

Penyelidikan Kampas Rem Komposit Matriks Aluminium Diperkuat *Boiler-Fly-Ash* dan Silika Terhadap Nilai Densitas dan Kekerasannya

Akhmad Hasyim Fikri¹, Sukanto Wiryono^{2*}, M.Subhan³

^{1, 2, 3}Program Studi Teknik Mesin & Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

^{1, 2, 3}Kawasan Industri AirKantung Sungailiat – Bangka – 3211 - Indonesia

E-mail: fikrirobot18@gmail.com¹, sukanto@polman-babel.ac.id^{2*}, msubhan00@yahoo.co.id³

Info Naskah:

Naskah masuk: 2 Desember 2024

Direvisi: 16 Juli 2025

Diterima: 24 Juli 2025

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menyelidiki pengaruh persentase penguat dan tekanan kompaksi panas, terhadap nilai densitas kampas rem Komposit Matriks Aluminium, diperkuat *Boiler-Fly-Ash* dan pasir silika. Metode Metalurgi Serbuk digunakan dalam penelitian ini, dengan variasi penguat fraksi berat adalah 6%, 10%, dan 14%. Pencampuran serbuk matriks dan penguat digunakan *Ball Mill Machine*, dengan *Ball Powder weight Ratio* adalah 10:1, dalam waktu 6 jam pemuatan mekanik pada kecepatan 90 rpm. Proses pencetakan digunakan sistem kompaksi panas berupa mesin *Hydraulic Jack* penekan atas dan penekan bawah, dengan suhu penekanan panas 350 °C, waktu penahanan 10 menit, pada variasi penekanan 5200 Psi, 5600 Psi, dan 6000 Psi. Sedangkan proses sintering digunakan suhu 600 °C pada penahanan suhu 10 menit. Uji densitas spesimen menggunakan standar ASTM B962-17 dengan pendekatan teori archimedes, sedangkan uji kekerasan menggunakan Hardnes Brinnel mengacu ASTM E110-14. Hasilnya, nilai rata-rata densitas tertinggi 2,10 g/cm³ dengan variasi penguat persentase 10%, sedangkan nilai densitas terendah adalah 1,90 g/cm³ dengan persentase penguat 14%. Nilai kekerasan tertinggi 42,93 HB dengan persentase 10%, sedangkan nilai kekerasan terendah 41,4 HB dengan persentase penguat 14% kompaksi 6000 Psi

Abstract

This study aims to investigate the effect of the percentage of reinforcement and hot compaction pressure on the density value of Aluminum Matrix Composite brake pads, reinforced with Boiler-Fly-Ash and silica sand. The Powder Metallurgy method was used in this study, with variations in the weight fraction of reinforcement being 6%, 10%, and 14%. Mixing of the matrix powder and reinforcement was performed using a Ball Mill Machine, with a Ball Powder weight Ratio of 10:1, within 6 hours of mechanical alloying at a speed of 90 rpm. The molding process used a hot compaction system in the form of a Hydraulic Jack machine with an upper press and a lower press, with a hot pressing temperature of 350 °C, a holding time of 10 minutes, at a pressure variation of 5200 Psi, 5600 Psi, and 6000 Psi. The sintering process used a temperature of 600 °C at a holding temperature of 10 minutes. The density test of the specimen uses the ASTM B962-17 standard with the Archimedes theory approach, while the hardness test uses the Brinnel Hardness, referring to ASTM E110-14. The result, the highest average density value is 2.10 g/cm³ with a reinforcement percentage variation of 10%, while the lowest density value is 1.90 g/cm³ with a reinforcement percentage of 14%. The highest hardness value is 42.93 HB with a percentage of 10%, while the lowest hardness value is 41.4 HB with a reinforcement percentage of 14% compaction of 6000 Psi.

Keywords:

aluminium matrix
composite;
Boiler-Fly-Ash;
silica sand;
archimedes;
non-asbestos

*Penulis korespondensi:

Sukanto Wiryono

E-mail: sukanto@polman-babel.ac.id

1. Pendahuluan

Pada tahun 2022 data BPS menyebutkan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia sendiri mencapai 148.261.817/unit [1]. Hal ini memaksa produsen pembuatan suku cadang kendaraan bermotor seperti "Break Pad" atau kampas rem kian meningkat. Kampas rem berfungsi untuk mengurangi dan memperlambat laju kendaraan bermotor [2]. Kampas rem yang umum digunakan adalah tipe OES (*Original Equipment Sparepart*) dan AM (*After Market*) [3]. Dari banyaknya kampas rem kendaraan bermotor, 60% dari itu terbuat dari material "Asbestos" sebagai serat utama dan kemudian dikombinasikan dengan campuran material *resin, friction additive, filler*, serpihan logam, karet sintetis serta keramik [2].

