

OPTIMASI PERLAKUAN PANAS DAN PROSES *STIR CASTING* KOMPOSIT Al-BASALT TERHADAP SIFAT MEKANIK MENGUNAKAN METODA *TAGUCHI*

OPTIMIZATION OF HEAT TREATMENT AND *STIR CASTING* PROCESS OF Al-BASALT COMPOSITE ON MECHANICAL PROPERTIES USING *TAGUCHI METHOD*

Yusup Hendronursito^{*12}, Cipto Agustam³, Tumpal Ojahan Rajagukguk³, David Candra Birawida¹,
Kusno Isnugroho¹, Muhammad Amin¹, Muhammad Al Muttaqii¹

¹Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI, Tanjung Bintang Lampung Selatan, 35361

²Magister Teknik Mesin - Fakultas Teknik, Universitas Lampung Bandar Lampung, 35145

³Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Malahayati Kota Bandar Lampung, 35152

Diterima: 16 Juli 2020

Direvisi: 23 Nopember 2020

Disetujui: 9 Desember 2020

ABSTRAK

Optimasi perlakuan panas dan proses *stir casting* komposit matriks aluminium berpenguat serbuk basalt menggunakan metode *Taguchi* dan *analysis of variance (Anova)* telah dilakukan. Desain eksperimen menggunakan metode *Taguchi L9 Orthogonal array 3³* dengan tiga faktor yaitu persentase basalt terhadap aluminium dengan tiga level komposisi 5%, 10%, 15%, temperatur perlakuan panas dengan tiga level suhu 100°C, 155°C, 200°C, dan media pendingin dengan tiga variasi media udara, air, dan oli. Pembuatan sampel menggunakan metode *stir casting* dengan kecepatan pengadukan konstan dan temperatur penuangan antara 660°C – 750°C, dengan ukuran partikel basalt 200 mesh. Sampel hasil pengecoran setelah perlakuan panas kemudian diuji mekanik yang meliputi uji kuat tarik dengan standar ASTM E8 dan uji kekerasan metode Rockwell. Hasil analisis *Taguchi* menunjukkan bahwa kuat tarik optimum diperoleh dari faktor dan level persentase basalt 5%, perlakuan panas pada temperatur 200°C, dan media pendingin air, sedangkan nilai kekerasan optimum diperoleh dari parameter persentase basalt 5%, perlakuan panas 100°C, dan media pendingin udara. Media pendingin merupakan faktor yang paling berpengaruh secara signifikan baik untuk nilai uji tarik maupun nilai kekerasan dari komposit aluminium-basalt yang telah mendapatkan perlakuan panas. Penambahan basalt sebesar 5% berat telah terbukti meningkatkan kuat tarik dan kekerasan komposit matriks aluminium.

Kata kunci: *taguchi*, aluminium, komposit, perlakuan panas, uji mekanik

ABSTRACT

The optimization of heat treatment and the stir casting process of aluminum matrix composites reinforced with basalt powder using the Taguchi method and analysis of variance (Anova) has been carried out. The experimental design used the Taguchi L9 Orthogonal Array 3³ method with three factors, namely the percentage of basalt to aluminum consisting of three levels of composition i.e 5%, 10%, 15%, heat treatment temperature consisting of three temperature levels of 100°C, 155°C, 200°C, and cooling media with three variations of air, water and oil. The samples were prepared using the stir casting method with constant stirring speed and pouring temperature in the range of 660°C – 750°C, with the basalt particle size of 200 mesh. The casting samples after heat treatment were then tested mechanically which included the tensile strength test according to the ASTM E8 and the Rockwell method hardness test. The results of Taguchi analysis showed that the optimum tensile strength was obtained from the basalt percentage factor and level of 5%, heat treatment at 200°C, and water cooling media, while the optimum hardness value was obtained from the basalt percentage parameter of 5% weight, heat treatment at 100°C, and air was used as cooling media. The cooling medium was the most influencing factor significantly both for the tensile test value and the hardness value of the aluminum-basalt composite that has been heat treated.

