

# Analisa Pengaruh Selulosa Asetat terhadap *Coefficient Of Friction, Hardness, Thermal Stability* dan *Wear Rate* pada Komposit Serbuk Kayu, Sekam Padi dan Tempurung Kelapa untuk Kampas Rem

Roni Setiawan dan Yusuf Kaelani

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember(ITS)

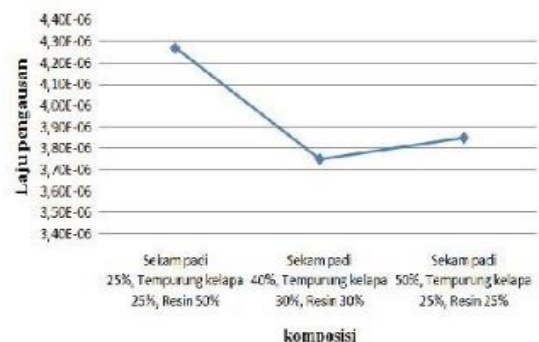
email: y\_kaelani@me.its.ac.id

**Abstrak**—Penelitian terkait inovasi kampas rem *non-asbestos* telah banyak dilakukan. Selulosa asetat sebagai serat buatan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap nilai *hardness*, koefisien gesek, laju keausan dan stabilitas termal pada komposit kampas rem serbuk kayu, sekam padi dan serabut kelapa. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat durometer untuk pengujian *hardness*, PASCO untuk pengujian koefisien gesek, tribometer untuk pengujian keausan dan *infrared thermometer* untuk pengujian stabilitas termal. Presentase massa selulosa asetat yang ditambahkan adalah 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B, dan 20% pada spesimen C. Massa bahan penyusun komposit kampas rem adalah 4 gram serbuk kayu, 4 gram sekam padi, 4 gram tempurung kelapa. Pada pengujian didapatkan nilai *hardness* tertinggi terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 68.5 HS. Pada pengujian koefisien gesek, nilai koefisien gesek statis dan kinetis terbesar terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 0.6635 dan 0.5564. Pada pengujian laju keausan, nilai *wear rate* dan *wear coefficient* terendah terdapat pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, yaitu 0.001026 mm<sup>3</sup>/Nm dan 0.001314. Untuk pengujian stabilitas termal, peningkatan temperatur terendah terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 3.4 °C selama 57 menit pengujian keausan berlangsung. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan selulosa asetat akan meningkatkan nilai *hardness*, nilai koefisien gesek, nilai *wear rate* dan stabilitas termal dari komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa.

**Kata kunci**—*Hardness*, Koefisien Gesek, Laju Keausan, Selulosa Asetat, Stabilitas Termal.

## I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN dunia otomotif telah berkembang pesat untuk menciptakan performa berkendara yang baik. Sistem pengereman yang baik dibutuhkan untuk menunjang performa mesin serta sebagai unsur keamanan dalam berkendara. Data Badan Pusat Statistik pada tahun 2018 menunjukkan bahwa kegagalan sistem pengereman menjadi penyebab terbesar terjadinya kecelakaan lalu lintas sepanjang tahun 1992-2017 di Indonesia [1]. Salah satu komponen penting dalam sistem pengereman adalah kampas rem yang berperan sebagai media untuk memperlambat atau mengurangi kecepatan laju kendaraan. Kampas rem secara umum terdiri dari beberapa komponen diantaranya, bahan pengisi (*filler*), serat alami atau buatan (*friction additive*) dan



Gambar 1. Grafik pengujian keausan komposit kampas rem *non-asbestos*.