Kampas rem AMC atau *Aluminium Matrix Composite* adalah jenis kampas rem *non asbestos* yang mengaplikasikan logam aluminium sebagai matrik komposit [4]. Terdapat beberapa kelebihan pada *Aluminium Matrix Composite* menjadi material yang banyak dikembangkan, karena aluminium sendiri merupakan material yang banyak terdapat di kerak bumi, dan menjadi unsur paling melimpah ketiga setelah oksigen dan silikon [5]. Di samping itu, komposit aluminium memiliki sifat kerapatan rendah, non korosi, memiliki densitas dan titik lebur yang rendah [6].

Komposit pada umumnya terdiri dari material yang tersusun atas campuran antara dua atau lebih material yang berbeda dengan masing-masing sifat kimia dan fisiknya [7]. Sifat asli material komposit terdiri atas beberapa material penyusunnya yaitu terdiri dari matriks (Pengikat) dan penguat (*Reinforcement*) atau pengisi (*Filler*) dan biasanya kedua materialnya mempunyai sifat yang berbeda [8]. Bahan pengisi (*filler*) berfungsi meningkatkan kekerasan, ketahanan gesekan, operasional suhu tinggi, hal ini menjadi sifat yang baik untuk dikombinasikan dengan *Aluminium Matrix Composite* [9]. Material penguat yang banyak menjadi bahan penelitian diantaranya adalah oksida logam, karbida, karbon, dan serat alam [10].

Boiler-Fly-Ash merupakan limbah yang dihasilkan dari industri pengolahan kelapa sawit dan pembakaran batubara [11]. Pembakaran *boiler* produksi *steam* biasanya terdiri dari kombinasi cangkang kelapa sawit, serat tandan kosong buah kelapa sawit, dan cernel buah kelapa sawit [12]. *Boiler-Fly-Ash* memiliki kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat *pozzolan*, memiliki sifat-sifat fisik yang baik, seperti memiliki kekerasan sedang, porositas rendah dan partikelnya halus [13]. *Boiler-Fly-Ash* industri pengolahan minyak kelapa sawit paling banyak mengandung silika atau (SiO_2) sebesar 92,288% [12]. *Boiler-Fly-Ash* sangat melimpah di Indonesia kurang lebih sebesar 9,375 juta ton/tahun [14]. Data di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, menyebutkan bahwa luas perkebunan kelapa sawit tahun 2020 mencapai 239,8 ribu HA, sedangkan untuk tahun 2021 mencapai 238,60 ribu HA [15]. Oleh karena itu material *Boiler-Fly-Ash* yang melimpah di Provinsi Bangka Belitung ini sangat ekonomis dan potensial untuk dijadikan bahan penguat komposit.

Silika atau *silikon dioksida* adalah senyawa kimia yang terbentuk dari atom silikon dan oksigen. Silika murni memiliki dua bentuk yaitu kuarsa dan *kristobalit* [16]. Silika atau SiO_2 (*Silikon Dioxide*) merupakan limbah yang dihasilkan dari proses penambangan bijih timah sekitar 80- 90% [4]. Sedangkan sisa selain itu adalah lumpur yang tidak bisa digunakan dan terbuang. Komposisi silika terdiri dari SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , K_2O [17]. Provinsi Kepulauan Bangka Belitung merupakan pulau penghasil timah terbesar di Indonesia, dari luas Pulau Bangka 1.294.050 ha, sebesar 27,56 % daratan pulau ini merupakan areal Kuasa Penambangan (KP) timah. Menurut data kawasan eksploitasi penambangan timah mencakup luas zona kurang lebih 727,19 HA yang harus direklamasi atau berupa hamparan pasir silika [18].

Ada beberapa pengujian mekanik kampas rem agar mendapat performa yang mendukung sistem pengereman diantaranya adalah pengujian densitas, pengujian kekerasan, pengujian koefisien gesek, pengujian keausan, dan pengujian *impact*. Guna pengujian kampas rem yaitu dapat mengetahui sifat-sifat fisis dan mekanis dari suatu material kampas rem [19]. Pengujian densitas (*density*) merupakan pengujian yang berfungsi untuk melihat fenomena kerapatan atau massa jenisnya dengan membandingkan massa kampas rem dengan volume zat. Biasanya pengujian densitas menggunakan teori *Hukum Archimedes* yaitu pada saat suatu material atau benda dicelupkan ke dalam fluida atau cairan akan mengalami tiga kemungkinan mengapung, melayang, dan tenggelam [20]. Dari uraian diatas dapat disampaikan bahwa penyelidikan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh prosentase penguat dan tekanan kompaksi terhadap densitas dan kekerasan komposit yang dihasilkan.

