

**ANALISIS MICRO STRUKTUR ALUMINIUM 3004  
BERDASARKAN PROSES QUENCHING  
MENGUNAKAN PELEBURAN  
BERBAHAN BAKAR  
OLI**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**EVAN ROLAND GIRSANG**

**218130026**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**2025**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 6/5/26

Access From (repositori.uma.ac.id)6/5/26

**ANALISIS MICRO STRUKTUR ALUMINIUM 3004  
BERDASARKAN PROSES QUENCHING  
MENGUNAKAN PELEBURAN  
BERBAHAN BAKAR  
OLI**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

**Oleh:**

**EVAN ROLAND GIRSANG**

**218130026**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 6/5/26

Access From (repositori.uma.ac.id)6/5/26



## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Evan Roland Girsang  
NPM :218130026  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis


Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif ( *Non-exclusif Royalty-Free Right* ) atas karya ilmiah saya yang berjudul : ANALISIS MICRO STRUKTUR ALUMINIUM 3004 BERDASARKAN PROSES QUENCHING MENGGUNAKAN PELEBURAN BERBAHAN BAKAR OLI

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencatumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai milik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sbenarnya.

Dibuat di, Medan :

Pada tanggal : 18 Januari 2025

Yang menyatakan



(.....)

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan pada tanggal 19 Juli 2003 dari ayah England Girsang dan ibu Riamin Br Manullang. Penulis merupakan putra pertama dari anak pertama. Penulis ingin banyak bercerita tapi karena sebagai seseorang laki-laki tidak boleh banyak bercerita.

Tahun 2021 penulis lulus dari SMK TELADAN MEDAN dan pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Pada tahun 2024, penulis melaksanakan praktek kerja lapangan ( PKL ) di PT PERKEBUNAN NUSANTARA II, jalan Glang, Kec. Pagar Merbau, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara.



## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi media *quenching* terhadap struktur mikro aluminium 3004 hasil pengecoran. Material utama yang digunakan berasal dari daur ulang kaleng minuman bekas yang dilebur menggunakan tungku berbahan bakar oli bekas. Proses pengecoran dilakukan dengan menuangkan aluminium cair ke dalam cetakan, yang kemudian diikuti dengan tiga variasi metode pendinginan (*quenching*), yaitu menggunakan media oli, air, dan udara (pendinginan alami dalam cetakan). Struktur mikro material diamati untuk memahami bagaimana laju pendinginan mempengaruhi pembentukan butir dan distribusi fasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan media pendingin secara signifikan menghasilkan karakteristik struktur mikro yang berbeda pada aluminium 3004. Laju pendinginan yang lebih cepat (seperti pada media air) cenderung menghasilkan butiran yang lebih halus dibandingkan dengan pendinginan lambat menggunakan media udara. Analisis ini memberikan wawasan penting bagi industri manufaktur dalam mengoptimalkan kualitas material aluminium melalui kontrol proses pendinginan pasca-pengecoran.

**Kata Kunci:** Aluminium 3004, *Quenching*, Struktur Mikro, Pengecoran, Oli Bekas.

## ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of various quenching media on the microstructure of cast aluminum 3004. The primary material used is recycled beverage cans melted using a furnace fueled by used oil. The casting process involves pouring molten aluminum into a mold, followed by three variations of quenching methods: oil, water, and air (natural cooling in the mold). The microstructure of the material was observed to understand how the cooling rate affects grain formation and phase distribution. The results show that different cooling media significantly differ in the microstructural characteristics of aluminum 3004. Faster cooling rates (such as those using water) tend to produce finer grains compared to slower cooling using air. This analysis provides important insights for the manufacturing industry in optimizing aluminum material quality through post-casting cooling process control.

**Keywords:** Aluminum 3004, Quenching, Microstructure, Casting, Used Oil.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karunia nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Dengan judul Analisa Micro Struktur Pengecoran AL-3004

Terima kasih penulis sampaikan kepada Yopan Rahmad Aldori, ST, MSc. Selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran. Di samping itu terima kasih juga kepada teman-teman yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapkan terima kasih juga sampaikan kepada ayah, ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan dukungannya

Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi ini. Penulis berharap tugas akhir/skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih .

Penulis



Evan Roland Girsang

NPM. 218130026

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAN SEMINAR HASIL.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS.....</b>	<b>v</b>
<b>AKHIR/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>v</b>
<b>RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumus Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Hipotesis Penelitian.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. Manfaat Penelitian.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB II TUJUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Pengecoran Aluminium.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Material Aluminium 3004.....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Jenis Kaleng Aluminium.....	7
<b>2.3 Metode Pengecoran Aluminium.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Peleburan Aluminium.....</b>	<b>9</b>
2.4.1 Peleburan Kaleng Aluminium Menggunakan Kompor Bahan Bakar Oli Bekas.....	10
2.4.2 Kontrol Kualitas Peleburan Aluminium.....	11
<b>2.5 Mikro Struktur Hail Pengecoran.....</b>	<b>11</b>
2.5.1 Pembentukan struktur mikro.....	12
2.5.2 Karakteristik struktur ukuran butir.....	12
2.5.3 Pengaruh laju pendinginan.....	13
2.5.4 Hubungan mikro struktur dengan sifat mekanik.....	15

2.5.5	Mengidentifikasi perubahan struktur.....	15
<b>2.6</b>	<b>Pendinginan Aluminium.....</b>	<b>16</b>
<b>2.7</b>	<b>Metode-metode pendinginan.....</b>	<b>17</b>
2.7.1	Pendinginan udara.....	17
2.7.2	Pendinginan air.....	19
2.7.3	Pendinginan oli.....	20
<b>2.8</b>	<b>Quenching.....</b>	<b>21</b>
2.8.1	Media pendingin air.....	22
2.8.2	Media pendinginan oli.....	23
2.8.3	Media pendinginan udara.....	24
<b>2.9</b>	<b>Aplikasi quenching pada aluminium.....</b>	<b>25</b>
<b>2.10</b>	<b>Pembacaan Mikro struktur.....</b>	<b>26</b>
<b>2.11</b>	<b>Persiapan Sampel.....</b>	<b>26</b>
<b>2.12</b>	<b>Teknik esta.....</b>	<b>26</b>
<b>2.13</b>	<b>Interpretasi hasil pengamatan.....</b>	<b>27</b>
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>29</b>
<b>3.1.</b>	<b>Waktu Tempat Penelitian.....</b>	<b>29</b>
3.1.1.	Tempat.....	29
3.2.2.	Waktu.....	29
<b>3.2</b>	<b>Bahan dan Alat.....</b>	<b>30</b>
3.2.1	Bahan.....	30
3.3.2	Alat.....	33
<b>3.3</b>	<b>Metode Penelitian.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4</b>	<b>Populasi dan Sample.....</b>	<b>38</b>
<b>3.5.</b>	<b>Prosedur Kerja.....</b>	<b>39</b>
<b>3.6.</b>	<b>Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>40</b>
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Proses Peleburan Kaleng Aluminium.....</b>	<b>42</b>
4.1.1	Persiapan Bahan Baku.....	42
4.1.2	Persiapan Tungku dan Crucible.....	43
4.1.3	Proses Pemanasan dan Peleburan.....	43

4.1.4	Perlakuan Logam Cair.....	44
4.1.5	Proses Penuangan.....	45
4.1.6	Hasil Peleburan Kaleng Aluminium.....	45
4.1.6	Variasi Perlakuan Pendinginan.....	46
4.1.7	Karakteristik Laju Pendinginan.....	47
<b>4.2</b>	<b>Proses Treatment/Pendinginan.....</b>	<b>48</b>
4.2.1	Mekanisme Pembentukan Struktur Mikro Selama Pendinginan.....	48
4.2.2	Karakteristik Media Pendinginan.....	48
<b>4.3</b>	<b>Proses Pengambilan Sample.....</b>	<b>51</b>
4.3.1	Pemotongan Spesimen.....	51
4.3.2	Prosedur Pemotongan.....	52
4.3.3	Penghalusan Permukaan.....	53
4.3.4	Finishing dengan Autosol.....	54
4.3.5	Hasil Preparasi Sampel.....	54
<b>4.4</b>	<b>Hasil Pengamatan Mikrostruktur.....</b>	<b>56</b>
<b>4.4</b>	<b>Analisis Perbandingan Mikrostruktur Berdasarkan Media Quenching.....</b>	<b>58</b>
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>		<b>60</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran.....</b>	<b>61</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>62</b>
<b>LAMPIRAN 1.....</b>		<b>79</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Jadwal Tugas Akhir.....	29
Tabel 3. 2. Data Populasi dan Sample.....	39
Tabel 4.1 spesimen Tabel 4. 1 Spesimen A: Quenching Media Oli.....	49
Tabel 4. 2 Apesimen B: Quenching Media Air.....	50
Tabel 4. 3 Spesimen C: Quenching Media Udara ( pendinginan dalam cetakan ).....	50
Tabel 4. 4 Perbandingan Ukuran Butir dan Karakteristik Presipitat.....	59



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Material Kaleng Aluminium 3004.....	8
Gambar 2. 2 Proses Pengecoran Aluminium.....	8
Gambar 2. 3 Peleburan Aluminium.....	10
Gambar 2. 4 Mikroskopis (a) 3004AL dan (b) 4044AL dari larutan NaCl 0,5%.....	13
Gambar 2. 5 Efek Laju Pendingin.....	14
Gambar 2. 6 Kekuatan Versus Suhu layanan Maksimum Untuk Paduan Aluminium dan Bahan Struktual Tertentu.....	17
Gambar 2. 7 Skema FSP di Bawah Pendinginan Udra Bertekanan.....	18
Gambar 2. 8 Pendinginan Air Ilustrasi Skematik FSP Yang Terendam.....	19
Gambar 3. 1 Aluminium 3004.....	30
Gambar 3. 2 Oli Bekas.....	31
Gambar 3. 3 Quenching Air.....	31
Gambar 3. 4 Oli.....	32
Gambar 3. 5 Pendinginan Alami di Dalam Cetekan.....	32
Gambar 3. 6 Keller's Reagent.....	33
Gambar 3. 7 Ethanol.....	33
Gambar 3. 8 Tungku Peleburan.....	34
Gambar 3. 9 Cetakan Pasir.....	35
Gambar 3. 10 Thermometer AT1650.....	35
Gambar 3. 11 Wadah Stainless.....	36
Gambar 3. 12 Gergaji Besi.....	36
Gambar 3. 13 Ragum.....	37
Gambar 3. 14 Mesin Poles dan Amplas Metalografi.....	37
Gambar 3. 15 Mikroskop Optik.....	37

Gambar 4. 1 Kaleng Aluminium 3004 yang Sudah di Potong.....	42
Gambar 4. 2 Persiapan dan Peleburan.....	43
Gambar 4. 3 Proses Pemanasan dan Peleburan.....	44
Gambar 4. 4 Proses Pengadukan Aluminium Cair Menggunakan Sendok.....	44
Gambar 4. 5 Proses Penuangan Aluminium Cair.....	45
Gambar 4. 6 Hasil Peleburan Kaleng Aluminium 3004.....	45
Gambar 4. 7 Proses Quenching Oli di Wadah Stainless.....	46
Gambar 4. 8 Proses Quenching Air di Wadah Stainless.....	47
Gambar 4. 9 Proses Quenching Udara/Diamkan Dalam Cetakan.....	47
Gambar 4. 10 Hasil Pemotongan Spesimen Aluminium.....	52
Gambar 4. 11 Gambar Hasil Pemotongan Aluminium Menggunakan Gergaji Besi.....	52
Gambar 4. 12 Proses Penghalusan Menggunakan Kertas Pasir.....	54
Gambar 4. 13 Proses Penghalusan menggunakan Autosol.....	54
Gambar 4. 14 Sepesimen Aluminium ( Quenching Oli ).....	55
Gambar 4. 15 Sepesimen Aluminium ( Quenching Air ).....	55
Gambar 4. 16 Sample Aluminium ( Quenching Udara/Dalam Cetkan).....	56
Gambar 4. 17 Mikro Struktur Aluminium 3004 Dengan Quenching Oli Pada Pembesaran 20x dan 100x.....	56
Gambar 4. 18 Mikro Struktur Aluminium 3004 Dengan Quenching Air Pada Pembesaran 20x dan 100x.....	57
Gambar 4. 19 Mikro Struktur Aluminium 3004 Dengan Quenching Udara Pada Pembesaran 20x dan 100x.....	58

