

PENGARUH KECEPATAN GESEK DAN UKURAN SERBUK CANGKANG KELAPA SAWIT TERHADAP LAJU KEAUSAN MATERIAL KOMPOSIT ALAM

Mastariyanto Perdana¹, Putri Pratiwi¹, Hendriwan Fahmi¹,

Randa¹ dan Mahesa Hendra¹

ABSTRACT

Composite materials have been very widely applied in the industrial, one of its applications is on motorcycle brake pads. Composites that were applied to motorcycle brake pads still tend to use metal-type composite materials. They were made from synthetic materials. In this study, the use of oil palm shell waste as a composite base material was expected to be applied as an alternative material for motorcycle brake pads. In terms of hardness, the oil palm shell has high hardness. The purpose of this study was to determine the effect of friction speed and size of palm oil shell powder on the wear rate of natural composite materials. The matrix used in this study was an epoxy, one of polymer material. The volume fraction between oil palm shell powder and epoxy resin was 55%: 45%. The variations in the size distribution of oil palm shell powder were 841-595 μm , 595-420 μm and 420-297 μm . Composite manufacturing process using compression molding method. The test carried out in this study is the wear rate test with a variation of the friction speed by 1300 rpm, 1500 rpm and 1700 rpm. The results showed that the larger size of palm kernel shell powder with low friction speed in natural composites gave the lowest wear rate value. For oil palm shell powder size 841-595 μm has a wear rate of $3.44 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{s}$ at a friction speed of 1700 rpm, $2.50 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{s}$ at a friction speed of 1500 rpm and $1.11 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{s}$ at a friction speed of 1300 rpm. For palm shell powder size 595-420 μm has a wear rate of $3.89 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{s}$ at a friction speed of 1700 rpm, $2.67 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{s}$ at a friction speed of 1500 rpm and $1.35 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{s}$ at a friction speed of 1300 rpm. For oil palm shell powder size 420-297 μm has a wear rate of $4.83 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{s}$ at a friction speed of 1700 rpm, $3.52 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{s}$ at a friction speed of 1500 rpm and $1.58 \times 10^{-7} \text{ gr/mm}^2 \cdot \text{s}$ at a friction speed of 1300 rpm. It is hoped that the composite made from palm oil shell powder and epoxy resin can later become an alternative material for motorcycle brake pads.

Keywords: Green composite, size of powder, wear, hardness, rotation

PENDAHULUAN

Salah satu tanaman agroindustri di Indonesia adalah kelapa sawit. Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2019 adalah 14,68 Ha. Jumlah ini meningkat sebesar

¹ Institut Teknologi Padang, Padang, Indonesia

*Corresponding author:
mastariyanto.perdana@gmail.com

2,45 % dibandingkan tahun 2018 (Dirjen Perkebunan, 2019). Provinsi di pulau Sumatera dan Kalimantan adalah pulau yang memiliki jumlah lahan perkebunan kelapa sawit terbanyak di Indonesia. Peningkatan jumlah lahan perkebunan sawit di Indonesia dari tahun ke tahun maka akan meningkat juga produksi kelapa sawit. Peningkatan produksi kelapa sawit tersebut akan berdampak pada jumlah limbah yang dihasilkan dari tanaman kelapa sawit. Limbah padat tanaman kelapa sawit berupa tandan kosong, cangkang dan sabut, dimana pada 1 ton kelapa sawit menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang sebanyak 6,5% atau 65 kg, sabut 13% atau 130 kg (Haryanti, dkk, 2014).

Untuk limbah berupa cangkang kelapa sawit biasanya dimanfaatkan sebagai arang aktif, pembuatan pupuk cair, bahan bakar (biomassa), dan briket (Haryanti, dkk, 2014). Produk limbah cangkang kelapa sawit ini juga diolah menjadi material komposit alam yang bisa nantinya dimanfaatkan untuk bidang keteknikkan. Penelitian tentang material komposit alam telah banyak dilakukan. Serat rami, kenaf, batang pisang, jerami, sabut kelapa, ampas tanaman tebu, serat bambu dan serbuk kayu jati bisa dimanfaatkan sebagai material dasar penyusun material komposit penyerap bunyi, struktur bangunan, kampas rem, bodi dan interior kendaraan, rangka drone, material biomedis dan sudu turbin angin (Hadiji, et. al, 2020; Hariprasad, et. al, 2020; Bambach, 2020; Yudhanto, Dhewanto dan Yakti, 2019; Perdana, Saferi dan Pratiwi, 2019; Babu, et. al, 2017; Perdana and Jamasri, 2016; Perdana dan Yulsardi, 2015).

