

# Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi dan Fraksi Penguat terhadap Sifat Kekerasan dan Densitas pada Karakteristik AMC

Barokah Ilham<sup>1</sup>, Muhammad Subhan<sup>2</sup>, Sukanto<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Prodi DIV Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung  
Kawasan Industri Airkantung Sungailiat, Bangka-33211, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung  
Kawasan Industri Airkantung Sungailiat, Bangka-33211, Indonesia

\*Corresponding author: [sukanto@polman-babel.ac.id](mailto:sukanto@polman-babel.ac.id)

## Abstract

*The use of asbestos in the production of brake pads is known to pose health risks, necessitating environmentally friendly innovations. This study aims to evaluate the effects of the percentage of reinforcement and hot compaction pressure on the density and hardness properties. Composites were produced using the powder metallurgy method, which involves grinding recycled aluminum powder, silica sand, and boiler fly ash with a ball mill. The process parameters used were a Ball Powder Weight Ratio (BPR) of 10:1, a rotation speed of 90 rpm, and a grinding time of 6 hours, with varying reinforcement percentages of 8%, 12%, and 16%. The compaction process was performed using bidirectional pressing with varying pressures of 5000, 5400, and 5800 PSI at a temperature of 350°C, with a holding time of 10 minutes. The sintering process was conducted at a temperature of 600°C with a holding time of 10 minutes. Testing was carried out using density tests in accordance with ASTM B962-17 and portable Brinell hardness tests in accordance with ASTM E110-14. The test results showed that an increase in the percentage of reinforcement and hot compaction pressure improved the density and hardness of the composite. The highest density obtained was 2.262 g/cm<sup>3</sup>, while the highest hardness reached 49.2 HB at a reinforcement percentage of 16% with a compaction pressure of 5800 PSI.*

**Keywords:** powder metallurgy, asbestos, brake pads, silica sand, boiler fly-ash.

## Abstrak

Penggunaan asbestos dalam pembuatan kampas rem diketahui membahayakan kesehatan, sehingga diperlukan inovasi ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh persentase penguat dan tekanan kompaksi panas terhadap sifat densitas dan kekerasan. Komposit dibuat menggunakan metode metalurgi serbuk, yang meliputi penggilingan serbuk aluminium daur ulang, pasir silika, dan boiler fly ash dengan mesin ball mill. Parameter proses yang digunakan adalah Ball Powder Weight Ratio (BPR) 10:1, kecepatan putar 90 rpm, dan waktu penggilingan selama 6 jam dengan variasi persentase penguat sebesar 8%, 12%, dan 16%. Proses kompaksi dilakukan dengan dua arah penekanan, menggunakan variasi tekanan sebesar 5000, 5400, dan 5800 PSI pada suhu 350°C, dengan waktu penahanan selama 10 menit. Proses sintering dilakukan pada suhu 600°C dengan waktu tahanan selama 10 menit. Pengujian dilakukan dengan metode uji densitas sesuai ASTM B962-17 dan uji kekerasan Brinell portable sesuai ASTM E110-14. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan persentase penguat dan tekanan kompaksi panas meningkatkan densitas dan kekerasan komposit. Nilai densitas tertinggi yang diperoleh adalah 2,262 g/cm<sup>3</sup>, sementara nilai kekerasan tertinggi mencapai 49,2 HB pada persentase penguat 16% dengan tekanan kompaksi 5800 PSI.

**Kata kunci:** metalurgi serbuk, asbestos, kampas rem, pasir silika, boiler fly-ash.

## 1. Pendahuluan

Industri otomotif Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang signifikan. Dengan peningkatan jumlah dan variasi jenis serta merek kendaraan bermotor, permintaan akan suku cadang otomotif, termasuk kampas rem, semakin meningkat [1]. Kampas rem pada kendaraan bermotor memiliki peran vital dalam pengendalian, bertujuan untuk mengurangi kecepatan kendaraan dengan aman dan nyaman.

