

OPTIMASI VARIASI KOMPOSISI BAHAN GESEK KAMPAS REM NON ASBESTOS UNTUK MENCAPAI KEKERASAN DAN KEAUSAN OPTIMAL MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI MULTI RESPON

Martinus Heru Palmiyanto¹, Agung Supriyanto²

^{1,2} Prodi Teknik Mesin, Akademi Teknologi Warga Surakarta
Jl. Raya Solo – Baki, KM.2 Kwarasan, Solo Baru, Sukoharjo 57552
Email: martinus76palmiyanto@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian bahan-bahan alternatif untuk bantalan rem diperlukan karena bantalan rem asbes yang menyebabkan efek karsinogenik ini telah dilarang. Komponen utama kampas rem adalah penguat, pengikat, pengisi dan abrasif aditif. Pemanfaatan serbuk cangkang (filler), serbuk scrap aluminium (penguat), dan resin fenolik (pengikat) sebagai bahan alternatif pelapis rem pengganti serbuk asbes. Variasi komposisi pengisi, penguat dan pengikat dioptimalkan dengan metode eksperimental Taguchi menggunakan array ortogonal L9(4 faktor, 3 level). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari hubungan antara variasi komposisi pengisi, penguat dan pengikat terhadap ketahanan aus komposit kampas rem. Pengujian keausan menggunakan metode pin on-pin. Uji kekerasan brinell digunakan untuk menentukan sifat mekanik permukaan partikel dan kekerasan partikel dari komposit rem yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan ukuran partikel dan permukaan mempengaruhi ketahanan aus. Ukuran partikel kecil memiliki kepadatan yang lebih tinggi yang mempengaruhi keausan. Perbedaan untuk mendapatkan respon angka kekerasan dan angka keausan dari kombinasi faktor-level yang optimal adalah A2 B3 C1 D3 artinya Serbuk kulit mete 50%, Resin phenol 10% , Gera aluminium 30% dan Carbon 10%.

Kata Kunci: bantalan rem, asbestos, serbuk cangkang, gesekan dan keausan

ABSTRACT

Research into alternative materials for brake pads is needed, it because these asbestos brake pads that carcinogenic effects have been banned. The main components of brake lining are reinforcement, binder, filler and abrasive additives. Utilization of powder shell (filler), aluminum scrap powder (reinforcement) and phenolic resin (binder) as an alternative material substitute for brake linings asbestos powder. The variation of filler, reinforcement and binder composition was optimized by the Taguchi experimental method using L9 orthogonal array (4 factors, 3 levels). This study aims to the relationship between variations in the composition of the filler, reinforcement and binder on the wear resistance of composite brake pads. The wear test uses the pin on-pin method. Brinell hardness test is used to determine the mechanical properties of the particle surface and the particle hardness of the optimal brake composites. The results showed particle size and surface affect wear resistance. Small particle size has a higher density which affects wear. The difference to get the response of hardness rate and wear rate from the combination of optimal factor-levels is A2 B3 C1 D3 meaning 50% cashew nut powder, 10% phenol resin, 30% aluminum rake and 10% carbon.

Key Words: brake pad, asbestos, shell powder, friction and wear

1. PENDAHULUAN

Kanvas rem merupakan komponen penting pada kendaraan bermotor yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan khususnya kendaraan darat. Terutama pada saat kendaraan berkecepatan tinggi fungsi kanvas rem memiliki beban mencapai 90% dari komponen lainnya, bahkan keselamatan jiwa manusia tergantung pada kemampuan dari komponen tersebut.

Penggunaan bahan baku bukan asbes yang bersifat lebih ramah lingkungan, memiliki daya cengkram kuat pada suhu pengereman di atas 300°C dan faktor keamanan yang lebih baik. Pertimbangan kanvas rem berjenis non asbestos yang lebih menguntungkan berbagai faktor maka saatnya mulai dikembangkan dan disosialisasikan untuk mengurangi pemakaian bahan berbasis asbestos yang lebih banyak berdampak negatif bagi pemakai serta tidak ramah lingkungan. Asbestos adalah bahan yang paling banyak dibicarakan sebagai penyebab *carcinogenic* yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (toxic) [1].

