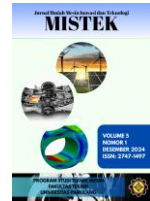




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS KEAUSAN KAMPAS REM RAMAH LINGKUNGAN PADA SISTEM *DISC BRAKE* DENGAN VARIASI KECEPATAN DAN TEKANAN

Aditya Hartono¹, Suhendi²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail: hartonoaditya99@gmail.com¹

Masuk : 2 September 2024

Direvisi : 07 Oktober 2024

Disetujui : 30 Oktober 2024

Abstrak: Kampas rem merupakan salah satu komponen utama dalam sistem pengereman kendaraan yang berperan dalam memperlambat dan menghentikan laju kendaraan. Proses pengereman secara langsung menyebabkan terjadinya keausan akibat interaksi gesekan dan tekanan antara dua permukaan kerja. Penelitian ini menggunakan kampas rem berbahan ramah lingkungan yang dibuat dari limbah serbuk kayu dan serabut kelapa. Pengujian dilakukan menggunakan alat uji keausan sistem pengereman dengan variasi kecepatan, tekanan, dan waktu pengujian untuk menentukan nilai laju dan volume keausan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi tekanan pengereman, kecepatan pengujian, serta komposisi material, khususnya persentase resin dan katalis, berpengaruh terhadap tingkat keausan kampas rem. Peningkatan persentase resin dan katalis menghasilkan material kampas rem yang lebih keras dan stabil sehingga nilai keausan menjadi lebih kecil. Berdasarkan perhitungan volume keausan, sampel kampas rem 1 memiliki nilai tertinggi sebesar 11×10^{-5} , diikuti oleh sampel kampas rem 2 sebesar $9,04 \times 10^{-5}$ dan sampel kampas rem 3 sebesar $8,09 \times 10^{-5}$, sedangkan nilai terendah diperoleh pada sampel kampas rem 4 sebesar $5,71 \times 10^{-5}$. Sebaliknya, laju keausan tertinggi terjadi pada sampel kampas rem 4 sebesar $1,24 \times 10^{-3}$ akibat massa dan tingkat kekerasan material yang lebih tinggi, sedangkan laju keausan terendah diperoleh pada sampel kampas rem 1 sebesar $1,06 \times 10^{-3}$.

Kata Kunci: Kampas Rem Ramah Lingkungan, Keausan Kampas Rem, Laju Keausan, Volume Keausan, *Disc Brake*.

Abstract: Brake pads are one of the main components in a vehicle braking system and function to decelerate or stop the vehicle. The braking process inherently causes wear due to the interaction of friction and contact pressure between two working surfaces. This study investigates environmentally friendly brake pads manufactured from wood powder and coconut fiber waste materials. Wear testing was conducted using a braking system wear testing apparatus with variations in speed, braking pressure, and testing time to determine the wear rate and wear volume. The results indicate that variations in braking pressure, testing speed, and material composition, particularly the percentage of resin and catalyst, significantly affect the wear behavior of the brake pads. An increase in resin and catalyst content produces a harder and more stable brake pad material, resulting in lower wear values. Based on the wear volume calculations, brake pad sample 1 exhibited the highest wear volume of 11×10^{-5} , followed by sample 2 at 9.04×10^{-5} and sample 3 at 8.09×10^{-5} , while the lowest wear volume was observed in brake pad sample 4 at 5.71×10^{-5} . In contrast, the highest wear rate occurred in brake pad sample 4 at 1.24×10^{-3} , which is attributed to its higher mass and material hardness, whereas the lowest wear rate was recorded for brake pad sample 1 at 1.06×10^{-3} .

Keywords: Environmentally Friendly Brake Pads, Brake Pad Wear, Wear Rate, Wear Volume, *Disc Brake*.

PENDAHULUAN

Rem merupakan perangkat keselamatan pada kendaraan bermotor yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan [1]. Oleh karena perannya yang sangat vital, sistem pengereman dikategorikan sebagai komponen kritis dan wajib tersedia pada setiap kendaraan bermotor [2]. Keandalan sistem pengereman secara langsung berpengaruh terhadap keselamatan pengendara dan pengguna jalan lainnya [3].

