

Pengaruh Penambahan Tembaga (Cu) terhadap Kekerasan Aluminium Berbasis Daur Ulang Limbah Otomotif

Anang Ansyori^{*1}, Adi Prastyo², Beny Hartawan³, Teuku Marjuni⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati, Jl. Pramuka No.27, Kemiling Permai, Kec. Kemiling, Kota Bandar Lampung, Lampung 35152

e-mail: *1ansyoria19@gmail.com

Abstrak

Perkembangan industri otomotif berbanding lurus dengan peningkatan komponen kendaraan, khususnya aluminium. Aluminium memiliki sifat kemampuan daur ulang yang baik sehingga dapat dilakukan penambahan tembaga (Cu) untuk meningkatkan sifat mekanis. Limbah aluminium diperoleh dari limbah tromol sepeda motor dan kabel yang berisi tembaga sebagai bahan tambah dilebur menggunakan krusibel garfit pada temperatur 680°C - 723°C diaduk selama 15 menit menggunakan sistem stirrer casting. Penambahan tembaga (Cu) sebanyak 10 dan 20% berat total. Hasil uji, menunjukan penambahan tembaga (Cu) pada aluminium daur ulang berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan tarik paduan Al-Cu. Kekerasan mikro Vickers meningkat dengan penambahan Cu hingga 10%, mencapai nilai tertinggi rata-rata 132Hv, namun menurun pada penambahan 20% Cu menjadi 130Hv. Kekuatan tarik juga mengalami peningkatan hingga penambahan 10% Cu (6.1 kg/mm^2), diikuti penurunan pada penambahan 20% Cu (4.6 kg/mm^2). Struktur mikro menunjukkan bahwa peningkatan kandungan Cu meningkatkan jumlah fasa θ (CuAl_2) yang dapat berpengaruh sifat mekanik Al-Cu. Penelitian ini dapat berkontribusi penting dalam pengolahan limbah aluminium otomotif dengan menunjukkan potensi penambahan tembaga untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik paduan Al-Cu hasil daur ulang, meskipun perlu diperhatikan penambahan Cu yang optimal agar tidak menurunkan sifat mekanik.

Kata kunci— aluminium paduan, tembaga (Cu), kekerasan, kekuatan tarik, struktur mikro

Abstract

A maximum 250 word abstract in English in italics with Times New Roman 11 point. The development of the automotive industry is directly proportional to the increase in vehicle components, especially aluminium. Aluminium has good recyclability properties so that copper (Cu) can be added to improve mechanical properties. Aluminium waste obtained from motorcycle drum waste and cables containing copper as an added material were melted using a garfit crucible at a temperature of 680°C - 723°C stirred for 15 minutes using a stirrer casting system. The addition of copper (Cu) was 10 and 20% by weight. The test results show that the addition of copper (Cu) to recycled aluminium affects the hardness and tensile strength of Al-Cu alloys. The Vickers microhardness increased with the addition of Cu up to 10%, reaching the highest value of 132Hv on average, but decreased at the addition of 20% Cu to 130Hv. The tensile strength also increased up to the addition of 10% Cu (6.1 kg/mm^2), followed by a decrease at the addition of 20% Cu (4.6 kg/mm^2). The microstructure shows that increasing Cu content increases the amount of θ phase (CuAl_2) which may affect the mechanical properties of Al-Cu. This research can make an important contribution to the treatment of automotive aluminium waste by demonstrating the potential of copper addition to improve the hardness and tensile strength of recycled Al-Cu alloys, although it is important to consider the optimal Cu addition so as not to degrade the mechanical properties.

Keywords- aluminium alloy, copper (Cu), hardness, tensile strength, microstructure

1. PENDAHULUAN

Industri otomotif menghasilkan limbah dalam jumlah besar setiap tahunnya, termasuk limbah aluminium dari komponen kendaraan seperti tromol sepeda motor. Paduan aluminium dan tembaga biasanya digunakan dalam konstruksi [1], dan merupakan logam ringan yang banyak digunakan dalam industri otomotif karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, dan kemampuan daur ulang yang efisien [2]. Namun, produk daur ulang limbah aluminium sering kali menghasilkan penurunan sifat mekanik dibandingkan dengan produk awal [3], [4], [5]. Oleh karena itu, upaya peningkatan kualitas mekanik aluminium hasil daur ulang menjadi sangat penting.

