

**PENGARUH *ARTIFICIAL AGING* KOMPOSIT Al 6061  
DENGAN PENGUAT ALUMINA (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) HASIL PROSES  
*THIXOFORMING***



**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan Strata-1 (S1)  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disusun Oleh:

**Sheikhan Azmi Riyanto**

**331200045**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN**

**2024**

## TUGAS AKHIR

**Pengaruh Artificial Aging Komposit A1 6061 Dengan Penguat Alumina (Al2O3) Hasil Proses Thixoforming**

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

**Sheikhan Azmi Riyanto**  
3331200045

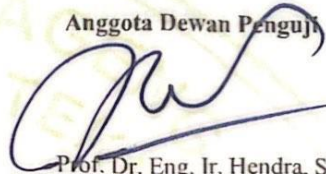
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 16 Agustus 2024

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Eng. A. Ali Alhamidi, ST., MT.  
NIP.197312131999031001

Anggota Dewan Penguji



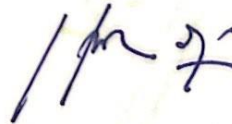
Prof. Dr. Eng. Ir. Hendra, S.T., M.T  
NIP.197311182003121000



Shofiatul Ula, M/Eng.  
NIP. 198403132019032009



Miftahul Jannah, S.T., M.T.  
NIP. 199103052020122000



Prof. Dr. Eng. A. Ali Alhamidi, ST., MT.  
NIP.197312131999031001

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Tanggal, 29 Agustus 2024  
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.  
NIP.198305102012121006

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Sheikhan Azmi Riyanto

NIM : 3331200045

Judul : PENGARUH ARTIFICIAL AGING KOMPOSIT AI 6061 DENGAN PENGUAT  
ALUMINA (AI<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) HASIL PROSES THIXOFORMING

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

### MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.



Cilegon, Agustus 2024

Sheikhan Azmi Riyanto

3331200045

## KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya lah sehingga saya dapat menyelesaikan laporan skripsi berjudul “Pengaruh *Artificial Aging* Komposit Al 6061 Dengan Penguat Alumina ( $Al_2O_3$ ) Hasil Proses *Thixoforming*”.

Tujuan dalam pengerjaan laporan ini adalah untuk memenuhi kewajiban tugas akhir/skripsi. Selain itu juga, laporan ini sebagai tujuan menambah wawasan tentang pengaruh *artificial aging* dan *thixoforming* dalam melakukan inovasi terbaru ataupun dunia bekerja nanti bagi pembaca dan juga penulis. Dalam mencapai laporan ini dengan hasil yang maksimal, saya sangat berterimakasih karena telah memberikan pengarahan penyusunan tugas akhir yang baik kepada:

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2. Bapak Prof. Dr. Eng A. Ali Alhamidi, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 1, yang senantiasa memberikan ilmu dan bimbingan selama penelitian hingga laporan ini dibuat.
3. Ibu Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing 2, yang selalu memberikan bimbingan dan arahan selama penelitian dan perkuliahan.
4. Bapak Prof. Dr. Eng Ir, Hendra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan berlangsung.
5. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
6. Seluruh jajaran dosen dan staf Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
7. Narendra Putra Vendana, Tristan Verill Adam, Ghifari Arifianto, Muhammad Farrel Ludira, Muhammad Naufal Hanif yang menemani dan saling membantu selama penelitian berlangsung.
8. Seluruh teman-teman Teknik Mesin angkatan kapal (2020) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

9. Kedua orang tua saya Toto Riyanto dan Safariyah, yang selalu mendoakan dan memotivasi sejak awal perkuliahan hingga selesainya laporan tugas akhir, serta adik saya Syafika Azalia Riyanto yang selalu mendoakan.

Saya juga mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan semuanya, terimakasih atas bantuannya sehingga saya bisa menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Saya sangat menyadari bahwa laporan yang saya buat masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya minta kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan ini.

Cilegon, Agustus 2024

Penulis

## ABSTRAK

Komposit adalah bahan berbeda-beda yang menjadi suatu material, yang dimana setiap bahan mempertahankan identitasnya. Mengambil nilai positif dari bahan tersebut dan mengurangi negatifnya dengan beberapa perlakuan yang dilakukan dalam membuat material komposit. *Thixoforming* proses pembentukan komposit dengan cara memanaskan sampai suhu *semi-solidnya* setelah itu menekannya, sehingga butir-butir terdistribusi secara merata. Sehingga material akan lebih kuat dan ulet. Setelah pembentukan melalui *thixoforming*, dilanjutkan dengan perlakuan *artificial aging*. Sebelum *aging* dilakukan *solutioning* pada temperatur 550 °C dengan waktu tahan 30 menit. Setelah itu menyeting temperatur *aging* yaitu 190 °C dengan variasi waktu tahan 1,2, dan 3 jam. *Artificial aging* dilakukan untuk mempercepat laju munculnya presipitat pada material komposit, adapun keuntungannya kekerasan material meningkat. Disebabkan karena presipitat tersebut dapat mengurangi dislokasi pada antar butirnya. Setelah dilakukan *artificial aging*, material komposit dilakukan pengujian impak, kekerasan dan metalografi. Hasil uji impak terbaik pada waktu tahan 3 jam dengan nilai 0.059 J/mm<sup>2</sup>, pada waktu tahan 2 jam mendapatkan nilai 0.0392 J/mm<sup>2</sup>, dan pada waktu tahan 1 jam dengan nilai 0.031 J/mm<sup>2</sup>. Pada pengujian kekerasan hasil terbaik pada waktu tahan 3 jam yaitu 49.6 HRB, pada waktu tahan 2 jam mendapatkan nilai 43.4 HRB, dan waktu tahan 1 jam bernilai 37.3 HRB. Pada pengujian metalografi waktu tahan 1,2, dan 3 jam menunjukan morfologi permukaan termasuk sifat homogenitas dengan butir-butir yang terdistribusi merata serta relatif seragam. Terdapat inklusi atau partikel penguat yaitu alumina yang terlihat kontras menempel pada permukaan material komposit. Setelah 3 pengujian tersebut, bahwasannya *thixoforming* dan variasi waktu tahan *artificial aging* berpengaruh pada sifat mekanik material komposit yang meningkat nilainya.

**Kata kunci:** *Artificial Aging*, Homogenitas, Komposit, Presipitat, *Thixoforming*

## ABSTRACT

Composites are different materials that become a material, where each material retains its identity. Taking the positive value of the material and reducing its negative with some treatment done in making composite materials. *Thixoforming* is the process of forming a composite by heating it to its *semi-solid temperature after which it is pressed, so that the grains are evenly distributed. So that the material will be stronger and more tenacious.* After formation through *thixoforming*, it is followed by *artificial aging* treatment. Before *aging*, solutioning is carried out at a temperature of 550 °C with a holding time of 30 minutes. After that, set the *aging* temperature to 190 °C with a variation in holding time of 1.2, and 3 hours. *Artificial aging* is carried out to accelerate the rate of precipitation in composite materials, as for the advantage of increasing material hardness. This is because the precipitate can reduce dislocation between the grains. After *artificial aging*, composite materials are tested for impact, hardness and metallurgy. The best impact test results were at a 3-hour withstand time with a value of 0.059 J/mm<sup>2</sup>, at a 2-hour withstand time with a value of 0.0392 J/mm<sup>2</sup>, and at a 1-hour withstand time with a value of 0.031 J/mm<sup>2</sup>. In the hardness test, the best result was 49.6 HRB at 3 hours, 43.4 HRB at 2 hours, and 37.3 HRB at 1 hour. In the metallographic test, the withstand time of 1, 2, and 3 hours indicates the surface morphology including homogeneity with evenly distributed and relatively uniform grains. There are inclusions or reinforcing particles, namely alumina that looks contrasting attached to the surface of the composite material. After the 3 tests, it was found that *thixoforming* and variations in *artificial aging* resistance time had an effect on the mechanical properties of composite materials that increased in value.

**Keywords:** *Artificial Aging, Composites, Homogeneity, Precipitates, Thixoforming*

# DAFTAR ISI

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                   | i              |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                  | ii             |
| <b>ABSTRAK</b> .....                         | iv             |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                      | v              |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                   | vii            |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                     |                |
| 1.1 Latar Belakang .....                     | 1              |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                    | 2              |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                  | 2              |
| 1.4 Batasan Masalah .....                    | 2              |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                 | 3              |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>               |                |
| 2.1 <i>State of The Art</i> .....            | 4              |
| 2.2 Aluminium .....                          | 6              |
| 2.3 Alumina .....                            | 7              |
| 2.4 Klasifikasi Aluminium .....              | 8              |
| 2.5 Aluminium 6061 .....                     | 10             |
| 2.6 Komposit .....                           | 10             |
| 2.7 <i>Stir Casting</i> .....                | 12             |
| 2.7 <i>Thixoforming</i> .....                | 12             |
| 2.8 <i>Artificial Aging</i> .....            | 14             |
| 2.9 <i>Quenching</i> .....                   | 15             |
| 2.10 Uji Impak .....                         | 16             |
| 2.11 Uji Kekerasan .....                     | 17             |
| 2.12 Uji Metalografi .....                   | 18             |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>         |                |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian .....            | 20             |
| 3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian ..... | 21             |



|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 3.2.1 Studi Literatur .....          | 21 |
| 3.2.2 Persiapan Alat dan Bahan ..... | 21 |
| 3.2.2.1 Alat Penelitian .....        | 21 |
| 3.2.2.2 Bahan Penelitian.....        | 24 |
| 3.2.3 Pembuatan Komposit .....       | 25 |
| 3.2.4 <i>Artificial Aging</i> .....  | 27 |
| 3.2.5 Pengujian Kekerasan.....       | 29 |
| 3.2.6 Pengujian Metalografi.....     | 30 |
| 3.2.7 Pengujian Impak.....           | 30 |
| 3.2.8 Analisis Data .....            | 31 |
| 3.2.9 Kesimpulan dan Saran.....      | 31 |

#### **BAB IV PEMBAHASAN**

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 4.1 Hasil Thixoforming.....    | 32 |
| 4.2 Pengujian Impak.....       | 33 |
| 4.3 Pengujian Kekerasan.....   | 36 |
| 4.4 Pengujian Metalografi..... | 37 |

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

|                      |    |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan ..... | 39 |
| 5.2 Saran.....       | 40 |

#### **LAMPIRAN**

#### **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| <b>Gambar 2.1</b> Efek Temperatur Pada <i>Tensile Strength</i> (MPa) .....   | 4              |
| <b>Gambar 2.2</b> Efek penuaan buatan ( <i>artificial aging</i> ) pada temperatur dan waktu terhadap kekerasan Al 6061 ..... | 5              |
| <b>Gambar 2.3</b> Efek penuaan buatan pada temperatur dan waktu terhadap kekuatan luluh Al 6061.....                         | 5              |
| <b>Gambar 2.4</b> Efek penuaan buatan pada temperatur dan waktu terhadap tarik Al 6061 .....                                 | 5              |
| <b>Gambar 2.5</b> Komposisi dan Hasil Penguat .....  | 6              |
| <b>Gambar 2.6</b> Aluminium.....   | 5              |
| <b>Gambar 2.7</b> Alumina .....  | 7              |
| <b>Gambar 2.8</b> Aluminium 6061 .....   | 10             |
| <b>Gambar 2.9</b> Hubungan Antar Kelas Material.....   | 11             |
| <b>Gambar 2.10</b> Alat <i>Stir Casting</i> .....  | 12             |
| <b>Gambar 2.11</b> <i>Thixoforming</i> .....   | 13             |
| <b>Gambar 2.12</b> <i>Aging Oven</i> .....   | 15             |
| <b>Gambar 2.13</b> <i>Quenching Proseses</i> .....   | 16             |
| <b>Gambar 2.14</b> Alat Uji Impak .....  | 16             |
| <b>Gambar 2.15</b> Uji Kekerasan .....   | 17             |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....   | 21             |
| <b>Gambar 3.2</b> Dongkrak <i>Press Hidrolik</i> .....   | 22             |
| <b>Gambar 3.3</b> <i>Muffle Furnace</i> .....  | 22             |
| <b>Gambar 3.4</b> Cetakan Baja.....  | 23             |
| <b>Gambar 3.5</b> Penjepit Spesimen .....  | 23             |
| <b>Gambar 3.6</b> <i>Infrared Thermogun</i> .....  | 23             |
| <b>Gambar 3.7</b> Set Tungku Peleburan.....  | 24             |
| <b>Gambar 3.8</b> Aluminium 6061 .....   | 24             |
| <b>Gambar 3.9</b> Alumina .....  | 25             |
| <b>Gambar 3.10</b> Menyiapkan aluminium dan alumina .....  | 25             |

