



Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Mahoni sebagai Komposit untuk Komponen Mekanik Kampas Rem

Widya Sinta Mustika

Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar

Niken Ellani Patitis

Program Studi Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit, Politeknik Kampar

Romiyadi

Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar

Denny Andriansyah

Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar

Mohammad Rendy Setiawan

Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar

Fauzan Dafa Rifqi

Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar

Jl. Tengku Muhammad, KM 2, Batu Belah, Bangkinang, Kampar, Riau, Indonesia

Korespondensi penulis: widyasintam@gmail.com

Abstract. Brake pads are a crucial component of brake parts, especially for motor vehicles. Regulations restricting the use of asbestos have prompted researchers to seek alternatives. In this study, brake pads will be made using biomass waste from sawdust obtained from the activities of furniture MSMEs in the Bangkinang area, Kampar, Riau. The utilization of this biomass waste is intended to minimize waste volume and provide an alternative raw material and production process for brake pads that are low-cost and abundantly available. In this study, brake pads are made with a mixture of sawdust filler matrix and epoxy resin reinforcement matrix. Next, the brake pad samples will be tested for physical characteristics in the form of density and water absorption. Mechanical strength is tested through a bending test using the Universal testing test. Brake pad performance will be tested through wear test values. The results of the test on physical and mechanical properties obtained a density of 0.73 g/cm^3 , a maximum bending load of 452.67 N, a flexural strength of 187.97 MPa, and an elastic modulus of 184.69 MPa. The physical characteristics of this composite show that sawdust can be an alternative raw material for brake pads that is cheap and abundantly available, thus supporting environmental sustainability.

Keywords: biomass; brake pads; composite; sawdust.

Abstrak. Kampas rem merupakan komponen pada suku cadang rem yang sangat penting, khususnya untuk kendaraan bermotor. Regulasi pembatasan penggunaan asbes mendorong peneliti untuk mencari alternatif. Pada penelitian ini, kampas rem akan dibuat dengan memanfaatkan limbah biomassa dari serbuk gergaji kayu yang diperoleh dari aktivitas UMKM *meubel* di daerah Bangkinang, Kampar, Riau. Pemanfaatan limbah biomassa ini ditujukan untuk meminimalkan volume limbah serta menghadirkan alternative bahan baku dan proses produksi kampas rem yang berbiaya murah dengan ketersediaan berlimpah. Dalam penelitian ini, kampas rem dibuat dengan campuran matriks pengisi serbuk gergaji dan matriks penguat *epoxy resin*. Selanjutnya, sampel kampas rem akan diuji karakteristik fisik berupa densitas dan daya serap air. Kekuatan mekanik diuji melalui uji *bending* menggunakan *Universal testing test*. Performa kampas rem akan diuji melalui nilai uji keausan. Hasil pengujian terhadap sifat fisik dan mekanik diperoleh densitas $0,73 \text{ g/cm}^3$, beban lentur maksimum 452,67 N, serta kekuatan lentur sebesar 187,97 MPa, dan modulus elastis sebesar 184,69 MPa. Karakteristik fisik komposit ini menunjukkan bahwa serbuk gergaji dapat menjadi alternative bahan baku kampas rem yang murah dengan ketersediaan berlimpah sehingga mendukung keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci: biomassa; kampas rem; komposit; serbuk gergaji kayu.

LATAR BELAKANG

Rem merupakan suku cadang yang sangat penting dalam dunia mekanisasi, khususnya kendaraan bermotor. Rem berfungsi sebagai penghenti gerakan atau penghambat kelajuan pada alat transportasi seperti mobil dan sepeda motor (Mulani, Kumar, Shaikh, Saurabh, Singh, & Verma, 2022; Borawski, 2020). Rem terdiri dari beberapa bagian komponen yaitu: piringan cakram, kampas rem, brake caliper, piston, selang hidrolik, *disc brake oil reservoir*, *nipple bleed*, dll. Kampas rem merupakan komponen yang paling sering diganti, karena penipisan material akibat gesekan (Borawski, 2020). Permintaan kebutuhan kampas rem tentunya juga meningkat seiring pertambahan jumlah penduduk dan masifnya penggunaan kendaraan bermotor dikalangan masyarakat.