Salah satu cara yang banyak dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium adalah dengan menambahkan unsur paduan, seperti tembaga (Cu), yang dikenal mampu meningkatkan kekerasan melalui pembentukan paduan seperti Al-Cu. Paduan aluminium-tembaga (Al-Cu) atau juga sering disebut perunggu-aluminium, merupakan paduan dengan aluminium sebagai komponen utama. Paduan ini dapat ditemukan di pasaran dalam bentuk cor dan tempa, digunakan sebagai komponen-komponen fabrikasi [6].

Penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa penambahan Cu ke dalam matriks aluminium dapat meningkatkan sifat mekaniknya. Serbuk Cu sebanyak 0-15wt% pada serbuk Al diikuti penekanan dan sinterin pada suhu 550oC. Penelitian tersebut menggunakan serbuk Al dengan kemurnian 99.9% sehingga tidak mencerminkan hasil untuk aluminium daur ulang [7]. Wang dkk., (2018), juga melakukan P. Wang eksperimen Al-Cu fabricated melalui metode selective laser melting (SLM). Hasil menunjukkan peningkatan kekuatan tarik seiring penambahan prosentase Cu [8]. Namun metode SLM tidak semua industry pengecoran aluminium dapat melakukannya terlebih pada usaha mikro. Proses pengecoran ini banyak dilakukan karena proses ini mempunyai keunggulan diantaranya adalah mampu menghasilkan produk dengan geometri yang rumit dengan proses yang ekonomis [9]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Naeim dkk., (2024), menggunakan Al chips dari hasil proses pemecahan. Penambahan Cu 0-10% melalui proses peleburan aluminium pada furnace 750oC. Pembuatan Paduan Al-Cu dilakukan dengan cara yang mudah dan lebih sederhana. Hasil menunjukkan peningkatan kekerasan dengan penambahan 0-8% Cu, penambahan 10% Cu diperoleh kekerasan yang menurun. Dalam penelitian tersebut tidak diketahui pengaruh konsentrasi diatas 10% Cu.

Peleburan Kembali limbah aluminium merupakan langkah alternatif ramah lingkungan dan bernilai ekonomi tinggi, namun dengan tetap memperhatikan karakteristik produk yang dihasilkan [12]. Produk daur ulang aluminium dengan sifat mekanik yang kompetitif bersumber dari bahan daur ulang menjadi perhatian utama dalam pengembangan material teknik berbasis daur ulang. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan tembaga terhadap kekuatan tarik dan kekerasan paduan aluminium daur ulang, serta mengevaluasi potensi limbah padat ini sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan paduan aluminium yang unggul secara mekanik. Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material teknik berbasis daur ulang yang efisien, ramah lingkungan, dan ekonomis.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Material dan Preparasi Bahan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tromol sepeda motor yang diperoleh dari bengkel motor. Limbah aluminium dipisahkan dari pengotor dan material lain kemudian dibersihkan dengan cara mencucinya menggunakan pertalite agar minyak yang menempel hilang. Limbah kabel yang berisi tembaga digunakan sebagai bahan tambah. Tembaga dipisahkan dari kulit kabel kemudian dipotong-potong pendek berukuran 5cm.

2.2 Tahapan Peleburan

Alumunium dilebur pada sebuah tungku lebur menggunakan krusibel garfit pada temperatur 680° C - 723° C. Peleburan ditambahkan dengan tembaga sebanyak 10 dan 20% berat total. Peleburan diaduk selama 15 menit menggunakan sistem stirrer casting mengacu pada penelitian yang dilakukan Hendronursito dkk. (2020). Tungku peleburan aluminium menggunakan krusibel pada UMKM pengecoran limbah aluminium ditunjukkan pada Gambar 1. Tungku krusibel ini menggunakan bahan bakar arang kayu dengan penambahan blower di dinding tungku. Pengamatan temperatur lebur menggunakan *thermometer gun*.