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Paduan aluminium 3004 Al, Mn dan Mg merupakan paduan yang tidak dapat diolah dengan panas, yang sebagian besar terdiri dari mangan dan magnesium. Paduan ini banyak digunakan dalam industri otomotif, pengemasan, dan bangunan karena kekuatannya yang tinggi, ketahanan korosi yang tinggi, dan kemampuan mesin yang baik. Aluminium yang merupakan sekitar 8% dari semua elemen dalam kerak bumi adalah paduan logam luar biasa yang kepentingannya menduduki peringkat kedua setelah paduan besi sebagai hasil dari kekuatan terhadap fraksi kepadatan, fraksi kepadatan terhadap berat, konduktivitas, stabilitas suhu rendah, reflektivitas, tidak beracun, ketangguhan, kekuatan spesifik, kemampuan las, ketahanan korosi, kemampuan bentuk, ketahanan benturan dan daur ulang (Birbilis NT, Muster TH dan Buchheit RG 2011).

Aluminium digunakan dalam bidang yang luas, bukan hanya untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi-konstruksi yang lain. Untuk mendapatkan peningkatan kekuatan mekanik, biasanya logam aluminium dipadukan dengan unsur Cu, Si, Mg, Ti, Mn, Cr, Aluminium tersebut, dapat dilakukan dengan mengubah atau menganalisa sifat mekanis dan fisiknya. Sedangkan dari sifat fisiknya yaitu dimensi, konduktivitas listrik, struktur mikro, densitas, dan lain-lain. Banyaknya permintaan bahan yang bermacam-macam, Sedangkan sumber biji Aluminium semakin berkurang untuk saat ini. Maka untuk mendapatkan sifat mekanis yang lebih baik dari sebelumnya dari aluminium, maka dilakukan proses (*heat treatment dan Dirrect quenching*), yang kemudian akan

dilakukan uji kekerasan (briene) dan mikro struktur untuk mengetahui sifat fisik dari Aluminium setelah perlakuan dan sebelum perlakuan (Muttaqin 2019).

Oleh karena itu, mengendalikan struktur mikro dan tekstur memiliki signifikansi teknologi yang besar untuk mencapai sifat mekanik yang unggul dari paduan aluminium 3004. Paduan Aluminium telah berkembang sebagai kelas penting dengan kinerja tinggi dan memiliki kepadatan rendah serta konduktivitas termal yang tinggi (Park dkk 2008). Paduan Al-Mn-Mg 3004 konvensional semakin banyak digunakan dalam industri pengemasan untuk badan kaleng minuman karena ketahanannya terhadap korosi, kemampuan bentuk, dan daur ulangnya. Wadah aluminium memiliki berbagai kegunaan, termasuk kaleng minuman, botol, dan kaleng aerosol. Kaleng minuman menunjukkan tingkat daur ulang yang mengesankan hingga 95%, sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, yang menganjurkan praktik konsumsi dan produksi yang berkelanjutan (Deuser 2021).

Namun, dengan pesatnya perkembangan dan kemajuan industri manufaktur, ada peningkatan permintaan untuk pengecoran paduan aluminium. Persyaratan untuk manufaktur, proses pencetakan, dan efisiensi produksi juga terus meningkat. Selama beberapa metode pengecoran konvensional, efisiensi produksi sangat diuji karena turbulensi lelehan dan oksidasi pengecoran selama peleburan dan pemadatan, yang memengaruhi akurasi dimensi, struktur mikro, dan kualitas akhir produk (A.A. Luo, AK Sachdev, D. Apelian 2022). Selain itu, pada tingkat industri otomotif dan kedirgantaraan, di mana bobot ringan dan kekuatan spesifik tinggi sangat penting, permintaan untuk produk paduan aluminium dengan struktur mikro yang homogen dan halus cukup mengesankan (S.S., H.L. Peng, B.X. Dong, T.S. Liu, dkk 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mikro struktur hasil pengecoran Aluminium 3004 guna memahami pengaruh proses pengecoran terhadap sifat mekanik dan ketahanan materialnya. sehingga dapat meningkatkan kualitas material yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti manufaktur, otomotif, dan konstruksi.

## 1.2 Rumus Masalah

Proses pengecoran berperan penting dalam menentukan mikro struktur akhir dari Aluminium 3004. Perubahan dalam kecepatan pendinginan, suhu tuang, dan jenis cetakan dapat menghasilkan variasi ukuran butir, distribusi fasa, dan porositas dalam material. Berikut rumusan masalah pada penelitian ini adalah yaitu:

- a) Melakukan pendinginan berdasarkan waktu menjadi suhu kamar
- b) Menganalisa mikro struktur sample terhadap metode pendinginan

## 1.3 Tujuan penelitian

Mikro struktur suatu material memiliki peran penting dalam menentukan sifat mekaniknya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memahami bagaimana proses pendinginan mempengaruhi mikro struktur Aluminium 3004 serta dampaknya terhadap sifat mekanik material. Berikut tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

- a) Mengetahui mikro struktur aluminium 3004 berdasarkan pendinginan
- b) Mengetahui berapa lama waktu suhu kamar berdasarkan metode pendinginan

## 1.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka dan penelitian terdahulu, mikro struktur hasil pengecoran Aluminium 3004 sangat dipengaruhi oleh parameter pengecoran, seperti suhu tuang dan laju pendinginan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji bagaimana variasi suhu pengecoran mempengaruhi mikro struktur dan sifat mekanik Aluminium 3004. Dengan demikian, hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a.) Metode pendinginan yang berbeda akan menghasilkan karakteristik mikro struktur yang berbeda pada aluminium 3004.
- b.) Variasi waktu pendinginan hingga suhu kamar akan mempengaruhi pembentukan struktur mikro pada aluminium 3004.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan bagi industri manufaktur dalam mengoptimalkan proses pengecoran Aluminium 3004 untuk meningkatkan kualitas material yang dihasilkan. Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Memberikan pemahaman lebih mendalam tentang pengaruh waktu pendinginan terhadap pembentukan struktur mikro aluminium 3004
- b) Menambah referensi ilmiah tentang hubungan antara metode pendinginan dan karakteristik mikro struktur pada proses pengecoran Al-3004
- c.) Hasil penelitian ini dapat dijadikan sumber referensi bagi peneliti yang relevan.

## BAB II

### TUJUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pengecoran Aluminium

Paduan aluminium merupakan material ringan utama yang memiliki sifat mekanik unggul, dapat dibentuk, tahan terhadap korosi dan dapat didaur. Karena karakteristik tersebut, paduan aluminium banyak digunakan di berbagai bidang termasuk otomotif, pesawat terbang, konstruksi, dan peralatan dapur. Paduan aluminium umumnya diproduksi dengan cara pengecoran, ekstrusi, dan penggulangan ulang (M. Yilirim dan D. Ozyurek 2013).

Secara umum, ketika paduan aluminium diproduksi melalui proses pengecoran, cacat pengecoran (pori gas dan pori penyusutan) mudah terjadi yang dapat menurunkan sifat mekanis paduan, karena hal ini menyebabkan fraktur dan retak lelah. Di sisi lain, jika paduan aluminium diproduksi dengan cara penggulangan atau pengestruksian, ia dapat menghasilkan mikro struktur yang relatif homogen dan terkendali serta sifat mekanis yang unggul, tetapi waktu dan biaya produksinya meningkat seiring dengan diterapkannya proses penambahan (H. Mayer, M. Papakyriacou, B. Zettl dan SE Stanzl-Tschegg 2003).

Namun, pengecoran aluminium rentan terhadap cacat seperti pori gas dan pori penyusutan, yang dapat menurunkan sifat mekanis akibat terbentuknya fraktur dan retak lelah. Untuk mengurangi cacat ini, parameter pengecoran seperti suhu tuang yang optimal (biasanya 650-710°C untuk Al 3004. Di sisi lain, jika paduan aluminium diproduksi melalui metode ekstrusi atau penggulangan ulang, mikro struktur yang lebih homogen dan terkendali dapat dihasilkan, meningkatkan sifat mekanisnya. Namun,

metode ini membutuhkan biaya dan waktu produksi yang lebih tinggi karena melibatkan proses tambahan seperti perlakuan panas dan pengerolan bertahap untuk mencapai sifat material yang diinginkan. Berikut di bawah ini metode pengecoran aluminium.

## 2.2 Material Aluminium 3004

Material aluminium telah menjadi salah satu bahan logam yang sangat penting dan luas digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi. Kepopuleran aluminium dapat dilihat dari sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi, dan memiliki konduktivitas listrik yang baik. Selain itu, sifat-sifat mekanisnya yang memadai membuat aluminium menjadi pilihan utama dalam industri otomotif, penerbangan, konstruksi, dan elektronik. Meskipun memiliki banyak keunggulan, aluminium juga memiliki kelemahan dalam hal kekuatan mekanis yang relatif rendah. Oleh karena itu, penelitian yang berkaitan dengan metode penguatan aluminium sangat penting untuk meningkatkan performa dan daya tahan material ini dalam aplikasi yang semakin Beragam (B. Budiarto, D. Antonius, and B. A. Putra 2020).

Metode penguatan aluminium menjadi fokus utama dalam penelitian material, karena hal ini dapat membantu mengatasi kelemahan kekuatan mekanisnya. Terdapat berbagai teknik penguatan yang dapat diterapkan pada aluminium, seperti penguatan paduan, pengerutan dingin, perlakuan panas, dan penggabungan dengan serat komposit. Setiap metode memiliki efek yang berbeda pada sifat mekanis dan mikro struktur aluminium, sehingga pemahaman mendalam tentang masing-masing teknik penguatan sangat lah penting (A. Zulfia, R. Juwita, A. Uliana, I. N. Jujur, and J. Raharjo 2010).

Aluminium merupakan termasuk ke dalam logam non ferro yaitu logam yang unsur penyusunnya tidak mengandung unsur besi. Penggunaan aluminium sebagai

logam setiap tahunnya berada pada urutan kedua setelah besi dan baja. Aluminium merupakan unsur non ferrous yang paling banyak terdapat di bumi yang merupakan logam yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah di bentuk baik melalui proses pembentukan maupun permesinan, dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam (T. Surdia and S. Saito 1999). Aluminium bekas yang didaur ulang mengkonsumsi energi dalam produksi sebesar 5% sehingga dapat menghemat energy sebesar 95% dibandingkan dengan aluminium primer (George 1969)

### 2.2.1 Jenis Kaleng Aluminium

Penggunaan aluminium daur ulang direkomendasikan untuk mendapatkan manfaat lingkungan dan ekonomi dari bahan sekunder daripada bahan primer. Oleh karena itu, ekstrusi impak dari paduan aluminium daur ulang misalnya, 3104, 3105, 3004, 3003, 3013, dan 3103 (Siles 2022)

Mengenai bahan aluminium daur ulang, dapat digunakan skrap kaleng minuman bekas (UBC), yang mengacu pada logam yang dikumpulkan yang diperoleh dari kaleng minuman yang dibuang. Skrap aluminium UBC ini biasanya terdiri dari campuran berbagai paduan aluminium; badan kaleng (AA3004) dan ujung kaleng (AA5182). Skrap UBC mungkin memerlukan proses penghancuran serta penghilangan cat atau penghilangan pernis sebelum dicairkan (Felberbaum 2021) .