Kampas rem pada mulanya dibuat dari bahan asbes, karena memiliki nilai tribology yang baik. Namun, dewasa ini penggunaan bahan asbes sebagai bahan baku kampas rem telah dilarang oleh *world health organization* (WHO) dan *International Agency for Research on Cancer* (IARC) (Fitriyana, et al., 2023; Ayogwu, Sintali, & Bawa, 2020). Larangan ini terkait debu yang dihasilkan dari pengikisan asbes yang dapat menyebabkan kanker paru-paru (Jadhav & S.H. Sawant, 2019). Alternatif pengganti bahan asbes adalah komposit, yaitu campuran bahan fiber dengan matriks penguat logam (Febryana &

Sutikno, 2022; Ayogwu, Sintali, & Bawa, 2020). Namun, kampas rem komposit ini mengakibatkan peningkatan biaya produksi sehingga cukup mahal untuk kalangan masyarakat pada umumnya.

Dewasa ini, kajian mengenai bahan baku pengganti dengan biaya murah, ketersediaan berlimpah, serta ramah lingkungan tanpa mengurangi efek tribologinya mulai banyak dikembangkan (Ayogwu, Sintali, & Bawa, 2020; Selvaraj, et al., 2021). Bahan baku biomassa berbasis limbah telah ditinjau sebagai matriks pengisi kampas rem komposit (Joshi, Bharath, & Basavarajappa, 2023), seperti sekam padi, tempurung kelapa, kayu jati, dll (Fitriyana, et al., 2023; Novianto, Ismailb, & Saputra, 2023; Kosjoko, Auliq, & Yudistira, 2021). Penggunaan bahan baku limbah biomassa mampu menghadirkan biaya yang murah. Namun, bahan baku biomassa membutuhkan langkah pengolahan untuk mengkonversi *bulk material* menjadi serbuk yang siap dicampur dengan matrik penguat (Ayogwu, Sintali, & Bawa, 2020; Borawski, 2020). Oleh karena itu, limbah dalam bentuk serbuk akan menjadi solusi untuk sebuah metode yang lebih sederhana.

Langkah ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah pengolahan industri atau usaha meubel, seperti serbuk gergaji kayu. Pemanfaatan serbuk gerjagi kayu ini juga dapat mengurangi volume limbah. Selain itu, hal ini juga serta meminimalisir resiko lingkungan, seperti debu dari serbuk gergaji atau penyumbatan saluran air akibat terbawa aliran air. Kosjoko (2023) telah memanfaatkan serbuk gergaji dari kayu jati sebagai bahan baku kampas rem, dengan nilai keausan yang cukup baik Hasil uji keausan yang memunuhi standar komersil, yaitu keausan kering sebesar $0,015 \text{ gr/mm}^2\text{.S}$, dan keausan basah sebesar $0,04 \text{ gr/mm}^2\text{.S}$ (Kosjoko, Auliq, & Yudistira, 2021). Namun, keterbatasan penggunaan kayu jati adalah nilai ekonomis yang mahal dan tidak terdistribusi merata di seluruh daerah di Indonesia, dengan kata lain bahan baku sulit di dapat di Riau.

Berdasarkan uraian diatas, tim peneliti akan membuat kampas rem berbahan baku limbah biomassa serbuk kayu mahoni yang tersedia di usaha meubel Bangkinang Kota, dengan campuran matrik penguat resin epoxy. Selanjutnya, sampel kampas rem akan diuji melalui karakter fisik, mekanik.

