



**PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP KEKERASAN
DAN MIKROSTRUKTUR PADA PENGECORAN ALUMINIUM 6061**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana strata satu
(S-1) jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



Disusun Oleh:

SIGIT KRISTIADI ★★

21801052010

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM MALANG

2023

ABSTRAK

Sigit Kristiadi. Dosen Pembimbing: Ir. Hj. Unung Lesmanah, M.T dan Artono Raharjo, S.T., M.T. 2023. “Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur Pada Pengecoran Aluminium 6061”. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang.

Proses pengecoran dan proses pendinginan pada logam dapat mempengaruhi sifat mekanis dan sifat fisik yang terbentuk. Perubahan pada sifat logam dipengaruhi oleh jenis dan media pendingin pada proses pendinginan logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan media pendingin (Air, Dromus, dan Coolant radiator) pada proses quenching terhadap kekerasan dan mikrostruktur pada Aluminium 6061 yang telah melewati tahap pengecoran. Didapatkan kesimpulan variasi media pendingin yang digunakan mempengaruhi tingkat kekerasan dan mikrostruktur benda uji yang berbeda-beda. Dari hasil pengujian didapatkan benda uji variasi media pendingin Air memiliki tingkat kekerasan tertinggi, ukuran butir terkecil, dan jumlah matriks α -Al yang terbentuk lebih rendah dibandingkan benda uji media pendingin Dromus. Benda uji dengan media pendingin Dromus memiliki tingkat kekerasan lebih tinggi, ukuran butir lebih kecil, dan jumlah matriks α -Al yang terbentuk lebih rendah dibandingkan benda uji media pendingin Coolant radiator yang memiliki tingkat kekerasan terendah, ukuran butir terbesar, dan jumlah matriks α -Al terbanyak.

Kata Kunci: Pengecoran logam; Quenching; Aluminium 6061; Kekerasan; Struktur Mikro; Media Pendingin

ABSTRACT

Sigit Kristiadi. Lecture Advisor: Ir. Hj. Unung Lesmanah, M.T dan Artono Raharjo, S.T., M.T. 2023. *“The Effect of Cooling Media Variations on Hardness and Microstructure in Aluminium 6061 Castings”*. Thesis. Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic University of Malang.

The casting and the cooling process on the metal can affect the mechanical properties and physical properties that are formed. Changes in metal properties are influenced by the type and cooling medium in the metal cooling process. This study aims to determine the effect of different cooling media (Water, Dromus, and Coolant radiator) in the quenching process on the hardness and microstructure of Aluminum 6061 which has passed the casting stage. It can be concluded that the variations in the cooling media used affect the different levels of hardness and microstructure of the test specimens. From the test results, it was found that the Water cooling media specimen had the highest level of hardness, the smallest grain size, and the amount of α -Al matrix formed was lower than the Dromus cooling media specimen. The test object with Dromus cooling medium has a higher hardness level, smaller grain size, and the amount of α -Al matrix formed is lower than the Coolant radiator coolant media test object which has the lowest hardness level, the largest grain size, and the amount of α -Al matrix the most.

Keywords: Metal casting; Quenching; Aluminum 6061; Hardness; Microstructur; Cooling Medium

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alam memiliki beragam sumber daya yang dapat dimanfaatkan, salah satu sumber daya yaitu material logam, sumber potensial material dapat dimanfaatkan untuk menunjang dan memenuhi kebutuhan. Manfaat material sudah lama dinikmati oleh manusia, material memiliki arti penting dalam kehidupan manusia, maka dari itulah material dieksplorasi, diolah, dan dikembangkan [1, hal. 1].

Salah satu sumber daya alam yang di manfaatkan yaitu material logam, material logam banyak digunakan oleh manusia dan industri saat ini. Beberapa industri besar seperti industri bahan konstruksi dan industri kendaraan sangat bergantung pada sumber daya alam yaitu material logam, material logam biasa diolah dengan beberapa cara yaitu dilakukan pengecoran, penempaan dan press, pembentukan dengan teknik mesin perkakas seperti cnc dan bubut.