Gambar 2. 1 Material Kaleng Aluminium 3004

### 2.3 Metode Pengecoran Aluminium

Proses pengecoran strip yang mampu memproduksi pelat secara langsung dari kolam cair sedang diterapkan. Pengecoran strip diketahui memberikan laju pendinginan yang lebih cepat dibandingkan dengan proses pengecoran lainnya, dan dengan demikian dapat menghasilkan struktur mikro yang halus. Selain itu, pengecoran strip rol ganda dapat mencapai efek pemadatan dan penggulangan panas secara bersamaan. Oleh karena itu, proses pengecoran strip rol ganda dapat mengurangi cacat pengecoran (pori gas dan pori penyusutan) dari proses pengecoran konvensional (HW Kim, JH Cho, CY Lim dan SB Kang 2010). Proses pengecoran dituang ke dalam cetakan yang telah terlebih dahulu di panaskan ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 2 Proses Pengecoran Aluminium

Teknologi pengecoran yang mapan, seperti pengecoran dingin-langsung (DC) dan turunannya, tetap menjadi metode yang disukai untuk memproduksi sebagian besar produk aluminium cor. Dapat diperkirakan bahwa tren ini akan bertahan di masa depan. Namun, dengan pesatnya perkembangan dan kemajuan industri manufaktur, ada peningkatan permintaan untuk pengecoran paduan aluminium (P. Thomas 2016)

Saat ini, suku cadang otomotif seperti roda, lengan kontrol, bodi mobil, dll adalah bagian berbentuk besar dan kompleks. Dan bagian-bagian yang diproduksi oleh proses pengecoran yang berbeda, seperti LPDC, pengecoran tekanan balik dan die casting tekanan tinggi.

## 2.4 Peleburan Aluminium

Aluminium dan paduannya menunjukkan sifat mekanik dan karakteristik pengecoran yang luar biasa, menjadikannya sebagai salah satu logam yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Tungku peleburan aluminium merupakan salah satu yang paling boros energi, memainkan peran penting dalam operasi pemrosesan aluminium, menempati hampir sepertiga dari keseluruhan konsumsi energi (Q. Yue dkk 2015 dan P. Józwiak dkk 2019). Peleburan adalah fenomena utama yang terjadi dalam tungku peleburan aluminium, pembakaran gas alam menyediakan panas untuk transisi fase aluminium (T. Yamamoto dkk 2018).

Studi pada multi proses kompleks yang digabungkan untuk tungku peleburan aluminium berpusat di sekitar proses perpindahan panas melalui berbagai pendekatan simulasi numerik. Misalnya, proses pembakaran dan perpindahan panas yang digabungkan dalam AMF telah dipelajari oleh (Nieckele et al 2011). Mengungkapkan bahwa bahan bakar, oksidan, dan mode injeksi yang berbeda memberikan efek besar pada peleburan aluminium (Solovjov et al 2015).

Sifat-sifat aluminium sekunder yang sangat baik biasanya dicapai di dalam tungku besar yang dipanaskan dengan gas alam di rumah pengecoran aluminium. Setelah aluminium dicairkan di dalam "tungku peleburan", aluminium dipindahkan ke "tungku penampungan", di mana suhunya dijaga tetap konstan. Tungku penampungan aluminium dengan ruang berbentuk kotak besar sering digunakan untuk menyimpan aluminium cair untuk pemurnian dan pemrosesan paduan. Semua jenis tungku penampungan aluminium merupakan perangkat yang sangat boros energi (J Bahaya Mater tahun 2007). Berikut di bawah ini proses peleburan aluminium di tunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Peleburan Aluminium

#### 2.4.1 Peleburan Kaleng Aluminium Menggunakan Kompor Bahan Bakar Oli Bekas

Peleburan aluminium menggunakan bahan bakar oli bekas memiliki temperatur api yang dihasilkan oli bekas memiliki perbedaan kurang lebih 200 °C. Kompor oli bekas untuk peleburan aluminium sangat cocok dan biaya bahan bakarnya lebih murah, tetapi peleburan menggunakan kompor gas dengan bahan bakar oli bekas sangat lama prosesnya salah satu penyebabnya pembakaran tidak sempurna.

## 2.4.2 Kontrol Kualitas Peleburan Aluminium

Perlakuan panas berlebih dengan pendinginan leleh cepat adalah salah satu cara paling sederhana dan efektif untuk memperoleh struktur coran paduan berbutir halus dengan distribusi elemen paduan yang lebih seragam, yang memiliki efek positif pada struktur mikro dan makro coran dan, sebagai akibatnya, pada tingkat sifat mekanis yang dihasilkan. Meskipun ada beberapa keterbatasan yang terkait dengan peningkatan konsumsi energi, peningkatan durasi siklus teknologi dan pengurangan masa pakai wadah peleburan, efektivitas efek modifikasi pada struktur paduan selama perlakuan panas berlebih dalam banyak kasus tidak lebih rendah daripada saat menggunakan penyulingan butiran tradisional aksi kimia (Mater. Res. Express 2018).

## 2.5 Mikro Struktur Hail Pengecoran

Diketahui bahwa sifat mekanik paduan aluminium 3004 tergantung pada struktur mikro dan tekstur yang diperoleh selama proses pembuatan. Oleh karena itu, mengendalikan struktur mikro dan tekstur sangat penting untuk mencapai sifat mekanik yang unggul dari paduan aluminium 3004 (J.Y. Park dkk 2008).

Untuk menentukan sifat-sifat, beberapa elemen dapat ditambahkan ke paduan aluminium. Penambahan ini dapat bekerja menurut berbagai mekanisme pada struktur mikro dan sifat-sifat paduan. Mekanisme utama untuk perbaikan paduan cor meliputi penyempurnaan struktur mikro, baik dalam hal jarak lengan dendritik maupun butiran dendritik, modifikasi morfologi fase eutektik, yang mengarah pada penyempurnaan, globularisasi, dan distribusi homogen; modifikasi atau netralisasi intermetalik kaya besi (Fe), asalkan Fe adalah pengotor paling kritis dalam paduan Al cor, yang mendorong fase dengan karakter embritling ketika dikombinasikan dengan Al dan Si, dan promosi

presipitat, termasuk selama perawatan penuaan, yang dapat meningkatkan kekerasan, kekuatan, dan stabilitas termal (Kaufman, JG; Rooy 2004).

### 2.5.1 Pembentukan struktur mikro

Paduan Al-Si memiliki struktur mikro yang berbeda saat dituang melalui rute yang berbeda. Beberapa menunjukkan pemadatan terarah karena adanya riser, sedangkan yang lain memiliki orientasi dendritik acak dengan partikel fase sekunder yang tersebar secara heterogen. Proses pengecoran menjadi lebih efisien dengan kontrol yang lebih baik atas laju pemadatan, rentang pembekuan paduan, efektivitas runner, desain gating, ukuran pengecoran, suhu penuangan, dll (Procedia Manuf. 2017).

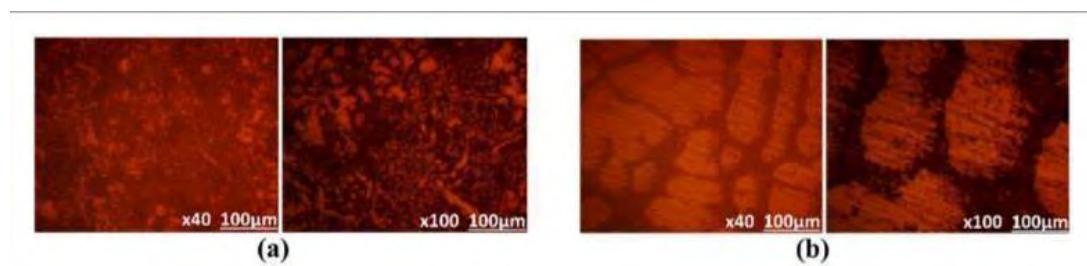
$\alpha$ -Al primer (dengan ~1,65% Si terlarut pada suhu eutektik) dipadatkan dalam bentuk dendrit non-segi dengan struktur Al-Si eutektik yang ada di antaranya. Al yang berstruktur kristal FCC dan Si berstruktur kristal kubik intan tidak membentuk senyawa intermetalik apa pun. Struktur eutektik bervariasi dalam morfologi, ukuran, dan distribusi, berdasarkan komposisi kimia dan laju pendinginan selama pembuatan paduan (Robles Hernandez 2017).

### 2.5.2 Karakteristik struktur ukuran butir

Batas butir terlihat jelas pada 4044Al karena adanya Si yang berkontribusi terhadap heterogenitas karakteristik mikro struktur dan metalurginya. Hal ini kontras dengan morfologi 3004Al yang hampir homogen karena kelarutan tinggi unsur paduan Mg dan kelarutan terbatas Mn yang bertanggung jawab atas pembentukan sebagian besar fase intermetaliknya.

Gambar 2.3 menunjukkan Kerusakan permukaan umum karena adanya aksi elektrokimia Cl<sup>-</sup> ion, meskipun struktur mikro homogen marginal dari 3004Al

bertanggung jawab untuk ini. Perlu dicatat bahwa pengamatan lebih dekat menunjukkan kerusakan juga terjadi pada beberapa batas butir.



Gambar 2. 4 Mikroskopis (a) 3004AL dan (b) 4044AL dari larutan NaCl 0,5%.

Gambar 2.3 menunjukkan Kerusakan permukaan umum karena adanya aksi elektrokimia Cl-ion, meskipun struktur mikro homogen marginal dari 3004Al bertanggung jawab untuk ini. Perlu dicatat bahwa pengamatan lebih dekat menunjukkan kerusakan juga terjadi pada beberapa batas butir (HusainiM 2018).

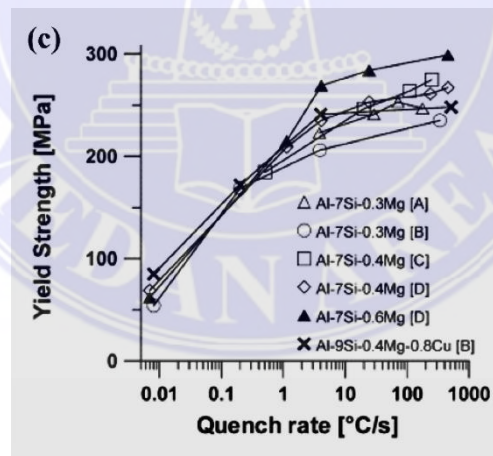
Analisis elektrokimia menunjukkan pembentukan lapisan pasif yang lemah pada permukaannya yang mudah hancur jika terkena ion klorida. Namun, jika terkena ion klorida dan sulfat, paduan tersebut menunjukkan ketahanan yang signifikan terhadap korosi umum. 3004Al mempertahankan lapisan pasifnya pada semua konsentrasi klorida karena sifatnya yang berkesinambungan dan kelarutan unsur-unsur paduannya. Paduan tersebut mengalami pengikisan yang stabil pada potensi yang umumnya sama.