2. Metode

2.1 Alat Dan Bahan

Proses pembuatan kampas rem AMC dilakukan menggunakan peralatan seperti ayakan, timbangan digital, *mixer, Ball Mill Machine* horizontal, cetakan spesimen, mesin *hydraulic jack, Thermocouple, Thermogun, Hidrolik press*, oven, gelas ukur, alat pengujian densitas. Dan bahan- bahan digunakan yaitu, serbuk *aluminium silicon alloys* Gambar 1, Pasir silika tailing timah Gambar 2, dan *Boiler-Fly-Ash* Gambar 3. Pembuatan sampel kampas rem menggunakan metode *Powder Metallurgy* atau metalurgi serbuk. Metalurgi serbuk memiliki proses dasar utama yaitu, *mixing* (pencampuran), *compaction* (pemberian gaya tekan), *sintering* (proses perlakuan panas). Pembuatan sampel dan pengujian densitas kampas rem dilakukan di lingkungan Bengkel Mekanik, tepatnya pada Laboratorium Fabrikasi dan Logam Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.



Gambar 1. Serbuk *aluminium silicon alloys*.



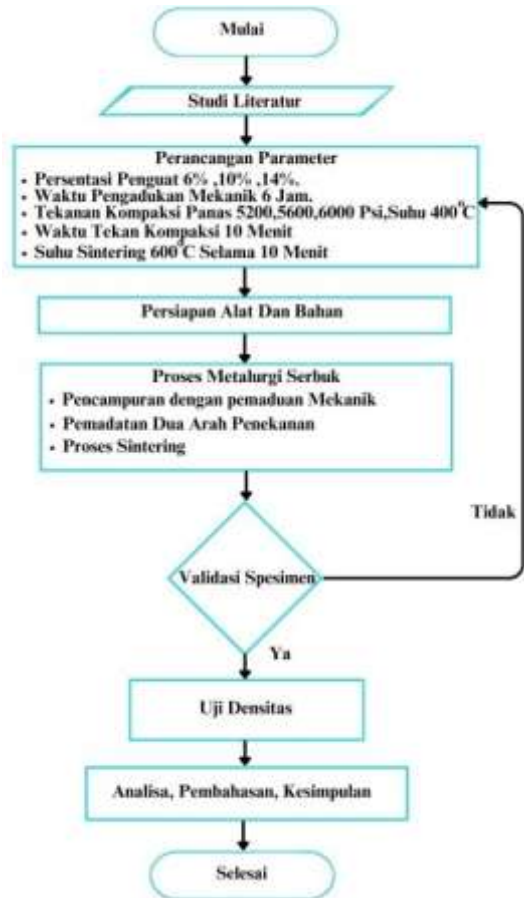
Gambar 2. *Boiler-Fly-Ash*



Gambar 3. Pasir silika tailing timah

2.2 Kaidah Penelitian

Kaidah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur, perancangan parameter, persiapan alat dan bahan, proses metalurgi serbuk, validasi spesimen, uji densitas, analisa, pembahasan, dan kesimpulan. Diagram Alir Penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Pengujian sampel kanvas rem mengacu pada pendekatan standar ASTM B962-17 dengan pendekatan *Hukum Archimedes*. Alat yang digunakan dalam proses metalurgi serbuk yang terdiri dari proses *mixing*, *kompaksi*, dan *sintering* berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 5. *Ball Mill HorizontalMachine*



Gambar 6. Hydraulic Jack Machine



Gambar 7. Oven Sinter

Proses *mixing* dengan pepaduan mekanik ini meliputi proses pencampuran material matrik (serbuk aluminium hasil daur ulang) dengan komposisi 83,40% Al, 2,674% Cu (FeO₂) serta 10,09% Si, dengan ukuran *Particle Size Analyzer* D50:282,53 μm. Sedangkan untuk penguat Pasir Silika Tailing Timah mengandung senyawa 83% SiO₂, 12% Fe₂O₃, dan 5% TiO₂ dengan ukuran *Particle Size Analyzer* adalah D50:167.66 μm. Dan *Boiler-Fly-Ash* yang digunakan berukuran D50:155.63 μm. Selanjutnya proses *Mechanical Alloying* digunakan *Ball Mill Machine Horizontal*. Parameter *mechanical alloying* pada penelitian ini menggunakan lama pepaduan mekanik selama 6 jam dengan kecepatan 90 rpm dan meliputi parameter di dalam tabung *Ball Mill Machine Horizontal* di isi dengan bola-bola baja atau *Ball Powder weight Ratio* (BPR) dengan perbandingan 10:1 mengacu pada penelitian sukanto [21]. Parameter persentase penguat adalah 6%, 10% dan 14% penguat, dengan masing-masing berat serbuk dibutuhkan 25-45 untuk setiap satu spesimen. Berat satu kali pepaduan mekanik matrik serbuk *aluminium silicon alloys* dan penguat pasir silika tailing timah dan *Boiler-Fly-Ash* berturut-turut sebanyak 360 g [13]. Namun demikian proses pepaduan mekanik ini tidak akan

