



**PENGARUH SOLUTION TREATMENT TERHADAP KARAKTERISASI
KOMPOSIT ADC12-Mg-Sr/nano Al₂O₃**

SKRIPSI

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

Oleh :

Andi Kurniawan

131910101030

**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, Ummi Mistiyani, Abah Satoyan, Mbakku Finda, adikku Naufal , atas semua kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, bantuan, motivasi, didikan dan bimbingan yang tulus dan tidak pernah putus.
2. Istri tercinta Ervin nur khalizah yang selalu memberi semangat baik moral, motivasi, serta doa yang selalu dipanjatkan buat penulis.
3. Semua dosen dan staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
4. Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya, Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Dr. Salahudin junus, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota dan dosen pembimbing akademik, Bapak Sumarji, S.T., M.T selaku dosen penguji I, Bapak Aris zainul muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen penguji II, serta Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Material Research Group.
5. Anggota MRG 3 yang tiada henti memberikan semangat untuk mengerjakan penelitian ini.
6. Seluruh guruku dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dan mengarahkan pada kebaikan.
7. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Jika kamu bersungguh-sungguh, kesungguhan itu untuk kebaikanmu sendiri.”

(Terjemahan Surat Al- Ankabut ayat 6)

...Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.

(Al-Baqarah ayat 216)

Sopo seng manut mesti bakal katut.

(K.H Anwar Zahid)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama :Andi Kurniawan

NIM : 131910101030

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “ Pengaruh” 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, 2017

Yang menyatakan,

(Andi Kurniawan)

NIM 131910101030

SKRIPSI

**PENGARUH SOLUTION TREATMENT TERHADAP KARAKTERISASI
KOMPOSIT ADC12-Mg-Sr/nano Al₂O₃**

Oleh

Andi Kurniawan

NIM 131910101030

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Santoso Mulyadi, S.T., M.T

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “PENGARUH SOLUTION TREATMENT TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT ADC12/nano Al₂O₃” telah diuji dan disahkan pada:
hari, tanggal : 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

NIP. 19700228 199702 1 001

Dr. Salahudin junus, S.T., M.T.

NIP. 19751006 200212 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Sumarji, S.T., M.T

NIP. 19680202 199702 1 001

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

NIP. 19681207 199512 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.

NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Solution Treatment Terhadap Karakterisasi Komposit ADC12-Mg-Sr/nano-Al₂O₃ Dengan Metode *Stir Casting*; Andi Kurniawan., 131910101030; 2017: xxhalaman; 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 (Al₂O₃) digunakan sebagai partikel penguat pada komposit matriks logam karena memiliki stabilitas termal dan kekerasan yang baik serta modulus Young yang tinggi. Komposit aluminium membutuhkan waktu *aging* yang tepat untuk memperoleh sifat mekanis yang optimum melalui proses pengerasan endapan.

Pada penelitian ini, komposit aluminium paduan ADC12 yang diperkuat partikel alumina (Al₂O₃) yang dibuat melalui proses *stir casting* diberi perlakuan T6 dengan waktu *solution* selama 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 8 jam pada temperatur 540°C. Dilakukan pengujian sifat mekanis berupa uji tarik, uji kekerasan, serta pengamatan struktur mikro SEM dan XRD.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu *solution treatment* yang optimum untuk komposit aluminium adalah selama 8 jam pada temperatur 540°C. Nilai kekerasan menurun bila dibandingkan dengan ADC12/nanoAl₂O₃ *as-cast* saat perlakuan T6 diberikan dan kekerasan tertinggi pada saat 8 jam bila dibandingkan dengan ADC12/nanoAl₂O₃ *as-cast* tanpa perlakuan panas dengan nilai kekerasan 81.96 HRB. Nilai kekuatan tarik menurun bila dibandingkan dengan komposit ADC12/nanoAl₂O₃ *as-cast* akibat pembentukan *void* pada antarmuka saat perlakuan T6 diberikan dan kekuatan tertinggi pada saat 6 dan 8 jam bila dibandingkan dengan komposit *as-cast* tanpa perlakuan dengan nilai kekuatan tarik 153.02 Mpa dan 179.22 Mpa.

SUMMARY

Effect of Solution Treatment on Composite Characterization of ADC12-Mg-Sr / nano-Al₂O₃ With Stir Casting Method; Andi Kurniawan., 131910101030; 2017: xxpage; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Metal matrix composites generally use Aluminum metal (Al) as its matrix because of its low density, high processing, and high ductility. Alumina (Al₂O₃) is used as a reinforcing particle in a metal matrix composite because it has good thermal stability and hardness as well as a high Young modulus. The aluminum composite takes the right aging time to obtain optimum mechanical properties through a sediment precipitation process.

In this study, aluminum alloy aluminum alloy aluminum alloy aluminum alloy (Al₂O₃) made by stir casting process was treated with T6 solution with solution time of 2 hours, 4 hours, 6 hours, and 8 hours at 540 ° C. Testing of mechanical properties in the form of tensile test, hardness test, and observation of SEM and XRD microstructure.

The results showed that the optimum solution treatment time for aluminum composite was for 8 hours at 540 ° C. The hardness value decreased when compared with ADC12 / nanoAl₂O₃ as-cast when T6 treatment was administered and the highest hardness at 8 h when compared with the as-cast acetone ADC12 / nanoAl₂O₃ without heat treatment with a hardness value of 81.96 HRB. The value of tensile strength decreases when compared to the as-cast composite ADC12 / nanoAl₂O₃ due to the formation of voids at the interface when the T6 treatment is given and the highest strength at 6 and 8 hours when compared with the untreated as-cast composite with tensile strength value of 153.02 MPa and 179.22 Mpa.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “PENGARUH SOLUTION TREATMENT TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT ADC12/nano Al₂O₃”. 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 Satoyan dan Ibu Mistiyani 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. Adikku tersayang Naufal maulana firdaus, yang selalu memberi semangat baik moral, motivasi, serta do'a nya.
4. Istri tercinta Ervin nur khalizah yang selalu memberi semangat baik moral, motivasi, serta doa yang selalu dipanjatkan buat penulis.
5. Paguyuban jong Madura di jember yang telah memberi saya banyak ilmu tentang kepemimpinan dan dalam berorganisasi serta tretan-tretan Jong Madura yang sangat baik dan peduli terhadap sesama perantau dari Madura yang ada di jember
6. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Dr.Salahudin junus, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota dan dosen pembimbing akademik yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
7. Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Aris Zainul Muttaqin, 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;

8. Bapak Imam Sholahuddin. S.T., M.T selaku dosen pembimbing tim Material Research Group UNEJ yang selalu memberikan motivasi dan arahan yang lebih baik lagi;
9. Seluruh dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
10. Tretan-tretan sukses fii sabilillah Amin godel, Ipong, Ipeng, Agung, Oong, Ridwan, Fiki Yang selalu memberi semangat, dukungan, motivasi dan do'a-do'a yang selalu terucap;
11. Rekan tim skripsi MRG yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan sumber-sumber referensi;
12. Dulur teknik mesin 2013 semoga persaudaraan ini tetap terjaga hingga akhir waktu “ **SOLIDARITY FOREVER** “;
13. 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, 2 Februari 2017

Penulis

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium dan paduan aluminium mengalami kenaikan yang signifikan di bidang industri karena gabungan dari sifat mekanik, fisik, dan tribologinya yang melebihi dari sifat paduan dasar. Sifat-sifat yang didapat yakni, kekuatan yang tinggi, ketahanan aus yang tinggi, kekakuan yang tinggi, koefisien thermal yang dapat dikontrol dan kapasitas pembasahan (*damping*) yang lebih baik (Das S, 2008).

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

Pada paduan Aluminium Silikon (Al-Si), semakin banyak kandungan silikonnya maka semakin rendah koefisien thermalnya. Kandungan Si pada paduan Al-Si mempengaruhi tensilanya, terlebih apabila dengan tidak adanya elemen logam lainnya (Cu, Mg, dan Fe) (F. Stadler, 2012). Paduan Al-Si terbagi menjadi 3 kategori berdasarkan konsentrasi Si: *Hypoeutectic* (1,65-12,6% Si), *Eutectic* (12,6% Si), dan *Hypereutectic* (>12,6% Si). Konsentrasi Si mempengaruhi sifat mekanik dari paduan Al-Si, bertambahnya konsentrasi Si akan menambah waktu yang dibutuhkan dalam proses solidifikasi serta mengurangi temperatur fase liquidus.

