



**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL *ZINC OXIDE*  
TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM/NANO-  
ZnO DENGAN METODE *STIR CASTING***

**Skripsi**

**Oleh:**

**Firman Teguh Prasetyo**

**141910101028**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL *ZINC OXIDE*  
TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM/NANO  
ZnO DENGAN METODE *STIR CASTING***

**Skripsi**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Fakultas Teknik Universitas Jember

**Oleh:**

**Firman Teguh Prasetyo**

**141910101028**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**

## PERSEMBAHAN

Penulis mempersembahkan skripsi ini untuk :

1. Ibu Umaidah dan Alm. Bapak Mardikanto sebagai tanda bakti, rasa hormat dan ucapan terima kasih sedalam – dalamnya atas segala doa, dukungan serta pengorbanan yang telah dilakukan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Keluarga penulis Pak De, Bu De, Om, Mbak yang telah memberikan semangat dan doa dalam proses penulisan skripsi ini.
3. Bapak Pembimbing yang telah berkenan untuk membimbing penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.
4. Teman seperjuangan skripsi Kelompok Riset MaGNIFIED yang memberikan bantuan dan semangat untuk kelancaran skripsi
5. Teman – teman Teknik Mesin angkatan 2014 (M16) yang telah memberikan dukungan serta pengalaman suka duka selama berkuliah di Fakultas Teknik Universitas Jember ini.
6. Teman KKN desa penambangan yang memberikan semangat.
7. Guru – guru yang telah memberikan ilmu sejak dalam tingkat Taman Kanak-Kanak hingga Sekolah Menengah Atas, serta bapak ibu dosen di Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu pada penulis.
8. Almamater tercinta, Fakultas Teknik Universitas Jember .

**MOTTO**

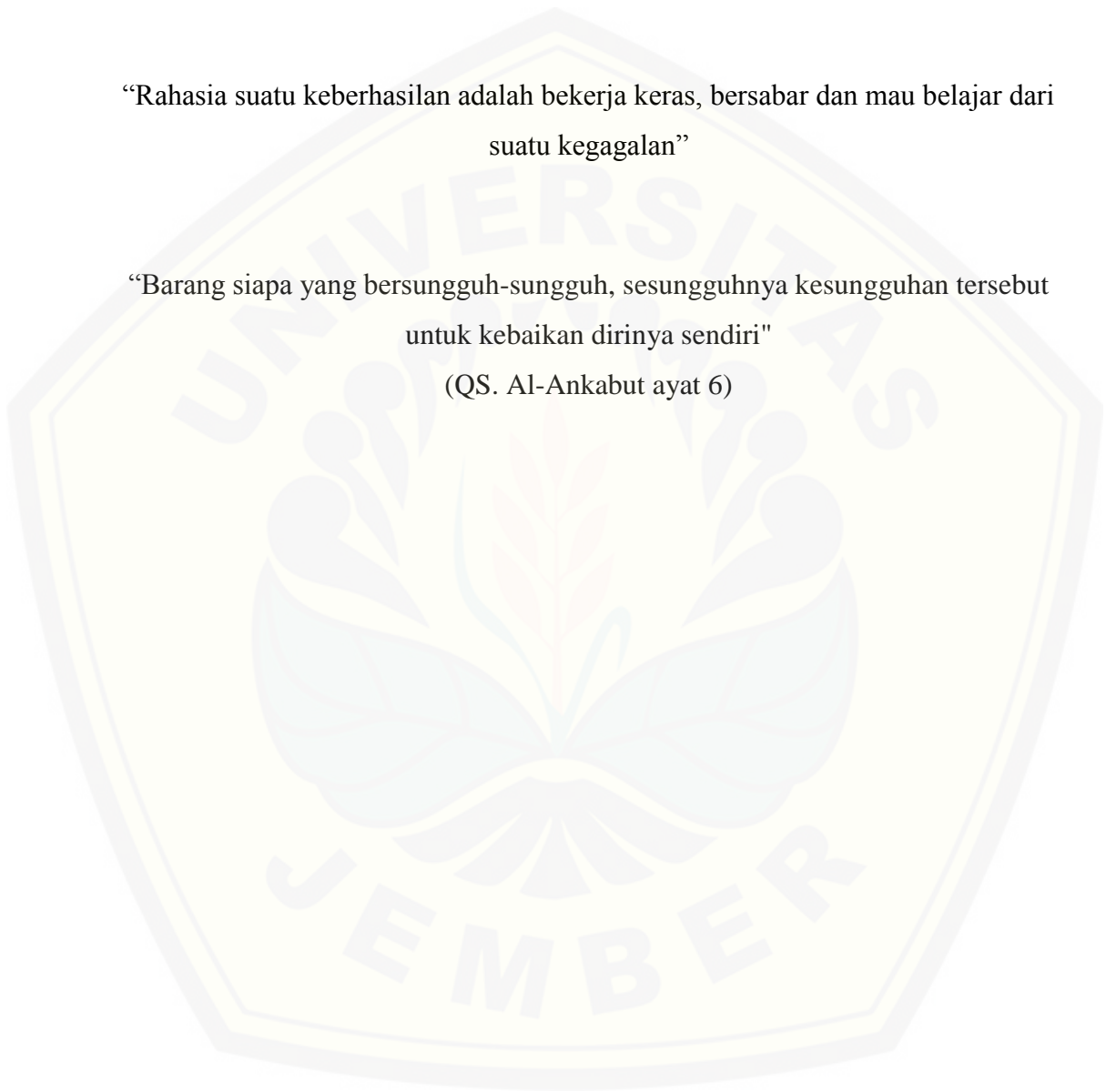
“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Asy Syarh ayat 5)

“Rahasia suatu keberhasilan adalah bekerja keras, bersabar dan mau belajar dari suatu kegagalan”

“Barang siapa yang bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri”

(QS. Al-Ankabut ayat 6)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Firman Teguh Prasetyo

NIM : 141910101028

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi dengan judul "Pengaruh Penambahan Nanopartikel *Zinc Oxide* Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium/Nano ZnO dengan Metode *Stir Casting*" sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 2020

Yang Menyatakan,

Firman Teguh Prasetyo

141910101028

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL *ZINC OXIDE*  
TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM/NANO-  
ZnO DENGAN METODE *STIR CASTING***

Oleh:

**Firman Teguh Prasetyo**

**NIM. 141910101028**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. F.X. Kristianta M.Eng.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul "Pengaruh Penambahan Nanopartikel *Zinc Oxide* Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium/Nano ZnO dengan Metode *Stir Casting*" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari, tanggal : Rabu, 15 Januari 2020

Tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

**Tim Pembimbing**

**Pembimbing I**

Ir. F.X. Kristianta, M.Eng.  
NIP. 196501202001121001

**Pembimbing II**

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

**Tim Penguji**

**Penguji I**

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

**Penguji II**

Ir. Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.  
NIP. 196912011996021001

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr.Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
NIP. 197008261997021001

## RINGKASAN

**Pengaruh Penambahan Nanopartikel *Zinc Oxide* Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium/Nano ZnO dengan Metode *Stir Casting***; Firman Teguh Prasetyo, 141910101028; 48 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Aluminium sebagai salah satu bahan yang sering dipakai dalam industri dengan logam unsur kimia yang jumlahnya berlimpah yang digunakan di seluruh dunia untuk dijadikan berbagai produk. Aluminium juga merupakan logam ringan yang memiliki sifat tahan terhadap korosi dan penghantar listrik yang baik. Seiring berkembangnya teknologi, *zinc* banyak dipadukan dengan oksida menjadi unsur *zinc oxide* (ZnO) yang memiliki sifat semikonduktor. ZnO dalam ukuran nanopartikel memiliki beberapa karakteristik lainnya seperti mudah diproses dan juga mempunyai sifat mekanik yang baik sehingga baik digunakan untuk penguat dari aluminium. Proses penambahan nanopartikel ZnO dapat dilakukan melalui proses pengecoran dengan metode *stir casting*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kekerasan, kekuatan tarik, struktur morfologi dan juga komposisi kimia aluminium dengan penambahan variasi nanopartikel ZnO sebesar 1%, 2%, 3% dan juga perlakuan panas T6. Penambahan nanopartikel ZnO dapat meningkatkan sifat mekanik dari aluminium serta memperbaiki struktur morfologi dari aluminium yang nantinya berpengaruh terhadap sifat mekanik. Dengan penambahan nanopartikel ZnO juga menumbuhkan fasa baru yang terbentuk seperti  $MgAl_2O_4$  dan  $Al_2O_3Zn$ . **Perlakuan panas T6 juga dapat merubah struktur morfologi yang semula berbentuk lonjong menjadi bentuk bulatan yang nantinya sangat berpengaruh untuk lebih meningkatkan sifat mekanik dari komposit aluminium/nano ZnO.**



## SUMMARY

**Effect of Addition of Zinc Oxide Nanoparticles to the Characteristics of Aluminum / Nano ZnO Composites with Stir Casting Method;** Firman Teguh Prasetyo, 141910101028; 48 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Aluminum as a material that is often used in industry with abundant chemical elements that are used throughout the world to be used as a variety of products. Aluminum is also a lightweight metal which has good corrosion resistance and electrical conductivity. As technology develops, zinc is often combined with oxides to form zinc oxide (ZnO) which has semiconductor properties. ZnO in nanoparticle size has several other characteristics such as being easy to process and also has good mechanical properties so it is good to be used for aluminum reinforcement. The process of adding ZnO nanoparticles can be done through the casting process with the stir casting method.

This study aims to determine the nature of hardness, tensile strength, morphological structure and also the chemical composition of aluminum with the addition of variations of ZnO nanoparticles of 1%, 2%, 3% and also T6 heat treatment. The addition of ZnO nanoparticles can improve the mechanical properties of aluminum and improve the morphological structure of aluminum which will affect the mechanical properties. With the addition of ZnO nanoparticles also grow new phases formed such as  $MgAl_2O_4$  and  $Al_2O_4Zn$ . T6 heat treatment can also change the morphological structure that was originally oval shaped into a spherical shape which will be very influential to further improve the mechanical properties of aluminum / nano ZnO composites.

