

PENGEMBANGAN KOMPOSIT KAMPAS REM BERBAHAN CANGKANG KERANG, SERAT KARBON, KUNINGAN, DAN RESIN

Ihwan Rohman Hidayat Iwangga^{*1}, R. Faiz Listyanda², Agung Purnomo³,
Xander Salahudin⁴, Sri Hastuti⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar,

Jl. Kapten Suparman 39, Magelang, Indonesia; (0293) 364113

e-mail: ^{*1}ihwanangga73@gmail.com, ²faizlistyanda@untidar.ac.id, ³agungpurnomo@untidar.ac.id,

⁴xander@untidar.ac.id, ⁵hastutisrimesin@untidar.ac.id

Abstrak

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor menyebabkan kebutuhan terhadap material kampas rem terus meningkat. Kampas rem berbahan asbestos telah lama digunakan karena memiliki karakteristik gesek yang baik, namun penggunaannya mulai dibatasi karena serat asbestos berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan dan pencemaran lingkungan. Salah satu alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah limbah cangkang kerang darah yang memiliki kandungan kalsium karbonat tinggi dan berpotensi digunakan sebagai bahan pengisi (filler) pada komposit kampas rem non-asbestos. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serbuk cangkang kerang darah terhadap nilai keausan spesifik dan nilai dampak komposit kampas rem. Komposit dibuat menggunakan serbuk cangkang kerang darah sebagai bahan pengisi (filler), serat karbon sebagai bahan penguat, serbuk kuningan sebagai bahan pengisi (filler) logam, dan resin sebagai matriks. Penelitian menggunakan tiga variasi komposisi berdasarkan fraksi volume, yaitu V1 (25% serbuk cangkang kerang darah, 8% serat karbon, 25% serbuk kuningan, dan 42% resin epoksi), V2 (30%, 8%, 20%, dan 42%), serta V3 (35%, 8%, 15%, dan 42%). Pengujian keausan dilakukan menggunakan metode Ogoshi berdasarkan ASTM G99-95a, sedangkan pengujian dampak menggunakan metode Charpy berdasarkan ASTM D6110. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kandungan serbuk cangkang kerang darah menyebabkan nilai keausan spesifik meningkat dari $3,63 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ menjadi $5,49 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$, sedangkan nilai ketangguhan dampak menurun dari 0,095 J/mm² menjadi 0,062 J/mm². Variasi komposisi dengan kandungan serbuk cangkang kerang darah 25% menghasilkan nilai keausan spesifik dan nilai ketangguhan dampak terbaik, sehingga menunjukkan potensi pemanfaatan limbah cangkang kerang darah sebagai bahan pengisi komposit kampas rem.

Kata kunci: kampas rem, keausan spesifik, komposit, ketangguhan dampak, serbuk cangkang kerang darah

Abstract

The increasing number of motor vehicles has led to a growing demand for brake pad materials. Asbestos-based brake pads have long been used due to their excellent frictional properties; however, their use has been increasingly restricted because asbestos fibers pose potential risks to human health and the environment. One promising alternative is blood cockle shell waste, which contains a high calcium carbonate content and can be utilized as a filler in non-asbestos composite brake pads. This study aimed to investigate the effect of blood cockle shell powder volume fraction on the specific wear and impact toughness of composite brake pads. The

composite was fabricated using blood cockle shell powder as the filler, carbon fiber as the reinforcement, brass powder as the metallic filler, and epoxy resin as the matrix. The study employed three compositions based on volume fraction: V1 (25% blood cockle shell powder, 8% carbon fiber, 25% brass powder, and 42% epoxy resin), V2 (30%, 8%, 20%, and 42%), and V3 (35%, 8%, 15%, and 42%). Wear testing was conducted using the Ogoshi method in accordance with ASTM G99-95a, while impact testing was performed using the Charpy method based on ASTM D6110. The results showed that increasing the blood cockle shell powder content increased the specific wear from $3.63 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ to $5.49 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$, whereas the impact toughness decreased from 0.095 J/mm^2 to 0.062 J/mm^2 . The composite containing 25 % blood cockle shell powder exhibited the best wear resistance and impact toughness, indicating the potential of blood cockle shell waste as a filler for non-asbestos composite brake pads.