Untuk pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit dijadikan material dasar penyusun komposit alam juga telah banyak dilakukan. Limbah cangkang kelapa sawit digunakan sebagai material komposit untuk aplikasi material kampas rem kendaraan bermotor dan papan partikel (Perdana dan Nurzal, 2019; Binyamin. Dkk, 2019; Vasdazara, Ardhyananta dan Wicaksono, 2018). Limbah cangkang kelapa sawit bisa dimanfaatkan sebagai material penyusun komposit alam untuk aplikasi material tahan gesek dikarenakan sifat mekanik berupa kekerasan cangkang kelapa sawit yang relatif tinggi.

Pengujian keausan material komposit telah banyak diteliti. Komposit alam berbahan daun palem/polyvinyl pyrrolidone menunjukkan peningkatan optimal dari ketahanan aus dengan penambahan 26% fraksi berat serat daun palem (Mohanty, Das and Das, 2014). Komposit berbahan serbuk alumina/alumunium menunjukkan peningkatan keausan seiring dengan peningkatan kecepatan gesek pada beban 25 N dimana dengan kecepatan gesek 1000 rpm terjadi pengurangan massa komposit sebesar 0,0063 gr (Ahmad, et. al, 2013).

Penambahan *clay* sampai 30% fraksi berat meningkatkan ketahanan gesek dan sifat mekanik material komposit *clay*/aluminium yang nilai keausannya sama dengan kampas rem semi-logam (Agbeleye, et. al, 2020). Pengujian keausan juga dilakukan pada komposit fiberglass/epoksi, serat karbon/epoksi, dan serat rami/epoksi. Hasil pengujian menunjukkan sifat ketahanan gesek dari komposit serat rami/epoksi memberikan ketahanan gesek yang tinggi sama dengan fiberglass dan serat karbon dimana serat rami lebih memiliki keunggulan dari segi kesehatan yang tidak membahayakan kesehatan manusia (Fazio, Boccarusso and Durante, 2020). Dari beberapa penelitian tersebut bisa disimpulkan bahwa material komposit dapat diaplikasikan pada produk-produk yang menerima beban gesek.

Pengujian pada komposit hibrid berpenguat partikel keramik menunjukkan peningkatan laju keausan seiring dengan peningkatan kecepatan gesek yang diberikan pada komposit dimana dengan kecepatan gesek 3.62 m/s dan jarak luncur 100 m memberikan laju keausan yang paling tinggi yaitu sebesar $3.81 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{m}$ (Rahmalina, Sukma dan Putra, 2018). Pada komposit epoksi aluminium/serbuk tempurung kelapa menunjukkan semakin kecil ukuran serbuk tempurung kelapa maka laju keausan komposit semakin rendah, ukuran serbuk 600 μm memberikan laju keausan yang paling tinggi yaitu sebesar $8.7 \times 10^{-6} \text{ g}/\text{mm}^2.\text{s}$ (Kristianta, Kristian dan Sholahuddin, 2017). Salah satu faktor yang mempengaruhi sifat dari material komposit adalah bentuk dari penguat. Penguat yang dijadikan dalam bentuk serbuk akan memberikan sifat mekanik yang lebih baik pada material komposit. Pengujian material komposit serbuk cangkang sawit/epoksi fraksi volume 55% : 45% telah dilakukan dengan ukuran serbuk cangkang berkisar 420-595 μm . Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju keausan material komposit tersebut adalah $1.9 \times 10^{-7} \text{ g}/\text{mm}^2.\text{s}$ dengan beban gesek dan putaran gesek masing-masing sebesar 50 N dan 1200 rpm (Perdana dan Nurzal, 2019).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, maka penelitian ini akan membahas tentang pengaruh ukuran dari serbuk cangkang kelapa sawit pada berbagai macam kecepatan gesek terhadap laju keausan material komposit alam serbuk cangkang sawit/epoksi. Penelitian ini diharapkan bisa sebagai penelitian dasar material komposit alam untuk aplikasi material yang menerima beban gesek yang salah satu produknya adalah kampas rem kendaraan bermotor.

METODE

Pada penelitian ini, material penyusun komposit alam yang dibuat adalah serbuk cangkang kelapa sawit sebagai penguat (*reinforcement*) dan resin epoksi sebagai pengikat (*matrix/binder*). Limbah padat berupa cangkang kelapa sawit diambil dari perkebunan kelapa sawit di daerah Solok Selatan, Provinsi Sumatera Barat. Resin epoksi yang digunakan pada penelitian disuplai dari PT. Brataco Chemica dengan densitas sebesar 1.12 g/cm^3 . Serbuk cangkang kelapa sawit dijadikan serbuk dengan proses *crushing*. Serbuk cangkang kelapa sawit divariasikan menjadi 3 (tiga) distribusi ukuran serbuk yaitu 841-595 μm , 595-420 μm dan 420-298 μm .