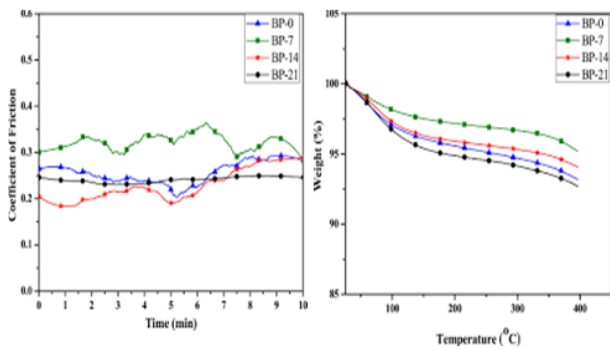
Tabel 1.  
Hasil uji produk kampas rem dengan selulosa asetat

Pengujian	Temperatur (°C)	Daya Gesek (N)	Kekuatan Gesek (N)	Koefisien Gesek
1	67	587	256	0.49
5	68	518	291	0.47
10	92	564	274	0.49
15	91	549	289	0.53
20	92	540	293	0.53

bahan pengikat. Terdapat berbagai jenis kampas rem yang digunakan pada kendaraan, diantaranya kampas rem *semi-metallic*, kampas rem tipe *non-asbestos* organik, kampas rem tipe *non-asbes* organik ber-*metal* rendah, dan kampas rem keramik (*asbestos*) [2].

Penelitian terkait inovasi kampas rem *non-asbestos* telah banyak dilakukan untuk menghasilkan kampas rem dengan performa yang baik. Penelitian yang dilakukan Suhardiman dan Mukmin Syaputra dalam jurnalnya dihasilkan kampas rem yang memiliki tingkat koefisien gesek yang tinggi dan nilai keausan yang rendah pada komposisi 40% sekam padi, 30% tempurung kelapa dan 30% resin. Kelemahan dari kampas rem *non-asbestos* adalah ketahanan terhadap panas yang rendah, maka perlu ditambahkan bahan material yang mampu membuat kampas rem tahan terhadap temperatur tinggi [3]. Hasil grafik pengujian keausan tertera pada Gambar 1.

Serat sintesis yang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap panas salah satunya adalah polimer selulosa. Polimer selulosa telah banyak digunakan dalam bidang industri, sebagai bahan baku plastik dan membran. Pada



Gambar 2. Grafik Pengujian Koefisien Gesek dan Stabilitas Termal Kampas Rem dengan Ligno-Selulosa.



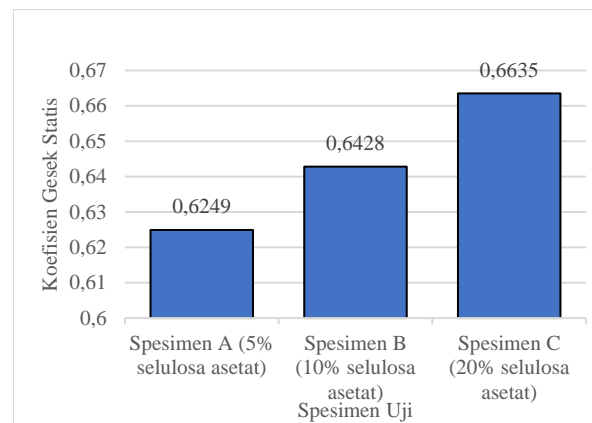
Gambar 3. Serat Selulosa Asetat dari Busa Filter Rokok.



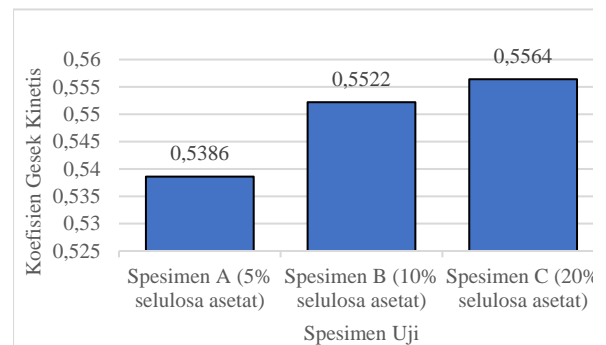
Gambar 4. Spesimen Uji Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos* dengan Presentase Penambahan Selulosa Asetat.

jurnal yang dibuat oleh Haroen Wawan Kartiwa menjelaskan bahwa penggunaan selulosa sebagai polimer yang terbuat dari *pulp* tandan kosong kelapa sawit dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap panas pada friksi kampas rem [4]. Hasil uji produk kampas rem dengan selulosa asetat tertera pada Tabel 1.