Asbestos masih merupakan serat utama sekitar 60% dari bahan kampas rem saat ini dengan tambahan bahan lain seperti resin, serpihan logam, bahan aditif gesekan, bahan pengisi, karet sintetis, dan keramik [2]. Pada tahun 1986, Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (EPA) mengumumkan larangan penggunaan serat asbestos dalam kampas rem kendaraan bermotor. Penelitian medis menegaskan bahwa penggunaan kampas rem yang mengandung serat asbestos berisiko bagi

kesehatan, menyebabkan kanker paru paru dan gangguan pernapasan. EPA juga menerapkan kebijakan yang mewajibkan produsen kampas rem *aftermarket* untuk menggunakan yang tidak mengandung asbestos [3].

Kampas rem non-asbestos mulai diperkenalkan pada sekitar tahun 2000-an sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Meskipun demikian, kampas rem jenis ini memiliki harga yang relatif tinggi, sekitar dua kali lipat lebih mahal dari pada kampas rem asbestos [4]. Karena itu, diperlukan solusi baru untuk mengatasi kebutuhan akan bahan tersebut. Salah satu alternatif yang sedang banyak dikembangkan saat ini adalah komposit dengan matriks aluminium [5]. Aluminium banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti industri pesawat terbang, otomotif, dan konstruksi karena memiliki sifat tahan korosi, aus dan koefisien pemuaian yang rendah [6].

Pasir silika ( $\text{SiO}_2$ ) adalah sebuah mineral alami yang memiliki rumus molekul ( $\text{SiO}_2$ ) atau dikenal juga sebagai silikon dioksida [7]. Pasir silika dibuat oleh mineral atau logam yang mengandung silika, yang sering digunakan di bidang metalurgi [8]. Sifat sifat silika ( $\text{SiO}_2$ ) termasuk kekakuan, kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan termal yang tinggi [9]. Pelindian pasir silika dapat menghasilkan produk kimia dengan komposisi 98,75%  $\text{SiO}_2$ , 0,079%  $\text{TiO}_2$ , 0,054%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,389%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan 0,25% LOI [10]. Pada penelitian ini pasir silika yang digunakan dihasilkan dari limbah timah yaitu, Tailing timah sisa tanah halus dari 125.875 hektar bekas tambang timah di Pulau Bangka Belitung, mencakup sekitar 64.255 hektar [11]. Dengan mengolahnya menjadi material nano-silika melalui proses penggilingan menggunakan *crusher* dan *ball mill*, potensi ekonomi pasir silika ini dapat ditingkatkan.

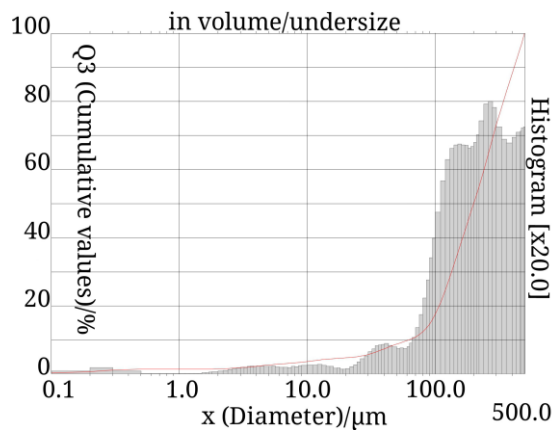
Indonesia memiliki 14,996 juta hektar kebun kelapa sawit, menghasilkan limbah cangkang sawit yang melimpah hingga 9,375 juta ton per tahun [12]. Limbah ini sebagian besar dimanfaatkan oleh pabrik kelapa sawit (PKS), di mana serat dan

cangkang kelapa sawit digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap [13]. Proses pembakaran tersebut menghasilkan limbah padat utama berupa *fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar) [14]. *Fly ash* dari cangkang sawit mengandung komponen utama  $\text{SiO}_2$  dan memiliki sifat *pozzolanic* serta reaktif yang baik dan memungkinkannya bereaksi terhadap bahan yang kaku dan keras, abu ini cukup ideal untuk digunakan sebagai bahan komposit [15]. Dalam konteks penelitian ini, boiler *fly ash* digunakan sebagai bahan tambahan penguat dalam pembuatan komposit matriks aluminium, bersama dengan pasir silika tailing timah. Dengan demikian, diharapkan dapat tercipta solusi inovatif dan berkelanjutan dalam mengelola limbah industri timah dan kelapa sawit di Indonesia, sambil menciptakan produk yang ramah lingkungan. Sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan material baru dengan berbasis pada komposit matriks aluminium berpenguat paduan pasir silika tailing dan *boiler fly ash* sawit untuk rem gesek yang tidak menggunakan asbestos (*non-asbestos*) yang ramah lingkungan.

