

**PENGARUH PERSEN REDUKSI TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT Al 6061 BERPENGUAT
ALUMINA (Al_2O_3) HASIL PROSES *THIXOFORMING*
DAN *ARTIFICIAL AGING***

Skripsi

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



Disusun Oleh:

Ghifari Arifianto

3331200084

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

2024

**PENGARUH PERSEN REDUKSI TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT Al 6061 BERPENGUAT
ALUMINA (Al_2O_3) HASIL PROSES *THIXOFORMING*
DAN *ARTIFICIAL AGING***

Skripsi

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



Disusun Oleh:

Ghifari Arifianto

3331200084

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

2024

TUGAS AKHIR

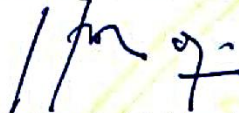
Pengaruh Persen Reduksi Terhadap Karakteristik Komposit Al 6061 Berpenguat Alumina (Al_2O_3) Hasil Proses Thixoforming dan Artificial Aging

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Ghifari Arifianto
3331200084

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 25 September 2024

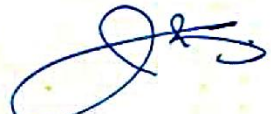
Pembimbing Utama


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


Shofiatul Ula, M.Eng.
NIP. 198403132019032009

Anggota Dewan Penguji


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


Ir. Dedy Triawan Suprayogi, ST., M. Eng., Ph. D.
NIP. 198206212022031001


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


Shofiatul Ula, M.Eng.
NIP. 198403132019032009

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


Tanggal, 08 Oktober 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 : Ghifari Arifianto

NIM : 3331200084

Judul : Pengaruh Persen Reduksi Terhadap Karakteristik Komposit
Al 6061 Berpenguat Alumina (Al_2O_3) Hasil Proses *Thixoforming*
dan *Artificial Aging*

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, 25 September 2024



Ghifari Arifianto

NIM. 3331200084

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Persen Reduksi Terhadap Karakteristik Komposit Al 6061 Berpenguat Alumina (Al_2O_3) Hasil Proses *Thixoforming* dan *Artificial Aging*" ini dengan baik dan tepat waktu. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta bantuan selama proses penyusunan skripsi ini, terutama 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 Skripsi 1 yang senantiasa memberikan ilmu dan pengalamannya selama penelitian berlangsung
4. Ibu Shofiatul Ula, M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing skripsi 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. Bapak Prof. Dr. Muhammad Rifai, S.Si., M.eng. Selaku Pembimbing pada proses di *rolling* Badan Riset Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
7. Seluruh staff dan jajaran dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
8. Bapak Ir. Gatot Prihantono dan Ibu Budiarti, S.Pd. Selaku kedua orang tua yang selalu mendukung, mendoakan, dan membantu penulis
9. Annisa Gati Astari, S.T. Selaku kakak dari penulis yang selalu memberikan mendukung, mendoakan, dan memberi nasihat penulis

10. Sheikhan Azmi Riyanto, Tristan Verrill Adam, Narendra Putra Vendana, Muhammad Farrel Ludira, dan Muhammad Naufal Hanif. Selaku tim dalam penelitian bertema *Thixoforming*
11. Seluruh teman-teman Teknik Mesin angkatan kapal (2020) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang saling membantu selama perkuliahan berlangsung
12. Seluruh pihak yang terlibat dalam Tugas Akhir ini, baik secara praktik maupun secara teori

Skripsi tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Teknik mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini di masa mendatang.

