



# Pengaruh Komposisi dan Temperatur Material Biokomposit Terhadap Kinerja Kampas Rem Non Asbestos

Muhammad Lazuardi I. S.<sup>1\*</sup>, Moh Hartono<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Malang, Indonesia

\*Email Penulis: [mlazuardi.is@gmail.com](mailto:mlazuardi.is@gmail.com), [moh.hartono@polinema.ac.id](mailto:moh.hartono@polinema.ac.id)

## INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 21/06/2022  
Naskah Direvisi 27/06/2022  
Naskah Disetujui 28/06/2022  
Naskah Online 30/06/2022

## ABSTRAK

*This research is focused on developing and evaluating the performance of brake pads made of biocomposite from teak wood, coconut shell charcoal, aluminum and polyurethane resin. Asbestos material which is widely used in brake pads friction material is carcinogenic which is harmful to health. Nine specimens with different material compositions were made to analyze their mechanical properties as brake pads friction materials. The results obtained in this study hardness will increase at higher specimen numbers. Specimen 10 as a comparison has a hardness level that is not much different from specimens number 6, 7, and 8. Wear of specimens with variations in material composition has a lower level of wear on specimens with higher hardness levels. Meanwhile, the effect of temperature and the interaction of the two variables has no significant effect on the level of wear.*

**Keywords :** *biocomposite, brake pads, hardness, non asbestos, wear*

## 1. PENDAHULUAN

Sistem rem merupakan bagian yang sangat penting pada kendaraan. Sebagian besar kendaraan saat ini menggunakan rem cakram karena lebih baik dalam menghantarkan panas daripada rem tromol [1].

Kampas rem adalah komponen penting dari sistem pengereman, pelat baja dengan bahan gesekan bahan kampas rem yang direkatkan ke permukaan yang menghadap piringan rem dan ditempatkan di rakitan roda untuk menjepit dan menahan piringan rem secara terus-menerus untuk memperlambat atau menghentikan gerakan roda [2].

Bantalan rem umumnya terdiri dari serat asbes yang tertanam dalam matriks polimer bersama dengan beberapa bahan lainnya. Penggunaan serat asbes dihindari karena sifatnya yang karsinogenik atau mengandung zat berbahaya bisa menyebabkan gangguan kesehatan manusia [3]. Oleh karena itu bahan gesekan bebas asbes baru untuk bantalan rem telah dikembangkan. Akibatnya, banyak penelitian telah dilakukan dan masih berlangsung untuk pengembangan tidak hanya rem bebas asbes tetapi juga yang lebih sedikit berdampak pada kesehatan manusia dan efisiensi teknis yang lebih baik.

Resin pengikat dan serat penguat yang digunakan dalam bahan gesekan memiliki pengaruh besar dalam menentukan karakteristik gesekan. Panas gesekan yang dihasilkan selama aplikasi rem dapat dengan mudah menaikkan suhu pada antarmuka di luar suhu transisi kaca resin pengikat yang mengakibatkan perubahan gaya gesekan yang tiba-tiba

selama pengereman [4]. Hal ini terjadi karena degradasi resin pengikat dan konstituen lainnya [4].

Tahan luntur atau selip adalah fenomena yang menggambarkan penurunan gaya gesekan pada suhu antarmuka yang tinggi, yaitu gaya gesekan berkurang karena panas gesekan. Oleh karena itu resin pengikat biasanya lebih disukai yang tahan panas. Untuk meningkatkan kekuatan fisik dan kinerja gesekan, bahan gesekan biasanya mengandung dua atau tiga serat yang berbeda dari logam, keramik, kaca, akrilik, dan serat lainnya [4, 5].

Beberapa penelitian telah dilakukan di bidang pengembangan bantalan rem bebas asbes. Penggunaan ampas tebu [2], kulit jagung [6], kulit pisang [7] dll telah diselidiki. Penelitian di seluruh dunia berfokus pada cara memanfaatkan limbah industri atau pertanian sebagai sumber bahan baku industri. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya secara ekonomis, tetapi juga dapat menjaga alam yang lebih baik.

