



**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNESIUM (Mg)
TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM-
NANO ZINC OXIDE (Al-NANO ZnO) DENGAN METODE
*STIR CASTING***

SKRIPSI

Oleh

Mohammad Afini Fathurrozi

NIM 141910101099

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNESIUM (Mg) TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM-NANO ZINC
OXIDE (Al-NANO ZnO) 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

Mohammad Afini Fathurrozi

NIM 141910101099

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, nikmat serta karunianya. Dengan segenap kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya Bpk. Moh Misdi (Alm), Ibu Siti Fatimah, yang telah memberikan semangat, pendanaan dan hidup yang jauh lebih baik dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta do'a yang diberikan.
2. Kakek Nenek saya , Bpk Jatim dan Bu Aminah, yang selalu memberikan yang terbaik bagi cucunya dan sangat membantu dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
3. Seluruh Keluarga, adik-adik, paman-paman, bibi-bibi.
4. Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku pembimbing tim riset MaGNIFIED.
5. Semua Anggota MaGNIFIED.
6. Seluruh Guru-guru sejak TK, SD, MTsN, MAN, serta seluruh civitas akademik Universitas Jember, khususnya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.

MOTO

“ Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan ”

(Q.S Al-Insyiroh 94 : 5)

“ It’s not about how much we lost. It’s about how much we have left ”

(Tony Stark – End Game)

“ Sebuah keberanian dapat mengubah masa depan “

(Moh. Afini Fathurrozi)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohammad Afini Fathurrozi

NIM : 141910101099

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Penambahan Magnesium (Mg) Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium-Nano Zinc Oxide (Al-Nano ZnO) Dengan Metode *Stir Casting*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 2019
yang menyatakan,

Mohammad Afini Fathurrozi.
NIM 141910101099

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNESIUM (Mg) TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM-NANO ZINC
OXIDE (Al-NANO ZnO) DENGAN METODE *STIR CASTING***

Oleh

MOHAMMAD AFINI FATHURROZI

NIM 141910101099

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. R. Koekoeh K.W.,S.T., M.Eng.
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Penambahan Magnesium (Mg) Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium-Nano Zinc Oxide (Al-nano Zno) Dengan Metode *Stir Casting*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Penguji I

Penguji II

Sumarji.S.T., M.T.
NIP. 196802021997021001

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP. 196812071995121002

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. R. Koekoeh K.W.,S.T., M.Eng.
NIP. 196707081994121001

Dr.Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T
NIP. 197510062002121002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh penambahan magnesium (Mg) terhadap karakteristik komposit Aluminium-nano Zinc Oxide (Al-nano ZnO) dengan metode *stir casting*; Moh. Afini Fathurrozi, 141910101099; 77 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pemanfaatan bahan komposit dalam menunjang kehidupan manusia terus dikembangkan dewasa ini dikarenakan kebutuhan untuk mendapatkan sebuah material yang ringan namun memiliki kekuatan yang besar. Salah satu bahan yang dikembangkan dewasa ini adalah *Aluminium Matrix Composite* (AMC). AMC adalah salah satu cabang komposit dengan matriks berupa aluminium dengan tambahan reinforce didalamnya. Dalam penelitian ini bahan reinforce terbuat dari nano ZnO. Nanopartikel merupakan partikel yang memiliki ukuran 10^{-9} dan rentang ukuran 1-100 nano. Partikel ini dapat membantu dalam meningkatkan kekuatan dari komposit aluminium.

Dalam pembuatannya Aluminium mengalami proses casting hingga mencapai suhu lelehnya dan mulai untuk mencampur bahan-bahan paduan lainnya yaitu Magnesium dan reinforce berupa nano Zinc Oxide. Bahan yang telah tercampur kemudian mengalami proses pengadukan, setelah bahan tercampur sempurna, bahan kemudian dituang kedalam cetakan. Cetakan yang telah dingin kemudian dibongkar dan komposit dikeluarkan untuk proses perlakuan panas T6 kemudian komposit diuji.

Proses pengujian yang dilakukan antara lain proses pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengamatan struktur mikro, pengamatan SEM dan pengamatan XRD. Dari hasil pengujian didapatkan kesimpulan berupa penambahan Magnesium dan perlakuan panas T6 dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan komposit.

SUMMARY

Effect of addition of magnesium (Mg) on the characteristics of Aluminum-nano Zinc Oxide (Al-nano ZnO) Composites by the Stir Casting Method; Moh. Afini Fathurrozi, 141910101099; 77 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The utilization of composite materials to support human life continues to be developed today due to the need to obtain a lightweight material but has great strength. One of the materials developed today is Aluminium Matrix Composite (AMC). AMC is a branch of composite with a matrix of aluminum with added reinforcement in it. In this research, the reinforcement material is made from nano ZnO. Nanoparticles are particles that have a size of 10^{-9} and a size range of 1-100 nano. These particles can help in increasing the strength of Aluminium composites.

In its manufacture Aluminium undergoes a casting process until it reaches its melting temperature and starts to mix with other alloy materials namely Magnesium and reinforces in the form of nano Zinc Oxide. The material that has been mixed then undergoes a stirring process, after the ingredients are thoroughly mixed, the material poured into a mold. The cold mold then dismantled and the composite removed for the T6 heat treatment process then the composite is tested.

The testing process includes tensile testing, hardness testing, microstructure observation, SEM observation and XRD observation. From the test results it was concluded that the addition of Magnesium and T6 heat treatment can increase the strength and hardness of the composite.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Pengaruh penambahan magnesium (Mg) terhadap karakteristik komposit “Aluminium-nano Zinc Oxide (Al-nano ZnO) 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.

Penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya Bpk. Moh Misdi (Alm), Ibu Siti Fatimah, yang telah memberikan semangat, pendanaan dan hidup yang jauh lebih baik dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta do'a yang diberikan.
2. Kakek Nenek saya , Bpk Jatim dan Bu Aminah, yang selalu memberikan yang terbaik bagi cucunya dan sangat membantu dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
3. Seluruh Keluarga, adik-adik, paman-paman, bibi-bibi yang selalu memberikan semangat dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku pembimbing tim riset MaGNIFIED yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
5. Bapak Dr. R. Koekoeh K.W., S.T., M.Eng selaku pembimbing utama yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
6. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan studi strata satu (S1) sehingga mendapatkan gelar S.T.

7. Semua guru Taman Kanak-kanak TK Dewi Sartika 02 yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Semua guru Sekolah Dasar Negeri Gambirono 03 yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
9. Semua guru Madrasah Tsanawiyah negeri 04 Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
10. Semua guru Madrasah Aliyah Negeri 1 Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
11. Saudara seperjuangan Teknik Mesin 2014 Universitas Jember.
12. Saudara seperjuangan OSIS MAN 1 Jember yang memberikan semangat.
13. Saudara seperjuangan tim riset MaGNIFIED yang telah memberikan banyak dukungan selama riset dan penulisan skripsi.
14. Saudara seperjuangan pengecoran yang bersama-sama saling membantu menyelesaikan skripsi.
15. Semua teman-teman Fakultas Teknik Universitas Jember.
16. Teman-teman KKN UMD 44 Ramban Wetan yang selalu memberikan dorongan dan semangat.
17. Teman-teman petualangan dan pendakian Ranukumbolo, yang diakhir kuliah terus memberi semangat dan menemani menyelesaikan skripsi.
18. Sahabat-sahabat terdekat, Bagus, Bobig, Wira, Adit, Yoga, Arip, Verizal yang menemani hampir tiap pagi, siang, malam dalam menyusun skripsi
19. Teman-teman kontrakan, teman-teman Kost, teman-temen SMA, teman-teman seperjalanan yang selalu membantu disaat kesusahan dan memberikan jalan.
20. Seluruh pihak-pihak yang tidak dapat saya sebutkan yang tentunya memotivasi saya untuk kelancaran skripsi ini.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vii
HALAMAN RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1.PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.3.1 Tujuan Penelitian.....	3
1.3.2 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Hipotesis	4
BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bahan Paduan	5
2.1.1 Aluminium.....	5
2.1.2 Klasifikasi Aluminium	6
2.1.3 Unsur Paduan	12
2.2 Nano Material	14
2.3 Komposit	15
2.3.1 <i>Metal Matrix Composite (MMC)</i>	18
2.4 Pengecoran	19

2.4.1 Jenis-Jenis Cetakan Pengecoran	21
2.4.2 Metode Pengecoran	22
2.4.3 Tungku Peleburan.....	24
2.5 Tahapan Pengecoran.....	27
2.5.1 Peleburan Logam.....	27
2.5.2 Degassing	27
2.5.3 Penuangan	28
2.5.4 Pembongkaran	28
2.6 Perlakuan Panas	28
2.6.1 <i>Solution</i>	29
2.6.2 <i>Quenching</i>	30
2.6.3 <i>Aging</i>	30
2.7 Karakterisasi Material.....	30
2.7.1 Pengujian Tarik	30
2.7.2 Pengujian Kekerasan	32
2.7.3 Pengamatan Struktur Mikro	34
2.7.4 SEM.....	34
2.7.5 XRD.....	35
2.8 Diagram <i>Fishbone</i>	35
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	36
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.2 Alat dan Bahan	36
3.2.1 Alat	36
3.2.2 Bahan.....	37
3.3 Proses Pembuatan Sampel.....	37
3.4 Proses Pengujian Sampel.....	38
3.4.1 Pengujian Tarik	38
3.4.2 Pengujian Kekerasan	39
3.4.3 Pengamatan Struktur Mikro	40
3.4.4 Pengujian SEM.....	40
3.4.5 Pengujian XRD.....	41
3.5 Diagram Alir Penelitian	42

3.6 Diagram Fishbone penelitian.....	43
BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1 Pengujian Kekerasan	44
4.2 Pengujian tarik	49
4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	54
4.4 Pengamatan SEM	59
4.5 Pengamatan XRD	63
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel	Keterangan	Halaman
2.1	Sifat-sifat fisik Aluminium (Surdia dan Saito, 2000)	6
2.2	Sifat-sifat mekanik Aluminium (Surdia dan Saito, 2000).....	7
2.3	Sistem 4 digit untuk Al dan paduannya (Surdia dan Saito, 2000).....	8
2.4	Klasifikasi perlakuan bahan (Surdia dan Saito, 2000).....	9
2.5	Sifat-sifat dari seng oksida (Maxwell, 1991).....	13
2.6	Ontologi nanodispersi (Ramsden, 2016).....	14
2.7	Kombinasi yang mungkin dari bahan komposit dua komponen.(Groover, 2010).....	17
2.8	Keuntungan dan kerugian gravity casting (Surdia dan Chijiwa, 1998).....	24
2.9	Spesifikasi titik cair, berat jenis dan koefisien kekentalan (Sudjana ,2008).....	27
4.1	Nilai kekerasan komposit Al-nano ZnO tanpa dan dengan T6	44
4.2	Data perbandingan nilai kekerasan setelah penambahan Magnesium As Cast dan T6 Heat Treatment.....	48
4.3	Nilai pengujian tarik tanpa perlakuan panas T6.....	49
4.4	Data perbandingan kekuatan tarik setelah penambahan Magnesium As-Cast dan T6 Heat Treatment.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Keterangan	Halaman
2.1	Struktur ZnO (Wang, 2006).....	12
2.2	Tipe-tipe bentuk nano (Ramsden, 2016).....	15
2.3	Tipe-tipe komposit (Abramovich, 2017).....	16
2.4	Tipe-tipe orientasi serat komposit (a) serat searah (b) tenunan (c)filament winding. (Abramovich, 2017).....	17
2.5	Pengecoran dengan cetakan terbuka (a) dan cetakan tertutup (b) (Groover, 2010).....	21
2.6	Stir casting (Kandpal <i>et al</i> , 2017).....	23
2.7	Tungku Kupola (Groover, 2010).....	25
2.8	Sampel diheat treatment didalam furnace (Sumber : Bryson, 2015).....	29
2.9	Uji tarik dan juga data pengujian (Budiman, 2016).....	31
2.10	Sampel uji tarik dari bahan Aluminium setelah pengujian Tarik (Bryson, 2015)	31
2.11	Brinell Indenter (Bryson, 2015).....	31
2.12	Tipe-tipe lekukan piramid intan: (a) lekukan yang sempurna, (b)lekukan bantal jarum, (c) lekukan berbetuk tong (Dieter, 1987).....	32
2.13	mesin uji kekerasan Rockwell (Bryson, 2015).....	33
2.14	Mekanisme kerja SEM (Groover, 2010).....	34
2.15	Kerangka Diagram Fishbone.....	35
3.1	Prinsip kerja metode Brinell Hardness (Bryson, 2017)....	36
3.2	Diagram Alir penelitian.....	39
3.2	Diagram Fishbone.....	42
4.1	Grafik Pengujian Kekerasan As-Cast dan T6 Heat Treatment.....	45

4.2	Porositas pada mikrostruktur Al-nano ZnO variasi 3% Mg.....	46
4.3	Kekerasan paduan aluminium sebelum dan setelah T6 Heat Treatment (Pio, 2011).....	47
4.4	Grafik Pengujian Tarik As-Cast dan T6 Heat Treatment.	49
4.5	Porositas pada mikrostruktur Al-nano ZnO variasi 1% Mg As-cast.....	51
4.6	Perbandingan kekuatan tarik aluminium A356 dengan perlakuan panas T6 dan tanpa perlakuan panas T6 (Pio, 2011).....	52
4.7	Struktur mikro Komposit Al-ZnO (a) Mg 1% tanpa T6 (b) Mg 3% tanpa T6 (c) Mg 5% tanpa T6 (d) Mg 1% T6 (e) Mg 3% T6 (f) Mg 5% T6.....	55
4.8	Struktur mikro paduan Al-6,2%Mg (Adjiantoro dan Sriyono, 2014).....	56
4.9	Mikrostruktur (a) Al4Cu 1% Mg T6 heat treatment (b) Al4Cu 1,5% Mg T6 heat treatment (Chao <i>et al</i> , 2006).....	57
4.10	struktur mikro Aluminium ingot.....	58
4.11	Pengamatan SEM komposit Al-nano ZnO- 5% Mg non T6 Heat Treatment.....	59
4.12	spinel MgAl ₂ O ₄	60
4.13	SEM agregasi partikel dalam komposit (Tian <i>et al</i> , 2014).....	61
4.14	Pengamatan SEM komposit Al-nano ZnO- 5% Mg T6 Heat Treatment.....	61
4.15	Persebaran Magnesium dan <i>reinforce</i> dalam komposit Alumunium (Zamani <i>et al</i> , 2019).....	62
4.16	Grafik Identifikasi Senyawa komposit Al-nano ZnO.....	62
4.17	Hasil analisa pencocokan software <i>Match!</i>	64
4.18	Pola XRD Al 2024 (Rebba dan Ramanaiah, 2014).....	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Keterangan	Halaman
1	Alat dan Bahan.....	69
2	Proses Penelitian.....	72
3	Hasil Pengujian.....	75

BAB 1.PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan manusia modern ditunjang dengan penciptaan berbagai alat penunjang kehidupan, perbedaan mendasar antara manusia dan hewan adalah pada kemampuannya untuk memanfaatkan sumber daya disekitarnya sebagai alat penunjang kehidupannya. Pada era modern, perkembangan teknologi dan pemanfaatan alat telah meningkat pesat dibandingkan era-era perkembangan manusia sebelumnya, perkembangan teknologi manusia tidak dapat dilepaskan oleh pengaruh para peneliti melakukan riset tentang teknologi yang dikembangkannya, salah satu penelitian yang terus dikembangkan adalah penelitian tentang material. Penelitian tentang material berkembang begitu pesat sejalan dengan adanya kebutuhan dari industri untuk memerlukan bahan yang sesuai dengan karakteristik dan sifat yang dibutuhkan. Salah satu material yang telah banyak dikembangkan dan memiliki penggunaan yang luas adalah Aluminium paduan (Balaji dan Manzoor, 2015).