Keywords: *taguchi*, aluminum, composite, heat treatment, mechanical test

*Corresponding author

Email: yusuph_ugm07@yahoo.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v10i2.177>

PENDAHULUAN

Komposit matriks aluminium atau *Aluminum Matrix Composites (AMCs)* merupakan material yang terus dikembangkan pada industri otomotif maupun pesawat terbang [1], karena memiliki beberapa kelebihan sebagai komposit seperti peningkatan kekakuan, mengurangi densitas, kekuatan yang lebih besar, dan lain sebagainya [2]. Pembuatan *AMCs* adalah dengan menambahkan material penguat (*reinforcement*) yang berupa *filler* serbuk yang memiliki sifat dan keunggulan yang diinginkan. Penelitian *AMCs* berpenguat serbuk basalt telah dilakukan oleh Hendronursito *et al.*, (2019) dan berhasil meningkatkan kekerasan hingga dua kali lipat dari *raw material* [3]. Namun, material *AMCs* yang keras akan cenderung memiliki sifat getas [4]. Untuk memperoleh sifat mekanis material *AMCs* yang diinginkan dapat dilakukan dengan cara perlakuan panas [5]. Perlakuan panas ditujukan untuk mengubah sifat fisik, secara umum dilakukan dengan memanaskan dan mendinginkan material untuk mendapatkan material yang keras atau lunak. Proses pemanasan setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis) yang dilanjutkan pendinginan akan membuat material menjadi lebih ulet dan tangguh.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit Al-Basalt dengan *filler* serbuk basalt menggunakan metode *stir casting* dan selanjutnya dilakukan proses perlakuan panas setelah *remelting* Al-Basalt dan pendinginan menggunakan media yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati pengaruh perlakuan panas setelah proses *stir casting* terhadap sifat mekanik, terutama kuat tarik dan kekerasan serta optimasinya menggunakan analisis *Taguchi* dan *Anova*.

Teknik *stir casting* merupakan metode sederhana yang memanfaatkan gaya aduk (*vortex*) untuk penyatuan partikel penguat ke dalam logam cair dengan pengadukan secara mekanik di atas garis liquidus, lalu dituangkan ke dalam cetakan [6]. Untuk mendistribusikan partikel penguat secara merata dalam matriks aluminium maka dilakukan proses pengadukan dengan parameter tertentu. Proses pengadukan itu sendiri dilakukan secara perlahan untuk mencegah terjadinya aliran *vortex* pada permukaan logam cair dan memecah lapisan permukaan karena dapat mengakibatkan

masuknya *dross* atau kotoran ke dalam logam cair.

Metode *Taguchi* merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter [7]. Metode *Taguchi* menawarkan kualitas produk yang diukur dengan karakteristik kualitas seperti nominal yang terbaik, lebih kecil lebih baik, dan lebih besar lebih baik [8]. Sasaran metode *Taguchi* adalah peningkatan kualitas produk dengan mencari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas lalu memisahkannya kedalam faktor kendali dan faktor tidak kendali (*noise*). Masing-masing faktor dibagi berdasarkan level, lalu dipilih matriks ortogonal sebagai alat bantu untuk pelaksanaan eksperimen berdasarkan jumlah faktor dan level faktor yang terpilih. Eksperimen yang efisien untuk mendapatkan informasi tentang perancangan parameter serentak menggunakan metode Matriks Ortogonal. Hasil eksperimen dianalisis dengan *signal to noise ratio (S/N)* untuk menentukan faktor-faktor dan level faktor yang paling signifikan berpengaruh pada kualitas produk [9].

BAHAN DAN METODE

Desain eksperimen pada penelitian ini menggunakan Matriks Ortogonal *Taguchi L9* dengan parameter 3^3 . Pendekatan rasio *S/N* untuk meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang timbul menggunakan persamaan 1, *Larger The Better (LTB)*.

$$\frac{S}{N} = -10 \text{Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

Analysis of variance (Anova) digunakan untuk mengetahui pengaruh signifikan dan kontribusi masing-masing faktor terhadap nilai kuat tarik dan kekerasan material komposit Al-basalt setelah perlakuan panas.

