

Fabrikasi Dan Karakterisasi Kampas Rem Komposit Dengan variasi Fraksi Volume Serat Serabut Kelapa

Sutikno[✉], Alif Nur Saidah

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2022

Disetujui April 2022

Dipublikasikan April 2022

Keywords:

kampas rem, komposit, serat
serabut kelapa

Abstrak

Penelitian ini tentang pembuatan kampas rem komposit dengan bahan berupa serat serabut kelapa dengan tujuan untuk menganalisis bagaimana ketahanan kampas rem yang dibuat dengan fraksi volume serat serabut kelapa yang divariasi. Pembuatan spesimen dilakukan dengan memvariasikan fraksi volume serat serabut kelapa mulai dari 2% hingga 14% dengan interval 3% untuk setiap variasi. Spesimen dicetak menggunakan metode hot isostatic pressing dengan suhu 160°C selama 3 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen A1 dengan fraksi volume serabut kelapa sebesar 2% merupakan spesimen terbaik yang mana memiliki nilai kekerasan sebesar 72,80 HRB, nilai keausan sebesar $2,21 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{kg}$, dan nilai kelekatan sebesar 1541,77 N/cm². Penambahan serat alam menyebabkan ikatan dalam spesimen menjadi lemah dan kepadatan spesimen berkurang, sehingga spesimen memiliki nilai kekerasan yang rendah. Spesimen yang memiliki nilai kekerasan rendah menjadikan spesimen tersebut mudah tergores atau terkikis yang mengakibatkan nilai keausannya tinggi. Nilai koefisien gesek tertinggi pada spesimen A5 dengan fraksi volume serat serabut kelapa sebesar 14%. Berdasarkan hasil pengamatan struktur permukaan mikro dan penentuan kandungan komposisi spesimen, terlihat bahwa dalam spesimen tersebut tersusun atas bahan-bahan yang berbeda yang memiliki karakteristik berbeda-beda pula.

Abstract

This research is about the manufacture of composite brake pads with coconut fiber material with the aim of analyzing how the resistance of brake pads made with varied volume fractions of coconut fiber fibers. The specimens were made by varying the volume fraction of coconut fiber from 2% to 14% with an interval of 3% for each variation. The specimens were printed using the hot isostatic pressing method with a temperature of 160°C for 3 hours. The test results show that specimen A1 with a volume fraction of coconut fiber of 2% is the best specimen which has a hardness value of 72.80 HRB, a wear value of $2.21 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{kg}$, and a stickiness value of 1541.77 N/cm². The addition of natural fibers causes the specimen to become weak and the density of the specimen decreases, so that the specimen has a low hardness value. Specimens that have low hardness values make these specimens easily scratched or eroded which results in high wear values. The highest friction coefficient value is in the A5 specimen with a volume fraction of coconut fiber by 14%. Based on different observations on the microsurface and the composition of the specimens, it can be seen that the specimens are composed of different materials that have different characteristics.

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan jaman, kemajuan teknologi semakin pesat seperti pada bidang otomotif. Kebutuhan akan piranti otomotif semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan alat transportasi. Rem menjadi komponen terpenting dalam sebuah kendaraan dikarenakan memengaruhi keselamatan selama berkendara. Selama proses pengereman berlangsung, energi kinetik dari kendaraan yang bergerak diubah menjadi energi panas dikarenakan gesekan antara rotor rem dengan bantalan rem (Sadagopan et al., 2018). Sistem pengereman memiliki fungsi untuk memperlambat dan menghentikan gerakan roda kendaraan serta mengatur putaran poros roda kendaraan tersebut (Sukamto, 2012). Secara garis besar, bahan yang digunakan sebagai bahan dasar kampas rem terdiri dari dua jenis yaitu asbestos dan non asbestos (Liu et al., 2006). Akan tetapi ketika tahun 1980-an bahan asbestos dilarang digunakan dikarenakan dapat menyebabkan kanker paru-paru dan gangguan kesehatan lainnya (Liew & Nirmal, 2013). Selain itu, kampas rem berbahan asbestos juga diindikasikan mengandung zat yang bersifat karsinogenik (Kurt & Boz, 2005). Bahan-bahan kampas rem merupakan campuran dari berbagai bahan-bahan, dimana variasi bahan-bahan ini akan menghasilkan kampas rem dengan heterogenitas mikro dan sifat (Han et al., 2008). Heterogenitas ini dikarenakan adanya keanekaragaman morfologi, ukuran, sifat komponen, serta efek pembuatan (Talib et al., 2003).

