

Analisis Sifat Mekanik dan Tribologi pada Cakram Baru dan Bekas

Muhammad Khafidh^{*}, Santo Aje Dhewanto, Muhammad Alfaarisi Maulana Kasim, Yustiasih Purwaningrum

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km 14,5, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta, 55581, Indonesia

*E-mail: khafidh@uii.ac.id (corresponding author)

Abstract

A braking process on vehicles has two important components, namely disc brake and brake pad. The contact between disc brake and brake pad is expected to have enough friction to reduce the speed of vehicles. Moreover, the wear of these components should be minimum to extend the life time of the components. In Indonesia, many vehicle's owners decide to recycle disc material when the disc is worn. From a sustainable point of view, it will reduce the waste and CO₂ footprint. However, the safety performance of the recycled discs is not yet studied. In this research, the mechanical and tribological performances of various types of disc materials will be analyzed, both new and used disc. There are four materials, namely new discs (Ba), used (Be), used discs + scraped (BeS), and used discs + scraped + sanded (BeS amplas). The analysis carried out includes hardness, roughness, wear mass, friction coefficient, and temperature. The results show that the surface roughness of the Be material is lower than that of the Ba material, while the BeS material has a roughness approximately 5 times higher than that of the Ba material. The high surface roughness of the BeS material results in low friction and high wear. This situation is undesirable for brake applications because it reduces the safety and service life of the product. Giving sandpaper treatment to BeS material can improve tribological performance and reduce contact temperature.

Kata kunci: disc brake; roughness; wear; friction; temperatur; recycle

Abstrak

Proses pengereman pada kendaraan mempunyai dua komponen penting, yaitu piringan cakram dan kampas rem. Kontak antara cakram dan kampas rem diharapkan mempunyai gesekan yang cukup untuk mengurangi kecepatan kendaraan. Selain itu, keausan dari cakram dan kampas rem harus diminimalkan untuk memperpanjang umur komponen. Di Indonesia, banyak pemilik kendaraan yang memutuskan untuk mendaur ulang material cakram ketika cakram sudah aus. Dari sudut pandang lingkungan, hal ini akan mengurangi limbah dan jejak karbon dioksida. Namun, kinerja keselamatan dari cakram daur ulang tersebut belum banyak diteliti. Dalam penelitian ini akan dianalisis kinerja mekanik dan tribologi berbagai jenis bahan cakram, baik cakram baru maupun yang daur ulang. Bahannya ada empat, yaitu cakram baru (Ba), cakram bekas (Be), cakram bekas + sekrap (BeS), dan cakram bekas + sekrap + ampplas (BeS Amplas). Analisis yang dilakukan meliputi kekerasan, kekasaran, massa aus, koefisien gesek, dan temperatur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekasaran permukaan material Be lebih rendah dibandingkan material Ba, sedangkan material BeS memiliki kekasaran kurang lebih 5 kali lebih tinggi dibandingkan material Ba. Kekasaran permukaan material BeS yang tinggi menghasilkan gesekan yang rendah dan keausan yang tinggi. Situasi ini tidak diinginkan untuk aplikasi rem karena mengurangi keselamatan dan masa pakai produk. Pemberian perlakuan ampplas pada material BeS dapat meningkatkan kinerja tribologi dan menurunkan suhu kontak.

Kata kunci: cakram; kekasaran; aus; koefisien gesek; daur ulang

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang berkembang pesat menghasilkan banyak inovasi untuk memenuhi kebutuhan manusia, termasuk dalam bidang otomotif [1]. Produk-produk otomotif semakin memanjakan pengguna, kepuasan konsumen menjadi tujuan utama dalam pengembangan teknologi. Kepuasan konsumen pada bidang otomotif diantaranya meliputi keamanan, kemudahan, dan kenyamanan. Saat ini, kebutuhan suku cadang otomotif semakin meningkat, salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor adalah rem. Rem berfungsi untuk memperlambat kecepatan kendaraan dan sistem ini memiliki peran penting pada keselamatan dan keamanan pengguna [2]. Inovasi terkait sistem pengereman terus dilakukan untuk semakin memastikan keamanan dalam berkendara [3, 4].