DAFTAR ISI

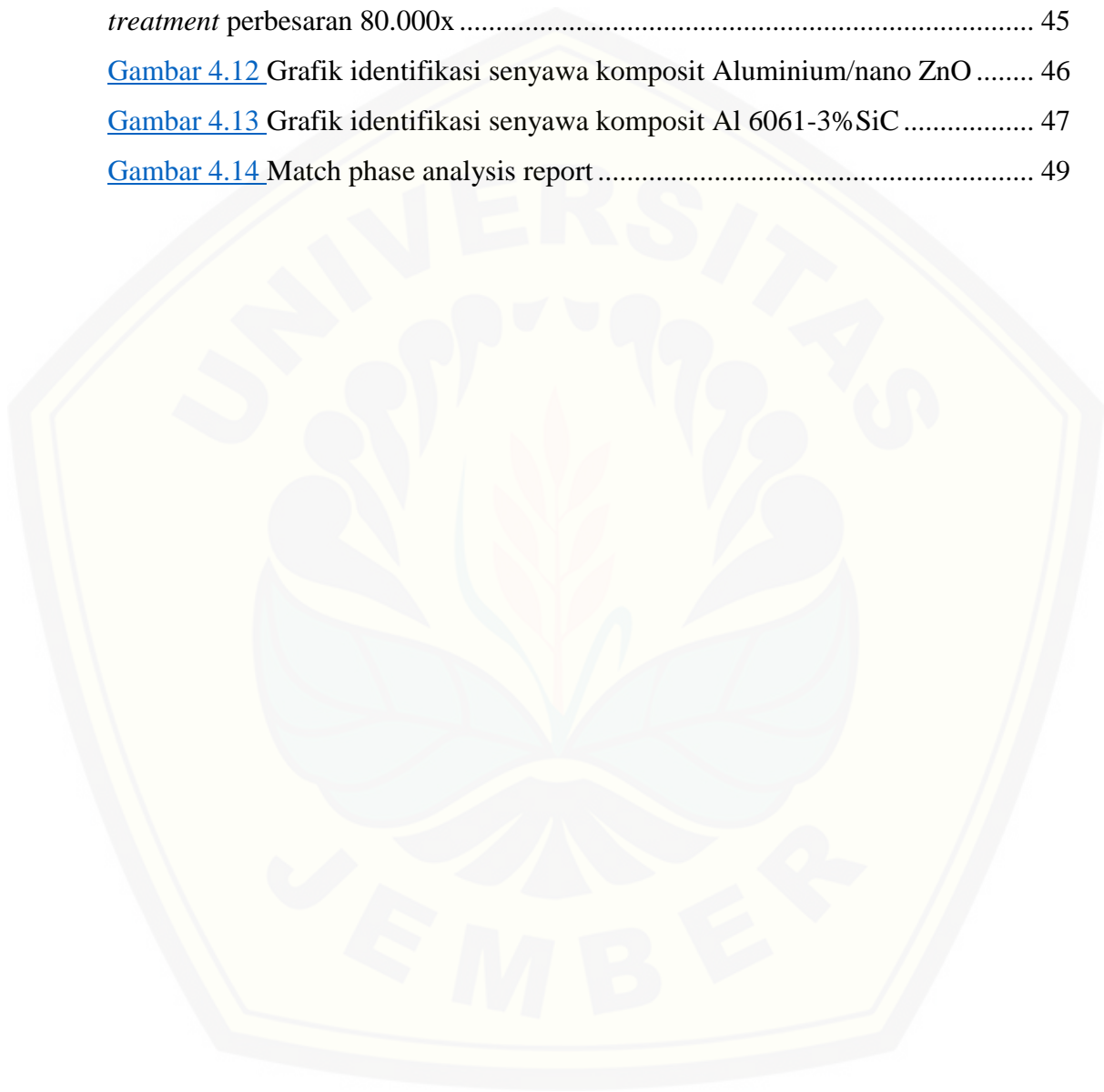
HALAMAN JUDUL .....	ii
PERSEMBAHAN .....	iii
MOTTO .....	iv
PERNYATAAN.....	v
PENGESAHAN SKRIPSI.....	vii
RINGKASAN .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	<a href="#">xii</a>
DAFTAR TABEL .....	<a href="#">xiv</a>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....</b>	<b>2</b>
1.3.1 Tujuan .....	2
1.3.2 Manfaat .....	2
<b>1.4 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Hipotesa.....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Komposit .....</b>	<b>4</b>
2.1.1 <i>Metal Matrix Composites</i> (MMC) .....	6
<b>2.2 Aluminium .....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Paduan Aluminium .....	8
<b>2.3 Nanopartikel .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Unsur Paduan .....</b>	<b>10</b>
2.4.1 <i>Zinc Oxide</i> (ZnO).....	10
2.4.2 Magnesium (Mg) .....	11
<b>2.5 Pengecoran (<i>Casting</i>).....</b>	<b>12</b>
2.5.1 Jenis pengecoran .....	12
2.5.2 Jenis Cetakan Pengecoran.....	14
2.5.3 Tungku Peleburan .....	14
2.5.4 Tahapan Pengecoran .....	15

<b>2.6</b>	<b>Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>)</b>	<b>16</b>
2.6.1	Perlakuan Panas T6	16
<b>2.7</b>	<b>Karakterisasi Material</b>	<b>18</b>
2.7.1	Pengujian Tarik	18
2.7.2	Pengujian Kekerasan	19
2.7.3	Pengujian Struktur Mikro	21
2.7.4	Scanning Elrktron Microscopy (SEM)	21
2.7.5	X-Ray Diffraction (XRD)	22
<b>2.8</b>	<b>Aplikasi</b>	<b>23</b>
<b>2.9</b>	<b>Diagram <i>Fishbone</i></b>	<b>24</b>
<b>BAB 3.</b>	<b>METODE PENELITIAN</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Tempat dan Waktu Penelitian</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Alat dan Bahan</b>	<b>25</b>
3.2.1	Alat	25
3.2.2	Bahan	26
<b>3.3</b>	<b>Variabel Penelitian</b>	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>Proses Pembuatan Sampel</b>	<b>27</b>
<b>3.5</b>	<b>Proses Pengujian Sampel</b>	<b>28</b>
3.4.1	Pengujian Tarik	28
3.4.2	Pengujian Kekerasan	29
3.4.3	Pengamatan Struktur Mikro	30
3.4.4	Pengujian SEM	30
3.4.5	Pengujian XRD	31
<b>3.6</b>	<b>Diagram Alir Penelitian</b>	<b>32</b>
<b>BAB 4.</b>	<b>ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Pengujian Kekerasan</b>	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Pengujian Tarik</b>	<b>33</b>
<b>4.3</b>	<b>Hasil Pengamatan Struktur Mikro</b>	<b>33</b>
<b>4.4</b>	<b>Pengujian SEM</b>	<b>34</b>
<b>4.5</b>	<b>Pengujian X-Ray Diffraction</b>	<b>34</b>
<b>BAB 5.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>50</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>51</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>39</b>

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Klasifikasi komposit berdasarkan matriks .....	4
Gambar 2.2 Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguatnya. ....	6
Gambar 2.3 MMC berdasarkan bentuk penguatnya. ....	7
Gambar 2.4 Aluminium ingot murni.....	8
Gambar 2.5 Struktur kristal <i>wurtzite</i> .....	11
Gambar 2.6 <i>Stir Casting</i> .....	13
Gambar 2.7 Jenis dapur krusibel.....	14
Gambar 2.8 Uji tarik dan juga data pengujian .....	19
Gambar 2.9 Pengujian Brinell.....	19
Gambar 2.10 Tipe-tipe lekukan piramid intan .....	20
Gambar 2.11 Pengujian Rockwell.....	21
Gambar 2.12 Skema alat uji SEM.....	22
Gambar 2.13 Longeron .....	23
Gambar 2.14 Diagram <i>Fishbone</i> .....	24
Gambar 3.1 Spesimen uji tarik ASTM B557 .....	<u>29</u>
Gambar 3.2 Prinsip kerja metode Brinell Hardness.....	29
Gambar 3.3 Diagram Alir penelitian.....	32
<u>Gambar 4.1 Nilai kekerasan as-cast dan T6 treatment</u> .....	33
<u>Gambar 4.2 Skema perlakuan panas T6</u> .....	35
<u>Gambar 4.3 Kekerasan aluminium A356 tanpa dan dengan penambahan perlakuan panas T6</u> .....	35
<u>Gambar 4.4 Grafik pengujian tarik as-cast dan T6 treatment</u> .....	37
<u>Gambar 4.5 Nilai kekuatan tarik aluminium A356 tanpa dan dengan penambahan perlakuan panas T6</u> .....	38
<u>Gambar 4.6 Struktur mikro komposit Aluminium/nano ZnO</u> .....	40
<u>Gambar 4.7 Struktur mikro aluminium</u> .....	41
<u>Gambar 4.8 Struktur mikro A356</u> .....	42

<a href="#">Gambar 4.9</a> Pengamatan SEM komposit Aluminium/nano ZnO variasi 3% <i>as-cast</i> perbesaran 80.000x .....	43
<a href="#">Gambar 4.10</a> SEM micrograph of Al 6061-3% TiB2 MMC .....	44
<a href="#">Gambar 4.11</a> Pengamatan SEM komposit Aluminium/nano ZnO variasi 3% T6 <i>treatment</i> perbesaran 80.000x .....	45
<a href="#">Gambar 4.12</a> Grafik identifikasi senyawa komposit Aluminium/nano ZnO .....	46
<a href="#">Gambar 4.13</a> Grafik identifikasi senyawa komposit Al 6061-3%SiC .....	47
<a href="#">Gambar 4.14</a> Match phase analysis report .....	49



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium .....	8
Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium.....	8
Tabel 2.3 Perbedaan antara sentrifugal sejati, semi sentrifugal dan sentrifuge ....	13
Tabel 2.4 Berat jenis, titik cair, dan koefisien kekentalan .....	15
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>stirrer</i> merk Modern mod. M-2310.....	29
Tabel 3.1 Spesifikasi nano ZnO .....	29
Tabel 3.2 Toleransi ukuran hasil dari pengujian Brinell Hardness.....	29
<u>Tabel 4.1 Nilai kekerasan <i>as-cast</i> dan <i>T6 treatment</i>.....</u>	<u>293</u>
<u>Tabel 4.2 Data perbandingan nilai kekerasan <i>as-cast</i> dan <i>T6 treatment</i> .....</u>	<u>295</u>
<u>Tabel 4.3 Nilai pengujian tarik <i>as-cast</i> dan <i>T6 treatment</i> .....</u>	<u>296</u>
<u>Tabel 4.4 Data perbandingan nilai pengujian tarik <i>as-cast</i> dan <i>T6 treatment</i> ....</u>	<u>298</u>

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri material saat ini berkembang sangat cepat seiring dengan berkembangnya teknologi dan juga kebutuhan manusia yang semakin meningkat. Aluminium dipilih sebagai salah satu bahan yang sering dipakai dalam industri untuk membantu memenuhi kebutuhan manusia. Aluminium merupakan logam unsur kimia yang jumlahnya berlimpah yang digunakan di seluruh dunia untuk dijadikan berbagai produk dan memiliki nomor atom 13 dengan simbol Al. Aluminium juga merupakan logam ringan yang memiliki sifat tahan terhadap korosi dan penghantar listrik yang baik (Surdia, 1999). Aluminium itu sendiri banyak digunakan mulai dari kebutuhan rumah tangga, otomotif, hingga komponen mobil dan pesawat terbang. Seiring berkembangnya teknologi, *zinc* banyak dipadukan dengan oksida menjadi unsur *zinc oxide* (ZnO). Unsur ini memiliki sifat semikonduktor yang banyak diaplikasikan sebagai sensor gas, fotokatalis, *solar cell windows*, *perangkat photovoltaic* (Durri, 2015). Selain itu ZnO dalam ukuran nanopartikel juga dapat diaplikasikan sebagai zat aditif pada bahan kosmetik, *sunblock* dan juga sampo (Prastyo dkk, 2012). ZnO memiliki sifat yang mudah bereaksi dengan bahan lain (Rustan, 2015). Nanopartikel ZnO juga memiliki beberapa karakteristik lainnya seperti mudah diproses. Proses penambahan nanopartikel ZnO dapat dilakukan melalui proses pengecoran dengan metode *stir casting*.

Pengecoran *stir casting* merupakan salah satu proses pembuatan komposit aluminium dalam kondisi cair dengan menggunakan bantuan pengaduk secara mekanik yang dilakukan pada temperatur sedikit diatas temperatur lebur Aluminium (Arifin dkk, 2017). Tujuan menggunakan metode *stir casting* ini agar material penguat dapat menyebar secara menyeluruh pada cairan logam. Metode *stir casting* memiliki kelebihan yaitu pada segi prosesnya yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode yang lainnya, dapat digunakan untuk untuk membuat suatu produk dalam jumlah yang banyak dan juga lebih fleksibel (Junus dkk, 2014).

Temperatur penuangan suhu 675-700°C yang bertujuan untuk mencegah terjadinya porositas dan juga mendapatkan hasil specimen yang baik (Arifin dkk, 2017). Perlakuan panas T6 yang berupa *solution*, *quenching* dan juga *aging* mampu untuk meningkatkan sifat kekuatan yang dimiliki oleh aluminium.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kekerasan, kekuatan tarik, struktur mikro, Hasil SEM dan juga XRD aluminium dengan penambahan variasi nanopartikel ZnO sebesar 1%, 2%, 3%. Dengan menggunakan metode pengecoran *stir casting* dan juga perlakuan panas T6 diharapkan mampu meningkatkan sifat-sifat baru yang dimiliki oleh aluminium/Al-Zn.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh penambahan nanopartikel *zinc oxide* (ZnO) menggunakan fraksi berat 1%, 2%, 3% dan juga perlakuan panas T6 terhadap sifat kekerasan, kekuatan tarik, mikrostruktur dan komposisi kimia pada aluminium dengan proses pengecoran dengan metode *stir casting*.