Dalam hal ini, untuk sistem rem cakram, tidak ada bahan tunggal yang memenuhi kriteria terkait kinerja yang diinginkan, seperti keamanan dan daya tahan di bawah kondisi pengereman yang berbeda. Bahan gesekan diperlukan untuk memberikan koefisien gesekan yang stabil dan tingkat keausan yang rendah pada berbagai kecepatan operasi, tekanan, suhu, dan kondisi lingkungan. Selain itu, bahan ini juga harus kompatibel dengan bahan rotor atau *disc brake* untuk mengurangi keausan yang parah, getaran, dan kebisingan saat pengereman [4].

Pekerjaan ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menyelidiki sifat tribologis dari bahan gesek kampas rem yang terbuat dari arang tempurung kelapa, serbuk kayu jati, aluminium dan resin poliurethane sebagai pengikat. Penelitian ini dilakukan dengan mengukur kekerasan dan tingkat keausan spesimen kampas rem. Pengujian aus dilakukan di bawah pengaruh gaya tekan sebesar 349,5 N, kecepatan putar 1460 rpm, selama 1 menit dan jarak gesek 1100,25 m.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Material

Bahan yang digunakan selama pekerjaan ini adalah: resin poliurethane, arang tempurung kelapa, serbuk kayu jati, dan bubuk aluminium seperti pada Gambar 1 dengan komposisi bahan yang ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.



Gambar 1. Bahan-bahan

### 2.2 Metode Pembuatan Spesimen

Bahan yang telah disiapkan dicampur dalam wadah dan di campur dengan benar hingga mencapai keadaan homogen dan kemudian dipindahkan ke dalam cetakan. Campuran ditambahkan sesuai dengan komposisi masing-masing seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 ditinjau dari berat spesimen.

Tabel 1. Komposisi spesimen

No Spesimen	Komposisi (%)			
	Arang Tempurung Kelapa	Serbuk Kayu Jati	Aluminium (Al)	Resin
1	0	40	20	40
2	5	35	20	40
3	10	30	20	40
4	15	25	20	40
5	20	20	20	40
6	25	15	20	40
7	30	10	20	40
8	35	5	20	40
9	40	0	20	40
10	(sampel pembanding)			

Spesimen diproduksi dengan menggunakan mesin kompresi dengan metode cetak tekan. Bahan di dalam

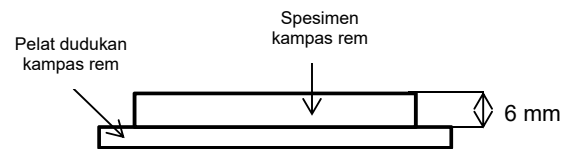
cetakan dikompresi menggunakan tekanan 2 ton selama 15 menit. Setelah dikeluarkan dari cetakan, proses sintering dilakukan hal ini bertujuan untuk membuat ikatan antar bahan lebih baik. Sintering dilakukan pada suhu 80°C selama 30 menit. Kampas rem dikeringkan dalam suhu ruang selama 2 jam untuk memastikan bahan kering. Spesimen kampas rem kemudian direkatkan ke pelat dudukan kampas rem dengan penerapan lapisan perekat. Kekuatan lapisan perekat antara bahan gesekan dengan dan pelat sangat penting untuk menghindari adanya kegagalan yang diakibatkan tidak melekatnya kampas rem dengan pelat dudukannya saat digunakan. Berikut foto-foto kampas rem yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil spesimen kampas rem

### 2.3 Pengujian Spesimen

Untuk memastikan pencampuran yang merata selama produksi kekerasan spesimen kampas rem diukur menggunakan alat uji kekerasan. Nilai kekerasan spesimen diperoleh dengan menggunakan alat uji kekerasan durometer. Sampel bertinggi 6mm digunakan untuk melakukan pengujian pada berbagai variasi komposisi bahan yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan menggunakan durometer berjenis shore D dengan standar uji sesuai ASTM D2240.



Gambar 3. Dimensi kampas rem

Laju keausan spesimen diukur menggunakan simulator rem cakram. Spesimen kampas rem digesekkan pada rotor piringan rem cakram yang diputar menggunakan motor listrik berkekuatan daya 1Hp. Sebelum pengujian, permukaan spesimen dipanaskan pada suhu 30°C, 40°C, 50°C untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas spesimen terhadap laju keausannya. Selama pengujian, spesimen ditekan pada rotor dengan gaya tekan sebesar 349,5 N, kecepatan putar 1460 rpm, waktu pengujian 1 menit, dan jarak geser 1100,25 m. Berat awal sampel spesimen diukur menggunakan alat timbang elektronik dengan akurasi 0,0001 g. Setelah melewati jarak geser yang tetap, spesimen dikeluarkan, dibersihkan, dikeringkan, dan ditimbang untuk mengetahui susut bobot akibat keausan. Perbedaan berat diukur sebelum dan sesudah pengujian memberikan keausan sampel. Rumus yang digunakan untuk mengubah penurunan berat menjadi tingkat keausan adalah :