Dewasa ini, sudah mulai dikembangkan berbagai jenis bahan untuk pembuatan kampas rem, salah satunya adalah bahan alternatif yang ramah lingkungan dan tersedia di alam. Serbuk arang kulit buah

mahoni pernah digunakan sebagai bahan dasar kampas rem, dan didapatkan nilai kekerasan serta keausan yang baik (Prabowo et al., 2017). Selain menggunakan kulit mahoni, beberapa bahan juga telah digunakan sebagai bahan dasar kampas rem diantaranya tongkol jagung (Sukirman et al., 2019), serat ijuk (Prasetyo et al., 2013), serta abu layang batubara (Pratama, 2011). Abu layang batubara telah digunakan sebagai material penguat dalam pembuatan kampas rem komposit dikarenakan material tersebut memiliki sifat mekanik yang sesuai dengan nilai standar kampas rem (Pratama, 2011). Karthikeyan et al., (2019) juga telah menggunakan serat kenaf sebagai salah satu bahan pembuatan kampas rem.

Indonesia merupakan negara dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah. Salah satunya adalah kekayaan di bidang pertanian. Banyak tumbuhan yang dapat tumbuh di negara Indonesia, contohnya saja tumbuhan kelapa. Hampir semua bagian dari tumbuhan kelapa dapat dimanfaatkan, mulai dari buah, daun, batang, akar, hingga tempurung kelapanya. Oleh karena itu, tumbuhan ini dijuluki sebagai The Tree of Life (Lumintang et al., 2011). Akan tetapi terdapat juga bagian tumbuhan ini yang tidak dimanfaatkan secara maksimal dan akhirnya hanya menjadi limbah, contohnya saja serabut kelapa. Seiring dengan semakin majunya teknologi, serabut kelapa sudah mulai dimanfaatkan sebagai bahan baku penguat komposit. Serabut kelapa memiliki sifat ulet, tahan lama, tidak mudah patah, tahan terhadap jamur dan hama, serta tidak dihuni oleh rayap atau tikus. Serabut kelapa mengandung selulosa sebesar 44%, lignin 45%, pektin dan senyawa terkait 3%, air 5%, serta senyawa lainnya 3% (Rofi'i, 2019). Kholil et al., (2020) telah menggunakan serat serabut kelapa pada pembuatan kampas rem komposit dan dihasilkan komposit dengan nilai kekerasan yang mendekati kampas rem komersial. Melimpahnya jumlah serabut kelapa di alam ini dinilai mampu dimanfaatkan

sebagai salah satu bahan komposit dalam pembuatan kampas rem dengan mengkombinasikannya bersama bahan-bahan lainnya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan kampas rem komposit berbahan dasar serat serabut kelapa dengan memvariasikan kadarnya yang kemudian akan diuji ketahanannya meliputi pengujian kekerasan, keausan, koefisien gesek, dan kelekatan.

METODE

1. Penyiapan Serat Serabut Kelapa

Ketika proses penyiapan serat serabut kelapa, terlebih dahulu dilakukan pemilihan buah kelapa kemudian serabut kelapa dikeringkan selama 2–7 hari di bawah sinar matahari. Serabut kelapa dipisahkan dari batok kelapa untuk diambil serabutnya saja. Pemisahan serabut kelapa dengan batok kelapa dilakukan secara manual menggunakan tangan. Serabut kelapa kemudian diambil satu persatu seratnya secara perlahan agar serat tidak putus. Gabus yang masih menempel pada serabut kelapa dibersihkan supaya serat benar-benar bersih. Kemudian serat serabut kelapa di rendam selama dua jam di dalam larutan NaOH dengan konsentrasi 5%. Perendaman ini atau biasa disebut proses alkalisasi berfungsi untuk menghilangkan kotoran atau komponen penyusun serat yang kurang efektif, serta untuk meningkatkan kekuatan serat tersebut (Maryanti et al., 2011). Langkah terakhir yaitu serat dikeringkan dan ketika sudah kering serat digunting dengan ukuran sekitar 2 mm.

