

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR CU DAN PERSEN
REDUKSI Pengerolan DINGIN TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN Al-Mg**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh :

Slamet Tribudi Prakoso
3334170004

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON BANTEN**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

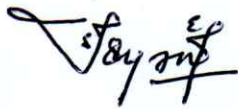
**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR CU DAN PERSEN
REDUKSI Pengerolan Dingin Terhadap Sifat
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN Al-Mg**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Suryana, S.T., M.Si.

NIP. 197402162001121001

Pembimbing II



Prof. Ir. Agus Pramono S.T., M.T., Ph.D, Tech.

NIP. 197608182008011012

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR CU DAN PERSEN
REDUKSI Pengerolan DINGIN TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN Al-Mg**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Slamet Tribudi Prakoso

3334170004

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal

21 Juni 2024

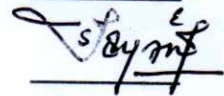
Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

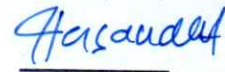
Penguji I : Prof. Ir. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D., Tech.



Penguji II : Suryana, S.T., M.Si.



Penguji III : Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19800030720050111002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pengaruh Penambahan Unsur Cu Dan Persen Reduksi
Pengerolan Dingin Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur
Mikro Paduan Al-Mg

Nama Mahasiswa : Slamet Tribudi Prakoso

NIM : 3334170004

Fakultas : Teknik Metalurgi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi di atas adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggung jawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar pernyataan ini.

Cilegon, 29 Juli 2024



Slamet Tribudi Prakoso

NIM. 3334170004

ABSTRAK

Aluminium merupakan logam *non ferro* yang dapat digunakan sebagai material pengganti baja karena memiliki sifat yang ringan, tahan terhadap korosi, dan memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik. Aluminium seri 5xxx merupakan seri aluminium yang dipadukan dengan magnesium. Aluminium seri 5xxx memiliki sifat yang lebih ringan jika dibandingkan dengan aluminium paduan lainnya. Akan tetapi pada aluminium seri 5xxx memiliki kekuatan dan kekerasan yang cukup rendah sehingga peningkatan sifat mekanik pada aluminium seri 5xxx perlu dilakukan agar dapat meningkatkan fungsi dan aplikasi dari paduan tersebut khususnya pada bidang dirgantara. Agar paduan aluminium seri 5xxx dapat ditingkatkan sifat mekaniknya diperlukan analisa penambahan unsur lain seperti penambahan Cu dan proses pengerjaan dingin berupa pengerolan. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan proses pengecoran logam aluminium dengan variasi penambahan Cu menggunakan *masteralloy* sebesar 0,5%, 1%, dan 2%. Setelah itu dilakukan proses pengerolan dingin dengan melakukan variasi persen reduksi sebesar 10%, 20%, dan 30%. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan di peroleh kesimpulan yaitu pada setiap penambahan Cu dan peningkatan persen reduksi pengerolan dingin diperoleh nilai sifat mekanik yang fluktuatif. Setelah dilakukan analisa, nilai yang fluktuatif ini disebabkan oleh penggunaan desain cetakan yang kurang baik serta proses pengadukan dan homogenisasi yang kurang baik selama proses pengecoran. Hal tersebut menyebabkan timbulnya inklusi, porositas, segregasi, dan struktur dendrit pada mikrostruktur sampel dan terjadinya retak pada bagian sisi sampel ketika dilakukan pengerolan dingin yang mana sangat mempengaruhi nilai kekerasan & kekuatan pada setiap sampel.

