

PENGARUH VARIASI MEDIA *QUENCHING* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO MATERIAL PADUAN Al-Si-Cu-Fe

Apang Djafar Shieddieque¹, Rohman¹, Yadi Heryadi¹, Andika Candra^{1*}

¹Fakultas Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana Purwakarta
Jl Cikopak No 53 Mulyamekar Purwakarta 41151 Jawa Barat

*Corresponding author: apang@wastukencana.ac.id

Abstract

Increasing demands for energy efficiency and lightweight yet strong materials pose a major challenge in enhancing the strength of aluminum without compromising its properties. This supported by the mechanical properties of modified aluminum. Each method has different effects on the mechanical properties and microstructure of aluminum, thus a profound of strengthening techniques is crucial. Heat treatment processes are used to improve the mechanical properties of aluminum. Parameters such as temperature, exposure time, and cooling rate influence the result of heat treatment. The aim of this study is to determine the effect of quenching media on the microstructural changes and hardness of Al-Si-Cu-Fe alloys. Hardness testing and metallographic observations were conducted. The results indicate that quenching with different media tends to affect the hardness level of Al-Si-Cu. From the hardness test results, the highest average strength value was obtained with water quenching media at 75.484 BHN. Variations in cooling media will alter the microstructure through the dispersion and the morphology of Si particles. Hardness testing and observation of the microstructure of specimens with water quenching media show microstructures with the finest shape and a high dispersion of Si particles, resulting in the highest hardness level in specimens with water cooling media.

Keywords: *heat treatment, quenching, hardness, metallography.*

Abstrak

meningkatnya tuntutan efisiensi energi dan material yang ringan namun kuat adalah tantangan utama yang dihadapi untuk meningkatkan kekuatan aluminium tanpa mengorbankan sifat-sifat unggul lainnya. Hal ini didukung dengan sifat mekanik dari aluminium yang sudah dimodifikasi. Setiap metode memiliki efek yang berbeda terhadap sifat mekanis dan mikrostruktur aluminium, sehingga pemahaman mendalam tentang teknik penguatan sangatlah penting. Proses perlakuan panas (*Heat treatment*) digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium, seperti kekuatan dan keuletan. Parameter seperti suhu, waktu pemaparan, dan laju pendinginan mempengaruhi hasil akhir dari *Heat treatment*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi media *quenching* terhadap perubahan struktur mikro dan kekerasan paduan Al-Si-Cu-Fe. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kekerasan dan pengamatan metalografi. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa perlakuan panas *quenching* dengan perbedaan variasi media *quenching* cenderung mempengaruhi tingkat kekerasan Al-Si-Cu. Dari hasil pengujian kekerasan, nilai rata-rata kekuatan tertinggi didapatkan dengan media *quenching* air sebesar 75,484 BHN. Variasi media pendingin akan merubah struktur mikro melalui penyebaran partikel Si dan morfologi partikel Si. Hasil pengujian kekerasan dan hasil pengamatan struktur mikro spesimen dengan media *quenching* air memiliki struktur mikro dengan bentuk partikel Si paling halus dan penyebaran partikel Si yang banyak sehingga tingkat kekerasan pada spesimen dengan media pendingin air paling tinggi.

Kata kunci: *heat treatment, quenching, kekerasan, metalografi*

1. Pendahuluan

Material aluminium telah menjadi salah satu bahan logam yang sangat penting dan luas digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi. Kepopuleran aluminium dapat dilihat dari sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi, dan memiliki konduktivitas listrik yang baik. Selain itu, sifat-sifat mekanisnya

yang memadai membuat aluminium menjadi pilihan utama dalam industri otomotif, penerbangan, konstruksi, dan elektronik. Meskipun memiliki banyak keunggulan, aluminium juga memiliki kelemahan dalam hal kekuatan mekanis yang relatif rendah. Oleh karena itu, penelitian yang berkaitan dengan metode penguatan aluminium sangat penting untuk

meningkatkan performa dan daya tahan material ini dalam aplikasi yang semakin beragam [1], [2]