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 3.11</b> Proses <i>stir casting</i> .....                        | 26 |
| <b>Gambar 3.12</b> Penuangan <i>stir casting</i> .....                     | 26 |
| <b>Gambar 3.13</b> Pemanasan hingga suhu 620 ° C .....                     | 26 |
| <b>Gambar 3.14</b> Melakukan proses <i>thixoforming</i> .....              | 27 |
| <b>Gambar 3.15</b> <i>Solutioning</i> .....                                | 28 |
| <b>Gambar 3.16</b> <i>Quenching</i> .....                                  | 28 |
| <b>Gambar 3.17</b> Waktu tahan 1 jam .....                                 | 28 |
| <b>Gambar 3.18</b> Waktu tahan 2 jam dan 3 jam .....                       | 29 |
| <b>Gambar 3.19</b> Alat uji kekerasan rockwell & Titik Uji Kekerasan ..... | 29 |
| <b>Gambar 3.20</b> Zeiss EVO 10 Scanning Electron Microscope .....         | 30 |
| <b>Gambar 3.21</b> Alat uji impact & bentuk spesimen .....                 | 30 |
| <b>Gambar 4.1</b> Spesimen 1,2, dan 3 sebelum <i>thixoforming</i> .....    | 32 |
| <b>Gambar 4.2</b> Spesimen 1,2, dan 3 setelah <i>thixoforming</i> .....    | 32 |
| <b>Gambar 4.3</b> Hasil pengujian impact .....                             | 33 |
| <b>Gambar 4.4</b> Hasil patahan uji impact waktu tahan 1 jam .....         | 34 |
| <b>Gambar 4.5</b> Hasil patahan uji impact waktu tahan 2 jam .....         | 34 |
| <b>Gambar 4.6</b> Hasil patahan uji impact waktu tahan 3 jam .....         | 35 |
| <b>Gambar 4.7</b> Hasil pengujian kekerasan .....                          | 36 |
| <b>Gambar 4.8</b> Hasil metalografi waktu tahan 1,2, dan 3 jam .....       | 37 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan cepatnya ekspansi industri material, bermunculan beberapa teknik yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan rekayasa industri dan rancang bangun. Salah satunya metode komposit, menurut [18]. Komposit adalah struktur mikroskopis yang dibentuk dengan menggabungkan serat dan matriks. Material komposit yang diperkuat serat banyak digunakan dalam bidang teknik karena kekuatan dan kekakuannya yang unggul dibandingkan dengan material yang biasa digunakan. Material ini juga memiliki berat jenis yang rendah, kekuatan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan biaya yang rendah. Dengan adanya metode tersebut semakin banyak material komposit yang digunakan untuk suatu rekayasa industri sesuai spesifikasi yang diinginkan dan lebih murah.

*Thixoforming* adalah bentuk material padat yang diisikan pada suatu cetakan dan dilakukan *heat treatment* sampai titik *semi-solid* material tersebut bersamaan dengan pengepresan pada material dalam cetakan tersebut. Banyak proyek penelitian *thixoforming* yang kini berkonsentrasi pada bahan baku yang diperlukan untuk membuat komponen dengan kualitas mekanik dan kemampuan bentuk yang lebih baik, khususnya di industri otomotif. Selain itu, teknik *thixoforming* menghasilkan lebih sedikit komponen yang mengalami kesalahan pengecoran seperti makrosegrasi, penyusutan, dan porositas. Perlakuan panas secara signifikan memengaruhi karakteristik mekanis paduan aluminium 6061, yang merupakan paduan komposit matriks aluminium yang populer. Perlakuan panas telah terbukti meningkatkan karakteristik mekanis komposit matriks aluminium yang diperkuat partikel [26]. Komposit aluminium sering kali menggunakan partikel keramik seperti alumina ( $Al_2O_3$ ), SiC, dan SiO<sub>2</sub> sebagai penguat. Partikel keramik meningkatkan karakteristik mekanik komposit aluminium.

Maka dari itu dengan metode *thixoforming* pada bahan dasar komposit Al 6061 dengan penguat alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan perlakuan *artificial aging* dapat menghasilkan komposit yang memiliki spesifikasi yang lebih unggul daripada material pada biasanya. Hal tersebut digunakan pada bidang industri otomotif, dirgantara, dan pertahanan. Seperti pada bidang industri otomotif, dibutuhkan struktur material dengan keuletan dan kekuatan yang unggul dari material yang biasa digunakan. Pada bidang industri dirgantara dan pertahanan membutuhkan material yang unggul dalam kekuatan, keringanan, dan ketahanan, namun masih belum banyak penelitian atau pengujian *thixoforming* dengan bahan dasar komposit Al 6061 dengan penguat alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) serta perlakuan *artificial aging*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang muncul setelah latar belakang diatas dari penelitian yaitu seperti beriku initt:

1. Bagaimana proses *thixoforming* komposit Al 6061 dengan penguat alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) terkombinasi merata?
2. Bagaimana perlakuan *artificial aging* komposit Al 6061 dengan penguat alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) memperkuat sifat mekanik?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin didapat dari studi ini yaitu seperti berikut ini:

1. Menganalisis pengaruh *artificial aging* terhadap pengujian impak komposit Al 6061 dengan penguat alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) hasil proses *thixoforming*.
2. Menganalisis pengaruh *artificial aging* terhadap pengujian kekerasan komposit Al 6061 dengan penguat alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) hasil proses *thixoforming*.
3. Menganalisis pengaruh *artificial aging* terhadap pengujian metalografi komposit Al 6061 dengan penguat alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) hasil proses *thixoforming*

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian yang dilakukan yaitu seperti berikut ini:

1. Pada saat uji impak mengikuti standar ASTM E23, uji kekerasan mengikuti standar ASTM E18-22, dan pengamatan struktur mikro *optical microscoupe* dan atau SEM (metalografi) mengikuti standar ASTM E3.
2. Tidak memperhitungkan efek setelah dilakukannya pengujian pada spesimen.
3. Spesimen komposit yang dibuat serta di uji dalam penelitian ini jenis komposit Al 6061/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
4. Waktu penuaan buatan (*artificial aging*) 1 jam, 2 jam, dan 3 jam dengan temperatur 190° C untuk semua variasi.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

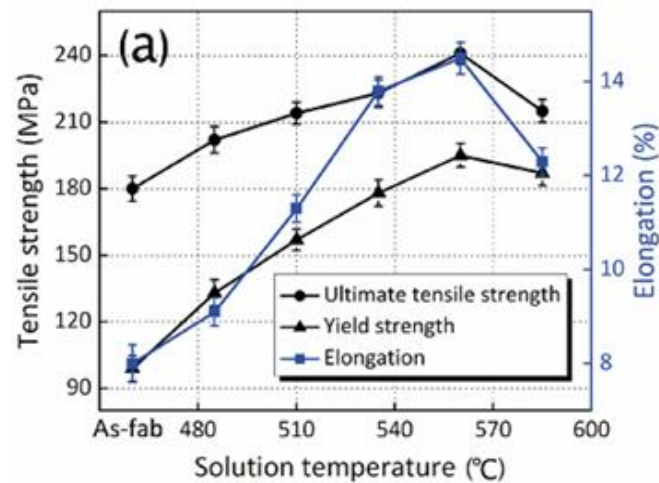
1. Bagi peneliti untuk mengetahui sifat mekanik komposit Al 6061 dengan penguat alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) hasil *thixoforming* dan *artificial aging* dari penelitian yang dilakukan.
2. Para akademisi dapat menggunakan penelitian ini sebagai referensi untuk penelitian dimasa depan tentang topik tersebut.
3. Menjadi literasi bagi pembaca terkait dengan perkembangan *thixoforming*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

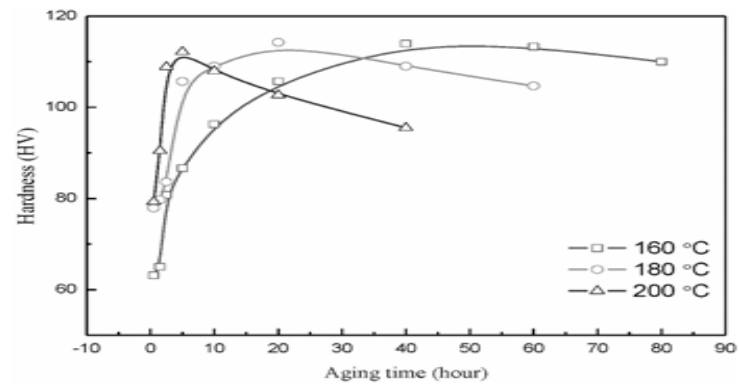
#### 2.1 State of The Art

Menurut [26] telah melakukan penelitian *thixoforming* menggunakan Al 6061. Dimana prosesnya terdapat pengpressan dingin hingga sampel berdiameter 50 mm dan ketebalan 15 mm. Sampel kemudian dipanaskan dalam tungku tahan pada suhu semisolid 660°C selama 80 menit. Spesimen yang telah dipanaskan dengan cepat dimasukkan ke dalam cetakan ditekan pada 160 MPa. Pada gambar 2.1 menunjukkan efek temperatur pada *tensile strength* (MPa):

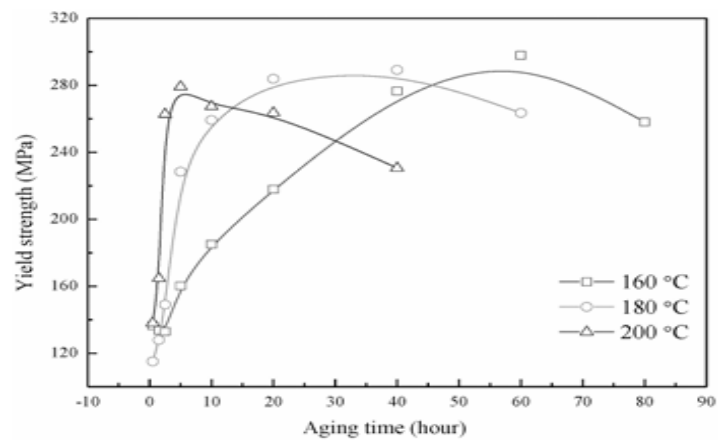


**Gambar 2.1** Efek Temperatur Pada *Tensile Strength* (MPa) [26]

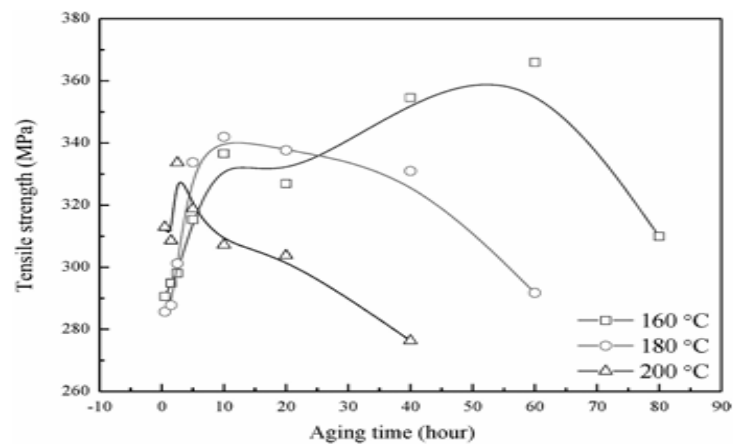
Hasil yang didapat dari penelitian tersebut yaitu, pada temperatur 560°C Dimana nilai puncak 14,5%, 241 MPa, dan 195 MPa pada UTS, YS dan *elongation*. Lalu [16] melakukan penelitian efek penuaan buatan (*artificial aging*) temperatur dan waktu terhadap sifat mekanik Al 6061. Dimana dilakukan pengujian kekerasan (HV), pengujian kekuatan lulug (*Yield Strength*), dan pengujian tarik (*tensile strength*), berikut adalah gambar grafiknya:



**Gambar 2.2** Efek penuaan buatan (*artificial aging*) pada temperatur dan waktu terhadap kekerasan Al 6061 [16].



**Gambar 2.3** Efek penuaan buatan pada temperatur dan waktu terhadap kekuatan luluh Al 6061 [16].



**Gambar 2.4** Efek penuaan buatan pada temperatur dan waktu terhadap tarik Al 6061 [16].



Didapatkan kesimpulan bahwasannya Nilai kekuatan puncak paduan untuk penuaan pada suhu 160, 180, dan 190 °C diperoleh setelah 60, 10, dan 5 jam. Penuaan pada suhu 180°C selama 5-40 jam menghasilkan kekerasan, kekuatan luluh, dan kekuatan tarik tertinggi untuk paduan tersebut. Penuaan yang berlebihan pada paduan mengakibatkan penurunan karakteristik mekanis karena penggabungan endapan, ukuran butir yang lebih besar, dan cacat anil pada suhu dan waktu yang lebih tinggi. Lalu menurut [21] melakukan penelitian fungsi penguat alumina pada kekerasan komposit matriks aluminium. Terdapat 3 variabel yang dilakukan dalam penelitian, adapun komposisi dan hasil pengujiannya dibawah ini:

Tabel 1. Hasil pengujian kekerasan

| No. | Material Uji Komposit Matriks Aluminium | Nilai Kekerasan (HRB) |    |      |      |      | Rata-rata |
|-----|---|-----------------------|----|------|------|------|-----------|
|     |   | 1                     | 2  | 3    | 4    | 5    |           |
| 1   | Penguat alumina 10%                     | 60                    | 60 | 59.4 | 59.4 | 62.6 | 60.28     |
| 2   | Penguat alumina 10% + SiC 5%            | 40                    | 43 | 45   | 46   | 41   | 43        |
| 3   | Penguat alumina 10% + SiC 10%           | 42                    | 44 | 42   | 42   | 39   | 41.8      |

**Gambar 2.5** Komposisi dan Hasil Penguat [21]

Pada gambar 2.5 menunjukkan bahwasannya komposisi alumina pada komposit matriks aluminium unggul pada pengujian kekerasan dibanding variabel lainnya. Penguat alumina 10% mendapatkan rata-rata dari 5 kali percobaan yaitu 60,28 HRB, penguat lumina 10% + SiC 5% mendapatkan rata-rata 43 HRB, dan penguat alumina 10% + SiC 10% mendapat rata-rata 41,8 HRB.