Keywords: blood cockle shell powder, composite, brake pad, impact toughness, specific wear

1. PENDAHULUAN

Kampas rem merupakan salah satu komponen penting pada sistem pengereman kendaraan yang berfungsi menghasilkan gaya gesek untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan. Seiring meningkatnya jumlah kendaraan bermotor, kebutuhan terhadap material kampas rem juga terus bertambah sehingga diperlukan material yang memiliki ketahanan aus, ketangguhan impak, kestabilan termal, serta koefisien gesek yang baik [1], [2]. Material kampas rem berbasis asbestos telah lama digunakan karena memiliki karakteristik gesek dan ketahanan terhadap suhu tinggi, tetapi penggunaannya mulai dibatasi karena berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan dan dampak negatif terhadap lingkungan [3], [4]. Kondisi tersebut mendorong pengembangan material kampas rem non-asbestos dengan memanfaatkan bahan alternatif yang memiliki karakteristik mekanik sesuai kebutuhan.

Salah satu limbah yang berpotensi digunakan adalah serbuk cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai bahan pengisi (*filler*). Cangkang kerang darah memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi sehingga berpotensi digunakan dalam material komposit [5]. Dalam penelitian ini, serbuk cangkang kerang darah dikombinasikan dengan serat karbon sebagai bahan penguat, serbuk kuningan sebagai *filler* logam, dan resin epoksi sebagai matriks. Serat karbon untuk meningkatkan kekuatan dan ketangguhan komposit [6]. Serbuk kuningan berperan sebagai *filler* logam yang dapat mendukung karakteristik gesek dan ketahanan aus [7]. Sedangkan resin epoksi berfungsi mengikat material penyusun sehingga membentuk komposit [8].

Penelitian mengenai pemanfaatan serbuk cangkang kerang sebagai bahan pengisi (*filler*) komposit telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Zulfikar dkk. [9] melaporkan bahwa komposit berbasis resin epoksi dengan penambahan serbuk cangkang kerang menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 125,56 MPa pada komposisi *filler* 30%, sedangkan peningkatan *filler* hingga 50% menyebabkan kuat tarik menurun menjadi sekitar 9,18 MPa. Pambudi dkk. [10] menunjukkan bahwa penggunaan serbuk cangkang berukuran 100 mesh menghasilkan nilai keausan sekitar $1 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{kg}$ dengan kekerasan 15,92 HB, sehingga ukuran partikel memengaruhi karakteristik mekanik komposit. Selain itu, Nayiroh dan Kusairi [11] melaporkan bahwa peningkatan fraksi volume cangkang menyebabkan nilai ketangguhan impak menurun dari sekitar $0,317 \text{ J/mm}^2$ menjadi $0,190 \text{ J/mm}^2$. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa komposisi dan karakteristik serbuk cangkang kerang dapat memengaruhi sifat mekanik komposit.

Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus menombinasikan serbuk cangkang kerang darah sebagai bahan pengisi utama dengan serat karbon, serbuk kuningan, dan resin epoksi pada komposit kampas rem serta mengkaji pengaruh variasi fraksi volume cangkang

terhadap nilai ketahanan aus dan nilai ketangguhan impak masih sangat terbatas. Ketahanan aus dan ketangguhan impak merupakan parameter penting untuk mengevaluasi performa kampas rem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serbuk cangkang kerang darah terhadap nilai keausan spesifik dan nilai ketangguhan impak komposit kampas rem.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Persiapan Bahan

