https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i3.313

IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)

Vol. 4, No. 3, 2025, pp. 20-28, e-ISSN: 2962-4290

Available online http://e-journals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA/

Scientific Articles

Pemanfaatan Tungku Berbahan Bakar Oli Bekas untuk Peleburan Aluminium Daur Ulang dan Kajian Mikrostruktur serta Kekerasan Pasca Quenching

Utilization of a Waste-Oil-Fueled Furnace for Recycling Aluminum and Investigation of Microstructure and Post-Quenching Hardness

Yopan Rahmad Aldori*[1], Suprapto[2], Muhammad Idris[1], Muhammad A Prayoga[1], Evan R Girsang[1]

[1]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Medan 20223, Indonesia

[2]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Medan, Medan 20361, Indonesia

**Corresponding author*: yopanrahmadaldori@staff.uma.ac.id

Diterima: 26-08-2025 **Disetujui: 06-10-2025** **Dipublikasikan: 18-12-2025**

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Abstrak

Penelitian ini mengkaji penggunaan Tungku Berbahan Bakar Oli Bekas (TBBO) sebagai alternatif sumber panas dalam proses peleburan aluminium daur ulang tipe Al-3004. Proses peleburan dilakukan dengan metode cetak pasir pada suhu penuangan sekitar 730 °C, sementara hasil pengukuran menun jukkan bahwa TBBO mampu mencapai temperatur hingga ±900 °C, melampaui titik leleh Al-3004 (±660 °C). Spesimen hasil peleburan kemudian dituang dan didinginkan melalui proses quenching menggunakan tiga media, yaitu air, oli, dan udara. Hasil pengamatan mikrostruktur memperlihatkan adanya pengaruh laju pendinginan terhadap kecenderungan terbentuknya retakan; pendinginan cepat dengan air menghasilkan retakan paling besar, pendinginan moderat dengan oli menghasilkan retakan berukuran menengah, sedangkan pendinginan lambat di udara menghasilkan retakan paling halus. Uji kekerasan dengan metode Micro Vickers mendukung temuan tersebut dengan menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar media pendinginan. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa TBBO efektif digunakan sebagai teknologi peleburan logam berbasis energi alternatif, sementara pemilihan media pendingin menjadi faktor penting dalam pengendalian sifat mikrostruktur dan mekanik material.

Kata Kunci: Aluminium daur ulang, Tungku oli bekas, Quenching, Mikrostruktur, Kekerasan.

Abstract

This study investigates the use of a Waste-Oil-Fueled Furnace (WOFF) as an alternative heat source in the melting process of recycled Al-3004 aluminum. The melting was carried out using the sand casting method at a pouring temperature of approximately 730 °C, while measurements indicated the furnace could reach ±900 °C, exceeding the melting point of Al-3004 (±660 °C). The cast specimens were subsequently quenched in three media: water, oil, and air. Microstructural observations revealed that the cooling rate significantly affected crack formation: water quenching produced the largest cracks, oil quenching produced medium-sized cracks, and air cooling produced the finest cracks. Micro Vickers hardness testing supported these findings, showing significant differences in hardness values across the quenching media. Overall, the study confirms that the waste-oil-fueled furnace is an effective alternative energy-based metal-melting technology, while the choice of cooling medium plays a crucial role in controlling the material's microstructural features and mechanical properties.

Keywords: *Recycled Aluminum, Waste oil furnace, Quenching, Microstructure, Hardness.*

1. Pendahuluan

Permasalahan energi serta manajemen limbah kini menjadi fokus global yang semakin meningkat, khususnya dalam konteks kebutuhan energi industri (Idris et al. 2025). Jenis limbah yang volumenya cukup besar adalah oli bekas, yang umumnya berasal dari aktivitas kendaraan bermotor maupun operasi mesin produksi agar bisa dimanfaatkan sebagai kebutuhan pemilihan dalam energi alternatif (Pratama et al. 2020). Di sisi lain, sektor usaha kecil dan menengah, khususnya di bidang pengecoran dan peleburan logam, masih menghadapi kendala dalam mendapatkan sumber energi panas yang murah dan efisien (Eka Dewi Karunia Wati and Murnawan 2023). Kondisi ini mendorong perlunya inovasi teknologi pemanfaatan energi alternatif yang berbasis limbah untuk mendukung keberlanjutan proses manufaktur (Fayomi et al. 2021). Optimalisasi perpindahan panas melalui analisis numerik terbukti penting dalam mendukung efisiensi sistem pembakaran maupun pendinginan pada proses manufaktur (Aldori and Pangestu 2022).