Perlakuan panas merupakan proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan sehingga penentuan bahan logam yang tepat pada dasarnya merupakan kesepakatan antara berbagai sifat, lingkungan dan cara penggunaan hingga sampai dimana sifat bahan logam tersebut

dapat memenuhi syarat yang telah ditentukan. Sifat-sifat bahan logam perlu diketahui secara baik karena bahan logam tersebut dipakai pada berbagai kebutuhan dan dalam keadaan sesuai dengan fungsinya. Tetapi terkadang sifat-sifat bahan logam ternyata kurang memenuhi syarat sesuai dengan fungsi dan kegunaannya. Sehingga diperlukan suatu cara untuk dapat meningkatkan atau memperbaiki sifat-sifat logam. Sifat-sifat logam tersebut dapat ditingkatkan dengan salah satunya adalah perlakuan panas.

Komposit logam atau *Metal Matrix Composite*(MMC) merupakan material yang dibentuk dengan menggabungkan dua material atau lebih untuk memperoleh material baru yang mempunyai sifat mekanik yang lebih baik. MMC terdiri dari matriks dan reinforce, matriks dari MMC biasanya menggunakan logam lunak seperti aluminium, dan reinforce menggunakan material keramik berukuran mikro hingga nano seperti SiC, Al₂O₃, dsb. Semakin kecil ukuran partikel dari reinforce maka semakin kecil juga tingkat porositas dari MMC.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap material komposit ADC12/nanoAl₂O₃ dengan menggunakan metode stir casting. Penelitian ini juga akan mencari pengaruh solution treatment dan artificial aging terhadap karakteristik komposit ADC12/nano-Al₂O₃. Pengujian dalam penelitian ini meliputi uji tarik, uji kekerasan, pengamatan struktur mikro, pengamatan SEM-EDX dan identifikasi senyawa dengan XRD. Dari hasil penelitian ini diharapkan ada peningkatan sifat mekanik dari komposit ADC12/nano-Al₂O₃.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini akan dilakukan pembahasan berdasarkan latar belakang yaitu untuk mengetahui efek yang ditimbulkan dari perlakuan panas T6. Dengan variasi *Solution Treatment* pada suhu 540⁰C selama 2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam, terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro komposit ADC12/nano-Al₂O₃.

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tarik suatu komposit ADC12/nano- Al_2O_3
2. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 terhadap struktur mikro komposit ADC12/nano- Al_2O_3
3. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 terhadap XRD komposit ADC12/nano- Al_2O_3

1.3.2 Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tarik komposit ADC12/nano- Al_2O_3
2. Dapat mengetahui perlakuan panas T6 terhadap struktur mikro komposit ADC12/nano- Al_2O_3
3. Dapat mengetahui pengaruh perlakuan panas T6 terhadap XRD komposit ADC12/nano- Al_2O_3

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

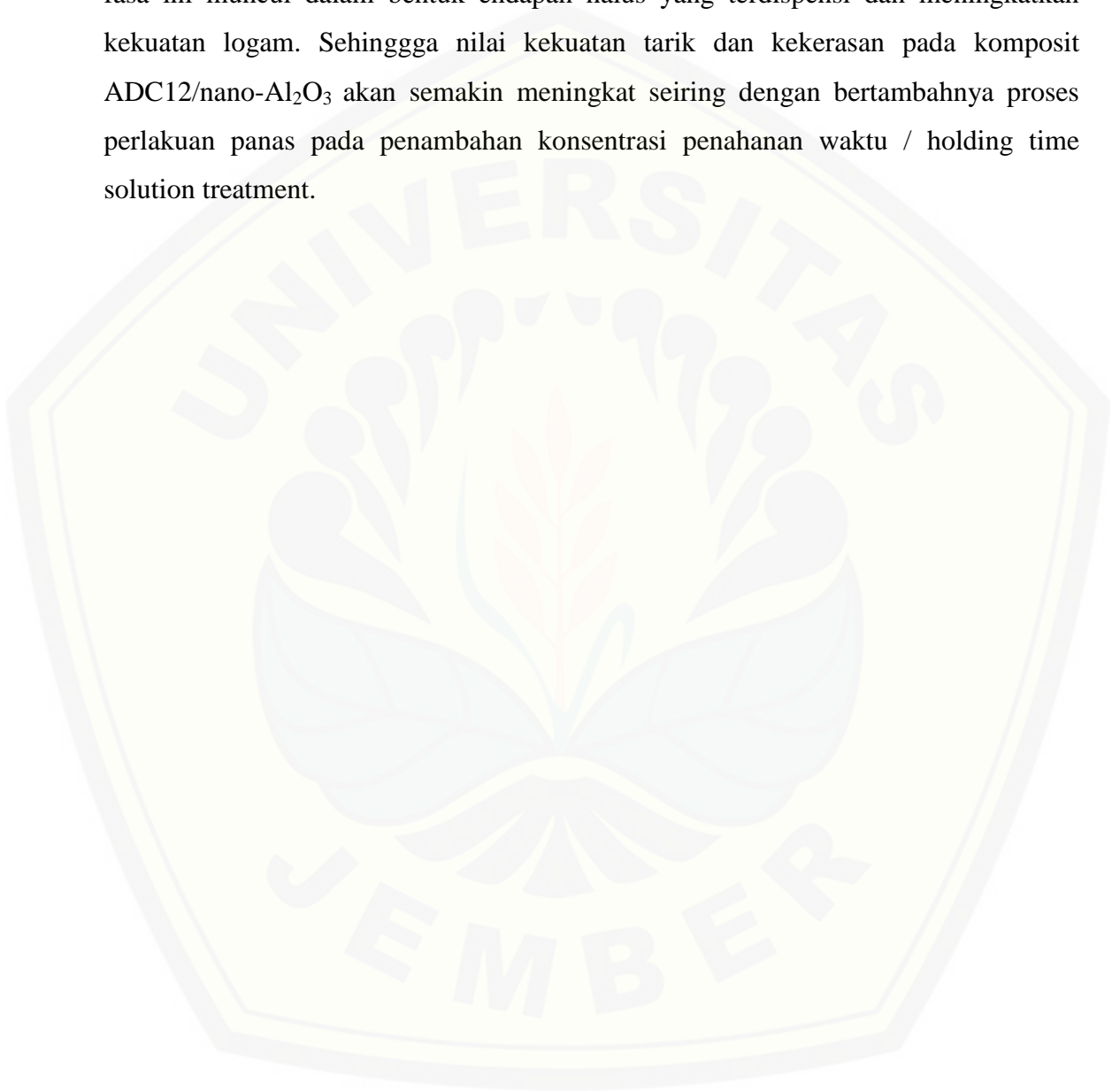
Ruang lingkup dan batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan ADC12/nano- Al_2O_3 dengan temperatur solution treatment 540°C .
2. Hasil pengecoran diasumsikan tidak ada cacat (defect)
3. *Solution Treatment* 540°C selama 2, 4, 6 dan 8 jam
4. Artificial Aging 185°C selama 4jam.

1.5 Hipotesis

Pernambahan *solution treatment* berperan melarutkan semua atom yang berada pada paduan aluminium untuk membentuk fasa tunggal (α), quenching atau pendinginan cepat tidak memungkinkannya adanya difusi, proses ini menghasilkan

larutan padat lewat jenuh, fasa yang setimbang adalah $\alpha + \beta$, namun fasa β sendiri tak sempat terbentuk. *Artificial Aging* dimana larutan padat lewat jenuh berbentuk fasa β , fasa ini muncul dalam bentuk endapan halus yang terdispersi dan meningkatkan kekuatan logam. Sehingga nilai kekuatan tarik dan kekerasan pada komposit ADC12/nano- Al_2O_3 akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya proses perlakuan panas pada penambahan konsentrasi penahanan waktu / holding time solution treatment.



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 ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium (Surdia, 2000).

Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam non ferro. Produksi aluminium tahunan di dunia mencapai 15 juta ton per tahun pada tahun 1981. Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam.

Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan

material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dsb. (prof.Tata Surdia Ms. Met. E. & Prof. DR. Shinroku Saito)

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 :

a. Ringan

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

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

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 (Al_2O_3) bila bereaksi dengan oksigen.

d. Konduktifitas panas tinggi

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

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. Tidak beracun

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.

