



**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNESIUM TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO ALUMINIUM
7075 DENGAN METODE *GRAVITY CASTING***

SKRIPSI

Oleh

Rohkana Devi Putri Permadani

NIM 141910101033

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNESIUM TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO ALUMINIUM
7075 DENGAN METODE *GRAVITY 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

Rohkana Devi Putri Permadani

NIM 141910101033

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

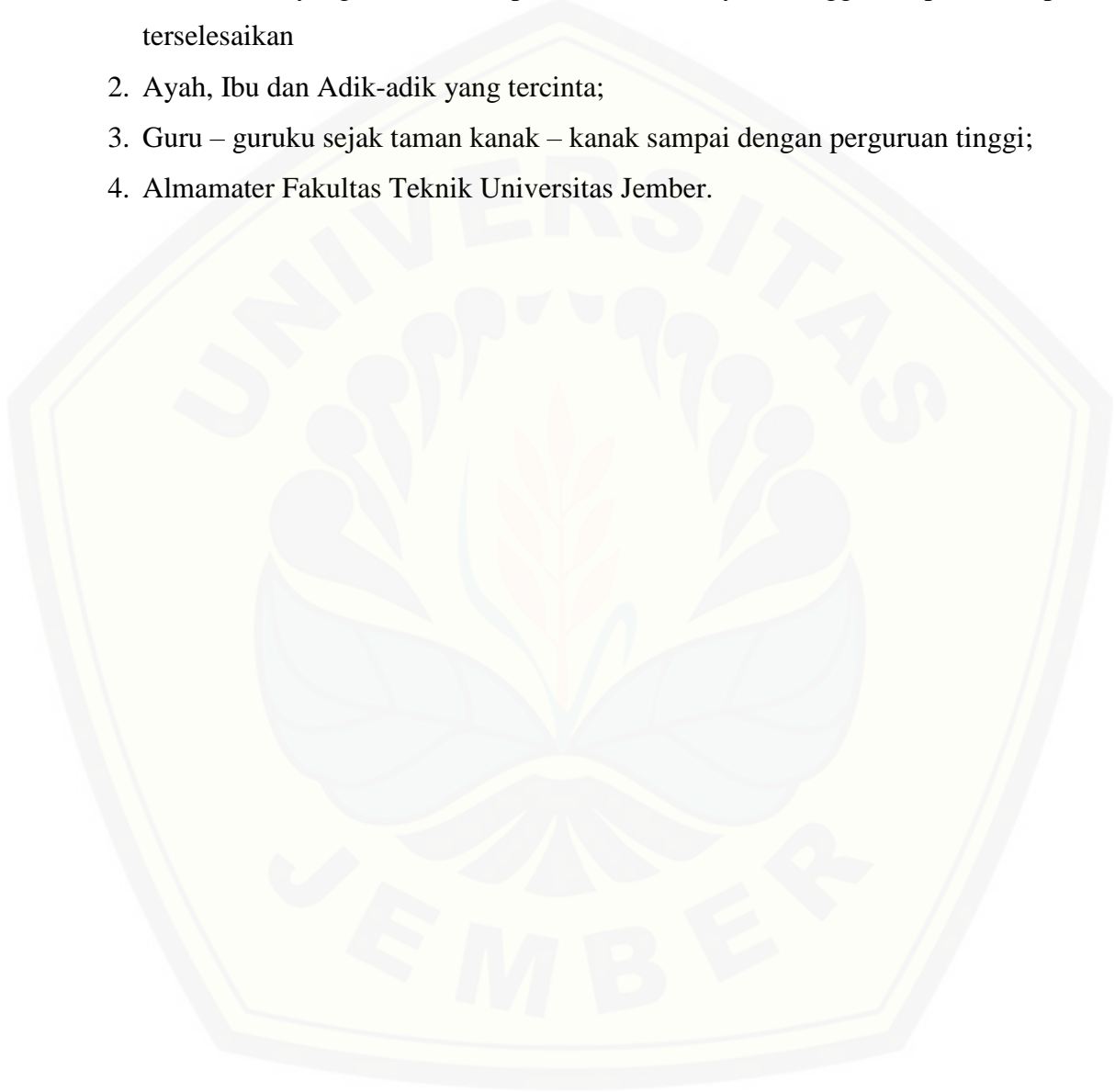
UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan
2. Ayah, Ibu dan Adik-adik yang tercinta;
3. Guru – guruku sejak taman kanak – kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.



MOTTO

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagi kamu. Allah Maha mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui”

(Al-Baqarah: 216)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

“Hanya mereka yang berani gagal dapat meraih keberhasilan”

(Robert F. Kennedy)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rohkana Devi Putri Permadani

NIM : 141910101033

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Aluminium 7075 dengan Metode *Gravity Casting*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 14 September 2018

Yang menyatakan,

Rohkana Devi Putri Permadani
NIM 141910101033

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNESIUM TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO ALUMINIUM
7075 DENGAN METODE *GRAVITY CASTING***

Oleh

Rohkana Devi Putri Permadani

NIM 141910101033

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Mochamad Edoward Ramadhan, S.T, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Aluminium 7075 dengan Metode *Gravity Casting*” karya Rohkana Devi Putri Permadani telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jumat, 14 September 2018

tempat : Ruang Ujian II lantai 3 Gedung Dekanat

Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

NIP 19751006 200212 1 002

Mochamad Edoward Ramadhan, S.T., M.T.

NIP 19870430 201404 1 001

Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Sumarji, S.T., M.T.

NIP 19680202 199702 1 001

M. Fahrur Rozy Hentihu, S.T., M.T.

NIP 19800307 201212 1 003

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

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

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Aluminium 7075 dengan Metode *Gravity Casting*; Rohkana Devi Putri Permadani, 141910101033; 2018: 63 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Seiring dengan berkembangnya pasar industri material, setiap perusahaan perlu meningkatkan kualitas produknya. Salah satu bahan yang paling banyak dipakai dalam perusahaan adalah paduan aluminium. Material aluminium memiliki keterbatasan untuk mencapai kombinasi yang sempurna, baik dari segi kekuatan, kekakuan, ketangguhan dan kepadatan, dengan penambahan unsur paduan dapat meningkatkan sifat mekanisnya. Seiring dengan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian-penelitian agar kualitas material dapat dioptimalkan dan sesuai dengan kebutuhan.

Paduan AlZnMgCu merupakan paduan yang memiliki kekuatan tinggi, ringan dan memiliki sifat mekanik yang baik. Paduan ini banyak digunakan dalam penerbangan industri dan bahan konstruksi otomotif. Penambahan Magnesium pada paduan aluminium 7075 bertujuan untuk mendapatkan bahan paduan yang mampu memperbaiki sifat mekanik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan magnesium terhadap kekerasan, kekuatan tarik, struktur mikro dan morfologi pada aluminium. Hasil dari penelitian ini dapat menentukan apakah penambahan magnesium mampu memperbaiki sifat mekanis dari aluminium 7075.

Hasil pengujian kekerasan *Brinell* didapatkan pada penambahan magnesium dengan kadar berturut – turut 0%, 2%, 4% dan 6% sebesar 24,7 HB; 25,2 HB; 36,1 HB dan 71,6 HB. Hasil pengujian kekerasan *Brinell* tertinggi adalah pada paduan dengan kadar magnesium 6%. Hasil pengujian tarik didapatkan pada penambahan magnesium dengan kadar berturut – turut 0%, 2%, 4% dan 6% hasil rata – rata kekuatan tarik sebesar 100,718 MPa; 104,213 MPa; 113,049 MPa dan 146,064 MPa. Hasil pengujian tarik tertinggi adalah pada paduan dengan kadar magnesium

6%. Hasil pengujian tarik didapatkan persentase perpanjangan pada penambahan magnesium dengan kadar berturut – turut 0%, 2%, 4% dan 6% hasil rata – rata persentase perpanjangan sebesar 3,187 %; 3,143 %; 2,910 % dan 1,917%.

Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan menunjukkan beberapa fasa konstituen yaitu fasa dendritic dan fasa eutektik. Kandungan magnesium dalam aluminium 7075 dapat mempengaruhi struktur mikronya, penambahan magnesium dapat memperkecil ukuran butir. Pada paduan Aluminium 7075 – Mg membentuk fasa kedua yaitu fasa AlMgZn dan MgZn₂.

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar magnesium meningkatkan hasil kekerasan dan kekuatan tarik pada aluminium 7075 dikarenakan penambahan Mg berikatan dengan Zn membentuk fasa MgZn₂, dimana fasa ini akan meningkatkan kekuatan paduan.

SUMMARY

Along with the development of the material industry market, every company needs to improve the quality of its products. Aluminum alloy is one of the most widely used materials. Aluminum materials have limitations to achieve the perfect combination, both in terms of strength, stiffness, toughness, and density, with the addition of alloying elements can improve its mechanical properties. Along with this, it is necessary to conduct research so that the quality of the material can be optimized and according to needs.

Al ZnMgCu Alloys are alloys that have high strength, are lightweight, and have good mechanical properties. This alloy is widely used in industrial aviation and automotive construction materials. The addition of Magnesium to 7075 aluminum alloys aims to obtain alloy materials that can improve mechanical properties.

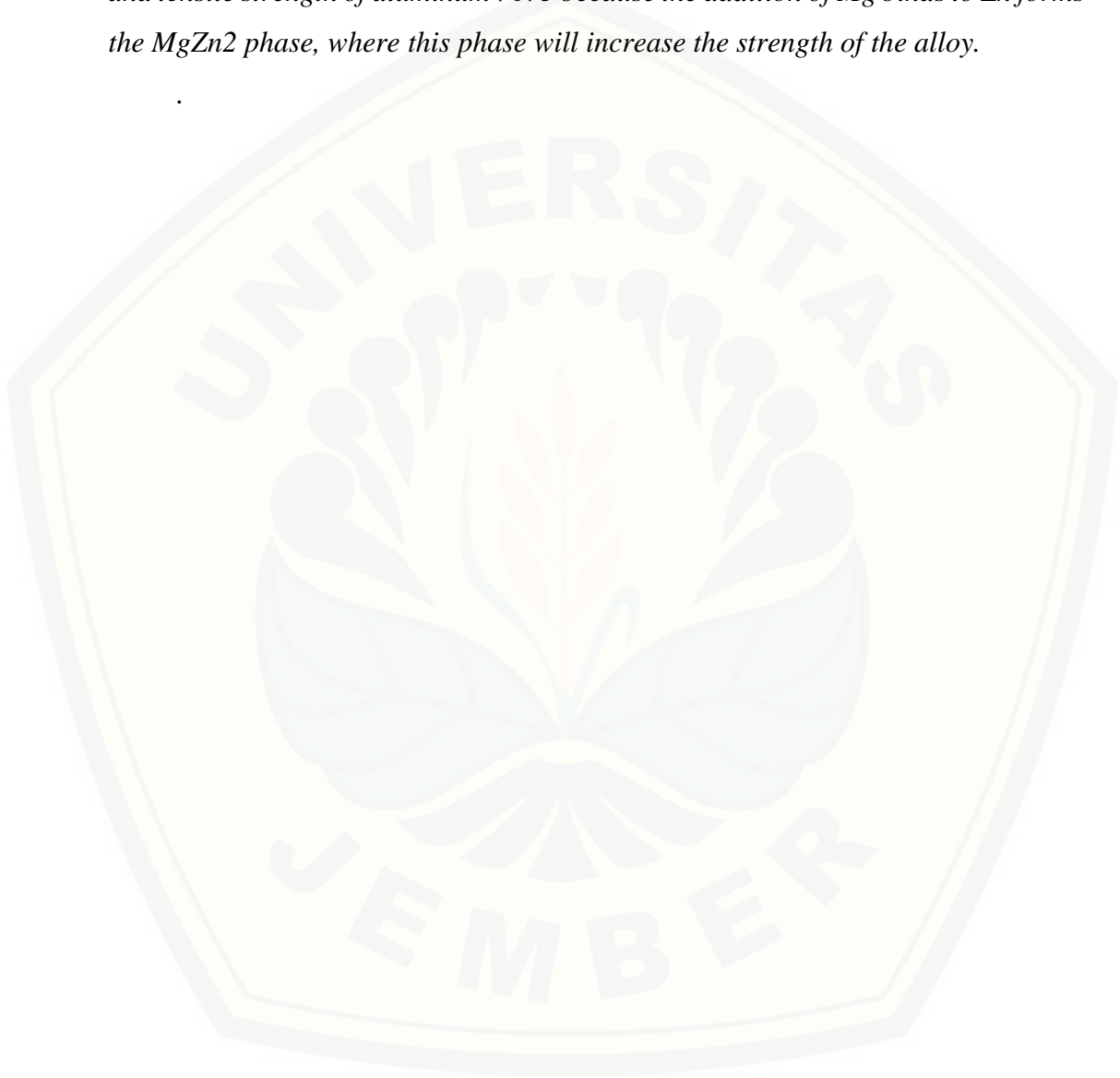
This study aims to determine the effect of adding magnesium to the hardness, tensile strength, microstructure, and morphology on aluminum. The results of this study can determine whether the addition of magnesium can improve the mechanical properties of aluminum 7075.

Brinnel hardness test results obtained on the addition of magnesium with levels of respectively 0%, 2%, 4% and 6% at 24.7 HB; 25.2 HB; 36.1 HB and 71.6 HB. The highest Brinnel hardness test results are in alloys with 6% magnesium content. Tensile test results were obtained on the addition of magnesium with levels of 0%, 2%, 4% and 6% respectively with an average yield of tensile strength of 100.718 MPa; 104,213 MPa; 113,049 MPa and 146,064 MPa. The highest tensile test results are in alloys with 6% magnesium content. Tensile test results obtained the percentage of extension on the addition of magnesium with successive levels of 0%, 2%, 4% and 6%, the average yield of the percentage was 3.187%; 3,143%; 2.910% and 1,917%.

