



Pembuatan Komposit Matrik *Phenolic Resin* Di Perkuat Paduan Logam Dan *Bagasse Ash* Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk

Muhammad Fadhil¹, Sukanto², Erwanto³, Yudi Oktriadi⁴

^{1,2,3,4} Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

Email : muhammadpadil1029@gmail.com

Received:22 Desember 2026; Received in revised form:23 Desember 2026; Accepted:23 Desember 2026

Abstract

In general, brake pads that are commonly used contain asbestos. This study aims to develop environmentally friendly composite brake pads using phenolic resin as a matrix and reinforcements consisting of aluminum powder, brass, silica sand, and bagasse ash (sugarcane waste). The brake pad manufacturing process was carried out using the powder metallurgy method, which included a mixing stage using a ball mill and process parameters consisting of a Ball Powder Weight Ratio (BPR) of 10:1, a machine speed of 90 rpm, and a grinding time of 4 hours. The cold compaction process was carried out with varying pressures: 5000, 5300, and 5600 psi, as well as sintering at a temperature of 60°C for 10 minutes. The variations in the weight fraction (wt.%) composition of the matrix and reinforcement used were 42/58 wt.%, 50/50 wt.%, and 58/42 wt.%. Testing was conducted on hardness properties using the ASTM E110-14 portable Brinell Hardness test and density using the ASTM B962-17 Archimedes method. The results showed that variations in compaction pressure and matrix percentage affected hardness. In this test, a matrix composition of 42/58 wt.% and a compaction pressure of 5000 psi resulted in a hardness value that met the composite brake pad standard of 104 HB, but the density did not meet the standard. Meanwhile, at a composition of 58/42 wt.% and a compaction pressure of 5600 psi, the density value was almost in line with the standard at 1.467 g/cm³, but the hardness value reached 139 HB.

Keywords: phenolic resin; metallurgy powder; bagasse ash

Abstrak

Pada umumnya kampas rem yang sering digunakan mengandung bahan asbestos. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kampas rem ramah lingkungan berbasis komposit dengan menggunakan resin fenolik sebagai matriks dan penguat yang terdiri dari serbuk aluminium, kuningan, pasir silika, serta bagasse ash (ampas tebu). Proses pembuatan kampas rem dilakukan dengan metode metalurgi serbuk, yang meliputi tahap pencampuran menggunakan ball mill dan digunakan parameter proses yang meliputi parameter Ball Powder weight Ratio (BPR) 10:1, kecepatan mesin yaitu 90 rpm dan waktu penggilingan 4 jam. Proses kompaksi dingin dengan tekanan bervariasi: 5000, 5300, dan 5600 Psi, serta sintering pada suhu 60°C selama 10 menit. Variasi komposisi fraksi berat (wt.%) matriks dan penguat yang digunakan adalah 42/58 wt.%, 50/50 wt.%, dan 58/42 wt.%. Pengujian dilakukan terhadap sifat kekerasan menggunakan uji Hardness Brinell portable ASTM E110-14 dan densitas menggunakan metode Archimedes ASTM B962-17. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi tekanan kompaksi dan persentase matriks berpengaruh terhadap kekerasan. Pada pengujian ini diperoleh pada komposisi matriks 42/58 wt.% dan tekanan kompaksi 5000 Psi dengan nilai kekerasan memenuhi standart kampas rem komposit yaitu 104 HB, tetapi densitasnya belum memenuhi standart. Sedangkan pada komposisi 58/42 wt.% dan tekanan kompaksi 5600 Psi memiliki nilai densitas yang hampir memenuhi standart yaitu 1,467 g/cm³ tetapi nilai kekerasannya mencapai 139 HB.