mengakibatkan reaksi kimia karena masih dibawah 24 jam prosesnya [22].

Pada proses pemberian gaya kompaksi panas menggunakan mesin *hydraulic jack* yang memiliki arah penekanan dari atas dan penekan dari bawah [4]. Mesin *hydraulic jack* ini sudah dilengkapi dengan *pressure gauge* membaca tekanan atas dan bawah. Kemudian untuk membantu pemanasan pada serbuk saat proses pencetakan dan kompaksi panas alat digunakan adalah *thermocouple*. Cetakan sampel kamps rem berdimensi cincin dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm. Pada tahap proses kompaksi panas hal pertama yang harus dilakukan adalah meletakkan cetakan pada mesin *hydraulic jack* dan kemudian masukkan serbuk kemudian meratakan serbuk sesuai dengan dimensi cetakan dengan merata. Setelah itu cetakan diberi gaya penekanan atas dan penekanan bawah pada mesin *hydraulic jack* dengan variasi tekanan 5200 Psi, 5600 Psi, dan 6000 Psi dengan waktu tahan 10 menit dengan panas yang diberikan alat *thermocouple* dengan suhu 350°C [10]. Setelah selesai melakukan proses kompaksi panas dengan waktu tahan 10 menit diamkan cetakan mendingin dan kemudian keluarkan spesimen dalam cetakan.

Proses sintering merupakan proses perlakuan panas pada setiap spesimen agar ikatan antara partikel matrik dan penguat komposit akan saling berikatan karena adanya proses kimia dan panas. Proses sintering pada penelitian ini menggunakan oven dengan temperatur suhu 600 °C dengan waktu tahan atau *holding time* 10 menit [23]. Kemudian pada saat sudah selesai proses sintering setiap sampel kamps rem didinginkan pada suhu oven.

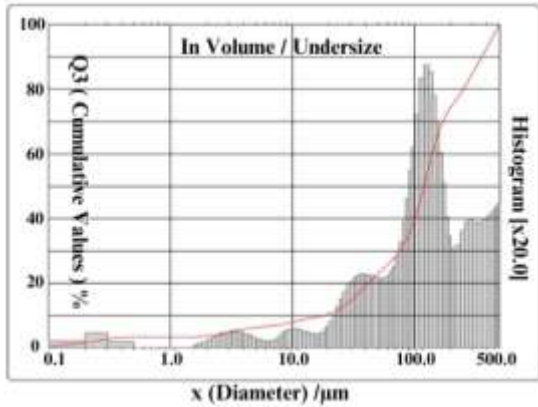
Tahapan selanjutnya adalah proses validasi secara fisik untuk melihat kelayakan sampel kamps rem sebelum melakukan pengujian densitas. Pengamatan secara fisik ini meliputi kepadatan sampel kamps rem harus berbentuk cincin dan terhindar dari pecah dan juga retak yang serius. Apabila sampel kamps rem tidak lolos dalam validasi fisik akan dilakukan pencetakan ulang. Proses terakhir dalam penelitian ini adalah analisis, pembahasan, dan kesimpulan. Sedangkan pengujian kekerasan digunakan uji kekerasan *Hardness Brinell* mengacu pada ASTM E110-14 [24].

3 Hasil dan Pembahasan

Hasil proses *Mechanical Alloying* selama 6 jam ditunjukkan pada uji *Particle Size Analyzer* yang dilakukan pada Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang yang ditunjukkan pada gambar 8, 9 da 10. Level persentase 94% matrik mendapatkan ukuran rata-rata D50:120.41 μm, level 90% matrik mendapatkan ukuran rata-rata D50:118.37 μm, dan level persentase 86% matrik mendapatkan ukuran rata-rata D50:111.67 μm. Hasil PSA keseluruhan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji PSA setelah Pepaduan Mekanik