Permintaan konsumen dan kesadaran masyarakat menyulut timbulnya penelitian dan pengembangan kampas rem ramah lingkungan dengan bahan tahan gesek organik. Dalam dekade terakhir, berbagai penelitian difokuskan pada penggunaan ramah lingkungan untuk rekayasa dan aplikasinya.[2], menggunakan bonggol jagung sebagai pengganti bahan alternatif kampas rem mobil. Komposit kampas rem divariasikan bonggol jagung (20%, 30%, 40%), serbuk kuningan (Cu-Zn) (20%, 30%, 20%), serta yang dikendalikan tetap yaitu 20% Magnesium Oksida (MgO) dan matrik penyusun 20% resin polyester. Hasil penelitian diketahui variasi komposisi memberikan pengaruh terhadap koefisien gesek kampas rem. Komposisi paling optimal yang memiliki koefisien gesek tertinggi sebesar 0,395, dengan komposisi 30 % serbuk bonggol jagung, 30 % kuningan, 20% MgO dan 20% resin.

Menurut Ertan dan Yuvuz [3] menggunakan serbuk *hazelnut* dan *walnut* sebagai bahan pengisi (*filler*) dengan komposisi yang berbeda (3.5% dan 7%). Hasil diketahui penambahan serbuk organik yang berbeda memberikan pengaruh terhadap unjuk kerja kampas, nilai kekerasan, perubahan dimensi dan berat specimen. [4] menambahkan *debu walnut shell* bervariasi dari 0 sampai 15%, pada tujuh bahan kampas rem yang berbeda. Pengujian pada specimen meliputi pengukuran nilai kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Hasil menunjukkan koefisien gesekan optimal dari lapisan kampas diperoleh dalam sampel yang mengandung 5,6% walnut shell powder.

QI, *et al.*[5] menggunakan debu kacang mete (*huzelnut*) dan debu kacang kenari (*walnut*) dengan komposisi 3,5 wt % dan 7 wt % untuk menghasilkan bahan rem organik. Kinerja kampas rem ditentukan dengan pemeriksaan struktur mikro, penyerapan minyak dan stabilitas dimensi, dan kekerasan kampas rem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kampas rem dengan debu organik seperti *hazelnut* dan kenari bisa menggantikan debu kokas (*petrocok*) yang tidak ramah lingkungan. Dari penelitian ini dapat, dapat disimpulkan bahwa kampas rem jenis baru dari debu organik berbasis non-asbes dapat secara efektif digunakan sebagai pengganti asbes dan kinerja dalam produksi kampas rem.

Maleque, *et al.*, [6] melakukan penelitian bertujuan untuk mengembangkan serat alami yang diperkuat dengan aluminium sebagai bahan komposit baru di aplikasikan pada kampas rem otomotif. Variasi komposisi serat kelapa dengan fraksi volume 0, 5, 10 dan 15 dicampur dengan pengikat, *friction modifier*, bahan abrasif dan pelumas padat menggunakan teknik metalurgi serbuk untuk pengembangan komposit baru serat alam diperkuat aluminium.

Sifat mekanik terbaik dalam hal kepadatan tinggi, porositas rendah dan kuat tekan yang lebih tinggi diperoleh dari 5 dan 10% komposit serat kelapa. Dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa fraksi volume 5 dan 10% menunjukkan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan formulasi lain. Serat kelapa alami berpotensi sebagai serat atau pengisi untuk bahan pad rem otomotif.

Priyambodo dan Palmiyanto [7] menggunakan limbah kulit mete sebagai bahan alternative kampas rem non asbestos, serta sekrap alumunium dan resin phenol digunakan sebagai bahan penyusun komposit kampas rem. Hasil pengujian diketahui penambahan serbuk sekrap alumunium dan pengurangan serbuk kulit mete memberikan peningkatan terhadap nilai kekerasan komposit kampas rem. Serbuk alumunium yang cenderung irregular, pada saat dikompaksi luas kontak anatar partikel relative lebih kecil menyebabkan porositas sehingga kepadatan kurang dan menurunkan sifat tahan keausan.