Teknologi yang melibatkan banyak ilmu teknik, ilmu fisika pada logam, ilmu mekanika fluida, dan ilmu perpindahan panas merupakan teknik pengecoran pada logam, ilmu-ilmu tersebut saling berkaitan pada teknik pengecoran logam[2]. Teknologi semakin berkembang pesat selaras dengan semakin berkembangnya zaman, dengan adanya hal ini, turut mempengaruhi jumlah kebutuhan proses produksi logam guna pembangunan dan perancangan, salah satu logam yang banyak digunakan seperti baja dan aluminium.

Didalam teknik pengecoran logam untuk mendapatkan benda kerja seperti yang diinginkan dengan cara pengecoran memiliki beberapa tahap, tahap pertama dilakukan peleburan material yang akan digunakan, kemudian disiapkan cetakan sesuai dengan bentuk yang diinginkan, setelah material sudah melebur dan menjadi lava, material siap untuk dilakukan penuangan kedalam cetakan melalui lubang pengisian dan dilakukan pendinginan pada material yang akan dibentuk.

Menurut [3], aluminium adalah logam yang memiliki sifat tahan korosi dan penghantar listrik yang baik. Sifat tahan terhadap korosi ini didapatkan

Aluminium dengan cara, aluminium yang berkarat akan cepat membentuk aluminium oksida (Al_2O_3). Penyebab dalam fenomena yang terjadi yaitu fenomena pasivasi, pasivasi merupakan proses pembentukan lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) di permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium.

Aluminium paduan mempunyai beberapa seri, pada aluminium tempa seri 1xxx dengan digit pertama nomor satu menandakan aluminium murni, beberapa seri aluminium tempa lain memiliki digit pertama yang berbeda, digit pertama yang terdapat pada seri 2xxx sampai seri 7xxx menunjukkan pengelompokan paduan dari aluminium, untuk digit kedua menandakan modifikasi unsur paduan [4].

Aluminium memiliki sifat keras dan ulet sehingga banyak digunakan sebagai bahan pembuat *part* mesin seperti piston, blok mesin, *gear*, dan beberapa komponen lainnya [5]. Aluminium seri 6000 merupakan jenis aluminium paduan yang dapat dilakukan perlakuan panas. Aluminium 6061 banyak digunakan pada industri era ini karena memiliki keunggulan seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan tinggi dan ringan, dan ketahanan korosi yang baik [6].

Pada penelitian yang dilakukan Dany Andrian Purwohandoyo, 2018 [7]. Dilakukan penelitian yaitu pengecoran material kuningan (CuZn) menggunakan cetakan pasir CO_2 dengan melakukan variasi beberapa media pendingin cair seperti air laut, air sumur, dan oli SAE 40 dan didapatkan hasil perbedaan media pendingin mempengaruhi kekerasan benda uji. Perbedaan beberapa media pendingin juga turut mempengaruhi laju pendinginan benda uji [7].

Pada penelitian Hidayatulloh 2020 [8]. tentang pengaruh pencampuran magnesium pada aluminium dengan variasi pendingin terhadap kekerasan dan uji tarik juga mendapatkan kesimpulan variasi suhu pendingin pada pengecoran material aluminium paduan magnesium memiliki pengaruh terhadap

kekerasan, hasil kekerasan tertinggi terdapat pada campuran Al – Mg (6%) dengan pendinginan Air suhu 80°C dengan hasil sebesar 76,16 HRT. Pada penelitian ini juga dilakukan uji tarik dan didapatkan hasil kekuatan tarik tertinggi terdapat pada campuran magnesium 6% dan pada pendinginan dengan suhu air 80°C sebesar 8,68 KN/m² [8].

Jika dilihat dari latar belakang yang tertera diatas belum adanya penelitian terdahulu yang mencoba melakukan penelitian tentang “Pengaruh Variasi Media Pendingin (Air, Dromus, dan *Coolant* radiator) Terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur pada Pengecoran Aluminium 6061” maka hal ini lah yang melatar belakangi penelitian ini dilaksanakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang sudah dijelaskan diatas, maka untuk rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh dari variasi media pendingin Dromus (*Solluble Cutting Oil*), *Coolant* radiator dan Air pada pengecoran aluminium 6061 terhadap kekerasan spesimen.
2. Bagaimana pengaruh dari *queenching* dengan variasi media pendingin pada pengecoran aluminium 6061 terhadap struktur mikro spesimen.
3. Apakah metode *queenching* Aluminium 6061 menggunakan media pendingin dromus dapat digunakan dan bagaimana hasilnya.