Proses fabrikasi material komposit menggunakan metode *compression molding* dengan beban yang diberikan 200 N. Epoksi dipanaskan selama 15 menit dengan temperatur 50 °C agar resin lebih encer sehingga mempermudah proses pengadukan dengan serbuk cangkang kelapa sawit. Fraksi volume antara serbuk cangkang kelapa sawit dan resin epoksi adalah 55% : 45% (Perdana dan Nurzal, 2019).

Pengujian yang dilakukan pada material komposit alam cangkang kelapa sawit/epoksi dengan 3 (tiga) variasi ukuran serbuk cangkang kelapa sawit adalah pengujian keausan jenis *plat on disk* dengan variasi kecepatan gesek sebesar 1300 rpm, 1500 rpm dan 1700 rpm dengan beban 50 N selama 5 menit. Keausan material memiliki hubungan dengan sifat kekerasan material, maka pengujian kekerasan material komposit alam untuk masing-masing distribusi ukuran serbuk dilakukan menggunakan alat uji kekerasan jenis rockwell dengan indentor bola baja untuk menunjang hasil pengujian keausan. Spesimen hasil pengujian keausan diamati permukaan geseknya dengan menggunakan foto makro.

HASIL DAN PEMBAHASAN

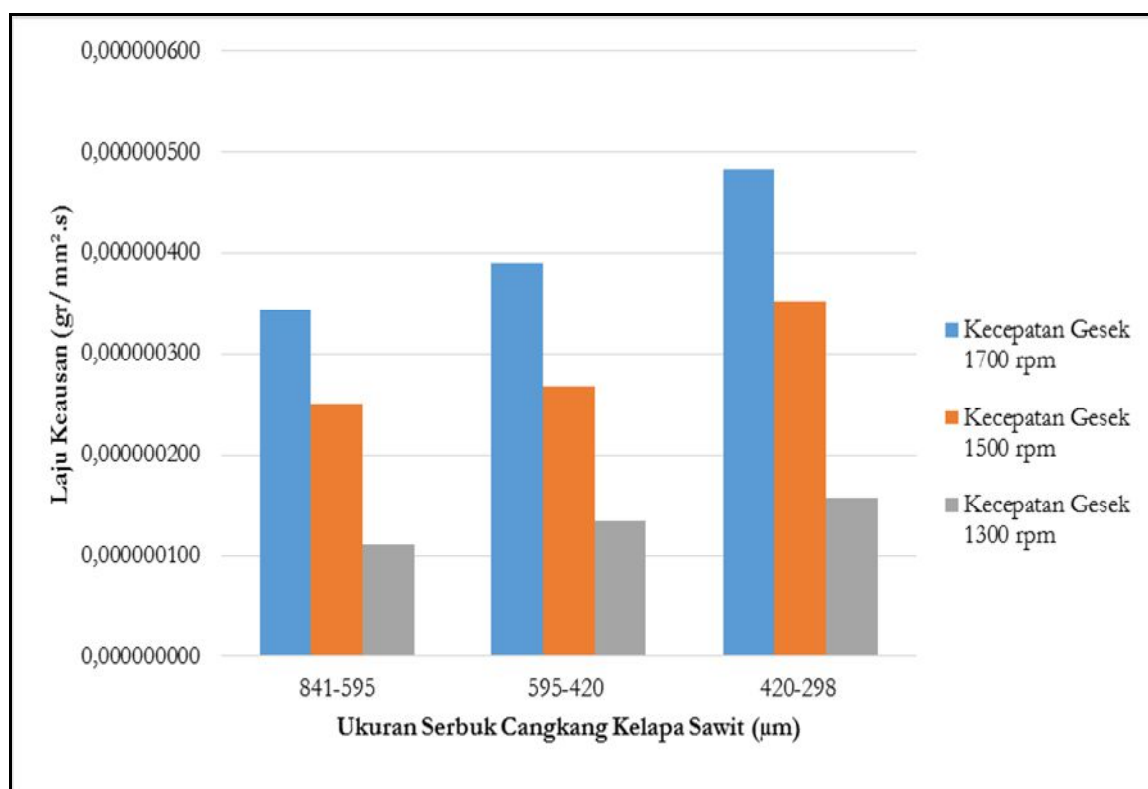
Hasil pengujian keausan material komposit alam berbahan serbuk cangkang kelapa sawit/resin epoksi untuk masing-masing distribusi ukuran serbuk dengan berbagai kecepatan gesek yang diberikan ditunjukkan pada Tabel 1. Komposit cangkang kelapa sawit/epoksi dengan distribusi ukuran serbuk 420-298 μm memiliki laju keausan tertinggi sebesar $4.83 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2.\text{s}$ pada kecepatan gesek 1700 rpm dan komposit cangkang kelapa sawit/epoksi dengan distribusi ukuran serbuk 841-595 μm memiliki laju keausan terendah sebesar $1.11 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2.\text{s}$ pada kecepatan gesek 1300 rpm.