Cilegon, September 2024



Ghifari Arifianto

ABSTRAK

Dalam industri otomotif dan kendaraan listrik, pemilihan material yang kuat namun ringan sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan performa produk. Penggunaan material seperti baja telah lama menjadi standar karena kekuatannya yang tinggi, namun bobotnya yang berat menjadi kendala dalam meningkatkan efisiensi bahan bakar, terutama pada kendaraan listrik. Aluminium Al 6061 menjadi alternatif yang menjanjikan karena sifatnya yang ringan, tahan korosi, dan memiliki kekuatan yang cukup baik. Dengan penguatan partikel keramik seperti Alumina (Al_2O_3), serta melalui proses *thixoforming* dan *artificial aging*, Al 6061 memiliki potensi besar untuk menggantikan baja dalam industri otomotif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi persen reduksi dalam proses rolling terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur komposit Al 6061 yang diperkuat dengan Alumina (Al_2O_3). Dengan memahami bagaimana persen reduksi mempengaruhi deformasi plastis, distribusi penguat Alumina (Al_2O_3), serta perubahan mikrostruktur akibat *thixoforming* dan *artificial aging*, diharapkan dapat ditemukan konfigurasi yang optimal untuk menghasilkan material dengan kekuatan dan ketahanan yang lebih baik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persen reduksi dalam proses rolling berdampak signifikan terhadap kekerasan dan ketangguhan komposit. Pada reduksi 5%, nilai kekerasan meningkat dari 11,8 HRB pada Al 6061 murni menjadi 43,1 HRB, dan terus meningkat hingga mencapai 51,8 HRB pada reduksi 15%. Nilai dampak juga mengalami peningkatan dari 0,024 J/mm² menjadi 0,0581 J/mm² pada reduksi 15%. Peningkatan ini disebabkan oleh deformasi plastis yang lebih besar, *dynamic recrystallization* (DRX), serta distribusi penguat Al_2O_3 yang lebih homogen, yang memperkuat struktur mikro dan sifat mekanik komposit secara keseluruhan.

Kata kunci: Aluminium Al 6061, Alumina (Al_2O_3), *thixoforming*, *artificial aging*, *rolling*, komposit.

ABSTRACT

In the automotive and electric vehicle industries, selecting materials that are both strong and lightweight is crucial for enhancing product efficiency and performance. Steel has long been the standard due to its high strength, but its heavy weight poses challenges in improving fuel efficiency, particularly for electric vehicles. Aluminum Al 6061 has emerged as a promising alternative due to its lightweight, corrosion resistance, and adequate strength. When reinforced with ceramic particles like Alumina (Al_2O_3) and processed through thixoforming and artificial aging, Al 6061 shows great potential to replace steel in automotive industries applications.

This research aims to investigate the effect of different rolling reduction percentages on the mechanical properties and microstructure of Al 6061 composite reinforced with Alumina (Al_2O_3). By understanding how reduction percentages influence plastic deformation, the distribution of Al_2O_3 reinforcements, and the microstructural changes induced by thixoforming and artificial aging, this study seeks to identify the optimal configuration for enhancing the strength and durability of the material.

The results of the study show that increasing the rolling reduction percentage significantly impacts the hardness and toughness of the composite. At a 5% reduction, the hardness increased from 11.8 HRB for pure Al 6061 to 43.1 HRB, and continued to rise, reaching 51.8 HRB at a 15% reduction. Impact values also improved, from 0.024 J/mm² to 0.0581 J/mm² at a 15% reduction variation. These improvements are attributed to greater plastic deformation on rolling process, dynamic recrystallization (DRX), and a more homogeneous distribution of Al_2O_3 reinforcements, all of which strengthen the microstructure and overall mechanical properties of the composite.

Keywords: Aluminum Al 6061, Alumina (Al_2O_3), *thixoforming*, *artificial aging*, *rolling*, *composite*.

