

Studi Perbandingan Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Sifat Tarik Dari Ingot Skrap Aluminium Dengan Ingot Standar A356

Daffa' Taufiqulhakim¹, Kusmono^{2,*}

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Jln. Grafika No. 2 Yogyakarta; daffataufiqulhakim@mail.ugm.ac.id

²Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik UGM, Jln. Grafika No. 2 Yogyakarta; kusmono@ugm.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.xxxxx/xxxxx>

*Correspondensi: Kusmono

Email: kusmono@ugm.ac.id

Published: Januari, 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstrak: Peningkatan harga bahan baku coran atau ingot aluminium A356 menjadi tantangan serius bagi pelaku industri UMKM (Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah) logam. Hal ini dapat mempengaruhi operasional UMKM produksi manufaktur. Untuk mengatasi mahalnya ingot aluminium A356, penelitian tentang potensi pemanfaatan skrap aluminium dibuat ingot menjadi menarik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perbandingan struktur mikro, kekerasan, dan sifat tarik antara ingot skrap aluminium dan ingot standar A356. Skrap aluminium yang digunakan terdiri dari *engine block*, kanvas rem, elemen setrika, dan kaleng minuman. Dengan perbandingan komposisi tertentu, skrap tersebut dilebur di dalam tungku lebur pada suhu 650°C selama 2 jam dan selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan. Metode pengecoran yang digunakan adalah *gravity casting*. Selanjutnya ingot tersebut diuji komposisi, diamati struktur mikro, diuji kekerasan, dan tarik. Pengujian yang sama juga dilakukan terhadap ingot A356. Hasil penelitian menunjukkan ingot skrap aluminium memiliki kandungan unsur Fe dan Cu lebih tinggi dari pada ingot A356. Struktur α -Al dan struktur hipoeutektik Al-Si dengan presipitat Mg₂Si dapat diamati dari pengamatan struktur mikro pada sampel ingot skrap aluminium dan ingot A356. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan ingot skrap aluminium (85,05 HV) lebih rendah dari pada ingot A356 (90,45 HV). Skrap aluminium memiliki kekuatan tarik sebesar 117,77 MPa dan elongasi 1,28% sedangkan ingot A356 memiliki kekuatan tarik lebih besar yakni 126,21 MPa dan elongasi 3,33%. Dapat disimpulkan bahwa ingot skrap aluminium memiliki kekerasan dan sifat tarik sedikit lebih rendah dari pada ingot A356 sehingga ingot skrap aluminium dapat menggantikan ingot A356 dan akhirnya dapat mengurangi biaya produksi.

Keywords: Struktur Mikro; Skrap Aluminium; Aluminium A356

PENDAHULUAN

UMKM memiliki peran penting dalam mendorong ekonomi lokal dengan memberikan lapangan pekerjaan, meningkatkan pendapatan masyarakat, dan mendukung inovasi di tingkat lokal (Vinatra, 2023). Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh UMKM dalam industri logam pengecoran adalah fluktuatifnya bahan baku aluminium. Salah satu bahan baku untuk UMKM logam aluminium adalah aluminium A356. A356 menjadi seri aluminium yang dapat digunakan untuk proses pengecoran pasir dan *die casting* (Yuksel dkk., 2016). A356 memiliki karakter mampu dalam pengecoran sangat baik, tahan terhadap korosi, dan memiliki rasio kekuatan setelah produksi yang baik (Öztürk dkk., 2018). Produk aluminium juga mudah untuk diganti ketika mengalami kerusakan dan produk yang sudah tak layak. Kondisi ini disebabkan kesulitan masyarakat dalam melakukan perbaikan, sehingga berbagai produk aluminium berakhir sebagai limbah logam atau scrap aluminium (Zhou dkk., 2021).

