

Proses Metalurgi Serbuk Komposit Matrik *Phenolic Resin* di Perkuat Serbuk Logam & Arang Tempurung Kelapa

Fibry Yansha^{1*}, Sukanto¹, Sugiyarto¹

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail : fibryansha@gmail.com

Received 23 Desember 2025; Received in revised form 6 Januari 2026; Accepted 11 Februari 2026

Abstract

This study aims to investigate the effect of sintering temperature variations on the hardness and density of brake pad composites fabricated using the powder metallurgy method. The fabrication process consisted of material preparation, powder mixing, cold compaction, and sintering with the weight fraction of matrix and filler wt.% being 40/60, 48/52, and 56/44 wt.%. Powder mixing was carried out using a horizontal ball mill with a ball-to-powder weight ratio (BPR) of 10:1, a rotational speed of 90 rpm, and a milling time of 4 hours. Cold compaction was performed uniaxially at a pressure of 5300 PSI for 10 minutes, followed by sintering at temperatures of 50°C, 60°C, and 70°C for 10 minutes. Density testing was conducted based on Archimedes' principle in accordance with ASTM B962-17, while hardness was measured using a portable Brinell hardness tester following ASTM E110-14. The highest hardness value of 103.0 HB was obtained at 48% matrix composition with a sintering temperature of 60°C, while the highest density of 1.453 g/cm³ was achieved at 40% matrix composition with a sintering temperature of 70°C. These findings demonstrate that sintering temperature has a significant influence on the mechanical and physical properties of the brake pad composite.

Keywords: Brake Pad; Density; Hardness; Phenolic Resin; Sintering Temperature.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu sintering terhadap nilai kekerasan dan densitas komposit kampas rem yang diproduksi menggunakan metode metalurgi serbuk. Proses fabrikasi meliputi persiapan material, pencampuran serbuk, kompaksi dingin, dan sintering dengan fraksi berat matrik dan penguat wt.% Adalah 40/60, 48/52 dan 56/44 wt.%. Pencampuran serbuk dilakukan menggunakan *horizontal ball mill* dengan rasio berat bola terhadap serbuk (BPR) 10:1, kecepatan 90 rpm, dan waktu penggilingan 4 jam. Proses kompaksi dingin dilakukan secara satu arah dengan tekanan 5300 PSI selama 10 menit, kemudian dilanjutkan dengan sintering pada suhu 50°C, 60°C, dan 70°C selama 10 menit. Pengujian densitas dilakukan berdasarkan hukum Archimedes sesuai standar ASTM B962-17, sedangkan pengujian kekerasan menggunakan metode Brinell Portable mengacu pada ASTM E110-14. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 103,0 HB diperoleh pada komposisi matriks 48% dengan suhu sintering 60°C, sedangkan densitas tertinggi sebesar 1,453 g/cm³ dicapai pada komposisi matriks 40% dengan suhu sintering 70°C. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu sintering memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan fisik komposit kampas rem.

Kata kunci: Kampas Rem; Densitas; Kekerasan; Phenolic Resin; Suhu Sintering.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi industri otomotif mengalami kemajuan pesat, khususnya pada aspek aerodinamika dan peningkatan performa mesin yang menghasilkan tenaga semakin besar. Kondisi ini menuntut sistem pengereman yang optimal sebagai komponen utama keselamatan berkendara. Sistem pengereman yang efektif harus mampu menyerap energi kinetik dan mengimbangi kecepatan kendaraan, di mana kampas rem berperan sebagai komponen

krusial dalam memperlambat atau menghentikan laju kendaraan. Secara umum, material friksi kampas rem tersusun atas tiga komponen utama, yaitu bahan pengikat, bahan serat, dan bahan pengisi. Bahan pengikat umumnya berupa resin seperti fenolik, epoksi, poliester, silikon, atau karet yang berfungsi sebagai matriks sekaligus pengikat seluruh komponen material. Bahan serat berperan dalam meningkatkan densitas dan memperkuat sifat mekanik kampas rem. Namun, produk kampas rem yang beredar