Bertitik tolak dari hasil inovasi yang telah dilakukan dan potensi pemanfaatan bahan organik dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif pengganti bahan asbestos, maka dalam penelitian ini diusulkan penggunaan bahan organik dari serbuk kulit mete dan carbon dari arang bambu sebagai bahan friksi komponen kampas rem, dengan bahan penguat skrap alumunium dan resin phenol sebagai matrik pengikat komposit. Kualitas kampas rem harus memenuhi standar, salah satunya tergantung dari kekerasan dan keausannya. Kekerasan dan keausan kampas rem berkaitan dengan umur kampas rem, umur drum atau piringan serta jenis kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan keausan optimal kampas rem yang terbuat dari serbuk kulit mete, carbon arang bamboo, skrap alumunium dan bermatrikan resin phenol.

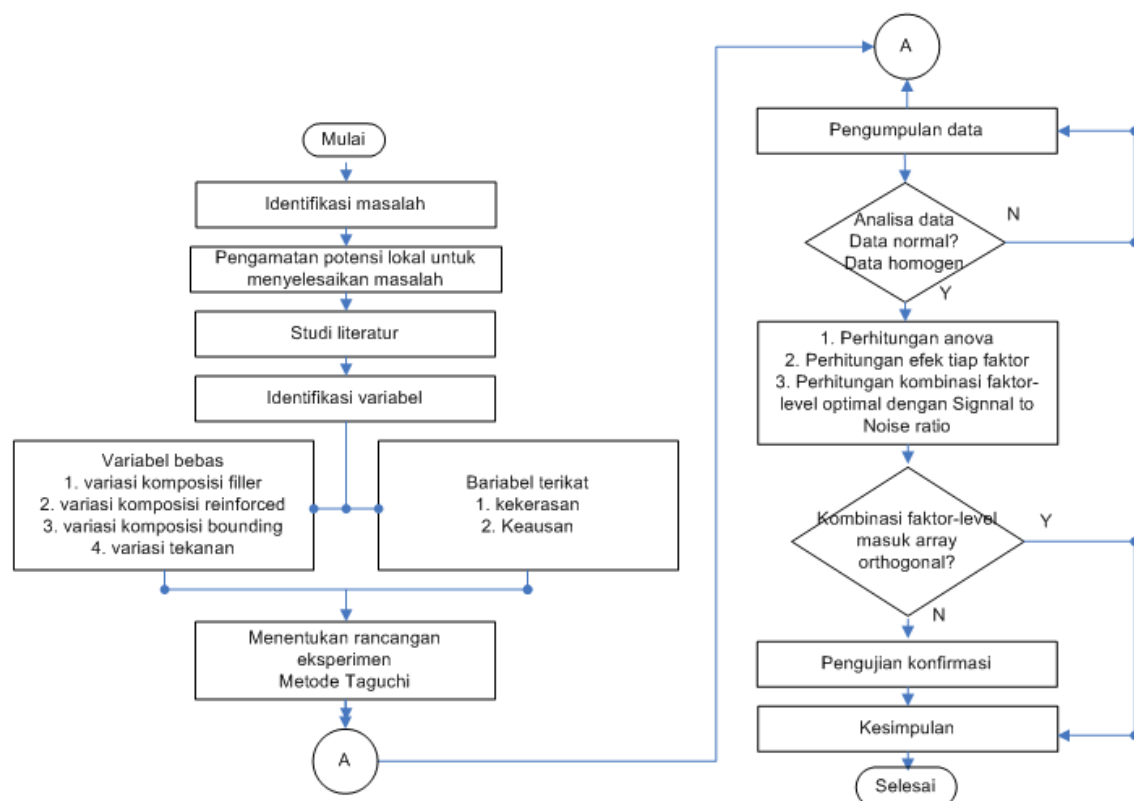
Untuk mendapatkan hasil produksi optimal, maka dilakukan eksperimen dari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan kampas rem dan menentukan level dari faktor-faktor tersebut. Desain eksperimen penelitian dengan metode Taguchi, Susunan orthogonal Taguchi dan rasio signal-to-noise (S/N) serta analisis varian (ANOVA) digunakan untuk mendapatkan level yang optimal dan menganalisis pengaruh komposisi bahan komposit terhadap nilai kekerasan permukaan dan keausan komposit kampas rem.

2. BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: serbuk kulit mete, resin phenol, geram alumunium, carbon. Variabel bebas dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1. Prosedur penelitian diawali dengan pembuatan spesimen dengan alat pencetak tekan (Hot Press) sesuai dengan desain eksperimen Taguchi. Langkah berikutnya adalah pengujian specimen, berupa uji kekerasan dan uji keausan sehingga diperoleh data angka kekerasan dan keausan specimen. Analisa data menggunakan metode Taguchi, sehingga diperoleh kesimpulan berupa nilai parameter komposisi komposit kampas rem untuk mendapatkan kekerasan dan keausan optimal seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Variabel bebas

Variabel bebas	Kode	Level		
		1	2	3
Serbuk kulit mete	A	30	50	70
Resin phenol	B	20	15	10
Geram aluminium	C	30	20	10
Carbon	D	20	15	10



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Data pengujian kekerasan dilakukan dengan mengukur kekerasan komposit yang terbentuk dari material penyusun (*filler*, *beinder*, *reinforce* dan *additive abrasive*). Pengukuran dengan uji kekerasan brinnel dengan cara menekan bola indenter (bola baja dengan ukuran 10 mm) serta dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk diatasnya. Table 2 menunjukan hasil pengujian kekerasan Rockwell menggunakan beban 30 kg serta waktu penekanan 10 detik.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan dan Keausan

No. Eksperimen	Faktor				Angka Kekerasan (BHN)	Angka Keausan (mm/jam)
	A	B	C	D		
	Metete	Resin	Alumunium	Carbon		
1	30	20	30	20	3,988	0,670
2	30	15	20	15	4,513	0,232
3	30	10	10	10	3,654	0.910
4	50	20	20	10	4,128	0,606
5	50	15	10	10	3,788	0,822
6	50	10	30	15	5,633	0,182
7	70	20	10	20	4,292	0,386
8	70	15	30	10	6,660	0,052
9	70	10	20	15	4,142	0,411

3.2 Pembahasan

1. Uji Kekerasan

a. Uji Normalitas

Hipotesis

Ho : Data hasil eksperimen angka kekerasan berdistribusi normal.

Hi : Data hasil eksperimen angka kekerasan tidak berdistribusi normal.