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam (Surdia dan Saito, 2000). Dengan berbagai keunggulan, diperkirakan Aluminium akan terus diminati untuk pemakaiannya dan akan terus mengalami peningkatan serta akan terus dikembangkan dalam sifat-sifatnya. Produk-produk Aluminium banyak dihasilkan melalui proses pengecoran dan pembentukan (Surdia dan Saito, 2000). Produk-produk Aluminium dihasilkan melalui proses pengecoran dan pembentukan. Aluminium hasil pengecoran banyak dijumpai pada peralatan rumah tangga dan komponen otomotif misalnya *velg, piston block* mesin dan lain sebagainya. Aluminium hasil pembentukan diperoleh melalui tempa rol dan ekstrusi misal Aluminium profil dan plat yang banyak digunakan dalam konstruksi (Mondolfo, 1976).

Dalam pembuatan komposit antara Aluminium dan ZnO metode yang digunakan adalah menggunakan metode *stir casting*, metode *stir casting* adalah

metode keadaan cair dari fabrikasi bahan komposit, dimana fasa yang terdispersi (partikel keramik, serat pendek) dicampur dengan logam matriks cair dengan pengadukan secara mekanis. Teknik metalurgi ini adalah teknik yang paling ekonomis dari semua pilihan yang tersedia untuk pembuatan komposit matriks. Dalam mempersiapkan komposit matriks logam dengan metode pengadukan ada beberapa faktor yang harus diperhatikan termasuk kesulitan mencapai keseragaman distribusi bahan penguat, keterbasahan antara dua zat utama, porositas yang mungkin terjadi dalam matriks logam dan rekasi kimia antara bahan penguat dan paduan matriks (Kandpal *et al*, 2017).

Magnesium didapatkan dengan elektrolisis dari garam $MgCl_2$ menjadi Mg (Magnesium) dan Cl_2 (klorin). Magnesium kemudian dibentuk menjadi ingot Mg untuk diproses selanjutnya. Klorin didaur ulang untuk membentuk lebih banyak $MgCl_2$. Sebagai logam murni, magnesium termasuk logam yang bersifat lunak, untuk meningkatkan kekerasannya magnesium dipadukan dengan unsur logam lain (Groover, 2010).

Dengan pemanfaatan yang begitu beragam, Aluminium menjadi material yang populer untuk digunakan dan dikembangkan hingga saat ini, dikarenakan memiliki kekuatan yang tertinggi dari semua Aluminium paduan, Aluminium banyak digunakan untuk *fitting* pesawat, roda gigi dan poros dan berbagai pesawat komersial lainnya, *aerospace* dan alat transportasi (Ezatpour *et al*, 2016).

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh penambahan magnesium menggunakan fraksi berat 0%, 1%, 3%, 5% terhadap karakteristik komposit Al-nano ZnO dan juga perlakuan panas T6 terhadap sifat kekerasan, kekuatan tarik dan juga struktur mikro pada aluminium-nano ZnO dengan proses pengecoran dengan metode *stir casting*.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penambahan magnesium sebesar 0%, 1%, 3%, 5% terhadap volume paduan dan perlakuan T6 terhadap kekerasan komposit Aluminium-nano ZnO
2. Mengetahui pengaruh penambahan magnesium sebesar 0%, 1%, 3%, 5% terhadap volume paduan dan perlakuan T6 terhadap kekuatan tarik komposit Aluminium-nano ZnO.
3. Mengetahui pengaruh penambahan magnesium sebesar 0%, 1%, 3%, 5% terhadap volume paduan dan perlakuan T6 terhadap struktur mikro komposit Aluminium-nano ZnO.
4. Mengetahui pengaruh penambahan magnesium sebesar 0%, 1%, 3%, 5% terhadap volume paduan dan perlakuan T6 terhadap unsur penyusun komposit Aluminium-nano ZnO.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

Diharapkan dengan penelitian ini didapatkan suatu material yang memiliki kekuatan tinggi dan dapat bermanfaat terhadap berbagai pengaplikasiannya dan juga dapat menambah wawasan keilmuan tentang ilmu metalurgi.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mempermudah menganalisa permasalahan diperlukan batasan masalah didalam penelitian ini yaitu:

1. Material yang digunakan komposit Al-Nano ZnO dan Magnesium.
2. Fraksi berat Mg sebesar 0%, 1%, 3%, 5% terhadap volume paduan.
3. Tidak menghitung pengaruh kecepatan pembekuan logam cair.

1.5 Hipotesis

Penambahan unsur nanopartikel seng oksida (ZnO) pada aluminium akan merubah sifat dari aluminium tersebut, penambahan unsur Magnesium akan memperkuat ikatan yang terjadi. Sifat– sifat perubahan aluminium yang dapat diamati yaitu peningkatan kekerasan, kekuatan tarik dan juga ukuran butirnya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Paduan

2.1.1 Aluminium

Aluminium adalah logam yang paling berlimpah di permukaan bumi ini, dengan kelimpahan sekitar 8% di permukaan bumi yang membuat Aluminium mudah dijumpai dalam kehidupan manusia sehari-hari, dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Lambang unsur Aluminium adalah Al dengan nomor atom yaitu 13 yang memiliki massa jenis sebesar $2,7 \text{ gr/cm}^3$ merupakan logam dengan kekuatan rendah namun memiliki ketahanan yang korosi yang baik. Aluminium dipersiapkan dengan cara mengelektrolisis larutan *alumina* dalam leburan *cryolite*, materi esensial yang dibutuhkan adalah *alumina* dan *cryolite*. *Alumina* dipersiapkan dari *bauxite* $(\text{Al,Fe})_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ atau dari tanah liat tertentu $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)$ (Grard, 1920).

Aluminium adalah salah satu logam yang paling serba guna, paduan Aluminium secara umum dibedakan menjadi dua, yaitu paduan Aluminium tuang (*cast Aluminium alloys*) dan paduan Aluminium tempa (*wrought Aluminium alloys*), dalam kehidupan sehari-hari Aluminium tuang lebih banyak digunakan dikarenakan banyaknya pengaplikasian di bidang otomotif dengan ratio penggunaan paduan Aluminium tuang sebesar 3: 1 di Amerika Utara pada tahun 2014. Terlepas dari bobotnya yang ringan, keuntungan khusus dari paduan Aluminium untuk pengecoran adalah suhu lelehnya yang relatif rendah kelarutan yang dapat diabaikan untuk semua gas kecuali hidrogen, dan permukaan akhir dari produk hasil pengecoran yang bagus. Masalah utama dari paduan Aluminium tuang adalah penyusutan yang relatif tinggi yang terjadi selama proses pembekuan. Aluminium memiliki temperatur lebur sebesar 660°C (Polmear *et al*, 2017).

Dalam beberapa abad terakhir, pasar Aluminium telah berkembang dengan pesat, dengan berbagai macam pengaplikasian, dimulai dengan pengaplikasian pertama di bidang peralatan masak, diikuti oleh kabel listrik hingga penggunaan di bidang kemiliteran dalam pembuatan pesawat terbang yang terus

digunakan hingga sekarang, penggunaan ini terus berlanjut hingga abad 21 dalam penggunaan dibidang penjelajahan antariksa.

2.1.2 Klasifikasi Aluminium

a. Aluminium Murni

Aluminium murni didapat dalam keadaan cair dengan proses elektrolisa .Aluminium didapat dengan cara mengekstraksi *alumina* yang didapat bauksit yang mengandung banyak pengotor dan dimurnikan melalui proses kimia dan kemudian dielektrolisis untuk mendapatkan Aluminium murni dengan kadar kemurnian mencapai 99,85%, untuk mencapai kemurnian yang lebih tinggi Aluminium didielektrolisa kembali untuk mencapai kemurnian 99,99% (Surdia dan Saito, 2000). Tabel 2.1 menjelaskan tentang sifat fisik dari Aluminium.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik Aluminium (Surdia dan Saito, 2000)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,9996	>99,0
Massa Jenis (20°C)	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g. °C)(100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperature (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100°C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis kristal,konstanta kisi	<i>fcc</i> , a = 4,013 kX	<i>fcc</i> , a = 4,04 kX

Catatan *fcc*: *face centered cubic*

Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik Aluminium (Surdia dan Saito, 2000)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,9996		>99,0	
	Dianil	75% Dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Dari Tabel 2.1 dan 2.2 diatas dapat diketahui bahwa Aluminium memiliki keunggulan sebagai logam yang ringan, dapat menjadi konduktor listrik yang baik, yaitu 65% dari tembaga namun memiliki massa jenis sepertiganya sehingga dapat ditingkatkan luas penampangnya, memiliki ketahanan korosi yang baik sehingga dapat digunakan untuk berbagai macam produk. Namun Aluminium juga memiliki kelemahan dalam segi kekuatan dan kekerasan sehingga perlu ditambahkan paduan untuk meningkatkan karakteristiknya.

b. Paduan Aluminium

Dalam perkembangan ilmu material, sudah menjadi tujuan umum untuk mendapatkan material yang seringan dan sekuat mungkin, dengan tujuan mengefisienkan penggunaan bahan bakar, bahan-bahan kemudian diganti dari baja menjadi material yang lebih ringan seperti Aluminium dan magnesium, namun penggantian menjadi Aluminium ini bukan tanpa kelemahan, Aluminium sendiri memiliki kekurangan di sifat mekaniknya, terutama pada kekerasan, regangan dan batas cairnya, sehingga diperlukan paduan untuk meningkatkan sifat mekanik yang diikuti dengan perlakuan panas dan penuaan buatan (Hui *et al*, 2011). Berbagai macam unsur paduan digunakan dan tersedia untuk penggunaan komersial, misalnya lebih dari 300 komposisi terdaftar di *US Aluminium Association* pada

tahun 2015, yang paling banyak digunakan adalah Al-Si, Al-Si-Mg dan Al-Si-Cu dan paduan yang lain (Polmear *et al*, 2017).

Sejauh ini tidak ada sistem tata nama yang diterima secara internasional untuk mengidentifikasi paduan pengecoran Aluminium, namun Asosiasi Aluminium Amerika Serikat memperkenalkan sistem yang direvisi yang memiliki beberapa kesamaan dengan yang diadopsi untuk paduan tempa, termasuk dengan sistem tradisional Inggris. Asosiasi ini sekarang menggunakan sistem *numeric* 4 digit untuk mengidentifikasi paduan aluminium dan aluminium dalam bentuk coran dan pengecoran ingot. Digit pertama menunjukkan kelompok paduan, misalnya dalam grup 1xxx, dua digit dari kanan menunjukkan persentase minimum aluminium, aluminium. Digit kedua setelah digit pertama, menunjukkan bentuk produk dengan 0 dan 1 digunakan untuk menunjukkan coran dan ingot masing-masing (Polmear *et al*, 2017).

Tabel 2.3 Sistem 4 digit untuk Al dan paduannya (Surdia dan Saito, 2000)

Standart AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1s	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2s	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	10s-29s	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	3s-9s	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-4039	30s-39a	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	50s-69s	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069		Mg2Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	70-79s	Zn merupakan unsur paduan utama

Tabel 2.4 Klasifikasi perlakuan bahan (Surdia dan Saito, 2000)

Tanda	Perlakuan
-F	Setelah pembuatan
-O	Dianil penuh
-H	Pengerasan regangan
-H 1n	Pengerasan regangan
-H 2n	Sebagian dianil pengerasan regangan
-H 3n	Dianil untuk penyetabilan setelah pengerasan regangan
-T	Perlakuan panas
-T2	Penganilan penuh (hanya untuk pengecoran)
-T3	Pengerasan regangan setelah perlakuan pelarutan
-T4	Penuaan alamiah penuh setelah perlakuan pelarutan
-T5	Penuaan tiruan (tanpa perlakuan pelarutan)
-T6	Penuaan tiruan setelah perlakuan pelarutan
-T7	Penyetabilan setelah perlakuan pelarutan
-T8	Perlakuan pelarutan, pengerasan regangan, penuaan tiruan
-T9	Perlakuan pelarutan, penuaan tiruan, pengerasan regangan
-T10	Pengerasan regangan setelah penuaan tiruan

Pada Tabel 2.4 dijelaskan tentang klasifikasi perlakuan panas, yang dikembangkan untuk meningkatkan karakteristik dan kekuatan dari paduan Aluminium sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan (Nurlia *et al*, 2013), sebagai contohnya paduan 7075-T6. Dimana paduan-paduan tersebut dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis yaitu :

1) Paduan Al-Cu

Paduan Aluminium dan tembaga adalah penambahan paduan utama yang pertama kali digunakan secara luas untuk coran Aluminium meskipun sekarang telah banyak digantikan oleh paduan lain. Paduan Al-Cu memiliki nomer seri 2xxx, dengan komposisi Cu sebanyak 4-5%. Karakteristik dari paduan ini adalah memiliki sifat-sifat mekanik yang baik dan mampu mesin yang baik, namun

memiliki kekurangan dalam mampu cornya yang tergolong kurang baik, oleh karena itu diperlukan tambahan Si untuk meningkatkan mampu cornya dan tambahan Ti untuk memperhalus butir. Kemampuan dari coran paduan Al-Cu dapat ditingkatkan dengan perlakuan panas T6 yang mampu memberikan kekuatan tarik sebesar 25 kgf/mm^2 (Surdia dan Saito, 2000).