### 2.5.3 Pengaruh laju pendinginan

Laju pendinginan yang lebih tinggi di dekat dinding cetakan menghasilkan butiran ekuaksial yang lebih halus, diikuti oleh pertumbuhan butiran kolom ke arah pusat lelehan. Saat gradien suhu menurun mendekati pusat lelehan, lebih banyak butiran ekuaksial yang terbentuk (J. Mater. Eng. Perform. 2019).

Hosch dan Napolitano 2010, mempelajari efek laju pendinginan dari 20 hingga 1000  $\mu\text{m/s}$  (dalam hal kecepatan tarikan) untuk pematatan paduan Al-12%Si dan mengamati bahwa UTS meningkat hingga 1000  $\mu\text{m/s}$ , sedangkan perpanjangan hingga patah meningkat hingga 600  $\mu\text{m/s}$ , dan kemudian menurun selama 1000  $\mu\text{m/s}$ . Model matematika yang efektif juga diusulkan oleh penulis berdasarkan aturan campuran komposit yang diperkuat partikulat, bersama dengan efek faktor tambahan, seperti tegangan yang diperlukan oleh dislokasi untuk mengatasi penghalang penguatan, efek gradien regangan isotropik karena GND (dislokasi yang diperlukan secara geometris), efek gradien regangan kinematik, dan ketidaksesuaian termal antara fase.

Faktor lain yang mempengaruhi struktur mikro paduan Al-Si setelah proses perlakuan panas adalah laju pendinginan setelah pelarutan. Ini juga dikenal sebagai sensitivitas laju pendinginan paduan, yang disebabkan oleh keberadaan partikel Si eutektik yang ditunjukkan pada gambar 2.4 (Tiryakioğlu 2007).



Gambar 2. 5 Efek Laju Pendingin

Dengan laju pendinginan untuk paduan Al-Si yang berbeda dirangkum oleh Sjölander dan Seifeddine 2010, pada skala semi-log. Sensitivitas pendinginan YS ( Gambar 9 c) meningkat pada paduan dengan konsentrasi Mg yang lebih tinggi ketika laju pendinginan antara 1–4  $^{\circ}\text{C/s}$ . Penurunan kekuatan setelah penurunan laju

pendinginan disebabkan oleh hilangnya kelebihan Si, yang menghasilkan fraksi volume presipitat  $\beta$  " yang lebih rendah.

#### 2.5.4 Hubungan mikro struktur dengan sifat mekanik

Sifat mekanis dari banyak paduan Al cor tampaknya ditingkatkan dengan penambahan penghalus butiran yang membentuk inti butiran baru, dan pada saat yang sama juga dapat berfungsi untuk mengurangi laju pertumbuhan butiran. Namun, karena banyaknya bidang selip yang tersedia untuk kisi aluminium berpusat muka-kubik (FCC) yang sempurna, manfaat apa pun dari hubungan Hall-Petch diperkirakan relatif buruk, hampir dapat diabaikan pada sebagian besar paduan.

Fakta bahwa selain manfaat untuk menghasilkan kekuatan, perpanjangan tarik hingga kegagalan juga meningkat secara signifikan, membuktikan bahwa hubungan Hall-Petch bukanlah faktor dominan dalam perubahan properti karena hubungan Hall-Petch tidak dapat menjelaskan peningkatan perpanjangan tarik. Hasil yang tidak terduga tetapi banyak diabaikan ini menunjukkan adanya faktor penting tambahan (Campbell 2015).

#### 2.5.5 Mengidentifikasi perubahan struktur

Selama pembentukan panas, proses evolusi dislokasi, rekristalisasi dinamis (DRX) dan pertumbuhan butir, dapat terjadi, disertai dengan evolusi dalam mikro struktur butir (area batas dan misorientasi). Mikro struktur yang berkembang ini menentukan perilaku aliran material. Pada suhu rendah, pembentukan dan pemulihan dislokasi memengaruhi perilaku pengerasan dan pelunakan yang terlihat pada kurva tegangan-regangan; perilaku ini dipahami dengan baik dan mengikuti teori plastisitas yang mapan. Dalam kondisi pembentukan panas, di mana suhu deformasi lebih tinggi dari  $0,3 \times$  suhu leleh absolut,  $T_m$  efek lain ikut berperan. Rekristalisasi dipicu oleh

pemulihan dinamis dislokasi, yang menyebabkan perubahan signifikan pada mikro struktur (Kamachali 2013).

## 2.6 Pendinginan Aluminium

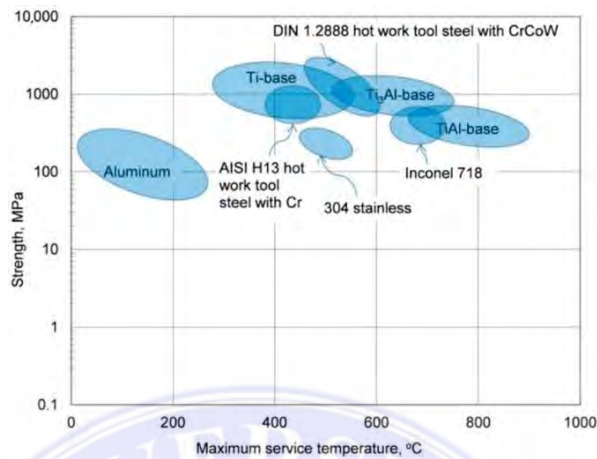
Suhu merupakan faktor penting lain yang mempengaruhi konduktivitas termal paduan aluminium. Selama perpindahan panas paduan aluminium, pembawa terdiri dari elektron dan fonon yang dominan, dan terdapat hambatan hamburan elektron–fonon, elektron–pengotor, fonon–elektron, fonon–fonon, dan fonon–pengotor. Suhu mempengaruhi tingkat hamburan dan dengan demikian konduktivitas termal paduan aluminium (Madelung 1999 dan Ziman 2001).

Meskipun biasanya dilihat sebagai "kemampuan material untuk mempertahankan sifat-sifatnya pada suhu yang diperlukan selama waktu layanan yang lama", dalam praktiknya, lebih banyak parameter utama yang memengaruhi stabilitas termal yang terlibat termasuk, selain suhu dan waktu, juga kondisi beban dan kondisi lingkungan. Definisi lain sebagai "ketahanan material terhadap perubahan sifat permanen yang disebabkan oleh panas" bahkan kurang akurat karena setelah pendinginan hingga suhu kamar, beberapa bagian sifat sering pulih, sedangkan

dalam suatu desain, sifat-sifat yang dipertahankan pada suhu layanan penting. Stabilitas termal juga didefinisikan sebagai "sifat" material yang mencirikan perubahan setelah paparan suhu tinggi dalam waktu lama.

Karena titik leleh aluminium rendah, 660,5 °C, stabilitas termal paduannya mencakup rentang suhu, yang jauh lebih rendah daripada bahan lain dengan titik leleh yang jauh lebih tinggi yang, tidak termasuk faktor korosif, dapat digunakan untuk menampung paduan aluminium cair, seperti yang ditandai secara skematis pada

Gambar 2.5. Dalam hal ini, istilah "paduan tahan panas" juga memiliki makna relatif ketika diterapkan pada mutu berbasis aluminium.



Gambar 2. 6 Kekuatan Versus Suhu layanan Maksimum Untuk Paduan Aluminium dan Bahan Struktural Tertentu

Variasi sifat paduan aluminium pada suhu dari kriogenik hingga lebih dari 400 °C berbeda dengan yang diamati pada material lain, seperti baja. Seperti pada material lain, intensitas perubahan sifat paduan aluminium yang berhubungan dengan suhu dipengaruhi oleh komposisi kimia dan mikro struktur awal, yang dikontrol, pada gilirannya, oleh rute pembuatan dan perawatan pasca-pembuatan (Matthews 1974).

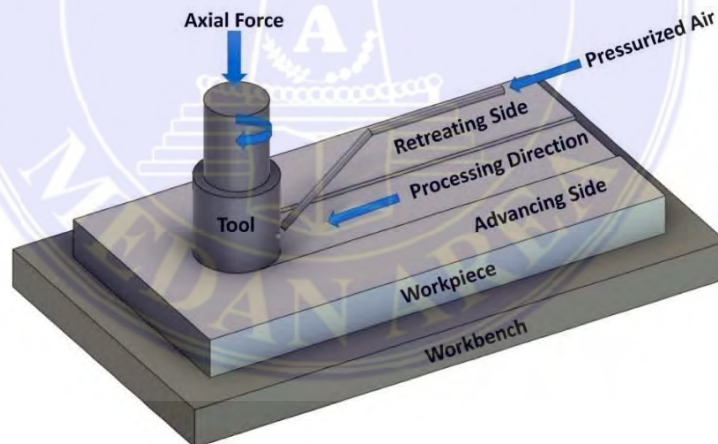
## 2.7 Metode-metode pendinginan

### 2.7.1 Pendinginan udara

Udara sering digunakan sebagai agen pendingin dalam teknologi FSP. Ini telah diselidiki oleh banyak peneliti. Karena kapasitas panas spesifiknya yang menguntungkan, ia dapat memberikan pendinginan yang efektif dengan pengurangan cepat suhu area yang dirawat. Salah satu alasan paling kuat untuk menggunakan udara sebagai media pendingin adalah karena harganya murah dan tidak memiliki kriteria

teknis yang harus dipenuhi agar dapat disimpan atau diangkut ke area pemrosesan (Zhang 2016).

Penggunaan udara sebagai bahan pendingin ramah lingkungan dan hemat biaya dibandingkan dengan metode pendinginan lainnya, menjadikannya pilihan populer di berbagai industri. Sampel berpendingin udara terkompresi ditemukan telah menunjukkan penyempurnaan butir yang baik sebesar  $3,0 \mu\text{m}$  dibandingkan dengan sampel yang didinginkan secara alami. Hal ini terutama disebabkan oleh peningkatan laju pendinginan  $0,48 \text{ }^\circ\text{C/s}$  yang diamati dalam kasus sampel udara terkompresi. Hal ini menghasilkan kinerja yang sangat baik dari perpanjangan super plastik sebesar 367% dibandingkan dengan 233% sampel yang didinginkan secara alami (Patel, Badheka, dan Akkireddy2019). Berikut pendinginan udara bertekanan ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2. 7 Skema FSP di Bawah Pendinginan Udra Bertekanan

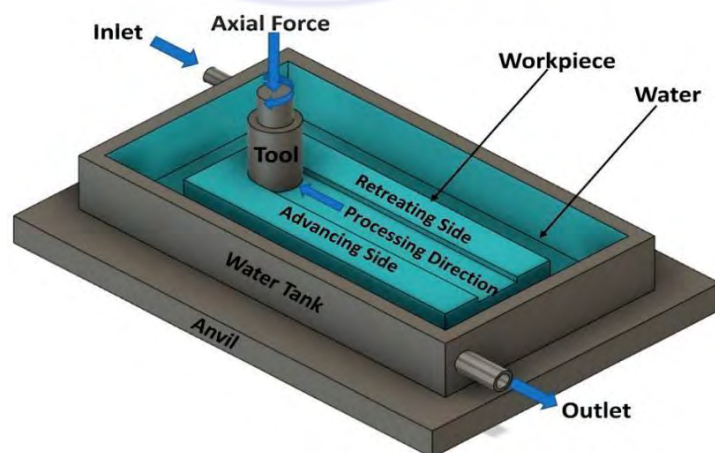
Sampel yang mengalami FSP yang dihasilkan menggunakan media pendingin memiliki ukuran rata-rata yang lebih kecil untuk partikel Si daripada spesimen yang mengalami FSP yang belum dibuat dengan menggunakan teknik pendinginan. Peningkatan laju pendinginan menyebabkan penurunan ukuran partikel Si rata-rata dan

peningkatan rasio aspek di zona yang gelisah. Kekerasan Vickers rata-rata (HV) sampel, yang mengalami FSP yang dihasilkan oleh pendinginan udara secara signifikan lebih tinggi daripada yang dihasilkan oleh pendinginan alami (Akbari, Khalkhali, Keshavarz dan Sarikhani 2018).

