



Karakteristik Komposit Matrik *Phenolic Resin* Diperkuat Serbuk Logam Dan *Boiler Fly Ash* Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk

Devrin Dwiki Saputra¹, Sukanto², Zaldy Sirwansyah Suzen³, Yudi Oktriadi⁴, Agus Wanto⁵, Abdul Budi⁶

^{1,2,3,4,5,6} Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

Email : devrinboy@gmail.com

Received: 22 Desember 2026; Received in revised form: 25 Desember 2026; Accepted: 25 Desember 2026

Abstract

In general, the manufacture of brake pad components is made of 60% asbestos material, although this material is still often used, it turns out that the material is not environmentally friendly and not good for health because it contains carcinogenic substances that if inhaled by human lungs can cause respiratory disturbances. Therefore, it is necessary to develop new innovations, one of which is phenolic resin matrix composites. This study aims to determine the effect of matrix percentage and sintering temperature on the density and hardness of phenolic resin matrix composite materials combined with aluminum, brass, silica sand, and boiler fly ash. The method applied in this study is powder metallurgy, which has stages of mixing, compression, and sintering processes. The process of mixing metal reinforcing powder and fly ash boiler uses a horizontal ball mill machine with a Ball Powder Ratio (BPR) parameter of 10:1 which has a rotation speed of 90 rpm and is waited for 4 hours. Then for cold compaction, it uses 5300 Psi and waits for 10 minutes and the variations used are the percentage of matrices of 44 wt.%, 52 wt.%, and 60 wt.% and the variation in sintering temperature of 80 °C, 90 °C, and 100 °C and in the oven for 10 minutes. The test was carried out using the ASTM B962-17 standard for density test while the hardness test used the ASTM E110-14 approach using a portable hardness test device. Hardness testing with the highest value of 102 HB with a matrix percentage of 60 wt.% with a pressure of 5300 Psi and the highest density value of 1.404 g/cm³ with a compaction pressure of 5300 Psi before the sintering treatment. After sintering treatment, the highest hardness result was 147 HB with a matrix percentage of 60 wt.% with a temperature of 50 °C and the highest density value of 1,505 g/cm³ with a temperature of 50 °C with a holding time of 10 minutes each.

Keywords: powder metallurgy; phenolic; brake pad

Abstrak

Pada umumnya pembuatan komponen kampas rem terbuat dari 60% bahan asbestos, meskipun bahan tersebut masih sering digunakan ternyata bahan tersebut tidak lah ramah lingkungan dan tidak baik pada kesehatan dikarenakan mengandung zat karsinogenik yang apabila terhirup oleh paru-paru manusia dapat menyebabkan gangguan pernapasan. Oleh sebab itu perlu dikembangkan inovasi baru salah satunya komposit matrik phenolic resin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase matrik dan suhu sintering terhadap nilai densitas dan kekerasan material komposit matrik phenolic resin dipadukan dengan aluminium, kuningan, pasir silika, dan boiler fly ash. Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah metalurgi serbuk, dimana memiliki tahapan proses mixing, kompaksi, dan sintering. Proses pencampuran serbuk penguat logam dan boiler fly ash menggunakan mesin horizontal ball mill dengan parameter Ball Powder Ratio (BPR) 10:1 yang memiliki kecepatan putaran 90 rpm dan ditunggu selama 4 jam lamanya. Kemudian untuk kompaksi dingin menggunakan 5300 Psi dan ditunggu selama 10 menit serta variasi yang digunakan adalah persentase berat matrik 44 wt.%, 52 wt.%, dan 60 wt.% dan variasi suhu sintering sebesar 80°C, 90°C, dan 100°C dan di oven selama 10 menit. Pengujian yang dilakukan menggunakan standar ASTM B962-17 untuk uji densitas sedangkan untuk uji kekerasan menggunakan pendekatan ASTM E110-14 menggunakan alat uji kekerasan portable. Pengujian kekerasan dengan nilai tertinggi 102 HB dengan persentase matrik 60 wt.% dengan tekanan 5300 Psi dan nilai

densitas tertinggi 1,404 g/cm³ dengan tekanan kompaksi 5300 Psi sebelum perlakuan sintering. Setelah perlakuan sintering hasil kekerasan tertinggi 147 HB dengan persentase matrik 60 wt.% dengan suhu 50°C dan nilai densitas tertinggi 1,505 g/cm³ dengan suhu 50°C dengan masing-masing waktu penahanan 10 menit.