The results of microstructure observation using show several constituent phases namely dendritic phase and eutectic phase. The magnesium content in

aluminum 7075 can affect its microstructure, adding magnesium can reduce grain size. In Aluminum alloy 7075 - Mg forms the second phase, the AlMgZn and MgZn₂ phases.

This study shows that increasing magnesium levels increases the hardness and tensile strength of aluminum 7075 because the addition of Mg binds to Zn forms the MgZn₂ phase, where this phase will increase the strength of the alloy.



PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Aluminium 7075 dengan Metode Gravity Casting*”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

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

1. Ayahanda Harjito, Ibunda Yohana Anita Laluan, Adik-adik dan seluruh keluarga atas segala doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis;
2. Ibu Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Mochamad Edoward Ramadhan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota;
5. Bapak Sumarji , S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I dan Bapak M. Fahrur Rozy Hentihu, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II;
6. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
7. Civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
8. Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah memberikan dukungan kepada penulis;
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu - persatu

Jember, September 2018

Penulis

DAFTAR ISI

BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat.....	2
1.3.1 Tujuan	2
1.3.2 Manfaat	2
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Hipotesa.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Aluminium.....	4
2.2 Klasifikasi Aluminium	4
2.2.1 Aluminium Murni	4
2.2.2 Paduan Aluminium	6
2.2.3 Aluminium Paduan 7075	9
2.3 Unsur Paduan	10
2.3.1 Magnesium.....	10
2.4 Pengecoran	12
2.4.1 Pola.....	13
2.4.2 Cetakan.....	15
2.5 Metode Pengecoran	15
2.5.1 <i>High-pressure die casting</i> (HPDC).....	15
2.5.2 <i>Gravity casting</i>	16
2.5.3 <i>Centrifugal Casting</i> (Pengecoran sentrifugal)	17

2.5.4	Cetakan pasir	18
2.6	Tungku Peleburan.....	19
2.6.1	Dapur Krusibel (<i>Crucible Furnace</i>).....	19
2.6.2	Dapur Cupola (<i>Cupola Furnace</i>)	20
2.6.3	Dapur udara atau dapur api (<i>Air or reverberatory Furnace</i>)	21
2.6.4	Dapur putar (<i>Rotary Furnace</i>)	21
2.6.5	Dapur listrik (<i>electric Furnace</i>)	22
2.7	Alur Pengecoran	22
2.7.1	Peleburan logam.....	22
2.7.3	Penuangan	24
2.8	Pengujian Mekanik.....	24
2.8.1	Pengujian Kekerasan.....	24
2.8.2	Pengujian Tarik	28
2.9	Pengamatan Struktur Mikro	29
2.9.1	<i>Optical Microscope</i>	29
2.9.2	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> dan EDX	30
2.10	Penelitian Sebelumnya.....	31
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....		33
3.1	Metode Penelitian.....	33
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2.1	Waktu Penelitian	33
3.2.2	Tempat Penelitian.....	33
3.3	Alat dan Bahan	34
3.3.1	Alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan paduan Aluminium 7075 + Mg.....	34

3.3.2	Alat dan bahan yang digunakan pada pengujian Aluminium 7075-Mg	34
3.4	Proses Pembuatan Sampel	35
3.5	Proses pengujian Sampel	36
3.5.1	Pengujian Kekerasan	36
3.5.2	Pengujian Tarik	36
3.5.3	Pengamatan Struktur Mikro OM	36
3.5.4	Pengamatan Struktur Mikro SEM-EDX	37
3.6	Diagram Alir Penelitian	38
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Pengujian Kekerasan	39
4.2	Pengujian Tarik	42
4.3	Pengamatan Struktur Mikro <i>optical microscope</i>	46
4.4	Pengamatan Struktur Mikro SEM	49
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>High Pressure Die Casting</i> (Groover, 2010)	16
Gambar 2.2 <i>Gravity Casting</i> dengan cetakan permanen (Groover, 2010).....	17
Gambar 2.3 <i>Centrifugal Casting</i> (Groover, 2010)	18
Gambar 2.4 Cetakan Pasir (Groover, 2010).....	18
Gambar 2.5 Jenis-jenis dapur krusibel (Groover, 2010)	19
Gambar 2.6 Dapur Cupola type pembakar kokas (Sudjana, 2008).....	21
Gambar 2.7 Dapur udara dan dapur api (<i>Reverberatory Furnace</i>) (Sudjana, 2008)	21
Gambar 2.8 Dapur Putar (<i>Rotary Furnace</i>). (Sudjana, 2008).....	22
Gambar 2.9 <i>Electric furnace indirect system</i> (Sudjana, 2008)	22
Gambar 2.10 Jenis-jenis Pengujian Kekerasan	25
Gambar 2.11 Kurva Tegangan Regangan (E.J.HEARN, 2000).....	29
Gambar 2.12 Refleksi cahaya dari spesimen yang di etsa (Smallman dan Bishop, 2000).	30
Gambar 2.13 Skema dasar <i>Scanning Electron Microscope</i> (Smallman & Bishop, 2000)	30
Gambar 2.14 Grafik pengaruh penambahan magnesium terhadap nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik (Rudiyanto, 2017).....	31
Gambar 2.15 Struktur mikro paduan ADC 12-Mg (a) 0% Mg , (b) 2% Mg, (c) 4% Mg, (d) 6% Mg, (e) 8% Mg perbesaran 800X (Rudiyanto, 2017).....	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4.1. Grafik Nilai Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i> Aluminium 7075	40
Gambar 4.2. Grafik Kekerasan penyesuaian Cu dan Mg pada paduan AlZnMgCu (Shu, 2016).....	41
Gambar 4.3. Grafik Hasil Pengujian Tarik pada Aluminium 7075-Mg	43
Gambar 4.4. Struktur Mikro Paduan Aluminium 7075-Mg (a) tanpa Mg, (b) 2% Mg, (c) 4% Mg, (d) 6% Mg.	47
Gambar 4.5. Struktur Mikro Al-Zn-Mg (Mishra, 2017)	48

Gambar 4.6. Struktur Mikro Paduan Aluminium 7050 <i>As-Cast</i> (ASM Handbook, 2004)	48
Gambar 4.7 Pengamatan SEM paduan Aluminium 7075-Mg (a) perbesaran 250X (b) perbesaran 3000X.....	49
Gambar 4.8. Pengamatan SEM (Reis <i>et al</i> ,2018)	50



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Fisik Aluminium.....	5
Tabel 2.2 Sifat-Sifat Mekanik Aluminium.....	5
Tabel 2.3 Sistem Penandaan Paduan Aluminium	6
Tabel 2.4 komposisi Paduan 7075	10
Tabel 2.5 Titik cair dan temperatur penuangan dari paduan aluminium	13
Tabel 2.6 Berat Jenis, Titik Cair dan Koefisien Kekentalan.....	23
Tabel 2.7 Diameter Bola Baja untuk Pengukuran Kekerasan <i>Brinell</i>	26
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	39
Tabel 4.2. Hasil Kekuatan Tarik pada Pengujian Tarik	43
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Tarik Penambahan Cu dan Mg pada AlZnMgCu.....	45
Tabel 4.4. Fasa yang Terbentuk pada Paduan Aluminium 7075-Mg	49

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya pasar industri material, setiap perusahaan perlu meningkatkan kualitas produknya. Salah satu bahan yang paling banyak dipakai dalam perusahaan adalah paduan aluminium.

Proses pengecoran adalah proses pembuatan produk dengan cara memasukkan logam cair ke dalam cetakan dan membiarkannya membeku sehingga terbentuk produk yang diinginkan. Salah satu material yang sering dipakai dalam pengecoran di antaranya adalah aluminium (Raharjo, 2008)

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik, daya hantar listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan unsur lainnya secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus dan koefisien pemuaian rendah (Surdia & Saito, 2000).

Sifat aluminium yang penting yaitu memiliki kepadatan yang rendah, konduktivitas termal dan listrik yang baik. Pada umumnya material memiliki keterbatasan untuk mencapai kombinasi yang sempurna, baik dari segi kekuatan, kekakuan, ketangguhan dan kepadatan. Aluminium memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup baik dengan penambahan unsur paduan dapat meningkatkan sifat mekanisnya (Oxtoby, 2003).

Paduan Al ZnMgCu merupakan paduan yang memiliki kekuatan tinggi, ringan dan memiliki sifat mekanik yang baik. Paduan ini banyak digunakan dalam industri penerbangan dan bahan konstruksi otomotif (Fang, et al., 2015).

Untuk mendapatkan komponen Al yang memiliki sifat mekanik cukup baik, diantaranya kekerasan yang cukup tinggi. Dilakukan penambahan unsur paduan untuk meningkatkan lagi sifat mekaniknya, perlu dilakukan perlakuan panas. Proses perlakuan panas yang lazim diantaranya adalah *solution treatment* yang disusul dengan pendinginan cepat (*quench*) dan penuaan (*aging*). Penelitian ini akan

mempelajari pengaruh temperatur dan waktu *solution treatment* terhadap kekerasan paduan AlZnCu dikaitkan dengan struktur mikronya (Raharjo, 2008).

Setelah mempelajari dan mengamati penelitian yang dilakukan, penulis mencoba mengangkat mengenai pengaruh penambahan magnesium pada paduan aluminium 7075 untuk mendapatkan bahan paduan yang mampu memperbaiki sifat mekanik.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini penulis melakukan analisa dengan menambahkan magnesium (Mg) pada aluminium 7075 terhadap kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro dengan cara *casting*.

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui pengaruh penambahan Mg 0%, 2%, 4%, 6% terhadap kekerasan Aluminium 7075 - Mg.
- b. Mengetahui pengaruh penambahan Mg 0%, 2%, 4%, 6% terhadap kekuatan tarik Aluminium 7075 - Mg.
- c. Mengetahui pengaruh penambahan Mg 0%, 2%, 4%, 6% terhadap struktur mikro Aluminium 7075 - Mg menggunakan *Optical Microscope*.
- d. Mengetahui pengaruh penambahan Mg 0%, 2%, 4%, 6% terhadap morfologi Aluminium 7075 - Mg menggunakan SEM.

1.3.2 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

- a. Penambahan magnesium dapat meningkatkan sifat mekanis yaitu kekerasan dan kekuatan tarik dari paduan aluminium 7075 - Mg .
- b. Dapat mengetahui struktur mikro pada paduan Aluminium 7075 - Mg.

- c. Memberikan suatu pengembangan dari sifat paduan aluminium 7075 yang dapat digunakan sebagai rangka pesawat terbang.
- d. Memberikan referensi bagi penelitian selanjutnya untuk meningkatkan sifat mekanis dari paduan aluminium.

1.4 Batasan Penelitian

Mengingat keterbatasan pengetahuan, kemampuan, sarana dan prasarana serta agar ruang lingkup penelitian lebih sistematis dan terarah masalahnya, maka dalam penulisan skripsi ini mempunyai maksud agar masalah inti yang dibahas tidak akan keluar dari batasannya. Untuk itu penulis memberikan batasan hanya pada masalah:

- a. Pengujian sifat mekanis yang dilakukan adalah pengujian kekerasan dan kekuatan tarik.
- b. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan *Optical Microscope* (OM) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM)
- c. Kecepatan pembekuan dianggap sama.
- d. Peleburan dan penuangan paduan logam dilakukan di lingkungan terbuka.

1.5 Hipotesa

Aluminium 7075 merupakan paduan yang mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan-paduan lainnya. Penambahan unsur magnesium pada Aluminium 7075 memiliki nilai kekerasan yang baik dan meningkatkan nilai kekuatan tarik.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol. Aluminium mudah teroksidasi pada udara bebas membentuk lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa (Hartono & Kaneko, 1992)

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam non fero (Surdia & Saito, 2000)

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan unsur lainnya secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dan sebagainya (Surdia & Saito, 2000).

2.2 Klasifikasi Aluminium

Klasifikasi aluminium secara umum adalah sebagai berikut :

2.2.1 Aluminium Murni

Aluminium didapat dalam keadaan cair dengan elektrolisa, umumnya mencapai kemurnian 99,85% berat. Dengan mengelektrolisa kembali dapat dicapai kemurnian 99,99%. Aluminium memiliki sifat-sifat fisik yang dapat dilihat pada

tabel 2.1 dan tabel 2.2 menunjukkan sifat-sifat mekanik dari aluminium. Dimana sifat-sifat fisik dan mekanik berubah menurut kemurniannya.

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Fisik Aluminium

Sifat – sifat	Kemurnian Al (%)	
	99.996	>99,0
Masa jenis (20°)	26.989	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 temperatur (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100°C)	23,86 X 10 ⁻⁶	23,5 X 10 ⁻⁶
Jenis kristal, konstanta kisi	fcc, a= 4,013 kX	fcc, a= 4,013 kX

Sumber: Surdia &Saito, 2000

Tabel 2.2 Sifat-Sifat Mekanik Aluminium

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

Sumber: Surdia &Saito, 2000

2.2.2 Paduan Aluminium

Aluminium memiliki sifat kerapatan rendah, kuat, mudah di fabrikasi yang dapat dikembangkan dan dimodifikasi melalui perpaduan dan pemrosesan. Jenis paduan telah di kembangkan untuk memenuhi kebutuhan industri khusus seperti transportasi, konstruksi, listrik dan industri pengemasan (Smallman & Bishop, 2000).