## 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO) dengan presentase 1%, 2%, 3% *as-cast* dan dengan perlakuan panas T6 terhadap kekerasan aluminium.
2. Mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO) dengan presentase 1%, 2%, 3% *as-cast* dan dengan perlakuan panas T6 terhadap kekuatan tarik aluminium.
3. Mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO) dengan presentase 1%, 2%, 3% *as-cast* dan dengan perlakuan panas T6 terhadap mikrostruktur dan SEM dari aluminium.
4. Mengetahui kandungan kimia pada komposit Aluminium/nano-ZnO melalui pengujian XRD.

1.3.2 Manfaat dari penelitian ini adalah :

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi yang positif, seperti dapat mempelajari sifat-sifat, kualitas paduan aluminium dengan penambahan



nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO) dan juga dapat memperluas wawasan ilmu metalurgi.

#### 1.4 Batasan Masalah

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

1. Material yang digunakan aluminium dan nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO).
2. Fraksi berat nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO) sebesar 1%, 2%, 3%.
3. Fraksi berat Magnesium (Mg) sebesar 5%
4. Nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO) dianggap sudah terdistribusi secara merata.
5. Tidak menghitung pengaruh kecepatan pembekuan logam cair.
6. Data alat pengujian dianggap sudah valid.

#### 1.5 Hipotesa

Penambahan penguat nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO) dan juga perlakuan panas T6 akan meningkatkan sifat mekanik dari aluminium. Penambahan magnesium dalam komposit ini juga dapat merubah morfologi mikrostruktur dan juga meningkatkan kemampuan pembasahan antara matriks dan penguat. Sifat-sifat perubahan aluminium yang dapat diamati yaitu peningkatan kekerasan, kekuatan tarik dan mikrostruktur dari aluminium.

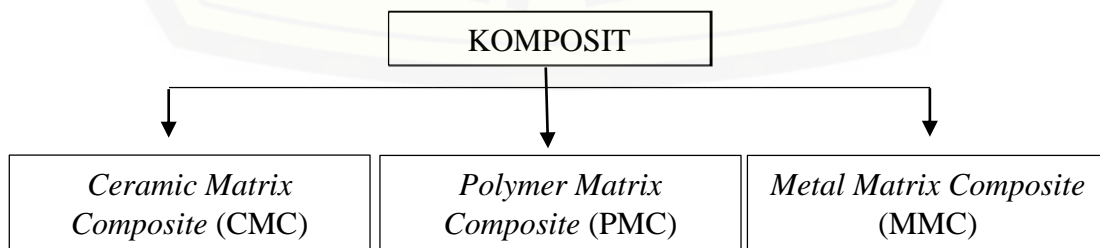
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Komposit

Komposit merupakan suatu bahan baru dari hasil rekayasa dua bahan ataupun lebih (Gibson,1994). Hasil pencampuran dari bahan akan menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan juga karakteristiknya yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit ini juga mempunyai kekuatan dan kekakuan jenisnya lebih tinggi dari pada logam dan juga memiliki sifat mekanik lebih baik dibandingkan dengan logam. Tujuan dibentuknya komposit itu sendiri, yaitu untuk menjadikan bahan yang lebih ringan, memperbaiki sifat mekanik dan juga karakteristiknya. Komposit juga memiliki beberapa kelebihan seperti contoh beratnya yang ringan dan juga sifat mekanisnya yang tidak kalah dari baja (Rochmad, 2014). Komposit terdiri dari dua jenis material yang berbeda seperti matriks dan juga penguat (*reinforcement*). Dua material ini memiliki perbedaan, yaitu:

- a. Matriks, merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai fasa volume terbesar (dominan) dan juga lebih elastis tetapi mempunyai kekuatan. Dalam penelitian ini matriksnya adalah Aluminium.
- b. Penguat (*reinforcement*) mempunyai sifat yang kurang elastis. Dalam penelitian ini berupa nano *zinc oxide* (ZnO).

Komposit berdasarkan matriksnya dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu *Ceramic Matrix Composite* (CMC), *Polymer Matrix Composite* (PMC), *Metal Matrix Composite* (MMC) seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Klasifikasi komposit berdasarkan matriks (Zainuri, 2008).

1. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*

Komposit ini terdiri dari dua fasa dimana satu fasa berfungsi sebagai penguat seperti karbida, nitrit dan oksida, sedangkan satu fasa lainnya sebagai matriks yang terbuat dari keramik. Matriks yang sering digunakan alumina dan juga silikon nitrida. Keuntungan dari CMC ini salah satunya tahan terhadap temperature tinggi, karakteristik permukaannya yang tahan aus dan juga memiliki kekuatan, ketangguhan dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi. Sedangkan kekurangan dari CMC itu sendiri seperti sulit diproduksi dalam jumlah besar, relatif mahal dan juga hanya untuk aplikasi tertentu.

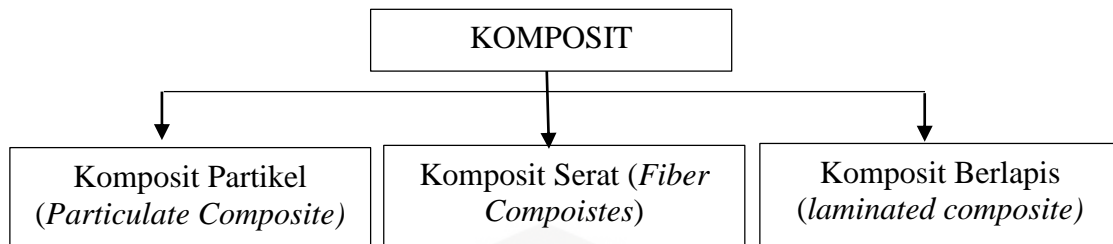
2. *Polymer Matrix Composite (PMC)*

Komposit ini menggunakan matriks polimer yang paling umum digunakan pada material komposit, karena memiliki sifat yang ringan dan tahan terhadap korosi. Matriks polimer yang banyak digunakan yaitu termoset (tidak dapat didaur ulang) dan termoplastik (dapat didaur ulang). Komposit ini memiliki sifat ketangguhan yang baik, dapat diproduksi dalam jumlah besar, kemampuan mengikuti bentuk, lebih ringan dan lain sebagainya.

3. *Metal Matrix Composite (MMC)*

Komposit ini menggunakan matriks yang berupa logam yang memadukan sifat mekanik matriks paduan (tangguh dan ulet) dengan sifat partikel keramik sebagai penguatnya (modulus elastisitas dan kekuatan yang tinggi). MMC ini dikembangkan sejak tahun 1996 yang digunakan dalam industri penerbangan. Kelemahan dari pencampuran partikel keramik kedalam matriks yaitu, partikel keramik dapat mengendap ataupun mengapung tergantung dari berat jenisnya apakah lebih kecil atau lebih besar dibandingkan dengan matriksnya (Lilin Hermawati, 2014).

Sedangkan komposit berdasarkan jenis penguatnya dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu Komposit Partikel (*Particulate Composite*), Komposit Serat (*Fiber Composites*), Komposit Berlapis (*laminated composite*) seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguatnya (Zainuri, 2008).

1. Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Penguat dari komposit ini menggunakan partikel atau serbuk yang kemudian terdistribusi secara merata ke dalam matriks. Aplikasi dari komposit ini biasanya sebagai beton (Van Vlack, 1985).

2. Komposit Serat (*Fiber Composites*)

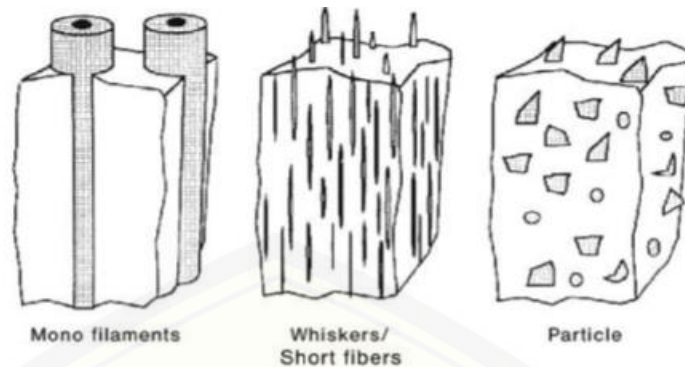
Serat dan juga bahan dasar yang difabrikasi merupakan bahan utama dari komposit ini, contoh serat ditambah dengan resin sebagai perekatnya.

3. Komposit Berlapis (*laminated composite*)

Komposit ini terdiri dari dua lapis maupun lebih yang kemudian digabungkan menjadi satu, seperti *laminated glass* yang digunakan sebagai bahan bangunan.

2.1.1 *Metal Matrix Composites* (MMC)

MMC ini memadukan antara sifat mekanik dari matriks paduannya yang memiliki sifat ulet dan juga tangguh dengan partikel keramik sebagai penguat yang memiliki sifat kekuatan dan juga modulus elastisitas yang tinggi (Hermawati, dkk, 2014). Komposit ini terdiri dari logam yang memiliki massa jenis yang rendah, contohnya aluminium, magnesium dan juga titanium beserta paduannya. Penguat pada MMC ini terdiri dari beberapa bentuk seperti mono fillaments, whiskers atau serat pendek dan juga berbentuk partikel seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.3.



Gambar 2.3 MMC berdasarkan bentuk penguatnya (Zweben, 1987).

Sifat dari MMC adalah memiliki kekuatan yang tinggi, memiliki ketahanan keausan yang tinggi dan juga suhu operasi yang tinggi dibandingkan dengan logam yang tidak diberi penguat serta memiliki kelemahan yaitu keuletannya rendah dan biaya fabrikasinya yang tinggi. Pembuatan komposit ini dapat menggunakan metode pengecoran (*casting*). Aplikasi dari MMC ini sendiri banyak kita jumpai pada komponen automotive (blok, pulley, poros garden), peralatan elektronik dan juga komponen dari pesawat terbang.

## 2.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam yang paling berlimpah yang ditemukan di kerak bumi dan mempunyai simbol Al dan juga mempunyai nomor atom 13 dan juga memiliki massa jenis  $2.7 \text{ gr/cm}^3$ . Aluminium bisa didapatkan dalam keadaan cair dengan menggunakan cara elektrolisa dan mencapai angka 99,65% berat. Aluminium mempunyai sifat yang ringan, kuat, hantaran listrik yang baik dan juga mempunyai ketahanan korosi yang baik (Surdia, 1999). Selain itu, aluminium juga mempunyai sifat mekanik seperti sifat kekerasan, *strain dan stress*, *ultimate tensile strength* dan juga ulet disebabkan pergerakan dislokasinya yang tinggi dan juga ketahanan terhadap pergerakan dislokasi yang rendah. Sifat mekanik dari aluminium tadi akan meningkat apabila diberi unsur paduan lain seperti Mg, Cu, Mn, Zn, dan lainnya. Aplikasi penggunaan aluminium tidak hanya untuk peralatan rumah tangga, tetapi dapat diaplikasikan dalam bidang industri, otomotif, bahan konstruksi dan juga bagian dari pesawat terbang.



Gambar 2.4 Aluminium ingot murni (Stenna, 2007).