### 2.7.2 Pendinginan air

Sifat fisik air secara signifikan lebih unggul daripada udara dalam hal penggunaan keduanya sebagai media pendingin. Air memiliki kapasitas panas spesifik yang lebih tinggi daripada udara. Akibatnya, air mentransfer panas dengan lebih efisien. Jumlah air 1 L dapat mengekstraksi energi tiga ribu kali lebih banyak dari sistem daripada 1 L udara (Almoussa 2021).

Efektivitas pendinginan spesimen yang diaduk gesekan terasa lebih tinggi ketika metode perendaman air digunakan dibandingkan dengan pendinginan udara konvensional. Teknik pemrosesan perendaman ini digunakan untuk menyelidiki sifat kelelahan paduan AA6061 yang diproses oleh udara diam dan terendam FSP pada suhu kamar. Penyempurnaan ukuran butir yang sangat baik diamati dalam kasus FSP bawah air. Karena FSP melibatkan suhu tinggi, material operasional mengalami proses anil termal (Satyanarayana 2022). Berikut pendinginan air pada gambar 2.7.



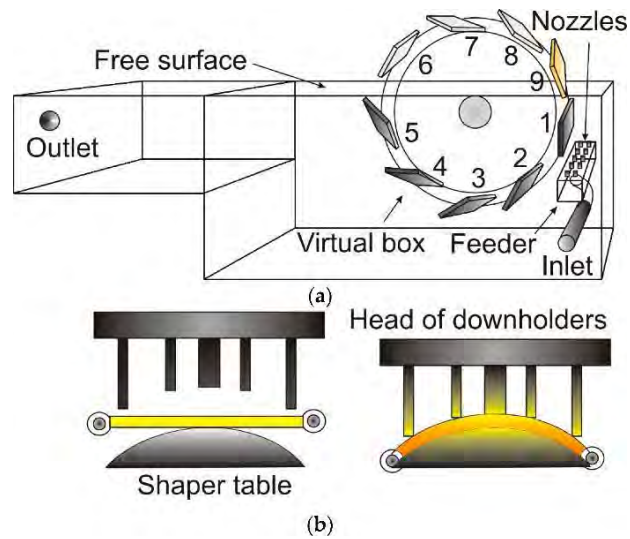
Gambar 2. 8 Pendinginan Air Ilustrasi Skematik FSP Yang Terendam

Kapasitas pendinginan dan ketersediaan air tidak akan terpengaruh oleh kotoran atau debu dengan cara apa pun karena merupakan sistem proses tertutup. Dengan semua keunggulan yang disebutkan di atas, salah satu kelemahan menggunakan air adalah kemampuannya untuk menimbulkan korosi pada bahan seperti baja dan Mg (Sipova 2023). Oleh karena itu, kehati-hatian harus diambil saat memilih air sebagai media pendingin selama FSP, terutama ketika berhadapan dengan bahan yang sangat rentan terhadap korosi dalam pengaturan berbasis air (Huang 2020).

### 2.7.3 Pendinginan oli

Oli yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain oli yang khusus digunakan sebagai bahan pendinginan pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan oli bakar atau oli. Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan sampel. Oli yang mempunyai viskositas lebih rendah memiliki kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas lebih tinggi karena penyerapan panas akan lebih lambat.

Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (oli) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari oli, sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja/besi. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak (S. Suyanto 2019). Skema pendinginan oli Di lihat pada gambar 2.8



Gambar 2. 9 (a) Skema pendinginan tangki oli Korsel diberi pegas daun pada posisi 9. (b) Urutan pembentukan pegas daun sebelum direndam dalam tangki.

Dalam persiapan untuk pendinginan, dua pegas daun lurus yang dipanaskan terlebih dahulu ditampung secara manual di meja pembentuk pada posisi 9 korsel. Kepala penahan bawah kemudian turun di atas pegas daun, menahannya di meja pembentuk, seperti yang ditunjukkan pada gambar Gambar 2.8 b. Korsel berputar dan menenggelamkan pegas dalam oli, berhenti di posisi nomor 1. Operator mengisi dua pegas daun lainnya di posisi 9 dan mengulangi prosesnya. Ada lima posisi korsel yang terbenam dalam oli lihat nomor 1 hingga 5 pada Gambar 2.8 a (López-García 2016).

## 2.8 Quenching

*Quenching* merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas. *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas ke dalam media pendingin. Dalam proses ini logam yang di *quenching* adalah logam paduan aluminium yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas ke dalam media pendingin. Pendingin dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan

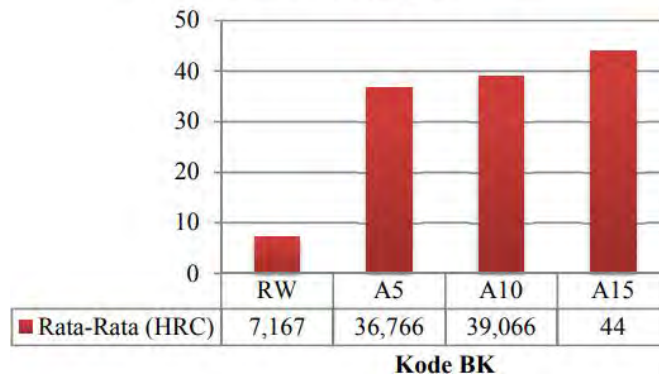
dilakukan *quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Pada tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang (Surdia, T. & Saito. 1992: 133-135).

Sebagian besar masalah penolakan bagian yang dikeraskan terkait dengan proses pendinginan dan disebabkan oleh desain perlakuan panas yang buruk; karena itu, dalam industri logam-mekanik, kontrol optimal dari proses pendinginan menjadi penting dalam mengurangi kerugian ekonomi (Šolić 2018). Desain proses pendinginan harus mempertimbangkan kontrol ketat dari variabel proses yang terlibat, seperti laju pendinginan, orientasi komponen selama perendaman, pengadukan media pendinginan, suhu bak pendinginan, dan geometri komponen, yang semuanya memengaruhi akurasi dimensi bagian yang dikeraskan (Da Silva 2012). Berikut ada 3 media *quenching*, yaitu :

### 2.8.1 Media pendingin air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi keras. Garam dapur merupakan senyawa yang tersusun dari asam kuat HCl dan basa kuat NaOH. Apabila unsur ini di reaksikan, maka akan terbentuk NaCl dan H<sub>2</sub>O. Hasil dari bahan tadi bila disatukan akan membentuk suatu larutan yang disebut larutan garam (Ahmad, 1996). Grafik media pendinginan air dapat dilihat di gambar 2.9.

## Media Pendingin Air



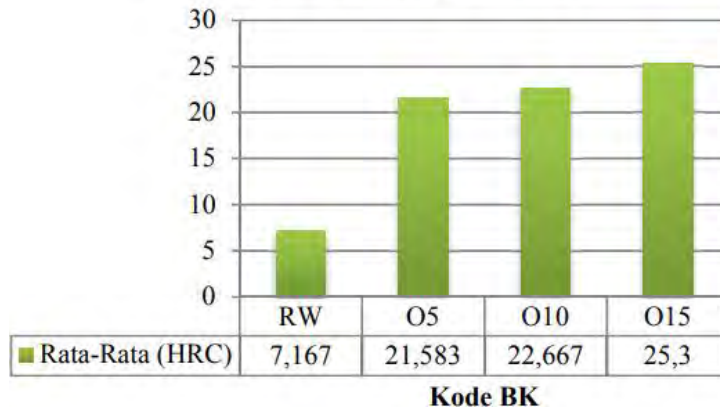
Gambar 2. 10 Grafik uji kekerasan pada media pendinginan air

terdapat grafik nilai uji kekerasan penelitian pada media pendingin air dengan waktu penahanan pendingin (5, 10, dan 15 menit) dari proses *quenching*. Dari grafik tersebut media air dengan waktu penahanan pendingin 5 menit (A5) dengan nilai rata-rata 36.767 HRC, pada media air dengan waktu penahanan pendingin 10 menit (A10) dengan nilai rata-rata 39.067 HRC, dan pada media air dengan waktu penahanan pendingin 15 menit (A15) dengan nilai rata-rata 44 HRC.

### 2.8.2 Media pendinginan oli

Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan sampel. Oli yang mempunyai viskositas lebih rendah memiliki kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas lebih tinggi karena penyerapan panas akan lebih lama (S. Suyanto 2019). Media pendinginan oli bisa dilihat pada gambar 2.10.

## Media Pendingin Oli



Gambar 2. 11 Grafik nilai uji kekerasan pada media pendingin oli

Terdapat grafik nilai uji kekerasan penelitian pada media pendingin oli dengan waktu penahanan pendingin (5, 10, dan 15 menit) dari proses *quenching*. Dari grafik tersebut media oli dengan waktu penahanan pendingin 5 menit (O5) dengan nilai rata-rata 21.583 HRC, pada media oli dengan waktu penahanan pendingin 10 menit (O10) dengan nilai rata-rata 22.667 HRC, dan pada media oli dengan waktu penahanan pendingin 15 menit (O15) dengan nilai rata-rata 25.3 HRC (Syaefudin, 2001).

### 2.8.3 Media pendinginan udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur – unsur lain dari udara (Ahmad, 1996).

## 2.9 Aplikasi quenching pada aluminium

Aluminium merupakan jenis logam terbanyak kedua yang digunakan setelah baja. Hal tersebut dikarenakan aluminium memiliki beberapa kelebihan, di antaranya adalah bobotnya yang ringan dan tahan terhadap korosi. Namun untuk aplikasi tertentu terutama aluminium murni terlalu lunak, sehingga kekuatan dan kekerasannya perlu ditingkatkan. Laku panas dan memadu aluminium murni dengan unsur padu merupakan dua cara yang bisa diterapkan untuk mengeraskan dan menguatkan aluminium murni. Perlakuan panas yang dikenakan pada aluminium bertujuan untuk menghasilkan ukuran butri yang lebih halus, serta memacu pembentukan precipitat yang berguna dalam menghambat dislokasi. Sementara itu untuk aluminium murni tidak efektif jika dikenakan laku panas, karena tidak mempunyai unsur pembentuk precipitat. Sehingga cara yang efektif untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium murni adalah dengan cara memadunya dengan unsur lain (Meier 2004).

Solutioning adalah proses mempertahankan suhu aluminium pada suhu sedikit di bawah suhu eutectic. Dengan proses ini precipitat yang ada akan larut dan membentuk larutan padat atau solid solution yang homogen dalam fase  $\alpha$ . *Quenching* adalah proses pendinginan secara cepat. Proses ini dilakukan dengan mencelupkan material ke dalam cairan pendingin berupa minyak atau air. Proses ini dilakukan untuk membentuk larutan padat yang sangat jenuh atau super saturated solid solution. Proses terakhir adalah penuaan atau aging. Proses ini dilakukan dengan menahan material pada suhu aging secara konstan selama waktu tertentu. Proses ini dilakukan untuk mencapai terbentuknya precipitat baru. Precipitat yang diharapkan adalah memiliki ukuran dan sebaran yang homogen. Sifat mekanik bahan akan meningkat dipengaruhi oleh terbentuknya precipitat tersebut (Zhang 2018).