Dasar pengambilan keputusan adalah berdasarkan probabilitas,

Jika angka probabilitas $> 0,05$ maka Ho diterima

Jika angka probabilitas $\leq 0,05$ maka Ho ditolak

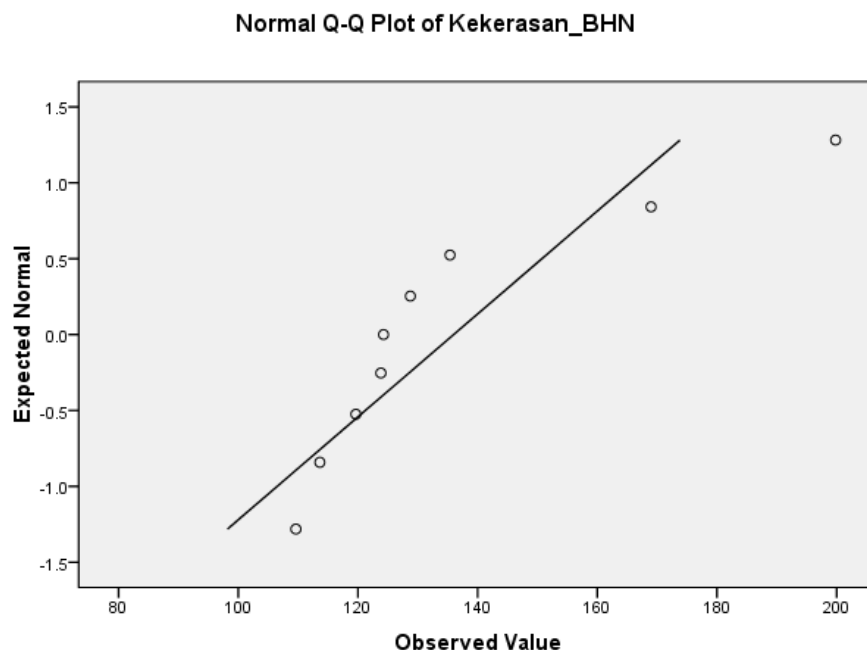
Pengolahan data bantuan perangkat lunak SPSS 16.0 dengan menggunakan metode **Kolmogorov-Smirnov Test** didapat hasil angka probabilitasnya adalah 0,858 sehingga hipotesis pertama (Ho) diterima artinya data terdistribusi normal.

Tabel 3. One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test untuk Angka Kekerasan

		Angka_kekerasan
N		9
Normal Parameters ^a	Mean	135,9933
	Std. Deviation	29,49727
Most Extreme Differences	Absolute	.286
	Positive	.286
	Negative	-.186
Kolmogorov-Smirnov Z		.858
Asymp. Sig. (2-tailed)		.453

a. Berdistribusi normal

Untuk penyebaran data dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 2. Grafik Penyebaran Nilai Kekerasan

b. Uji Homogenitas

Menentukan hipotesis

H_0 : Data respon keausan pahat hasil eksperimen homogen

H_1 : Data respon keausan pahat hasil eksperimen tidak homogen

Dasar pengambilan keputusan adalah berdasarkan probabilitas
Jika angka probabilitas > 0,05 maka H_0 diterima, Jika angka probabilitas $\leq$ 0,05 maka H_0 ditolak

Tabel.4. Test of Homogeneity of Variances Angka kekerasan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.001	1	16	.981

Tabel 5. ANOVA

Angka Kekersan	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2,040	1	2,040	0,002	0,962
Within Groups	13750,715	16	859,420		
Total	13752,755	17			

Perhitungan uji homogenitas menggunakan perangkat lunak SPSS adalah dengan Uji Levene statics, diperoleh hasil angka sig. = 0,981 dimana lebih besar dari 0,05 maka data angka kekerasan adalah homogen.

c. Signal To Noise Ratio

Karakteristik kualitas ditetapkan pada suatu angka yang setinggi-tingginya, jika angkanya semakin tinggi maka kualitasnya semakin baik, [8].

Angka S/N untuk jenis karakteristik LTB adalah :

$$S/N_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

Tabel 5. SNR Nilai Kekerasan

No. Eksperimen	Faktor				Angka Kekerasan (BHN)	SNR
	A	B	C	D		
1	1	1	1	1	3.988	41,55825
2	1	2	2	2	4.513	42,63109
3	1	3	3	3	3.654	40,79859
4	2	1	2	3	4.128	41,85652
5	2	2	3	1	3.788	41,11062
6	2	3	1	2	5.633	44,55671
7	3	1	3	2	4.292	42,19494
8	3	2	1	3	6.660	46,01234
9	3	3	2	1	4.142	41,88733

d. Efek Tiap Faktor

Perhitungan efek tiap faktor , dalam hal ini faktor kendali dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{efek faktor} = \frac{1}{a} \left(\sum \eta o \right)$$