1.3 Batasan Masalah

Pada setiap penelitian diperlukan adanya batasan masalah agar pembahasan lebih terarah. Adapun beberapa batasan masalah sebagai berikut

1. Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu Aluminium seri 6061.
2. Metode cetak pengecoran yang digunakan adalah *Sand Casting*.
3. Material dilebur dan dicetak membentuk persegi berukuran panjang 30mm dan lebar 25mm dengan tinggi 15mm.
4. Kecepatan penuangan material cair dianggap sama.
5. Temperatur peleburan spesimen menggunakan suhu 700°C.

6. Pengujian dilakukan dengan uji kekerasan dan struktur mikro.
7. Variasi fluida pendingin yaitu Dromus (*Solluble Cutting Oil*), *Coolant* radiator dan Air.
8. Media pendingin Dromus yang digunakan menggunakan campuran 10:1 dengan 10 dromus dan 1 air.
9. Logam cair dalam cetakan didiamkan selama 40 detik kemudian cetakan dibongkar dan kemudian spesimen dilakukan proses *quenching*.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan antara lain

1. Mengetahui pengaruh variasi media pendinginan Dromus (*Solluble Cutting Oil*), *Coolant* radiator dan Air terhadap tingkat kekerasan produk cor Aluminium 6061.
2. Mengetahui pengaruh *quenching* menggunakan variasi media pendingin Dromus (*Solluble Cutting Oil*), *Coolant* radiator dan Air terhadap struktur mikro spesimen.
3. Mengetahui apakah dromus bisa digunakan untuk media pendingin *quenching* aluminium 6061 dan mengetahui hasilnya, jika menghasilkan benda uji dengan tingkat kekerasan dan struktur mikro yang lebih baik, media pendingin dromus dapat direkomendasikan sebagai variasi media pendingin *quenching* aluminium 6061.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat dari penelitian ini adalah

1. Bagi pembaca diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi tentang pengecoran aluminium yang dilakukan *quenching* dengan variasi media pendingin.
2. Bagi penulis diharapkan penelitian ini berguna untuk menambah ilmu tentang pengaruh variasi media pendinginan pada pengecoran, selain dari itu penelitian ini juga dapat memberikan informasi dan pengalaman yang berguna kepada peneliti sendiri.

3. Memberikan alternatif untuk menambah keragaman media pendingin yang digunakan pada proses *quenching* aluminium 6061.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan ini akan diuraikan dalam beberapa bab yang kemudian dikembangkan menjadi sub-sub bab sehingga semua materi pembahasan yang dapat diterima secara sistematis dan terarah. Adapun sistematika penulisan yang dimaksud adalah sebagai berikut

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan terdiri atas latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan teori-teori dasar yang melandasi analisa penelitian sehingga dapat diperoleh pengertian dan pengetahuan yang menunjang analisa pembahasan ini yang diambil dari buku, literatur, dan jurnal ilmiah.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini metode penelitian membahas waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan data, variabel data, dan diagram alir proses pengolahan data.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Didalam bab ini membahas tentang hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan, serta mengolah data-data pengaruh variasi media pendingin terhadap kekerasan dan struktur mikro yang diperoleh.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan sara untuk penelitian selanjutnya.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini tentang pengaruh *quenching* menggunakan media pendingin air, dromus, dan, *coolant* radiator terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro aluminium 6061, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari data yang didapat perlakuan *quenching* menggunakan media pendingin air, dromus, dan *coolant* radiator terhadap Aluminium 6061 mempengaruhi tingkat kekerasan Aluminium 6061. Berdasarkan nilai rata-rata kekerasan pada benda uji yang mendapatkan perlakuan panas dengan variasi media pendingin dapat disimpulkan bahwa variasi media pendingin berpengaruh terhadap nilai kekerasan Aluminium 6061, hal ini dibuktikan dengan analisis ANOVA satu arah. Dari hasil uji t didapatkan kesimpulan benda uji media pendingin air memiliki tingkat rata-rata kekerasan tertinggi (68,6HRb) daripada tingkat kekerasan rata-rata benda uji media pendingin dromus (65,9HRb), dan benda uji media pendingin dromus memiliki tingkat kekerasan rata-rata lebih tinggi (65,9HRb) daripada benda uji media pendingin *coolant* radiator (62,8HRb), media pendingin *coolant* radiator memiliki tingkat kekerasan terendah dari semua variasi media pendingin dalam penelitian ini.