$$Wear\ rate = \frac{\Delta W}{S} \quad [2]$$

Dimana  $\Delta W$  adalah selisih berat spesimen sebelum dan sesudah pengujian yang dinyatakan dalam miligram (mg), sedangkan S adalah jarak geser total dalam satuan meter (m).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Uji Kekerasan

*Analysis of Variance (Anova)* digunakan untuk menyelidiki hubungan antara variabel terikat (respon) dengan satu atau beberapa faktor. Dalam hal ini metode yang digunakan adalah *anova one way*.

**Tabel 2.** *Anova dan Model Summary*

#### *Analysis of Variance*

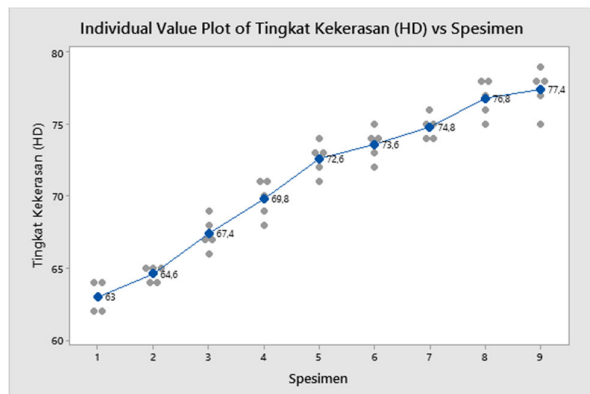
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Spesimen	8	1088,04	136,006	105,52	0,000
Error	36	46,40	1,289		
Total	44	1134,44			

#### *Model Summary*

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,13529	95,91%	95,00%	93,61%

Penelitian ini menggunakan alpha ( $\alpha$ ) sebesar 0,05. Dari hasil penelitian uji kekerasan P-Value spesimen kurang dari alpha ( $\alpha$ ) yang ditentukan ( $P\text{-Value} < \alpha$ ) yaitu 0,05 maka hipotesis null ( $H_0$ ) ditolak dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) diterima.

Nilai koefisien determinasi atau  $R^2$  dalam bentuk persen. Dari penelitian ini didapatkan nilai  $R^2$  sebesar 95,91% dan sisanya sebesar 4,09% merupakan *error* yang disebabkan oleh variabel yang tidak melibatkan dan kesalahan yang terjadi selama pengambilan data.



**Gambar 4.** Grafik *individual value plot*

Gambar 4 merupakan *grafik individual value plot*, menggunakan *grafik individual value plot* untuk menilai dan membandingkan distribusi data sampel. Plot nilai individu menunjukkan sebuah titik untuk nilai sebenarnya dari setiap pengamatan dalam suatu kelompok, sehingga memudahkan untuk menemukan *outlier* dan melihat penyebaran distribusi. Dari grafik tersebut menunjukkan tingkat kekerasan spesimen rata-rata yang ditunjukkan pada titik warna biru mengalami peningkatan pada nomor spesimen yang lebih tinggi.

Hal ini dikarenakan perbedaan nilai densitas antara arang tempurung kelapa dengan serbuk kayu jati sebagai variabel bebas juga mempengaruhi tingkat kekerasan. Semakin tinggi nilai densitas material maka kekerasannya juga akan meningkat. Arang tempurung kelapa memiliki nilai

densitas yang lebih tinggi sebesar  $1,55 \text{ g/cm}^3$  sedangkan nilai densitas kayu jati yang sebesar  $0,88\text{-}1,03 \text{ g/cm}^3$ .

#### *Tukey's Test*

Metode Tukey melakukan perbandingan untuk semua level faktor. Hasil perbandingan bisa diketahui dengan melihat P-Value yang dihasilkan.