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 $2,7 \text{ g/cm}^3$, densitas $2,685 \text{ kg/m}^3$, dan titik leburnya pada suhu 660°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 :

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, 1991).

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, 1991).

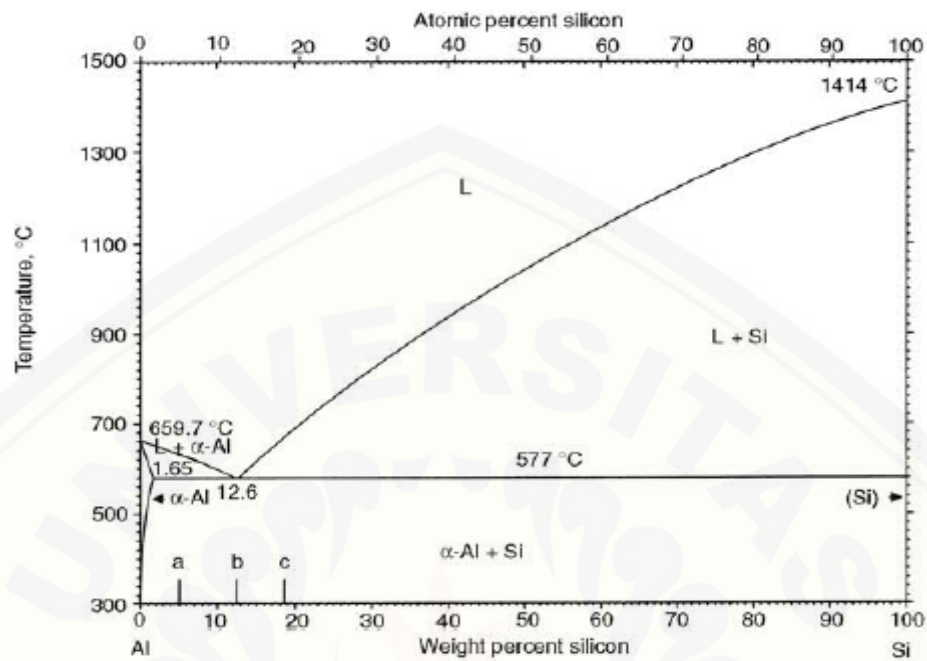
c. Paduan aluminium – magnesium.

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, 1991).

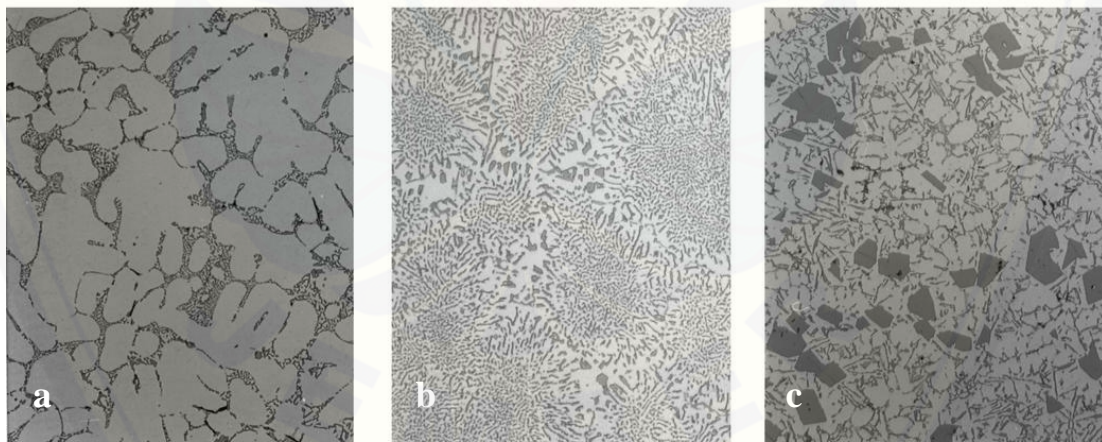
d. Paduan aluminium tahan panas.

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

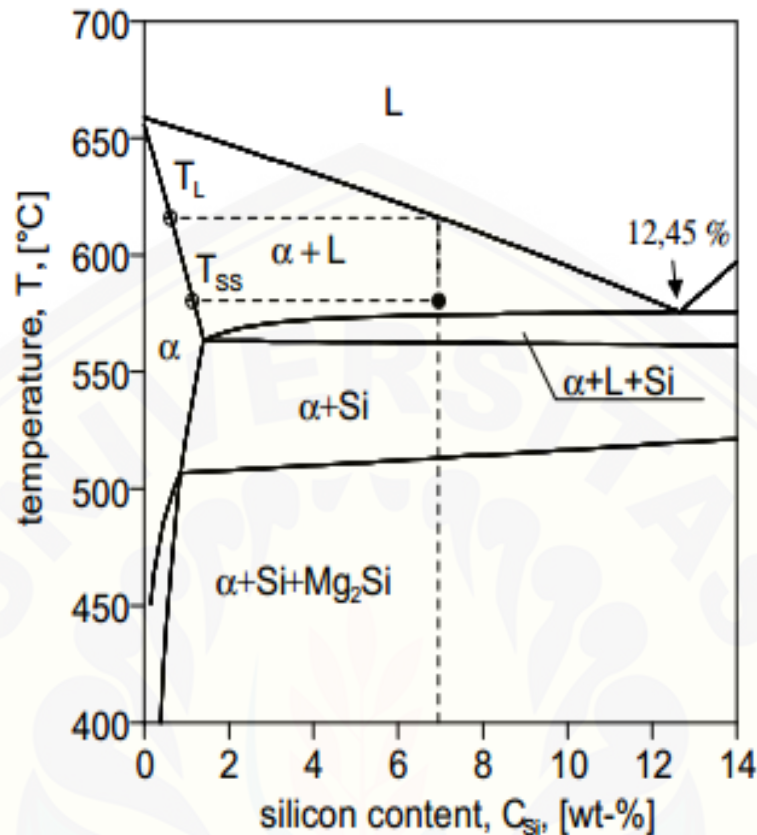
Dalam gambar 2.3 dibawah ini merupakan diagram fasa serta struktur mikro dari paduan AlSi hypoeutectic, eutectic dan hypereutectic.



Gambar 2.1 Diagram fasa Al-Si (Martinus Mandala, 2016)



Gambar 2.2 Struktur mikropaduan AlSi (a) hypoeutectic alloy (1.65-12.6 wt% Si). (b) eutectic alloy (12.6% Si) (c) hypereutectic alloy (>12.6% Si). (Sumber: ASM Internasional, 2004)



Gambar 2.3 Diagram fasa AlSiMg (Sumber: Erhard,2002)

2.2 Aluminium paduan ADC12

ADC12 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 ADC12 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 ADC12 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	σ	ASTM	Average	σ	ASTM	Average	σ	ASTM	Average	σ	ASTM	Average	σ
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 ADC12 juga dapat digunakan untuk pembuatan bahan dasar seperti yang terlihat pada Tabel 2.3. Material ADC12 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
384.0	Pistons dan aplikasi layanan lainnya; transmisi otomatis
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)

2.3 NanoAl₂O₃

Al₂O₃ pada dasarnya merupakan reinforce pada material metal-matrix-composite (MMC), aluminium berperan sebagai matrix dan Al₂O₃ berperan sebagai reinforce. Kombinasi ini menjadikan MMC sebagai salah satu pilihan dalam bidang aerospace dan otomotif. Penambahan Al₂O₃ dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit ADC12/nanoAl₂O₃ seperti keuletan dan strength, hal tersebut dikarenakan persebaran nano partikel dari Al₂O₃. Al₂O₃ digunakan sebagai reinforce dikarenakan mempunyai stabilitas thermal dan kekerasan yang baik serta modulus Young yang tinggi (Davis, 2010). Penggunaan Al₂O₃ Yang terlalu berlebih dapat mengurangi sifat mekanik dari MMC, seperti penurunan keuletan dan untuk menanggulangi hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan Al₂O₃ dengan ukuran nano. Untuk mendapatkan Al₂O₃ yang berukuran nano dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti disperse ultrasonic, DC Thermal Plasma, ball milling dan deposisi spray. Al₂O₃ yang ditambahkan pada komposit ADC12/nanoAl₂O₃ dapat memberikan perbaikan kekuatan-keuletan, selain itu partikel alumina dapat menaikkan tingkat viskositas secara cepat. Nano-Alumina memiliki sifat yang sepadan dengan paduan Al, seperti konduktivitas thermal yang tinggi. Konduktivitas thermal inilah yang

mempengaruhi persebaran dan hasil dari sebaran nano partikel tersebutlah yang memperkuat komposit ADC12/nanoAl₂O₃.