2. Berdasarkan data yang didapatkan dari analisa gambar menggunakan *software "Image J"* dan dilakukan pengujian hipotesis dapat diambil kesimpulan bahwa aluminium 6061 yang mengalami perlakuan *quenching* menggunakan variasi media pendingin memiliki ukuran rata-rata butir yang berbeda dan perbedaan persentase fasa yang terbentuk.

Berdasarkan data yang didapatkan dari analisa gambar menggunakan media pendingin mempengaruhi ukuran butir yang terbentuk. Hal ini dibuktikan dengan analisis ANOVA satu arah. Variasi media pendingin air memiliki ukuran butir terhalus (kecil) daripada media pendingin dromus, variasi media pendingin dromus memiliki ukuran butir lebih kecil daripada

benda uji media pendingin *coolant* radiator. Perbedaan signifikan ukuran butir yang terbentuk ini dibuktikan menggunakan uji t.

Berdasarkan data yang didapatkan dari analisa gambar menggunakan *software "Image J"* dan dilakukan uji hipotesis dapat diambil kesimpulan bahwa variasi media pendingin mempengaruhi nilai persentase fasa yang terbentuk, hal ini dibuktikan dengan analisis ANOVA satu arah. Variasi media pendingin Air memiliki persentase fasa matriks α -Al terendah daripada media pendingin Dromus, variasi media pendingin Dromus memiliki persentase fasa matriks α -Al lebih rendah daripada benda uji media pendingin *Coolant* radiator. Perbedaan signifikan persentase fasa matriks α -Al yang terbentuk ini dibuktikan menggunakan uji t. Semakin kecil ukuran butir yang terbentuk dan semakin rendah persentase fasa matriks α -Al yang terbentuk semakin keras nilai kekerasan benda uji. Hal ini dikarenakan ukuran butir yang lebih halus memiliki kemampuan menahan pergerakan dislokasi dibandingkan dengan logam yang memiliki butiran besar. Benda uji dengan persentase matriks α -Al yang lebih rendah memiliki fasa persentase Mg₂Si lebih banyak.

3. Media pendingin dromus dapat digunakan sebagai alternatif lain media pendingin dalam proses *quenching*. Dikarenakan media pendingin dromus memiliki nilai viskositas yang cukup rendah dibandingkan *coolant* radiator (dengan catatan *soluble cutting oil* dicampur dengan air menggunakan perbandingan 1:10, 1 *soluble cutting oil* dan 10 air). Untuk faktor ekonomis dromus lebih ekonomis dibandingkan dengan *coolant* radiator karena dapat dipadu dengan air.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat digunakan untuk melakukan penelitian kedepannya adalah sebagai berikut:

1. Dari penelitian ini benda uji dapat dilakukan pengujian sifat mekanis yang lainnya untuk mengetahui lebih detail tentang sifat mekanis yang dimiliki benda uji setelah mendapatkan perlakuan seperti pada penelitian ini.