**Tabel 3.** Pengelompokan Rata-Rata dengan Metode Tukey

Spesimen	N	Mean	Grouping
9	5	77,400	A
8	5	76,800	A B
7	5	74,800	B C
6	5	73,600	C
5	5	72,600	C
4	5	69,800	D
3	5	67,400	E
2	5	64,600	F
1	5	63,000	F

*Means that do not share a letter are significantly different.*

Tabel 3. untuk menentukan dengan cepat apakah perbedaan rata-rata antara pasangan kelompok mana pun signifikan secara statistik. Kelompok yang tidak berbagi huruf memiliki perbedaan rata-rata yang signifikan secara statistik. Dari tabel grouping information diatas dapat diketahui bahwa terdapat 6 (enam) pengelompokan dari 9 (sembilan) spesimen. Terdapat beberapa spesimen yang tidak terdapat perbedaan rata-rata secara signifikan, seperti : spesimen no. 9 dan 8; 8 dan 7; 7,6, dan 5; 2 dan 1.

**Tabel 4.** Hasil *Tukey's Test* untuk Perbandingan Rata-Rata

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
2 - 1	1,600	0,718	(-0,766; 3,966)	2,23	0,410
3 - 1	4,400	0,718	(2,034; 6,766)	6,13	0,000
4 - 1	6,800	0,718	(4,434; 9,166)	9,47	0,000
5 - 1	9,600	0,718	(7,234; 11,966)	13,37	0,000
6 - 1	10,600	0,718	(8,234; 12,966)	14,76	0,000
7 - 1	11,800	0,718	(9,434; 14,166)	16,43	0,000
8 - 1	13,800	0,718	(11,434; 16,166)	19,22	0,000
9 - 1	14,400	0,718	(12,034; 16,766)	20,06	0,000
3 - 2	2,800	0,718	(0,434; 5,166)	3,90	0,011
4 - 2	5,200	0,718	(2,834; 7,566)	7,24	0,000
5 - 2	8,000	0,718	(5,634; 10,366)	11,14	0,000
6 - 2	9,000	0,718	(6,634; 11,366)	12,53	0,000
7 - 2	10,200	0,718	(7,834; 12,566)	14,21	0,000
8 - 2	12,200	0,718	(9,834; 14,566)	16,99	0,000
9 - 2	12,800	0,718	(10,434; 15,166)	17,83	0,000
4 - 3	2,400	0,718	(0,034; 4,766)	3,34	0,045
5 - 3	5,200	0,718	(2,834; 7,566)	7,24	0,000
6 - 3	6,200	0,718	(3,834; 8,566)	8,63	0,000
7 - 3	7,400	0,718	(5,034; 9,766)	10,31	0,000
8 - 3	9,400	0,718	(7,034; 11,766)	13,09	0,000
9 - 3	10,000	0,718	(7,634; 12,366)	13,93	0,000
5 - 4	2,800	0,718	(0,434; 5,166)	3,90	0,011
6 - 4	3,800	0,718	(1,434; 6,166)	5,29	0,000
7 - 4	5,000	0,718	(2,634; 7,366)	6,96	0,000
8 - 4	7,000	0,718	(4,634; 9,366)	9,75	0,000
9 - 4	7,600	0,718	(5,234; 9,966)	10,58	0,000
6 - 5	1,000	0,718	(-1,366; 3,366)	1,39	0,893
7 - 5	2,200	0,718	(-0,166; 4,566)	3,06	0,086
8 - 5	4,200	0,718	(1,834; 6,566)	5,85	0,000
9 - 5	4,800	0,718	(2,434; 7,166)	6,69	0,000
7 - 6	1,200	0,718	(-1,166; 3,566)	1,67	0,759
8 - 6	3,200	0,718	(0,834; 5,566)	4,46	0,002
9 - 6	3,800	0,718	(1,434; 6,166)	5,29	0,000
8 - 7	2,000	0,718	(-0,366; 4,366)	2,79	0,155
9 - 7	2,600	0,718	(0,234; 4,966)	3,62	0,022
9 - 8	0,600	0,718	(-1,766; 2,966)	0,84	0,995

Tabel 4 Hasil *Tukey's Test* menunjukkan hasil perbandingan secara statistik pada setiap spesimen dengan spesimen lainnya. Hasil perbandingan dapat dilihat pada kolom *P-Value*, dengan menggunakan  $\alpha$  sebesar 0,05 maka nilai *P-Value* yang kurang dari nilai  $\alpha$  berarti terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan secara statistik dan sebaliknya *P-Value* yang lebih dari nilai  $\alpha$  berarti tidak terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan secara statistik. Dari tabel diatas dapat diketahui perbandingan antara spesimen 2-1; 6-5; 7-6; 8-7; dan 9-8 memiliki *P-Value* lebih dari nilai  $\alpha$  sebesar 0,05 dan dapat disimpulkan tidak terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan secara statistik.