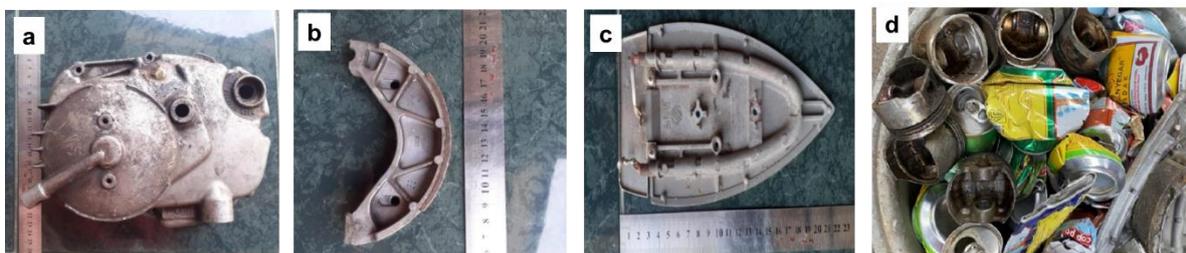
Limbah atau skrap aluminium mengandung campuran unsur aluminium dan elemen lain yang dapat dilebur kembali untuk dimanfaatkan menjadi bahan baku. Namun penting untuk dilakukan daur ulang secara teliti, terutama proses penyortiran material. Penyortiran material dilakukan supaya komposisi dari material skrap dapat diketahui. Limbah aluminium yang tidak diolah dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, sehingga peleburan kembali menjadi solusi untuk mengurangi dampak negatif tersebut (Jumalik and Siswanto, 2022).

Pembuatan dan analisis ingot yang berasal dari daur ulang scrap aluminium merupakan aspek menarik yang akan diselidiki dalam penelitian ini. Keberhasilan proses ini dapat membawa dampak positif karena skrap aluminium, yang sebelumnya tidak dimanfaatkan secara optimal, dapat diolah menjadi ingot yang sebanding dengan ingot standar A356 untuk produksi komponen otomotif seperti velg motor. beberapa riset juga menunjukkan bahwa melebur kembali skrap aluminium menjadi bahan baku ingot, memiliki sifat mekanis yang lebih tinggi dari standar (Zhou dkk., 2021). A356 memiliki spesifikasi komposisi unsur Al (92,49%), Si (6,90%), Fe (0,11%), Ti (0,14%), Mg (0,34%), dan Sr (0,020%) (Tugiman dkk., 2021). Selain itu juga memiliki modulus young sebesar 71.5-74.5 GPa, kekerasan Vicker 66-73 HV, dan memiliki kandungan silicon pada struktur mikro eutectic (Fakharipasandi and Abbasi, 2023). Fokus penelitian ini akan difokuskan pada pembuatan dan karakterisasi ingot dari scrap aluminium, dengan tujuan membandingkan sifat fisis dan mekanis antara ingot A356 dan ingot skrap aluminium.

METODE

Material

Aluminium yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian yaitu aluminium A356. Aluminium A356 memiliki komposisi unsur kimia paling banyak pada Si yaitu 6.5 – 7.5% dan Mg 0.25 – 0.45% (Bakke dkk., 2021). Skrap aluminium yang digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan aluminium standar A356 terdiri dari engine block, kanvas rem, elemen pemanas, dan kaleng minuman seperti disajikan pada Gambar 1. Masing-masing skrap aluminium akan dilakukan kalibrasi dengan perhitungan untuk memperoleh hasil yang serupa dengan A356.



Gambar 1. Skrap aluminium: a. Engine block, b. Kanvas rem,
c. Elemen setrika, d. Kaleng minuman

Proses Perhitungan Komposisi unsur kimia

Perhitungan unsur kimia dari masing-masing skrap aluminium berdasarkan studi literatur. Skrap dilakukan pengujian komposisi untuk memperoleh masing-masing unsur yang ada pada setiap skrap aluminium. Hasil pengujian komposisi dikumpulkan dan dilakukan perhitungan unsur kimia. Perhitungan dilakukan dengan fraksi berat setiap skrapnya. Total dari hasil perhitungan menghasilkan data unsur kimia dengan komposisi yang dapat mendekati komposisi dari aluminium A356.

Proses Peleburan Skrap Aluminium

Proses pengecoran dilakukan dengan menggunakan tungku tanah liat. Tujuan dari pengecoran supaya material skrap dapat lebur menjadi satu satuan komposisi yang telah dilakukan perhitungan. Temperatur yang digunakan dalam proses pengecoran yaitu 650°C. Peleburan dari material skrap aluminium dibutuhkan waktu selama 2 jam hingga unsur kimia dapat larut dan menyatu dengan unsur lainnya. Skrap aluminium yang telah terpilih dilebur ke dalam tungku hingga menjadi cairan aluminium. Cairan aluminium kemudian di *mixing* dengan alat pengaduk guna untuk meratakan unsur kimia yang ada pada skrap aluminium. Cairan aluminium yang telah matang kemudian dituangkan pada cetakan logam dengan metode *gravity casting*.