Kata kunci: metalurgi serbuk; fenolik; kampas rem

1. PENDAHULUAN

Pada perkembangan dunia industri otomotif kendaraan bermotor komponen yang paling sering digunakan adalah kampas rem. Hal tersebut dikarenakan penggunaan komponen kampas rem berfungsi untuk menyerap energi kinetik yang diakibatkan dari gesekan kampas rem dan mengubahnya menjadi energi panas yang dapat memperlambat laju atau memberhentikan sebuah kendaraan [1]. Akan tetapi pembuatan kampas rem yang beredar dipasaran terbuat dari material 60% Asbestos yang dipadukan dengan resin, bahan untuk meningkatkan sifat gesekan (*friction additive*), filler, bubuk logam, serpihan keramik, dan serpihan karet sebagai bahan penyusunnya utamanya [2].

Walaupun bahan asbestos masih sering digunakan pada pembuatan kampas rem ternyata material tersebut tidak ramah dengan lingkungan disebabkan mengandung zat-zat yang berbahaya seperti karsinogenik. Dimana ketika komponen kampas rem bergesekan akan membuat debu asbestos berterbangan dan akan berbahaya jika terhirup oleh paru-paru manusia yang dapat memicu gangguan pernapasan atau penyakit lainnya [3][4]. Oleh sebab itu sebanyak 67 negara tidak mengizinkan untuk penggunaan bahan asbestos dan tidak dianjurkan untuk penggunaan lebih lanjut [5][6]. Maka dari itu dibutuhkan Alternatif material non-asbestos salah satunya adalah Phenolic resin.

Komposit matrik phenolic resin telah banyak digunakan pada saat ini dan telah diproduksi lebih dari 6 juta ton/tahun sehingga menjadi resin yang paling digunakan pada saat ini [7]. Selain itu phenolic resin menjadi material pengikat yang baik untuk pembuatan komponen komposit kampas rem dikarenakan material tersebut memiliki ketahanan suhu 250°C pada saat komponen kampas rem bergesekan [8]. Selain itu phenolic memiliki karakteristik yang unik seperti tahan terhadap suhu thermal yang tinggi, kekuatan mekanik yang baik, dan kemampuan tahan terhadap air dan cairan asam [9].

Metode pembuatan komponen komposit kampas rem berbahan phenolic resin adalah Metalurgi serbuk (*Powder Metallurgy*) [10]. Metode ini memiliki tiga tahapan utama yaitu adalah proses pencampuran (*mixing*) antara serbuk logam dan pengikat (matrik), proses kompaksi (*compaction*) penekanan terhadap material serbuk agar terbentuk sesuai dengan kebutuhan, dan proses sintering pemanasan terhadap suhu tertentu sehingga membuat ikatan antarpartikel sehingga didapatkan material yang padat dan kekuatan mekanik yang baik [11][12]. Metode ini juga memiliki beberapa keuntungan yaitu proses energinya yang rendah, dapat membuat serbuk dengan cara yang mudah, dan cetakan produk dapat menyesuaikan dengan bentuk yang dibutuhkan. Disamping itu metode ini memiliki tingkat efisien material yang tinggi disebabkan 95% kebutuhan bahan utama yang dimanfaatkan dapat menghasilkan produk jadi sehingga sedikit material yang terbuang atau tidak terpakai [13].

Pengaruh variasi volume matrik phenolic resin pada pembuatan bantalan kampas rem sepeda motor yang diteliti oleh P. Nawangsari dkk [8]. Pada penelitian ini variasi volume yang diberikan sebesar 10, 15, 20, dan 25. Hasil pengujian didapatkan bahwa nilai densitas akan turun seiring dengan kenaikan variasi volume matrik phenolic resin. Sebaliknya peningkatan variasi phenolic resin mampu meningkatkan nilai kekerasan hingga 19,29% pada komposit bantalan kampas rem sepeda motor. Oleh sebab itu, pentingnya untuk memilih jumlah komposisi phenolic resin dikarenakan dapat menjaga kestabilan struktur pada material komposit bantalan kampas rem motor.