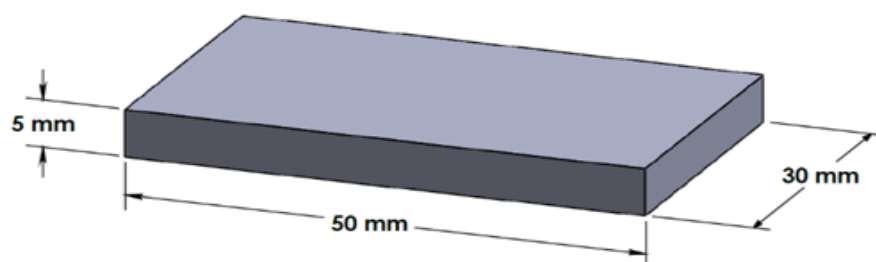
Material yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas serbuk cangkang kerang darah sebagai bahan pengisi utama, serat karbon sebagai bahan penguat, serbuk kuningin sebagai *filler* logam, serta resin epoksi dan *hardener* sebagai matriks. Cangkang kerang darah dibersihkan dari kotoran, dicuci menggunakan air, kemudian dikeringkan. Cangkang yang telah kering dihancurkan dan diayak hingga diperoleh serbuk berukuran 100 mesh. Serbuk kuningin yang digunakan berukuran 60 mesh, sedangkan serat karbon dipotong sepanjang 25 mm. Seluruh material kemudian ditimbang sesuai komposisi masing-masing variasi penelitian. Variasi komposisi komposit yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada tabel 1.

Table 1. Variasi Komposisi Komposit Kampas Rem

Variasi	Cangkang Kerang Darah (KD)	Serat Karbon (SC)	Serbuk Kuningan (SK)	Resin Epoksi (RE)
Variasi 1	25 %	8 %	25 %	42 %
Variasi 2	30 %	8 %	20 %	42 %
Variasi 3	35 %	8 %	15 %	42 %