KAJIAN TEORITIS

1. Komposit dan Biomassa

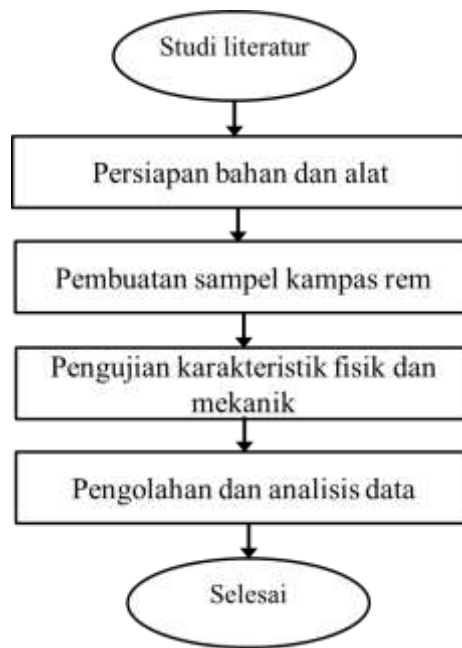
Komposit merupakan gabungan dua jenis bahan, yang ditujukan untuk memperoleh keunggulan sifat dari kedua bahan tersebut. Komposit umumnya dijadikan alternatif untuk memperoleh bahan dengan karakteristik yang kuat, lentur, dan ringan. Salah satu bahan penyusun komposit yang dibanyak digunakan adalah biomassa, karena ketersediaan berlimpah dan biaya murah. Beberapa contoh penggunaan biomassa sebagai bahan komposit diantaranya; 1) Penggunaan serat pelepah pisang dengan campuran butiran mesh aluminium silikon (Al-Si) sebagai kampas rem (Purboputro, 2022); 2) Pembuatan kampas rem dari komposit arang tempurung kelapa dan tulang sapi, dengan campuran serbuk aluminium, resin epoxy, dan MgO (Novianto, Ismailb, & Saputra, 2023); 3) Penggunaan serbuk kayu jati (*Tectona Grandis* L.F) sebagai Bahan penguat komposit kampas rem sepeda motor dengan matriks epoxy (Kosjoko, Auliq, & Yudistira, 2021).

2. Uji bending

Tujuan dari pengujian *bending* ini untuk mengetahui ketahanan suatu bahan terhadap pembebanan pada titik lentur dan untuk mengetahui keelastisan suatu bahan. Pembebanan yang diberikan adalah pembebanan dengan tegak lurus dengan titik-titik sebagai penahanan berjarak tertentu dan titik pembebanan diletakkan pada titik tengah sampel dimana besarnya pelengkungan ini disebut defleksi (δ).

METODE PENELITIAN

Penelitian dapat dibagi menjadi 2 tahapan utama, yaitu persiapan sampel kampas rem dan pengujian karakteristik kampas rem, secara rinci dapat dilihat pada diagram alir penelitian (Gambar 2). Sedangkan, Keseluruhan proses pembuatan sampel komposit kampas rem disajikan pada Gambar 2. Proses pembuatan dilakukan dengan mencampur bahan baku limbah serbuk gergaji kayu dengan matriks penguat seperti epoxy resin ataupun bahan perekat seperti tepung. Selanjutnya, dilakukan proses pencepatan menggunakan wadah persegi 30 X 20 X 2 cm, dan diikuti proses pengeringan secara alami selama 1 X 24 jam, dan dilanjutkan pengeringan dibawah matahari hingga massa konstan.