Sifat-sifat fisik dan juga sifat mekanik dari aluminium dapat kita lihat pada tabel 2.1 dan 2.2 dibawah ini:.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al(%)	
	99,99	>99,0
Masa jenis	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g°C)(100°C)	0,2226	0,2291
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisen pemuaian (20-100°C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> , $\alpha=4,013$ kX	<i>fcc</i> , $\alpha=4,04$ kX

(Sumber: Surdia dan Saito, 1999)

Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		> 99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(kg/mm <sup>2</sup> )	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

(Sumber: Surdia dan Saito, 1999)

### 2.2.1 Paduan Aluminium

Aluminium yang sering digunakan didalam industri adalah paduan aluminium di mana dipadukan dengan unsur-unsur yang lain seperti Zn, Mg, Cu,

Si, Mn, dan lainnya. Seringkali material ini digunakan di berbagai keperluan kehidupan manusia seperti material konstruksi, peralatan rumah tangga, mobil dan juga pesawat terbang (Saito, 1999). Paduan aluminium ini dibagi menjadi beberapa klasifikasi, yaitu:

a. Paduan Al-Cu

Paduan aluminium ini memiliki kandungan Cu sebesar 4-5% dan juga mempunyai seri 2xxx. Paduan ini juga mudah terjadi retakan pada hasil corannya tetapi memiliki mampu mesin dan sifat mekanik yang baik. Paduan jenis ini banyak digunakan sebagai bahan dari pesawat terbang (Surdia, 1999).

b. Paduan Al-Mn

Paduan aluminium ini memiliki kandungan Mn sebesar 1,2% dan juga mempunyai seri 3xxx. Penambahan unsur Mn berfungsi untuk memperkuat sifat dari Al tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan juga membuat paduan yang tahan terhadap korosi. Paduan Al-Mn ini merupakan paduan yang tahan terhadap korosi tanpa dilakukan perlakuan panas.

c. Paduan Al-Si

Paduan aluminium ini memiliki seri 4xxx. Paduan memiliki sifat ketahanan korosi yang baik, penghantar listrik dan panas yang baik, koefisien pemuaian yang kecil, ringan dan juga sangat baik sebagai paduan coran. Paduan ini banyak digunakan untuk pembuatan torak motor (piston) dan juga banyak digunakan sebagai elektroda untuk pengelasan.

d. Paduan Al-Mg

Paduan aluminium ini memiliki seri 5xxx. Paduan ini memiliki kandungan Mg sebesar 4 - 16%. Paduan ini memiliki sifat ketahanan korosi yang sangat baik. Penambahan Mg berguna untuk meningkatkan kekuatan dari aluminium dan juga menurunkan *ductility*-nya (Surdia, 1999).

e. Paduan Al-Mg-Si

Paduan aluminium ini memiliki seri 6xxx. Dibandingkan dengan paduan yang lainnya paduan ini memiliki sifat yang kurang sebagai bahan tempaan tetapi sangat liat dan juga tahan terhadap korosi. Paduan ini banyak digunakan sebagai rangka-rangka konstruksi dan juga untuk kabel tenaga dikarenakan

paduan ini mempunyai kekuatan yang baik dan juga tanpa mengurangi hantaran listriknya (Saito, 1999).

f. Paduan Al-Zn

Paduan aluminium ini memiliki seri 7xxx. Paduan ini memiliki kandungan Zn sebesar 5.1 – 6.1 %. Paduan ini memiliki sifat kekuatan yang paling tinggi dibandingkan paduan-paduan yang lainnya. Paduan ini juga banyak digunakan sebagai bahan konstruksi dan juga bahan konstruksi dari pesawat terbang (Surdia dan Saito, 1999). Penambahan Zn berfungsi untuk menaikkan nilai tensile.

### 2.3 Nanopartikel

Nanopartikel merupakan ilmu dan rekayasa dalam membuat suatu material, struktur fungsional dalam skala nanometer. Nanopartikel merupakan partikel padatan dengan ukuran partikelnya 1 – 100 nm (Abdullah dkk, 2008). Material dengan ukuran nanopartikel menunjukkan sifat fisika dan kimia yang berbeda dibandingkan dengan material yang berukuran besar (*bulk*), misalnya kekuatan mekanik, magnetik, elektronik, kestabilan termal, optik dan katalitik. Ukuran partikel yang kecil membuat nanopartikel lebih reaktif. Material nanopartikel dapat digunakan sebagai katalis karena memiliki area permukaan yang luas dan atom yang tersebar pada permukaan.

### 2.4 Unsur Paduan

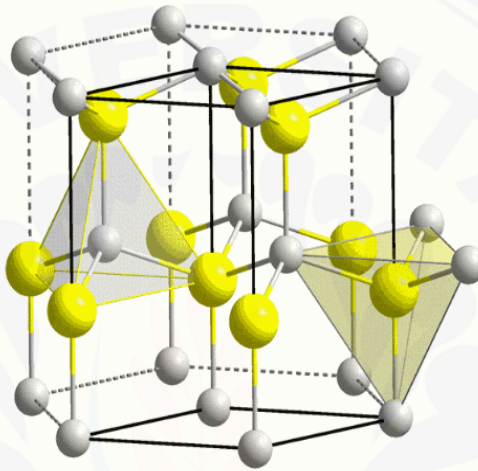
#### 2.4.1 Zinc Oxide (ZnO)

Seng oksida atau *zinc oxide* yang memiliki simbol (ZnO) merupakan sebuah unsur yang umumnya berupa serbuk putih yang tidak larut dalam air. Titik lebur dari ZnO ini adalah 1975°C. Seng oksida ini memiliki beberapa sifat yang dimilikinya antara lain kemampuan sebagai katalisator, sensitivitas gas yang baik, anti bakteri, dan juga harganya yang ekonomis (Ramahdita, 2011). Struktur kristal yang dimiliki oleh seng oksida, yaitu *wurtzite*, *zincite* atau *zincblende* dan *rocksalt* (Banerjee, 2004).

*Zinc oxide* merupakan semikonduktor dan juga mempunyai struktur kristal *wurtzite* yang dihasilkan dari hasil produksi secara komersial dan juga merupakan hasil dari sintesis. Struktur *wurtzite* ini memiliki bentuk yang hezagonal dan juga



stabil terhadap suhu ruang dan juga memiliki excitation binding energy sebesar 60 meV , nilai band-gap energy yang tinggi yaitu 3.20 eV dan juga memiliki *antimicrobial*. Nanopartikel ZnO ini juga layak untuk difabrikasi melalui metode sintesis yang konvensional, mulai dari *milling* dan juga metode kimia basah. Struktur kristal yang dimiliki nanopartikel ZnO hasil dari sintesis akan stabil pada temperature ruang. Struktur kristal *wurtzite* dapat dilihat pada gambar 2.1 .



Gambar 2.5 Struktur kristal wurtzite (Banerjee, 2004).

#### 2.4.2 Magnesium (Mg)

Magnesium merupakan unsur kimia yang memiliki simbol Mg dan juga nomer atom 12 pada tabel periodik. Titik lebur dari magnesium ini sendiri adalah 650°C. Magnesium memiliki permukaan yang keropos yang disebabkan karena pengaruh kelembaban udara yang mengandung air dan garam mempengaruhi ketahanan lapisan oxid pada permukaan magnesium dalam melindungi dari korosi. Magnesium merupakan salah satu juga logam ringan. Titik cair magnesium ini lebih rendah dibandingkan titik cair aluminium. Pada pengecoran aluminium, magnesium ini sering digunakan sebagai paduan (Karomi, 2012). Aplikasi dari magnesium itu sendiri seperti bahan tahan api dalam lapisan dapur api, konstruksi pesawat terbang dan juga rudal.

## 2.5 Pengecoran (*Casting*)

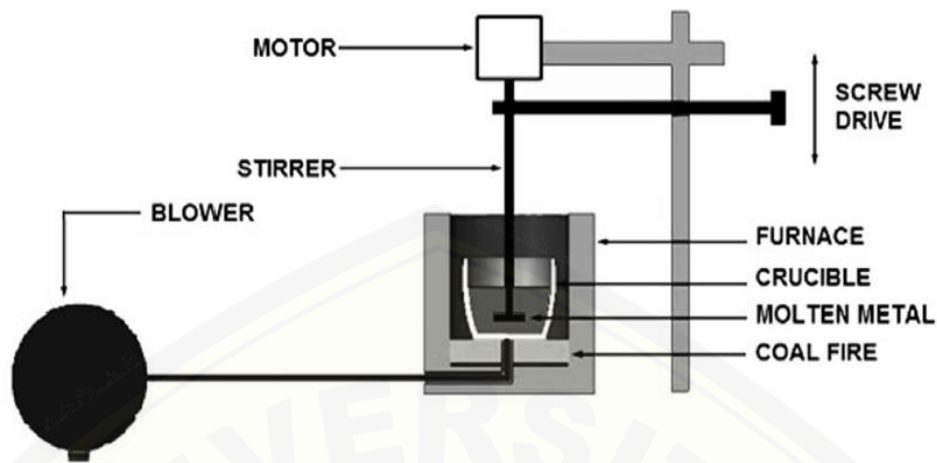
Penelitian ini menggunakan proses pengecoran, dimana pengecoran itu sendiri merupakan proses pembuatan atau pembentukan sebuah benda kerja dengan cara mencairkan bahan kemudian menuangkannya kedalam rongga cetakan (Sudjana, 2008). Pengecoran ini juga memiliki kelebihan dalam prosesnya, seperti dapat membuat bentuk produk yang kompleks bagian dalam maupun luarnya, dapat digunakan untuk bermacam-macam logam, dapat membuat produk yang sangat besar yang beratnya bisa lebih dari 100 ton dan lainnya. Sedangkan untuk kekurangannya, seperti sering terjadinya cacat porositas, permukaan produk kurang halus dan juga dimensi dari produk kurang akurat. Contoh dari produk coran yaitu blok mesin, rangka mesin dan juga perhiasan.

### 2.5.1 Jenis pengecoran

Pada umumnya pengecoran dilakukan dengan berbagai macam metode diantaranya:

#### a. *Stir Casting*

Metode *stir casting* merupakan salah satu metode pembuatan material komposit dalam kondisi cair dengan menggunakan bantuan pengaduk. Metode *stir casting* ini juga memiliki kelebihan diantaranya pada segi prosesnya yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode yang lainnya, dapat digunakan untuk untuk membuat suatu produk dalam jumlah yang banyak dan juga lebih fleksibel (Junus dkk, 2014). Dalam metode *stir casting* waktu pengadukan, kecepatan pengadukan dan juga perbedaan suhu penuangan menjadi parameter nantinya akan menuntukan sifat mekanik maupun sifat fisik° sebuah material. Proses pengadukan harus sampai berbentuk seperti pusaran, hal ini dilakukan agar material penguat dapat menyebar secara menyeluruh pada cairan logam (Arifin dkk, 2017). Temperatur penuangan yang baik berkisar antara suhu 675°C-700°C yang akan mengasilkan specimen yang baik dengan porositas yang juga rendah. Metode *stir casting* dapat dilihat pada gambar 2.3 .



Gambar 2.6 *Stir Casting* (Suresh et al, 2013)

b. *Centrifugal Casting*

Metode ini dilakukan dengan cara logam yang sudah cair kemudian dituangkan kedalam cetakan yang berputar. Pengaruh dari gaya sentrifugal tadi mengakibatkan logam cair akan terdistribusi ke dinding rongga cetakan dan kemudian akan membeku. Pengecoran sentrifugal ini dibagias menjadi beberapa jenis, yaitu pengecoran sentrifugal sejati, semi sentrifugal dan sentrifuge. Perbedaan dari beberapa jenis pengecoran sentrifugal ini dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perbedaan antara sentrifugal sejati, semi sentrifugal dan sentrifuge

Sentrifugal sejati	Semi sentrifugal	Sentrifuge
Benda cor memiliki simetri yang radial.	Benda cor memiliki simetri radial.	Tidak dipersyaratkan.
Pusat simetri rongga cetak berada pada pusat rotasi.	Pusat simetri rongga cetak berada pada pusat rotasi.	Rongga cetak berada diluar pusat rotasi.
Digunakan untuk benda cor bentuk tabular.	Digunakan untuk benda cor yang pejal (lubang dibuat belakangan).	Digunakan untuk benda cor berlubang/tidak berlubang.