saat ini masih didominasi oleh penggunaan serat berbasis asbestos, dengan proporsi sekitar 60–80% dari total material penyusunnya. Meskipun efektif dalam meningkatkan performa pengereman, penggunaan asbestos memiliki risiko serius terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, khususnya pada sistem pernapasan. Data dari International Labour Organization (ILO) menunjukkan bahwa paparan debu asbestos berkontribusi sekitar 54,7% kasus kanker paru-paru di negara-negara yang masih menggunakannya. Oleh karena itu, sejumlah negara di Eropa telah melarang penggunaan asbestos sebagai bahan utama kampas rem. Penelitian ini menggunakan metode metalurgi serbuk yang meliputi proses pencampuran (mixing), kompaksi, dan sintering. Metode ini dipilih karena memiliki keunggulan berupa efisiensi waktu produksi, biaya yang lebih rendah, serta tingkat pemanfaatan bahan baku yang tinggi hingga sekitar 95%. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan material kampas rem yang ramah lingkungan, aman bagi kesehatan, dan tetap memenuhi standar performa pengereman tinggi, sehingga relevan dengan kebutuhan industri otomotif saat ini.

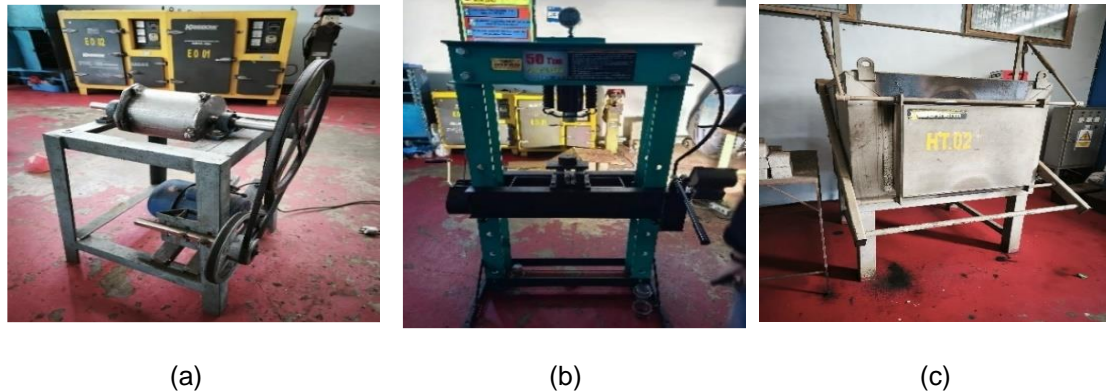
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini komposisi bahan yang digunakan terdiri dari 5 bahan utama yaitu *Phenolic resin*, Alumunium (Al), Pasir Silika (SiO_2), Kuningan (Cu-Zn) dan Arang Tempurung Kelapa yang masing-masing memiliki varian fraksi berat yang berbeda, seperti ditunjukkan pada table 1. Penelitian ini menggunakan 2 variable, yaitu matrik *phenolic resin* 40%, 48%, 56% dan suhu sintering 50°, 60°, 70°. Variable tersebut digunakan untuk pembuatan komposit kampas rem dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Metalugi serbuk memiliki