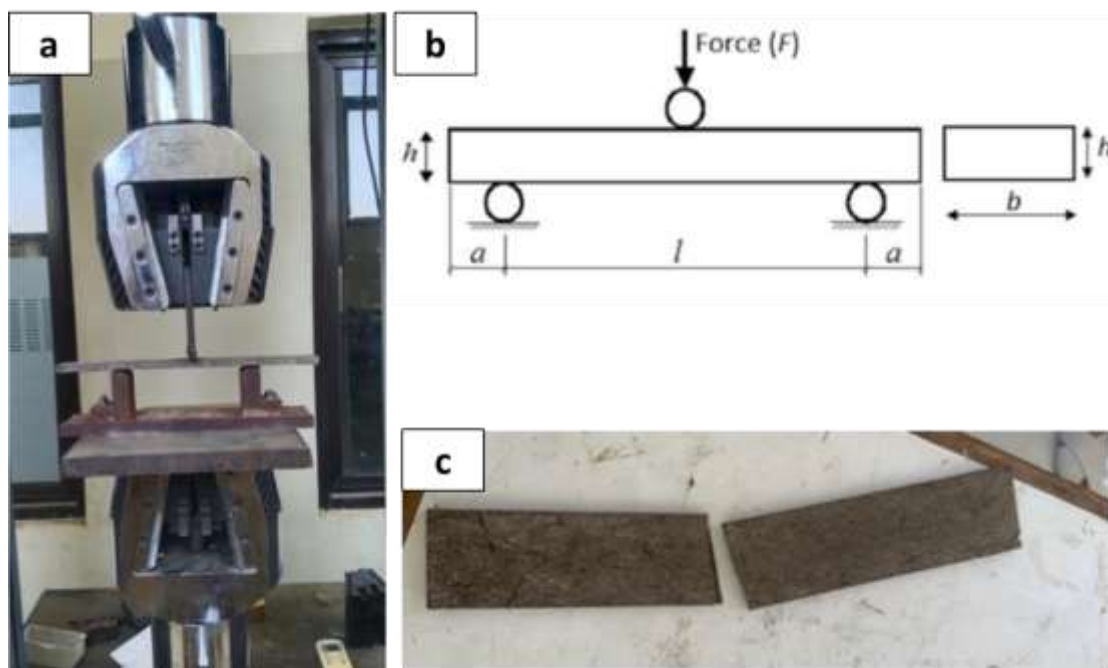


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian.



Gambar 2. Proses pembuatan sampel komposit kampas rem; a) penjemuran, b) pengayakan, c) pencampuran serbuk gergaji kayu mahoni dan epoxy resin, d) pencetakan dan pengeringan, e) pemotongan sampel.

Selanjutnya karakterisasi komposit dilakukan dengan meninjau karakteristik fisik, mekanik. Pengujian karakteristik fisik yaitu densitas melalui pengukuran dimensi (panjang, lebar dan tinggi) serta massa sampel komposit, sementara karakteristik mekanik diuji menggunakan Universal Testing Test menggunakan HUNG TA HT – 8503, dengan menggunakan standar komposit ASTM C 393. yang dilakukan di Workshop Politeknik Kampar. Berikut gambar pengujian bending yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dimana, Force (F) adalah pembebanan (N), h adalah tebal sampel (cm), b adalah lebar sampel (cm), dan l adalah panjang sampel (cm).



Gambar 3. Pengujian bending sampel komposit kampas rem serbuk gergaji kayu mahoni; a) proses pengujian menggunakan universal testing test, b) skematik pengujian, c) hasil pengujian.

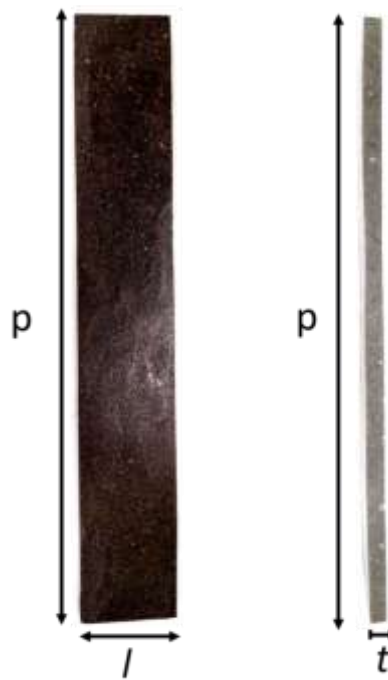
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Densitas

Densitas ($\rho, \text{g/cm}^3$) merujuk pada perbandingan massa (m, g) terhadap volume (V, cm^3) yang dapat dikalkulasikan dari persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Nilai densitas dapat memberikan gambaran awal tentang tingkat kepadatan suatu bahan. Sampel komposit serbuk gergaji kayu mahoni sebagai kampas rem dipersiapkan dalam dimensi panjang (p) $\pm 3,5 \times 10^{-1} \text{ m}$, lebar (l) $\pm 5,5 \times 10^{-2} \text{ m}$, tebal (t) $\pm 9,75 \times 10^{-3} \text{ m}$, sehingga diperoleh volume (V) sebesar $187,7 \text{ cm}^3$. Ukuran sampel komposit disesuaikan dengan standar sampel uji bending, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dengan massa (m) sampel sebesar $136,87 \text{ g}$, sampel komposit kampas rem serbuk gergaji mahoni memperoleh densitas sebesar 0.73 g/cm^3 .