(Sumber: Sudjana, 2008)

### 2.5.2 Jenis Cetakan Pengecoran

Jenis cetakan pengecoran dibagi menjadi yaitu:

a. Pengecoran dengan cetakan sekali pakai

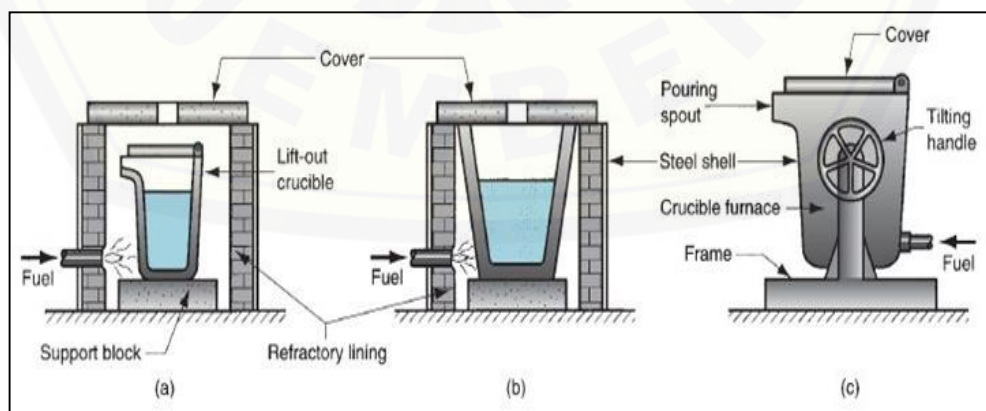
Pengecoran dengan menggunakan cetakan sekali pakai ini untuk mengeluarkan produk corannya harus dengan cara menghancurkan cetaknya. Pada proses pengecoran ini selalu dibutuhkan cetakan yang baru sehingga menyebabkan laju proses pengecorannya memakan waktu yang lebih lama.

b. Pengecoran dengan cetakan permanen

Cetakan permanen yang digunakan pada pengecoran ini biasanya terbuat dari bahan logam, sehingga dapat digunakan secara berulang-ulang. Dibandingkan dengan menggunakan cetakan sekali pakai, laju pengecoran menggunakan cetakan permanen ini lebih cepat tetapi logam coran yang digunakan titik leburnya harus lebih rendah dibandingkan titik lebur logam cetakan.

### 2.5.3 Tungku Peleburan

Tungku peleburan ini merupakan alat utama pada proses pengecoran yang berfungsi untuk membuat bahan coran menjadi logam cair. Salah satu tungku yang digunakan pada proses pengecoran adalah dapur krusibel (dapur kowi). Prinsip dari dapur krusibel ini dengan cara meleburkan logam tanpa berhubungan langsung dengan bahan pemakaran. Dapat dilihat seperti gambar 2.2.



Gambar 2.7 Jenis dapur krusibel (a) krusibel angkat, (b) pot tetap, (c) dapur tukik (Groover, 2010)

a. Krusibel angkut (*lift-out crucible*),

Pada tungku jenis ini krusibel ditempatkan di dalam dapur kemudian dipanaskan hingga logam mencair dengan menggunakan bahan bakar gas, minyak dan serbuk batubara. Apabila logam tadi telah melebur kemudian krusibel diangkat dari dapur dan krusibel ini berguna sebagai label penuangan.

b. Krusibel tetap (*stationary pot*),

Pada tungku jenis ini krusibel tidak dapat dipindahkan, logam cair didalam krusibel diangkat menggunakan bantuan ladle.

c. Krusibel tukik (*tilting-pot furnace*).

Pada tungku jenis ini hampir sama dengan jenis krusibel tetap dimana krusibelnya tidak bisa dipindahkan. Cara penuangan logam tungku ini dengan cara tungku ditukikkan agar logam logam cair keluar dari krusibel menuju cetakan.

#### 2.5.4 Tahapan Pengecoran

Tahapan pengecoran dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

a. Peleburan logam

Tahapan ini berfungsi untuk mencairkan logam tadi dengan menggunakan kalor yang tinggi sehingga logam tadi dapat mencair pada titik cair logamnya. Titik cair yang dimiliki setiap logam berbeda-beda, dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Berat jenis, titik cair, dan koefisien kekentalan (Sudjana, 2008)

Bahan	Berat Jenis (g/mm <sup>3</sup> )	Titik Cair (°C)	Koefisien Kekentalan (cm <sup>2</sup> /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

(Sumber: Sudjana, 2008)

b. *Degassing*

Pada tahap ini berfungsi untuk mengeluarkan gas hidrogen yang terdapat pada cairan aluminium dengan cara menginjeksi gas-gas inert seperti contoh argon (Suprpto, 2011). Hidrogen ini merupakan gas yang bisa larut pada aluminium ataupun juga paduannya. Kandungan hidrogen yang terlalu tinggi pada cairan aluminium akan mengakibatkan porositas ketika aluminium itu membeku. Waktu yang diperlukan pada proses *degassing* ini hanya 3 menit saja dan granular fluks akan terdapat pada permukaan cairan logamnya ( Ji *et al*, 2012).

c. Penuangan

Tahapan ini dilakukan pada saat logam cair telah mencair dan akan masuk kedalam cetakan. Tahapan ini merupakan pengisian cetakan dengan bahan yang sebelumnya telah dicairkan.

d. Pembongkaran

Tahapan ini merupakan tahapan yang terakhir yaitu pembongkaran cetakan setelah logam mengalami pembekuan yang cukup didalam cetakan. Logam yang telah dingin akan membentuk pola sesuai dengan cetakannya dan pada tahap ini dapat diketahui juga apakah logam yang telah jadi ini mengalami cacat porositas atau tidak.

## 2.6 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas merupakan suatu proses untuk mengubah sifat logam melalui proses pemanasan pada temperature rekristalisasi pada jangka waktu tertentu yang kemudian didinginkan menggunakan media pendingin seperti oli, air, udara yang memiliki kerapatan perdinginan yang berbeda. Perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan kekerasan, keuletan, tegangan tarik logam, menghaluskan butir Kristal dan sebagainya (Handoyo, 2015).

### 2.6.1 Perlakuan Panas T6

Perlakuan panas T6 ini dibagi menjadi 3, yaitu *solution heat treatment*, *quenching* dan juga *aging*. Perbedaan dari ke tiga perlakuan panas dapat dilihat sebagai berikut:

1. *Solution heat treatment*

Perlakuan panas ini berguna untuk memanaskan aluminium pada suhu 540 °C-560 °C yang dilakukan didalam dapur pemanas kemudian ditahan atau holding time sesuai dengan jenis dan juga benda kerjanya (Paryono dkk, 1996). Tujuan dari perlakuan panas untuk mendapatkan larutan padat yang hasilnya mendekati homogen. Pada proses perlakuan panas ini juga terjadi sebuah pelarutan fasa yang kemudian akan menjadi sebuah larutan padat.

2. *Quenching*

Proses perlakuan ini dilakukan dengan cara mendinginkan sebuah logam yang tadinya sudah dipanaskan didalam dapur pemanas, kemudian mendinginkannya kedalam sebuah media pendingin seperti air (Paryono dkk, 1996). Media pendingin biasanya berupa oli, air dan juga air garam, namun media yang sangat cocok untuk logam yang memiliki *hardenability* dan juga kekerasan yang relatif rendah misalnya paduan aluminium adalah menggunakan air. Proses pendinginannya dilakukan secara cepat mulai dari temperature 500°C ke temperature yang lebih rendah mendekati temperature ruang. Tujuan dari perlakuan ini agar struktur paduan yang telah homogen dan kemudian dilakukan pendinginan secara cepat yang berfungsi agar atom yang berada didalamnya tidak berdifusi atau bergerak.

3. *Aging*

Proses perlakuan ini dilakukan dengan waktu yang cukup lama dan juga pada temperature yang rendah. Waktu yang diberikan pada proses *aging* dapat menyebabkan perbedaan pada jenis, distribusi partikel, fraksi volume dan juga akan menghasilkan sifat mekanik yang berbeda pula. Penuaan atau *aging* dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan buatan (*artificial aging*) yang berlangsung pada temperatur 100°C -200°C dan penuaan alami (*natural aging*) yang berlangsung pada temperatur ruang 15°C -25°C (Schonmetz,1990).

## 2.7 Karakterisasi Material

Untuk mengetahui karakterisasi dari suatu material maka dilakukan beberapa pengujian, seperti pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro dan juga pengujian menggunakan SEM dan XRD.

### 2.7.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini merupakan sebuah metode yang dilakukan pada suatu bahan atau material untuk mengetahui kekuatan material tersebut dengan memberikan beban gaya yang arahnya berlawanan (Soukota, 2004). Pengujian tarik ini dilakukan dengan menarik benda uji secara terus menerus sehingga benda uji panjangnya akan terus meningkat dan juga teratur hingga putus. Uji tarik ini juga merupakan alat uji *stress-strain* pada bahan. Untuk menguji strain (regangan) menggunakan rumus:

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

Dimana:

- $l_i$  : panjang akhir
- $l_o$  : panjang mula-mula
- $\Delta l$  : pertambahan panjang
- $\varepsilon$  : %

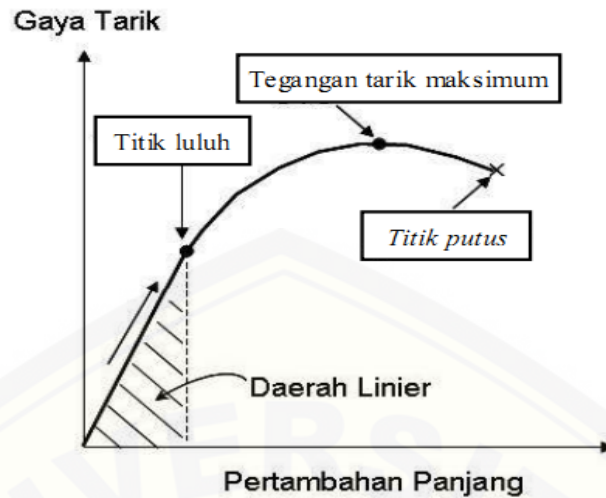
Untuk menguji stress (tegangan)

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

Dimana:

- F : beban yang diberikan (lb/N)
- $A_o$  : luas penampang bahan sebelum dibebani ( $\text{in}^2/\text{m}^2$ )
- $\sigma$  : psi, MPa





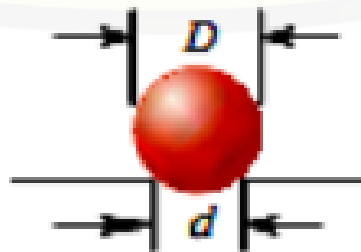
Gambar 2.8 Uji tarik dan juga data pengujian (Azhari, 2002)

### 2.7.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini berfungsi untuk mengetahui ukuran ketahanan logam terhadap deformasi permanen dan juga plastis (Dieter, 1987). Deformasi plastis itu sendiri merupakan keadaan dimana sebuah material ketika diberi gaya maka struktur mikronya tidak bisa kembali lagi ke bentuk asalnya, sedangkan deformasi elastis struktur mikronya dapat kembali ke bentuk asal. Pengujian kekerasan ini berawal dari penekanan indenter dengan sudut  $90^\circ$  terhadap permukaan logam yang akan diukur kekerasannya. Pengujian kekerasan dibagi menjadi beberapa macam, yaitu:

#### a. Uji Kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan ini menggunakan bola baja yang dikeraskan kemudian diberi tekanan dengan beban tertentu. Permukaan logam yang akan diberi lekukan harus bersih debu maupun kerak, rata dan juga halus.