## 2.2 Aluminium

Kata "alum" berasal dari bahasa Latin "alumen". Alum biasa digunakan oleh orang-orang Yunani dan Romawi kuno sebagai larutan penutup rongga-rongga kecil. Lavoisier mengira bahwasannya elemen tersebut merupakan oksida (oksigen) metal yang baru pertama kali dikeahui. Sekiar tahun 1807 penemuan ini dimanakan dengan aluminium, Davy menyarankan untuk menamai logam ini Aluminium. Istilah yang terakhir ini merupakan kombinasi dari berbagai elemen yang berbeda dengan "ium" di bagian akhir. Unsur logam

aluminium memiliki simbol kimia Al, berat atom 27, dan nomor atom 13. 13 proton dan 14 neutron, atau 81 quark secara keseluruhan, membentuk inti atom. Setelah silikon dan oksigen, aluminium merupakan unsur dalam urutan ketiga yang banyak sekali ditemukan di kerak planet ini. Aluminium adalah logam yang paling banyak, terdiri dari 8% dari total massa kerak [7].

Sejak penemuan teknik peleburan saat ini pada tahun 1886, aluminium menjadi logam industri yang signifikan. Aluminium lebih dipilih daripada baja dalam aplikasi-aplikasi di mana kualitasnya yang unik - yang dikenal sebagai "ringan dan cerah" - membuatnya layak untuk diinvestasikan. Kekuatan tarik aluminium murni bervariasi dari sekitar 90 hingga 140 N/mm<sup>2</sup>, termasuk bahan yang lemah. Biasanya ini digunakan untuk barang-barang rumah tangga seperti panci, kaleng, dan kemasan serta konduktor listrik, namun untuk paduan yang lebih kuat diperlukan untuk aplikasi struktural yang signifikan, dimana kekuatan tarik dari paduan terkuat lebih dari 500 N/mm<sup>2</sup>.



**Gambar 2.6** Aluminium (Sumber: [clickmetal.co.uk](http://clickmetal.co.uk))

### 2.3 Alumina

Alumina merupakan senyawa kimia yang mengandung aluminium dan oksigen, adapun rumusnya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Alumina secara alami berbentuk kristal dan tersusun dari mineral korondum. Senyawa ini umumnya digunakan sebagai isolator suhu tinggi karena sifat isolasi listrik yang sangat baik dan kapasitas panas yang tinggi. Alumina termasuk zat berpori, berfungsi sebagai adsorben yang efektif [8]. Ketahanan korosi dan titik leleh yang tinggi menjadikan alumina sebagai bahan yang ideal untuk berbagai aplikasi. Alumina tersedia dalam tiga fase:  $\gamma$ ,  $\beta$ , dan  $\alpha$ . Masing-masing dari ketiga fase ini memiliki fitur dan aplikasi yang berbeda. Beta alumina ( $\beta$ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mempunyai kualitas isolator yang baik, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi keramik, termasuk produksi tungku. Gamma alumina ( $\gamma$ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) umumnya digunakan sebagai

katalis di beberapa industri, termasuk penyulingan minyak bumi. Alpha ( $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ ) adalah fase alumina yang paling stabil. Memiliki struktur kristal heksagonal dengan konstanta kisi  $a = 4,7588$  dan  $c = 12,9910$  nm. Alumina alfa adalah bahan refraktori berbasis oksida yang populer karena kualitas fisik, mekanik, dan karakteristik termalnya yang unggul [14].



**Gambar 2.7** Alumina (jucoresfractory.com)

#### 2.4 Klasifikasi Aluminium

Paduan aluminium dikategorikan ke dalam dua kelompok utama: komposisi tempa (*wrought composition*) dan komposisi pengecoran (*casting composition*). Setiap kelompok dibagi lagi menurut proses utama pengembangannya sendiri. Banyak cara paduan bereaksi terhadap perlakuan panas tergantung pada kelarutan fasanya. Proses-proses ini meliputi presipitasi, penuaan, pengerasan, dan perlakuan panas larutan. Paduan yang dapat dicetak atau ditempa disebut sebagai perlakuan panas. Sebaliknya, banyak komposisi tempa lainnya yang mengandalkan reduksi mekanis untuk pengerasan kerja [5]. Menurut *Aluminium Association United States*, berikut untuk Paduan komposisi tempa (*wrought composition*) dengan sistem empat digit:

- 1xxx: Komposisi Paduan murni (Al 99%)
- 2xxx: Tembaga (Cu) sebagai elemen paduan utamanya, tetapi paduan elemen seperti magnesium (Mg) ditentukan
- 3xxx: Mangan (Mn) sebagai elemen paduan utamanya
- 4xxx: Silikon (Si) sebagai elemen paduan utamanya
- 5xxx: Magnesium (Mg) sebagai elemen paduan utamanya
- 6xxx: Magnesium (Mg) dan silikon (Si) sebagai elemen paduan utamanya

- 7xxx: Seng (Zn) sebagai elemen Paduan utamanya, tetapi paduan elemen lainnya seperti tembaga (Cu), Magnesium (Mg) dan Zirconium (Zr) Ditentukan
- 8xxx: Timah (Sn) dan beberapa paduan lithium
- 9xxx: Digunakan untuk masa depan

Dalam kelompok paduan 2xxx - 8xxx, digit kedua menunjukkan paduan modifikasi. Namun ketika digit kedua adalah nol, menunjukkan bahwa paduan murni. Bilangan bulat 1 - 9, ditetapkan secara berurutan menunjukkan modifikasi dari paduan murni. 2 digit yang terakhir dari 4 digit dalam kelompok 2xxx hingga 8xxx tidak memiliki arti khusus, tetapi hanya berfungsi untuk mengidentifikasi perbedaan paduan aluminium tersebut.

Adapun pada paduan komposisi pengecoran (*casting composition*) nilai desimal digunakan setelah sistem 3 digit, pada desimal .0 mengacu pada batasan paduan pengecoran, sedangkan decimal .1 dan .2 sesuai dengan komposisi ingot. Berikut adalah paduan untuk komposisi pengecoran:

- 1xx.x: Komposisi Paduan murni, terutama dalam pembuatan rotor (Al 99%)
- 2xx.x: Tembaga (Cu) sebagai elemen paduan utamanya, tetapi paduan elemen lainnya ditentukan
- 3xx.x: Silikon (Si) sebagai elemen paduan utamanya, tetapi elemen tembaga (Cu) dan magnesium (Mg) ditentukan
- 4xx.x: Silikon (Si) sebagai elemen paduan utamanya
- 5xx.x: Magnesium (Mg) sebagai elemen paduan utamanya
- 6xx.x: Seri tidak digunakan
- 7xx.x: Seng (Zn) sebagai Paduan utamanya, tetapi paduan elemen lainnya seperti tembaga (Cu) dan magnesium (Mg) ditentukan
- 8xx.x: Timah (Sn) sebagai elemen Paduan utamanya
- 9xx.x: Seri tidak digunakan

## 2.5 Aluminium 6061

Pada bidang industri otomotif, rekayasa, dan konstruksi biasanya menggunakan aluminium 6061. Salah satu contohnya adalah penggunaannya pada mobil. Banyak industri yang menggunakan Aluminium 6061 sebagai bahan utama dalam desain dan konstruksi alat karena memiliki beberapa sifat yang menguntungkan termasuk ketahanan terhadap korosi, toleransi panas, ketangguhan tinggi, dan kinerja pengelasan yang baik [17]. Berikut ini adalah komposisi Aluminium 6061 menurut [5]:



**Gambar 2.8** Aluminium 6061 (aerocommetals.co.uk)

**Tabel 2.1** Komposisi Aluminium 6061

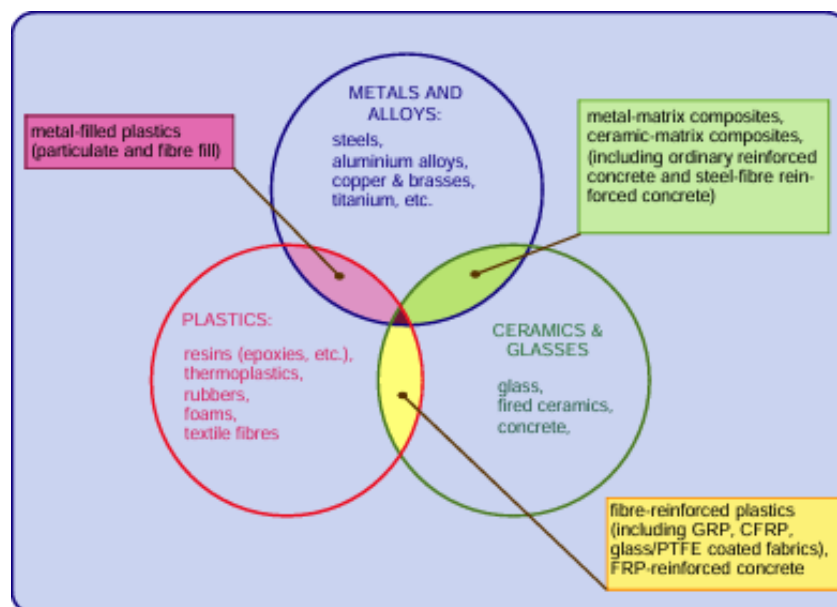
| <i>Grade Designation</i>     |                |                     | <i>Composition %</i> |           |                   |           |                 |                   |           |           |                                   |              |                    |
|------------------------------|----------------|---------------------|----------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|--------------|--------------------|
| <i>Aluminium Association</i> | <i>UNS No.</i> | <i>ISO No. R209</i> | <i>Si</i>            | <i>Fe</i> | <i>Cu</i>         | <i>Mn</i> | <i>Mg</i>       | <i>Cr</i>         | <i>Zn</i> | <i>Ti</i> | <i>Unspecified Other Elements</i> |              | <i>Al, Minimum</i> |
|                              |                |                     |                      |           |                   |           |                 |                   |           |           | <i>Each</i>                       | <i>Total</i> |                    |
| 6061                         | A96061         | AlMg<br>1SiCu       | 0.40<br>-0.8         | 0.7       | 0.15<br>-<br>0.40 | 0.15      | 0.8<br>-<br>1.2 | 0.04<br>-<br>0.35 | 0.25      | 0.15      | 0.05                              | 0.15         | rem                |

## 2.6 Komposit

Komposit yaitu bahan yang berbeda dalam komposisi atau bentuk pada skala makro. Komponen-komponen tersebut mempertahankan identitasnya masing-masing dalam komposit, dan tidak sepenuhnya menyatu. Biasanya, bahan-bahan ini memiliki interaksi fisik. Komposit terdiri dari bahan-bahan yang telah dicampur untuk memaksimalkan kualitas positifnya sekaligus mengurangi dampak negatifnya sampai tingkat tertentu. Seorang peneliti dapat

terbebas dari keterbatasan yang disebabkan oleh pilihan dan produksi bahan tradisional melalui metode pengoptimalan ini. Peneliti dapat menggunakan bahan material yang lebih unggul dari segi ringan, tahan lama, dan yang karakteristiknya dapat diubah untuk memenuhi spesifikasi desain tertentu. Selain itu, karena bentuk yang rumit sangat mudah dibuat, desain ulang penuh dari desain yang sudah dikenal dalam hal komposit sering kali dapat menghasilkan solusi yang lebih baik dan lebih terjangkau [11].

Berikut gambar dibawah ini menunjukkan hubungan antara kelas-kelas material teknik:



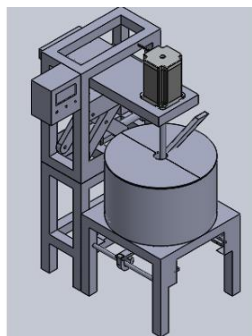
**Gambar 2.9** Hubungan Antar Kelas Material [10].

Adapun keterbatasan bahan pada umumnya seperti plastik, keramik, dan metal, dimana plastik memiliki kepadatan yang rendah. Plastik memiliki ketahanan kimia jangka pendek yang baik tetapi tidak memiliki ketahanan termal stabilitas dan hanya memiliki ketahanan moderat terhadap degradasi lingkungan terutama yang disebabkan oleh efek foto-kimia dari sinar matahari. Plastik memiliki sifat mekanik yang buruk, tetapi mudah dibuat dan digabungkan. Keramik dapat memiliki kepadatan yang rendah, tetapi ada juga yang cukup padat. Keramik sangat stabil secara termal dan tahan terhadap berbagai beban, termasuk abrasi, keausan, dan korosi. Meskipun kuat secara kimiawi, bahan-bahan ini rapuh dan

sulit dibentuk. Logam biasanya memiliki kepadatan sedang hingga tinggi, satu-satunya bahan yang dapat menandingi plastik dalam hal ini adalah magnesium, aluminium, dan berilium. Banyak yang tahan korosi dan memiliki stabilitas termal yang tinggi berkat paduannya. Daya tahan yang sangat baik dan kualitas mekanik yang menguntungkan membuat mereka cukup mudah untuk digabungkan dan dibentuk. Logam sebagai sebuah kelas menjadi bahan teknik yang disukai terutama karena keuletan dan ketahanannya terhadap kerusakan [10].