tiga tahapan proses utama, yaitu proses pencampuran, penekanan, dan sintering. Proses awal penelitian diawali dengan pencampuran atau pepaduan mekanik menggunakan mesin *Ball Mill*, pada tahap ini digunakan rasio berat bola terhadap serbuk (Ball to Powder Ratio/BPR) sebesar 10:1, dengan waktu penggilingan selama 4 jam dan kecepatan putaran mesin 90 rpm. Kondisi parameter tersebut dipilih untuk memastikan seluruh komponen serbuk tercampur secara merata sehingga dihasilkan campuran serbuk yang benar-benar homogen. Setelah proses pencampuran selesai, campuran serbuk masuk ke tahap kompaksi atau pepadatan. Kompaksi dilakukan tanpa bantuan pemanas, menggunakan tekanan sebesar 5300 psi selama 10 menit. Proses ini bertujuan untuk membentuk hasil benda kerja awal dengan ukuran diameter 30 mm dan tinggi 15 mm, serta memastikan kepadatan awal yang cukup sebelum masuk ke tahapan sintering. Tahapan berikutnya adalah sintering, yaitu proses pemanasan untuk memadatkan dan meningkatkan ikatan antar partikel. Proses ini dilakukan dengan 3 variasi suhu, yaitu 50°C, 60°C, 70°C masing-masing dengan waktu tahan selama 10 menit. Variasi suhu ini dipilih untuk mengetahui bagaimana perubahan temperatur mempengaruhi densitas dan kekerasan komposit kampas rem yang dihasilkan. Setelah seluruh sample selesai terbentuk, permukaan komposit kampas rem kemudian dihaluskan menggunakan kertas amplas halus untuk memperoleh permukaan yang lebih rata serta menyesuaikan ketebalan sample agar sesuai dengan persyaratan standar pengujian. Dibawah ini merupakan alat-alat yang digunakan dalam proses tahapan metalurgi serbuk untuk pembuatan komposit kampas rem sepeda motor ditunjukkan pada gambar 1.

Tabel 1. Persentase Bahan-Bahan Komposit Yang Digunakan Dalam Kampas Rem

Phenolic Resin (%)	Alumunium (%)	Pasir Silika (%)	Kuningan (%)	Arang tempurung Kelapa (%)
40	15	15	18.75	11.20
48	13	13	16.25	9.75
56	11	11	13.75	8.25



Gambar 1. (a) Ball Mill Machine, (b) Press Hidrolik, (c) Oven

Didalam penelitian ini matrik yang digunakan adalah *Phenolic resin* diperkuat dengan berbagai jenis bahan pengisi, yaitu serbuk alumunium, pasir silika, serbuk kuning dan serbuk arang tempurung kelapa. Kombinasi material tersebut dipilih untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan termal komposit kampas rem yang dikembangkan. Untuk mengevaluasi sifat

mekaniknya dilakukan pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E110-14 dengan alat uji kekerasan Brinell. Selain itu karakteristik fisik material juga dianalisis melalui pengujian densitas dengan mengacu pada standar ASTM B962-17. Berikut dibawah ini adalah alat uji kekerasan dan densitas ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. (a) Alat Uji Kekerasan Portable, (b) Alat Uji Densitas

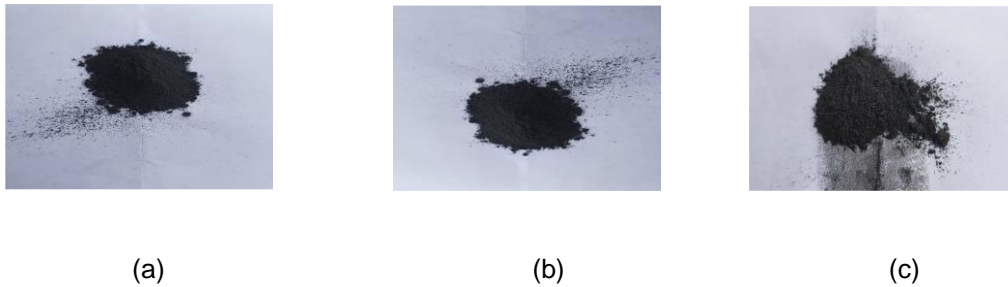
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses mekanik pada suhu ruang berhasil dilakukan dengan menggunakan Machine Ball Mill, yang menghasilkan paduan serbuk dengan ukuran yang lebih halus dibandingkan sebelum proses pencampuran. Penghalusan ini terjadi akibat tumbukan berulang bola-bola baja terhadap material selama penggilingan. Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi komposisi antara matrik dan penguat, yaitu 40% matrik-60% penguat, 48% matrik-52% penguat dan 56% matrik-44% penguat. Hasil serbuk ditunjukkan pada gambar 3. Hasil uji Particle Size Analyzer (PSA) di Laboratorium FMIPA Universitas Brawijaya menunjukkan