Tabel 2.3 Sistem Penandaan Paduan Aluminium

Paduan cor	Penandaan
Aluminium (min.) 99.00%	1XXX
Tembaga	2XXX
Mangan	3XXX
Silikon	4XXX
Magnesium	5XXX
Magnesium dan silikon	6XXX
Seng	7XXX
Lain-lain	8XXX

Sumber: Smallman & Bishop, 2000

Pada tabel 2.3 untuk paduan cor digit pertama mengidentifikasi kelompok, dua digit berikutnya mengidentifikasi paduan dan digit terakhir yang didahului titik desimal mengacu bentuk produk (Smallman & Bishop, 2000).

a. Aluminium 99,00 % (1XXX)

Aluminium 99,00% atau kemurnian lebih tinggi memiliki banyak aplikasi, terutama di bidang listrik dan kimia. Nilai aluminium ini ditandai oleh ketahanan korosi yang sangat baik, konduktivitas termal dan listrik yang tinggi, sifat mekanik rendah dan kemampuan kerja yang sangat baik. Peningkatan kekuatan diperoleh dengan pengerasan regangan. Besi dan

silikon adalah kotoran utama. Penggunaan meliputi peralatan kimia, reflektor, penukar panas, konduktor listrik dan kapasitor, foil kemasan dan aplikasi arsitektur (ASM Handbook, 1997).

b. Al-Cu dan Al-Cu-Mg (2XXX)

Tembaga adalah elemen paduan utama dalam paduan seri 2XXX, seringkali dengan magnesium sebagai tambahan sekunder. Paduan ini membutuhkan perlakuan panas larutan untuk mendapatkan sifat optimum. Paduan dalam seri 2XXX tidak memiliki ketahanan korosi yang baik seperti kebanyakan paduan aluminium lainnya dan dalam kondisi tertentu mereka mungkin mengalami korosi intergranular (ASM Handbook, 1997)

Paduan seri 2XXX sebagai bahan coran dipergunakan paduan yang mengandung 4-5 % Cu. Paduan ini mempunyai daerah luas dari pembekuannya, penyusutan yang besar, Resiko pada kegetasan panas dan mudah terjadi retakan pada coran. Paduan Al-Cu-Mg paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg. Paduan yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang buruk. Paduan dalam sistem ini dipakai sebagai bahan roda truk dan pesawat terbang, bagian suspensi truk, pesawat terbang dan kulit sayap dan bagian-bagian struktural (Surdia & Saito, 2000).

c. Al-Mn (3XXX)

Mangan adalah elemen paduan utama dari paduan seri 3XXX. Paduan ini banyak digunakan sebagai paduan tujuan aplikasi kekuatan sedang yang membutuhkan kemampuan kerja yang baik. Aplikasi ini termasuk kaleng minuman, peralatan masak, penukar panas, tangki penyimpanan, furnitur, rambu jalan raya, atap, dinding dan aplikasi arsitektural lainnya (ASM Handbook, 1997).

Mangan merupakan unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Pada diagram fasa Al-Mn yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al, sistim ortorombik $a= 6,498 \text{ \AA}$, $b= 7,552 \text{ \AA}$, $c= 8,870 \text{ \AA}$ dan kedua fasa mempunyai titik eutektik pada $658,5^{\circ}\text{C}$, 1,95 % Mn. Kelarutan padat maksimum pada temperatur eutektik sebesar 1,82% (Surdia & Saito, 2000).

d. Al-Si (4XXX)

Unsur paduan utama dalam paduan seri 4XXX adalah silikon, yang dapat ditambahkan dalam jumlah yang cukup (sampai 12%) sehingga menyebabkan penurunan lebur yang cukup besar tanpa menghasilkan kerapuhan. Untuk alasan ini, paduan aluminium-silicon digunakan dalam kawat pengelasan dan sebagai paduan *brazing*, di mana rentang leleh lebih rendah dari pada logam dasar diperlukan (ASM Handbook, 1997).

Paduan Al-Si mempunyai permukaan yang baik, paduan coran yang baik, mempunyai ketahanan korosi yang baik, sifatnya ringan, koefisien pemuaiannya kecil, sebagai penghantar listrik dan panas yang baik. Al-12%-Si banyak digunakan sebagai paduan cor cetak. Paduan ini mempunyai tipe eutektik pada 577 °C, 11,7% Si (Surdia & Saito, 2000).

e. Al-Mg (5XXX)

Paduan utama pada paduan seri 5XXX adalah magnesium. Paduan dalam seri ini memiliki karakteristik pengelasan yang baik dan ketahanan yang baik terhadap korosi di atmosfer laut (ASM Handbook Vol.2, 2014). Paduan seri 5XXX merupakan paduan yang mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik. Paduan dengan 2-3% Mg dapat mudah ditempa, dirol, diekstruksi. Paduan ini memiliki titik eutektiknya adalah 450°C, 35% Mg dan batas kelarutan padatnya pada temperatur eutektik adalah 17,4% Mg, yang menurun pada temperatur biasa sampai kira-kira 1,9% Mg (Surdia & Saito, 2000).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yildirim penambahan magnesium pada paduan AlMgSi, penambahan kadar magnesium meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan (Musa & Ozyurek, 2013)

f. Al-Mg-Si (6XXX)

Paduan utama dalam dalam seri 6XXX mengandung silikon dan magnesium paduan seri 6XXX memiliki mampu bentuk, kemampuan las, mampu mesin dan tahan korosi yang baik, dengan kekuatan sedang. Paduan seri 6XXX mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, mampu

bentuk untuk penempaan dan mampu bentuk pada temperatur biasa. Mempunyai mampu bentuk yang baik pada ekstrusi, tahan korosi dan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Penggunaannya meliputi aplikasi arsitektur, rangka sepeda, peralatan transportasi, pagar jembatan dan struktur las (Surdia & Saito, 2000).

g. Al-Mg-Zn (7XXX)

Paduan utama dalam paduan seri 7XXX adalah Zinc dalam jumlah 1% sampai 8% dan bila digabungkan dengan persentase magnesium yang lebih kecil menghasilkan paduan yang memiliki kekuatan tinggi. unsur lain, seperti tembaga dan kromium juga ditambahkan dalam jumlah kecil. Paduan seri 7XXX digunakan dalam struktur badan pesawat. Kekuatan paduan 7XXX yang lebih tinggi menunjukkan ketahanan yang berkurang terhadap retak korosi tegangan dan sering digunakan dalam temperatur yang sedikit tinggi untuk memberikan kombinasi kekuatan, ketahanan korosi dan ketangguhan patah yang lebih baik (ASM Handbook, 1997). Aluminium menyebabkan keseimbangan biner semu dengan senyawa antar logam $MgZn_2$ dan kelarutannya menurun apabila temperatur turun (Surdia & Saito, 2000).

2.2.3 Aluminium Paduan 7075

Chen *et al* (2014) melakukan penelitian pengujian tarik untuk mengetahui sifat dari aluminium 7075 yang mempunyai sifat kekuatan yang tinggi, banyak digunakan pada bahan bangunan dan bahan kedirgantaraan seperti sayap dan badan pesawat (Chen, et al., 2014). Fang *et al* (2015) menyatakan AlZnMgCu merupakan suatu paduan yang memiliki kekuatan tinggi, kepadatan rendah, sifat mekanik yang baik (Fang, et al., 2015).

Aluminium 7075 memiliki ketahanan korosi yang kurang baik, dimana rentan terhadap korosi lokal, *pitting*, *intergranular corrosion*, *uniform corrosion*. Partikel anodik (biasanya mengandung Al, Zn dan Mg) dan partikel katodik (biasanya mengandung Al, Fe, Cu dan Mn) dapat menyebabkan korosi galvanik mikro yang parah. Beberapa jenis perlakuan panas seperti *quenched* dan *aging* digunakan untuk memperbaiki ketahanan korosi paduan 7075 (Tian, et al., 2017).

Paduan aluminium 7075 merupakan paduan yang terdiri dari unsur Al, Zn, Mg, Cu dan unsur unsur lain seperti yang terlihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 komposisi Paduan 7075

Component	Wt, %
Al	87,1-91,4
Cr	0,18 – 1,28
Cu	1,2 – 2
Fe	Max 0,5
Mg	2,1 – 2,9
Mn	Max 0,3
Si	Max 0,4
Ti	Max 0,2
Zn	5,1 – 6,1
Other, each	Max 0,05
Other, Total	Max 0,15

Sumber: ASM Handbook, 2014

2.3 Unsur Paduan

2.3.1 Magnesium

Magnesium telah dibuat secara industri dalam tahun 1930-an dengan jalan elektrolisa campuran kloridanya yang terfusikan. Setelah itu kira-kira 1956, telah dikembangkan secara industri, suatu cara yang dinamakan cara pidgeon dimana campuran dolomit yang dikalsinasikan dan ferrosilikon dalam bentuk bubuk direduksi dalam vakum pada temperatur tinggi. Pada proses pidgeon dari reduksi destilasi didapatkan logam magnesium dengan kemurnian tinggi (Surdia & Saito, 2000).

Magnesium merupakan bahan yang paling ringan diantara logam logam industri mempunyai masa jenis kira-kira 1,8. Sifat-sifat magnesium tidak kurang dibandingkan dengan paduan aluminium, terutama mampu mesinnya yang baik walaupun tidak tahan terhadap korosi. Ketahanan korosi mendekati ketahanan korosi paduan aluminium dan lebih baik dari ketahanan korosi baja lunak. Ketahanan korosi Mg tergantung pada ketidakmurniannya maka dibuat ingot murni

dengan jalan destilasi sehingga didapat Magnesium yang tahan korosi (Surdia & Saito, 2000).

Paduan magnesium mempunyai kelebihan sebagai berikut :

- a. Magnesium merupakan logam yang ringan dengan massa jenis $1,74 \text{ g/cm}^3$.
- b. Dapat dilakukan proses pemesinan pada kecepatan tinggi.
- c. Sifat konduktor listrik dan panas yang lebih baik.
- d. Mampu mesin dan mampu cor yang baik.

Penambahan unsur magnesium akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada aluminium tanpa terlalu menurunkan keuletannya. Tingkat kekerasan paduan aluminium juga ditentukan oleh persentase unsur paduan yang ditambahkan (Cholis, 2013). Magnesium adalah bahan logam ringan, karena kepadatan rendah, kekuatan spesifik tinggi dan sifat termal magnesium yang baik, sebagai bahan *heat sink*. Namun, sifat mekanik magnesium murni sangat buruk. Di sisi lain, distorsi kisi kristal, batas butir, dislokasi dan cacat lainnya berbahaya bagi konduktivitas termal. Oleh karena itu, perbaikan sifat konduktivitas termal dan sifat mekanik sering kali kontradiktif (Hou, *et al.*, 2016).

Magnesium dan paduan magnesium digunakan dalam berbagai aplikasi struktural dan nonstruktural. Aplikasi struktural meliputi peralatan otomotif, industri, *material handling*, komersial dan kedirgantaraan. Aplikasi otomotif termasuk braket penopang kopling dan rem pedal, lokomotif kunci kemudi dan rumah transmisi manual. Di mesin industri, seperti mesin tekstil dan percetakan, magnesium alloy digunakan untuk suku cadang yang beroperasi pada kecepatan tinggi karena harus ringan untuk meminimalkan kekuatan inersia (ASM Handbook, 1997).

Partikel penguat yang dominan pada paduan AlZnMgCu adalah fasa non ekuilibrium, meningkatnya paduan Mg menyebabkan jumlah partikel fasa dalam matriks meningkat. Kandungan Mg dalam paduan AlZnMgCu mempengaruhi sensitivitas *quench*, semakin meningkatnya kandungan Mg sensitivitas *quench* meningkat (Deng, *et al.*, 2011). Shu (2016) menyatakan semakin tinggi kandungan Mg semakin tinggi kekerasan dan kekuatannya, namun semakin rendah konduktivitas dan ketangguhannya. Peningkatan kandungan Mg dapat

memperbaiki fraksi volume presipitat matriks, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan (Shu, et al., 2016).

2.4 Pengecoran

Proses pengecoran merupakan proses pembentukan logam dengan cara mencairkan logam hingga mencapai titik lelehnya dan menuangkan material logam kedalam cetakan berongga supaya menjadi bentuk-bentuk tertentu yang diinginkan dan dilanjutkan dengan proses pembekuan logam tersebut (Suharno, 2011). Proses pengecoran melalui beberapa tahap yaitu, pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang pasir cetakan. Hasil pengecoran disebut dengan coran atau benda cor (Daryus, 2008).

Benda-benda yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh proses pembentukan benda kerja yang lain, seperti sifat-sifat dari material yang dapat didesain sesuai keinginan melalui rekayasa formula campuran logam dan desain bentuk benda kerja yang tidak ada batasnya. Keunggulan ini membuat pengecoran menjadi proses yang sangat penting dalam industri (Sudjana, 2008).

Banyak logam dan non-logam menggunakan proses pengecoran seperti aluminium dipakai dalam proses pengecoran. Aluminium yang dipakai dalam pengecoran merupakan aluminium paduan karena sifat mekanis dan mampu cor yang meningkat tanpa mengurangi sifat ringannya. Unsur paduan yang sering dipakai dalam paduan aluminium adalah tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel dan lain-lain (Surdia & Saito, 2000).

Tabel 2.5 Titik cair dan temperatur penuangan dari paduan aluminium

Paduan dan komposisi	Temperatur mulai cair (°C)	Temperatur berakhir cair (°C)	Temperatur penuangan (°C)
Al-4,5Cu	521	644	700-780
Al-4Cu- 3Si	521	627	700-780
Al-4,5Cu- 5Si	521	613	700-780
Al-12Si	574	582	670-750
Al-9,5Si- 0,5Mg	557	596	670-740
Al-3,5Cu-8,5Si	538	593	670-740
Al-7Si-0,3Mg	557	613	670-740
Al-4Cu-1,5Mg-2Ni	532	635	700-760
Al-3,8Mg	599	641	700-760
Al-10Mg	499	604	700-760

Sumber: Surdia & Saito,2000

Pada proses pengecoran ada tahap solidifikasi yaitu tahap dimana terjadi pembekuan logam dari bentuk cair kembali ke bentuk padat dimana pada kondisi ini terjadi pertumbuhan dendritik dari logam induk dan kemudian lapisan-lapisan dari larutan padat mulai terbentuk. Jumlah actual dari dendrit yang terbentuk tergantung dari persentase unsur paduan dan laju pendinginan. Logam paduan membeku pada daerah temperatur tertentu. Temperatur tiap logam dan paduannya berbeda-beda. Temperatur penuangan beserta titik leleh dari beberapa paduan aluminium dengan unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 2.5.