Penggunaan aluminium semakin berkembang pesat, terutama dengan meningkatnya tuntutan akan efisiensi energi dan material yang ringan namun kuat. Dalam industri otomotif, misalnya, penggunaan aluminium dalam pembuatan bodi kendaraan telah membantu mengurangi berat dan meningkatkan efisiensi bahan bakar [3]. Di sektor penerbangan, komponen aluminium digunakan dalam struktur pesawat untuk mengurangi berat dan meningkatkan kinerja aerodinamis. Namun, tantangan utama yang dihadapi adalah bagaimana meningkatkan kekuatan aluminium tanpa mengorbankan sifat-sifat unggul lainnya. Hal ini juga didukung dengan sifat mekanik dari aluminium yang sudah di modifikasi [4]

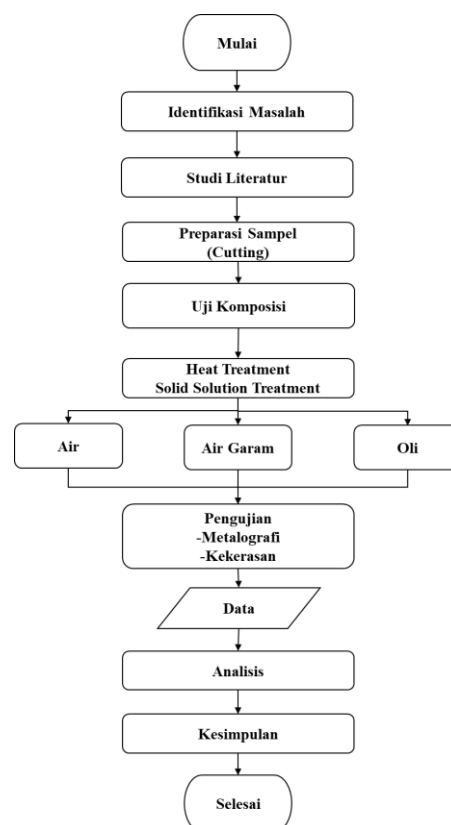
Metode penguatan aluminium menjadi fokus utama dalam penelitian material, karena hal ini dapat membantu mengatasi kelemahan kekuatan mekanisnya. Terdapat berbagai teknik penguatan yang dapat diterapkan pada aluminium, seperti penguatan paduan, pengerutan dingin, perlakuan panas, dan penggabungan dengan serat komposit. Setiap metode memiliki efek yang berbeda pada sifat mekanis dan mikrostruktur aluminium, sehingga pemahaman mendalam tentang masing-masing teknik penguatan sangatlah penting [5].

Proses perlakuan panas (*Heat treatment*) digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium, seperti kekuatan dan keuletan. Parameter seperti suhu, waktu pemaparan, dan laju pendinginan mempengaruhi hasil akhir dari *Heat treatment*. Proses perlakuan panas (*Heat treatment*) yang tidak tepat dapat menyebabkan variasi sifat mekanik yang tidak konsisten pada aluminium. Parameter yang tidak terukur dengan akurat dapat menghasilkan produk akhir yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan [6].

Fokus utama dalam percobaan ini adalah meninjau penguatan aluminium dan dampaknya terhadap sifat-sifat mekanis dan struktur mikro material tersebut. Salah satu alternatif yang digunakan untuk mengatasi masalah perubahan sifat mekanis yang terjadi pada pengecoran aluminium dengan cara memberi variasi media *quenching*. Percobaan yang dilakukan melibatkan variasi media *quenching* dengan *quenchant* berupa air, air garam, dan *quenchant* oli. Pengujian kekerasan *Vickers* dan pengamatan metalografi dilakukan untuk menentukan sifat mekanis dengan menguji nilai kekerasan dari hasil pengecoran aluminium paduan. Fokus masalah yang ingin dipelajari dalam penelitian ini adalah perlakuan panas pada aluminium paduan dengan pemilihan media *quenching* yang tepat sebagai upaya mengetahui nilai kekerasan dan struktur mikro dari paduan Al-Si-Cu-Fe.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Komposisi Aluminium

