DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.23.2.82-90

JURNAL TEKNIK MESIN JTM

Vol 23, No. 2, Oktober 2026, 82-90
ISSN 1410-9867 print / ISSN 2656-3290 online

Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Komposisi Penyusun Kampas Rem Berbasis Serbuk Kayu Mahoni dan Serbuk Kuningan Terhadap Ketahanan Aus

Fatkhurrohman[1*], Chorn Sokvisal[2]
[1] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
Jl. Rungkut Madya No.1, Surabaya 60294, Indonesia
[2] Department Industrial and Mechanical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Institute of Technology of Cambodia
Russian Federation Blvd (110), Phnom Penh 120404, Cambodia
*Penulis korespondensi; E-mail: fatkhurrohman.ft@upnjatim.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:
Received 30 Dec 2025
Revised 14 July 2026
Accepted 5 Sep 2026
Available online 30 Oct 2026
Communicated by Fatkhurrohman

Keywords: *compaction pressure, brake pad composition, mahogany powder, brass powder, wear resistance.*

ABSTRACT

The use of asbestos as the main material in brake pad manufacturing has been discontinued due to its toxic nature and serious health risks, including asbestosis, mesothelioma, and lung cancer, thereby encouraging the development of safer and more environmentally friendly alternative materials. This study developed bio-composite brake pads based on mahogany wood powder as a natural fiber combined with brass powder, using polyester resin as the matrix binder and magnesium oxide as a reinforcing agent to enhance mechanical integrity. The fabrication process was carried out using a compaction method followed by sintering to achieve optimal bonding and densification. This research aimed to evaluate the effects of compaction pressure and variations in constituent composition on the wear resistance of the brake pads. Compaction pressures of 3000, 3200, and 3400 psi were applied with mahogany powder to brass powder ratios of 1:4 and 4:4. Wear tests were conducted on all fabricated specimens. The results showed that the highest specific wear value of 9.2 × 10^{-4} $mm^3/kg.m$ occurred in the 1:4 composition at a compaction pressure of 3000 psi, while the lowest value of 5.5 × 10^{-4} $mm^3/kg.m$ was obtained in the 4:4 composition at a compaction pressure of 3400 psi. These findings indicate that both compaction pressure and constituent composition significantly affect the wear resistance of brake pads.

This is an open access article under the CC BY license

PENDAHULUAN

Industri otomotif di Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir, yang ditandai dengan meningkatnya kepemilikan kendaraan dan volume produksi. Perkembangan ini menyebabkan meningkatnya permintaan terhadap komponen otomotif, khususnya komponen yang mudah mengalami keausan dan memerlukan penggantian secara berkala [1]. Salah satu komponen yang paling vital adalah kampas rem, karena berperan penting dalam menjamin keselamatan kendaraan dan kinerja sistem pengereman [2]. Dalam proses pengereman, kampas rem berfungsi mengubah energi kinetik menjadi energi panas untuk

memperlambat atau menghentikan laju kendaraan, sehingga kampas rem mengalami beban mekanik dan termal yang tinggi serta menanggung hingga sekitar 90% beban pengereman [3], [4]. Oleh karena itu, kampas rem dikategorikan sebagai komponen dengan tingkat konsumsi tinggi yang membutuhkan produksi berkelanjutan serta inovasi material secara terus-menerus guna menjamin keandalan, daya tahan, dan keselamatan seiring dengan pesatnya pertumbuhan sektor otomotif [5], [6]. Namun demikian, *International Agency for Research on Cancer* (IARC) dan *World Health Organization* (WHO) melaporkan bahwa paparan debu yang dihasilkan dari material yang mengandung asbes merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya kanker paru-paru [7]. Oleh sebab itu, terdapat kebutuhan yang mendesak untuk mengembangkan material alternatif yang lebih aman sebagai pengganti asbes dalam pembuatan kampas rem.

Material komposit telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan untuk menggantikan asbes sebagai bahan baku utama dalam pembuatan kampas rem [8]. Khususnya, komposit *biodegradable* yang dikenal sebagai biokomposit memiliki potensi besar untuk diaplikasikan pada kampas rem yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Kampas rem biokomposit dapat dibuat dengan mengombinasikan serat alami dan logam yang ramah lingkungan, sehingga mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus menjaga keamanan bagi kesehatan manusia [9]. Salah satu sumber serat alami tersebut adalah serbuk kayu mahoni, yang merupakan limbah hasil proses pemotongan dan penggergajian kayu pada industri furnitur dan pengolahan kayu. Serbuk kayu mahoni sering kali tidak dikelola dengan baik, seperti dibuang begitu saja, dibakar, atau dibiarkan menumpuk, yang dapat menimbulkan pencemaran dan dampak lingkungan yang merugikan [10]. Padahal, limbah serbuk kayu mahoni memiliki potensi yang besar sebagai bahan baku alternatif untuk pembuatan kampas rem. Kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin di dalamnya memungkinkan terjadinya interaksi yang efektif dengan material penyusun lainnya, sehingga dapat memperkuat ikatan antarpartikel, meningkatkan adhesi antarmolekul, serta mengurangi difusi air di dalam struktur komposit [11], [12]. Karakteristik ini menjadikan serbuk kayu mahoni sebagai kandidat yang menjanjikan untuk fabrikasi kampas rem.