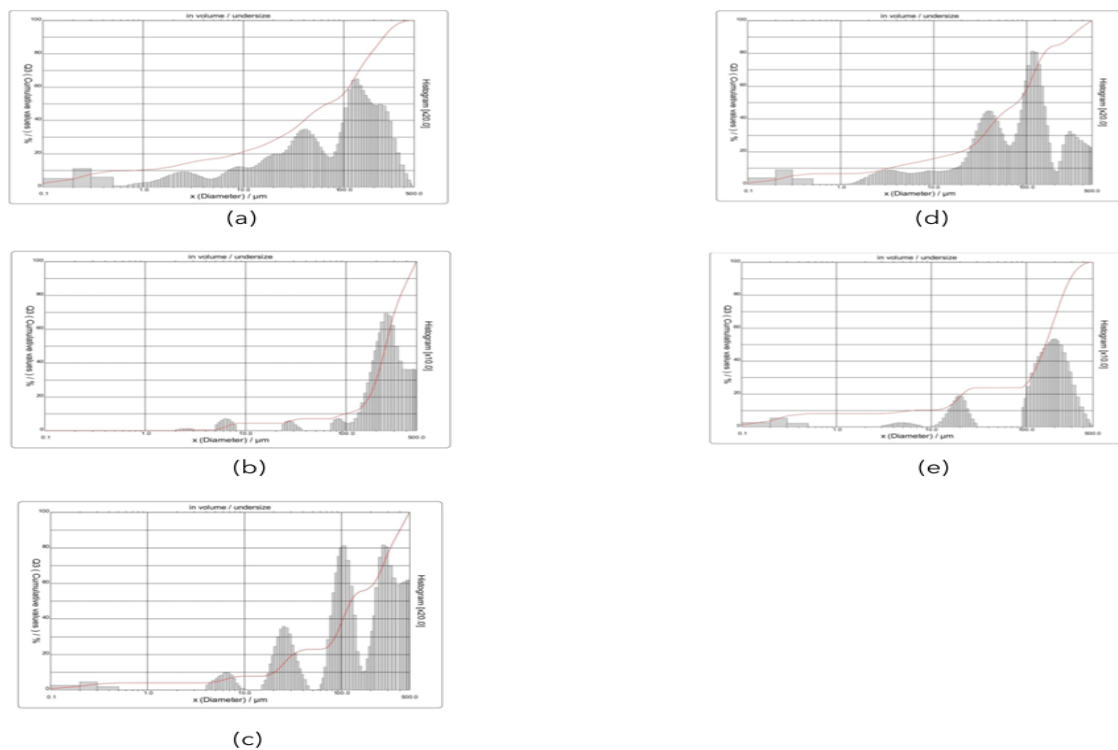
bahwa ukuran rata-rata partikel (D50) masing-masing bahan adalah: Phenolic Resin 78,49 μm , aluminium 247,66 μm , kuning 159,10 μm , pasir silika 68,62 μm , dan arang tempurung kelapa 124,86 μm . Terlihat adanya perbedaan ukuran partikel yang signifikan antara serbuk matriks Phenolic Resin dan serbuk logam hasil pemaduan mekanik. Dibawah ini adalah hasil dari uji Particle Size Analyzer, ditunjukkan pada gambar 4. Sampel komposit berhasil dicetak menggunakan 15 gram serbuk dengan tekanan kompaksi 5300 PSI dan variasi matriks 40%, 48%, dan 56% serta menghasilkan 9 buah sample spesimen yang siap diuji. Setiap sampel diberi waktu tahan 10 menit saat pencetakan. Penelitian ini

bertujuan menganalisis kekerasan dan densitas komposit berbasis Phenolic Resin yang diperkuat serbuk logam dan arang tempurung kelapa sebagai alternatif kampingan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan alat uji kekerasan portabel, sedangkan densitas diukur menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Variasi