Penggunaan oli bekas sebagai sumber energi alternatif dinilai prospektif karena mampu mendukung efisiensi pemakaian energi sekaligus mengurangi jumlah limbah (Rahmad Dani et al. 2025) . Oli bekas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembakaran langsung pada sistem Tungku sederhana (Vershinina, Nyashina, and Strizhak 2022). Beberapa studi melaporkan bahwa Tungku Berbahan Bakar Oli Bekas mampu mencapai temperatur di atas 900°C (Adebayo et al. 2024). Efisiensi panas yang tinggi, sehingga layak digunakan sebagai alternatif sumber energi pada proses peleburan logam (Adefidipe 2020). Implementasi teknologi tersebut juga selaras dengan konsep keberlanjutan, sebab dapat mengurangi konsumsi energi fosil tradisional yang berbiaya tinggi serta memiliki efek lingkungan yang kurang baik (Nwigbo et al. 2022).

Dalam proses peleburan logam, suhu tinggi dibutuhkan agar logam mencair sempurna sebelum dibentuk atau dicetak ulang (Adedayo Adeleye and Jelili 2022). Pasca peleburan, material logam biasanya diberikan perlakuan panas, salah satunya berupa proses quenching atau pendinginan dengan laju tinggi (Rahman, Isanaka, and Liou 2025). Proses ini penting untuk menghasilkan perubahan mikrostruktur yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan material (Haraldsson et al. 2021). Jenis media quenching berperan besar terhadap hasil perlakuan panas, sebab perbedaan laju pendinginan mengendalikan ukuran retakan serta distribusi fasa yang terbentuk. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pendinginan cepat dengan air menghasilkan kekerasan tinggi namun menurunkan keuletan, pendinginan sedang dengan oli memberikan sifat mekanik seimbang, sedangkan pendinginan lambat dengan udara menghasilkan retakan halus dengan keuletan lebih baik (Guo, Deng, and Ma 2023).

Pengamatan terhadap struktur mikro logam pasca quenching menjadi indikator penting dalam mengevaluasi keberhasilan perlakuan panas dan kualitas hasil peleburan (Omotayo Taiwo et al. 2025). Beberapa penelitian juga menekankan pentingnya korelasi antara ukuran retakan, kekerasan, dan sifat mekanik aluminium daur ulang dalam mendukung aplikasi industri (Chandra Dwiaji 2023). Fenomena ini terkait langsung dengan mekanisme perpindahan panas dan laju pendinginan yang terjadi selama proses quenching (Hariyanto et al. 2025). Laju pendinginan yang berbeda menghasilkan variasi struktur mikro, mulai dari retakan kasar hingga halus, yang berimplikasi pada perbedaan sifat kekuatan dan keuletan material (Asghar et al. 2025). Media pendingin dengan konduktivitas termal tinggi seperti air cenderung menghasilkan kekerasan lebih besar, sementara oli dan udara menghasilkan kombinasi sifat yang lebih seimbang(Milkereit et al. 2019). Oleh karena itu, kajian eksperimental mengenai pengaruh media pendinginan terhadap aluminium daur ulang menjadi penting untuk mendukung pengembangan proses manufaktur berbasis energi alternatif di bidang teknik mesin (Taiwo, Akinwande, and Okoyeh 2023).