Kuningan merupakan paduan logam non-ferrous yang terutama tersusun atas tembaga dan seng, sehingga memberikan ketahanan korosi yang sangat baik serta kekuatan mekanik yang tinggi. Dengan nilai kekerasan sekitar 200 HB, kuningan menunjukkan ketahanan aus yang unggul, sehingga cocok digunakan pada aplikasi yang memerlukan kestabilan gesek dan umur pakai yang panjang di bawah kondisi pembebanan berulang. Berkat kombinasi sifat-sifat tersebut, kuningan banyak diakui sebagai material non-ferrous yang potensial untuk aplikasi kampas rem [13]. Selain itu, ketika diaplikasikan dalam sistem komposit dan dikombinasikan dengan bahan penguat seperti serbuk kayu mahoni, kuningan dapat meningkatkan ikatan antarmuka, stabilitas struktural, serta karakteristik tribologis, sehingga mampu meningkatkan kinerja pengereman dan memperpanjang umur pakai material kampas rem.

Magnesium oksida (MgO) berperan penting sebagai salah satu bahan pengisi fungsional dalam pembuatan komposit kampas rem, terutama dalam meningkatkan kestabilan termal material pada kondisi pengereman dengan temperatur tinggi. Penambahan MgO dapat membantu mempertahankan integritas matriks resin terhadap paparan panas, sehingga mengurangi degradasi termal yang dapat menyebabkan penurunan kinerja kampas rem. Selain itu, sifat termal MgO yang relatif stabil pada temperatur tinggi mendukung kemampuan material dalam mempertahankan karakteristik gesek selama proses pengereman. Kehadiran MgO juga dapat berkontribusi terhadap peningkatan karakteristik tribologis komposit, khususnya dalam menjaga kestabilan koefisien gesek dan mengendalikan laju keausan. Dengan demikian, penggunaan MgO dalam formulasi komposit kampas rem tidak hanya berfungsi sebagai bahan pengisi, tetapi juga sebagai komponen yang mendukung ketahanan termal dan kestabilan kinerja tribologis kampas rem pada kondisi operasi yang berat [14].

Perkembangan terbaru dalam teknologi pembuatan kampas rem semakin menekankan pada penggantian material berbasis asbes dengan alternatif yang ramah lingkungan namun tetap mampu memberikan kinerja yang setara atau bahkan lebih baik. Berbagai penelitian telah mengkaji secara luas potensi penggunaan serat alami dan produk samping industri untuk meningkatkan sifat-sifat penting, seperti ketahanan aus, kestabilan gesek, dan kinerja termal [8], [15], [16]. Beberapa studi melaporkan bahwa penambahan serat sabut kelapa dan serbuk

cangkang *almond* ke dalam formulasi kampas rem mampu meningkatkan perilaku gesek serta ketahanan aus material secara signifikan [17]. Selain material tersebut, berbagai jenis penguat alami lainnya juga telah dieksplorasi untuk mendukung produksi kampas rem yang berkelanjutan. Sebagai contoh, serat inti kelapa sawit dilaporkan dapat meningkatkan sifat mekanik kampas rem komposit secara signifikan dibandingkan dengan kampas rem konvensional berbasis asbes. Lebih lanjut, limbah pertanian seperti serbuk kulit pisang dan partikel tongkol jagung juga telah dimanfaatkan sebagai bahan penguat, yang menunjukkan potensi besar dalam pengembangan kampas rem ramah lingkungan dengan kinerja mekanik dan tribologis yang kompetitif [18].

Kebaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan limbah serbuk kayu mahoni dan serbuk kuningan sebagai material penyusun komposit untuk pembuatan kampas rem, yang memberikan beberapa kontribusi inovatif. Serbuk kayu mahoni digunakan sebagai pengisi organik yang bersifat biodegradable dan berkelanjutan, sehingga menjadi alternatif yang ramah lingkungan dibandingkan material sintetis konvensional. Pemanfaatan material ini tidak hanya mendorong valorizasi limbah, tetapi juga berkontribusi dalam mengurangi jejak lingkungan yang dihasilkan dari proses manufaktur kampas rem. Di sisi lain, serbuk kuningan berperan sebagai bahan penguat yang mampu meningkatkan konduktivitas termal dan kestabilan gesek dari material komposit. Kombinasi sinergis antara serbuk kayu mahoni dan serbuk kuningan diharapkan dapat menghasilkan koefisien gesek yang seimbang, menurunkan laju keausan, serta menjaga efisiensi pengereman yang konsisten. Integrasi ini menunjukkan potensi pengembangan material kampas rem ramah lingkungan dengan kinerja tinggi yang sesuai untuk aplikasi otomotif modern.

METODE

Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi serbuk kayu mahoni yang diperoleh dari bengkel furnitur Warga Jaya Furniture di wilayah Kebraon, Surabaya, serta serbuk kuningan yang dikumpulkan dari proses pembubutan di bengkel bubut Berkah Teknik yang berlokasi di daerah Demak timur, Surabaya. Selain bahan utama tersebut, resin poliester dan magnesium oksida diperoleh dari *Fiberglass Supply Depot* dan *Merch* dan digunakan sebagai bahan pendukung dalam proses fabrikasi komposit.

Preparasi Sampel Kampas Rem

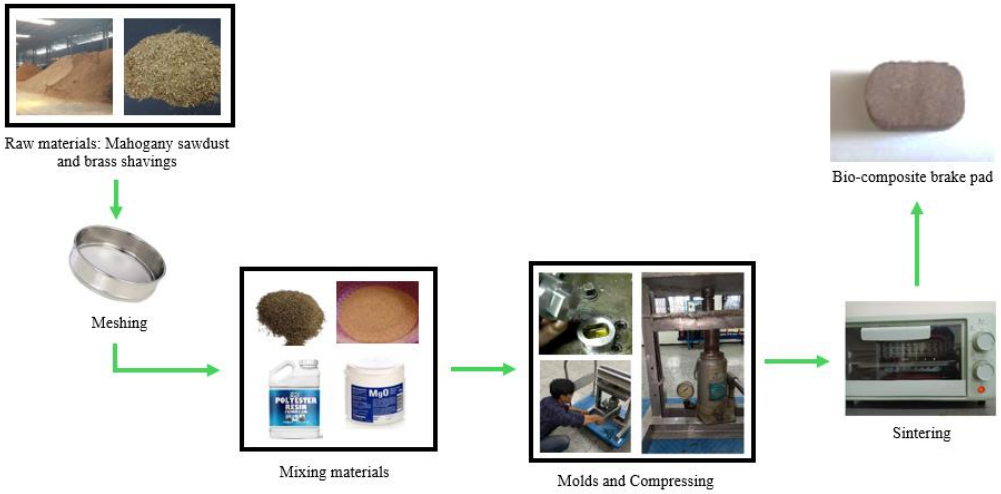
Proses persiapan spesimen diawali dengan pengayakan serbuk kayu mahoni dan serbuk kuningan melalui dua tahap, yaitu menggunakan ayakan 60 mesh dan dilanjutkan dengan ayakan 80 mesh, Perkiraan ukuran akhir partikel sebesar ≤ 0,18 mm seperti pada Table 1. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh distribusi ukuran partikel yang seragam pada kedua material, yang merupakan faktor penting dalam menghasilkan kampas rem biokomposit dengan kualitas dan konsistensi yang baik. Keseragaman ukuran partikel berperan dalam meningkatkan kepadatan partikel serta kualitas ikatan antarmuka selama proses fabrikasi komposit [19].

Setelah proses pengayakan, masing-masing material ditimbang sesuai dengan variasi komposisi yang telah ditentukan, yaitu perbandingan serbuk kayu mahoni terhadap serbuk kuningan sebesar 1:4 dan 4:4. Pemilihan komposisi tersebut dikarenakan melihat karakteristik dari masing-masing material penyusun dan merujuk pada penelitian terdahulu [20]. Pada setiap campuran ditambahkan 2 ml resin poliester sebagai pengikat dan 2 g magnesium oksida sebagai bahan penguat. Proses pencampuran dilakukan secara kering menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 30°C hingga diperoleh campuran yang homogen, yang selanjutnya siap untuk tahap pencetakan dan kompaksi. Cetakan kampas rem dibuat dari pelat logam melalui proses *frais* berbentuk persegi panjang dengan dimensi luar 7 cm × 5,5 cm dan rongga dalam berukuran 3 cm × 2 cm × 2 cm serta ketebalan cetakan sekitar 10 mm. Skema persiapan kampas rem biokomposit ditunjukkan pada Gambar 1.