Salah satu komponen utama dalam sistem pengereman adalah kampas rem, yang berfungsi menghasilkan gaya gesek terhadap piringan atau tromol untuk memperlambat putaran roda. Secara umum, kampas rem sepeda motor masih banyak diproduksi menggunakan bahan berbasis asbes yang dicampur dengan material seperti silikon karbida (SiC), mangan

(Mn), atau kobalt (Co) melalui proses sintering dengan penekanan tertentu [4]. Namun, penggunaan asbes diketahui memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia, antara lain dapat menyebabkan iritasi dan luka pada paru-paru, kanker paru-paru, serta gangguan pada saluran pernapasan. Selain itu, keberadaan campuran logam berat dalam material kampas rem juga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan [5].

Seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap isu kesehatan dan lingkungan, pengembangan material kampas rem berbasis ramah lingkungan menjadi salah satu alternatif yang banyak diteliti. Serat alam yang berasal dari limbah organik, seperti serabut kelapa, serbuk kayu, dan limbah biomassa lainnya, memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit kampas rem. Pemanfaatan limbah organik tersebut tidak hanya dapat mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga meningkatkan nilai guna material yang sebelumnya kurang dimanfaatkan [6]–[8].

Dalam proses pengereman, keausan merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari. Keausan terjadi akibat adanya dua permukaan benda yang saling menekan dan bergesekan selama proses pengereman berlangsung. Umumnya, tingkat keausan yang lebih besar terjadi pada material dengan tingkat kekerasan yang lebih rendah. Beberapa faktor yang mempengaruhi keausan antara lain kecepatan relatif, tekanan kontak, kekerasan permukaan, dan sifat mekanik bahan. Semakin tinggi kecepatan gesek dan tekanan kontak yang terjadi, maka laju keausan material akan semakin meningkat, demikian pula sebaliknya. Proses pengikisan material akibat gesekan inilah yang disebut sebagai keausan, yang pada akhirnya menjadi salah satu faktor utama penentu umur pakai komponen dalam sistem pengereman dan permesinan secara umum.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik keausan kampas rem ramah lingkungan yang dibuat dari limbah serbuk kayu dan serabut kelapa. Metodologi penelitian disusun untuk memperoleh data kuantitatif berupa volume keausan dan laju keausan kampas rem melalui pengujian eksperimental menggunakan alat uji keausan sistem pengereman. Parameter volume keausan dihitung berdasarkan selisih massa spesimen sebelum dan sesudah pengujian. Perhitungan volume keausan dilakukan menggunakan Persamaan 1.

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho} \quad (1)$$

Di mana:

V : volume keausan (mm^3)
 m_1 : massa awal spesimen (gram)
 m_2 : massa spesimen setelah pengujian (gram)
 ρ : massa jenis material (gram/mm^3)