Penelitian oleh Masrat Bashir, Adnan Qayoum dan Sheikh Shahid Saleem menjelaskan bahwa penggunaan ligno-selulosa sebagai serat alami dapat meningkatkan stabilitas termal dari komposit kampas rem *non-asbestos*. Spesimen BP-7 dengan penambahan 7% ligno-selulosa memiliki stabilitas termal yang paling baik dan nilai koefisien gesek yang tinggi. Oleh karena itu, dengan menambahkan polimer selulosa pada kampas rem dapat meningkatkan daya tahan terhadap panas [5]. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2. Sehingga pada penelitian ini akan menganalisa pengaruh dari penambahan selulosa asetat terhadap nilai koefisien gesek, *hardness*, *wear rate* dan stabilitas termal pada komposit kampas *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa. Gambar 3 merupakan gambar serat selulosa asetat dari busa filter rokok dan Gambar 4 menunjukkan spesimen uji komposit kampas rem dengan penambahan selulosa asetat.



Gambar 5. Grafik Koefisien Gesek Statis ( $\mu_s$ ) Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos*.



Gambar 6. Grafik Koefisien Gesek Kinetis ( $\mu_k$ ) Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos*.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Pembuatan Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos*

Pada Penelitian ini material spesimen uji yang digunakan adalah komposit yang terbuat dari serbuk kayu, sekam padi, serbuk tempurung kelapa dan resin *epoxy*. Massa dari komponen adalah sama, yaitu 4 gram dengan penambahan selulosa asetat 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Massa dari tiap spesimen adalah sama, yaitu 7 gram. Selulosa asetat didapatkan dari busa filter rokok yang telah diuraikan menjadi serat yang kemudian ditambahkan pada tiap spesimen komposit kampas rem *non-asbestos*. Pencampuran dari bahan-bahan tersebut menggunakan bor listrik dengan mata besi pengaduk agar tercampur rata pada cetakan dengan dimensi 30 mm x 20 mm x 10 mm. Setelah adonan dari komposit tercampur rata, kemudian adonan tersebut dikeringkan hingga memadat.

### B. Pengujian Koefisien Gesek

Nilai koefisien gesek statis dan kinetis diperoleh dari pengujian pada spesimen menggunakan alat uji PASCO *force sensor*, *motion sensor*, *universal interface* dan *capstone software*. Berikut langkah-langkah pengujian koefisien gesek:

1. Sambungkan *force sensor* dan *motion sensor* ke input konektor PASCO *passport interface*.
2. Setel *sample rate* untuk kedua sensor ke 50 Hz dalam *software PASCO capstone*.
3. Buat grafik *force vs waktu* pada *software*.
4. Rekatkan spesimen uji dengan baki (*discover friction accessory*) dengan perekat.

Tabel 2.  
Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Spesimen	F <sub>s</sub> (N)	F <sub>k</sub> (N)	$\mu_s$	$\mu_k$
A	6.082	5.3486	0.652	0.5386
B	6.2556	5.4845	0.6085	0.5522
C	6.4576	5.526	0.6549	0.5564

Tabel 3.  
Data Hasil Pengujian Hardness

Spesimen	Pengujian	Titik 1	Titik 2	Titik 3	H	$\bar{H}$
A	1	56	54	52	54	54.6667
	2	57	56.5	52	55.1667	
	3	56.5	55	53	54.8333	
B	1	64.5	61	60.5	62	62.4444
	2	63	61.5	62.5	62.3333	
	3	64	63	62	63	
C	1	71	68.5	67	68.8333	68.5
	2	68	69.5	67.5	68.3333	
	3	70.5	68	66.5	68.3333	

Tabel 4.  
Data Hasil Pengujian Laju Keausan

Pengujian	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	k (mm <sup>3</sup> /Nm)	$\bar{k}$	K	K
A1	36.6428	0.001017		0.001272	
A2	37.1855	0.001032	0.001026	0.001345	0.001314
A3	37.0368	0.001028		0.001324	
B1	75.4604	0.002096		0.003207	
B2	84.3198	0.002342	0.002142	0.003622	0.003323
B3	71.5923	0.001988		0.003142	
C1	112.2333	0.003117		0.005829	
C2	115.581	0.00321	0.003144	0.005907	0.005817
C3	111.8033	0.003105		0.005714	