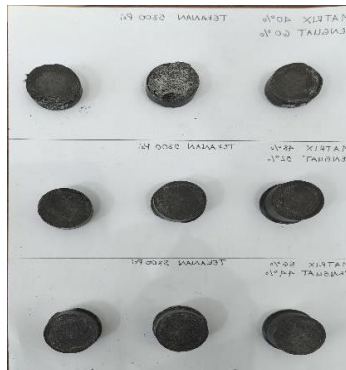
penguat 60%, 52%, dan 44% diamati untuk melihat pengaruhnya terhadap nilai kekerasan dan densitas. Semua pengujian densitas dilakukan dengan waktu tahan 60 detik. Spesimen berbentuk silinder berdiameter 30 mm dan tebal 15 mm. Berikut adalah hasil spesimen yang telah dicetak/dibentuk, ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 3. (a) Serbuk 40% matrik-60% penguat, (b) 48% matrik-52% penguat, (c) 56% matrik-44% penguat.



Gambar 4. Hasil Uji PSA Silika, (b) Hasil Uji PSA Alumunium, (c) Hasil Uji PSA Arang Tempurung Kelapa, (d) Hasil Uji PSA Phenolic Resin, (e) Hasil Uji PSA Kuningan

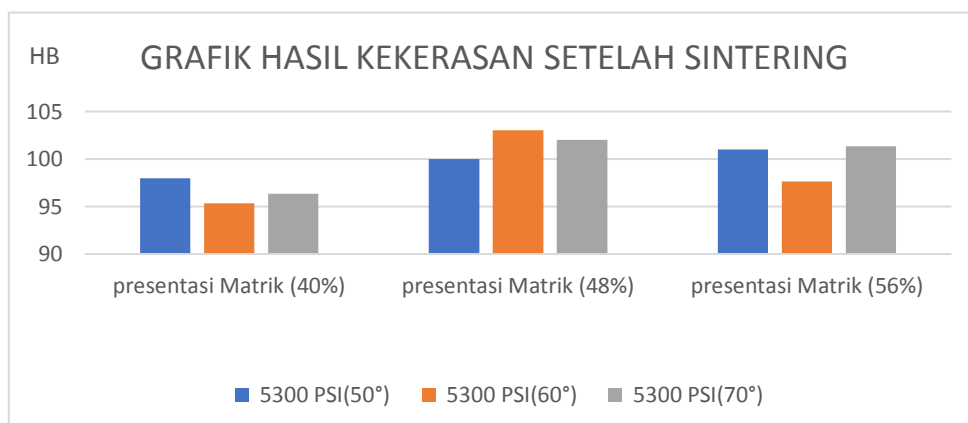


Gambar 5. Hasil Cetak Spesimen

3.1. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan pada sembilan sampel komposit kanvas rem. Proses pengujian menggunakan alat uji kekerasan portabel dengan beban tekan 2 kg dan bola baja berdiameter 2 mm sebagai indenter. Setiap spesimen diuji dengan melakukan tiga kali penekanan pada tiga titik berbeda di permukaannya. Hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 6, yang menunjukkan pengaruh suhu sintering terhadap nilai kekerasan komposit kanvas rem. Berdasarkan grafik rata-rata diatas setelah proses sintering, terlihat bahwa sintering memberikan peningkatan kekerasan yang signifikan pada semua variasi persen matriks dan tekanan kompaksi. Secara keseluruhan, nilai kekerasan meningkat setelah sintering, dengan tekanan kompaksi 5300 Psi menghasilkan kekerasan tertinggi pada komposisi matriks 40%, 48%, maupun 56%. Variasi matriks dan tekanan kompaksi

membantu memadatkan partikel pada tahap awal, sehingga setelah sintering ikatan antarpartikel menjadi lebih kuat dan membentuk struktur mikro yang lebih padat dan keras. Peningkatan kandungan matriks dari 40% hingga 56% juga berkontribusi pada naiknya nilai kekerasan, terutama pada sampel dengan komposisi 48% matriks. Pada tekanan 5300 Psi dan suhu sintering 60°C, komposisi tersebut menghasilkan nilai kekerasan tertinggi dalam data pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi matriks yang cukup tinggi dan suhu sintering yang tepat sangat efektif dalam meningkatkan kekuatan mekanik material. Secara keseluruhan, proses sintering tidak hanya memperkuat ikatan antarpartikel, tetapi juga mengoptimalkan efek dari variasi tekanan dan komposisi matriks yang telah diterapkan. Dengan demikian, pemilihan kombinasi persen matriks dan tekanan kompaksi yang tepat sangat menentukan dalam memperoleh komposit dengan kekerasan optimal.