Penomoran dan pembuatan sampel didasarkan oleh desain *Taguchi* menggunakan bantuan perangkat lunak Minitab17, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dan Penomoran Sampel Berdasarkan Metode *Taguchi*

No Sampel	% Basalt vs Al	Temp. (°C)	Media Pendingin
1	5%	100	Air
2	5%	155	Udara
3	5%	200	Oli
4	10%	100	Udara
5	10%	155	Oli
6	10%	200	Air
7	15%	100	Oli
8	15%	155	Air
9	15%	200	Udara

Proses *stir casting* dilakukan pada sebuah tungku krusibel berkapasitas 2 kg dengan bahan bakar kokas. Pembuatan partikel basalt menggunakan mesin *ball mill* dan dilakukan pengayakan 200 mesh untuk memperoleh ukuran yang seragam. Variasi parameter berat basalt terhadap aluminium adalah 5%, 10%, dan 15%. Media pencetakan Al-basalt menggunakan pasir cetak yang telah dibentuk menjadi bentuk sampel uji tarik sesuai dengan standar ASTM E8 dan bentuk sampel uji kekerasan berukuran 5cm x

5cm x 1cm. Pemanasan kembali terhadap sampel dilakukan di dalam sebuah *muffle furnace* dengan variasi pemanasan 100°C, 155°C, dan 200°C dan ditahan selama 2 jam.

Pengujian mekanik yang dilakukan meliputi uji kuat tarik menggunakan mesin UTM merk *Hungta* dengan kapasitas 100 kN, sedangkan pengujian kekerasan menggunakan metode *Hardness Rockwell* yang dilakukan sebanyak lima kali dan dihitung nilai rata-rata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan setelah proses *tempering* dengan variasi temperatur dan laju pendinginan, hasilnya tercantum pada Tabel 2. Nilai kuat tarik terkecil diperoleh pada sampel 7 dengan nilai 6,55 N/mm² yang menggunakan campuran basalt 15%, media pendingin oli, dan temperatur temperanya 100°C. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada sampel 2 dengan nilai 13,64 N/mm² menggunakan campuran basalt 5%, dengan media pendingin udara, dan temperatur temperanya 155°C.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik

No Sampel	<i>Yield Strength</i>	<i>Ultimate Tensile Strength</i>	Modulus Elastisitas (<i>E</i>)
	$\sigma_y(N/mm^2)$	$\sigma_u(N/mm^2)$	
1	5,72	8,59	121,80
2	6,77	13,64	49,31
3	9,53	13,00	106,13
4	8,43	10,96	198,06
5	5,67	7,10	115,53
6	5,36	6,84	134,57
7	5,02	6,55	100,33
8	4,50	6,92	169,97
9	5,73	12,79	109,29

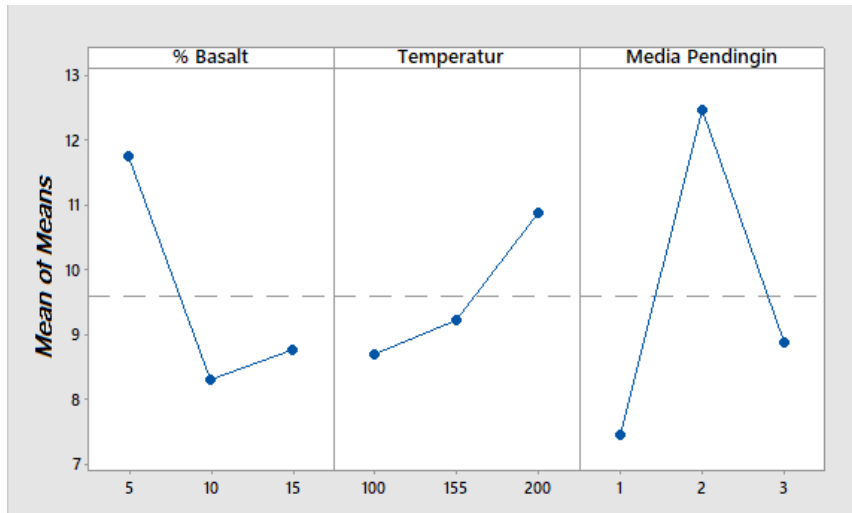
Analisis *Taguchi* pada respon terhadap *S/N* rasio (*larger is better*) dalam Tabel 3 menunjukkan peringkat dari setiap parameter yang digunakan. Peringkat pertama diperoleh oleh media pendingin, dan peringkat 2 diperoleh oleh persentase basalt, sedangkan peringkat 3 diperoleh oleh temperatur perlakuan panas. Dari hasil analisis *Taguchi* yang ditunjukkan pada Gambar 1, nilai rata-rata kuat tarik tertinggi didapatkan dari basalt 5% dengan nilai rata-rata