Gambar 2.9 Pengujian Brinell (Callister, 2000).

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

Dimana:

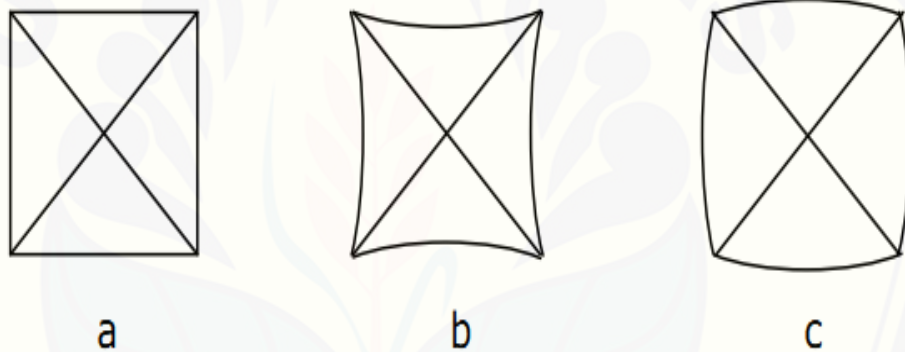
P : beban yang digunakan (kg)

D : diameter bola baja (mm)

d : diameter lekukan (mm)

b. Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan ini menggunakan indentor piramida intan yang berbentuk bujur sangkar. Besar sudut permukaan piramida sebesar  $136^\circ$  yang saling berhadapan.



Gambar 2.10 Tipe-tipe lekukan piramid intan: (a) lekukan yang sempurna, (b)lekukan bantal jarum, (c) lekukan berbentuk tong (Dieter, 1987)

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

Dimana:

P : beban yang digunakan (kg)

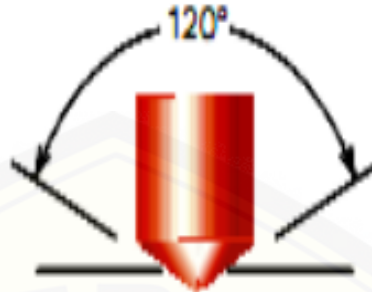
D : panjang diagonal rata-rata (mm)

$\Theta$  : sudut antara permukaan intan yang berhadapan =  $136^\circ$

c. Uji Kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan ini, yaitu angka kekerasannya yang didapat merupakan fungsi derajat indentasi yang hampir sama dengan pengujian brinell. Perbedaan dari pengujian brinell terletak pada indentor dan beban berukuran lebih kecil

sehingga menyebabkan indentasinya lebih kecil dan juga lebih halus (Wiskocil, 1955).



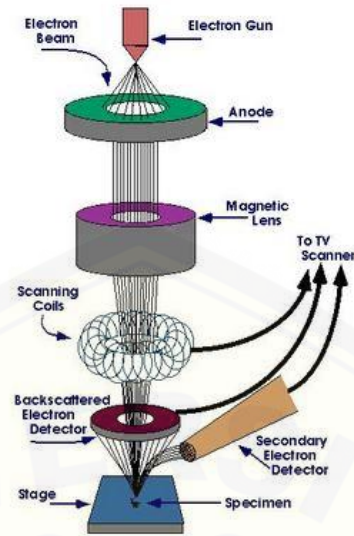
Gambar 2.11 Pengujian Rockwell (Callister, 2000)

### 2.7.3 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian ini menggunakan mikroskop untuk mengetahui struktur mikro dari suatu bahan dengan pembesaran fotonya diperoleh dari perkalian lensa obyektif dan okuler. Hasil yang diamati dari pengujian ini adalah bentuk dan ukuran kristal logam, komposisi dan proses perlakuan panas dan juga kerusakan akibat dari deformasi. Setelah mengamati hasil pengamatan pengujian ini kita dapat memprediksi sifat mekaniknya seperti kekuatan tarik, elongasi dan juga deformasi plastiknya (Fadhilah, 2004).

### 2.7.4 Scanning Elrktron Microscopy (SEM)

Alat uji ini merupakan salah satu jenis mikroskop electron yang menggambarkan bentuk permukaan dari sebuah material yang ingin diteliti dengan menggunakan berkas electron. Alat ini mempunyai resolusi yang lebih tinggi dibandingkan cahaya hingga 0,1-0,2 nm. Prinsip kerja alat ini bisa kita lihat pada gambar 2.7 .



Gambar 2.12 Skema alat uji SEM (Sujatno dkk, 2015)

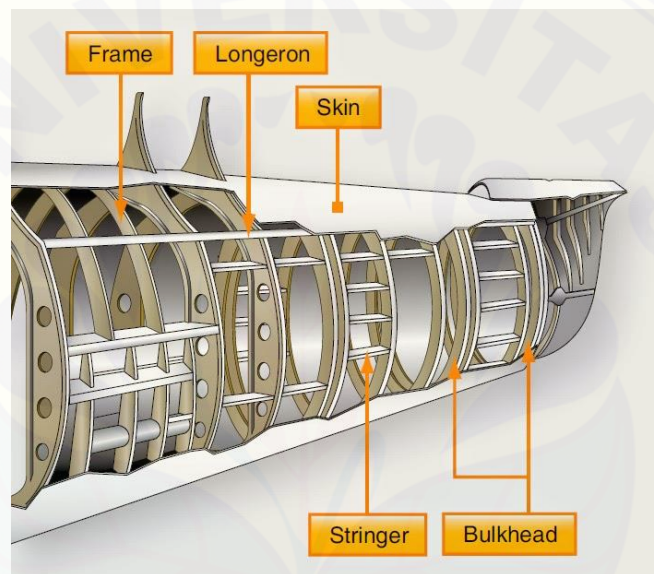
- Piston elektron menembakkan sinar elektron dan diterima oleh anoda yang kemudian dipercepat.
- Kemudian lensa magnetik yang berfungsi untuk memfokuskan elektron menuju sampel.
- Kemudian koil pemindai yang akan mengarahkan sinar elektron agar fokus memindai seluruh sampel.
- Ketika sinar elektron mengenai sampel, maka sampel tadi akan mengeluarkan elektron yang baru kemudian akan diterima oleh detector dan kemudian akan dikirim ke monitor.

#### 2.7.5 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD ini merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menganalisis sistem kristal seperti susunan atom, parameter kisi dan juga jenis strukturnya. Prinsip kerja dari alat ini menggunakan bantuan difraksi sinar x yang yang dihamburkan dari sudut kristal material yang teliti. Cara kerja alat ini berawal dari sampe uji yang berupa serpihan, kemudian ditempelkan pada tempat pengujian atau plat kaca. Kemudian sinar x ditembakkan pada sampel yang kemudian akan mendifraksikan sinar kesegala arah. Sinar X tadi akan dideteksi oleh detektor yang bergerak.

## 2.8 Aplikasi

Aluminium Al-7075 merupakan paduan yang digunakan sebagai bahan struktur pada industri pesawat terbang karena ringan dan memiliki kekuatan tertinggi diantara paduan aluminium lain seunggul baja. Komposit aluminium ditambah dengan nanopartikel ZnO akan membuat paduan tersebut semakin kuat dan juga dapat dikeraskan dengan perlakuan panas T6. Aplikasi dari aluminium/nano ZnO pada bagian pesawat terbang yaitu longeron dapat dilihat pada gambar 2.13 dibawah ini



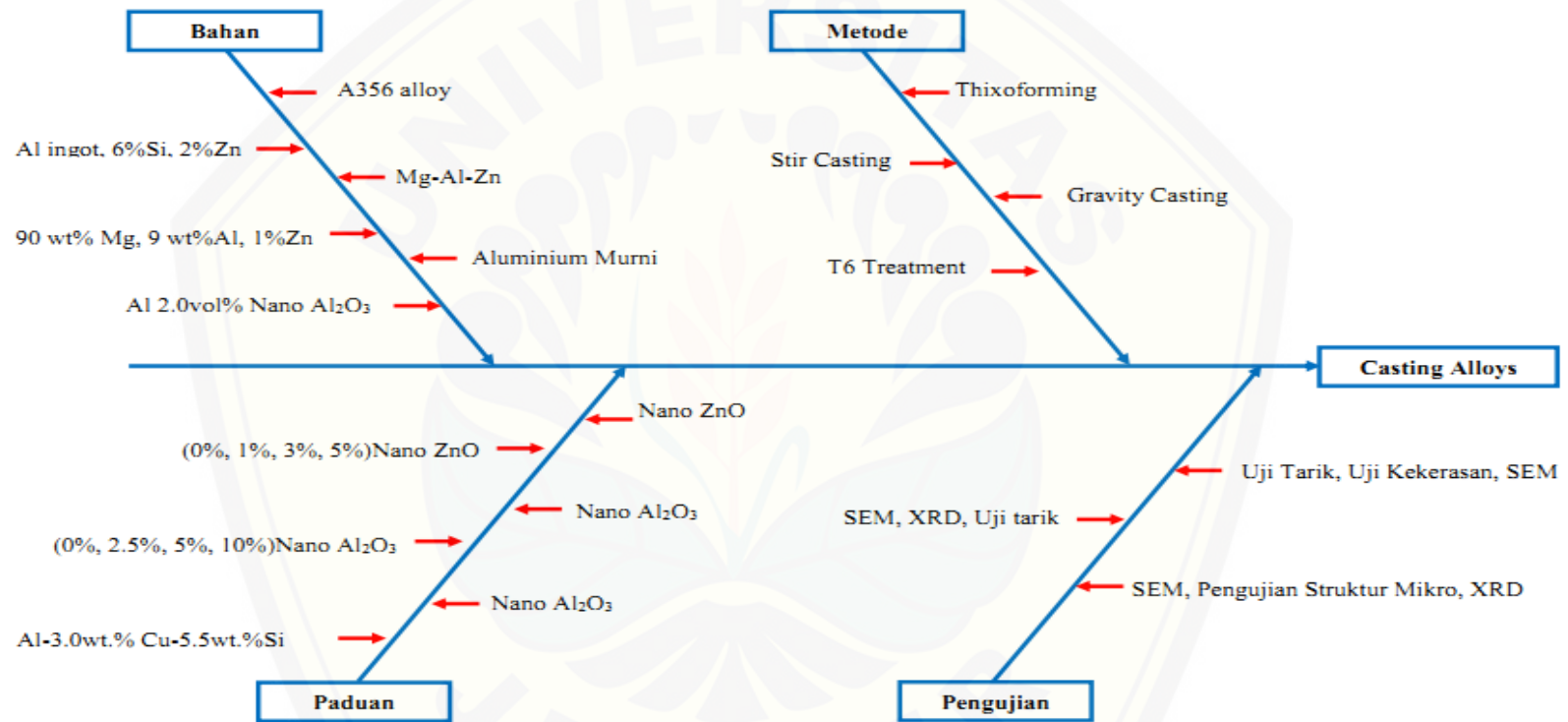
Gambar 2.13 Longeron

(Sumber : RTO-AG-AVT-140. D. Raizenne and x. Wu . Canada)

Aplikasi dari komposit aluminium/nano ZnO antara lain pada longeron pesawat CC-130. Longeron merupakan tempat menempelnya kulit pesawat (*skin*). Fungsi dari longeron sendiri merupakan penahan beban dan untuk mentransfer beban lentur yang bekerja pada sayap pesawat. Penambahan nanopartikel ZnO sendiri berfungsi sebagai penambah sifat mekanik pada aluminium sehingga semakin kuat ketika menahan beban dari struktur bodi pesawat serta gaya dari luar.

