

**PENGARUH VARIASI WAKTU *ARTIFICIAL AGING*
TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT AI 6061
BERPENGUAT SiC HASIL PROSES *THIXOFORMING***

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun oleh

NARENDRA PUTRA VENDANA

3331200032

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

2024

TUGAS AKHIR

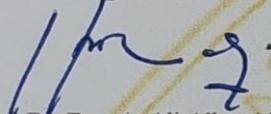
Pengaruh Variasi Waktu Arificial Aging Terhadap Karakteristik Komposit Al 6061 Berpenguat SiC Hasil Proses Thixoforming

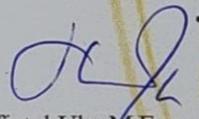
Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Narendra Putra Vendana
3331200032

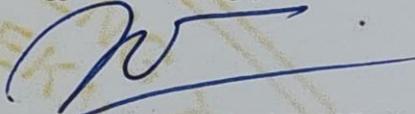
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 16 Agustus 2024

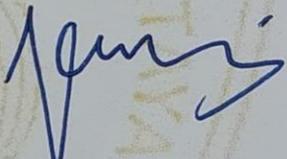
Pembimbing Utama

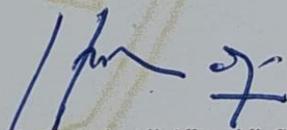

Prof. Dr. Eng. A. Ali Alhamidi, ST., MT.
NIP.197312131999031001


Shofiatul Ula, M.Eng.
NIP. 198403132019032009

Anggota Dewan Penguji


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


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 30 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 : Narendra Putra Vendana

NIM :3331200032

Judul : Pengaruh Variasi Waktu *Artificial Aging* Terhadap Karakteristik Komposit Al 6061 Berpenguat SiC Hasil Proses *Thixoforming*

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

MENYATAKAN

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

Cilegon, 16 Agustus 2024



Narendra Putra Vendana

NIM. 3331200032

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat memulai serta menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Waktu *Artificial Aging* Terhadap Karakteristik Komposit Al 6061 Berpenguat SiC Hasil Proses *Thixoforming*” dengan baik. Karena telah selesainya tugas akhir ini, Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang berpartisipasi pada penelitian dan pembuatan tugas akhir ini, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2. Bapak Prof. Dr.Eng Ir. Hendra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa mengarahkan selama masa perkuliahan
3. Bapak Prof. Dr.Eng Ir. A. Ali Alhamidi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 yang senantiasa memberikan ilmu dan pengalamannya selama penelitian berlangsung
4. Ibu Shofiatul Ula, SPd.I., M.Eng Selaku Dosen Pembimbing 2 yang senantiasa membimbing dan mengingatkan selama penelitian berlangsung
5. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
6. Seluruh staff dan jajaran dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
7. Bapak Venn Sofyan dan Ibu Erliana Tresnadewi selaku kedua orang tua serta Ibu Tresnawati selaku nenek yang selalu mendoakan, mendukung, dan membantu Penulis untuk terus berkembang dan menjadi yang terbaik
8. Narapati Pragata Vendana dan Naradipati Prayoga Vendana selaku adik dari penulis yang selalu menjadi tempat untuk bermain hingga belajar bersama
9. Sheikhan Azmi Riyanto, Tristan Verrill Adam, Ghifari Arifianto, Muhammad Farrel Ludira, dan Muhammad Naufal Hanif selaku teman satu tim dalam Tugas Akhir *Thixoforming* yang selalu kebersamai dan saling tolong menolong selama penelitian berlangsung

10. Seluruh teman-teman Teknik Mesin angkatan kapal (2020) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang saling membantu selama perkuliahan berlangsung
11. Seluruh pihak yang terlibat dalam Tugas Akhir ini, baik secara praktik maupun secara teori

Penulis menyadari bahwa masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, diperlukan kritik serta saran yang membangun dari Pembaca untuk mencapai kesempurnaan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan ilmu pengetahuan baru dan dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Cilegon, 16 Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

Pengaruh Variasi Waktu *Artificial Aging* Terhadap Karakteristik Komposit Al 6061 Berpenguat SiC Hasil Proses *Thixoforming*

Narendra Putra Vendana

3331200032

Aluminium merupakan salah satu jenis material dengan pengaplikasian yang luas, salah satunya pada industri otomotif. Hal ini disebabkan karena sifat dari aluminium seperti memiliki bobot yang relatif ringan serta tahan terhadap korosi. Oleh karena itu, aluminium memiliki potensi untuk menggantikan peran dari baja karbon khususnya pada sasis kendaraan roda dua. Namun, perlu perlakuan lanjutan pada aluminium untuk meningkatkan sifat mekanik agar dapat bersaing dengan baja karbon.

Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mencari sifat mekanik material terbaik dari komposit bermatriks aluminium 6061 (Al 6061) dengan penguat silikon karbida (SiC) yang dibantu oleh magnesium (Mg) sebagai *wetting agent*. Pada penelitian ini dilakukan proses *stir casting*, *thixoforming*, *precipitation hardening*, serta ketiga pengujian yaitu struktur mikro, uji kekerasan, dan uji impak.

Hasil dari pengujian struktur mikro didapatkan kesimpulan bahwa semakin lama waktu penahanan *artificial aging* pada temperatur 190°C, maka persebaran penguat semakin merata dan ukuran dari butir-butir penguat mengecil serta semakin banyaknya indikasi dari presipitat Mg₂Si yang terbentuk. Sedangkan untuk hasil dari uji kekerasan dengan temperatur *artificial aging* sebesar 190°C dengan waktu penahanan selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam berturut-turut yaitu 34,8 HRB; 41 HRB; dan 48,5 HRB. Dan untuk hasil dari uji impak dengan temperatur *artificial aging* sebesar 190°C dengan waktu penahanan selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam berturut-turut yaitu 0,015 J/mm²; 0,02 J/mm²; dan 0,022 J/mm².

Kata kunci: Al 6061, SiC, Mg, *Thixoforming*, *Artificial Aging*, Presipitasi

ABSTRACT

Effect Of Artificial Aging Time Variation On The Characteristics Of SiC Supported Al 6061 Composite Produced From Thixoforming Process

Narendra Putra Vendana

3331200032

Aluminum, owing to its lightweight and corrosion resistance properties, has found extensive applications in the automotive industry. This has led to its potential as a substitute for carbon steel, particularly in two-wheeled vehicle chassis. However, to compete with carbon steel, aluminum requires additional treatments to enhance its mechanical properties.

This study aims to determine the optimal mechanical properties of an aluminum 6061 (Al 6061) matrix composite reinforced with silicon carbide (SiC) particles and assisted by magnesium (Mg) as a wetting agent. The study involves stir casting, thixoforming, precipitation hardening, and subsequent microstructural analysis, hardness testing, and impact testing.

Microstructural analysis results revealed that as the holding time at 190°C during artificial aging increased, the distribution of reinforcements became more uniform, the size of the reinforcement particles decreased, and the presence of Mg₂Si precipitates increased. Hardness testing at 190°C for 1, 2, and 3 hours yielded values of 34.8 HRB, 41 HRB, and 48.5 HRB, respectively. Impact testing under the same conditions produced values of 0.015 J/mm², 0.02 J/mm², and 0.022 J/mm², respectively.

Keywords: Al 6061, SiC, Mg, Thixoforming, Artificial Aging, Precipitation

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Metodologi Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>State of Art</i>	5
2.2 Aluminium	6
2.3 Silikon Karbida	7
2.4 Komposit	8
2.5 <i>Thixoforming</i>	9
2.6 <i>Artificial Aging</i>	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Diagram Alir Penelitian	12
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian	14

3.2.1	Alat Penelitian.....	14
3.2.2	Bahan Penelitian	23
3.3	Prosedur Penelitian.....	28
3.3.1	Proses <i>Stir Casting</i>	28
3.3.2	Proses <i>Thixoforming</i>	31
3.3.3	Proses <i>Heat Treatment</i>	32
3.3.4	Proses <i>Artificial Aging</i>	32
3.3.5	Proses Pengamatan Struktur Mikro	33
3.3.6	Proses Pengujian Kekerasan	33
3.3.7	Proses Pengujian Impak.....	34
3.3.5	Proses Pengolahan Data.....	35
3.4	Variabel Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	<i>Stir Casting</i>	37
4.2	<i>Thixoforming</i>	37
4.3	<i>Precipitation Hardening</i>	38
4.4	Pengamatan Struktur Mikro	40
4.5	Uji Kekerasan.....	49
4.6	Uji Impak.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi *Stir Casting*

Lampiran 2. Dokumentasi *Thixoforming*

Lampiran 3. Dokumentasi *Precipitation Hardening*

Lampiran 4. Dokumentasi Pengamatan Struktur Mikro

Lampiran 5. Dokumentasi Uji Kekerasan

Lampiran 6. Dokumentasi Uji Impak

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Ketentuan Penomoran Pertama.....	7
Gambar 2.2 Daerah Komposit.....	9
Gambar 2.3 Tahapan <i>Thixoforming</i>	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	12
Gambar 3.2 Cetakan	14
Gambar 3.3 Alat <i>Press</i>	15
Gambar 3.4 <i>Thermogun</i>	15
Gambar 3.5 Timbangan	16
Gambar 3.6 <i>Muffle Furnace</i>	16
Gambar 3.7 Ember.....	17
Gambar 3.8 Gerinda	17
Gambar 3.9 Alat Pengamatan Struktur Mikro.....	18
Gambar 3.10 Alat Uji Kekerasan	18
Gambar 3.11 Alat Uji Impak.....	19
Gambar 3.12 <i>Cooler Box</i>	19
Gambar 3.13 Alat Pelindung Diri.....	20
Gambar 3.14 Alat Peleburan	20
Gambar 3.15 Alat Penunjang Peleburan.....	21
Gambar 3.16 Krusibel.....	21
Gambar 3.17 <i>Torch</i>	22
Gambar 3.18 Mesin <i>Grinding Polishing</i>	22
Gambar 3.19 Jangka Sorong.....	23
Gambar 3.20 Alat Pengaduk.....	23
Gambar 3.21 Aluminium 6061	24
Gambar 3.22 SiC	24
Gambar 3.23 Mg.....	25
Gambar 3.24 Air.....	25
Gambar 3.25 Es Batu.....	26

Gambar 3.26 Gas Portabel.....	26
Gambar 3.27 Gas LPG.....	26
Gambar 3.28 Amplas.....	27
Gambar 3.29 <i>Microfiber</i>	27
Gambar 3.30 Pasta Alumina.....	28
Gambar 3.31 Pemotongan Al6061	28
Gambar 3.32 Persiapan Alat Peleburan.....	29
Gambar 3.33 Penimbangan Bahan	29
Gambar 3.34 Peletakan Krusibel Pada Tungku.....	30
Gambar 3.35 Pembuangan Terak	30
Gambar 3.36 Pengadukan Dan Pencampuran Penguat	30
Gambar 3.37 Pemanasan Cetakan	31
Gambar 3.38 Penuangan Leburan Komposit.....	31
Gambar 3.39 Sampel Uji SEM.....	33
Gambar 3.40 Sampel Uji Kekerasan	34
Gambar 3.41 Sampel Uji Impak.....	35
Gambar 4.1 <i>Precipitation Hardening Process</i>	39
Gambar 4.2 SEM 1000× <i>Artificial Aging</i> a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam.....	41
Gambar 4.3 EDS <i>Mapping Artificial Aging</i> a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam	43
Gambar 4.4 Unsur Al <i>Artificial Aging</i> a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam	44
Gambar 4.5 Unsur Mg <i>Artificial Aging</i> a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam.....	45
Gambar 4.6 Unsur Si <i>Artificial Aging</i> a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam.....	45
Gambar 4.7 Unsur C <i>Artificial Aging</i> a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam.....	46
Gambar 4.8 Unsur O <i>Artificial Aging</i> a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam.....	46
Gambar 4.9 Spektrum EDS <i>Artificial Aging</i> 1 Jam	47
Gambar 4.10 Spektrum EDS <i>Artificial Aging</i> 2 Jam	47
Gambar 4.11 Spektrum EDS <i>Artificial Aging</i> 3 Jam	48
Gambar 4.12 Grafik Nilai Kekerasan	50
Gambar 4.13 Grafik Nilai Impak.....	52
Gambar 4.14 Patahan <i>Artificial Aging</i> 1 Jam	53
Gambar 4.15 Patahan <i>Artificial Aging</i> 2 Jam	53
Gambar 4.16 Patahan <i>Artificial Aging</i> 3 Jam	54

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Al 6061	24
Tabel 4.1 Reduksi Ketebalan Sampel <i>Thixoforming</i>	38
Tabel 4.2 Tabel Komposisi Hasil EDS <i>Artificial Aging</i> 1 Jam	47
Tabel 4.3 Tabel Komposisi Hasil EDS <i>Artificial Aging</i> 2 Jam	48
Tabel 4.4 Tabel Komposisi Hasil EDS <i>Artificial Aging</i> 3 Jam	48
Tabel 4.5 Tabel Hasil Uji Kekerasan	50
Tabel 4.6 Tabel Hasil Uji Impak	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada industri kendaraan bermotor, khususnya sepeda motor selalu mengalami perkembangan yang pesat dari waktu ke waktu. Perkembangan tersebut menyebabkan meningkatnya permintaan akan kendaraan berbobot ringan dengan ketahanan dalam menahan beban mekanik yang tinggi, kedua hal ini memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap performa serta efisiensi yang dihasilkan dari kendaraan. Namun, terdapat beberapa permasalahan yang sering ditemui pada kendaraan bermotor khususnya sepeda motor, salah satu permasalahan tersebut ialah patahnya sasis pada kendaraan. Patahnya sasis pada kendaraan dapat disebabkan oleh banyak hal, salah satunya karena karat yang terdapat pada sasis kendaraan.

Sasis kendaraan khususnya motor pada umumnya terbuat dari baja karbon, hal itu yang menyebabkan sasis memiliki kekuatan yang tinggi namun memiliki kekurangan yaitu tidak tahan terhadap karat. Sasis yang beredar dipasaran sudah melewati tahap pelapisan untuk mencegah terbentuknya karat menggunakan cat, seiring berjalannya waktu cat pelapis tersebut mengalami kerusakan yang menyebabkan terbentuknya karat pada sasis yang berpotensi mengalami kerusakan seperti patah dikemudian hari.

Terdapat jenis material lain seperti aluminium yang tahan terhadap karat, namun kekuatan dari aluminium tidak sebaik dari baja karbon. Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan material komposit bermatriks aluminium karena memiliki beberapa keunggulan dari material logam lain seperti memiliki kekuatan yang lebih tinggi, dan memiliki bobot yang lebih ringan serta tahan terhadap korosi [1]. Material komposit itu sendiri dapat didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan antara material penguat dengan material lainnya yang memiliki fungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan antara setiap unsurnya [2].

Dalam pembuatan material komposit, terdapat beberapa metode yang bisa digunakan. Salah satunya ialah metode thixoforming. Metode thixoforming dikembangkan oleh Profesor Fleming dan rekan-rekan kerjanya pada tahun 1970-an ketika mereka mempelajari perilaku pemadatan lelehan logam [3]. Thixoforming itu sendiri merupakan proses pembentukan material yang mengeksplorasi perilaku reologi logam selama rentang temperatur solidus dan liquidus [4]. Tujuan dari pembentukan pada rentang temperatur solidus dan liquidus yaitu untuk menciptakan struktur non-dendritic atau struktur yang bundar, sehingga dapat menghasilkan sifat komponen yang lebih baik jika dibandingkan dengan komponen yang dibentuk dengan pengecoran konvensional [3].

Setelah dilakukan pembentukan, komposit tersebut dilakukan perlakuan panas dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dan sesuai dengan yang diharapkan seperti meningkatnya kekuatan dan kekerasan [4]. Perlakuan panas itu sendiri merupakan kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu [5]. Salah satu contoh perlakuan panas ialah *artificial aging* yaitu dengan cara memanaskan komposit hingga di bawah temperature *solves* lalu ditahan hingga jangka waktu tertentu kemudian dilanjutkan dengan pendinginan lambat di udara [5].

Oleh karena itu dilakukannya penelitian pada pembuatan komposit bermatriks Al 6061 dengan penguat SiC untuk mendapatkan sifat dari kedua material tersebut dengan proses pembentukan berupa *thixoforming* dan *artificial aging* dengan temperatur 190°C serta waktu penahanan yang berbeda yaitu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam untuk mencari hasil terbaik dari pengujian. Terdapat 3 pengujian yang dilakukan yaitu struktur mikro untuk mengetahui persebaran dari material komposit, uji kekerasan untuk mensimulasikan tekanan akibat beban pada sasis, dan uji impak untuk mensimulasikan benturan pada sasis akibat jalan rusak, kecelakaan, dan lain sebagainya.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah yang sesuai dengan latar belakang pada penelitian ini yang dapat dilihat di bawah ini.

1. Bagaimana sifat mekanik dari komposit Al 6061 berpenguat SiC hasil proses *thixoforming* dan *artificial aging*?
2. Bagaimana pengaruh waktu *artificial aging* terhadap sifat mekanik dari komposit Al 6061 berpenguat SiC hasil proses *thixoforming*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan penelitian yang sesuai dengan rumusan masalah pada penelitian ini yang dapat dilihat di bawah ini.

1. Menganalisis pengaruh variasi waktu *artificial aging* terhadap struktur mikro pada aluminium 6061 berpenguat SiC hasil proses *thixoforming*
2. Menganalisis pengaruh variasi waktu *artificial aging* terhadap uji kekerasan pada aluminium 6061 berpenguat SiC hasil proses *thixoforming*
3. Menganalisis pengaruh variasi waktu *artificial aging* terhadap uji dampak pada aluminium 6061 berpenguat SiC hasil proses *thixoforming*

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat penelitian pada penelitian ini yang dapat dilihat di bawah ini.

1. Bagi peneliti dapat menambah pengetahuan dan pengalaman tentang komposit Al 6061 berpenguat SiC dengan metode *thixoforming* dan *artificial aging*
2. Bagi akademik dapat menjadikan penelitian ini sebagai referensi terhadap penelitian selanjutnya
3. Bagi industri dapat menjadikan komposit Al 6061 berpenguat SiC dengan metode *thixoforming* dan *artificial aging* sebagai referensi dalam pemilihan material untuk kebutuhan industri

1.5 Metodologi Penelitian

Berikut merupakan metodologi penelitian pada penelitian ini yang dapat dilihat di bawah ini.