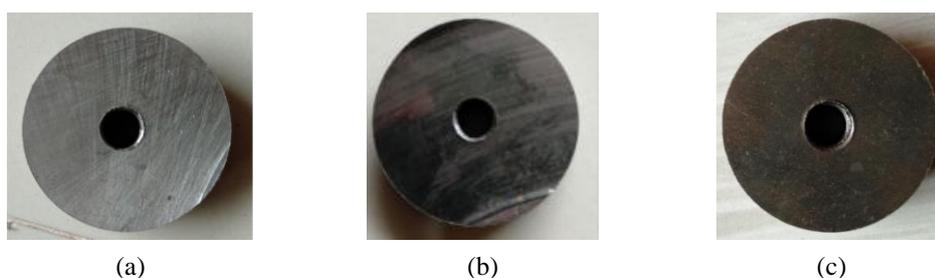
Sistem pengereman memiliki dua komponen penting, yakni piringan cakram yang berputar sesuai kecepatan roda dan kampas rem. Kedua komponen tersebut dapat menghambat kecepatan kendaraan dengan cara membuat keduanya berkontak sehingga menimbulkan gaya gesek. Komponen pengereman akan mengalami penurunan performa seiring dengan penggunaannya [5]. Hal ini disebabkan oleh aus, baik pada kampas rem maupun piringan cakram [6]. Umumnya

pemilik kendaraan akan mengganti kampas rem apabila sudah terlalu tipis akibat terkikis aus. Pada beberapa kasus, piringan cakram mengalami deformasi plastis dan *scratch* akibat adanya benda keras diantara kampas rem dan cakram. Beberapa pengguna kendaraan memilih opsi untuk mendaur ulang atau memperbaiki cakram tersebut dengan proses sekrap. Memperpanjang usia pakai piringan cakram dengan cara mendaur ulang tentu menjadi pilihan yang menarik untuk mengatasi isu lingkungan yang saat ini terjadi, selain itu juga lebih ekonomis bagi pengguna kendaraan bermotor. Tetapi hal itu perlu diikuti dengan kepastian pada aspek keamanan dari sistem pengereman hasil dari daur ulang piringan cakram. Penelitian terkait daur ulang kampas rem sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, baik analisis terhadap sifat material maupun tribologinya [7-9]. Tetapi belum banyak ditemukan penelitian tentang daur ulang sistem pengereman yang fokus pada material cakram dan pengaruhnya pada performa tribologinya, seperti aus dan gesekan.

Pada penelitian ini, pengaruh penggunaan cakram bekas pada performa rem akan dievaluasi. Material cakram baru, cakram bekas, dan cakram bekas yang disekrap akan dievaluasi kekerasan dan kekasarannya. Selain itu, pengaruhnya terhadap koefisien gesek dan aus pada kampas rem juga akan dipelajari. Perlakuan amplas juga dilakukan pada material bekas yang disekrap untuk meningkatkan performa pengereman.

2. Material dan metodologi

Pada penelitian ini, bahan yang digunakan adalah piringan cakram baru dan bekas dari mobil merk Toyota Agya produk orisinal. Bagian yang diteliti adalah bagian permukaan cakram yang bergesekan dengan kampas rem. Piringan cakram dipotong sesuai dengan ukuran spesimen pada alat tribometer pin-on-disk. Spesimen uji yang digunakan pada penelitian ini adalah cakram baru (Ba), cakram bekas (Be), dan cakram bekas dengan disekrap (BeS). Piringan cakram dipotong menggunakan CNC milling sehingga menghasilkan material uji tribometer dengan diameter 35 mm dengan ketebalan 5 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen disk dari piringan cakram: (a) cakram baru (Ba), (b) cakram bekas (Be), (c) cakram bekas dengan disekrap (BeS).

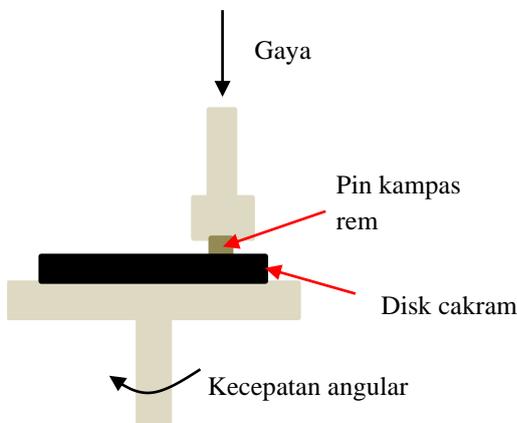
Ketiga spesimen tersebut dilakukan uji kekerasan, kekerasan, gesek, dan aus. Saat uji gesek sedang berlangsung, temperatur kontak antara material cakram dan kampas rem diukur dengan *Thermal Imager Fluke*. Pengambilan data temperatur dilakukan pada bagian kampas rem dan material cakram yang bergesekan. Temperatur diambil pada menit ke 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, dan 45.

Uji kekasaran dilakukan dengan *Stylush Probe/Surfcom Touch 50 Surface Tester* dengan *sampling length* 0,8 mm. Uji kekasaran diulang pada 3 tempat yang berbeda dan dihitung rata-ratanya. Kalibrasi alat *Stylush Probe/Surfcom Touch 50 Surface Tester* menggunakan standar ISO 1997/2009. Uji kekerasan dilakukan dengan *Brinell Hardness Tester* dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Sedangkan uji gesek dan aus dilakukan dengan tribometer pin-on-disk. Material *counter surface* yang digunakan pada uji gesek adalah material kampas rem orisinal Toyota. Holder pemegang material kampas rem diproduksi dengan menggunakan 3D print. Kampas rem dipotong dengan diameter 6 mm, lihat Gambar 2.