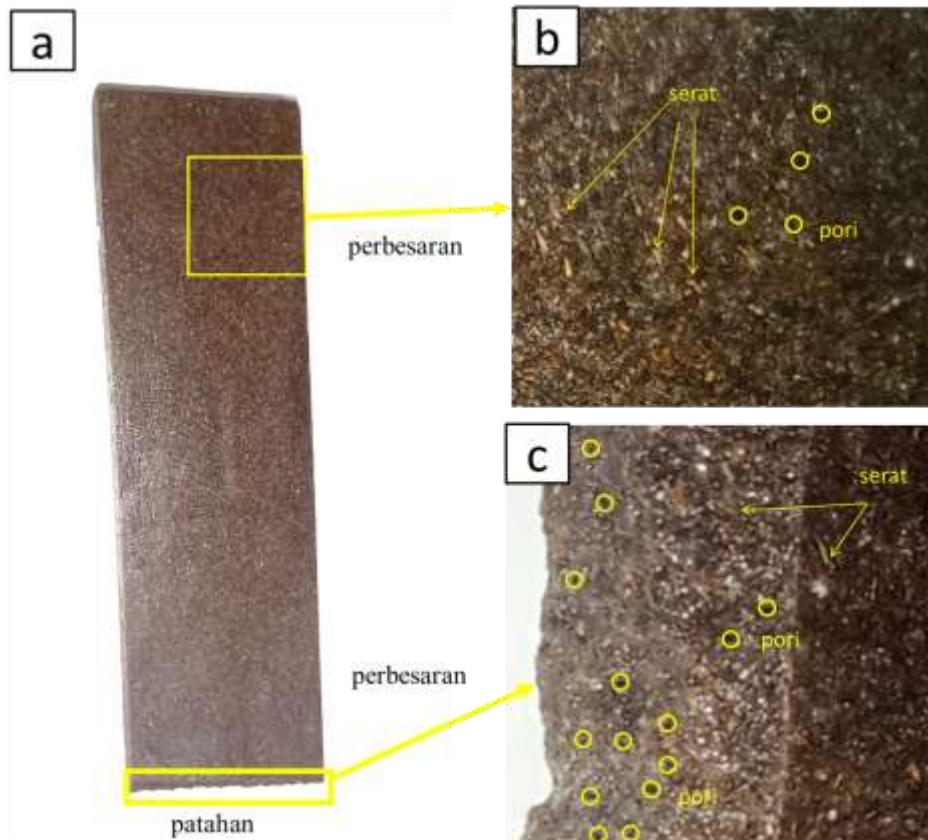


Gambar 4. Sampel komposit kampas rem serbuk gerbaji kayu mahoni.

Nilai densitas komposit yang relatif kecil $\leq 1 \text{ g/cm}^3$, dan juga diluar SAE yaitu sebesar $1,5 - 2,4 \text{ g/cm}^3$. Densitas komposit dapat dipengaruhi oleh komposisi bahan baku yang digunakan, seperti komposit dari campuran sekam padi dengan 50% matriks resin epoxy, serta aluminium oksida (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3), menghasilkan densitas sebesar $1,33 \text{ g/cm}^3$ (Fitriyana, et al., 2023), sementara itu komposisi 40% sekam padi dan 60% resin menghasilkan densitas sebesar $1,10 \text{ g/cm}^3$ (Nandiyanto, et al., 2021). Nilai densitas yang kecil dapat mengindikasikan mengenai massa sampel yang ringan, Namun, diharapkan mampu memengunggulkan karakteristik komposit dari biomassa yaitu ringan dan kuat, sehingga mendukung performa pengereman pada kendaraan bermotor.

Kerapatan yang kecil mungkin juga disebabkan oleh udara yang terperangkap didalam sampel saat proses preparasi sampel, terutama saat pencetakan. Penggunaan resin sebagai matrik pengisi umumnya menghasilkan tantangan yaitu munculnya gelembung udara, yang mengisi celah antar matriks penguat serat biomassa (Alamsyah, Hidayat, & Iskandar, 2020; Nugraha, Setiawan, & Sehonon, 2022). Gelembung udara akan menguap

saat proses pengeringan atau penjemuran sampel komposit, sehingga meninggal ruang kosong atau pori-pori pada permukaan sampel, yang diberikan pada Gambar 5.