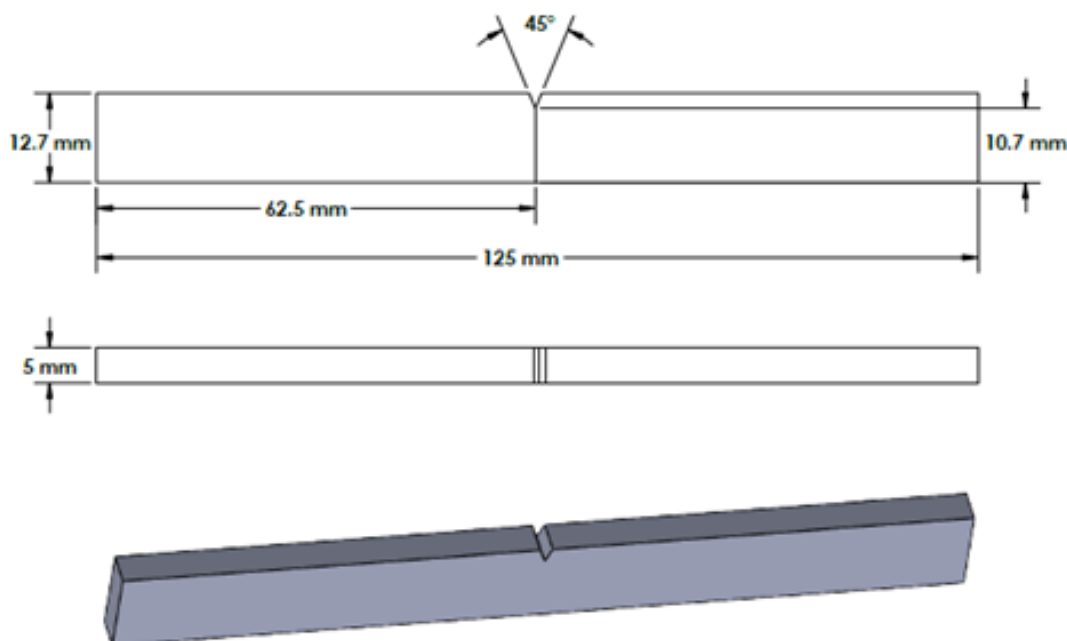
2.2 Pembuatan Komposit

Proses pembuatan komposit diawali dengan penimbangan seluruh material berdasarkan faksi volume sesuai variasi komposisi. Serbuk cangkang kerang darah, serbuk kuningin, dan serat karbon dicampurkan terlebih dahulu hingga homogen. Selanjutnya, resin epoksi dan *hardener* dengan perbandingan 1:1 dicampurkan, kemudian campuran *filler* dimasukkan secara bertahap ke dalam matriks sambil diaduk hingga seluruh material tercampur secara merata. Campuran komposit kemudian dituangkan ke dalam cetakan dan dikompaksi menggunakan hydraulic press dengan beban 5 ton selama 60 menit untuk meningkatkan kerapatan komposit dan mengurangi porositas. Setelah proses kompaksi selesai, spesimen dilakukan *post-curing* pada suhu 180 °C selama 15 menit untuk membantu proses *curing* resin epoksi sehingga antara matriks dan bahan pengisi menjadi lebih baik. Selanjutnya, spesimen didinginkan pada suhu ruang dan dibentuk sesuai dimensi standar pengujian. Dimensi spesimen yang digunakan pada pengujian keausan ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Dimensi Spesimen Uji Keausan

Dimensi spesimen yang digunakan pada pengujian impak ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji Impak

2.3 Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan menggunakan metode *Ogoshi* untuk mengetahui ketahanan aus komposit kampas rem terhadap gesekan. ASTM G99-95a digunakan sebagai referensi pembandingan dalam pembahasan pengujian keausan [12]. Pengujian bertujuan. Pengujian menggunakan beban sebesar 6,36 kg, lebar cakram pengaus 3 mm, jari-jari cakram 13 mm, dan jarak luncur 15 m. Setelah proses pengujian selesai, lebar jejak keausan pada permukaan spesimen diukur sebanyak lima kali menggunakan mikroskop pengukuran untuk memperoleh nilai rata-rata. Nilai rata-rata tersebut digunakan untuk menghitung nilai keausan spesifik menggunakan persamaan (1).

$$Ws = \frac{B \times b_0^3}{8 \times r \times P_0 \times l_0} \quad (1)$$

Keterangan:

- Ws : Keausan spesifik (mm²/kg)
- B : Lebar piringan pengaus (mm)
- b₀ : Lebar keausan pada benda uji (mm)
- r : Jari – jari piringan pengaus (mm)
- P₀ : Gaya tekan pada proses pengausan (Kg)
- l₀ : Jarak tempuh pada proses pengausan (mm)

2.4 Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan menggunakan metode *Charpy* pada spesimen bertakik dengan mengacu pada prinsip pengujian ASTM D6110 [13] untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan sebelum mengalami patah. Pengujian dilakukan menggunakan massa pendulum 34,15 kg, panjang lengan 0,80 m, sudut awal ayunan 150°, dan percepatan gravitasi 9,81 m/s². Energi serap dihitung menggunakan persamaan (2), sedangkan luas

penampang efektif dihitung menggunakan persamaan (3). Nilai ketangguhan impak diperoleh menggunakan persamaan (4).

$$E_{srp} = m \cdot g \cdot R \cdot (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (2)$$

keterangan:

E_{srp} : Energi serap (J)
 m : Massa pendulum (kg)
 g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
 R : Panjang lengan pendulum (m)
 α : Sudut awal pendulum tanpa beban
 β : Sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen

$$A = (l - a)t \quad (3)$$

Keterangan:

A : Luas penampang (mm^2)
 l : Lebar (mm)
 t : Tebal (mm)
 a : Kedalaman takik (mm)