Gambar 2. Holder dan pin kampas rem.

Gambar 3 menunjukkan gambar skematik pengujian tribometer pin-on-disk. Pin kampas rem diberikan gaya dengan arah tegak lurus dengan disk cakram yang diputar dengan kecepatan angular tertentu. Kontak antara pin kampas rem dan disk cakram akan menghasilkan gesekan yang dibaca oleh sensor pada alat tribometer pin-on-disk. Selain itu, akan terjadi aus pada kampas rem. Besar massa aus kampas rem didapatkan dari selisih massa material kampas rem sebelum dan sesudah pengujian gesek. Gaya yang diberikan pada pengujian tribometer pin-on-disk sebesar 12 N, kecepatan angular 728 rpm dan waktu gesek pengujian adalah 45 menit. Pengujian dilakukan pada temperatur kamar dan tanpa pelumas.



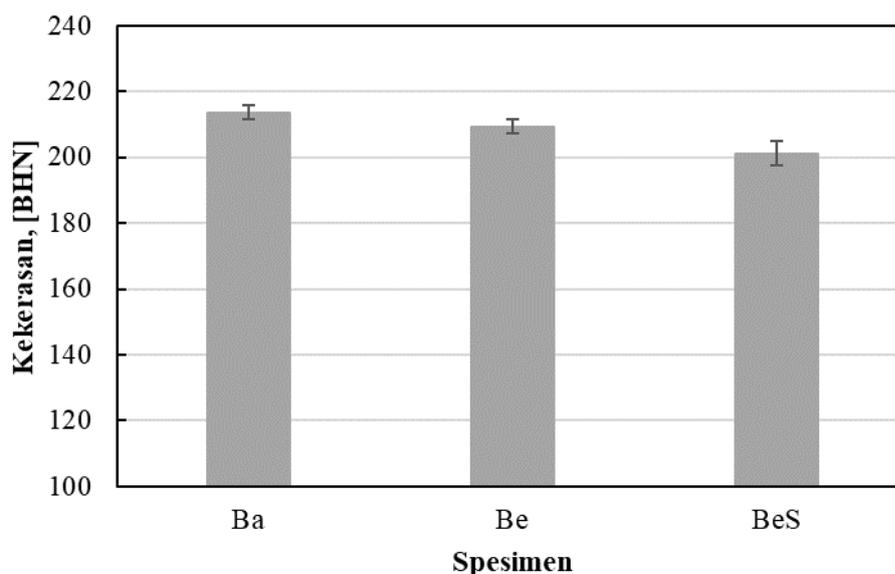
Gambar 3. Skematik uji tribometer pin-on-disk.

Spesimen bekas dengan sekrap (BeS) diberikan perlakuan permukaan dengan cara diampelas. Hal ini dilakukan agar kekasaran BeS mendekati kekasaran material baru (Ba). Proses pengamplasan dilakukan secara berurutan dari grid kasar sampai halus (220, 500, dan 1000). Durasi pengamplasan masing-masing grid dilakukan menggunakan mesin polishing selama 10 menit dengan kecepatan angular sebesar 300 rpm.