1. Material yang digunakan aluminium 6061, silikon karbida (SiC), dan magnesium (Mg)
2. Metode pembentukan yang digunakan *stir casting* dan *thixoforming*
3. Metode perlakuan panas yang digunakan *solutioning*, *quenching*, dan *artificial aging*
4. Pengujian yang dilakukan struktur mikro, uji kekerasan, dan uji impak

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of Art*

Pada penelitian yang akan dilaksanakan ini, terdapat penelitian sebelumnya yang bisa dijadikan sebagai referensi. Referensi tersebut dapat digunakan sebagai acuan dan tolak ukur dalam melaksanakan penelitian ini, khususnya pada metode yang digunakan. Hal ini dapat membantu dalam pelaksanaan penelitian yang akan dilaksanakan.

Referensi pertama yaitu penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Zamheri dari Politeknik Negeri Surabaya. Dalam penelitian Ahmad Zamheri mencari pengaruh dari waktu *stir casting*, fraksi *volume*, dan ukuran besar butir partikel SiC terhadap kekerasan MMC Al 6061. Dalam penelitian tersebut didapatkan hasil kekerasan tertinggi pada mesh 325 dengan fraksi volume 15% serta lamanya waktu *stir casting* 10 menit, hasil uji kekerasan yang didapat sebesar 115,56 HB [6].

Referensi selanjutnya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Afifah Md Ali, dkk pada tahun 2022 yang berjudul "*Mechanical Behavior and Morphology of Thixoformed Aluminium Alloy Reinforced by Graphene*" membahas tentang komposit aluminium yang diperkuat oleh *graphene* dengan metode *thixoforming* menghasilkan kenaikan sekitar 27% pada kekuatan tarik utama dan kenaikan sekitar 29% pada kekerasan, hal ini disebabkan karena terdistribusinya secara merata bahan penguat yang digunakan pada komposit [7].

Referensi ketiga yaitu penelitian yang dilakukan oleh Aytengin Polat, Mustafa Avsar, dan Fahrettin Ozturk dari The Petroleum Institute, Abu Dhabi. Dalam penelitian ini mencari hasil terbaik dari berbagai variasi temperatur dan waktu penahanan pada *artificial aging*. Untuk nilai kekerasan tertinggi sebesar 54 HV dengan temperatur 160°C selama 40 jam. Namun kenaikan yang signifikan berada pada waktu penahanan maksimal

10 jam, dengan grafik kenaikan terbaik dan tercepat berada pada temperatur 200°C dalam rentang waktu penahanan 0 sampai 5 jam [8].

2.2 Aluminium

Aluminium dan paduannya termasuk ke dalam jenis logam non ferrous yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti pada kebutuhan rumah tangga, kebutuhan pada bidang otomotif hingga kebutuhan pada bidang kedirgantaraan. Hal itu dapat terjadi karena karena aluminium dan paduannya memiliki beberapa keunggulan, seperti ringan (*light*), ratio terhadap beban yang tinggi (*high strength to weight ratio*), tahan terhadap korosi (*resistant to corrosion*), konduktifitas panas dan listrik tinggi (*high thermal and electrical conductivity*), mudah dibentuk dan dimachining (*easy of formability and machineability*), tidak bersifat magnet (*non magnetic*), memantulkan cahaya (*reflectivity*), dan tidak beracun (*non toxicity*) [9].

Aluminium murni memiliki warna keputih-putihan dan termasuk ke dalam jenis logam yang memiliki struktur kristal FCC (*face centered cubic*) dengan berat jenis logam sebesar 2.71 g/cm³ pada temperatur kamar dimana berat tersebut hampir tiga kali lebih ringan jika dibandingkan dengan baja dan tembaga serta memiliki titik lebur sebesar 660,4°C. Dalam pengaplikasiannya, aluminium sering kali dipadukan dengan unsur lain karena aluminium memiliki kekurangan pada nilai kekuatan dan nilai kekerasannya yang rendah. Ketika dipadukan dengan unsur lain, unsur lain tersebut dapat mempengaruhi struktur mikro yang terbentuk dari paduan yang dibuat. Hal tersebut dapat mempengaruhi karakteristik yang terbentuk salah satunya ialah sifat mekanik material [10].

Pada paduan aluminium, terdapat penomoran sebanyak empat digit yang dimana pada setiap digitnya memiliki arti tersendiri. Pada nomor pertama menunjukkan paduan yang terkandung pada aluminium. Pada nomor kedua menandakan tentang perubahan yang terdapat pada paduan aluminium, paduan dasar dilambangkan dengan angka "0" sedangkan paduan dengan ubahan lebih lanjut dilambangkan dengan angka "1 - 9"

bergantung dengan ubahannya atau ketidak murniannya. Sedangkan pada dua nomor terakhir menandakan tingkat dari kandungan aluminium pada paduan tersebut. Berikut merupakan gambar ketentuan dari penomoran nomor pertama yang dapat dilihat di bawah ini.

1xxx	Aluminium murni dengan persentase hampir 99,0%
2xxx (HT)	Paduan aluminium dengan unsure paduan utamanya adalah tembaga sebesar 1,9 – 6,8%
3xxx	Paduan Aluminium dengan paduan unsure utamanya Manganese sebesar 0,3 – 1,5 %
4xxx	Paduan Aluminium dengan paduan unsure utamanya silikon sebesar 3,6 – 13,5 %
5xxx	Paduan Aluminium dengan paduan unsure utamanya magnesium sebesar 0,5 – 5,5 %
6xxx (HT)	Paduan aluminium dengan paduan unsure utamanya Magnesium 0,4% - 1,5% dan Silikon 0,2-1,7%
7xxx (HT)	Paduan aluminium dengan paduan unsure utamanya Zinc sebesar 1 – 8,2% dan magnesium
8xxx	Paduan aluminium dengan paduan unsure utamanya lithium

Gambar 2.1 Ketentuan Penomoran Pertama

2.3 Silikon Karbida

Silikon karbida atau biasa disebut dengan SiC dapat ditemukan di alam dengan bentuk lempengan heksagonal yang berukuran kecil pada besi meteorik. Selain dapat ditemukan di alam, terdapat banyak metode dalam pembuatan SiC seiring dengan berkembangnya teknologi, beberapa metode baru tersebut juga dapat menghasilkan SiC dengan hasil yang lebih berkualitas (murni) dengan bentuk *fibers*, *platelets*, *whiskers*, serbuk, dan lapisan film. Terdapatnya perbedaan bentuk pada SiC tersebut dapat mempengaruhi dalam penggunaannya, seperti bentuk fiber dan *platelet* yang banyak digunakan dalam industri otomotif yang salah satu pengaplikasiannya yaitu *connecting rod* dan piston karena bentuk fiber dan *platelet* SiC melahirkan ketersediaan komposit dengan matriks logam dan keramik dengan *particulate* [11].

Silikon karbida atau SiC itu sendiri merupakan suatu material keramik tanpa oksida dengan pengaplikasian yang luas, serta memiliki tingkat kekerasan yang tinggi dan juga tahan terhadap temperatur tinggi yang

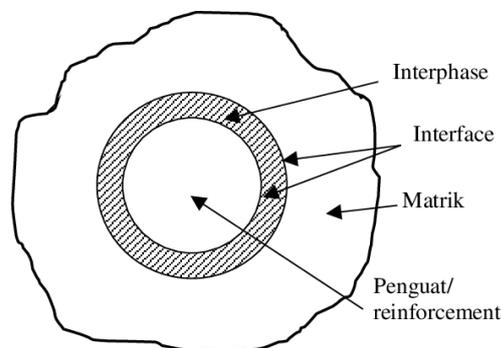
menghasilkan pengaplikasian yang abrasif pada peralatan dan kertas gerinda (*silicone carbide paper*). Selain itu SiC memiliki sifat konduktivitas termal yang baik, temperatur dekomposisi, ketahanan kimiawi, serta *wettability* yang rendah oleh logam cair dan terak-terak, hal tersebut yang membuat SiC digunakan sebagai material yang tahan akan panas. Sifat elektrik yang dimiliki SiC juga dapat dimanfaatkan untuk elemen pemanas, serta SiC biasa dimanfaatkan sebagai bahan paduan dalam pembuatan besi baja guna penambahan unsur silikon dan karbon [11].

Siliko karbida atau SiC dapat diciptakan dari hampir semua jenis material yang memiliki sumber unsur Si dan sumber unsur C. Terdapat beberapa cara dalam pembuatan serbuk keramik SiC, seperti campuran serbuk logam Si dan gula yang berhasil disintesa dan terdapat bahan lain yang telah digunakan untuk membuat SiC seperti sekam padi. Selain sekam padi juga terdapat serbuk kayu yang berasal dari hasil gergaji yang memiliki karbohidrat sebagai sumber unsur C yang jika direaksikan dengan sumber yang memiliki unsur Si dapat menghasilkan SiC [11].

2.4 Komposit

Komposit merupakan suatu material baru yang diciptakan dari hasil rekayasa dengan dua atau lebih material penyusun yang memiliki perbedaan sifat baik itu sifat kimia maupun sifat fisiknya. Karena terdapat perbedaan tersebut maka ditambahkan *wetting agent* agar kedua atau lebih material penyusun tersebut dapat berikatan dengan kuat. Dalam pembuatan material komposit pasti memiliki tujuan yang ingin dicapai, tujuan tersebut seperti ingin mendapatkan sifat mekanik yang sesuai dengan yang diharapkan, selain itu juga dapat menghasilkan material yang lebih ringan dengan sifat mekanik yang lebih dari semestinya. Material komposit itu sendiri terbagi menjadi tiga jenis, yaitu Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composites/PMC*), Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites/MMC*), dan Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites/CMC*) [12].

Dalam suatu material komposit, terbagi menjadi dua penyusun yaitu *matriks* dan *reinforcement* atau biasa disebut dengan *filler* atau *fiber*. *Matriks* itu sendiri merupakan suatu penyusun dari komposit yang memiliki komposisi paling tinggi dibandingkan dengan material penyusun lainnya. Sedangkan *reinforcement* merupakan suatu material yang menjadi penguat dari material komposit tersebut yang bertugas sebagai penanggung beban utama pada material komposit. Karena terdapat dua atau lebih dari penyusun komposit, maka terdapat daerah-daerah yang terbentuk dari bersatunya dua jenis atau lebih pada material komposit yang bernama *matriks* (penyusun dominan), *reinforcement* (penguat), *interphase* (perekat dari dua penyusun), dan *interface* (permukaan yang bersentuhan antara dua *phase*) [12]. Berikut merupakan gambar ilustrasi dari daerah-daerah pada material komposit yang dapat dilihat di bawah ini.



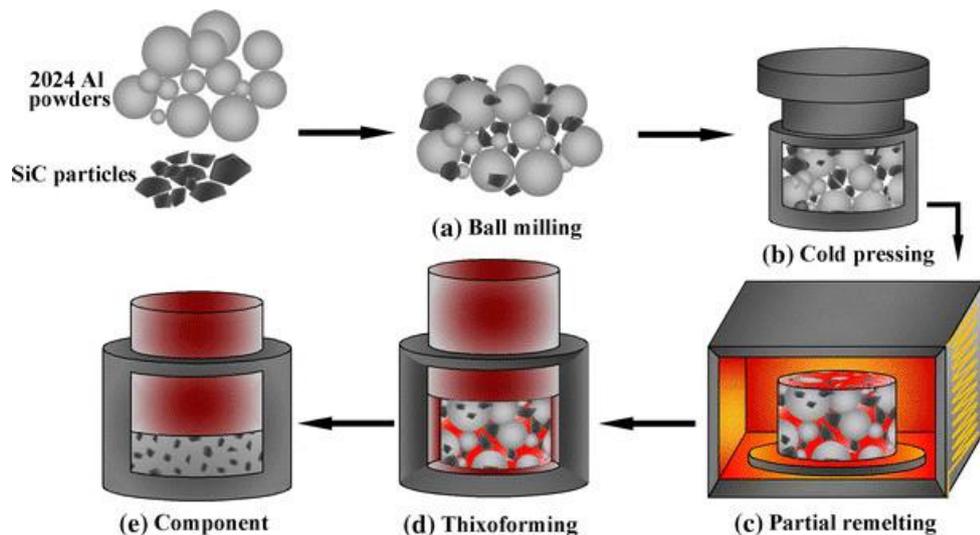
Gambar 2.2 Daerah Komposit

2.5 Thixoforming

Thixoforming merupakan salah satu dari banyak metode dalam pembuatan material komposit. Metode *thixoforming* ini sendiri dikembangkan pada tahun 1970-an oleh Profesor Fleming dan rekan-rekan kerjanya ketika mereka sedang mempelajari perilaku pepadatan lelehan logam [13]. Pengertian dari *thixoforming* merupakan proses pembentukan material yang mengeksplorasi perilaku reologi logam selama rentang temperatur *solidus* dan *liquidus* [14]. Tujuan dari pembentukan pada rentang temperatur *solidus* dan *liquidus* yaitu untuk menciptakan struktur *non-dendritic* atau struktur yang bundar, sehingga dapat menghasilkan sifat

komponen yang lebih baik jika dibandingkan dengan komponen yang dibentuk dengan pengecoran konvensional [3].

Terbentuknya struktur yang bundar tersebut menciptakan kemampuan aliran pada material komposit selama proses pembentukan, selain itu juga penyusutan yang terjadi lebih minimum, jebakan gas lebih sedikit, dan cacat porositas yang terjadi lebih rendah. Untuk struktur mikro yang terbentuk memiliki butiran yang lebih halus dan berseragam. Selain berbagai keuntungan dari *thixoforming* tersebut, terdapat satu masalah utama yaitu biaya yang relatif lebih besar jika dibandingkan dengan metode pembentukan yang lainnya. Hal ini disebabkan karena terdapat kriteria khusus terhadap bahan material yang digunakan yang akan menyebabkan peningkatan pada biaya produksi, selain itu juga bahan material yang menjadi limbah dalam proses pembentukan ini tidak dapat digunakan kembali [14]. Pada *thixoforming* terdapat beberapa tahapan yang harus dilewati, berikut merupakan gambar ilustrasi dari tahapan-tahapan yang harus dilewati ketika *thixoforming* yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 Tahapan *Thixoforming*

Seperti pada gambar di atas, tahapan pertama yaitu menyiapkan *matrik* dan *reinforcement* yang akan digunakan sebagai material penyusun dari material komposit yang akan dibuat. Pada tahap kedua terdapat

pengkombinasian antara *matrik* dan *reinforcement* sesuai dengan komposisi material penyusun yang telah ditentukan sebelumnya. Pada tahap ketiga terdapat penekanan dari gabungan material penyusun tersebut, namun ketika pada penekanan tahap ketiga ini temperatur dari material penyusun tersebut terdapat pada suhu ruangan. Pada tahap keempat terdapat pemanasan material penyusun hingga temperatur material mendekati titik leleh atau biasa disebut sebagai *semi-solid*. Pada tahap kelima material penyusun yang berwujud *semi-solid* tersebut dilakukan penekanan kembali dengan harapan *matrik* dan *reinforcement* dapat menyatu dengan sempurna dan persebaran yang seragam. Pada tahap keenam atau terakhir setelah dilakukan penekanan, maka terbentuknya material komposit. Selain tahapan tersebut, terdapat juga tahapan lain pada *thixoforming* dengan pembeda pada penekanan dan juga pemanasan material penyusun yang menjadi satu tahapan yang dilakukan bersamaan.

2.6 *Artificial Aging*

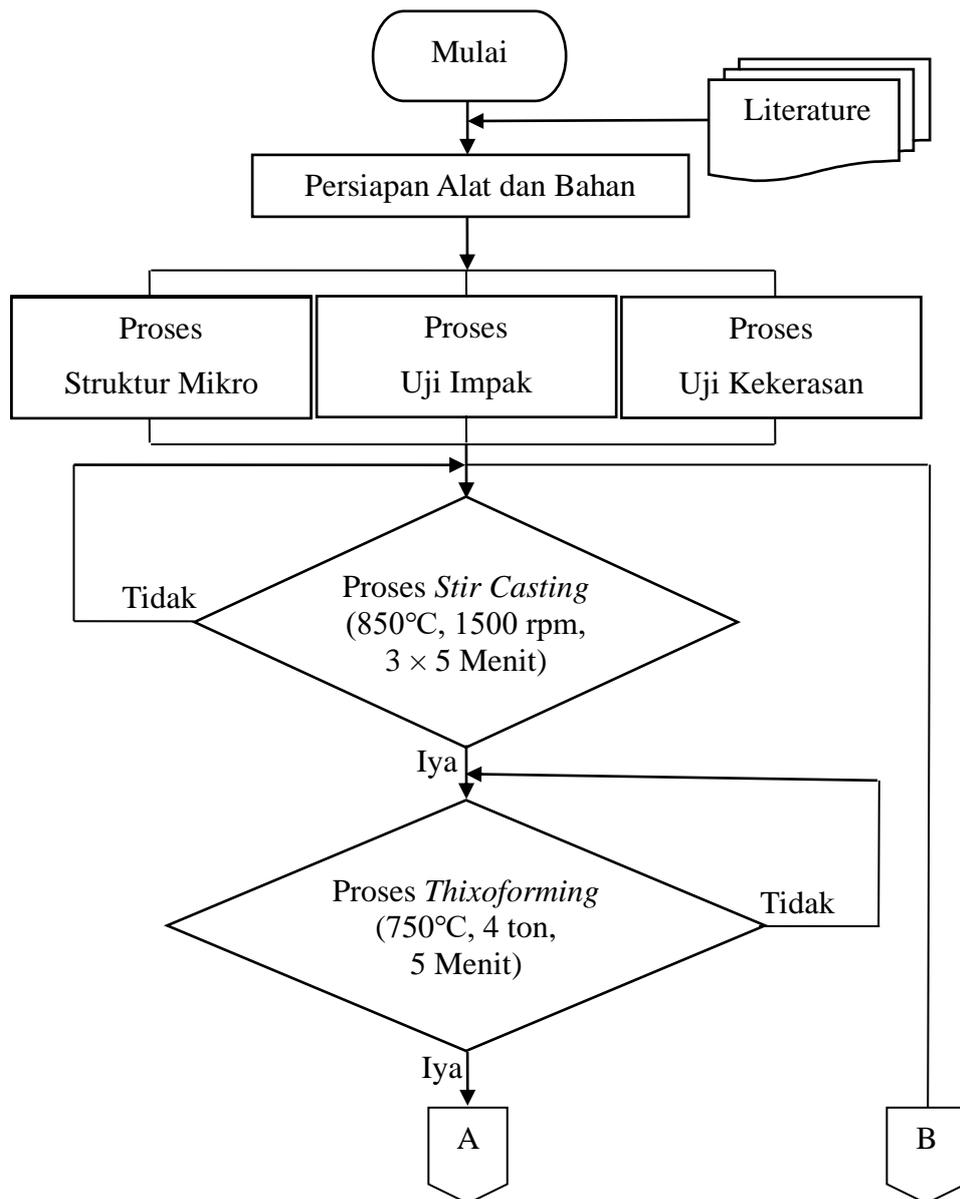
Artificial aging treatment atau perilaku penuaan buatan salah satu proses dari *heat treatment* atau perlakuan panas dari berbagai proses lainnya. Pengertian dari *artificial aging* itu sendiri yaitu suatu proses dimana material komposit tersebut dipanaskan hingga temperatur tertentu dan ditahan selama waktu tertentu. Ketika dilakukannya *artificial aging*, material komposit tersebut mengeluarkan presipitat yang seragam serta berkoloni. Hal tersebut lah yang membuat *heat treatment* khususnya *artificial aging* memiliki kelebihan pada kekuatan material komposit yang lebih maksimal [15]. Dalam melakukan *artificial aging*, terdapat dua hal yang dapat divariasikan untuk pengambilan data ketika penelitian yaitu temperatur ketika dilakukannya *artificial aging* dan waktu penahanan pada temperatur tertentu ketika dilakukannya *artificial aging*. *Artificial aging* dapat dilakukan menggunakan oven khusus dan juga oven yang biasa digunakan untuk membuat kue dengan catatan oven tersebut bisa melakukan kustomisasi terhadap temperatur serta waktu pemanasan sesuai dengan yang diinginkan.