Struktur mikro

Peleburan dengan metode *gravity casting* dapat mempengaruhi hasil struktur mikro setiap benda. Benda uji dipastikan untuk permukaan yang rata dan halus supaya mikro struktur pada benda tersebut dapat terlihat dengan jelas. Penggunaan autosol juga berperan untuk menghaluskan permukaan benda uji sebelum dilakukan pengamatan. material dari benda uji diberikan larutan eching untuk membuka mikro struktur pada permukaan benda uji. Larutan eching memiliki beragam jenis dengan menyesuaikan material yang akan di uji. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pebesaran optik 10x. Hasil mikro struktur pada setiap benda dapat mengalami perbedaan struktur apabila perlakuan pengerjaan berbeda.

Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers dengan indektor yang memiliki bahan intan dalam bentuk piramida. Jejak dari indektor intan terhadap material uji berbentuk bujur sangkar dengan pengukuran panjang dari diagonalnya. Hasil dari kekerasan vickers diperoleh dari perhitungan beban dibagi luas permukaan (George E. Dieter, 1961) yang dapat ditulis menggunakan rumus:

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad (1)$$

Kekuatan Tarik dan Elongasi

Pengujian tarik adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengukur kekuatan suatu materi dengan memberikan beban dalam arah aksial (Rahmadi dkk., 2023). Kemampuan dari kekuatan tarik menjadi faktor penting untuk pengujian tarik. Hal ini karena mencerminkan kemampuan maksimal dari suatu bahan dalam menahan beban. Gaya yang timbul pada tegangan dapat dilakukan perhitungan sebagai penentu tegangan spesimen (Surdia and Saito, 1985) menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2)$$

Tegangan yang ditimbulkan dari gaya yang bekerja, memberikan dampak pertambahan panjang. Pertambahan panjang dapat disebut dengan elongasi yang dihitung menggunakan rumus:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa komposisi kimia

Komposisi kimia yang telah diperhitungkan kemudian dilakukan pengecoran. Hasil dari pengecoran skrap dilakukan pengujian komposisi kimia. Tabel 1 menunjukkan komposisi kimia dari ingot standar A356, ingot skrap aluminium hasil perhitungan, dan ingot skrap aluminium hasil dari pengecoran.

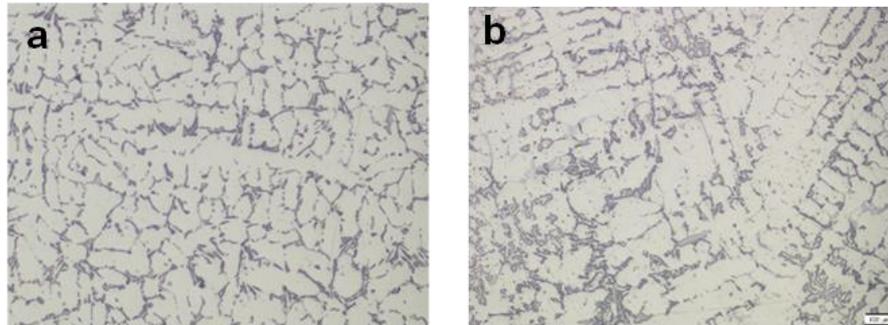
Tabel 1. Komposisi kimia ingot A356 dan ingot skrap aluminium

Jenis ingot	Komposisi Unsur (wt %)						
	Al	Si	Mg	Cu	Mn	Ti	Fe
Standar A356	balance	6,5-7,5	0,25-0,45	0,2	0,1	0,2	0,2
Hasil perhitungan Aluminium	87,42	5,61	0,68	1,23	0,38	0,03	0,97
Hasil pengecoran aluminium	88,15	7,01	0,91	1,12	0,42	0,03	0,83

Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa komposisi kimia dari hasil pengecoran skrap aluminium terdapat selisih pada beberapa unsur kimia jika dibandingkan dengan perhitungan. Unsur kimia Cu dan Fe memiliki selisih cukup banyak dibandingkan unsur kimia lainnya. Cu dan Fe pada standar A356 sebesar 0.2% dan pada hasil pengecoran skrap aluminium, unsur Cu sebesar 1.12% dan Fe 0.83%. Unsur Cu dan Fe memiliki pengaruh pada paduan aluminium. unsur Cu pada paduan aluminium yang terlalu banyak dapat mempengaruhi kekuatan dan kekarasan dari hasil , dan akan mengurangi nilai fluiditas (Wang dkk., 2023). Unsur Fe akan membentuk fasa getas pada struktur dan mengurangi kekerasan pada paduan aluminium (Wu dkk., 2021). Oleh karena itu, sifat fisis dan mekanis dari ingot skrap aluminium akan mengalami perubahan.