Kata Kunci : Aluminium 5xxx, Sifat Mekanik, Penambahan Tembaga, Persen Reduksi Pengerolan

ABSTRAK

Aluminum is a non-ferrous metal that can be used as a substitute for steel because it has light properties, good corrosion resistant, and has good electrical and thermal conductivity. 5xxx series aluminum is an aluminum series combined with magnesium. 5xxx series aluminum has lighter properties when compared to other aluminum alloys. However, 5xxx series aluminum has a fairly low strength and hardness so that it is necessary to improve the mechanical properties of 5xxx series aluminum in order to improve the function and application of the alloy, especially in the aerospace application. In order for the 5xxx series aluminum alloy to be improved in its mechanical properties, it is necessary to research the addition of other elements such as the addition of Cu and the cold working process in the form of rolling. This research was carried out by conducting an aluminum metal casting process using Al-Cu Masteralloy with variations in Cu addition of 0.5%, 1%, and 2%. After that, the cold rolling process is carried out by varying the reduction percentage by 10%, 20%, and 30%. From the results of the tests that have been carried out, it is concluded that for each addition of Cu and an increase in the percentage reduction of cold rolling, a fluctuating value of mechanical properties is obtained. After analysis, this fluctuating value is caused by the poor use of mold design and poor stirring and homogenization processes during the casting process. This causes inclusion, porosity, segregation, and dendrite structure found in the microstructure of the sample and cracks on the sides of the sample when cold rolling process is carried out, which greatly affects the hardness & strength value of each sample.

Keywords : Aluminium 5xxx, Mechanical Properties, Addition Of Cu, Percentage Reduction

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT berkat rahmat, hidayah, dan karunianya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan cukup baik. Skripsi ini disusun sebagai syarat kelulusan sebagai sarjana teknik metalurgi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan oleh berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Metalurgi.
2. Bapak Suryana, S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I saya yang telah membimbing saya.
3. Bapak Prof. Ir. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D., Tech. selaku Dosen Pembimbing II dan Dosen Pembimbing akademik saya yang selalu memberikan motivasi dan nasihat kepada saya.
4. Kedua orang tua, saudara, dan teman-teman yang selalu memberikan motivasi dan nasehat kepada saya.
5. Partner penelitian penulis yaitu Gada Wira Muslimin atas dukungan dan bantuannya selama penelitian.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis berharap semoga laporan skripsi ini dapat

bermanfaat sebagai acuan penelitian bagi penulis, bagi rekan-rekan mahasiswa maupun pihak lainnya.

Cilegon, 29 Juli 2024

Slamet Tribudi Prakoso

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Hipotesa Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Aluminium	7
2.2 Paduan Aluminium.....	9
2.3 Mekanisme Penguatan Logam	14
2.3.1 Penghalusan Butir (<i>Grain-size reduction</i>).....	14

2.3.2 Pengerasan Presipitasi (<i>Precipitation Hardening</i>)	16
2.3.3 Pengerasan larutan padat (<i>Solid solution Hardening</i>)	19
2.3.4 Pengerasan Regangan (<i>Strain Hardening</i>)	19
2.4 Pengerolan Logam	20
2.5 Pengecoran Logam.....	23
2.6 Mekanisme Solidifikasi Pada Pengecoran Logam.....	25
2.7 Struktur Dendrit	28
2.8 Segregasi Pada Pengecoran Logam	30
2.9 Pengaruh Waktu <i>Aging</i> Pada Sifat Mekanik Aluminium	34
2.10 Pengaruh Penambahan Cu Pada Paduan Al-Mg.....	36
2.11 Pengaruh Pengerolan Dingin Pada Paduan Al-Mg.....	38

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	42
3.2 Alat dan Bahan.....	43
3.2.1 Alat-alat yang Digunakan.....	43
3.2.2 Bahan-bahan yang Digunakan.....	44
3.3 Prosedur Percobaan.....	44
3.3.1 Prosedur Pengecoran Logam	44
3.3.2 Prosedur Pengerolan Dingin.....	46
3.3.3 Prosedur Uji Metalografi	46
3.3.4 Prosedur Uji Keras.....	46
3.3.5 Prosedur Uji Tarik	47
3.3.6 Pengujian SEM-EDS	48

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Awal	49
4.2 Karakterisasi Akhir	52
4.3 Analisa Struktur Mikro	53
4.4 Analisa Pengujian Tarik.....	68
4.5 Analisa Pengujian Keras	73