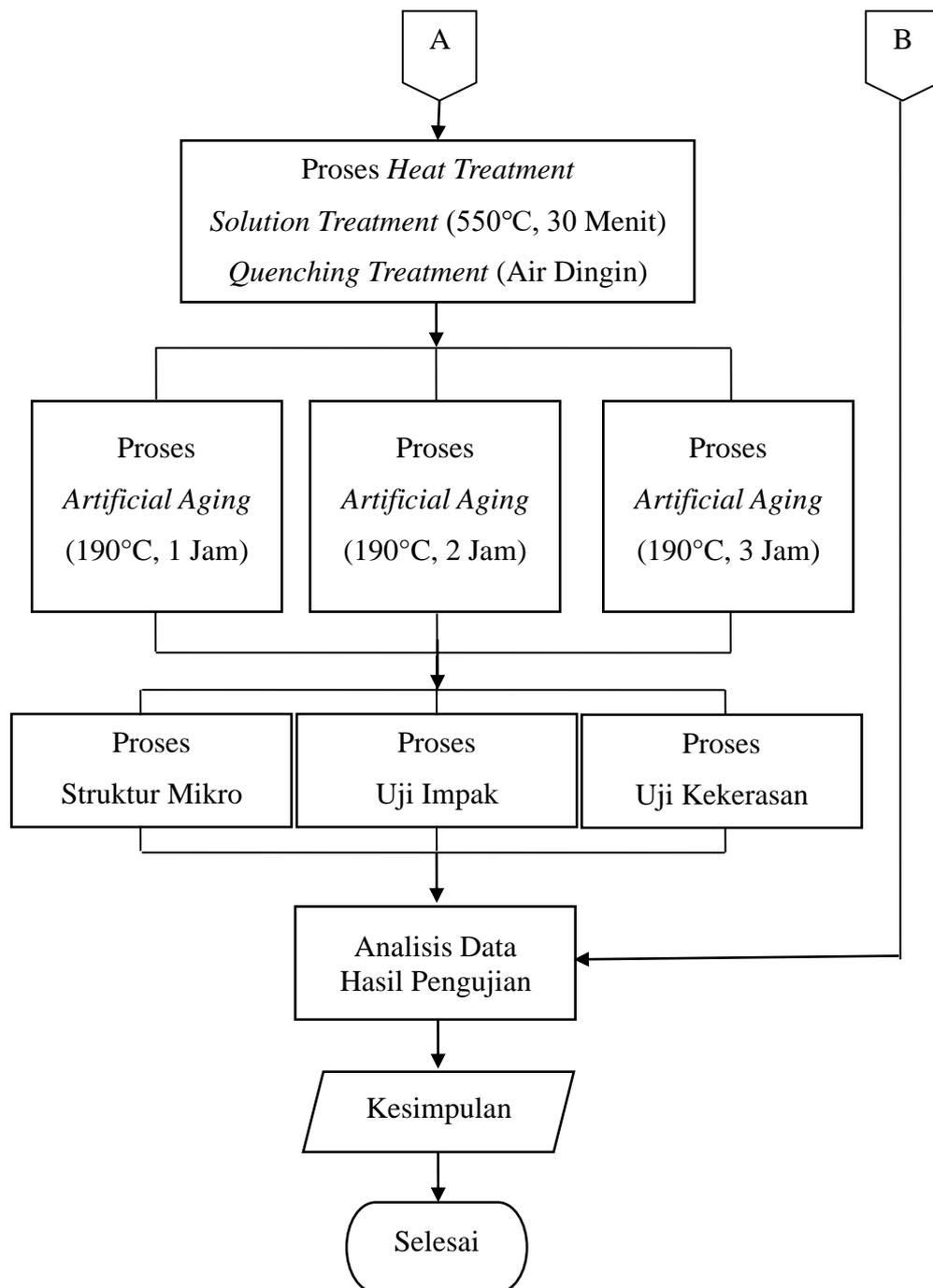
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam dilakukannya penelitian, terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan secara sistematis. Berikut merupakan tahapan dari penelitian ini yang dituliskan dalam diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan selama penelitian berlangsung yang dapat dilihat di bawah ini.

3.2.1 Alat Penelitian

Di bawah ini merupakan alat yang digunakan selama penelitian berlangsung yaitu sebagai berikut.

1. Cetakan

Cetakan merupakan suatu alat yang digunakan dalam tahapan *stir casting* dan *thixoforming* yang berfungsi sebagai wadah dari komposit, material dari cetakan harus memiliki titik lebur yang lebih tinggi dari material komposit agar tidak ikut melebur ketika pemanasan komposit sedang berlangsung. Cetakan dibentuk dengan ukuran hasil pencetakan sebesar $200 \times 20 \times 12$ mm.



Gambar 3.2 Cetakan

2. Alat Press

Alat *press* terdiri dari dua bagian yaitu rangka dan *hydraulic jack*. *Hydraulic jack* yang digunakan berkekuatan 4 ton serta rangka yang digunakan berbahan besi yang dibentuk agar dapat melakukan proses *press* dari cetakan yang ada.



Gambar 3.3 Alat Press

3. *Thermogun*

Thermogun merupakan *thermometer* yang digunakan dengan cara mengarahkan sinar *infrared* yang dipancarkan terhadap objek yang ingin diketahui temperaturnya.



Gambar 3.4 *Thermogun*

4. Timbangan

Timbangan merupakan suatu alat yang dapat mengetahui berat dari objek yang diletakan di atasnya yang berfungsi sebagai alat untuk mengatur komposisi antara Al 6061, SiC, dan Mg.



Gambar 3.5 Timbangan

5. *Muffle Furnace*

Muffle furnace merupakan suatu alat yang memiliki ruangan tertutup yang dapat mengatur temperatur di dalamnya dan menjaga temperatur tersebut agar stabil. *Muffle furnace* ini digunakan dalam proses *thixoforming* dan *heat treatment*.



Gambar 3.6 *Muffle Furnace*

7. Ember

Ember merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai wadah dari material komposit ketika proses *quenching* sedang berjalan. Material dari ember berupa aluminium agar terhindar dari pelelehan yang dapat terjadi karena suhu tinggi dari material komposit.



Gambar 3.7 Ember

8. Gerinda

Gerinda merupakan suatu alat yang digunakan untuk memotong material berbahan logam menjadi ukuran yang lebih kecil dari sebelumnya.



Gambar 3.8 Gerinda

9. Alat Pengamatan Struktur Mikro

Alat pengamatan struktur mikro merupakan suatu alat yang dapat mengetahui susunan dari struktur mikro yang terbentuk pada suatu material. Alat yang digunakan bernama *Zeiss EVO 10 Scanning Electron Microscope*



Gambar 3.9 Alat Pengamatan Struktur Mikro

10. Alat Uji Kekerasan

Alat uji kekerasan merupakan suatu alat yang dapat mengetahui nilai maksimal dari kekerasan pada suatu material. Alat yang digunakan bernama Rockwell Type *Hardness Tester FR-X Series*



Gambar 3.10 Alat Uji Kekerasan

11. Alat Uji Impak

Alat uji dampak merupakan suatu alat yang dapat mengetahui nilai maksimal dari energi yang diserap pada suatu material.



Gambar 3.11 Alat Uji Impak

12. *Cooler Box*

Cooler box merupakan suatu alat yang memiliki suatu ruang di dalamnya yang dapat menjaga temperatur pada ruang tersebut agar tidak mengikuti temperatur lingkungan sekitar. *Cooler box* digunakan untuk menyimpan material komposit jika tidak langsung dilakukan pengujian setelah proses *quenching*.



Gambar 3.12 *Cooler Box*

13. Alat Pelindung Diri

Alat pelindung diri terdiri dari beberapa barang seperti sarung tangan, pelindung telinga, kacamata, dll. Hal ini dapat membantu mengurangi resiko buruk yang diakibatkan dari pekerjaan yang dilakukan.



Gambar 3.13 Alat Pelindung Diri

14. Alat Peleburan

Alat peleburan terdiri dari tungku pelebur serta pemanasnya. Alat ini berfungsi sebagai media dimana material dapat dileburkan dengan temperatur yang tinggi.



Gambar 3.14 Alat Peleburan

15. Alat Penunjang Peleburan

Alat penunjang peleburan terdiri dari alat bantu mengeluarkan krusibel, tang jepit panjang, dan sendok panjang. Alat ini memiliki peran penting selama pembakaran seperti penuangan leburan sampel, dll.



Gambar 3.15 Alat Penunjang Peleburan

16. Krusibel

Krusibel merupakan suatu wadah yang digunakan dalam proses peleburan pada tungku peleburan dengan material yang memiliki titik lebur lebih tinggi dibandingkan dengan material yang ingin dilebur.



Gambar 3.16 Krusibel

17. Torch

Torch digunakan sebagai media pemanas untuk memanaskan cetakan yang digunakan untuk proses pengecoran sampel.



Gambar 3.17 *Torch*

18. Mesin *Grinding Polishing*

Mesin *grinding polishing* digunakan untuk membuat permukaan sampel menjadi rata sebelum masuk ke dalam proses pengujian, khususnya pengujian struktur mikro.



Gambar 3.18 *Mesin Grinding Polishing*

19. Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur dimensi dari sampel yang dibuat.



Gambar 3.19 Jangka Sorong

20. Alat Pengaduk

Alat pengaduk yang digunakan dalam proses *stir casting* yaitu bor tangan yang telah ditambahkan batang besi yang memiliki bilah pengaduk.



Gambar 3.20 Alat Pengaduk

3.2.2 Bahan Penelitian

Di bawah ini merupakan bahan yang digunakan selama penelitian berlangsung yaitu sebagai berikut.

1. Aluminium 6061

Aluminium 6061 memiliki peran sebagai bahan utama dalam komposit yang dibuat pada penelitian ini dengan kandungan yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Al 6061

Unsur	Mg	Fe	Si	Cu	Cr	Zn	Ti	Lainnya	Al
Berat (%)	0,98	0,19	0,63	0,18	0,05	0,10	0,08	0,15	Sisa

**Gambar 3.21** Aluminium 6061

2. SiC

SiC memiliki peran sebagai bahan penguat dalam komposit yang dibuat pada penelitian ini. dengan spesifikasi 1200 mesh

**Gambar 3.22** SiC

3. Mg

Mg memiliki peran sebagai pelarut dari SiC pada proses *stir casting* dengan kategori *grade* teknik



Gambar 3.23 Mg

4. Air

Air memiliki peran sebagai media *quenching* dalam penelitian ini



Gambar 3.24 Air

5. Es Batu

Es batu memiliki peran sebagai media pendingin pada proses *quenching* serta untuk mendinginkan sampel setelah proses *artificial aging* menuju pengujian



Gambar 3.25 Es Batu

6. Gas Portabel

Gas portabel berperan sebagai bahan bakar pada pemanasan cetakan ketika *stir casting*



Gambar 3.26 Gas Portabel

7. Gas LPG

Gas LPG berperan sebagai bahan bakar pada tungku peleburan ketika meleburkan aluminium 6061



Gambar 3.27 Gas LPG

8. Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan permukaan pada sampel sebelum dilakukan pengujian, khususnya struktur mikro agar tidak terdapatnya goresan yang terlihat pada gambar hasil pengujian. Amplas yang digunakan terdiri dari beberapa tingkat kekasaran, mulai dari grit kasar hingga grit halus agar didapatkan hasil yang maksimal.



Gambar 3.28 Amplas

9. *Microfiber*

Microfiber digunakan pada tahap terakhir ketika menghaluskan sampel, *microfiber* ini dipadukan dengan pasta alumina agar goresan halus pada permukaan sampel hilang.



Gambar 3.29 *Microfiber*

10. Pasta Alumina

Pasta alumina digunakan untuk menghilangkan goresan halus pada permukaan sampel yang akan diuji dengan cara

menuangkan pasta alumina pada *microfiber* lalu digosokkan kepada sampel uji



Gambar 3.30 Pasta Alumina

3.3 Prosedur Penelitian

Berikut merupakan prosedur yang dilakukan selama penelitian yang dapat dilihat di bawah ini.

3.3.1 Proses *Stir Casting*

Dalam pembuatan material komposit, terdapat proses pembentukan yang dilakukan agar bersatunya kedua atau lebih material tersebut, salah satu proses pembentukan adalah *stir casting*. Komposit ini tersusun dari Al 6061 sebesar 90%, SiC sebesar 5% dan Mg sebesar 5% [16]. Berikut merupakan tahapan dari proses *stir casting*.

1. Memotong aluminium menjadi bagian yang lebih kecil dengan tujuan aluminium tersebut dapat disusun pada krusibel yang digunakan.



Gambar 3.31 Pemotongan Al6061

2. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan selama proses *stir casting*



Gambar 3.32 Persiapan Alat Peleburan

3. Menimbang setiap bahan yang digunakan sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan



Gambar 3.33 Penimbangan Bahan

4. Memasukan krusibel yang berisi aluminium ke dalam tungku peleburan serta memanaskan tungku peleburan hingga temperature 850°C sampai Al 6061 melebur dengan sempurna



Gambar 3.34 Peletakan Krusibel Pada Tungku

5. Membuang terak yang ada pada permukaan aluminium yang telah melebur



Gambar 3.35 Pembuangan Terak

6. Melakukan pengadukan dengan alat *stir casting* yang dibarengi dengan penuangan bahan tambahan yaitu SiC dan Mg sesuai dengan penimbangan yang telah dilakukan dengan kecepatan putaran 1500 rpm dan waktu pengadukan 3×5 menit



Gambar 3.36 Pengadukan Dan Pencampuran Penguat

7. Mempersiapkan cetakan serta memanaskan dengan *torch* agar tidak terjadinya perubahan suhu yang terlalu jauh antara leburan komposit terhadap dies yang digunakan untuk mencetak.



Gambar 3.37 Pemanasan Cetakan

8. Menuangkan leburan komposit pada cetakan yang telah disiapkan sebelumnya, lalu tunggu hingga temperatur menurun dengan tujuan dapat dipegang dengan aman dan dikeluarkannya komposit tersebut dari cetakan.



Gambar 3.38 Penuangan Leburan Komposit

3.3.2 Proses *Thixoforming*

Dilakukannya proses *thixoforming* bertujuan agar porositas yang terdapat pada material hasil pengecoran dapat hilang karena adanya proses *thixoforming*. Berikut merupakan tahapan dari proses *thixoforming*.

1. Meletakkan cetakan yang berisi komposit pada *maffle furnace*
2. Mengatur temperatur *maffle furnace* pada 750°C

3. Memanaskan cetakan yang berisi komposit hingga suhu *maffle furnace* mencapai 750°C (± 45 menit)
4. Keluarkan cetakan dari *maffle furnace* dan letakan cetakan pada alat *press*
5. Tekan cetakan pada alat *press* menggunakan *hydraulic press* hingga 150 bar, lalu tahan selama 5 menit pada kondisi tersebut
6. Keluarkan cetakan dari alat *press*, serta diamkan hingga temperatur cetakan sesuai dengan temperatur ruangan
7. Keluarkan komposit pada cetakan dengan cara mendorongnya dari lubang pada bagian bawah cetakan

3.3.3 Proses *Heat Treatment*

Setelah dilakukannya proses *thixoforming*, komposit tersebut dilakukan *machining* terlebih dahulu dengan tujuan pembentukan sampel sesuai dengan standar pengujian yang telah ditentukan. Setelah sampel komposit tersebut sudah berbentuk sesuai dengan standar, kemudian dilakukan proses *heat treatment* dengan tujuan meningkatkan sifat mekanik dari material komposit. Proses *heat treatment* yang dilakukan ialah *quenching*, berikut merupakan tahapan dari proses *quenching*.