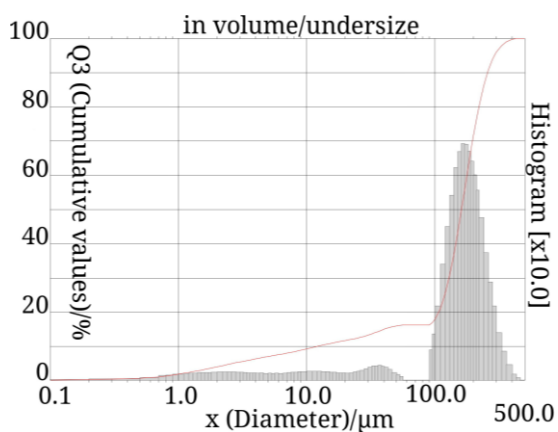
## 2. Metode Penelitian

Matriks pada penelitian ini menggunakan serbuk Aluminium daur ulang dengan ukuran *Particle Size Analyzer* D50:282,53  $\mu\text{m}$ , yang ditunjukkan pada Gambar 1., dari hasil pengujian komposisi kimia di Laboratorium Logam Ceper. Serbuk ini memiliki komposisi senyawa yang terdiri dari 83,4% Al, 10,09% Si dan 2,6% Cu( $\text{FeO}_2$ ). Sedangkan penguat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir silika dari limbah tailing timah yang ada di kepulauan Bangka Belitung dengan distribusi ukuran serbuk D50:164  $\mu\text{m}$  yang ditunjukkan pada Gambar 2. dan boiler *fly-ash*, dari limbah kelapa sawit yang di dapatkan dari PT. Tata Hambaran Eka Persada Kabupaten Bangka, serbuk ini memiliki ukuran *Particle Size Analyzer* D50:155,63  $\mu\text{m}$  ditunjukkan pada Gambar

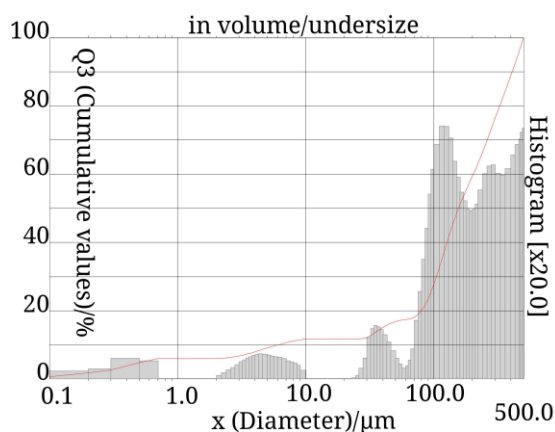
3. Sedangkan secara fisik, ketiga serbuk tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 1. Grafik *particle size analyzer* aluminium



Gambar 2. Grafik *particle size analyzer* pasir silika



Gambar 3. Grafik *particle size analyzer* serbuk boiler fly-ash

Proses pembuatan spesimen uji pada penelitian ini menggunakan metode metalurgi serbuk dengan meliputi; proses penggilingan serbuk, proses kompaksi panas dengan pemadatan dua arah, dan proses

sintering. Dalam proses penggilingan serbuk dilakukan menggunakan mesin *horizontal ball mill* dengan kecepatan 90 rpm dan waktu penggilingan selama 6 jam. Rasio berat bola terhadap serbuk adalah 10:1. Metode yang digunakan adalah *mechanical alloying* untuk menghasilkan serbuk yang lebih halus. Penggilingan dilakukan sebanyak 3 kali dengan persentase penguat 8%, 12% dan 16%.