Keterangan:

o = nomor eksperimen yang mempunyai level yang sama

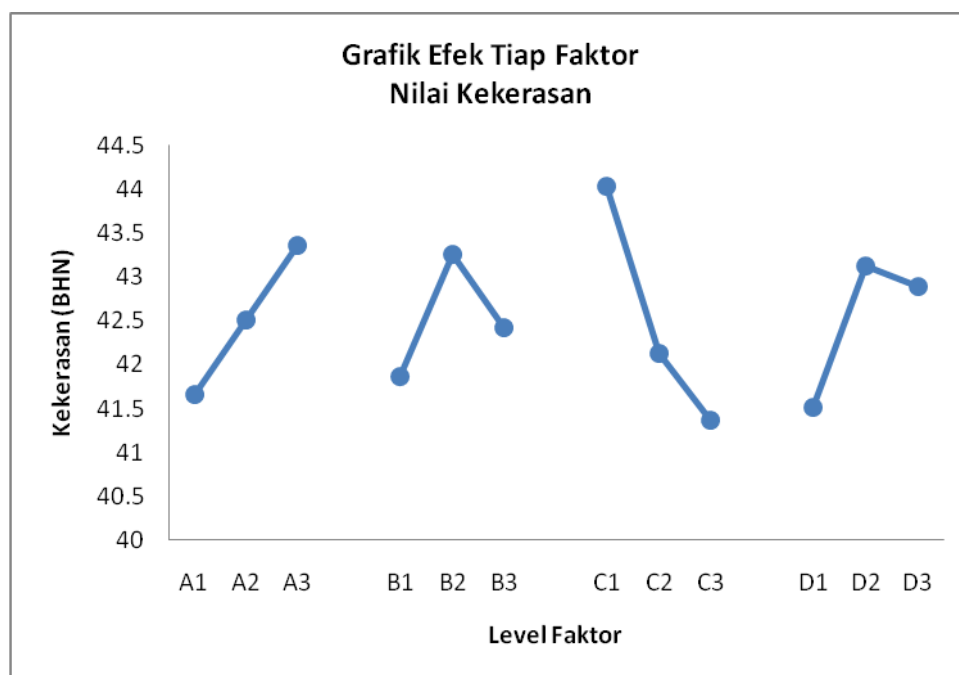
a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks orthogonal

η = angka SNR yang digunakan

Setelah semua efek tiap faktor dihitung, kemudian dicari perbedaan maksimum dari tiap – tiap faktor dan ditentukan *ranking* dari tiap–tiap faktor secara berurutan mulai dari faktor yang mempunyai perbedaan paling besar.

Tabel. 6. Efek Tiap Faktor Angka Kekerasan

Level	Faktor			
	A	B	C	D
1	41,66264	41,86991	44,04243	41,51873
2	42,50795	43,25135	42,12498	43,12758
3	43,36487	42,41421	41,36805	42,88915
Selisih	1,702228	1,381448	2,674382	1,608846
Rank	2	4	1	3



Gambar 3. Grafik Efek Tiap Faktor Nilai Kekerasan

Berdasarkan analisis SNR dan efek tiap faktor maka formulasi terbaik didapat dari pemilihan angka SNR dengan level faktor yang paling besar [8], sehingga didapatkan formulasi A1 B2 C3 D2.

1. Uji Keausan

a. Uji Normalitas

Hipotesis

H_0 : Data hasil eksperimen angka kekerasan berdistribusi normal.

H_1 : Data hasil eksperimen angka kekerasan tidak berdistribusi normal.

Dasar pengambilan keputusan adalah berdasarkan probabilitas

Jika angka probabilitas $> 0,05$ maka H_0 diterima

Jika angka probabilitas $\leq 0,05$ maka H_0 ditolak

Tabel. 7. One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test Uji Keausan

				Keausan
N				9
Normal Parameters ^a			Mean	.0000051448
			Std. Deviation	.00000604665
Most Differences	Extreme	Absolute		.344
		Positive		.344
		Negative		-.204
Kolmogorov-Smirnov Z				1.031
Asymp. Sig. (2-tailed)				.239
a. Test distribution is Normal.				