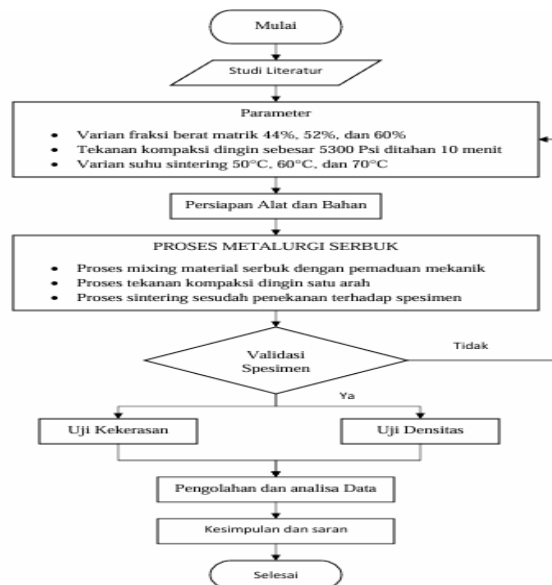
Pengaruh suhu sintering terhadap nilai kekerasan pada pembuatan bantalan komposit rem hibrida yang diteliti oleh Ary Subagia dkk [14]. Pada penelitian ini temperatur suhu sintering yang digunakan sebesar 200°C, 250°C, 300°C. Hasil yang didapatkan pada pengujian kekerasan bahwa peningkatan temperatur suhu sintering dapat meningkatkan nilai kekerasan pada bantalan komposit kampas rem hibrida. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan sebesar 107 HV 20/15 dengan kontrol nilai kekerasan sebesar 9.3% serta nilai kekerasan terendah didapatkan sebesar 90.88 HV 20/15.

Penelitian yang berjudul "Pembuatan dan Analisis Sifat Mekanik Komposit Dengan Penguat Abu (FLY ASH) Cangkang Sawit Untuk Bahan Kampas Rem Sepeda Motor" yang dilakukan oleh Berto P. Simanjorang dkk [1]. Hasil penelitian didapatkan bahwa komposisi persentase fly ash yang mencukupi

mampu meningkatkan nilai kekerasan sebesar 138 HV yaitu 60% fly ash. Demikian boiler fly ash bagus sebagai material pengisi (filler) dikarenakan bentuk partikel abu fly ash sangat halus sehingga baik dijadikan sebagai bahan pembuatan komposit kampas rem sepeda motor.

2. METODE PENELITIAN

Langkah awal dalam penelitian ini melibatkan studi literatur dan prancangan parameter penelitian yang diteruskan dengan persiapan alat dan bahan. Pada proses kali ini meliputi teknik metalurgi serbuk, mengidentifikasi spesimen, uji kekerasan dan uji berat jenis (Densitas), analisa data, pembahasan hasil yang telah didapat dan diakhiri dengan kesimpulan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

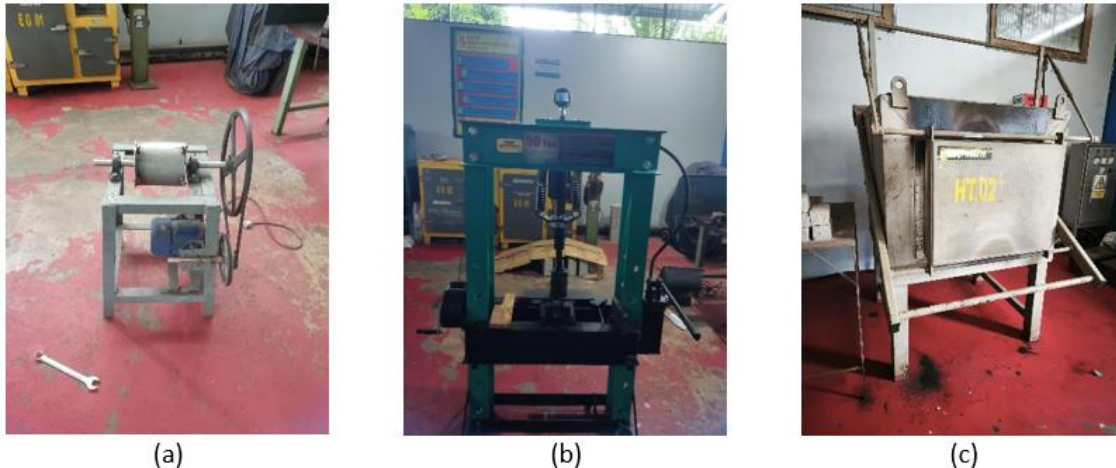
Pada penelitian ini komposisi bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 5 bahan diantaranya Phenolic resin (PR), Aluminium (Al), Pasir Silika (SiO_2), Kuningan (Cu-Zn), dan *Boiler Fly-Ash* yang masing-masing memiliki varian fraksi berat yang berbeda. Bahan-bahan pada penelitian ini memiliki komposisi yang berbeda sesuai dengan variabel level yang telah ditentukan ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Bahan-bahan Komposit yang Digunakan Untuk Pembuatan Kampas Rem

Phenolic resin (%)	Aluminium (%)	Silika (%)	Kuningan (%)	Boiler Fly-Ash (%)
44	14	14	17.5	10.5
52	12	12	15	9
60	10	10	12,5	7,5