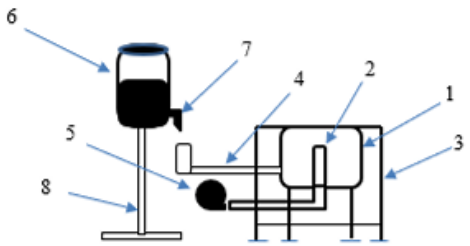
Penelitian ini berfokus pada desain dan evaluasi Tungku Berbahan Bakar Oli Bekas (TBBO) sebagai sumber energi alternatif dalam proses peleburan logam. Oli bekas dipilih karena ketersediaannya yang melimpah, biaya rendah, serta potensi pemanfaatannya dalam mendukung konsep energi terbarukan dan ramah lingkungan. Pada penelitian ini, TBBO digunakan untuk melebur paduan aluminium tipe Al-3004 yang kemudian dianalisis sifat mikrostruktur dan kekerasannya setelah melalui proses quenching dengan berbagai media pendingin. Analisis dilakukan untuk mengetahui sejauh mana variasi media pendingin (air, oli, dan udara) berpengaruh terhadap kualitas mikrostruktur serta sifat mekanik hasil coran. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi peleburan logam yang lebih hemat energi, ramah lingkungan, serta aplikatif untuk industri skala kecil dan menengah.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan tiga tahapan utama, yaitu perancangan dan pembuatan TBBO, serta pengujian struktur mikro logam setelah perlakuan panas dengan media quenching yang berbeda.

2.1. Perancangan dan Pembuatan Tungku

Tungku yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk memanfaatkan oli bekas sebagai bahan bakar utama, dengan sistem pembakaran terbuka. Tungku terdiri atas beberapa bagian utama: tangki oli, pipa penyalur oli, katup pengatur aliran, blower udara, ruang pembakaran terbuka, dan wadah crucible untuk peleburan logam seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 1.



1. Tabung kompor pembakaran oli
2. Pipa udara masuk
3. Rangka kompor oli
4. Pipa saluran bahan bakar
5. Blower
6. Tangki bahan bakar
7. Kran
8. Tiang penyanggah

Gambar 1. Tungku pelebur berbahan bakar oli

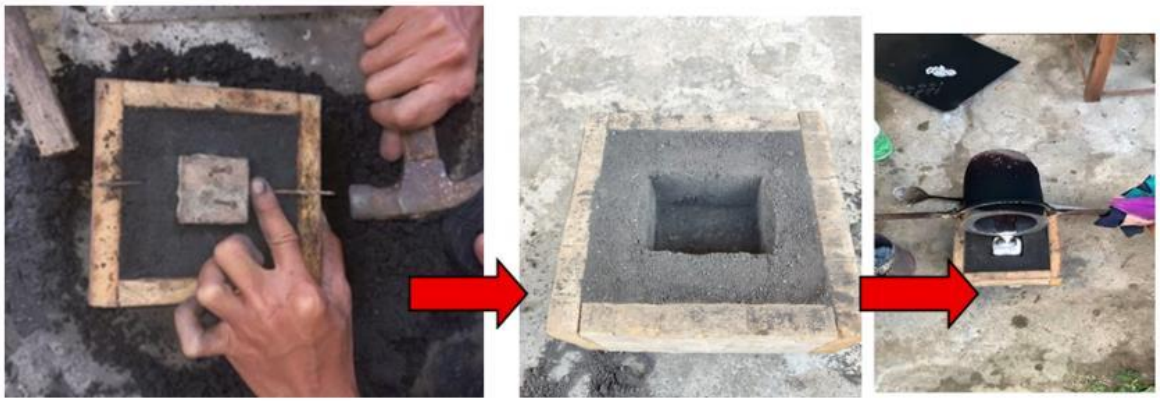
2.2. Proses Peleburan Logam

Bahan logam yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium daur ulang dengan jenis Al-3004, yang diperoleh dari limbah kaleng bekas. Aluminium dimasukkan ke dalam crucible yang diletakkan di atas ruang bakar Tungku, kemudian dipanaskan hingga mencair sempurna. Campuran udara dan uap oli menghasilkan nyala api yang cukup kuat untuk melelehkan logam pada suhu ±700–750°C. Desain Tungku memungkinkan pengoperasian secara langsung tanpa ruang pembakaran tertutup, sehingga cocok digunakan di area terbuka dan perbengkelan kecil.