Gambar 1. Tungku Peleburan

2.3 Tahapan Pengujian

2. 3.1 Pengujian kekerasan mikro Vickers

Spesimen dipotong pada kedua sisi dengan ketebalan 10mm kemudian dihaluskan pada kedua ujungnya. menggunakan mesin polishing. Spesimen uji kekerasan mikro ditunjukkan pada Gambar 2. Pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan Zwick Roell dengan beban 5N selama 12 detik. Kekerasan diperoleh melalui perhitungan menggunakan Persamaan (1) [14].

$$HV = 0.1891 \frac{P}{D_2^2} \quad (1)$$

Keterangan :

HV : Kekerasan Vickers

P : Beban (Newton)

D2 : Panjang diagonal rata-rata (mm)



Gambar 2. Spesimen Uji Struktur Mikro

2. 3.2 Pengujian kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik menggunakan Universal Testing Machine (UTM) Merck HT kapasitas 10 kN. Sampel dibentuk sesuai standar ASTM E8, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik

Perhitungan kekuatan tarik (σ) menggunakan Persamaan (2) dan perpanjangan (ϵ) menggunakan Persamaan (3).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Keterangan :

σ : Tegangan (N/mm²)

F : Gaya (Newton)

A : Luas Penampang(mm²)

$$\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

ϵ : Regangan

L : Panjang akhir setelah sampel putus (mm)

L₀ : Panjang awal sampel (mm)

2. 3.3 Pengujian Struktur Mikro

Benda uji yang sudah melalui pengamplasan dengan menggunakan amplas 600, 1200, 2500 dan 5000, sampai mengkilat permukaannya. Bagian permukaan yg mengkilat lalu dilakukan proses pengetsaan dengan waktu yang ditentukan. Bahan etsa yang digunakan berupa asam nitrat (HNO₃). Gambar 4 menunjukkan specimen uji struktur mikro.



Gambar 4. Spesimen Uji Kekerasan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kekerasan Mikro Vickers

Hasil pengujian kekerasan mikro Vickers ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat seiring dengan penambahan Cu hingga 10%, kemudian mengalami penurunan pada penambahan 20% Cu. Tembaga sebagai unsur paduan berperan meningkatkan kekuatan dan kekerasan aluminium sehingga meningkatkan resistensi terhadap deformasi plastis. Penurunan kekerasan pada penambahan 20% Cu kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya fasa intermetalik yang berlebihan. Hal ini sejalan dengan penelitian Naeim dkk. (2024) yang juga menemukan penurunan kekerasan pada penambahan Cu diatas 10%.

Tabel 1. Hasil uji kerasan Al-Cu

No. Sampel	Al (wt%)	Cu (wt%)	HV	Std. Dev
1	100	0	95	1.4
2	100	0	93	
3	90	10	130	2.1
4	90	10	133	
5	80	20	134	4.9
6	80	20	127	

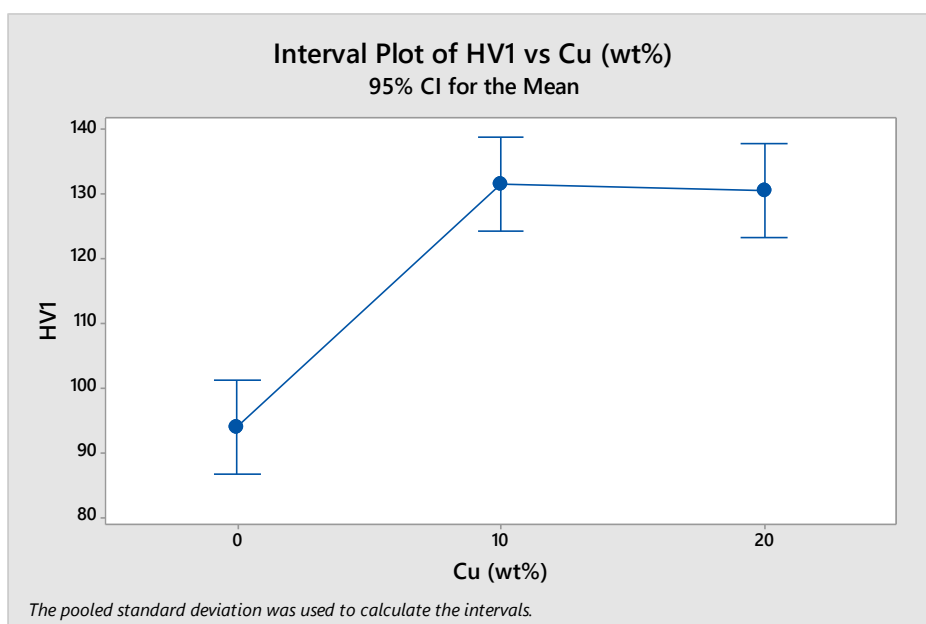
Berdasarkan *one-way Analysis of Variance (ANOVA)* yang dilakukan pada data kekerasan mikro Vickers, diperoleh nilai *F-value* sebesar 88.37 dengan signifikansi *P-value* 0.002, atau kurang dari 0.05. dengan *P-value* yang kurang dari 5% ini berarti bahwa Hipotesis nol (H₀) ditolak dan Hipotesis satu (H₁) diterima [13]. Hipotesis nol menyatakan bahwa parameter penambahan Cu tidak berpengaruh terhadap kekerasan. Dengan ditolaknya H₀, maka penambahan Cu merupakan factor yang berpengaruh signifikan terhadap kekerasan produk Al-Cu. *R-square* dengan nilai mendekati 1 atau 100% menunjukkan distribusi data yang bagus. Pada