2.4.1 Pola

Pola perlu dibuat dalam pembuatan coran. Pola dipergunakan untuk pembuatan cetakan benda coran. Bahan dari pola logam bermacam-macam sesuai dengan penggunaannya. Bahan dapat berupa kayu, logam, lilin atau dempul.

Pemilihan bahan pola disesuaikan dengan beberapa faktor yaitu jenis metode yang dilakukan, hasil yang diinginkan, jumlah pengecoran yang dilakukan. (Surdia & Chijiwa, 1996). Macam-macam material yang dipakai untuk membuat pola yaitu:

a. Kayu

Kayu sering digunakan sebagai bahan pola karena harganya yang murah, mudah didapat, ringan dan dapat didesain sesuai keinginan dengan mudah. Kayu juga memiliki kekurangan yaitu sangat terpengaruh oleh kelembapan, mudah aus, mudah terdeformasi dan kekuatannya yang rendah. Biasanya kayu digunakan untuk produksi coran dalam jumlah sedikit (Banga, 2012). Kayu yang kadar airnya lebih dari 14% tidak dapat dipakai karena terjadi pelentingan yang disebabkan perubahan kadar air dalam kayu. Suhu udara luar harus diperhitungkan dan ini tergantung pada daerah dimana pola itu dipakai (Surdia & Chijiwa, 1996).

b. Resin sintetis

Dari berbagai jenis resin sintetis, resin epoksi yang banyak dipakai. Epoksi mempunyai sifat menyusut pada waktu mengeras, tahan aus yang tinggi, memberikan pengaruh yang lebih baik dengan menambah pengencer, kekurangan dari jenis pola ini yaitu hanya dipakai untuk coran yang kecil-kecil dari satu masa produksi (surdia dan chijiwa, 1996)

c. Bahan untuk pola logam

Bahan yang lazim dipakai untuk pola logam adalah besi cor. Biasanya dipakai besi cor kelabu karena memiliki sifat tahan aus, tahan panas (untuk membuat cetakan kulit) dan tidak mahal. Paduan tembaga juga biasa dipakai untuk pola cetakan kulit agar dapat memanaskan bagian cetakan yang tebal secara merata. Aluminium juga biasa digunakan karena memiliki sifat ringan dan mudah diolah, sehingga sering dipakai untuk pelat pola atau pola untuk mesin pembuat cetakan (Surdia & Chijiwa, 1996).

2.4.2 Cetakan

Dalam dunia industri yang telah dikembangkan, cetakan yang digunakan dalam pembuatan spesimen menggunakan cetakan permanen (cetakan logam) dan cetakan sekali pakai (cetakan pasir). Pada umumnya cetakan logam memiliki ketelitian ukuran yang sangat baik, struktur coran yang dihasilkan lebih rapat oleh karena itu sifat mekanik dan sifat tahan tekanan sangat baik dibandingkan dengan cetakan pasir. Pemilihan cetakan harus disesuaikan dengan jumlah produksi dan aplikasi bahan coran (Surdia & Chijiwa, 1996).

Penerapan pengecoran aluminium dengan cetakan tetap merupakan salah satu terobosan dalam rekayasa proses untuk memperoleh kualitas produk dan efisiensi proses yang baik. Salah satu komponen mekanis yang dikerjakan dengan proses cetakan tetap adalah piston sebagai komponen utama mesin motor bakar. Selain memiliki geometri yang relatif kompleks, piston harus memiliki karakteristik material yang terbaik karena beban operasi yang tinggi. Mengacu pada kondisi tersebut, proses pengecoran piston harus dapat memperkecil cacat yang mungkin terjadi dengan mengoptimalkan desain cetakannya (Widyanto, et al., 2011).

2.5 Metode Pengecoran

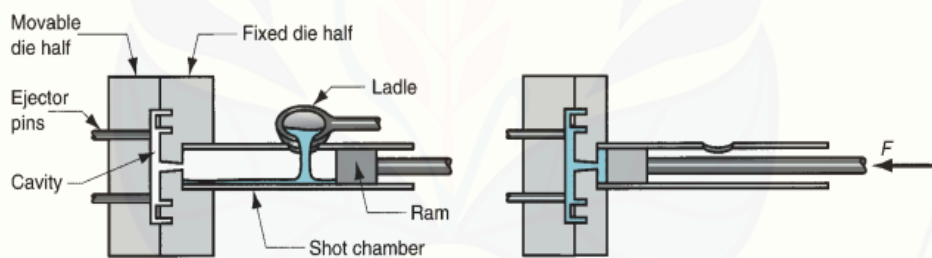
Dalam proses pembentukan logam melalui proses pengecoran logam menggunakan berbagai metode sebagaimana yang kita gunakan saat ini. Masing-masing metode pengecoran memiliki ciri-ciri khas pada cetakan atau pembekuan. Metode-metode yang digunakan dalam proses pengecoran antara lain meliputi:

2.5.1 *High-pressure die casting* (HPDC)

High-pressure die casting (HPDC) adalah proses pembuatan coran dimana logam cair diinjeksikan ke dalam cetakan logam pada kecepatan tinggi dan dibiarkan mengeras di bawah tekanan tinggi. Proses pengecoran ini pada dasarnya mengkombinasikan antara proses pengecoran dan proses penempaan (akibat adanya tekanan). Laju solidifikasi cepat terjadi di ruang tertutup dengan tekanan yang digunakan berkisar antara 20 Mpa – 80 Mpa. Pada penelitian pada paduan Al-Si dengan menggunakan metode HPDC bahwa partikel Si utama berintiasi saat

lelehan diinjeksikan ke cetakan sebelum proses injeksi sementara dendrit aluminium dan partikel Si eutektik berintiasi di ruang tertutup. Baru-baru ini telah diamati bahwa menurunkan tekanan atmosfer pada *shot sleeve* dan ruang tertutup di HPDC dapat meminimalkan porositas tuang untuk pengolahan perlakuan panas berikutnya (Yu, et al., 2017).

Meningkatnya penggunaan komponen aluminium cor di bawah tekanan tinggi dan lingkungan dengan suhu tinggi telah menarik minat yang cukup besar pada sifat tarik, mekanisme deformasi dan perilaku fraktur, yang terutama ditentukan oleh populasi cacat pengecoran dan kondisi perlakuan panas. Pada metode HPDC masih terdapat gas yang terperangkap didalam produk coran karena kecepatan pengisian yang tinggi dan laju pendinginan yang cepat. Gas-gas di dalam rongga ini secara tidak langsung terlibat dalam cairan logam, yang mengakibatkan cacat pengecoran seperti porositas yang terbentuk pada komponen (Groover, 2010). Metode pengecoran HPDC dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *High Pressure Die Casting* (Groover, 2010)

2.5.2 *Gravity casting* (Pengecoran Gravitasi)

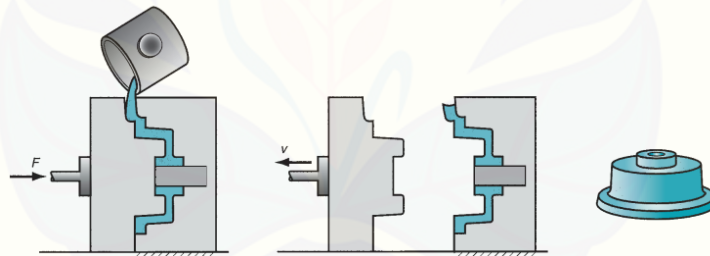
Gravity Casting merupakan metode pengecoran dimana pengecoran dalam cetakan logam dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan logam seperti pada pengecoran pasir. Metode ini tidak menggunakan tekanan kecuali tekanan yang berasal dari tinggi cairan logam dalam cetakan (Surdia & Chijiwa, 1996). Proses pengecoran dengan metode *gravity casting* dapat dilihat pada gambar 2.2. Proses *gravity casting* memiliki keuntungan dan kerugian sebagai berikut:

a. Keuntungan :

- 1) Ketelitian ukuran sangat baik jika dibandingkan dengan pengecoran pasir sehingga tambahan ukuran untuk penyelesaian dapat dikurangi. Oleh karena itu mungkin membuat coran yang lebih ringan. Permukaan coran yang dihasilkan sangat halus.
- 2) Struktur yang rapat dapat dihasilkan dengan cara ini, oleh karena itu sifat-sifat mekanik dan sifat tahan tekanan sangat baik bila dibandingkan dengan coran yang dibuat pada cetakan pasir.
- 3) Mekanisme dari proses mudah dan produktivitas tinggi.

b. Kerugian:

- 1) Metode ini tidak sesuai untuk jumlah produksi yang kecil karena biaya relatif tinggi.
- 2) Sukar untuk membuat coran yang berbentuk rumit.
- 3) Pembetulan cetakan logam sukar dan mahal.

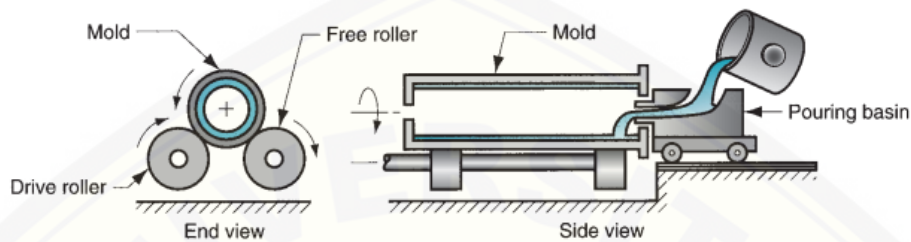


Gambar 2.2 *Gravity Casting* dengan cetakan permanen (Groover, 2010)

2.5.3 *Centrifugal Casting* (Pengecoran sentrifugal)

Pengecoran sentrifugal dilakukan dengan cara menuangkan logam cair kedalam cetakan yang berputar sehingga dihasilkan coran yang mampat tanpa cacat karena pengaruh gaya sentrifugal. Cetakan yang digunakan dalam metode ini adalah cetakan logam yang berumur lama, cetakan grafit atau cetakan pasir. Penggunaan yang luas dari pengecoran sentrifugal berdasarkan produktivitas yang tinggi, penggunaan ruangan yang kecil, kemungkinan pengecoran produksi masa dengan ketelitian dan kualitas yang baik dan murah. Pada pengecoran sentrifugal perlu

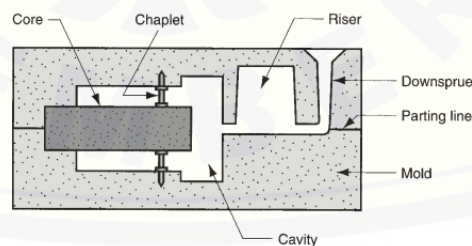
mengadakan penelitian dalam bentuk coran yang dapat dibuat, bagaimana menurunkan biaya untuk membuat cetakan logam dan cara-cara penuangan dalam usaha mencegah segregasi paduan atau inklusi bukan logam dan cacat-cacat lain (Surdia & Chijiwa, 1996). Proses pengecoran dengan menggunakan metode Pengecoran sentrifugal dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Centrifugal Casting* (Groover, 2010)

2.5.4 Cetakan pasir

Cetakan pasir cetakan yang paling lazim di pakai, dibuat dengan cara memadatkan pasir cetak. Pasir yang di gunakan adalah pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung dimana lempung digunakan sebagai pengikat. Pasir biasanya dicampur pengikat khusus seperti bentonite, semen, resin ferol, tetes tebu dan sedikit ditambahkan air dalam proses pencampuran pasir cetak. Bahan tersebut berfungsi untuk mempermudah dan memperkuat operasi pembuatan cetakan (Surdia & Chijiwa, 1996). Cetakan pasir dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Cetakan Pasir (Groover, 2010)

Cetakan pasir akan memberikan sifat yang lebih ulet pada logam cor aluminium, namun cacat porositas sedikit lebih banyak daripada cetakan logam. Cetakan dari bahan tanah liat dan semen memberikan sifat yang buruk pada logam

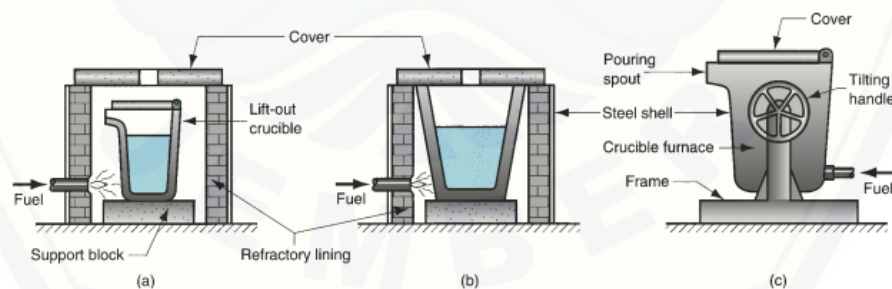
cor aluminium karena kekerasan yang rendah dan porositas yang amat banyak terbentuk dipermukaan maupun didalam logam cor. Maka disarankan cetakan pasir di gunakan untuk komponen mesin yang mendapat beban statis atau diam (Kusuma, 2012)

2.6 Tungku Peleburan

Proses produksi benda-benda tuangan dilakukan dengan terlebih dahulu meleburkan Besi mentah (*pig Iron*) didalam dapur peleburan, dimana bahan tuangan ditambah dengan besi tua atau baja tua sebelum dicor. Untuk proses pencairan ini dilakukan dengan berbagai metoda pemakaian dapur, antara lain :

2.6.1 Dapur Krusibel (*Crucible Furnace*)

Dapur ini meleburkan logam tanpa berhubungan langsung dengan campuran bahan bakar. Dapur ini juga disebut sebagai dapur bakar tidak langsung. Dapur krusibel menggunakan krusibel yang terbuat dari bahan tahan terhadap temperatur tinggi atau paduan baja suhu tinggi untuk menahan muatan. Dapur krusibel digunakan untuk peleburan logam *nonferous* seperti perunggu, kuningan, paduan seng dan paduan aluminium (Groover, 2010).



