

# *The Effect of Volume Fraction of Fiber and Particles of Betung Bamboo on Composite Abrasion*

Zaid Sulaiman<sup>1</sup>, Muhammad Yunus<sup>2</sup>, Dani Mardiyana<sup>3</sup>, Aryan Deeva Priyana<sup>4</sup>, Fabrobi Fazlur Ridha<sup>6</sup>

<sup>1,3,4,5,6</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra

Jl. Raya Cibolang Cisaat - Sukabumi No.21, Cibolang Kaler, Kec. Cisaat, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat 43152

<sup>2</sup>Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Gatot Subroto No.10, RT.6/RW.1, Kuningan Bar., Kec. Mampang Prpt., Kota Jakarta Selatan, Jakarta 12710

zaid.sulaiman@nusaputra.ac.id

---

---

## Abstrak

Pengereman adalah sistem vital dalam transportasi, dengan kampas rem sebagai salah satu komponen utamanya. Sebagian besar kampas rem saat ini masih menggunakan asbestos, material yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan bahan alternatif yang aman dan ramah lingkungan untuk menggantikan asbestos pada kampas rem. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk penguat serat dan partikel terhadap ketahanan abrasif pada komposit serat alam. Pada penelitian kali ini penguat yang digunakan terdapat 2 bentuk, yaitu bentuk serat dan bentuk partikel. Kemudian menambahkan barium sulfat, grafit dan vermikulat, alumina, dan silikon karbida untuk pengisinya serta matriks yang digunakan adalah resin phenolic. Selain itu serat dilakukan perlakuan kalium permanganate untuk meningkatkan sifat abrasifnya. Proses pembuatan menggunakan proses *compression moulding* dan diuji menggunakan pengujian densitas kekerasan dan abrasive. Hasil pengujian menunjukkan densitas dan kekerasan tertinggi terjadi pada fraksi volume partikel dan seratnya sama, yaitu masing-masing 15%. Pada komposisi yang sama, komposit memiliki ketahanan abrasif yang paling tinggi dibandingkan komposisi lainnya. Hal ini menunjukkan pada 15% partikel dan 15% serat bambu betung, kedua penguatnya bekerja secara sinergis sehingga menghasilkan sifat-sifat material yang optimal dibandingkan presentase lainnya.

**Kata kunci:** Kampas Rem, Alternatif Asbes, Komposit Serat Alami, Ketahanan Abrasif, Proses Pencetakan Kompresi

## Abstract

*Braking is a vital system in transportation, with brake pads as one of its main components. Most brake pads currently still use asbestos, a material that is hazardous to health and the environment. Therefore, safe and environmentally friendly alternative materials are needed to replace asbestos in brake pads. This study aims to determine the effect of fiber and particle reinforcement forms on the abrasive resistance of natural fiber composites. In this study, the reinforcement used was in 2 forms, namely fiber form and particle form. Then added barium sulfate, graphite and vermiculate, alumina, and silicon carbide for fillers and the matrix used was phenolic resin. In addition, the fiber was treated with potassium permanganate to increase its abrasive properties. The manufacturing process uses a compression molding process and is tested using density, hardness and abrasive testing. The test results show that the highest density and hardness occur at the same particle and fiber volume fractions, which are 15% each. At the same composition, the composite has the highest abrasive resistance compared to other compositions. This shows that at 15% particles and 15% bamboo fiber, both reinforcements work synergistically to produce optimal material properties compared to other percentages.*

**Keywords:** Brake Pads, Asbestos Alternatives, Natural Fiber Composites, Abrasive Resistance, Compression Molding Process

---

---

## I. PENDAHULUAN

Kampas rem merupakan salah satu komponen penting yang berfungsi untuk memperlambat dan

menghentikan kendaraan dengan aman melalui mekanisme gesekan. Material kampas rem tradisional yang umumnya terbuat dari asbestos dipilih karena sifatnya yang tahan panas dan aus. Namun, asbestos diketahui memiliki dampak buruk

terhadap kesehatan karena sifat karsinogenik [1]. Oleh karena itu, upaya untuk menemukan material pengganti asbestos yang aman dan ramah lingkungan terus dilakukan. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah penggunaan komposit berbasis serat alam.