Pada penelitian ini memiliki dua variabel yang berbeda, yaitu matrik PR-44 wt.%, PR-52 wt.%, PR-60 wt.% dan suhu sintering 50°C, 60°C, 70°C untuk pembuatan komponen kampas rem komposit dan di proses menggunakan metode metalurgi serbuk. Metalurgi serbuk memiliki tiga proses tahapan utama diantaranya proses pencampuran, penekanan, dan Sintering. Pertama-tama melakukan proses pencampuran atau pemaduan mekanik menggunakan *Ball Mill Machine* menggunakan parameter proses *Ball Powder weight Ratio* (BPR) 10:1, selama 4 jam dengan kecepatan putaran mesin 90 rpm bertujuan untuk mendapatkan campuran serbuk yang homogen dapat dilihat pada gambar 1 (a). Kemudian proses pengepresan dengan penekanan dingin tanpa pemanas, tekanan yang diberikan sebesar 5300 Psi selama 10 menit bertujuan untuk mendapatkan green body dengan diameter cetakan 30mm x 15mm. Proses ini dilakukan agar dapat memberikan efek tekanan terhadap partikel serbuk agar partikel serbuk saling terikat (*interlocking*) dapat dilihat pada gambar 1 (b). Selanjutnya proses akhir sintering dengan variasi

suhu sintering 50°C, 60°C, 70°C dengan waktu tahan selama 10 menit. Proses ini merupakan tahapan akhir dimana benda kerja (*green body*) dipanaskan yang membuat saling terikat (menggumpal) karena adanya proses difusi perpindahan partikel yang mengisi celah kosong saat terjadinya proses pemanasan dapat dilihat pada gambar 1 (c). Hal ini bertujuan untuk melihat perbedaan nilai densitas dan kekerasan yang diakibatkan pengaruh dari variasi suhu sintering yang diberikan pada komponen komposit kampas rem. Setelah selesai melakukan pencetakan komposit kampas rem permukaan benda kerja di amplas menggunakan kertas pasir halus supaya mendapatkan permukaan yang halus dan ketebalan pada permukaan komposit kampas rem sesuai dengan syarat-syarat pengujian standar. Dibawah ini merupakan tahapan proses metalurgi serbuk untuk pembuatan komposit kampas rem sepeda motor ditunjukkan pada gambar 1.

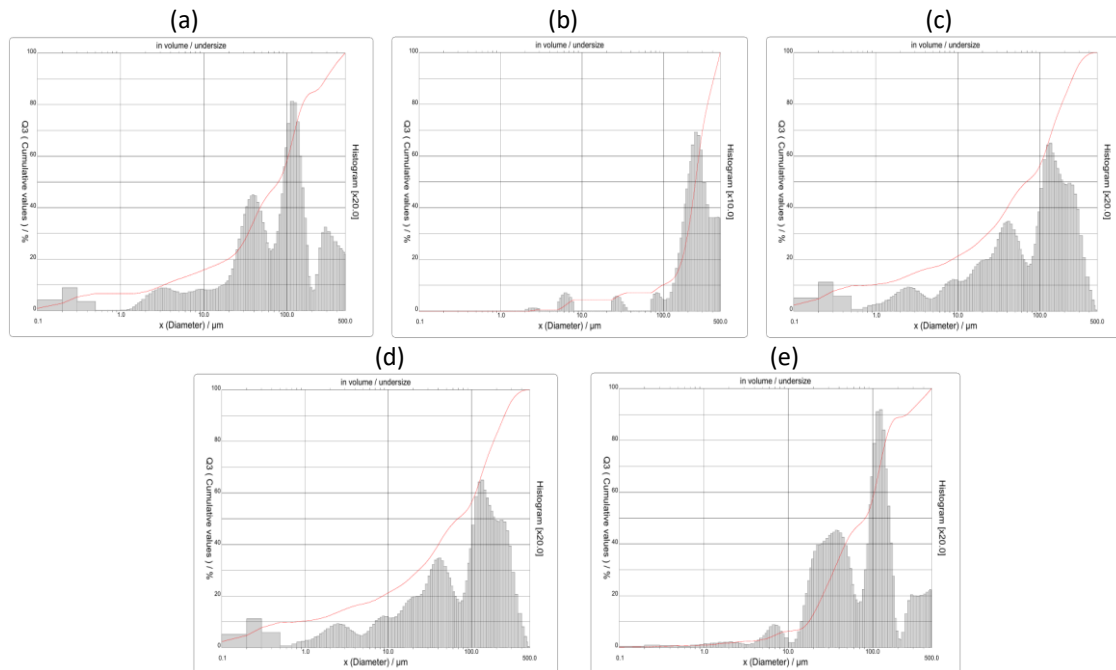


Gambar 1. a) Proses Pencampuran Serbuk Menggunakan Ball Mill Machine, b) Proses Penekanan Green Body Menggunakan Mesin Press Hidrolik, c) Proses Sintering Setelah Proses Pengepresan