penelitian ini R-sq bernilai 98.33% yang dapat diartikan bahwa *Error* dalam penelitian ini adalah sebesar 1.67%. Oleh karena *Error* yang kecil, maka dapat diketahui bahwa tidak ada factor selain penambahan Cu yang mempengaruhi kekerasan produk Al-Cu.

Gambar 5 menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi Cu meningkatkan kekeraasan dari rata-rata kekerasan 94Hv menjadi 132Hv. Penambahan 20% Cu menyebabkan sedikit penurunan kekerasan menjadi rata-rata 130Hv. Sejalan dengan beberapa penelitian seblumnya, hasil coran terlihat memiliki permukaan yang memiliki pori relatif besar dan terdapat cacat akibat gas dan uap air terjebak didalam rongga cetakan [4], serta penambahan tembaga diatas 15% membuat porositas produk pengecoran aluminium meningkat yang kemudian berdampak pada penurunan kekerasan [15].

Tabel 2. One way Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R-sq
Cu (wt%)	2	1826.33	913.17	88.37	0.002	98.33%
Error	3	31.00	10.33			
Total	5	1857.33				



Gambar 5. Grafik kekerasan terhadap konsentrasi Cu

3.2 Kekuatan tarik

Hasil pengujian kekuatan ditunjukkan pada Tabel 3. Terjadi peningkatan kekuatan tarik dari 0.7 kg/mm² pada 0%Cu, hingga 6.1 kg/mm² pada penambahan 10%Cu, namun menurun menjadi 4.6 kg/mm² pada penambahan 20% Cu. Secara umum, penambahan Cu pada peleburan Al meningkatkan sifat mekanik Al-Cu, namun beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya penurunan kekuatan mekanik pada batas penambahan Cu tertentu [16].

Tabel 3. Data Perhitungan Kekuatan Tarik Al-Cu

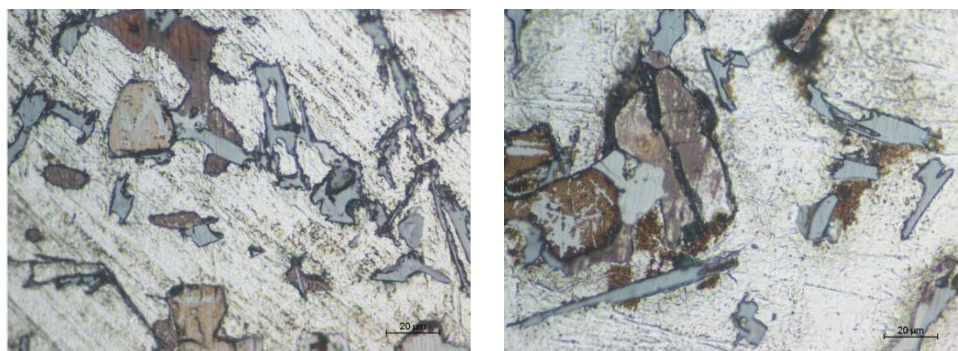
Konsentrasi Cu	Panjang awal (L)	Lebar (l)	Tebal (t)	Luas penampang (A)	Panjang akhir (L0)	F (Kg)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Perpanjangan
0%	117.7	13.8	19.4	267.72	118.4	193	0.720902	0.59%

