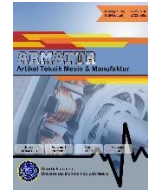


Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

## Studi Eksperimen Kekerasan Biokomposit Kampas Rem Ramah Lingkungan Berbasis Arang Kulit Pisang

Mustofa Khilmi<sup>1</sup>, Chandra Gunawan<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Ototomotif, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Jatimulyo, Lowokwaru, Malang 65141<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Jatimulyo, Lowokwaru, Malang 65141

### A R T I C L E I N F O

*Keywords:*  
*Brake lining*  
*Banana peel*  
*Material hardness*  
*environmentally friendly*  
*Biocomposite*

### A B S T R A C T

*This study aims to develop environmentally friendly brake materials by utilising banana peel charcoal as a filler, replacing asbestos which poses a health risk. Banana peel charcoal is mixed with polyester resin as a matrix, with variations in composition (35% and 45%) and particle size (100 mesh and 200 mesh). The mixing process is carried out carefully to produce a homogeneous material free of air bubbles. Hardness tests are conducted using a Shore D durometer with five test points on each specimen. The test results show that specimens with 35% charcoal content and 200 mesh particle size yield the highest hardness value, namely 81.2 HD. This indicates that the finer the particle size and the higher the resin content, the denser and harder the material structure becomes. This combination provides optimal mechanical performance, making banana peel charcoal a promising, cost-effective, and environmentally friendly alternative material for brake linings. Further research is recommended to evaluate wear properties and heat resistance for broader applications in the automotive industry.*

### Pendahuluan

Sebagai bagaian dari Jawa Timur, penghasil pisang terbesar kedua di Indonesia setelah Lampung, Lumajang menunjukkan potensi besar dengan produksi yang meningkat dari 1,3 juta ton

pada 2014 menjadi 2 juta ton pada 2018 [1]. Besarnya kandungan bahan organik dan juga besarnya jumlah limbah kulit pisang, maka perlu adanya penanggulangan pada kulit pisang agar memiliki nilai guna lebih [2]. Penelitian di seluruh dunia

\*Corresponding author: [cgunawan@polinema.ac.id](mailto:cgunawan@polinema.ac.id)

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i2.8986>

Received 29 Mei 2025; Received in revised form 10 Agustus 2025; Accepted 28 September 2025

Available online 30 September 2025

berfokus pada cara memanfaatkan limbah industri atau pertanian sebagai sumber bahan baku industri. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya secara ekonomis, tetapi juga dapat menjaga alam yang lebih baik [3].

Pertumbuhan teknologi cukup cepat, terutama di bidang otomotif, yang selalu melakukan terobosan dalam perkembangannya, dan perkembangannya tidak hanya tentang kinerja mesin yang mencapai kecepatan tinggi tetapi juga mengenai keselamatan pengemudi, termasuk penggunaan sistem pengereman yang efisien dan keselamatan berkendara. Komponen paling penting dari sistem pengereman adalah kampas rem yang berfungsi untuk memperlambat atau menurunkan kecepatan kendaraan

Di sisi lain, kampas rem yang banyak dijual saat ini sering menggunakan bahan asbestos, yang berbahaya bagi kesehatan dan bisa menyebabkan fibrosis paru-paru jika terpapar debunya [4]. Karena itu, untuk memenuhi kebutuhan dan untuk meningkatkan kualitas kampas rem agar aman untuk kesehatan manusia, maka diadakan pemilihan bahan untuk mengganti penggunaan bahan berbahaya seperti asbestos dan diganti dengan menggunakan bahan yang lebih alami [5]. Pemanfaatan kulit pisang yang dijadikan arang tidak hanya mengurangi ketergantungan pada kampas rem berbahan asbes, tetapi juga memberikan solusi yang lebih murah, ramah lingkungan, dan berkelanjutan, serta membantu mengurangi pencemaran dan memberikan manfaat tambahan bagi industri otomotif. Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi [6]. Idris melakukan penelitian dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa partikel kulit pisang dapat digunakan secara efektif sebagai pengganti asbes dalam pembuatan bantalan rem [7].