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran.....	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran A. Contoh Perhitungan

Lampiran B. Data Hasil Penelitian

Lampiran C. Alat dan Bahan

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Dislokasi butir	15
Gambar 2.2 Diagram <i>Precipitation Hardening</i>	18
Gambar 2.3 (a) Substitusi (b) Interstisi.....	19
Gambar 2.4 Gaya-gaya selama pengerolan.....	21
Gambar 2.5 Alur proses pengecoran logam.....	23
Gambar 2.6 Skema Pembentukan Logam.....	26
Gambar 2.7 (a) nukleasi dimulai, (b) pembentukan <i>chill zone</i> , (c) pembentukan <i>columnar</i> , dan (d) pembentukan daerah <i>equiaxed</i>	27
Gambar 2.8 Struktur dendrit yang sedang tumbuh	28
Gambar 2.9 Komponen-komponen dendrit.....	29
Gambar 2.10 Proses pembentukan dendrit.....	30
Gambar 2.11 Proses terjadinya segregasi makro pada ingot baja (a) selama solidifikasi (b) Ingot yang sudah jadi.....	31
Gambar 2.12 segregasi makro pada aluminium DC (<i>Direct Chill</i>) cast pada bagian kiri skema proses dan bagian kanan profil segregasi.....	32
Gambar 2.13 Mikrosegregasi pada dendrit	34
Gambar 2.14 Diagram perubahan fasa di proses artificial aging	35
Gambar 2.15 Hubungan antara lamanya waktu <i>aging</i> dengan kekuatan dan kekerasan paduan aluminium.....	36
Gambar 2.16 Kekuatan tarik sebagai fungsi kandungan Mg dalam paduan Al-Mg dengan berbagai kandungan Cu	37
Gambar 2.17 Variasi kekerasan dari berbagai persen reduksi.....	38
Gambar 2.18 Variasi kekuatan dari berbagai persen reduksi.....	39

Gambar 2.19 Variasi uji tarik dari berbagai paduan Seri 5 yang memiliki perbedaan persentase Cu	40
Gambar 2.20 Perbandingan sifat mekanik (a) Paduan AA 5019 (b) Paduan AA 5023.....	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 3.2 Ilustrasi Desain Cetakan Besi.....	45
Gambar 3.2 ASTM E8 untuk <i>subsize</i> spesimen.....	47
Gambar 4.1 Struktur Mikro Perbesaran 500x Pada <i>Base Material</i>	54
Gambar 4.2 Struktur Mikro Perbesaran 50x, 200x, 500x Pada Sampel (A) 0,5 % Cu – 0% Reduksi (B) 1 % Cu – 0% Reduksi (C) 2 % Cu – 0% Reduksi.....	55
Gambar 4.3 Struktur Mikro Perbesaran 50x, 200x, 500x Pada Sampel (A) 0,5 % Cu – 10% Reduksi (B) 1 % Cu – 10% Reduksi (C) 2 % Cu – 10% Reduksi.....	57
Gambar 4.4 Struktur Mikro Perbesaran 50x, 200x, 500x Pada Sampel (A) 0,5 % Cu – 20% Reduksi (B) 1 % Cu – 20% Reduksi (C) 2 % Cu – 20% Reduksi.....	59
Gambar 4.5 Struktur Mikro Perbesaran 50x, 200x, 500x Pada Sampel (A) 0,5 % Cu – 30% Reduksi (B) 1 % Cu – 30% Reduksi (C) 2 % Cu – 30% Reduksi.....	60
Gambar 4.6 Hasil SEM Perbesaran x100 Pada Sampel (A) 0,5Cu 0% Reduksi (B) 1Cu 0% Reduksi (C) 2Cu 0% Reduksi (D) 0,5Cu 10% Reduksi.	62
Gambar 4.7 Pengaruh Porsen Penambahan berat Cu Terhadap Ukuran Butir.....	66
Gambar 4.8 Kurva Uji Tarik Pada Semua Sampel	69
Gambar 4.9 Pengaruh Porsen penambahan Cu Terhadap Kuat Tarik.....	71
Gambar 4.10 Pengaruh Porsen Penambahan berat Cu Terhadap Kekerasan	75
Gambar B.1 Hasil uji komposisi EDS <i>Masteralloy</i> aluminium 2024.....	91
Gambar B.2 Hasil uji komposisi EDS penambahan Cu 0,5 %	91
Gambar B.3 Hasil uji komposisi EDS penambahan Cu 1 %	92
Gambar B.4 Hasil uji komposisi EDS penambahan Cu 2 %	92
Gambar B.5 Gambar SEM Sampel 0,5Cu 0% Reduksi	93
Gambar B.6 Gambar EDS Sampel 1Cu 0% Reduksi.....	93

