis zat cair (Jewwet, 2009).

Porositas adalah ukuran dari ruang kosong diantara material atau bahan yang merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume yang bernilai antara 0 dan 1 atau sebagai persentase antara 0-100%. Porositas bergantung pada jenis bahan, ukuran bahan, distribusi pori, sementasi, riwayat diagenetik dan komposisinya (Athy, 1930).

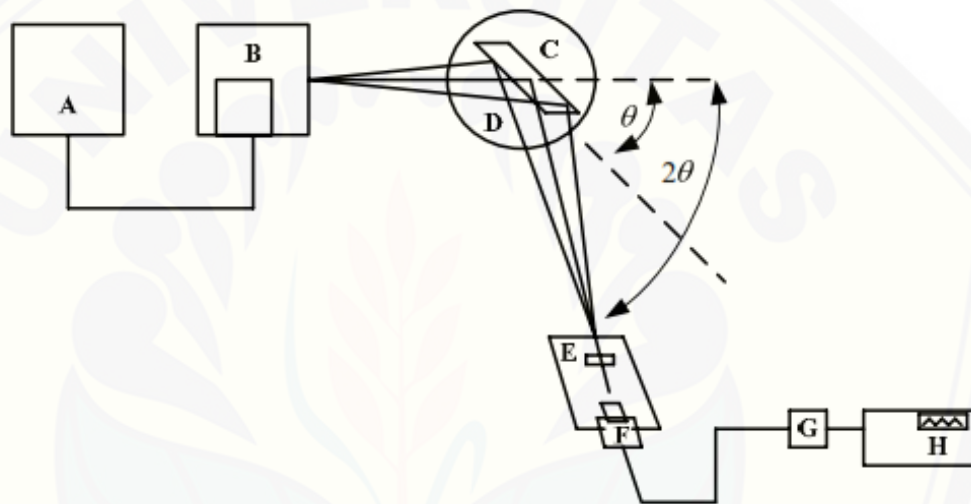
Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume ruang yang terdapat diantara serbuk yang berupa pori-pori keseluruhan (ruang diantara serbuk yang selalu terisi oleh fluida seperti, udara, minyak, atau gas bumi) terhadap volume serbuk secara keseluruhan (Das, 1990).

Porositas merupakan salah satu karakteristik fisis yang diperlukan terutama untuk mengkararakteristik fisis yang diperlukan terutama untuk mengkarakterisasi bahan padatan hasil proses maupun yang akan diproses kembali. Sifat porositas bahan saling mempengaruhi dan dipengaruhi oleh besaran fisis yang lain maupun sifat termalnya, misalnya bahan yang porous akan mempunyai nilai kerapatan yang rendah, luas permukaan yang lebih besar, konduktivitas panas yang rendah. Secara umum porositas digambarkan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume teoritis. Volume teoritis ditentukan dari berat dan rapat teoritisnya. Porositas muncul karena adanya pori yang terbuka, tertutup maupun ruang antar partikel. Pori terbuka adalah pori yang berhubungan dengan cairan disekitarnya atau pori yang saling berhubungan termasuk didalamnya ada kapiler, retakan retakan halus serta ketidakrataan (Schon, 1996).

#### 2.10.2 XRD (*X-Ray Diffraction*)

*X-Ray Diffractometer* adalah alat yang dapat memberikan data-data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi ( $2\theta$ ) 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 focus hamburan sinar-X yaitu tepat ditengah-tengah plate yang digunakan sebagai tempat yaitu sebuah plat tipis yang berlubang ditengah berukuran sesuai dengan spesimen (*pellet*) dengan perekat pada sisi baliknya (Widodo, 2009). Pada gambar 2.15 di bawah ini menunjukkan skema alat uji XRD.



Gambar 2.13 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  $2\theta$  maka alat pencacah berputar sebesar  $\theta$ .
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 Standard* (JCPDS) atau dengan hanawalt (Widodo, 2009).



## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji karakterisasi dari variasi penambahan Mg, Sr dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada komposit ADC12/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### 3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu: pembuatan dan pengujian komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan dan Laboratorium Uji Material, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Waktu penelitian dimulai dari 18 April 2017 sampai dengan selesai.

### 3.3 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini terdapat beberapa alat dan bahan serta alat K3 yang digunakan selama proses penelitian. Beberapa peralatan yang digunakan terdapat pada sub bab dibawah ini.