$$HI = \frac{E_{srp}}{A} \quad (4)$$

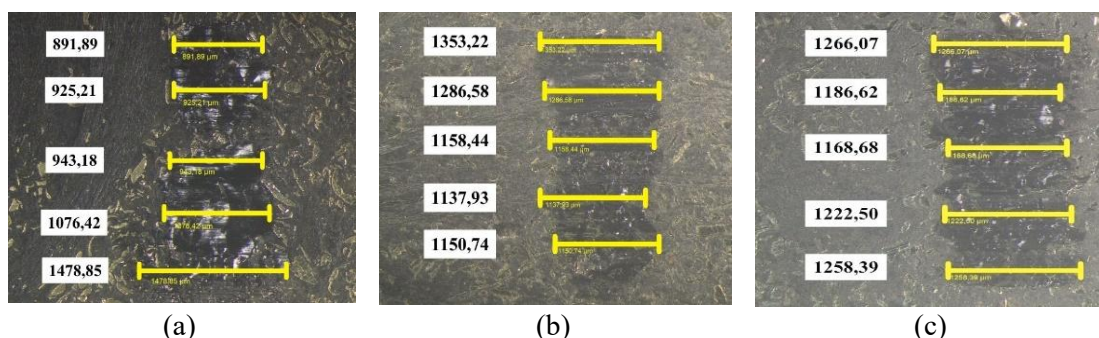
Keterangan:

HI : Ketangguhan impak (J/mm^2)
 E_{srp} : Energi serap (Joule)
 A : Luas penampang patahan (mm^2)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Keausan

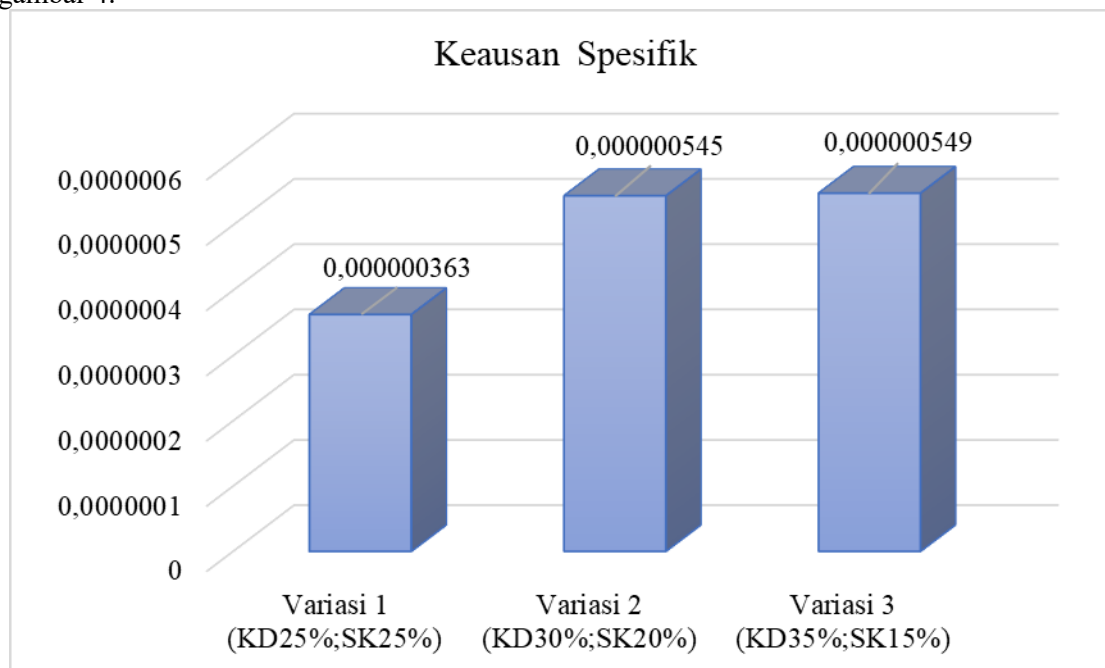
Pengujian keausan dilakukan menggunakan metode *Ogoshi* berdasarkan standar ASTM G99-95a untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serbuk cangkang kerang darah terhadap ketahanan aus komposit kampas rem. Setelah pengujian, dilakukan pengamatan terhadap permukaan spesimen menggunakan mikroskop untuk mengamati karakteristik jejak keausan yang terbentuk. Hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengamatan Jejak Keausan: (a) Variasi 1, (b) Variasi 2, (c) Variasi 3

Berdasarkan gambar 3, variasi 1 menunjukkan jejak keausan yang lebih sempit dibandingkan variasi 2 dan variasi 3. Hal ini menunjukkan bahwa variasi 1 memiliki ketahanan

aus yang lebih baik karena kehilangan material akibat gesekan pada lebih kecil. Hubungan antara variasi komposisi terhadap nilai keausan spesifik yang telah diperoleh disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan variasi komposisi terhadap nilai keausan spesifik.