Kata kunci: resin fenolik; metalurgi serbuk; ampas tebu

1. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini berbagai kecelakaan di jalan raya sering terjadi, baik yang melibatkan sepeda motor, mobil, bus, maupun truk. Banyak di antaranya disebabkan oleh sistem pengereman yang tidak berfungsi dengan optimal. Penyebabnya tidak selalu karena kualitas rem yang buruk, melainkan lebih sering karena kurangnya perhatian dalam perawatan kendaraan, terutama pada bagian rem dan komponen pendukung lainnya. Rem adalah bagian yang sangat vital pada kendaraan karena berhubungan langsung dengan keselamatan pengemudi serta pengguna jalan lain. Secara umum, kendaraan bermotor merupakan kendaraan yang digerakkan oleh mesin dan dioperasikan manusia di jalan raya, seperti sepeda motor, mobil, bus, traktor, hingga alat pengangkut lainnya. Meskipun bentuk dan ukurannya berbeda, prinsip pengoperasian dan perawatannya relatif sama. Keberadaan rem sangat penting sebagai pengarah serta pengendali gerak kendaraan. Rem berfungsi untuk menghentikan atau mengatur putaran poros serta mencegah terjadinya gerakan yang tidak diinginkan [1]. Secara umum, kampas atau bantalan rem dibuat dari serat asbes yang dipadukan dengan matriks polimer serta berbagai bahan tambahan lainnya. Namun, penggunaan asbes kini mulai ditinggalkan karena zat ini bersifat karsinogenik dan dapat membahayakan kesehatan manusia [2]. [3].

Oleh karena itu, diperlukan material alternatif, salah satunya abu ampas tebu (*Bagasse ash*). Kandungan serat alami pada ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan dalam pembuatan kampas rem non-asbes [4]. Komposit merupakan material yang dihasilkan dari perpaduan dua atau lebih jenis bahan yang berbeda [5]. Struktur komposit tersusun atas serat dan matriks. Serat bertugas sebagai elemen penguat atau rangka utama dari material, sementara matriks berperan merekatkan serat agar tetap berada pada posisinya. Selain itu, matriks memiliki sifat yang memungkinkan untuk dibentuk, dipotong, atau dicetak sesuai kebutuhan desain [6]. Teknologi komposit dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi struktur serta memperbaiki karakteristik penting pada material, terutama dalam pemanfaatannya sebagai bahan yang ringan namun memiliki kekuatan tinggi [7].



Gambar 1. Resin Fenolik

Resin fenolik merupakan salah satu resin dengan konsumsi terbesar di dunia, mencapai hampir 6 juta ton per tahun. Meskipun memiliki keterbatasan seperti kerapuhan dan penyusutan, resin ini banyak digunakan sebagai pengikat pada berbagai substrat, termasuk serat, kayu, kaca, logam, kertas, dan karet. Dibandingkan sebagian besar sistem resin polimer lainnya, resin fenolik menawarkan sifat yang lebih baik dengan biaya lebih rendah. Hingga kini, resin fenolik masih menjadi pilihan utama dalam aplikasi komersial karena stabilitas dan ketahanan panasnya belum dapat digantikan oleh material lain [8]. Dalam penelitian ini resin fenolik digunakan sebagai matrik yang diperkuat dengan campuran logam (aluminium, kuningan, silika) dan abu ampas tebu (*Bagasse Ash*) sebagai penguat tambahan. Aluminium dipilih karena bobotnya yang ringan, dan kekuatannya dapat ditingkatkan dengan menambahkan elemen seperti silikon, sehingga terbentuk paduan aluminium-silikon (Al-Si) yang memiliki ketahanan korosi tinggi [9]. Kuningan adalah paduan antara logam seng (Zn) dan tembaga (Cu) yang memiliki sifat opak atau tidak tembus cahaya. Logam ini mampu menghantarkan listrik dengan baik serta memiliki sifat liat, sehingga mudah dibentuk atau ditarik [10]. Pasir silika adalah hasil pelapukan batuan yang kaya akan mineral seperti silika dan *feldspar* yang berasal dari sumber pertambangan. Material ini memiliki kandungan utama berupa SiO_2 , dengan tambahan komponen seperti Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , TiO_2 , K_2O , dan MgO . Pasir silika banyak dimanfaatkan dalam berbagai industri, antara lain sebagai campuran semen, bahan baku keramik, material utama dalam pembuatan kaca, serta media untuk proses penjernihan air [11].