Pengolahan data bantuan perangkat lunak SPSS 16.0 dengan menggunakan metode **Kolmogorov-Smirnov Test** didapat hasil angka probabilitasnya adalah 1,031 sehingga hipotesis pertama (H_0) diterima artinya data terdistribusi normal.

b. Uji Homogenitas

Menentukan hipotesis

H_0 : Data respon keausan pahat hasil eksperimen homogen

H_1 : Data respon keausan pahat hasil eksperimen tidak homogen

Tabel.8. Test of Homogeneity of Variances

Angka_Keausan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.020	1	16	.328

ANOVA

Angka_Keausan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	1	.000	.080	.781
Within Groups	.000	16	.000		
Total	.000	17			

c. Signal to Noise Ratio

Karakteristik kualitas dimana semakin rendah angkanya, maka kualitas semakin baik. Meskipun demikian, dalam penentuan level faktor optimal tetap dipilih angka S/N Ratio yang terbesar [8]. Angka S/N untuk jenis karakteristik STB adalah:

$$S/N_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

n = jumlah tes di dalam percobaan (*trial*)

Tabel. 9 SNR Uji Keausan

No. Eksperimen	Faktor				Angka Keausan	SNR
	A Mete	B Resin	C Alumuni	D Carbon		
1	1	1	1	1	0,6700	9,367,735
2	1	2	2	2	0,2320	1,315,381
3	1	3	3	3	0,9100	9,909,585
4	2	1	2	3	0,6060	9,612,842
5	2	2	3	1	0,8220	967,306
6	2	3	1	2	0,1820	1,315,962
7	3	1	3	2	0,3860	1,292,541
8	3	2	1	3	0,0520	1,347,553
9	3	3	2	1	0,4110	1,279,248

d. Efek Tiap Faktor

Perhitungan efek tiap faktor, dalam hal ini faktor kendali dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{efek faktor} = \frac{1}{a} (\sum \eta o)$$

Dimana :

o = nomor eksperimen yang mempunyai level yang sama

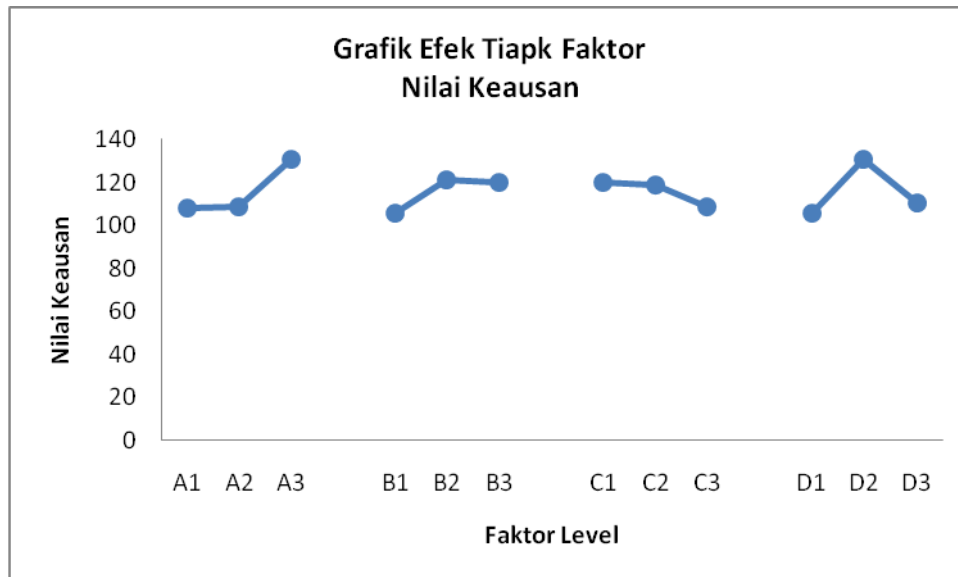
a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks orthogonal

η = angka SNR yang digunakan

Setelah semua efek tiap faktor dihitung, kemudian dicari perbedaan maksimum dari tiap – tiap faktor dan ditentukan *ranking* dari tiap – tiap faktor secara berurutan mulai dari faktor yang mempunyai perbedaan paling besar.