Aluminium adalah unsur logam yang paling melimpah di kerak bumi, dengan oksida, hidroksida dan alumino silikat. Aluminium adalah material yang tergolong ringan dengan keadaan oksidasi, namun keragaman dari fasa atau 'bentuk' dari oksida dikenal dengan stoikiometri Al. Material ini disusun dalam bentuk murni oleh kalsinasi gibbsite [Al(OH)³] atau boehmite (AlOOH). Struktur yang kaya akan oksida merupakan termasuk dalam golongan transisi alumina, yaitu tidak stabil terhadap perubahan temperatur. Namun alumina transisi sangat penting dalam keadaan tertentu dan dalam proses produksi komersil alumina yang dalam bidang metalurgi digunakan dalam pembuatan logam aluminium (Metson, 2011).



Gambar 2.4 Serbuk alumina (Gangwar, 2012).

Aluminium oksida merupakan senyawa kimia dari aluminium yang bereaksi oksigen, dengan rumus kimia Al₂O₃ dan sering disebut alumina. Umumnya alumina terdapat dalam bentuk kristalin yang disebut corundum.

2.4 Komposit

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

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

Ada tiga faktor yang menentukan sifat-sifat dari material komposit, yaitu :

1. Material pembentuk. Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya
2. Susunan struktural komponen. Dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.
3. Interaksi antar komponen. Karena komposit merupakan campuran atau kombinasi komponen-komponen yang berbeda baik dalam hal bahannya maupun bentuknya, maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda (Sirait, 2010).

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 mulur 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.

2.5 Metal Matrix Composite (MMC)

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

Tabel 2.4 Sifat mekanik reinforce MMC

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

Kombinasi material matriks yang memiliki sifat keuletan tinggi, densitas rendah, titik lebur rendah dan penguat keramik yang keras dan getas ini akan menghasilkan karakteristik komposit MMC yang mempunyai sifat lebih baik dari keduanya, yaitu kekuatan, modulus elastisitas, ketangguhan, ketahanan impak, konduktivitas listrik dan panas yang tinggi.

Logam aluminium dan paduannya memiliki densitas sekitar sepertiga dari densitas baja (2,7kg/m³ vs 7,8kg/m³) dan mempunyai kekuatan dan modulus yang rendah dibandingkan baja (Gibson, 1994). Namun bila aluminium tersebut

ditambahkan keramik sebagai penguat maka rasio kekuatan dan modulus material komposit ini akan meningkat secara signifikan bahkan melebihi sifat besi tuang dan baja.

2.5.1 Komposit Aluminium

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.

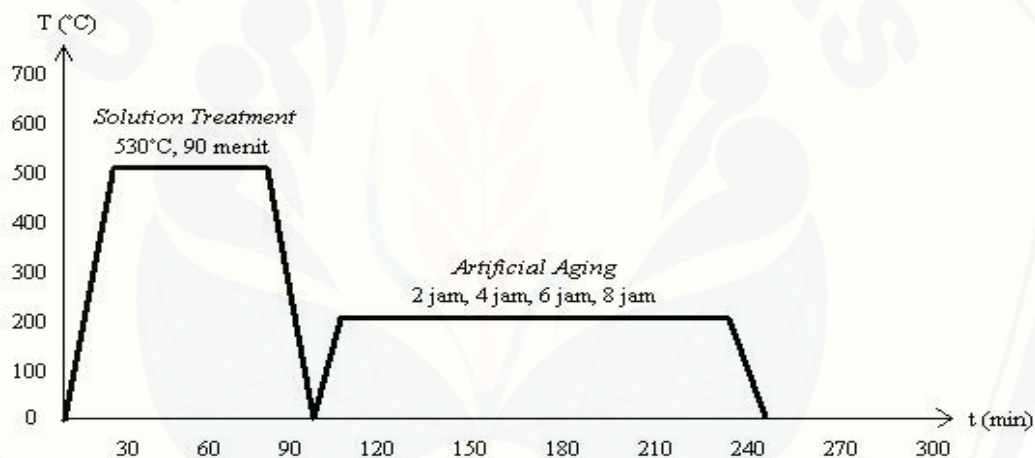
Komposit dengan matriks yang lunak seperti aluminium dapat ditingkatkan sifat mekanisnya dengan menggunakan partikel penguat yang keras namun getas, seperti Al_2O_3 dan SiC. Aplikasi komposit matriks aluminium dengan penguat Al_2O_3 atau SiC secara bertahap meningkat di industri otomotif dan pesawat terbang, seperti pada piston, *cylinder heads*, dan *connecting rods* dimana sifat tribologi material menjadi sangat penting.

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.

2.6 Perlakuan panas T6

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



Gambar 2.5 Kurva Perlakuan Panas T6(Melissa,2013)

Perlakuan panas atau heat treatment adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada electricterance (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contoh suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah.

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

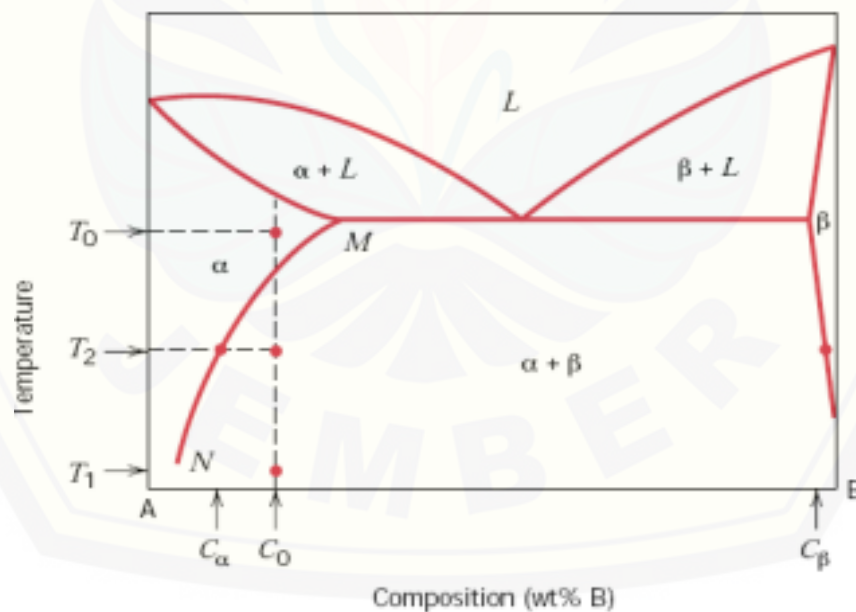
Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat dari logam dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur yang cocok, kemudian dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan ke temperatur yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai. (Tata Surdia dan Kenji Chijiwa (1999)). Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan penuaan keras (*age hardening*). Melalui penuaan keras (*age hardening*), logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik.

Dahulu orang menyebut penuaan keras (*age hardening*) dengan sebutan pemuliaan atau penemperan keras. Penamaan tersebut kemudian dibakukan menjadi penuaan keras (*age hardening*) karena penemperan keras pada logam paduan aluminium berbeda dengan penemperan keras yang berlangsung pada penemperan keras baja. Paduan aluminium yang dapat dituakeraskan atau di *age hardening* dibedakan atas paduan aluminium yang dapat dituakeraskan dalam keadaan dingin dan paduan aluminium yang dapat dituakeraskan dalam keadaan panas. Penuaan keras (*age hardening*) berlangsung dalam tiga tahap yaitu:

a. Tahap *solution heat treatment*

Tahap pertama dalam proses *age hardening* yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu penasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 550°C-560°C dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja (Schonmetz, 1990). pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat.

Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen. Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam gambar 2.6 dimana logam paduan aluminium pertama kali dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur T_1 . Pada temperatur T_1 fase logam paduan aluminium akan berupa kristal campuran dalam larutan padat. Pada temperatur T_1 tersebut pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen.