Gambar B.7 Gambar EDS Sampel 2Cu 0% Reduksi.....	93
Gambar B.8 Gambar EDS Sampel 0,5Cu 10% Reduksi.....	93
Gambar B.9 Data pengujian tarik sampel 10% reduksi	94
Gambar B.10 Data pengujian tarik sampel 20% reduksi	95
Gambar B.11 Data pengujian tarik sampel 30% reduksi	96
Gambar B.12 Data pengujian metalografi dan kekerasan 0,5Cu 10% reduksi.....	97
Gambar B.13 Data pengujian metalografi dan kekerasan 0,5Cu 20% reduksi.....	98
Gambar B.14 Data pengujian metalografi dan kekerasan 0,5Cu 30% reduksi.....	99
Gambar B.15 Data pengujian metalografi dan kekerasan 1Cu 10% reduksi.....	100
Gambar B.16 Data pengujian metalografi dan kekerasan 1Cu 20% reduksi.....	101
Gambar B.17 Data pengujian metalografi dan kekerasan 1Cu 30% reduksi.....	102
Gambar B.18 Data pengujian metalografi dan kekerasan 2Cu 10% reduksi.....	103
Gambar B.19 Data pengujian metalografi dan kekerasan 2Cu 20% reduksi.....	104
Gambar B.20 Data pengujian metalografi dan kekerasan 2Cu 30% reduksi.....	105
Gambar B.21 Data pengujian metalografi dan kekerasan <i>base material</i>	106
Gambar B.22 Data pengujian metalografi sampel sebelum di rol	107
Gambar B.23 Sertifikat <i>Base Material</i>	108
Gambar C.1 Aluminium 5052.....	110
Gambar C.2 Aluminium 2024.....	110
Gambar C.3 Krusibel	110
Gambar C.4 <i>Thermogun</i>	110
Gambar C.5 Tabung Gas.....	110
Gambar C.6 Tungku Peleburan.....	110
Gambar C.7 Cetakan	111
Gambar C.8 <i>Burner</i>	111

Gambar C.9 Alat <i>Safety</i>	111
Gambar C.10 Mesin <i>Grinding</i>	111
Gambar C.11 Alat Uji Tarik.....	111
Gambar C.12 Mesin <i>Mounting</i>	111
Gambar C.13 Mikroskop Optik.....	112
Gambar C.14 <i>Muffle Furnace 1</i>	112
Gambar C.15 Alat Uji Keras	112
Gambar C.16 <i>Muffle Furnace 2</i>	112
Gambar C.17 Mesin Roll	112