1. Memanaskan material komposit pada *maffle furnace* hingga temperatur mencapai 550°C dan mendinginkan pada temperatur tersebut selama 30 menit (*solutioning treatment*)
2. Mendinginkan material komposit secara cepat dengan media pendingin berupa air

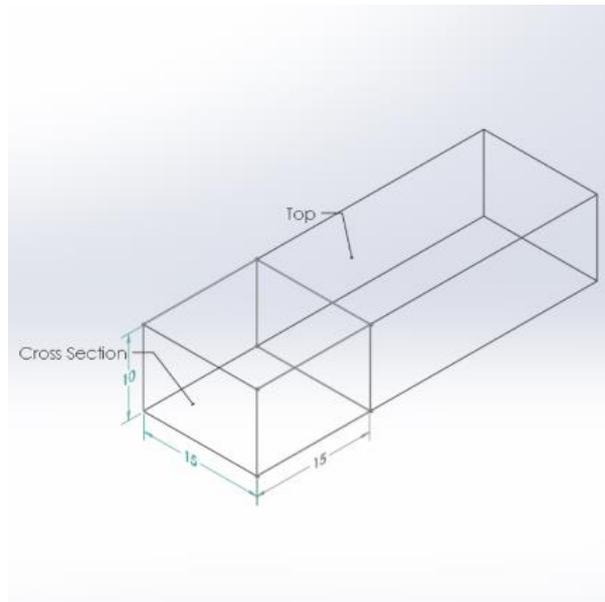
3.3.4 Proses *Artificial Aging*

Setelah dilakukannya *solutioning* dan *quenching treatment*, selanjutnya dilakukan *heat treatment* dengan temperatur 190°C dan dengan waktu penahanan selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam pada suhu tersebut.

3.3.5 Proses Pengamatan Struktur Mikro

Setelah dilakukannya seluruh proses pembuatan komposit Al6061 berpenguat SiC dan Mg, selanjutnya dilakukan pengamatan pada *cross section* untuk mengetahui persebaran penguat pada matriks Al6061 dengan alat *Scanning Electro Microscopy* (SEM) yang ada di Laboratorium Terpadu Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Berikut merupakan tahapan dari pengamatan struktur mikro.

1. Melakukan preparasi pada permukaan sampel yang ingin diamati
2. Meletakkan sampel pada *holder* dari alat uji yang digunakan
3. Meletakkan holder pada ruang uji di alat uji tersebut
4. Membuat ruang pengujian pada alat tersebut menjadi ruang kedap udara
5. Melakukan perbesaran pada permukaan yang akan diamati



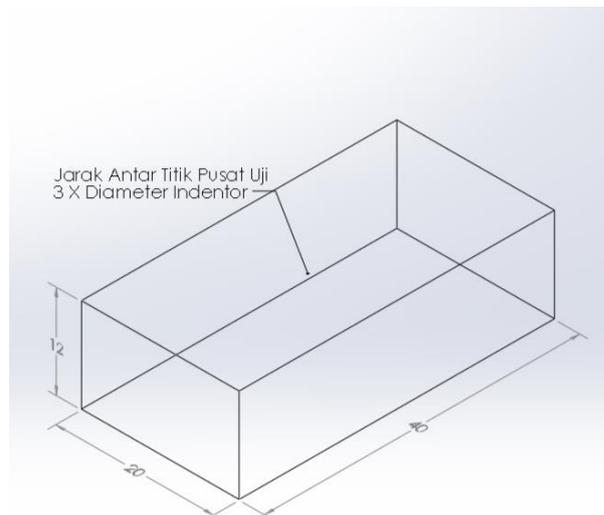
Gambar 3.39 Sampel Uji SEM

3.3.6 Proses Pengujian Kekerasan

Dilakukannya pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai dari ketahanan material ketika diberikan penetrasi pada permukaan material. Pengujian ini menggunakan metode

rockwell dengan indenter bola baja dan beban yang diberikan sebesar 100 kgf yang dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Berikut merupakan tahapan dari pengujian kekerasan.

1. Mempersiapkan alat uji kekerasan beserta dengan sampel yang ingin diuji
2. Menyesuaikan indenter dan mengatur satuan hasil dari pengujian sesuai standar ASTM E18
3. Meletakkan sampel pada tempat yang telah disediakan oleh alat uji kekerasan
4. Melakukan kalibrasi dengan cara memberikan penetrasi kepada sampel hingga indikator warna pada tombol *start* menyala
5. Menekan tombol *start* dan menunggu hingga indenter berhenti memberikan penetrasi pada sampel serta keluarnya nilai dari kekerasan suatu sampel pada layar alat uji kekerasan



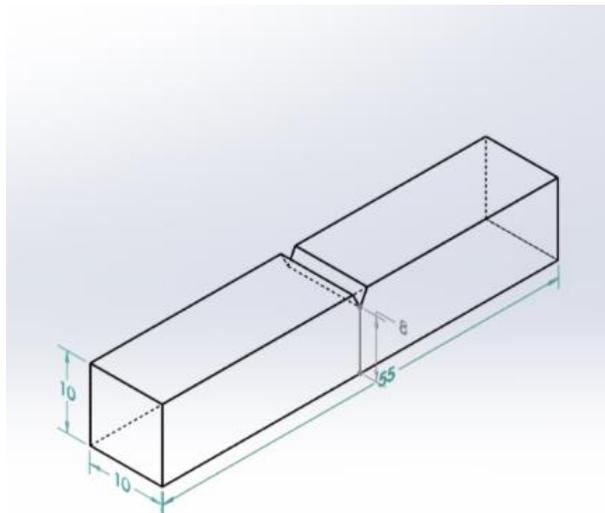
Gambar 3.40 Sampel Uji Kekerasan

3.3.7 Proses Pengujian Impak

Dilakukannya pengujian impak bertujuan untuk mengetahui energi maksimal yang dapat diserap oleh material komposit hingga mengalami kepatahan. Pengujian ini menggunakan metode *charpy* yang dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Berikut merupakan tahapan dari pengujian impact.

1. Mempersiapkan alat uji impact beserta dengan sampel yang ingin diuji sesuai dengan standar ASTM E23
2. Meletakkan sampel pada tumpuan alat uji impact secara horizontal/mendatar dengan posisi takik berlawanan dengan arah pembebanan
3. Mengatur bandul pembebanan dengan kekuatan 300 joule yang dapat dilihat pada indikator alat uji impact
4. Melepas bandul pembebanan dan lakukan pengereman jika bandul telah mengenai sampel uji
5. Membaca energi yang diserap oleh sampel uji pada indikator alat uji impact dan mencatatnya
6. Melakukan perhitungan nilai impact sesuai dengan rumus pada setiap sampel uji



Gambar 3.41 Sampel Uji Impact

3.3.8 Proses Pengolahan Data

Setelah dilakukannya seluruh proses pengujian dari ketiga sampel, selanjutnya data hasil seluruh pengujian tersebut dikumpulkan, dijelaskan, dan dikaitkan antar data hasil pengujian

lainnya serta dibuatkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.4 Variabel Penelitian

Berikut merupakan variabel pengujian dalam penelitian yang dapat dilihat di bawah ini.

1. Variabel Terikat
 - a. Data hasil pengamatan struktur mikro
 - b. Data hasil pengujian kekerasan
 - c. Data hasil pengujian impak
2. Variabel Bebas
 - a. Variasi waktu pada *artificial aging*
3. Variabel Terkontrol
 - a. Kecepatan putar pada *stir casting*
 - b. Waktu pengadukan pada *stir casting*
 - c. Temperatur pada *stir casting*
 - d. Temperatur pada *thixoforming*
 - e. Tekanan pada *thixoforming*
 - f. Temperatur pada *solutioning treatment*
 - g. Media pendingin pada *quenching*
 - h. Temperatur pada *artificial aging*
 - i. Material penyusun komposit
 - j. Komposisi material penyusun komposit

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Stir Casting*

Pada pembuatan komposit ini diawali dengan metode *stir casting*, dimana pada metode ini Al 6061 dilebur pada tungku pembakaran sekitar 45 menit pada temperatur 850°C dan dilakukan pengadukan serta pemberian SiC dan Mg ketika sudah melebur dengan alat pengaduk (modifikasi bor tangan) dengan kecepatan 1500 rpm selama 3×5 menit dengan jeda waktu 5 menit pada setiap pengadukannya. Pada komposit ini memiliki komposisi Al 6061 sebanyak 90%, SiC sebanyak 5%, dan Mg sebanyak 5%. Pada komposit ini Al 6061 memiliki peran sebagai matrik dan SiC memiliki peran sebagai *reinforcement* atau penguat. Karena SiC memiliki kemampuan kebasahan atau *wetability* yang rendah, maka digunakan Mg yang memiliki peran sebagai *wetting agent* pada komposit ini serta dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit.

Leburan Al6061 yang sudah bercampur dengan SiC dan Mg selanjutnya dituang ke dalam cetakan yang telah dipanaskan sebelumnya agar tidak mengalami penurunan temperatur yang terlalu jauh yang dapat menyebabkan keretakan pada hasil pengecoran. Leburan komposit tersebut dituang hingga mendapatkan ketinggian sampel yang lebih tinggi dari cetakannya untuk membantu proses selanjutnya. Jika temperatur sudah mendekati temperatur ruangan, maka dikeluarkan sampel tersebut dan dilakukan sedikit perapihan pada sampel. Jika bentuk dari sampel sesuai dengan cetakan tanpa adanya patahan atau retak yang terjadi, maka proses *stir casting* bisa dikatakan berhasil.

4.2 *Thixoforming*

Al6061 yang telah dicampur dengan SiC dan Mg tersebut serta telah memadat selanjutnya dilakukan pemotongan pada bagian yang terlalu berlebihan seperti pada bagian sisi sampel yang melebihi ukuran dari

cetakannya. Selanjutnya sampel tersebut dimasukan kembali pada cetakan dan cetakan tersebut dimasukan ke dalam *muffle furnace* yang diatur dengan temperatur 750°C. Dari temperatur awal *muffle furnace* seperti temperatur ruangan menuju ke temperatur ruang bakar *muffle furnace* sebesar 750°C membutuhkan waktu sekitar 45 menit, pada temperatur tersebut dapat dilihat bahwasanya wujud dari komposit masih berbentuk *semi solid* atau belum sepenuhnya melebur yang dapat dilihat dari hasil penekanan.

Ketika ruangan pembakaran telah menyentuh temperatur 750°C, selanjutnya cetakan berisi komposit tersebut segera dikeluarkan dari *muffle furnace* dan diletakan pada mesin *press* berkekuatan 4 ton lalu diberikan penekanan serta penahanan dalam kondisi tersebut selama 5 menit. Setelah waktu tercapai, tekanan tersebut bisa dilepaskan dan cetakan beserta sampel dapat didinginkan pada suhu ruangan. Jika dilihat hasil dari penekanannya, terdapat cairan komposit yang meluber yang berbentuk menyerupai lingkaran serta berkurangnya ketebalan dari sampel yang membuktikan bahwasanya sampel tersebut telah menerima tekanan yang diberikan oleh mesin *press* dengan harapan porositas hasil dari pengecoran akan menghilang karena adanya pemberian tekanan.

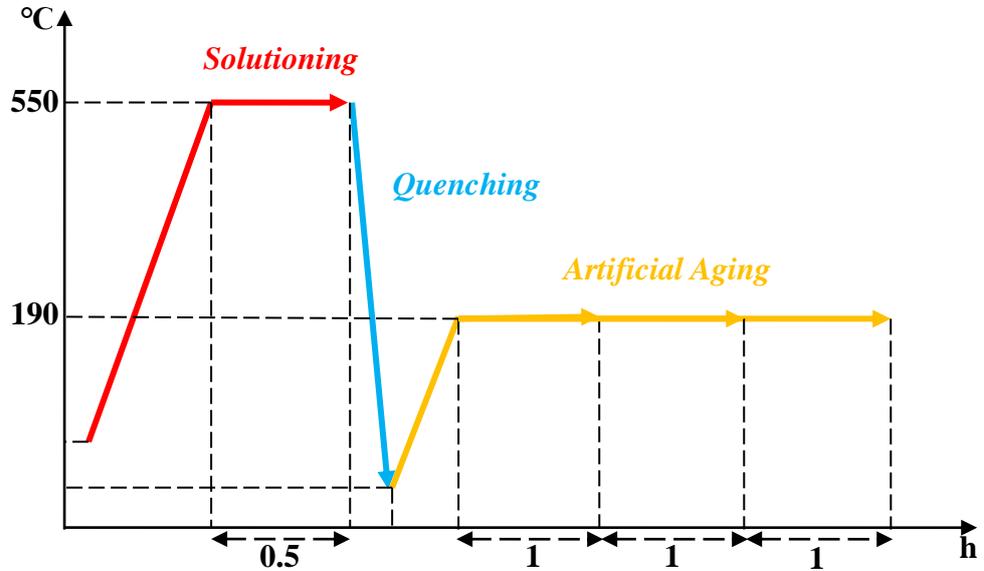
Tabel 4.1 Reduksi Ketebalan Sampel *Thixoforming*

Sampel <i>Thixoforming</i>	Ketebalan (mm)		Total Reduksi (mm)	Rata-rata Reduksi (mm)
	Sebelum	Sesudah		
1	16,3	13,7	2,6	3,12
2	17,0	12,4	4,6	
3	16,3	13,9	2,4	
4	16,4	13,5	2,9	

4.3 *Precipitation Hardening*

Pada *precipitation hardening process* terdapat tiga perlakuan panas yang dilakukan, yaitu *solutioning*, *quenching*, dan *artificial aging*. Akan tetapi, sebelum dilakukannya *precipitation hardening process* seluruh sampel harus melewati tahap *machining* yang bertujuan untuk membentuk

sampel sesuai dengan dimensi pada standar pengujian yang akan dilakukan. Berikut merupakan gambar diagram yang menjelaskan dari ketiga perlakuan panas tersebut.



Gambar 4.1 *Precipitation Hardening Process*

Pada *solutioning treatment*, temperatur dinaikan hingga 550°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit. Hal ini bertujuan untuk mengurangi ukuran butir atau fase yang tidak diinginkan dalam material, meningkatkan homogenitas yang dapat mendistribusikan penguat menjadi lebih merata, membantu mengurangi tegangan internal yang timbul akibat proses pembuatan material, dan sebagai proses awal dalam *heat treatment* selanjutnya.

Pada *solutioning treatment* ini juga terdapat proses oksidasi terbesar, hal ini dapat dibuktikan dari perubahan warna pada sampel yang digunakan. Terdapat beberapa jenis oksida yang terbentuk, yaitu Al_2O_3 (Aluminium Oksida) dan MgO (Magnesium Oksida), serta SiC juga dapat bereaksi dengan oksigen, terutama dalam temperatur tinggi yang dapat menghasilkan lapisan oksida pada permukaan butir SiC . Oksidasi tersebut dapat terjadi karena terpaparnya sampel dengan oksigen pada temperatur tinggi, hal tersebut dapat dicegah dengan menggunakan lingkungan yang bersifat inert ketika temperatur tinggi seperti argon atau nitrogen.

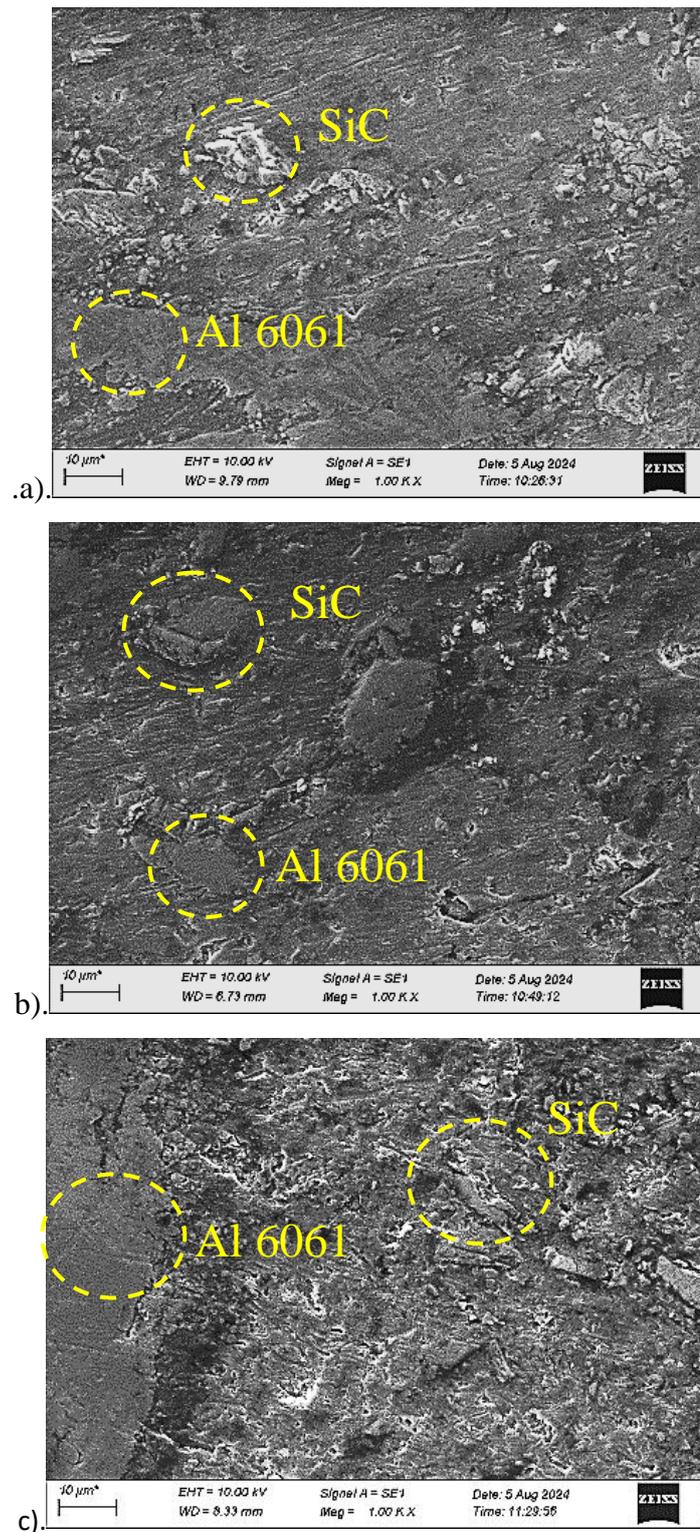
Proses *heat treatment* selanjutnya berupa *quenching* yang dimana material dengan temperatur 550°C bahkan lebih didinginkan secara cepat menggunakan media air dingin. Hal ini bertujuan untuk mempercepat pembekuan logam yang menghasilkan struktur mikro yang lebih keras serta meningkatkan kekerasan material, dapat menghasilkan serta mencegah pembentukan fase pada pendinginan lambat, dan dapat membantu dalam mempertahankan dimensi dari material yang telah melewati tahap *machining*.