11,8; temperatur perlakuan panas 200°C dengan nilai rata-rata 11; dan media pendingin 2 (air) dengan nilai rata-rata 12,5. Nilai rata-rata media pendingin 2 (air) memiliki nilai yang paling besar dibandingkan dengan faktor lain. Nilai rata-rata masing-masing faktor berbanding lurus dengan hasil rasio *S/N* (*larger is better*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kondisi optimum dari hasil uji tarik untuk mendapatkan kuat tarik yang baik dapat di lihat pada Gambar 2. Kondisi

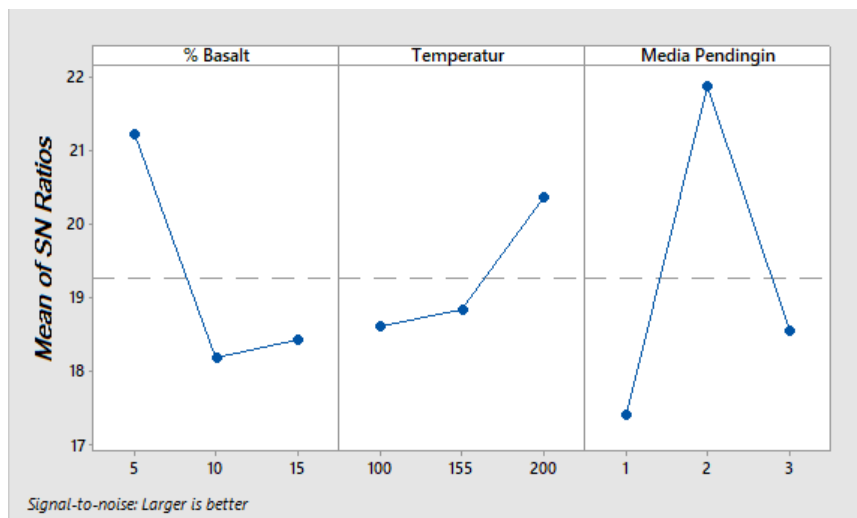
optimum untuk memperoleh kuat tarik paling tinggi diperoleh dari faktor dan level persentase basalt 5%; temperatur perlakuan panas 200°C; dan media pendingin air. Media Pendingin air merupakan media pendingin cepat, hal ini mengakibatkan tingkat keuletan material yang makin bertambah dibandingkan dengan pendinginan lambat [10].

Tabel 3. Respon untuk Rasio Sinyal terhadap Noise (*Larger is Better*)

Level	% Basalt	Temp. °C	Media Pendingin
1	21,22	18,6	17,39
2	18,17	18,84	21,88
3	18,42	20,37	18,54
Delta	3,04	1,77	4,48
Peringkat	2	3	1



Gambar 1. Plot Pengaruh Parameter terhadap Nilai Rata-Rata untuk Kuat Tarik



Gambar 2. Plot Pengaruh Parameter terhadap Rasio S/N untuk Kuat Tarik

Anova menghasilkan beberapa nilai yang dapat digunakan sebagai acuan di dalam melakukan analisis hasil pengujian kuat tarik. *P-value* merupakan nilai peluang terkecil dari suatu pengujian hipotesis sehingga nilai statistik uji yang diamati masih berarti. Kontribusi terbesar terhadap kuat tarik diperoleh dari faktor media

pendingin yaitu sebesar 54,15% dengan *P-value* 0,031 diikuti oleh faktor % basalt yaitu sebesar 30,41% dengan nilai *P-value* 0,054. Kontribusi terkecil diperoleh dari faktor temperatur yaitu sebesar 13,71% dengan *P-value* 0,112, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. *P-value* ditetapkan tidak boleh melebihi nilai $\alpha = 5\%$,

sehingga dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa pengaruh yang paling signifikan terhadap kuat tarik adalah faktor media pendingin. Hal ini sesuai dengan peringkat yang diperoleh oleh setiap faktor pada Tabel 2. *Error* yang diperoleh dari *Anova* sebesar 1,73% lebih rendah dari nilai α yang ditetapkan. Nilai *R-square* dari hasil

Anova for Transformed Response lebih besar dari 95% yaitu sebesar 98,27%. Maka dapat disimpulkan bahwa menerima H_1 (hipotesis 1) yang berarti terdapat perbedaan secara nyata atau signifikan pengaruh media pendingin terhadap kuat tarik.