Adanya perbedaan rata-rata yang tidak signifikan disebabkan oleh proses produksi yang mengabaikan waktu pengadukan material. Semakin lama proses pengadukan akan membuat bahan *poliurethane* menjadi lebih kering dan mengurangi daya rekatnya sebagai pengikat. Daya rekat yang berkurang mengakibatkan ketahanannya terhadap indentasi pada uji kekerasan akan berkurang dan hasil uji akan semakin menjauh dari garis linier dan mendekati hasil uji kekerasan spesimen lainnya.

**Dunnnett's Test**

Metode Dunnnett digunakan dalam *anova* untuk mengetahui perbedaan antara rata-rata setiap tingkat faktor dan rata-rata kelompok kontrol. Jika nilai *P-Value* lebih dari nilai  $\alpha$ , maka tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua rata-rata yang dibandingkan.

**Tabel 5.** Hasil *Dunnnett's Test* dengan Kontrol Spesimen No.10

Grouping Information Using the Dunnnett Method and 95% Confidence

Spesimen	N	Mean	Grouping
10 (kontrol)	5	75,200	A
9	5	77,400	
8	5	76,800	A
7	5	74,800	A
6	5	73,600	A
5	5	72,600	
4	5	69,800	
3	5	67,400	
2	5	64,600	
1	5	63,000	

Means not labeled with the letter A are significantly different from the control level mean.

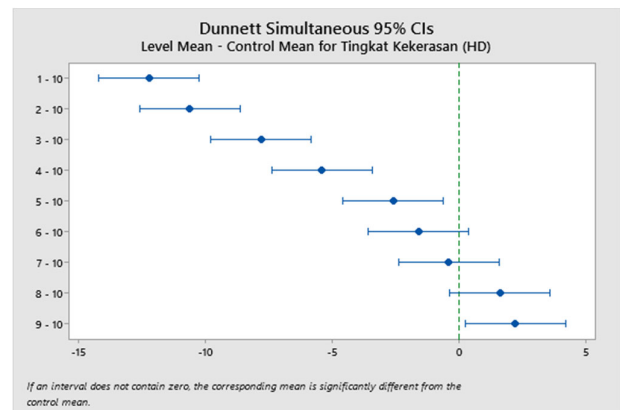
**Dunnnett Simultaneous Tests for Level Mean - Control Mean**

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
1 - 10	-12,200	0,701	(-14,172; -10,228)	-17,39	0,000
2 - 10	-10,600	0,701	(-12,572; -8,628)	-15,11	0,000
3 - 10	-7,800	0,701	(-9,772; -5,828)	-11,12	0,000
4 - 10	-5,400	0,701	(-7,372; -3,428)	-7,70	0,000
5 - 10	-2,600	0,701	(-4,572; -0,628)	-3,71	0,005
6 - 10	-1,600	0,701	(-3,572; 0,372)	-2,28	0,160
7 - 10	-0,400	0,701	(-2,372; 1,572)	-0,57	0,997
8 - 10	1,600	0,701	(-0,372; 3,572)	2,28	0,160
9 - 10	2,200	0,701	(0,228; 4,172)	3,14	0,022

Individual confidence level = 99,24%

Dari tabel 5 menunjukkan bahwa dengan spesimen nomor 10 sebagai kontrol, spesimen nomor 6, 7, dan 8 berada pada pengelompokan grup yang sama dan memiliki nilai *P-Value* lebih dari nilai  $\alpha$ . Hal ini menunjukkan bahwa

perbedaan rata-rata keempat spesimen tersebut tidak signifikan secara statistik.



**Gambar 5.** Interval for treatment mean menggunakan metode dunnett dengan spesimen kontrol No.10

Gambar 5 diatas melakukan interpretasi output dengan melihat interval rata-rata. Apabila dalam interval rata-rata atau antara nilai terendah (*lower*) sampai nilai tertinggi (*upper*) mencakup bilangan nol, maka kesimpulannya adalah tidak ada perbedaan rata-rata antara level. Gambar 4. menunjukkan 6-10; 7-10; dan 8-10 tidak memiliki perbedaan signifikan antar faktor tersebut.