Gambar 2.5 Jenis-jenis dapur krusibel (Groover, 2010)

Dapur krusibel memiliki tiga jenis tungku serbuk yang di gunakan dalam peleburan logam seperti pada gambar 2.5 yaitu:

a. Krusibel angkat (*lift-out crucible*)

Krusibel ditempatkan didalam dapur dan dipanaskan untuk meleburkan logam. Bahan bakar yang digunakan adalah minyak, gas dan serbuk batu-bara. Ketika logam dileburkan, krusibel diangkat keluar dari dapur dan krusibel digunakan sebagai ladle penuangan logam cair.

b. Krusibel tetap (*Stationary Crucible*)

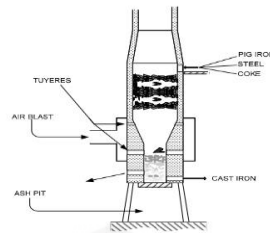
Jenis krusibel atau biasa disebut dapur pot, memiliki dapur pemanas dan krusibel sebagai satu kesatuan unit. Krusible tidak dapat dipindahkan sehingga penuangan logam cair menggunakan alat bantu ladle yang kemudian di tuangkan ke cetakan.

c. Dapur tukik (*Tilting-pot furnace*)

Dapur peleburan yang krusibelnya tidak dapat dipindah-pindah sama seperti krusibel tetap. Cara penuangan logam cair yaitu dengan mendekatkan cetakan tepat dibawah sejajar dengan corong dapur tukik kemudian menuangkan logam cair yang ada pada dapur dengan jalan menjungkitkan dapur.

2.6.2 Dapur Cupola (*Cupola Furnace*)

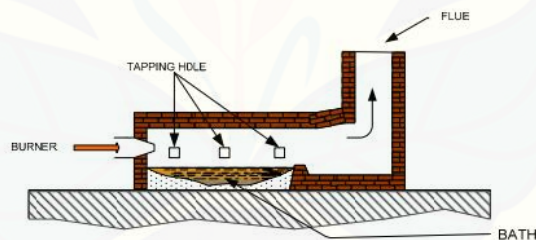
Dapur cupola merupakan dapur peleburan yang memiliki prinsip kerja serta konstruksinya sama dengan dapur tinggi, namun dalam skala yang lebih kecil. Perbedaannya dapur cupola pemakaiannya tidak bersifat terus-menerus sebagaimana dapur tinggi namun dapat digunakan sewaktu-waktu jika diperlukan pengecoran. Untuk mengoperasikan dapur cupola ini kokas sebagai bahan bakarnya didesak kedalam dapur, demikian pula lapisan pengganti yaitu pecahan besi mentah serta kokas juga baja rongsokan dan besi tua dimasukkan kedalamnya serta sejumlah batu kapur (*limestone*) sebagai fluksi dari asap kokas. Selain kokas sebagai bahan bakar pada dapur cupola ini juga digunakan oli atau gas (Sudjana, 2008). Dapur cupola type pembakaran kukas dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Dapur Cupola type pembakar kokas (Sudjana, 2008)

2.6.3 Dapur udara atau dapur api (*Air or reverberatory Furnace*)

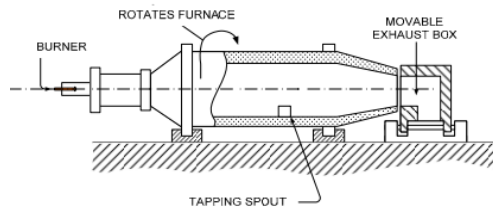
Di dalam dapur bahan bakar dibakar pada panggangan dibagian ujung dapur sehingga pembakaran tidak berhubungan dengan pengisian dan panas yang dihasilkan dari pembakaran dialirkan melalui atap dapur dibagian atas pengisian. Dapur peleburan dengan proses yang lambat dan kurang ekonomis dibanding dengan dapur cupola. Dapur api merupakan dapur tertutup yang memungkinkan semua komposisi tidak keluar dari dalam dapur (Sudjana, 2008). Dapur udara dan dapur api dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Dapur udara dan dapur api (*Reverberatory Furnace*) (Sudjana, 2008)

2.6.4 Dapur putar (*Rotary Furnace*)

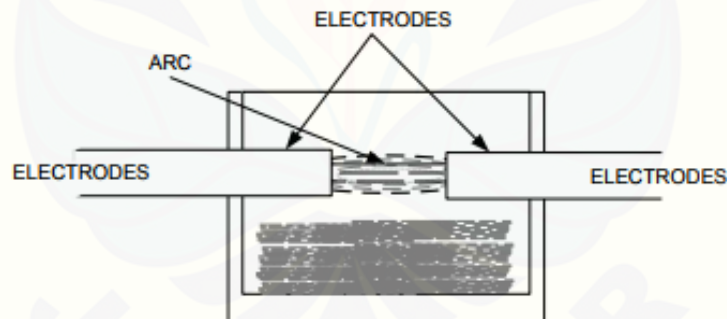
Dapur putar (*rotary furnance*) digunakan sebagai dapur peleburan dalam memproduksi besi tuang dengan kualitas khusus, pemanasannya diperoleh dari semburan bahan bakar cair, oli atau gas ke dalam tabung peleburan yang selalu berputar atau bergerak dengan penggerak rantai atau penggerak gesek, gerakan memutar ini memungkinkan proses peleburan menjadi lebih merata (Sudjana, 2008). Dapur putar dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Dapur Putar (*Rotary Furnace*). (Sudjana, 2008)

2.6.5 Dapur listrik (*electric Furnace*)

Pada dasarnya dapur peleburan ini merupakan tungku penghasil panas dengan temperatur kerja di atas titik cair dari bahan yang akan diproses, demikian halnya dengan dapur listrik ini. Yang berbeda dari dapur listrik dengan dapur-dapur lainnya adalah system pembentukan panasnya dimana panas pada dapur listrik diperoleh dari energi listrik yang dialirkan melalui *electrode* atau busur sebagai penghantar (Sudjana, 2008). Dapur listrik dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Electric furnace indirect system* (Sudjana, 2008)

2.7 Alur Pengecoran

Proses pengecoran logam memiliki langkah-langkah sebagai berikut :

2.7.1 Peleburan logam

Peleburan logam di dalam dapur peleburan bertujuan untuk mencairkan logam melalui proses pemanasan. Dalam proses peleburan logam memerlukan kalor yang tinggi untuk mencairkan logam tersebut hingga logam mencapai titik

cairnya. Titik cair dari masing-masing logam berbeda-beda tergantung logam yang digunakan. Untuk melakukan peleburan logam perlu mempertimbangkan bahan, berat jenis, titik cair dan koefisien dari bahan yang digunakan untuk mencairkan logam dapat dilihat pada tabel 2.6 (Sudjana, 2008).

Tabel 2.6 Berat Jenis, Titik Cair dan Koefisien Kekentalan

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	0,0056
Besi tuang	6,9 (1300) °C	1170,0	0,0023

Sumber: Sudjana, 2008

2.7.2 Degassing

Porositas telah lama dikenal sebagai cacat pengecoran utama yang dapat menurunkan sifat mekanik, tekanan ketat dan ketahanan korosi pada penuangan Aluminium. Hidrogen adalah satu-satunya gas yang dapat larut dalam aluminium dan paduannya. Menghilangkan hidrogen dalam Aluminium dan paduan untuk menghasilkan coran berkualitas tinggi (Zhao , et al., 2011).

Pencegahan terjadinya hidrogen yang berlebihan pada aluminium dapat dilakukan dengan menghindari sumber masuknya hidrogen, proses yang dilakukan untuk mengeluarkan gas hidrogen dari cairan aluminium dengan cara menginjeksikan gas-gas inert seperti argon kedalam cairan aluminium (Suprpto,

2011). Penambahan unsur paduan juga berpengaruh terhadap kelarutan gas hidrogen dalam aluminium. Unsur paduan silikon dan tembaga dapat menurunkan kelarutan gas hidrogen karena menghambat terjadinya reaksi penguraian uap air. Sedangkan unsur magnesium bertindak sebagai katalisator reaksi penguraian uap air.

2.7.3 Penuangan

Proses penuangan merupakan pengisian rongga cetakan dengan bahan tuangan yang telah dileburkan, berbagai cara penuangan dapat dilakukan sesuai dengan sistem pengecoran yang dilakukan. (sudjana, 2008). Dalam proses penuangan diperlukan pengaturan temperatur penuangan, kecepatan penuangan dan cara-cara penuangan. Kecepatan penuangan rendah menyebabkan pencairan yang buruk, kandungan gas, oksidasi karena udara dan ketelitian permukaan yang buruk. Oleh karena itu kecepatan penuangan yang cocok harus ditentukan mengingat macam cairan, ukuran coran dan cetakan (Surdia & Chijiwa, 1996).

2.7.4 Pembongkaran

Setelah logam mengalami proses pembekuan dalam waktu yang cukup di dalam cetakan kemudian dilakukan pembongkaran dan pembersihan cetakan. Pembongkaran dilakukan untuk mendapatkan atau memisahkan benda coran dari cetakannya (Sudiby, et al., 2013)

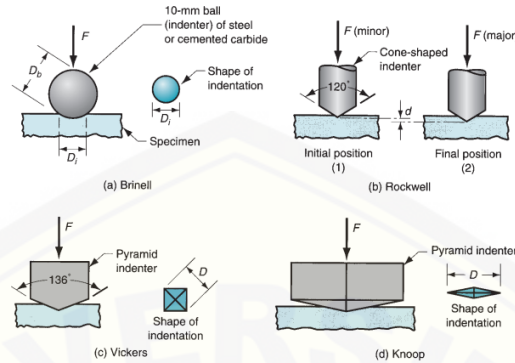
2.8 Pengujian Mekanik

Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari suatu material, maka harus dilakukan suatu pengujian terhadap material tersebut. Pengujian tersebut meliputi:

2.8.1 Pengujian Kekerasan

Smallman dan Bishop (2000) menyatakan bahwa kekerasan logam didefinisikan sebagai ketahanan terhadap penetrasi dan memberikan indikasi cepat mengenai perilaku deformasi. Surdia dan Saito (2000) menyatakan bahwa kekerasan adalah kriteria untuk menyatakan intensitas tahanan suatu bahan

terhadap deformasi yang disebabkan objek lain. Ada tiga macam cara pengujian kekerasan yaitu: pengujian penekanan, pengujian goresan dan pengujian *resilience*.



Gambar 2.10 Jenis-jenis Pengujian Kekerasan (Groover, 2010)

Ada beberapa macam alat penguji kekerasan yang digunakan sesuai dengan bahan, kekerasan, ukuran dan lain-lainnya. Cara-cara pengujiannya adalah sebagai berikut. Pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 2.10.

a. Kekerasan *Brinell*

Groover (2010) Uji kekerasan *brinell* banyak digunakan untuk pengujian logam dan non logam dengan kekerasan rendah sampai sedang. Dinamai menurut insinyur Swedia yang mengembangkannya sekitar tahun 1900. Dalam pengujiannya, bola baja keras (atau *cemented carbide*) dengan diameter 10 mm ditekan ke permukaan spesimen dengan menggunakan beban 500 kg, 1500 kg, atau 3000 kg. Beban tersebut kemudian dibagi ke dalam area lekukan untuk mendapatkan *Brinell Hardness Number* (BHN). Dalam bentuk persamaan :

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad 2.1$$

Dimana :

BHN = *Brinell Hardness Number*

P = Beban yang diberikan (kg)

D = Diameter bola (mm)

d = Diameter lekukan yang terjadi (mm)

Tabel 2.7 Diameter Bola Baja untuk Pengukuran Kekerasan *Brinell*

Diameter bola baja	Beban (kgf)				
	$30 D^2$	$10 D^2$	$5 D^2$	$12,5 D^2$	D^2
D (mm)					
10	3000	1000	500	(125)	(100)
5	750	(250)	(125)	-	-
Daerah kekerasan yang cocok untuk pengukuran	160-450	53-200	26-100	7-25	5-26
Bahan yang diukur	Logam keras baja, besi cor	Paduan tembaga, paduan aluminium keras	Tembaga, Paduan aluminium	Logam lunak dan lainnya	Timah

Sumber: Surdia & Chijiwa, 1996

Prinsip kerja dari pengujian *brinell* bahwa benda kerja ditekan menggunakan bola indenter yang berdiameter (D) dan kemudian dilakukan pembebanan setelah selesai pembebanan kemudian bekas dari tekanan indenter diukur diameter lubangnya (d). Penggunaan bola baja (D) disesuaikan dengan tingkat pembebanan seperti tabel 2.7

b. Kekerasan *Rockwell*

Uji kekerasan *rockwell* Ini adalah pengujian yang umum digunakan. Dalam uji kekerasan *rockwell*, indenter berbentuk kerucut atau bola berdiameter kecil, dengan diameter $\frac{1}{4}$ 1,6 atau 3,2 mm ($\frac{1}{16}$ atau $\frac{1}{8}$ inci) ditekan ke dalam spesimen dengan menggunakan beban kecil 10 kg, sehingga menempatkan indenter dalam materi. Perbedaan dalam geometri beban dan indenter memberikan berbagai skala *rockwell* untuk bahan yang berbeda (Groover, 2010). Pengujian kekerasan *rockwell* didasarkan pada kedalaman

masuknya penekanan benda uji. Semakin keras bahan yang diuji maka semakin dangkal masuknya penekanan.