2) Paduan Al-Mn

Paduan Al-Mn adalah paduan yang memiliki nomer seri 3xxx. Mn adalah unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi dan unsur Mn biasanya dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Selain ketahanan akan korosi, tambahan paduan Mn juga berguna untuk meningkatkan kekerasan dan perlindungan lapisan film pasif dari Aluminium serta meningkatkan kinetika *repassivasi* dari Aluminium (Mraied dan Cai, 2017).

3) Paduan Al-Si

Paduan Al-Si adalah paduan yang memiliki nomer seri 4xxx. Paduan Aluminium dengan silikon adalah paduan utama yang paling penting dari paduan pengecoran Aluminium terutama karena fluiditas tinggi yang diberikan oleh keberadaan volume yang relatif besar dari Al-Si *eutektik*. Keunggulan lain dari pengecoran berdasarkan pada sistem Al-Si adalah ketahanan yang tinggi terhadap korosi, memiliki kemampuan las yang baik dan fakta bahwa silikon mengurangi penyusutan selama pembekuan dan koefisien ekspansi panas dari produk cor. Kekurangan dari paduan Aluminium silikon adalah kemampuan untuk proses permesinannya yang cukup sulit dikarenakan kehadiran partikel silikon yang keras dalam struktur mikro. Paduan komersial tersedia dalam *hipoeutektik* dan komposisi *hipereutektik* kurang umum untuk dikomersilkan, biasanya paduan ini digunakan untuk torak motor (Polmear *et al*, 2017).

4) Paduan Al-Mg

Paduan Al-Mg adalah paduan yang memiliki nomer seri 5xxx. Paduan Al-Mg biasanya memiliki kandungan unsur magnesium sebesar 4-16%. Karakteristik khusus yang dimiliki paduan Al-Mg yang merupakan keunggulannya adalah ketahanan yang tinggi terhadap korosi, proses permesinan yang baik dan penampilan yang menarik ketika dianodisasi. Sebagian besar paduan Al-Mg

menunjukkan respon yang sedikit bahkan cenderung tidak merespon ketika dilakukan perlakuan panas. Dalam proses pengecoran menggunakan cetakan pasir paduan Al-Mg memerlukan tindakan pencegahan khusus agar uap air dipasir tidak bereaksi terhadap magnesium dan menghasilkan MgO dan hidrogen yang menghasilkan pengkasaran dan menghitamkan permukaan produk coran. Paduan Al-Mg memiliki sifat sangat kuat dan mudah untuk dilakukan pengelasan, banyak dari paduan ini dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG (Polmear *et al*, 2017).

5) Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si adalah paduan yang memiliki nomer seri 6xxx. Jika sedikit Mg ditambahkan kepada Al, penguatan penguatan sangat jarang terjadi, tetapi apabila secara simultan paduan mengandung unsur Si, maka paduan dapat dikeraskan dengan penguatan panas setelah proses pelarutan. Hal ini disebabkan karena senyawa Mg_2Si berfungsi sebagai komponen murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan Al. Paduan dalam sistem ini memiliki kekuatan yang kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi paduan ini memiliki sifat sangat liat, sangat baik mampu bentuknya, mempunyai mampu bentuk yang baik pada ekstruksi dan memiliki ketahanan yang baik akan korosi. Paduan ini juga dapat ditingkatkan kekuatannya melalui proses perlakuan panas. Paduan ini banyak dipergunakan sebagai rangka-rangka konstruksi (Surdia dan Saito, 2000).

6) Paduan Al-Zn

Paduan Al-Zn adalah paduan yang memiliki nomer seri 7xxx. Paduan ini mengandung unsur Zn sebesar 5,1-6,1%. Penambahan elemen Zn dengan jumlah yang relatif sedikit akan dapat memperbaiki kekuatan dan ketahanan terhadap korosi, penambahan Zn juga menghasilkan faktor gesekan yang lebih rendah dan memudahkan dalam pengerjaan panas. Salah satu paduan Aluminium dengan kandungan Zn yang relatif tinggi dari 5,1% hingga 6,1% adalah Al 7075 dimana banyak dipergunakan untuk bagian/komponen dengan tegangan yang cukup tinggi dan ketahanan korosi yang cukup baik.

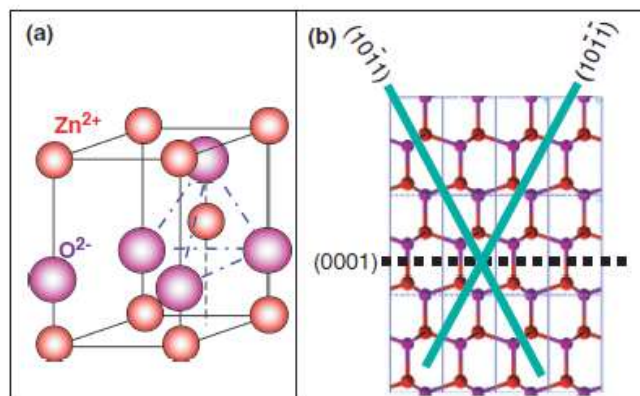
2.1.3 Unsur Paduan

a. Mg

Magnesium dan paduannya adalah bahan yang paling ringan diantara logam-logam industri yang mempunyai massa jenis 1,8 yang biasanya digunakan untuk pesawat terbang dan mobil. Sifat-sifat mekanik dari paduan magnesium tidak kalah kuat dari pada paduan Aluminium, terutama mampu mesinnya yang baik. Kekurangan dari magnesium adalah tidak tahan terhadap korosi, oleh karena itu penggunaan secara praktis tidak terlalu banyak digunakan. Dalam perkembangan berikutnya magnesium kemudian dipadukan dengan paduan lain untuk menutupi kekurangannya dan membuat penggunaan magnesium dengan kekhasannya dapat diperluas (Surdia dan Saito, 2000)

b. ZnO

Material nanostruktur ZnO telah mendapat perhatian khusus karena memiliki karakteristik yang berguna dibidang elektronik, optik dan fotonik, sejak tahun 1960-an, pembuatan dan penyintesisan film tipis ZnO telah aktif dilakukan karena pengaplikasiannya sebagai sensor, transduser dan katalis. Dalam perkembangan selama beberapa dekade terakhir, terutama sejak dimulainya era nanoteknologi. Struktur ZnO dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur ZnO (Wang, 2006)

Seng Oksida (ZnO) berasal dari bijih seng terutama kandungan sulfide, slika dan karbonat. Unsur seng memiliki kelimpahan sebesar 0,004% dari kerak bumi, seng adalah salah satu unsur yang kurang umum dan memiliki urutan kedua

puluh lima dalam kelimpahan unsur dikerak bumi. Seng oksida (ZnO) diproduksi untuk komersial dengan dua metode yaitu metode amerika (metode langsung) yang menggunakan bijih seng dan konsentrat dan metode prancis (tidak langsung) yang menggunakan logam seng. Sekitar 54 % dari seng oksida (ZnO) AS berasal dari bijih seng dan konsentrat, 33% dari *slab zinc* dan 13% dari bahan sekunder (Maxwell, 1991).

Seng Oksida mengkristal dalam struktur *wurtzite* dimana ion oksigen secara heksagonal tertutup dan setengah dari intersisi *tetrahedral* diisi dengan ion seng. Dalam struktur kristal ini didalamnya terdapat seng dan ion oksigen berkoordinasi dengan empat ion dari muatan yang berlawanan, karena perbedaan ukuran yang mencolok, ion-ion ini mengisi hanya sekitar 44% dari volume dalam kristal oksida seng meninggalkan beberapa radius yang relatif besar (0,0095 nm) yang terbuka untuk ruang (Maxwell, 1991). Pada Tabel 2.5 dibawah ini dijelaskan tentang *properties* dari seng oksida.

Tabel 2.5 Sifat-sifat dari seng oksida (Maxwell, 1991)

Sifat-sifat	keterangan
Berat molekul	Zn,65.38;O,16.00;ZnO,81.38
Kisi	Heksagonal,wurtzite
Konstanta kisi	a= 0,324 nm,c = 0.619 nm, c/a = 1.60
Densitas	5780 kgm ⁻³
Konstanta dielektrik	8.54
Indeks bias	2.008
Energy celah pita	3.2 ev
Formasi entalpi	-384.2 kJ mol ⁻¹
Titik leleh	Menguap pada 1700 °C
Panas spesifik	40.4 J mol ⁻¹ K ⁻¹
Kelarutan	1.6 x 10 ⁻⁶ kg per kg H ₂ O 25°C

Seng oksida (ZnO) banyak digunakan dalam industri karet terutama untuk campuran ban mobil yang mengandung 3-5% ZnO yang digunakan untuk mengaktifkan akselerator organik dalam vulkanisasi proses yang memberikan penguatan dan sifat penuaan yang lebih baik, meningkatkan sifat termal dan meningkatkan tahanan listrik, selain itu ZnO juga digunakan pada industri cat dan fotokopi (Maxwell, 1991).

2.2 Nano Material

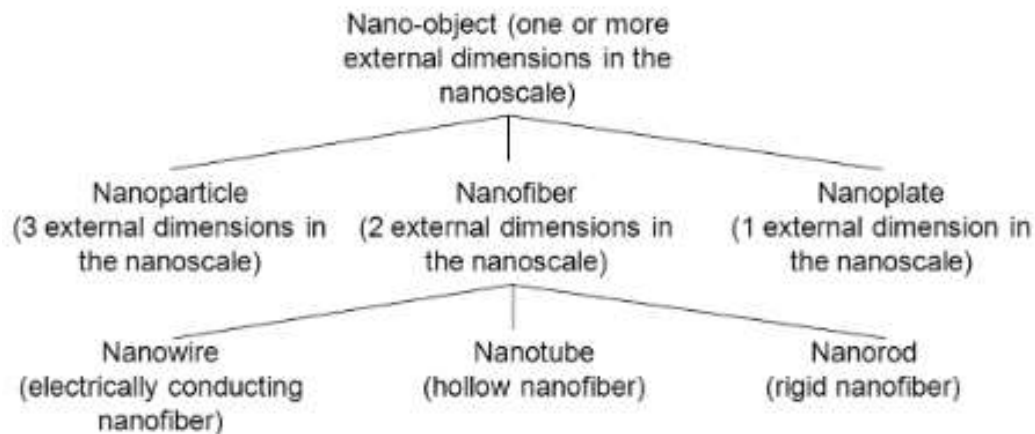
Menurut Ramsden (2016) Nano material didefinisikan secara sederhana dari dua kata yaitu Nano dan Material, maka nano material adalah material dengan skala nano, skala nano adalah setiap bentuk materi atau zat yang memiliki ukuran dengan rentang 1-100 nanometer, secara lebih spesifik nanomaterial adalah material yang memiliki satu atau lebih dimensi eksternal dalam skala nano atau memiliki struktur internal atau permukaan dalam skala nano.

Sebelum munculnya nano teknologi dan sistem internasional (SI) dilembagakan, benda benda ukuran besar diklasifikasikan sebagai makro dan alam atom disebut mikro. Setelah ditemukan mikroskop, pengklasifikasian benda dapat lebih akurat lagi dengan skala mikro. Perkembangan mikroskop kemudian tidak berhenti hanya sebatas ukuran mikro, pengembangan berikutnya menciptakan mikroskop berbasis elektron yang dapat mengklasifikasikan benda lebih akurat lagi hingga tingkatan nanometer. Pada Tabel 2.6 dijelaskan tentang ontologi nanodispersi.

Tabel 2.6 Ontologi nanodispersi (Ramsden, 2016)

matrix	Bentuk nano objek		
	Solid	Liquid	Gas
Solid	Nanokomposit	-	<i>Nanofoam</i>
Liquid	Nanosuspensi	Nanoemulsion	<i>Nanofoam</i>
gas	Aerosol	aerosol	-

Nano material dapat diklasifikasikan dalam berbagai bentuk, yaitu partikel nano, *nanofiber* dan *nano plate*. Klasifikasi bentuk material nano dijelaskan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Tipe-tipe bentuk nano (Ramsden, 2016)

2.3 Komposit

Komposit adalah bahan baru hasil penggabungan dan rekayasa dari dua bahan atau lebih (Gibson, 1994). Tujuan dari perekayasaan ini adalah untuk menghasilkan bahan yang mempunyai spesifikasi yang unggul untuk menutupi kekurangan dari suatu bahan dan meningkatkan karakteristiknya. Komposit terdiri atas matriks dan penguat. Matriks disini merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai fasa volume terbesar(dominan), dalam penelitian ini matriksnya Aluminium, sedangkan penguat (*reinforcement*) berupa nano *zinc oxide* (ZnO).

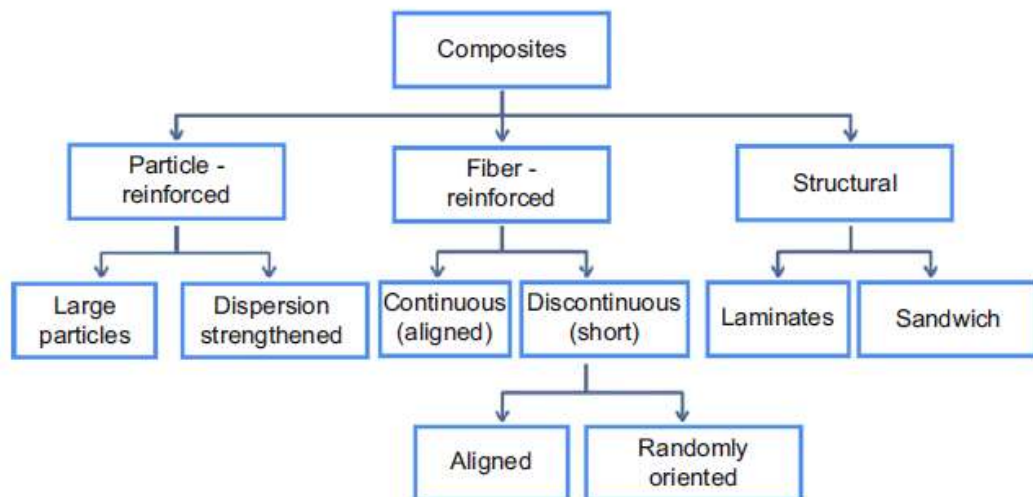
Bahan komposit dapat diklasifikasikan dalam berbagai cara, salah satu klasifikasinya adalah komposit tradisional dan sintetis. Komposit tradisional adalah komposit yang terjadi di alam dan telah terproduksi selama bertahun-tahun sebagai komposit alami, sementara beton (semen Portland ditambah pasir atau kerikil) dan aspal dicampur dengan kerikil adalah komposit tradisional yang digunakan dalam konstruksi. Komposit sintesis biasanya digunakan dalam industri bidang manufaktur, dimana komponen diproduksi secara terpisah pertama kali kemudian dikombinasikan dengan cara terkontrol untuk mencapai struktur, properti dan bagian-bagian lainnya yang diinginkan.