Tabel 5.  
Data Hasil Pengujian Stabilitas Termal

Spesimen	Pengujian	T (°C) 19 menit	T (°C) 38 menit	T (°C) 57 menit
A	1	37.5	41.4	45.7
	2	38.2	42.1	46.2
	3	37.7	41.8	45.9
B	1	41.9	44.9	47.8
	2	42.1	45.2	48.3
	3	40.8	44.3	47.5
C	1	44.4	46.9	49.8
	2	44.2	46.7	49.3
	3	43.7	46.2	48.9

- Potong benang sekitar 50 cm untuk mengikat kedua ujung hingga membentuk lingkaran, ikatkan benang pada baki.
- Kaitkan ujung benang yang lain ke pengait yang ada pada *force sensor*.
- Setel *switch on* pada *motion sensor* untuk *short range setting*. Setel *angle* 0 derajat.
- Tempatkan baki 15 cm di depan *motion sensor*.
- Posisikan *motion sensor*, baki, *force sensor* satu garis lurus dan letakkan baki di atas lintasan yang sudah ditentukan.
- Tekan tombol “zero” pada *force sensor* tanpa adanya tegangan (*tension*) pada benang..
- Berikan pembebanan pada baki sebesar 1000 gram.
- Tempatkan baki di atas lintasan yang sudah ditentukan.
- Klik tombol *recording* pada *software* untuk memulai perekaman data. Tarik *force sensor* perlahan secara *horizontal* hingga baki mulai bergerak, lanjutkan menarik secara perlahan dan konstan sesuai lintasan yang telah ditentukan.
- Perhatikan grafik saat melakukan penarikan *force sensor* untuk menghindari *osilasi* yang berlebihan.
- Baca data yang terlihat pada grafik dan masukkan ke dalam tabel.

- Lakukan pengulangan prosedur percobaan untuk variasi spesimen yang berbeda.

### C. Pengujian Hardness

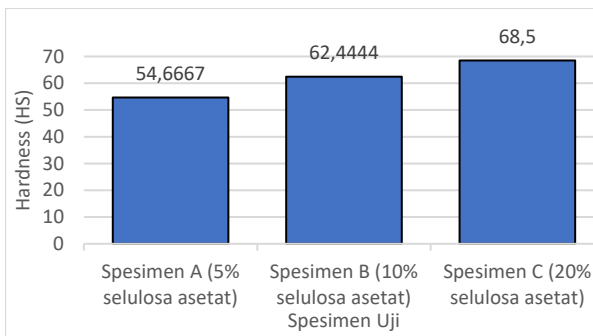
Pengujian *hardness* atau kekerasan permukaan dilakukan pada tiap spesimen uji menggunakan alat *durometer shore D*. Langkah pengujian *hardness* adalah sebagai berikut:

- Pastikan permukaan spesimen uji telah dibersihkan.
- Posisikan spesimen uji dalam kondisi rata.
- Persiapkan alat uji kekerasan permukaan dan kalibrasikan.
- Lakukan pengujian sebanyak 3 kali untuk setiap variasi pembebanan yang diberikan untuk mengetahui hasil yang akurat dari tiap variasi spesimen.
- Mencatat hasil pengujian.

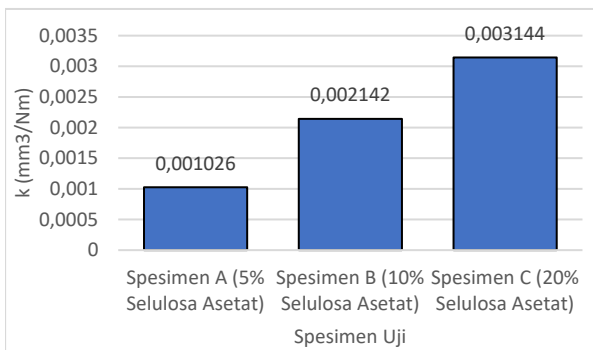
### D. Pengujian Laju Keausan

Nilai *wear rate* dan *wear coefficient* didapatkan dari pengujian laju keausan dengan menggunakan alat tribometer *pin on-disk*. Berikut langkah-langkah pengujian laju keausan:

- Persiapkan spesimen uji dengan masing-masing variasi.
- Pastikan ukuran spesimen uji sesuai dengan tribometer yang digunakan supaya mendapatkan hasil yang optimal.
- Pasang spesimen pada pin yang ada di tribometer.
- Beri pembebanan konstan pada spesimen.