### 2.7 *Stir Casting*

Proses pengecoran ini melibatkan peleburan logam murni dan menambahkan elemen penguat. Logam yang dilebur diaduk terus menerus sampai terbentuk pusaran, dan kemudian elemen penguat (dalam bentuk bubuk) secara bertahap dicampurkan melalui tepi pusaran [9]. Teknik pengecoran aduk melibatkan dua langkah: melelehkan bahan dan mengaduknya selagi cair. Saat mengaduk bahan, penting untuk mempertimbangkan bentuk dan kecepatan pengaduk yang digunakan. Bahan material akan dikirim ke cetakan untuk dicetak [15].

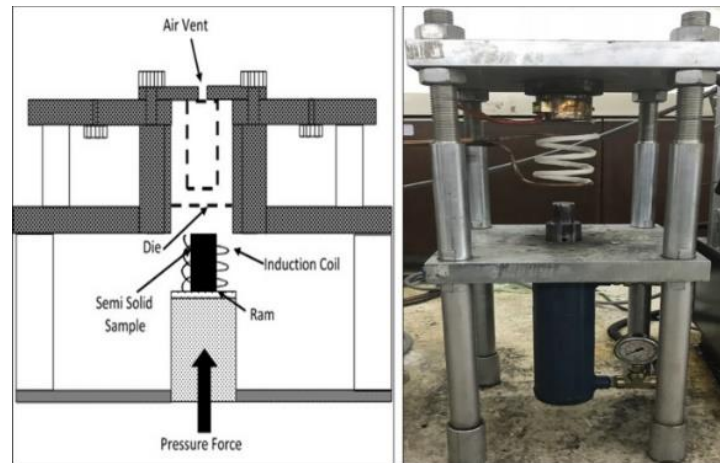


**Gambar 2.10** Alat *Stir Casting* [15]

### 2.8 *Thixoforming*

*Thixoforming* adalah teknik pembentukan yang memanfaatkan perilaku reologi logam pada suhu kisaran *solidus* dan *liquidus*. Istilah "reologi" mengacu pada karakteristik aliran dan deformasi material. Struktur mikro non-dendritik terutama bertanggung jawab atas perilaku kondisi semi-padat dalam *Semi Solid Metal Processing* (SSMP). Bahan dengan struktur mikro bulat, yang mendapat

manfaat dari pengadukan konstan selama pendinginan, memiliki viskositas yang lebih rendah daripada bahan dengan morfologi dendritik. Padatan *spheroid* yang dikelilingi oleh matriks cair diperlukan untuk kondisi tiksotropik dan pemrosesan semi padat. Fenomena kondisi tiksotropik ketika suatu zat dibiarkan bergeser maka viskositasnya turun, tetapi kembali ke keadaan semula [12].



**Gambar 2.11** *Thixoforming* [1]

Patokan utama reologi dalam pemrosesan semipadat adalah viskositas. Viskositas menunjukkan kemampuan cetakan pengisian bahan semi padat, karakteristik aliran, dan kekuatan yang dibutuhkan untuk deformasi [13]. *Thixoforming* juga memiliki kelebihan dan keterbatasan dalam prosesnya, kelebihan *thixoforming* seperti hasil bendanya memiliki kualitas yang lebih unggul daripada manufaktur pada umumnya. Struktur mikro yang berbentuk bola menghasilkan produksi barang *thixoforming* dengan kualitas yang lebih tinggi. Selama proses pembentukan, struktur mikro billet yang berbentuk bola memungkinkan terjadinya aliran. Porositas, jebakan gas, dan penyusutan yang lebih sedikit dihasilkan melalui aliran *slug* laminar. Selain itu, kualitas mekanik produk akhir ditingkatkan dengan struktur mikro yang halus dan seragam. Proses ini mampu memproduksi berbagai macam bentuk komponen dengan ketebalan dinding yang bervariasi, ujung yang tajam, dan jari-jari karena strukturnya yang halus dan konsisten [11]. Adapun keterbatasan *thixoforming* seperti biaya produksi yang lebih tinggi karena terdapat persyaratan khusus untuk bahan baku billet dan juga sisa proses pembentukan tidak dapat didaur



ulang. Selain itu, *supervisor* yang kompeten diperlukan di setiap tahap untuk menjamin kualitas produk jadi. Lalu viskositas dan persentase padatan merupakan parameter penting dalam proses ini. Karena keduanya bergantung pada kontrol suhu, manajemen suhu yang tepat dan membutuhkan staf yang berkualifikasi tinggi [12].

Adapun parameter yang mempengaruhi saat dilakukannya *thixoforming* seperti kepadatan fraksi, dimana viskositas material selama proses *thixoforming* sangat dipengaruhi oleh persentase kepadatan fraksi. Persentase padatan yang baik dalam *Semi Solid Metal Processing* (SSMP) biasanya antara 30% dan 70%. Fraksi padat yang rendah memperlihatkan viskositas tinggi, yang berarti bahwa selama pembentukan maka bubur akan memiliki kapasitas yang lebih sedikit untuk mengalir [24]. Ukuran partikel pula menjadi salah satu parameternya, ukuran partikel material yang lebih kecil atau lebih halus diantisipasi untuk memungkinkan tindakan pengisian yang lebih halus dan mengurangi viskositas melalui pengetahuan tentang *Semi Solid Metal Processing* (SSMP). Meskipun demikian, sejumlah percobaan telah menunjukkan bahwa suhu-termasuk suhu penuangan, suhu alat, dan laju pendinginan-memiliki dampak yang signifikan terhadap ukuran partikel.

## **2.9 Artificial Aging**

Menurut [19] memanaskan kembali larutan padat jenuh ke suhu di bawah garis solvus dan membiarkannya untuk sementara waktu, disebut sebagai *artificial aging*. Struktur mikro dan kemampuan ekstrusi sebagian besar ditentukan oleh komposisi kimianya, pengaturan perlakuan panas, dan kondisi pengecoran. Hal ini menunjukkan bahwa prosedur perlakuan panas tertentu dapat digunakan untuk memodifikasi karakteristik paduan aluminium tertentu. Ada dua metode untuk melakukan perlakuan panas: pemanasan larutan dan *artificial aging*. Pengerasan yang dilakukan pada *artificial aging* pada spesimen aluminium 6061 di sekitar suhu  $160^{\circ}\text{C}$  -  $200^{\circ}\text{C}$  [20].



**Gambar 2.12** *Aging Oven* (microrheometer.com)

### 2.10 *Quenching*

Salah satu metode untuk mengubah struktur logam adalah *quenching*, yang melibatkan pemanasan spesimen dalam tungku listrik untuk jangka waktu tertentu untuk menyebabkan rekristalisasi dan kemudian mendinginkannya dalam media pendingin seperti air, minyak, atau udara. media pendingin, termasuk air, minyak, dan udara. Kekerasan baja dimaksudkan untuk ditingkatkan melalui teknik ini tanpa mempengaruhi susunan kimiawi logam secara keseluruhan. mengubah susunan kimiawi secara keseluruhan. Untuk mencapai karakteristik yang diperlukan, prosedur ini melibatkan pemanasan hingga austenisasi dan kemudian pendinginan dengan kecepatan tertentu [25].

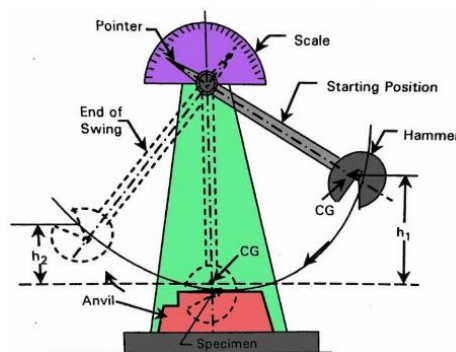
Kapasitas pendinginan media *quenching* sangat penting dalam proses perlakuan panas karena berkontribusi dalam memenuhi persyaratan pengerasan minimum untuk bagian atau bagian yang sedang perlakuan. Potensi ukuran tingkat intensitas pendinginan dapat disesuaikan dengan beberapa faktor seperti: media *quenching* yang digunakan, pengontrolan agitasi, dan penambahan *quenchant*. *Quenching* dapat menyebabkan perubahan ukuran dan bentuk yang signifikan, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya retak (*quench cracking*). Meskipun pendinginan air lebih murah daripada pendinginan oli, sehingga ketika *quenching* pada baja dengan media air lebih murah daripada baja yang menggunakan media oli. Namun penting untuk meninjau kembali bagian yang akan dikeraskan dengan teliti untuk menentukan apakah jumlah distorsi dan keretakan akan sesuai dengan biaya yang lebih rendah. *Quenchant* alternatif, seperti minyak, garam, dan polimer air sintesis, mungkin membutuhkan baja paduan yang lebih tinggi untuk memenuhi kriteria pengerasan [6].



**Gambar 2.13** *Quenching Process* (hanbonforge.com)

## 2.11 Uji Impak

Pengujian impak dapat menilai kualitas patahan logam, termasuk keuletan dan kerapuhan. Uji tumbukan menentukan kualitas, ketangguhan, dan sensitivitas suatu material. Pengujian sering kali melibatkan penggunaan keramik, polimer, dan komposit industri logam. Kerusakan pada benda uji berlekuk terjadi ketika alat berat ditabrak pada jarak tertentu peletakan. Pengujian ini mengukur jumlah energi yang diserap oleh spesimen yang disiapkan [24]. Uji ketangguhan menentukan kerapuhan atau keuletan material. Temuan pengujian tidak langsung mencerminkan status fraktur spesimen. Uji Impak biasanya digunakan untuk polimer, keramik, dan material komposit di sektor manufaktur logam. Menabrak benda yang berat dapat menyebabkan kerusakan pada hasil pengujian. Tes ini menilai energi yang diserap oleh spesimen setelah fabrikasi atau pengelasan. Prinsip Uji Tumbukan melibatkan pengukuran gaya potensial yang diterima oleh material dari palu atau alat berat yang jatuh dari prosedur atau spesimen tertentu [2].

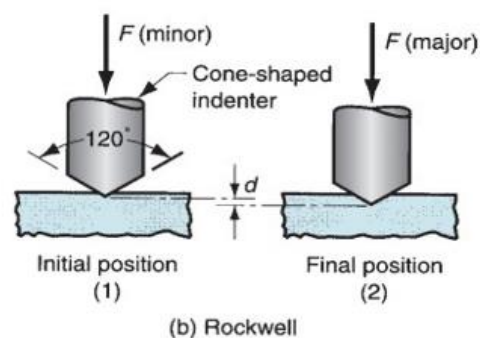


**Gambar 2.13** Alat Uji Impak (anakteknik.co.id)

Spesimen uji tarik ini memiliki ujung yang lebih besar untuk mencengkran. Bagian pengukur adalah komponen yang paling penting dari spesimen. Bagian pengukur memiliki luas penampang yang lebih kecil daripada bagian material lainnya, yang menyebabkan distorsi dan kegagalan lokal. Pengukuran dilakukan di sepanjang panjang pengukur, yang berpusat di bagian yang diperpendek. Untuk memungkinkan terjadinya deformasi di dalam bagian pengukur, jarak antara ujung dan bahu harus cukup. Selain itu, panjang pengukur harus lebih besar dari diameter. Jika tidak, kondisi tegangan akan menjadi lebih rumit daripada sekadar tegangan.

## 2.12 Uji Kekerasan

Istilah "kekerasan" memiliki beberapa arti yang berbeda. Dalam industri logam ini dapat dianggap sebagai ketahanan terhadap deformasi yang tidak dapat diubah. Bagi ahli metalurgi, ini menunjukkan ketahanan terhadap penetrasi, insinyur pelumasan menyebutnya sebagai ketahanan aus. Untuk insinyur desain, ini adalah ukuran tegangan aliran. Ahli mineralogi menyebutnya sebagai ketahanan gores, sedangkan ahli mesin menyebutnya sebagai ketahanan pemesinan. Kekerasan juga dapat disebut sebagai tekanan kontak rata-rata. Kualitas ini terkait dengan aliran plastis dan tegangan material.



**Gambar 2.14** Uji Kekerasan (dynatech-int.com)

Kekerasan suatu bahan sering didefinisikan sebagai ketahanannya terhadap lekukan permanen. Sebuah indenter didorong ke permukaan logam dan diuji di bawah kekuatan tertentu untuk interval waktu tertentu. Ukuran atau kedalaman lekukan kemudian diukur. Uji kekerasan menilai kesesuaian

material untuk aplikasi atau perlakuan tertentu. Uji kekerasan banyak digunakan untuk memeriksa logam dan paduan karena kesederhanaannya. Adapun macam macam uji kekerasan seperti: *Rockwell*, *Brinell*, *Knoop*, dan *Vickers* [4].

### 2.13 Uji Metalografi (Struktur Mikro)

Teknik pemeriksaan makroskopis biasanya digunakan dalam kontrol kualitas, analisis kegagalan, dan proyek penelitian. Meskipun pendekatan ini sering digunakan sebelum analisis mikroskopis, pendekatan ini juga dapat digunakan sebagai kriteria kontrol kualitas untuk persetujuan atau penolakan. Banyak metode destruktif dan non-destruktif yang tersedia. Pendekatan yang paling sederhana adalah dengan memeriksa permukaan secara visual untuk mengetahui adanya jahitan, putaran, atau penskalaan. Menentukan struktur mikro yang tepat dari suatu bahan sangat penting untuk memahami komposisi, struktur, dan kualitasnya. Setelah memoles bahan dengan perbedaan yang signifikan dalam pemantulan cahaya, maka dimungkinkan untuk mengamati struktur mikro yang diinginkan atau fitur spesifik di bawah penyinaran bidang terang tanpa memerlukan perlakuan tambahan, seperti etsa. Dalam kondisi seperti dipoles, konstituen dengan perbedaan pantulan minimal 6 hingga 8% dari satu sama lain, atau matriks dapat dengan mudah dipisahkan [22].