3. Hasil dan Pembahasan

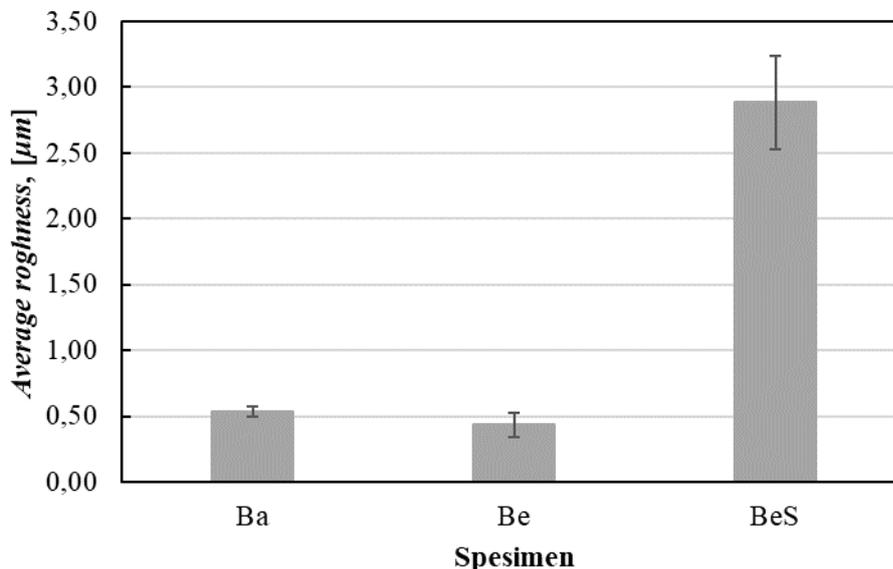
3.1. Hasil pengujian sebelum perlakuan

Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian kekerasan pada ketiga spesimen. Kekerasan pada spesimen Ba menunjukkan nilai yang tertinggi, sedangkan kekerasan pada spesimen BeS mempunyai nilai yang terkecil. Kekerasan permukaan berpengaruh terhadap karakteristik tribologi, seperti gesekan dan aus [10]. Pada material yang mempunyai kekerasan tinggi cenderung mempunyai ketahanan aus yang lebih baik. Di sisi lain, material yang keras dapat mengakibatkan aus yang besar pada material lawan yang lebih lunak.



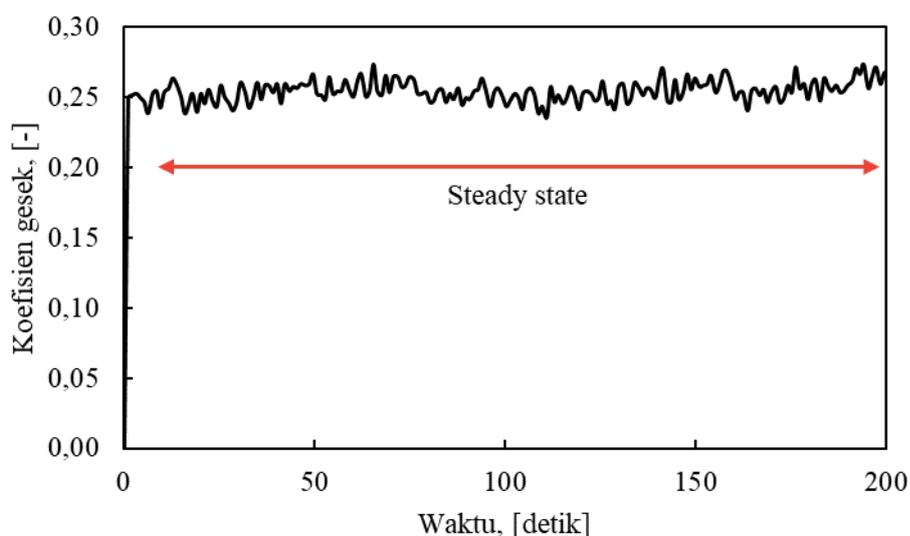
Gambar 4. Kekerasan pada ketiga spesimen.

Hasil pengujian kekasaran pada ketiga spesimen cakram ditunjukkan pada Gambar 5. Cakram bekas (Be) mempunyai kekasaran sedikit lebih rendah dibandingkan dengan cakram baru. Hal ini disebabkan cakram bekas sudah melewati fase *running-in*, dimana *asperity* pada permukaan material sudah hilang karena aus. Hilangnya *asperity* menyebabkan kekasaran permukaan pada material menjadi lebih rendah [11]. Pada spesimen cakram BeS menunjukkan nilai kekasaran yang sangat tinggi, sekitar 5 kali lebih kasar dibandingkan dengan cakram Ba. Perlakuan sekrap pada cakram bekas menyebabkan kekasaran yang naik secara signifikan.



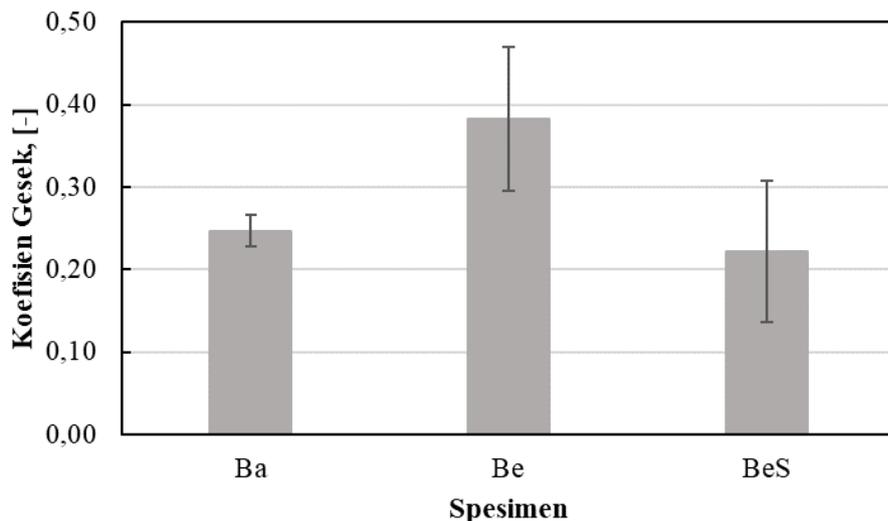
Gambar 5. Kekasaran permukaan pada ketiga spesimen.