Kekuatan fisik dan laju keausan kampas rem merupakan parameter penting yang menentukan kinerja dan umur pakai

kampas rem [8]. Dalam penelitian Aminur menyatakan bahwa kekerasan yang tinggi menyebabkan laju keausan bahan kampas rem menjadi lambat/rendah yang bisa disimpulkan kekerasan kampas rem berkaitan dengan umur kampas rem, umur drum atau piringan serta jenis kendaraan [9]. Untuk mendapatkan hasil produksi optimal, maka akan dilakukan eksperimen dari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan kampas rem dan menentukan level dari faktor-faktor tersebut, salah satunya adalah tahan luntur. Tahan luntur atau selip adalah fenomena yang menggambarkan penurunan gaya gesekan pada suhu antarmuka yang tinggi, yaitu gaya gesekan berkurang karena panas gesekan. Oleh karena itu resin pengikat biasanya lebih disukai yang tahan panas [3]. Dimana resin polyester memiliki sifat yang dapat pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa pemberian tekanan ketika proses pencetakannya menjadi suatu peralatan tertentu [8]

## Metode Penelitian

Penelitian ini mempelajari komposit yang terdiri dari arang kulit pisang sebagai bahan pengisi dan resin poliester sebagai matriks, dengan fokus pada pengujian kekerasan menggunakan alat durometer berdasarkan standar ASTM D2240 dengan tebal 6 mm dan permukaan halus, rata, bebas cacat

. Arang kulit pisang yang digunakan memiliki dua ukuran partikel, yaitu 100 mesh dan 200 mesh, serta variasi komposisi arang kulit pisang sebesar 35% dan 45%. Bentuk fisik arang kulit pisang dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan rincian komposisi tiap sampel tercantum pada Tabel 1. Setelah proses pengayakan dan penimbangan sesuai komposisi, resin poliester ditambahkan secara bertahap dan diaduk dengan kecepatan sedang untuk menghindari pembentukan gelembung udara. Campuran yang sudah homogen selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan yang kemudian ditutup dan dikencangkan agar permukaannya rata dan seragam, lalu

dibiarkan mengeras pada suhu kamar selama 48 jam.



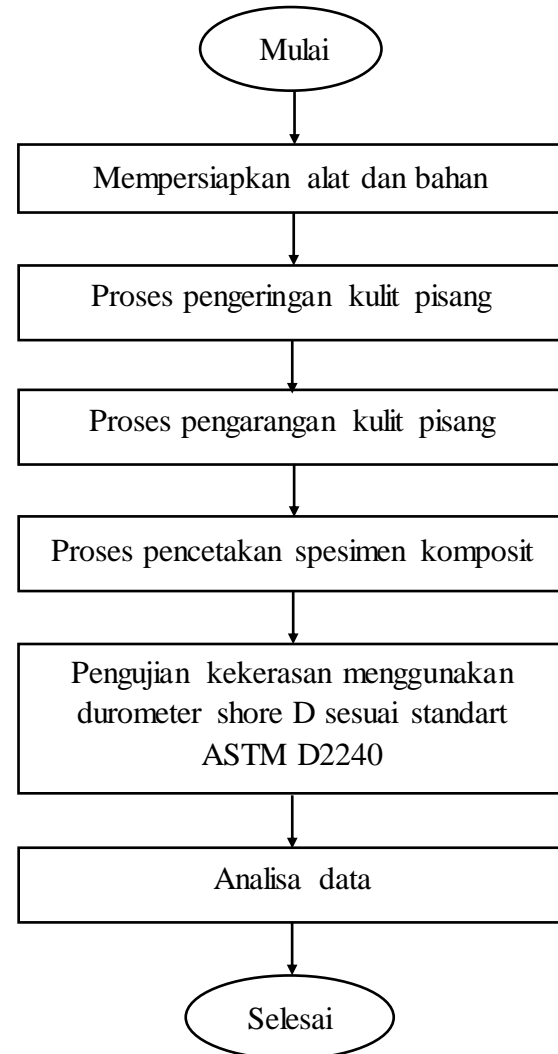
Gambar 1. Bahan biomaterial arang kulit pisang

Tabel 1. Komposisi campuran material

Kode Spesimen	Arang Kulit Pisang	Resin Poliester	Ukuran Partikel
A1	45%	55%	100
A2	45%	55%	200
B1	35%	65%	100
B2	35%	65%	200

Sesuai dengan standar ASTM D2240, pengoperasian durometer harus dilakukan dengan persiapan yang tepat untuk meminimalkan paparan instrumen terhadap kondisi lingkungan yang dapat merugikan kinerjanya. Hal ini bertujuan agar hasil pengujian tetap akurat dan dapat diandalkan.