Penelitian komposit dengan serat alam sebagai kampas rem sudah banyak dilakukan [2]. Akan tetapi masih banyak komposit serat alam yang belum sesuai dengan standar sistem pengereman. Menurut SAE J661, kampas rem harus memiliki kekerasan antara 68 – 105 Rockwell R, koefisien gesek 0,14 dan 0,27 dan nilai keausan pada kondisi normal adalah  $5 \times 10^{-4}$  hingga  $5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{Kg}$  [3].

Beberapa penelitian terkait penggunaan serat alam untuk kampas rem telah dilakukan. Kholil et. al. (2021) meneliti komposit berbasis serat kelapa dan serbuk kayu, yang menunjukkan potensi besar serat alam sebagai pengganti asbestos. Namun, tantangan masih ada pada pencapaian keseimbangan sifat mekanik, terutama koefisien gesek dan nilai keausan [1]. Talib et. al. (2016) menggunakan serat bambu dalam komposit semi-logam untuk aplikasi otomotif. Hasilnya menunjukkan peningkatan kekerasan material, tetapi koefisien gesek masih di bawah standar [4]. Demikian pula, Sunardi et al. (2023) mengoptimasi penggunaan cangkang telur sebagai pengisi bersama serat bambu. Meskipun lebih ramah lingkungan, sifat tribologi material masih perlu diperbaiki [5].

Secara umum, seperti disimpulkan oleh Parikh et. al. (2023), serat alam memiliki keunggulan sifat mekanis dan ramah lingkungan, tetapi kinerjanya dalam aplikasi tribologi masih belum konsisten [2]. Maka dari itu penting untuk menemukan komposisi yang tepat agar dapat membuat kampas rem yang ramah lingkungan serta memenuhi standar penggunaan pengereman.

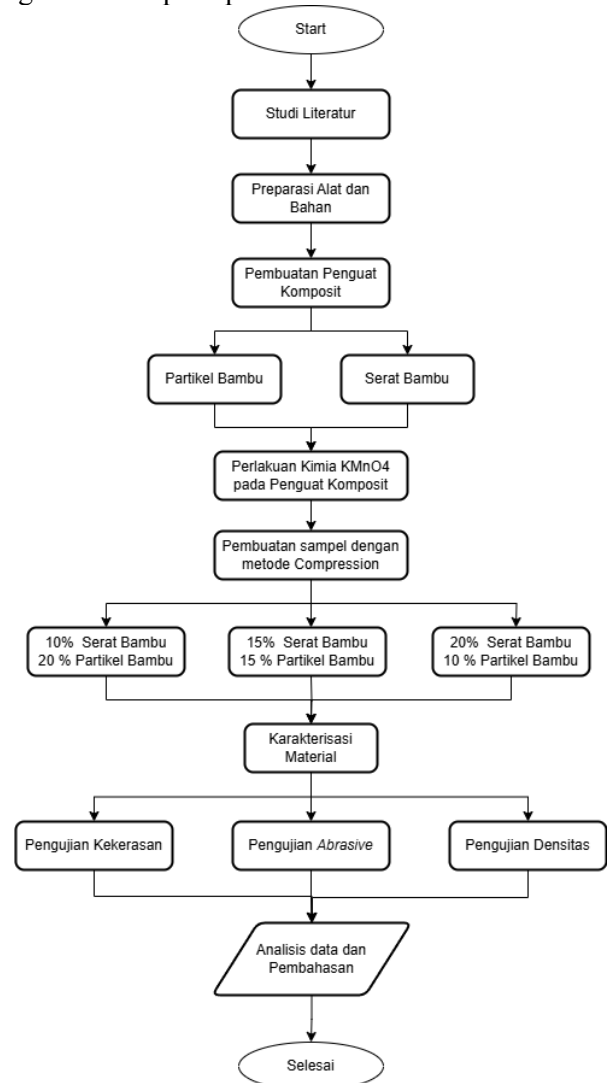
Komposit terdiri dari penguat dan pengikat. Adapun penguat pada komposit memiliki beberapa bentuk, bisa dalam bentuk serat, struktur atau partikel. Serat berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan material, sedangkan partikel bertindak sebagai pengisi yang membantu distribusi tegangan secara merata dan menambah kestabilan komposit [6]. State of the art pada penelitian kali ini adalah analisis perbedaan fraksi volume antara serat dan partikel bambu betung yang diperlakukan dengan kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) untuk meningkatkan interface antara serat, partikel, dan matriks. Selain itu, perlakuan kimia ini diharapkan dapat memperbaiki sifat tribologi komposit secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan fraksi volume serat dan partikel bambu betung terhadap sifat tribologi komposit yang