Pengujian koefisien gesek dan aus pada penelitian ini menggunakan alat tribometer pin-on-disk. Output pada pengujian ini berupa koefisien gesek dan massa aus. Pin yang digunakan dalam pengujian ini adalah spesimen yang dibentuk dari produk kampas orisinal Toyota, sedangkan untuk disk yang digunakan adalah spesimen cakram yang sudah disiapkan, lihat Gambar 3. Hasil pengujian gaya gesek terhadap waktu pada salah satu spesimen Be ditunjukkan pada Gambar 6. Pada awal pengujian, koefisien gesek meningkat signifikan. Hal ini disebabkan terjadinya banyak aus pada material selama awal proses gesekan antara kampas rem dan material cakram. Aus akan membuat kekasaran permukaan material menjadi lebih halus sehingga akan memperbesar area kontak. Area kontak yang besar akan membuat gaya gesek pada material menjadi lebih besar. Pada waktu tertentu, aus yang terjadi pada material menjadi sangat kecil karena permukaan sudah halus. Pada keadaan tersebut besar gaya gesek akan cenderung stabil dan koefisien gesek memasuki fase *steady state*. Pada penelitian ini, gaya gesek yang dianalisis adalah gaya gesek pada fase *steady state* tersebut.

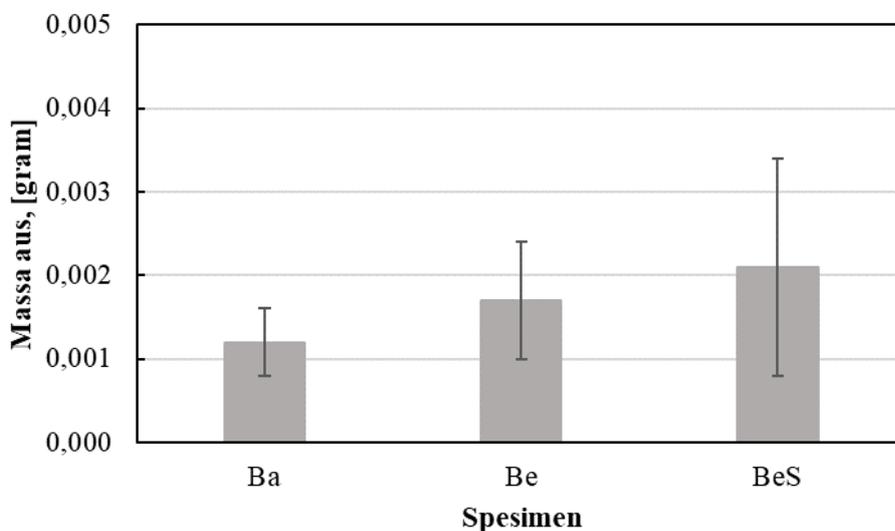


Gambar 6. Grafik koefisien gesek terhadap waktu pada salah satu spesimen Be.

Koefisien gesek saat fase *steady state* dari semua spesimen dapat ditunjukkan dari Gambar 7. Koefisien gesek material Be menunjukkan nilai tertinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya. Pada aplikasi rem, diharapkan nilai koefisien gesek yang tinggi karena proses pengereman membutuhkan gesekan yang besar agar mobil dapat berhenti. Sedangkan material BeS mempunyai nilai koefisien gesek yang paling rendah, hal ini kurang baik dalam proses pengereman. Gambar 8 menunjukkan bahwa aus yang terjadi pada kampas rem dengan cakram BeS mempunyai nilai tertinggi dibandingkan dengan spesimen cakram lainnya, hampir dua kali lipat dari aus pada cakram Ba. Hal ini dapat diakibatkan oleh kekasaran dari cakram BeS mempunyai nilai tertinggi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Kekasaran permukaan ini yang membuat terjadinya banyak aus abrasi pada material kampas rem.