Gambar 6. Grafik Rata-Rata kekerasan Setelah Sintering

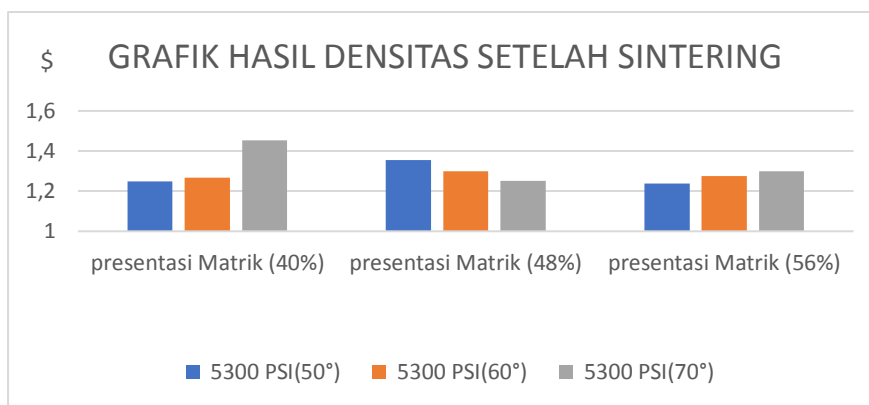
3.2. Hasil Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan mengacu pada dengan metode Archimedes, yang

melibatkan penimbangan sampel dalam kondisi kering dan basah. Setiap spesimen terlebih dahulu ditimbang dalam keadaan kering, kemudian ditimbang kembali setelah

dicelupkan ke dalam larutan Aquadest untuk memperoleh massa basah. Perbedaan massa tersebut digunakan dalam persamaan Archimedes untuk menghitung densitas masing-masing variasi sampel komposit kamps rem. Hasil perhitungan densitas disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 7, yang menunjukkan pengaruh suhu sintering terhadap nilai densitas komposit. Berdasarkan hasil dari grafik nilai rata-rata densitas setelah proses sintering, terlihat bahwa sintering memberikan peningkatan densitas pada seluruh variasi sampel. Kombinasi antara suhu sintering dan persentase matriks

berperan penting dalam menentukan tingkat kerapatan akhir material. Dari hasil pengujian, sampel pada matrik 40% dengan suhu sintering 70°C menunjukkan densitas tertinggi dibandingkan kombinasi lainnya. Kondisi ini mengindikasikan bahwa suhu sintering yang tinggi dan dipadukan dengan persentase matriks yang lebih kecil mampu memperkuat ikatan antarpartikel secara lebih efektif. Ikatan yang semakin kuat selama sintering menyebabkan porositas menurun dan struktur material menjadi lebih rapat sehingga menghasilkan densitas yang lebih tinggi.



Gambar 7. Grafik Rata-Rata Kekerasan Setelah Sintering

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa persentase matriks berupa *phenolic resin* terbukti memberikan pengaruh yang signifikan dan jelas terhadap perubahan nilai kekerasan dan densitas komposit. Variasi fraksi matriks yang digunakan secara langsung memengaruhi kemampuan ikatan antarpartikel penyusun komposit, sehingga berimplikasi pada peningkatan kepadatan struktur dan ketahanan material terhadap deformasi. Semakin optimal komposisi matriks yang digunakan, semakin baik pula distribusi beban serta efektivitas transfer tegangan di dalam komposit, yang pada akhirnya tercermin pada nilai kekerasan dan densitas yang dihasilkan. Sementara itu, variasi suhu sintering yang diterapkan pada rentang 50°C, 60°C, dan 70°C memang menunjukkan adanya perbedaan nilai kekerasan dan densitas pada masing-masing spesimen. Namun demikian, berdasarkan data pengujian yang diperoleh, pengaruh suhu sintering tersebut tidak menunjukkan