Proses *heat treatment* yang terakhir ialah *artificial aging*. *Artificial aging* ini menggunakan temperatur sebesar 190°C dengan waktu penahanan pada temperatur tersebut selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Dimana dari ketiga variabel tersebut akan dicari hasil terbaiknya dari ketiga pengujian yang dilakukan yaitu pengamatan struktur mikro, uji impak, dan uji kekerasan. *Artificial aging* ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik pada material dengan cara mempercepat pembentukan serta pengendapan fase penguat pada material dan juga dapat mengoptimalkan distribusi penguat yang merata pada material. Variasi temperatur dan waktu aging dapat mempengaruhi perkembangan fase pada material tersebut. Jika temperatur dan waktu penahanan kurang, maka pembentukan fase penguat yang terjadi menjadi kurang optimal. Begitu pun dengan temperatur dan waktu penahanan berlebih dapat menyebabkan penurunan kekerasan yang disebabkan oleh pertumbuhan butiran yang berlebih atau pembentukan fase yang tidak diharapkan.

4.4 Pengamatan Struktur Mikro

Pada sampel yang telah dilakukan *artificial aging* dengan variasi waktu penahanan selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam, sampel tersebut dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan alat bernama Zeiss EVO 10 *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil yang didapat pada pengujian tersebut berupa gambar *Scanning Electron Microscope* (SEM) serta gambar *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) pada bagian *cross section*, berikut merupakan gambar hasil pengujian SEM dengan perbesaran

1000× pada sampel dengan waktu penahanan *artificial aging* selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam yang dapat dilihat di bawah ini.

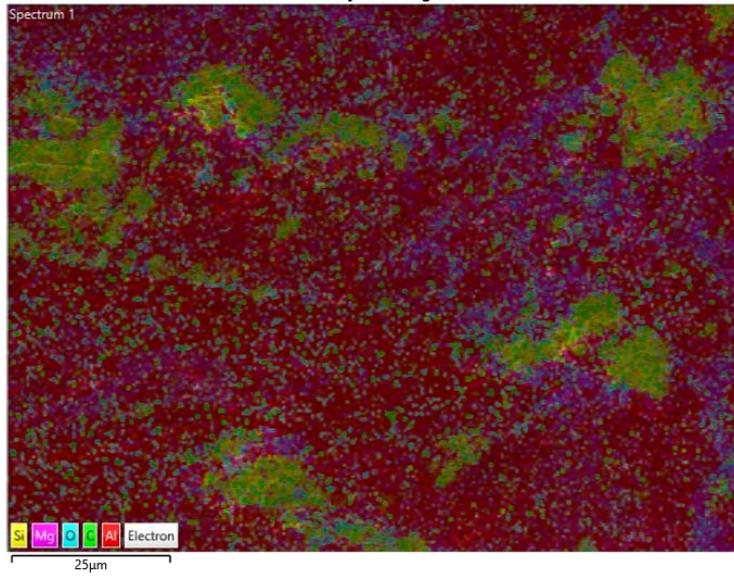


Gambar 4.2 SEM 1000× *Artificial Aging* a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam

Pada hasil pengujian SEM dengan ketiga waktu penahanan pada *artificial aging* tersebut, dapat dilihat bahwa Al 6061 menjadi latar belakang dari gambar hasil pengujian. Hal ini membuktikan bahwa Al 6061 merupakan komponen utama atau matriks (memiliki kandungan tertinggi) pada komposit yang diuji. Sedangkan untuk penguat Mg dapat menjadi presipitat dengan Si yang membentuk Mg_2Si (*Magnesium Silicide*) yang diduga dapat dilihat pada gambar berupa partikel-partikel kecil yang tersebar pada matriks Al 6061. Serta pada ketiga gambar tersebut tidak ditemukannya indikasi porositas pada sampel yang biasanya ditandai dengan warna yang cenderung kehitaman, hal ini membuktikan bahwa tujuan dari *thixoforming* bisa dikatakan tercapai karena porositas akibat dari proses pengecoran tidak terlihat pada gambar hasil SEM tersebut.

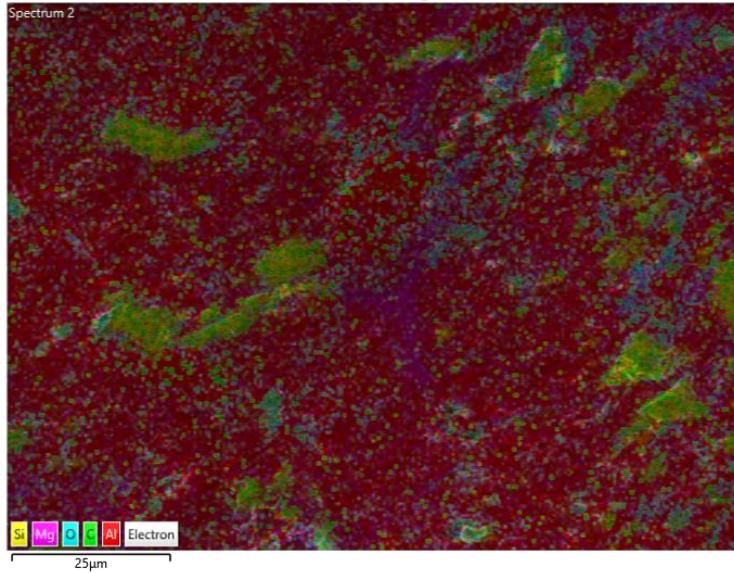
Jika dibandingkan dari ketiga gambar hasil SEM tersebut, dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya waktu penahanan pada *artificial aging*, maka butir-butir partikel semakin mengecil atau dengan kata lain partikel tersebut berpecah menjadi beberapa bagian yang kemudian bergerak menjauhi induknya dengan tujuan pendistribusian penguat yang merata pada matriks Al 6061. Hal ini sesuai dengan fungsi dari *precipitation hardening process* yaitu mengoptimalkan pendistribusian dari penguat yang ada, serta dapat membentuk fasa baru dari kedua penguat yaitu SiC dan Mg yang menjadi Mg_2Si . Presipitat ini lah yang memiliki peran penting untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari sampel yang akan diuji. Untuk penggambaran lebih jelas dari partikel-partikel yang tersebar tersebut dapat dilihat pada gambar hasil *mapping* EDS serta spektrum dengan waktu penahanan 1 jam, 2 jam, dan 3 jam yang dapat dilihat di bawah ini.

EDS Layered Image 1

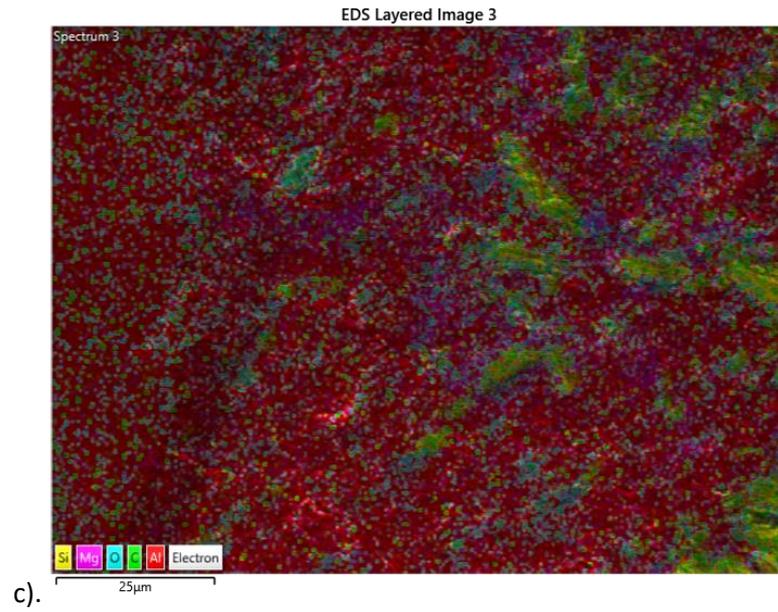


a).

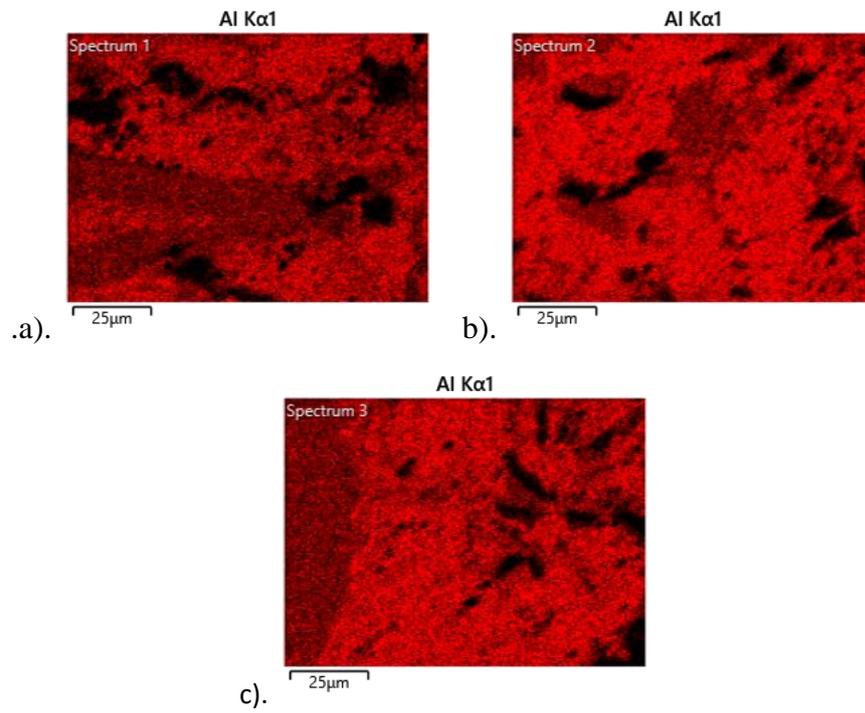
EDS Layered Image 2



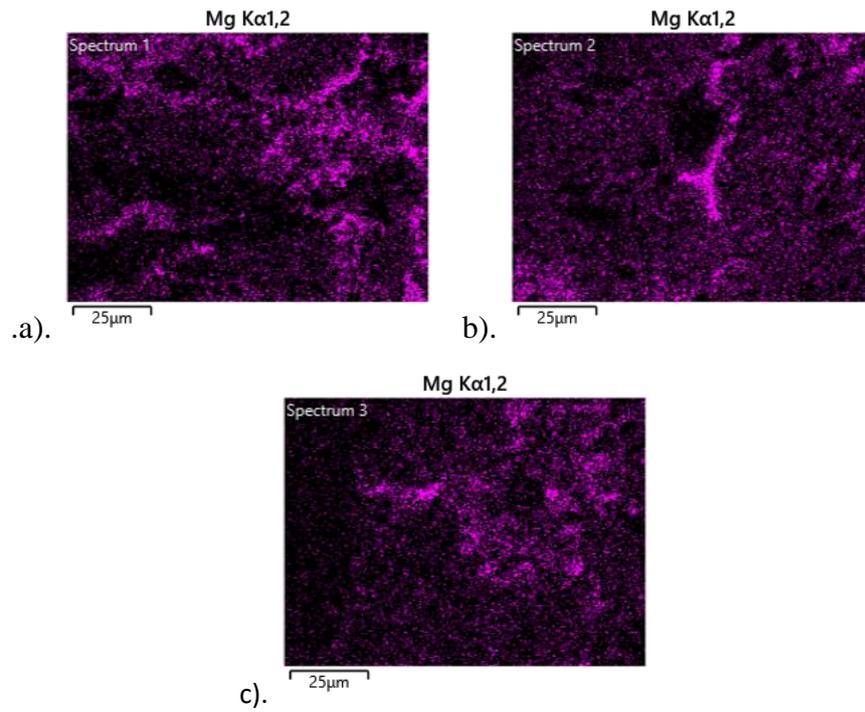
b).



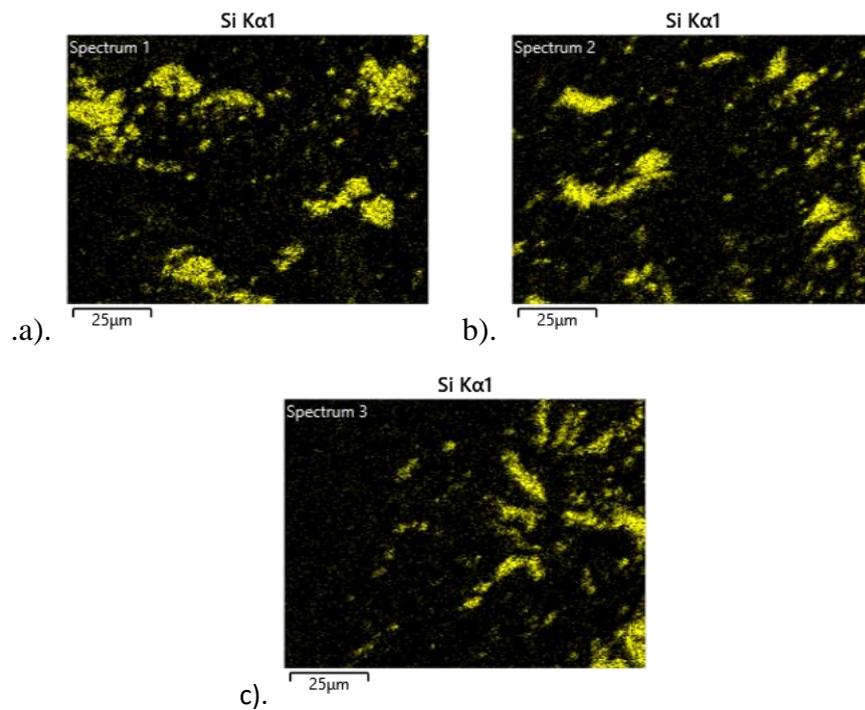
Gambar 4.3 EDS Mapping Artificial Aging a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



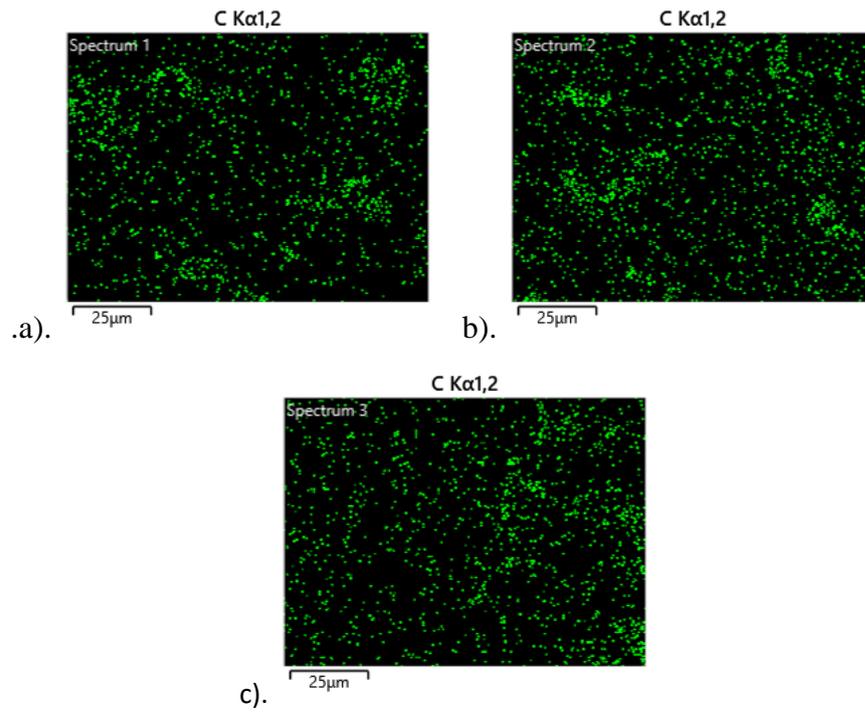
Gambar 4.4 Unsur Al Artificial Aging a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



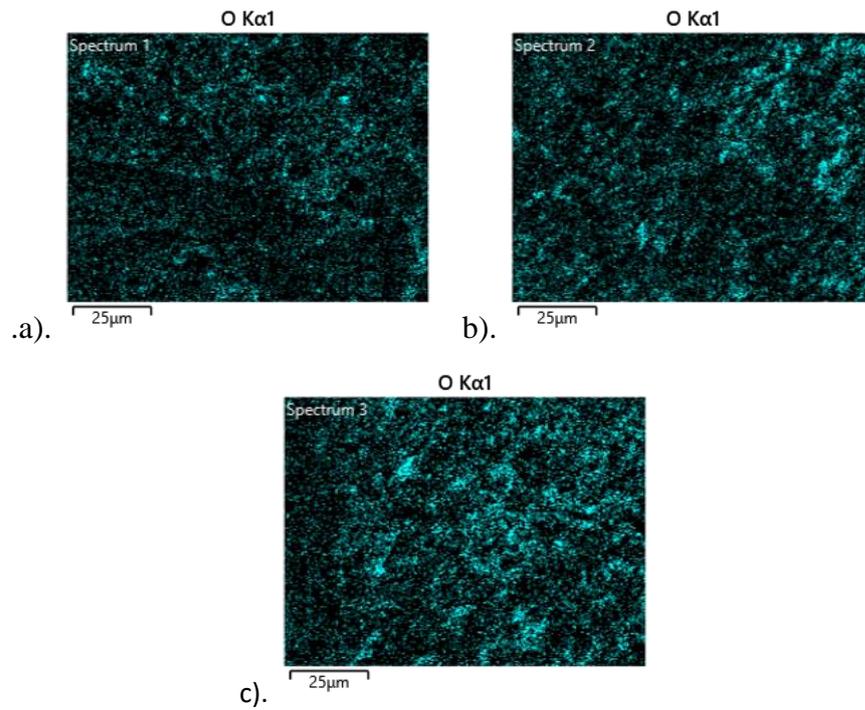
Gambar 4.5 Unsur Mg *Artificial Aging* a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