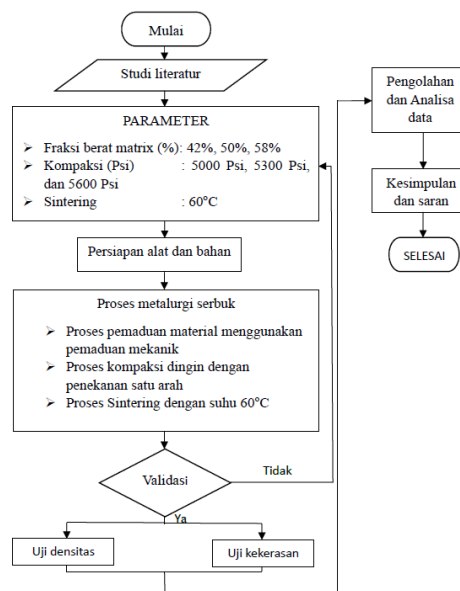
Metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) merupakan metode pengolahan logam di mana seluruh atau sebagian komponennya berasal dari serbuk logam. Dalam proses ini, serbuk logam dikompaksi

terlebih dahulu hingga membentuk bentuk yang diinginkan, kemudian dipanaskan agar partikel-partikelnya saling berikatan melalui proses sintering. Teknik ini mampu menghasilkan komponen dengan tingkat porositas yang sangat rendah, sehingga sifatnya mendekati logam padat. Difusi yang terjadi selama proses pemanasan menjadi kunci terbentuknya sifat mekanik yang diharapkan. Metode ini sangat sesuai untuk material logam yang memiliki keuletan rendah karena tidak memerlukan deformasi plastis yang besar pada partikel logamnya [12]. Tahapan utama dalam proses ini meliputi pencampuran serbuk matriks dengan serbuk penguat, dilanjutkan dengan proses kompaksi atau penekanan, kemudian diakhiri dengan tahap sintering [13].

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data mengenai pengaruh variasi matriks dan variasi kompaksi terhadap densitas serta kekerasan komposit berbasis resin fenolik dengan penguat paduan logam (aluminium, kuningan, silika) dan *bagasse ash* sebagai filler. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif pengganti kampas rem *non-asbes* yang lebih ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Secara umum, metode penelitian menggambarkan tahapan yang dilakukan dalam pembuatan komposit resin fenolik. Rangkaian proses tersebut disusun berdasarkan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.1 Bahan Penelitian

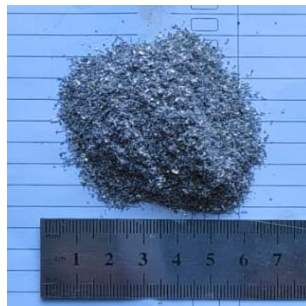
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi resin fenolik FRJ 551 sebagai matriks (pengikat), serta serbuk aluminium, serbuk kuningan, serbuk ampas tebu, dan pasir silika sebagai material penguat. Bahan-bahan dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 7.



Gambar 3. Resin Fenolik



Gambar 4. Pasir Silika



Gambar 5. Aluminium



Gambar 6. Kuningan



Gambar 7. Ampas Tebu

2.2 Proses pembuatan spesimen

Berikut proses pembuatan spesimen yang dilakukan, antara lain:

1. Pencampuran (*Mixing*)

Proses pemaduan mekanis dilakukan dengan mencampur bubuk resin fenolik, aluminium, kuningan, silika, dan *bagasse ash* menggunakan *ball mill*. Tahapan ini melibatkan rasio bola baja terhadap bubuk (*ball to powder ratio/BPR*) 10:1, kecepatan putar 90 rpm, serta waktu penggilingan 4 jam (240 menit). *Mechanical alloying* mencakup dua proses yang berlangsung bersamaan, yaitu pencampuran dan penggilingan, yang memungkinkan distribusi serbuk menjadi lebih merata serta menghasilkan

partikel halus dan seragam sebelum terbentuknya paduan mekanis. Variasi persentase matrik dan penguat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: 42/58 wt.%, 50/50 wt.%, dan 58/42 wt.%.

2. Kompaksi (*Compaction*)

Pemadatan dilakukan menggunakan mesin press hidrolik yang dilengkapi pembaca tekanan. Pada proses kompaksi dingin (*cold compaction*), cetakan dipasang pada mesin, kemudian bubuk dimasukkan secara merata. Cetakan besi berbentuk lingkaran ditempatkan pada alat, lalu tekanan diberikan dari arah atas menggunakan alat ukur tekanan. Kompaksi dingin dilakukan dengan tekanan 5000 Psi, 5300 Psi, dan 5600 Psi selama 10 menit.