Sebelum pengujian, spesimen diletakkan pada permukaan datar dan keras, sedangkan durometer diposisikan vertikal. Indentor ditekan secara halus dan tegak lurus agar kontak penuh dengan permukaan spesimen tanpa guncangan atau gaya samping. Nilai kekerasan dibaca dalam waktu  $1 \pm 0,1$  detik untuk mencegah perubahan akibat relaksasi material. Setiap spesimen diuji pada lima titik berbeda, kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh hasil yang representatif.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## Komposit

Material komposit tersusun dari dua tipe material penyusun yakni matriks dan fiber (*reinforcement*). Keduanya memiliki fungsi yang berbeda, fiber berfungsi sebagai rangka yang menyusun komposit, sedangkan matriks berfungsi untuk merekatkan fiber dan menjaganya agar tidak berubah posisi. Campuran keduanya akan menghasilkan material yang keras, kuat namun ringan dinyatakan oleh Marayanti[10]

## Kekerasan

Untuk memastikan pencampuran yang merata selama produksi, kekerasan spesimen kanvas rem diukur menggunakan

alat uji kekerasan diakarenakan nilai kekerasan sangat berpengaruh pada kenyamanan pengendara pada saat dilakukannya pengereman seperti adanya suara berdencit dan tingkat kepakeman dari kampas rem itu sendiri. Nilai kekerasan spesimen diperoleh dengan menggunakan alat uji kekerasan durometer. Pengujian dilakukan dengan menggunakan durometer berjenis shore D dengan standar uji sesuai ASTM D2240 [3].

Menurut standar ASTM D2240, metode pengujian ini mencakup dua belas jenis alat pengukur kekerasan yang dikenal sebagai durometer. Tipe-tipe durometer tersebut meliputi model A, B, C, D, DO, M, O, OO, serta CF. Prosedur untuk mengukur kekerasan lekukan bahan diklasifikasikan untuk berbagai material, seperti elastomer termoplastik, termoset, bahan elastis, bahan seperti gel, serta beberapa jenis plastik. Berikut ini adalah jenis-jenis durometer beserta penggunaannya

## Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian kampas rem yang terbuat dari biomaterial arang kulit pisang dengan variasi komposisi fraksi volume dan ukuran partikel ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil uji kekerasaran spesimen

Kode Spesimen	Nilai Kekerasan (HD)					
	Nilai Uji 1	Nilai Uji 2	Nilai Uji 3	Nilai Uji 4	Nilai Uji 5	Rata-rata
A1	72	72	70	71	73	71,6
A2	77	77	76	78	77	77
B1	82	80	79	81	80	80,4
B2	81	82	80	82	81	81,2

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan (HD) pada kampas rem berbahan

biomaterial arang kulit pisang, terlihat bahwa komposisi bahan dan ukuran partikel sangat memengaruhi performa mekanis material. Spesimen dengan komposisi 35% arang dan 65% resin (kode B) menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi 45% arang dan 55% resin (kode A). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan resin sebagai pengikat, semakin kuat dan padat struktur kampas rem yang terbentuk. Selain itu, penggunaan ukuran partikel lebih halus (200 mesh) pada kode 2 juga memberikan hasil kekerasan lebih baik dibandingkan dengan 100 mesh (kode 1), karena partikel halus memberikan ikatan antar partikel yang lebih merata dan kuat.