Gambar 4. Serbuk matrik dan penguat

Proses kompaksi panas dilakukan untuk mengompres serbuk yang akan digunakan. Metode ini menggunakan alat hidraulik yang terdiri dari dua penekanan, yaitu penekanan atas dan penekanan bawah, serta dilengkapi dengan *pressure gauge*. *Thermocouple* digunakan untuk memanaskan serbuk selama proses pemadatan panas. Cetakan diletakkan pada *thermocouple*, dan serbuk dimasukkan ke dalam cetakan secara merata. Untuk memadatkan serbuk, besi yang berbentuk cincin dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan menggunakan alat hidraulik dengan penekanan dua arah. Tekanan kompaksi panas divariasikan selama 10 menit, masing-masing pada 5000 psi, 5400 psi, dan 5800 psi, dengan suhu 350°C. Setelah proses selesai, cetakan didinginkan dan sampel dikeluarkan.

Setelah proses kompaksi panas, sampel yang telah dicetak disiapkan dan dimasukkan ke dalam *furnace*. Sampel dipanaskan hingga mencapai suhu 600°C selama proses pemanasan dan dibiarkan dalam kondisi ini selama 10 menit (waktu penahanan). Setelah proses selesai, sampel

didinginkan secara perlahan di dalam *furnace* untuk menghindari retak atau pecah pada sampel karena kejutan suhu.

Pengujian kekerasan dan densitas dilakukan kurang lebih 20 hari setelah proses kompaksi panas dan sintering untuk mendapatkan sampel yang relatif stabil [16]. Pengujian kekerasan menggunakan alat uji *brinell portable* dengan diameter bola indenter 2 mm dan beban tekanan 2 kg, mengikuti standar ASTM E110-14. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur ketahanan permukaan sampel komposit Al/SiO<sub>2</sub>/BFA terhadap penetrator, sesuai dengan persyaratan standar ASTM E110-14 yang menetapkan tebal minimal sampel 1 mm [17].

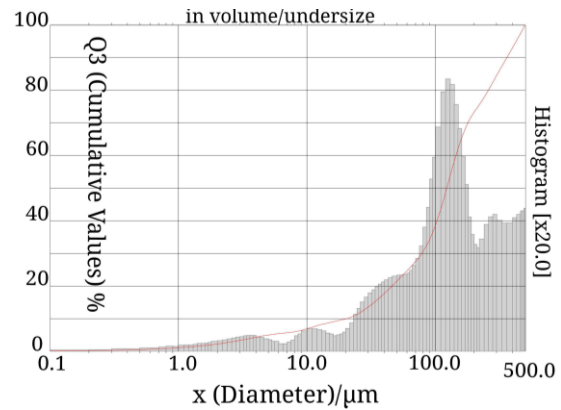
Pengujian densitas pada penelitian ini menerapkan standar ASTM B962-17 mengacu pada prinsip archimedes [18]. Pengujian ini dilakukan dengan cara menimbang berat sampel pada udara (M<sub>s</sub>) dan di air (M<sub>g</sub>) dengan menggunakan wadah yang berisikan aquadest. maka persentase porositas (γ%) dari AMC ditentukan menggunakan persamaan (1) [16].

$$\rho m = \frac{m_s}{(m_s - m_g)} \rho H_2O \dots \dots \dots (1)$$

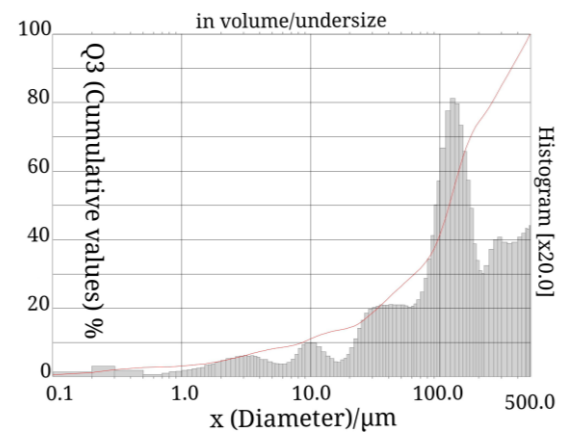
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### a. Hasil Pencampuran