3. Sintering

Perlakuan panas dengan metode sintering bertujuan menyatukan partikel komposit melalui reaksi termal dan kimia yang terjadi selama proses berlangsung. Pada penelitian ini, sintering dilakukan pada suhu 60°C dengan waktu tahan 10 menit. Setelah itu, spesimen dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang.

2.3 Pengolahan data

Penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan dengan standar ASTM E110-14 [14] dan pengujian densitas dengan standar ASTM B962-17 [15]. Berikut alat uji yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Alat Uji Kekerasan



Gambar 9. Alat Uji Densitas

Data dianalisis menggunakan software Microsoft Excel. Pengujian kekerasan dan densitas dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Hasil cetakan spesimen ditunjukkan pada gambar 10, proses pengujian kekerasan dan densitas ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 10. Hasil Cetakan Spesimen



Gambar 11. Proses Pengujian Kekerasan



Gambar 12. Proses Pengujian Desnitas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

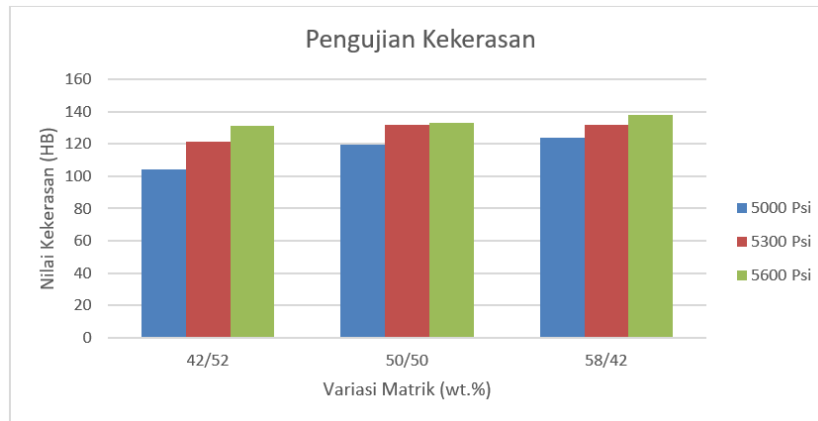
3.1 Hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji kekerasan portabel sesuai standar ASTM E110-14. Hasil pengujian tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Uji Kekerasan

NO	Persentase Matrik (%)	Kompaksi Dingin (Psi)	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-rata (HB)
			1	2	3	
1	42	5000	102	102	108	104
2	42	5300	125	118	122	121,66
3	42	5600	131	133	129	131
4	50	5000	120	117	121	119,33
5	50	5300	133	127	135	131,66
6	50	5600	132	131	136	133
7	58	5000	126	124	121	123,66
8	58	5300	130	129	136	131,66
9	58	5600	134	141	139	138

Berdasarkan Tabel 1, maka diperoleh grafik hasil pengujian kekerasan yang dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Berdasarkan grafik hasil pengujian kekerasan, nilai kekerasan meningkat seiring bertambahnya tekanan kompaksi, dengan tekanan 5600 Psi menghasilkan kekerasan tertinggi pada masing-masing komposisi matriks (42/58 wt.%, 50/50 wt.%, dan 58/42 wt.%). Peningkatan tekanan kompaksi berperan dalam memperpadat partikel selama proses awal, sehingga setelah sintering, ikatan antar partikel menjadi lebih kuat dan menghasilkan struktur mikro yang lebih solid dan keras. Selain itu, peningkatan kandungan matriks dari 42/58 wt.% ke 58/42 wt.% juga menunjukkan kontribusi terhadap peningkatan kekerasan, khususnya pada tekanan 5600 Psi. Komposisi 58/42 wt.% matriks pada tekanan tertinggi tersebut mencapai nilai kekerasan maksimal dalam grafik, menunjukkan bahwa kombinasi matriks tinggi dan tekanan tinggi sangat efektif dalam meningkatkan kekuatan mekanik material. Hal ini menegaskan bahwa sintering tidak hanya memperbaiki ikatan antar partikel, tetapi juga memaksimalkan efek dari parameter tekanan dan komposisi matriks yang telah diterapkan sebelumnya. Dengan demikian, kombinasi yang tepat antara persen matriks dan tekanan kompaksi sangat menentukan dalam memperoleh material komposit dengan kekerasan yang optimal setelah proses sintering.