telah diperlakukan dengan kalium permanganat. Pengujian dilakukan menggunakan metode abrasi untuk mengevaluasi ketahanan aus material yang mengalami abrasi permukaan dalam aplikasi tertentu seperti kampas rem.

## II. METODE PENELITIAN

Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan penjelasan tentang alur penelitian yang dilakukan pada penelitian kali ini.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

### A. Proses Pembuatan Serat dan Partikel Bambu Betung

Proses pembuatan serat dan partikel bambu betung diawali dengan memukul batang bambu menggunakan bilah besi hingga terbentuk serat-serat halus. Serat tersebut kemudian dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran. Setelah itu, serat dipotong menggunakan gunting dengan panjang sekitar  $\pm 5$  cm. Serat yang telah dipotong dikeringkan dalam oven pada suhu

80°C selama dua hari. Selanjutnya, dilakukan proses grinding menggunakan mesin *high-speed grinder* untuk menghasilkan serbuk kasar. Serbuk kasar tersebut kemudian dimasukkan ke dalam mesin *shieving*, menghasilkan serat berukuran 250-500 mikron dan partikel berukuran 63 mikron.

**B. Perendaman KMnO<sub>4</sub>**

Proses perendaman KMnO<sub>4</sub> membuat larutan kalium permanganat merk SAP sebanyak 5% ke dalam gelas beaker 1000 ml. Kemudian masukkan serat dan partikel bambu ke dalam gelas beaker dan dibiarkan selama 15 menit. Setelah itu, serat dan partikel diangkat menggunakan filter nilon berukuran 400 mesh, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama satu hari.

**C. Pembuatan Spesimen**

Pemilihan bahan baku untuk komposit kanvas rem tercantum dalam Tabel 1. Secara umum, komposit terdiri dari matriks dan serat. Matriks berperan sebagai pengikat serat, dan jenis matriks yang paling umum digunakan adalah resin fenolik. Resin fenolik memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat tribologi pada bahan semi-logam [7]. Salah satu serat alam yang telah digunakan sebagai bahan kanvas rem adalah bambu. Menurut penelitian yang dilakukan oleh R.J. Talib [4], penambahan bambu hingga 20% meningkatkan kekerasan lebih tinggi dibandingkan penambahan 10%. Dengan penambahan bambu hingga 20%, kekerasan mencapai 78,7 HRs. Selain serat, bentuk penguat lainnya adalah serbuk, yang memiliki keuntungan dalam biaya produksi yang lebih murah dan penyebaran beban yang lebih merata [4]. Selain serat dan matriks, filler juga ditambahkan ke dalam komposit serat alam untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Beberapa filler yang digunakan antara lain grafit, yang berfungsi sebagai pelumas kering [8], vermikulit untuk mengurangi kebisingan saat pengereman [9], barium sulfat untuk meningkatkan ketahanan aus dan kestabilan pada suhu tinggi [10], serta alumina dan silikon karbida yang bertindak sebagai material abrasif dengan tingkat kekerasan yang tinggi [9].