Analisis Struktur Mikro

Struktur mikro memiliki tujuan supaya mengetahui bentuk dari variasi spesimen. Struktur mikro pada material standar A356 memiliki kandungan Si 6.5% terlihat pada Gambar 2a. Fasa yang ditimbulkan pada material A356 yaitu fasa utectic di daerah yang gelap dan primary aluminium (α -Al) di daerah yang terang (Logesh dkk, 2020).

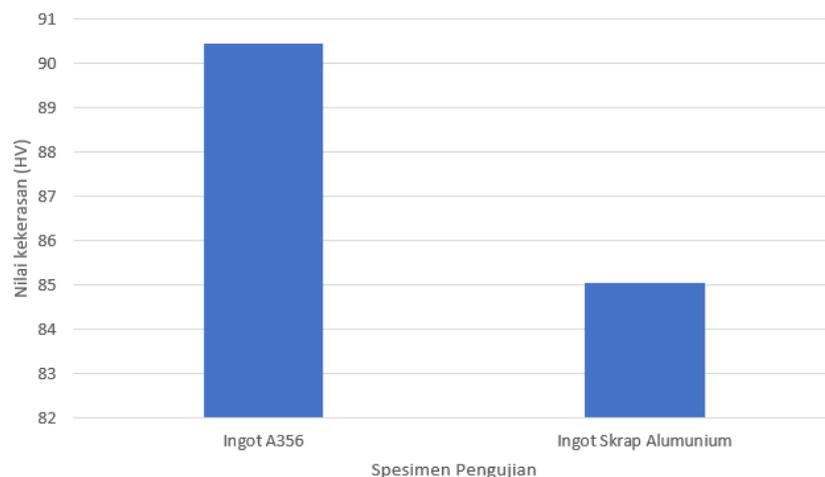


Gambar 2. Pengamatan struktur mikro: a. Ingot A356, b. Ingot skrap aluminium

Hasil dari pengamatan skrukturmikro seperti pada Gambar 2b, ingot skrap aluminium yang memiliki komposisi Si 7.01%, Mg 0.908% memiliki struktur mikro dengan bentuk fasa primay aluminium (α -Al) dan hipoutectic Si (Alzahrani dkk., 2021). Dari pengamatan struktur mikro dapat diamati bahwa kedua ingot memiliki kesamaan dalam struktur mikro yang diperoleh. Namun demikian, untuk Gambar 2b terdapat sisi gelap yang merupakan unsur hipoutctic Si dan lainnya lebih banyak dibandingkan sisi terang primary aluminium. Struktur mikro ini akan mempengaruhi sifat mekanis dari ingot.

Analisis Kekerasan Vickers

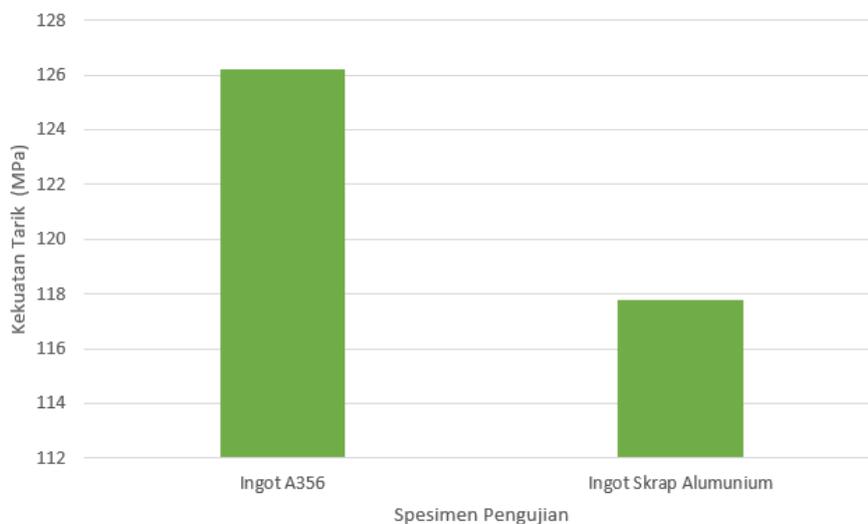
Gambar 3 menunjukkan perbandingan nilai kekerasan dari sampel ingot A356 dan ingot skrap aluminium. Berdasarkan Gambar 3 tersebut, dapat diketahui bahwa nilai kekerasan ingot A356 lebih tinggi daripada ingot skrap aluminium. Apabila dilihat dari data standar A356, kekerasan rerata untuk Vickers sebesar 66 - 73 HV (Fakharipasandi and Abbasi, 2023). Perbedaan kekerasan antar ingot spesimen disebabkan karena perbedaan unsur komposisi kimia. Komposisi kimia pada setiap ingot memiliki pengaruh sifat mekanis dari material (Sun dkk., 2012). Unsur yang mengalami perbedaan yaitu Cu dan Fe yang lebih tinggi dari standar A356.