Tabel 1. Nilai propertis material pada Al-3004

Material Propertis	Nilai
Melting Point	629,4 - 654 °C
Densitas	2,72 g/cc

Proses pengecoran aluminium dilakukan dengan metode cetak pasir melalui tahapan pembuatan cetakan, penuangan logam cair, dan pendinginan. Cetakan dibentuk dari pasir cetak yang dipadatkan menggunakan pola logam sebagai acuan. Aluminium daur ulang yang dilebur dengan TBBO bekas dituangkan ke dalam cetakan pada suhu 495–520 °C untuk menjaga fluiditas, kemudian dibiarkan mendingin hingga membeku sebelum dibuka. Metode ini menghasilkan produk coran sederhana yang selanjutnya digunakan untuk analisis perlakuan panas dan pengamatan struktur mikro seperti yang ditunjuk oleh Gambar 2.



Gambar 2. Proses *casting* Aluminium

2.3. Pengamatan Mikrostruktur

Preparasi mikrostruktur mengikuti ASTM E3 dengan pemotongan melintang, pengamplasan grit 400–1200, polishing menggunakan buffing dan pasta Autosol, serta etching Nital 2% selama 5–10 detik. Pengamatan dilakukan dengan mikroskop optik perbesaran 100x-50x untuk menganalisis morfologi hasil quenching. Uji kekerasan dilakukan menggunakan *Micro Vickers Hardness Tester* (FM-800) dengan indentor yang ditekan pada permukaan spesimen untuk memperoleh nilai kekerasan.

Gambar 3. Proses pengamatan mikro-struktur *Micro Vickers Hardness Tester*

3. Hasil dan Pembahasan

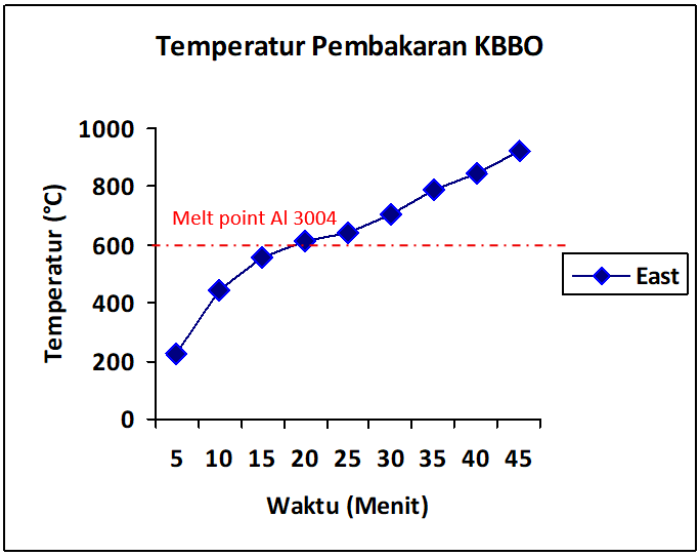
Sistem pembakaran dirancang untuk mendukung proses peleburan logam menggunakan bahan bakar oli bekas sebagai sumber energi utama. Kombinasi suplai bahan bakar dan udara menghasilkan nyala api stabil yang diperlukan untuk proses peleburan. Pengukuran temperatur

dilakukan secara non-kontak menggunakan infrared thermometer dengan nilai emisivitas yang telah dikalibrasi sebesar 0,95. Berdasarkan hasil pengukuran seperti yang terlihat pada gambar 5, suhu maksimum yang dicapai pada permukaan crucible tercatat sebesar 693,2°C, yang telah melampaui titik leleh aluminium (±660°C).

A B

Gambar 4. Proses pengukuran temperatur, (A) Proses pembakaran TBBO, (B) Pengukuran suhu pembakarn TBBO

