

Yusup Hendronursito

Peneliti
Balai Penelitian Teknologi Mineral, LIPI
Email:
yusuph_ugm07@yahoo.com

Asep Andri Saputra

Mahasiswa
Universitas Malahayati
Jurusan Teknik Mesin
Email:
asepandrisaputra@gmail.com

Tumpal Ojahan Rajaguguk

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Malahayati
Jurusan Teknik Mesin
Email:
tumpal_ojahan@yahoo.com

Slamet Sumardi

Peneliti
Balai Penelitian Teknologi Mineral, LIPI
Email:
slametsumardi99@gmail.com

Yayat Iman Supriyatna

Peneliti
Balai Penelitian Teknologi Mineral, LIPI
Email:
yaya024@lipi.go.id

Kusno Isnugroho

Peneliti
Balai Penelitian Teknologi Mineral, LIPI
Email:
kusn005@lipi.go.id

David Candra Birawidha

Peneliti
Balai Penelitian Teknologi Mineral, LIPI
Email:
davi001@lipi.go.id

Muhammad Amin

Peneliti
Balai Penelitian Teknologi Mineral, LIPI
Email:
muha047@lipi.go.id

PENGARUH SINTERING SERBUK BATUAN BASALT SEBAGAI BAHAN PENGUAT PADA KOMPOSIT POLYESTER TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK

Basalt rock has great potential in Lampung Province but is only used as a building construction material. Basalt has superior characteristics such as abrasion/wear resistance, compressive strength and chemical reaction resistance making it suitable as a filler or reinforcement for composites. This study aims to determine the effect of basalt rock powder sintering as a reinforcing filler on the mechanical and physical properties of polymer matrix composites. The parameters used included variations in sintering temperature: 850°C, 950°C, and 1.050°C, variations in particle size: 100 < X < 150 mesh, 150 < Y < 200 mesh and 200 < Z < 270 mesh, and the volume fraction comparison of basalt sintering powder and polyester resin. 70: 30%, 80: 20%, and 90: 10%. The experimental design uses the L9 3³ taguchi orthogonal array run 9 specimens. Taguchi analysis shows that the parameters that affect the mechanical and physical properties are the sintering temperature. sintering temperature contributed 61.77% to wear, and 87.58% to compressive strength, and 95.32% to composite density. The experimental results with the best value obtained a wear value of 0.235 x 10⁻⁷mm² / kg, a compressive strength of 118.873 MPa, and a density of 2.272 gr/cm³.

Keywords: Composite, Basalt, Polyester, Sintering, Taguchi Method, Mechanical and Physical Properties

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin maju saat ini, menuntut kebutuhan bahan atau material yang mempunyai densitas yang rendah, tidak mudah korosi, tidak berbahaya, tahan terhadap benturan dan terbuat dari bahan yang mudah didapatkan dan lain sebagainya yang tentunya bersifat lebih baik. Maka dari itu material komposit merupakan salah satu jawaban atas bahan apa yang berpengaruh dalam perkembangan teknologi yang semakin maju. Komposit adalah suatu material baru hasil rekayasa yang berasal dari pengabungan dua atau lebih bahan material yang berbeda, yaitu fase maktriks dan fase penguat atau pengisi (*reinforcement*) untuk menghasilkan material yang baru dan mempunyai sifat yang lebih baik daripada material penyusunnya [1]. Berdasarkan cara penguatannya komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu komposit penguat partikel, komposit penguat serat, komposit penguat struktural [2].

Basalt adalah batuan beku vulkanik, yang berasal dari hasil pembekuan magma berkomposisi basa di permukaan atau dekat permukaan bumi. *Basalt* secara komposisi kimia adalah batuan yang tersusun atas

beberapa unsur/senyawa yaitu: Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , MgO , CaO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O [4]. Batu *basalt* sebagai bahan yang memiliki sifat-sifat dasar kualitas seperti tingginya ketahanan abrasi/aus, kekuatan tekan dan ketahanan reaksi dari bahan kimia. Batuan *basalt* merupakan bahan yang memiliki prospek bagus sebagai bahan komposit [5]. Di provinsi Lampung memiliki potensi deposit batuan *basalt*, tetapi belum dimanfaatkan secara optimal hanya sebatas agregat dan ornament bangunan. Salah satu daerah yang kaya akan batuan *basalt* adalah daerah Pakuan Aji, Kabupaten Lampung Timur. Survei secara geologi, menunjukkan bahwa morfologi di daerah Pakuan Aji banyak memperlihatkan manifestasi permukaan berupa perbukitan yang penuh dengan batuan sehingga diperkirakan bahwa daerah ini memiliki potensi berupa deposit batuan *basalt* yang bernilai ekonomis [3].