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

- a. Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang ductile tetapi lebih rigid serta lebih kuat, dalam laporan ini penguat komposit yang digunakan yaitu dari serat alam.
- b. Matriks, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.

Komposit dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

1. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*
Yaitu komposit yang dibuat dengan matriks yang terbuat dari bahan keramik
2. *Polymer Matrix Composite (PMC)*
Yaitu komposit yang dibuat dengan matriks berupa polimer yang memiliki sifat ringan dan kuat terhadap korosi. Polimer yang digunakan dapat berupa thermoset atau termoplastik.
3. *Metal Matrix Composite (MMC)*
Yaitu komposit yang menggunakan matriks yang terbuat berupa logam.
Pada gambar 2.3 dijelaskan tentang tipe-tipe komposit.



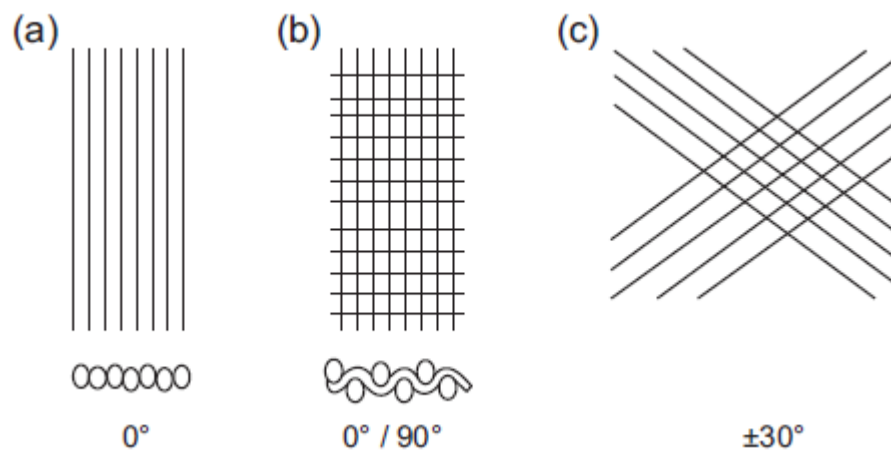
Gambar 2.3 Tipe-tipe komposit (Abramovich, 2017)

Tabel 2.7 dibawah ini dijelaskan tentang beberapa kombinasi dari sebuah komposit.

Tabel 2.7 Kombinasi yang mungkin dari bahan komposit dua komponen.(Groover, 2010).

Fasa kedua	Fasa utama		
	Metal	Keramik	Polimer
Metal	Bagian bubuk logam disusupi dengan logam kedua	NA	Senyawa plastik baja meleleh pada ban radial
Keramik	Logam yang diperkuat serat	SiC diperkuat Al_2O_3	Fiberglass-diperkuat plastik
Polimer	Serbuk logam diresapi dengan polimer	NA	Senyawa cetakan plastic Epoxy yang diperkuat Kevlar

NA : Not Aplicable



Gambar 2.4 Tipe-tipe orientasi serat komposit (a) serat searah (b) tenunan (c)filament winding. (Abramovich, 2017).

Pada Gambar 2.4, secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu :

1. *Fibrous Composites* merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu laminat atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat atau fiber. Fiber yang digunakan bisa berupa *glass fibers, carbon fibers, aramid fibers (poly aramide)*, dan sebagainya. Fiber ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.
2. *Laminated Composites* merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.
3. *Particulate Composites* merupakan komposit yang menggunakan partikel/serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.

2.3.1 *Metal Matrix Composite (MMC)*

Metal matriks komposit dibuat bertujuan untuk menggabungkan sifat-sifat yang diinginkan dari logam dan keramik. Penambahan kekuatan tinggi, modulus tinggi, partikel refraktori terhadap matriks logam yang ulet untuk menghasilkan material yang memiliki sifat mekanis yang bersifat intermediet antara paduan matriks dan tulangan keramik. Logam memiliki sifat yang bermanfaat seperti kekuatan, keuletan dan ketahanan suhu tinggi, tetapi kadang-kadang memiliki kekakuan rendah, sedangkan keramik kaku dan kuat, namun memiliki kekurangan yaitu sifatnya yang rapuh, Aluminium dan silikon karbida misalnya, memiliki sifat mekanik yang sangat berbeda, dengan menggabungkan kedua materi ini sebuah MMC dengan kekuatan dan keuletan yang tinggi dapat diproduksi. MMC masih dapat dikembangkan dengan mengendalikan jumlah dan distribusi relatif dari bahan komposit serta kondisi saat pengolahan. Salah satu proses manufaktur yang tersedia untuk pembuatan MMC adalah *stir casting*, keuntungan yang didapat dari proses ini adalah kesederhanaan dalam proses, fleksibilitas yang tinggi dan dapat digunakan dalam produksi dengan kuantitas yang besar serta merupakan teknik

pembuatan MMC yang paling ekonomis dari proses yang lainnya (Hashim *et al*, 1999).

Dalam membuat MMC menggunakan metode *stir casting* ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan untuk diperhatikan yaitu:

1. Kesulitan mencapai distribusi yang seragam dari bahan penguat.
2. Keterbatasan antara dua zat utama
3. Porositas dalam komposit matriks logam coran
4. Reaksi kimia antara bahan penguat dan paduan matriks.

Untuk mencapai sifat optimum dari logam matriks komposit, distribusi paduan matriks harus seragam dan *wettability* atau ikatan-ikatan antara zat-zat ini seharusnya dioptimalkan. Tingkat porositas perlu diminimalkan dan reaksi kimia antara bahan penguat dan paduan matriks harus dihindari (Hashim *et al*, 1999).

2.4 Pengecoran

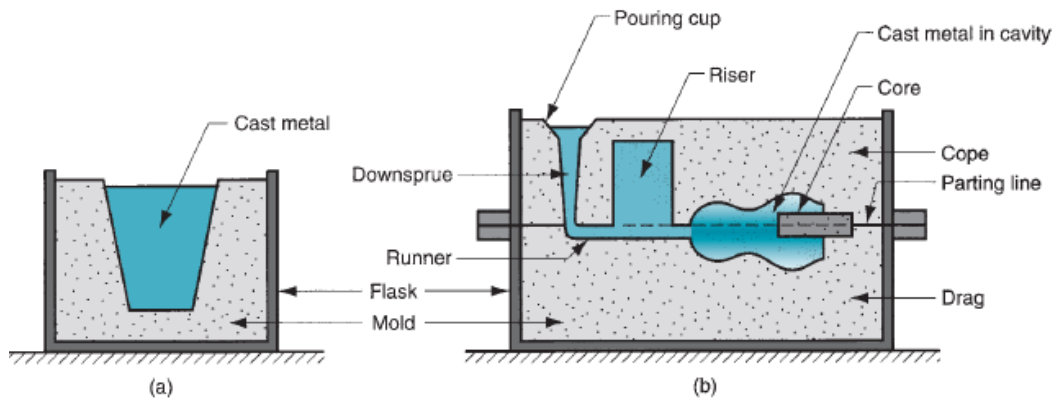
Pengecoran adalah proses dimana logam cair mengalir secara gravitasi atau gaya lain kedalam cetakan dimana logam cair tersebut membeku didalam rongga cetakan dan membentuk sesuai dengan bentuk cetakan. Istilah pengecoran juga diterapkan pada produk yang dibuat oleh proses ini. Pengecoran merupakan salah satu proses yang tertua dalam pembuatan produk melalui proses pembentukan yaitu sudah dikenal selama 6000 tahun. Prinsip pengecoran terlihat sederhana, yaitu dimulai dengan melelehkan logam, logam cair kemudian dituangkan kedalam cetakan, kemudian material dibiarkan dingin dan padat. Sejauh ini belum banyak faktor dari variabel yang harus diperhatikan berurutan untuk mencapai operasi pengecoran yang sukses (Groover, 2010).

Pengecoran meliputi pengecoran ingot dan pengecoran bentuk. Istilah ingot biasanya dikaitkan dengan industri logam primer. Berbagai metode pengecoran yang berbeda tersedia, sehingga membuatnya menjadi salah satu proses manufaktur produk yang paling banyak digunakan, keuntungan menggunakan proses ini adalah:

1. Pengecoran dapat digunakan untuk membuat geometri bagian yang kompleks, termasuk bagian eksternal dan internal produk.
2. Beberapa proses pengecoran mampu menghasilkan bagian untuk membentuk *net shape* atau mencapai bentuk final produk dan tidak memerlukan proses manufaktur lanjutan untuk mencapai dimensi yang akurat dan detail.
3. Pengecoran dapat digunakan untuk menghasilkan bagian yang sangat besar, pengecoran dengan berat lebih dari 100 ton telah dibuat.
4. Proses pengecoran dapat dilakukan pada setiap logam yang dipanaskan kedalam bentuk cair.
5. Beberapa metode pengecoran sangat sesuai untuk produksi produk secara massal.

Selain memiliki kelebihan proses pengecoran juga memiliki kerugian, kerugian dalam proses pengecoran berbeda antara metode pengecoran yang satu dengan yang lainnya. Kerugian dalam proses pengecoran antara lain dalam sifat mekanik, porositas, akurasi dimensi yang buruk dan permukaan akhir yang buruk untuk beberapa pengecoran, bahaya keamanan saat memproses logam cair dan masalah lingkungan (Groover, 2010).

Salah satu bagian utama dari pengecoran adalah cetakan. Cetakan berisi rongga geometri menentukan bentuk bagian cor. Ukuran dan bentuk sebenarnya dari rongga harus lebih besar untuk menghindari penyusutan yang terjadi dalam logam selama pembekuan dan pendinginan. Dalam proses pengecoran, logam pertama dipanaskan sampai suhu pelelehannya hingga mengubahnya menjadi keadaan cair, kemudian logam cair dituangkan kedalam rongga cetakan. Dalam cetakan terbuka logam cair cukup dituangkan sampai mengisi rongga terbuka. Dalam cetakan tertutup, sebuah lorong disebut sistem gating, disediakan untuk memungkinkan logam cair mengalir dari luar cetakan kedalam rongga, cetakan tertutup sejauh ini merupakan pilihan yang lebih banyak dipakai dalam industri. Gambar 2.5 menjelaskan perbedaan antara pengecoran dengan cetakan terbuka dan cetakan tertutup.



Gambar 2.5 Pengecoran dengan cetakan terbuka (a) dan cetakan tertutup (b) (Groover, 2010).

Cetakan dapat terbuat dari bahan pasir, keramik dan logam. Beragam proses pengecoran sering diklasifikasikan menurut jenis cetakan yang berbeda. Cetakan dapat dibagi berdasarkan material yang dipakai untuk pembuatan dan berdasarkan bentuk geometrinya. Secara umum cetakan dibedakan menjadi cetakan permanen dan cetakan sekali pakai.

2.4.1 Jenis-Jenis Cetakan Pengecoran

Terdapat beberapa jenis cetakan logam yang biasa digunakan dalam pengecoran logam, antara lain :

a. Pengecoran dengan Cetakan Pasir

Pengecoran dengan cetakan pasir menggunakan media pasir yang dibentuk untuk menghasilkan rongga yang berfungsi sebagai cetakan dalam pengecoran logam. Pengecoran dengan cetakan pasir termasuk kedalam jenis *expendable mold* atau cetakan sekali pakai. Dalam pengecoran menggunakan media pasir, pasir yang digunakan merupakan pasir khusus, pasir yang dapat digunakan untuk pembuatan cetakan media pasir biasanya mengandung unsur tanah liat yang dapat dibedakan menjadi media pasir basah dan pasir kering. Dalam pembuatan cetakan pasir diperlukan kehati-hatian agar rongga yang telah dibuat tidak mengalami kerusakan dan dapat sesuai dengan dimensi produk yang diinginkan (Sudjana, 2008).

b. Pengecoran dengan Cetakan Logam

Pengecoran dengan cetakan logam menggunakan cetakan yang dibuat dengan dua bagian yang dirancang dari logam untuk pembukaan dan penutupan yang mudah dan tepat. Kelebihan dibanding cetakan non permanen adalah penggunaan yang dapat diulang-ulang dengan dimensi produk yang sama serta menghasilkan permukaan coran yang baik sehingga cocok untuk industri dengan produksi dengan volume produksi besar dan berulang-ulang. Logam yang dapat dicetak pada cetakan logam antara lain Aluminium, magnesium, paduan tembaga dan besi tuang. Keunggulan dari cetakan logam yang lain adalah pembekuan produk coran lebih cepat terjadi yang menghasilkan struktur butir yang lebih halus, sehingga dihasilkan coran yang lebih kuat. Bagian-bagian khas yang dibuat dengan cetakan permanen termasuk produk otomotif, piston, badan pompa dan coran tertentu untuk pesawat dan rudal (Groover, 2010).

2.4.2 Metode Pengecoran

Dalam proses pengecoran terdapat berbagai macam metode pengecoran, antara lain:

a. *Stir Casting*

Stir casting adalah proses pengecoran logam dengan cara menambahkan suatu logam murni dengan suatu unsur penguat, dengan cara melebur logam murni tersebut hingga titik lelehnya dan melebur sempurna kemudian logam murni tersebut diaduk –aduk secara terus-menerus hingga terbentuk suatu pusaran dalam jangka waktu tertentu yang telah ditetapkan kemudian unsur penguat tersebut dicampurkan secara sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusaran. Pada proses *stir casting* pengadukan merupakan hal yang harus diperhatikan pada kondisi matriks cair, pengadukan perlu dilakukan guna mengurangi terjadinya partikel keramik kerami yang mengendap dibawah larutan atau mengapung diatas larutan dan tidak terdistribusi secara sempurna. Gambar 2.6 dibawah menjelaskan dapur pengecoran stir casting.



Gambar 2.6 *Stir casting* (Kandpal *et al*, 2017)

b. Gravity Casting

Gravity casting merupakan teknik pengecoran dengan cara menuangkan logam cair yang telah melebur sempurna kedalam cetakan dimana saat penuangannya menggunakan gaya gravitasi dan tidak diberikan tekanan, cetakan dari *gravity casting* biasanya terbuat dari logam atau disebut cetakan permanen.

Keunggulan dari menggunakan cetakan permanen dengan metode *gravity casting* adalah produk coran akan memiliki struktur mikro yang lebih halus dengan pori-pori kecil sehingga akan meningkatkan sifat mekaniknya. Tabel 2.8 menjelaskan tentang keuntungan dan kerugian dari teknik pengecoran *gravity casting*.