DAFTAR ISI

	Halaman.
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State of Art</i>	4
2.2 <i>Thixofforming</i>	5
2.3 <i>Artificial Aging</i>	6
2.4 <i>Rolling</i>	7
2.5 Komposit.....	8
2.6 Aluminium Al 6061	10
2.7 Alumina (Al ₂ O ₃)	11
2.8 Uji Impak	11
2.9 Uji Kekerasan.....	12
2.10 Uji Struktur Mikro	13

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	14
3.2 Alat dan Bahan.....	16
3.2.1 Alat.....	16
3.2.2 Bahan	24
3.3 Prosedur Penelitian	27
3.3.1 Proses <i>Stir Casting</i>	27
3.3.2 Proses <i>Thixoforming</i>	31
3.3.3 Proses <i>Rolling</i>	34
3.3.4 Proses <i>Heat Treatment</i>	36
3.3.5 Proses <i>Artificial Aging</i>	37
3.3.6 Proses Uji Impak.....	38
3.3.7 Proses Uji Kekerasan	39
3.3.8 Proses Uji Struktur Mikro	40
3.3.9 Proses Pengelolaan Data	41
3.4 Variabel Penelitian.....	42

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 <i>Stir Casting</i>	43
4.2 <i>Thixoforming</i>	44
4.3 <i>Rolling</i>	44
4.4 <i>Precipitation Hardening</i>	46
4.5 Hasil Uji Struktur Mikro	46
4.6 Hasil Uji Kekerasan	51
4.7 Hasil Uji Impak.....	52

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman.
Gambar 2.1 Tahapan pemrosesan <i>Thixoforming</i>	5
Gambar 2.2 Grafik <i>artificial aging</i> pada aluminium	6
Gambar 2.3 Proses <i>rolling</i> pada lembaran logam	7
Gambar 2.4 <i>Defects</i> pada proses pengerolan.....	8
Gambar 2.5 Jenis penguat dalam komposit	9
Gambar 2.6 Struktur kimia aluminium oxide	11
Gambar 2.7 Metode Uji Impak.....	12
Gambar 2.8 Uji kekerasan rockwell	12
Gambar 2.9 Hasil SEM dan EDS	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3.2 Peralatan Keselamatan.....	16
Gambar 3.3 Alat Pemadam Api Ringan	16
Gambar 3.4 Cetakan Spesimen.....	17
Gambar 3.5 Timbangan Digital	17
Gambar 3.6 Tungku <i>Stir Casting</i>	18
Gambar 3.7 Alat Penunjang <i>Stir Casting</i>	18
Gambar 3.8 <i>Crucible</i>	18
Gambar 3.9 Kepala <i>Torch</i>	19
Gambar 3.10 Mesin Bor Pengaduk.....	19
Gambar 3.11 Jangka Sorong.....	20
Gambar 3.12 Mesin Gerinda	20
Gambar 3.13 <i>Muffle Furnace</i>	20
Gambar 3.14 Mesin Press.....	21

Gambar 3.15 <i>Thermogun</i>	21
Gambar 3.16 Mesin <i>Rolling</i>	22
Gambar 3.17 Wadah Air.....	22
Gambar 3.18 Mesin Grinding dan Polishing.....	22
Gambar 3.19 Alat Uji Kekerasan Rockwell.....	23
Gambar 3.20 Alat Uji Impak.....	23
Gambar 3.21 Alat Uji Struktur Mikro.....	23
Gambar 3.22 Aluminium Al 6061.....	24
Gambar 3.23 Alumina.....	24
Gambar 3.24 Gas LPG.....	25
Gambar 3.25 Air.....	25
Gambar 3.26 Es Batu.....	25
Gambar 3.27 Amplas.....	26
Gambar 3.28 Bludru.....	26
Gambar 3.29 Pasta Alumina.....	27
Gambar 3.30 Pemotongan Aluminium.....	27
Gambar 3.31 Penimbangan Komposisi Komposit.....	28
Gambar 3.32 Proses pemanasan.....	29
Gambar 3.33 Proses pengadukan komposit.....	29
Gambar 3.34 Dimensi Cetakan pada Software <i>Solidworks</i>	30
Gambar 3.35 Proses pembersihan dan pemanasan cetakan.....	30
Gambar 3.36 Proses penuangan cetakan.....	31
Gambar 3.37 Hasil proses <i>stir casting</i>	31
Gambar 3.38 Suhu pada <i>furnace (thixoforming)</i>	32
Gambar 3.39 Proses pemindahan cetakan.....	32