Gambar 7. Grafik Pengujian Hardness Rata-rata Komposit Kampas Rem Non-Asbestos.



Gambar 8. Grafik Wear Rate Komposit Kampas Rem Non-Asbestos.

5. Atur putaran *disc* pada tribometer sesuai dengan yang ditentukan.
6. Atur waktu pengujian dengan jarak yang telah ditentukan menggunakan keliling dari *disc* tribometer yang digunakan.
7. Tunggu sampai waktu pengujian selesai dan catat hasil dari laju keausan spesimen.
8. Lakukan prosedur yang sama pada tiap variasi spesimen.

E. Pengujian Stabilitas Termal

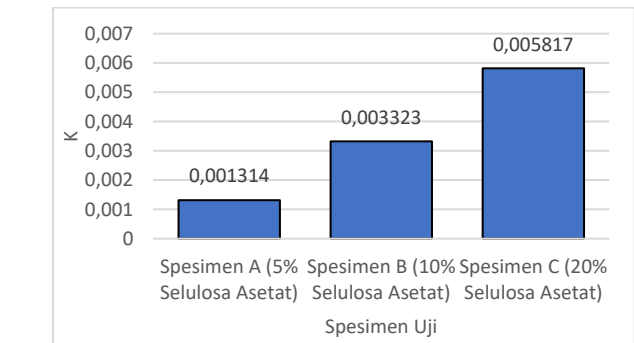
Pengujian stanilitas termal dilakukan bersamaan saat proses pengujian keausan berlangsung. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur temperatur menggunakan alat *infrared thermometer* pada tiap spesimen uji. Langkah pengujian stabilitas termal adalah berikut:

1. Pastikan spesimen uji diletakkan secara rata pada tribometer.
2. Persiapkan alat uji temometer inframerah dan kalibrasikan.
3. Lakukan pengukuran temperatur pada saat proses pengujian keausan telah berlangsung 19 menit, 38 menit dan 57 menit.
4. Lakukan sebanyak 3 kali untuk mengetahui hasil rata-rata dari tiap variasi spesimen .
5. Mencatat hasil pengujian.

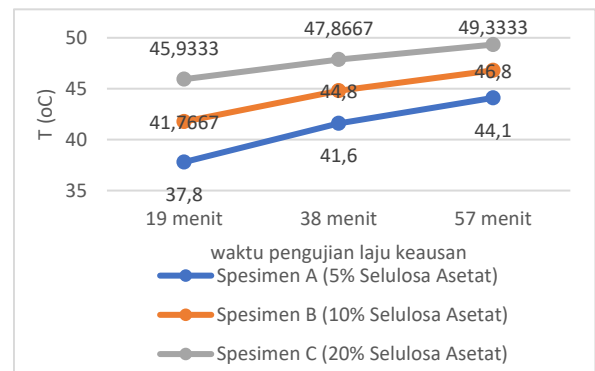
III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Data dan Analisa Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Pada pengujian koefisien gesek menggunakan alat PASCO didapatkan nilai gaya statis dan gaya kinetis dari tiap pengujian pada grafik *force*. Grafik *force* dari tiap pengujian spesimen uji dapat dilihat pada *capstone software*. Data nilai gaya statis dan gaya kinetis tersebut kemudian akan digunakan untuk menentukan nilai koefisien gesek statis dan kinetis pada tiap pengujian spesimen uji dengan menggunakan rumus berikut:



Gambar 9. Grafik Wear Coefficient Komposit Kampas Rem Non-Asbestos.