#### 3.3.1 Alat

A. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:

- 1) Tungku peleburan
- 2) Gas argon
- 3) Cetakan specimen
- 4) Bak Pasir
- 5) Ampelas
- 6) Crucible kapasitas 2 Kg
- 7) Timbangan digital
- 8) Gergaji
- 9) Sendok

B. Peralatan yang digunakan untuk pengujian komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:

- 1) Alat uji tarik
- 2) Jangka sorong
- 3) *Hardness Tester TH120B*
- 4) Mesin Poles
- 5) Mikroskop
- 6) *Universal Testing Machine*

### C. Peralatan K3

- 1) Penutup Wajah
- 2) Sarung tangan
- 3) Apron
- 4) Sepatu

### 3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada pembuatan komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> :

- a) ADC12 (Al-12Si)
- b) Mg ingot
- c) Eterset Resin
- d) serbuk nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> size 135 nm
- e) Al-15Sr

## 3.4 Variabel Penelitian

### 3.1.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini antara lain, fraksi berat Mg yaitu 4%, 8%, fraksi berat Sr yaitu 0.01%, 0.03% dan fraksi berat nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 0.5%, 1.5%, 2.5%

### 3.1.2 Variabel tetap

Variabel tetap adalah variabel yang besar nilainya tetap selama penelitian. Pada penelitian ini yang dijadikan variabel tetap adalah Suhu *furnace* 800°C, *stirring speed* 450 rpm, waktu *stirring* 30-45 detik, dan *degassing* dengan gas argon dengan waktu 30-45 detik.

### 3.1.3 Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya ditentukan berdasarkan variabel bebas. Pada penelitian ini yang dijadikan variabel terikat adalah pengujian komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, melalui pengujian uji tarik, uji kekerasan, pengujian morfologi, dan pengujian densitas-porositas.

### 3.5 Proses Pembuatan Komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Dalam proses pembuatan komposit ADC12-Mg/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ini dilakukan dengan metode *stir casting*. Proses pertama yang dilakukan adalah menentukan berat ADC12 berdasarkan variabel bebas yakni berat Mg 4%, 8%, Sr 0.01%, 0.03% dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.5%, 1.5%, 2.5%. Langkah-langkah dalam pembuatan komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah sebagai berikut:

#### 3.5.1 Preparasi Spesimen

- a. Menimbang ADC12.
- b. Menimbang berat Mg 4%, 8%, Sr 0.01%, 0.03% dan fraksi berat nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.5%, 1.5%, 2.5%.
- c. Kowi atau *Crucible* dilakukan *coating* dengan mortar.
- d. Pemanasan seluruh peralatan untuk menghilangkan kandungan air.

#### 3.5.2 Proses *Stir Casting*

- a. Memasukkan ADC12 kedalam kowi yang suhunya terus ditingkatkan hingga 800°C.
- b. Penambahan Mg dalam leburan ADC12
- c. Penambahan Sr dalam leburan ADC12-Mg
- d. Penambahan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam leburan ADC12-Mg-Sr.
- e. Setelah nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dimasukkan, tunggu 10-30 menit kemudian *stirrer* dihidupkan dengan kecepatan 450 rpm dengan waktu *stirring* 30-45 detik.
- f. Melakukan *degassing* dengan gas argon dengan cara memasukkan gas argon ke dalam lelehan menggunakan pipa stainless selama 30-45 detik. Yang bertujuan untuk menghilangkan gas hidrogen dan oksigen agar tidak terjebak di dalam coran yang mengakibatkan porositas.
- g. Menuangkan spesimen kedalam cetakan, dimana cetakan telah dipanaskan 300°C.
- h. Setelah logam membeku logam dikeluarkan dari cetakannya.

- i. Pengujian karakteristik kekuatan tarik, kekerasan, pengamatan struktur mikro menggunakan *optical microscope*, Pengamatan dengan SEM-EDX, pengujian densitas-porositas, dan mengidentifikasi senyawa menggunakan XRD.

### 3.6 Pengujian Mekanik

#### 3.6.1 Uji Kekerasan

Uji kekerasan pada komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ini dilakukan menggunakan uji kekerasan rockwell B standart ASTM E 110-82 yaitu standar metode pengujian indentasi bahan-bahan metalik dengan mesin uji kekerasan *portable*. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian uji tarik antara lain sebagai berikut:

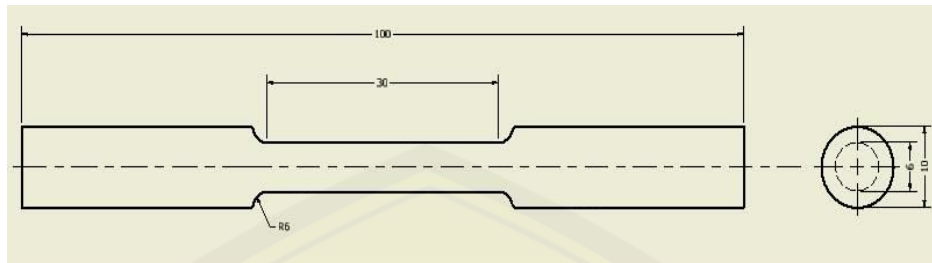
1. Persiapan spesimen sesuai pengujian kekerasan rockwell B ASTM E 110-82.
2. Memasang material pada alat uji kekerasan rockwell B.
3. Melakukan pengujian dengan mesin uji kekerasan rockwell B.
4. Mencatat hasil yang dikeluarkan oleh mesin uji kekerasan rockwell B.