Tabel 4. *Anova for Transformed Response*

Parameter	Derajat kebebasan	Seq SS	Kontribusi (%)	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
% Basalt	2	32,785	30,41	32,785	16,3923	17,57	0,054
Temperatur	2	14,775	13,71	14,775	7,3875	7,92	0,112
Media Pendingin	2	58,380	54,15	58,380	29,1901	31,28	0,031
<i>Error</i>	2	1,866	1,73	1,866	0,9331		
Total	8	107,806	100,00				

Hasil Uji Kekerasan

Dari pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* didapatkan nilai rata-rata seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5. Kekerasan tertinggi dari sampel 1 dengan nilai 53 HRC atau setara dengan 567 HV. Kekerasan tertinggi diperoleh dari parameter temperatur 100 °C, persentase basalt sebanyak 5% terhadap berat, dan media pendingin air. Sedangkan kekerasan terendah diperoleh dari sampel 9 dengan nilai 36,8 HRC atau setara dengan 342 HV. Kekerasan terendah diperoleh pada perlakuan panas dengan temperatur 200°C, persentase basalt 15% terhadap berat, dan media pendingin udara. Apabila pada sampel dilakukan pengelompokan terhadap temperatur perlakuan panas dari 100°C, 155°C, dan 200°C, maka akan terlihat persebaran nilai rata-rata dari tiga nilai kekerasan yang diperoleh. Makin tinggi temperatur maka nilai kekerasan akan makin rendah. Namun analisa nilai kekerasan ini harus juga memperhatikan interaksi antar masing-masing parameter menggunakan *Taguchi analysis* dan *Anova* sehingga akan diperoleh parameter dominan yang berpengaruh terhadap kekerasan.

Respon terhadap rasio *S/N* (Tabel 6) menunjukkan peringkat nilai yang diperoleh yaitu peringkat 1 pada parameter temperatur perlakuan panas (A), peringkat 2 diperoleh dari persentase basalt (B), dan peringkat 3 diperoleh dari parameter media pendingin (C).

Gambar 3 menunjukkan nilai rata-rata yang diperoleh dari tiga faktor dan tiga level (3^3) yang digunakan. Ketiga faktor tersebut adalah temperatur perlakuan panas (A), persentase berat basalt (B), dan media pendingin (C), sedangkan ketiga level mewakili perlakuan panas 100°C, 155°C, dan 200°C ($A_1A_2A_3$), persentase berat basalt 5%, 10%, dan 15% ($B_1B_2B_3$), media pendingin air, udara, oli ($C_1C_2C_3$). Nilai rata-rata diperoleh dari analisis terhadap desain *Taguchi* yang telah dibuat yaitu $L_9 3^3$. Rata-rata tertinggi diperoleh dari parameter dan level $A_1B_1C_1$ yaitu perlakuan panas 100 °C, persentase basalt 5%, dan media pendingin air. Nilai rata-rata untuk A_1 yaitu 52, A_2 yaitu 49, dan A_3 yaitu 43,5. Parameter persentase basalt masing-masing adalah B_1 yaitu 50, B_2 yaitu 48,5 dan B_3 yaitu 46. Sedangkan parameter media pendingin masing-masing adalah C_1 yaitu 50, C_2 yaitu 46,5, dan C_3 yaitu 48,2. Satuan nilai rata-rata hasil uji kekerasan adalah HRC.