Gambar 3.40 Pemantauan suhu cetakan	33
Gambar 3.41 Proses <i>pressing</i>	33
Gambar 3.42 Hasil proses <i>thixoforming</i>	34
Gambar 3.43 Hasil sampel <i>thixoforming</i>	34
Gambar 3.44 Mesin <i>Rolling</i>	35
Gambar 3.45 Proses pengerolan	36
Gambar 3.46 Pengukuran ketebalan sampel sebelum dan sesudah.....	36
Gambar 3.47 Proses <i>Solutioning</i>	37
Gambar 3.48 Suhu pada <i>furnace (Solutioning)</i>	37
Gambar 3.49 Suhu air untuk proses <i>quenching</i>	37
Gambar 3.50 Spesimen ASTM E23	38
Gambar 3.51 Peletakan spesimen pada Uji impak	39
Gambar 3.52 Spesimen Uji Kekerasan.....	40
Gambar 3.53 Spesimen Uji Struktur Mikro.....	41
Gambar 4.1 Uji SEM perbesaran 500×	47
Gambar 4.2 Hasil Iterasi Pengukuran Butir dengan <i>Software ImageJ</i>	49
Gambar 4.3 <i>Mapping</i> Uji EDX	50
Gambar 4.4 Grafik Uji Kekerasan AA 6061 & Alumina	51
Gambar 4.5 Grafik Uji Impak AA 6061 & Alumina.....	52
Gambar 4.6 <i>Defect</i> pada spesimen uji impak	53
Gambar 4.7 Hasil patahan pada uji impak.....	53
Gambar 4.8 Permukaan Patahan Uji Impak dengan SEM	54

DAFTAR TABEL

	Halaman.
Tabel 2.1 Komposisi Aluminium Al 6061	11
Tabel 4.1 Berat Paduan Komposit.....	43
Tabel 4.2 Reduksi Ketebalan pada Proses <i>Thixoforming</i>	44
Tabel 4.3 Pengukuran Ketebalan Sebelum Proses <i>Rolling</i>	45
Tabel 4.4 Pengukuran Ketebalan Sesudah Proses <i>Rolling</i>	45
Tabel 4.5 Reduksi Ketebalan pada Proses <i>Rolling</i>	45
Tabel 4.6 Distribusi Butir Sampel	48
Tabel 4.7 Hasil Uji EDX	49
Tabel 4.8 Hasil Uji Kekerasan AA 6061 & Alumina.....	51
Tabel 4.9 Hasil Uji Impak AA 6061 & Alumina	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri otomotif dan manufaktur, pemilihan material yang memiliki kekuatan tinggi namun tetap ringan menjadi salah satu faktor penting untuk meningkatkan efisiensi energi dan performa produk. Pada komponen seperti bodi mobil, *engine guard*, dan rangka sepeda listrik, penggunaan material yang tepat dapat berpengaruh besar terhadap daya tahan, efisiensi bahan bakar, serta kenyamanan pengguna. Sebelumnya material besi sering digunakan karena sifatnya yang kuat dan tahan lama. Namun, kekurangan dari besi adalah bobotnya yang relatif berat, yang dapat mengurangi efisiensi bahan bakar dan performa kendaraan khususnya pada kendaraan listrik.

Seiring dengan perkembangan teknologi material, aluminium, khususnya paduan Al 6061, semakin banyak digunakan sebagai alternatif pengganti besi. Al 6061 memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik, termasuk kekuatan yang memadai, ketahanan terhadap korosi, dan berat yang lebih ringan dibandingkan baja. Peningkatan sifat mekanik Al 6061 dapat dicapai melalui penguatan dengan partikel keramik seperti Alumina (Al_2O_3), yang membentuk komposit. Proses-proses seperti *thixoforming* dan *artificial aging* juga terbukti mampu meningkatkan sifat mekanik paduan ini, sehingga Al 6061 berpotensi menggantikan material sebelumnya dalam berbagai aplikasi teknik.

Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk meneliti lebih lanjut pengaruh variasi persen reduksi *rolling* terhadap karakteristik komposit Al 6061 yang diperkuat dengan Alumina (Al_2O_3) dengan berbagai pengaplikasian dari komposit pada penelitian ini seperti bodi mobil, *engine guard*, dan rangka sepeda listrik, di mana material yang kuat namun massa yang ringan sangat dibutuhkan. Dengan memahami bagaimana proses *thixoforming* dan *artificial aging* mempengaruhi sifat mekanik komposit, diharapkan material ini dapat menjadi solusi yang lebih efisien dan tahan lama dalam industri transportasi dan kendaraan listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, akan diuraikan serangkaian pertanyaan yang menjadi rumusan masalah, berikut adalah rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini

1. Bagaimana pengaruh persen reduksi terhadap sifat mekanik Al 6061 dengan berpenguat Alumina (Al_2O_3) hasil dari proses *thixoforming* dan *Artificial aging*?
2. Bagaimana karakteristik dari material Al 6061 dengan berpenguat Alumina (Al_2O_3) hasil dari proses *thixoforming* dan *Artificial aging*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada latar belakang dan rumusan masalah yang telah disebutkan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Menganalisis pengaruh persen reduksi terhadap struktur mikro pada Komposit Aluminium Al 6061 berpenguat Alumina (Al_2O_3) hasil dari proses *thixoforming* dan *artificial aging*.
2. Menganalisis pengaruh persen reduksi terhadap uji kekerasan pada Komposit Aluminium Al 6061 berpenguat Alumina (Al_2O_3) hasil dari proses *thixoforming* dan *artificial aging*.
3. Menganalisis pengaruh persen reduksi terhadap uji impak pada Komposit Aluminium Al 6061 berpenguat Alumina (Al_2O_3) hasil dari proses *thixoforming* dan *artificial aging*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang didapat adalah sebagai berikut.

1. Bagi industri memberikan manfaat pada bidang yang terkait dengan topik penelitian ini. Seperti pada bidang manufaktur, otomotif, dan dirgantara
2. Bagi peneliti untuk menjadikan referensi pada peneliti berikutnya yang membahas tentang *Thixoforming*.
3. Bagi akademik memberi pengetahuan tentang *Thixoforming* pada material Al 6061 berpenguat Alumina (Al_2O_3) dan sifat mekanik yang dihasilkan.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi pada penelitian ini merupakan eksperimen dengan batasan masalah yang ditentukan. Adapun metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah Aluminium Al 6061 dan Alumina (Al_2O_3)
2. Komposit digabungkan menggunakan metode *stir casting* dengan material Aluminium Al 6061 berpenguat Alumina (Al_2O_3)
3. Komposit diproses menggunakan metode *thixoforming* dan *rolling* dengan material Aluminium Al 6061 berpenguat Alumina (Al_2O_3)
4. Komposit dilakukan perlakuan panas dengan tahap *solutioning*, *quenching*, dan *artificial aging*
5. Pengujian menggunakan uji impak, uji kekerasan, dan uji struktur mikro