Spesimen B2 (35% arang, 65% resin, 200 mesh) memiliki rata-rata kekerasan tertinggi sebesar 81,2 HD dan juga menunjukkan kestabilan nilai antar uji. Ini mengindikasikan bahwa kombinasi bahan dan ukuran partikel tersebut menghasilkan struktur kampas rem yang paling optimal dalam hal kekerasan. Dengan demikian, formulasi B2 direkomendasikan untuk menjadi acuan dalam pengembangan produk kampas rem berbasis biomaterial karena telah menunjukkan performa mekanik terbaik dibandingkan spesimen lainnya. Selanjutnya, pengujian lanjutan seperti uji aus dan ketahanan panas diperlukan untuk memastikan kelayakan penggunaan secara praktis.

Analisis of Variance (Anova) digunakan untuk menyelidiki hubungan antara variabel terikat (respon) dengan satu atau beberapa faktor. Dalam hal ini metode yang digunakan adalah *anova one way* dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey HSD.

Tabel 3. Anova  
Analysis of Variance

	Sum of Squares	DF	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	285,750	3	95,250	100,263	<,001
Within Groups	15,200	16	,950		
Total	300,950	19			

Tabel 4. Model Tukey HSD<sup>a</sup>

Tukey HSD<sup>a</sup>

spesimen	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
A1	5	71,6000		
A2	5		77,0000	
B1	5			80,4000
B2	5			81,2000
Sig.		1,000	1,000	,577

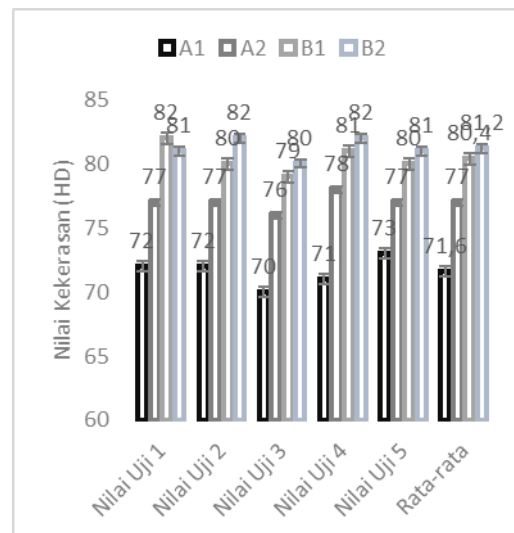
Rata-rata untuk kelompok dalam subset homogen ditampilkan.

a. Menggunakan ukuran sampel rata-rata Harmonik = 5.000.

Penelitian ini menggunakan alpha ( $\alpha$ ) sebesar 0,05. Dari hasil penelitian uji kekerasan P-Value spesimen kurang dari alpha ( $\alpha$ ) yang ditentukan ( $\text{sig} < \alpha$ ) yaitu 0,05.

Dari sisi analisis statistik, hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan antar spesimen memang signifikan ( $p < 0,001$ ). Uji lanjutan dengan uji Tukey HSD membagi kelompok menjadi tiga subset:

A1 berbeda nyata dengan kelompok B1 dan B2, sedangkan A2 berada di posisi tengah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa resin berperan penting dalam meningkatkan kepadatan struktur, sedangkan ukuran partikel yang lebih kecil meningkatkan konsistensi distribusi beban pada material.



Gambar 2. Grafik blok dengan error bar

Gambar 2 menunjukkan grafik hasil uji kekerasan, sampel B2 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi dan paling stabil dengan rata-rata 81,2, disusul oleh B1, A2, dan A1. Kecilnya error bar pada B2 menunjukkan bahwa hasil pengujian konsisten dan materialnya homogen, sehingga dapat dianggap sebagai bahan dengan performa terbaik. Sebaliknya, A1 memiliki nilai kekerasan terendah dengan error bar yang besar, mengindikasikan variabilitas tinggi dan kemungkinan ketidakteraturan dalam struktur materialnya. Hasil ini menegaskan bahwa nilai kekerasan yang tinggi dan konsisten menjadi indikator utama dalam menilai kualitas dan keandalan suatu bahan.