**3.2. Hasil Uji Keausan**

*Analisis of Variance (anova)* digunakan untuk menyelidiki hubungan antara variabel terikat (*respon*) dengan satu atau beberapa faktor. Dalam hal ini metode yang digunakan adalah *anova faktorial*.

**Tabel 6.** *Anova dan model summary*

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	26	0,000000	0,000000	8,15	0,000
Linear	10	0,000000	0,000000	21,06	0,000
Spesimen	8	0,000000	0,000000	26,28	0,000
Temperatur	2	0,000000	0,000000	0,19	0,828
2-Way Interactions	16	0,000000	0,000000	0,09	1,000
Spesimen*Temperatur	16	0,000000	0,000000	0,09	1,000
Error	135	0,000000	0,000000		
Total	161	0,000000			

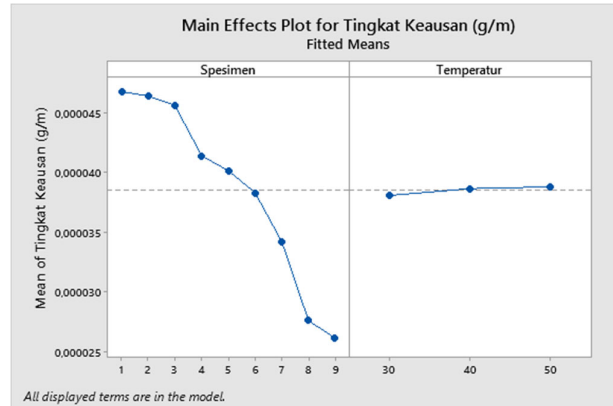
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0000064	61,10%	53,60%	43,98%

Penelitian ini menggunakan  $\alpha$  sebesar 5% atau 0,05. Dari tabel diatas diketahui variabel spesimen berpengaruh signifikan terhadap keausan (*respon*) karena *P-Value* tersebut kurang dari  $\alpha$  yang ditentukan (*P-Value* <  $\alpha$ ) maka hipotesis nul (*H0*) ditolak dan hipotesis alternatif (*H1*) diterima. Variabel temperatur diketahui tidak berpengaruh signifikan terhadap keausan (*respon*) karena *P-Value* tersebut lebih dari  $\alpha$  yang ditentukan (*P-Value* >  $\alpha$ ) maka hipotesis nul (*H0*) diterima dan hipotesis alternatif (*H1*) ditolak. Dan interaksi kedua variabel tersebut tidak signifikan karena memiliki *P-Value* lebih dari nilai  $\alpha$

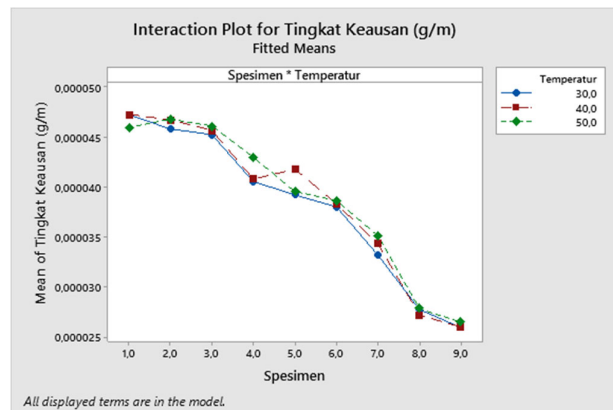
yang ditentukan ( $P\text{-Value} > \alpha$ ) maka hipotesis nul ( $H_0$ ) diterima dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) ditolak.

Dari nilai  $R^2$  sebesar 61,10% dan sisanya sebesar 38,90 merupakan *error* yang disebabkan oleh variabel yang tidak dilibatkan dan kesalahan yang terjadi selama pengambilan data.