2. Pembuatan Spesimen Kampas Rem

Dalam pembuatan spesimen kampas rem, terlebih dahulu mempersiapkan bahan kampas rem dan menentukan persentase setiap bahan yang akan dicampurkan untuk membuat spesimen kampas rem. Bahan bahan tersebut meliputi bahan pengikat, bahan serat, dan bahan pengisi (Singh et al., 2012). Bahan

pengikat yang digunakan yaitu resin epoxy yang berfungsi untuk mengikat bahan-bahan dalam pembuatan kampas rem komposit (Sutikno et al., 2009). Bahan serat yang digunakan yaitu serat serabut kelapa, dan bahan pengisi yang digunakan diantaranya serbuk logam, serbuk gelas, dan serbuk tempurung kelapa. Bahan-bahan pengisi ini berfungsi sebagai penguat sifat resin dan juga dapat menurunkan penyerapan air serta koefisien ekspansi termal (Astika, 2019). Pada penelitian ini, fraksi volume serat serabut kelapa divariasikan mulai dari 2% hingga 14% dengan interval 3% untuk setiap spesimennya. Bahan-bahan untuk pembuatan spesimen kampas rem yang telah tercampur merata dan sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan, dituangkan ke dalam cetakan yang ada pada mesin pressing. Proses pencetakan spesimen ini menggunakan metode hot isostatic pressing (Sutikno et al., 2010). Metode ini menjadikan bahan spesimen padat dan keras. Pada proses ini spesimen dicetak pada suhu 160°C selama 3 jam.

3. Pengujian Spesimen Kampas Rem

Pengujian spesimen kampas rem meliputi pengujian kekerasan Brinell, pengujian keausan Ogoshi, pengujian koefisien gesek menggunakan tachometer, pengujian kelekatan menggunakan alat uji kuat tekan, pengamatan struktur permukaan mikro serta kandungan komposisi spesimen menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) yang sudah terintegrasi dengan alat Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX). Pengujian kekerasan Brinell digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan pada kampas rem komposit yang diuji dengan cara memberikan pembebanan pada material tersebut (Herlina et al., 2015). Pengujian kekerasan kali ini, material uji diberi pembebanan sebesar 60 kg dengan indenter berdiameter

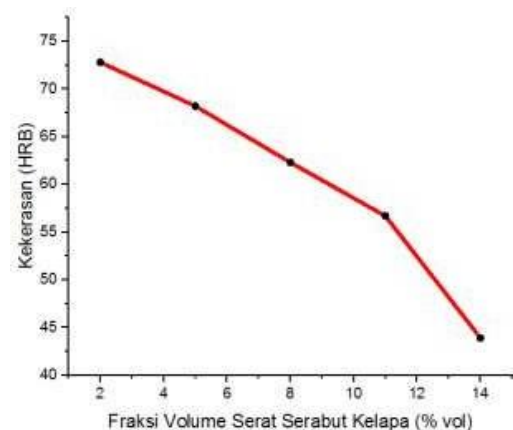
2,5 mm. Pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui nilai keausan kampas rem komposit yang diuji. Pengujian kali ini menggunakan metode pengujian keausan

Ogoshi yang mana spesimen memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar. Pengujian koefisien gesek dilakukan untuk mengetahui nilai koefisien gesek yang dihasilkan ketika spesimen bergesekan dengan piringan cakram yang berputar. Pada pengujian gesek ini dilakukan pembacaan kecepatan putar piringan cakram ketika diberi pembebanan menggunakan tachometer. Pengujian kelekatan atau kuat geser dilakukan untuk mengetahui nilai kelekatan lem dengan kampas rem komposit. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D 3737-03, yang mana saat proses pengujian material yang diuji diletakkan pada Jig dan diberi tekanan menggunakan beban yang ada pada alat uji kuat tekan atau Universal Testing Machine. Sementara itu untuk pengamatan struktur permukaan mikro digunakan alat Scanning Electron Microscopy (SEM) yang sudah terintegrasi dengan alat Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) tipe JEOL JSM-6510LA yang sekaligus dapat digunakan untuk mengetahui kandungan komposisi spesimen kampas rem komposit (Cahyana et al., 2014).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian kekerasan Brinell dari kampas rem komposit dengan kadar kenaikan serat serabut kelapa (2% vol-14% vol) ditunjukkan oleh Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa nilai kekerasan spesimen semakin menurun seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat serabut kelapa yang digunakan. Nilai kekerasan tertinggi pada spesimen A1 dengan fraksi volume serat serabut kelapa sebesar 2% yaitu sebesar 72,8 HRB dan nilai kekerasan terendah pada spesimen A5 dengan fraksi volume serat serabut kelapa 14% sebesar 43,9 HRB. Nilai kekerasan ini semakin menurun disebabkan oleh ikatan antar partikel atau ikatan interfacial antara serat dan matriks semakin melemah seiring dengan