Polyester merupakan bahan thermosetting yang banyak beredar dipasaran karena harganya yang relatif murah dan dapat diaplikasikan untuk berbagai macam penggunaan. Istilah *polyester* berawal dari reaksi asam organik dengan alkohol membentuk suatu ester, yang biasanya terbuat dari bahan asam tereftalat dan etilen glikol. Resin ini memiliki daya serap air yang rendah banyak digunakan untuk pembuatan perahu dan bodi mobil [6]

Penggunaan batuan *basalt* sebagai penguat atau pengisi (*reinforcement*) pada komposit kanvas rem, berbasis hybrid epoxy-serbuk basalt memiliki rata-rata keausan paling rendah dengan komposisi perbandingan matriks terhadap filler yakni 60:40% [7]. Penggunaan serbuk batuan basalt phenolic resin-alumina-kulit kerang sebesar 40% berat basalt mampu meningkatkan ketangguhan komposit sebesar $0,000339547 J/mm^2$ [8]. Komposisi penggunaan basalt sebagai filler penguat berpengaruh terhadap keausan komposit kanvas rem non asbes [9].

Sintering yang dilakukan pada material padat atau partikel serbuk yang bertujuan untuk memperbaiki struktur/kualitas material tersebut serta efektif mengurangi porositas karena partikel yang berdekatan dan meningkatkan sifat seperti kekuatan, penurunan laju keausan, konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan kemurnian bahan tetap terjaga yang memungkinkan proses selanjutnya lebih mudah, proses yang stabil, tidak ada pemisahan partikel yang sudah terikat, dan hasil akhir yang seragam [10]. Suhu *sintering* juga berpengaruh besar pada nilai keausan komposit karena penurunan keausan terjadi akibat pengaruh energi panas yang mengaktifkan proses difusi atom antar butiran sehingga terjadi pertumbuhan butir yang dapat menutupi pori-pori mengakibatkan nilai keausan semakin rendah artinya material semakin tahan aus [11]. Penelitian mengenai pengaruh suhu *sintering* batuan *basalt* sebagai penguat atau pengisi (*reinforcement*) komposit matriks *polyester* belum pernah dilakukan, sehingga dalam penelitian ini dilakukan eksperimen variasi suhu *sintering* dengan variasi ukuran partikel, dan variasi perbandingan fraksi volume serbuk dan resin.

Ada beberapa faktor untuk meningkatkan kekuatan mekanik suatu material komposit ini. Diantaranya suhu *sintering*, material yang digunakan, variasi ukuran partikel, dan variasi perbandingan fraksi volume serbuk dan resin. Dengan ini, penelitian dibuat untuk mengoptimalkan faktor-faktor tersebut dengan menggunakan Metode Taguchi melalui desain *orthogonal array*, maka sejumlah faktor eksperimen yang diamati akan direduksi menjadi lebih sedikit eksperimen. Metode ini dipilih juga karena memiliki tingkat keefektifan yang tinggi dan jumlah eksperimen yang sedikit dibandingkan dengan desain faktorial sehingga menghemat waktu dan biaya [12]. Pada metode taguchi ini diharapkan peningkatan sifat mekanik dengan meminimalkan pengaruh-pengaruh dari penyebab perubahan tanpa menghilangkan penyebab-penyebabnya. Penyebab variasi itu dalam metode Taguchi dikenal dengan faktor tidak terkendali [13].

Penelitian ini menggunakan metode taguchi, untuk mengidentifikasi parameter-parameter signifikan yang mempengaruhi material komposit *polyester* serbuk *sintering* batuan *basalt*. Kemudian menggunakan pengujian keausan, kuat tekan dan densitas untuk mengetahui karakterisasi terbaik komposit tersebut. Selanjutnya untuk memahami visualisasi nyata dampak dari berbagai faktor dan interaksi parameter tersebut, digunakan analisis varian (ANOVA) untuk mengetahui urutan faktor yang signifikan serta hasil interaksinya [14]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh proses *sintering*, variasi ukuran partikel dan variasi perbandingan fraksi volume serbuk *sintering basalt* dan resin *polyester* terhadap sifat fisik dan mekanik komposit *polyester* serbuk *sintering* batuan *basalt*.

2. METODE

Komposit ini dibuat menggunakan filler penguat berupa serbuk batuan *basalt* scoria dari Lampung Timur, resin *polyester* digunakan sebagai matriks. Batuan *basalt* dilakukan pengecilan ukuran menggunakan mesin *jaw crusher* hingga berukuran 2 x 3 cm. Selanjutnya dilakukan pengecilan sampai ukuran serbuk menggunakan *ball mill*. Pengayakan dilakukan untuk memperoleh ukuran partikel sesuai dengan parameter diinginkan. Desain eksperimen pada penelitian ini menggunakan metode taguchi *orthogonal array* $L_9 3^3$.

parameter pada eksperimen ini meliputi suhu sintering 850⁰C, 950⁰C, 1.050⁰C, ukuran partikel antara antara 100 < X < 150 *mesh*, 150 < Y < 200 *mesh* dan 200 < Z < 270 *mesh* dan variasi perbandingan fraksi volume serbuk *sintering basalt* dan resin *polyester* 90:10%, 80:20% dan 70:30%. Penomoran sampel mengikuti Tabel 1.