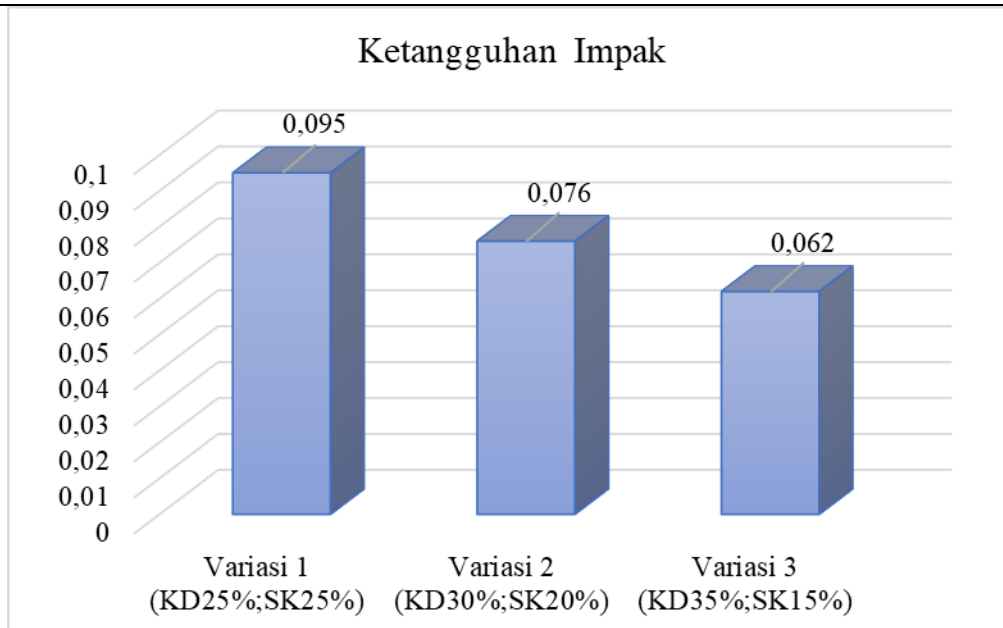
Berdasarkan gambar 4, nilai keausan spesifik meningkat seiring bertambahnya fraksi volume serbuk cangkang kerang darah. Variasi 1 menghasilkan nilai keausan spesifik terendah sebesar $3,63 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$, sedangkan variasi 2 dan variasi 3 meningkat menjadi $5,45 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ dan $5,49 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kandungan serbuk cangkang kerang darah dapat menurunkan ketahanan aus komposit.

Ketahanan aus terbaik pada variasi 1 dipengaruhi oleh *filler* yang lebih homogen sehingga resin epoksi mampu mengikat serbuk cangkang kerang darah, serat karbon, dan serbuk kuningan dengan lebih baik. Sebaliknya, peningkatan kandungan serbuk cangkang kerang darah pada variasi 2 dan variasi 3 menyebabkan kemampuan resin dalam mengikat partikel berkurang sehingga partikel lebih mudah terlepas saat terjadi gesekan. Selain itu, berkurangnya kandungan serbuk kuningan turut mengurangi kontribusinya dalam meningkatkan ketahanan aus komposit.

Hasil temuan ini didukung penelitian Zulfikar dkk. [9] yang menyatakan bahwa perubahan komposisi serbuk cangkang kerang memengaruhi karakteristik mekanik komposit dan terdapat komposisi optimum yang menghasilkan performa terbaik. Pambudi dkk. [10] juga melaporkan bahwa distribusi *filler* yang homogen mampu meningkatkan ketahanan aus, sedangkan Sugianto dan Radityaningrum [14] menunjukkan bahwa komposisi serbuk kuningan berpengaruh terhadap karakteristik kampas rem komposit. Berdasarkan hasil tersebut, variasi 1 merupakan komposisi yang memberikan ketahanan aus terbaik karena menghasilkan nilai keausan spesifik paling rendah di antara seluruh variasi yang diuji.