Beberapa cara dapat membuat *etched* dalam pemeriksaan struktural. Larutan etsa kimia standar secara rutin digunakan, tetapi proses tambahan termasuk anodisasi, elektrolitik, dan etsa potensiostatik. Teknik berbasis panas, seperti pewarnaan dan etsa, dapat diterapkan secara luas. Film interferensi dapat diproduksi melalui pewarnaan panas, kontras gas, etsa warna, atau pengendapan uap dari bahan yang tidak menyerap dengan indeks bias tinggi untuk meningkatkan visibilitas komponen mikrostruktur. Etsa adalah proses korosi terkendali yang disebabkan oleh aksi elektrolitik antara daerah permukaan dengan potensi yang berbeda-beda. Etsa elektrolitik menargetkan perbedaan struktural pada permukaan sampel. Aktivitas elektrolitik muncul dari fisik lokal atau heterogenitas kimiawi dapat

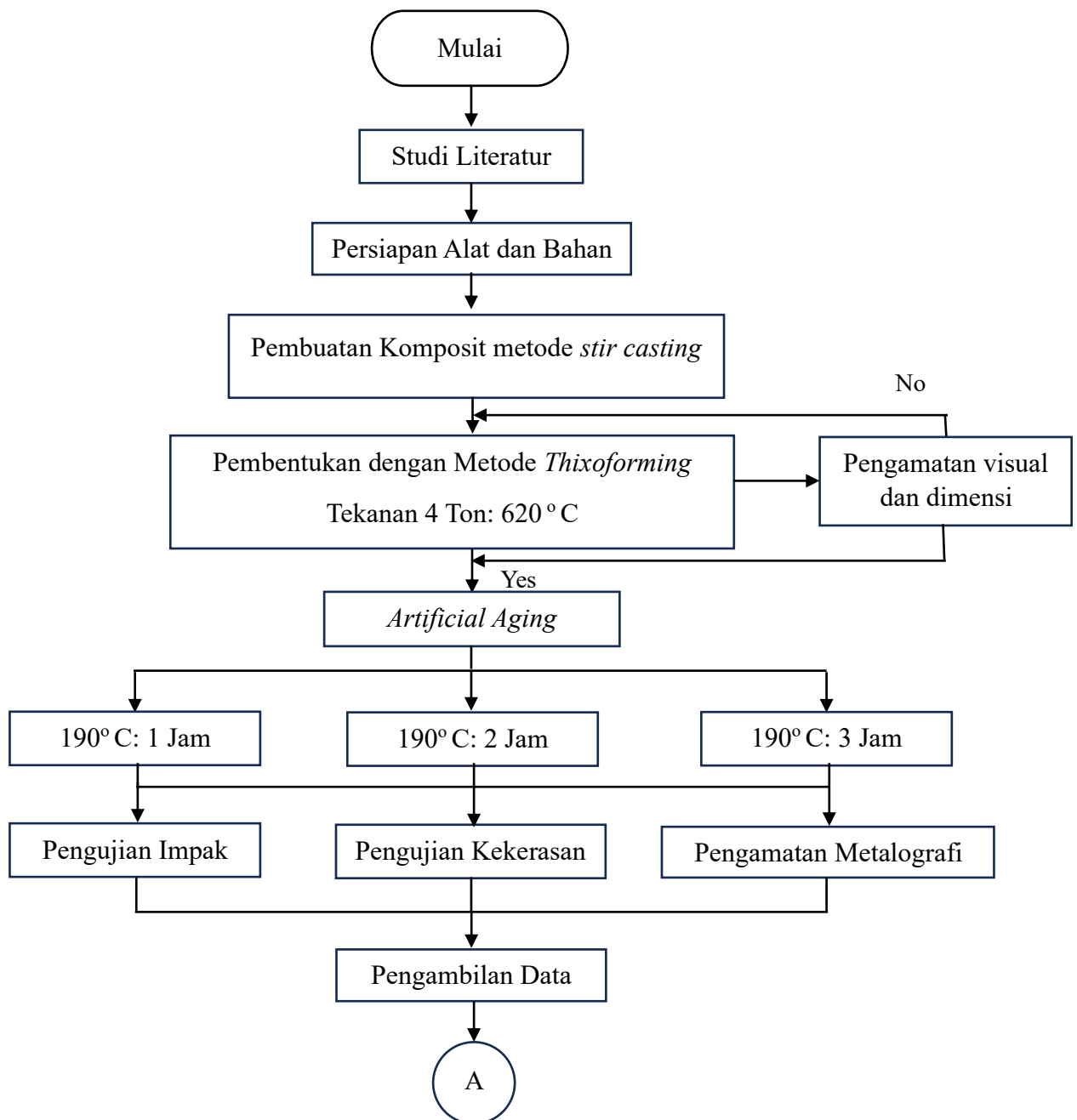
menyebabkan fitur tertentu menjadi anodik sementara yang lain menjadi katodik selama etsa[22].

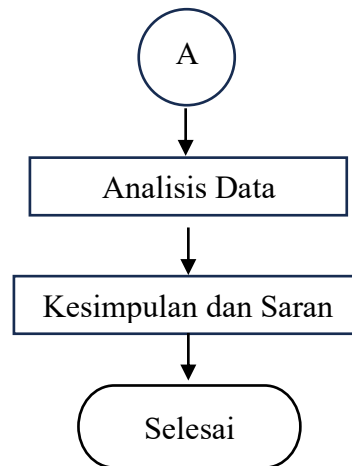
# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir berikut ini menggambarkan penelitian pengaruh *artificial aging* pada komposit Al 6061 dengan penguat alumina ( $Al_2O_3$ ) hasil proses *thixoforming*:





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Adapun penjelasan diagram alir penelitian pada gambar 3.1.

#### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan langkah pertama yang dilakukan pada penelitian ini, dilakukan untuk mencari informasi serta mengumpulkannya sebagai referensi terkait komposit, *thixoforming*, dan *artificial aging*. Referensi yang berasal dari jurnal nasional, jurnal internasional, dan buku (*hanbook international*) sebagai referensi teori-teori dasar yang digunakan dalam penelitian. Dengan melakukan studi literatur sebelum penelitian, maka diharapkan penelitian tersebut berjalan sesuai literatur yang sudah diketahui.

#### 3.2.2 Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan untuk penelitian ini dipersiapkan sebagai berikut:

##### 3.2.2.1 Alat Penelitian

Alat yang dibutuhkan pada penelitian ini, baik untuk pembuatan komposit dan penuaan buatan:

##### 1. Dongkrak *Press* Hidrolik

Dongkrak *Press* hidrolik umumnya digunakan pada setiap industri yang memerlukan tekanan dalam prosesnya. Cara kerja dongkrak *press* hidrolik sendiri menggunakan cairan yang



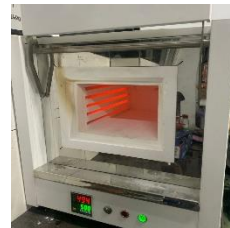
dimampatkan oleh piston sehingga cairan tersebut mengalir dan mendorong piston yang lebih besar.



**Gambar 3.2** Dongkrak *Press* Hidrolik

## 2. *Muffle Furnace*

berguna untuk berbagai aplikasi suhu tinggi, termasuk menentukan jumlah zat yang tidak mudah terbakar dan tidak mudah menguap dalam sampel. *Muffle furnace* digunakan untuk proses *solutioning* dan *artificial aging* setelah dilakukannya *thixoforming*.



**Gambar 3.3** *Muffle Furnace*

## 3. Cetakan Baja

Dalam prosesnya dibutuhkan cetakan untuk membentuk komposit, material yang digunakan untuk membuat cetakan tersebut ialah baja.



**Gambar 3.4** Cetakan Baja

#### 4. Penjepit Spesimen

Penjepit yang digunakan untuk mengambil spesimen dalam kondisi temperatur yang masih panas.



**Gambar 3.5** Penjepit Spesimen (victoriancollections.net.au)

#### 5. *Infrared Thermogun*

*Infrared Thermogun* adalah alat pengukur temperatur yang menggunakan radiasi inframerah yang mengenai pada objek yang dituju. *Thermogun* digunakan untuk mengukur suhu Al 6061 apakah sudah mencapai titik semi solidnya atau belum, sehingga ketika pembuatan komposit dapat dilakukan dengan maksimal.



**Gambar 3.6** *Infrared Thermogun* (fluke.com)

## 6. Set Tungku Peleburan

Tungku peleburan digunakan untuk melebur logam-logam yang akan melalui proses *casting*, fungsi dari tungku pada penelitian ini untuk *stir casting* aluminium dengan partikel penguatnya.



**Gambar 3.7** Set Tungku Peleburan

### 3.2.2.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang dibutuhkan pada penelitian ini:

#### 1. Aluminium 6061

Aluminium 6061 adalah paduan aluminium yang umum digunakan pada industri otomotif, dirgantara, manufaktur, dan konstruksi. Komposisi elemen utama dalam paduan yaitu aluminium, magnesium, dan silikon. Dalam penelitian ini digunakan untuk menggabungkannya dengan alumina menjadi sebuah komposit melalui metode *thixoforming*.



**Gambar 3.8** Aluminium 6061 (navstarsteel.com)

#### 2. Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Fungsi alumina sebagai pengisi atau penguat pada penelitian menggunakan metode *thixoforming*. Komposisi paduan dari aluminium dan oksigen, memiliki sifat fisik berwarna putih.



**Gambar 3.9** Alumina (tehrantimes.com)

### 3.2.3 Pembuatan Komposit

Proses dibuatnya komposit menggunakan metode stir casting yang dimana penguatnya alumina dan bahannya aluminium. Selanjutnya setelah ingot yang sudah berpenguat alumina tersebut dilakukan proses pembentukan dengan metode *thixoforming* yang dipanaskan sampai mencapai *semi solid* aluminium lalu komposit di tekan menggunakan mesin *press* hidrolik. Setelah mencapai temperatur semi solid yang ditunjukkan melalui indicator dari *muffle furnace* yaitu 620 C, dilakukan penekanan pada cetakan melalui mesin *press* hidrolik sampai permukaan 2 cetakan menyentuh yang menunjukan batas maksimum penekanan. Setelah itu komposit dan cetakan didinginkan dengan media udara atau *normalizing*, tahapan pembuatan komposit adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan pada tahap pembuatan komposit.



**Gambar 3.10** Menyiapkan aluminium dan alumina

2. Menaruh aluminium 6061 pada krusibel yang sudah disediakan dengan komposisi aluminium 6061.
3. Memanaskan krusibel hingga aluminium menjadi mencair selama 40 menit. Memasukan penguat alumina setelah aluminium mencair

dengan komposisi 5%, setelah itu mengaduk dengan bor dengan 700 RPM selama 3 menit



**Gambar 3.11** Proses *stir*

4. Menuangkan hasil *stir casting* pada cetakan yang sudah disiapkan.



**Gambar 3.12** Penuangan *stir casting*

5. Memasukkan hasil *stir casting* pada *muffle furnace* dan memanaskan selama 33 menit untuk mencapai suhu *semi solid* yaitu 620° C.



**Gambar 3.13** Pemanasan hingga suhu 620° C

6. Mengeluarkan dari *muffle furnace* dan dilakukan pengpressan dengan mesin press hidrolik yang sudah disiapkan.



**Gambar 3.14** Melakukan proses *thixoforming*

7. Melakukan pendinginan melalui metode *normalizing* dengan media udara.
8. Mengambil komposit yang telah dibentuk untuk di rapihkan dengan gerinda.
9. Mengulangi langkah-langkah yang sama untuk 2 spesimen komposit selanjutnya.
10. Membersihkan alat dan bahan yang sudah digunakan untuk dirapihkan.

#### **3.2.4 Artificial Aging**

Setelah komposit berbentuk spesimen yang akan di uji, spesimen tersebut dimasukan kedalam *aging oven* untuk penuan buatan (*artificial aging*) sesuai variabel yang sudah ditentukan yaitu: spesimen 1 pada periode 1 jam, spesimen 2 pada periode 2 jam, dan spesimen 3 pada periode 3 jam dengan temperatur untuk semua variasi  $190^{\circ}\text{C}$ . Proses ini termasuk perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekanik spesimen, hal tersebut sesuai dengan aluminium 6061 yang sangat cocok untuk perlakuan panas. Setelah dilakukan penuaan buatan, spesimen wajib dimasukan kedalam *cooler box* yang berisi *dry ice* untuk mempertahankan strukturnya sebelum dilakukan pengujian. Tahapan *artificial aging* setelah dibuatnya komposit adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen komposit yang sudah dibuat, untuk dimasukan kedalam *muffle furnace*.

2. Menyiapkan *muffle furnace* dengan mengecek setiap bagiannya, untuk memastikan berfungsi dan aman.
3. Memasukan spesimen komposit kedalam *muffle furnace* dengan settingan temperatur  $550^{\circ}\text{C}$  dengan holding 30 menit untuk *solutioning*.