Gambar 2.6 Diagram fase pemanasan logam paduan (Sumber: Fuad Abdillah, 2010)

c. Tahap Penuaan (*Aging*).

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

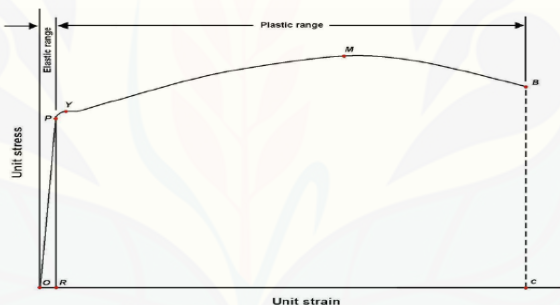
Natural aging berlangsung pada temperatur ruang antara 15°C - 25°C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100°C - 200°C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam. (Schonmetz, 1990). Pada tahap *artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperature *artificial aging*.

Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150°C), di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium. (Schonmetz, 1990). Penuaan buatan (*artificial aging*) berlangsung pada suhu antara 100°C – 200°C. Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur antara 100°C-200°C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur.

2.7 Pengujian Mekanik

2.7.1 Pengujian tarik

Proses pengujian tarik mempunyai tujuan utama untuk mengetahui kekuatan tarik bahan uji. Bahan uji adalah bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi, agar siap menerima pembebanan dalam bentuk tarikan. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya yang berlawanan pada benda dengan arah menjauh dari titik tengah atau dengan memberikan gaya tarik pada salah satu ujung benda dan ujung benda yang lain di ikat. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari suatu bahan yang diberi beban secara statis. Sifat-sifat yang akan diketahui adalah tegangan luluh, tegangan *Ultimate*, tegangan patah, regangan dan sifat mekanis lainnya (Salahudin, 2006).



Gambar 2.7 Kurva tegangan-regangan dari benda uji yang terbuat dari baja ulet (Sumber: Salahudin, 2006)

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 (Salahudin, 2006).

Kurva ini menunjukkan hubungan antara tegangan dengan regangan. Perubahan panjang dalam kurva disebut sebagai regangan teknik, yang didefinisikan sebagai perubahan panjang yang terjadi akibat perubahan statik (ΔL) terhadap panjang batang mula-mula (L_0). Tegangan yang dihasilkan pada proses ini disebut dengan tegangan teknik, dimana didefinisikan sebagai nilai pembebanan yang terjadi

(F) pada suatu luas penampang awal (A_0). Tegangan normal tersebut akibat gaya tarik dapat ditentukan berdasarkan persamaan (Salahudin, 2006):

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

Dimana:

σ : Tegangan tarik (Mpa)

F : Gaya tarik (N)

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

Regangan akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan

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

Dimana :

ε : Regangan akibat daya tarik (%)

ΔL : Perubahan panjang spesimen (mm)

L : Panjang spesimen mula-mula (mm)

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

$$E = \sigma / \varepsilon \dots\dots\dots(3)$$

2.7.2 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 sementara dari material yang lebih keras. Terdapat beberapa jenis atau metode pengujian kekerasan salah satunya adalah dengan metode brinell. Diperkenalkan pertama kali oleh J.A Brinell. Pengujian kekerasan berupa pembentukan lekukan pada logam dengan memakai bola baja berdiameter 10mm dan diberi beban 3000kg. Untuk logam lunak, beban dikurangi

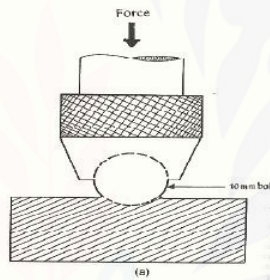
hingga tinggal 500kg, untuk menghindari jejak yang dalam. Untuk bahan yang keras, digunakan paduan karbida tungsten sebagai pemerkecil terjadinya distorsi indenter.

Angka kekerasan Brinell dinyatakan sebagai BHN. Rumus untuk angka kekerasan tersebut adalah

$$BHN = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

- BHN : Brinell Hardness Number
- P : Beban yang diberikan (kg)
- D : Diameter bola (mm)
- d : Diameter lekukan yang terjadi (mm)



Gambar 2.8 Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell (Sumber: Yuwono, 2009)

Tabel dibawah ini menunjukkan parameter diameter indenter dan bahan yang mampu diukur.

Tabel 2.8 Diameter bola baja pengukuran brinell dan beban

Diameter bola baja	Beban (kgf)				
D (mm)	30D ²	10D ²	5D ²	12,5D ²	D ²
10	3000	1000	500	125	1000
5	75	(250)	(125)	-	-
Daerah kekerasan yang cocok untuk pengukuran	160-450	53-200	26-100	7-25	5-26
Bahan yang diukur	Logam keras, baja, besi cor	Paduan paduan keras	Cu, Al	Tembaga, paduan Al	Logam timah lunak, dan lainnya

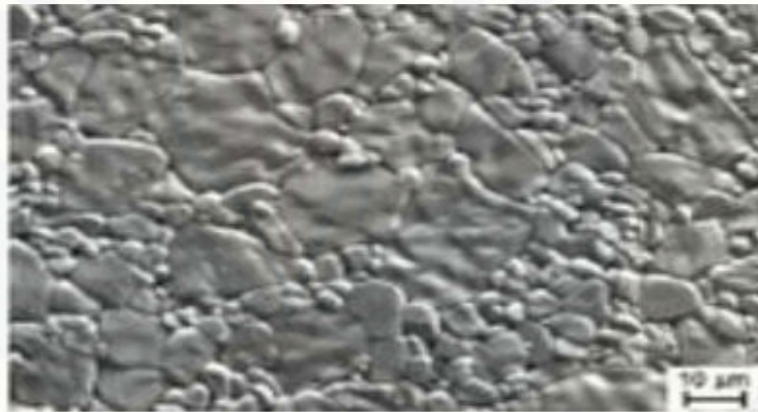
Sumber: Tata surdia dan Chijiwa kenji, (1986)

2.8 Pengamatan Metalografi

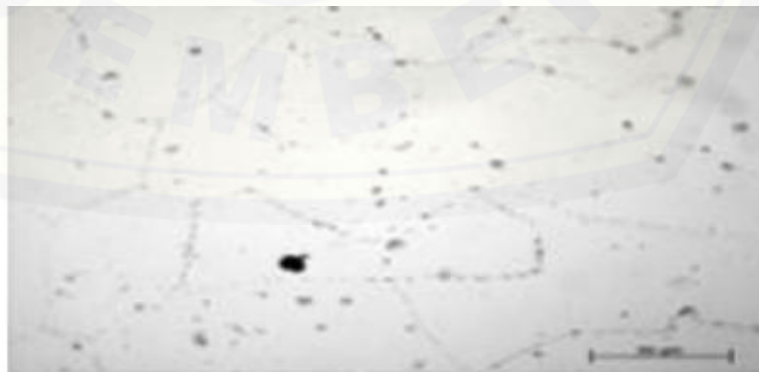
2.8.1 Struktur mikro

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.

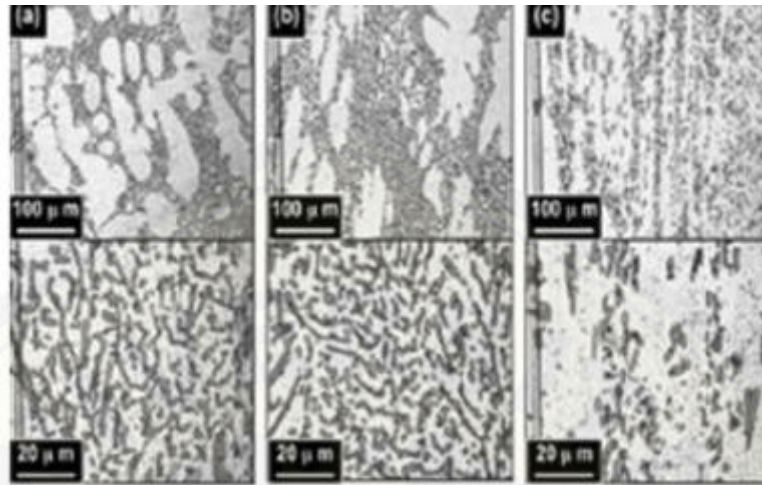
Pengujian struktur mikro atau mikrografi dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi. Analisa struktur mikro suatu logam dilakukan dengan bantuan larutan kimia dan mikroskop logam. Sifat logam terutama sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam, disamping komposisi kimianya.