bertambahnya fraksi volume serat serabut kelapa yang digunakan. Kandungan serat alam yang terlalu banyak dalam komposit juga dapat menyebabkan material komposit tersebut menjadi semakin getas dan memiliki porositas yang tinggi (Purboputro & Febriantoko, 2014). Syahid et al., (2011) mengungkapkan bahwa penurunan nilai kekerasan komposit disebabkan oleh semakin melemahnya ikatan antara matriks dan serat, distribusi partikel-partikelnya tidak merata, serta timbulnya void pada spesimen tersebut. Ketidakteraturan distribusi partikel ini dapat menyebabkan keretakan dan kemampuan spesimen untuk menahan pembebanan di titik tertentu menjadi rendah (Sutikno et al., 2011). Menurut Prasetyo et al., (2013), serat alam memiliki sifat yang lebih ulet dibandingkan dengan bahan-bahan lain dalam komposit tersebut. Oleh karena itu, ketika penambahan serat alam semakin meningkat, maka akan menambah sifat lunak spesimen dan menyebabkan nilai kekerasannya menurun.



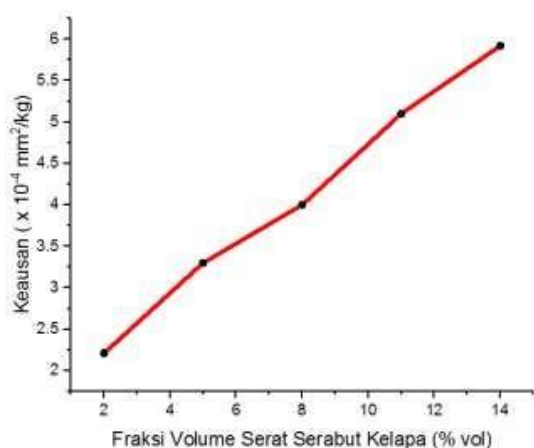
Gambar 1. Kekerasan kampas rem komposit dengan kadar

kenaikan serat serabut kelapa (2% vol-14% vol)

3.2 Keausan

Hasil dari pengujian keausan kampas rem komposit dengan kadar kenaikan serat serabut kelapa (2% vol-14% vol) ditunjukkan oleh Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai keausan terendah pada spesimen A1 dengan fraksi volume serat serabut kelapa

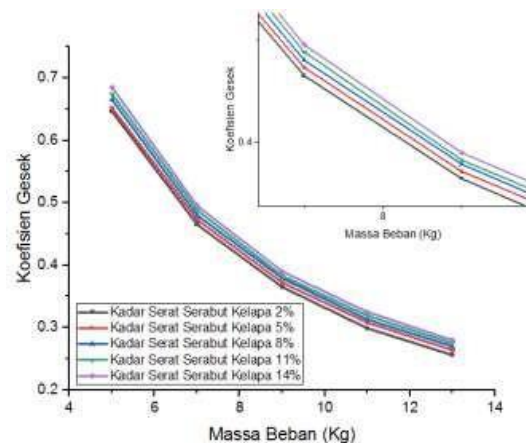
yang digunakan sebesar 2% dan nilai keausan tertinggi pada spesimen A5 dengan fraksi volume serat serabut kelapa sebesar 14%. Nilai keausan masing masing spesimen A1 dan A5 berturut-turut adalah $2,21 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{kg}$ dan $5,92 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{kg}$. Gambar 2 juga memperlihatkan bahwa nilai keausan spesimen semakin meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat serabut kelapa. Meningkatnya nilai keausan ini dikarenakan ketika proses pengujian berlangsung material yang hilang semakin banyak. Hilangnya material ini disebabkan oleh kurang kuatnya ikatan antara material-material penyusun spesimen. Prasetya & Zainuri (2017) mengungkapkan bahwa nilai keausan spesimen kampas rem komposit semakin meningkat seiring dengan penambahan serat alam. Hal ini terjadi karena dengan semakin meningkatnya fraksi volume serat alam, maka densitas spesimen semakin berkurang sehingga menyebabkan semakin lemahnya spesimen untuk menahan deformasi yang terjadi atau menyebabkan kekerasan spesimen tersebut menurun. Spesimen yang memiliki nilai kekerasan rendah akan mudah terabrasi sehingga material dalam spesimen tersebut mudah terlepas. Selain itu, tingkat kepadatan spesimen juga memengaruhi nilai keausan spesimen tersebut.