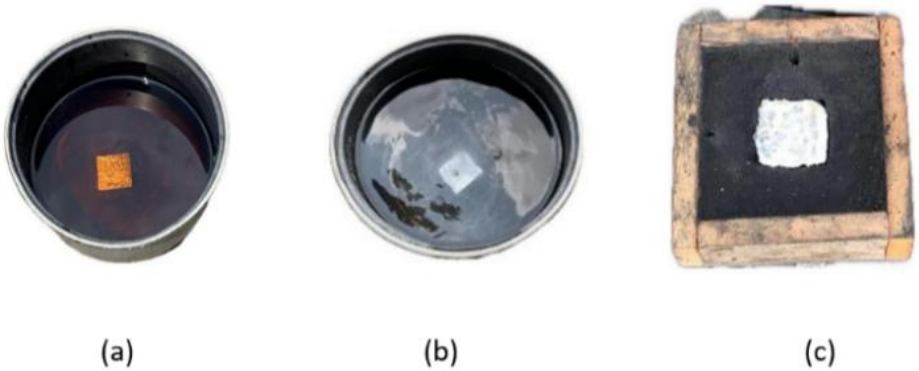
Grafik temperatur pembakaran TBBO menunjukkan adanya peningkatan temperatur yang signifikan seiring bertambahnya waktu pembakaran. Pada menit ke-5 temperatur masih berada di kisaran 200 °C, kemudian terus meningkat hingga melampaui titik leleh aluminium Al-3004 (±660 °C) pada menit ke-20 sampai 25. Selanjutnya temperatur ruang bakar terus naik secara stabil hingga mencapai ±900 °C pada menit ke-45. Kondisi ini membuktikan bahwa Tungku Berbahan Bakar Oli Bekas mampu menghasilkan panas yang cukup untuk proses peleburan aluminium, bahkan melebihi titik lelehnya, sehingga layak digunakan sebagai alternatif teknologi peleburan logam berbasis energi terbarukan dengan efisiensi termal yang baik.



Gambar 5. Grafik hasil uji performa temperatur Tungku pada casting Aluminium

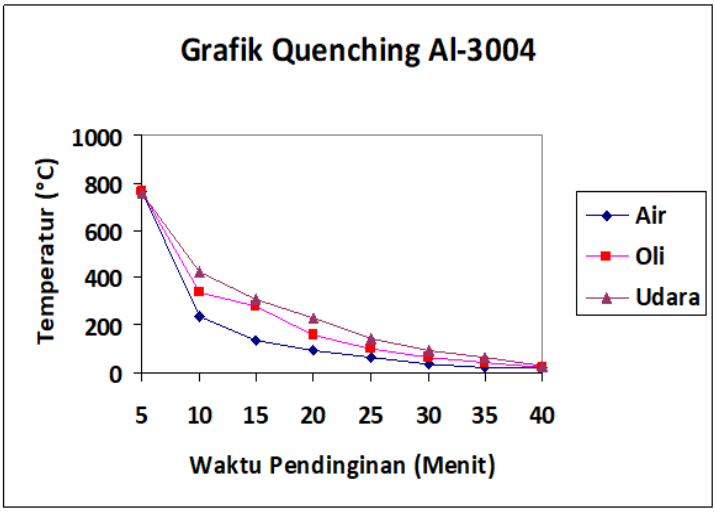
Setelah logam meleleh dan dituangkan ke dalam cetakan, dilakukan pemanasan ulang pada spesimen logam uji hingga mencapai suhu ±650°C. Waktu pendinginan dan kondisi lingkungan dikontrol agar seragam untuk tiap media terlihat pada Gambar 3. Setiap sampel diberi kode sesuai media pendingin yang digunakan. Selanjutnya, logam diproses quenching dengan tiga jenis media pendingin:

- Oli
- Air bersuhu ruang
- Udara terbuka (pendinginan alami)



Gambar 6. Proses *quenching* alumunium (a) Pendinginan menggunakan oli, (b) Pendinginan menggunakan air (c) Pendinginan menggunakan udara

Pendinginan paduan aluminium Al-3004 melalui tiga media berbeda menunjukkan variasi laju penurunan temperatur yang signifikan, di mana air menghasilkan pendinginan tercepat dengan penurunan drastis dari 800 °C ke sekitar 250 °C pada menit ke-10, oli menunjukkan laju pendinginan moderat dengan temperatur ±350 °C pada menit yang sama, sedangkan udara menjadi media dengan pendinginan paling lambat yaitu ±400 °C pada menit ke-10 sebelum turun secara gradual hingga mendekati temperatur kamar pada menit ke-40; kondisi ini menegaskan bahwa pemilihan media pendingin sangat menentukan karakteristik mikrostruktur dan sifat mekanik akhir.