Dalam riset ini, matrik yang digunakan adalah *Phenolic* resin diperkuat dengan aluminium, pasir silika, kuningan dan *boiler-fly ash*. Riset ini menggunakan pengujian kekerasan ASTM E110-14 12 menggunakan alat uji kekerasan brinel dan melakukan pengujian densitas B962-17 13. Dengan demikian, komponen kampas rem komposit akan diuji sesuai dengan syarat-syarat tertentu yang telah ditetapkan sesuai standar pengujian.

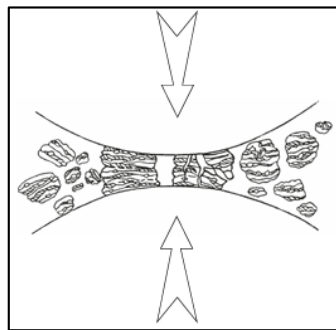
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pemaduan mekanik (*Mechanical Alloying*) menunjukan serbuk phenolic resin sebagai pengikat (matrik) serta aluminium, pasir silika, kuningan sebagai bahan penguat, dan boiler fly-ash untuk bahan pengisi yang telah melalui proses penggilingan selama 4 jam dengan parameter perbandingan bola baja (*Ball Powder weight Ratio*) sebesar 10:1 dengan masing-masing berat bola baja 110, 65, 40 gr. Dengan masing-masing persentase matrik 44 wt.%, 52 wt.%, dan 60 wt.% serta masing varian level membutuhkan berat serbuk sebesar 20 gr untuk masing spesimen. Pada saat pemaduan mekanik akan terjadi pengelasan dingin (*Cold Weld*) yang mengakibatkan proses penggabungan, pengahncuran, dan gaya benturan antar bola baja yang melibatkan media penggilingan berenergi tinggi seperti ditunjukkan pada gambar 3. Dengan proses pemaduan mekanik dapat memperoleh campuran serbuk yang lebih homogen dari metode proses pencampuran lainnya. Berdasarkan hasil dari pengujian *Particle Size Analyzer* yang dilakukan pengujian pada Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang, hasil pengujian yang didapatkan untuk setiap bahan yaitu matrik Phenolic resin dengan ukuran rata D50:78,49 μm , penguat Aluminium memiliki ukuran rata-rata D50:247,66 μm , penguat pasir silika memiliki ukuran rata-rata D50:68,62 μm , penguat kuningan memiliki ukuran rata-rata D50:159,10 μm , dan pengisi *Boiler Fly-Ash* memiliki ukuran rata-rata D50:81,52 μm yang mengidentifikasi tingkat homogenitas partikel matrik polimer dan penguat. Hasil dari pengujian particle size analyzer dapat dilihat pada gambar 2.



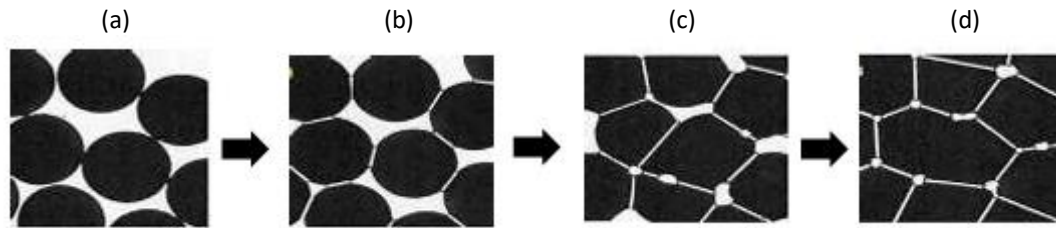
Gambar 2. a. Hasil Uji PSA Phenolic resin, b. Uji PSA Aluminium, c. Uji PSA Pasir Silika, d. Uji PSA Kuningan, e. Uji PSA Boiler Fly-Ash

Dengan adanya faktor pengelasan dingin ini lah yang akan membantu terjadi proses *interlocking* pemadatan antar permukaan serbuk campuran komposit matrik dan penguat yang terjadi ketika proses sintering diberlakukan. Hal ini membuat campuran serbuk yang lebih homogen sehingga dapat membantu mengurangi porositas saat proses kompaksi.