#### 3.6.2 Uji Tarik

Uji tarik pada komposit ADC12-Mg-Sr/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ini dilakukan menggunakan standart ASTM B 557. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian uji tarik antara lain sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen 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 3.1 Spesimen uji tarik ASTM B557

### 3.7 Pengamatan Metalografi

#### 3.7.1 Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ini dilakukan menggunakan Mikroskop. Adapun tahapan pelaksanaan pengamatan antara lain sebagai berikut:

Proses pengujian dimulai dengan pemotongan bahan, kemudian *dimounting* dengan menggunakan eterset resin, lalu dilakukan pengamplasan di mulai dengan ampas dengan kehalusan 400, 1000, 1500, dan 2000. Kemudian dilakukan pemolesan dengan menggunakan kain bludru dan pada permukaannya diberi autosol. Kemudian dilakukan proses etsa, dimana untuk proses etsa bahan Al-Si-Mg sesuai ASTM E407-07, etsa menggunakan campuran 12.5 ml HNO<sub>3</sub>, 2.5 ml HF dan 85 ml air. Lama proses etsa adalah 10 detik. Kemudian spesimen diletakkan pada mikroskop dan dilakukan pengambilan data yang diperlukan.

#### 3.7.2 SEM (*Scanning electron microscopy*)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah mikroskop elektron yang digunakan untuk studi langsung permukaan benda padat dan memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikroskop optik. Ketika sebuah berkas elektron berinteraksi dengan atom di dalam sampel, elektron secara individu menjalani dua jenis hamburan yaitu elastis dan inelastis. *Back-Scattered electrons* (BSE) adalah jenis hamburan elastis, sedangkan *Secondary Electrons* (SE) adalah jenis hamburan *filament*.

Sampel permukaan yang telah dipersiapkan sebelumnya dimasukkan ke dalam *sample chamber*, kemudian ditutup dan menunggu kondisi filament siap (dinaikkan dayanya perlahan-lahan) selama kurang lebih 20 menit. Setelah mesin siap kemudian ditembakkan SE sebanyak 3 kali di tempat yang sama dengan perbesaran berbeda. Lalu BSE ditembakkan sebanyak 3 kali di tempat yang sama dengan perbesaran berbeda, dan terakhir di cek komposisi menggunakan EDAX. Pada gambar 3.2 di bawah ini merupakan mesin SEM-EDX yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.2 Mesin SEM / EDX

### 3.8 Pengujian Physical Material

#### 3.8.1 Uji Densitas-Porositas

Pengujian densitas dan porositas dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM C 373-88 yang mengacu pada hukum Archimedes (Singla, 2009). Tahapan pengujian densitas dan porositas adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan sampel yang akan diuji
- b. Menyiapkan timbangan, beaker glass 1000 ml, benang dan aquadest
- c. Menimbang berat kering sampel dengan terlebih dahulu
- d. Menimbang berat sampel dalam air, dengan cara memasukkan sampel yang digantung dengan benang ke dalam air sampai seluruh permukaan tercelup di dalam air
- e. Mencatat berat sampel dalam air kemudian menghitung berat sampel
- f. Menghitung desitas sampel hasil percobaan menggunakan rumus :

$$\rho_m = \left( \frac{w_{di\ udara}}{w_{di\ udara} - w_{di\ fluida}} \right) \times \rho_{fluida} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana,

$\rho_m = \text{densitas aktual (gram/Cm}^3\text{)}$

$w_{di\ udara} = \text{massa di udara (gram)}$

$w_{di\ fluida} = \text{massa di dalam fluida (gram)}$

$\rho_{fluida} = \text{densitas fluida (gram/Cm}^3\text{)}$

- g. Menghitung densitas teoritis sampel menggunakan rumus :

$$\rho_{komposit} = (\%ADC12 \times \rho_{ADC12}) + (\%Sr \times \rho_{Sr}) + (\%Mg \times \rho_{Mg}) + (\%nano - Al_2O_3 \times \rho_{nano-Al_2O_3}) \dots \dots \dots (2)$$