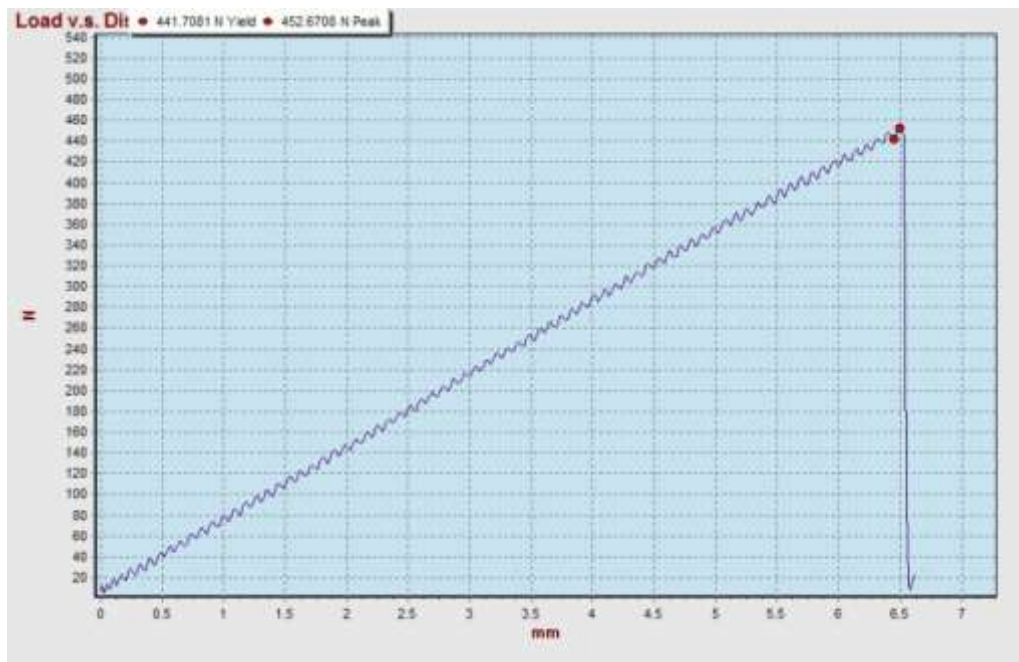


Gambar 5. Tekstur sampel komposit kampas rem serbuk gergaji kayu mahoni; a) patahan sampel uji; b) perbesaran tampak atas; c) perbesaran patahan diagonal.

Tekstur komposit kampas rem dari serbuk gergaji kayu mahoni diperoleh menggunakan aplikasi magnifier android (Magnifying Glass with Flash, Hihoay.io) pada resolusi +2eV, menunjukkan permukaan komposit yang cukup seragam pada Gambar 5a), yang mengindikasikan permukaan yang rata dan memungkinkan kontak yang baik saat pengereman. Gambar 5b dan 5c menunjukkan perbesaran 4X pada resolusi yang sama untuk sisi atas dan patahan hasil uji *bending*. Permukaan komposit menunjukkan bagian serat yang merupakan biomassa pengisi dan beberapa bagian berwarna putih yang mengindikasikan bahan resin epoxy belum tercampur sempurna. Beberapa pori juga muncul diantara ikatan serat biomassa sebagai matriks pengisi dan resin epoxy sebagai penguat, yang disebabkan proses pencetakan konvensional memungkinkan munculnya ruang udara (Fitriyana, et al., 2023; Nandiyanto, et al., 2021).

2. Kekuatan mekanik

Kekuatan mekanik sampel komposit kampas rem serbuk gerbaji kayu mahoni diuji menggunakan metode uji bending, yang bertujuan untuk mengevaluasi batas maksimum tekanan yang dapat diterima oleh sampel. Hasil uji bending disajikan dalam kurva perubahan total gaya penekan terhadap pertambahan panjang (elongasi) sampel, yang diberikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva uji bending sampel komposit kampas rem serbuk gerbaji kayu mahoni.