Gambar 2. Keausan kampas rem komposit dengan kadar kenaikan serabut kelapa (2% vol – 14 % vol).

3.3 Koefisien Gesek

Hasil pengujian gesek kampas rem komposit dengan kadar kenaikan serat serabut kelapa (2% vol-14% vol) ditunjukkan oleh Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya massa beban, nilai koefisien gesek yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini dikarenakan ketika massa beban bertambah, putaran yang dihasilkan oleh piringan cakram semakin berkurang.



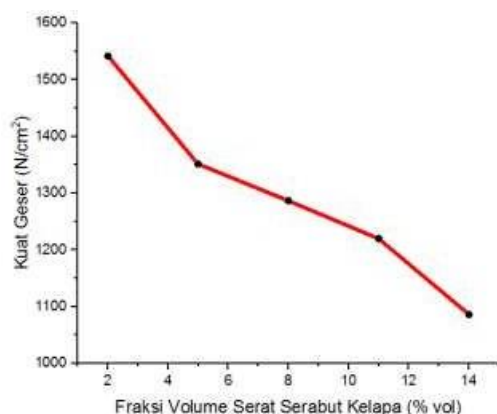
Gambar 3. Koefisien gesek kampas rem komposit dengan kadar kenaikan serabut kelapa (2% vol- 14 % vol) .

Selain itu dari Gambar 3 juga dapat diketahui bahwa nilai koefisien gesek setiap spesimen berbeda-beda. Nilai koefisien gesek tertinggi pada spesimen A5 dengan fraksi volume serabut kelapa sebesar 14% dan nilai koefisien gesek terendah pada spesimen A1 dengan fraksi volume serat serabut kelapa 2%. Semakin banyak fraksi volume serat serabut kelapa yang digunakan, maka nilai koefisien gesek dari spesimen tersebut semakin meningkat. Hal ini dikarenakan dengan semakin banyaknya fraksi volume serat serabut kelapa yang digunakan struktur

permukaan spesimen menjadi lebih kasar, sehingga koefisien gesek spesimen tersebut semakin besar (Prasetya & Zainuri, 2017). Koefisien gesek suatu benda dapat dipengaruhi oleh kekerasan permukaan benda tersebut (Siallagan & Putra, 2018). Adanya perbedaan nilai koefisien gesek ini dapat dikatakan bahwa fraksi volume serat serabut kelapa yang digunakan memengaruhi nilai koefisien gesek yang dihasilkan, akan tetapi pengaruhnya tidak begitu signifikan.

3.4 Kelekatan atau Kuat Geser

Hasil pengujian kelekatan kampas rem komposit dengan kadar kenaikan serat serabut kelapa (2% vol-14% vol) ditunjukkan oleh Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa fraksi volume serat serabut kelapa yang digunakan memengaruhi nilai kelekatan atau kuat geser kampas rem komposit yang diuji.



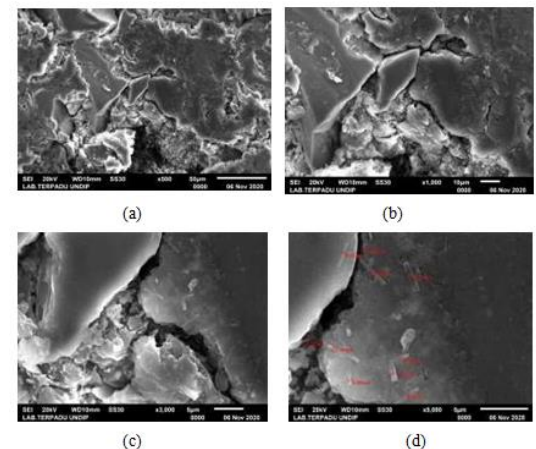
Gambar 4. Kuat geser kampas rem komposit dengan kadar kenaikan serat serabut kelapa (2% vol- 14% vol).