Gambar 10. Grafik Pengujian Stabilitas Termal Komposit Kampas Rem Non-Asbestos.

$$f_s = \mu_s \times N \tag{1}$$

$$f_k = \mu_k \times N \tag{2}$$

Tabel 2 merupakan data hasil perhitungan nilai rata-rata dari tiap pengujian spesimen pada spesimen uji A, B dan C yang telah dilakukan. Berdasarkan Tabel 2, maka didapatkan grafik yang tertera pada Gambar 5.

Pada grafik hasil pengujian kofisien gesek didapatkan nilai gaya statis yang kemudian dihitung dengan persamaan (1) untuk mendapatkan nilai koefisien gesek statis pada tiap spesimen uji. Berdasarkan grafik diatas, nilai koefisien gesek statis hasil pengujian adalah 0.6249 pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, 0.6428 pada spesimen B dengan 10% selulosa asetat dan 0.6635 pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat. Nilai koefisien gesek statis tertinggi terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 0.6635. Sedangkan nilai koefisien gesek statis terendah terdapat pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, yaitu 0.6249. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien gesek statis akan meningkat seiring dengan presentase penambahan selulosa asetat pada komposit kampas rem non-asbestos sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa.

Pada grafik hasil pengujian kofisien gesek didapatkan nilai gaya kinetis yang kemudian dihitung dengan persamaan (2) untuk mendapatkan nilai koefisien gesek kinetis pada tiap spesimen uji. Berdasarkan grafik yang tertera pada Gambar 6, nilai koefisien gesek kinetis hasil pengujian adalah 0.5386 pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, 0.5522 pada spesimen B dengan 10% selulosa asetat dan 0.5564 pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat. Nilai koefisien gesek kinetis tertinggi terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 0.5564. Sedangkan nilai koefisien gesek kinetis terendah terdapat pada spesimen A dengan 5%

selulosa asetat, yaitu 0.5386. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien gesek kinetis akan meningkat seiring dengan presentase penambahan selulosa asetat pada komposit kanvas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa.

#### B. Data dan Analisa Hasil Pengujian Hardness

Pengujian *Hardness* pada komposit kanvas rem non-asbestos sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dilakukan menggunakan alat *durometer shore D*. untuk mendapatkan nilai dari kekerasan permukaan dari tiap spesimen yang diujikan. Selanjutnya nilai dari kekerasan permukaan yang didapatkan akan digunakan untuk perhitungan dalam memperoleh nilai dari *wear coefficient*. Data hasil pengujian tertera pada Tabel 3.

Pengujian *hardness* dilakukan pada tiga titik yang berbeda pada tiap pengujian spesimen uji yang kemudian nilai *hardness* masing-masing pengujian akan dirata-rata. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat. Selanjutnya, data hasil pengujian *hardness* akan ditampilkan pada Gambar 7.

Pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat memiliki nilai kekerasan permukaan rata-rata sebesar 54.6667 HS. Kemudian pada spesimen B dengan penambahan 10% selulosa asetat memiliki nilai kekerasan permukaan rata-rata sebesar 62.4444 HS. Selanjutnya untuk spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat memiliki nilai kekerasan permukaan rata-rata sebesar 68.5 HS. Nilai kekerasan permukaan yang terbesar terdapat pada spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu 68.5 HS. Sedangkan nilai kekerasan permukaan terkecil terdapat pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, yaitu 54.6667 HS. Nilai kekerasan permukaan yang didapatkan pada komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa akan cenderung meningkat seiring dengan presentase dari selulosa asetat yang ditambahkan.