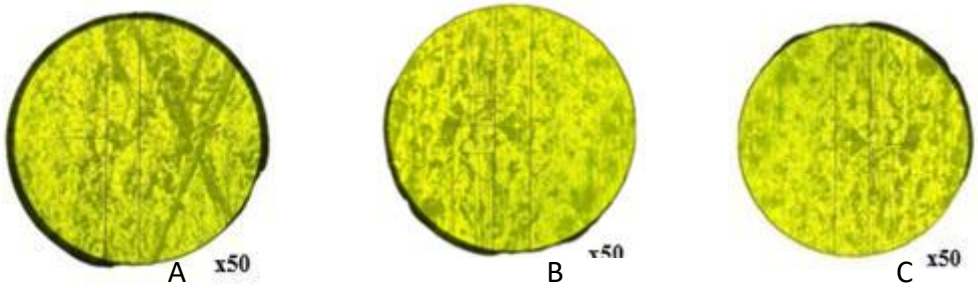


Gambar 7. Grafik hasil uji Quenching Al-3004

Dari Gambar 8 citra struktur mikro hasil pengamatan dengan perbesaran 50x memperlihatkan perbedaan morfologi yang konsisten dengan data ukuran retakan. Spesimen hasil quenching dengan air menunjukkan retakan yang lebih besar dan tidak homogen akibat pendinginan cepat. Media oli menghasilkan retakan dengan ukuran lebih terkendali, menandakan pendinginan sedang yang seimbang. Sedangkan pendinginan dengan udara memperlihatkan struktur dengan retakan lebih halus dan seragam, akibat laju pendinginan yang lambat sehingga memungkinkan difusi atom berlangsung lebih optimal.

Berdasarkan Tabel 2, media pendinginan memberikan pengaruh berbeda terhadap total ukuran retakan paduan Al-3004. Pendinginan menggunakan air menghasilkan ukuran retakan

terbesar dengan total 222,60 µm (D1 = 110,25 µm dan D2 = 112,35 µm). Pendinginan dengan oli menunjukkan ukuran retakan lebih kecil, yaitu 215,30 µm (D1 = 108,43 µm dan D2 = 106,87 µm). Sementara pendinginan menggunakan udara menghasilkan retakan paling halus dengan total 208,16 µm (D1 = 101,85 µm dan D2 = 106,31 µm). Data ini menegaskan bahwa semakin lambat laju pendinginan, semakin kecil ukuran retakan yang terbentuk.

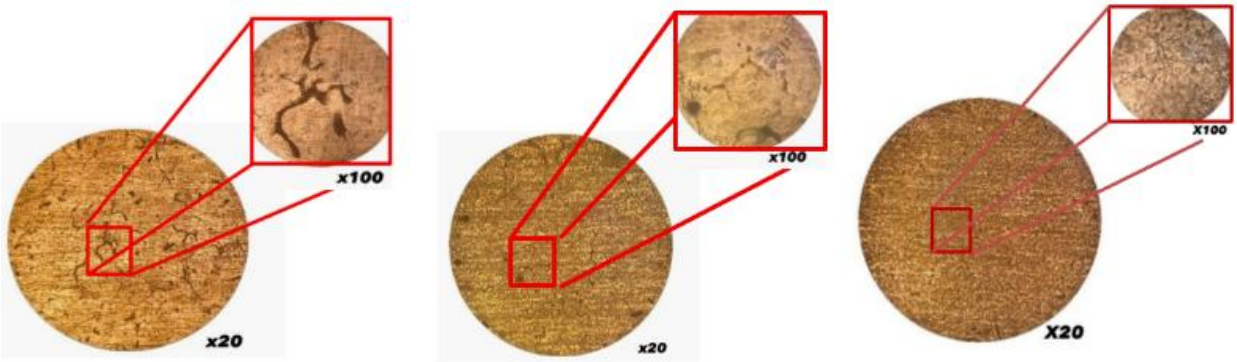


Gambar 8. Ukuran Retakan Menggunakan Mikro Hardness (a) Pendinginan menggunakan air, (b) Pendinginan menggunakan oli (c) Pendinginan menggunakan udara

Tabel 2. Hasil Pengujian Micro Vickers Hardness Tester (FM-800)

Media	Total D1(µm)	Total D2(µm)	Total D1 + D2(µm)
Air	110.25	112.35	222.60
Oli	108.43	106.87	215.30
Udara	101.85	106.31	208.16