Pengujian komposisi kimia dengan menggunakan Emision Spektrometer menghasilkan presentasi komposisi unsur paduan masing-masing material uji. Hasil tersebut ditampilkan dalam bentuk Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia

Unsur	Komposisi Unsur Paduan Spesimen (%)
Al	88,91
Si	6,42
Fe	1,49
Cu	1,20
Mn	0,119
Mg	0,060
Cr	0,039
Ni	0,102
Zn	1,40
Sn	0,029
Ti	0,078
Pb	0,025

2.2 Proses Heat treatment

Proses *heat treatment* yang dilakukan pada penelitian ini adalah *solid solution treatment*. Adapun tahapanya dilakukan dengan memanaskan sampel sampai temperature 540°C, kemudian tahan selama 5 jam. Siapkan media pendingin berupa air, air garam, dan oli, Setelah selesai selama 5 jam, keluarkan sampel dari tungku dan masukan sampel ke dalam media pendingin yang sudah disiapkan secara langsung dan cepat. Tunggu sampel didinginkan oleh media pendingin yang sudah disiapkan selama 10 detik [7].

2.3 Pengamatan Metalografi

Pengamatan metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan fasa-fasa yang terbentuk sebelum dan sesudah dilakukannya proses *heat treatment* pada spesimen uji, pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan di Balai Besar Logam Mesin (BBLM) dengan

menggunakan alat uji metalografi Merk: Olympus Tipe: bx53m [8].

2.4 2.4.1 Pengujian Kekerasan Metode Brinell

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Brinell, mengikuti standar JIS Z 2243. Pemukul yang digunakan memiliki diameter 2,5 mm, dengan gaya tekanan sebesar 62,5 kgf. Pemukulan dilakukan selama 10 detik dan diulang sebanyak tiga kali untuk setiap sampel.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Pada Tabel 2 terlihat bahwa pengujian kekerasan diuji sebanyak 3 titik dengan menggunakan indentor. Sampel as-cast memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 68,244 BHN. Sampel dengan media *quenching* air (QA) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 75,484 BHN. Sampel dengan media *quenching* air garam (QAG) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 74,748 BHN. Sampel dengan media *quenching* oli SAE 40 (QO) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 74,285 BHN.

Tabel 2 Hasil pengujian kekerasan sampel (*As-Cast*)

SAMPEL	<i>As-cast</i>			
TITIK	d1 (mm)	d2 (mm)	d rata rata (mm)	Kekerasan (BHN)
TITIK 1	1,087	1,068	1,0775	65,228
TITIK 2	1,056	1,043	1,0495	68,945
TITIK 3	1,044	1,032	1,038	70,559
Rata-rata kekerasan				68,244

Tabel 3 Hasil pengujian kekerasan sampel (TA) menggunakan *quenching* air

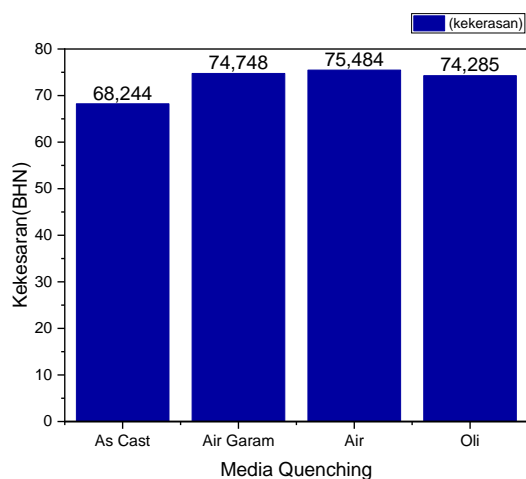
SAMPEL	TA			
TITIK	d1 (mm)	d2 (mm)	d rata rata (mm)	Kekerasan (BHN)
TITIK 1	1,017	1,01	1,0135	74,183
TITIK 2	0,989	1,014	1,0015	76,055
TITIK 3	1,009	0,992	1,0005	76,214
Rata-rata kekerasan				75,484