Tabel 1: Penomoran Sampel Eksperimen

No Sampel	Faktor		
	Suhu Sintering	Ukuran Partikel	Resin (%)
1	850 ⁰ C	100 < X < 150 <i>mesh</i>	10
2	850 ⁰ C	150 < Y < 200 <i>mesh</i>	20
3	850 ⁰ C	200 < Z < 270 <i>mesh</i>	30
4	950 ⁰ C	100 < X < 150 <i>mesh</i>	20
5	950 ⁰ C	150 < Y < 200 <i>mesh</i>	30
6	950 ⁰ C	200 < Z < 270 <i>mesh</i>	10
7	1.050 ⁰ C	100 < X < 150 <i>mesh</i>	30
8	1.050 ⁰ C	150 < Y < 200 <i>mesh</i>	10
9	1.050 ⁰ C	200 < Z < 270 <i>mesh</i>	20

Karena Metode pembuatan komposit menggunakan wet hand lay up dilakukan kompresi menggunakan alat press hidrolik pada tekanan konstan 2 ton. Pengujian komposit meliputi: uji keausan dengan standar ASTM G99-95a, uji kuat tekan dengan standar ASTM D 695-15, uji densitas standar SNI 1969-2008.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Keausan

Dari hasil pengujian keausan diambil nilai keausan hasil uji terendah sebagai acuan nilai terbaik pada pengujian keausan ada pada spesimen 7 dengan suhu *sintering* 1.050⁰C, ukuran partikel 100 < X < 150 *mesh* dan persentase resin 30% dengan nilai 0,235 x 10⁻⁷ mm²/kg. Sedangkan nilai hasil uji tertinggi sebagai hasil kurang baik pada pengujian keausan ada pada spesimen 1 dengan nilai uji yaitu 2,997 x 10⁻⁷ mm²/kg dengan suhu *sintering* 850⁰C, ukuran partikel 100 < X < 150 *mesh*, serta persentase resin 10%.

Nilai hasil keausan ini dipengaruhi oleh kenaikan suhu sintering sebelum titik leleh serbuk yang membuat nilai keausan menurun. Penurunan keausan terjadi akibat pengaruh energi panas yang mengaktifkan proses difusi atom antar butiran sehingga terjadi pertumbuhan butir yang dapat menutupi pori-pori serbuk atau membuat mengecilnya pori-pori serbuk [11]. Hasil nilai pengujian keausan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Hasil Pengujian Keausan

No	Spesimen	Abrasi (Sec)	r (mm)	Po (Kg)	lo (mm)	bo (mm)	bo ³ (mm)	Ws (mm ² /kg)
1	850 ⁰ C/X/10%	60	14	2,12	100	1,473	3,200	2,997 x 10 ⁻⁷
2	850 ⁰ C/Y/20%	60	14	2,12	100	1,210	1,773	1,661 x 10 ⁻⁷
3	850 ⁰ C/Z/30%	60	14	2,12	100	1	1	0,936 x 10 ⁻⁷
4	950 ⁰ C/X/20%	60	14	2,12	100	1	1	0,936 x 10 ⁻⁷
5	950 ⁰ C/Y/30%	60	14	2,12	100	0,842	0,597	0,559 x 10 ⁻⁷
6	950 ⁰ C/Z/10%	60	14	2,12	100	1,210	1,773	1,661 x 10 ⁻⁷
7	1.050 ⁰ C/X/30%	60	14	2,12	100	0,631	0,251	0,235 x 10 ⁻⁷
8	1.050 ⁰ C/Y/10%	60	14	2,12	100	0,894	0,716	0,670 x 10 ⁻⁷
9	1.050 ⁰ C/Z/20%	60	14	2,12	100	0,789	0,492	0,460 x 10 ⁻⁷

Analisis S/N Rasio Metode Taguchi

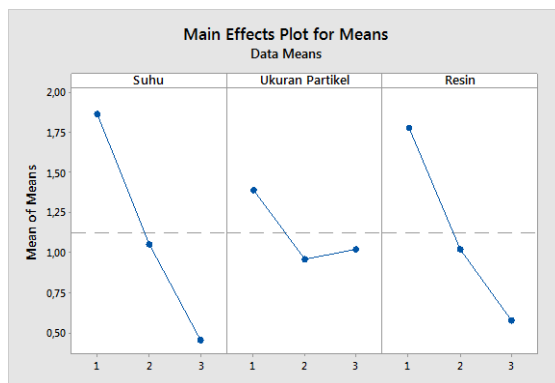
Tabel respon terhadap sinyal S/N rasio menunjukkan rangking atau peringkat faktor yang

mempengaruhi yang diperoleh yaitu rangking 1 pada parameter suhu *sintering*, rangking 2 diperoleh dari persentase resin, dan rangking 3 diperoleh dari ukuran partikel. Tabel respon efek rata-rata untuk keausan dan peringkat faktor yang mempengaruhi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