Tabel 1. Laju Keausan Komposit Serbuk Cangkang Kelapa Sawit/Epoksi
Untuk Variasi Ukuran Serbuk Dan Kecepatan Gesek

No	Ukuran Serbuk (μm)	Laju Keausan ($\text{gr}/\text{mm}^2.\text{s}$)		
		Kecepatan Gesek 1700 Rpm	Kecepatan Gesek 1500 Rpm	Kecepatan Gesek 1300 Rpm
1	841-595	0,000000344	0,000000250	0,000000111
2	595-420	0,000000389	0,000000267	0,000000135
3	420-298	0,000000483	0,000000352	0,000000158

Pengujian laju keausan material komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi dengan kecepatan gesek 1700 rpm memberikan hasil laju keausan tertinggi untuk masing-masing variasi distribusi ukuran serbuk cangkang kelapa sawit. Pada kecepatan gesek 1300 rpm memberikan hasil laju keausan terendah untuk masing-masing variasi distribusi ukuran serbuk cangkang kelapa sawit. Untuk kecepatan gesek 1700 rpm terjadi peningkatan laju keausan sampai 40.40% seiring penurunan distribusi ukuran serbuk. Untuk kecepatan gesek 1500 rpm terjadi peningkatan laju keausan sampai 40.80% seiring dengan penurunan distribusi ukuran serbuk. Untuk kecepatan gesek 1300 rpm terjadi peningkatan laju keausan sampai 42.34% seiring dengan penurunan distribusi ukuran serbuk.

Gambar 1 menunjukkan grafik pengujian laju keausan dari material komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi dengan variasi distribusi ukuran serbuk untuk berbagai kecepatan gesek yang diberikan. Dari hasil pengujian terlihat peningkatan laju keausan seiring dengan semakin kecilnya distribusi ukuran serbuk cangkang kelapa sawit atau dengan kata lain semakin besar distribusi ukuran serbuk cangkang kelapa sawit maka laju keausan material komposit cangkang kelapa sawit/epoksi semakin rendah. Berbeda pada penelitian sebelumnya ukuran serbuk tempurung kelapa 600 μm pada komposit epoksi alumunium/serbuk tempurung kelapa memiliki nilai laju keausan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran serbuk tempurung kelapa 300 μm dan 425 μm (Kristianta, Kristian dan Sholahuddin, 2017).