2. Penelitian lebih lanjut dapat divariasikan perbandingan campuran media pendingin dromus untuk mengetahui perbedaan antara dromus yang memiliki perbedaan campuran
3. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan analisa sruktur mikro tentang cacat porositas.
4. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan analisa tentang dampak laju penuangan terhadap sifat mekanis aluminium 6061 cor.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Sudjana, *Teknik Pengecoran*. 2008.
- [2] S. Khoiruddin, P. Hartono, and U. Lesmanah, "Silika Pada Pembuatan Inti Terhadap Kekasaran Produk Hasil Cor," *J. Tek. Mesin*, pp. 1–6, 2019.
- [3] Kokok Cong Jiwo Rogo. Geger, "Pengaruh Variasi Suhu Tuang Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Hasil Remelting Aluminium Tromol Supra X Dengan Cetakan Logam," *J. Ilm. Pendidik. Tek. Mesin*, 2013.
- [4] Z. S. Rahmawati, "Analisis Pengaruh Sr dan Ti Terhadap Ketahanan Korosi Paduan AC4B," pp. 5–20, 2010.
- [5] Y. F. Pradani, M. Sulaiman, and S. Hardiyanto, "Analisis Tingkat Kekerasan Aluminium 6061 Berdasarkan Variasi Media Pendingin Pada Proses Pack Carburizing," *STEAM Eng. J. Sci. Technol. Educ. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [6] Zuhaimi Zuhaimi and Husaini Husaini, "Perilaku Retak Aluminium Paduan A6061-T6 pada Pembebanan Mixed Mode," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 26–32, 2006, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/view/16477>.
- [7] D. Purwohandoyo, Andrean, "Pengaruh Variasi Media Pendingin (Air Laut, Air Simur, Dan Oli Sae 40) Terhadap Sifat Fisis Dan Kekerasan Hasil Pengecoran Kuningan (CuZn) Menggunakan Cetakan Pasir CO₂," vol. 7, no. 5, pp. 1–2, 2018.
- [8] M. I. Hidayatulloh, P. Hartono, and Margianto, "Pengaruh Percampuran Magnesium Pada Alumunium Dengan Variasi Pendinginan Terhadap Kekerasan Dan Uji tarik," *J. Tek. Mesin*, 2020.
- [9] A. Arianata and Masyrukan, "Pengaruh variasi media pendinginan (air sumur, udara dan oli SAE40) terhadap hasil pengecoran aluminium (Al) menggunakan cetakan pasir CO₂," pp. 1–25, 2018.
- [10] A. Qubro and A. Mahendra, "Analisis Warna Dan Kekerasan Dari Pemberian Kadar Garam (NaCl) Pada Proses Pengecoran Propeller Dengan Material Alumunium (Al6061)," *J. Pendidik. Tek. Mesin UNESA*, vol. 6, no. 02, p. 251267, 2017.
- [11] Y. C. Pamungkas, Wahono, and P. Trihutomo, "Identifikasi tingkat kekerasan paduan Al-Si yang di-*quenching* dengan variasi media pendingin dan waktu pencelupan," no. 2, pp. 1–6, 2016.
- [12] M. Masyrukan, "Pengaruh Variasi Temperatur Air Sebagai Pendinginan Terhadap Karakteristik Coran Aluminium Dengan Media Cetakan Pasir Co₂," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 20, no. 2, pp. 25–31, 2019, doi: 10.23917/mesin.v20i2.8532.

- [13] M. Nafi, "Analisis Kekerasan AL-6061 Hasil Cor Dengan Perlakuan Panas Double Quenching," no. June, 2016.
- [14] T. Surdia and K. Chijjiwa, *Teknik Pengecoran Logam*, 9th ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 2006.
- [15] Alfauzan and M. Ilham, "Analisis Proses Pengecoran Motor R Short Menggunakan Palikasi Procast," pp. 5–39, 2021.
- [16] S. Industries, "8 Main steps in sand casting," 2022. www.sinowayindustries.com.
- [17] T. V. Rajan, C. P. Sharma, and A. Sharma, *Heat Treatment: Principles and Techniques, Second Edition*, 2nd ed. New Delhi: Asoke K. Ghosh, PHI Learning Private Limited, M-97, Connaught Circus, New Delhi-110001, 2011.
- [18] H. F. Nurdiawan, "Pengaruh perlakuan panas quenching dan tempering terhadap kekerasan dan struktur mikro sambungan logam las plat baja st-60 dengan pengelasan MIG (metal inert gas)," 2017.
- [19] J. R. Davis, "Alloying: Understanding the Basics," *Br. J. Ind. Med.*, vol. 42, no. 11, pp. 746–749, 1985, doi: 10.1136/oem.42.11.746.
- [20] 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," *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 09, no. 01, pp. 57–65, 2010, doi: 10.4236/jmmce.2010.91005.
- [21] T. Surdia and S. Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 1999.
- [22] Rini, "Analisis kualitas air minum isi ulang dengan menggunakan teknologi ultraviolet (uv) di Kecamatan Jekan Raya Kota Palangka Raya," Institut Agama Islam Negeri Palangka Raya, 2015.
- [23] N. Pradita, B. Suroso, and M. M., "Pengaruh Cairan Pendingin Minyak Dromus Pada Material Kuningan Terhadap Kekasaran Permukaan Dengan Menggunakan Mesin Bubut Bergerinda," *J. Ekon. Vol. 18, Nomor 1 Maret201*, vol. 2, no. 1, pp. 41–49, 2020.
- [24] I. N. Ibrahim, N. Sazali, A. S. Jamaludin, D. Ramasamy, S. M. Soffie, and M. H. D. Othman, "A Review on Vehicle Radiator Using Various Coolants," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 59, no. 2, pp. 330–337, 2019.
- [25] Pertamina, "Pertamina Coolant," *Spec. / Prod. Khusus*, p. 2234, 2011, [Online]. Available: <https://sumberbumipratama.co.id/pertamina-coolant/>.
- [26] ASTM International, "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials," *ASTM E18-15*, p. 38, 2015, doi: 10.1520/E0018-15.2.