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Sifat-Sifat Fisik Aluminium.....	8
Tabel 2.2 Aluminium dan Paduannya JIS H4000 ~ H4180.....	9
Tabel 2.3 Klasifikasi Paduan Aluminium	10
Tabel 4.1 Komposisi Kimia <i>Base Material</i> Aluminium Seri 5052.....	50
Tabel 4.2 Komposisi Kimia <i>Masteralloy</i> Aluminium Seri 2024.....	50
Tabel 4.3 Hasil Uji Komposisi Akhir	52
Tabel 4.4 Analisa Persebaran Unsur EDS.....	64
Tabel 4.5 Rata-Rata Ukuran Butir	65
Tabel 4.6 Data hasil pengujian tarik	69
Tabel 4.7 Data <i>Hardness Vickers</i>	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium merupakan logam *non ferro* yang bahan dasarnya adalah bauksit dan kreolit. Aluminium merupakan logam paling melimpah ketiga di kerak bumi yang diproses melalui cara Bayer. Aluminium diperoleh dari tanah tawas lalu tanah tawas direduksi menjadi aluminium melalui elektrolisa Hall Heroult. Secara luas aluminium lebih ekonomis dibanding bahan teknik lainnya. Sehingga penggunaan aluminium terus meningkat dari tahun ke tahun. Hal ini terlihat dari urutan penggunaan logam paduan aluminium yang menempati urutan kedua selama 50 tahun terakhir setelah penggunaan logam besi dan baja, dan urutan pertama untuk logam *non ferro* [1]. Aluminium merupakan logam dengan berat yang cukup ringan serta mempunyai ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Material aluminium sering kali digunakan sebagai peralatan rumah tangga, material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan sebagainya [2].

Logam aluminium pada aplikasinya di dunia industri jarang digunakan dalam bentuk aluminium murni melainkan logam aluminium yang telah dipadu dengan logam lain maupun di campur unsur lain sebagai komposit [3]. Hal ini dikarenakan logam aluminium murni walaupun memiliki banyak kelebihan dibandingkan logam lainnya, tetapi di dalam aplikasi di bidang teknik masih memiliki kelemahan yaitu sifat mekanik aluminium yang kurang baik terutama pada kekerasan, kekuatan,

mampu bentuk, kemampuan las, serta ketahanan korosi pada kondisi tertentu. Sehingga membuat aluminium murni tidak dapat dipakai sebagai bahan konstruksi. Tetapi apabila dicampur dengan sejumlah kecil elemen lain, maka kekuatan dan kekerasannya akan meningkat.

Unsur-unsur paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium adalah tembaga, silikon, mangan, magnesium, dan unsur-unsur lainnya. Dimana paduan aluminium tersebut dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu : jenis Al murni (seri 1xxx), Al-Cu (seri 2xxx), Al-Mn (seri 3xxx), Al-Si (seri 4xxx), Al-Mg (seri 5xxx), Al-Mg-Si (seri 6xxx), jenis Al-Zn (seri 7xxx), dan paduan lainnya (seri 8xxx) [2]. Paduan aluminium dengan tembaga dan seng dapat memperkuat dan memperkeras logam aluminium, paduan aluminium dengan silikon akan meningkatkan kemampuan tuang, aluminium dengan Mn akan meningkatkan kekuatan dengan mempertahankan ketahanan korosi dan aluminium dengan magnesium akan menyebabkan paduan bertambah ringan serta meningkatkan ketahanan korosi di dalam laut [4].

Perkembangan industri material pada abad ke 20 ini, sangat berkembang pesat sejalan dengan berkembangnya teknologi maupun kebutuhan manusia. Terobosan material baru sangat dibutuhkan di era modern saat ini, seiring dengan hal tersebut banyak peneliti maupun ilmuwan saling bersaing untuk mendapatkan material yang baik dan mampu meningkatkan kinerja material. Salah satu bahan yang paling banyak dipakai pada perusahaan saat ini adalah aluminium paduan. Paduan aluminium pada bidang dirgantara digunakan sebagai material untuk badan dan sayap pesawat terbang yang mana membutuhkan paduan aluminium yang