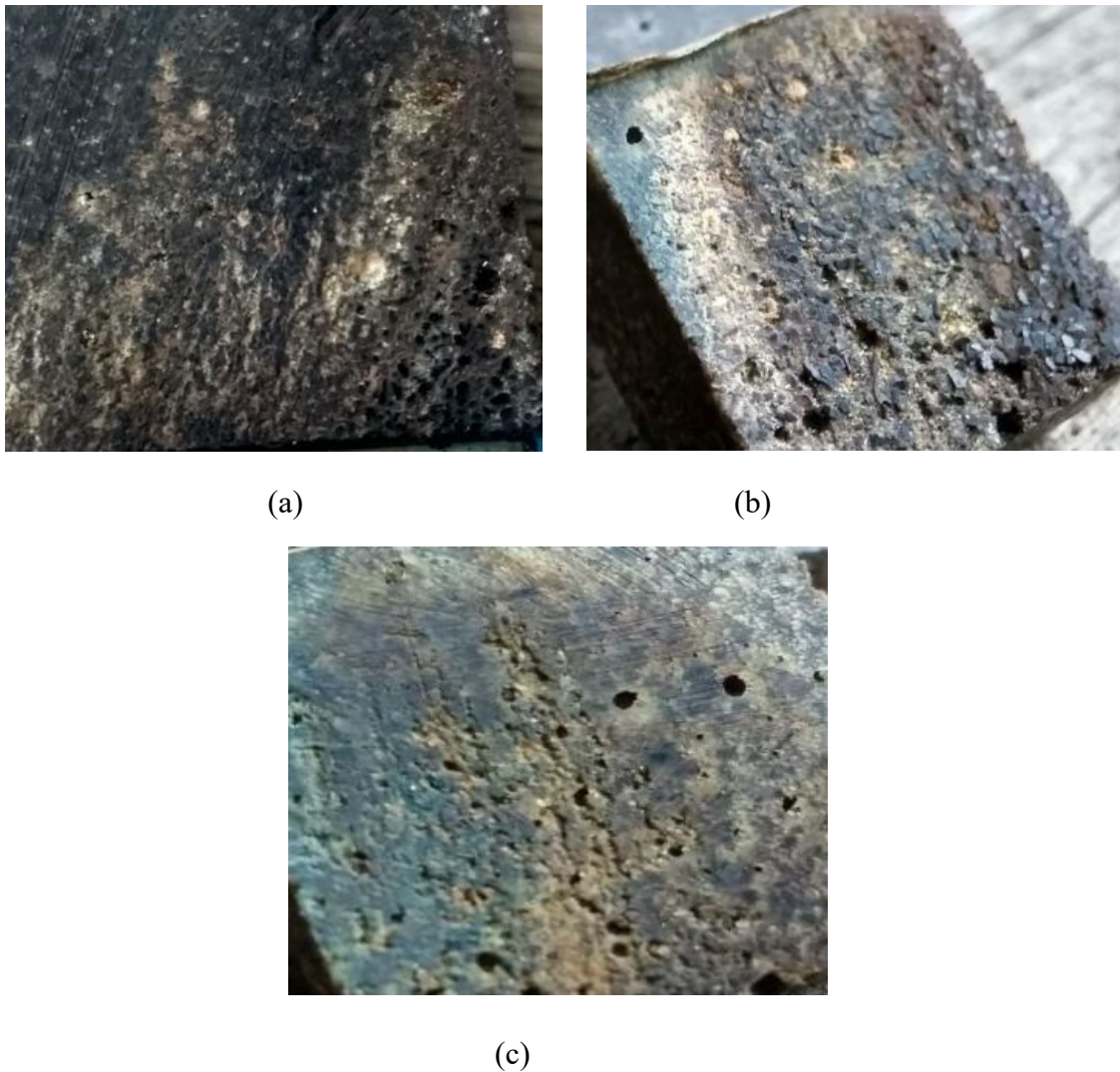


Gambar 1. Grafik laju keausan komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi untuk variasi ukuran serbuk dan kecepatan gesek

Kecepatan gesek yang diberikan dalam pengujian juga mempengaruhi laju keausan material komposit cangkang kelapa sawit/epoksi. Peningkatan kecepatan gesek yang diberikan pada material serbuk cangkang kelapa sawit memberikan pengaruh berupa peningkatan pada laju keausan untuk masing-masing variasi distribusi ukuran serbuk cangkang kelapa sawit. Pengaruh kecepatan gesek ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa semakin tinggi kecepatan gesek yang diberikan pada material komposit maka akan memberikan laju keausan yang semakin tinggi (Rahmalina, Sukma dan Putra, 2018). Foto makro permukaan komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi dengan distribusi ukuran serbuk 841-595 μm setelah pengujian gesek untuk masing-masing kecepatan gesek ditunjukkan pada Gambar 2.

Foto makro permukaan gesek komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi untuk variasi distribusi ukuran serbuk 841-595 pada kecepatan gesek 1700 rpm seperti yang ditunjukkan Gambar 2.a terlihat bahwa pengikisan permukaan material komposit alam lebih banyak dibandingkan dari permukaan material komposit pada kecepatan gesek 1500 rpm

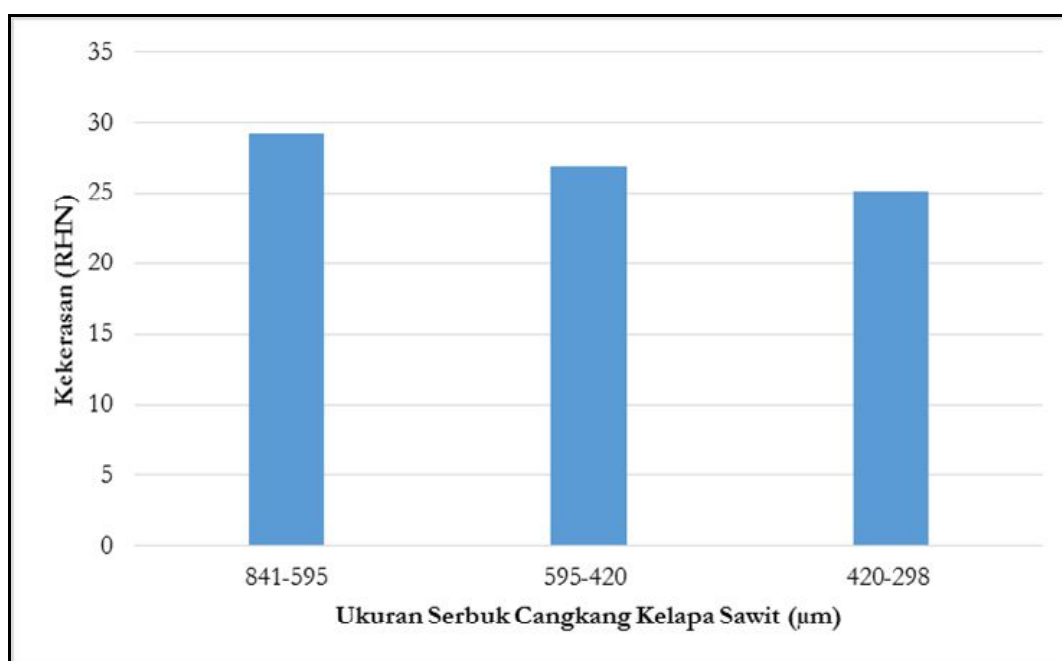
(Gambar 2.b) dan kecepatan gesek 1300 rpm (Gambar 2.c). Foto makro ini mengindikasikan bahwa pemberian kecepatan gesek yang lebih tinggi akan memberikan laju keausan yang lebih tinggi pada permukaan material komposit alam serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi. Pengikisan permukaan material komposit alam serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi yang lebih merata pada komposit yang mendapatkan kecepatan gesek 1700 rpm.