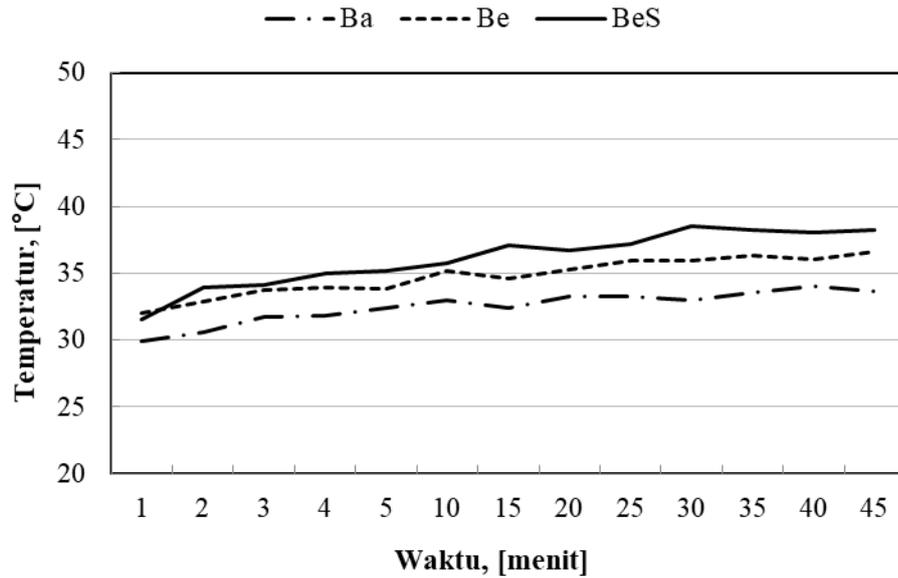


Gambar 7. Koefisien Gesek *Steady State* pada ketiga spesimen.



Gambar 8. Massa aus pada ketiga spesimen.

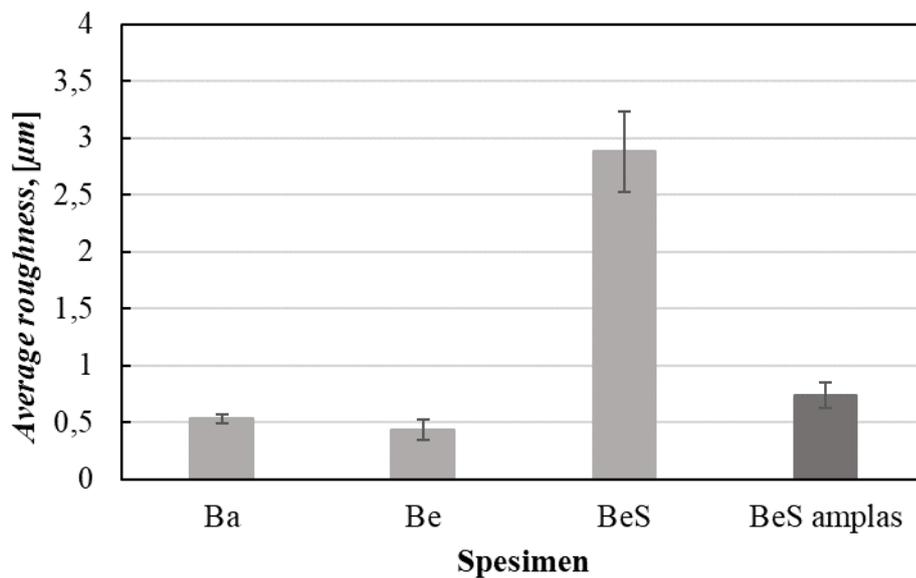
Temperatur yang terjadi pada titik kontak antara kampas rem dan cakram selama pengujian tribometer ditunjukkan pada Gambar 9. Temperatur menunjukkan kenaikan seiring dengan lamanya kontak antara kampas rem dan cakram. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa gesekan akan menghasilkan kenaikan temperatur pada area kontak [12]. Temperatur pada kontak yang melibatkan material BeS menunjukkan nilai tertinggi, hal ini dapat disebabkan oleh kekasaran permukaan yang tinggi pada BeS menyebabkan banyak puncak *asperity* pada permukaan material. Puncak *asperity* menyebabkan tekanan kontak pada menjadi sangat besar dan menimbulkan panas yang lebih besar.



Gambar 9. Temperatur pada titik kontak antara kampas rem dan ketiga spesimen cakram.

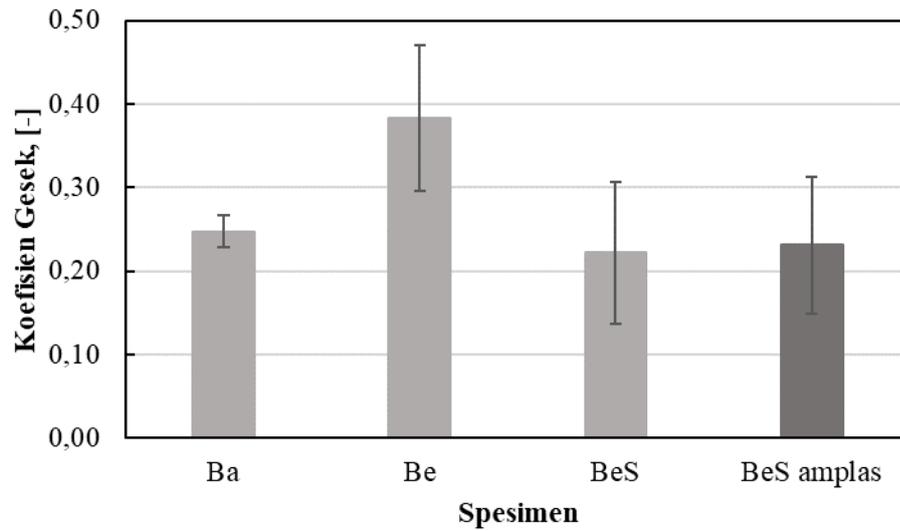
3.2. Hasil pengujian setelah perlakuan pengamplasan