Jurnal Teknik Mesin, Vol 23, No. 2, Oktober 2026, 82-90 DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.23.2.82-90
ISSN 1410-9867 print / ISSN 2656-3290 online

Tabel 1. Spesifiikasi material yang digunakan

Jenis Material	Ukuran Mesh Akhir	Bukaan Ayakan (*Aperture*)	Perkiraan Ukuran Partkel
Serbuk kuningan	80	0,180 mm	≤ 0,18 mm
Serbuk kayu mahoni	80	0,180 mm	≤ 0,18 mm



Gambar 1. Alur preparasi sampel kampas rem

Fabrikasi Kampas Rem

Fabrikasi kampas rem dilakukan melalui kombinasi metode kompaksi dan sintering seperti terlihat pada Gambar 1 dengan menggunakan campuran komposit yang terdiri atas serbuk kayu mahoni dan serbuk kuningan, dengan resin poliester dan magnesium oksida berperan sebagai bahan pengikat dan penguat. Proses pencampuran dilakukan secara mekanik menggunakan alat pencampur berpenggerak motor listrik dengan kecepatan 200 rpm selama 30 menit. Proses kompaksi dilakukan menggunakan mesin press hidrolik dengan tekanan 3000 psi, 3200 psi, dan 3400 psi (≈20.7–23.4 MPa) selama 60 menit, rentang tekanan yang dipilih didasarkan pada penelitian-penelitian mengenai pemadatan serbuk yang telah dilaporkan, yang menunjukkan bahwa tekanan antara 10–50 MPa secara efektif dapat mengurangi porositas dan meningkatkan densitas hijau *(green density)* tanpa menyebabkan terjadinya retak struktural. Variasi tekanan kompaksi [21] dan komposisi tersebut menjadi parameter utama penelitian untuk mengkaji pengaruh kondisi proses terhadap sifat fisik dan mekanik material kampas rem. Setelah tahap kompaksi, spesimen selanjutnya menjalani proses sintering menggunakan oven pada suhu 150°C selama 30 menit. Perlakuan termal ini bertujuan untuk meningkatkan ikatan antarpartikel, memperbaiki integritas mekanik komposit, serta mencapai tingkat densifikasi yang optimal pada kampas rem yang dihasilkan [22]. Setelah kampas rem selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian ketahanan aus dengan mengacu pada standart ASTM G99-23 dengan melakukan pengulangan sebanyak 3 kali pada masing-masing sampel pengujian.

Ketahanan Aus

Ketahanan aus spesimen kampas rem biokomposit dievaluasi menggunakan mesin uji keausan abrasif Ogoshi (Model OAT-U, Jepang). Ketahanan aus penting dilakukan untuk menguji keausan dan sifat mekanik dari komposit kampas rem [23]. Spesimen uji yang diproduksi melalui proses press molding dan sintering dengan dimensi 50 × 40 × 4 mm diuji pada empat titik permukaan yang berbeda untuk memperoleh data keausan yang representatif. Selama pengujian, sebuah cakram baja berputar dengan diameter 26 mm dan ketebalan 3 mm digunakan sebagai pasangan abrasif. Pengujian keausan dilakukan dengan beban normal sebesar 6,36 kg, jari-jari cakram 13

mm, kecepatan geser 0,244 m/s, dan waktu pengujian selama 59 detik. Kondisi tersebut setara dengan jarak geser total sebesar 30 m dan menghasilkan alur keausan dengan lebar 3 mm pada permukaan spesimen. Pengujian ketahanan aus dilakukan menggunakan metode *pin-on-disk* dengan mengacu pada ASTM G99-23. Nilai ketahanan aus (W_s) kemudian dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$W_s = \frac{B.b_o{}^3}{8.r.l_o.P_o}\ x\ 1000 \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Ketahanan Aus Kampas Rem

Tabel 2. Hasil pengujian ketahanan aus

Tekanan Kompaksi	Komposisi	Ketahanan aus (Ws) (mm³/kg.m)
3000 psi	1:4	9,2 x 10^{-4} ±0,1
	4:4	6,9 x 10^{-4} ±0,1
3200 psi	1:4	7,9 x 10^{-4} ±0,15
	4:4	5,7 x 10^{-4} ±0,17
3400 psi	1:4	7,7 x 10^{-4} ±0,1
	4:4	5,5 x 10^{-4} ±0,05

Hasil pengujian ketahanan aus (W_s) pada kampas rem biokomposit dengan variasi tekanan kompaksi disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, nilai keausan spesifik berada pada rentang 5,5 × 10^{-4} mm³/kg.m hingga 9,2 × 10^{-4} mm³/kg.m. Rentang nilai ini menunjukkan bahwa karakteristik keausan kampas rem biokomposit sangat dipengaruhi oleh kondisi proses fabrikasi yang diterapkan.