memiliki berat yang lebih ringan agar dapat menghemat bahan bakar. Pada umumnya paduan aluminium yang digunakan di badan dan sayap pesawat terbang merupakan seri 2xxx atau 7xxx yang memiliki kekuatan tarik sekitar 400 – 500 MPa yang lebih kuat jika dibandingkan dengan paduan seri 5xxx yang memiliki kekuatan tarik sekitar 200 – 300 MPa [5]. Paduan aluminium seri 5xxx memiliki berat yang lebih ringan jika dibandingkan dengan paduan lainnya karena dipadukan dengan unsur magnesium namun memiliki kekuatan yang rendah sehingga kurang cocok digunakan untuk badan dan sayap pesawat terbang. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik dari paduan seri 5xxx agar dapat digunakan sebagai material untuk badan dan sayap pesawat terbang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka dapat dirumuskan beberapa perumusan masalah yang sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh dari penambahan Cu terhadap kekerasan, kekuatan, dan struktur mikro dari produk coran aluminium?
2. Bagaimana pengaruh variasi persen reduksi pengerolan dingin terhadap kekerasan, kekuatan, dan struktur mikro aluminium hasil proses pengecoran?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penambahan Cu dalam persen berat terhadap kekerasan, kekuatan, dan struktur mikro dari produk paduan aluminium magnesium.
2. Mengetahui pengaruh variasi persen reduksi pengerolan dingin terhadap kekerasan, kekuatan, dan struktur mikro dari produk paduan aluminium magnesium.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan adalah aluminium seri 5xxx dan seri 2xxx.
2. Melakukan pengecoran dengan tungku krusibel dan cetakan permanen berbahan baja.
3. Menggunakan variasi komposisi penambahan Cu sebesar 0,5%, 1%, 2%.
4. Penuangan pada cetakan baja.
5. Hasil produk coran dilakukan pengerolan dingin dengan variasi persen reduksi sebesar 10%, 20%, 30%.
6. Pengujian sampel yang dilakukan yaitu uji kekerasan *vickers*, uji tarik, dan pengamatan di bawah mikroskop optik.
7. Penelitian dilakukan di laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

1.5 Hipotesa Penelitian

Berdasarkan literatur didapatkan hipotesa awal yaitu :

1. Penambahan Cu pada paduan aluminium magnesium dapat memperkuat paduan yang disebabkan oleh penghalusan butir dan munculnya presipitat fasa kedua yang berupa Cu_2Mg dan Al_2CuMg .
2. Pengerolan dingin pada paduan aluminium magnesium dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan paduan yang disebabkan pergeseran dislokasi pada Paduan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri atas tiga bab. Bab I menjelaskan latar belakang penelitian yang berisikan pemanfaatan paduan aluminium dan kebutuhan untuk membuat paduan aluminium baru, perumusan masalah terdiri dari variasi penelitian yaitu penambahan Cu dalam persen berat serta variasi persen reduksi pengerolan dingin, tujuan penelitian berisikan tujuan penelitian secara umum dan khusus, hipotesa penelitian, tempat pengujian yang dilakukan dan lokasi penelitian dilaksanakan serta sistematika penulisan penelitian. Bab II menjelaskan tentang tinjauan pustaka yang mendukung literatur penentuan variabel dan variasi penelitian seperti aluminium, paduan aluminium, pengaruh penambahan unsur Cu dan pengerolan dingin pada paduan Al-Mg. Bab III menjelaskan mengenai metode penelitian yang digunakan yang digambarkan dengan diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, dan prosedur percobaan yang digunakan. Bab IV Hasil dan Pembahasan, bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh penambahan tembaga dan persen reduksi pengerolan dingin pada paduan Al-Mg yang disajikan dalam bentuk grafik,