#### C. Data dan Analisa Hasil Pengujian Laju Keausan

Pengujian laju keausan dengan menggunakan alat tribometer *pin on-disc* akan menghasilkan nilai  $\Delta V$  yang akan digunakan untuk menentukan nilai dari *wear rate*. Ketika nilai *wear rate* sudah didapatkan, kemudian akan digunakan untuk menentukan nilai dari *wear coefficient*. Berikut rumus perhitungannya:

$$k = \frac{\Delta V}{W.L} \quad (3)$$

$$K = \frac{\Delta V.H}{W.L} \quad (4)$$

Berdasarkan rumus perhitungan *wear rate* diatas didapatkan nilai *wear rate* dari spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat sebesar 0,001026 mm<sup>3</sup>/Nm. Kemudian nilai *wear rate* dari spesimen B dengan penambahan 10% selulosa asetat sebesar 0,002143 mm<sup>3</sup>/Nm. Selanjutnya nilai *wear rate* dari spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat sebesar 0,003144 mm<sup>3</sup>/Nm. Nilai *wear rate* terbesar terdapat pada spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu 0,003144 mm<sup>3</sup>/Nm. Sedangkan nilai *wear rate* terkecil terdapat pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, yaitu 0,001026 mm<sup>3</sup>/Nm. Pada grafik yang tertera pada Gambar 8 dapat

dilihat bahwa nilai dari *wear rate* akan meningkat bersamaan dengan peningkatan presentase penambahan selulosa asetat pada material komposit kanvas rem. Data perhitungan *wear rate* tertera pada Tabel 4.

Nilai *wear coefficient* didapatkan dengan menggunakan rumus perhitungan 4 diatas yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik. Pada grafik pada Gambar 9, nilai *wear coefficient* dari spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat adalah sebesar 0,001314. Kemudian nilai *wear coefficient* dari spesimen B dengan penambahan 10% selulosa asetat adalah sebesar 0,003323. Selanjutnya nilai *wear coefficient* dari spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat adalah sebesar 0,005817. Nilai *wear coefficient* terbesar terdapat pada spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu 0,005817. Sedangkan nilai *wear coefficient* terkecil terdapat pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, yaitu 0,001314. Nilai dari *wear coefficient* akan meningkat seiring dengan bertambahnya presentase penambahan selulosa asetat pada material komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa.

#### D. Data dan Analisa Hasil Pengujian Stabilitas Termal

Pengukuran temperatur dilakukan pada saat pengujian koefisien gesek dan pengujian laju keausan sedang berlangsung. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan komposit kanvas rem terhadap suhu yang tinggi pada saat terjadi gesekan. Variasi pengukuran temperatur dilakukan pada variasi waktu 19 menit, 38 menit dan 57 menit serta dilakukan di titik yang berbeda-beda pada saat pengujian koefisien gesek dan laju keausan sedang berlangsung. Data hasil pengujian stabilitas termal tertera pada Tabel 5.

Data pengukuran temperatur pada Tabel 5 kemudian akan dirata-rata pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, spesimen B dengan 10% selulosa asetat dan spesimen C dengan 20% selulosa asetat. Selanjutnya data tersebut akan ditampilkan pada grafik sehingga dapat dianalisa peningkatan temperatur untuk menentukan stabilitas termal dari tiap spesimen uji. Grafik pengujian stabilitas termal tertera pada Gambar 10.

Pada spesimen A, temperatur yang diukur pada waktu 19 menit pengujian keausan adalah sebesar 37,8 °C. Pada waktu 38 menit pengujian keausan, temperatur mengalami peningkatan hingga 41,6 °C. Ketika pengujian keausan akan berakhir pada waktu 57 menit, temperatur mengalami peningkatan hingga 44,1 °C. Pada spesimen B, temperatur yang diukur pada waktu 19 menit pengujian keausan adalah sebesar 41,7667 °C. Pada waktu 38 menit pengujian keausan, temperatur mengalami peningkatan hingga 44,8 °C. Ketika pengujian keausan akan berakhir pada waktu 57 menit, temperatur mengalami peningkatan hingga 46,8 °C. Sedangkan pada spesimen C, temperatur yang diukur pada waktu 19 menit pengujian keausan adalah sebesar 45,9333 °C. Pada waktu 38 menit pengujian keausan, temperatur mengalami peningkatan hingga 47,8667 °C. Ketika pengujian keausan akan berakhir pada waktu 57 menit, temperatur mengalami peningkatan hingga 49,3333 °C.