Secara umum, pada seluruh variasi tekanan kompaksi, spesimen dengan komposisi serbuk kayu mahoni terhadap serbuk kuningan sebesar 1:4 menunjukkan nilai keausan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi 4:4. Perbedaan ini menegaskan pentingnya peran komposisi material dalam menentukan performa tribologis kampas rem. Pada tekanan kompaksi 3000 psi, komposisi 1:4 menghasilkan nilai keausan spesifik tertinggi, yaitu sebesar 9,2 × 10^{-4} mm³/kg.m. Sebaliknya, pada tekanan yang sama, komposisi 4:4 menunjukkan nilai keausan yang lebih rendah, yakni 6,9 × 10^{-4} mm³/kg.m. Hasil ini menunjukkan bahwa pada tekanan kompaksi yang relatif rendah, peningkatan fraksi penguat mampu menurunkan laju keausan secara signifikan. Pola penurunan keausan yang serupa juga diamati pada tekanan kompaksi 3200 psi dan 3400 psi. Pada tekanan 3200 psi, nilai keausan menurun menjadi 7,9 × 10^{-4} mm³/kg·m untuk komposisi 1:4 dan 5,7 × 10^{-4} mm³/kg·m untuk komposisi 4:4. Sementara itu, pada tekanan kompaksi tertinggi sebesar 3400 psi, laju keausan mencapai nilai terendah dalam penelitian ini, yaitu masing-masing 7,7 × 10^{-4} mm³/kg·m dan 5,5 × 10^{-4} mm³/kg·m. Hal ini menegaskan bahwa peningkatan tekanan kompaksi berperan penting dalam meningkatkan ketahanan aus kampas rem biokomposit.

Pengaruh Tekanan Kompaksi Terhadap Ketahanan Aus

Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel hasil pengujian ketahanan aus, selanjutnya dilakukan analisis dan pendalaman terhadap hasil pengujian untuk mengkaji pengaruh tekanan kompaksi terhadap ketahanan aus kampas rem. Analisis ini bertujuan untuk memahami kecenderungan perubahan laju keausan akibat variasi tekanan kompaksi yang diterapkan selama proses fabrikasi. Berdasarkan Tabel 2, terlihat jelas bahwa peningkatan tekanan kompaksi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketahanan aus kampas rem biokomposit untuk kedua variasi komposisi, yaitu 1:4 dan 4:4. Pada tekanan kompaksi 3000 psi, nilai keausan masih relatif tinggi, terutama pada komposisi 1:4. Namun, seiring dengan meningkatnya tekanan kompaksi menjadi 3200 psi dan 3400 psi, nilai keausan spesifik menunjukkan kecenderungan menurun secara konsisten. Tren ini mengindikasikan bahwa tekanan kompaksi yang lebih tinggi berkontribusi langsung terhadap peningkatan ketahanan aus material kampas rem.

Penurunan laju keausan tersebut dapat dikaitkan dengan proses densifikasi struktur komposit selama tahap kompaksi. Tekanan yang lebih tinggi mampu memperkecil porositas internal,

meningkatkan kerapatan partikel, serta memperbaiki kontak antarmuka antara partikel serbuk kayu mahoni dan serbuk kuningan. Struktur komposit yang lebih padat menghasilkan distribusi beban gesek yang lebih merata pada permukaan kampas rem saat pengujian keausan, sehingga mengurangi konsentrasi tegangan lokal yang berpotensi memicu pelepasan material secara dini. Kondisi ini menyebabkan material menjadi lebih stabil terhadap gesekan dan menunjukkan laju keausan yang lebih rendah.