## 2.10 Pembacaan Mikro struktur

Telah ditetapkan bahwa semua pengukuran dilakukan sebagai triplet pada setiap ketebalan. Untuk menyusun kurva transmisi, intensitas kuanta sinar- $\gamma$  yang tidak bertabrakan yang telah melewati lempengan pada ketebalan yang berbeda telah diukur dan dibandingkan dengan intensitas sinar datang tanpa adanya lempengan (faktor transmisi). Koefisien redaman linier ( $\mu$ ) dapat ditentukan dengan memplot hubungan antara logaritma natural dari faktor transmisi yang diperoleh dan ketebalan lempengan yang bervariasi. Nilai absolut kemiringan dapat diambil sebagai koefisien redaman linier (Masoud 2022).

## 2.11 Persiapan Sampel

Lembaran tersebut digiling dengan kertas ampelas dengan mutu yang berbeda, yaitu 180, 220, 280, dan 320, untuk menormalkan dan menyatukan kondisi permukaan sampel. Kemudian, lembar tersebut dipoles dengan aluminium oksida  $Al_2O_3$  1  $\mu m$  pada kain biliar dan akhirnya digetarkan secara ultrasonik untuk menghilangkan serpihan padat, Gambar 1. Sampel berbentuk kotak yang lebih kecil tanpa perlakuan awal permukaan dipotong untuk perlakuan panas dan pengamatan mikro struktur (Askeland 2003).

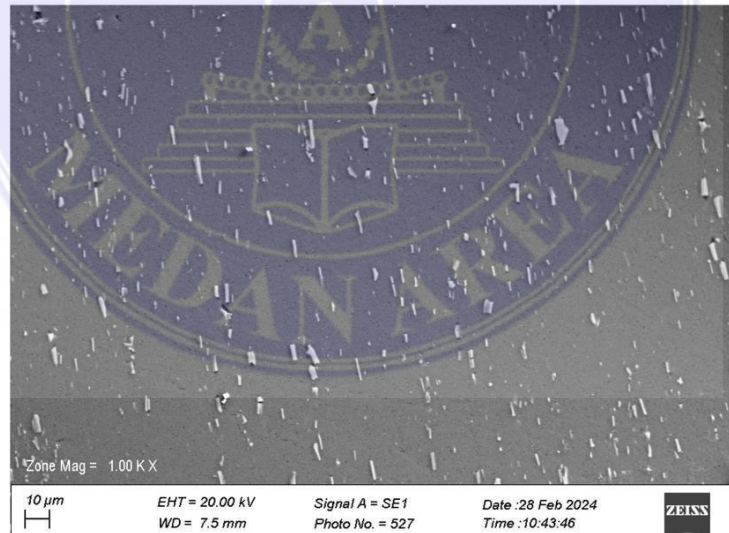
## 2.12 Teknik esta

Dengan paduan aluminium 3003 sebagai elektroda kerja Pengujian dilakukan dalam larutan asam asetat natrium klorida (NaCl) 50 g/L (dengan pH = 3,0–3,1). Sampel direndam dalam larutan elektrolit selama minimal 30 menit, kemudian potensi rangkaian terbuka (OCP) diukur hingga menjadi stabil. Semua pengujian elektrokimia lainnya dilakukan berdasarkan OCP yang stabil Spektroskopi impedansi elektrokimia (EIS) diuji untuk mengevaluasi perilaku korosi paduan dalam rentang frekuensi dari

100 KHz hingga 10 mHz. Kurva polarisasi potensi dinamis diukur untuk mengarakterisasi perilaku korosi paduan 3003 dalam keadaan homogen dan ekstrusi panas. Uji polarisasi potensiodinamik dilakukan dalam rentang potensial -0,6~0,4 V vs. OCP dengan kecepatan pemindaian 1,0 mV s<sup>-1</sup>: West (Conshohocken 2011).

### 2.13 Interpretasi hasil pengamatan

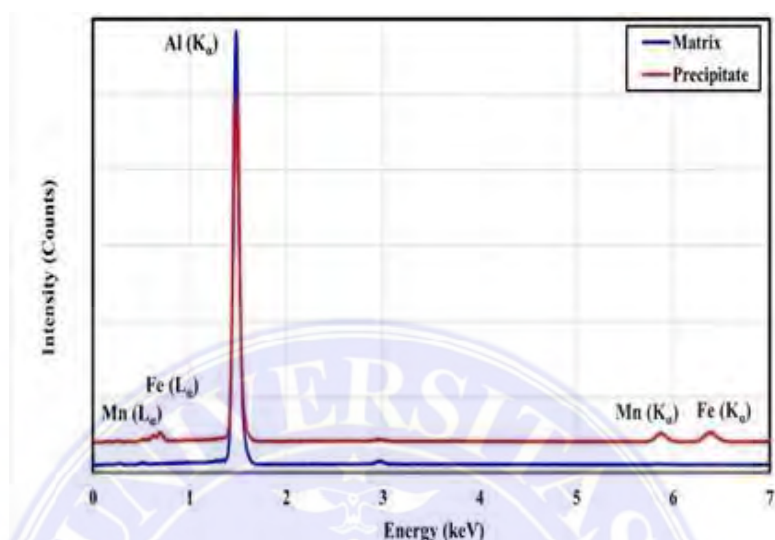
Struktur mikro dari paduan aluminium non-heat treatable tipe-3003 yang digulung ditunjukkan pada Gambar 2.11. Partikel fase kedua yang terdistribusi dalam bentuk-bentuk seperti pelat yang sejajar dengan arah penggulangan diamati dengan ukuran partikel yang relatif lebih kecil daripada partikel fase kedua yang terdeteksi dalam kasus paduan Al-2024. Selain itu, partikel-partikel ini memiliki fraksi volume yang lebih rendah daripada yang ditemukan dalam paduan Al-2024 dengan nilai 3,5%. Ditunjukkan mikro struktur pada gambar 2.11.



Gambar 2. 12 Mikrostruktur SEM dari paduan aluminium tipe-3003

Analisis titik residu ini mengungkapkan konsentrasi intens dari Fe dan Mn, sementara matriks menunjukkan tidak adanya elemen konstitusional lainnya kecuali aluminium. Hal ini dapat dengan mudah dijelaskan oleh kelarutan Fe dan Mn yang

relatif rendah dalam aluminium di mana mereka hampir tidak memiliki kelarutan pada suhu kamar seperti yang ditunjukkan dalam diagram fase Al-Fe dan Al-Mn. Berikut titik EDS pada gambar 2.12



Gambar 2. 13 Analisis titik EDS dari matriks dan endapan

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada rentang waktu yang telah direncanakan untuk memastikan kelancaran setiap tahapan, mulai dari pengumpulan data, pengujian material, hingga analisis hasil. Adapun pelaksanaan penelitian dilakukan di lokasi-lokasi yang memiliki fasilitas memadai sesuai dengan kebutuhan metode pengujian dan karakterisasi material yang digunakan.

##### 3.1.1 Tempat

Ada pun tempat pengujian eksperimen dilaksanakan di laboratorium pengujian bahan Teknik Mesin UNIMED

##### 3.2.2 Waktu

Adapun waktu penelitian diawali sejak tanggal di keluarkannya Surat Keputusan tugas akhir dan penentuan dosen pembimbing dengan detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3. 1. Jadwal Tugas Akhir

Aktivitas	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar
Pengajuan Judul	■						
Penulisan Proposal		■					
Seminar Proposal			■				
Proses Penelitian			■	■			
Pengolahan Data Penyelesaian Laporan				■	■		
Seminar Hasil						■	
Evaluasi dan persiapan Sidang							■
Sidang Sarjana							■

## 3.2 Bahan dan Alat

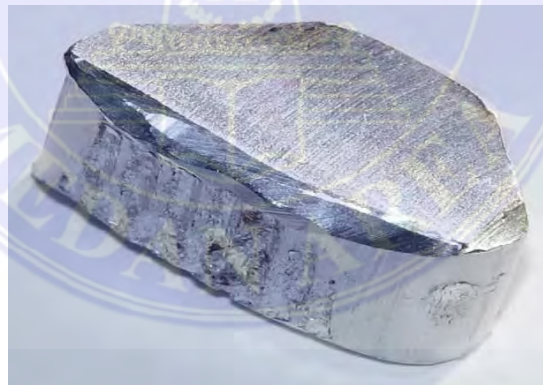
Dalam penelitian ini, digunakan berbagai peralatan dan bahan penunjang yang mendukung proses peleburan, perlakuan panas (quenching), serta analisis mikrostruktur terhadap material aluminium 3004. Adapun rincian alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

### 3.2.1 Bahan

Pada proses penelitian ini digunakan beberapa bahan uji yang dijabarkan sebagai berikut :

#### 1. Aluminium 3004

Aluminium 3004 adalah salah satu jenis paduan aluminium yang termasuk dalam kelompok paduan aluminium yang dapat dikeraskan dengan proses pemanasan dan pengerasan. Paduan ini memiliki beberapa karakteristik dan aplikasi yang membuatnya populer dalam berbagai industri. Bahan Aluminium 3004 bisa dilihat pada gambar 3.1. berikut ini



Gambar 3. 1 Aluminium 3004

#### 2. Oli bekas

Penggunaan oli bekas sebagai bahan bakar dipilih karena ketersediaannya yang melimpah, biaya yang relatif rendah, serta sifat termalnya yang mampu menghasilkan suhu tinggi yang dibutuhkan dalam proses peleburan logam.



Gambar 3. 2 Oli Bekas

3. Media quenching

Beberapa jenis media pendingin digunakan dalam penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap mikro struktur aluminium 3004, seperti:

a. Air

Air merupakan media quenching yang paling umum digunakan dalam berbagai proses perlakuan panas karena mudah diperoleh, tidak beracun, dan memiliki kapasitas panas spesifik yang tinggi.



Gambar 3. 3 Quenching Air

b. Quenching oli

Oli digunakan sebagai media quenching yang memberikan pendinginan lebih lambat dibandingkan air.



Gambar 3. 4 Oli

c. Udara (Pendinginan Alami di Dalam Cetakan)

Metode ini dilakukan dengan membiarkan logam mendingin secara perlahan di dalam cetakan tanpa menggunakan media pendingin eksternal.



Gambar 3. 5 Pendinginan Alami di Dalam Cetakan

#### 4. Bahan etsa (reagen metalografi)

Digunakan untuk memperjelas struktur mikro pada permukaan spesimen.

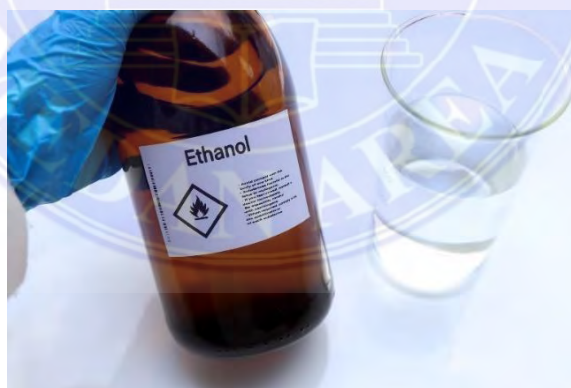
Reagen etsa disesuaikan dengan jenis logam, seperti Keller's reagent untuk aluminium.



Gambar 3. 6 Keller's Reagent

#### 5. Etanol

Digunakan untuk membersihkan spesimen setelah proses poles dan etsa.