Tabel 4 Hasil pengujian kekerasan sampel (TAG) menggunakan *quenching* air garam

SAMPSEL	TAG			Kekerasan (BHN)
	d1 (mm)	d2 (mm)	d rata rata (mm)	
TITIK 1	1,012	1,008	1,01	74,722
TITIK 2	0,994	1,024	1,009	74,877
TITIK 3	1,005	1,016	1,0105	74,645
Rata-rata kekerasan				74,748

Tabel 5 Hasil pengujian kekerasan sampel (TO) menggunakan *quenching* oli SAE 40

SAMPSEL	TO			Kekerasan (BHN)
	d1 (mm)	d2 (mm)	d rata rata (mm)	
TITIK 1	1,016	1,007	1,0115	74,490
TITIK 2	1,012	1,016	1,014	74,106
TITIK 3	1,012	1,014	1,013	74,260
Rata-rata kekerasan				74,285



Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Pada semua tabel hasil pengujian (Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5) dan Gambar 2. terlihat bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi yang didapatkan dari keempat sampel menunjukkan media *quenching* air dengan nilai 75,484 BHN, memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dikarenakan ukuran platelet partikel Si pada *quenching* air paling kecil yang akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian struktur mikro. Hal ini sesuai dengan Hall-Petch yang menjelaskan bahwa semakin kecil ukuran partikel maka nilai kekuatan tarik akan cenderung lebih besar karena terlambatnya dislokasi pada batas butir prestipitat yang

mana kekuatan tarik sebanding dengan kekerasan [9].

Terjadinya kontak dengan udara luar saat proses pengangkatan spesimen setelah *heat treatment* lalu laju pendingin yang dimiliki media air lebih cepat dari laju pendingin media air garam dan oli SAE 40 menyebabkan nilai kekerasan rata-rata tertinggi kedua didapatkan dengan media *quenching* yang menggunakan air garam (TAG) dengan nilai kekerasan 74,748 BHN. Ketika air garam digunakan sebagai media *quenching*, dimungkinkan mampu mengganggu jenis penguapan cairan atau langsung memengaruhi proses penguapan cairan itu sendiri dengan terbentuknya *vapor blanket* [10]. Spesimen dengan perlakuan *quenching* dengan media air memiliki nilai kekerasan tertinggi diantara kelompok spesimen lainnya. Semakin cepat laju pendinginnya maka semakin keras nilai kekerasannya. Proses *quenching* mempengaruhi perubahan struktur mikro pada Al-Si-Fe-Cu [11], [12].

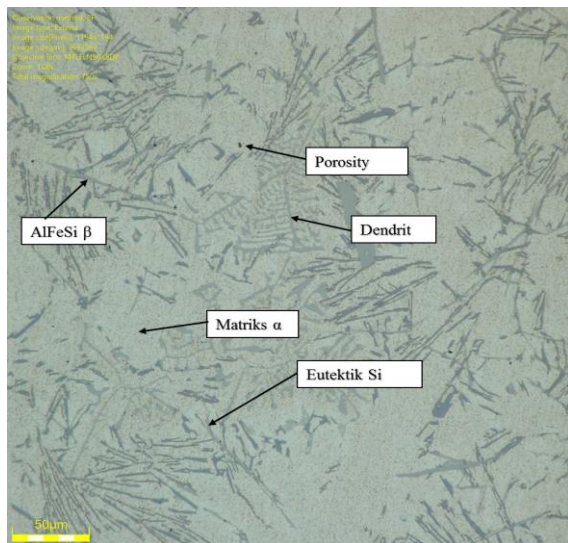
Menurut hasil pengujian struktur mikro yang telah dilakukan, terdapat perbedaan pembentukan partikel Al terhadap partikel Si pada setiap kelompok perlakuan spesimen. Semakin cepat laju pendinginnya maka semakin baik pembentukan partikel Al terhadap partikel Si. Hal tersebut dibuktikan dengan struktur mikro spesimen yang di *quenching* dengan media air menunjukkan pembentukan partikel Al terhadap partikel Si memiliki penyebaran partikel dan alur yang paling halus, sedangkan pembentukan partikel Si mengalami penyebaran yang merata berbentuk serat (*fibrous silicon*) dan memiliki pertumbuhan partikel Si yang baik diantara kelompok spesimen perlakuan yang lain. Hal ini pula yang menyebabkan meningkatnya nilai kekerasan pada *quenching* dengan media air [12].