**Gambar 3.15** *Solutioning*

4. Melakukan *quenching* pada air es [3] setelah mencapai *holding time* dilanjut dengan pendinginan media air dingin sebanyak 1800 ml.



**Gambar 3.16** *Quenching*

5. Memasukan kembali spesimen pada *muffle furnace* dan menyetting *muffle furnace* pada temperatur  $190^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam.



**Gambar 3.17** Waktu tahan 1 jam

6. Mengeluarkan spesimen komposit dari *Muffle Furnace* dengan penjepit.
7. Mengulangi langkah-langkah yang sama pada variabel waktu tahan 2 jam, dan 3 jam.

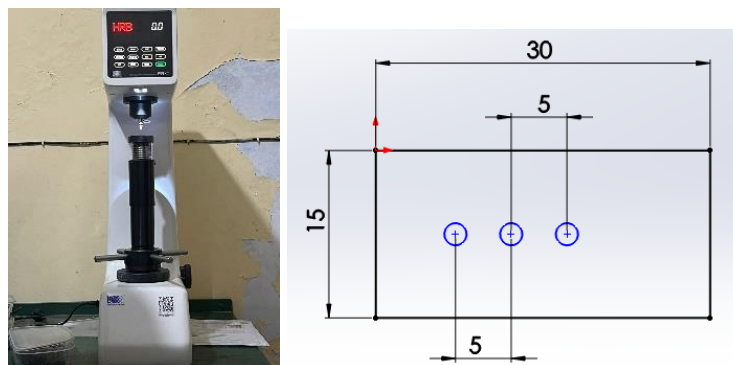


**Gambar 3.18** Waktu tahan 2 dan 3 jam

8. Membersihkan dan merapikan kembali peralatan dan bahan yang digunakan.

### 3.2.5 Pengujian Kekerasan

Setelah dilakukan penuaan buatan, spesimen dilakukan pengujian kekerasan *rockwell* sesuai standar ASTM E18-22 pada laboratorium metalurgi UNTIRTA untuk mengetahui sifat mekaniknya pada 3 spesimen yang memiliki 3 variasi waktu tahan yang berbeda-beda pada penuaan buatan yang sudah dilakukan. Menggunakan skala B / HRB dengan indenter bola baja 1/16” dan beban 100 kgf. Dilakukan sebanyak 3x pengujian setiap masing masing material, dan setiap titik mempunyai antar jarak 5 mm.

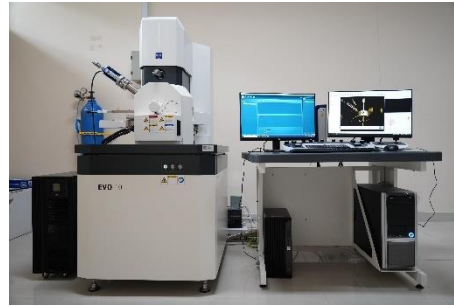


**Gambar 3.19** Alat uji kekerasan *Rockwell* & Titik Uji Kekerasan (mm)



### 3.2.6 Pengujian Metalografi

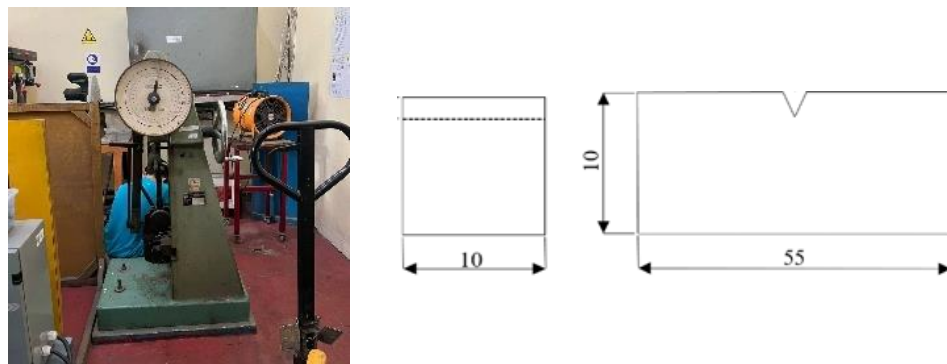
Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan, dilanjutkan dengan pengujian metalografi pada 3 spesimen tersebut yang memiliki variasi waktu tahan yang berbeda beda ketika proses penuaan buatan. Pengujian dilakukan sesuai standar ASTM E3 pada laboratorium Terpadu untirta untuk mengetahui morfologi pada material.



**Gambar 3.20** Zeiss EVO 10 *Scanning Electron Microscope*

### 3.2.7 Pengujian Impak

Setelah dilakukan pengujian metalografi dan uji kekerasan, selanjutnya dilakukan pengujian impak sesuai standar ASTM E23 pada laboratorium Metalurgi UNTIRTA. Pengujian dilakukan untuk mengetahui patahan dan nilai energi yang diserap (J) pada material uji. Semakin banyak energi yang diserap maka akan semakin ulet material tersebut, dan juga sebaliknya yaitu semakin getas suatu material maka akan semakin kecil pula nilai impaknya.



**Gambar 3.21** Alat Uji Impak & Bentuk Spesimen

### **3.2.8 Analisis Data**

Sesudah mendapatkan data setiap pengujian yang dilakukan, terlebih dahulu dilakukan olah data yang didapat pada pengujian. Data yang didapat setelah pengolahan maka akan menjadi sebuah grafik diagram garis yang menunjukkan perubahan relatif pada sifat mekanik spesimen komposit selama periode waktu tahan tertentu. Setelah mengamati grafik diagram garis, maka akan didapatkan data terbaik dari 3 spesimen komposit tersebut pada salah satu variasi yang ditentukan. Terdapat pengamatan juga untuk menganalisis struktur mikro yang didapat setelah dilakukannya beberapa proses penelitian untuk meningkatkan karakteristik paduan tersebut.

### **3.2.9 Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan diambil dari hasil pengujian dan analisis data untuk setiap variasi waktu tahan penuaan buatan pada spesimen komposit. Dimana terdapat data terbaik dari ketiga variasi tersebut, serta pengamatan struktur mikro. Selanjutnya, saran dibuat untuk penelitian di masa depan untuk mencapai hasil terbaik. Hal ini dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan dan kekurangan pada penelitian ini, sehingga penelitian selanjutnya dapat menghasilkan temuan terbaik.

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Thixoforming

Proses *thixoforming* dilakukan untuk pembentukan aluminium yang sudah tercampur penguat. Adapun gambar sebelum dilakukan *thixoforming* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Spesimen 1,2, dan 3 sebelum *thixoforming*

Adapun gambar hasil spesimen setelah *thixoforming* adalah sebagai berikut



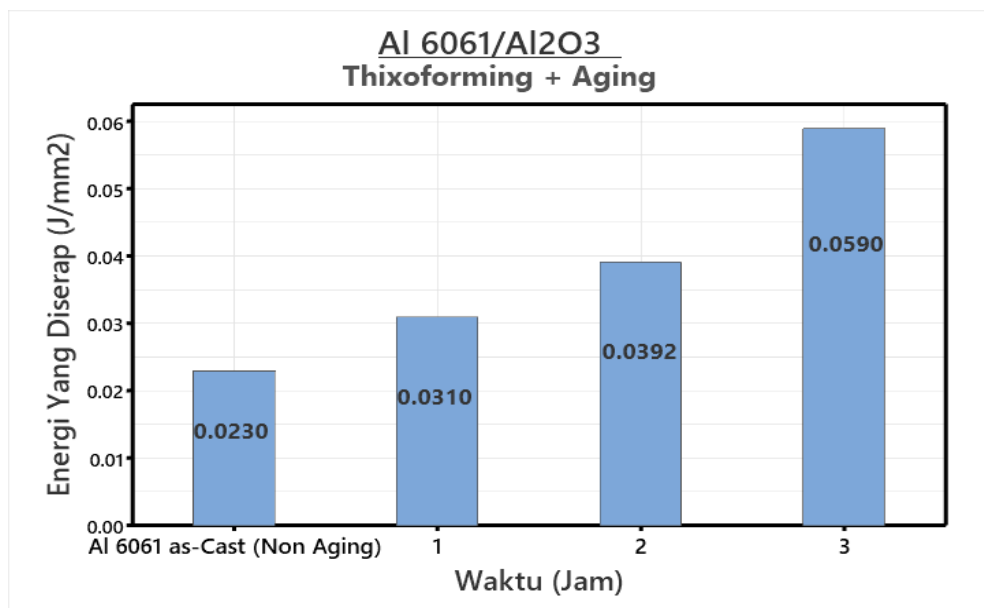
Gambar 4.2 Spesimen 1,2, dan 3 setelah *Thixoforming*

Setelah dilakukan *thixoforming*, terlihat dari gambar diatas bahwasannya *thixoforming* yang dilakukan berhasil karena setelah pengamatan visual tersebut, terjadinya perubahan dimensi diantara sebelum dilakukan *thixoforming* dan setelah *thixoforming* seperti pada gambar 4.1 dan 4.2. Pengurangan tebal dimensi yang terjadi pada spesimen 1 yang awalnya 13.7 mm menjadi 12.1 mm. Lalu untuk spesimen 2 yang awalnya 13.9 mm menjadi 12.3 mm, dan pada spesimen 3 sebelum *thixoforming* 14 mm menjadi 12.3 mm. *Thixoforming* yang dilakukan berhasil mereduksi rata-rata 1.6 mm setiap spesimennya.

#### 4.2 Pengujian Impak

Setelah proses *artificial aging* yang dilakukan pada spesimen, selanjutnya dilakukan pengujian impak dalam jenis *charpy* sesuai dengan ASTM E23 yang dilakukan pada laboratorium metalurgi fakultas teknik untirta. Setelah mempersiapkan spesimen yang akan dilakukan pengujian, selanjutnya dilakukan pengujian impak yang dibantu oleh asisten laboratorium metalurgi. Setelah dilakukan pengujian impak, dilanjut dengan mencari nilai impak dengan rumus:

$$\text{Nilai impak: } \frac{\text{Tekanan (J)}}{\text{Luas Penampang (mm}^2\text{)}} \dots\dots\dots(4.1)$$



**Gambar 4.3** Hasil pengujian impak

Dari hasil gambar 4.3 menunjukkan peningkatan yang terjadi pada setiap variasi, pada waktu tahan 1 jam dengan nilai  $0.031 \text{ J/mm}^2$ , lalu pada waktu tahan 2 jam dengan nilai  $0.0392 \text{ J/mm}^2$ , dan pada waktu tahan 3 jam mendapatkan nilai  $0.059 \text{ J/mm}^2$ . Sedangkan nilai impak aluminium *casting* murni mendapat nilai  $0.023 \text{ J/mm}^2$ , berarti semakin lamanya *artificial aging* tersebut maka akan semakin banyak energi (J) yang dapat diserap oleh material tersebut. Artinya waktu tahan pada *artificial aging* berbanding lurus dengan energi yang diserap material dalam variasi waktu tahan 1,2, dan 3 jam. Sehingga semakin sedikit energi yang diserap berarti semakin getas pula material tersebut, pada material yang di uji menunjukkan patahan berikut:



**Gambar 4.4** Hasil patahan uji impak waktu tahan 1 jam

Pada gambar 4.4 menunjukkan bahwasannya permukaan patahan yang kasar dan struktur granular, indikasi tersebut menunjukkan bentuk patahan termasuk getas karena material mendapatkan patahan dengan sedikit deformasi plastis, terlihat pada permukaan kasar dan tidak teraturinya. Tidak terlihat pula pemanjangan material yang menandakan deformasi plastis terjadi.



**Gambar 4.5** Hasil patahan uji impak waktu tahan 2 jam

Terlihat gambar 4.5 mendapatkan hasil permukaan patahan yang kasar yang menunjukkan tidak banyak terjadinya deformasi plastis sebelum patah. Tipe tersebut termasuk patahan getas, hal tersebut dikarenakan material mendapatkan sedikit deformasi plastis. Pada waktu tahan 2 jam menunjukkan yang struktur granular.