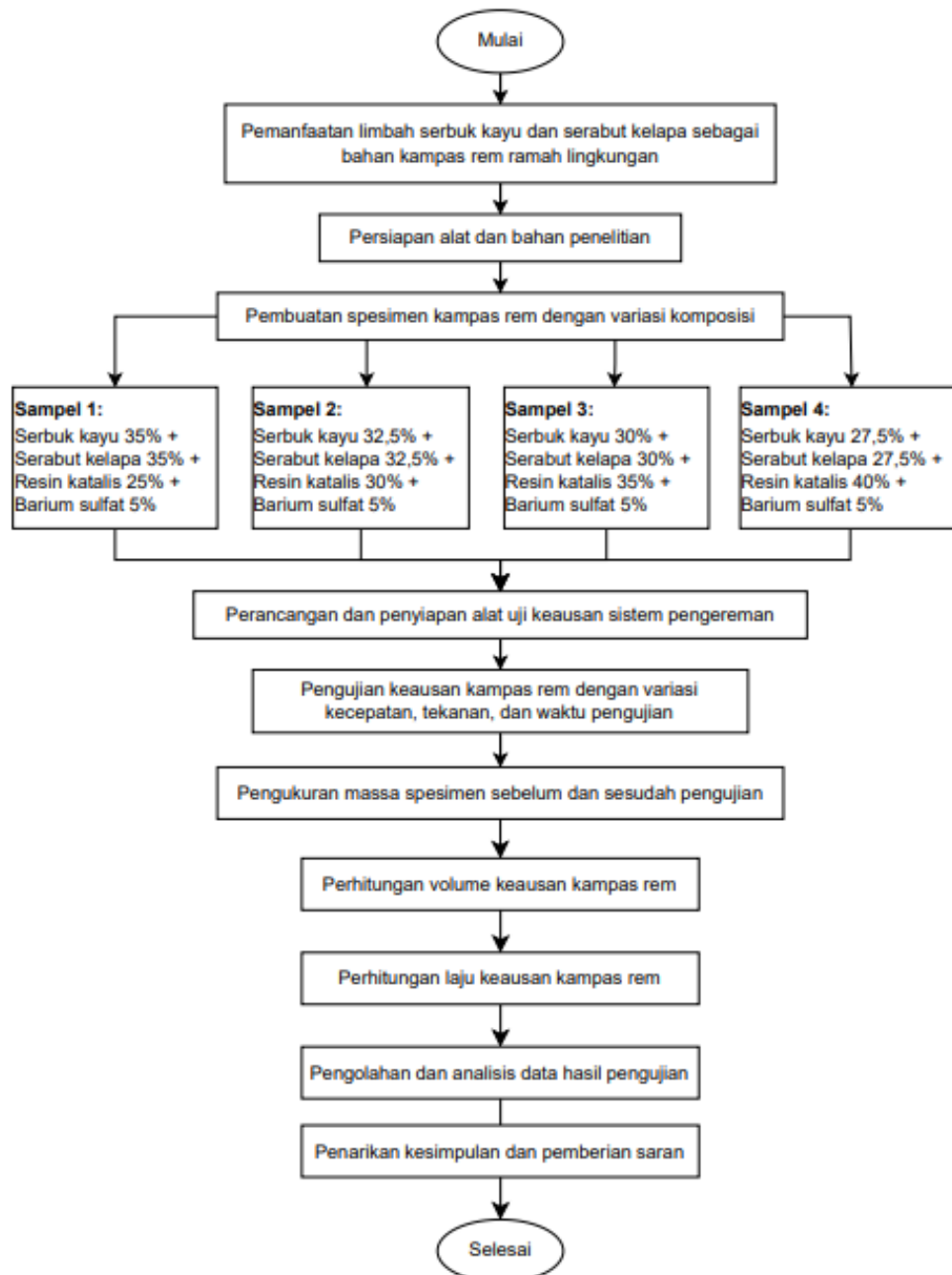
Selanjutnya, laju keausan kampas rem ditentukan menggunakan Persamaan 2.

$$N = \frac{m_1 - m_2}{t \cdot A} \quad (2)$$

Di mana:

N : laju keausan (gram/detik/mm^2)
 m_1 : massa awal benda uji (gram)
 m_2 : massa benda uji setelah mengalami keausan (gram)
 t : waktu pengausan (detik)
 A : luas bidang kontak (mm^2)

Tahapan penelitian secara keseluruhan disusun secara sistematis dan ditunjukkan dalam diagram alir penelitian yang mencakup proses pemanfaatan limbah serbuk kayu dan serabut kelapa sebagai bahan alternatif kampas rem, pembuatan spesimen kampas rem dengan variasi komposisi, perancangan dan penggunaan alat uji keausan, pengujian keausan, analisis data hasil pengujian, hingga penarikan kesimpulan dan pemberian saran. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menjamin kelayakan dan kinerja sistem keselamatan kendaraan bermotor, diperlukan standar teknis yang mengatur persyaratan minimum keselamatan dan keamanan. Di Indonesia, ketentuan tersebut diatur melalui Standar Nasional Indonesia (SNI). Terkait kampas rem kendaraan bermotor, klasifikasi, dimensi, dan koefisien gesek diatur dalam SNI 09-0143-1987, sedangkan persyaratan material dan residu kampas rem cakram diatur dalam SNI 09-2775-1992.

Berdasarkan standar dan regulasi yang berlaku, kampas rem yang layak digunakan harus memenuhi beberapa persyaratan utama, seperti tidak menggunakan bahan asbes, tidak menghasilkan residu pengereman berlebihan yang mencemari lingkungan, mampu menahan panas gesekan hingga di atas 350 °C, memiliki kemampuan pelepasan panas

yang baik, tahan terhadap perubahan suhu panas dan dingin, serta memiliki ketebalan dan tingkat keausan yang sesuai dengan spesifikasi produsen kendaraan. Selain itu, nilai kekerasan kampas rem kendaraan umumnya berada pada rentang 65,567 HVN hingga 90,000 HVN, tergantung spesifikasi kendaraan.