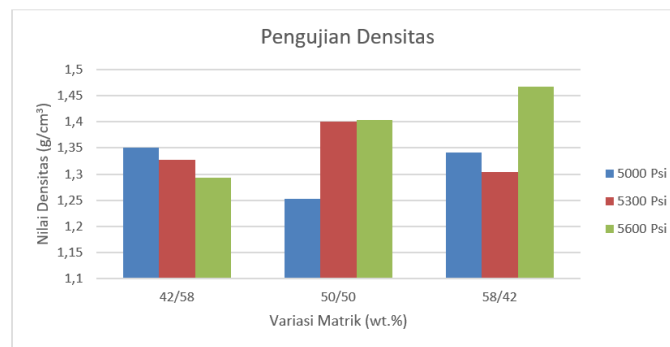
3.2 Hasil pengujian densitas

Pengujian densitas ini dilakukan menggunakan alat uji densitas. Standar digunakan ASTM B962-17. Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Uji Densitas

NO	Persentase Matrik (%)	Kompaksi Dingin (Psi)	Nilai Densitas (g/cm ³)			Rata-rata (g/cm ³)
			1	2	3	
1	42	5000	1,189	1,339	1,522	1,35
2	42	5300	1,013	1,384	1,588	1,328
3	42	5600	1,023	1,235	1,622	1,293
4	50	5000	1,229	1,270	1,262	1,253
5	50	5300	1,579	1,239	1,385	1,401
6	50	5600	1,178	1,233	1,803	1,404
7	58	5000	1,016	1,413	1,595	1,341
8	58	5300	1,045	1,438	1,429	1,304
9	58	5600	1,010	1,436	1,956	1,467

Berdasarkan Tabel 2, maka diperoleh grafik hasil pengujian densitas yang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian Densitas

Berdasarkan grafik batang rata-rata densitas, hasilnya sangat dipengaruhi oleh kombinasi tekanan kompaksi dan persentase matriks. Tekanan 5600 Psi memberikan peningkatan densitas paling signifikan, terutama pada matriks 58/42 wt.%, sehingga menghasilkan nilai tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan tinggi dan kandungan matriks besar memperkuat ikatan antar partikel, mengurangi porositas, dan meningkatkan kerapatan. Sebaliknya, tekanan 5000 Psi menghasilkan densitas lebih rendah pada komposisi 50/50 wt.%, sementara tekanan 5300 Psi memberikan hasil stabil tetapi tidak setinggi 5600 Psi. Tren eksponensial pada grafik mendukung temuan ini, di mana kurva 5600 Psi meningkat tajam, sedangkan kurva 5000 Psi dan 5300 Psi relatif datar. Dengan demikian, sintering terbukti efektif meningkatkan densitas, terutama dengan kombinasi tekanan tinggi dan persentase matriks optimal, yakni 5600 Psi dan 58/42 wt.%.

4. SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode metalurgi serbuk dengan resin fenolik sebagai matriks dan penguat berupa serbuk aluminium, kuningan, pasir silika, serta *bagasse ash* mampu menghasilkan kampas rem komposit dengan kekerasan dan densitas yang bervariasi, tergantung pada komposisi matriks dan tekanan kompaksi. Hasil pengujian kekerasan memperlihatkan bahwa peningkatan tekanan dari 5000 Psi ke 5600 Psi serta persentase matriks dari 42/58 wt.% ke 58/42 wt.% meningkatkan kekerasan hingga nilai maksimum 139 HB. Begitu pula densitas, di mana matriks 58/42 wt.% dengan tekanan 5600 Psi mencapai 1,467 g/cm³. Pengujian ini membuktikan bahwa tekanan kompaksi dan variasi matrik berpengaruh terhadap kekerasan dan densitas, walaupun belum memenuhi standart Teknik kampas rem komposit, karena standar kekerasan kampas rem komposit adalah 68-105 HB dan standar densitas kampas rem komposit adalah 1,5-2,5 g/cm³.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ismet Eka Putra, Jecky Agusti, "Analisa Pengaruh Beban Pengereman Dan Variasi Merk Kampas Rem Terhadap Keausan Kampas Rem," *Rang Teknik Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 60-67, 2020.
- [2] Muhammad Lazuardi I. S. , Moh Hartono, "Pengaruh Komposisi dan Temperatur Material Biokomposit Terhadap Kinerja Kampas Rem Non Asbestos," *Jurnal Energi Dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, vol. 05, no. 01, pp. 29-34, 2022.
- [3] Sukanto, Wahyono Suprpto, Rudy Soenoko, Yudi Surya Irawan. (2022). The effect of milling time on the alumina phase transformation in the AMCs powder metallurgy reinforced by silica-sand-tailings. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 103-117. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.001906>
- [4] Mochammad Fakri Sugianto, Arlini Dyah Radityaningrum, "Kelayakan Kampas Rem Sepeda Motor Non Asbestos Dari Bahan Ampas Tebu (Bagasse)," *Jurnal Teknik WAKTU* , vol. 18, no. 01, pp. 1-6, 2020.
- [5] Yuliyanto, Zulfetriyanto, Imam Subarkah, "Efek Curing Time Komposit Serat Karbon Pada Filler Hollow Glass Microsphere (HGM) 10 % Menggunakan Metode RSM," *Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 16, no. 01, pp. 96-104, 2024.

-
- [6] Lohdy diana, Arrad Ghani Safitra, Muhammad Nabel Ariansyah, "Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 4, no. 2, pp. 59-67, 2020.
 - [7] Fahrian Hasbi, Sukanto, Erwanto, "Pengaruh Variasi Fraksi Penguat Dan Suhu Sintering AMC Terhadap Nilai Densitas Dan Kekerasan Dengan SiO₂/RHA/BA," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 25-29, 2025.
 - [8] Mohammad Asim, Naheed Saba, Mohammad Jawaidd, Mohammad Nasir, Mohammed Pervaiz, Othman Y. Alothman, "A Review on Phenolic Resin and its Composites," *Current Analytical Chemistry*, vol. 14, no. 00, pp. 1-13, 2018.
 - [9] Desy Permatasari, Zuhaimi, A. Jannifar, "Analisa Sifat Mekanik Aluminium Alloy 6151 Setelah Mengalami Perlakuan Panas," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 4, no. 1, pp. 1-5, 2020.
 - [10] Aisyah Rana Nabila, Indah Chrysanti Angge, "Teknik Finishing Pewarnaan Pada Kerajinan Cor Logam Kuningan Di UD, Rizki Desa Cindogo, Tapen, Bondowoso," *Jurnal Seni Rupa*, vol. 10, no. 1, pp. 1-12, 2022.
 - [11] Agung Cakrawijaya, Rukmana, Abd Karim Hadi, Sudarman Supardi, Arsyad Fadhil, "Pengaruh Substitusi Pasir Silika sebagai Agregat Halus pada Sifat Mekanik Beton Mutu Tinggi," *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, vol. 7, no. 3, pp. 222-228, 2022.
 - [12] Wahyu Prasetyo Aji, Agung Supriyanto, "Studi Eksperimen Uji Kekerasan Dan Foto Mikro Material Komposit Alumunium - Silikon Metode Metalurgi Serbuk," *Jurnal Teknika*, vol. 7, no. 2, pp. 93-98, 2021.
 - [13] Arise Graafian Dylan, Sugiyarto, Agus Wanto, Abdul Budi, Sukanto, "Pembuatan Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Silicon Carbida Dan Rice Husk Ash Dengan Metode Metalurgi Serbuk," *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, vol. 10, no. 02, pp. 61-68, 2023.
 - [14] A. E110-14, "Standard Test Method For Rockwell And Brinell Hardness Of Metallic Materials By Portable Hardness Tester," *Astm International, West Conshohocken, Pa*, 2010.
 - [15] A. B962-17, "Standard Test Method For Density Of Compacted Or Sintered Powder Metallurgy (PM) Product Using Archimedes' Principle," *Astm International, West Conshohocken, Pa*, 2017.