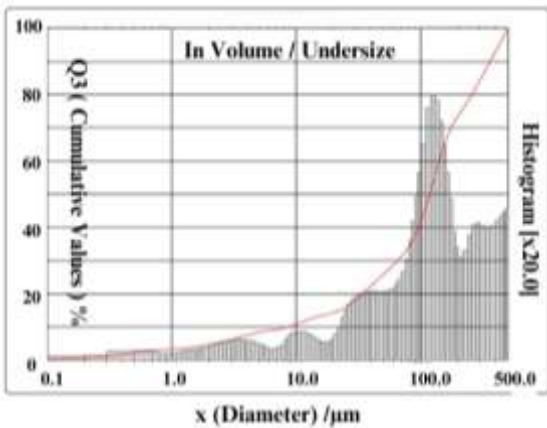
No.	Pepaduan Mekanik Matrik dan Penguat	Ukuran PSA pada D50
1.	Campuran 94% Matrik	120,41 μm
2.	Campuran 90 % Matrik	118,37 μm
3	Campuran 86 % Matrik	111,67 μm



Gambar 8. (PSA) Persentase Matrik 94%



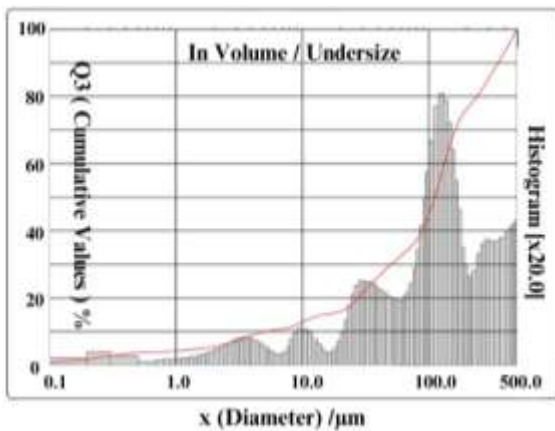
Gambar 11. Sampel kanvas rem AMC



Gambar 9. (PSA) Persentase Matrik 90%.



Gambar 12. Menimbang Sampel Kondisi Kering



Gambar 10. (PSA) Persentase Matrik 86%



Gambar 13. Menimbang Sampel Kondisi Basah

Sampel kanvas rem AMC berdimensi cincin dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm, dengan ketebalan bervariasi sesuai dengan berat serbuk pada saat pencetakan yang terdiri dari masing-masing 25, 35, dan 45 g. Sampel kanvas rem AMC ditunjukkan pada Gambar 11, dengan jumlah sampel sebanyak 27 buah. Sedangkan proses penimbangan kering ditunjukkan Gambar 12, dan penimbangan basah seperti ditunjukkan Gambar 13.

Persamaan dibawah adalah persamaan *Hukum Archimedes*. Yang mana berlaku pada proses memimbang sampel kanvas rem AMC kering dan memimbang sampel kanvas rem AMC basah. Persamaan ini bisa menganalisis nilai densitas dari semua sampel kanvas rem AMC. Pada persamaan ini berturut-turut ρ_m sama dengan densitas actual (gram/cm^3) m_s sama dengan massa sampel kering (gram), m_g sama dengan Massa sampel yang digantung di dalam air (gram), PH_2O sama dengan massa jenis air ($1 \text{ gram}/\text{cm}^3$).

$$\rho_m = \frac{m_s}{m_s - m_g} \rho_{H_2O} \quad (1)$$



Gambar 14. Grafik Nilai Uji Densitas Archimedes

Proses penimbangan dilakukan dua kali, yaitu penimbangan kering dan penimbangan basah. Penimbangan basah digunakan aquades karena memiliki densitas 1 g/cm³. Selanjutnya hasil timbangan tersebut dihitung dengan rumus persamaan (1), dengan jumlah penimbangan sebanyak 3 kali dan kemudian dirata-ratakan. Kemudian, hasil perhitungan pengujian densitas yang mengacu pada standar ASTM B962-17 *Hukum Archimedes ini* [25], dibuat grafiknya, seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Spesimen kampas rem AMC, dengan nilai densitas tertinggi terjadi pada persentase penguat yang terdiri dari pasir silika dan *Boiler-Fly-Ash* dengan persentase 6%, serta dengan penekanan kompaksi panas dua arah 5200 Psi, dengan suhu 350°C mendapatkan nilai densitas 2,256 g/cm³. Sedangkan untuk nilai densitas yang paling rendah terjadi pada persentase penguat yang terdiri dari pasir silika dan *Boiler-Fly-Ash* dengan persentase 14% penekanan kompaksi panas dua arah 5600 Psi dengan suhu 350°C mendapatkan nilai densitas 1,848 g/cm³. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah persentase penguat yang berbeda dan variasi penekanan kompaksi panas dua arah. Semakin banyak persentase penguat maka serbuk pada spesimen kampas rem AMC menggumpal dan ikatan-ikatan antar partikel serbuknya menurun, akibatnya nilai densitasnya relatif kecil [26].