- [27] T. Nindha, Gde Tirta, "Diktat Pengetahuan Material Teknik I FASE EQUILIBRIA, LOGAM DAN PADUAN," 2018.
- [28] S. Banerjee, P. C. Chakraborti, and S. K. Saha, "An automated methodology for grain segmentation and grain size measurement from optical micrographs," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 140, pp. 142–150, 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2019.03.046.
- [29] R. toat Wicaksono, Suharno, and B. Harjanto, "Pengaruh Kuat Arus Pada Pengelasan Paduan Aluminium 6061 Dengan Menggunakan Metode Las TIG Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, pp. 37–44, 2019, [Online]. Available: <http://10.0.93.79/jptm.v10i2.51606>.
- [30] M. Yanuar Aditya, "Pengaruh Arus Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Pengelasan Baja ST 40," Universitas Islam Malang, 2022.
- [31] H. Purwanto, "Pengaruh Media Pendingin Aloe Vera Pada Proses Hardening Terhadap Sifat Mekanik Baja ST 60," Universitas Islam Malang, 2022.
- [32] N. I. of Health, *ImageJ User Guide*. 2012.
- [33] S. R. A. Rani and S. Nurrahmi, "Metode Heat Treatment Pada Pengujian Kekerasan Logam Aluminium Dengan Variasi Media Pendingin," *J. Sains Fis.*, vol. 1, pp. 1–6, 2021, [Online]. Available: <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/sainfis>.
- [34] B. S. Pambudi, M. R. Luthfansa, and W. H. Nurdiansyah, "Pengaruh Variasi Viskositas Oli Sebagai Media Pendingin Terhadap Sifat Kekerasan Pada Proses Quenching Baja AISI 4340," vol. 23.
- [35] L. Korson, W. Drost-Hansen, and F. J. Millero, "Viscosity of Water at Various Temperatures," *J. Phys. Chem.*, vol. 73, pp. 34–39, 1968.
- [36] S. Suhardan and R. Kohar, "Pengaruh Variasi Temperatur Normalizing Terhadap Besar Butir Dan Kekerasan Material Baja Karbon Aisi 1035," *Turbul. J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, p. 62, 2020, doi: 10.36767/turbulen.v2i2.550.
- [37] A. Norman, "Pengendalian Struktur Austenit Terhadap Nukleasi Ferit Pada Proses Canai Panas Baja C-Mn," pp. 4–15, 2010.
- [38] Y. L. Liu, S. B. Kang, and H. W. Kim, "Complex microstructures in an as-cast Al-Mg-Si alloy," *Mater. Lett.*, vol. 41, no. 6, pp. 267–272, 1999, doi: 10.1016/S0167-577X(99)00141-X.
- [39] S. dan R. F. Susri Mizhar, "Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan

(Al-Si) Dengan Metode Lost Foam Casting,” vol. 2, no. 2, pp. 77–84, 2016.

- [40] P. P. Seth, O. Parkash, and D. Kumar, “Structure and mechanical behavior of in situ developed Mg₂Si phase in magnesium and aluminum alloys - a review,” *RSC Adv.*, vol. 10, no. 61, pp. 37327–37345, 2020, doi: 10.1039/d0ra02744h.
- [41] S. Seifeddine, G. Timelli, and I. L. Svensson, “Influence of Quench Rate on The Microstructure and Mechanical Properties of Aluminium Alloys A356 and A354,” *Int. Foundry Res.*, vol. 59, no. 1, pp. 2–10, 2007.