- h. Menghitung nilai porositas sampel hasil percobaan dengan menggunakan rumus :

$$\%Porositas = \left( \frac{\rho_{teoritis} - \rho_{aktual}}{\rho_{teoritis}} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Dimana,

$\rho_{teoritis} = \text{densitas teoritis (gram/Cm}^3\text{)}$

$\rho_{aktual} = \text{densitas aktual (gram/Cm}^3\text{)}$



### 3.8.2 XRD (*X-Ray Diffraction*)

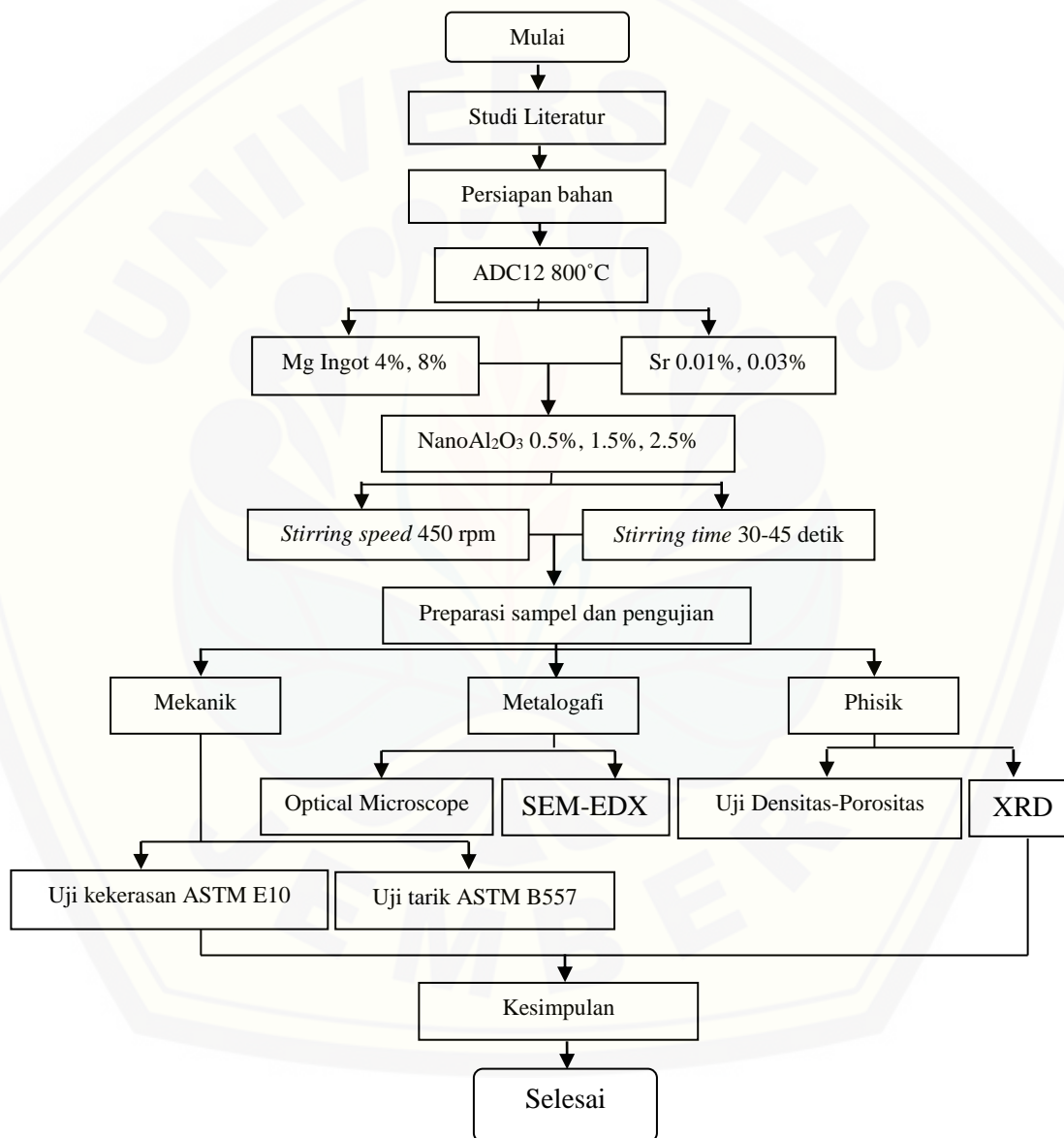
Pengujian *x-ray diffraction* (XRD) menggunakan konsep pemantulan dari sinar-x yang dipancarkan. Pantulan-pantulan pada sudut tertentu dapat digunakan sebagai identifikasi dari senyawa yang terbentuk pada suatu material. Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui fasa-fasa yang terdapat pada komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pada gambar 3.3 di bawah ini menunjukkan mesin XRD yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.3 Mesin XRD

### 3.9 Diagram Alir

Dilihat pada gambar 3.4, penelitian ini dimulai dari studi literatur, persiapan bahan, proses pembuatan komposit. Kemudian spesimen dipersiapkan untuk pengujian tarik, kekerasan, struktur mikro, SEM-EDX, pengujian densitas-porositas, dan identifikasi senyawa menggunakan XRD.