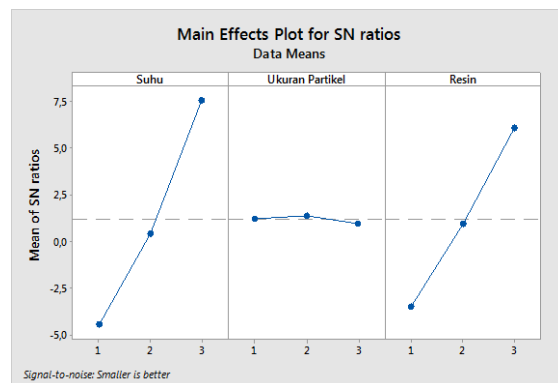
Tabel 3: S/N Rasio Pengujian Keausan

Level	Suhu <i>Sintering</i>	Ukuran Partikel	Resin (%)
1	-4,455	1,206	-3,487
2	0,406	1,374	0,970
3	7,600	0,970	6,068
Delta	12,056	0,403	9,555
Ranking	1	3	2

Grafik *main effects plot for mean* pada Gambar 1, menunjukkan hasil respon nilai rata-rata yang diperoleh dari tiga faktor dan tiga level (3^3) yang digunakan. Pada Gambar 1, terlihat bahwa rata-rata keausan tertinggi terjadi pada suhu *sintering* 850°C dengan ukuran partikel $100 < X < 150 \text{ mesh}$ dan persentase resin yang digunakan adalah 10% dan untuk rata-rata keausan terendah terdapat pada suhu *sintering* 1.050°C dengan ukuran partikel $150 < Y < 200 \text{ mesh}$ dan persentase resin yang digunakan adalah 30%. Maka kondisi optimum dari hasil pengujian keausan yang terbaik dapat di lihat pada Gambar 2, *main effects plot for sn ratios* sehingga memperoleh nilai terbaik yaitu pada level suhu *sintering* 1.050°C dengan nilai (7,5) yang dikombinasikan dengan ukuran partikel $150 < Y < 200 \text{ mesh}$ mendapatkan nilai (1,26) dan persentase resin yang digunakan adalah 30% memperoleh nilai (6,0).



Gambar 1. Main Effects Plot for Means



Gambar 2. Main Effects Plot for S/N Ratio

Analisis Varian (ANOVA)

Menurut hasil analisis varian kontribusi terbesar terhadap nilai keausan diperoleh dari faktor suhu *sintering* yaitu sebesar 61,67% dengan nilai *p-value* 0,003 diikuti oleh faktor persentase resin yaitu sebesar 37,89% dengan nilai *p-value* 0,004 dan kontribusi terkecil diperoleh dari faktor ukuran partikel yaitu sebesar 0,19% dengan nilai *p-value* 0,460. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4, *p-value* ditetapkan tidak boleh melebihi dari nilai $\alpha = 5\%$, sehingga yang ditunjuk pada Tabel 4, dapat diketahui bahwa pengaruh yang paling signifikan terhadap keausan adalah faktor suhu *sintering* dengan nilai *p-value* 0,003 karena level signifikansi $\alpha = 5\% > p\text{-value}$, maka dapat disimpulkan bahwa menolak H_0 (hipotesis nol) dan menerima H_1 (hipotesis 1). Dan faktor yang berkontribusi sesuai dengan rangking yang diperoleh oleh setiap faktor pada Tabel 3.

Tabel 4: Analisis Varian Pengujian Keausan.

Source	DF	Seq SS	Contribution (%)	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Suhu <i>sintering</i>	2	0,0463	61,77	0,0463	0,0231	391,96	0,003
Ukuran partikel	2	0,0001	0,19	0,0001	0,0006	1,18	0,460
Resin (%)	2	0,0284	37,89	0,0284	0,0142	240,45	0,004
Error	2	0,0001	0,16	0,0001	0,0005		
Total	8	0,0750	100,00				

3.2 Pengujian Kuat Tekan

Dari hasil pengujian kuat tekan diambil nilai kuat tekan hasil uji tertinggi sebagai acuan nilai terbaik pada pengujian kuat tekan ada pada spesimen 8 dengan suhu *sintering* 1.050°C, ukuran partikel 150 < Y < 200 *mesh* dan persentase resin 10% dengan nilai 118,873 MPa. Sedangkan nilai hasil uji terendah sebagai hasil kurang baik pada pengujian kuat tekan ada pada spesimen 3 dengan nilai uji yaitu 106,640 MPa. Dengan suhu *sintering* 850°C, ukuran partikel 200 < Z < 270 *mesh*, serta persentase resin 30%.