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui pula bahwa nilai kelekatan atau kuat geser tertinggi pada spesimen A1 dengan fraksi volume serat serabut kelapa 2% yaitu sebesar 1541,77 N/cm², dan nilai kuat geser terendah pada spesimen A5 dengan fraksi volume serat serabut kelapa 14% sebesar 1085,95 N/cm². Nilai kuat geser tertinggi pada spesimen A1 dikarenakan pada spesimen A1 memiliki

struktur yang lebih padat dan lebih kuat daripada spesimen A5. Pada pengujian ini, lem yang digunakan untuk merekatkan kampas dengan dudukannya tidak terkelupas. Hal ini menandakan bahwa material yang digunakan untuk pengeleman sudah baik.

3.5 Pengamatan Struktur Permukaan Mikro

Pengujian untuk mengetahui struktur permukaan mikro spesimen kampas rem dilakukan dengan menggunakan alat Scanning Electron Microscopy (SEM) yang sudah terintegrasi dengan alat Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) tipe JEOL JSM-6510LA. Spesimen yang diuji terlebih dahulu dihaluskan permukaannya menggunakan amplas. Spesimen yang digunakan pada pengujian SEM dipotong dengan ukuran 0,5 x 0,5 cm². Berikut ini adalah gambar hasil pengujian SEM kampas rem komposit yang ditunjukkan oleh Gambar 5.



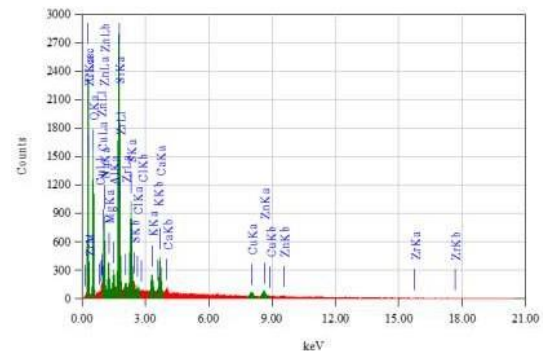
Gambar 5. Hasil pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) kampas rem komposit: (a) perbesaran 500 kali, (b) perbesaran 1000 kali, (c) perbesaran 3000 kali, dan (d) perbesaran 5000 kali.

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa morfologi permukaan spesimen terlihat terjadi crack/retak. Hal tersebut menunjukkan bahwa

semua bahan-bahan komposit belum menyatu secara homogen. Pada Gambar 5(c) terlihat bahwa serat serabut kelapa berada di dekat permukaan spesimen bahkan ada yang terlepas dan berada di permukaan spesimen (Gambar 5(d)). Retakan yang terlihat juga menjadi penyebab terjadinya peningkatan maupun penurunan pada hasil pengujian kekerasan dan keausan spesimen. Permukaan yang kurang rapat atau adanya retakan menyebabkan ikatan antar penyusun spesimen menjadi kurang kuat sehingga kekerasan spesimen mengalami penurunan dan keausannya mengalami peningkatan. Berdasarkan Gambar 5(d) terlihat bahwa diameter serat serabut kelapa yang digunakan sekitar 0,2 – 0,6 mikrometer. Gambar 5 juga menunjukkan bahwa terjadi perbedaan pada topografi permukaan spesimen. Hal tersebut terjadi karena ketika proses pemolesan bahan keras sulit untuk terdegradasi, sehingga bahan keras memiliki permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan yang lebih lunak. Perbedaan warna pada spesimen kampas rem seperti yang terlihat pada Gambar 5 menandakan adanya perbedaan konduktivitas dari bahan-bahan penyusun spesimen (Sutikno et al., 2011). Semakin besar konduktivitas suatu bahan, maka warna dari hasil citra SEM yang dihasilkan akan semakin terang (Astika, 2019). Bagian terang pada Gambar 5 menandakan adanya unsur logam pada spesimen tersebut. Bahan logam memiliki warna yang jauh lebih terang dibandingkan dengan bahan karbon (Sutikno et al., 2011).

3.6 Penentuan Kandungan Komposisi Spesimen

Pengujian Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) dilakukan untuk mengetahui kandungan komposisi yang terdapat di dalam sebuah material, yang dalam hal ini adalah kampas rem komposit. Berikut adalah gambar hasil pengujian EDX kampas rem komposit yang ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengujian *Energy Dispersive X-ray (EDX)* kampas rem komposit.