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekerasan tertinggi didapat pada pada variasi ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan nilai kekerasan sebesar 78.92 HRB..
2. Dengan variasi ADC12-4Mg-0.01Sr/0.5nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki nilai UTS tertinggi sebesar 169,01 MPa.
3. Semakin meningkatnya variasi Mg, Sr, dan nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> maka konsentrasi senyawa Mg<sub>2</sub>Si semakin berkurang.
4. Pengamatan dengan menggunakan SEM-EDX telah menyatakan fasa matriks, fasa penguat dan fasa interphase (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) yang terjadi pada komposit ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
5. Semakin meningkatnya variasi Mg, Sr, dan nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> maka semakin meningkatnya persentase porositas yang terdapat pada komposit ADC12-Mg-Sr/nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
6. Fase metal oksida terbentuk di daerah *interface* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sebagai akibat dari reaksi antara matriks, *reinforce* dan sekitarnya akan meningkatkan pembasahan matriks dengan *reinforce*.

### 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. Perlu dikakukan penambahan waktu untuk *degassing* untuk meminimalisir persentase porositas .
2. Perlu dilakukan pengembangan dengan melakukan perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Athy, L. (1930). Density, porosity and compaction of sedimentary rocks. 1-24.
- Auerkari, P. (1996). *Mechanical and Physical Properties of Engineering Alumina Ceramics*. Meddenladen: VTT Tiedotteita.
- Baker, H. (2004). *ASM Handbook Vol. 03 : Alloy Phase Diagrams*. ASM International.
- Brown, J. R. (1994). *Foseco non-ferous foundryman's handbook*. Oxford: Butterworth.
- Byeon, H. L. (2016). Role Of Mg In Simultaneously Improving The Strength And Ductility Of Al-Mg Alloys. *Material Science & Engineering*.
- Callister, J. W. (2001). *Fundamental of Materials Science and Engoneering, Departement of Metallurgical Engineering*. New York: Jhon Wiley & Son. inc.
- Callister, J. W. (2007). *Materials Science and Engineering an Introduction*. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Cawla, N. (2006). Metal Matrix Composite. *Springer*, 3.
- Chung, D. (2010). Composite Materials, Science and Application. *Springer*.
- Das, B. (1990). *Principles of Foundation Engineering*. Boston: PWS Kent Publishing Company.
- Davis, K. (2010). Material review : Alumina ( $Al_2O_3$ ) . *School of Doctoral Studies (European Union) Journal*, 109-114.
- Erhard, O. (2002). Development of Al-Si-Mg Alloys for Semi-Solid Processing and Silicon Spheroidization Treatment (SST) for Al-Si Cast Alloys.
- Gibson, R. (1993). *Principles Composite Material Mechanics 2nd edision* . New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Jenifer Barrirero, M. E. (2014). Comparison of segregations formed in unmodified and Sr-modified Al-Si alloys studied by atom probe tomography and transmission electron microscopy . *Journal Of Alloy And Compounds*, 39.
- Jewwet, S. (2009). *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- 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 ( $Al/Al_2O_3$ ) dengan proses primex*