Suhu *sintering* sangat berpengaruh pada hasil nilai pengujian kuat tekan karena peningkatan suhu *sintering* pada saat proses sinter mengakibatkan pengikatan partikel-partikel menjadi koheren, menghasilkan struktur padat melalui transport massa yang biasa terjadi dalam skala atomik. Ikatan yang terbentuk akan meningkatkan kekuatan, sifat mekanik dan menurunkan energi sistem [10].

Proses kenaikan nilai kuat tekan seiringnya kenaikan temperatur *sintering* sehingga semakin rapat jarak antar serbuk dan semakin kecil porositas pada serbuk sehingga serbuk semakin padat dan menjadi lebih kuat [15]. Dapat disimpulkan bahwa seiring dengan peningkatan suhu *sintering* maka menyebabkan nilai kuat tekan meningkat dan laju keausan menurun. Hasil nilai pengujian kuat tekan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5: Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Spesimen	P (N)	A ₀ (mm ²)	Hasil Uji (Mpa)
1	850°C/X/10%	1.398	12,62	110,776
2	850°C/Y/20%	1.381	12,67	108,997
3	850°C/Z/30%	1.349	12,65	106,640
4	950°C/X/20%	1.433	12,61	113,639
5	950°C/Y/30%	1.449	12,62	114,817
6	950°C/Z/10%	1.459	12,61	115,701
7	1.050°C/X/30%	1.468	12,63	116,231
8	1.050°C/Y/10%	1.499	12,61	118,873
9	1.050°C/Z/20%	1.478	12,63	117,022

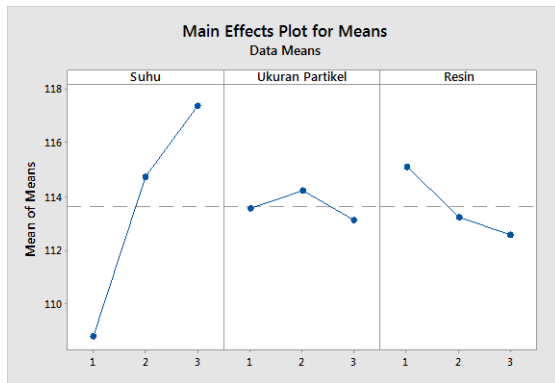
Analisis S/N Rasio Metode Taguchi

Tabel respon terhadap sinyal S/N rasio menunjukkan rangking atau peringkat faktor yang mempengaruhi yang diperoleh yaitu rangking 1 pada parameter suhu *sintering*, rangking 2 diperoleh dari persentase resin, dan rangking 3 diperoleh dari ukuran partikel. Tabel respon efek rata-rata untuk keausan dan peringkat faktor yang mempengaruhi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

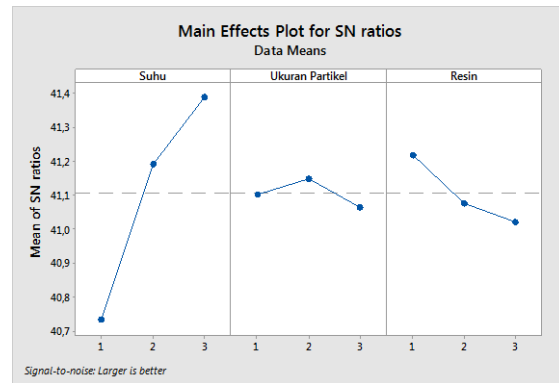
Tabel 6: S/N Rasio Pengujian Kuat Tekan

Level	Suhu <i>Sintering</i>	Ukuran Partikel	Resin (%)
1	40,73	41,10	41,22
2	41,19	41,15	41,07
3	41,39	41,06	41,02
Delta	0,66	0,09	0,20
Ranking	1	3	2

Grafik *main effects plot for mean* pada Gambar 3, terlihat bahwa rata-rata kuat tekan tertinggi terjadi pada suhu *sintering* 1.050°C dengan ukuran partikel 150 < Y < 200 *mesh* dan persentase resin yang digunakan adalah 10% dan untuk kekuatan kuat tekan terendah terdapat pada suhu *sintering* 850°C dengan ukuran partikel 200 < Z < 270 *mesh* dan persentase resin yang digunakan adalah 30%. Maka kondisi optimum dari hasil pengujian kuat tekan yang terbaik dapat di lihat pada Gambar 4, *main effects plot for sn ratios* sehingga memperoleh nilai terbaik yaitu pada level suhu *sintering* 1.050°C dengan nilai (41,4) yang dikombinasikan dengan ukuran partikel 150 < Y < 200 *mesh* mendapatkan nilai (41,5) dan persentase resin yang digunakan adalah 10% memperoleh nilai (41,2).