Gambar 2. Foto makro permukaan komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi dengan distribusi ukuran serbuk 841-595 μm setelah pengujian keausan (a) Kecepatan gesek 1700 rpm, (b) Kecepatan gesek 1500 rpm dan (c) Kecepatan gesek 1300 rpm

Nilai keausan sebuah material memiliki hubungan dengan nilai kekerasan material tersebut. Nilai laju keausan material berbanding terbalik dengan nilai kekerasan material. Semakin tinggi kekerasan material maka laju keausan material tersebut akan semakin rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa nilai kekerasan komposit serbuk cangkang sawit yang lebih tinggi akan menurunkan laju keausan material komposit alam serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi (Perdana dan Nurzal, 2019). Penelitian juga menyebutkan bahwa material komposit dengan penambahan 15% clay pada komposit alumunium/clay memberikan nilai kekerasan tertinggi sehingga pada komposit alumunium/clay dengan 15% clay memberikan nilai laju keausan yang paling rendah (Agbeleye, et. al, 2020).

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan juga dilakukan untuk membantu analisa pengaruh distribusi ukuran serbuk cangkang kelapa sawit sebagai material penyusun komposit alam terhadap laju keausan material komposit tersebut karena hasil pengujian kekerasan akan menunjang hasil pengujian laju keausan untuk masing-masing variasi ukuran serbuk cangkang kelapa sawit. Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian kekerasan material komposit alam serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi untuk masing-masing distribusi ukuran serbuk.



Gambar 3. Grafik Kekerasan Komposit Serbuk Cangkang Kelapa Sawit/Epoksi Untuk Variasi Ukuran Serbuk

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa material komposit alam yang memiliki ukuran serbuk cangkang yang lebih besar mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa serbuk cangkang kelapa sawit yang memiliki ukuran yang besar akan mendominasi pada permukaan material komposit alam sehingga pada permukaan material komposit cangkang sawit akan menahan penetrasi gaya lokal (beban yang diberikan alat uji) yang akhirnya akan memberikan nilai kekerasan yang lebih tinggi pada material komposit alam. Begitu juga sebaliknya dengan ukuran serbuk cangkang kelapa sawit yang semakin halus, akan membuat nilai kekerasan cangkang sawit pada permukaan material komposit akan semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh cangkang kelapa sawit telah terurai menjadi ukuran yang lebih kecil akan membuat cangkang tidak memberikan kemampuan yang lebih baik jika adanya penetrasi lokal pada permukaan material komposit. Sedangkan pada penelitian sebelumnya, untuk pengujian kuat tekan material biobriket berbahan dasar serbuk cangkang kelapa sawit dengan ukuran partikel yang semakin kecil akan meningkatkan kekuatan tekan biobriket (Purwanto, 2015). Hasil pengujian kekerasan mungkin akan berbeda jika serbuk cangkang kelapa sawit dijadikan terlebih dahulu menjadi karbon aktif untuk dijadikan material penyusun material komposit. Karena pada penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa nilai kekerasan dari material kompon karet untuk *footstep* sepeda motor semakin tinggi dengan semakin kecilnya ukuran partikel karbon aktif dari cangkang kelapa sawit (Maryanti, Delvitasari dan Winarto, 2018). Maka diperlukan penelitian lanjutan untuk menggunakan karbon aktif yang berasal dari cangkang kelapa sawit untuk dijadikan material penyusun utama dari material komposit alam bermatrik polimer untuk aplikasi material yang mengalami pembebanan gesek.

Dari hasil pengujian keausan, kekerasan dan analisis foto makro permukaan material komposit alam serbuk cangkang sawit/epoksi yang telah dilakukan mengindikasikan bahwa ikatan antara serbuk cangkang kelapa sawit dengan resin epoksi pada material komposit alam dengan ukuran serbuk yang lebih besar akan memberikan ikatan yang lebih baik pada permukaan komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi jika material komposit tersebut diaplikasi pada pembebanan yang diberikan secara gesek.