Dibandingkan dengan kanvas rem berbahan asbes yang memiliki nilai kekerasan sekitar 85–90 HD, biokomposit arang kulit pisang menunjukkan performa yang cukup kompetitif. Dengan keunggulan ramah lingkungan dan biaya rendah,

material ini berpotensi menjadi bahan alternatif kampas rem di masa depan. Secara keseluruhan, penerapan prosedur pengujian yang sesuai standar dan hasil statistik yang valid memberikan gambaran yang jelas mengenai performa material

### Kesimpulan

Variasi komposisi arang dan resin serta ukuran partikel berpengaruh signifikan terhadap kekerasan kampas rem berbahan biomaterial arang kulit pisang. Spesimen dengan komposisi 35% arang, 65% resin, dan ukuran partikel 200 mesh (B2) menunjukkan kekerasan tertinggi dan hasil paling stabil sebesar 81,2. Hasil ini mendekati performa kampas rem berbahan asbes, sehingga arang kulit pisang dapat dipertimbangkan sebagai bahan alternatif ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengevaluasi sifat aus, koefisien gesek, dan ketahanan panas agar aplikasinya dalam industri otomotif dapat lebih luas.

### Referensi

- [1] BPS, "Produktivitas Tanaman Buah-buahan Menurut Kecamatan dan Jenis Buah di Kabupaten Lumajang 2018," BPS Lumajang. [Online]. Available: <https://lumajangkab.bps.go.id/id/statistics-table/1/Mjk5IzE=/produktivitas-tanaman-buah-buahan-menurut-kecamatan-dan-jenis-buah-di-kabupaten-lumajang-2018-.html>
- [2] Musafira, Dzulkifli, Fadriah, and L. Qadrini, "Penyerapan Ion Logam Merkuri Menggunakan Arang Aktif Limbah Kulit Pisang Kepok (Musa paradisiaca Formatypica)," *KOVALEN J. Ris. Kim.*, vol. 6, no. 1, pp. 39–44, 2020, doi: 10.22487/kovalen.2020.v6.il.15043.
- [3] M. L. I. Sholihin, "Pengaruh Komposisi dan Temperatur Material Biokomposit Terhadap Kinerja Kampas Rem Non Asbestos," *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, vol. 5, no. 01, pp. 29–34, 2022, doi: 10.33795/jetm.v5i01.117.
- [4] R. B. Wicaksono, "Kaji Ekeperimental Performansi Pengereman Kampas Rem Serat Bonggol Jagung Sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem Mobil," Universitas Negeri Semarang, 2015.
- [5] P. I. Purboputro, "Pembuatan Kampas Rem Menggunakan Variasi Butiran Mesh Alumunium Silicon (Al-Si) 50, 60, 100 dengan Serbuk Kayu Jati Terhadap Nilai Tingkat Kekerasan, Keausan dan Koefisien Gesek," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 35–45, 2020, doi: 10.23917/mesin.v21il.9753.
- [6] A. N. Mulia, Hamsina, and Al-Gazali, "Pembuatan Pasta Gigi dengan Pemanfaatan Karbon Aktif dari Kulit Pisang dengan Penambahan Kitosan," *SAINTIS*, vol. 5, no. 1, pp. 165–172, 2024.
- [7] U. D. Idris, V. S. Aigbodion, I. J. Abubakar, and C. I. Nwoye, "Eco-friendly asbestos free brake-pad: Using banana peels," *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 27, no. 2, pp. 185–192, 2015, doi: 10.1016/j.jksues.2013.06.006.
- [8] R. A. M. Napitupulu, C. S. . Manurung, and C. Sembiring, "Laju Keausan dan Kekerasan Kampas Rem Pada Sistem Pengereman Sepeda Motor," *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 10–19, 2022, doi: 10.36655/sprocket.v4il.748.
- [9] Aminur, Samhuddin, B. Sudia, and Sudarsono, "Biokomposit Polimer Berpenguat Serat Rami dan Partikel Tempurung Kelapa Sebagai Material Kampas Rem Sepeda Motor," *Semin.*

*Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.*  
2019, pp. 344–350, 2019.

- [10] B. Maryanti and M. A. T. Anggono,  
“Studi Ekperimental Keausan  
Kampas Rem Komposit Serat Kulit  
Durian dan Serbuk Aluminium  
dengan Resin Vinylester,” *J. Penelit.*  
*Enj.*, vol. 24, no. 2, pp. 142–147,  
2020, doi: 10.25042/jpe.112020.06.