Gambar 4.6 Unsur Si *Artificial Aging* a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



Gambar 4.7 Unsur C Artificial Aging a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



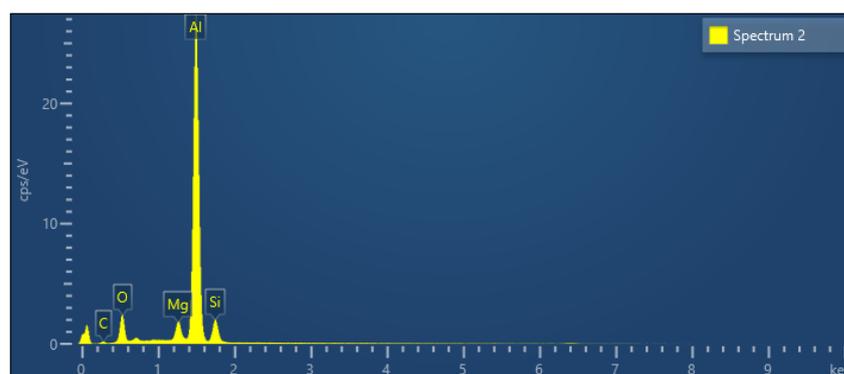
Gambar 4.8 Unsur O Artificial Aging a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



Gambar 4.9 Spektrum EDS *Artificial Aging* 1 Jam

Tabel 4.2 Tabel Komposisi Hasil EDS *Artificial Aging* 1 Jam

Spectrum 1				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	5.98	0.35	11.58
O	K series	12.31	0.15	17.89
Mg	K series	5.08	0.07	4.86
Al	K series	65.95	0.29	56.83
Si	K series	10.68	0.12	8.85
Total		100.00		100.00



Gambar 4.10 Spektrum EDS *Artificial Aging* 2 Jam

Tabel 4.3 Tabel Komposisi Hasil EDS *Artificial Aging* 2 Jam

Spectrum 2				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	4.87	0.30	9.62
O	K series	11.09	0.12	16.44
Mg	K series	3.47	0.06	3.39
Al	K series	72.66	0.26	63.87
Si	K series	7.90	0.10	6.68
Total		100.00		100.00

**Gambar 4.11** Spektrum EDS *Artificial Aging* 3 Jam**Tabel 4.4** Tabel Komposisi Hasil EDS *Artificial Aging* 3 Jam

Spectrum 3				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	5.48	0.42	10.70
O	K series	11.99	0.18	17.57
Mg	K series	2.65	0.07	2.55
Al	K series	72.34	0.37	62.88
Si	K series	7.54	0.13	6.30
Total		100.00		100.00

Gambar hasil dari *mapping* EDS ini sama seperti gambar hasil SEM dengan perbesaran 1000 \times , namun pada EDS ini terdeteksi dari setiap unsur-unsur penyusun pada sampel uji. Sesuai dengan hasil analisa pada gambar SEM, penguat Mg dan SiC yang terdapat pada sampel semakin menyebar dan berpecah menjadi butir-butir yang lebih kecil. Jika dilihat pada ketiga gambar EDS *mapping*, indikasi presipitat dengan jumlah terbanyak terdapat pada sampel dengan waktu penahanan *artificial aging* selama 3 jam. Indikasi ini dapat terjadi karena pada sampel tersebut besaran butir-butir

dengan ukuran yang kecil dari unsur penyusun presipitat Mg_2Si yaitu Mg dan Si sudah semakin banyak dan menyebar serta terkesan menyatu jika dilihat pada gambar hasil *mapping* EDS, hal tersebut menjadi alasan bahwa sudah terbentuknya fasa baru dari kedua unsur tersebut.

Pada awal terbentuknya presipitat, presipitat memiliki ukuran butir yang sangat halus dan terdistribusi secara merata pada Al 6061. Seiring dengan lamanya waktu *artificial aging*, presipitat tersebut semakin berkembang menjadi butir yang lebih besar. Oleh karena itu pada sampel dengan penahanan waktu *artificial aging* selama 3 jam memiliki butir-butir partikel penguat seperti Mg dan Si yang dapat dilihat dengan baik lebih menyebar pada matriks Al 6061. Dalam perannya untuk meningkatkan nilai dari kekuatan dan kekerasan pada sampel, presipitat bekerja dengan cara menghambat pergerakan dislokasi pada matriks Al 6061.

Untuk komposisi unsur yang terdapat pada komposit tersebut dapat dilihat pada gambar grafik atau pun tabel di atas, dapat dilihat bahwa setiap sampel uji memiliki kandungan yang beragam walau bersumber dari hasil pengecoran yang sama. Hal tersebut merupakan dampak dari pengadukan pada proses *stir casting* yang kurang merata. Dengan adanya data tersebut, dugaan terdapat presipitat semakin kuat karena terdapat unsur penyusun dari presipitat Mg_2Si . Untuk jenis unsur yang memiliki komposisi lebih besar jika dibandingkan dengan proses penimbangan pada saat *stir casting*, hal ini dapat terjadi karena Al 6061 terdiri dari beberapa unsur penyusun lain selain dari aluminium itu sendiri. Dan terdapat nilai dari oksigen yang lebih besar dari nilai penguat, hal itu membuktikan bahwa terjadinya oksidasi selama proses perlakuan berlangsung yang didukung oleh menghitamnya warna dari permukaan sampel yang sudah melewati seluruh perlakuan.

4.5 Uji Kekerasan

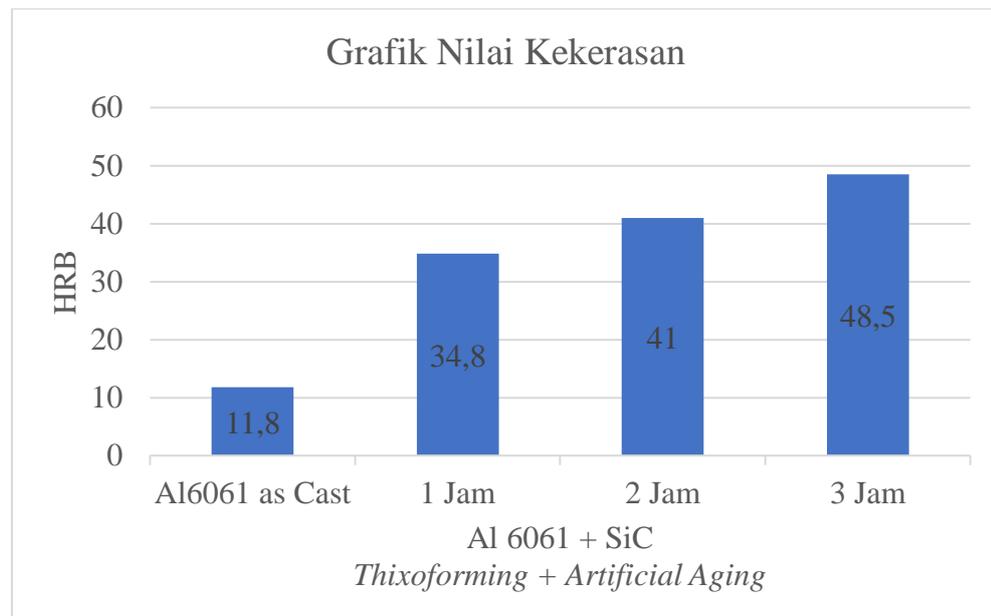
Setelah dilakukannya pengamatan dari struktur mikro yang terbentuk pada sampel, selanjutnya dilakukan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan maksimum yang dapat diterima oleh sampel. Pada uji kekerasan ini menggunakan standar ASTM E18 dengan alat yang bernama *Rockwell*

Type Hardness Tester FR-X Series yang menggunakan *indentor* bola baja dengan pembebanan 100 kgf. Untuk satuan yang dihasilkan dari pengujian ini yaitu HRB. Pada uji kekerasan ini terdapat 3 sampel dengan variabel yang berbeda, serta 1 sampel berupa Al6061 hasil dari pengecoran dengan 3 titik pengujian pada tiap sampel. Berikut merupakan tabel hasil dari pengujian kekerasan yang dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 4.5 Tabel Hasil Uji Kekerasan

	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
Al6061 as Cast	12,7	9,3	13,3	11,8
1 Jam	35,9	39,6	28,9	34,8
2 Jam	40,2	36,8	45,9	41
3 Jam	42,7	53,3	49,6	48,5

Dari tabel tersebut dapat digambarkan menjadi suatu grafik garis yang dapat digunakan dalam mempermudah untuk pembuatan analisis hasil pengujian kekerasan dari setiap variabel sampel yang dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.12 Grafik Nilai Kekerasan

Dapat dilihat pada data hasil uji kekerasan di atas, terdapat kenaikan pada setiap variabel sampel. Hal tersebut membuktikan bahwa *artificial*

aging dapat membentuk fasa baru yaitu presipitat Mg_2Si yang dimana sesuai dengan pengamatan struktur mikro, semakin lama waktu penahanan pada *artificial aging* maka semakin banyak pula presipitat yang terbentuk. Hal ini berbanding lurus dengan nilai kekerasan yang dihasilkan oleh setiap variabel karena meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari sampel merupakan dampak dari adanya presipitat. Sedangkan terdapatnya perbedaan nilai dari setiap titik pengujian pada sampel dengan variabel yang sama dapat terjadi karena persebaran penguat yang kurang sempurna. Selain presipitat, oksidasi juga dapat menjadi salah satu faktor dari peningkatan kekerasan pada sampel uji.

4.6 Uji Impak

Setelah dilakukannya pengujian kekerasan, selanjutnya dilakukan uji impak untuk mengetahui nilai energi yang dapat diserap oleh sampel. Pada uji impak ini menggunakan metode *charpy* dengan standar ASTM E23. Dimensi dari sampel uji impak sebesar $10 \times 10 \times 5.5$ mm dengan energi yang diberikan sebesar 300 joule.

Pada pengujian ini didapatkan nilai dari energi yang diserap oleh sampel yang kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari nilai impak yang dihasilkan pada setiap sampel. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk mencari nilai impak yang dapat dilihat di bawah ini.

$$\text{Luas Penampang} = P \text{ (mm)} \times L \text{ (mm)} \dots \dots \dots (4.1)$$

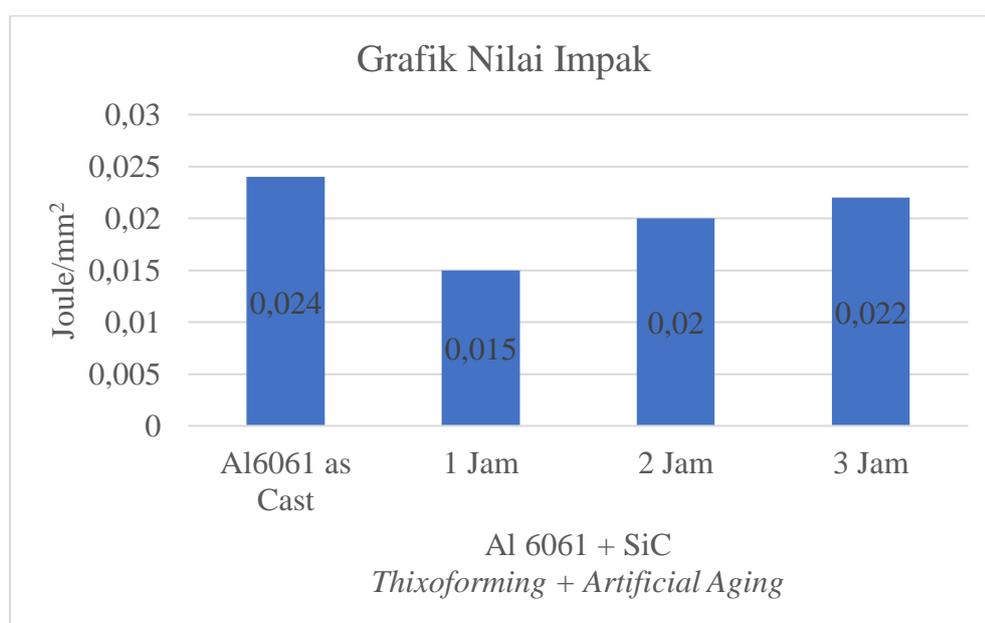
$$\text{Nilai Impak} = \frac{\text{Energi Diserap (Joule)}}{\text{Luas Penampang (mm}^2\text{)}} \dots \dots \dots (4.2)$$

Setelah seluruh hasil pengujian impak dihitung menggunakan kedua rumus di atas, selanjutnya nilai impak yang didapatkan dari seluruh pengujian dirangkum dalam bentuk suatu tabel yang dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 4.6 Tabel Hasil Uji Impak

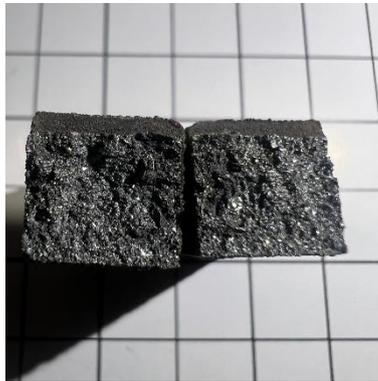
Variabel Sampel	Sampel Ke-	Luas Penampang	Energi Diserap	Nilai Impak	Rata-rata
Al6061 as Cast	Sampel 1	100	2,7	0,027	0,024
	Sampel 2	100	2,1	0,021	
	Sampel 3	100	2,3	0,023	
1 Jam	Sampel 1	100	1,8	0,018	0,015
	Sampel 2	100	1,5	0,015	
	Sampel 3	100	1,2	0,012	
2 Jam	Sampel 1	100	1,9	0,019	0,02
	Sampel 2	100	2	0,02	
	Sampel 3	100	2,1	0,021	
3 Jam	Sampel 1	100	2,2	0,022	0,022
	Sampel 2	100	2,1	0,021	
	Sampel 3	100	2,3	0,023	

Dari data hasil perhitungan nilai impak tersebut, digambarkan dalam bentuk gambar grafik untuk mempermudah melakukan analisis data. Berikut merupakan grafik dari nilai impak yang dapat dilihat di bawah ini.

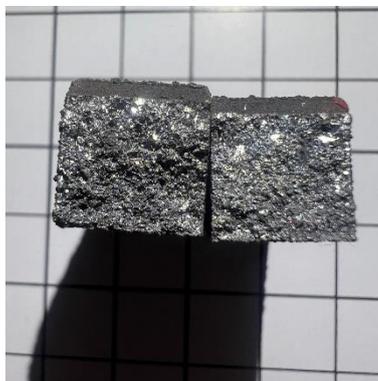


Gambar 4.13 Grafik Nilai Impak

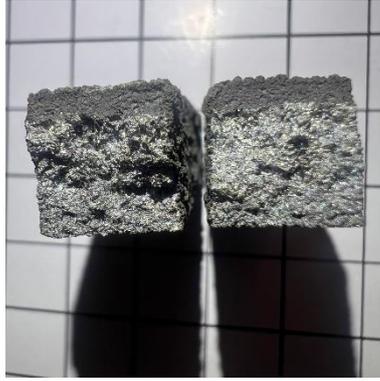
Dapat dilihat pada gambar grafik nilai impak di atas, nilai impak pada sampel Al6061 hasil pengecoran mendapatkan nilai yang lebih tinggi dari pada ketiga variabel sampel hasil dari *artificial aging*. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya *heat treatment* yang dilakukan pada sampel, *heat treatment* tersebut membuat nilai kekerasan sampel menjadi tinggi akan tetapi mengorbankan nilai dari energi yang dapat diserapnya. Namun jika dibandingkan dengan sesama hasil dari *artificial aging*, nilai impak mengalami kenaikan seiring dengan penambahan penahanan waktu. Jika dibandingkan dengan kenaikan pada nilai kekerasan, kenaikan pada nilai impak ini cenderung kecil. Hasil dari patahan uji yang didapatkan merupakan patahan getas, berikut merupakan gambar patahan sampel hasil dari pengujian yang dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.14 Patahan *Artificial Aging* 1 Jam



Gambar 4.15 Patahan *Artificial Aging* 2 Jam



Gambar 4.16 Patahan *Artificial Aging* 3 Jam

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya pembuatan komposit Al6061 berpenguat SiC serta ketiga pengujian, dapat diambil suatu kesimpulan untuk menjawab tujuan dilakukannya penelitian yang dapat dilihat di bawah ini.

1. Struktur mikro dengan persebaran penguat terbaik terdapat pada sampel dengan waktu penahanan *artificial aging* selama 3 jam, untuk indikasi presipitat Mg₂Si terbanyak serta dengan persebaran terbaik juga didapatkan pada waktu penahanan *artificial aging* selama 3 jam. Pada setiap penambahan waktu penahanan *artificial aging* terdapat perubahan seperti besarnya gumpalan pada penguat yang semakin mengecil, serta persebaran penguat yang semakin merata.
2. Hasil uji kekerasan terbesar didapatkan pada waktu penahanan *artificial aging* selama 3 jam dengan nilai rata-rata sebesar 48,5 HRB. Pada setiap penambahan waktu penahanan *artificial aging* mengalami kenaikan pada nilai kekerasannya yaitu dengan rata-rata 34,8 HRB pada waktu penahanan selama 1 jam serta 41 HRB pada waktu penahanan selama 2 jam. Sedangkan pada Al6061 hasil pengecoran didapatkan nilai rata-rata hasil uji kekerasan sebesar 11,8 HRB.
3. Hasil uji impak terbesar didapatkan pada sampel Al6061 hasil pengecoran dengan nilai rata-rata sebesar 0,024 J/mm². Sedangkan untuk sampel *artificial aging* tetap terdapat kenaikan nilai impak seiring dengan pertambahan waktu penahanan pada *artificial aging*. Pada waktu penahanan *artificial aging* selama 1 jam didapatkan hasil rata-rata sebesar 0,015 J/mm², pada waktu penahanan selama 2 jam sebesar 0,02 J/mm², dan pada waktu penahanan selama 3 jam sebesar 0,022 J/mm².

