

**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

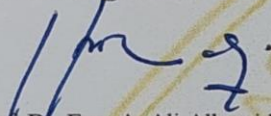
Pengaruh Variasi Waktu Arificial Aging Terhadap Karakteristik Komposit Al 6061 Berpenguat SiC Hasil Proses Thixoforming

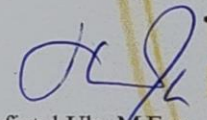
Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Narendra Putra Vendana
3331200032

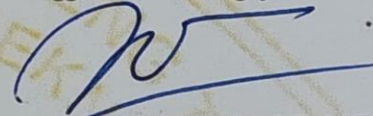
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 16 Agustus 2024

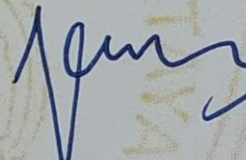
Pembimbing Utama

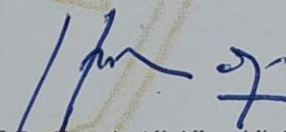

Prof. Dr. Eng. A. Ali Alhamidi, ST., MT.
NIP.197312131999031001


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

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.