Gambar 3. Proses Terjadinya Pengelasan Dinggin (*Cold Weld*) Ketika Bola Baja Saling Berbenturan

Sampel komposit kampas rem berbentuk bulat dengan diameter dalam 30 mm dan diameter luar cetakan 60 mm, dengan ketinggian sampel yang bervariasi tergantung dari persentase matrik yang di berikan. Pada penelitian ini menggunakan metode kompaksi dingin (*Cold Compressing*) satu arah penekanan, tekanan kompaksi diperlukan agar dapat memberikan kekuatan mekanik yang baik serta partikel serbuk akan mengisi ruang kosong yang menyebabkan berkurangnya porositas sehingga mendapatkan kepadatan serbuk yang tinggi. Hasil dari pemadatan kompaksi satu arah penekanan dapat dilihat pada gambar 5. Tahap berikutnya adalah proses sintering, variasi suhu yang diberikan adalah 50°, 60°, 70° dan tiap varian level membutuhkan waktu tunggu selama 15 menit. tahapan ini memiliki peranan penting dikarenakan pada saat proses pemanasan partikel-partikel terhadap *green body* akan saling terikat (menggumpal) karena terjadinya reaksi kimia saat proses pemanasan. Demikian partikel yang menggumpal dapat mengabungkan partikel-partikel serbuk dan membentuk susunan formasi ikatan serbuk sehingga nilai porositas berkurang. Selanjutnya ilustrasi yang sama ditunjukkan ketika proses pemanasan berlangsung dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. a. Pori-pori Green body selesai perlakuan kompaksi, b. Proses pertumbuhan leher pada pori-pori saat proses sintering, c. Pertumbuhan leher semakin banyak sehingga menutup jalur porositas pada green body, d. Pori-pori yang tertutup meninggalkan ruang kecil sehingga porositas ikut berkurang.

Hasil perlakuan sintering setelah proses kompaksi dengan menggunakan metode satu arah penekanan menghasilkan total Sembilan sampel, dimana masing-masing tiap level diberikan perlakuan sintering sebesar 50°C, 60°C, 70°C selama 15 menit dapat dilihat pada gambar 6., serta diberikan tekanan sebesar 5300 Psi.



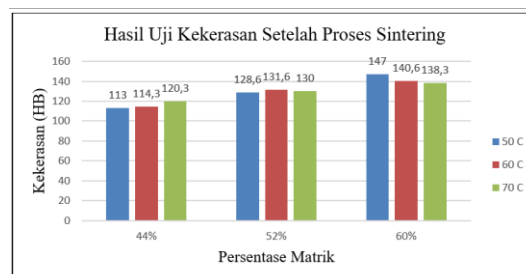
Gambar 5. Hasil Kompaksi Satu Arah Penekanan



Gambar 6. Hasil Sintering *Green Body* dengan varian level pada tiap tiga sampel

3.1. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian Kekerasan dilakukan berdasarkan standar uji ASTM E110-14 terhadap Sembilan sampel komposit kampas rem. Pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan portable dimana memiliki beban tekanan sebesar 2 kg dengan bola baja sebesar 2mm untuk bidang penekan. Selanjutnya untuk setiap spesimen akan di uji kekerasan dengan memberikan penekanan pada tiga bidang permukaan sampel. Didapatkan hasil berbentuk grafik ditunjukkan pada gambar 7. pengaruh suhu sintering terhadap sifat kekerasan pada komponen kampas rem komposit.



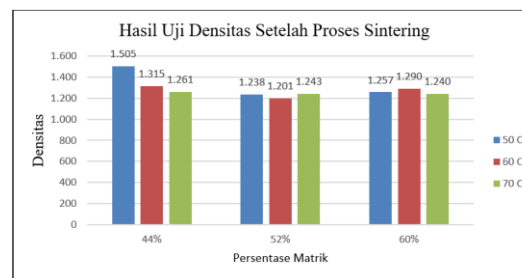
Gambar 7. Grafik Hasil uji Kekerasan terhadap sampel komposit menggunakan standar ASTM E110-14