Hasil uji *bending* menunjukkan bahwa sampel komposit bertambah panjang seiring dengan pertambahan nilai gaya pada beban penekan. Kondisi ini menunjukkan sampel komposit bersifat getas. Pada titik maksimum dengan nilai gaya maksimal diperoleh sebesar 452,67 N, dimana sampel komposit mengalami *crack* atau patah, dengan elongasi maksimum sebesar 4,41%. Sementara itu, kekuatan luluh (*yield strength*) maksimum diperoleh sebesar 7.95 N/mm² dan kekuatan lentur (*bending strength*) sebesar 187.97 N/mm². Sementara itu nilai modulus elastis dapat dihitung dengan persamaan berikut;

$$E = \frac{FL_o}{A\Delta L}$$

Dimana, E adalah modulus elastis, F adalah gaya lentur maksimum sebesar 452, 67 N, L_0 adalah panjang awal sampel sebesar 0,35 m, A adalah luas penampang sampel sebesar $55,575 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, serta ΔL adalah elongasi maksimum yang diperoleh sebesar 0,015435 m. Hasil perhitungan memperoleh bahwa modulus elastis untuk sampel rem komposit dari serbuk gergaji kayu mahoni sebesar 184,69 MPa. Karakteristik dari komposit untuk kampas rem dapat juga diuji dengan berbagai metode lainnya, seperti uji kekerasan (Akıncıoğlu, Akıncıoğlu, Öktem, & Uygur, 2021). Perbandingan bahan baku, metode pembuatan, dan karakteristik dari beberapa kampas rem berbasis komposit biomassa diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan biomassa dan kekuatan mekanik sampel komposit untuk kampas rem

No	Biomassa filler	Matriks komposit	Metode pencetakan	Kekuatan mekanik - pengujian	Referensi
1	Serat pinang	Resin epoxy + serbuk gelas	Tekanan 9 ton, suhu 160°C	77 HRB – Uji Kekerasan	(Febryana & Sutikno, 2022)
2	Sekam padi	Resin epoxy + aluminium oksida dan besi oksida	Konvensional dan pengeringan suhu ruang	26,85 MPa – Uji Tarik	(Fitriyana, et al., 2023)
3	Serbuk kayu jati	Resin epoxy	tekanan 2 ton dan pemanasan suhu 200°C	60,1- Uji kekerasan Durometer	(Kosjoko, Auliq, & Yudistira, 2021)
4	Arang tempurung kelapa + tulang sapi	resin epoxy, aluminum, dan MgO.	tekanan 5 ton, suhu 180°C	71,44 HV – Uji kekerasan Vickers	(Novianto, Ismailb, & Saputra, 2023)
5	Serbuk gergaji kayu mahoni	Resin epoxy	Konvensional dan pengeringan suhu ruang	187,97 MPa – uji bending	Penelitian saat ini

KESIMPULAN DAN SARAN

Pembuatan rem komposit telah berhasil dilakukan melalui pencampuran serbuk kayu dengan resin sintetis yang memiliki sifat perekat yang kuat sehingga dapat meningkatkan ikatan antara serbuk kayu dan memberikan ketahanan mekanik yang lebih baik. Proses pengempaan dan pengeringan dilakukan untuk membentuk panel

komposit dengan ukuran dan ketebalan yang sesuai. Hasil pengujian terhadap sifat fisik dan mekanik diperoleh densitas $0,73 \text{ g/cm}^3$, gaya beban maksimum 452,67 N, kekuatan lentur sebesar 187,97 MPa, dan modulus elastis sebesar 184,69 MPa. Karakteristik komposit yang diperoleh menunjukkan bahwa serbuk gergaji kayu mahoni berpotensi dijadikan bahan baku alternative matriks pengisi komposit untuk kampas rem. Namun, beberapa perbaikan perlu diperhatikan seperti penerapan metode *hottpress* saat pencetakan untuk meningkatkan nilai densitas, serta penggunaan serbuk gelas atau logam untuk meningkatkan nilai kekuatan mekanik dari kampas rem berbasis komposit biomassa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Kampar atas pendanaan Hibah Internal dengan judul “Pembuatan dan Karakterisasi Kampas Rem Berbasis Limbah Serbuk Gergaji Kayu”