Gambar 3. Nilai kekerasan Vickers ingot A356 dan ingot skrap aluminium

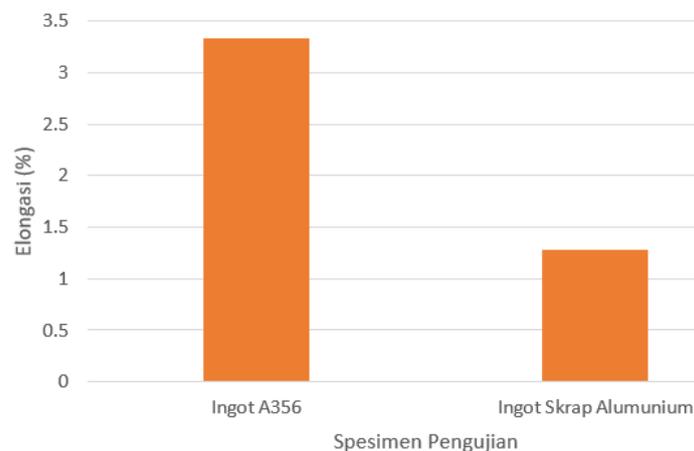
Analisis Sifat Tarik dan Regangan

Gambar 4 menunjukkan perbandingan nilai kekuatan tarik dari sampel ingot A356 dan ingot skrap aluminium. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4, dapat diketahui bahwa nilai kekuatan tarik ingot A356 lebih tinggi daripada ingot skrap aluminium. Hal ini disebabkan oleh perbedaan unsur pada komposisi kimia di mana unsur yang berbeda yaitu Cu dan Fe. Kandungan unsur Cu dan Fe pada ingot A356 lebih tinggi daripada ingot skrap aluminium yang selanjutnya menyebabkan perbedaan kekuatan tarik di antara kedua jenis ingot.



Gambar 4. Nilai kekuatan tarik dari ingot A356 dan ingot skrap aluminium

Gambar 5 menunjukkan perbandingan nilai elongasi dari sampel ingot A356 dan ingot skrap aluminium. berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui bahwa nilai elongasi ingot A356 lebih tinggi daripada ingot skrap aluminium. Hal ini disebabkan oleh perbedaan unsur pada komposisi kimia. ketika telah dilakukan pengecoran. Unsur yang mengalami perbedaan yaitu Cu dan Fe yang lebih tinggi dari standar A356.