Media pendingin berpengaruh langsung terhadap kemunculan retakan dan karakter struktur mikro aluminium hasil peleburan. Pendinginan dengan air menghasilkan struktur mikro yang kasar dengan retakan termal jelas, akibat laju pendinginan yang terlalu cepat dan menimbulkan tegangan sisa tinggi. Pada pendinginan udara, struktur mikro tampak homogen, tanpa retakan, dengan retakanan besar dan merata, menandakan proses pendinginan lambat yang stabil. Sedangkan pada pendinginan dengan oli, struktur mikro tampak halus dan rapat, tanpa retakan signifikan, menunjukkan pendinginan sedang yang seimbang antara kekuatan dan kestabilan. Secara keseluruhan, pendinginan udara menghasilkan struktur paling stabil, sedangkan pendinginan air berisiko tinggi menyebabkan retakan pada pembesaran 50x ke 100x.



(a) (b) (c)

Gambar 9. Mikro-struktur pada hasil peleburan alumunium (a) Pendinginan menggunakan air, (b) Pendinginan menggunakan udara (c) Pendinginan menggunakan oli

4. Kesimpulan

Tungku Berbahan Bakar Oli Bekas terbukti mampu mencapai temperatur hingga ±900 °C, melampaui titik leleh aluminium Al-3004, sehingga efektif digunakan untuk proses peleburan logam daur ulang. Proses quenching menunjukkan bahwa media pendingin berperan penting dalam menentukan karakteristik material; air memberikan pendinginan tercepat dengan ukuran retakan terbesar dan kekerasan tinggi namun rapuh, oli menghasilkan pendinginan moderat dengan keseimbangan antara kekerasan dan keuletan, sedangkan udara menghasilkan pendinginan paling lambat dengan retakan halus yang meningkatkan keuletan meskipun kekerasannya lebih rendah. Penelitian ini memberikan alternatif energi peleburan logam berbasis limbah oli bekas, serta memberikan pemahaman tentang pengaruh variasi media quenching terhadap sifat mikrostruktur dan mekanik aluminium daur ulang.

Daftar Pustaka

Adebayo, A. O., O. O. Ajibola, S. G. Borisade, F. O. Kolawole, R. Umunakwe, O. D. Adigun, D. O. Omoyeni, Y. A. Oke, N. Ebeku, and I. O. Shittu. 2024. "Design and Fabrication of Oil-Diesel Fired Crucible Pot Furnace for Laboratory Use." *Nigerian Journal of Engineering* 31 (2). https://www.njeabu.com.ng.

Adeleye, Samson Adedayo, and Jelili Salami. 2022. "Comparative Effect of Quenching Media on the Mechanical Properties of Cast Aluminum Alloy." *IRJMETS*. https://www.irjmets.com.

Adefidipe, Ebenezer Rotimi. 2020. *Development and Testing of Rotary Furnace Fired with Used Engine Oil for Foundry Industries in Nigeria*. https://www.researchgate.net/publication/385710494.

Aldori, Yopan Rahmad, and Reno Pangestu. 2022. "Analisa Perilaku Aliran Panas pada Permukaan Desain Heatsink dengan Menggunakan Software ANSYS." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1 (2):11-17. https://doi.org/10.56862/irajtma.v1i2.24.

Asghar, Osama, Manel da Silva, Raquel Busqué, and Franco Bonollo. 2025. "Fluidity of Aluminium Foundry Alloys for Thin Wall Castings: Designing an Operating Methodology." *Metals* 15 (3). https://doi.org/10.3390/met15030229.

Chandra Dwiaji, Yudhi. 2023. *Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas dan Media Pendingin terhadap Sifat Mekanis dan Mikrostruktur Aluminium 2024*. https://journal.isas.or.id/index.php/JAMERE.

Eka Dewi Karunia Wati, Putu, and Hery Murnawan. 2023. "Pemanfaatan Oli Bekas pada Perancangan Tungku Peleburan Guna Meminimalkan Harga Pokok Produksi Aluminium." *Tekmapro: Journal of Industrial Engineering and Management* 20. https://tekmapro.upnjatim.ac.id/index.php/tekmapro/article/download/325/17.

Fayomi, O. S. I., O. Agboola, S. O. Oyedepo, B. Ngene, and N. E. Udoye. 2021. "A Review of Energy Consumption in Foundry Industry." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 665 (1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/665/1/012024.