c. Kekerasan *Vickers*

Kekerasan ini diukur dengan mempergunakan alat pengujian *vickers*. Pengujian ini dikembangkan pada awal 1920-an, menggunakan indentor piramida yang terbuat dari berlian dengan sudut bidang duanya 136% sebagai penekan. Kekerasan *vickers* ditentukan serupa seperti penentuan perhitungan *brinell* yaitu beban dibagi luas permukaan bekas penekanan. Kekerasan *vickers* (HV) kemudian ditentukan dari persamaan:

$$HV = \frac{1.854 F}{D^2} \quad 2.2$$

Dimana : HV = *Hardness Vickers*
 F = Beban yang diberikan (Kg)
 D = Diameter indentor

d. Kekerasan Knoop

Pengujian knoop merupakan pengujian kekerasan dengan menggunakan indentor berlian berbentuk piramida. Beban yang diterapkan pada umumnya lebih ringan dari pada dalam tes *Vickers*. Ini adalah tes *microhardness*, yang berarti cocok untuk mengukur spesimen kecil atau tipis atau bahan keras yang mungkin patah jika beban yang lebih berat diterapkan. Bentuk indentor memudahkan membaca kesan di bawah beban ringan yang digunakan dalam tes ini. Nilai kekerasan *knoop* (HK) ditentukan sesuai dengan rumus

$$HK = \frac{1.854 F}{D^2} \quad 2.3$$

Dimana : HK = *Hardness Knoop*
 F = Pembebanan (Kg)
 D = diameter indentor

2.8.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujian ini gaya penarikan di berikan hingga mencapai kemampuan maksimum (*ultimate Tensile Strength*)

Pada tegangan rendah deformasi bersifat elastis, mampu balik dan mengikuti hukum *Hooke*, yaitu tegangan berbanding lurus dengan regangan. Sehingga digambarkan dalam kurva tegangan regangan. Perubahan panjang dalam kurva disebut regangan teknik (ϵ), yang di definisikan sebagai perubahan panjang yang terjadi akibat perubahan statik (ΔL) terhadap panjang batang mula-mula (L_0). Tegangan yang dihasilkan pada proses ini disebut dengan tegangan teknik (σ), dimana didefinisikan sebagai nilai pembebanan yang terjadi (F) pada suatu luas penampang awal (A_0). Tegangan normal tersebut akibat gaya tarik dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad 2.4$$

Dimana :

- σ = Tegangan tarik (Mpa)
- F = Gaya tarik (N)
- A_0 = Luas penampang spesimen mula-mula (mm²)

Regangan akibat beban statik dapat di tentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad 2.5$$

Dimana :

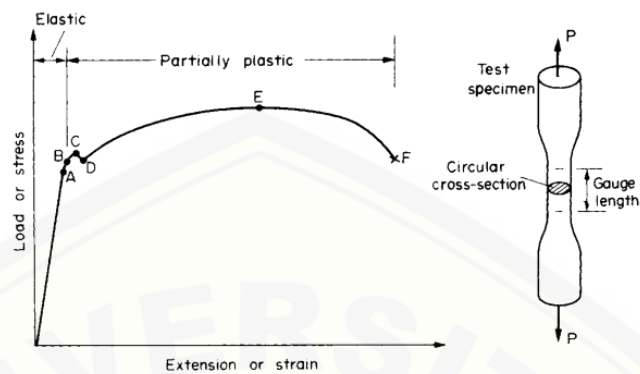
- ϵ = Regangan akibat gaya tarik
- ΔL = Perubahan panjang spesimen (mm)
- L = Panjang spesimen mula-mula (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dirumuskan dengan persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad 2.6$$

Dimana : E = Modulus elastisitas

Kurva yang menyatakan hubungan tegangan regangan dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Kurva Tegangan Regangan (E.J.HEARN, 2000)

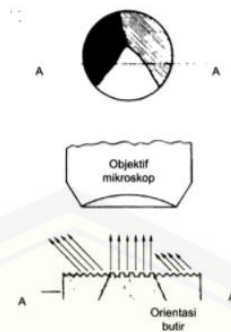
2.9 Pengamatan Struktur Mikro

Untuk mengetahui struktur mikro dari suatu material, maka harus dilakukan suatu pengamatan terhadap material tersebut. Pengamatan tersebut meliputi:

2.9.1 *Optical Microscope*

Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik adalah pengujian spesimen dengan menggunakan mikroskop atau pembesaran, bertujuan untuk memperoleh gambaran dari struktur mikro logam dan paduannya. Komponen utama dari mikroskop ini adalah sistem penyinaran yang terdiri dari sumber cahaya dan apertur yang dapat diatur, lensa objektif dan lensa okuler yang dipasang pada ujung tabung silindris dan kedudukan spesimen (tetap atau dapat diputar) (Smallman & Bishop, 2000)..

Untuk mengamati struktur mikro spesimen di etsa menggunakan reagen kimia yang sesuai, etsa bertujuan untuk menampilkan susunan dan ukuran butir, morfologi fasa, gradien komposisi. Pada penerangan medan terang, cahaya dari permukaan pantul dipantulkan kembali ke objektif, sehingga tampak terang. Penerangan medan-gelap membalikan efek ini dan terlihat batas butir. Gambar 2.12 memperlihatkan refleksi cahaya dari spesimen yang di etsa (Smallman & Bishop, 2000).

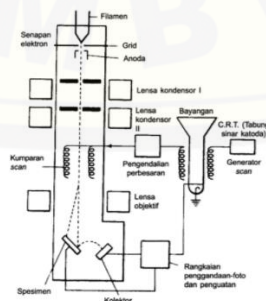


Gambar 2.12 Refleksi cahaya dari spesimen yang dietsa (Smallman dan Bishop, 2000).

2.9.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM merupakan jenis mikroskop elektron dengan cara memindai permukaan dengan sinar elektron yang terfokus apabila suatu spesimen dikenai berkas elektron maka akan terjadi sebagian berkas-jatuh dihamburkan kembali dan sebagian lagi menembus spesimen.

Pada gambar 2.13 dapat dilihat berkas elektron difokuskan menjadi bercak diameter \approx nm yang melakukan *scan* terhadap permukaan dalam *raster*. Elektron dari spesimen difokuskan oleh elektroda elektrostatis pada skintilator bias. Cahaya yang dihasilkan ditransmisikan lewat tabung cahaya *Perspex* ke pengganda foto dan sinyal yang terjadi digunakan untuk memodulasi kecerahan berkas osiloskop yang meruntun suatu raster yang sinkron dengan berkas elektron pada permukaan spesimen (Smallman & Bishop, 2000).



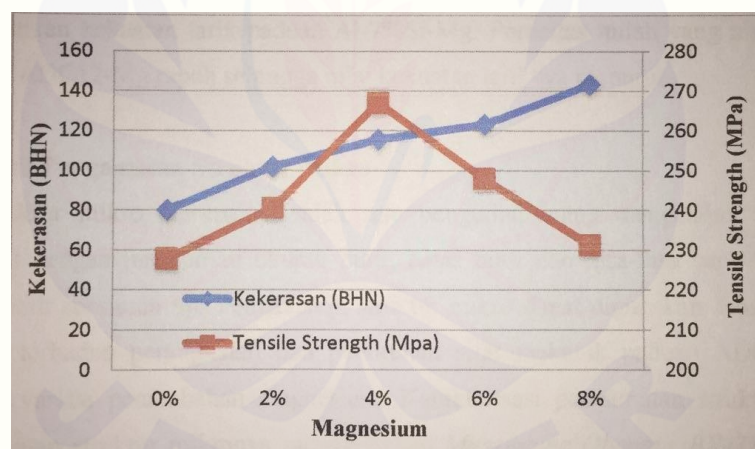
Gambar 2.13 Skema dasar Scanning Electron Microscope (Smallman & Bishop, 2000)

2.10 Penelitian Sebelumnya

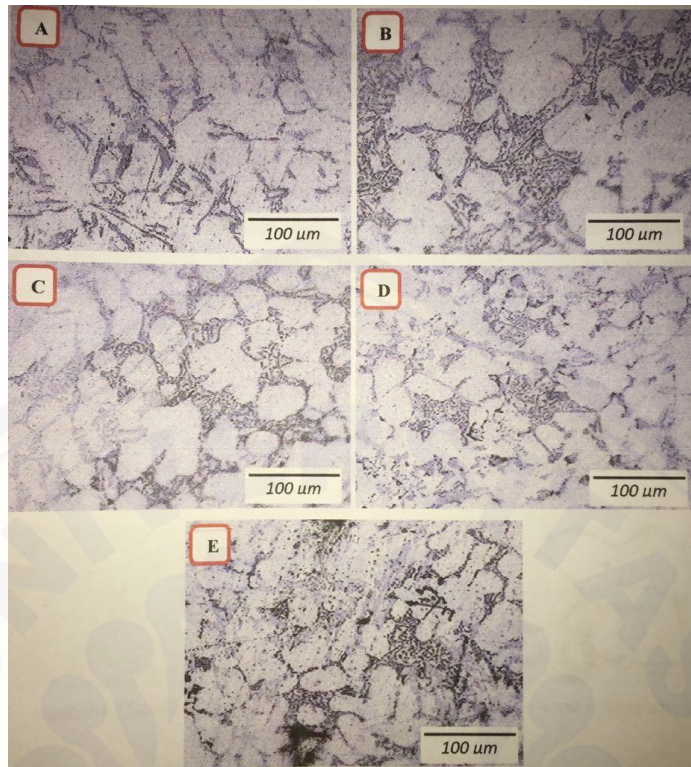
Penelitian yang dilakukan oleh Denni Rudiyanto 2017 . Pada penelitian ini diperoleh spesimen aluminium ADC 12 dengan variasi penambahan magnesium 0%, 4%, 6%, 8% hasil pengecoran *gravity casting*. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan, pengujian tarik dan pengamatan struktur mikro.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan dan pengujian tarik pada aluminium ADC 12- Mg, penambahan unsur magnesium akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan aluminium paduan. Data dari hasil pengujian kekerasan ditampilkan pada gambar 2.14

Seiring penambahan magnesium yang ditingkatkan, akan menaikkan nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik ADC 12-Mg, dikarenakan semakin tinggi variasi Mg yang ditambahkan maka akan memperhalus ukuran butir dan memperbanyak fasa Mg_2Si yang terbentuk.



Gambar 2.14 Grafik pengaruh penambahan magnesium terhadap nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik (Rudiyanto, 2017)



Gambar 2.15 Struktur mikro paduan ADC 12-Mg (a) 0% Mg , (b) 2% Mg, (c) 4% Mg, (d) 6% Mg, (e) 8% Mg perbesaran 800X (Rudiyanto, 2017)

Hasil perbandingan struktur mikro yang diamati dapat dilihat pada gambar 2.15 dimana dengan menambahkan magnesium kedalam paduan aluminium ADC-12 dapat membuat ukuran butir semakin kecil/halus (Rudiyanto, 2017).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu suatu metode pengamatan eksperimen secara langsung. Dalam penelitian ini digunakan untuk menguji kekuatan mekanik dan struktur mikro pada aluminium 7075 yang diberi penambahan magnesium menggunakan metode pengecoran *gravity casting*. sehingga struktur mikro dan kekuatan mekanik dari aluminium 7075-Mg dapat diamati.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2018 sampai dengan bulan Juli 2018.

3.2.2 Tempat Penelitian

Penelitian meliputi pengecoran paduan Aluminium 7075 dengan variasi penambahan Mg dan pengujian paduan.

- a. Pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan, Fakultas Teknik Universitas Jember.
- b. Pengujian kekerasan dan pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember
- c. Pengamatan struktur mikro dengan *optical microscope* dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember
- d. Pengamatan struktur mikro dengan SEM dilakukan di Laboratorium Farmasetika, Fakultas Farmasi Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan dan pengujian paduan Aluminium 7075-Mg. Selama proses penelitian di lengkapi dengan penggunaan peralatan K3L.

3.3.1 Alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan paduan Aluminium 7075 + Mg

a. Alat yang digunakan :

- 1) Tungku Peleburan
- 2) Cetakan permanen
- 3) Gergaji besi
- 4) *Torch* pemanas
- 5) *Thermogun*
- 6) *Thermocontrol*
- 7) *Regulator voltage*
- 8) Alat pengaduk
- 9) Timbangan digital
- 10) Mesin bubut
- 11) Mesin ampelas

b. Bahan yang digunakan :

- 1) Aluminium 7075
- 2) Magnesium ingot
- 3) Gas argon

3.3.2 Alat dan bahan yang digunakan pada pengujian Aluminium 7075-Mg

a. Alat yang digunakan :

- 1) Alat uji kekerasan *Hardness Tester TH120B*
- 2) Alat uji tarik *Com Servo JTM 20KN*
- 3) Alat uji struktur mikro *Microscope Olympus BX41M*
- 4) Alat uji struktur mikro *Tabletop Microscope Hitachi TM3000*

- b. Bahan yang digunakan :
- 1) Larutan etsa (alkohol dan NaOH)
 - 2) Resin
 - 3) katalis
 - 4) Ampelas

3.4 Proses Pembuatan Sampel

Dalam proses pembuatan paduan aluminium 7075-Mg variabel penelitian yang digunakan adalah variabel bebas dimana penambahan Mg sebesar 2%, 4%, 6% dan 8%. Pada paduan Aluminium 7075 + Mg dilakukan proses pengecoran dengan metode *gravity casting*.