Tabel 1. Detail Komposisi Spesimen

Material	Komposisi		
	Sp1	Sp2	Sp3
Resin Phenolic	30	30	30
Serat Bambu Batang	10	15	20
Bambu Partikel	20	15	10

Material	Komposisi		
	Sp1	Sp2	Sp3
Grafit	5	5	5
Barium Sulfat	15	15	15
Vermikulate	5	5	5
Alumina	10	10	10
Silikon Karbida	5	5	5

Pembuatan sampel menggunakan metode Hot Compress. Campurkan semua bahan dalam gelas beaker, lalu aduk selama 15 menit menggunakan *stirrer* dengan kecepatan 190 Rpm [11]. Sebelum dituang, cetakan dilapisi terlebih dahulu dengan *Release Agent*. Lalu tuang campuran sampel pada cetakan. Pada metode *hot compress moulding* terdapat 4 tahapan temperature. Tahap pertama adalah 80°C selama 15 menit, kemudian tahap kedua adalah 175 °C selama 15 menit, tahap ketiga adalah 200 °C selama 30 menit, dan tahap terakhir adalah 210 °C selama 15 menit. Adapun sampel ditekan selama 4 tahapan dengan tekanan sebesar 50 bar.

**D. Pengujian Densitas**

Pengujian densitas dilakukan dengan metode ASTM D 792 [12]. Pengujian ini menggunakan cairan ethanol sebagai medianya dengan massa jenis 0,78592 g/cm<sup>3</sup>. Alat yang dipakai adalah Sartorius Balance. Rumus perhitungan massa jenis sesuai dengan standar ASTM D 792 dapat dilihat pada persamaan 1.

$$\rho = \frac{m_u}{m_u - m_a} \times \rho_a \tag{1}$$

dimana ρ adalah massa jenis komposit (g/cm<sup>3</sup>), m<sub>u</sub> adalah massa komposit di udara (gr), m<sub>a</sub> adalah massa komposit di air (gr) dan ρ<sub>a</sub> adalah massa jenis cairan (gr/cm<sup>3</sup>)

**E. Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode ASTM D2240 [13]. Alat yang digunakan adalah durometer dengan stand operasi. Sebelum pengujian, jarak vertikal dari kaki penekan ke permukaan kontak spesimen diatur pada 25,4 ± 2,5 mm. Lima pengukuran kekerasan dilakukan pada posisi berbeda di spesimen dengan jarak minimal 6,0 mm, dan hasilnya dihitung dalam bentuk rata-rata. Adapun alat yang digunakan Shore-D-Hardness Durometer dengan merk SHR-D-GOLD.

**F. Pengujian Abrasion**

Pengujian abrasi dilakukan menggunakan metode ASTM D4060 [14]. Pengujian dilakukan

menggunakan roda abrasive CS-17 dengan kecepatan 72 rpm. Sampel memiliki ukuran 10 mm x 10 mm x 6 mm. Hasil pengujian abrasive adalah menghitung pengurangan massa yang terjadi setelah sampel diputar selama 500 dan 1000 siklus dengan beban 10 N.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Densitas

Tabel 1 menunjukkan hasil data-data pengujian densitas. Fraksi volume 15% serat dan 15% partikel menunjukkan densitas rata-ratanya adalah 1,96 g/cm<sup>3</sup>. Pengaruh fraksi volume tidak signifikan terhadap densitas, dapat dilihat bahwasannya diantara ketiga sampel memiliki perbedaan densitas paling besar hanya 0,08. Meskipun densitas tertinggi terjadi dengan fraksi volume 15% serat dan 15% partikel, akan tetapi data ini menunjukkan bahwasannya dengan penguat yang sama dan bentuk penguat yang berbeda tidak berpengaruh signifikan terhadap densitas.