Untuk presentase setiap unsur terdapat dalam spesimen tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Persentase unsur kimia kampas rem komposit

No	Unsur	Persentase unsur (%)
1.	C	52,92
2.	O	31,04
3.	Na	2,21
4.	Mg	0,71
5.	Al	0,41
6.	Si	5,73
7.	S	2,13
8.	Cl	0,14
9.	K	0,63
10.	Ca	1,24
11.	Cu	0,83
12.	Zn	1,52

Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa dalam spesimen tersebut terdiri dari berbagai macam unsur. Hal ini menandakan bahwa dalam spesimen tersebut terdapat bahan yang berbeda-beda. Persentase unsur karbon mendominasi yaitu sebesar 52,92%. Fasa karbon ini berasal dari bahan organik yang teroksidasi secara termal dan terkarbonisasi (Sutikno et al., 2010). Selain itu persentase unsur oksigen juga lumayan besar yaitu sebesar 31,04%. Unsur oksigen ini berasal dari zat penyusun seperti magnesium oksida, kalsium karbonat, dan seng oksida. Selain unsur karbon dan oksigen, unsur yang memiliki persentase terbesar selanjutnya adalah silikon yaitu sebesar 5,73%, unsur ini berasal dari serbuk kaca.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa penambahan

fraksi volume serat serabut kelapa menyebabkan turunnya nilai kekerasan dan kelekatan kampas rem, serta menaikkan nilai keausannya. Hasil terbaik pada pengujian ini adalah pada spesimen A1 dengan fraksi volume serat serabut kelapa 2% yang mana nilai kekerasan, kelekatan, dan keausannya secara berturut turut adalah 72,8 HRB, 1541,77 N/cm², dan $2,21 \times 10^{-4}$ mm²/kg. Pada pengujian koefisien gesek nilai koefisien gesek tertinggi pada spesimen A5 dikarenakan pada komposisi ini fraksi volume serat yang digunakan paling banyak, kemudian untuk pengamatan struktur permukaan mikro dan penentuan kandungan komposisi spesimen dapat diketahui bahwa spesimen yang dibuat terdiri dari berbagai jenis bahan yang memiliki karakteristik berbeda-beda. Unsur logam cenderung memiliki warna yang lebih terang dibandingkan unsur lainnya. Unsur yang mendominasi dalam spesimen kampas rem tersebut diantaranya karbon sebesar 52,92%, oksigen sebesar 31,04%, dan silika sebesar 5,73%.

DAFTAR PUSTAKA

- Astika, G. 2019. Pengaruh Fraksi dan Dimensi Serat Alam Terhadap Sifat Mekanik Kampas Rem Komposit. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Cahyana, A., Marzuki, A., & Cari. 2014. Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) pada Kaca TZN yang Dikristalkan Sebagian. Prosiding Mathematics and Sciences. Solo: Universitas Sebelas Maret.
- Han, Y., Tian, X., & Yin, Y. 2008. Effects of Ceramic Fiber on the Friction Performance of Automotive Brake Lining Materials. Tribology Transactions, 51: 779-783.
- Herlina, F., Firman, M., & Fazri, E. Y. 2015. Mengetahui Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro dari Bahan Baja Pegas Daun Akibat Perlakuan Panas dengan Temperature dan Pendingin yang Bervariasi. Info Teknik, 16(1): 75-84.
- Karthikeyan, S. S., Balakrishnan, E., Meganathan, S., Balachander, M., & Ponshanmugakumar, A. 2019. Elemental Analysis of Brake Pad Using Natural Fibres. Materials Today, 16: 1067-1074.
- Kholil, A., Dwiwati, S. T., Siregar, J. P., Riyadi, & Sulaiman. 2020. Development Brake Pad From Composites Of Coconut Fiber, Wood Powder And Cow Bone For Electric Motorcycle. International Journal of Scientific & Technology Research, 9(2): 2938-2942.
- Kurt, A., & Boz, M. 2005. Wear Behaviour of Organic Asbestos Based and Bronze Based Powder Metal Brake Linings. Materials and Design, 26: 717-721.
- Liew, K. W., & Nirmal, U. 2013. Frictional Performance Evaluation of Newly Designed Brake Pad Materials. Materials and Design, 48: 25-33.
- Liu, Y., Fan, Z., Ma, H., Tan, Y., & Qiao, J. 2006. Application of Nano Powdered Rubber in Friction Materials. Wear, 261: 225-229.