Tabel 2.8 Keuntungan dan kerugian *gravity casting* (Surdia dan Chijiwa, 1998)

Keuntungan	Kerugian
Ketelitian ukuran sangat baik	Tidak sesuai untuk produksi kecil
Struktur yang dihasilkan lebih rapat	Sukar membentuk cetakan bentuk rumit
Proses mudah dan produktivitas tinggi	Pembentukan cetakan sulit dan mahal

c. *High Pressure Die Casting (HPDC)*

Pengecoran logam dengan metode *High Pressure Die casting (HPDC)* adalah metode pengecoran dengan cara menginjeksikan cairan logam ke dalam cetakan dengan kecepatan dan tekanan tertentu dengan menggunakan mesin HPDC. Cetakan yang digunakan adalah baja karbon.

d. *Centrifugal Casting*

Pengecoran sentrifugal mengacu pada beberapa metode pengecoran dimana cetakan diputar pada kecepatan tinggi sehingga gaya sentrifugal mendistribusikan logam cair ke daerah luar rongga. Proses pengecoran ini akan menghasilkan paduan yang seragam kesegala sisi dan biasanya metode ini dipakai untuk menghasilkan produk coran yang berbentuk tabung (Groover, 2010).

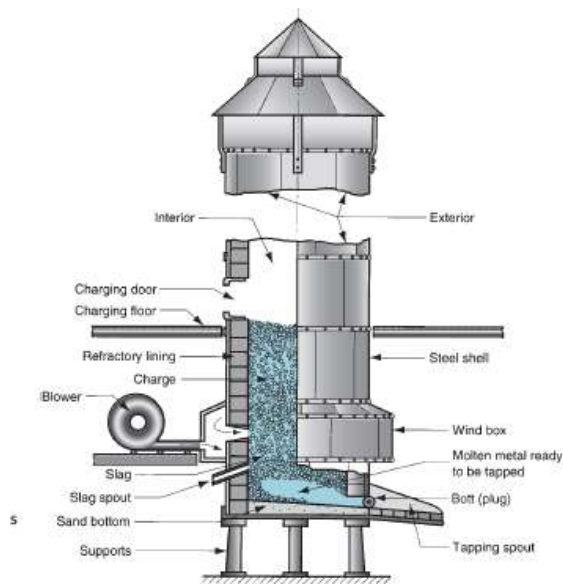
2.4.3 Tungku Peleburan

Dalam proses pengecoran, tungku merupakan bagian utama untuk proses pelelehan logam padat menjadi logam cair. Terdapat berbagai macam variasi tungku pengecoran sesuai dengan material yang akan dicor, kapasitas produksi, jenis energi yang dipakai untuk peleburan, macam-macam tungku pengecoran yang umum digunakan antara lain :

a. Tungku Kupola

Tungku kupola adalah tungku silinder vertical yang dilengkapi dengan cerat penyadapan dekat dasarnya. Tungku kupola hanya digunakan untuk

melelehkan besi cor, dan meskipun tungku lainnya juga dapat digunakan, Namun tonase besi cor terbesar meleleh di tungku kupola. Dapur ini memiliki model silindris tegak dan terbuat dari baja yang pada bagian dalamnya dilapisi oleh batu tahan api. Bahan bakar dari dapur ini menggunakan bahan bakar kokas, batu kapur digunakan sebagai fluks dan besi bekas sebagai bahan baku pengecorannya. Gambar 2.7 menjelaskan tentang tungku kupola.



Gambar 2.7 Tungku Kupola (Groover, 2010)

b. Tungku Bahan Bakar Langsung

Tungku pembakaran langsung berisi perapian terbuka kecil dimana muatan logam dipanaskan oleh pembakar bahan bakar yang terletak pada sisi tungku. Atap pada tungku membantu aksi pemanasan dengan cara memantulkan api kebawah sehingga meminimalkan biaya. Bahan bakar yang umum digunakan adalah gas alam. Pada bagian bawah perapian terdapat lubang keran untuk melepaskan logam cair. Tungku ini pada umumnya digunakan untuk melelehkan logam *nonferrous*.

c. Tungku Wadah

Tungku wadah mencairkan logam tanpa kontak langsung dengan pembakaran dari bahan bakar, untuk alasan ini kadang-kadang tungku ini

disebut tungku pembakaran tidak langsung. Ada tiga jenis tungku ini antara lain : tipe angkat, tipe stasioner dan tipe miring.

Tungku ini menggunakan wadah yang terbuat dari bahan refraktori misal lempeng-grafit atau baja bersuhu tinggi untuk menahan muatan. wadah ditempatkan dalam tungku dan cukup dipanaskan untuk mencairkan muatan logam. Minyak, gas atau bubuk batu bara merupakan tipe bahan bakar umum yang digunakan.

d. Tungku Busur Listrik

Dalam jenis tungku ini, muatan dilelehkan oleh panas yang dihasilkan dari busur listrik. Berbagai konfigurasi tersedia, dengan dua atau tiga elektroda dengan Konsumsi daya tinggi, tetapi tanur listrik-busur dapat dirancang untuk kapasitas leleh tinggi (23.000–45.000 kg/jam atau 25–50 ton/jam), dan terutama digunakan untuk pengecoran baja.

e. Tungku Induksi

Tungku induksi menggunakan arus bolak-balik melewati suatu koil untuk mengembangkan medan magnet didalam logam dan menyebabkan kenaikan temperature disekitar koil yang digunakan untuk melelehkan logam. Fitur dari tungku induksi untuk proses pengecoran diilustrasikan pada gambar. Medan gaya elektromagnetik yang terjadi menyebabkan terjadinya pencampuran bahan. Keuntungan menggunakan dapur induksi dikarenakan logam cair tidak langsung bersentuhan dengan elemen pemanas maka akan menghasilkan logam cair yang memiliki kemurnian dengan kualitas tinggi. Pada umumnya baja leleh, besi cor, dan paduan Aluminium adalah bahan yang sering digunakan dengan metode ini (Groover, 2010).

2.5 Tahapan Pengecoran

Pada umumnya proses pengecoran memiliki tahapan-tahapan sebagai berikut :

2.5.1 Peleburan Logam

Tungku pemanas berbagai jenis digunakan untuk memanaskan logam hingga berubah menjadi lelehan dengan suhu yang cukup untuk dicor. Energi panas dibutuhkan menaikkan suhu logam hingga mencapai titik lelehnya (Groover, 2010). Pada titik awal dimana pelelehan itu terjadi, sebagian besar dari bahan masih dalam keadaan padat, proses penuangan dapat dilakukan setelah semua komposisi bahan telah mencair sempurna. Untuk setiap logam memiliki titik cair yang berbeda-beda, maka dalam proses pengecoran perlu diperhitungkan titik cair bahan, berat jenis, dan koefisien kekentalan dari bahan yang akan digunakan, seperti dijelaskan dalam Tabel 2.9 berikut :

Tabel 2.9 Spesifikasi titik cair, berat jenis dan koefisien kekentalan

(Sudjana ,2008)

Bahan	Berat Jenis (g/mm ³)	Titik Cair (0°C)	Koefisien Kekentalan (cm ² /det)
Air	0,9982 (20) °C	0	0,010061
Air Raksa	13,56 (20) °C	38,9	0,00114
Timah Putih	5,52 (232) °C	232,0	0,00199
Timah Hitam	10,55 (440) °C	327,0	0,00156
Seng	6,27 (420) °C	420,0	0,00508
Aluminium	2,35 (760) °C	660,0	0,00508
Tembaga	7,84 (1200) °C	1083,0	0,00395
Besi	7,13 (1600) °C	1537,0	0,00560
Besi Tuang	6,9 (1300) °C	1170,0	0,00230

2.5.2 Degassing

Porositas merupakan salah satu cacat pengecoran utama yang dapat merugikan produk coran berupa menurunnya sifat mekanik, menurunnya kekuatan bahan dan korosi. Porositas terjadi karena adanya penyusutan saat proses

pemadatan yang dihasilkan dari penurunan volume bahan selama proses pembekuan dan evolusi gas terlarut dalam padatan logam.

Hidrogen merupakan satu-satunya gas yang lumayan terlarut dalam Aluminium cair. Dengan demikian, maka menghilangkan hidrogen merupakan langkah yang penting untuk dapat memproduksi coran yang berkualitas tinggi.

Ada beberapa metode yang saat ini digunakan untuk mengurangi inklusi dan menghilangkan kandungan hidrogen dalam logam cair, salah satunya dengan metode degassing dengan nitrogen, argon atau campuran gas lembam dan klorin sebagai gas pembersih, tablet degassing seperti hexachloroethane (C_2Cl_6), vacuum degassing, degassing ultrasonic dan degassing semprot (Zhao *et al*, 2012).

2.5.3 Penuangan

Setelah logam dipanaskan dan telah meleleh sempurna, logam siap untuk dituangkan kedalam cetakan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses penuangan antara lain suhu penuangan, laju penuangan, dan turbulensi. Temperatur penuangan juga harus diikuti dengan pemanasan cetakan terlebih dahulu. Proses penuangan juga mengacu pada tingkat volumetrik logam tersebut, jika laju terlalu lambat, logam akan mendingin dan membeku sebelum mengisi rongga, jika terlalu cepat, maka dapat terjadi turbulensi yang ditandai oleh variasi yang tidak menentu besar dan arah dari seluruh cairan (Groover, 2010).

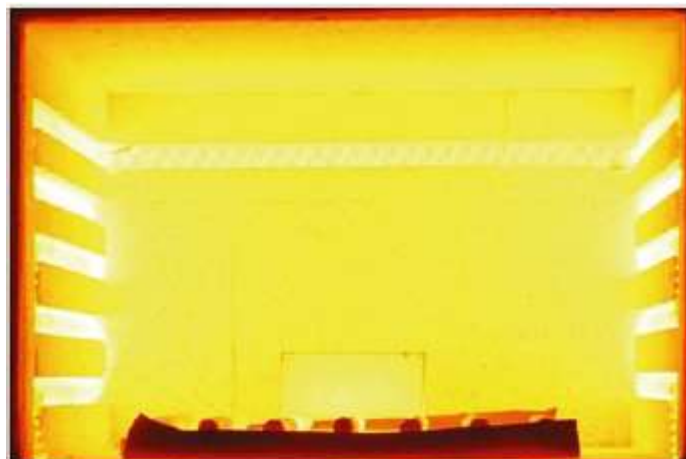
2.5.4 Pembongkaran

Setelah logam membeku secara sempurna, cetakan dapat dilepas dengan melepas baut-baut yang ada pada cetakan, dan perlahan produk hasil coran dari cetakan.

2.6 Perlakuan Panas

Perlakuan panas dan rekayasa permukaan merupakan elemen penting dalam desain dan pembuatan komponen strategis di berbagai sektor pasar dan industri, termasuk transportasi, produksi energi, pertambangan dan lain-lain.

Definisi perlakuan panas yang diterima secara umum adalah pemanasan dan pendinginan padatan logam atau paduan dengan sedemikian rupa sehingga memperoleh kondisi dan/atau sifat-sifat tertentu. Dengan demikian, perlakuan panas mewakili kombinasi termal dan termokimia operasi yang bertujuan mengubah sebagian besar fisik dan mekanik tetapi juga kimia dari properti bahan tanpa mengubah bentuk produk. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan masa pakai suatu produk dengan meningkatkan kekuatan dan kekerasan atau mempersiapkan material untuk peningkatan manufakturabilitas. Pada tingkat teknis perlakuan panas sebuah proses yang melibatkan fenomena perubahan panas, perubahan fasa dan juga tekanan yang mengubah struktur mikro suatu material. Setiap bahan memiliki karakteristik yang berbeda saat diberi perlakuan panas, ada bahan yang merespon dengan baik namun juga terdapat bahan yang tidak memberikan respon (Czerwinski, 2012).



Gambar 2.8 Sampel di *heat treatment* didalam *furnace* (Sumber : Bryson, 2015).

2.6.1 *Solution*

Proses perlakuan panas ini dilakukan dengan memanaskan kembali Aluminium pada suhu $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $560\text{ }^{\circ}\text{C}$ didalam *furnace* kemudian ditahan sesuai dengan jenis dan benda kerjanya (Zulfia dkk, 2010). Proses perlakuan panas *solution* bertujuan untuk menghomogenkan larutan padat Aluminium.

2.6.2 Quenching

Quenching merupakan salah satu proses heat treatment dimana logam yang sebelumnya telah dipanaskan pada suhu diatas daerah kritis dicelupkan kedalam media pendingin untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan terhadap aus. Banyak tipe media pendingin yang dapat digunakan antara lain air, oli, lumpur dan lain-lain. Media pendingin seperti air cocok untuk logam maupun paduan logam yang memiliki hardenability dan juga kekerasan yang relatif rendah, misalnya paduan Aluminium (Purwanto, 2011).

2.6.3 Aging

Proses perlakuan panas Aging dilakukan dengan waktu yang cukup lama dan dilakukan dengan temperatur yang rendah. Pada proses aging unsur-unsur paduan dalam solid solution secara bertahap keluar dan membentuk presipitat yang dapat meningkatkan kekuatan paduan. Proses Aging dibedakan menjadi dua yaitu penuaan buatan yang berlangsung pada suhu 100 °C- 200 °C dan penuaan alami yang berlangsung pada temperatur ruang 15 °C – 25 °C (Schonmetz, 1990).

2.7 Karakterisasi Material

Karakterisasi material diperlukan untuk mengetahui karakter maupun sifat-sifat dari suatu material. Pengujian yang biasa dilakukan antara lain pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro, pengujian dengan Scanning Electron microscope dan X-ray Diffraction.

2.7.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian dengan memberikan beban gaya yang arahnya berlawanan umumnya ke atas dan ke bawah pada suatu bahan yang akan diuji untuk mengetahui kekuatan material atau bahan tersebut. Saat diuji tarik bahan akan memberikan aksi untuk melawan gaya yang diberikan dan juga akan mengalami pemuluran, dengan begitu data berupa kekuatan bahan dapat dihitung. Untuk menguji regangan (stress) menggunakan rumus:

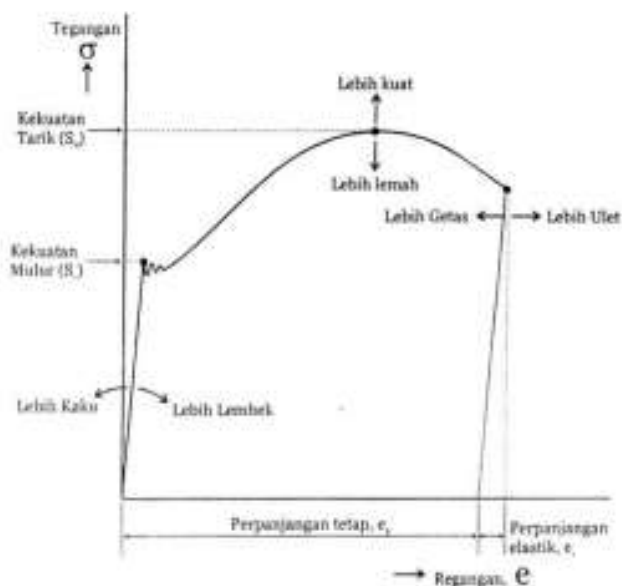
$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana: l_i = panjang akhir (mm)
 l_o = panjang mula-mula (mm)
 Δl = pertambahan Panjang (mm)
 ε = regangan akibat daya tarik (%)

Untuk menguji tegangan (strain) menggunakan rumus :

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana: F = Gaya tarik (N)
 A_o = luas penampang spesimen mula-mula (mm²)
 σ = Tegangan Tarik (Mpa)



Gambar 2.9 Uji tarik dan juga data pengujian (Budiman, 2016)

Gambar 2.9 menjelaskan tentang kurva antara regangan dan tegangan yang terjadi dalam pengujian suatu bahan.