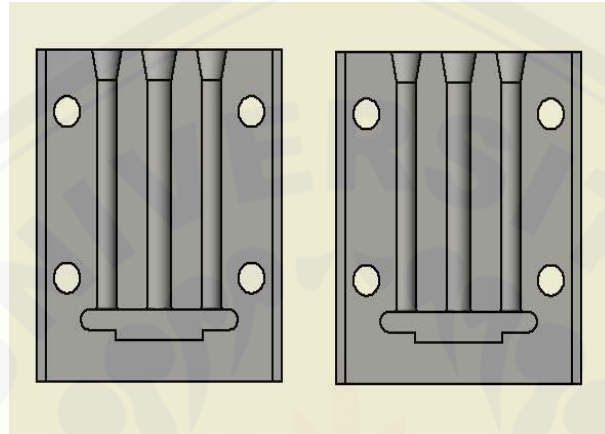
- (infiltrasi tanpa tekanan). Depok: Teknik Metalurgi fakultas teknik universitas indonesia.
- Kainer, K. (2003). *Metal Matrix Composites. Custom Made Materials for Automotive and Aerospace Engineering*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. .
- Kainer, K. U. (2006). *Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Kok, M. (2005). Production and Mechanical Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particle-Reinforced 2024 Aluminium Alloy Composites. *J Material Processing Technology 161*, 381-387.
- Mikell, P. G. (2010). *Fundamental Of Modern Manufacturing*.
- Muzakki Sholihuddin M., H. P. (2013). Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Paduan Al-Mg Hasil Proses Metalurgi Serbuk. *Jurnal Teknik POMITS*.
- Pai, B. (1995). Role of Magnesium in Cast Aluminium Alloy Matrix Composites. *Journal of Materials Science 30*, 1903-1911.
- Reddy, R. (2003). Processing of Nanoscale Materials. *Reviews on Advance Materials*, 121-133.
- Ron Cobden, A. B. (1994). *Aluminium: Physical Properties, Characteristics and Alloys* . EAA - European Aluminium Association .
- Sajjadi, S. (2011). Microstructure and mechanical properties of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> micro and nano composites. *Materials Science and Engineering*.
- Schon, J. (1996). *Physical Properties of Rock*. Austria: Institute of Applied Geophysics Leoben.
- Schultz, B. (2011). Microstructure and Hardness of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticle Reinforced Al – Mg Composites Fabricated by Reactive Wetting and Stir Mixing. *Materials Science and Engineering A 530*, 87-97.
- Schultz, B., Furguson, J., & Ruhotgi, P. (2011). Microstructure and Hardness of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticle Reinforced Al – Mg Composites Fabricated by Reactive Wetting and Stir Mixing. *Materials Science and Engineering*, 87-97.
- Shaw, L. (2004). Compressive Behavior of an Extruded Nanocrystalline Al-FeCr-Ti Alloy. *Scripta Materialia*, 921-925.
- Suharno, B. (2011). *Diktat Kuliah Pembentukan Logam 2011/2012*. Depok: Jurusan Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.

- Sujatno, A. (2015). STUDI SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) UNTUK KARAKTERISASI PROSES OXIDASI PADUAN ZIRKONIUM. *Jurnal Forum Nuklir*, 45-46.
- Stefanescu, D. M. (1988). *ASM Handbook Vol. 15 : Casting*. ASM Internasional.
- Tata Surdia, S. S. (2000). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Thünemann, M. (2007). Aluminum Matrix Composites Based on Pre ceramic-polymer-bonded SiC Preforms. *Composites Science and Technology*, 2377-2383.
- Widodo, S. (2009). Proses Sintesa dan Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) Hidroksiapatit dari Bulk Gypsum Alam Cikalong dengan Bejana Tekan.
- Yuwono, A. H. (2009). *Buku panduan karakterisasi material 1 pengujian merusak (destructive test)*. Depok: Departemen metallurgi dan material fakultas teknik universitas indonesia.
- Zhiqiang, Y. (2005). Effect of coating Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Reinforcing Particle on th Interface and Mechanical Properties of 6061 Alloy Aluminium Matrix Composites. *Materials Letters* 59, 2281-2284.

## LAMPIRAN

Lampiran A. Contoh perhitungan prosentase pencampuran specimen

Cetakan Spesimen



Volume cetakan diasumsikan 250 gram

Contoh perhitungan variasi berat komposit ADC12-Mg-Sr/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Variasi 1 dengan fraksi berat Sr 0,01%, Mg 4%, 0,5% dan ADC12 95,49%

$$\begin{aligned}\text{Berat Sr} &= \frac{0,01}{100} \times 250 \text{ gram} \\ &= 0,075 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Mg} &= \frac{4}{100} \times 250 \text{ gram} \\ &= 10 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat nano-Al}_2\text{O}_3 &= \frac{0,5}{100} \times 250 \text{ gram} \\ &= 1,25 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat ADC12} &= \frac{95,49}{100} \times 250 \text{ gram} \\ &= 238,75 \text{ gram}\end{aligned}$$

Catatan : Untuk perhitungan variasi lain sama dengan contoh di atas

| Variasi  | Massa ADC 12 | Massa Mg | Massa Sr   | Massa Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|--|--------------|----------|------------|--------------------------------------|
| ADC12-4Mg-0.01Sr/0.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 238,72 gram  | 10 gram  | 0,025 gram | 1,25 gram                            |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/1.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 236,22 gram  | 10 gram  | 0,025 gram | 3,75 gram                            |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/2.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 233,72 gram  | 10 gram  | 0,025 gram | 6,25 gram                            |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/0.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 228,67 gram  | 20 gram  | 0,075 gram | 1,25 gram                            |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/1.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 226,22 gram  | 20 gram  | 0,075 gram | 3,75 gram                            |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 223,67 gram  | 20 gram  | 0,075 gram | 6,25 gram                            |

Lampiran B.