Pengujian keausan dilakukan pada kampas rem berbahan serbuk kayu dan serabut kelapa dengan fokus pada sampel kampas rem 1 yang sebelumnya menunjukkan nilai keausan terbesar. Untuk meningkatkan homogenitas material, sampel tersebut dibuat ulang menggunakan saringan *mesh* 60 sehingga ukuran partikel serbuk menjadi lebih halus dan seragam. Komposisi material kampas rem hasil pembuatan ulang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Material Kampas Rem Hasil Pembuatan Ulang

Sampel	Serbuk Kayu (%)	Serabut Kelapa (%)	Barium Sulfat (%)	Resin dan Katalis (10:1) (%)
Baru	35	35	5	25

Pengujian keausan dilakukan menggunakan tekanan sebesar 1 bar dengan variasi waktu pengujian 10 menit, 20 menit, 30 menit, dan 60 menit, serta variasi kecepatan 20 km/jam, 40 km/jam, 60 km/jam, dan 80 km/jam. Hasil pengujian kehilangan massa kampas rem ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kehilangan Massa Kampas Rem Pada Tekanan 1 Bar

Waktu (menit)	20 km/jam (gram)	40 km/jam (gram)	60 km/jam (gram)	80 km/jam (gram)
10	1	1,4	1,4	1,6
20	1,1	1,5	1,6	1,9
30	1,3	1,6	1,9	2,1
60	2,1	3	3,2	3,9

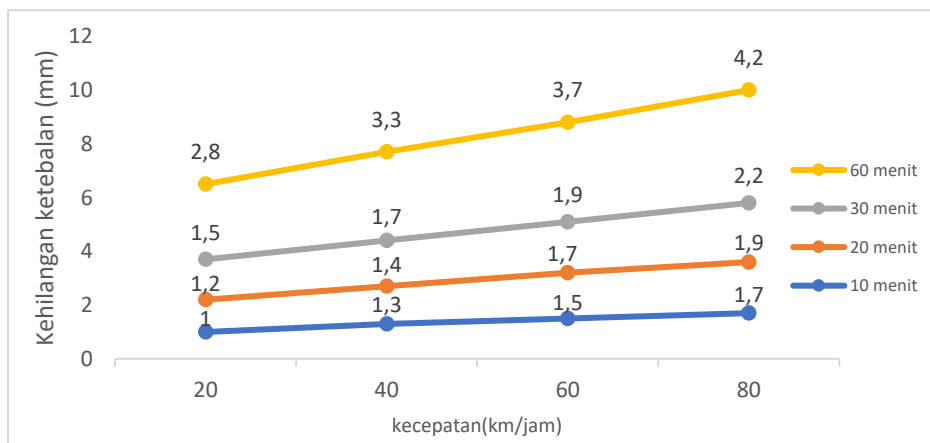
Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa kehilangan massa kampas rem cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pengujian dan kecepatan pengereman. Kehilangan massa terbesar terjadi pada waktu pengujian 60 menit dengan kecepatan 80 km/jam, yaitu sebesar 3,9 gram. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi waktu kontak dan kecepatan gesek yang lebih tinggi meningkatkan intensitas keausan material kampas rem.

Selain kehilangan massa, pengujian juga dilakukan untuk mengetahui kehilangan ketebalan kampas rem. Hasil pengukuran kehilangan ketebalan pada tekanan 1 bar ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kehilangan Ketebalan Kampas Rem Pada Tekanan 1 Bar

Waktu (menit)	20 km/jam (gram)	40 km/jam (gram)	60 km/jam (gram)	80 km/jam (gram)
10	1	1,3	1,5	1,7
20	1,2	1,4	1,7	1,9
30	1,5	1,7	1,9	2,2
60	2,8	3,3	3,7	4,2

Berdasarkan Tabel 3, kehilangan ketebalan kampas rem menunjukkan tren yang sama dengan kehilangan massa, yaitu meningkat seiring dengan bertambahnya waktu dan kecepatan pengereman. Kehilangan ketebalan tertinggi tercatat pada waktu pengujian 60 menit dan kecepatan 80 km/jam sebesar 4,2 mm. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan energi gesek selama proses pengereman memberikan kontribusi signifikan terhadap laju keausan kampas rem.