KESIMPULAN

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh ukuran serbuk cangkang sawit terhadap laju keausan komposit alam adalah peningkatan nilai laju keausan komposit serbuk

cangkang kelapa sawit/epoksi dengan pengecilan ukuran serbuk cangkang kelapa sawit. Nilai laju keausan juga dipengaruhi oleh kecepatan gesek pada permukaan material komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi. Semakin tinggi kecepatan gesek yang diberikan pada komposit maka semakin tinggi laju keausan komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi.

Laju keausan komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi dengan distribusi ukuran serbuk 841-595 μm , 595-420 μm dan 420-298 μm pada kecepatan gesek 1700 rpm berturut-turut sebesar 3.44×10^{-7} $\text{gr/mm}^2.\text{s}$, 3.89×10^{-7} $\text{gr/mm}^2.\text{s}$ dan 4.83×10^{-7} $\text{gr/mm}^2.\text{s}$. Laju keausan komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi dengan distribusi ukuran serbuk 841-595 μm , 595-420 μm dan 420-298 μm pada kecepatan gesek 1500 rpm berturut-turut sebesar 2.50×10^{-7} $\text{gr/mm}^2.\text{s}$, 2.67×10^{-7} $\text{gr/mm}^2.\text{s}$ dan 3.52×10^{-7} $\text{gr/mm}^2.\text{s}$. Laju keausan komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi dengan distribusi ukuran serbuk 841-595 μm , 595-420 μm dan 420-297 μm pada kecepatan gesek 1300 rpm berturut-turut sebesar 1.11×10^{-7} $\text{gr/mm}^2.\text{s}$, 1.35×10^{-7} $\text{gr/mm}^2.\text{s}$ dan 1.58×10^{-7} $\text{gr/mm}^2.$

Ikatan antara serbuk cangkang kelapa dengan resin epoksi pada material komposit alam dengan ukuran serbuk yang lebih besar memberikan ikatan yang lebih baik pada material komposit serbuk cangkang kelapa sawit/epoksi jika aplikasi pembebanan yang diberikan berupa beban gesek.

DAFTAR PUSTAKA

- Agbeleye, A., A., et. al., (2020). Tribological Properties of Aluminium-Clay Composites for Brake Disc Rotor Applications. *Journal of King Saud University – Science. Volume 32.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksus.2017.09.002>. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364717308340>
- Ahmad, F., et. al, (2013). Tribology Behaviour of Alumina Particles Reinforced Aluminium Matrix Composites and Brake Disc Materials. *Procedia Engineering. Volume 68.* <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.238> Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813020924>.
- Babu, T., N., et. al., (2017). Specific Wear Rate of Epoxy Resin Based Composites Reinforced with Natural Fibers and Uni-Axial Glass Fiber for Bio Medical Applications. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 8. Issue 3.* Retrieved from

http://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET_08_03_073/IJCIET_08_03_073.pdf

- Bambach, M., R., (2020). Durability of natural fibre epoxy composite structural columns: High cycle compression fatigue and moisture ingress. *Composites Part C: Open Access. Volume 2*. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100013>. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266668202030013X>
- Binyamin, Nurrokayati, A., S., dan Prasetyo, B., B., (2019). Rekayasa Pembuatan Kampas Rem Berbahan Dasar Serbuk Tempurung Kelapa Bermatriks Phenolic Resin Terhadap Performa Gesek Pengereman. *Traksi: Majalah Ilmiah Teknik Mesin. Volume 19. Nomor 2*. <https://dx.doi.org/10.26714/traksi.19.2.2019.104-120>. Retrieved from <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/jtm/article/view/5032>
- Dirjen Perkebunan, Kemeterian Pertanian-RI. (2019). *Statistik Perkebunan Indonesia 2018-2020*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan. <https://drive.google.com/file/d/1FVxpBNihnuB3ayAALBi-FtsBShIUxMTD/view>
- Fazio, D., D., Boccarusso, L., and Durante, M., (2020). Tribological Behaviour of Hemp, Glass and Carbon Fibre Composites. *Biotribology. Volume 21*. <https://doi.org/10.1016/j.biotri.2019.100113>. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352573819300447>
- Hadji, H., et. al. (2020). Damping Analysis of Nonwoven Natural Fibre-reinforced Polypropylene Composites Used in Automotive Interior Parts. *Polymer Testing Journal. Volume. 89*. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100013> Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941820304475>
- Hariprasad, K., (2020). Acoustic and mechanical characterisation of polypropylene Composites reinforced by natural fibres for automotive applications. *Journal of Materials Research and Technology. Volume 9. Issue 6*. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.112>. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420318366>
- Haryanti, A., dkk. (2014). Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Konversi, Volume 3, Nomor.2*. <https://doi.org/10.20527/k.v3i2.161> Retrieved from <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/konversi/article/view/161>
- Kristianta, F., X., Kristian, A., dan Sholahuddin, I., (2017). Variasi Ukuran Terhadap Kekerasan dan Laju Keausan Komposit Epoksi Alumunium-Serbuk Tempurung