Langkah-langkah pembuatan sampel paduan Aluminium 7075 +Mg sebagai berikut :

- a. Menimbang massa aluminium 7075.
- b. Menimbang massa magnesium sesuai dengan variabel yang telah di tentukan.
- c. Menyalakan tungku peleburan panas peleburan disesuaikan dengan kebutuhan. Sebelumnya tungku pemanasan dipanaskan terlebih dahulu sebelum spesimen dimasukkan agar kandungan air hilang.
- d. Memasukkan aluminium 7075 kedalam tungku peleburan yang suhunya ditingkatkan sampai 700°C untuk proses peleburan.
- e. Setelah aluminium 7075 melebur kemudian dilakukan penambahan Mg yang dileburkan dengan penahanan suhu selama 30 menit.
- f. Memasukkan blander hingga dasar krusibel dengan mengalirkan gas argon selama 30-45 detik kemudian keluarkan blander dari tungku peleburan.
- g. Mengaduk paduan Aluminium 7075-Mg menggunakan alat pengaduk.
- h. Membersihkan slag pada leburan.
- i. Melapisi cetakan dengan mortar hingga kering.
- j. Memanaskan cetakan sampai suhu 200°C menggunakan *torch* pemanas.
- k. Menuangkan logam paduan yang telah dileburkan kedalam cetakan.
- l. Setelah logam membeku kemudian dikeluarkan dari cetakan.

3.5 Proses pengujian Sampel

3.5.1 Pengujian Kekerasan

Pada proses pengujian kekerasan paduan aluminium 7075-Mg menggunakan standart ASTM E 10 - 00 dan menggunakan alat uji kekerasan *Hardness Tester THI20B* dengan metode pengujian *Brinell Hardness*. Tahapan-tahapan pengujian sebagai berikut :

- a. Preparasi sampel sesuai dengan standart ASTM E 10 - 00. Sebelum sampel diuji terlebih dahulu dihaluskan permukaannya menggunakan ampelas.
- b. Mengatur alat pengujian pada nilai *Brinell Hardness* dan disesuaikan dengan sampel yang akan di uji.
- c. Melakukan pengujian dengan menyentuhkan indentor pada sampel.
- d. Mencatat angka kekerasan yang keluar pada alat *Hardness Tester THI20B*.

3.5.2 Pengujian Tarik

Pada proses pengujian tarik paduan aluminium 7075-Mg menggunakan standart ASTM B 557M - 02 dan menggunakan mesin uji tarik Com Servo JTM 20KN. Tahapan-tahapan pengujian sebagai berikut:

- a. Preparasi sampel menggunakan mesin bubut dimana sampel menggunakan standart ASTM B557M - 02.
- b. Memasang sampel pada mesin uji tarik *Com Servo JTM 20KN* untuk dilakukan pengujian.
- c. Melakukan pengujian tarik dan mengamati perubahan diameter pada sampel uji tarik dengan menggunakan jangka sorong.
- d. Mencatat hasil yang keluar pada mesin uji tarik *Com Servo JTM 20KN* sampai sampel putus.

3.5.3 Pengamatan Struktur Mikro OM

Pada proses pengamatan struktur mikro paduan aluminium 7075-Mg menggunakan standart ASTM E 407 – 07 dan menggunakan alat uji mikrostruktur *Microscope Olympus BX41M*. Tahapan-tahapan pengujian sebagai berikut :

- a. Preparasi sampel dengan memberikan cetakan resin pada sampel.
- b. Mengamplas sampel dengan kekasaran 500 Cw, 1000 Cw, 1500 Cw, 2000 Cw.
- c. Mencampurkan 10 gram NaOH dengan 90ml H₂O, kemudian campuran di aduk sampai tercampur rata.
- d. Mengetsa sampel dengan larutan etsa ke permukaan, diamkan selama 40 detik.
- e. Meletakkan sampel ke tempat uji sampel mikroskop optik.
- f. Mengatur cahaya sampai struktur mikro pada sampel terlihat jelas
- g. Mengatur perbesaran mikroskop dengan perbesaran 200X dan 500X.
- h. Hasil struktur mikro diamati.

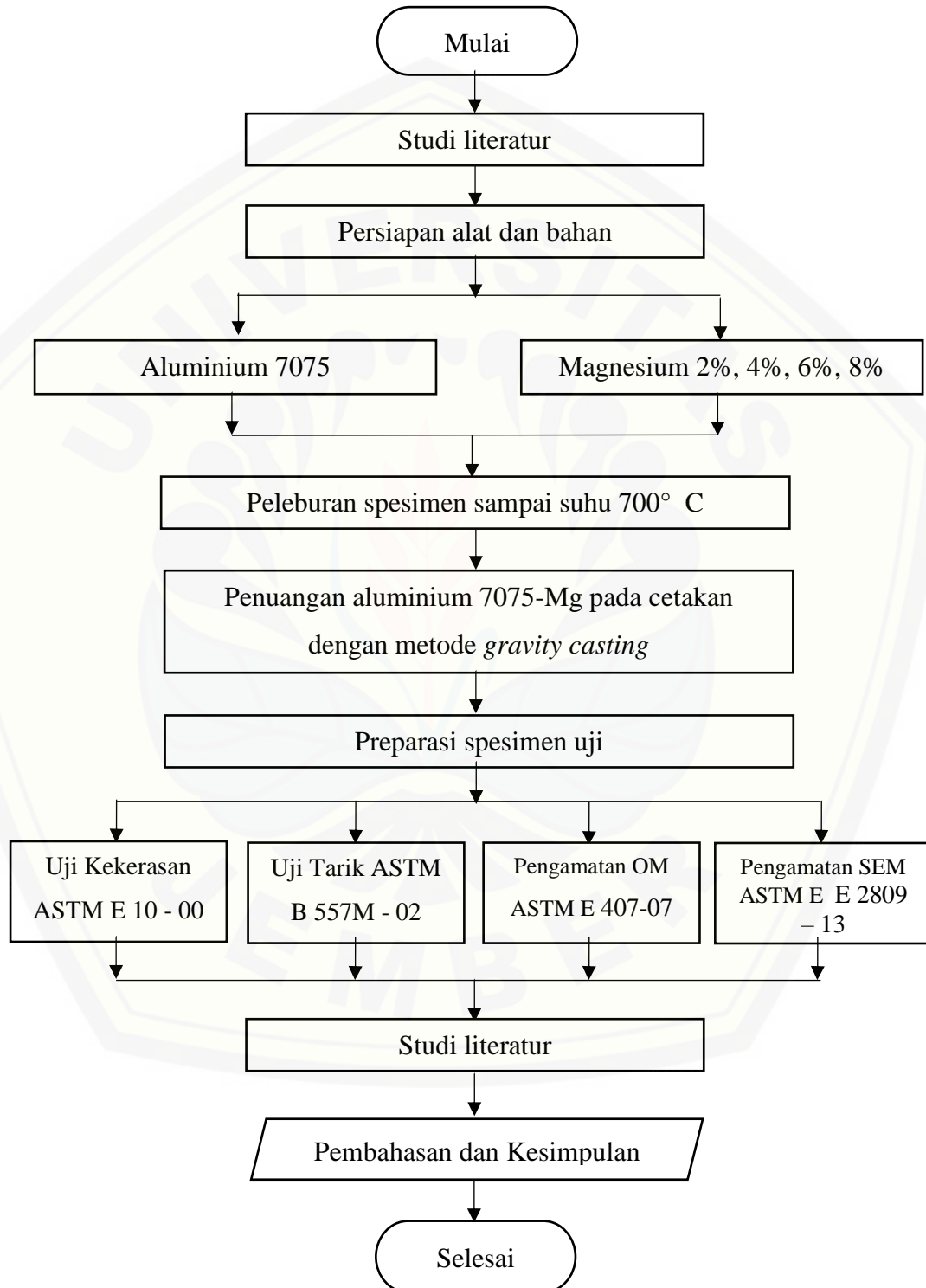
3.5.4 Pengamatan SEM

Pada proses pengamatan struktur mikro paduan aluminium 7075-Mg menggunakan standart ASTM E 2809 – 13

- a. Preparasi sampel
- b. Mengamplas sampel dengan kekasaran 500 Cw, 1000 Cw, 1500 Cw, 2000 Cw.
- c. Meletakkan sampel pada tempat sampel.
- d. Pengamatan dan pengambilan gambar pada alat uji SEM-EDX dengan mengatur perbesaran yang diinginkan.
- e. Hasil struktur mikro diamati.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini parameter yang diamati dan diukur adalah sebagai berikut seperti yang terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengujian Kekerasan didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada paduan aluminium 7075 dengan penambahan magnesium 6% dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 71,6 HB, sedangkan nilai kekerasan terendah pada paduan aluminium 7075 tanpa penambahan magnesium dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 24,7 HB. Persentase kenaikan sebesar 189,88%.
2. Dari hasil pengujian tarik didapatkan :
 - a. Nilai kekuatan tarik pada paduan aluminium 7075 tanpa penambahan magnesium dengan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 100,718 Mpa, sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi pada paduan aluminium 7075 dengan penambahan magnesium 6% nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 146,064 Mpa. Persentase kenaikan kekuatan tarik sebesar 45,02 %.
 - b. Persentase perpanjangan pada paduan aluminium 7075 tanpa penambahan magnesium persentase rata-rata perpanjangan sebesar 3,187 %, sedangkan persentase perpanjangan terendah pada paduan aluminium 7075 dengan penambahan magnesium 6% persentase perpanjangan rata-rata sebesar 1,917. Persentase penurunan perpanjangan sebesar 39,85 %.
3. Pengamatan struktur mikro menggunakan *Optical Microscope* dengan penambahan magnesium pada aluminium 7075 ukuran butir semakin halus, pada paduan aluminium 7075-Mg terjadi penyebaran *eutectic phase* didalam *dendritic phase*.
4. Dari hasil pengamatan SEM pada paduan aluminium 7075 dengan penambahan magnesium akan terbentuk fasa $MgZn_2$ dan $AlMgZ$ yang dapat

berpengaruh terhadap meningkatnya nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan supaya pada penelitian berikutnya dapat lebih baik supaya dapat menyempurnakan penelitian yang dilakukan, saran dari penulis sebagai berikut:

1. Untuk penelitian berikutnya sebaiknya dilakukan pembahasan lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanis seperti tingkat kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro dengan pengaruh perlakuan panas maupun kecepatan pembekuan.
2. Untuk penelitian berikutnya untuk memperbaiki karakteristik paduan supaya menjadi lebih baik dapat dilakukan penambahan unsur lain.
3. Untuk memudahkan menganalisis struktur mikro pada paduan sebaiknya menggunakan pengujian SEM XRD.

DAFTAR PUSTAKA

- Adril, E., Z., Sri, M. & Firmawati, N., 2010. Pengaruh Penambahan Mangan Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium A7075. *Poli Rekayasa*, Volume 6.
- Anzip, A. & Suhariyanto, 2006. Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.2 dengan Penambahan Manganese (Mn) dan Perlakuan Panas T6. *Teknik Mesin*, Volume 8.
- ASM Handbook, 1997. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. Vol 2 penyunt. United States of America: ASM International.
- ASM Handbook, 2004. *Metallography and Microstructures*. vol 9 penyunt. United States of America: ASM International.
- Banga, T., 2012. *Foundry Engineering*. New Delhi: Khanna Publisher.
- Chen, D.-C., You, C.-S. & Gao, F.-Y., 2014. Analysis and experiment of 7075 Aluminium Alloy Tensile Test. *Procedia Engineering*, Volume 81, pp. 1252-1258.
- Cholis, S. N., 2013. *Analisa Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Kekerasan dan Struktur*. Skripsi penyunt. Yogyakarta: Universitas GajahMada.
- CONG, F.-g.et al., 2014. Effect of homogenization treatment on microstructure and. *Transaction nonferrous metals society of China*.
- Daryus, A., 2008. *Diktat Kuliah Proses Produksi*, Jakarta: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Darma Persada.
- Deng, Y.-l., Wan, L., Zhang, Y.-y. & Zhang, X.-m., 2011. Influence of Mg content on quench sensitivity of Al-Zn-Mg-Cu aluminum alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 7, p. 4636-4642.
- E.J.HEARN, 2000. *Mechanics of Material 1*. 3th penyunt. Woburn: A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd.
- El-Karomi, K. S., Harjanto, B. & S., 2015. ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR MAGNESIUM (Mg) terhadap Tingkat

Kekerasan, Struktur Mikro dan Kekuatan Impact pada Velg Aluminium (AL-0,5% Si).

Fang, H.-z. et al., 2015. Microstructure and Mechanical Properties of Al-6Zn-2,5Mg-1,8Cu alloy prepared by squeeze casting and solid hot extrusion. *Transactions Nonferrous Metals Society of China*, Volume 25, pp. 2130-2136.

Groover, M. P., 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing (Material Processes and System)*. Fourth Edition penyunt. United States of America: John Wiley & Shons, Inc.

Hartono, A. J. & Kaneko, T., 1992. *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*. Yogyakarta: Andi Offset.

Kusuma, G. T., 2012. *Pengaruh Variasi Campuran Bentonit pada Pasir Cetak Basah Terhadap Permeabilitas dan Kekuatan Tekan*, Surakarta: s.n.

Liu, B. et al., 2016. Microstructure and mechanical properties of high product of strength and elongation Al-Zn-Mg-Cu-Zr alloys fabricated by spray deposition. *Materials and Design*, p. 217–223.

Mishra, R. R. & Sharma, A. K., 2017. Effect of susceptor and mold material on microstructure of in-situ microwave casts of Al-Zn-Mg alloy. *Materials and Design*, p. 428–440.

Musa, Y. & Ozyurek, D., 2013. The effects of Mg amount on the microstructure and mechanical properties of Al–Si–Mg alloys. *materials and design*.

Oxtoby, 2003. *Aluminium and Classification*. inc penyunt. New York: Marcel Dekker.

Prabowo, A. S., Triyono, T. & Yuningsih, I., 2016. Analisa Pengaruh Penambahan Mg pada Komposit Matrik Aluminium Remelting Piston Berpenguat SiO₂ Menggunakan Metode Stir Casting Terhadap Kekerasan dan Densitas.