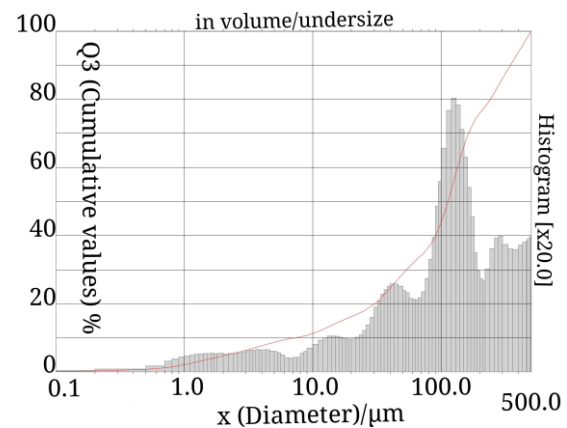
Dalam proses pencampuran mekanik ini, terjadi penggerusan dan pencampuran secara simultan. Waktu pencampuran mekanik yang dilakukan selama 6 jam metode ini menghasilkan campuran dengan ukuran serbuk yang lebih kecil daripada ukuran sebelum pencampuran. hasil uji *Particle Size Analyzer* terhadap ukuran serbuk campuran setelah proses pemaduan mekanik. Untuk persentase penguat 92%, memiliki ukuran partikel D50: 122 μm, seperti ditunjukkan pada Gambar 5, sementara untuk persentase penguat 88% memiliki ukuran D50: 117 μm, seperti ditunjukkan pada Gambar 6, dan persentase penguat 84% menunjukkan ukuran partikel D50: 112 μm, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Grafik particle size analyzer dengan persentase penguat 92%.



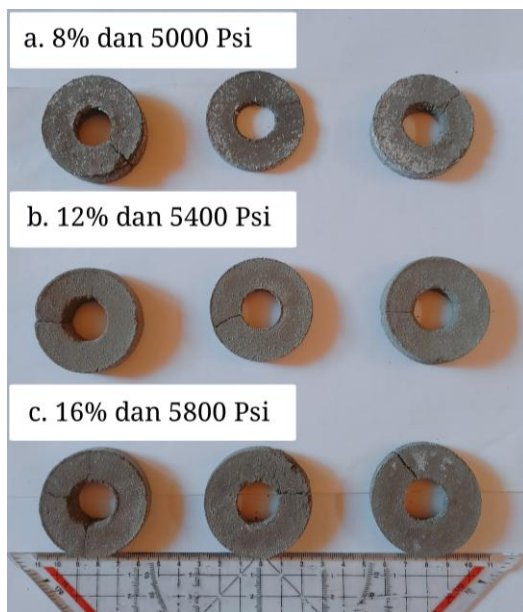
Gambar 6. Grafik particle size analyzer dengan persentase penguat 88%.



Gambar 7. Grafik particle size analyzer dengan persentase penguat 84%.

Pada penelitian ini sampel berbentuk cincin dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm. sampel di cetak sebanyak 27 sampel yang merupakan hasil perhitungan *full factorial* dengan 2 faktor dan 3 level, yaitu faktor persentase penguat tiga level (8%,12% dan 16%) dan faktor

tekanan kompaksi panas tiga level (5000 Psi, 5400 Psi dan 5800 Psi). Secara Fisik, hasil foto dengan perangkat gadget untuk sembilah sampel tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 8. sebagai hasil kombinasi antara variasi presentase berat penguat dan tekanan kompaksi. Persentasi berat diterapkan dalam penelitian ini karena masing-masing Penguat memiliki densitas yang relatif sama yaitu kurang dari 2,5 g/Cm<sup>3</sup>. Sedangkan kompaksi atau proses penekanan dilakukan dari dua arah penekanan diharapkan posisi kritis sampel berada dipusat massa sampel atau di tengah-tengah.



Gambar 8. Sampel Penelitian

#### b. Pengujian kekerasan dan densitas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai densitas dan nilai kekerasan pada sampel komposit matrik aluminium yang diperkuat boiler *fly-ash* dan pasir siika yang dipengaruhi oleh variasi persentase penguat dan tekanan kompaksi panas. Pengujian ini dilakukan setelah melakukan sintering pada sampel. Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan rumus persamaan (1) atau menggunakan prinsip arcimedes dimana dilakukan penimbangan diudara atau ditimbang kering dan ditimbang basah [19, 20]. Penimbangan basah digunakan aquades

yang memiliki densitas 1 kg/liter. Hasil dihitung dan dikalikan dengan densitas aquades. Selanjutnya, hasil perhitungkan digrafikkan seperti tampak pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik uji densitas setelah sintering