Gambar 3. Main Effects Plot for Means



Gambar 4. Main Effects Plot for S/N Ratio

Analisis Varian (ANOVA)

Menurut hasil analisis varian kontribusi terbesar terhadap nilai kuat tekan diperoleh dari faktor suhu *sintering* yaitu sebesar 87,58% dengan nilai *p-value* 0,002 diikuti oleh faktor persentase resin yaitu sebesar 9,36% dengan nilai *p-value* 0,021 dan kontribusi terkecil diperoleh dari faktor ukuran partikel yaitu sebesar 2,86% dengan nilai *p-value* 0,064. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7, *p-value* ditetapkan tidak boleh melebihi dari nilai $\alpha = 5\%$, sehingga yang ditunjuk pada Tabel 7, dapat diketahui bahwa pengaruh yang paling signifikan terhadap kuat tekan adalah faktor suhu *sintering* dengan nilai *p-value* 0,002 karena level signifikansi $\alpha = 5\% > p\text{-value}$, maka dapat disimpulkan bahwa menolak H_0 (hipotesis nol) dan menerima H_1 (hipotesis 1). Dan faktor yang berkontribusi sesuai dengan rangking yang diperoleh oleh setiap faktor pada Tabel 6.

Tabel 7: Analisis Varian Pengujian Kuat Tekan.

Source	DF	Seq SS	Contribution (%)	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Suhu <i>sintering</i>	2	107,751	87,58	107,75	53,875	444,95	0,002
Ukuran partikel	2	3,516	2,86	3,516	1,7582	14,52	0,064
Resin (%)	2	11,517	9,36	11,517	5,7585	47,56	0,021
Error	2	0,242	0,20	0,242	0,1211		
Total	8	123,026	100,00				

3.3 Pengujian Densitas

Dari hasil pengujian densitas diambil nilai densitas hasil uji terendah sebagai acuan nilai terbaik pada pengujian densitas ada pada spesimen 1 dengan suhu *sintering* 850°C, ukuran partikel $100 < X < 150 \text{ mesh}$ dan persentase resin 10% dengan nilai 2,272 gr/cm³. Sedangkan nilai hasil uji tertinggi sebagai hasil kurang baik pada pengujian keausan ada pada spesimen 9 dengan nilai uji yaitu 2,373 gr/cm³ dengan suhu *sintering* 1.050°C, ukuran partikel $200 < Z < 270 \text{ mesh}$, serta persentase resin 20%.

Dari hasil pengujian densitas ini menunjukkan bahwa nilai densitas meningkat seiring dengan peningkatan suhu *sintering*. Peningkatan densitas menunjukkan telah terjadinya proses pepadatan (*densifikasi*) selama fase kenaikan suhu dalam proses *sintering* yang memungkinkan terjadinya perubahan struktur dan mikrostruktur dimana partikel-partikel saling mengikat sehingga ukuran butiran menjadi lebih besar dan menutupi seluruh permukaan, yang mengakibatkan massa jenis bertambah [16]. Hasil nilai pengujian densitas ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8: Hasil Pengujian Densitas

No	Spesimen	W ₁ (Berat Awal)	W ₂ (Berat 24 Jam)	W ₃ (Berat Dalam Air)	Hasil Uji (gr/cm ³)
1	850 ⁰ C/X/10%	15,68 gram	15,96 gram	9,06 gram	2,272
2	850 ⁰ C/Y/20%	15,64 gram	15,87 gram	9,01 gram	2,279
3	850 ⁰ C/Z/30%	15,62 gram	15,81 gram	8,97 gram	2,283
4	950 ⁰ C/X/20%	15,58 gram	15,77 gram	8,93 gram	2,277
5	950 ⁰ C/Y/30%	15,63 gram	15,79 gram	8,94 gram	2,281
6	950 ⁰ C/Z/10%	15,60 gram	15,83 gram	9,01 gram	2,287
7	1.050 ⁰ C/X/30%	15,33 gram	15,45 gram	8,90 gram	2,340
8	1.050 ⁰ C/Y/10%	15,24 gram	15,41 gram	8,95 gram	2,359
9	1.050 ⁰ C/Z/20%	15,24 gram	15,39 gram	8,97 gram	2,373

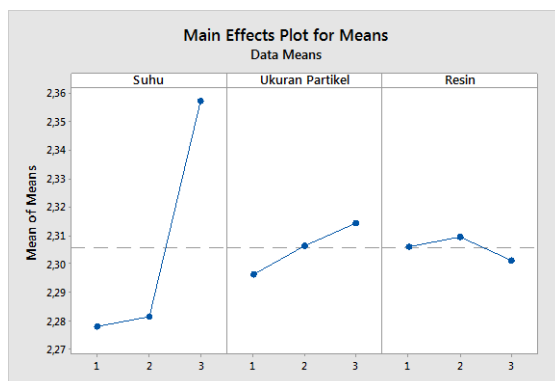
Analisis S/N Rasio Metode Taguchi

Tabel respon terhadap sinyal S/N rasio menunjukkan ranking atau peringkat faktor yang mempengaruhi yang diperoleh yaitu ranking 1 pada parameter suhu *sintering*, ranking 2 diperoleh dari ukuran partikel, dan ranking 3 diperoleh dari persentase resin. Tabel respon efek rata-rata untuk keausan dan peringkat faktor yang mempengaruhi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9.