**Gambar 4.6** Hasil patahan uji impak waktu tahan 3 jam

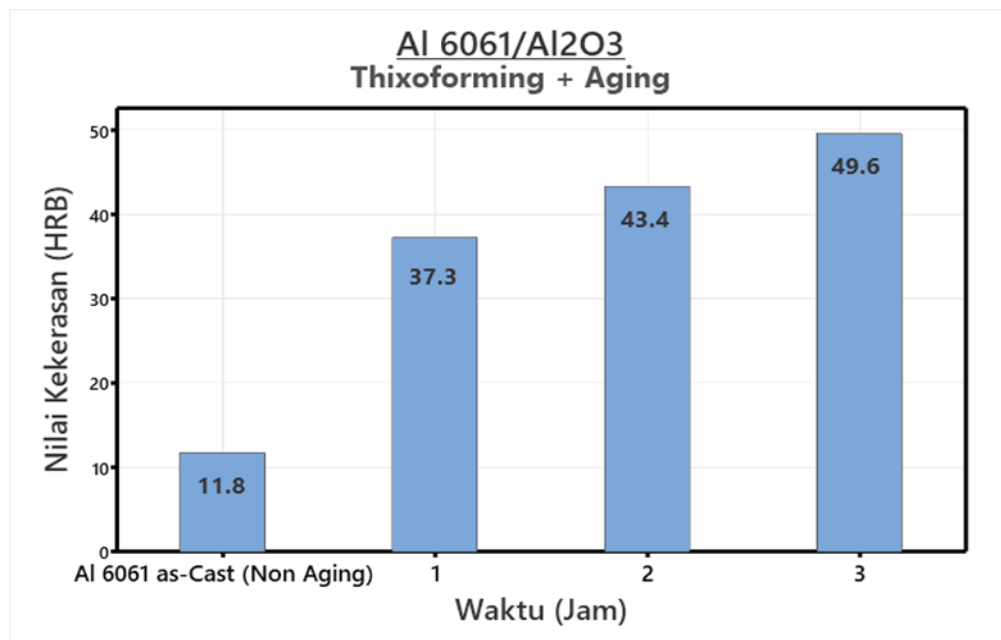
Pada gambar 4.6 terlihat menunjukkan patahan getas, permukaan kasar dan tidak teratur tersebut yang menunjukkan patahan mengalami sedikit deformasi plastis sebelum patah. Pada waktu tahan 3 jam merupakan struktur granula, butiran-butiran kecil tersebut menunjukkan bahwasannya material bersifat getas. Adapaun berikut tabel hasil pengujian impak dibawah ini:

**Tabel 4.1** Hasil pengujian impak

| <b>Hasil Pengujian Impak</b> |                          |              |              |              |                          |   |
|------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|---|
| <b>No</b>                    | <b>Waktu Tahan (Jam)</b> | <b>Uji 1</b> | <b>Uji 2</b> | <b>Uji 3</b> | <b>Tekanan Rata-Rata</b> | <b>Nilai Uji Impak (J/mm<sup>2</sup>)</b> |
| 1.                           | 1                        | 3            | 2.5          | 3.8          | 3.1                      | 0.031                                     |
| 2.                           | 2                        | 3.9          | 3.86         | 4            | 3.92                     | 0.0392                                    |
| 3.                           | 3                        | 5.9          | 5.8          | 6            | 5.9                      | 0.059                                     |
| 4.                           | AA 6061<br>as-Cast       | 2.7          | 2.1          | 2.3          | 2.36                     | 0.023                                     |

### 4.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan dengan metode *rockwell* di laboratorium metalurgi fakultas teknik untirta. Dimana menggunakan indentor bola baja 1/6" dengan beban 100 kgf. Pada pengujian kekerasan tersebut dilakukan sebanyak 5x untuk setiap spesimen untuk memastikan data tersebut dan mengambil 3 data terbaik dari masing masing jarak tersebut. Terdapat jarak 5 mm setiap titik pengujian agar mendapatkan hasil yang maksimal. Adapun hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.7** Hasil pengujian kekerasan

Pada gambar 4.7 menunjukkan kenaikan pada setiap rentang waktu tahan variasi *artificial aging*. Pada waktu tahan variasi 1 jam mendapatkan nilai 37.4 HRB, lalu mendapatkan nilai 43.4 HRB pada waktu tahan 2 jam, dan waktu tahan 3 jam mendapatkan nilai 49.6 HRB. Sedangkan nilai kekerasan aluminium murni *casting* hanya mendapatkan nilai 11.8 HRB, sehingga waktu tahan *artificial aging* berbanding lurus dengan kekerasan material tersebut. Artinya semakin lama waktu tahan *artificial aging* maka akan semakin keras material tersebut dalam variasi waktu tahan 1,2, dan 3 jam. Hal tersebut karena proses *artificial aging* sendiri berguna untuk mempercepat laju presipitat

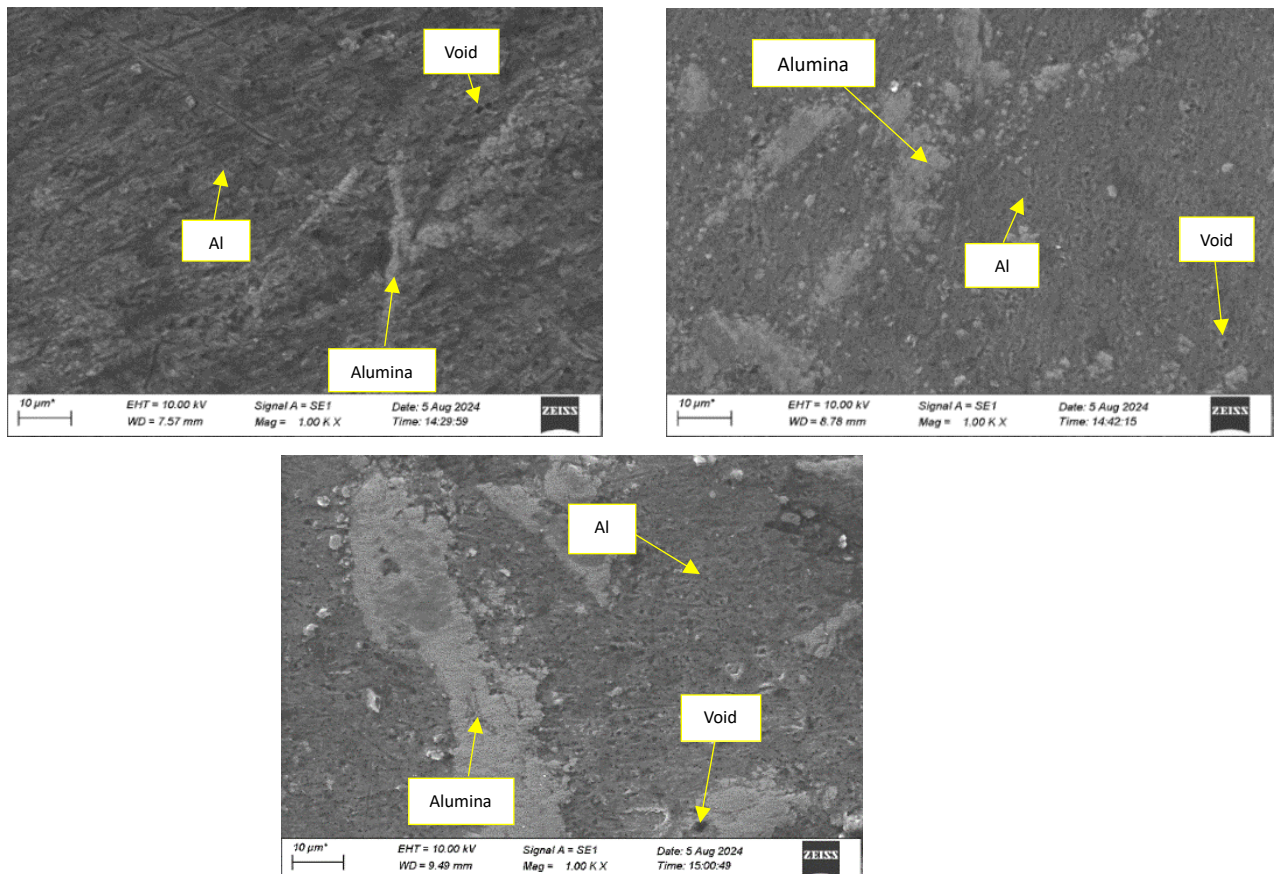
muncul dari material, sehingga ketika presipitat muncul akan memperkuat material tersebut.

**Tabel 4.2** Hasil pengujian kekerasan

| Hasil Pengujian Kekerasan |                   |         |         |         |                                 |
|---------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------------------------------|
| No                        | Waktu Tahan (Jam) | Titik 1 | Titik 2 | Titik 3 | Nilai Kekerasan Rata-Rata (HRB) |
| 1.                        | 1                 | 26.9    | 40.8    | 44.2    | 37.3                            |
| 2.                        | 2                 | 47.7    | 43.7    | 38.9    | 43.4                            |
| 3.                        | 3                 | 50.3    | 50      | 484     | 49.6                            |
| 4.                        | AA 6061 as-Cast   | 13.3    | 9.3     | 12.7    | 11.8                            |

#### 4.4 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui morfologi material komposit pada permukaannya. Berikut hasil SEM pada waktu tahan 1 jam:



**Gambar 4.8** Hasil metalografi waktu tahan 1 jam, 2 jam, dan 3 jam



Pada gambar 4.8 menunjukkan bahwasannya material bersifat homogenitas, yang dimana strukturnya tampak cukup konsisten dan tidak ada tanda cacat besar atau pori-pori yang berlebihan. Lalu ukuran butirnya dan distribusi relatif seragam dan kekasaran permukaan tidak terlalu berlebihan, artinya *artificial aging* yang dilakukan optimal. Terlihat inklusi atau partikel alumina yang menempel pada permukaan. Pada waktu tahan 2 jam porositas dan pori lebih banyak daripada waktu tahan 1 jam. Pada waktu tahan 3 jam jumlah pori-pori meningkat daripada waktu tahan sebelumnya dalam jumlah yang wajar. Meskipun tidak ada cacat yang signifikan dan kekasaran permukaan yang tidak berlebihan. Sehingga pada penelitian ini semakin lama waktu tahan maka akan semakin banyak jumlah pori-pori, namun masih dalam batas yang wajar karena ukuran dan distribusinya tidak terkonsentrasi, sehingga tidak akan banyak berpengaruh dengan sifat mekaniknya. Terlihat juga inklusi partikel penguat alumina pada permukaan material yang warna kontrasnya berbeda dari aluminium.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat pada penelitian ini seperti berikut ini:

1. Pada hasil pengujian impak menunjukkan bahwasannya permukaan patahan pada waktu tahan 1,2, dan 3 jam menunjukkan patahan getas. Dimana ditunjukkan dari permukaan yang kasar serta tidak beraturan dan granular yang menunjukkan patahan sedikit mengalami deforamsi plastis sebelum patah. Pada waktu tahan 1 jam mendapatkan nilai  $0.031 \text{ J/mm}^2$ , sedangkan pada waktu tahan 2 jam mendapatkan nilai  $0.0392 \text{ J/mm}^2$ , dan pada waktu tahan 3 jam mendapatkan nilai  $0.059 \text{ J/mm}^2$ . Sehingga waktu tahan *artificial aging* berbanding lurus dengan jumlah energi yang diserap dalam variasi waktu tahan 1,2, dan 3 jam. Hal tersebut disebabkan munculnya presipitat yang lebih cepat sehingga material dengan waktu tahan 3 jam mendapatkan nilai tertinggi.
2. Pada hasil pengujian uji kekerasan menunjukkan nilai kekerasan pada material waktu tahan 1 jam dengan rata-rata 37.3 HRB, lalu pada waktu tahan 2 jam mendapatkan rata-rata 43.4 HRB, dan pada waktu tahan 3 jam mendapatkan rata-rata nilai 49.6 HRB. Dari hasil tersebut menunjukkan waktu tahan *artificial aging* berbanding lurus dengan nilai kekerasan suatu material dalam variasi waktu tahan 1,2, dan 3 jam.
3. Pada hasil pengujian metalografi waktu tahan 1,2, dan 3jam menunjukkan struktur permukaan komposit yang dibuat bersifat homogenitas, ukuran butiran yang seragam dan distribusinya merata. Tidak terlihat cacat yang signifikan pada permukaan dan kekesaran yang berlebihan. Namun seiring lamanya waktu tahan saat *artificial aging* tersebut, bertambah pula pori-pori pada waktu tahan yang bertambah lama, meskipun jumlah pori-pori tersebut masih batas wajar. Inklusi atau partikel penguat pada permukaan yaitu alumina terlihat dengan warna yang kontras berbeda dengan aluminium, sehingga dengan adanya penguat menambah kekuatan material tersebut.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang harus dilakukan pada penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Menggunakan alat yang lebih tersistem seperti *hot press*, karena dibutuhkan waktu yang cepat ketika proses *thixoforming*.
2. Melakukan pengujian XRD untuk mengetahui komposisi unsur didalamnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdelgnei, M. A., Omar, M. Z., Ghazali, M. J., & Mohammed, M. N. (2022). Microstructure evaluation and mechanical properties of thixoformed Al-5.7 Si-2Cu-0.3 Mg aluminum alloys. *International Journal of Metalcasting*, 16(1), 370-384.
- [2] Al Ghifari, I., Budiarto, U., & Zakki, A. F. (2018). Analisa Kekuatan Impak, Tarik, dan Mikrografi Aluminium 5083 Akibat Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) dengan Variasi Posisi Pengelasan. 6(4).
- [3] Alhamidi, A., Fitrullah, M., & Dewi, M. (2016). Evolusi Mikrostruktur Paduan Al 6061 Hasil Proses Canai Dingin Terhadap Sifat Mekanik. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 12(1), 25-34.
- [4] Chandler, H. (1999). *Hardness testing*: ASM international.
- [5] Committee, A. H. (1990). Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials. In: ASM international.
- [6] Davis, J. R. J. (1998). *Metals handbook desk edition*.
- [7] Dwight, J. (1998). *Aluminium design and construction*: CRC Press.
- [8] Ghababazade, R., Mirhabibi, A., Pourasad, J., Brown, A., Brydson, A., & Amiri, M. J. (2007). Study of the phase composition and stability of explosive synthesis nanosized Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 601(1), 2864-2870.
- [9] Hadi, Q. (2018). Pengaruh Pengadukan dengan Variasi Simple Padle Blade Terhadap Kehomogenan dan Sifat Mekanik Komposit Al-Fly-Ash dengan Metode Stir Casting Tanpa Pembasahan.
- [10] Harris, B. (1999). *Engineering composite materials*.
- [11] Hirt, G., & Kopp, R. (2009). *Thixoforming: Semi-solid metal processing*: John Wiley & Sons.
- [12] Husain, N., Ahmad, A., & Rashidi, M. (2017). *An overview of thixoforming process*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- [13] Lashkari, O., & Ghomashchi, R. (2007). The implication of rheology in semi-solid metal processes: An overview. 182(1-3), 229-240.