Sebagaimana telah diungkapkan pada metode penelitian, bahwa pengujian kekerasan digunakan alat uji *brinell portable* dengan diameter bola indentor 2 mm dan beban tekanan 2 kg, mengikuti standar ASTM E110-14 [21, 22, 23]. Metode ini digunakan karena lebih sesuai untuk material komposit, dimana bidang penetrasinya lebih besar karena berbentuk bola. Grafik uji kekerasan sampel ini setelah sintering seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik uji kekerasan setelah sintering

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan data dan analisa yang telah dilakukan, variasi tekanan kompaksi panas dan persentase penguat memiliki

pengaruh terhadap densitas dan kekerasan AMC, semakin tinggi tekanan kompaksi dan persentase penguat maka nilai densitas dan kekerasan juga meningkat, nilai densitas dan kekerasan tertinggi didapatkan pada tekanan kompaksi panas 5800 Psi dengan persentase penguat 16% sebesar 2,262 g/cm<sup>3</sup> dan 49,2 HB. Sedangkan nilai densitas terendah didapatkan pada tekanan kompaksi panas 5000 Psi dengan persentase penguat 16% sebesar 1,766 g/cm<sup>3</sup> dan nilai kekerasan terendah didapatkan pada tekanan kompaksi panas 5000 Psi dengan persentase penguat 12% sebesar 37,9 HB.

## Referensi

- [1] R. Kennedy, E. Surojo, dan W. Wisnu Raharjo, “Studi Karakteristik Kampas Rem Kendaraan Penumpang Type Oes (Original Equipment Sparepart) Dan Am (After Market) Pada Dry Dan Wet Sliding,” *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 18, no. 1, pp. 28–34, 2019, doi: 10.20961/mekanika.v18i1.35043.
- [2] Sugiyarto, Somowardi, Sukanto, Yuliyanto, dan M. Asep, “Efek Tekanan Kompaksi dan Suhu Sintering terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Matrik Aluminium diperkuat Silika Tailing,” *Turbo*, vol. 12, no. 02, 2023.
- [3] P. J. Blau, “Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives,” *Energy*, vol. 27, no. September, p. 38, 2001, [Online]. Available: [http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti\\_id=788356](http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=788356)
- [4] M. Perdana, M. E. Putra, H. Putra, M. Al Ikram, dan A. Meidianda, “Karakteristik Komposit Cangkang Kelapa Sawit / Alumina / Epoksi sebagai Material Kampas Rem Sepeda Motor Characteristics of Palm Kernel Shell / Alumina / Epoxy Composites as Motorcycle Brake Pad Material,” vol. 13, no. 1, pp. 13–18, 2023.
- [5] B. Widodo dan A. Subardi, “Pengujian sifat mekanik dan struktur mikro aluminium matrix composite ( AMC ) berpenguat partikel silikon karbida ( SiC ) dan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>),” *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.*, pp. 295–303, 2019.
- [6] T. Surdia dan S. Saito, “Pengetahuan Bahan Teknik,” 1985.
- [7] F. Bintang Pradana, D. Sulistyorini, dan M. A. Shulhan, “Pengaruh Pasir Silica Pada Persentase 0%, 50% Dan 100% Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton,” *J. Surya Bet.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–6, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.umpwr.ac.id/index.php/suryabeton>
- [8] A. S. Adi, “Analisa Penggunaan Pasir Silika Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton,” *J. Ris. Pembang.*, vol. 1, no. 1, p. 36, 2018, doi: 10.36087/jrp.v1i1.25.
- [9] H. A. Prasetya, “Untuk Pembuatan Kampas Rem Menggunakan Bahan Karet Alam Use of Silica Nano Rice Husk for Asbestos Substitution on Motor,” pp. 153–162, 2016.
- [10] A. Wahyudi dan D. Amalia, “Preparation of Nano Silica from Silica-Sand Trough Alkali Fusion Process”, *Indones. Min. J.*, vol. 16, no. 3, pp. 149–153, 2013.
- [11] N. Sukarman dan R. A. Gani, “Lahan Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka dan Belitung, Indonesia dan Kesesuaiannya untuk Komoditas Pertanian (Ex-mining land in Bangka and Belitung Islands, Indonesia and their suitability for agricultural commodities),” *J. Tanah dan Iklim*, vol. 41, no. 2, p. 101, 2020, doi: 10.21082/jti.v41n2.2017.101-114.
- [12] Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit, “Grant Riset Sawit,” pp. 5–24, 2023.
- [13] H. Oktavianty, “Sintesis Zeolit X dari Fly Ash Boiler Pabrik Kelapa Sawit sebagai Adsorben Pemurnian