Gambar 6. Faktorial plot

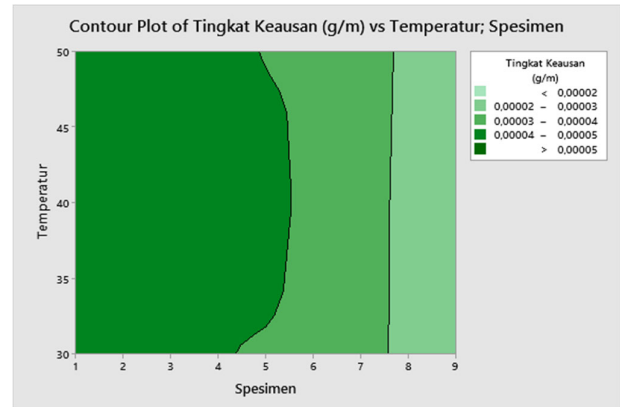
Berdasarkan pada gambar 6. terdapat dua garis utama yaitu horizontal yang menunjukkan variabel bebas dan vertikal menunjukkan variabel terikat. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nomor komposisi spesimen yang digunakan saat pengujian, maka semakin rendah atau menurun tingkat keausan yang dihasilkan. Pada temperatur pengujian spesimen menunjukkan bahwa keausan relatif stabil meskipun terjadi peningkatan yang tidak signifikan.



Gambar 7. Interaksi faktorial plot

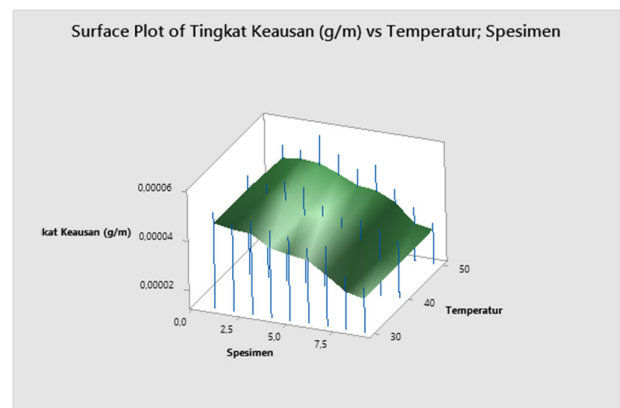
Gambar 7. merupakan grafik interaksi antara komposisi material dan temperatur yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh interaksi antara variabel bebas terhadap variabel terikat, dimana dalam penelitian ini memaparkan hubungan antara komposisi material dan temperatur pengujian terhadap tingkat keausan. Pada grafik terdapat 3 garis yang menunjukkan variabel bebas temperatur dengan warna yang berbeda sesuai dengan banyaknya level dari temperatur yaitu garis biru, merah, dan hijau. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa tingkat keausan spesimen semakin kecil pada nomor komposisi spesimen yang lebih tinggi sementara pengaruh temperatur pada tingkat keausan tidak terlalu signifikan.

Tingkat keausan terhadap spesimen diketahui akan semakin kecil pada spesimen dengan nomor yang lebih tinggi, hal ini dikarenakan tingkat kekerasan yang akan semakin meningkat ketika kandungan arang tempurung kelapa semakin banyak, karena sifat kandungan karbon yang bisa mengeraskan material. Sementara keausan terhadap temperatur pengujian relatif stabil atau tidak ada pengaruh signifikan, hal ini dikarenakan sifat komposit itu sendiri yang menyerap panas.



Gambar 8. Grafik contour plot

Pada Gambar 8 diatas adalah grafik *contour plot* pengaruh temperatur komposisi dan temperatur material terhadap keausan spesimen, menunjukkan bahwa garis horizontal pada grafik adalah nomor komposisi spesimen dan garis vertikal pada grafik adalah temperatur pengujian. Pada gambar diatas menunjukkan warna hijau toska atau bagian paling kanan grafik menunjukkan area tingkat keausan paling kecil yaitu sebesar 0,00002 – 0,00003 g/m dengan spesimen nomor 8 dan 9 pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C. Warna hijau muda menunjukkan area tingkat keausan sebesar 0,00003 – 0,00004 g/m dengan spesimen nomor 6 dan 7 pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C. Pada spesimen nomor 5 pada temperatur 30°C, dan 50°C ditunjukkan pada warna hijau muda atau bagian tengah yang berarti pada tingkat keausan 0,00003 – 0,00004 g/m sementara pada temperatur 40 tingkat keausan berada pada rentan 0,00004 – 0,00005 g/m. Warna hijau tua atau bagian paling kiri grafik menunjukkan area tingkat keausan paling besar yaitu sebesar 0,00004 – 0,00005 g/m dengan spesimen nomor 1, 2, 3, dan 4 pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C.