Spesifikasi ADC12

Program: AL-ALDC12.1 = ADC 12 %  
 Comment: AL-ALDC12.1 = ADC 12 %  
 Single spark(s)

06/15/2017 09:26:33 AM  
 115136/02  
 Elements: Concentration

Sample No: PT. PINJAYA LOGAM  
 Sample ID: No. Lot : 01/150517-F1-1-5  
 Quality: No Po : 087/IEP/V/17


| No | Si     | Fe   | Cu   | Mn    | Mg    | Zn   | Ni    |
|----|--------|------|------|-------|-------|------|-------|
|    | %      | %    | %    | %     | %     | %    | %     |
| 1  | 10.669 | 0.81 | 1.86 | 0.151 | 0.269 | 0.82 | 0.069 |
| 2  | 10.698 | 0.81 | 1.85 | 0.151 | 0.271 | 0.81 | 0.069 |

| No | Cr    | Pb    | Sn    | Ti    | Be      | Ca    | Na      |
|----|-------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|
|    | %     | %     | %     | %     | %       | %     | %       |
| 1  | 0.033 | 0.044 | 0.014 | 0.037 | < 0.001 | 0.008 | < 0.001 |
| 2  | 0.034 | 0.043 | 0.015 | 0.039 | < 0.001 | 0.008 | < 0.001 |

| No | Sb    | Sr    | Al     |
|----|-------|-------|--------|
|    | %     | %     | %      |
| 1  | 0.012 | 0.000 | 85.201 |
| 2  | 0.013 | 0.000 | 85.179 |





Lampiran C.

Perhitungan kekuatan tarik

| Spesimen   | Diameter (mm) | Luas Area (mm <sup>2</sup> ) | Max Force (N) | UTS (N/mm <sup>2</sup> ) | Rata-Rata UTS (N/mm <sup>2</sup> ) | Elongasi (%) | Rata-Rata Elongasi (%) |
|--|---------------|------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------------------|--------------|------------------------|
| ADC 12   | 6,00          | 28,26                        | 4864,33       | 172,13                   | 167,57                             | 3,34%        | 3,44%                  |
|  | 6,04          | 28,64                        | 4603,26       | 160,74                   |                                    | 3,51%        |                        |
|  | 6,02          | 28,45                        | 4831,40       | 169,83                   |                                    | 3,47%        |                        |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/0.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,02          | 28,45                        | 4864,33       | 170,99                   | 169,01                             | 5,68%        | 7,08%                  |
|  | 5,85          | 26,86                        | 4407,26       | 164,05                   |                                    | 8,83%        |                        |
|  | 6,00          | 28,26                        | 4860,80       | 172,00                   |                                    | 6,73%        |                        |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/1.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,00          | 28,26                        | 4711,15       | 166,71                   | 164,70                             | 5,63%        | 5,14%                  |
|  | 6,02          | 28,45                        | 4505,65       | 158,38                   |                                    | 5,43%        |                        |
|  | 6,00          | 28,26                        | 4776,42       | 169,02                   |                                    | 4,37%        |                        |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/2.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,00          | 28,26                        | 4564,25       | 161,51                   | 159,34                             | 4,52%        | 4,06%                  |
|  | 6,00          | 28,26                        | 4817,78       | 170,48                   |                                    | 3,91%        |                        |
|  | 6,02          | 28,45                        | 4154,61       | 146,04                   |                                    | 3,76%        |                        |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/0.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,04          | 28,64                        | 4554,94       | 159,05                   | 163,53                             | 6,88%        | 5,71%                  |
|  | 6,00          | 28,26                        | 4702,53       | 166,40                   |                                    | 5,68%        |                        |
|  | 6,02          | 28,45                        | 4697,83       | 165,13                   |                                    | 4,58%        |                        |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/0.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,02          | 28,45                        | 4099,05       | 144,09                   | 155,31                             | 4,09%        | 5,10%                  |
|  | 6,00          | 28,26                        | 4619,23       | 163,45                   |                                    | 5,37%        |                        |
|  | 6,00          | 28,26                        | 4476,44       | 158,40                   |                                    | 5,83%        |                        |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/0.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,02          | 28,45                        | 4287,01       | 150,69                   | 150,63                             | 2,86%        | 4,27%                  |
|  | 6,00          | 28,26                        | 4016,92       | 142,14                   |                                    | 4,99%        |                        |
|  | 6,04          | 28,64                        | 4554,65       | 159,04                   |                                    | 4,96%        |                        |