Berdasarkan hasil grafik terhadap sampel uji kekerasan hasil proses sintering menggunakan standar pengujian ASTM E110-14 serta menggunakan alat bantu alat uji kekerasan *portable* menunjukan hasil nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada komposisi campuran bahan berupa matrik phenolic resin

sebesar 60% dan penguat 40% dengan suhu sintering sebesar 50°C dengan waktu tunggu selama 15 menit menghasilkan rata-rata nilai kekerasan 147 HB. Sebaliknya Nilai Kekerasan terendah diperoleh pada komposisi campuran bahan berupa matrik phenolic resin 44% dan penguat 56% dengan suhu sintering sebesar 50°C dengan waktu tunggu selama 15 menit menghasilkan rata-rata nilai kekerasan 87,6 HB. Peningkatan nilai kekerasan dapat dipengaruhi oleh perbedaan persentase matrik dan besarnya suhu sintering. Semakin tinggi persentase serbuk matrik saat proses sintering dapat membuat ikatan silang antar matrik dan penguat yang menyebabkan nilai kekerasan meningkat. Sebaliknya tingginya suhu sintering yang diberikan dapat menghasilkan nilai kekerasan yang lebih rendah.

3.2. Hasil Pengujian Densitas

Pengujian Densitas dilakukan berdasarkan standar uji ASTM B962-17 menggunakan hukum *Archimedes*, Hukum Archimedes dimana teori ini berlaku pada proses penimbangan sampel kering dan basah. Hukum ini memiliki persamaan yang dapat menganalisis nilai densitas untuk setiap varian level sampel komponen kampas rem komposit. Uji Densitas Pertama kali dilakukan dengan cara menimbang sampel kering untuk setiap spesimen, dilanjutkan setiap spesimen melakukan penimbangan basah kenadalam larutan cairan Aquadest untuk mendapatkan hasil akhir. Didapatkan hasil berbentuk grafik dapat dilihat pada gambar 8. Pengaruh suhu sintering terhadap nilai densitas untuk komponen kampas rem komposit.



Gambar 8. Grafik Uji Densitas Terhadap Sampel Komposit Menggunakan Standar ASTM B962-17

Berdasarkan hasil grafik terhadap sampel uji densitas hasil proses sintering menggunakan standar pengujian ASTM B962-17 serta menerapkan prinsip hukum Archimedes, menunjukkan hasil nilai densitas tertinggi didapatkan pada komposisi campuran bahan berupa matrik phenolic resin sebesar 44 wt.% dan penguat 56 wt.% dengan suhu sintering sebesar 50°C dengan waktu tunggu selama 15 menit menghasilkan rata-rata nilai densitas 1,505 g/cm³. Sebaliknya Nilai Kekerasan terendah diperoleh pada komposisi campuran bahan berupa matrik phenolic resin 52 wt.% dan penguat 48 wt.% dengan suhu sintering sebesar 60°C dengan waktu tunggu selama 15 menit menghasilkan rata-rata nilai densitas 1,201 g/cm³. Berdasarkan nilai grafis diatas dapat disimpulkan bahwa besarnya suhu sintering yang diberikan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan pada komponen komposit kampas rem. Sebaliknya ketika matrik diberikan perlakuan panas pada titik lelehnya, mampu menghasilkan pembasahan partikel serbuk penguat dan mengisi celah antar partikel selama proses sintering berlangsung. Faktor ini mampu meningkatkan ikatan antar partikel dan mengurangi porositas pada komponen komposit kampas rem.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang didapat menunjukkan bahwa peningkatan fraksi berat matrik serta penerapan suhu sintering yang lebih rendah dapat berkontribusi terhadap peningkatan nilai densitas dan nilai kekerasan terhadap komponen kampas rem komposit. Kondisi ini terkait dengan karakteristik matrik yang memiliki densitas awal yang rendah sehingga membutuhkan volume serbuk yang lebih besar untuk mencapai massa yang telah ditentukan. Sehingga faktor tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan material. Sebaliknya besarnya suhu sintering yang diberikan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai densitas dan nilai kekerasan terhadap komponen kampas rem komposit. Akan tetapi pada saat proses sintering berlangsung, matrik yang dipanaskan mendekati suhu titik lelehnya memungkinkan terjadinya pembasahan serbuk matrik terhadap partikel-partikel serbuk penguat yang menyebabkan penyebaran yang lebih merata. Faktor ini dapat membuat