tabel dan gambar yang dijelaskan secara terperinci dan membandingkan hasilnya dengan literatur yang ada. Bab V Kesimpulan dan Saran, bab ini menjelaskan tentang kesimpulan penelitian ini dan saran untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. N. Lumley, *Fundamentals of aluminium metallurgy: Production, processing and applications*. 2010.
- [2] T. Surdia and S. Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Edisi 2. Jakarta: Pradnya Paramita, 1985.
- [3] F. Mazzolani, *Aluminium Alloy Structures*. London: E & FN Spon, 1994.
- [4] J. Dwight, *Aluminium Design and Construction*. Canada: E & FN Spon, 1999.
- [5] J. R. Davis, *Alloying: understanding the basics*. ASM International: ASM International, 2002.
- [6] A. A. Aziz, "Skripsi: Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk, Komposisi dan Cacat Pengecoran Paduan Aluminium Flat Bar dan Limbah Kampas Rem dengan Menggunakan Cetakan Pasir dan Cetakan Hidrolik sebagai Bahan Komponen Jendela Kapal Afif," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, pp. 97–103, 2017.
- [7] Y. S. Irawan, *Material Teknik*. Malang: Universitas Brawijaya, 2012.
- [8] A. Norman, "Skripsi: Pengendalian Struktur Austenit Terhadap Nukleasi Ferit Pada Proses Canai Panas Baja C-Mn," FT UI, 2010.
- [9] S. Aldiansyah, Anam, "Skripsi: Pengaruh Kuat Arus, Logam Pengisi, dan Artificial Aging terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan TIG Paduan Aluminium 6061," 2022.
- [10] Kalpakjian and Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, Sixth. New York: Pentice Hall, 2009.
- [11] P. Rahayu, "Skripsi: Pengaruh Temperatur Preheating Cetakan Permanen Terhadap Porositas dan Mikrostruktur Coran Paduan Aluminium," FT Universitas Brawijaya, 2018.
- [12] M. A. Fallah, "Skripsi: Studi pengaruh kombinasi komposisi 0,02 wt. % Sr dan 0,063, 0,083 dan 0,108 wt. % Ti terhadap karakteristik paduan aluminium AC4B hasil proses low pressure die casting (LPDC)," FT UI, 2009.
- [13] J. Campbell, *Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design*, First. Oxford: Elsevier Ltd, 2015.

- [14] A. Ludwig, M. Wu, and A. Kharicha, "On Macrosegregation," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 46, no. 11, pp. 4854–4867, 2015.
- [15] F. Abdillah, "Tesis: Perlakuan Panas Paduan Al-Si Pada Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas," Universitas Diponegoro, 2010.
- [16] W. F. . Smith, J. Hashemi, and F. Presuel-Moreno, *Foundations of Materials Science and Engineering, Sixth Edition*. Toronto: Mc Graw Hill, 2019.
- [17] O. Engler, C. D. Marioara, T. Hentschel, and H. J. Brinkman, "Influence of copper additions on materials properties and corrosion behavior of al mg alloy sheet.pdf," *J. Alloys Compd.*, vol. 710, pp. 650–662, 2017.
- [18] H. Watanabe, K. Ohori, and Y. Takeuchi, "Superplastic Behavior Of Al-Mg-Cu Alloys," *Trans. Iron Steel Inst. Japan*, vol. 27, no. 9, pp. 730–733, 1987.
- [19] B. Zhang, P. K. Liaw, J. Brechtel, J. Ren, X. Guo, and Y. Zhang, "Effects of Cu and Zn on microstructures and mechanical behavior of the medium-entropy aluminum alloy," *J. Alloys Compd.*, vol. 820, p. 153092, 2020.
- [20] P. I. Gouma, D. J. Lloyd, and M. J. Mills, "Precipitation processes in Al-Mg-Cu alloys," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 319–321, pp. 439–442, 2001.
- [21] Z. Zhu and M. J. Starink, "Solution strengthening and age hardening capability of Al-Mg-Mn alloys with small additions of Cu," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 488, no. 1–2, pp. 125–133, 2008.
- [22] Z. Jin and P. K. Mallick, "Effect of cold work on the tensile and fatigue performance of aluminum alloy 5754," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 15, no. 5, pp. 540–548, 2006.
- [23] B. Wang, X. H. Chen, F. S. Pan, J. J. Mao, and Y. Fang, "Effects of cold rolling and heat treatment on microstructure and mechanical properties of AA 5052 aluminum alloy," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 25, no. 8, pp. 2481–2489, 2015.
- [24] ASM International, *ASM Metal Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*, vol. 2. USA: ASM International, 1990.