Kondisi optimum yang akan diperoleh yaitu pada parameter $A_1B_1C_1$ yang mewakili perlakuan panas 100°C, persentase basalt 5% terhadap berat, dan media pendingin air, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dari kurva terlihat bahwa makin tinggi temperatur perlakuan panas maka nilai rasio *S/N* yang diperoleh akan makin turun, demikian juga yang terjadi pada parameter persentase basalt. Nilai rasio *S/N*

berbanding terbalik dengan persentase basalt. Makin banyak basalt yang digunakan maka nilai rasio *S/N* akan makin turun. Pada parameter media pendingin, rasio tertinggi diperoleh pada media pendingin udara kemudian oli dan terendah pada media pendingin air. Air dan oli

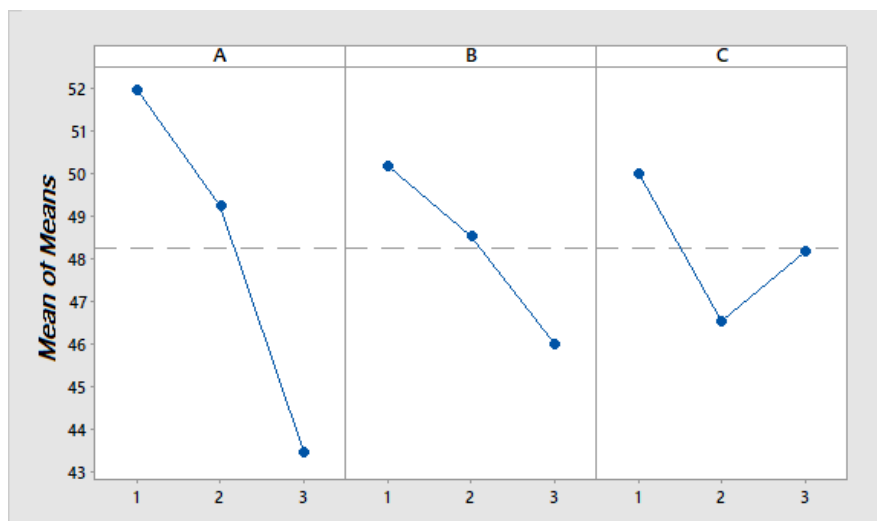
adalah media pendingin paksa sedangkan udara adalah media pendingin perlahan. Nilai kekerasan yang diperoleh dipengaruhi oleh laju pendinginan yang menyebabkan pembentukan fasa yang berbeda sehingga kekerasan yang dihasilkan akan berbeda [11].

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekerasan *Rockwell*

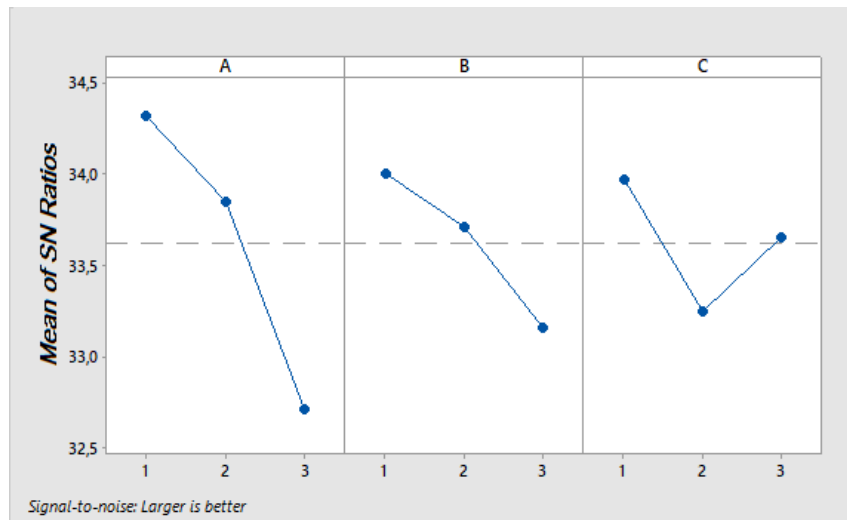
No. Sampel	Temperatur °C	Basalt % berat	Media Pendingin	HRC
1	100	5	Air	53
2	100	10	Udara	52
3	100	15	Oli	51
4	155	5	Udara	50,8
5	155	10	Oli	46,8
6	155	15	Air	50,2
7	200	5	Oli	46,8
8	200	10	Air	46,8
9	200	15	Udara	36,8