Raharjo, W. P., 2008. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Coran Paduan Al-Mg-Si. *Mekanika*, Volume 7, p. 1.

Reis, B. P., Lopes, M. M., Garcia, A. & Santos, C. A. d., 2018. The correlation of microstructure features, dry sliding wear behavior, hardness and tensile properties of Al-2wt.%Mg-Zn alloys. *Journal of Alloys and Compounds*.

Rudiyanto, D., 2017. *Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Aluminium (ADC 12) dengan Metode Gravity Casting*, Jember: Universitas Jember.

- Sampurno, T. J. & Bayuseno, A. P., 2016. Pengaruh Penambahan Unsur Tembaga (Cu) Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Material Chassis Berbahan Limbah Aluminium Hasil Pengecoran HPDC. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, Volume 4.
- Sardianto & Bayuseno, A. P., 2015. Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Material, Chassis Berbahan Dasar Limbah Aluminium Hasil Pengecoran HPDC. *Jurnal Teknik Mesin*, Volume 3.
- Shu, W., Hou, L., Zhang, C. & Zhang, F., 2016. Tailored Mg and cu contents affecting the. *Materials Science & Engineering A*, Volume 42.
- Smallman, R. E. & Bishop, R. J., 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- S., Mursid, M., Hadi, S. & Anzip, A., 2015. Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.0 Dengan Cara Menambahkan Cu dan Perlakuan Panas T5. *Sains dan Teknologi Terapan*.
- Sudibyjo, A., Kusharjanta, B. & Raharjo, W. P., 2013. Pengaruh Penampang Ingate Terhadap Cacat Porositas dan Nilai Kekerasan pada Proses Pengecoran Aluminium Menggunakan Cetakan Pasir. *Mekanika*, Volume 12, p. 1.
- Sudjana, H., 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Jilid 2 penyunt. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Suharno, B., 2011. *Diktat Kuliah Pembentukan Logam 2011/2012*, Depok: Jurusan Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Suprpto, W., 2011. *Porositas Gas pada Duralumin dalam Pengecoran Sistem Vakum Disertasi*, Depok: Fakultas Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material.
- Surdia, T. & Chijiwa, K., 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Ketujuh penyunt. Jakarta: PT. Oradnya Paramita.
- Surdia, T. & Saito, S., 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. kelima penyunt. Jakarta: PT PRADNYA PARAMITA.
- Tian, W. et al., 2017. Preparation of bimodal grain size 7075 aviation aluminium alloys and their corrosion properties. *Chinese Journal of Aeronautics*.
- Widyanto, S. A., Umardhani, Y. & Nugroho, S., 2011. Optimasi Desain Cetakan Die Casting Untuk Menghilangkan Cacat Coran Pada Kasus Pengecoran Piston Aluminium. *Rotasi*, Volume 13, p. 4.

Yu, W. et al., 2017. The Influence of T6 Treatment on Fracture Behavior of Hypereutectic Al-Si HPDC Casting Alloy. *Alloys and Compounds*, Volume 731, pp. 444 - 451.

Zhao , L., Pan, Y., Liao, H. & Wang, Q., 2011. Degassing of Aluminium Alloys During Re-Melting. *Materials Letters*, 66(1), pp. 328-331.



LAMPIRAN

Perhitungan Persentase Pencampuran Spesimen

Diketahui : Massa Jenis (ρ) 7075 = $2,8 \text{ g}/\text{cm}^3$

Massa Jenis (ρ) Mg = $1,74 \text{ g}/\text{cm}^3$

Massa Paduan Jadi = 250 gr

1. Variasi Magnesium 2%

Fraksi berat Al 7075 98% dan Mg 2%

$$\rho \text{ paduan} = (98\% \cdot 2,8) + (2\% \cdot 1,74)$$

$$= 2,744 + 0,034$$

$$= 2,78 \text{ g}/\text{cm}^3$$

$$V \text{ paduan} = \frac{250}{2,78}$$

$$= 89,93 \text{ cm}^3$$

$$V \text{ 7075} = 98\% \cdot 89,93$$

$$= 246,74 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa 7075} = 2,8 \cdot 88,12$$

$$= 246,74 \text{ g}$$

$$V \text{ Mg} = 2\% \cdot 89,92$$

$$= 1,798 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa Mg} = 1,74 \cdot 1,798$$

$$= 3,13 \text{ g}$$

2. Variasi Magnesium 4%

Fraksi berat Al 7075 96% dan Mg 4%

$$\rho \text{ paduan} = (96\% \cdot 2,8) + (4\% \cdot 1,74)$$

$$= 2,688 + 0,0696$$

$$= 2,76 \text{ g}/\text{cm}^3$$

$$V \text{ paduan} = \frac{250}{2,76}$$

$$= 90,58 \text{ cm}^3$$

$$V \text{ 7075} = 96\% \cdot 90,58$$

$$= 86,96 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa 7075} = 2,8 \cdot 86,96$$

$$= 243,49 \text{ g}$$

$$V \text{ Mg} = 4\% \cdot 90,58$$

$$= 3,62 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa Mg} = 1,74 \cdot 3,62$$

$$= 6,299 \text{ g}$$

3. Variasi Magnesium 6%

Fraksi berat Al 7075 94% dan Mg 6%

$$\rho \text{ paduan} = (94\% \cdot 2,8) + (6\% \cdot 1,74)$$

$$= 2,632 + 0,1044$$

$$= 2,73 \text{ g}/\text{cm}^3$$

$$V \text{ paduan} = \frac{250}{2,73}$$

$$= 91,58 \text{ Cm}^3$$

$$V \text{ 7075} = 94\% \cdot 91,58$$

$$= 86,09 \text{ Cm}^3$$

$$\text{Massa 7075} = 2,8 \cdot 86,09$$

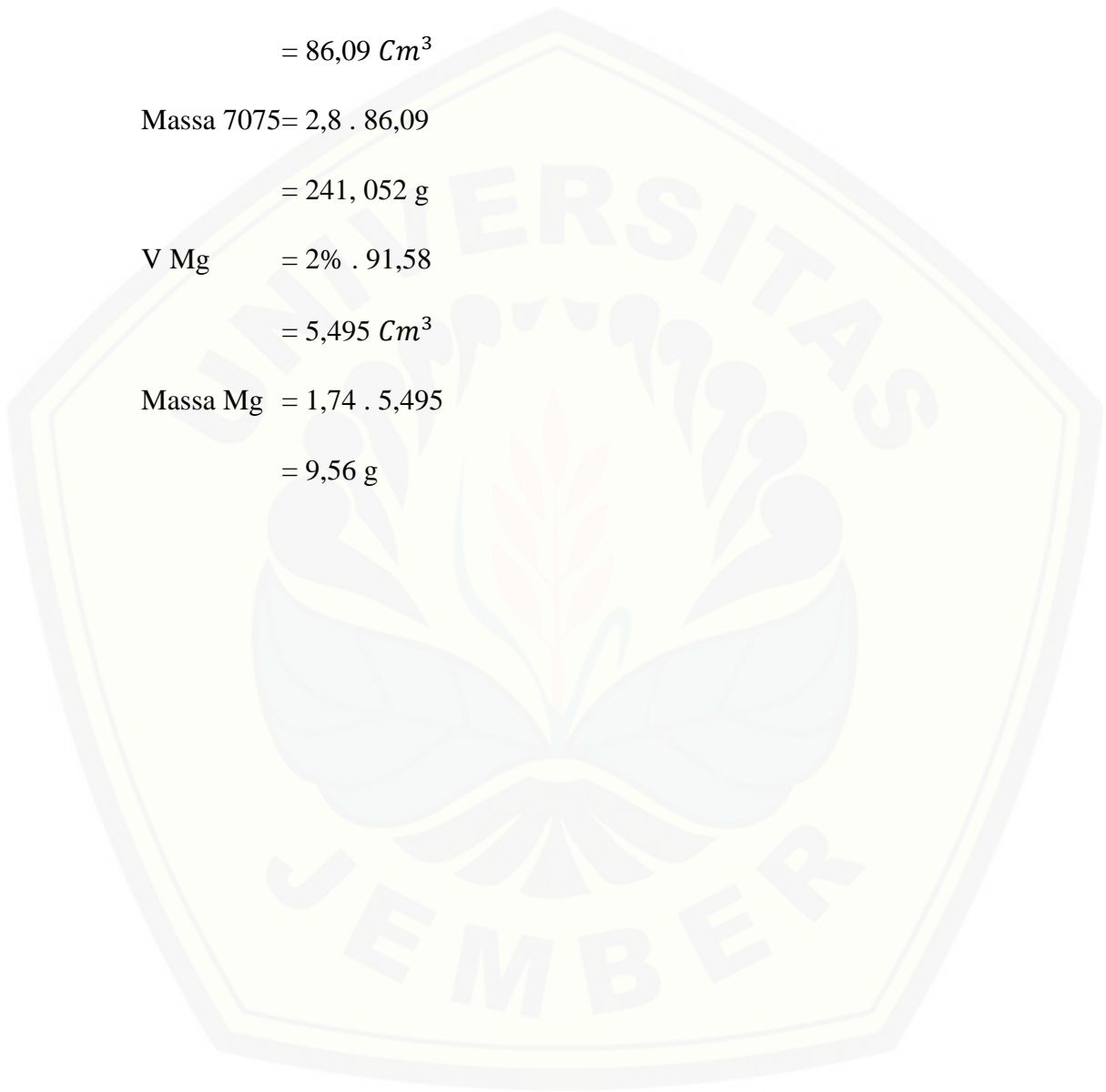
$$= 241,052 \text{ g}$$

$$V \text{ Mg} = 2\% \cdot 91,58$$

$$= 5,495 \text{ Cm}^3$$

$$\text{Massa Mg} = 1,74 \cdot 5,495$$

$$= 9,56 \text{ g}$$



Data Hasil Pengujian Kekerasan

	0%	2%	4%	6%
1	25	22	23	54
2	21	20	36	53
3	30	28	41	60
4	23	22	27	80
5	19	26	34	89
6	33	31	52	83
7	20	27	52	103
8	26	31	23	53
9	27	21	50	68
10	23	24	23	73

Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

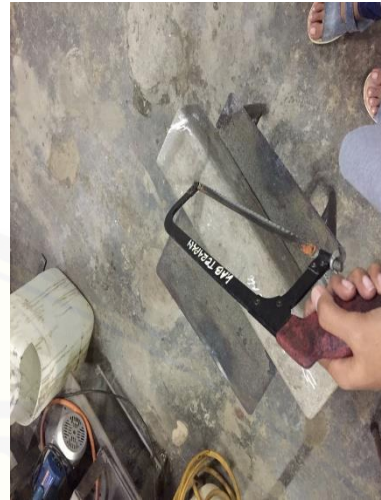
Variasi Spesimen	no	D (mm)	Luas Area (mm ²)	Gaya Max (kg)	Gaya (N)	UTS (N/mm ²)	Rata-Rata UTS (N/mm ²)	Elongasi (%)	Rata-Rata Elongasi (%)
Mg 0%	1	6	28,260	286,070	2803,486	99,203	100,718	3,240	3,187
	2	6,02	28,449	261,040	2558,192	89,923		3,490	
	3	5,9	27,326	315,160	3088,568	113,027		2,830	
Mg 2%	1	6,03	28,543	305,120	2990,176	104,759	104,213	3,360	3,143
	2	6,1	29,210	296,890	2909,522	99,608		3,180	
	3	6	28,260	312,220	3059,756	108,272		2,890	
Mg 4%	1	5,92	27,511	329,630	3230,374	117,419	113,049	2,730	2,910
	2	6,03	28,543	302,920	2968,616	104,004		3,410	
	3	6,02	28,449	341,740	3349,052	117,722		2,590	
Mg 6%	1	6	28,260	423,390	4149,222	146,823	146,064	1,810	1,917
	2	6,09	29,114	429,520	4209,296	144,579		1,730	
	3	5,95	27,791	416,270	4079,446	146,790		2,210	

Paduan spesimen AlZnMgCu (Shu, 2016)

No	Zn	Mg	Cu	Zn + Mg + Cu	ZnMg	CuMg
1 – 1	8,58	1,14	1,47	11,46	6,09	1,04
1 – 2	8,52	1,47	1,92	11,91	5,80	1,31
1 – 3	8,74	1,50	2,45	12,69	5,83	1,63
1 – 4	8,73	1,41	2,90	13,04	6,19	2,06
2 – 1	8,76	2,06	1,51	12,33	4,25	0,73
2 – 2	8,64	1,97	2,05	12,66	4,39	1,04
2 – 3	8,59	2,00	2,44	13,03	4,30	1,22
3 – 1	8,57	2,52	1,42	12,51	3,40	0,56
3 – 2	8,61	2,47	1,90	12,98	3,49	0,77
3 – 3	8,67	2,50	2,50	13,67	3,47	1,00



Aluminium 7075



Magnesium



Pelapisan mortar pada cetakan



Pemanasan Cetakan



Hasil Pengecoran



Thermogun



Tungku Peleburan



Alat Uji Kekerasan Spesimen



Mesin Uji Tarik



Alat Pengamatan SEM

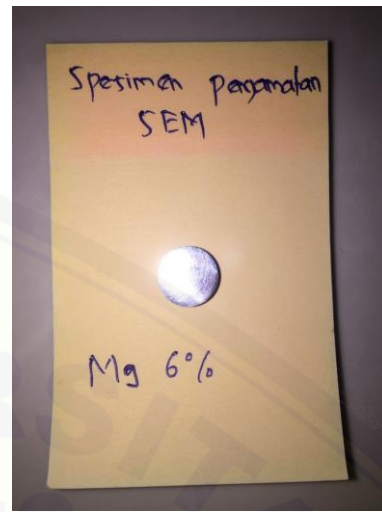


Spesimen Uji Tarik

Spesimen Uji Kekerasan



Spesimen Pengamatan Mikro OM



Spesimen Pengamatan Morfologi SEM