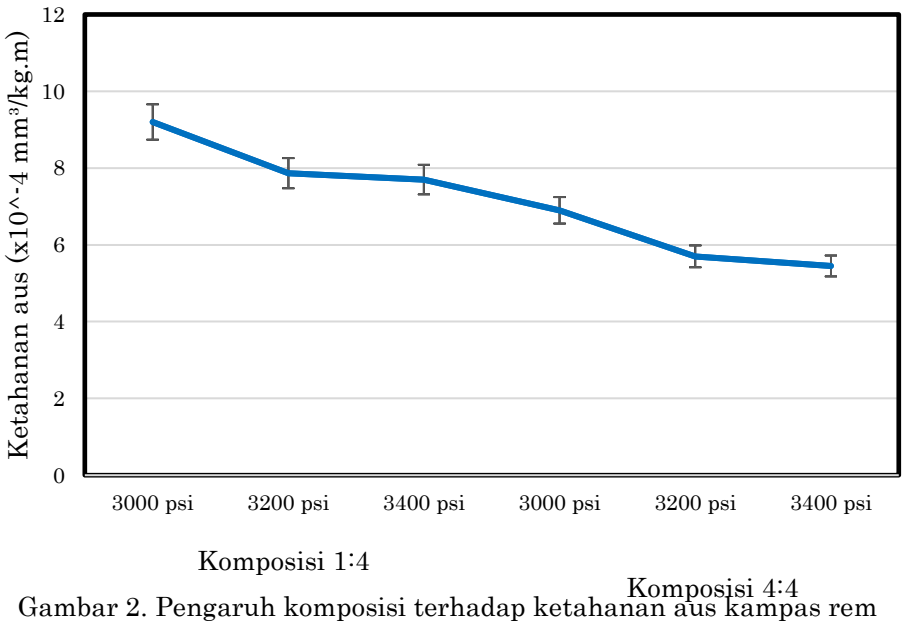
Selain pengaruh tekanan kompaksi, grafik juga menunjukkan bahwa komposisi 4:4 secara konsisten memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan komposisi 1:4 pada setiap tingkat tekanan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan fraksi penguat berperan dalam memperkuat struktur komposit dan meningkatkan kemampuan material dalam menahan beban gesek. Kombinasi antara fraksi penguat yang lebih tinggi dan tekanan kompaksi yang besar menghasilkan ikatan antarpartikel yang lebih kuat serta integritas struktural yang lebih baik. Hasil pengamatan ini sejalan dengan temuan Fadhil dan Hadi [24], yang melaporkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi dapat meningkatkan ketahanan aus material komposit melalui peningkatan densitas dan penurunan laju inisiasi mikroretak akibat beban gesek. Dengan demikian, grafik pada Gambar 2 menegaskan bahwa tekanan kompaksi dan komposisi material bekerja secara sinergis dalam meningkatkan ketahanan aus kampas rem biokomposit, sehingga mendukung pengembangan material kampas rem ramah lingkungan dengan performa tribologis yang baik.

Pengaruh Komposisi Terhadap Ketahanan Aus

Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel hasil pengujian ketahanan aus, selanjutnya dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengkaji pengaruh komposisi material terhadap ketahanan aus kampas rem. Pendalaman data ini bertujuan untuk memahami bagaimana variasi perbandingan serbuk kayu mahoni dan serbuk kuningan memengaruhi ketahanan aus yang dihasilkan. Hasil pengolahan dan analisis data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 2, yang memperlihatkan secara jelas hubungan antara komposisi material dan ketahanan aus kampas rem biokomposit.

Variasi komposisi kampas rem menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai ketahanan aus (W_s). Berdasarkan hasil pengujian, komposisi 4:4 secara konsisten menunjukkan nilai keausan yang lebih rendah dibandingkan komposisi 1:4 pada seluruh variasi tekanan kompaksi. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan fraksi penguat anorganik berupa serbuk kuningan berperan penting dalam meningkatkan ketahanan aus material kampas rem. Secara mekanistik, penurunan laju keausan pada komposisi 4:4 disebabkan oleh meningkatnya densitas dan kekompakan struktur komposit. Kandungan serbuk kuningan yang lebih tinggi memungkinkan terjadinya kontak antarpartikel yang lebih baik serta distribusi beban gesek yang lebih merata selama proses pengujian aus. Struktur komposit yang lebih padat ini mampu menahan deformasi plastis dan mengurangi pelepasan partikel selama kontak gesek. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Alotaibi dkk. [25], yang menyatakan bahwa peningkatan fraksi penguat pada material kampas rem berbasis serat alami dapat memperbaiki performa tribologi melalui pengurangan porositas dan peningkatan integritas struktural.

Selain itu, keberadaan serbuk kuningan dalam jumlah yang lebih besar juga berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan permukaan dan stabilitas koefisien gesek. Kuningan sebagai