## Lampiran D

### Perhitungan kekerasan

| Spesimen   | Nilai Kekerasan Tiap Indentasi (HRB) |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Rata Rata Kekerasan (HRB) |
|--|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------|
|  |                                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                           |
| ADC12  | 40,2                                 | 40,6 | 39,7 | 39,8 | 39,7 | 40,8 | 40,0 | 39,2 | 39,7 | 40,0 | 40,0                      |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/0.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 67,6                                 | 57,6 | 65,5 | 51,3 | 62,5 | 62,8 | 69,0 | 61,6 | 53,9 | 58,7 | 61,05                     |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/1.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 71,9                                 | 70,4 | 61,5 | 68,1 | 75,4 | 68,3 | 62,6 | 62,9 | 62,4 | 63,9 | 66,74                     |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/2.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 77,7                                 | 77,6 | 78,3 | 80,5 | 78,1 | 69,5 | 68,2 | 68,1 | 68,8 | 79,2 | 74,6                      |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/0.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 61,9                                 | 61,4 | 63,4 | 63,9 | 72,1 | 73,7 | 65,1 | 65,9 | 69,8 | 60,0 | 65,72                     |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/1.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 69,1                                 | 72,9 | 73,7 | 70,4 | 63,4 | 63,8 | 63,9 | 74,8 | 65,8 | 69,5 | 68,73                     |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 79,0                                 | 81,4 | 76,0 | 80,6 | 76,9 | 79,0 | 77,9 | 79,5 | 78,5 | 80,4 | 78,92                     |

## Lampiran E

### Perhitungan Densitas-Porositas

| Spesimen   | Massa di udara (gram) | Massa di air (gram) | Densitas Teoritis (gram/cm <sup>3</sup> ) | Densitas Aktual (gram/cm <sup>3</sup> ) | % Porositas |
|--|-----------------------|---------------------|---|---|-------------|
| ADC12  | 18,54                 | 11,58               | 2,700                                     | 2,663                                   | 1,37%       |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/0.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,85                 | 10,48               | 2,695                                     | 2,645                                   | 1,85%       |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/1.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,4                  | 12,52               | 2,635                                     | 2,588                                   | 1,78%       |
| ADC12-4Mg-0.01Sr/2.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18,71                 | 11,33               | 2,617                                     | 2,535                                   | 3,13%       |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/0.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,76                 | 11                  | 2,656                                     | 2,627                                   | 1,09%       |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/1.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18,88                 | 11,23               | 2,505                                     | 2,467                                   | 1,51%       |
| ADC12-8Mg-0.03Sr/2.5% nanoAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 19,6                  | 11,54               | 2,487                                     | 2,431                                   | 2,25%       |

Lampiran E. Alat dan bahan



Dapur pengecoran



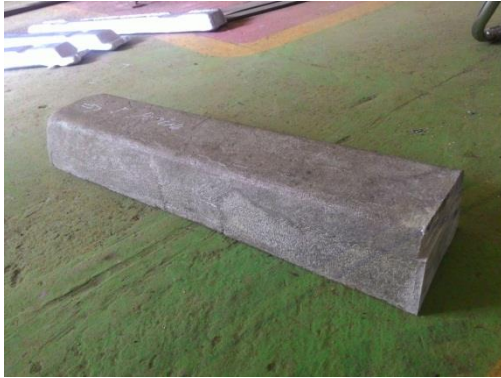
sarung tangan



Al-15Sr



ADC12



Magnesium



crucible



Hacksaw Machine



cetakan spesimen



Gas Argon



Timbangan digital



Pengaman Wajah



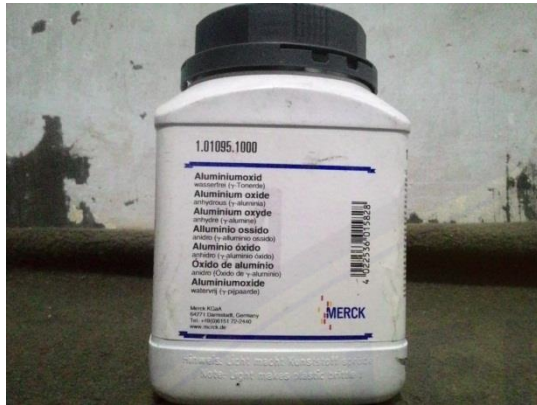
Alat Uji Tarik



Alat Uji kekerasan



Mikroskop



Serbuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$