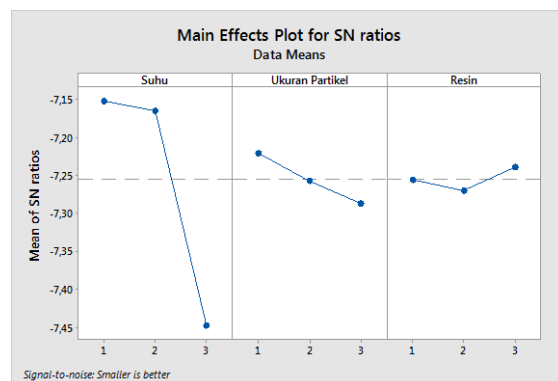
Tabel 9: S/N Rasio Pengujian Densitas

Level	Suhu <i>Sintering</i>	Ukuran Partikel	Resin (%)
1	-7,151	-7,220	-7,256
2	-7,165	-7,257	-7,269
3	-7,448	-7,287	-7,239
Delta	0,297	0,067	0,030
Ranking	1	2	3

Grafik *main effects plot for mean* pada Gambar 5, terlihat bahwa rata-rata densitas tertinggi terjadi pada suhu *sintering* 1.050⁰C dengan ukuran partikel 200 < Z < 270 *mesh* dan persentase resin yang digunakan adalah 20% dan untuk densitas terendah terdapat pada suhu *sintering* 850⁰C dengan ukuran partikel 100 < X < 150 *mesh* dan persentase resin yang digunakan adalah 30%. Maka kondisi optimum dari hasil pengujian densitas yang terbaik dapat di lihat pada Gambar 6, *main effects plot for sn ratios* sehingga memperoleh nilai terbaik yaitu pada level suhu *sintering* 850⁰C dengan nilai (-7,15) yang dikombinasikan dengan ukuran partikel 100 < X < 150 *mesh* mendapatkan nilai (-7,22) dan persentase resin yang digunakan adalah 30% memperoleh nilai (-7,23).



Gambar 5. Main Effects Plot for Means



Gambar 6. Main Effects Plot for S/N Ratio

Analisis Varian (ANOVA)

Menurut hasil analisis varian kontribusi terbesar terhadap nilai densitas diperoleh dari faktor suhu *sintering* yaitu sebesar 95,32% dengan nilai *p-value* 0,004 diikuti oleh faktor ukuran partikel yaitu sebesar 3,76% dengan nilai *p-value* 0,082 dan kontribusi terkecil diperoleh dari faktor persentase resin yaitu sebesar 0,59% dengan nilai *p-value* 0,363. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10, *p-value* ditetapkan tidak boleh melebihi dari nilai $\alpha = 5\%$, sehingga yang ditunjuk pada Tabel 10, dapat diketahui bahwa pengaruh yang paling signifikan terhadap densitas adalah faktor suhu *sintering* dengan nilai *p-value* 0,004 karena level signifikansi $\alpha = 5\% > p\text{-value}$, maka dapat disimpulkan bahwa menolak H_0 (hipotesis nol) dan menerima H_1 (hipotesis 1). Dan faktor yang berkontribusi sesuai dengan rangking yang diperoleh oleh setiap faktor pada Tabel 9.

Tabel 10: Analisis Varian Pengujian Densitas.

Source	DF	Seq SS	Contribution (%)	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Suhu <i>sintering</i>	2	0,0112	95,32	0,0112	0,0056	282,67	0,004
Ukuran partikel	2	0,0004	3,76	0,0004	0,0002	11,14	0,082
Resin (%)	2	0,0007	0,59	0,0007	0,0003	1,75	0,363
Error	2	0,0004	0,34	0,0004	0,0002		
Total	8	0,0117	100,00				

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menggunakan metode taguchi, untuk mengidentifikasi parameter-parameter signifikan yang mempengaruhi material komposit *polyester* serbuk *sintering* batuan *basalt*. Kemudian menggunakan pengujian keausan, kuat tekan dan densitas untuk mengetahui karakterisasi terbaik komposit tersebut. Selanjutnya untuk memahami visualisasi nyata dampak dari berbagai faktor dan interaksi parameter tersebut, digunakan analisis varian (ANOVA) untuk mengetahui urutan faktor yang signifikan serta hasil interaksinya. Dan menurut analisis varian (ANOVA), kontribusi terbesar terhadap nilai keausan, kuat tekan dan densitas diperoleh dari faktor suhu *sintering* dan diikuti oleh faktor persentase resin serta kontribusi terkecil diperoleh dari faktor ukuran partikel.