Gambar 2.10 Sampel uji tarik dari bahan Aluminium setelah pengujian Tarik (Bryson, 2015).

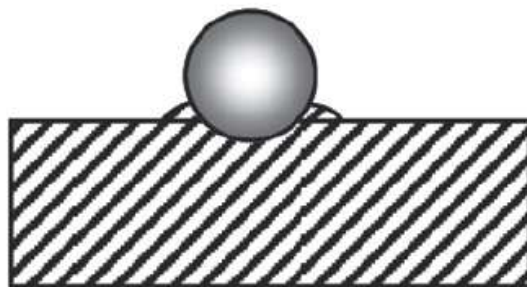
Pada Gambar 2.10 dijelaskan tentang sampel uji tarik yang telah diberikan gaya penarikan sehingga menyebabkan terjadinya elongasi dan terjadi kegagalan material mempertahankan bentuknya hingga akhirnya patah.

2.7.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah pengujian dengan membenturkan suatu indenter pada sudut 90° terhadap permukaan logam yang akan diukur kekerasannya untuk dapat mengetahui ukuran ketahanan logam terhadap deformasi yang terjadi baik deformasi permanen maupun deformasi plastis (Dieter, 1987). Terdapat berbagai macam metode uji kekerasan :

a. Uji Kekerasan *Brinell*

Uji kekerasan *Brinell* menggunakan bola baja yang mengalami pengerasan yang ditekankan kepada logam yang akan diukur sebagai indenter. Logam diukur dengan menumbukkan bola baja dalam sudut 90° yang akan dihitung kekerasannya secara digital yang diolah berdasarkan rumus perhitungan BHN material. Pada gambar 2.11 dibawah ini dijelaskan proses uji kekerasan *brinell*.



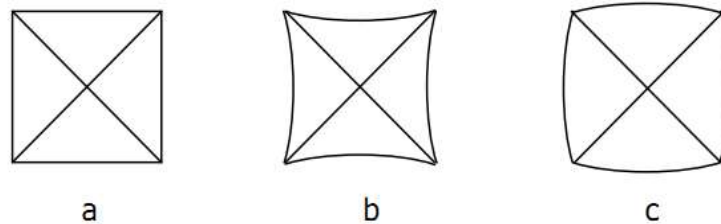
Gambar 2.11 *Brinell Indenter* (Bryson, 2015)

$$BHN = \frac{P}{(\pi D/2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana: P = beban yang digunakan (kg)
 D = diameter bola baja (mm)
 d = diameter lekukan (mm)

b. Uji Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan sebuah indentor berbentuk piramida yang terbuat dari intan yang berbentuk bujur sangkar, pada gambar 2.11 dijelaskan bahwa terdapat berbagai tipe dan bentuk dari piramida yang digunakan antara lain :



Gambar 2.12 Tipe-tipe lekukan piramid intan: (a) lekukan yang sempurna, (b)lekukan bantal jarum, (c) lekukan berbetuk tong (Dieter, 1987)

Untuk dapat mengukur kekuatan bahan diukur dengan rumus :

$$VHN = \frac{2P \sin (\phi/2)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana: P = beban yang digunakan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

ϕ = sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

c. Uji Kekerasan *Rockwell*

Secara umum uji kekerasan *Rockwell* hampir sama seperti uji kekerasan brinell,perbedaannya terletak pada indentor yang digunakan lebih kecil yang menyebabkan indentasinya lebih kecil dan lebih halus (Wiskocil, 1955). Pada Gambar 2.13 dijelaskan proses pengujian uji kekerasan *Rockwell*.



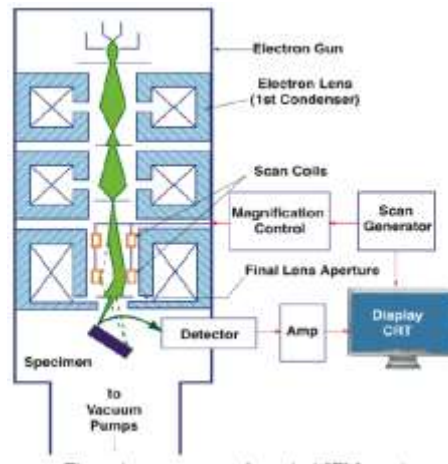
Gambar 2.13 mesin uji kekerasan *Rockwell* (Bryson, 2015).

2.7.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro diawali dengan mengamplas sisi yang akan diuji hingga menghasilkan permukaan yang halus dan mengkilat, kemudian benda uji diberi larutan kimia untuk menyebabkan pengkaratan dan menampakkan susunan struktur mikronya, kemudian benda uji diperiksa menggunakan mikroskop cahaya untuk mendapat gambar struktur mikro dari benda diuji, berupa bentuk dan ukuran Kristal logam, komposisi dan perlakuan panas yang terjadi, setelah pengamatan dilakukan, pengamat dapat memprediksi sifat-sifat dari bahan yang diuji.

2.7.4 SEM

SEM (scanning electron Microscope) merupakan salah satu mikroskop electron dengan pembesaran sangat besar yaitu hingga 0,1-0,2 nm. Kegunaan SEM adalah untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang diteliti terutama pada bagian butir dan fasa yang terjadi. Pada Gambar 2.14 dijelaskan mekanisme alat uji SEM dalam mencitrakan gambar.



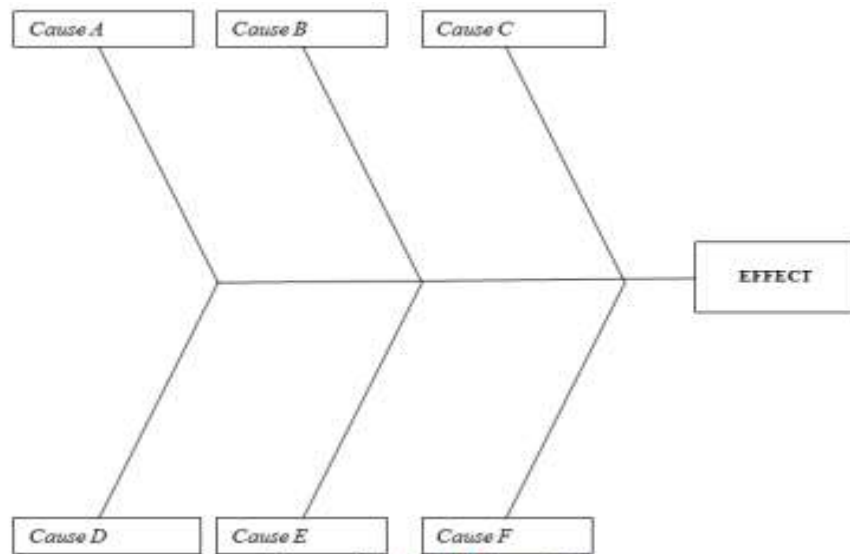
Gambar 2.14 Mekanisme kerja SEM (Groover, 2010)

2.7.5 XRD

Xray Diffraction (XRD) adalah suatu alat pengujian yang digunakan untuk menentukan dan menganalisa sistem kristal berupa susunan atom, parameter kisi dan jenis strukturnya. XRD menggunakan sinar X yang dihamburkan untuk menganalisa sistem kristal material, kemudian sinar X yang telah menembak sampel yang diuji kemudian akan mendifraksikan sinar ke segala arah. Sinar X akan dideteksi oleh detector yang bergerak.

2.8 Diagram *Fishbone*

Diagram *Fishbone* (juga disebut diagram Ishikawa atau diagram sebab-akibat) adalah teknik grafis untuk menunjukkan beberapa penyebab peristiwa atau fenomena tertentu. Secara khusus, diagram tulang ikan (bentuknya mirip dengan kerangka ikan) alat umum yang digunakan untuk analisis sebab dan akibat untuk mengidentifikasi interaksi yang rumit penyebab untuk masalah atau kejadian tertentu. Diagram penyebab ini dibuat oleh Ishikawa (1990) di bidang penelitian manajemen (Coccia, 2017). Gambar 2.15 menunjukkan bentuk kerangka diagram *Fishbone*.



Gambar 2.15 Kerangka Diagram *Fishbone* (Coccia, 2017)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu: pembuatan dan pengujian paduan Aluminium-nano ZnO dengan variasi penambahan ingot Mg. Pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengujian kekerasan dan pengamatan mikro dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Fisika, Fakultas Fisika Universitas Islam Negeri Malang. Pengamatan SEM dilakukan di Laboratorium bersama, Universitas Malang dan pengamatan XRD dilakukan di laboratorium Departemen Teknik Material, Institut teknologi Sepuluh Nopember.

3.2 Alat dan Bahan

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

3.2.1 Alat

- a. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan komposit Al-nano ZnO + Mg.
 - 1) Tungku peleburan.
 - 2) Gergaji besi.
 - 3) Timbangan digital.
 - 4) Gas argon.
 - 5) Cetakan permanen.
 - 6) *Torch* pemanas.
 - 7) Thermogun.
 - 8) Alat pengaduk (*stir*).
 - 9) Perlengkapan K3.
 - 10) Mesin poles/amplas.

- 11) Mesin bubut.
- 12) *Furnace*.
- b. Peralatan yang digunakan untuk pengujian komposit Al-nano ZnO + Mg:
 - 1) Alat uji kekerasan *Mitutoyo Hardness Testing Mechine*
 - 2) Alat uji tarik *LIYI LY-1066A*.
 - 3) Alat uji mikrostruktur *Microscopi Olympus BX41M*.
 - 4) *Scanning Electron Microscope (SEM) Phenom™ G2 Pro*.
 - 5) Alat uji *XRD PanAnalytical*.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada proses pembuatan komposit Al/Nano ZnO

- a. Ingot Aluminium.
- b. Ingot Mg.
- c. Serbuk Nano ZnO.
- d. Gas Argon.
- e. Larutan *etsa*.
- f. Resin dan amplas.

3.3 Proses Pembuatan Sampel

Dalam proses pembuatan komposit Al-nano ZnO dilakukan penimbangan bahan Aluminium-Nano ZnO dan ingot Mg sesuai dengan variabel bebas sebesar 0%, 1%, 3%, 5% terhadap volume paduan yang kemudian dilakukan proses pengecoran dengan metode *stir casting*.

Langkah-langkah untuk proses pembuatan sampel komposit Al-nano ZnO sebagai berikut:

- a. Menimbang massa Aluminium.
- b. Menimbang massa nano ZnO.
- c. Menimbang massa Ingot Mg sesuai variasi yang ditentukan.
- d. Melakukan *coating* pada kowi dan *crucible* dengan mortar.
- e. Menyalakan tungku peleburan dengan dipanaskan terlebih dahulu agar kandungan air hilang dan kemudian *disetting* sesuai kebutuhan suhu 700° C

untuk proses peleburan.

- f. Ketika Aluminium telah melebur dilakukan persiapan untuk penambahan nano ZnO dan Mg.
- g. Memasukkan Mg pada leburan aluminium.
- h. Heating nano ZnO pada suhu 500° C selama 5 menit kemudian dilakukan pencampuran pada leburan aluminium.
- i. Setelah penambahan ZnO dilakukan *melting* dengan penahanan suhu selama 30 menit.
- j. *Blander* dimasukkan hingga dasar *krusibel* dengan mengalirkan gas argon selama 30-45 detik kemudian *Blander* diangkat dari tungku pengecoran.
- k. Leburan diaduk menggunakan *stir* dengan kecepatan 450 rpm selama 30 detik kemudian *stir* diangkat.
- l. Slag dibuang pada leburan.
- m. Cetakan dipanaskan permanen sampai suhu 200° C dengan *torch* pemanas.
- n. Sebelum penuangan gas argon disemburkan pada bagian atas leburan dan Logam paduan dituangkan kedalam cetakan.
- o. Cetakan dibuka ketika logam sudah membeku.
- p. Kemudian sampel dilakukan proses perlakuan panas T6 yang pertama *solution treatment* didalam *furnace* dengan suhu 540° C selama 6 jam.
- q. Setelah itu keluarkan sampel dari *furnace* kemudian dilakukan proses perlakuan panas *quenching*.
- r. Kemudian sampel juga diberi perlakuan panas *aging* dengan suhu 115° C selama 5 jam..
- s. Sampel siap diuji.

3.4 Proses Pengujian Sampel

Ada 4 cara yang dilakukan dalam pengujian komposit Al-nano ZnO pada penelitian ini, yaitu:

3.4.1 Pengujian Tarik

Pada proses pengujian tarik komposit Al-nano ZnO ini menggunakan

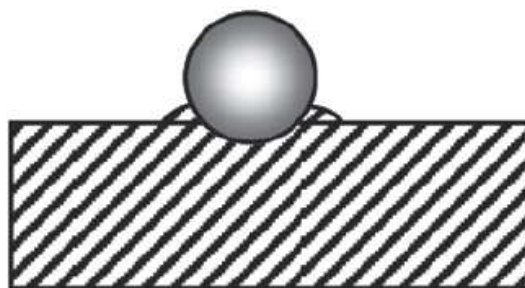
standard ASTM B 557M dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- a. Preparasi sampel sesuai standart ASTM B 557M
- b. Pasang sampel pada alat uji untuk dilakukan pengujian tarik.
- c. pengujian tarik dilakukan dan Pengamatan pengecilan diameter pada sampel uji tarik diamati dengan menggunakan jangka sorong.
- d. hasil yang keluar pada mesin uji tarik sampai sampel putus dicatat.