- Biodiesel,” *Sang Pencerah J. Ilm. Univ. Muhammadiyah But.*, vol. 8, no. 2, pp. 430–443, 2022, doi: 10.35326/pencerah.v8i2.1938.
- [14] F. Rahman, G. Hidayat, dan N. Bertiani, “Dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Semen,” *Info Tek.*, vol. 21, no. 2, pp. 227–242, 2020.
- [15] B. P. Simanjorang, Syahrul Abda, Ikhwanisyah Isranuri, Bustami Syam, dan M. Sabri, “Pembuatan Dan Analisa Sifat Mekanik Komposit Dengan Penguat Abu ( Fly Ash ) Cangkang Sawit Untuk Bahan Kampas Rem Sepeda Motor,” *Dinamis*, vol. 5, no. 1, pp. 42–50, 2017, doi: 10.32734/dinamis.v5i1.7041.
- [16] Sukanto, W. Suprpto, R. Soenoko, and Y. S. Irawan, “The Effect of Milling Time on The Alumina Phase Transformation in The AMCs Powder Metallurgy Reinforced by Silca-Sand-Tailing”, ,” *EUREKA, Phys. Eng.*, no. 1, pp. 103–117, 2022, doi: 10.21303/2461-4262.2022.001906.
- [17] ASTM E10-15, “Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials,” *ASTM Int.*, vol. i, no. June, pp. 1–36, 2012, doi: 10.1520/E0110-14R23.1.
- [18] ASTM-C127, “Standard Test Methods for iTeh Standards iTeh Standards or to indicate the Preview,” vol. i, pp. 1–4, 2015, doi: 10.1520/B0962-17.2.
- [19] Sukanto, R. Soenoko, W. Suprpto, & Y.S. Irawan, "Characterization of aluminium matrix composite of Al-ZnSiFeCuMg alloy reinforced with silica sand tailings particles. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*", Vol. 14, No. 3, Hal.7094–7108. <https://journal.ump.edu.my/jmes/article/view/2867/873>
- [20] Sukanto, I.A,Wahyudie, Erwanto, Y.Oktriadi, Rodika, R,Irwansyah, Husman, D.D,Saputra, dan H.T.Algaza, “Fabrication of Aluminium Matrix Composite Powder Reinforced with Silicon Dioxide Tailings for Non-Asbestos Brake Pads (NOB)”, *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, Vol.10, Issue 10, pg. 7696-7704. tahun 2024, <https://jppipa.unram.ac.id/index.php/jppipa/article/view/9208>
- [21] H. N. Ridani, Sukanto dan Rodika , “Kajian Komposit Matrik Alumunium Untuk Kampas Rem Sepeda Motor Diperkuat Pasir Silika Hibrid (SiO<sub>2</sub>/BA/RHA) Dengan Metode Metalurgi Serbuk”, *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, Vol. 03, No.1, pg. 36-42, tahun 2025, <https://doi.org/10.33504/jitt.v3i1.245>.
- [22]. F. Hasbi, Sukanto dan Erwanto, "Pengaruh Variasi Fraksi Penguat dan Suhu Sintering AMC terhadap Nilai Densitas dan Kekerasan dengan Penguat SiO<sub>2</sub>/RHA/BA, *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, Vol.11, No.1, pg.25-29, tahun 2025. <https://journal.ubb.ac.id/machine/article/view/5871>
- [23] A.F. Rahman, Rodika, A. Budi, dan Sukanto, “Kajian Komposit Matrik Aluminium Pada Pembuatan Kampas Rem Sepeda Motor Diperkuat Alumina Hybird (AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RHA/BA )Dengan Metode Metalurgi Serbuk”, Vol.9, No.2, Hal.63-70, tahun 2024, <https://doi.org/10.33387/dinamik.v9i2.9250>.