Tabel 10. Efek Tiap Faktor Nilai Keausan

LEVEL	FAKTOR			
	A	B	C	D
1	108,104	106,353	120,010	106,111
2	108,152	121,008	118,530	130,796
3	130,645	119,539	108,360	109,993
SELISIH	22,541	14,655	11,649	20,803
RANK	1	3	4	2



Gambar. 4 Grafik Efek Tiapk Faktor Nilai Keausan

Berdasarkan analisis SNR dan efek tiap faktor maka formulasi terbaik didapat dari pemilihan angka SNR dengan level faktor yang paling besar [8], sehingga didapatkan formulasi A3 B2 C1 D2.

Dari hasil pembahasan Signal to Noise Ratio didapat hasil formulasi optimal untuk angka kekasaran adalah A1 B2 C3 D2, sedangkan hasil optimal untuk angka keausan adalah A3 B2 C1 D2. Dua respon ini memiliki variasi komposisi faktor-level yang berbeda. Untuk respon kekerasan kombinasi faktor-level telah dilakukan eksperimen, sedangkan untuk respon keausan optimal belum dilakukan eksperimen, sehingga harus dilakukan eksperimen untuk menemukan angka keausannya.

Untuk penelitian ini akan dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak SPSS dan MS. Exell untuk mendapatkan angka keausan dari kombinasi faktor-level optimal. Setelah dilakukan analisa maka didapatkan hasil seperti pada tabel berikut:

Tabel 11. Perbandingan SNR dari Kombinasi Faktor-Level

Respon	Faktor-Level Optimal				SNR	Total SNR
	A	B	C	D		
Kekerasan	2	3	1	2	44,55671	176,15291
Keausan					131,5962	
Kekerasan	3	2	1	2	44,74947	127,15667
Keausan					82,4072	

4. KESIMPULAN

1. Perbedaan struktur dari variasi fraksi berat penyusun spesimen memberikan pengaruh terhadap struktur material komposit. Semakin banyak fraksi berat butiran serbuk kulit mete maka bentuk kerapatan atau kepadatan yang lebih baik dibandingkan dengan peningkatan fraksi berat serbuk skrap alumunium.

2. Penambahan fraksi berat serbuk kulit mete dan pengurangan persentase berat sekrap alumunium memberikan peningkatan terhadap nilai kekerasannya.
3. Perbedaan untuk mendapatkan respon angka kekerasan dan angka keausan dari kombinasi faktor-level yang optimal adalah A2 B3 C1 D3.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anwar Jusuf, dkk, 2017, Pulmonologi dan Kedokteran Respirasi, UI Press, Jakarta
- [2] Wicaksono, Ryan Bagus. "Kaji Eksperimental Performansi Pengereman Kampas Rem Serat Bonggol Jagung Sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem Mobil." (2015).
- [3] Ertan, R. & Yuvuz, N., 2010. Effect of Brake materials on Tribological and Physical Properties of Brake Pads. Journal of Uludağ University Faculty of Engineering and Architecture, Volume 15, pp. 169-177.
- [4] ÖKTEM, H. et al., 2015. Evaluation Of Non-Asbestos High Performance Brake Pads Produced With Organic Dusts. METAL, 3 - 5 Jun.
- [5] QI, S. et al., 2014. Effects of Walnut Shells on Friction and Wear Performance of Eco-friendly Brake Friction Composites. s.l., Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology.
- [6] Maleque, M., Atiqah, A., Talib, R. & Zahurin, H., 2012. New Natural Fibre Reinforced Aluminium Composite For Automotive Brake Pad. International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME), Volume 7, pp. 166-170.
- [7] Palmiyanto, M.H & Bambang H.P, 2014, Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Komposit Limbah Kulit Mete/Phenolic Dengan Penguat Skrap Alumunium Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem Non Asbestos, Prosiding SNST ke-5 Tahun 2014 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- [8] Bealvendram & Niccolo, 1995. *Quality By Design* Prentice Hall, Internasional.