signifikansi yang kuat, khususnya terhadap hasil pengujian densitas. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam rentang suhu yang digunakan, proses pepadatan dan pengikatan antarpartikel belum mengalami perubahan mikrostruktur yang cukup besar untuk memberikan dampak yang dominan terhadap peningkatan densitas material. Dari seluruh kombinasi variabel yang diuji, komposisi matriks sebesar 48% dengan suhu sintering 60°C menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, yaitu sebesar 103,0 HB. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada komposisi tersebut, jumlah matriks yang digunakan telah mencapai kondisi optimum dalam meningkatkan kekuatan ikatan dan kekompakan struktur komposit. Adapun untuk parameter densitas, nilai tertinggi diperoleh pada komposisi matriks 40% yang disinter pada suhu 70°C, dengan densitas mencapai 1,453 g/cm³. Perbedaan kondisi optimum antara kekerasan dan densitas ini menunjukkan bahwa masing-masing sifat mekanik memiliki respons yang berbeda terhadap kombinasi fraksi matriks dan suhu sintering.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukanto, S., Wahyudie, I. A., Erwanto, E., Oktriadi, Y., Rodika, R., Irwansyah, R., ... & Algaza, H. T. (2024). Fabrication of Aluminium Matrix Composite Powder Reinforced with Silicon Dioxide Tailings for Non-Asbestos Brake Pads (NOB). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(10), 7696-7704.
- [2] Asep, M., Rusdy, A., & Sukanto, S. (2023). pengaruh variasi tekanan kompaksi panas terhadap densitas dan kekerasan amc diperkuat SiO₂. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 1-7.
- [3] Rahman, S. F., & Febriantoko, B. W. . Rekayasa Pembuatan Kampas Rem Berbahan Dasar Serbuk Tempurung Kelapa Bermatriks Phenolic Resin Terhadap Performa Gesek Pengereman.
- [4] Gong, X., Meng, Y., Lu, J., Tao, Y., Cheng, Y., & Wang, H. (2022). A review on lignin-based phenolic resin adhesive. *Macromolecular Chemistry and physics*, 223(4), 2100434.
- [5] Ridani, H. N., Sukanto, S., & Rodika, R. (2025). Kajian Komposit Matrik Alumunium Untuk Kampas Rem Sepeda Motor Diperkuat Pasir Silika Hibrid (SiO₂/BA/RHA) Dengan Metode Metalurgi Serbuk. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 3(1), 36-42.
- [6] Al Aziz, P. H., Wahyudie, I. A., & Yuliyanto, Y. (2025). Pengaruh Kombinasi Briket Batubara Antrasit Dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Dengan Variasi Parameter Proses. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 3(2), 290-297.
- [7] Febriany, S. (2024). *ANALISIS TEKANAN KOMPAKSI DAN HOLDING TIME SINTERING TERHADAP DENSITAS DAN KEKERASAN AMC DIPERKUAT SiCDAN RHA METODE METALURGI SERBUK* (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- [8] Anggreini, Y. (2024). “ *Pembuatan Komposit AMC Diperkuat Hybrid Baggase Ash-Alumina Terhadap Variasi Kompaksi Dan Suhu Sintering Dengan Metode Metalurgi Serbuk* (Doctoral dissertation. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- [9] Rahman, W., Shayfull, Z., Radhwan, H., Farizuan, R. M., Fathullah, M., & Darus, M. (2021, July). Hard-porous-lightweight PM Fe-Cr-Al₂O₃ MMCs sintered under hybrid microwave energy. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2347, No. 1, p. 020243). AIP Publishing LLC..
- [10] P. K. Pertiwi, A. Leny, K. Yusro, and P. M. Si, “Uji Densitas dan Porositas pada Batuan dengan Menggunakan Neraca O Houss dan Neraca Pegas,” *Fis. Lab.*, pp. 1–5, 2019.