### 2.9 Diagram Fishbone

*Fishbone* merupakan diagram perkembangan penelitian yang saat ini telah dilakukan pada paduan aluminium dengan metode pengecoran (*casting*) dapat dilihat pada gambar 2.14 dibawah ini



Gambar 2.14 Diagram *Fishbone*

### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu: pembuatan dan pengujian paduan Aluminium 7075 dengan variasi penambahan nano ZnO. Pembuatan spesimen dan pengamatan mikro dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengujian Kekerasan dan Pengujian Tarik dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.

#### 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 Aluminium/Nano ZnO
  - 1) Tungku peleburan
  - 2) Gergaji besi
  - 3) Timbangan digital
  - 4) Gas argon
  - 5) Cetakan permanen
  - 6) *Torch* pemanas
  - 7) Thermoghun
  - 8) Alat pengaduk (*stirrer*) M-2310
  - 9) Perlengkapan K3
  - 10) Mesin poles/amplas
  - 11) Mesin bubut
- b. Peralatan yang digunakan untuk pengujian komposit Aluminium/Nano ZnO:
  - 1) Rockwell Hardness Testing Machine *HR-200*
  - 2) *alat uji tarik (Liyi LY-1066A)*

- 3) *alat* Microscope Olympus BX41M
- 4) Scanning Electron Microscope (SEM) Phenom™ G2 Pro

Adapun spesifikasi pada stirrer yang digunakan seperti yang disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.1 Spesifikasi stirrer merk Modern mod. M-2310

Spesifikasi	
Daya	135 Watt
Kecepatan Tanpa Beban	1000-35000 rpm
Kapasitas Collet Chuck	3 mm

### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada proses pembuatan komposit Aluminium/Nano

ZnO:

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

Tabel 3.2 Spesifikasi Nano ZnO

Spesifikasi	
Assay	$\geq 99,0\%$
Titik lebur	1975°C
Ukuran	30-100 nm

### 3.3 Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas

Variabel bebas merupakan parameter yang ditentukan sebelum melakukan penelitian. Dalam hal ini variabel bebasnya yaitu nanopartikel ZnO dengan fraksi berat 1%, 2%, 3%.



b. Variabel kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang besar nilainya dikontrol selama penelitian. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah temperature peleburan dan kecepatan pengadukan.

c. Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya ditentukan berdasarkan variabel bebas. Pada penelitian ini yang dijadikan variabel terikat adalah pengujian komposit Aluminium/nano ZnO melalui uji tarik, uji kekerasan, struktur mikro, SEM dan juga XRD.

d. Variabel tetap

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

### 3.4 Proses Pembuatan Sampel

Dalam proses pembuatan komposit Aluminium/Nano ZnO dilakukan penimbangan bahan aluminium dan nano ZnO sesuai dengan variabel bebas sebesar 1%, 2%, 3% yang kemudian dilakukan proses pengecoran dengan metode *stir casting*.

Langkah-langkah untuk proses pembuatan sampel komposit Aluminium/Nano ZnO sebagai berikut:

- a. Menimbang massa Aluminium.
- b. Menimbang massa nano ZnO dan juga magnesium sesuai dengan variasi yang ditentukan.
- c. Lakukan *coating* pada *crucible* dengan mortar.
- d. Menyalakan tungku peleburan dengan dipanaskan terlebih dahulu agar kandungan air hilang dan kemudian disetting sesuai kebutuhan suhu 800° C untuk proses peleburan.
- e. Ketika Aluminium telah melebur kemudian tambahkan magnesium
- f. Heating nano ZnO pada suhu 500° C selama 5 menit kemudian dilakukan

- pencampuran pada leburan aluminium.
- g. Setelah penambahan ZnO dilakukan *melting* dengan penahanan suhu selama 30 menit.
  - h. Aduk leburan menggunakan *stir* dengan kecepatan 450 rpm selama 30 detik kemudian angkat *stir*.
  - i. Masukkan blander hingga dasar krusibel dengan mengalirkan gas argon selama 30-45 detik kemudian angkat blander dari tungku pengecoran.
  - j. Setelah itu buang slag pada leburan.
  - k. Panaskan cetakan permanen sampai suhu 200° C dengan *torch* pemanas.
  - l. Sebelum penuangan sembur bagian atas leburan dengan gas argon dan tuangkan logam paduan kedalam cetakan.
  - m. Buka cetakan ketika logam sudah membeku.
  - n. Kemudian sampel dilakukan proses perlakuan panas T6 yang pertama *solution treatment* didalam *furnace* dengan suhu 540° C selama 6 jam.
  - o. Setelah itu keluarkan sampel dari *furnace* kemudian dilakukan proses perlakuan *quenching* dengan menggunakan media pendingin berupa air selama 30 menit.
  - p. Kemudian sampel juga diberi perlakuan panas *aging* dengan suhu 115° C selama 5 jam.
  - q. Sampel siap diuji.

### 3.5 Proses Pengujian Sampel

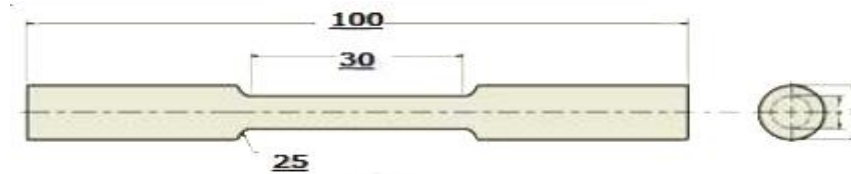
Pengujian komposit Aluminium/Nano ZnO pada penelitian ini, yaitu:

#### 3.4.1 Pengujian Tarik

Pada proses pengujian tarik komposit Aluminium/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. Lakukan pengujian tarik dan mengamati pengecilan diameter pada sampel uji tarik dengan menggunakan jangka sorong.

- d. Dan mencatat hasil yang keluar pada mesin uji tarik sampai sampel putus.



Gambar 3.1 Spesimen uji tarik ASTM B557

### 3.4.2 Pengujian Kekerasan

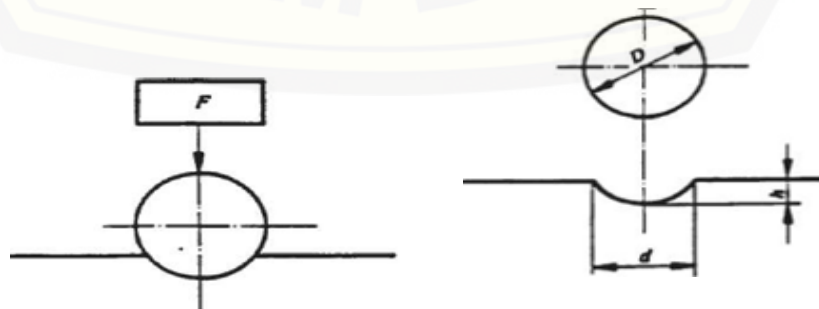
Pada proses pengujian kekerasan komposit Aluminium/Nano ZnO ini menggunakan standart ASTM E10 serta menggunakan alat *Rockwell Hardness Testing Machine* HR-200 dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- Persiapkan sampel dengan mengacu pada standart ASTM E 10.
- Setting alat pengujian pada nilai *Brinell Hardness* dan disesuaikan dengan material yang akan diuji.
- Setelah itu lakukan pengujian dengan meletakkan alat pada spesimen agar indenter dapat bersentuhan pada spesimen.
- Catat angka kekerasan yang muncul pada alat *Hardness Tester THI20B*.

Tabel 3.3 Toleransi ukuran hasil dari pengujian Brinell Hardness

Ball Diameter, (mm)	Tolerance, (mm)
10	0.005
5	0.004
2.5	0.003
2	0.003
1	0.003

(Sumber: ASTM E 10)



Gambar 3.2 Prinsip kerja metode Brinell Hardness (Sumber: ASTM E 10)

Pada pengujian *Brinell Hardness* memiliki toleransi ukuran bola pengujian yang dijelaskan pada tabel dan gambar menjelaskan tentang ilustrasi pengujian pada metode *Brinell Hardness*.

#### 3.4.3 Pengamatan Struktur Mikro

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

1. Preparasi sampel dengan memberi cetakan resin pada sampel agar mudah dalam pemegangannya.
2. Mengamplas permukaan sampel menggunakan mesin amplas dengan kakasaran 500 Cw, 1000 Cw, 1500 Cw, 2000 Cw.
3. Gosok permukaan sampel menggunakan autosol sampai mengkilap.
4. Buat campuran *etsa* dengan masukan campuran NaOH dan H<sub>2</sub>O ke dalam gelas beaker dengan berat 10 gram NaOH dan 90 ml H<sub>2</sub>O.
5. Aduk campuran NaOH dan H<sub>2</sub>O menggunakan pengaduk sampai tercampur rata.
6. Etsa sampel dengan meneteskan satu tetes campuran NaOH dan H<sub>2</sub>O ke permukaan sampel selama 20 detik.
7. Komputer yang sudah terinstal aplikasi mikroskop optik hubungkan dengan mikroskop optik.
8. Letakan sampel di tempat sampel uji mikroskop optik dengan benar yaitu di bawah cahaya mikroskop optik.
9. Atur perbesaran mikroskop sampai struktur mikro terlihat dengan jelas di komputer (perbesaran 200X dan 500X).
10. Simpan hasil uji struktur mikro di dalam computer

#### 3.4.4 Pengujian SEM

Pada proses pengamatan dengan SEM pada komposit Aluminium/Nano ZnO ini menggunakan alat *SEM Phenom™ G2 Pro* dan memiliki tahapan-tahapan

pengujian antara lain, yaitu:

1. Siapkan Alat pengujian *SEM Phenom™ G2 Pro*
2. Etsa sampel dengan mencelupkan sampel kedalam campuran NaOH dan H<sub>2</sub>O ke permukaan sampel selama 20 detik.
3. Setelah itu keringkan sampel dengan menggunakan tissue.
4. Taruh sampel yang sudah siap diuji pada *stage*
5. Masukkan *stage* kedalam alat *SEM Phenom™ G2 Pro*.
6. Kemudian sampel siap di uji dengan pembesaran yang diinginkan