5.2 Saran

Setelah dilakukannya pembuatan komposit Al6061 berpenguat SiC serta ketiga pengujian, dapat diambil suatu saran yang bisa dilakukan oleh peneliti selanjutnya yang dapat dilihat di bawah ini.

1. Alat pengadukan pada *stir casting* menggunakan alat yang dapat bekerja secara otomatis dengan kecepatan putaran yang stabil, hal ini diharapkan dapat terjadinya persebaran penguat SiC dan Mg yang lebih merata.
2. Menggunakan alat *hot press* dengan indikator yang lengkap seperti temperatur pemanasan dan tekanan yang diberikan pada tahapan *thixoforming*, hal ini diharapkan dapat terukurnya indikator secara akurat yang bisa mempengaruhi hasil dari tiap pengujian.
3. Melakukan pengujian XRD pada sampel di setiap variabelnya, hal ini diharapkan dapat mengetahui secara pasti presipitat Mg_2Si yang terbentuk atau pun jenis presipitat/fase kedua lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

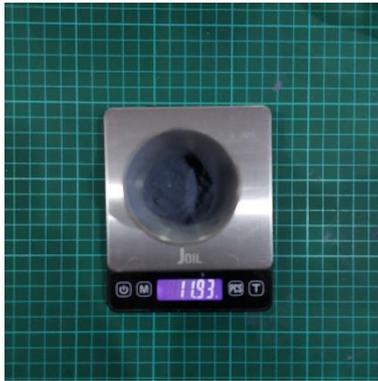
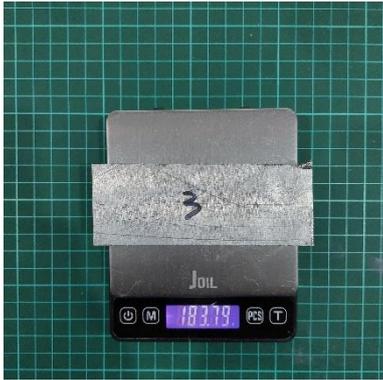
- [1] G. E. Pramono and S. P. Sutisna, "Perbandingan Karakteristik Serat Karbon Antara Metode Manual Lay-Up dan Vacuum Infusion Dengan Penggunaan Fraksi Berat Serat 60%," *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, pp. 1-6, 2017.
- [2] B. Maryanti, A. A. Sonief and S. Wahyudi, "Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik," *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2 No.2*, pp. 123-129, 2011.
- [3] Y. Lu, M. Li, W. Huang and H. Jiang, "Deformation Behavior And Microstructural During The Semi-Solid Compression Of Al-4Cu-Mg Alloy," *Materials Characterization Vol 54*, pp. 423-430, 2005.
- [4] P. Pandu, "Pengaruh Post Weld Heat Treatment (PWHT) Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Pegas Daun Yang Dilas Dengan Pengelasan SMAW," Universitas Islam Riau, Pekanbaru, 2020.
- [5] H. Budi, "Peningkatan Sifat Mekanis Propeler Perahu Motor Dengan Aging Treatment," Universitas Islam Riau, Pekanbaru, 2019.
- [6] A. Zamheri, "PENGARUH WAKTU STIRRING, FRAKSI VOLUME, DAN UKURAN BESAR BUTIR PARTIKEL SiC TERHADAP KEKERASAN MMC Al 6061 - SiC DENGAN SISTEM STIRRCASTING," *Jurnal Austenit*, pp. 23-34, 2011.
- [7] A. M. Ali, M. Z. Omar, M. S. Salleh, H. Hashim, I. F. Mohamed and N. F. B. W. Anuar, "Mechanical Behaviour and Morphology of Thixoformed Aluminium Alloy Reinforced by Graphene," *Materials*, vol. 15, no. 19, p. 6791, 2022.
- [8] A. Polat, M. Avsar and F. Ozturk, "EFFECTS OF THE ARTIFICIAL-AGING TEMPERATURE AND TIME ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND SPRINGBACK BEHAVIOR OF AA6061," *Materials and Technology*, pp. 487-493, 2015.

- [9] E. K. Widyantoro, "Pengaruh Variasi Temperatur Aging Pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Kekerasan, Dan Struktur Mikro," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [10] A. Syakuura, "Proses Pengecoran Vakum Dan Analisis Evolusi Mikrostruktur Paduan Al-Zn-Mg-Cu Dengan Variasi Komposisi Selama Ageing Pada Temperatur 120oC dan 190oC," Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- [11] J. Anggono, S. Tjitro and E. Wijaya, "Pembuatan Keramik Silikon Karbida Menggunakan Campuran Serbuk Kayu Meranti Dan Silikon," *In Seminar Nasional Teknik Mesin Ke-2*, pp. 14-15, 2007.
- [12] N. Nayiroh, "Teknologi Material Komposit," Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2013.
- [13] G. Hirt and R. Kopp, *Thixoforming: Semi-Solid Metal Processing*, New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [14] N. H. Husain, A. H. Ahmad and M. M. Rashidi, "An Overview of Thixoforming Process," *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol. 257*, 2017.
- [15] D. I. Tsamroh, M. I. N. Sasongko and C. Yazirin, "Analisis Sifat Mekanik Dan Sifat Fisik Paduan Aluminium Pada Perlakuan Penuaan Buatan," *TRANSMISI*, pp. 26-33, 2022.
- [16] F. Danny, "Pengaruh Fraksi Berat SiC Dan Cu Terhadap Karakteristik Komposit Al 6061," Universitas Jember, Jember, 2020.
- [17] X. Zhang and T. Chen, "Solution treatment behaviors of 6061 aluminum alloy prepared by powder thixoforming," *Materials Research*, 2018.
- [18] A. Alhamidi, M. Fitrullah and M. Dewi, "Evolusi Mikrostruktur Paduan Al 6061 Hasil Proses Canai Dingin Terhadap Sifat Mekanik," *Jurnal Teknika*, vol. XII, pp. 25-34, 2016.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi *Stir Casting*











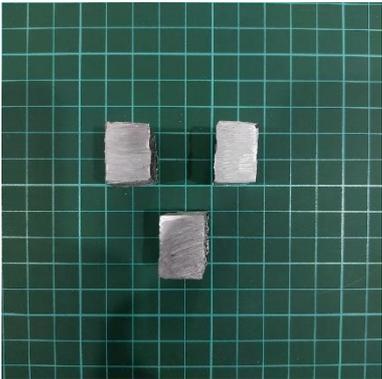
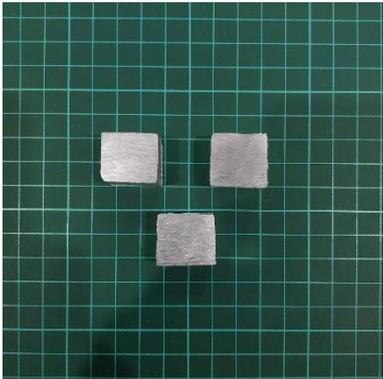
Lampiran 2. Dokumentasi *Thixoforming*

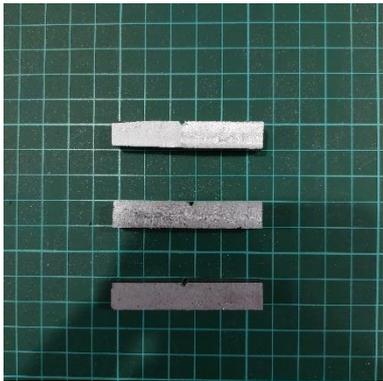


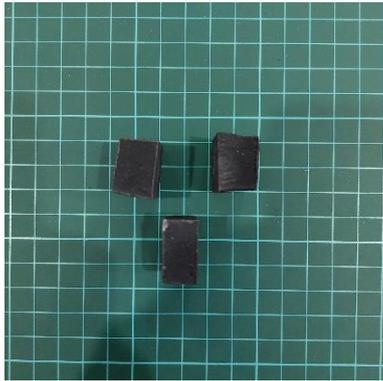
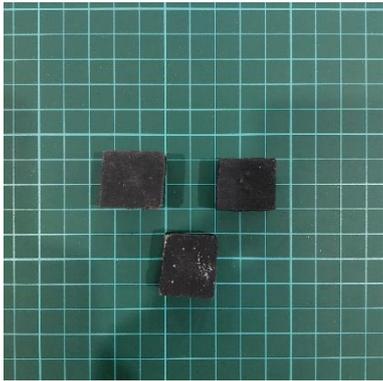


Lampiran 3. Dokumentasi *Precipitation Hardening*

1. *Solutioning Treatment*



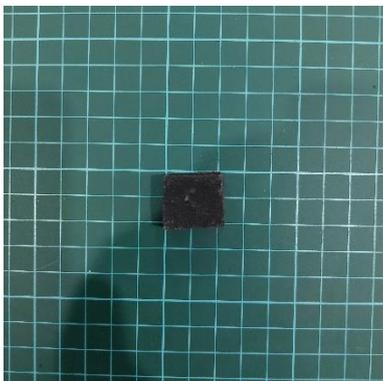
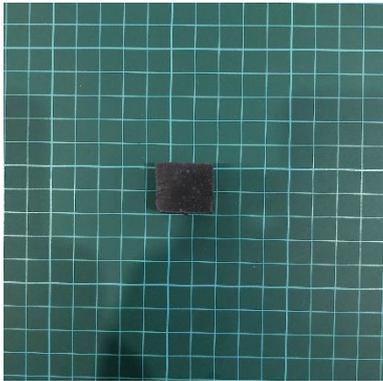
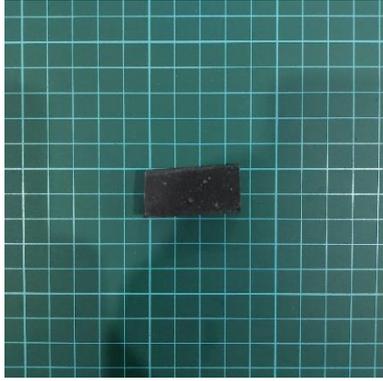






2. *Artificial Aging Treatment* : 1 Jam, 2 Jam, dan 3 Jam

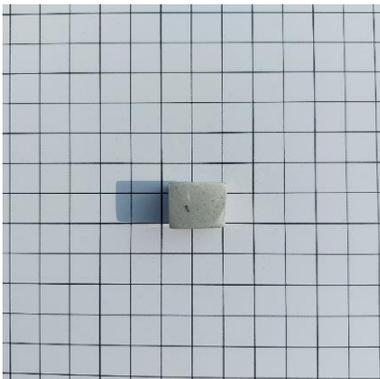
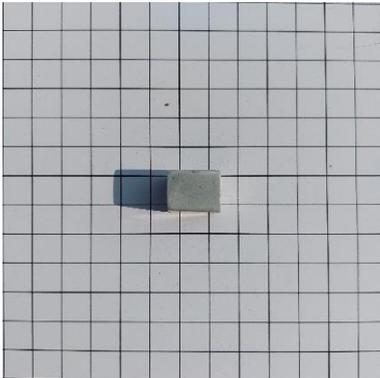
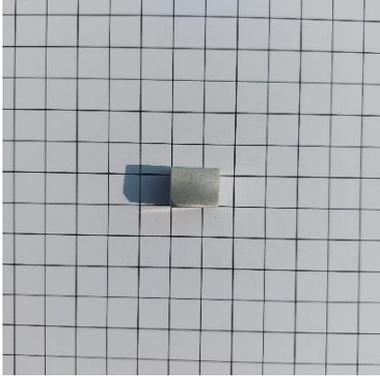




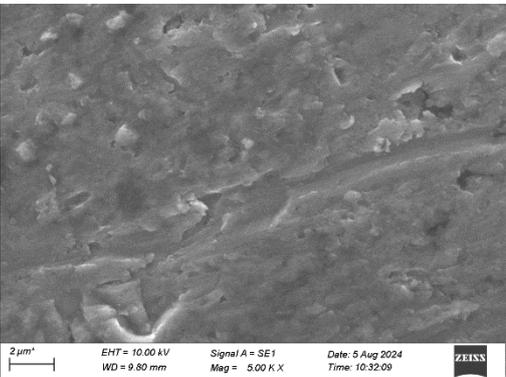
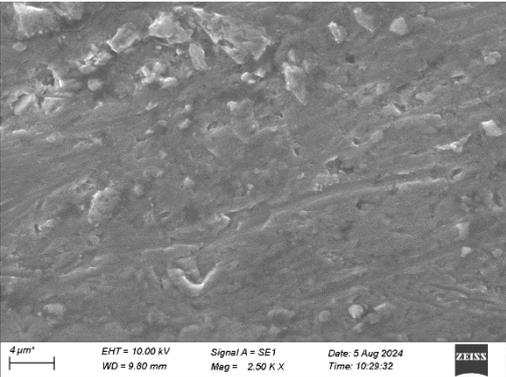
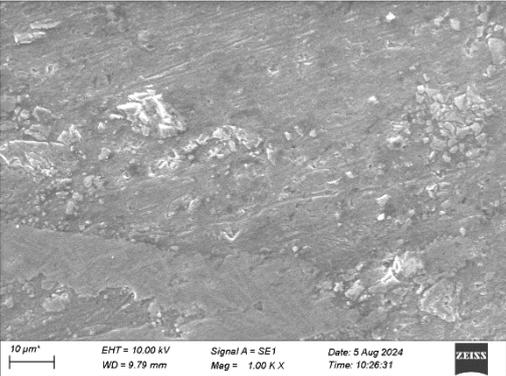
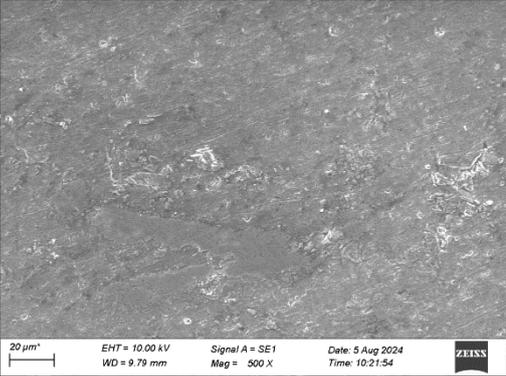


Lampiran 4. Dokumentasi Pengamatan Struktur Mikro

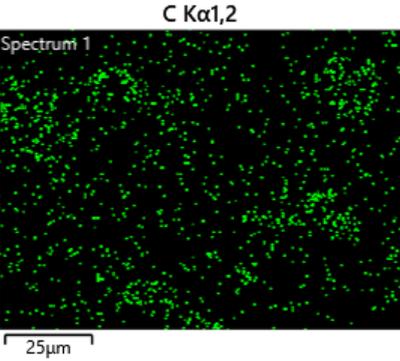
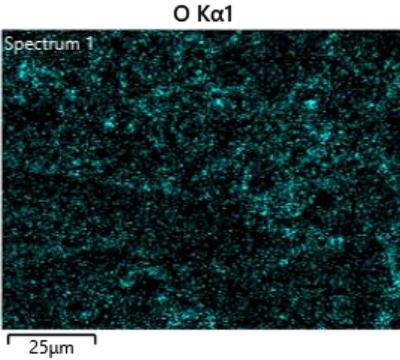
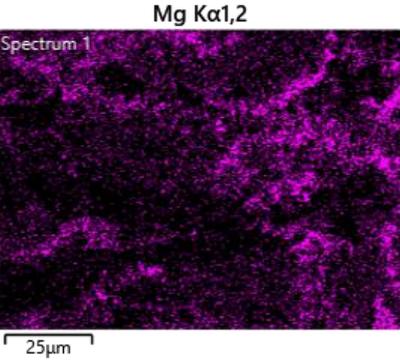
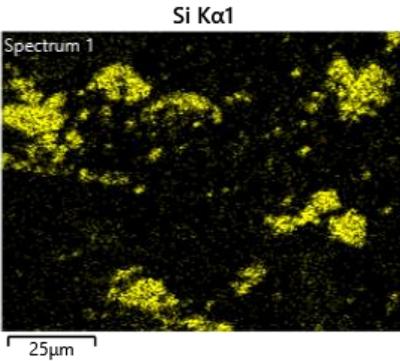
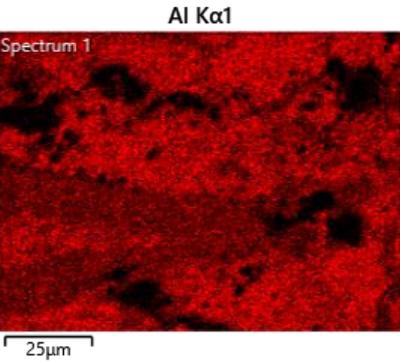
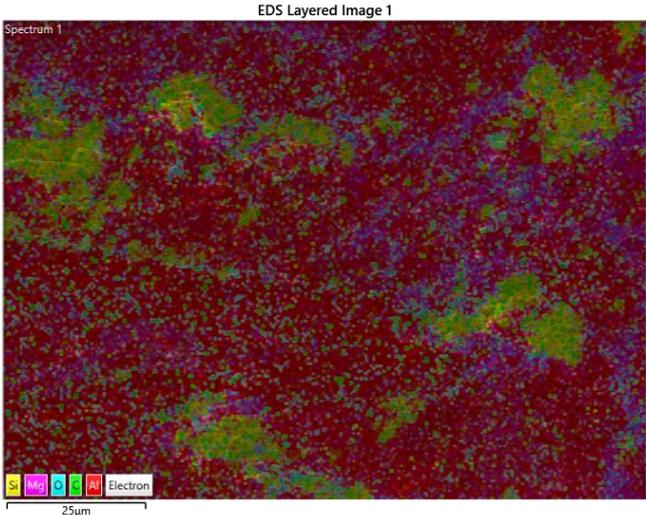
1. Sampel : 1 Jam, 2 Jam, dan 3 Jam