- Kelapa untuk Kampas Rem. *Jurnal Rekayasa Mesin. Volume 8. Nomor 3.* <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2017.008.03.5>. Retrieved from <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/400/321>
- Maryanti, Delvitasari, F., dan Winarto, (2018). Pengaruh Ukuran Partikel dan Jumlah *Carbon Black* terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Kompon Karet untuk Pembuatan Footstep Sepeda Motor. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian. <https://doi.org/10.25181/prosemnas.v2018i0.1183>. Retrieved from <https://jurnal.polinela.ac.id/index.php/PROSIDING/article/view/1183>.
- Mohanty, J., R., Das, S., N., and Das, H., C., (2014). Effect of Fiber Content on Abrasive Wear Behavior of Date Palm Leaf Reinforced Polyvinyl Pyrrolidone Composite. *International Scholarly Research Notices (ISRN) Tribology. Volume 2014.* <http://dx.doi.org/10.1155/2014/453924>. Retrieved from <http://www.hindawi.com/journals/isrn/2014/453924/>
- Perdana, M., and Jamasri, (2016). Effect of Moisture Content and Dynamic Loading Cyclic On Stiffness of Fiberglass and Coir Fiber-Based Hybrid Composite. *International Conference on Technology, Innovation, and Society (ICTIS) 2016.* <https://doi.org/10.21063/ICTIS.2016.1005> Retrieved from <https://eproceeding.itp.ac.id/index.php/ictis2016/ictis2016/paper/view/138/20>
- Perdana, M., dan Nurzal, (2019). Pengaruh Fraksi Volume Komposit Serbuk Cangkang Kelapa Sawit/Epoksi Terhadap Kekerasan dan Laju Keausan. *Jurnal Ipteks Terapan. Volume 13. Nomor 1.* <https://doi.org/10.22216/jit.2019.v13i1.3297>. Retrieved from <http://ejournal.lldikti10.id/index.php/jit/article/view/3297-14887>
- Perdana, M., Saferi., R., dan Pratiwi, P., (2019). Toughness and Fracture Surface of Frame of Drone Based on Composite from Waste Materials. *Jurnal Teknik Mesin. Volume 9. Nomor 2.* <https://doi.org/10.21063/JTM.2019.v9i2.57-63>. Retrieved from <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/tmesin/article/view/1154>
- Perdana, M dan Yulsardi, R., P., (2015). Pengaruh Fraksi Volume Penguat Terhadap Kekuatan Lentur Green Composite Untuk Aplikasi Pada Bodi Kendaraan. *Jurnal Ipteks Terapan. Volume 9. Nomor 4.* <http://dx.doi.org/10.22216/jit.2015.v9i4.409>. Retrieved from <http://ejournal.lldikti10.id/index.php/jit/article/view/409-735>
- Purwanto, D., (2015). Pengaruh Ukuran Partikel Tempurung Sawit dan Tekanan Kempa Terhadap Kualitas Biobriket. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Volume 33. Nomor 4.*

- <https://doi.org/10.20886/jpjh.2015.33.4.303-313>. Retrieved from <http://ejournal.forda-mof.org/ejournal-litbang/index.php/JPHH/article/view/931>
- Rahmalina, D., Sukma, H., dan Putra, R., E., (2018). Pengaruh Kecepatan Luncur Terhadap Laju Keausan Material Komposit Hibrid Berpenguat Partikel Keramik. *Prosiding Konferensi Ilmiah Teknologi Texmaco. Volume 1*. Retrieved from <http://kitt.stttxmaco.ac.id/wp-content/uploads/2018/07/3.-Hal-17-22.pdf>
- Vasdazara, O., L., Ardhyanta, H., dan Wicaksono, S., T., (2018). Pengaruh Penambahan Serat Cangkang Kelapa Sawit (*Palm Kernel Fiber*) Terhadap Sifat Mekanik Dan Stabilitas Termal Komposit Epoksi/Serat Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik ITS. Volume 7. Nomor 1*. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i1.28200> Retrieved from <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/28200>
- Yudhanto, F., Dhewanto, S., A., dan Yakti, S., W., (2019). Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati. *Jurnal Quantum Teknika. Volume 1. Nomor 1*. <https://doi.org/10.18196/jqt.010104>. Retrieved from <https://journal.umy.ac.id/index.php/qt/article/view/7235>