Bedasarkan uraian diatas maka penelitian ini dapat disimpulkan bahwa: variasi suhu *sintering* 850⁰C, 950⁰C, dan 1.050⁰C memberikan pengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik material komposit ini, dimana suhu 1.050⁰C menghasilkan komposit dengan nilai optimum untuk kekuatan tekannya sebesar 118,873 Mpa, densitas sebesar 2,272 gr/cm³ dan menurunkan laju kausan sebesar 0,235 x 10⁻⁷ mm²/kg.

5. TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial dan fasilitas dari Unit Penelitian Teknologi Mineral, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia dan terima kasih atas dukungan dari Program Studi Teknik Mesin, Universitas Malahayati, Bandar Lampung, Indonesia. Serta semua penulis dalam makalah ini memberikan kontribusi yang sama untuk menghasilkan artikel ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] GIBSON, R.F., Principles of Composite Material Mechanics, 4 ed., New York, CRC Press, 2016.
- [2] SCHWARTZ, M.M., Composite Material Handbook, 2 ed., New York, McGraw-Hill, 1984.
- [3] KARYANTO, K., “Cross Diagonal Survey Geolistrik Tahanan Jenis 3D untuk Menentukan Pola Penyebaran Batuan Basal di Daerah Pakuan Aji Lampung Timur ”, *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*, v. 10, n. 3, Des. 2003.
- [4] RENDIKA, F., Paper Matakuliah Geologi dan Mineralogi Tanah Identifikasi Batuan,
- [5] ANSYORI, A., RAJAGUGUK, T.O., SAFIL, R.N., HENDRONURSITO, Y., “Percent Basal Variations and the Time Stirring the Steering Casting Composite Al-Basal Matrix on The Hardness and Density”, In: *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM): Inovasi Maju dalam Teknik Mesin untuk Pembangunan Berkelanjutan*, Jakarta, Okt. 2019.
- [6] LUMINTANG, R.C.A., SOENOKO, R., WAHYUDI, S., “Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serbuk Batang dan Serat Sabut Kelapa”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 2, n. 2, pp. 145-153, 2011.

- [7] ATMIKA, I.K.A., SUBAGIA, I.D.G.A., NATA, I.D., PARWATA, I.M., BUDIANA, I.M.D., “Karakteristik Keausan Kampas Rem Berbasis Hybrid Komposit Epoxy-Serbuk Basalt”, *Jurnal Teknik Mesin Universitas Undayana*, Bali, 2015.
- [8] WIJAYA, I.N.G.S., SUBAGIA, I.D.G.A., SEPTIADI, W.N., “Charpy Impact Test Pada Kampas Rem Hybrid Komposit Matriks Resin Phenolic dengan Penguat Serbuk Basalt-Alumina-Kulit Kerang”, *Jurnal Energi dan Manufaktur*, v. 9, n. 2, pp. 180-185, 2016.
- [9] SUBAGIA, I.D.G.A., ATMIKA, I.K.A., SEPTIADI, W.N., PARWATA, I.M., “Wear Behavior of Basalt Powder Reinforced Phenolic Resin Matrix Composites Brake Lining Pads”, *Journal International Conference on Mechanics, Materials and Structural Engineering*, 2016.
- [10] GERMAN, R.M., *Powder Metallurgy Science*, 2 ed., New Jersey, Metal Powder Industries Federation, 1994.
- [11] SEBAYANG, P., TETUKO, A.P., et al., “Efek Aditif 3Al2O3.2SiO2 dan Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Keramik α -Al2O3”, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, v. 3, 2007.
- [12] DIMU, R.J., WIDHIYANURIYAWAN, D., SUGIONO., “Optimasi Hardening Baja Karbon Sedang dengan Fluida Getah Pohon Pisang Menggunakan Metode Taguchi”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 5, n. 2, pp. 135-140, 2014.
- [13] RAHMADIANTO, F., PURNOWIDODO, D., SOENOKO, R., “Upaya Peningkatan Sifat Mekanik Baja Mild Steel Melalui Perbaikan Kualitas dengan Heat Treatment Annealing dan Holding Time pada Heat Treatment dengan Taguchi Method”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 5, n. 1, pp. 9-16, 2014.
- [14] MARYANTI, B., SONIEF, A., WAHYUDI, S., “Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 2, n. 2, pp. 123-129, 2011.
- [15] NUGRAHA, A.C., *Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik Komposit Batubara - Coal Tar Pitch*, S.T., UNIVERSITAS INDONESIA, Depok, Indonesia, 2010.
- [16] DAHLIANA, D., SEMBIRING, S., SIMANJUNTAK, W., “Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Fisis Komposit MgO - SiO2 Berbasis Silika Sekam Padi”, *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, v. 1, n. 1, Jan. 2013.