Dari segi morfologi pada mikrostruktur media *quenching* air terlihat bahwa partikel Si dan partikel Al terlihat sangat rapat dibandingkan dengan media *quenching* air garam dan oli SAE 40. Pada

media *quenching* air garam dan oli, partikel Al dan partikel Si cenderung terlihat lebih renggang [13].

3.2 Analisis Pengamatan Struktur Mikro

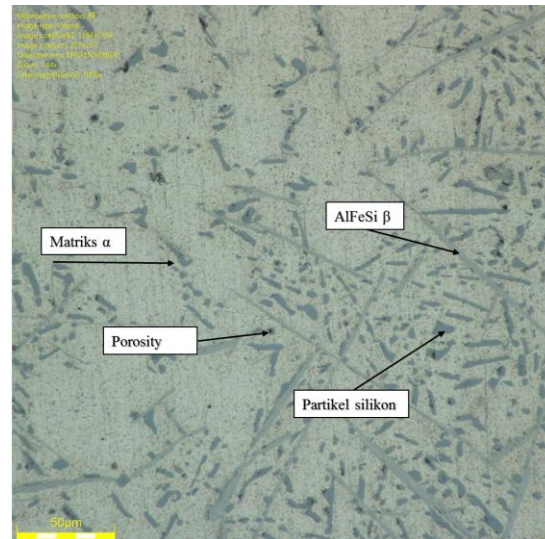
Pada Gambar 3. menunjukkan mikrostruktur spesimen Al-Si-Cu sampel (*As-cast*) pada perbesaran 750× dengan menggunakan etsa HF 0,5% tanpa perlakuan panas. Terlihat terbentuknya presipitat eutektik Si yang berbentuk menjarum yang terlihat cenderung rapat dengan warna abu abu tua yang terbentuk karena solidifikasi Si pada saat pengecoran. Adanya matriks α berwarna lebih terang, porositas dengan warna hitam, fasa β -AlFeSi yang berbentuk lamellar berwarna abu-abu muda, dan dendrit berwarna abu-abu terang pada tengah matrik yang terbentuk karena arah pendinginan saat proses pengecoran yang merupakan tempat berkumpulnya unsur pepadu yang tidak tergabung dalam butiran [6].



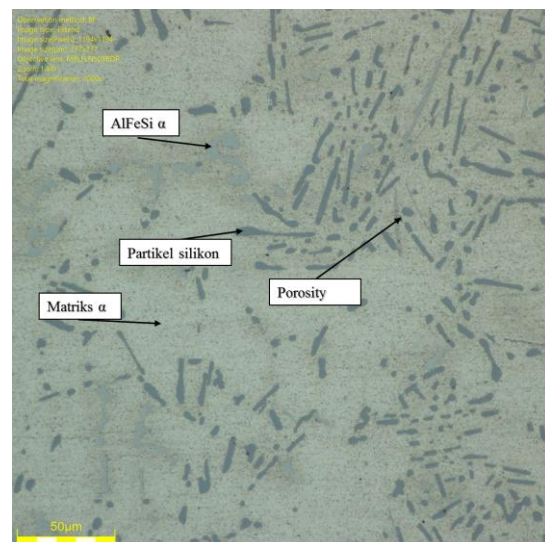
Gambar 3. Hasil pengamatan mikrostruktur sampel *As-cast* perbesaran 750× dengan menggunakan etsa HF 0,5%.

Pada Gambar 4. menunjukkan mikrostruktur spesimen Al-Si-Cu pada perbesaran 1000× dengan menggunakan etsa HF 0,5%, perlakuan panas berupa SST pada temperatur 540°C dan *quenching* dengan menggunakan media air pada temperatur (65°C). Terlihat adanya presipitat partikel Si yang berbentuk platelet

yang terlihat cenderung rapat dengan warna abu abu tua, kontras dengan matriks α berwarna lebih terang (putih), porositas berwarna hitam, dan juga fasa β -AlFeSi yang berbentuk lamellar berwarna abu-abu muda. Bentuk Si yang awalnya menjarum, berubah menjadi platelet disebabkan karena separasi yang terjadi saat pelarutan unsur pepadu pada proses SST [14].