reaksi interlocking antarpemukaan partikel matrik dan penguat sehingga membentuk formasi ikatan yang lebih kuat yang menyebabkan turunnya porositas. Hal ini dapat dilihat dari nilai kekerasan tertinggi sebesar 147 HB dengan persentase matrik 60 wt.% serta suhu sebesar 50°C dan nilai kekerasan terkecil sebesar 113 HB dengan persentase matrik 44 wt.% dengan suhu sebesar 50°C. Kemudian untuk nilai densitas tertinggi sebesar 1,505 gram/cm³ dengan persentase matrik 44 wt.% serta suhu sebesar 50°C dan nilai densitas terkecil sebesar 1,240 gram/cm³ dengan persentase matrik sebesar 60 wt.% serta suhu sebesar 70°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. D. Langga, M. Sabri, A. Hamsi, S. Abda, and Indra, "Pembuatan Dan Analisa Sifat Mekanik Komposit Dengan Penguat Abu (Fly Ash) Cangkang Sawit Untuk Bahan Kampas Rem Sepeda Motor," no. 1, pp. 57–70, 2019.
- [2] Suhardiman and M. Syaputra, "Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa," *J. Invotek Polbeng*, vol. 07, no. 2, pp. 210–214, 2017.
- [3] F. Yudhanto, S. A. Dhewanto, and S. W. Yakti, "Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–27, 2019, doi: 10.18196/jqt.010104.
- [4] R. Soenoko, "The Effect Of Milling Time On The Alumina Phase Transformation In The Amcs Powder Metallurgy Reinforced By Silica-Sand-Tailings," no. 1, pp. 103–117, 2022, doi: 10.21303/2461-4262.2022.001906.
- [5] I. A. Wahyudie, Y. Oktriadi, and R. Irwansyah, "Fabrication of Aluminium Matrix Composite Powder Reinforced with Silicon Dioxide Tailings for Non-Asbestos Brake Pads (NOB)," vol. 10, no. 10, pp. 7696–7704, 2024, doi: 10.29303/jppipa.v10i10.9208.
- [6] M. R. Syahrizal, A. Budi, and A. Wanto, "AMC Brake Pad Engineering : The Role of Reinforcement , Silica Sand , and Boiler Fly Ash on Friction Coefficient and Density," vol. 11, no. 01, pp. 28–33, 2025.
- [7] M. Asim, N. Saba, M. Jawaid, and M. Nasir, "A review on Phenolic resin and its Composites A Review on Phenolic Resin and its Composites," no. October, 2017, doi: 10.2174/1573411013666171003154410.
- [8] I. O. P. C. Series and M. Science, "Effect of Phenolic Resin on Density , Porosity , Hardness , Thermal Stability , and Friction Performance as A Binder in Non-Asbestos Organic Brake Pad Effect of Phenolic Resin on Density , Porosity , Hardness , Thermal Stability , and Friction Performance," 2019, doi: 10.1088/1757-899X/547/1/012012.
- [9] A. Asraf, A. L. Juwono, B. Hayatul Jihad, and Y. N. Thaha, "Thermo-Viscous Properties of Phenolic Resin with Different Formaldehyde to Phenol Molar Ratio," pp. 34–45, 2024, doi: 10.24252/al-kimia.v12i2.50494.
- [10] M. S. Yafiedan and Widyastuti, "Pengaruh Variasi Temperatur Sintering dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Densitas dan Kekerasan pada Mmc W-Cu Melalui Proses Metalurgi Serbuk," *Tek. Pomits*, vol. 3, no. 1, p. 6, 2014.
- [11] A. A. A. Triadi, I. G. N. K. Yudhyadi, I. M. Suartika, and N. H. Sari, "Efek suhu sintering terhadap sifat kekerasan bahan campuran Al/Cu/Sic melalui proses metalurgi serbuk," *Din. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, p. 80, 2019, doi: 10.29303/dtm.v9i2.277.
- [12] E. Ricky, "Proses Metalurgi Serbuk Pada Fabrikasi Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Pasir Silika Tailing," *Skripsi Politek. manufaktur bangka belitung*, pp. 1–88, 2022, [Online]. Available: <http://repository.polman-babel.ac.id/id/eprint/716/1/Ricky Laporan Proyek Akhir Ricky Irwansyah 1041955.pdf>
- [13] S. Muhammad Asep1, Sugiyarto2, Somaward3, Achmad Rusdy4, "Kekerasan Amc Diperkuat SiO2 Teknik Mesin dan Manufaktur , Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung Kawasan Industri Airkantung Sungailiat Bangka-33211- Telepon (0717) 93586 Email : sukanto@polman-babel.ac.id dan Kekerasan AMC Diperkuat SiO 2 2 Asep," vol. 9, no. 1, pp. 1–7, 2023.
- [14] I. D. G. A. Subagia, I. K. A. Atmika, N. P. G. Suardana, R. Gds, and S. Fs, "Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Kekerasan dan Keausan Kampas Rem Berbasis Komposit Hibrida Serbuk Tempurung Kelapa / Alumina / Phenolic Resin," vol. 11, no. 2, 2018, doi: 10.24843/JEM.2018.v11.i02.p02.