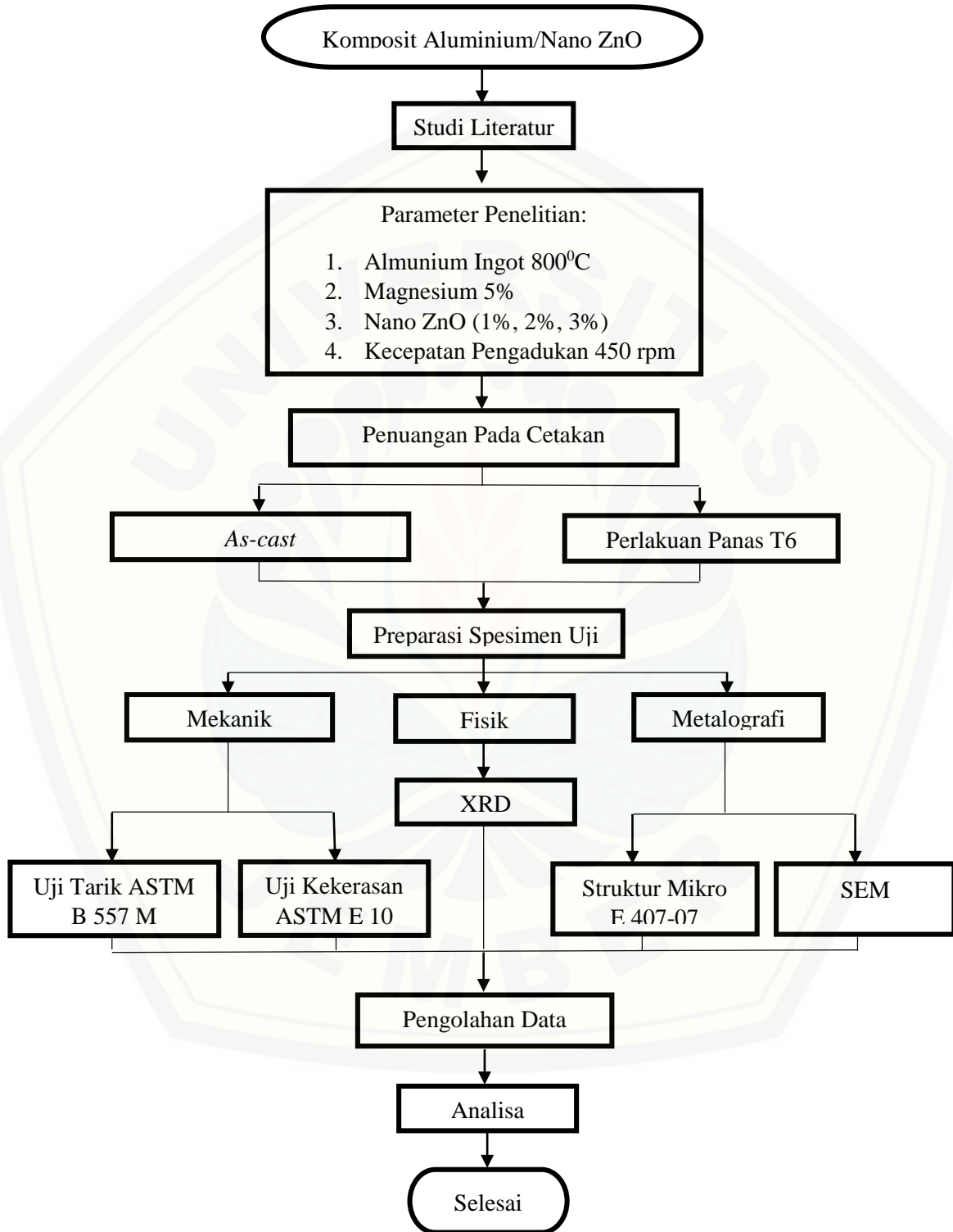
#### 3.4.5 Pengujian XRD

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  $2\theta$  dan ordinat berupa intensitas. Senyawa yang memiliki  $2\theta$  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.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah pengerjaan disajikan pada gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.3 Diagram Alir penelitian

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan nanopartikel ZnO dan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam meningkatkan kekerasan komposit Al-nano ZnO
2. Penambahan nanopartikel ZnO dan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam meningkatkan kekuatan tarik komposit Al-nano ZnO
3. Dari pengamatan struktur mikro dapat disimpulkan bahwa penambahan nanopartikel ZnO dan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam merubah struktur mikro komposit.
4. Proses penambahan nanopartikel ZnO dan perlakuan panas T6 dengan metode *stir casting* ditemukan senyawa Aluminium yang merupakan matriks dan beberapa senyawa baru seperti  $MgAl_2O_4$  dan  $Al_2O_4Zn$  pada komposit Aluminium/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.
3. Sebaiknya dipilih bahan *stirrer* yang tidak bereaksi dengan bahan penelitian.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Annigeri, U. ..., & Kumar, G. V. (2017). Method of stir casting of Aluminum metal matrix Composites: A review. *Materials Today: Proceedings* 4, 1140–1146.
- Anzip, A. ., Suhariyanto. (2006). Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.2 dengan Penambahan Manganese (Mn) dan Perlakuan Panas T6.
- 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.
- Bharath, V., Nagaralb, M. (2014). Preparation of 6061Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MMC's by Stir Casting and Evaluation of Mechanical and Wear Properties.
- BUNACIU, A. A., TIOIU, E. G., & ABOUL-ENEIN, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 289 –299.
- C.Kannan, & Ramanujam, R. (2017). Comparative study on the mechanical and microstructural characterization of AA 7075. *Journal of Advanced Research*.
- Chen, K., Fang, T., Hung, F., Ji, L., Chang, S., Young, S., & Hsiao, Y. (2008). The crystallization and physical properties of Al-doped ZnO nanoparticles. *Applied Surface Science*, 5791–5795.
- Coleman, V. A., & Jagadish, C. (2006). Basic Properties and Applications of ZnO.
- Djarmiko, E., Budiarto. (2007). Pengaruh Perlakuan Panas T6 Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Paduan Al-Si-Mg.
- Durri, S., & Sutanto, H. (2015). Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO doping Al yang di Deposisi diatas Kaca dengan Metode Sol-Gel Teknik Spray-Coating. *Jurnal Fisika Indonesia No: 55, Vol XIX,*, ISSN : 1410-2994 .
- Fadhilah, I. (n.d.). Analisis Struktur Mikro (Metalografi).



- Hashim, J., Looney, L., & Hashmi, M. (1999). Metal matrix composites: production by the stir casting method. *Journal of Materials Processing Technology*, 1-7.
- Jaya Prasad, V., Narasimha Rao K., Kishore Babu N. (2019). Mechanical and tribological characterization of aluminum metal matrix composite reinforced with micro ceramic particles (TiB<sub>2</sub> /SiC).
- Junus, S., Zulfia, A., Melisa, & Mariani, L. (2014). Pengaruh Anti Aging Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Komposit Al-Si-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Metode Stir Casting. *Jurnal Rotor*, Volume 7 Nomor 2.
- Kusharjanto, Soepriyanto, S., Korda, A. A., & Dwiwanto, S. A. (2018). Effect of ZnO nanoparticles to mechanical properties of thixoformed Mg-Al-Zn alloy. *Materials Research Express*.
- Liu, G., Wang, Q. (2017). Effect of T6 heat treatment on microstructure and mechanical property of 6101/A356 bimetal fabricated by squeeze casting.
- Lu, X., Liu, Y., Si, X., Shen, Y., Yu, W., Wang, W., Zhou, T. (2016). Temperature dependence on the structural, optical, and magnetic properties of Al-doped ZnO nanoparticles. *Optical Materials*, 335-340.
- Paryono., Bayuseno., Nugroho, S. (2013). Pengaruh Perlakuan Panas T6 Terhadap Kekerasan Pada Paduan Aluminium ADC12 Hasil Proses High Pressure Die Casting (HPDC).
- Pio, L.Y. (2011). Effect of T6 Treatment on the Mechanical Properties of Gravity Die Cast A356 Aluminium Alloy.
- Qasim, ZS., Jabbar MA. (2017). Enhancement the Mechanical Properties of Aluminum Casting Alloys (A356) by Adding Nanorods Structures from Zinc Oxide.
- Rao, K. S., & Govindaraju. (2017). Sliding wear Behavior of Cast Al-7075 Alloy Reinforced with MgO . *Journal Material Today*, 11096–11101.
- Rashad, M. M. , Zaki, Z. I., El-Shall, H. (2009). A novel approach for synthesis of nanocrystalline MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> powders by co-precipitation method.
- Rustan, M., Subaer, & Irhamsyah. (2015). studi tentang pengaruh nanopartikel ZnO (seng oksida) terhadap kuat tekan geopolimer berbahan dasar metakaolin. *Jurnal sains dan pendidikan fisika* , 286 - 291.
- Salindeho, R. D., Soukota, J., & Poeng, R. (n.d.). pemodelan pengujian tarik untuk menganalisis sifat mekanik material.
- Sari, N. H. (2018). *Material Teknik*. Yogyakarta: CV Budi Utama.

- Setiawan, H. (n.d.). pengaruh proses heat treatment pada kekerasan material special k(k100).
- Shin J. H., Jeon J. H., Bae, D. H. (2015). Microstructure refining of aluminum alloys using aluminothermic reaction with ZnO nanoparticles.
- Sudjana, H. (2008). *Teknik Pengecoran Logam Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Suherman, & Syahputra. (2014). Pengaruh penambahan Cu dan solution treatment terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada aluminium paduan A356. *Jurnal Dinamis*.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, & Dimiyati, A. (2015). Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN), Volume 9, Nomor 2*, 44-50.
- Suwanboon, S., Amornpitoksuk, P., Haidoux, A., & Tedenac, J. (2008). Structural and optical properties of undoped and aluminium doped zinc oxide nanoparticles via precipitation method at low temperature. *Journal of Alloys and Compounds 462* , 335–339 .
- Tata, S., & Shinroku, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Zulfia, A., Juwita, R., Uliana, A., Jujur, I. N., & Raharjo, J. (2010). Proses Penuaan (Aging) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 13–20.

LAMPIRAN



Tungku pengecoran



Gergaji Besi



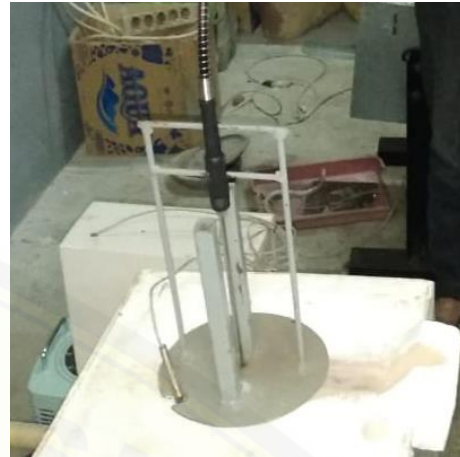
Timbangan digital



Cetakan Permanen



Torch Pemanas



Alat pengaduk



Mesin Bubut



Mesin Poles



Furnance



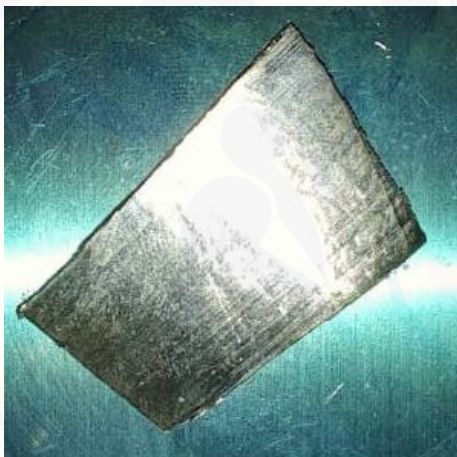
Mesin Uji tarik



Mesin Uji SEM



Mikroskop



Magnesium



Alumunium



Nano ZnO



Larutan Etsa



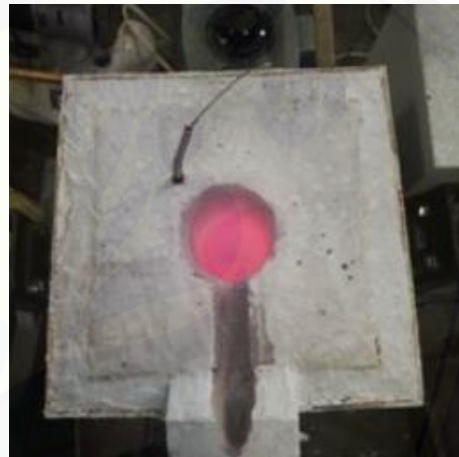
Pembuatan dapur pengecoran



Pemotongan bahan



Penimbangan bahan



Peleburan bahan



Pengadukan bahan



Pemanasan Cetakan



Penuangan dalam cetakan



Pembongkaran cetakan



Perlakuan Panas T6



Pembubutan Spesimen



Pengujian tarik



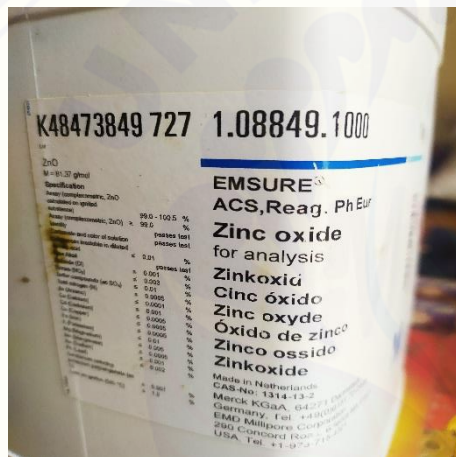
Mounting uji mikro



Pengujian SEM



Pengujian kekerasan



Spesifikasi ZnO



Stirrer M-2310