Gambar 2.9 Struktur mikro alumina, bahan baku alumina (Atmaja, 2011).



Gambar 2.10 Struktur mikro dari aluminium murni (Atmaja, 2011).



Gambar 2.11 Struktur mikro dari paduan Al-Si (a) tanpa perlakuan khusus, (b) dengan perlakuan termal, (c) dengan perlakuan termal dan penempaan (Atmaja, 2011)

2.8.2 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.

Identifikasi struktur mikro komposit ADC12-Mg/nanoAl₂O₃ 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

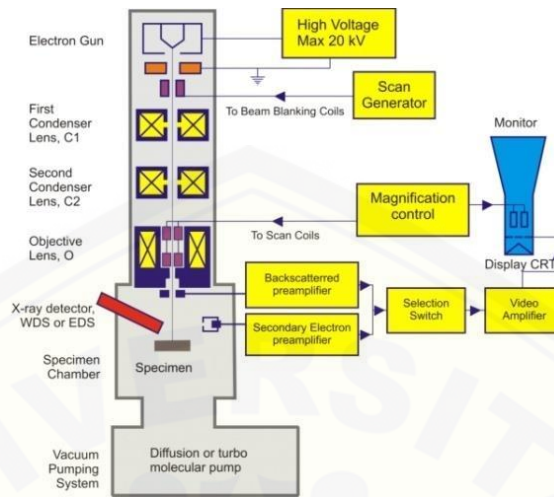
yang dihasilkan cukup kuat dibanding mikroskop optik atau XRD, tetapi karena seringkali obyek pengamatan yang terbilang kecil dan mengandung komponen non konduktif, seperti lapisan pasivasi oksida pada permukaan, SEM dapat memberikan kontras yang relatif rendah terlebih pada perbesaran tinggi.

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.

Dalam Gambar 2.12 adalah skema diagram standar SEM JSM-6510LA dari fabrikasi JEOL yang digunakan dalam penelitian ini 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 (Sujatno, 2015).

Kesalahan fisika pada lensa-lensa elektromagnetik berupa astigmatismus dikoreksi oleh perangkat stigmator. SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasi lainnya.

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



Gambar 2.12 Blok Diagram SEM (Sumber : Sujatno, 2015)

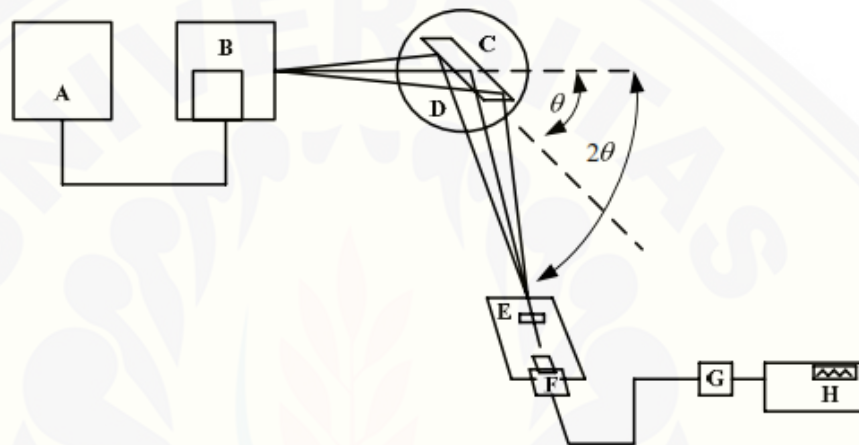
Untuk menghindari gangguan dari molekul udara terhadap berkas elektron, seluruh jalur elektron (*column*) divakum hingga 10^{-6} torr. Tetapi kevakuman yang tinggi menyebabkan naiknya sensitifitas pendeteksian alat terhadap non-konduktifitas, yang menyulitkan analisis pada bahan-bahan non-konduktif, 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).

2.9 XRD (X-Ray Diffraction)

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

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).



Gambar 2.13 Skema Alat Uji XRD (Sumber : Widodo, 2009)

Secara umum prinsip kerja XRD ditunjukkan oleh gambar 2.16 berikut (Widodo, 2009):

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

Untuk mengetahui fasa dan struktur material yang diamati dapat dilakukan dengan cara sederhana, yaitu dengan cara membandingkan nilai d yang terukur dengan nilai d

pada data standar. Data standar dapat diperoleh melalui *Joint Committee of Powder Diffraction Standart (JCPDS)* atau dengan hanawalt (Widodo, 2009).



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *heat treatment* dengan variasi waktu *solution treatment* 540°C selama 2, 4, 6 dan 8 jam dan *artificial aging* 185°C selama 4 jam yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji hasil pengecoran terhadap komposit ADC12/nanoAl₂O₃.

3.2 Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu: pembuatan dan pengujian paduan ADC12/nanoAl₂O₃. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan, Laboratorium Uji Material, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember, dan Laboratorium Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknik Industri, Institut Sepuluh November Surabaya. Waktu penelitian dimulai bulan juni 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 pada ADC12/nanoAl₂O₃:

1. Tungku peleburan
2. Gas argon
3. Cetakan spesimen
4. Mesin bubut
5. Stirrer
6. Bak pasir
7. Uji tarik
- 8) mikroskop optik
- 9) Sem
- 10) Gergaji
- 11) Sarung tangan
- 12) Permanen Mold
- 13) Sendok
- 14) Uji kekerasan

3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada pembuatan paduan ADC12/nanoAl₂O₃:

- a) ADC12 (Al 12Si)
- b) Mg
- c) Al₂O₃
- d) Strontium
- e) epoxy resin

3.4 Variabel penelitian

3.4.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi temperature waktu 540⁰C selama 2, 4, 6 dan 8 jam.

3.4.2 Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya ditentukan berdasarkan variabel bebas. Pada penelitian ini yang dijadikan variabel terikat adalah pengujian paduan ADC12/nanoAl₂O₃ setelah di heat treatmen dengan variasi *solution treatment* dan *artificial aging*, melalui pengujian uji tarik, uji kekerasan, pengujian sem, pengujian xrd dan pengujian mikro.

3.4.3 Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang besar nilainya dikontrol selama penelitian. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah *solution treatment* pada suhu 540⁰C selama 2, 4, 6 dan 8 jam dan *artificial aging* dengan variasi suhu 185⁰C selama 4 jam.

3.4.4 Variabel tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang nilainya tidak berubah selama penelitian dilakukan. Dalam hal ini variable tetapnya adalah *solution treatment* dengan suhu 185⁰C selama 4 jam.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Prosedur Penelitian

Pengerjaan penelitian ini dilakukan beberapa tahap antara lain:

1. Peleburan komposit ADC12/nano- Al_2O_3 , dimasukkan saat suhu 750°C (Dimasukkan bergantian setelah ADC12 leleh kemudian Sr dan Ti dimasukkan)
2. Setelah bahan dimasukkan dan leleh, kemudian dilakukan proses stirring dengan kecepatan 450 rpm selama 5 detik
3. Proses penuangan coran pada cetakan
4. Setelah mengeras, keluarkan hasil coran dari cetakan
5. Potong runner dengan gergaji
6. Pembuatan takikan pada hasil coran dengan proses permesinan untuk uji tarik
7. Lalu di treatment dengan metode *heat treatment* pada variasi temperature waktu dan suhu *solution treatment* 540°C selama 2, 4, 6 dan 8 jam dan *artificial aging* 185°C selama 4 jam dengan menggunakan ASTM B557.
8. Potong melingkar hasil coran kemudian haluskan permukaannya untuk digunakan uji kekerasan
9. Potong melintang hasil coran, cor dengan resin hasil coran aluminium kecuali bagian permukaan, kemudian haluskan bagian permukaan permukaan hingga mengkilap.
10. Beri etsa pada permukaan untuk mengetahui batas butir.
11. Kemudian proses mengamati hasil struktur mikro menggunakan mikroskop
12. Kemudian dilanjut pengujian tarik dan kekerasan

3.5.2. Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember . Berikut tahapan yang dilakukan:

1. Memasukkan sampel ke dalam dapur *treatment*
2. *Solution treatment* pada suhu 530°C selama 2, 4, 6 dan 8 jam

3. quench dengan media air pada temperatur ruang
4. *Artificial aging* pada 185°C selama 4 jam

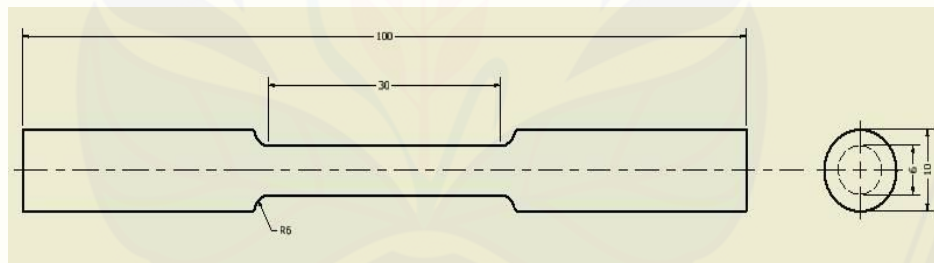
3.6 Pengujian

3.6.1. Uji tarik

Uji tarik pada paduan ADC12/nanoAl₂O₃ ini dilakukan menggunakan standart ASTM B 557. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian uji tarik antara lain sebagai berikut:

1. Persiapan sampel sesuai pengujian tarik ASTM B 557
2. Memasang material di alat penjepit untuk uji tarik
3. Melakukan pengujian dengan mesin uji tarik
4. Mencatat hasil yang dikeluarkan oleh mesin uji tarik.

Gambar 3.2 dibawah ini merupakan gambar dari spesimen uji tarik sesuai standart ASTM B557.



Gambar 3.1 Spesimen uji tarik ASTM B557

3.6.2. Uji Kekerasan

Uji kekerasan pada paduan ADC12/nanoAl₂O₃ ini dilakukan menggunakan uji kekerasan brinell standart ASTM E 10. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian uji tarik antara lain sebagai berikut:

1. Persiapan sampel sesuai pengujian kekerasan brinell ASTM E 10.
2. Memasang material pada alat uji kekerasan brinell.
3. Melakukan pengujian dengan mesin uji kekerasan brinell.
4. Mencatat hasil yang dikeluarkan oleh mesin uji kekerasan brinell.

3.7 Pengamatan Metalografi

3.7.1 Struktur mikro

Pengujian struktur mikro pada paduan ADC12/nanoAl₂O₃ ini dilakukan menggunakan Mikroskop. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian antara lain sebagai berikut:

Proses pengujian dimulai dengan pemotongan bahan, kemudian *dimounting* dengan menggunakan resin, lalu dilakukan pengamplasan di mulai dengan ampas dengan kehalusan 400, 1000, 1500 dan 2000. Kemudian dilakukan pemolesan dengan menggunakan kain bludru dan alumina yang dicampur dengan air. Kemudian dilakukan proses etsa, dimana untuk proses etsa bahan ADC12/nano-Al₂O₃ sesuai ASTM E407-07, etsa menggunakan campuran 1ml HF dan 95ml air. Lama proses etsa adalah 3 detik. Kemudian dicuci menggunakan air dan dikeringkan dengan *heatgun*. Kemudian sampel diletakkan pada alat 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.



Gambar 3.2 Mesin SEM / EDX

3.8 XRD (*X-Ray Diffraction*)

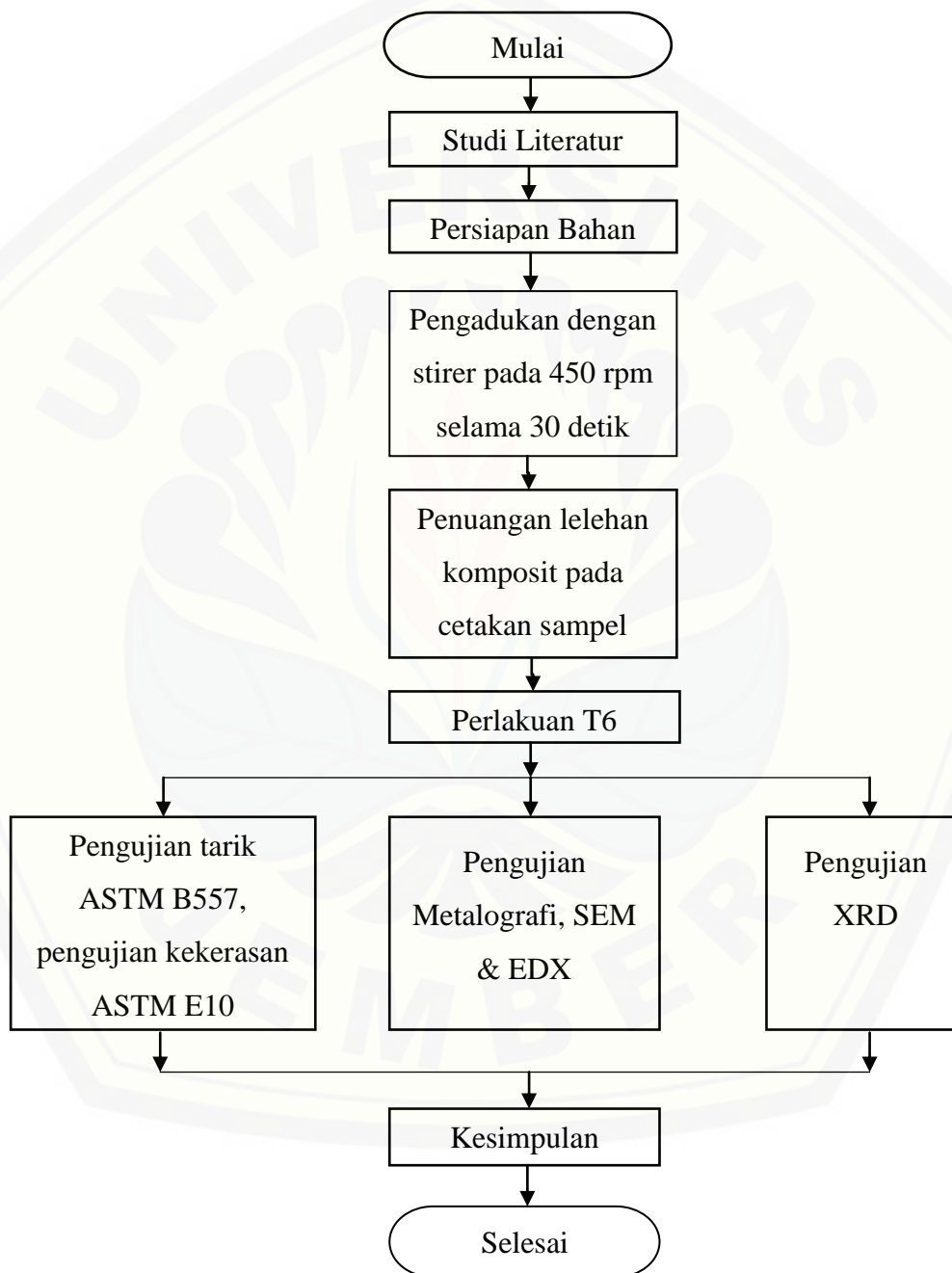
Pengujian x-ray diffraction (XRD) menggunakan konsep pemantulan dari sinar-x yang dipancarkan. Pantulan-pantulan pada sudut tertentu dapat digunakan sebagai identifikasi dari senyawa yang terbentuk pada suatu material. Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui fasa-fasa yang terdapat pada komposit ADC12/nano- Al_2O_3 .



Gambar 3.3 Mesin XRD

3.9 Diagram alir

Untuk prosedur penelitian disajikan dalam bentuk flow chart seperti pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.4 Diagram alir

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dan hasil yang diperoleh maka di dapat kesimpulan dan saran sebagai berikut.

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah :

1. Pengaruh solution treatment suhu 540°C dengan penambahan penahan waktu pada material ADC12/nano- Al_2O_3 dapat mempengaruhi nilai kekerasan, dimana kekerasan tertinggi didapati dengan penahanan waktu 8 jam dengan nilai kekerasan 81.96 HRB.
2. Pengaruh solution treatment suhu 540°C dengan penambahan penahan waktu pada material ADC12/nano- Al_2O_3 dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik, dimana kekuatan tarik tertinggi didapati dengan penahanan waktu 8 jam dengan nilai kekuatan tarik 179.22 MPa
3. Dari hasil pengamatan struktur mikro didapati perubahan bentuk partikel seiring dengan penambahan waktu *solution treatment*. Dengan penambahan waktu didapati perubahan mikro struktur semakin kecil / halus komposit ADC12/nano- Al_2O_3 .