Tabel 2. Pengujian Densitas

Sampel	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
SP1	2,12	2,00	2,26	2,27	2,29	2,19
SP2	2,37	2,37	1,98	2,06	2,33	2,22
SP3	2,23	2,21	2,25	2,03	1,96	2,14

#### B. Kekerasan

Tabel 2 menunjukkan pengaruh perbedaan bentuk penguat terhadap kekerasan material. Kertinggi terjadi pada saat fraksi volume serat dan partikelnya masing-masing 15%. Perbedaan komposisi partikel dan serat pada fraksi volume yang sama berpengaruh terhadap kekerasan sampel komposit, seperti terlihat pada hasil kekerasan Shore D. Sampel dengan komposisi 15% serat dan 15% partikel menunjukkan kekerasan tertinggi, yaitu 79,60. Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi serat dan partikel yang seimbang mampu memberikan kekuatan mekanik optimal melalui distribusi tegangan yang merata dalam matriks. Sedangkan sampel dengan komposisi partikel lebih tinggi (20% partikel) serta sampel dengan serat lebih tinggi (20% serat) menunjukkan kekerasan yang sedikit lebih rendah, masing-masing 77,10 dan 76,40.

Tabel 3. Pengujian Kekerasan

Sampel	Kekerasan (HD)					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
SP1	79	77	77	75	77,5	77,10
SP2	79,5	82	79	78,5	79	79,60
SP3	78	76,5	76,5	76	75	76,40

#### C. Tahanan Abrasi

Ketahanan abrasi ditunjukkan pengurangan massa yang terjadi pada material saat di uji abrasive. pada material yang memiliki pengurangan massa sedikit. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwasannya sampel yang mengalami pengurangan massa paling sedikit pada siklus 500 dan 1000 adalah sampel 2. Adapun sampel dua memiliki kadar komposisi 15% serat dan 15% partikel. Adapun untuk pengurangan massa 15% serat dan 15% partikel untuk 500 dan 1000 siklus adalah 0,92 gram, dan 1,61 gram. Pengurangan massa tertinggi terjadi pada 10% serat dan 20% partikel dengan 500 dan 1000 siklus, yaitu 1,14 gram dan 2,03 gram. Sedangkan pada urutan kedua terbanyak pengurangan massa terjadi pada 20% serat dan 10% partikel, yaitu sebesar 1,05 gram dan 1,84 gram untuk 500 dan 1000 siklus.



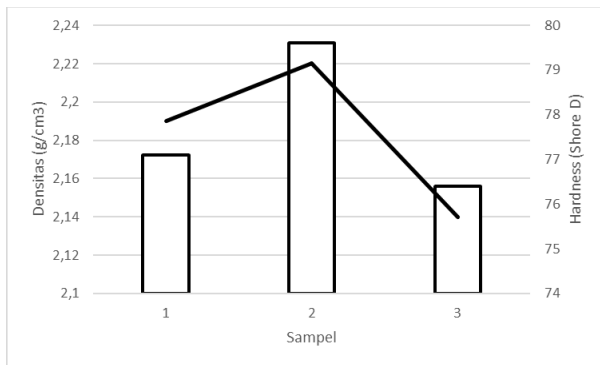
Gambar 2 mass loss dari uji abrasi

#### D. Pembahasan

Diantara ketiga sampel, didapatkan bahwasannya massa jenis tertinggi terjadi Ketika 15% serat dan 15% partikel. Perbedaan bentuk serat tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap densitas material. Selain itu, menurut standar, keempat sampel diatas masuk range standar dengan rangnya adalah 1,5 – 2,4 g/cm<sup>3</sup>[3].

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara densitas dengan kekerasan. Dari Gambar 3, didapatkan

bahasannya semakin besar densitas, akan semakin tinggi nilai kekerasannya. Hal ini serupa dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan semakin tinggi densitas dapat meningkatkan kekerasan [15].