Gambar 4. Hasil pengamatan metalografi sampel TA perbesaran 1000× dengan menggunakan etsa HF 0,5%.

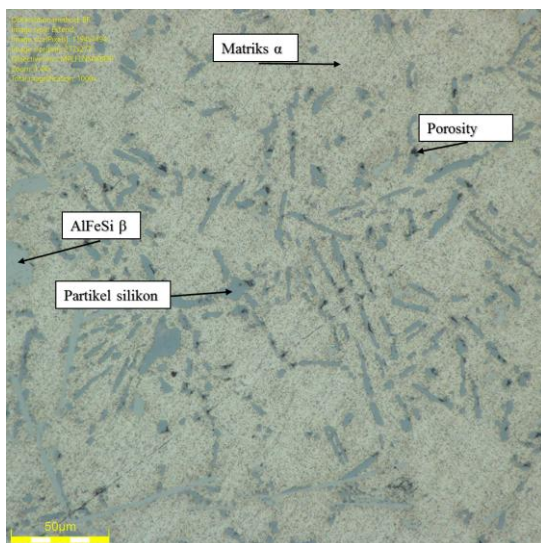


Gambar 5. Hasil pengamatan metalografi sampel TAG perbesaran 1000× dengan menggunakan etsa HF 0,5%.

Pada Gambar 5. menunjukkan mikrostruktur spesimen Al-Si-Cu sampel dengan perlakuan panas SST pada suhu 540°C dan *quenching* dengan menggunakan

air garam (TAG) pada perbesaran 1000× dengan menggunakan etsa HF 0,5%. Terlihat terbentuknya presipitat partikel silikon yang berbentuk platelet yang terlihat renggang. Porositas terlihat tidak terlalu banyak. Matriks α sangat terlihat jelas pada perbesaran ini. Fasa AlFeSi α juga terlihat dan berbentuk irregular (tidak beraturan). Hal ini dipengaruhi karena proses pendinginan pada sampel dengan media *quenching* garam berjalan lebih lambat daripada media air [15].

Pada Gambar 6. menunjukkan mikrostruktur spesimen Al-Si-Cu sampel dengan perlakuan panas SST pada suhu 540 °C dan *quenching* dengan menggunakan oli SAE 40 (TO) pada perbesaran 1000× dan menggunakan etsa HF 0,5%. Terlihat terbentuknya presipitat partikel silikon yang berbentuk platelet yang cenderung masih mirip dengan morfologi silika eutekti. Selain itu warna matriks cenderung gelap karena disebabkan oleh oli yang mengotori pori-pori dari spesimen tersebut. Porositas pada spesimen ini dapat terlihat pada berbagai bagian namun cenderung berukuran kecil. Fasa β -AlFeSi terlihat berbentuk irregular (tidak beraturan) dominan pada sebelah kiri permukaan [11].



Gambar 6. Hasil pengamatan metalografi sampel TO perbesaran 1000× dengan menggunakan etsa HF 0,5%.

4. Kesimpulan

Dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas *quenching* dengan perbedaan variasi media *quenching* (air, air garam, dan oli SAE 40) cenderung mempengaruhi tingkat kekerasan Al-Si-Cu. Dari hasil pengujian kekerasan, nilai rata-rata kekuatan tertinggi didapatkan dengan media *quenching* air sebesar 75,484 BHN. Variasi media pendingin akan merubah struktur mikro melalui penyebaran partikel Si dan perubahan struktur dan morfologi partikel Si. Hasil pengujian kekerasan dan hasil pengamatan struktur mikro spesimen dengan media *quenching* air memiliki struktur mikro dengan bentuk partikel Si paling halus dan penyebaran partikel Si yang banyak sehingga tingkat kekerasan pada spesimen dengan media pendingin air paling tinggi.