Pengujian kekerasan digunakan indentor berbentuk bola atau Brinell dengan asumsi area bekas pijakan lebih luas dibandingkan metode lainnya, mengingat sampel yang diuji adalah komposit logam aluminium bersifat relatif lunak dan berpori, dengan mengacu pada ASTM E110-14 [24]. Pengujian kekerasan *Portable* seperti ditunjukkan Gambar 15. Sedangkan area luasan hasil jejak proses pengujian kekerasan sebesar 2 kg, yang dikenai indentor terhadap sampel kampas rem AMC, berbentuk setengah lingkaran bola seperti ditunjukkan Gambar 16.



Gambar. 15 Prosedur Uji Kekerasan dan Nilai Kekerasan yang terbaca pada alatnya.

Gambar 16. Hasil Penekanan Alat Uji *Portable*

Proses pengujian kekerasan juga diulang sebanyak 3 kali, dan hasilnya dirata-ratakan. Hasil rata-rata kemudian digrafikkan seperti ditunjukkan pada Gambar 17. Spesimen kampas rem AMC yang memiliki nilai kekerasan tertinggi adalah diperoleh dari sampel dengan persentase penguat yang terdiri dari pasir silika dan *Boiler-Fly-Ash*, dengan persentase 10%, dengan penekanan kompaksi panas dua arah 5600 Psi serta dengan suhu 350°C mendapatkan nilai kekerasan 47,3 HB. Sedangkan untuk nilai kekerasan yang paling rendah terjadi pada persentase penguat yang terdiri dari pasir silika dan *Boiler-Fly-Ash* dengan persentase 10% penekanan kompaksi panas dua arah 6000 Psi dengan suhu 350°C dengan mendapatkan nilai kekerasan 39,4 HB. Keadaan ini terjadi akibat matrik yang terlalu tinggi suhu sinterring 600 °C, sehingga sudah banyak yang mencair akibatnya tidak dapat mengikat lagi. Berdasarkan penelitian Wahyono Suprpto, temperatur yang ideal dari proses perlakuan sinterring adalah pada 70% sampai 80% dari titik leleh serbuk matrik [27]. Sementara itu, terdapat penelitian lain yang menyampaikan bahwa titik leleh dari paduan aluminium silikon (Al-Si) adalah kurang lebih 577 °C [28].



Gambar 17. Hasil Uji Kekerasan Sampel AMC diperkuat Boiler-Fly-Ash dan Pasir Silika.

4 Kesimpulan

Merujuk pada hasil dan pembahasan penelitian di atas, dapat disampaikan bahwa Komposit Matrik Aluminium diperkuat paduan pasir silika dan *Boiler-Fly-Ash* memiliki nilai densitas tertinggi terdapat pada spesimen berpenguat 6%, dengan rata-rata nilai densitas $2,10\text{g/cm}^3$. Sedangkan spesimen dengan nilai densitas terendah terjadi pada spesimen berpenguat 14% dengan nilai densitas $1,90\text{g/cm}^3$. Hal ini terjadi karena semakin banyak penguat semakin rendah densitasnya, terutama BFA yang memiliki densitas kurang dari 2g/cm^3 . Sedangkan nilai kekerasan kampas rem tertinggi diperoleh sampel dengan penguat 10% dengan nilai rata-rata 42,933 HB. Nilai kekerasan terendah terjadi pada sampel dengan penguat 14% dengan rata-rata kekerasannya adalah 41,40 HB. Kondisi ini terjadi dikarenakan serbuk dengan campuran matrik 86% lebih halus, yaitu $D_{50}=111,67\ \mu\text{m}$ dibandingkan dengan persentase matrik 90% $D_{50}:118,37\ \mu\text{m}$, sehingga ketika disintering pada suhu terlalu tinggi, tidak terjadi pengikatan *interlocking* yang sempurna, yang terjadi sebaliknya menggumpal penguatnya, sedangkan matrik yang mulai mecair ketika suhu sintering diterapkan $600\text{ }^\circ\text{C}$ [26]. Dibandingkan dengan peneliti lainnya, hasil penelitian ini dengan kekerasan 42,933 HB masih lebih tinggi dari penelitian Anggeni yang hanya mencapai kekerasan 42,76 HB [6] dan lebih rendah dari penelitian Ricky [4] yang mencapai 43,67 HB. Namun demikian, secara keseluruhan hasil penelitian ini telah mencapai standar SNI 09-0143-1987. yang memiliki interval nilai kekerasan kampas rem motor 29 – 62 HB dan densitas $1,5 - 2,5\text{g/cm}^3$. [29].