Gambar 2. Pengaruh komposisi terhadap ketahanan aus kampas rem

material *non-ferrous* memiliki ketahanan aus yang baik serta mampu berperan sebagai pembawa beban (*load-bearing phase*) selama proses gesekan berlangsung. Dengan meningkatnya proporsi kuningan pada komposisi 4:4, matriks komposit menjadi lebih tahan terhadap abrasi dan mikro-retak. Di sisi lain, komposisi 1:4 yang memiliki fraksi pengisi organik lebih tinggi menunjukkan nilai keausan yang lebih besar. Kandungan serbuk kayu mahoni yang dominan cenderung meningkatkan porositas serta menurunkan kekuatan ikatan antarpartikel, sehingga material lebih mudah mengalami pengelupasan saat menerima beban gesek. Meskipun serbuk kayu mahoni memiliki keunggulan dari sisi keberlanjutan dan sifat ramah lingkungan, proporsi yang terlalu tinggi dapat menurunkan performa tribologi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Fuad dan Yudiono [26], yang melaporkan bahwa peningkatan fraksi pengisi organik tanpa keseimbangan penguat keras dapat meningkatkan laju keausan kampas rem komposit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa tekanan kompaksi dan komposisi material berpengaruh signifikan terhadap ketahanan aus kampas rem berbasis serbuk kayu mahoni dan serbuk kuningan. Peningkatan tekanan kompaksi dari 3000 psi hingga 3400 psi mampu menurunkan nilai keausan spesifik akibat meningkatnya densifikasi, berkurangnya porositas, dan membaiknya ikatan antarpartikel. Selain itu, peningkatan fraksi serbuk kuningan dalam komposit menghasilkan ketahanan aus yang lebih baik, dengan nilai keausan terendah sebesar $5{,}5 \times 10^{-4}$ mm³/kg.m diperoleh pada komposisi 4:4 dengan tekanan kompaksi 3400 psi. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi komposisi dan tekanan kompaksi yang tepat mampu meningkatkan performa tribologi kampas rem biokomposit, sehingga berpotensi menjadi alternatif material kampas rem yang ramah lingkungan dan bebas asbes untuk aplikasi otomotif. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada parameter proses manufaktur kampas rem yang dilakukan. Penelitian berikutnya perlu mempertimbangkan parameter proses sintering agar kampas rem yang dihasilkan dapat lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Z. Abdullah, P. M. Heerwan, M. A. Zakaria, and M. I. Ishak, "Investigation of Brake Pad Wear Impact on Autonomous Emergency Braking Pedestrian Performance on Wet Road Conditions," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 11415–11425, 2024, doi: 10.15282/ijame.21.2.2024.18.0881

[2] Y. Wei and J. Yin, "Defect Detection in Disc Brake Pads Using an Improved AlexNet