3.4.2 Pengujian Kekerasan

Pada proses pengujian kekerasan komposit Al-nano ZnO ini menggunakan standart ASTM E 10 serta menggunakan alat *Mitutoyo Hardness Testing Machine* dengan metode pengujian *Brinell Hardness* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- a. Sampel dipersiapkan dengan mengacu pada standart ASTM E 10.
- b. Alat pengujian disetting pada nilai *Brinell Hardness* dan disesuaikan dengan material yang akan diuji.
- c. Pengujian dilakukan dengan meletakkan alat pada spesimen agar indenter dapat bersentuhan pada spesimen.
- d. Angka kekerasan yang muncul pada alat *Hardness Tester TH120B* dicatat.



Gambar 3.1 Prinsip kerja metode *Brinell Hardness* (Bryson, 2017).

Gambar 3.1 menjelaskan tentang ilustrasi pengujian pada metode *Brinell Hardness*.

3.4.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pada proses pengamatan struktur mikro komposit Al-nano ZnO ini menggunakan standart ASTM E 407 - 07 serta menggunakan alat *Microscope Olympus BX41M* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

1. Sampel dipreparasi dengan memberi cetakan resin pada sampel agar mudah dalam pemegangannya.
2. Permukaan sampel diampelas menggunakan mesin ampelas dengan kakasaran 500 Cw, 1000 Cw, 1500 Cw, 2000 Cw.
3. Permukaan sampel digosok menggunakan autosol sampai mengkilap.
4. Campuran *etsa* dibuat dengan masukan campuran HF dan H₂O ke dalam gelas *beaker* dengan berat 10 gram HF dan 90 ml H₂O.
5. Campuran NaOH dan H₂O diaduk menggunakan pengaduk sampai tercampur rata.
6. Etsa sampel dilakukan dengan meneteskan satu tetes campuran HF dan H₂O ke permukaan sampel selama 20 detik.
7. Komputer yang sudah terinstal aplikasi mikroskop optik dihubungkan dengan mikroskop optik.
8. Sampel diletakkan ditempat sampel uji mikroskop optik dengan benar yaitu di bawah cahaya mikroskop optik.
9. Perbesaran mikroskop diatur sampai struktur mikro terlihat dengan jelas di komputer (perbesaran 200X dan 500X).
10. Hasil uji struktur mikro disimpan di dalam computer

3.4.4 Pengujian SEM

Pada proses pengamatan dengan SEM pada komposit Al-nano ZnO ini menggunakan alat *SEM Phenom™ G2 Pro* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

1. Alat pengujian *SEM Phenom™ G2 Pro* dipersiapkan.
2. sampel yang sudah siap diuji ditempatkan pada *stage*
3. *Stage* dimasukkan kedalam alat *SEM Phenom™ G2 Pro*.
4. Kemudian sampel siap di uji dengan pembesaran yang diinginkan

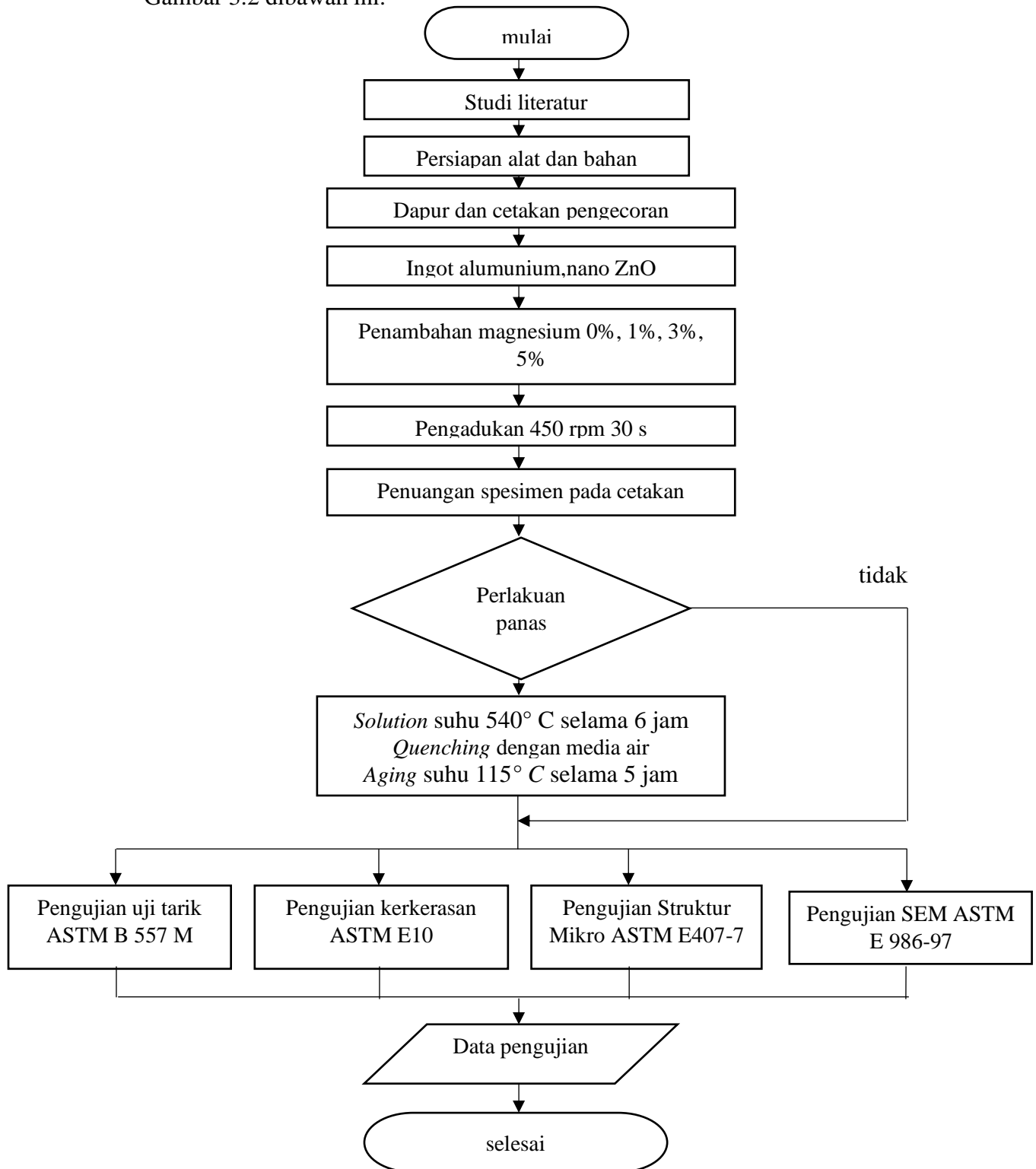
3.4.5 Pengujian XRD

Tahapan-tahapan pengujian ini antara lain, yaitu:

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

3.5 Diagram Alir Penelitian

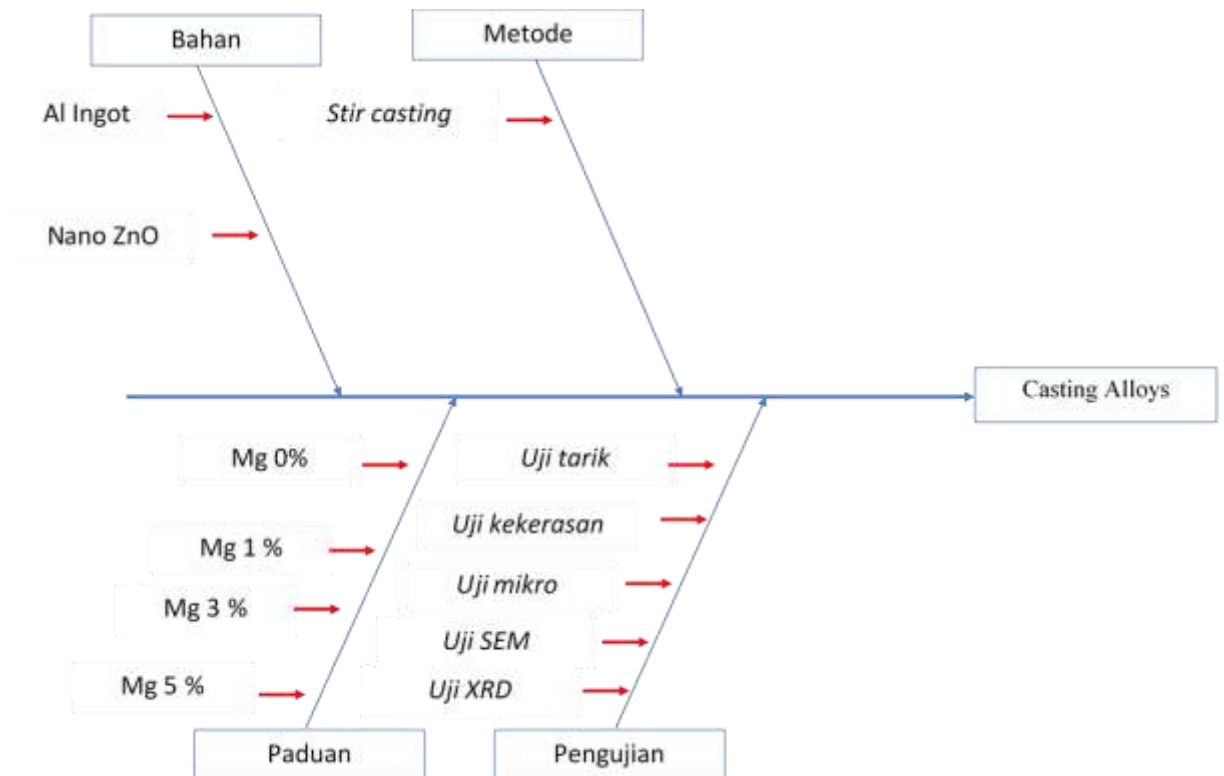
Langkah-langkah yang telah dilakukan oleh peneliti yang disajikan pada Gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Diagaram Alir penelitian

3.6 Diagram Fishbone penelitian

Berikut adalah diagram *fishbone* penelitian pengaruh penambahan Magnesium (Mg) terhadap karakteristik komposit Aluminium-nano Zinc Oxide (Al-nano ZnO) dengan metode *stir casting*:



Gambar 3.3 Diagram *Fishbone*

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan Magnesium dan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam meningkatkan kekerasan komposit Al-nano ZnO dengan kekerasan tertinggi dicapai dengan penambahan Mg 5% dan perlakuan panas T6 dengan nilai kekerasan 97,3 HRB.
2. Penambahan Magnesium dan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam meningkatkan kekuatan tarik komposit Al-nano ZnO dengan kekuatan tarik tertinggi dicapai dengan penambahan Mg 3% dan perlakuan panas T6 dengan nilai kekuatan tarik 107,5 MPa.
3. Dari pengamatan struktur mikro dapat disimpulkan bahwa penambahan Magnesium dan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam merubah struktur mikro komposit menjadi struktur mikro yang lebih halus dengan susunan butir berubah dari kolumnar menjadi bentuk struktur equiaxial.
4. Proses penambahan Magnesium dan perlakuan panas dengan metode *stir casting* memproduksi sejumlah fase baru seperti MgO, MgAl₂O₄ dan Al₂O₄Zn pada komposit Al-nano ZnO.

5.2 Saran

1. Perlu peningkatan metode dalam pengecoran dengan metode yang lebih modern dan kompleks untuk mendapatkan kepastian dalam distribusi partikel nano.
2. Perlunya perangkat keselamatan yang lebih aman untuk menjamin proses pengecoran tanpa adanya kendala.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramovich, Haim. (2017). *Introduction to composite materials*. Atlanta : Elsevier. Ltd.
- Abdizadeh, Hossein., Reza Ebrahimifard, Mohammad Amin Baghchesara. (2014). Investigation of microstructure and mechanical properties of nano MgO reinforced Al composites manufactured by stir casting and powder metallurgy methods: A comparative study. *Composites: Part B*. 56: 217–221.
- Adjiantoro, Bintang., Bambang Sriyono. (2014). Pembuatan Material Komposit Matriks Paduan Al–6,2%Mg/Al₂O₃(P) Dengan Proses Stir-Casting. *Majalah Metalurgi Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI*. 29: 63-70.
- Alat, Ace. (2012). Analysis Of Magnesium Addition, Hydrogen Porosity And T6 Heat Treatment Effects On Mechanical And Microstructural Properties Of Pressure Die Cast 7075 Aluminum Alloy. *Thesis*. Ankara: Department of Metallurgical and Materials Engineering Middle East Technical University.
- Anzip, Arino., Suhariyanto. (2006). Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.2 dengan Penambahan Manganese (Mn) dan Perlakuan Panas T6. *Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra*. 8: 64-68.
- ASM Handbook. (1991). *ASM Handbook Volume Heat treating*. United States of America:ASM International, Inc.
- ASTM E 10-01. (2001). *Standart Testing Method for Brinell Hardness of Metallic Material*. United States of America: ASTM International, Inc.
- ASTM B 557M-02a (2003). *Standart Test Methods of Tension Wrought and Cast Aluminium and Magnesium-Alloy Products*. United States of America: ASTM International, Inc.
- ASTM E (407-07). 2007. *Standart Practice for Microetching Metal and Alloy*. United States of America: ASTM International, Inc.
- Balaji.V, N.Sateeshb dan M.Manzoor Hussainc. (2015). Manufacture of Aluminium Metal Matrix Composite (Al7075-SiC) by Stir Casting Technique. *Proceedings of 4th International Conference on Materials Processing and Characterization*, Hyderabad. 14–15 Maret 2015: 3403 – 3408.
- Bryson,Wiliam E. (2015). *Heat Treatment Master Control Manual*. Munich: Hanser publisher.

- Budiman, Haris. (2016). Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja St37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell. *Jurnal J-Ensotec*. 03 (1): 9-13.
- Chao, Zheng Wei., Li Shuang-shou, Tang Bin, Zeng Da-ben. (2006). Microstructure and properties of Mg-Al binary alloys. *China Foundry*. 3 (4): 270-274.
- Casati, Riccardo., Maurizio Vedani. (2013). Metal Matrix Composites Reinforced by Nano-Particles—A Review. *Journal of Metals*. 4: 65-83.
- Coccia, Mario. (2017). The Fishbone diagram to identify, systematize and analyze the sources of general purpose technologies. *Journal of Social and Administrative Science*. 4 (4): 292-303.
- Copley, Stephen M. (1991). *Heat Treating*. United States of America: ASTM International, Inc.
- Czerwinski, Frank. (2012). *Heat Treatment – Conventional And Novel Applications*. Croatia : InTech.
- Dieter, G. (1987). *Metalurgi Mekanik, Jilid 1. edisi ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Eko, Rochmad., FX Kristianta, Sumarji. (2014). The Effect Of Magnesium On Aluminium 6061/Nano-Al₂O₃ Composite With Stir Casting Method. *Artikel Ilmiah Penelitian Mahasiswa Tahun 2014 Universitas Jember*: 1-4.
- Ezatpour, H.R., M. Torabi Parizi, S.A. Sajjadi, dan G.R. Ebrahimi. (2016). Microstructure, Mechanical Analysis And Optimal Selection Of 7075 Aluminum Alloy Based Composite Reinforced With Alumina Nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*. 4 : 1-9.
- Garg, Pulkit., Anbesh Jamwal, Devendra Kumar, Kishor Kumar Sadasivuni. Advance research progresses in aluminium matrix composites: manufacturing & applications. *Journal material Research and technology* . 746: 1-16.
- Gibson, F. Ronald (1994). *Principles Of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill: New York.
- Grard, C. (1920). *Aluminium and its Alloys their Properties, Thermal Treatment and Industrial Application*. Constable Ltd: Warbington.
- Groover, Mikell. P (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing materials, Processes, And Systems*. John Wiley & Sons, Inc: Lehigh.
- Hashim, J., L. Looney, M.S.J. Hashmi. (1999). Metal Matrix Composites: Production By The Stir Casting Method. *Materials Processing Technology*. 92 : 1-7.