Pada subbab sebelumnya terlihat bahwa spesimen BeS yang mempunyai kekasaran tinggi dan mengakibatkan performa tribologi yang kurang bagus pada saat bergesekan dengan material kampas rem. Pada subbab ini akan dibahas pengaruh perlakuan pengamplasan pada spesimen BeS untuk mendapat kekasaran yang mendekati spesimen Ba. Spesimen BeS hasil pengamplasan kemudian dilakukan uji kekasaran, aus, koefisien gesek, dan temperatur. Terdapat tiga spesimen BeS yang diampas untuk menguji keberulangan hasil pengujian. Gambar 10 menunjukkan bahwa kekasaran permukaan pada spesimen BeS ampas sudah mendekati nilai kekasaran pada spesimen Ba.

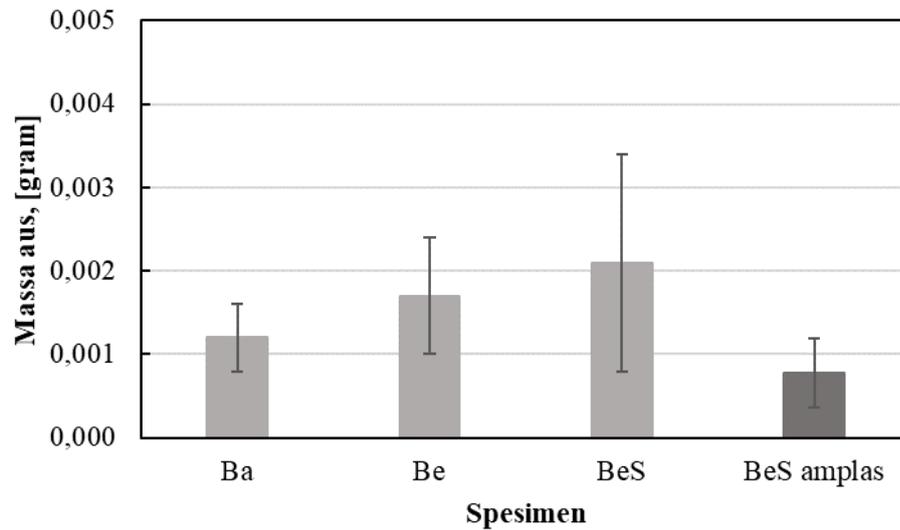


Gambar 10. Kekasaran permukaan spesimen sebelum dan sesudah perlakuan pengamplasan.

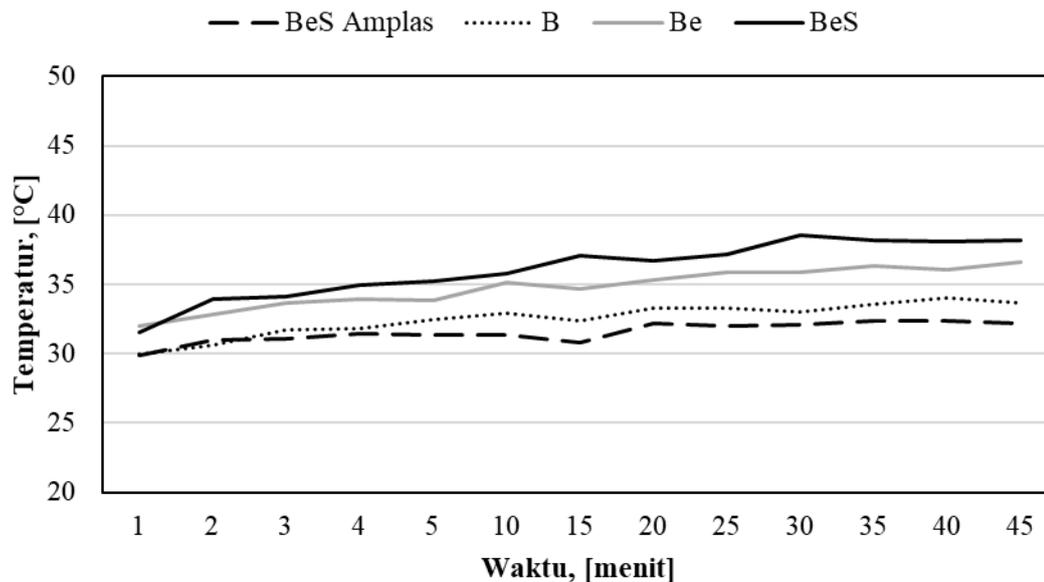
Perlakuan ampas meningkatkan sedikit nilai koefisien gesek dari material dibandingkan dengan material BeS, lihat Gambar 11. Peningkatan nilai koefisien gesek dapat diakibatkan oleh semakin halusya permukaan spesimen BeS sehingga memperbesar kontak area. Namun nilai koefisien gesek BeS ampas masih sedikit di bawah nilai koefisien gesek Ba. Hasil pengujian aus menunjukkan bahwa massa aus pada kampas rem ketika berkontak dengan spesimen BeS ampas sudah lebih baik dibandingkan dengan massa kampas rem ketika berkontak dengan spesimen Ba dan Be, lihat Gambar 12. Hasil massa aus yang kecil dapat memperpanjang usia pakai dari kampas rem.