DAFTAR REFERENSI

- Akıncıoğlu, G., Akıncıoğlu, S., Öktem, H., & Uygur, İ. (2021). Brake Pad Performance Characteristic Assessment Methods. *International Journal of Automotive Science and Technology*, Vol. 5, No. 1, pp. 67-78.
- Alamsyah, Hidayat, T., & Iskandar, A. N. (2020). Comparison Effect of Resin and Catalyst Against Fiberglass-Composite Tensile Strength Polyester For Ship Building Materials. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, Vol. 1, No. 2, pp. 26–32.
- Ayogwu, D. O., Sintali, I. S., & Bawa, M. A. (2020). A Review on Brake Pad Materials and Methods of Production. *Composite Materials*, Vol. 4, No. 1, pp. 8-14 .
- Borawski, A. (2020). Conventional and unconventional materials used in the production of brake pads – review. *Science and Engineering of Composite Materials*, vol. 27, no. 1, pp. 374-396.
- Febryana, H. S., & Sutikno. (2022). Pengujian Sifat Mekanik dan Sifat Termal pada Kampas Rem Komposit Serbuk Gelas. *Unnes Physics Education Journal*, Vol 11, page 64-72.
- Fitriyana, D. F., Widodo, R. D., Kriswanto, Athoillah, A., Yudi, A., Prasetyo, et al. (2023). Pengaruh Fraksi Volume Sekam Padi, Aluminium Oksida dan Besi Oksida Terhadap Sifat . *Momentum*, Vol 19, page 99-105.

- Jadhav, S., & S.H. Sawant. (2019). A review paper: Development of novel friction material for vehicle brake pad application to minimize environmental and health issues. *Materials Today: Proceedings*, Volume 19, Part 2, pp. 209-212.
- Joshi, A. G., Bharath, K., & Basavarajappa, S. (2023). Recent progress in the research on natural composite brake pads: A comprehensive review. *Tribology - Materials, Surfaces & Interfaces*, Vol. 17, No. 3, pp. 237-259.
- Kosjoko, Auliq, M. A., & Yudistira, G. (2021). Serbuk Kayu Jati (*Tectona Grandis* L.F) sebagai Bahan Penguat Komposit Brake Pad Sepeda Motor Bermatriks Epoxy. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, Vol. 6, page 16-19.
- Mulani, S. M., Kumar, A., Shaikh, H. N., Saurabh, A., Singh, P. K., & Verma, P. C. (2022). A review on recent development and challenges in automotive brake pad-disc system. *Materials Today: Proceedings*, Volume 56, Part 1, Pages 447-454.
- Nandiyanto, A. B., Hofifah, S. N., Girsang, G. C., Putri, S. R., Budiman, B. A., Triawan, F., et al. (2021). The Effects of Rice Husk Particles Size as A Reinforcement Component on Resin-Based Brake Pad Performance: From Literature Review on the Use of Agricultural Waste as A Reinforcement Material, Chemical Polymerization Reaction of Epoxy Resin, to Experiments. *Automotive Experiences*, Vol. 4 No.2, pp.68-82.
- Novianto, A., Ismailb, R., & Saputra, B. A. (2023). Karakteristik Kampas Rem Dari Komposit Serbuk Arang Tempurung Kelapa dan Serbuk Tulang Sapi. *Rotasi*, Vol 25, page 52-58.
- Nugraha, D. E., Setiawan, F., & Sehono. (2022). Eksperimen Pembuatan Komposit Brbahan Dasar Tanaman Mendong Menggunakan Metode Vacuum Bagging. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, Vol. 2, No. 2, pp. 36-41.
- Purboputro, P. I. (2022). Pembuatan Kampas Rem Menggunakan Serat Pelepah Pisang dengan Variasi Butiran Alumunium Silicon (Al-Si) Mesh 50, 60, 100 Terhadap Tingkat Kekerasan, Keausan, dan Koefisien Gesek. *Simposium Nasional RAPI XX – 2021 FT UMS* (hal. 223-228). Solo: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Selvaraj, S. K., Ramesh, R., Narendhra, T. M., Agarwal, I. N., Chadha, U., Paramasivam, V., et al. (2021). New Developments in Carbon-Based Nanomaterials for Automotive Brake Pad Applications and Future Challenges. *Journal of Nanomaterials*, pp 6787435.