Gambar 9. Grafik surface plot

Gambar 9 adalah grafik *surface plot* hasil penelitian pengaruh komposisi temperatur material terhadap keausan spesimen. Dalam grafik tersebut terdapat sumbu x yang menunjukkan nomor komposisi spesimen, sumbu y menunjukkan temperatur, dan sumbu z menunjukkan tingkat keausan. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa, pengaruh komposisi spesimen terhadap keausan adalah semakin tinggi nomor komposisi spesimen, maka tingkat keausan yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini dapat diakibatkan oleh tingkat kekerasan yang juga meningkat terhadap komposisi spesimen seperti yang dilakukan variabel penelitian sebelumnya. Semakin besar tingkat kekerasan maka semakin kecil tingkat keausan yang dihasilkan. Pada pengaruh temperatur pengujian terhadap tingkat keausan dapat disimpulkan bahwa pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C relatif stabil atau tidak ada pengaruh antar variabel dan ketahanan panas spesimen baik.

### 3.3. Pembahasan

Berdasarkan pengolahan data uji kekerasan diatas adalah signifikan berpengaruh. Tingkat kekerasan akan meningkat pada nomor spesimen yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan perbedaan densitas pada arang arang tempurung kelapa sebesar 1,55 g/cm<sup>3</sup> yang lebih besar dari pada serbuk kayu jati yaitu 0,88-1,03 g/cm<sup>3</sup> juga berpengaruh terhadap tingkat kekerasan spesimen. Semakin tinggi nilai densitas suatu bahan maka kekerasannya juga akan meningkat.

Pada pengujian keausan diketahui terdapat pengaruh yang signifikan pengaruh komposisi spesimen hal ini dikarenakan pada nomor spesimen yang lebih tinggi memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi atau dapat disimpulkan semakin tinggi kekerasan suatu material maka tingkat keausannya akan menurun. Sementara pengaruh temperatur dan pengaruh interaksi kedua variabel tidak berpengaruh signifikan. Hal ini dikarenakan sifat komposit yang menyerap panas. Ketahanan termal dari masing-masing konstituen juga baik dan suhu pengujian juga masih berada dibawah titik leleh dari masing-masing konstituen.

## 4. KESIMPULAN

Berikut ini merupakan kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian pengaruh komposisi dan temperatur material terhadap kinerja kampas rem non asbestos :

1. Tingkat kekerasan yang dihasilkan pada spesimen akan semakin keras dengan bertambahnya bahan arang tempurung kelapa dan berkurangnya serbuk kayu jati. Spesimen 10 sebagai pembanding, memiliki tingkat kekerasan yang tidak berbeda secara statistik dengan spesimen nomor 6,7, dan 8.
2. Tingkat keausan spesimen akan semakin kecil pada nomor komposisi bahan yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pada nomor spesimen yang lebih tinggi memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi. Semakin keras suatu spesimen maka keausan akan semakin kecil. Akan tetapi, pengaruh temperatur pada keausan tidak signifikan. Dan juga interaksi antara kedua variabel komposisi dan temperatur material tidak berpengaruh signifikan terhadap keausan. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen sebagai bahan gesek kampas rem tahan terhadap panas.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Blau, P. and J. McLaughlin, *Effects of water films and sliding speed on the frictional behavior of truck disc brake materials*. 2003. **36**(10): p. 709-715.
- [2] Aigbodion, V., et al., *Development of asbestos-free brake pad using bagasse*. 2010. **32**(1): p. 12-17.
- [3] Aku, S., et al., *Characterization of periwinkle shell as asbestos-free brake pad materials*. 2012. **13**(2): p. 57-63.
- [4] Kim, S.J. and H.J.T.i. Jang, *Friction and wear of friction materials containing two different phenolic resins reinforced with aramid pulp*. 2000. **33**(7): p. 477-484.
- [5] Mutlu, I., O. Eldogan, and F.J.T.I. Findik, *Tribological properties of some phenolic composites suggested for automotive brakes*. 2006. **39**(4): p. 317-325.
- [6] Ademoh, N.A. and A.I.J.D. Olabisi, *Development and evaluation of maize husks (asbestos-free) based brake pad*. 2015. **5**(2): p. 67-80.
- [7] Idris, U., et al., *Eco-friendly asbestos free brake-pad: Using banana peels*. 2015. **27**(2): p. 185-192.

## 6. PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada bapak Dr. Drs. Moh. Hartono, M.T. atas support dan bimbingan yang telah diberikan. Serta terima kasih kepada segala pihak: orang tua, saudara dan rekan-rekan yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan jurnal ini.