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Hirt and R. Kopp, Thixoforming: Semi-Solid Metal Processing, Aachen, Germany: Wiley-VCH, 2009.
- [2] N. H. Husain, A. H. Ahmad and M. M. Rashidi, "An Overview of Thixoforming Process," *Materials Science and Engineering* 257, pp. 1-9, 2017.
- [3] S. MacKenzie, "Heat treatment of aluminum VI – Artificial aging," 15 Maret 2021. [Online]. Available: thermalprocessing.com/heat-treatment-of-aluminum-vi-artificial-aging/.
- [4] C. Pillajo, A. Melo, F. Neto, Casanova, P. M. M. d. S. J., J. Anglada-Rivera and Y. Leyet, "Shorter and efficient heat treatment parameters for 6061/6063 aluminium alloys. ," *Canadian Metallurgical Quarterly*, vol. 60, no. (4), p. 359–365. , 2021.
- [5] Ze Zhao, Michael Stuebner, Jim Lua, Nam Phan and Jinhui Yan, "Full-field temperature recovery during water quenching processes via physics-informed machine learning," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 303, no. 117534, 2022.
- [6] Y. S. Irawan, "Tekstur Bidang Geser (111) pada Pelat Aluminium A1100P dengan Berbagai Rasio Pengerolan Dingin Berpengaruh terhadap Kekuatan Tarik," *Seminar Nasional Pascasarjana VIII*, 2008.
- [7] G. Bădărașu, M. Popa, G. Stoian, A.-M. Roman, R.-I. Comănesci, B. Pricop, u. Nicanor Cimpoes and L.-G. Bujoreanu, "Uncommon Cold-Rolling Faults in an Fe–Mn–Si–Cr Shape-Memory Alloy," *Crystals*, vol. 250, p. 14, 2024.
- [8] N. Nayiroh, Teknologi material komposit, Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2013.
- [9] V. Vlack and L. H, Elements of Materials Science and Engineering, Michigan: Addison-Wesley Publishing Company, 1985.
- [10] T. V. Christy, N. Murugan and S. Kumar, "A comparative study on the microstructures and mechanical properties of Al 6061 alloy and the MMC Al

- 6061/TiB₂/12p," *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 9(1), pp. 57-65, 2010.
- [11] P. Gudlur, A. Forness, J. Lentzc, M. Radovic and A. Muliana, "Thermal and mechanical properties of Al/Al₂O₃ composites at elevated," *Materials Science and Engineering A* 531, pp. 18-27, 2012.
- [12] Kumar, D. Amru, S. Dadan and R. Zulfikar, "Perancangan Alat Uji Impak Charpy Sederhana Untuk Material Logam Baja St 30," *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, pp. 1-9, 2017.
- [13] G. Barbato, M. Galetto, A. Germak and F. (. Mazzoleni, "Influence of the indenter shape in Rockwell hardness test," *Proc. of the HARDMEKO '98*, pp. 21-23, 1998.
- [14] H. Setiawan, "Pengaruh Proses Heat Treatment pada Kekerasan Material Special K (K100)," *Jurnal UMK* , pp. 1-11, 2012.
- [15] M. A. Fikri, I. N. Gusniar and V. Naubnome, "Tensile Test Analysis And Microstructure Observation Of Shielded Metal Arc Welding S45c Steel Against Current Variations," *Traksi : Majalah Ilmiah Teknik Mesin*, pp. 65-78, 2022.
- [16] E. Tolouie and R. Jamaati, "Effect of rolling reduction on the microstructure, texture, and mechanical behavior of AZ91 alloy," *Journal of materials research and technology*, pp. 7947 - 7957, 2023.
- [17] A. A. Alhamidi and M. Dewi, "MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES AL 6061 PROCESSED BY COLD ROLLING AND AGING," *VANOS Journal of Mechanical Engineering Education*, pp. 2528-2611, 2018.
- [18] G. Pratomo, "Analisa Struktur Mikro dan Tingkat Kekerasan Logam Alumunium Hasil Cold Rolling Dengan Variasi Reduksi Pada Jarak Roller 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm.," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2019.
- [19] E. Tolouie and R. Jamaati, "Effect of rolling reduction on the microstructure, texture, and mechanical behavior of AZ91 alloy," *journal of materials research and technology*, pp. 7947 - 7957, 2023.