Convolutional Neural Network," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 22, no. 3, pp. 12654–12664, 2025, doi: 10.15282/ijame.22.3.2025.9.0966.
[3] P. Irawan *et al.,* "Overview of the Important Factors Influencing the Performance of Eco-Friendly Brake Pads," Polymers (Basel), vol. 14, no. 6, Article 1180, 2022, doi: 10.3390/ polym14061180.
[4] L. I. D. Tamás, O. Péter, S. Matyas, S. Erno, S. Alexandros, "Brake Disc Deformation Detection Using Intuitive Feature," *Machines*, vol. 214, no. 12, Article 214, 2024, doi: 10.3390/ machines12040214.
[5] M. Khafidh *et al.,* "A Study on Characteristics of Brake Pad Composite Materials by Varying the Composition of Epoxy, Rice Husk, Al_2O_3 and Fe_2O_3," *Automotive Experience*, vol. 6, no. 2, pp. 303–319, 2023, doi: 10.31603/ae.9121.
[6] J. Cao, J. Bao, Y. Yin, W. Yao, T. Liu, and T. Cao, "Intelligent Prediction of Wear Life of Automobile Brake Pad Based on Braking Conditions," *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 2, no. November, pp. 157–165, 2025, doi: 10.1108/ILT-04-2022-0132.
[7] A Y. Inagaki *et al.,* "Clinical Significance of Detecting Asbestos Bodies in Bronchoalveolar Lavage Fluid in Diffuse Lung Disease," *Respiratory Medicine*, vol. 252, no. December 2025, Article 108642, 2026, doi: 10.1016/j.rmed.2026.108642.
[8] J. O. Dirisu, I. P. Okokpujie, O. O. Joseph, and S. O. Oyedepo, "Sustainable Biocomposites Materials for Automotive Brake Pad Application : An Overview," *Journal of Renewable Materials*, vol. 12, no. 3, pp. 485–511, 2024, doi: 10.32604/jrm.2024.045188.
[9] Karimah *et al.,* "A Review on Natural Fibers for Development of Eco-Friendly Bio-Composite: Characteristics and Utilizations," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 13, pp. 2442–2458, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.06.014.
[10] C. Feron, G. Nanlohy, T. Sahusilawane, and M. C. Siahay, "Pengaruh Serbuk Kayu Mahoni Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Penelitian Multidisiplin Bangsa*, vol. 1, no. 7, pp. 810–819, 2024, doi: 10.59837/jpnmb.v1i7.141.
[11] T. M. Palian, F. Phengkarsa, and L. Buarlele, "Pengaruh Limbah Serbuk Kayu Mahoni Sebagai Subtitusi Agregat Halus Sebagai Campuran Beton," *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 57–67, 2023.
[12] R. Ariawan *et al.,* "Pelatihan Pengolahan Limbah Kayu Mahoni (*Swietenia Mahagoni*) pada BUMDes Banjarwaru," *Journal of Community Development,* vol. 5, no. 2, pp. 281–288, 2024, doi: 10.47134/comdev.v5i2.258
[13] S. Xu *et al.,* "Effect of Sulfate-Reducing Bacteria on Corrosion of Copper and Brass," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 35, no. 6, pp. 1919–1936, 2025, doi: 10.1016/S1003-6326(25)66791-4.
[14] M. A. Essam *et al.,* "Tribological Characteristics of Composite Brake Pads Under Variable Load and Speed," *Scientific Reports,* vol. 16, Article 1634, 2026, doi: 10.1038/s41598-025-33326-7s.
[15] Z. Ammar, H. Ibrahim, M. Adly, and I. Sarris, "Influence of Natural Fiber Content on the Frictional Material of Brake Pads – A Review," *Journal of Composite Science*, vol. 7, no. 2, Article 72, 2023, doi: 10.3390/jcs7020072.
[16] M. A. Essam, N. M. Abdeltawab, A. Y. Shash, and M. M. El-sayed, "Investigation of Mechanical Properties and Performance of Automotive Brake Pads," *Scientific Reports,* vol. 15, Article 32218, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-15116-3.
[17] R. Rajan, Y. K. Tyagi, A. Das, P. Kumar, and S. K. Patel, "Development and Analysis of Friction Characteristics of Coir Fiber Added Organic Brake Pad Composite," *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, no. 10, pp. 6077–6082, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.1011.
[18] M. Yigrem, O. Fatoba, and S. Tensay, "Tribological and Mechanical Properties of Banana Peel Hybrid Composite for Brake-Pad Application," *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, no. 6, pp. 2829–2838, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.381.
[19] O. R. Adetunji, A. M. Adedayo, S. O. Ismailia, and O. U. Dairo, "Effect of Silica on The Mechanical Properties of Palm Kernel Shell Based Automotive Brake Pad," *Mechanical Engineering for Society and Industry*, vol. 2, no. 1, pp. 7–16, 2022, doi: 10.31603/mesi.6178.
[20] F. Fatkhurrohman *et al.,* "Investigation on Hardness and Microstructural Behavior of Mahogany–Brass Reinforced Bio-Composite Brake Pads Under Varying Compaction Pressure," Jurnal Polimesin, vol. 24, no. 2, pp. 304–309, 2026, doi:10.30811/jpl.v24i2.8593
[21] J. Anggono and C. Ayub, "Pengaruh Variasi Tekanan Hot Press pada Kekuatan Biokomposit Biji Salak - Polipropilena," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 19, no. 2, pp. 36–39, 2022, doi:

10.9744/jtm.19.2.36-39.

[22] I. F. Fakhrurrozi, M. K. Herliansyah, and K. Kusmono, "Characterization and Mechanical Properties of PLA / Acetylated Cellulose Nanocrystals Composites for Dental Crown Prototype Application," *Results in Engineering*, vol. 25, Article 103903, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103903

[23] S. Sunardi, S. Hamdi, I. Saefuloh, A. Sudrajad, S. Ula, and M. Fawaid, "Perilaku Laju Keausan dan Kekerasan Komposit Epoksi yang Diperkuat dengan Serat Gelas dan Partikel Bambu," *Jurnal Teknik Mesin,* vol. 21, no. 2, pp. 64–72, 2024, doi: 10.9744/jtm.21.2.64-72.

[24] H. S. Fadhil and R. S. Hadi, "Erosion Wear and Hardness Shore D of Epoxy*," The Iraqi Journal For Mechanical And Materials Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 26–34, 2021, doi: 10.32852/iqjfmme.v21i1.536.

[25] S. Alotaibi *et al.,* "Incorporating Date Palm Fibers for Sustainable Friction Composites in Vehicle Brakes," *Scientific Reports,* vol. 14, Article 73275, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-73275-1.

[26] M. T. Nur Fuad and H. Yudiono, "Analisa Keausan Kampas Rem Sepeda Motor Berbahan Komposit Serbuk Tempurung Buah Maja," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 10, no. 1, pp. 45–53, 2024, doi: 10.23887/jptm.v10i1.44431.