- [14] Mirjalili, F., Abdullah, L. C., Mohamad, H., Fakhru'l-Razi, A., Dayang Radiah, A., & Aghababazadeh. (2011). Process for producing nano-alpha-alumina powder. *2011*.
- [15] Pintubatu, S. P., Sutjipto, S., & Suyitno, S. (2020). *Perancangan Alat Stir Casting untuk Proses Pembuatan Komposit Matriks Aluminium dengan Saluran Penuangan*. Paper presented at the Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar.
- [16] Polat, A., Avsar, M., Ozturk, F. (2015). Effects of the artificial-aging temperature and time on the mechanical properties and springback behavior of AA6061. *Materiali in tehnologije*, 49(4), 487-493.
- [17] Pradityana, A., & Widyanoro, E. K. (2019). Effects of Holding Time During Artificial aging Process on AA6061 to the Mechanical Properties. (3), 121-123.
- [18] Pramono, C., Widodo, S., & Ardiyanto, M. G. (2019). Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu Dengan Matriks Epoxy. 3(1), 1-7.
- [19] Prayitno, D., & Apriandini, F. A. (2019). Pengaruh Waktu Tahan Pada Proses Artificial Aging Terhadap Kekerasan Paduan Al-Sn-Cu. 4(1), 1-5.
- [20] Rajaa, S. M., Abdulhadi, H. A., Jabur, K. S., Mohammed, G. Technology, & Research, A. S. (2018). Aging time effects on the mechanical properties of Al 6061-T6 alloy. 8(4), 3113-3115.
- [21] Sukma, H., Prasetyani, R., Rahmalina, D., & Imanuddin, R. (2015). Peran penguat partikel alumina dan silikon karbida terhadap kekerasan material komposit matriks aluminium.
- [22] Vander Voort, G. F. (1999). *Metallography, principles and practice*: ASM international.
- [23] Vaneetveld, G., Rassili, A., Pierret, J.-C., & Lecomte-Beckers, J. (2010). Conception of tooling adapted to thixoforging of high solid fraction hot-crack-sensitive aluminium alloys. 20(9), 1712-1718.
- [24] Vernoal, G., Jokosiworo, S., & Adietya, B. A. (2019). Pengaruh Perbedaan Tool Tilt Angle terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Pada

Aluminium 6061 dengan Pengelasan Double Sided Friction Stir Welding.  
7(4).

- [25] Wibowo, A. T., & Samlawi, A. K. (2020). PENGARUH PROSES QUENCHING DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR DAN OLI TERHADAP KEKERASAN BAJA DAN STRUKTUR MIKRO BAJA S45C. 2(2), 137-148.
- [26] Zhang, X., & Chen, T. (2018). Solution treatment behaviors of 6061 aluminum alloy prepared by powder thixoforming. 21, e20180057.

## Lampiran

### Lampiran 1. Pengujian impak

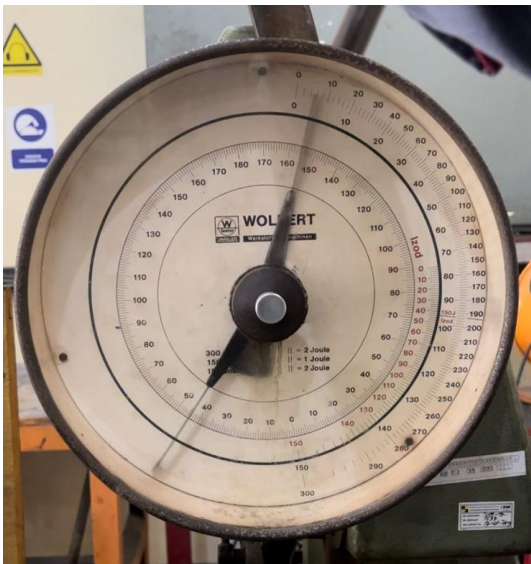
Waktu tahan 1 jam



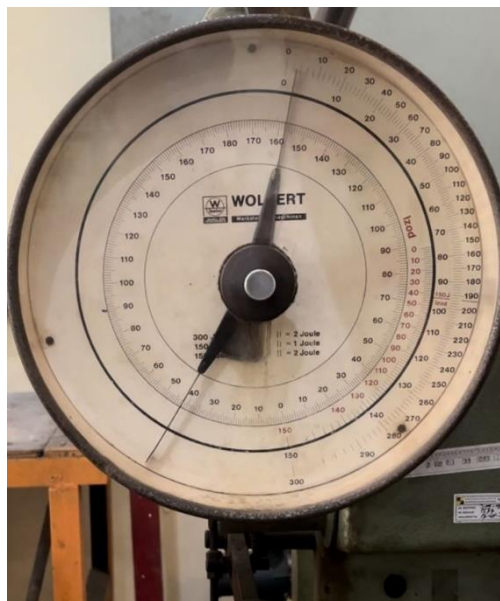
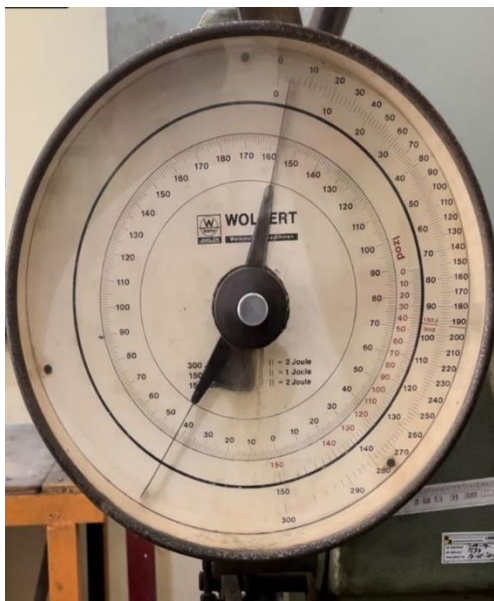
Waktu tahan 2 jam



Waktu tahan 3 jam



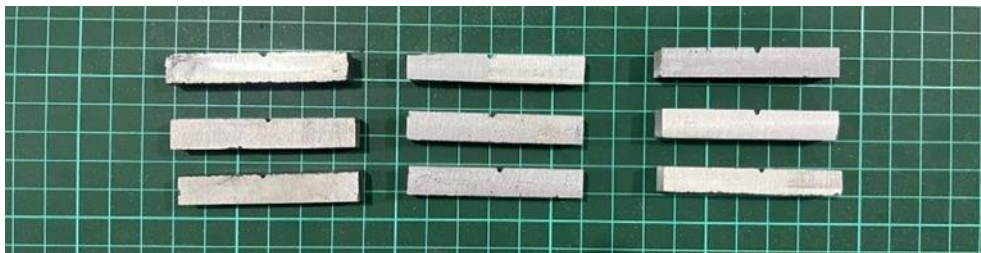
Aluminium murni hasil *casting*





| Hasil Pengujian Impak |                    |       |       |       |                   |                                      |
|-----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------------------|--------------------------------------|
| No                    | Waktu Tahan (Jam)  | Uji 1 | Uji 2 | Uji 3 | Tekanan Rata-Rata | Nilai Uji Impak (J/mm <sup>2</sup> ) |
| 1.                    | 1                  | 3     | 2.5   | 3.8   | 3.1               | 0.031                                |
| 2.                    | 2                  | 3.9   | 3.86  | 4     | 3.92              | 0.0392                               |
| 3.                    | 3                  | 5.9   | 5.8   | 6     | 5.9               | 0.059                                |
| 4.                    | AA 6061<br>as-Cast | 2.7   | 2.1   | 2.3   | 2.36              | 0.023                                |

Spesimen sebelum uji impak



## Lampiran 2. Pengujian kekerasan

Waktu tahan 1 jam



Waktu tahan 2 jam



Waktu Tahan 3 jam



Aluminium murni *casting*



| Hasil Pengujian Kekerasan |                   |       |       |       |                                 |
|---------------------------|-------------------|-------|-------|-------|---------------------------------|
| No                        | Waktu Tahan (Jam) | Uji 1 | Uji 2 | Uji 3 | Nilai Kekerasan Rata-Rata (HRB) |
| 1.                        | 1                 | 26.9  | 40.8  | 44.2  | 37.3                            |
| 2.                        | 2                 | 47.7  | 43.7  | 38.9  | 43.4                            |
| 3.                        | 3                 | 50.3  | 50    | 484   | 49.6                            |
| 4.                        | AA 6061 as-Cast   | 13.3  | 9.3   | 12.7  | 11.8                            |

### Lampiran 3. Pembuatan Komposit

Fraksi Berat aluminium dan alumina sebelum *stir casting*



#### Lampiran 4. Pengujian Metalografi

Sebelum dilakukan pemolesan untuk metalografi



Setelah dilakukan pemolesan untuk metalografi



## Lampiran 5. Artificial Aging

Proses penaruhan spesimen pada *muffle furnace*



Proses *Solutioning*



Proses *Quenching*



Proses *Aging*



## Lampiran 6. *Thixoforming* Proses

Proses memanaskan sampai temperatur *semi solid* pada *muffle furnace*



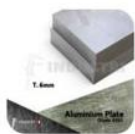
Suhu menunjukkan *semi solid* material



Proses pembentukan material *thixoforming*



## Detail produk



### Plat Aluminium 6mm | Aluminium 6061 harga per 1 cm<sup>2</sup>

|              |                              |
|--------------|------------------------------|
| Kondisi      | Baru                         |
| Berat Satuan | 2 g                          |
| Min. Beli    | 210                          |
| Kategori     | <b>Mesin Milling</b>         |
| Etalase      | <b>Plat Aluminium - 6061</b> |

## Deskripsi produk



DIMOHON UNTUK BERTANYA SEBELUM MEMBELI :)  
ATAU DAPAT MEMBACA DESKRIPSI DIBAWAH

Spesifikasi :

Material Type: A6061 BE

Composition (%) : Si 0.4 0.8, Fe Max 0.7, Cu 0.15  
0.4, Mn Max 0.15, Mg 0.8 1.2, Cr 0.04 0.35 Zn Max  
0.25, Ti Max 0.15 Al Residue

Tensile Strength (N/mm<sup>2</sup>) : Min. 265

Pressure Resistace (N/mm<sup>2</sup>) : Min. 245

Elongation (%) : Min. 8

Equivalent : A6061 BE, T6061, AlMg1SiCu



# TOMA INTERNATIONAL LIMITED

UNIT 826,8/F, OCEAN CENTRE, HARBOUR CITY, 5 CANTON ROAD, TST, KOWLOON, HONG KONG.

## CERTIFICATE OF ANALYSIS (WHITE ALUMINUM OXIDE)

Commodity: White Aluminum Oxide  
 Issued By: TOMA INTERNATIONAL LIMITED  
 Order no: 047/PO-RAS/III/2018  
 Issue date: Mar.14.2018

|                               |
|-------------------------------|
| Product: WHITE ALUMINUM OXIDE |
| Lot(Batch) Number: 2018PYMT01 |

### Physical Composition(%)

| Commodity  |          | White Aluminum Oxide(Grade A) |            |                           |             |           | Lot No. |      |              |         |
|------------|----------|-------------------------------|------------|---------------------------|-------------|-----------|---------|------|--------------|---------|
| Batch No.  |          | Size & Quantity               |            | Grit Siz Distribution (%) |             |           |         |      | Lot Quantity | Remarks |
|            |          | Coarsest                      | Coarser    | Basic                     | Mixed       | Finer     |         |      |              |         |
| 2018PYMT01 | F24/2MT  | 0                             | ≦25<br>4.5 | ≥45<br>60.5               | ≥65<br>94.5 | ≦3<br>0.1 | 25X40   | PASS |              |         |
| 2018PYMT01 | F80/1MT  | 0                             | ≦25<br>10  | ≥45<br>58                 | ≥65<br>88   | ≦3<br>0.3 | 25X40   | PASS |              |         |
| 2018PYMT01 | F100/1MT | 0                             | ≦25<br>10  | ≥45<br>56                 | ≥65<br>88   | ≦3<br>0.2 | 25X40   | PASS |              |         |

### Chemical Composition(%)

|         | Al2O3 | SiO2 | Fe2O3 | Na2O |  |  |
|---------|-------|------|-------|------|--|--|
| WA F24  | 99.65 | 0.05 | 0.01  | 0.24 |  |  |
| WA F80  | 99.62 | 0.07 | 0.02  | 0.27 |  |  |
| WA F100 | 99.61 | 0.07 | 0.02  | 0.27 |  |  |

Tested by: Wang Fang      Checked by: Zhuang Hui

Reported by: Lui Ying      Report Date: Apr.30.2018

For and on behalf of  
 TOMA INTERNATIONAL LIMITED  
 頭馬國際有限公司  
  
 Authorized Signature(s)

PRATIWI GRANT ANTHIA WINASIS  
 JAKARTA