3.2 Uji Impak

Pengujian impak dilakukan menggunakan metode *Charpy* berdasarkan ASTM D6110 untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan sebelum mengalami patah. Hubungan variasi komposisi terhadap nilai ketangguhan impak disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Hubungan variasi komposisi terhadap nilai ketangguhan impact.

Berdasarkan gambar 5, nilai ketangguhan impact menurun seiring meningkatnya fraksi volume serbuk cangkang kerang darah. Variasi 1 menghasilkan nilai ketangguhan impact tertinggi sebesar 0,095 J/mm², sedangkan variasi 2 dan variasi 3 masing-masing sebesar 0,076 J/mm² dan 0,062 J/mm². Hasil tersebut menunjukkan bahwa bertambahnya kandungan serbuk cangkang kerang darah dapat menurunkan kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan.

Nilai ketangguhan impact yang lebih tinggi pada variasi 1 menunjukkan bahwa resin epoksi mampu mengikat dengan baik serbuk cangkang kerang darah, serat karbon, dan serbuk kuningan sehingga beban benturan dapat didistribusikan secara lebih merata. Sebaliknya, peningkatan kandungan serbuk cangkang kerang darah dapat menyebabkan campuran *filler* kurang homogen dan meningkatkan potensi terbentuknya gumpalan bahan pengisi (aglomerasi) maupun rongga (*void*) pada komposit, sehingga retakan lebih mudah berkembang saat menerima beban impact. Selain itu, penurunan kandungan serbuk kuningan juga berkontribusi terhadap menurunnya nilai ketangguhan impact komposit.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Nayiroh dan Kusairi [11] yang melaporkan bahwa peningkatan fraksi volume cangkang kerang menyebabkan nilai ketangguhan impact menurun. Zulfikar dkk. [9] juga menunjukkan bahwa komposisi *filler* memengaruhi sifat mekanik komposit, sedangkan Sugianto dan Radityaningrum [14] menyatakan bahwa variasi kandungan serbuk kuningan berpengaruh terhadap karakteristik mekanik kampas rem. Berdasarkan hasil tersebut, variasi 1 merupakan komposisi terbaik diantara 3 variasi yang di uji karena menghasilkan ketahanan aus dan nilai ketangguhan impact terbaik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi fraksi volume serbuk cangkang kerang darah berpengaruh terhadap ketahanan aus komposit kampas rem. Peningkatan kandungan serbuk cangkang kerang darah menyebabkan nilai keausan spesifik meningkat dari variasi 1 dengan nilai $3,63 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$, variasi 2

- sebesar $5,45 \times 10^{-7}$ mm²/kg, dan variasi 3 tertinggi sebesar $5,49 \times 10^{-7}$ mm²/kg. Variasi 1 dengan komposisi KD25%:SC8%:SK25%:RE42% menghasilkan ketahanan aus terbaik karena memiliki nilai keausan spesifik terendah.
2. Variasi fraksi volume serbuk cangkang kerang darah juga berpengaruh terhadap nilai ketangguhan impak komposit kampas rem. Peningkatan kandungan serbuk cangkang kerang darah menyebabkan nilai ketangguhan impak menurun dari 0,095 J/mm² pada variasi 1, menjadi 0,076 J/mm² pada variasi 2, dan 0,062 J/mm² pada variasi 3. Dengan demikian, variasi 1 dengan komposisi KD25%:SC8%:SK25%:RE42% menghasilkan nilai ketangguhan impak tertinggi sehingga menjadi komposisi terbaik pada penelitian ini.

5. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi fraksi volume serbuk cangkang kerang darah yang lebih luas sehingga dapat diketahui komposisi optimum yang menghasilkan karakteristik mekanik terbaik. Pengujian tambahan seperti koefisien gesek, kekerasan, dan karakterisasi lingkungan, dapat dilakukan untuk memperoleh evaluasi performa komposit yang lebih menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua yang telah memberikan doa, dukungan, semangat, serta bantuan finansial selama proses pelaksanaan penelitian hingga penyusunan karya ilmiah ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. N. Fatin and B. S. Nugraha, "Studi Pendahuluan: Pengetahuan Awal Mahasiswa Pendidikan Otomotif Tentang Teknologi Sepeda Motor Listrik," *J. Automot. Technol. Educ.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–9, 2024, doi: 10.21831/jate.v1i3.868.
- [2] W. K. Haroen and R. B. Watimena, "Rekayasa Mesin Pencetak Kampas Rem Serat Pulp Non Asbestos," *J. SIMETRIS*, vol. 8, no. 1, pp. 201–208, 2017, doi: 10.24176/simet.v8i1.925.
- [3] M. Akhadi, "Dampak Kesehatan Emisi Serat Asbes Dari Cerobong Asap," *J. Energi Kelistrikan*, vol. 7, no. 1, pp. 19–27, 2015.
- [4] F. Barasa, M. Badri, and Yohanes, "Kaji Pembuatan Kanvas Rem Sepeda Motor Bahan Komposit Dengan Filler Palm Slag Frandi," *Jom FTEKNIK*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2014.
- [5] A. Sawiji and R. A. Perdanawati, "Pemetaan Pemanfaatan Limbah Kerang Dengan Pendekatan Masyarakat Berbasis Aset (Studi Kasus: Desa Nambangan Cumpat, Surabaya)," *J. Mar.*, vol. 03, no. 01, pp. 1–14, 2017.
- [6] S. B. Suugondo, A. P. Irawan, and E. Siahaan, "Analisis Kekuatan Komposit Berpenguat Serat Karbon Dengan Matriks Resin Lycal 1011 Terhadap Sifat Mekanis," *J. Syntax Admiration*, vol. 3, no. 7, pp. 906–913, 2022.
- [7] E. E. Igelegbai, O. A. Alo, A. O. Adeodu, and I. A. Daniyan, "Evaluation of Mechanical and Microstructural Properties of α -Brass Alloy Produced from Scrap Copper and Zinc Metal through Sand Casting Process," *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 05, no. 01, pp. 18–28, 2017, doi: 10.4236/jmmce.2017.51002.
- [8] A. I. Tauvana, Syafrizal, and M. I. Subekti, "Pengaruh matrik resin-epoxy terhadap

- kekuatan impak dan sifat fisis komposit serat nanas,” *J. Polimesin*, vol. 18, no. 2, pp. 99–104, 2020.
- [9] A. J. Zulfikar, D. A. A. Ritonga, S. Pranoto, F. A. K. Nasution, Z. Arif, and Junaidi, “Analisis Kekuatan Mekanik Komposit Polimer Diperkuat Serbuk Kulit Kerang,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 30–40, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>
- [10] D. S. Pambudi, I. Santosa, and G. R. W, “Analisis Kekuatan Gesek Dan Kekerasan Pada Komposit Dengan Variasi Serbuk Kerang Sebagai Bahan Pembuatan Sliding Pad,” *MESTRO J. Ilm.*, pp. 16–25, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.47685/mestro.v2i01.280>
- [11] N. Nayiroh and Kusairi, “Studi Pengaruh Variasi Fraksi Volum Filler Terhadap Sifat,” *Wahana Fis.*, vol. 6, no. 1, pp. 48–58, 2021.
- [12] ASTM, “Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus,” *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 05, no. C, pp. 1–5, 2000.
- [13] ASTM, “Standard Test Method for Determining the *Charpy* Impact Resistance of Notched,” *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 10, no. April, pp. 1–17, 2010, doi: 10.1520/D6110-10.1.
- [14] M. F. Sugianto and A. D. Radityaningrum, “Kelayakan Kampas Rem Sepeda Motor Non Asbestos Dari Bahan Ampas Tebu (Bagasse),” *J. Tek. Waktu*, vol. 18, no. 1, pp. 1–6, 2020, doi: 10.36456/waktu.v18i1.2281.
-