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang yang telah melakukan pengujian *Particle Size Analyzer* hasil proses *mechanical alloying*. Kepada Laboratorium Fabrikasi dan Logam dan Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah memfasilitasi dalam pembuatan sampel, pengambilan data, dan pengujian densitas.

Daftar Pustaka

- [1] BPS, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2022," 2022., <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/>
- [2] Alek, Sukanto, I A Wahyudie, dan Husman, "Strengthening Study of Aluminium Matrix Composite with Silica Alloy and Agricultural Waste ($\text{SiO}_2/\text{BA}/\text{RHA}$) for Motorcycle Brake Lining by Powder Metallurgy Methode", *Journal of Mechanical and Energy System (JMES)*, Vol. 1 No. 02 (2024).
- [3] R. Kennedy, E. Surojo, dan W. Wisnu Raharjo, "Studi Karakteristik Kampas Rem Kendaraan Penumpang Tipe Oes (Original Equipment Sparepart) Dan Am (After Market) Pada Dry Dan Wet Sliding," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 18, no. 1, hal. 28–34, 2019. DOI: 10.20961/mechanika.v18i1.35043.
- [4] Irwansyah R, Rodika, A. Wanto, M. Wahyudi, Sukanto W., "Pengaruh Pematatan Dua-arah Penekanan Terhadap Densitas dan Kekerasan AMC diperkuat Serbuk Silikon Dioksida", *Infotekmesin*. 2023; 14(2): 265–7, doi:10.35970/infotekmesin.v14i2.1902.
- [5] M. Rismiani, "Ketahanan Korosi Sistem Lapisan Al dan Nicrsi dengan Metode Thermal Spray," *Repository.Unjkt.Ac.Id*, 2020., Perpustakaan FST (Skripsi) 063 FIS 2020.
- [6] Y. Anggreni, Sugiyarto, A. Rusdy, I. A. Wahyudie, Rodika, Y. Oktriadi, and Sukanto, "Pembuatan Komposit AMC Hybrid Baggase Ash dan Alumina Metode Metalurgi Serbuk," *J. Dinamika*, vol. 8, no. 2, pp. 125–132, 2023, <https://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/Dinamik/article/view/7034>.
- [7] Hasbi F, Sukanto, dan Erwanto "Pengaruh Variasi Fraksi Penguat dan Suhu Sintering AMC terhadap Nilai Densitas dan Kekerasan dengan Penguat $\text{SiO}_2/\text{RHA}/\text{BA}$ ", *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 25–29, Apr. 2025, doi: 10.33019/jm.v11i1.5871
- [8] T. P. Harmi, *Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer*, Septi Budi. 2018., DOI: <https://doi.org/10.21070/2019/978-602-5914-27-0>.
- [9] Asep M, Sugiyarto, Somawardi, Achmad R., dan Sukanto, "Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Panas Terhadap Densitas dan Kekerasan AMC Diperkuat SiO_2 ", *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 1-7. 2023, <https://doi.org/10.33019/jm.v9i1.3606>.
- [10] Ilham B., M. Subhan, dan Sukanto, "Turbo Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi dan Fraksi Penguat terhadap sifat kekerasan dan densitas pada Karakteristik AMC", *TURBO: Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, Vol. 14 No. 01. 2025, <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v14i1.3955>.
- [11] M. A. Sultan, I. Imran, dan M. Faujan, "Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batubara (Fly Ash) Ex PLTU Rum Pada Campuran Beton," *Teras J.*, vol. 9, no. 2, hal. 83, 2019. DOI:<http://dx.doi.org/10.29103/tj.v9i2.186>.
- [12] S. Ahnuriza, "Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Fly Ash Kelapa Sawit Terhadap Filtration Loss Dan Free Water Pada Semen Pemboran Kelas G," hal. 10–48, 2019.
- [13] Syahrizal M.R, Erwansyah, Sukanto, A Budi, dan A Wanto, "AMC Brake Pad Engineering: The Role of Reinforcement, Silica Sand, and Boiler-Fly-Ash on Friction Coefficient and Density", *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, Volume 11, Issue 01, April 2025, page 28 – 33, DOI: <http://dx.doi.org/10.62870/fwl.v11i1.34298>.
- [14] Aniek Sri Handayani, "Pengembangan Produk Silika Nano Partikel Berbasis Abu Boiler Cangkang Sawit (Palm Kernel Shell Ash) Untuk Aplikasi Biomedik," hal.