Gambar 11. Kofisien gesek spesimen sebelum dan sesudah perlakuan pengamplasan.



Gambar 12. Massa aus spesimen sebelum dan sesudah perlakuan pengamplasan.



Gambar 13. Temperatur pada titik kontak antara kampas rem dan spesimen cakram sebelum dan sesudah perlakuan pengamplasan.

Hasil pengujian temperatur pada titik kontak antara kampas rem dan spesimen cakram ditunjukkan pada Gambar 13. Semua spesimen menunjukkan bahwa temperatur kontak akan naik seiring dengan lama waktu kontak. Pada spesimen BeS amplas terjadi penurunan temperatur kontak yang signifikan dibanding dengan spesimen BeS. Rendahnya temperatur kontak menjadi salah satu hal yang diinginkan karena dapat mengurangi potensi peristiwa *fading* yang menyebabkan rem tidak berfungsi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis pengaruh penggunaan cakram bekas pada mobil terhadap sifat mekanik dan tribologi pada material. Terdapat empat spesimen yang diuji, yaitu cakram baru (Ba), bekas (Be), bekas dengan disekrap (BeS), serta bekas dengan disekrap dan diampas (BeS amplas). Beberapa kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Kekasaran permukaan pada material Be lebih rendah dibandingkan dengan material Ba, sedangkan material BeS mempunyai kekasaran 5 kali lebih tinggi dibandingkan dengan material Ba.
2. Kekasaran permukaan yang tinggi pada material BeS mempengaruhi performa tribologinya, seperti gesekan yang kecil dan aus yang tinggi. Keadaan tersebut diinginkan untuk aplikasi rem yang menginginkan gesekan tinggi dan aus yang kecil.
3. Perlakuan amplas pada material BeS menghasilkan kekasaran permukaan yang mendekati material Ba sehingga meningkatkan performa tribologi dan menurunkan temperatur kontak.

Penggunaan material cakram bekas yang disekrap oleh banyak bengkel di Indonesia terbukti dapat menurunkan performa pengereman. Tetapi dengan diberi perlakuan tambahan berupa penghalusan permukaan, performa tribologi akan meningkat sehingga mendekati material cakram baru.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Ili S, Albers A, Miller SJR, Management d. Open innovation in the automotive industry. 2010;40(3):246-55.
- [2] Breuer B, Bill KH. Brake technology handbook2008.
- [3] Denimal E, Sinou J-J, Nacivet SJJoS, Vibration. Influence of structural modifications of automotive brake systems for squeal events with kriging meta-modelling method. 2019;463:114938.
- [4] Vinodkumar S, Jairaman S, Anvesh P, Viswanath GJIRJETI. Improvement of braking efficiency in vehicle by using fusion braking system. 2017;4:527-9.

- [5] Świdorski A, Borucka A, Jacyna-Golda I, Szczepański EJEiN. Wear of brake system components in various operating conditions of vehicle in the transport company. 2019;21(1):1-9.
- [6] Verma PC, Menapace L, Bonfanti A, Ciudin R, Gialanella S, Straffelini GJW. Braking pad-disc system: Wear mechanisms and formation of wear fragments. 2015;322:251-8.
- [7] Rajaei H, Griso M, Menapace C, Dorigato A, Perricone G, Gialanella SJRiM. Investigation on the recyclability potential of vehicular brake pads. 2020;8:100161.
- [8] Guo W, Bai S, Ye Y, Li SJCI. A new strategy for high-value reutilization of recycled carbon fiber: Preparation and friction performance of recycled carbon fiber felt-based C/C-SiC brake pads. 2019;45(13):16545-53.
- [9] Agunsoye JO, Bello SA, Bamigbaiye AA, Odunmosu KA, Akinboye IOJJoRiP. Recycled ceramic composite for automobile brake pad application. 2018;39(1):35.
- [10] Ghosh G, Sidpara A, Bandyopadhyay PJS, Technology C. Understanding the role of surface roughness on the tribological performance and corrosion resistance of WC-Co coating. 2019;378:125080.
- [11] Bhushan B. Modern tribology handbook, two volume set: CRC press; 2000.
- [12] Qi HS, Day AJJW. Investigation of disc/pad interface temperatures in friction braking. 2007;262(5-6):505-13.