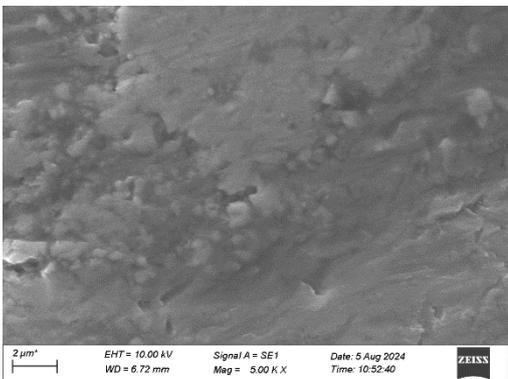
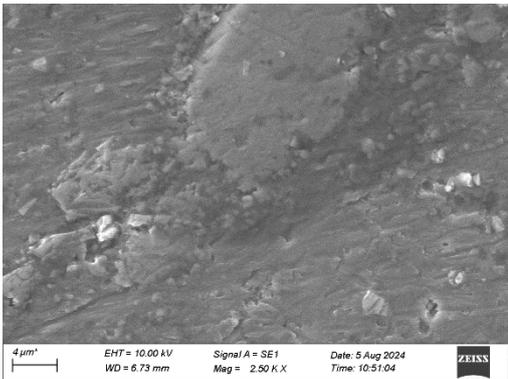
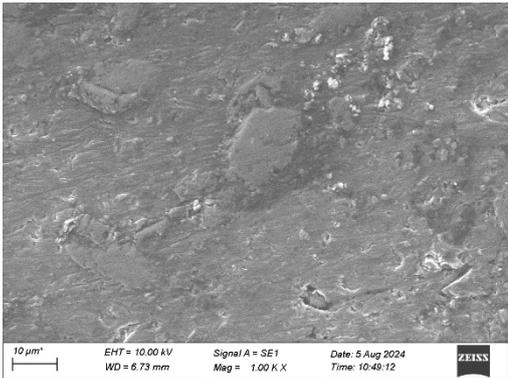
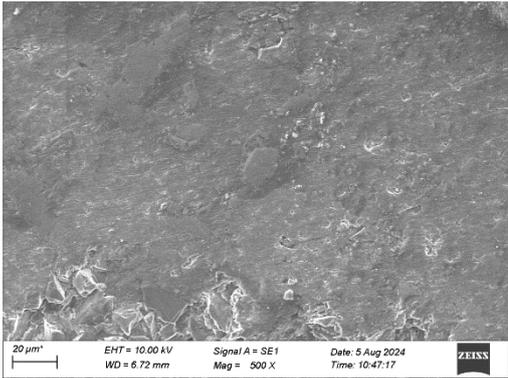
2. SEM 1 Jam



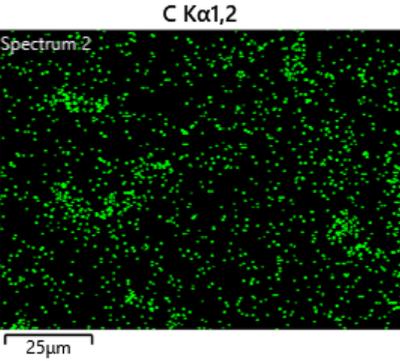
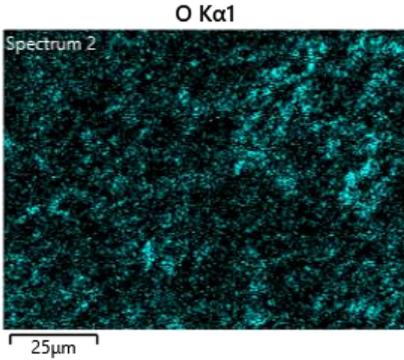
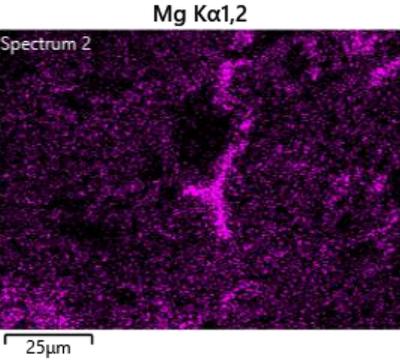
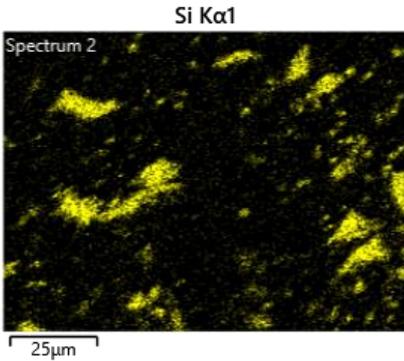
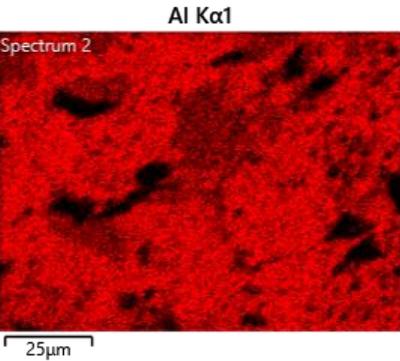
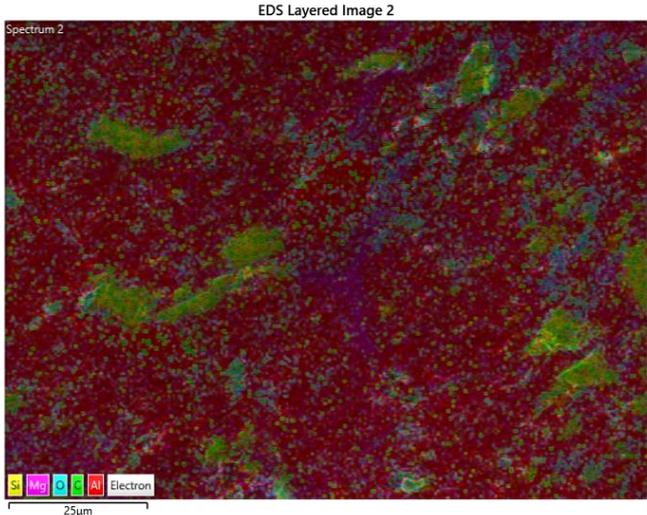
3. EDS 1 Jam



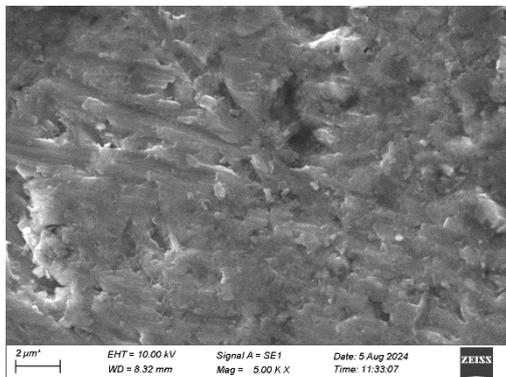
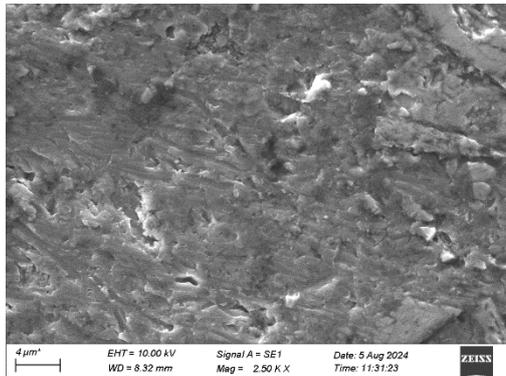
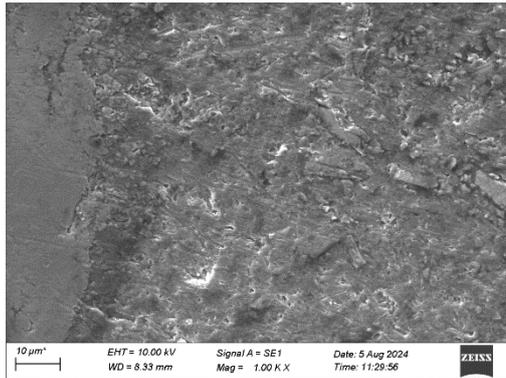
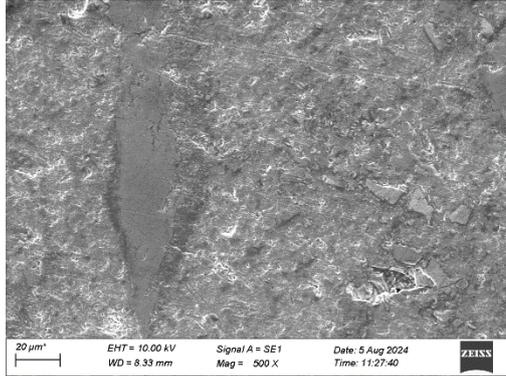
4. SEM 2 Jam



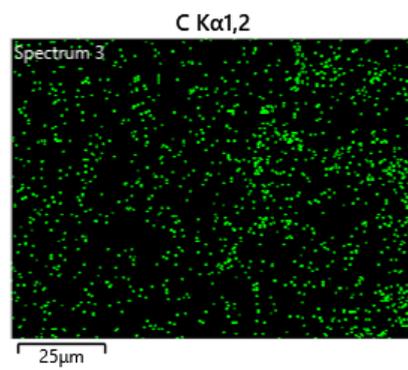
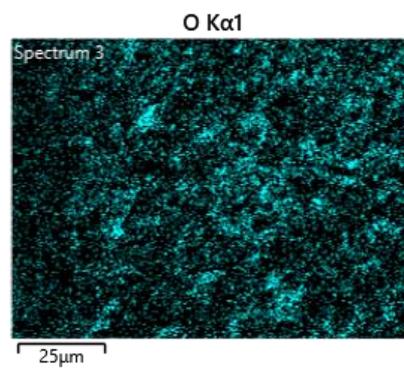
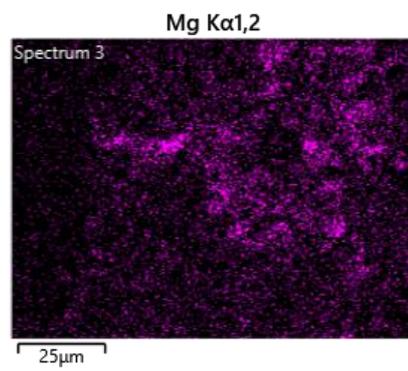
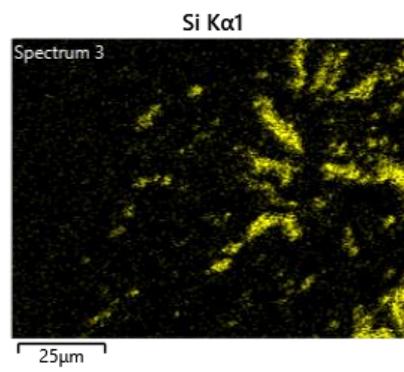
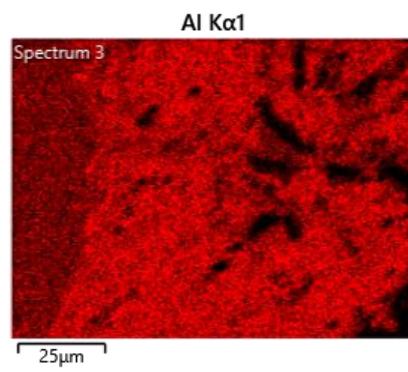
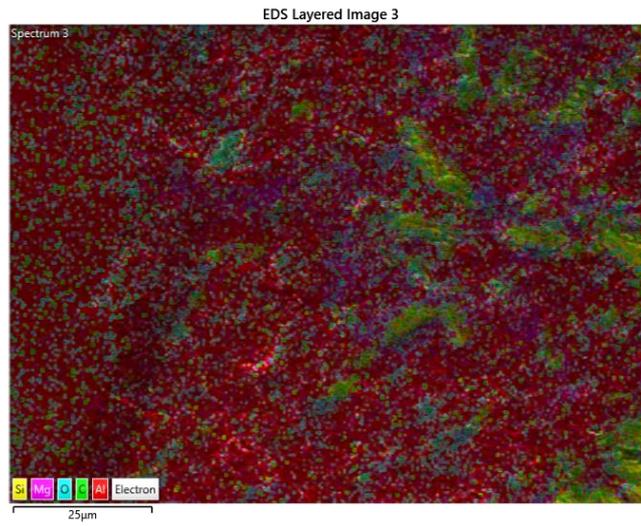
5. EDS 2 Jam



6. SEM 3 Jam

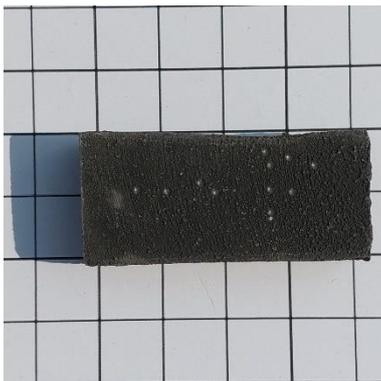
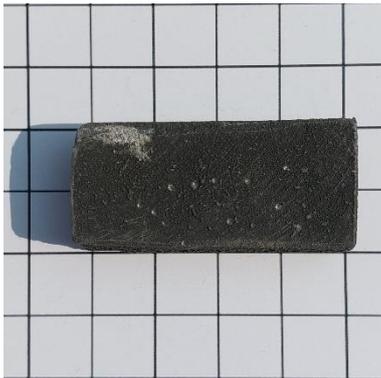
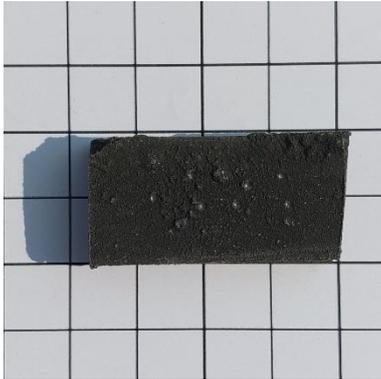


7. EDS 3 Jam



Lampiran 5. Dokumentasi Uji Kekerasan

1. Sampel : 1 Jam, 2 Jam, dan 3 Jam



2. Uji Kekerasan Al 6061 as Cast



3. Uji Kekerasan 1 Jam

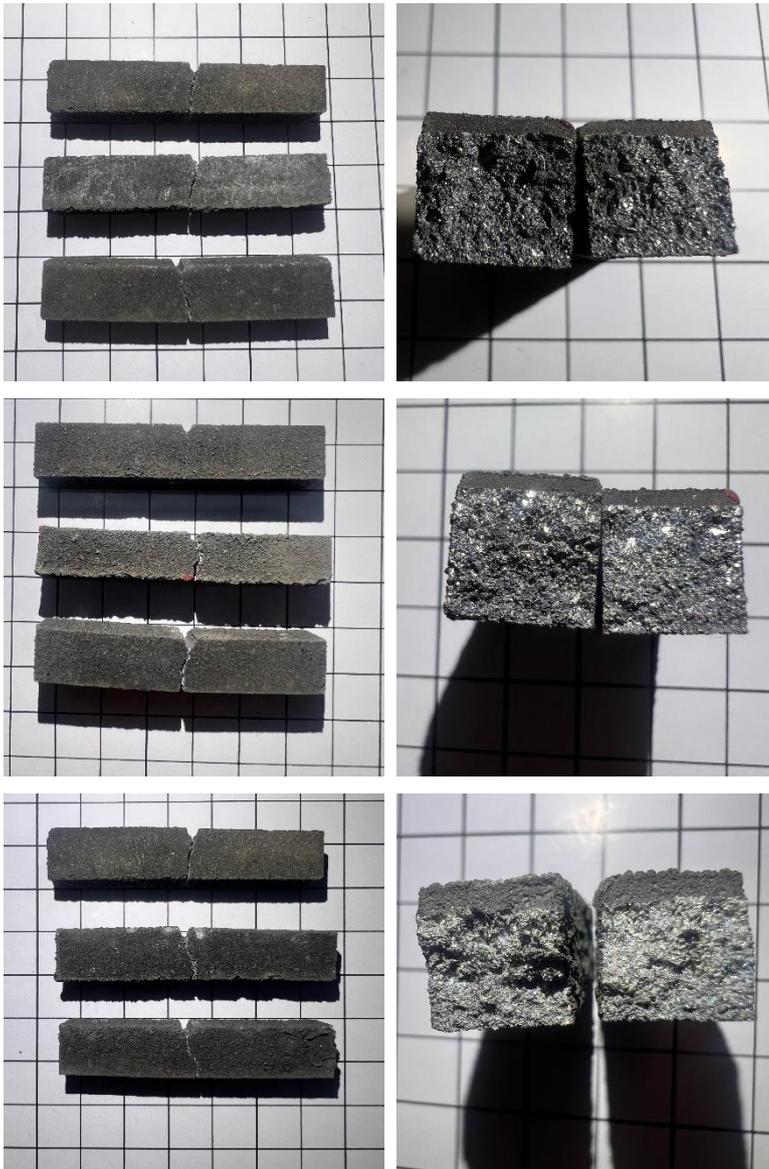


4. Uji Kekerasan 2 Jam

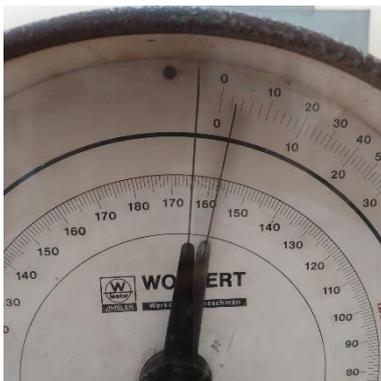


Lampiran 6. Dokumentasi Uji Impak

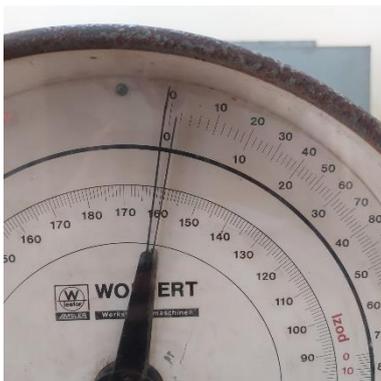
1. Sampel : 1 Jam, 2 Jam, dan 3 Jam



2. Uji Impak Al 6061 as Cast



3. Uji Impak 1 Jam



4. Uji Impak 2 Jam



5. Uji Impak 3 Jam