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur yang telah dilakukan, spesimen A memiliki peningkatan nilai temperatur sebesar 6,3 °C selama 57 menit pengujian keausan

berlangsung. Pada spesimen B, peningkatan nilai temperatur selama 57 menit pengujian keausan berlangsung adalah sebesar 5,0333 °C. Sedangkan pada spesimen C peningkatan nilai temperatur selama 57 menit pengujian keausan berlangsung adalah sebesar 3,4 °C. Peningkatan temperatur pada spesimen menurun seiring dengan bertambahnya presentase penambahan selulosa asetat pada material komposit kampas rem. Sehingga, material komposit kampas rem yang memiliki nilai stabilitas termal yang baik adalah spesimen C dengan penambahan selulosa asetat sebesar 20%. Stabilitas termal dari tiap spesimen uji material komposit kampas rem berbeda bergantung pada campuran material kompositnya. Penambahan selulosa asetat pada material komposit kampas rem dapat meningkatkan nilai stabilitas termal. Hal ini dikarenakan sifat dari selulosa asetat sebagai serat buatan yang memiliki ketahanan tinggi terhadap panas

#### IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan analisa dan pembahasan hasil pengujian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil dari pengujian yang dilakukan, nilai dari kekerasan permukaan spesimen akan meningkat seiring dengan presentase penambahan selulosa asetat pada komposit kampas rem *non-asbestos*. Pada pengujian kekerasan permukaan, didapatkan nilai *hardness* terbesar pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 68.5 HS.

Pada penelitian diketahui bahwa nilai dari koefisien gesek statis dan kinetis komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa meningkat seiring dengan presentase selulosa asetat yang ditambahkan. Nilai koefisien gesek statis tertinggi terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 0.6635. Selanjutnya untuk nilai koefisien gesek kinetis tertinggi terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 0.5564. Berdasarkan hasil pengujian laju keausan, nilai dari *wear rate*

dan *wear coefficient* dari spesimen meningkat seiring dengan presentase penambahan selulosa asetat pada komposit kampas rem *non-asbestos*. Kampas rem dengan 20% selulosa asetat memiliki nilai *wear rate* tertinggi, yaitu  $k = 0.003144 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan nilai *wear coefficient* tertinggi sebesar  $K = 0.005817$ . Nilai *wear rate* dan *wear coefficient* terkecil terdapat pada kampas rem dengan 5% selulosa asetat, yaitu  $k = 0.001026 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan  $K = 0.001314$ .

Berdasarkan hasil pengujian stabilitas termal pada komposit kampas rem *non-asbestos*, diketahui peningkatan temperatur terkecil terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu sebesar 3.4 °C selama 57 menit pengujian keausan berlangsung. Nilai peningkatan temperatur terbesar terdapat pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, yaitu sebesar 6.23 °C selama 57 menit pengujian keausan berlangsung. Maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan temperatur yang dialami oleh spesimen akan menurun seiring dengan peningkatan presentase selulosa asetat yang ditambahkan. Sehingga spesimen dengan presentase penambahan selulosa asetat terbesar memiliki stabilitas termal yang tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS RI, "Jumlah Kecelakaan, Koban Mati, Luka Berat, Luka Ringan, dan Kerugian Materi yang Diderita Tahun 1992-2018," *Transportasi*, 2018.
- [2] S. Syawal and I. A. Setiawan, "Perbandingan pengujian mekanis terhadap kampas rem asbes dan non-asbestos dengan melakukan uji komposisi, uji kekerasan, dan uji keausan," *Sintek J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, 2008.
- [3] S. Suhardiman and M. Syaputra, "Analisa keausan kampas rem non asbes terbuat dari komposit polimer serbuk padi dan tempurung kelapa.," *Inovtek Polbeng*, vol. 7, no. 2, pp. 210--214, 2017.
- [4] W. K. Haroen, "Rekayasa mesin pencetak kampas rem serat pulp non asbestos," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro, dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 1, pp. 201--208, 2017.
- [5] M. Bashir, A. Qayoum, and S. S. Saleem, "Influence of Lignocellulosic Banana Fiber on The Thermal Stability of Brake Pad Material," in *Materials Research Express*, 2019, vol. 6, no. 11.