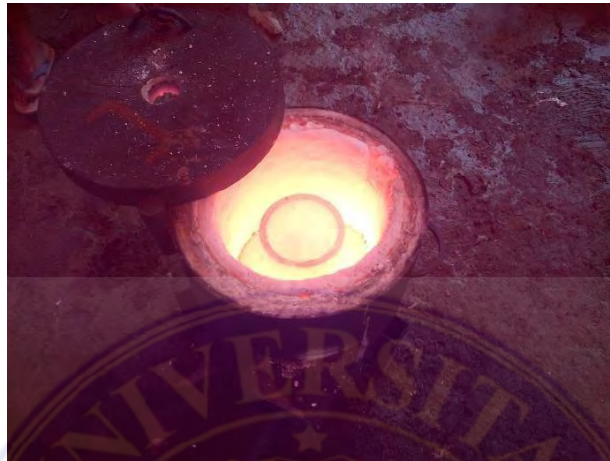
Gambar 3. 7 Ethanol

### 3.3.2 Alat

Adapun alat digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

## 1. Tungku peleburan

Tungku peleburan digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk meleburkan material aluminium hingga cair. Tungku peleburan dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 8 Tungku Peleburan

## 2. Crucible (Wadah Peleburan)

Wadah ini berfungsi untuk menampung logam aluminium selama proses pemanasan dalam tungku. Terbuat dari material tahan panas tinggi seperti grafit atau tanah liat tahan api, crucible menjaga kestabilan suhu dan mencegah kontaminasi pada aluminium.



Gambar 3. 8 Crucible

### 3. Cetakan Pasir

Cetakan pasir digunakan sebagai wadah untuk menampung logam aluminium cair setelah proses peleburan. Cetakan ini dibuat dari campuran pasir silika, tanah liat (bentonit), dan sedikit air untuk memberikan kekuatan dan kepadatan pada bentuk cetakan.



Gambar 3. 9 Cetakan Pasir

### 4. Thermometer AT1650

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu logam saat peleburan berlangsung, guna memastikan suhu berada pada kisaran yang tepat, yaitu sekitar 660–750 °C.



Gambar 3. 10 Thermometer AT1650

5. Wadah Quenching

digunakan untuk menampung media pendingin air dan oli.



Gambar 3. 11 Wadah Stainless

6. Gergaji besi

Digunakan untuk memotong spesimen aluminium hasil cor ke ukuran tertentu agar dapat dilakukan pengamatan mikro struktur.



Gambar 3. 12 Gergaji Besi

7. Ragum

Ragum digunakan untuk menjepit spesimen aluminium 3004 yang akan dipotong setelah proses quenching.



Gambar 3. 13 Ragum

8. Kain Poles dan Amplas Metalografi

Digunakan dalam tahap preparasi sampel sebelum diamati di bawah mikroskop.



Gambar 3. 14 Mesin Poles dan Amplas Metalografi

9. Mikroskop Optik

Digunakan untuk mengamati dan menganalisis struktur mikro pada spesimen aluminium setelah proses preparasi dan etsa.



Gambar 3. 15 Mikroskop Optik

### 3.3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam menjalani penelitian ini dijabarkan sebagai berikut.

1. Melakukan kajian pustaka terkait aluminium 3004, metode pengecoran, dan analisis mikrostruktur yang berasal dari jurnal maupun buku.
2. Menyiapkan bahan utama berupa aluminium 3004 serta alat seperti tungku peleburan, cetakan, mesin pemotong sampel, dan mikroskop SEM.
3. Melakukan pengecoran aluminium 3004 menggunakan metode die casting
4. Memotong sampel hasil pengecoran sesuai dengan standar pengujian mikrostruktur (ASTM E3)
5. Mengamati mikrostruktur sampel menggunakan mikroskop optik dan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk melihat fasa mikro, distribusi elemen, dan kemungkinan cacat pada struktur di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Medan Area.
6. Mengetahui sample hubungan antara mikro struktur dan hasil
7. Melakukan hasil pengamatan mikro struktur
8. Membuat laporan naskah seminar nilai dan laporan naskah sidang sarjana.

### 3.4 Populasi dan Sample

Pada penelitian ini menunjukkan populasi dan sampel Analisis Mikro Struktur Pengecoran Aluminium 3004.

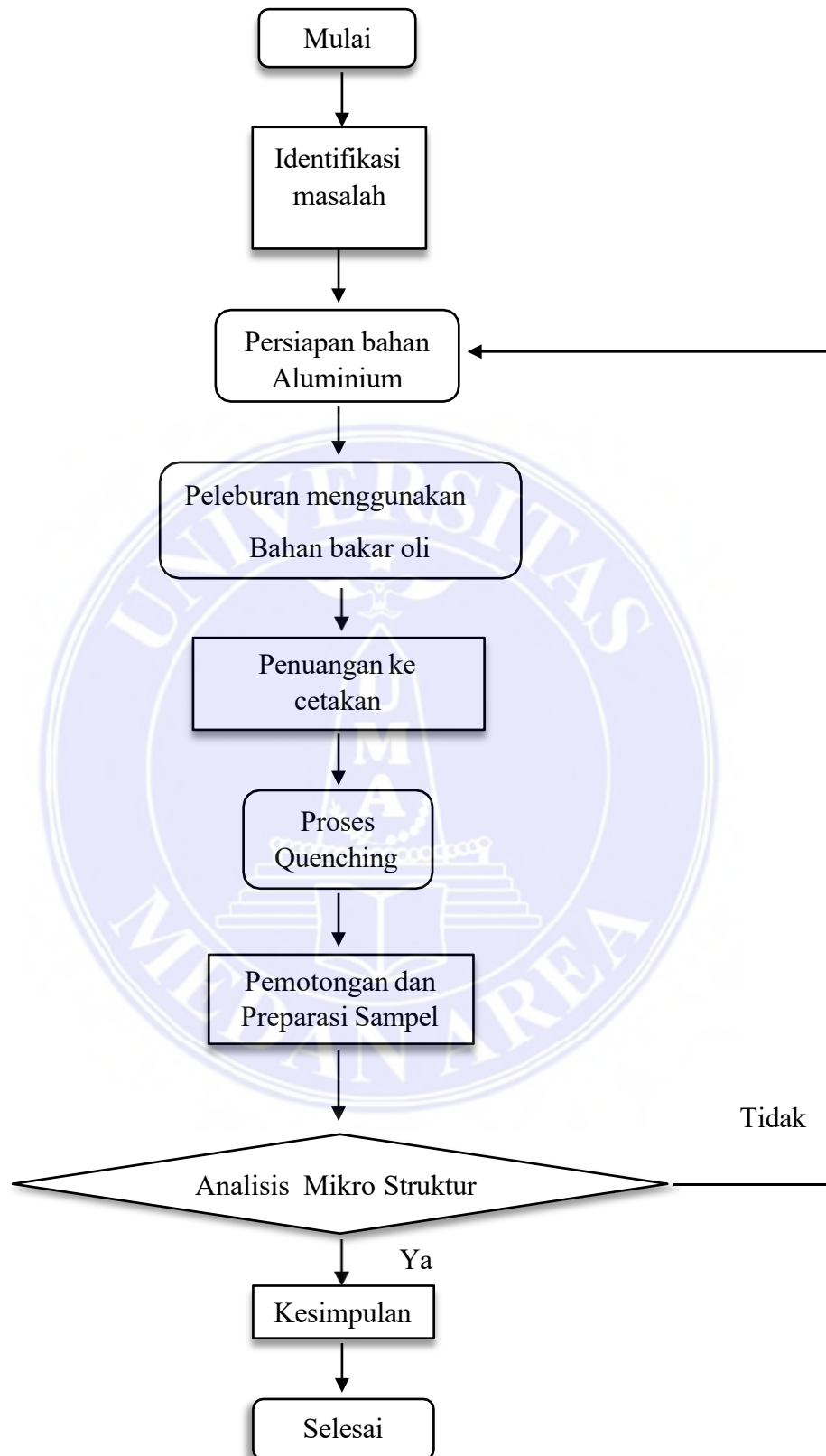
Tabel 3. 2. Data Populasi dan Sample

No	Jenis Populasi	Jenis cetakan	Suhu Pengecoran	Metode Penelitian	Teknik Analisis
1	Aluminium 3004	Logam	700	Udara	Mikroskop Optik
2	Aluminium 3004	Logam	700	Air	Mikroskop Optik
3	Aluminium 3004	Logam	700	oli	Mikroskop Optik

### 3.5 Prosedur Kerja

1. Menyiapkan Aluminium 3004 sebagai bahan utama, serta tungku peleburan, cetakan logam, mesin pemotong dan mikroskop ( Optik ).
2. Melakukan peleburan aluminium 3004 di tungku dengan suhu (700°C & 750°C) .
3. Menuangkan aluminium cair ke dalam cetakan logam, lalu melakukan pendinginan menggunakan udara, air, dan oli untuk menghasilkan variasi mikrostruktur.
4. Mengambil hasil pengecoran, memotong sampel dengan dimensi yang sesuai, lalu melakukan proses mounting, grinding, polishing, dan etsa agar siap untuk pengamatan mikrostruktur.
5. Mengamati sampel menggunakan Mikroskop Optik dan Scanning Electron Microscope (Optik) untuk mengidentifikasi fasa mikro, distribusi elemen, dan cacat mikrostruktur.
6. Menganalisis hasil pengamatan mikrostruktur untuk memahami pengaruh cetakan, suhu pengecoran, dan metode pendinginan terhadap kualitas hasil coran.
7. Analisis hasil data pengujian Pengecoran mikro struktur.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN

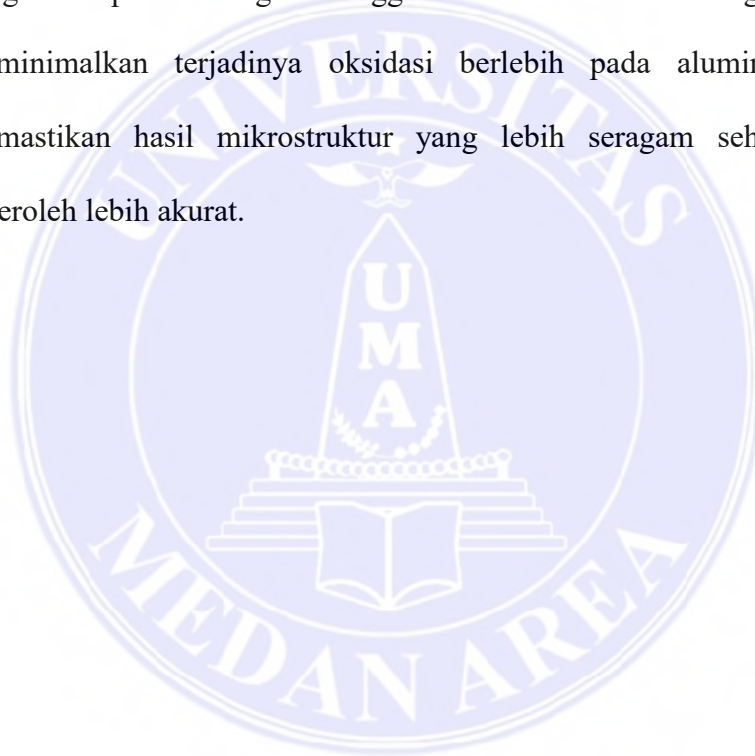
#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang analisis mikrostruktur aluminium 3004 berdasarkan proses quenching menggunakan peleburan berbahan bakar oli, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pendinginan lambat dalam cetakan mengoptimalkan pembentukan presipitat berukuran kecil yang terdistribusi merata, yang kemudian berperan sebagai agen penghalus butir (grain refiner) alami.
2. Aluminium 3004 hasil peleburan berbahan bakar oli memiliki karakteristik metalurgi khusus yang memungkinkan pendinginan lambat mengoptimalkan pembentukan mikrostruktur halus melalui mekanisme nukleasi dan distribusi presipitat yang terkontrol.