- 116–117, 2023. <http://repository.iti.ac.id/jspui/handle/123456789/1963>.
- [15] Arfandi, A., Arjuna, A., Ibrahim, M. M., & Sateria, A. (2022). "Peningkatan Kinerja Mesin Pencacah Brondolan Sawit," *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 2(02), 293–296, 2022, <http://www.snitt.polman-babel.ac.id/index.php/snitt/article/view/347>.
- [16] Susanti, N., Simbolon, J. B., Sembiring, S., dan Manurung, P., "Pengaruh Perlakuan Termal Terhadap Karakteristik Aspal Komposit Berbasis Silika Sekam Padi," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 8, no. 1, hal. 120–126, 2020., <https://doi.org/10.23960/jtaf.v8i1.244>.
- [17] Budi Saputra, "Pengaruh Pengulangan Penyemprotan Dan Ukuran Pasir Silika Pada Proses Sand blasting Terhadap Kekerasan Permukaan Baja SS400," Skripsi-Teknik Mesin – Universitas Islam Pekanbaru, 2020.
- [18] D. Haryadi, I. Ibrahim, and D. Darwance, "Dinamika Migrasi dan Tantangan Reklamasi: Studi Kasus pada Komunitas Tambang Timah di Bangka Belitung," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 23, no. 1, pp. 218-227, Jan. 2025. <https://doi.org/10.14710/jil.23.1.218-227>.
- [19] Ararya, A. C., Sulistiono, D. O., dan Adityo, A., "Analisis Pengujian Kampas Rem Berbahan Komposit Sabut Kelapa Dan Tempurung Kelapa Terhadap Laju Keausan Dan Uji Kekerasan", *Jurnal Teknik Terapan*, th 2024. 3(2), 48–53. <https://jteta.polije.ac.id/index.php/publikasi/article/view/40>.
- [20] Izeddin A.H., M. Lutfillah K., dan R.F. Rudian, Uji Densitas dan Porositas pada Batuan dengan Menggunakan Neraca O Houss dan Neraca Pegas., Berita online, 2020, diakses Juli 2025, Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh November.
- [21] 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. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i10.9208>.
- [22] Sukanto, Wahyono Suprpto, Soenoko R, Yudy Surya Irawan, "The effect of milling time on the alumina phase transformation in the AMCs powder metallurgy reinforced by silica-sand-tailings", *Eureka: Physics and Engineering*. Januari 2022, Vol.10;(1):103–17. <http://journal.eu-jr.eu/engineering/article/view/1906>.
- [23] Heru S., Pengaruh Beban Kompaksi dan Suhu Sintering terhadap Densitas dan sifat Mekanik Alumnium Water Atomized, *Majalah Ilmiah Mekanika* 49, Vol 17, No. 2 Sept 2018, Universitas Sebelas Maret Surakarta, herusukanto@staff.uns.ac.id.
- [24] ASTM E110-14, 2015, Standard Test Method for Rockwell and Brinell Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers, ASTM B. Stand., pp. 4–8, doi: 10.1520/E0110 14.2xx.
- [25] ASTM, I. "Standard Test Methods for Density of Compacted or Sintered Powder Metallurgy (PM) Products Using Archimedes' Principle", ASTM B962 17., 2023. [tps://store.astm.org/standards/b962](https://store.astm.org/standards/b962).
- [26] Sukanto, Soenoko R, Suprpto W, Irawan YS. Characterization of aluminium matrix composite of Al-ZnSiFeCuMg alloy reinforced with silica sand tailings particles. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*. 2020 Sep 30;14(3):7094–108. Available from: <https://journal.ump.edu.my/jmes/article/view/2867/873>.
- [27] Suprpto W, Soenoko R. Teknologi Metalurgi Serbuk. Online Public Access Catalog - Perpunas RI [Internet]. 2017. [digilib.ub.ac.id.](https://digilib.ub.ac.id), disitasi Juni 2025, tersedia online, <https://digilib.ub.ac.id/opac/detail-opac?id=80211>.
- [28] Alviandra S., Jumiadi dan Mardjuki, "Pengaruh Penambahan Unsur Paduan Magnesium Pada Al-Si Menggunakan Dapur Krusibel Terhadap Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro," 2017, *Transmisi*, Vol-13-Edisi2/Hal 217-226.
- [29] SNI 09-0143-1987. (1987). Kampas rem kendaraan bermotor Klasifikasi, dimensi dan koefisien gesek., <https://www.scribd.com/document/425491959/SNI-09-0143-1987>.