**Gambar 3** grafik hubungan antara massa jenis dengan kekerasan

Serat bambu betung dalam komposit berfungsi sebagai penguat yang dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan aus material [16]. Dalam hal ini, serat bambu betung berperan untuk mengurangi tingkat keausan pada komposit serat alam. Hal ini juga telah dibuktikan bahwasannya serat bambu sebagai serat dapat menurunkan keausan pada komposit [17]. Pada sampel dengan komposisi serat yang lebih tinggi (20%), mass loss sedikit lebih besar dibandingkan dengan komposisi serat yang lebih rendah (15%). Hal ini bisa dijelaskan dengan efek penguatan serat yang tidak selalu linear—ketika kandungan serat terlalu tinggi, ikatan antara serat dan matriks dapat melemah [18].

Komposisi partikel dalam komposit juga berperan penting dalam sifat abrasi material. Partikel dalam material komposit dapat bertindak sebagai pengisi (filler) yang mendistribusikan beban dan meningkatkan kekerasan material [19]. Perbandingan antara SP3 dan SP2 menunjukkan adanya peningkatan kadar partikel dari 10% menjadi 15%. Peningkatan partikel memiliki pengaruh semakin meningkat ketahanan abrasi, hal ini ditunjukkan dengan semakin sedikitnya terjadi pengurangan massa pada komposit serat alam. Hal ini serupa dengan penelitian sebelumnya bahwasannya semakin meningkat kadar partikel bambu akan meningkatkan sifat mekanik dari komposit [20].

Pada sampel dengan komposisi 10% serat dan 20% partikel, terjadi penurunan mass loss yang lebih tinggi dibandingkan sampel lainnya, yaitu sebesar 1,14 gram pada 500 siklus dan 2,03 gram pada 1000 siklus. Hal ini sesuai dengan penelitian Umesh (2007), bahwasannya partikel bambu 20% mengalami penurunan ketahanan abrasi. Sehingga

20% partikel memiliki pengurangan massa tertinggi dibandingkan pada saat 10% dan 15% partikel bambu[21].

#### IV. KESIMPULAN

Komposit dengan fraksi volume 15% serat dan 15% partikel menunjukkan performa terbaik dalam hal kekerasan, densitas, dan ketahanan abrasi. Fraksi ini memberikan kekerasan yang tinggi serta mengurangi keausan material secara signifikan dibandingkan dengan fraksi volume serat atau partikel yang lebih tinggi. Penggunaan serat bambu betung yang diperlakukan dengan kalium permanganat, serta penambahan filler seperti barium sulfat, grafit, dan silikon karbida, berkontribusi terhadap peningkatan sifat tribologis komposit, sehingga menjadikannya alternatif potensial yang ramah lingkungan untuk kampas rem berbasis asbestos. Penelitian ini menunjukkan potensi besar komposit serat alam sebagai material kampas rem yang aman dan efektif, yang memenuhi standar kekerasan dan ketahanan abrasi untuk aplikasi otomotif.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada KEMENRISTEKDIKTI yang sudah mendanai riset ini dalam program Penelitian Dana Pemula (PDP) tahun 2024.

#### REFERENSI

- [1] A. Kholil, S. T. Dwiwati, R. Wirawan, and E. M, "Brake Pad Characteristics of Natural Fiber Composites from Coconut Fibre and Wood Powder," in *The 10th National Physics seminar (SNF 2021)*, 2021, pp. 1–7, doi: 10.1088/1742-6596/2019/1/012068.
- [2] H. H. Parikh, "Tribology of Plant-Based Natural Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites – a Short Review Tribology of Plant-Based Natural Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites – a Short Review," *J. Nat. Fibers*, vol. 20, no. 1, 2023, doi: 10.1080/15440478.2023.2172639.
- [3] Nafsan Upara and Taufik Bayu Laksono, "Analisis Komparasi Kualitas Produk Kampas Rem Cakram Antara Original Dengan After Market," 2019.
- [4] R. J. Talib, K. Ramlan, N. I. Ismail, M. F. Ismail, and A. . Eliasidi, "Bamboo Fibre-reinforced Semi-Metallic Materials for Automotive Applications," in *D2ME 2016*, 2016, vol. 82, pp. 1–6.