Referensi

- [1] B. Budiarto, D. Antonius, and B. A. Putra, "Analisis Pengaruh Waktu Artificial Age Terhadap Kekerasan, Densitas Dan Struktur Kristal Paduan Aluminium (7075) Untuk Bahan Sirip Roket," *J. Kaji. Ilm.*, vol. 20, no. 1, pp. 13–28, 2020, doi: 10.31599/jki.v20i1.67.
- [2] E. Dya Fadly, "Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Paduan Aluminium Silikon Magnesium (Al-Si-Mg) Untuk Aplikasi Piston Aluminium Silikon Magnesium (Al-Si-Mg) Untuk Aplikasi Piston," 2018.
- [3] A. Sabih, P. Radziszewski, and I. Mullany, "Investigating grinding media differences in microstructure, hardness, abrasion and fracture toughness," *Miner. Eng.*, vol. 103–104, pp. 43–53, 2017, doi: 10.1016/j.mineng.2016.08.014.
- [4] A. Wisnujati and C. Sepriansyah, "Analisis Sifat Fisik Dan Mekanik Paduan Aluminium Dengan Variabel Suhu Cetakan Logam (Dies) 450 Dan 500 Derajat Celcius Untuk

- Manufaktur Poros Berulir (Screw),” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 159–165, 2018, doi: 10.24127/trb.v7i2.792.
- [5] A. Zulfia, R. Juwita, A. Uliana, I. N. Jujur, and J. Raharjo, “Proses Penuaan (Aging) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting,” *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 13–20, 2010, doi: 10.9744/jtm.12.1.13-20.
- [6] M. I. Z. Muttahar, “Pengaruh Variasi Waktu Holding Proses Artificial Aging Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Impak Paduan Al-Si Effect Of Holding Time During Artificial Aging Of Al-Si Alloy,” vol. 41, pp. 69–74, 2019.
- [7] A. D. Shieddieque, S. Virdhian, M. I. Z. Muttahar, Jatira, M. R. Akbar, and G. D. Kanestu, “Effect of non-isothermal aging on microstructure and impact toughness of Al-Si-Cu-Fe cast alloy,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Nov. 2021. doi: 10.1063/5.0066662.
- [8] A. D. Shieddieque *et al.*, “Effect of non-isothermal aging on microstructure and impact toughness of Al – Si – Cu – Fe cast alloy,” no. November, 2021, doi: 10.1063/5.0066662.
- [9] M. R. Condruz, A. Paraschiv, and C. Puscasu, “Heat treatment Influence on Hardness and Microstructure of Adam Manufactured 17-4 Ph,” *Turbo*, vol. V, no. 2, pp. 4–11, 2018, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/332423408>
- [10] L. H. Pizetta Zordão, V. A. Oliveira, G. E. Totten, and L. C. F. Canale, “Quenching power of aqueous salt solution,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 140, pp. 807–818, 2019, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.06.036.
- [11] W. Wardoyo and S. Sumpena, “Pengaruh Variasi Temperatur Quenching pada Aluminium Paduan AlMgSi-Fe12% terhadap Keausan,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 2, no. 1, p. 33, 2018, doi: 10.30588/jeemm.v2i1.528.
- [12] E. K. Widyantoro, “Pengaruh Variasi Temperatur Aging pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Kekerasan, dan Struktur Mikro,” *Skripsi*, pp. 1–57, 2018.
- [13] Y. D. Dede, S. Sabarudin, and A. R. Fadhillah, “Pengaruh Variasi Temperatur Heat treatment Pada Ductile Cast Iron (Fcd-50) Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 2, p. 203, 2022, doi: 10.32497/jrm.v17i2.3078.
- [14] N. E. Zakaria, I. Ahmad, W. Z. W. Mohamad, and A. Baharum, “Effects of Fibre size on Sansevieria trifasciata / Natural Rubber/ High Density Polyethylene Biocomposites,” *Malaysian J. Anal. Sci.*, vol. 22, no. 6, pp. 1057–1064, 2018, doi: <https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2206-16>.
- [15] A. D. S. De Jesus and G. Soebiyakto, “Analisis Uji Tarik Dan Metalografi Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu (Fc-20) Dengan Proses Heat treatment,” *Proton*, vol. 10, no. 1, 2018, doi: 10.31328/jp.v10i1.804.