Gambar 5. Nilai elongasi dari ingot A356 dan ingot skrap aluminium

SIMPULAN

Berdasarkan hasil uji komposisi, struktur mikro, dan uji kekerasan serta uji tarik dapat diketahui bahwa komposisi dari unsur kimia pada setiap material ingot memiliki pengaruh pada sifat mekanis dari material tersebut. Ingot A356 dan ingot skrap aluminium memiliki struktur mikro yang sama yakni terdiri dari fasa α -Al sebagai fasa dominan dan fasa eutectic. Hanya saja yang berbeda terletak pada unsur Si dan Mg_2Si sisi gelap ingot skrap aluminium yang lebih banyak daripada ingot standar A356. Nilai kekarasan, kekuatan tarik, dan elongasi dari ingot skrap aluminium lebih rendah dibandingkan oleh ingot A356. Hal ini disebabkan oleh komposisi kimia dari ingot skrap aluminium yang memiliki perbedaan % berat untuk unsur Cu dan Fe. Unsur Cu dan Fe yang lebih tinggi pada paduan ingot skrap aluminium dapat menyebabkan terjadinya penurunan nilai mekanis. Dari hasil keseluruhan terlihat bahwa perbedaan sifat tarik dan kekerasan kedua jenis ingot relatif kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa ingot skrap dapat digunakan sebagai bahan baku pengganti A356 untuk produksi produk dan dapat mengurangi biaya produksi dari industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Alzahrani, B., Seleman, M. M. E. S., Ahmed, M. M. Z., Elfishawy, E., Ahmed, A. M. Z., Touileb, K., Jouini, N., & Habba, M. I. A. (2021). The applicability of die cast a356 alloy to additive friction stir deposition at various feeding speeds. *Materials*, *14*(20), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ma14206018>
- Bakke, A. O., Arnberg, L., & Li, Y. (2021). Achieving high-strength metallurgical bonding between A356 aluminum and copper through compound casting. *Materials Science and Engineering: A*, *810*(January), 140979. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.140979>
- Fakharipasandi, M., & Abbasi, M. (2023). *A Study of A356 Aluminum Alloy Properties*. May. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24778.54720>
- George E. Dieter. (1961). *Mechanical metallurgy - Dieter_ George Ellwood.pdf*.
- Jumalik, J., & Siswanto, R. (2022). Pengaruh Temperatur Tuang Terhadap Porositas, Stuktur Mikro Dan Kekerasan Dari Alumunium Rongsok Baling-Baling Kapal Menggunakan Pengecoran Evaporatif. *Jtam Rotary*, *4*(1), 76. https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v4i1.5541
- Logesh, K., Hariharasakthisudhan, P., Arul Marcel Moshi, A., Rajan, B. S., & Sathickbasha, K. (2020). Mechanical properties and microstructure of A356 alloy reinforced AlN/MWCNT/graphite/Al composites fabricated by stir casting. *Materials Research Express*, *7*(1). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab587d>
- Öztürk, İ., Hapçı Ağaoğlu, G., Erzi, E., Dispinar, D., & Orhan, G. (2018). Effects of strontium addition on the microstructure and corrosion behavior of A356 aluminum alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, *763*, 384–391. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.341>
- Rahmadi, J., Negeri Pontianak, P., & Muhammadiyah Pontianak Corresponding Author, U. (2023). Damage Analysis of Leaf Springs Dump Truck Hino Dutro 130 HD. *Internasional Journal of Integrative Sciences (IJIS)*, *1*(4), 141–174. <https://journal.formosapublisher.org/index.php/ijis>

-
- Sun, S. C., Yuan, B., & Liu, M. P. (2012). Effects of moulding sands and wall thickness on microstructure and mechanical properties of Sr-modified A356 aluminum casting alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22(8), 1884–1890. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(11\)61402-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61402-7)
- Surdia, T., & Saito, S. (1985). *Pengetahuan Bahan Teknik*.
- Tugiman, Mubaroh, H., SAT, Q. F., Chandra, A., & Lasmana, S. (2021). Studi Sifat Mekanik Re-casting Ingot A356 Produksi PT. INALUM Menggunakan Cooling Slope. *Jurnal Teknik Mesin*, 18(1), 1–7. <https://doi.org/10.9744/jtm.18.1.1-7>
- Vinatra, S. (2023). Peran Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) dalam Kesejahteraan Perekonomian Negara dan Masyarakat. *Jurnal Akuntan Publik*, 1(3), 1–08. <https://journal.widyakarya.ac.id/index.php/jap-widyakarya/article/view/832/878>
- Wang, S., Meng, G., & Song, M. (2023). Effect of Cu Addition on Properties of an Al-La Alloy. *Coatings*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/coatings13091505>
- Wu, Y., Wang, H., & Ban, C. (2021). Effect of Fe Content on the Microstructure and Properties of Hot-extruded 6061 Aluminum Alloy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1986(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1986/1/012011>
- Yuksel, C., Tamer, O., Erzi, E., Aybarc, U., Cubuklusu, E., Topcuoglu, O., Cigdem, M., & Dispinar, D. (2016). Quality Evaluation of Remelted A356 Scraps. *Archives of Foundry Engineering*, 16(3), 151–156. <https://doi.org/10.1515/afe-2016-0069>
- Zhou, B., Liu, B., Zhang, S., Lin, R., Jiang, Y., & Lan, X. (2021). Mechanical and Corrosion Properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 879, 160407. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.160407>