- [5] S. Sunardi *et al.*, "Optimization of eggshell particles to produce eco-friendly green fillers with bamboo reinforcement in organic friction materials," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 62, no. 1, 2023, doi: 10.1515/rams-2023-0111.
- [6] Sulitijono, *Mekanika Material Komposit*, Edisi Pert. Surabaya: ITS Press, 2012.
- [7] R. J. Talib, O. Eliasidi, M. H. Basri, N. I. Ismail, and K. Ramlan, "Effect of phenolic resin on the friction behaviors with respect to temperature and operating speed," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1774, 2015, doi: 10.1063/1.4965113.
- [8] M. Naidu, A. Bhosale, Y. Munde, and S. Salunkhe, "Wear and Friction Analysis of Brake Pad Material Using Natural," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 188, pp. 1–11, 2022.
- [9] P. Marwoto, Sutikno, and H. Santiko, *Pembuatan bahan gesek kampas rem otomotif*. UNNES PRESS, 2011.
- [10] M. Engineering, H. Öktem, S. Akıncioğlu, İ. Uygur, and G. Akıncioğlu, "A novel study of hybrid brake pad composites: new formulation, tribological behaviour and characterisation of microstructure," *Plast. Rubber Compos.*, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1080/14658011.2021.1898881.
- [11] H. Yavuz and H. Bayrakçeken, "Investigation of friction and wear behavior of composite brake pads produced with huntite mineral," *Int. J. Automot. ...*, 2022.
- [12] ASTM-D792–20, "Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement," vol. i, pp. 1–4, 2015, doi: 10.1520/D0792-20.2.
- [13] American Society for Testing and Materials, "ASTM D2240-15 Standard Test Methods for Rubber Property-Durometer Hardness," *Annu. B. ASTM Stand.*, pp. 1–13, 2015, doi: 10.1520/D2240-15.2.
- [14] ASTM INTERNATIONAL, *ASTM D4060 (Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser)*. 2019, pp. 1–3.
- [15] A. Basim Abdul-Hussein, E. Saadi AL-Hassani, and R. Alaa Mohammed, "Effect of Nature Materials Powders on Mechanical and Physical Properties of Glass Fiber / Epoxy Composite," *Eng. Technol. J.*, vol. 33, no. 1A, pp. 175–197, 2015, doi: 10.30684/etj.33.1a.14.
- [16] Sutikno, S. E. Sukiswo, and S. S. Dany, "Sifat Mekanik Bahan Gesek Rem Komposit Diperkuat Serat Bambu," *J. Pendidik. Fis. Indones.*, vol. 8, pp. 83–89, 2012.
- [17] A. E. Alajmi, J. G. Alotaibi, B. F. Yousif, and U. Nirmal, "Tribological studies of bamboo fibre reinforced epoxy composites using a bod technique," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 15, 2021, doi: 10.3390/polym13152444.
- [18] S. S, E.-A. S, and W. A. Y, "FRICTION AND WEAR DISPLAYED BY THE SCRATCH OF EPOXY REINFORCED BY NATURAL FIBERS," *J. Egypt. Soc. Tribol.*, vol. 21, no. 2, pp. 62–70, 2024.
- [19] P. Valášek, M. Müller, and S. Hloch, "Recycling of corundum particles - two-body abrasive wear of polymeric composites based on waste," *Teh. Vjesn.*, vol. 22, no. 3, pp. 567–572, 2015, doi: 10.17559/TV-20131111140048.
- [20] M. Martijanti, S. Sutarno, and A. L. Juwono, "Polymer composite fabrication reinforced with bamboo fiber for particle board product raw material application," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 24, pp. 1–21, 2021, doi: 10.3390/polym13244377.
- [21] U. K. Dwivedi, A. Ghosh, and N. Chand, "ABRASIVE WEAR BEHAVIOUR OF BAMBOO (DENDROCALAMUS STRICTUS) POWDER FILLED POLYESTER COMPOSITES," *BioResources*, vol. 2, no. 1995, pp. 693–698, 2007.