- Lumintang, R. C. A., Soenoko, R., & Wahyudi, S. 2011. Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serbuk Batang dan Serat Sabut Kelapa. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(2): 145–153.
- Maryanti, B., Sonief, A. A., & Wahyudi, S. 2011. Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa- Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(2): 123–129.
- Prabowo, H. T., Sulhadi, Aji, M. P., & Darsono, T. 2017. Sifat Mekanik Bahan Komposit Kampas Rem Berbahan Dasar Serbuk Arang Kulit Buah Mahoni. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 2(2): 127–132.
- Prasetya, B., & Zainuri, M. 2017. Pengaruh Fraksi Berat Serat Waru terhadap Sifat Mekanik Kampas Rem Kereta Api Komposit Non Asbestos. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 6(2): 2–7.
- Prasetyo, D., Estriyanto, Y., & Harjanto, B. 2013. Pemanfaatan Serat Ijuk Sebagai Bahan Gesek Alternatif Kampas Rem Sepeda Motor. Artikel. Surakarta: Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Pratama. 2011. Analisa Sifat Mekanik Komposit Bahan Kampas Rem dengan Penguat Fly Ash Batubara. Skripsi. Makassar: FT Universitas Hasanuddin.
- Purboputro, P. I., & Febriantoko, B. W. 2014. Pengaruh Komposisi Serat Sabut Kelapa Terhadap Koefisien Gesek dan Temperatur Gesek Pada Bahan Kopling Clutch Kendaraan dari Komposit Serat Sabut Kelapa Serbuk Tembaga Dengan Matrik Phenol. *Jurnal Simetris*, 5 (2): 137–142.
- Rofi'i, I. A. 2019. Pengaruh Campuran Serat Nanas dan Serat Kelapa dengan Penambahan Magnesium Oksida Sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem Terhadap Kekerasan dan Keausan. Skripsi. Semarang : FT Universitas Negeri Semarang.
- Sadagopan, P., Natarajan, H. K., & Kumar J, P. 2018. Study of Silicon Carbide-reinforced Aluminum Matrix Composite Brake Rotor for Motorcycle Application. *Int J Adv Manuf Technol*, 94: 1461–1475.
- Siallagan, & Putra, R. 2018. Studi Eksperimental Performansi Kampas Rem Berbahan Serbuk Bambu , Aluminium , Magnesium pada Kendaraan Satria FU. Skripsi. Medan: FT Universitas Sumatera Utara.
- Singh, T., Patnaik, A., Satapathy, B. K., Kumar, M., & Tomar, B. S. 2012. Effect of Nanoclay Reinforcement on the Friction Braking Performance of Hybrid Phenolic Friction Composites. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 3: 189.
- Sukamto. 2012. Analisis Keuasan Kampas Rem Pada Sepeda Motor. *Jurnal Teknik*, 2(1): 31–39. Sukirman, Ma'mun, S., Rusdi, S., Fahruli, A., & Yulpando, R. E. 2019. Utilization of Corn Cob Waste as an Alternative Composite Material of Motorcycle Non-asbestos Brake Lining. 26th
- Regional Symposium on Chemical Engineering. Jakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Sutikno, Kiswiranti, D., Sugianto, & Hindarto, N. 2009. Pemanfaatan Serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Alternatif Serat Penguat Bahan Friksi Non Asbes Pada Kampas Rem Sepeda Motor. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 5: 62–66.
- Sutikno, M., Marwoto, P., & Rustad, S. 2010. The Mechanical Properties of Carbonized Coconut Char Powder-Based Friction Materials. *Carbon*, 48: 3616–3620.
- Sutikno, Marwoto, P., & Santiko, H. 2011. Pembuatan Bahan Gesek Kampas Rem otomotif. Semarang: UNNES Press.
- Syahid, M., Arsyad, H., & Pratama. 2011. Analisa Sifat Mekanik Polimer Matriks Komposit Berpenguat Fly Ash Batubara Sebagai Bahan Kampas Rem. Prosiding 2011 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Talib, R. J., Muchtar, A., & Azhari, C. H. 2003. Microstructural Characteristics on The Surface and Subsurface of Semimetallic Automotive Friction Materials During Braking Process. *Journal of Materials Processing Technology*, 140: 694–699.