5.2 Saran

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

1. Dengan variasi waktu dan variasi suhu yang digunakan dalam proses heat treatment, maka pengembangan optimalisasi dapat dilakukan dengan menambah variasi waktu dan variasi suhunya.
2. Perlu dilakukan pengembangan dengan melakukan penambahan modifier dari unsur kimia yang lainnya.
3. Porositas partikel penguat harus dihindari pada proses fabrikasi komposit ADC12/ Al_2O_3 karena dapat menurunkan sifat mekanis dan menghambat reaksi saat perlakuan panas dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

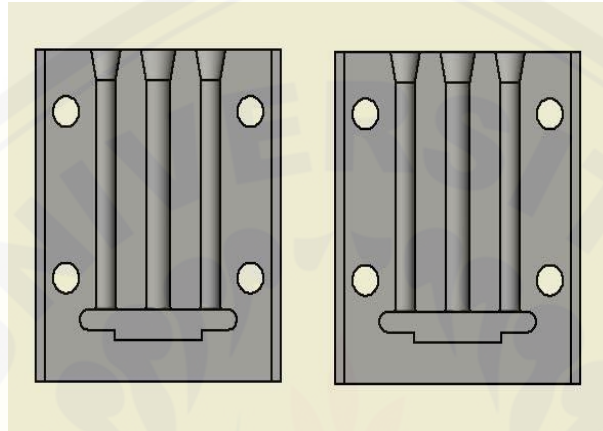
- Raharjo Samsudi dkk. 2011. *Analisa Pengaruh Pengecoran Ulang Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC 12*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Wahyu Purwo Raharjo. 2008. PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRODAN KEKERASAN CORAN PADUAN Al-Mg-Si
- Z. Henghua, T. S. (2006). Refining mechanism of salts containing Ti and B elements in purity aluminum. *GRAIN REFINEMENT OF COMMERCIAL PURE ALUMINIUM BY ZIRCONIUM*, 60-65.
- J.A Omotoyinbo, I. O. (2010). The Effect of plastic deformation and magnesium content on the mechanical properties of 6063 aluminium alloys. *GRAIN REFINEMENT OF COMMERCIAL PURE ALUMINIUM BY ZIRCONIUM*, 539-546.
- R.C. Harris, S. L. (1956). AFS Trans. *The Effect of Mg on the Microstructure and Mechanical*, 470.
- Zhang, M. X. (2005). Crystallographic study of grain refinement in aluminum alloys using the edge-to-edge matching model. *PENGARUH KOMBINASI PENAMBAHAN 0.1 wt. % Ti DAN VARIASI 0.003, 0.018, DAN 0.025 wt. % Sr TERHADAP KARAKTERISTIK PADUAN AC4B HASIL LOW PRESSURE DIE CASTING*, 1427-1438.
- Sciti, D. . (2002). Microstructure and Properties of AluminaSiC nanocomposites Prepared from Ultrafine Powders. *Journal of Material Science*, 37.
- Y.H . Seo, K. C. (1995). J. Mater Process, Techno. *The Effect of Applied Pressure on Particle Dispersion Characteristic and Mechanical Properties in Melt Stiring Squeeze Cast SiC/Al Composites*, 370-379.
- Das, B. (1990). *Principles of Foundatic Engineering*. Boston: PWS Kent Publishing Company.

- Davis, K. (2010). Material review : Alumina (Al_2O_3) . *School of Doctoral Studies (European Union) Journal*, 109-114.
- 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.
- Sajjadi, S. (2011). Microstructure and mechanical properties of Al- Al_2O_3 micro and nano composites. *Materials Science and Engineering*.
- Schultz, B. (2011). Microstructure and Hardness of Al_2O_3 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_2O_3 Nanoparticle Reinforced Al – Mg Composites Fabricated by Reactive Wetting and Stir Mixing. *Materials Science and Engineering*, 87-97.
- 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 OKSIDASI PADUAN ZIRKONIUM. *Jurnal Forum Nuklir*, 45-46.
- Tata Surdia, S. S. (2000). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita
- Widodo, S. (2009). Proses Sintesa dan Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) Hidroksiapatit dari Bulk Gypsum Alam Cikalong dengan Bejana Tekan.
- Zhiqiang, Y. (2005). Effect of coating Al_2O_3 Reinforcing Particle on th Interface and Mechanical Properties of 6061 Alloy Aluminium Matrix Composites. *Materials Letters 59*, 2281-2284.
- JIS H 5302 Yuwono, A. H. (2009). *Buku panduan karakterisasi material 1 pengujian merusak (destructive test)*. Depok: Departemen metallurgi dan material fakultas teknik universitas indonesia.
- : *Alluminium Alloy Die Casting*. (2000). Tokyo: JSA.

LAMPIRAN

Lampiran A. Contoh perhitungan prosentase pencampuran specimen

Cetakan Spesimen



Volume cetakan diasumsikan 250 gram

Contoh perhitungan variasi berat komposit ADC12-Mg-Sr/nano-Al₂O₃

Variasi 1 dengan fraksi berat Sr 0,03%, Mg 8%, nanoAl₂O₃ 2,5% dan ADC12 95,49%.

$$\begin{aligned}\text{Berat Sr} &= \frac{0.03}{100} \times 250 \text{ gram} \\ &= 0.00075 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Mg} &= \frac{8}{100} \times 250 \text{ gram} \\ &= 20 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat nanoAl}_2\text{O}_3 &= \frac{2.5}{100} \times 250 \text{ gram} \\ &= 6.25 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat ADC12} &= \frac{95.49}{100} \times 250 \text{ gram} \\ &= 238.75 \text{ gram}\end{aligned}$$

Lampiran B

Spesifikasi ADC12

Program: AL-ALDC12.1
 Comment: AL-ALDC12.1
 Single spark(s)

ADC 12 %
 ADC 12 %


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 kekerasan

Spesimen	Nilai Kekerasan Tiap Indentasi (HRB)										Rata Rata Kekerasan (HRB)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
as-cast	79,0	81,4	76,0	80,6	76,9	79,0	77,9	79,5	78,5	80,4	78,92
2 jam	65,1	63,2	66,7	65,3	72,2	65,8	65,2	63,3	76,7	68,4	67,19
4 jam	74,0	65,1	64,1	72,9	72,0	73,1	63,3	67,4	73,2	75,6	70,07
6 jam	68,5	73,6	60,4	62,5	75,2	77,1	78,1	80,2	73,8	77,0	72,64
8 jam	82,2	80,8	81,9	81,3	82,0	81,3	80,5	83,1	83,7	82,8	81,96

Lampiran D

Perhitungan kekuatan Tarik

Variasi Spesimen	spesimen ke	Diameter (mm)	Luas Area (mm ²)	Max Force (kg)	Max Force (N)	UTS (N/mm ²)	Rata-Rata UTS (N/mm ²)
2 jam	1	6,2	30,18	313,75	3074,75	101,90	91,55
	2	6,4	32,15	550	3196,07	99,40	
	3	6,69	35,13	734,62	2577,69	73,37	
	4						
4 jam	1	6,31	31,26	355,55	3484,39	111,48	127,50
	2	6,09	29,11	470,27	3902,26	134,03	
	3	6,7	35,24	326,13	4827,38	136,99	
6 jam	1	6,4	32,15	600,65	4608,65	143,33	153,02
	2	6,85	36,83	492,59	5680,47	154,22	
	3	6,52	33,37	263,03	5390,00	161,52	
	4						
8 jam	1	6,64	34,61	579,64	5886,37	170,08	179,22
	2	6,02	28,45	398,19	5539,94	194,73	
	3	6,19	30,08	565,3	5199,28	172,86	
	4						

Lampiran E

Alat dan Bahan



Dapur pengecoran



sarung tangan



ADC 12



serbuk alumina



crucible



Strontium



gergaji potong



cetakan specimen



Gas Argon



Timbangan digital



Gas oksigen



Mesin Uji tarik



Alat Uji kekerasan



helm



Mikroskop