Gambar 2. Grafik Kehilangan Ketebalan Kampas Rem Pada Tekanan 1 Bar

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara kecepatan pengereman terhadap kehilangan ketebalan kampas rem pada tekanan 1 bar dengan variasi waktu pengujian 10 menit, 20 menit, 30 menit, dan 60 menit. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa kehilangan ketebalan kampas rem cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan pengereman dan waktu pengujian. Pada seluruh variasi waktu, peningkatan kecepatan dari 20 km/jam hingga 80 km/jam menyebabkan kenaikan kehilangan ketebalan yang signifikan. Kehilangan ketebalan terbesar terjadi pada waktu pengujian 60 menit, yaitu sebesar 2,8 mm pada kecepatan 20 km/jam dan meningkat hingga 4,2 mm pada kecepatan 80 km/jam. Sebaliknya, kehilangan ketebalan terendah tercatat pada waktu pengujian 10 menit, dengan nilai sebesar 1,0 mm pada kecepatan 20 km/jam dan meningkat menjadi 1,7 mm pada kecepatan 80 km/jam. Tren ini menunjukkan bahwa durasi kontak dan kecepatan gesek memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat keausan ketebalan kampas rem.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan kehilangan massa dan kehilangan ketebalan kampas rem dipengaruhi oleh variasi tekanan pengereman, komposisi material, dan kecepatan pengujian. Peningkatan persentase resin dan katalis dalam campuran kampas rem menghasilkan material yang lebih keras dan stabil sehingga nilai keausan menjadi lebih kecil. Sebaliknya, penggunaan resin dan katalis dengan persentase yang lebih rendah menghasilkan kampas rem yang lebih lunak dan meningkatkan nilai keausan.

Berdasarkan perhitungan volume keausan, sampel kampas rem 1 memiliki nilai tertinggi sebesar 11×10^{-5} , diikuti oleh sampel 2 sebesar $9,04 \times 10^{-5}$ dan sampel 3 sebesar $8,09 \times 10^{-5}$, sedangkan nilai terendah diperoleh pada sampel kampas rem 4 sebesar $5,71 \times 10^{-5}$. Sementara itu, laju keausan tertinggi terjadi pada sampel kampas rem 4 sebesar $1,24 \times 10^{-3}$ akibat karakteristik material yang lebih berat dan lebih keras, sedangkan laju keausan terendah diperoleh pada sampel kampas rem 1 sebesar $1,06 \times 10^{-3}$.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji variasi komposisi material kampas rem yang lebih luas serta melakukan pengujian tambahan, seperti uji kekerasan, uji koefisien gesek, dan uji ketahanan termal, guna memperoleh karakteristik kampas rem ramah lingkungan yang lebih komprehensif dan mendekati standar aplikasi kendaraan bermotor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. I. Haris, F. Ahmad, M. H. C. Hassan, and A. K. M. Yamin, "The Experimental Evaluation of Cone Wedge Shape based Electronic Wedge Brake Mechanism in Vehicle Braking System," *Automot. Exp.*, vol. 5, no. 3, pp. 433–451, 2022, doi: <https://doi.org/10.31603/ae.7112>.
- [2] J. Gong, Y. Luo, Z. Qiu, and X. Wang, "Determination of key components in automobile braking systems based on ABC classification and FMECA," *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 9, no. 1, pp. 69–77, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.01.008>.
- [3] S. Repin and S. Evtyukov, "Technique for ensuring safety of transportation vehicles through the analysis of their structural reliability," *MATEC Web Conf.*, vol. 334, p. 01011, 2021, doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202133401011>.
- [4] B. Bilvatej *et al.*, "Progress in polymeric and metallic brake pads: A comprehensive review," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.*, vol. 238, no. 1, pp. 3–25, 2024, doi: <https://doi.org/10.1177/13506501231204655>.
- [5] Z. Ammar, H. Ibrahim, M. Adly, I. Sarris, and S. Mehanny, "Influence of Natural Fiber Content on the Frictional Material of Brake Pads—A Review," *Journal of Composites Science*, vol. 7, no. 2, p. 72, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/jcs7020072>.
- [6] J. O. Dirisu *et al.*, "Sustainable Biocomposites Materials for Automotive Brake Pad Application: An Overview," *J. Renew. Mater.*, vol. 12, no. 3, pp. 485–511, 2024, doi: <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.045188>.
- [7] A. Kholil, S. T. Dwiyati, J. P. Siregar, Riyadi, and Sulaiman, "Development Brake Pad From Composites Of Coconut Fiber, Wood Powder And Cow Bone For Electric Motorcycle," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 9, no. 02, pp. 2938–2942, 2020.
- [8] Riyadi *et al.*, "Characteristics of Natural Fiber Composites Materials Reinforced with Aluminum and Copper Powder for The Performance of Automatic Motorcycle Clutch Pad," *Automot. Exp.*, vol. 6, no. 2, pp. 259–272, 2023, doi: <https://doi.org/10.31603/ae.8878>.