10%	130	19.05	13.25	252.4125	131.8	1559	6.176398	1.38%
20%	105.95	18.45	13.95	257.3775	106.1	1188	4.615788	0.14%

3.3 Struktur Mikro

Struktur mikro 10% Cu dan 20% Cu ditunjukkan pada Gambar 6 (a) dan (b). struktur mikro Al-Cu sangat dipengaruhi oleh konsentrasi Cu yang ditambahkan. Fasa α ya berwarna gelap merupakan Cu pada matriks Al. semakin tinggi penambahan Cu, semakin dominan fasa α . warna hitam gelap yang terdapat diantara batas butir ini adalah fasa θ (CuAl_2). Daerah antar batas butir sering menjadi tempat pengendapan fasa θ . Dominasi fasa θ berpengaruh terhadap sifat mekanik Al-Cu. Konsentrasi Cu yang berlebihan memicu dominasi fasa intermetalik yang pada akhirnya menurunkan sifat mekanik Al-CU.

Terdapat perbedaan dalam struktur mikro Al-10%Cu dan Al-20%Cu. Pada Al-10%Cu, fase α mendominasi dengan presipitasi fase θ yang relatif sedikit. Sebaliknya, Al-20%Cu menunjukkan jumlah fase θ yang lebih besar dan lebih kasar yang terdistribusi di seluruh matriks dan kemungkinan adanya area dengan konsentrasi Cu yang lebih tinggi. Peningkatan kandungan Cu menyebabkan peningkatan jumlah dan ukuran fase θ (CuAl_2). Peningkatan fase θ dapat meningkatkan kekerasan, tetapi juga berpotensi menurunkan keuletan dan ketahanan korosi.



Gambar 6 (a). 10%Cu, (b). 20% Cu

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan tembaga (Cu) pada aluminium daur ulang dari limbah otomotif berpengaruh signifikan terhadap kekerasan dan kekuatan tarik paduan Al-Cu. Kekerasan mikro Vickers meningkat dengan penambahan Cu hingga 10%, mencapai nilai tertinggi rata-rata 132Hv, namun kemudian menurun pada penambahan 20% Cu menjadi 130Hv. Kekuatan tarik juga mengalami peningkatan hingga penambahan 10% Cu (6.1 kg/mm²), diikuti penurunan pada penambahan 20% Cu (4.6 kg/mm²). Struktur mikro menunjukkan bahwa peningkatan kandungan Cu meningkatkan jumlah fasa θ (CuAl_2) yang pada gilirannya berpengaruh sifat mekanik Al-Cu. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengolahan limbah aluminium otomotif dengan menunjukkan potensi penambahan tembaga untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan

tarik paduan Al-Cu hasil daur ulang, meskipun perlu diperhatikan penambahan Cu yang optimal agar tidak menurunkan sifat mekanik.