## 5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan variasi media pendingin yang lebih luas, misalnya menggunakan larutan garam, polimer, atau media pendingin dengan suhu terkontrol. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan yang lebih lengkap mengenai pengaruh laju pendinginan terhadap mikrostruktur aluminium 3004.
2. Dalam proses peleburan, sebaiknya dilakukan kontrol temperatur peleburan yang lebih presisi dengan menggunakan alat ukur suhu digital. Hal ini akan meminimalkan terjadinya oksidasi berlebih pada aluminium 3004 serta memastikan hasil mikrostruktur yang lebih seragam sehingga data yang diperoleh lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, A. (2017). Studi Eksperimen Pengaruh Perlakuan Quenching Dengan Variasi Pendingin Konsentrasi Air Garam Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Pada Baja ST 37. *Simetris*, 11(2), 34-42.
- Barrena-Rodríguez, M. D. J., González-Melo, M. A., Acosta-González, F. A., Alfaro-López, E., & García-Pastor, F. A. (2017). An efficient fluid-dynamic analysis to improve industrial quenching systems. *Metals*, 7(6), 190.
- Callegari, B., Lima, T. N., & Coelho, R. S. (2023). The influence of alloying elements on the microstructure and properties of Al-Si-based casting alloys: a review. *Metals*, 13(7), 1174.
- Campbell, J. (2021). A personal view of microstructure and properties of al alloys. *Materials*, 14(5), 1297.
- Dash, S. S., & Chen, D. (2023). A review on processing–microstructure–property relationships of Al-Si alloys: Recent advances in deformation behavior. *Metals*, 13(3), 609.
- Deev, V., Prusov, E., Ri, E., Prihodko, O., Smetanyuk, S., Chen, X., & Konovalov, S. (2021). Effect of melt overheating on structure and mechanical properties of Al-Mg-Si cast alloy. *Metals*, 11(9), 1353.
- Dwiaji, Y. C. (2023). Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas dan Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanis dan Mikrostruktur Aluminium 2024. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 3(2), 69-75.
- El-Samrah, M.G., Nabil, I.M., Shamekh, M.E. dkk. Struktur mikro dan kemampuan pelindung radiasi paduan Al-Cu dan Al-Mn. *Perwakilan Ilmiah* 14, 26721 (2024).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-76177-4>

- Ham, G. S., Euh, K. J., Rhyim, Y. M., & Lee, K. A. (2016). Effect of heat treatment on tensile and fatigue properties of Al 3527 K alloy manufactured by strip casting. *Materials Transactions*, 57(1), 78-83.
- Han, J., Dong, G., Li, S., Zheng, J., Wang, J., Li, H., ... & Bi, J. (2024). Uneven distribution of cooling rate, microstructure and mechanical properties for A356-T6 wheels fabricated by low pressure die casting. *Journal of Manufacturing Processes*, 127, 196-210.
- Hartawan, B. (2018). Analisis pengaruh perlakuan panas artificial aging pada aluminium magnesium silikon (Al-Mg-Si) yang dicor ulang terhadap sifat mekanis.
- Javidani, M., Nikzad Khangholi, S., & Chapdelaine, A. (2024). Processing Techniques and Metallurgical Perspectives and Their Potential Correlation in Aluminum Bottle Manufacturing for Sustainable Packaging Solutions. *Crystals*, 14(5), 434.
- Khakbaz, F., & Kazeminezhad, M. (2012). Work hardening and mechanical properties of severely deformed AA3003 by constrained groove pressing. *Journal of Manufacturing Processes*, 14(1), 20-25.
- Körbahti, B. K., Aktaş, N., & Tanyolac, A. (2007). Optimization of electrochemical treatment of industrial paint wastewater with response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 148(1-2), 83-90.
- Lee, J. K., Lee, S. P., Lee, J. S., Lee, S., Jo, I., & Bae, D. S. (2020). Change of microstructure and hardness of duo-casted Al3003/Al4004 clad material during extrusion process. *Metals*, 10(12), 1648.
- Lopez-Garcia, R. D., Medina-Juárez, I., & Maldonado-Reyes, A. (2022). Effect of quenching parameters on distortion phenomena in AISI 4340 steel. *Metals*, 12(5), 759.

Loto, R. T., & Solomon, M. M. (2021). Corrosion resistance and passivation behavior of 3004 AlMnMg and 4044AlSi aluminum alloys in acid-chloride electrolytes. *Materials Research Express*, 8(9), 096529.

Muttaqin, I., & Noor, I. (2019). Analisa mikrostruktur dan uji kekerasan brinell pada aluminium scrap dengan menggunakan media pendingin air santan pada temperatur berbeda. *Journal of Industrial Engineering and Operation Management (JIEOM)*, 2(1).

Patel, M. S., Immanuel, R. J., Rahaman, A., Khan, M. F., & Jouiad, M. (2024). Critical review on advanced cooling strategies in friction stir processing for microstructural control. *Crystals*, 14(7), 655.

Qiu, L., Feng, Y., Chen, Z., Li, Y., & Zhang, X. (2018). Numerical simulation and optimization of the melting process for the regenerative aluminum melting furnace. *Applied Thermal Engineering*, 145, 315-327.

Wang, J. M., Lan, S., & Li, W. K. (2014). Numerical simulation and process optimization of an aluminum holding furnace based on response surface methodology and uniform design. *Energy*, 72, 521-535.

Wu, X., Guan, Z. P., Yang, H. Y., Dong, B. X., Zhang, L. C., Meng, J., ... & Jiang, Q. C. (2024). Sub-rapid solidification microstructure characteristics and control mechanisms of twin-roll cast aluminum alloys: A review. *Journal of Materials Research and Technology*.

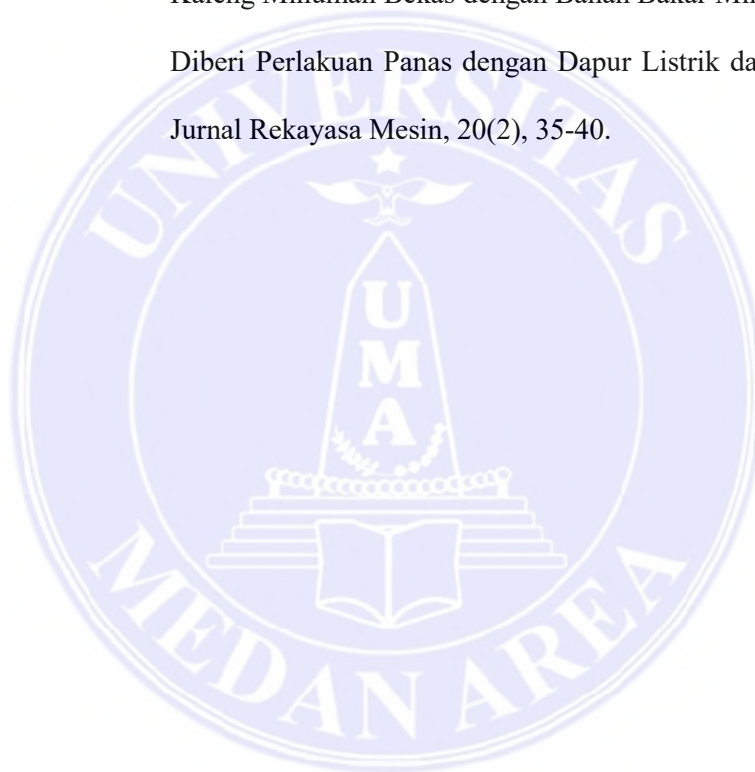
Yan, H., Xie, H., Zheng, W., & Liu, L. (2024). Numerical simulation of combustion and melting process in an aluminum melting Furnace: A study on optimizing stacking mode. *Applied Thermal Engineering*, 245, 122840.

Zhang, A., & Li, Y. (2023). Thermal conductivity of aluminum alloys—a review. *Materials*, 16(8), 2972.

Zheng, W., Ni, C., Xia, C., Deng, S., Jiang, X., & Xu, W. (2024). High-Temperature Mechanical Properties and Microstructure of Ultrathin 3003mod Aluminum Alloy Fins. *Metals*, 14(2), 142.

Shieddieque, A. D. (2024). PENGARUH VARIASI MEDIA QUENCHING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO MATERIAL PADUAN Al-Si-Cu-Fe. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 13(2).

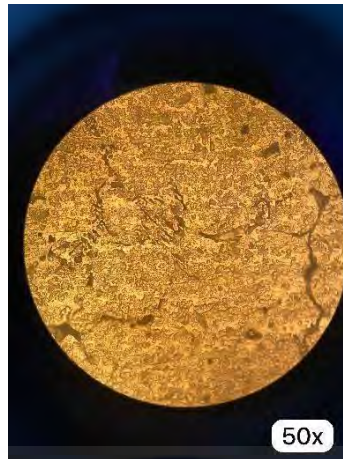
Panghurian, M. N., & Nukman, N. (2020). Uji Sifat Mekanik Hasil Peleburan Aluminium Kaleng Minuman Bekas dengan Bahan Bakar Minyak Pelumas Bekas Diberi Perlakuan Panas dengan Dapur Listrik dan Tungku Krusibel. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 20(2), 35-40.



## Lampiran 1



(a)



(b)



(c)

Gambar Mikro Struktur Aluminium 3004 Dengan Quenching (a) Oli, (b) Udara dan (c) Air Pada Pembesaran 50x dan



(A)

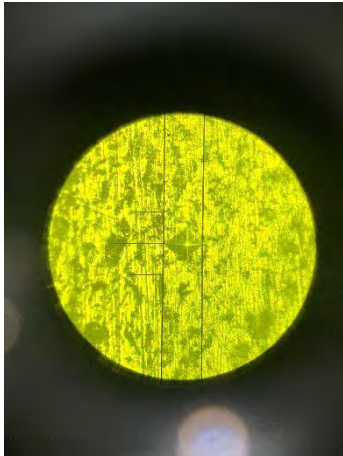


(B)



(C)

Dokumentasi Gambar Dan Hasil Pengambilan Data Di Laboratorium Pengujian Material Di Univeritas Negeri Medan



(A)

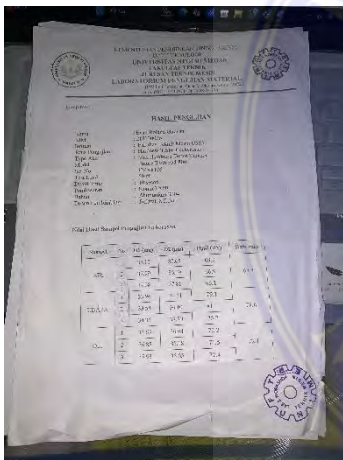


(B)



(C)

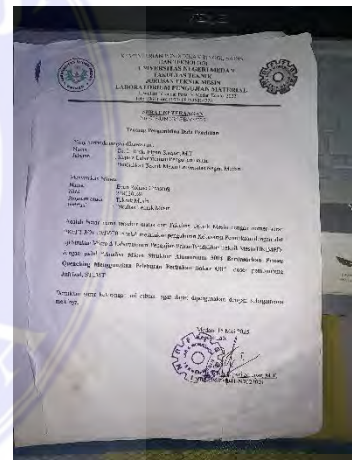
Dokumentasi Gambar Pengambilan Ukuran Butir Menggunakan Mikro Hardness Pada Ketiga Sample Dan Hasil Akhirnya



(A)



(B)



(C)

Pada gambar a, hasil penelitian mikro meter pada ketiga sample aluminium 3004 dari laboratorium unimed, untuk gambar b, hasil analisis mikro struktur pada pembesaran x20, x50 dan x100 dan gambar c, surat selesai pengambilan data dari laboratorium unimed