- Hui,Wang., Luo Ying-bing, Peter Friedman, Chen Ming-he, Gao Lin. (2011). Warm Forming Behavior Of High Strength Aluminum Alloy AA7075. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China.* 22: 1-7.
- Junus, Salahuddin., Anne Zulfia, Lilis Mariani. (2015). Effect of Magnesium on Hardness and Microstructure of Metal Matrix Composite Al.6061/(Al₂O₃)_p Produced by Stir Casting Route. *Advanced Materials Research.* 1112: 381-385.
- Junus, Salahuddin., Sumarji, Robertus Sidartawan, Denny Riyanto. (2018). Influence of Magnesium on Hardness and Microstructure of ADC 12 Alloy Produced by Gravity Casting Method. *Materials Science Forum.* 951: 101-105.
- Kandpal, Bhaskar Chandra., Jatinder kumar , Hari Singh. (2017). Fabrication And Characterisation Of Al₂O₃/Aluminium Alloy 6061 Composites Fabricated By Stir Casting. *Proceedings of 5th International Conference on Materials Processing and Characterization*, Hyderabad: 12–13 Maret 2016. 2783–2792.
- Maxwell, J. (1991). *Zinc Oxide and Applications*. Atlanta: Elsevier Ltd.
- Mondolfo,L.F. (1976). *Aluminium Alloys. Structure and Properties*. Atlanta: Elsevier Ltd.
- Mraied,Hesham., Wenjun Cai. (2017). The Effects Of Mn Concentration On The Tribocorrosion Resistance Of Al–Mn Alloys. *International Journal On The Science And Technology Of Friction Lubrication And Wear.* 9: 1-31.
- Nurlia,Enung., Sunara Purwadaria, Eddy Agus Basuki. (2013). Retrogresi Dan Reaging Paduan Aluminium 7075 Dan Evaluasi Prosedur Yang Digunakan. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR - BATAN* Bandung. 4 Juli 2013: 411-419.
- Pio,L.Y. (2011). Effect of T6 Heat Treatment on the mechanical Properties of Gravity Die Cast A356 Alumunium Alloy. *Journal of applied Science.* 11: 2048-2052.
- Polmear,Ian., David StJohn, Jian-Feng Nie, dan Ma Qian (2017). *Light Alloys*. Atlanta: Elsvier Ltd.
- Prabowo, Agiel., Teguh Triyono, Indri Yaningsih. (2016). Analisa Pengaruh Penambahan Mg Pada Komposit Matrik Aluminium Remelting Piston Berpenguat Sio₂ Menggunakan Metode Stir Casting Terhadap Kekerasan Dan Densitas. *Mekanika.* 15 (1): 47-57.
- Purwanto,H. (2011). Analisa Quenching Pada Baja Karbon Rendah Dengan Media Solar. *Momentum.* 7: 36-40.
- Ramsden, J.J. (2016). *Nanotechnology an Introduction*. Atlanta: Elsevier Ltd.

- Rashad, M. M., Z. I. Zaki, H. El-Shall. (2009). A novel approach for synthesis of nanocrystalline $MgAl_2O_4$ powders by co-precipitation method. *Journal of Materials Science*. 44: 2992–2998.
- Rebba, Barghavi., N. Ramanaiah. (2014). Evaluation of Mechanical Properties of Aluminium Alloy (Al-2024) Reinforced with Molybdenum Disulphide (MOS_2) Metal Matrix. *Procedia Materials Science*. 6: 1161 – 1169.
- Salihu,Sani., Aliyu Isah, Polycarp Evarastics. (2012). Influence of Magnesium Addition on Mechanical Properties and Microstructure of Al-Cu-Mg Alloy. *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. 4: 15-20.
- Shan,D., L. Zhen. (2012). *Aging behavior and microstructure evolution in the processing of aluminum alloys*. Harbin: Woodhead Publishing Limited.
- Schonmetz, Paul. (1990). *Principles of Material Science & Enggining (2nd edition)*. New York: Mc Graw Hill.
- Su, Hai., Wenli Gao, Zhaohui Feng, Zheng Lu. Processing, microstructure and tensile properties of nano-sized Al_2O_3 particle reinforced aluminum matrix composites. *Materials and Design*. 36: 590–596.
- Sudjana,Hari. (2008). *Teknik Pengecoran logam*. Jakarta: Depdiknas.
- Surdia,Tata dan Kenji Chijiwa. (1998). *Edisi Kelima: Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surdia,Tata dan Shinroko Saito. (2000). *Edisi Keempat: Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Tian, Kangle., Yutao Zhao, Lei Jiao, Songli Zhang, Zhenya Zhang, Xiuchuan Wu. (2014). Effects of in situ generated ZrB_2 nano-particles on microstructure and tensile properties of 2024Al matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*. 594: 1-6.
- Tosun, Gul., Mehmet Kurt. (2019). The porosity, microstructure, and hardness of Al-Mg composites reinforced with micro particle SiC/Al_2O_3 produced using powder metallurgy. *Composites Part B*. 174: 1-9.
- Wang,zhong Lin. (2006). *Novel Nanostructures and Nanodevices of ZnO*. Atlanta: Elsevier Ltd.
- Wiskocil, C.T. (1955). *The Testing and Inspection of Engineering Materials*. McGraw-Hill Book Company: New York.
- Xie, Zhilin., Vincent DeLucca, Richard A. Haber. (2017). Aluminium magnesium boride: synthesis, sintering and microstructure. *Advances in Applied Ceramics*. 5: 1-7.
- Zhao,Lei., Ye Pan, Hengcheng Liao, dan Qigui Wang. (2012). Degassing of aluminum alloys during re-melting. *Materials Letters*. 66: 328–331.

Zulfia, Anne., Nyoman jujur, Jarot Raharjo. (2010). Proses Penuaan (Aging) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting. *Jurnal Teknik Mesin*. 12: 13–20.

LAMPIRAN

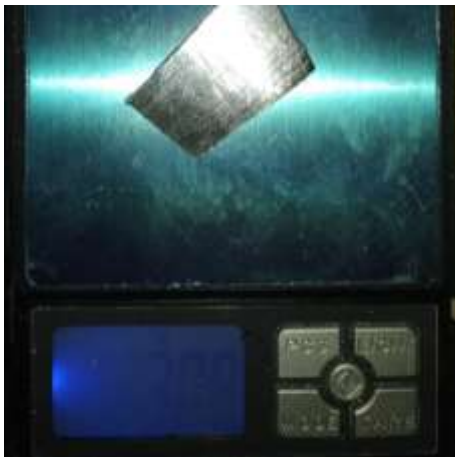
Lampiran 1. Alat dan Bahan



Tungku pengecoran



Gergaji Besi



Timbangan digital



Cetakan Permanen



Torch Pemanas



Alat pengaduk



Mesin Bubut



Mesin Poles



Furnace



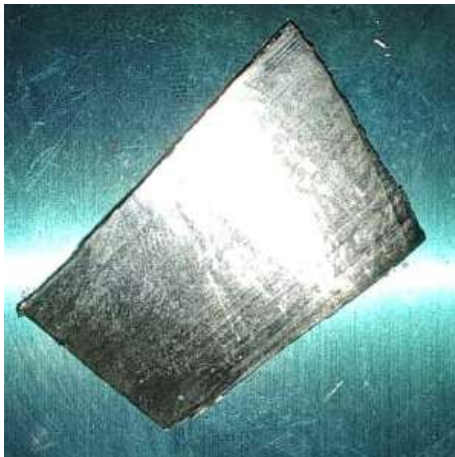
Mesin Uji tarik



Mesin Uji SEM



Mikroskop



Magnesium



Alumunium



Nano ZnO



Larutan Etsa

Lampiran 2. Proses Penelitian



Pembuatan dapur pengecoran



Pemotongan bahan



Penimbangan bahan



Peleburan bahan



Pengadukan bahan



Pemanasan Cetakan



Penuangan dalam cetakan



Pembongkaran cetakan



Perlakuan Panas T6



Pembubutan Spesimen



Pengujian tarik



Mounting uji mikro



Pengujian SEM



Pengujian kekerasan

Lampiran 3. Hasil Pengujian

Data pengujian tarik

Customer Name	AFINI UNEJ	Test Date	05/04/2019 00.17
Operator	NURUN NAYIROH	Test Standard	
Test Speed	100.000mm/min	Gauge Length	60.000mm

No.	Spesimen	Force @ Peak	Tensile Stress	Elong. @ Peak	Elongation percentage @ peak	Area	GaugeLength
		(kgf)	(MPa)	(mm)	(%)	(mm ²)	(mm)
1	Al Ingot	278.470	71.778	16.855	28.092	38.046	60.000
2	Mg 1% As-cast	133.520	40.449	3.137	5.228	32.371	60.000
3	Mg 3% As-cast	147.460	45.663	4.133	6.889	31.669	60.000
4	Mg 5% As-cast	225.380	65.593	9.117	15.194	33.696	60.000
5	Mg 1% Treatment	162.630	59.541	9.243	14.220	26.786	65.000
6	Mg 3% Treatment	349.460	107.535	16.254	27.090	31.869	60.000
7	Mg 5% Treatment	356.930	103.562	11.604	19.340	33.799	60.000

Data pengujian kekerasan

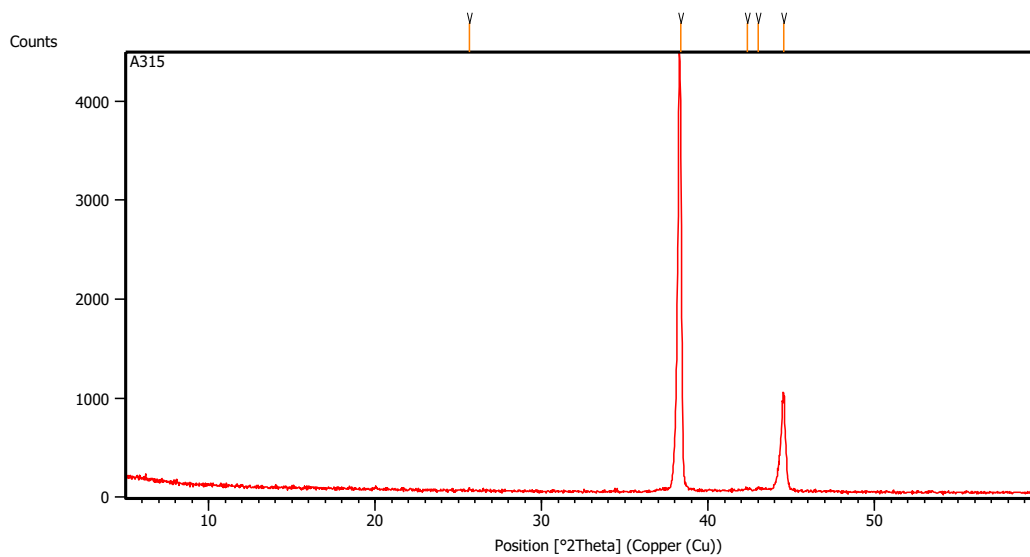
pengujian	Ingot	Mg 1% AS-Cast	Mg 3% As-Cast	Mg 5% As-Cast	Mg 1% T6	Mg 3% T6	Mg 5% T6
1	38	67	77	83,5	55	71	99
2	49,5	70	68	91	65,5	67,5	103
3	46	50	79,5	95	63	75,5	104,5
4	37	61	70,5	93	65	68	112,5
5	44,5	61	83,5	88,5	61,5	78	108
6	46	56	71	96,5	50	70	96,5
7	40,5	51,5	77	98	69	72,5	82,5
8	34,5	42	64,5	99	63	70,5	102,5
9	39,5	61,5	82	92	50	75	103,5
10	35,5	58	74	98	49	65,5	91,5
11	44,5	55	67	88,5	63,5	73,5	97,5
12	37,5	59	62	97	65	65	99
13	42,5	51,5	77	97	62	89,5	106,5
14	32	47,5	44	80,5	51	70	91,5
15	39,5	61	74,5	99	63,5	66,5	115
16	46,5	58	57,5	93	60	61,5	92,5
17	41	51	57,5	99,5	56	63	83,5
18	44,5	64	67	92,5	73	59	100
19	47	61	56,5	83	70,5	67,5	101,5
20	34	58	71	70	54	53	92
21	40,5	64	63,5	92,5	71	74,5	98
22	38,5	56,5	66,5	89,5	66	68,5	97
23	31,5	49,5	64,5	96,5	63,5	71	111,5
24	35,5	55,5	62	93	69	78,5	94
25	36	51,5	65,5	93	63,5	77,5	95
26	49,5	58,5	72,5	88	56	72	93,5
27	46,5	56	74,5	86	70,5	66	85
28	41,5	48,5	69	88	68,5	71,5	87
29	47,5	53	75,5	93	63,5	67	86,5
30	38	57	71	90	69	74,5	89
rata-rata	40,83333	56,46667	68,85	91,46667	62,33333	70,1	97,3

Dataset Name	A315
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2019\Juni\Teguh
Firman\A315\A315.rd	
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	6/18/2019 8:31:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	5.0084
End Position [°2Th.]	59.9864
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractionmeter Type	XPert MPD
Diffractionmeter Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00

Incident Beam Monochromator No

Spinning No

Main Graphics, Analyze View:



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.6586	24.01	0.1004	3.47196	0.60
38.3423	4007.25	0.1673	2.34762	100.00
42.3501	24.01	0.2676	2.13427	0.60
42.9878	29.93	0.2007	2.10407	0.75
44.5393	954.54	0.1338	2.03432	23.82

Insert Measurement:

- File name = A315.rd

- Modification time = "6/20/2019 9:48:02 AM"

- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "6/20/2019 9:48:02 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "6/19/2019 9:37:18 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"