Guo, Qiang, Yucheng Deng, and Weimin Ma. 2023. "An Experimental Study on Quenching of Metallic Spheres in Seawater." *Experimental Thermal and Fluid Science* 148 (October). https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2023.110990.

Haraldsson, Joakim, Simon Johnsson, Patrik Thollander, and Magnus Wallén. 2021. "Taxonomy, Saving Potentials and Key Performance Indicators for Energy End-Use and Greenhouse Gas Emissions in the Aluminium Industry and Aluminium Casting Foundries." *Energies* 14 (12). https://doi.org/10.3390/en14123571.

Hariyanto, Rudi, Pradhana Kurniawan, F. A. Widiharsa, Ike Widyastuti, and Candra Lestari. 2025. "Optimasi Kinerja Furnace Peleburan Aluminium melalui Aplikasi Ceramic Fiber sebagai Material Isolasi Termal." *Sinergi*. http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index.

Idris, M. O., S. Oyelami, A. G. Abioye, A. L. Ajao, and A. T. Oyewo. 2025. "Design and Construction of Furnace with Temperature Measurement Device Suitable for Small-Scale Industries." *UNIOSUN Journal of Engineering and Environmental Sciences* 7 (1). https://doi.org/10.36108/ujees/5202.70.0151.

Milkereit, Benjamin, Marco J. Starink, Paul A. Rometsch, Christoph Schick, and Olaf Kessler. 2019. "Review of the Quench Sensitivity of Aluminium Alloys: Analysis of the Kinetics and Nature of Quench-Induced Precipitation." *Materials* 12 (24). https://doi.org/10.3390/ma12244083.

Nwigbo, Michael N., David H. Lebari, Gbenenee B. Robinson, and Ikata I. Ipeghanimuneen. 2022. "Design, Fabrication and Performance Evaluation of a Dual Powered Crucible Furnace for Aluminium Cans Recycling." *International Journal of Engineering and Modern Technology* 8 (3): 37–51. https://doi.org/10.56201/ijemt.v8.no3.2022.pg37.51.

Omotayo Taiwo, Oluwaseyi, Christopher Ebuka, Samuel Isaac Ori, Edeh Isaac Onyebuchi, Shimobi Nelson Izunwanneka, and Onwe Joseph Uchennaya. 2025. "Fabrication of a Sustainable Charcoal-Fired Crucible Furnace for Recycling Aluminum Waste Cans." *Indo Green Journal* 3. http://idngreen.com/index.php/green/article/view/97.

Pratama, Annasruddin, Basyirun Basyirun, Yohan Widhi Atmojo, Gilang Wahyu Ramadhan, and Alif Rivan Hidayat. 2020. "Rancang Bangun Kompor (Burner) Berbahan Bakar Oli Bekas." *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika* 19 (2): 95. https://doi.org/10.20961/mekanika.v19i2.42378.

Rahmad Dani, Rancang, Abdi Masrur, Kelvin Cardy, Bagas Hidayat, Rendi Alvandi, Hafidz Ramadan, and Harapan Makmur Harahap. 2025. "Rancang Bangun Tungku Pembakaran Berbahan Baku Oli Bekas." *Jurnal Energi dan Inovasi Teknologi (ENOTEK)* 4 (2). https://www.researchgate.net/publication/345901636.

Rahman, Atiqur, Sriram Praneeth Isanaka, and Frank Liou. 2025. "A Comprehensive Study of Cooling Rate Effects on Diffusion, Microstructural Evolution, and Characterization of Aluminum Alloys." *Machines* 13 (2). https://doi.org/10.3390/machines13020160.

Taiwo, Oluwaseyi Omotayo, Abayomi Adewale Akinwande, and Frank Okoyeh. 2023. "A Review on Design and Fabrication of Fuel-Fired Crucible Furnace." https://www.researchgate.net/publication/369440664.

Vershinina, Ksenia, Galina Nyashina, and Pavel Strizhak. 2022. "Combustion, Pyrolysis, and Gasification of Waste-Derived Fuel Slurries, Low-Grade Liquids, and High-Moisture Waste: A Review." *Applied Sciences* 12 (3). https://doi.org/10.3390/app12031039.