5. SARAN

Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan variasi temperature penambahan Cu dan variasi kecepatan pengadukan. Karakteristik Al-Cu mungkin akan berbeda dengan adanya perlakuan yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada UD. Tami Maju Berkah Bersama yang telah memberikan fasilitas peralatan peleburan limbah aluminium. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Badan Riset & Inovasi Nasional kantor Jl. Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang yang telah memfasilitasi pengujian hasil produk Al-Cu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Susila, R.C., Supriyanto, A. And Hermawan, M.V. (2022) ‘Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Komposit Alumunium Tembaga (Al-Cu) Dengan Variasi Komposisi’, Jurnal Teknika, 7(4), Pp. 228–235.
 - [2]. Susiana, A., Leon Habibi, M., Kelautan dan Perikanan Kupang Jalan Kampung Baru Kupang Barat, P., & Tenggara Timur, N. (2021). Karakterisasi Recycle Aluminium Scrap Untuk Piston. Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin (Vol. 11, Nomor 2).
 - [3]. Wagstaff, S. R. (2018). The impact of recycling on the mechanical properties of 6XXX series aluminum alloys. *Journal of Siberian Federal University.Engineering & Technologies*, 11(4), 409-418. <https://doi.org/10.17516/1999-494X-0063>.
 - [4]. Srinath, P., Bhagyanathan, C., Melwyn J, G., Sathiya Seelan, G., & Santhosh Kumar, C. (2024, May). Influence of Alumina, Ferric Oxide, and Mn as Composites on the Properties of Recycled Aluminium Alloy. In *Materials Science Forum* (Vol. 1120, pp. 103-114). Trans Tech Publications Ltd.
 - [5]. Beny Hartawan, Teuku Marjuni, Anang Ansyori, Adi Prastyo. Pengaruh Variasi Temperatur Artificial Aging Terhadap Kekerasan Aluminium 6061 Daur Ulang. Jurnal Mekanikal, Inovasi dan Teknologi Vol 10 No. 2, Oktober 2024, hal. 563-569.
 - [6]. Nwaeju, C. C., Edoziuno, F. O., Adediran, A. A., Tuaweri, T. J., & Kumar, M. S. (2021). Grain characteristics and mechanical properties of as-cast Cu-10% Al alloy: effects of alloying additions. *Results in Engineering*, 12, 100295.
 - [7]. Kotikala Rajasekhar, V. Suresh Babu, M.J. Davidson (2021). Microstructural and mechanical properties of Al-Cu functionally graded materials fabricated by powder metallurgy method. *Materials Today: Proceedings*, Volume 41, Part 5, 2021, Pages 1156-1159
-

- [8]. Wang, P., Deng, L., Prashanth, K. G., Pauly, S., Eckert, J., & Scudino, S. (2018). Microstructure and mechanical properties of Al-Cu alloys fabricated by selective laser melting of powder mixtures. *Journal of alloys and compounds*, 735, 2263-2266.

 - [9]. Sulardjaka, A., Suprihanto, Y., Umardani, P., W. (2010) 'Analisis Cacat Cor Pada Proses Pengecoran Burner Kompor (Studi Kasus Di Pt. Suyuti Sido Maju, Ceper)', Jurnal Teknik Mesin: Rotasi, 12(4), Pp. 27–33.

 - [10]. Naeim, N., & El-Asfoury, M. S. (2024). Effect of copper cooperation to customize sustainable aluminum alloy through recycling approach. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 38(3), 1187-1195.

 - [11]. Rajasekhar, K., Babu, V. S., & Davidson, M. J. (2021). Microstructural and mechanical properties of Al-Cu functionally graded materials fabricated by powder metallurgy method. *Materials Today: Proceedings*, 41, 1156-1159.

 - [12]. Guntur Prakoso (2024). Pemanfaatan Limbah B3 Scrap Aluminium (A345-2) Untuk Menjadi Bahan Baku Ingot Aluminium. Teknik Lingkungan, Universitas Pelita Bangsa. *Jurnal Teknologi dan Pengelolaan Lingkungan*, ISSN: 2614-2635. Maret 3, 2024

 - [13]. Hendronursito, Y., Rajagukguk, T. O., Safii, R. N., Sofii, A., Isnugroho, K., Birawidha, D. C., ... & Al Muttaqii, M. (2020, March). Analysis of aluminium basalt particulate composite using stirring casting method through taguchi method approach. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 807, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.

 - [14]. Polanco, J. D., Jacanamejoy-Jamioy, C., Mambuscay, C. L., Piamba, J. F., & Forero, M. G. (2022). Automatic method for vickers hardness estimation by image processing. *Journal of Imaging*, 9(1), 8.

 - [15]. Parwening Sabdo Hermawan, Helmy Purwanto, Sri M. B. Respati. Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Tuang pada Pengecoran Squeeze Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Produk Sepatu Kampas Rem dengan Bahan Aluminium (Al) Silikon (Si) Daur Ulang, 2013. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim

 - [16]. Apriliyanto, P. And Mahendra, A. (2014) 'Analisis Variabel Proses Produk Pengecoran Logam Menggunakan Cetakan Sand Casting', Jurnal Teknik Mesin, 02(02), Pp. 70–78.
-