Tabel 6. Respon untuk Rasio Sinyal terhadap *Noise (Larger is Better)*

Level	A	B	C
1	34,22	34,00	33,97
2	33,85	33,71	33,25
3	32,71	33,16	33,65
Delta	1,61	0,84	0,72
Peringkat	1	2	3



Gambar 3. Plot Pengaruh Parameter terhadap Nilai Rata-Rata Kekerasan



Gambar 4. Plot Pengaruh Parameter terhadap Rasio *S/N* untuk Kekerasan

Hasil *Anova* pada Tabel 7 menunjukkan nilai kontribusi dan pengaruh signifikansi untuk masing-masing parameter A, B, dan C yang mewakili temperatur perlakuan panas (A), persentase berat basalt (B), dan media pendingin (C). Kontribusi dominan diperoleh dari parameter temperatur perlakuan panas (A) yaitu sebesar 76,96% dan berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan dengan nilai *P-value* sebesar 0,004 atau lebih kecil dibandingkan $\alpha = 5\%$. Kontribusi terbesar kedua diperoleh dari parameter persentase berat basalt (B) yaitu sebesar 11,42% berbeda 0,08% dibandingkan kontribusi parameter media pendingin (C) yang

memiliki kontribusi sebesar 11,34%. Apabila ditinjau dari *P-value*, dapat dilihat bahwa nilai tersebut lebih kecil dibandingkan $\alpha = 5\%$. Sehingga dapat ditarik kesimpulan dari ketiga parameter temperatur perlakuan panas (A), persentase berat basalt (B), dan media pendingin (C), Hipotesis nol (H_0) ditolak dan Hipotesis 1 (H_1) diterima. Pernyataan ini berarti bahwa ketiga parameter memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan aluminium komposit walaupun kontribusi berbeda-beda untuk masing-masing parameter. Hasil perhitungan nilai *error* (rasio kesalahan) sebesar 0,29%, menunjukkan bahwa penelitian telah dilakukan dengan baik.

Tabel 7. *Analysis of Variance*

Parameter	Derajat kebebasan	<i>Seq SS</i>	Kontribusi (%)	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F-Value</i>	<i>P-Value</i>
A	2	171,313	76,96	171,313	85,6563	296,26	0,004
B	2	25,414	11,42	25,414	12,7070	39,95	0,024
C	2	25,247	11,34	25,247	12,6237	39,68	0,025
<i>Error</i>	2	0,636	0,29	0,636	0,3181		
Total	8	222,610	100,00				

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis menggunakan metode *Taguchi* dan *Anova*, media pendingin merupakan faktor yang paling berpengaruh secara signifikan baik untuk nilai kuat tarik maupun nilai kekerasan dari komposit aluminium–basalt yang telah mengalami perlakuan panas. Media pendingin yang paling optimum adalah menggunakan media air.

Kondisi optimum untuk memperoleh kuat tarik paling tinggi diperoleh dari parameter persentase basalt 5%, temperatur perlakuan panas 200°C, dan media pendingin air. Kondisi optimum untuk kekerasan diperoleh pada parameter $A_1B_1C_1$ yang mewakili persentase basalt 5%, perlakuan panas 100°C, dan media pendingin udara.

Perpaduan kuat tarik dengan kekerasan material komposit Al-basalt diperoleh pada sampel 1 dengan nilai *ultimate tensile strength*

8,59 N/mm² dan kekerasan 53 HRC, sampel 2 dengan kuat tarik maksimum 13,64 N/mm² dengan kekerasan 52 HRC, dan sampel 3 dengan kuat tarik maksimum 13,59 N/mm² dengan kekerasan 51 HRC.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Balai Penelitian Teknologi Mineral - LIPI yang telah memberikan fasilitas baik pelaksanaan penelitian maupun pengujian yang dilakukan. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dr. Gusri Akhyar Ibrahim yang telah berkontribusi dalam *Taguchi experiment* dan *Anova*. Dalam artikel ini, setiap penulis memiliki kontribusi yang sepadan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Sahin and S Murphy, "The Effect of Fibre Orientation of the Dry Sliding Wear of Borsic-Reinforced 2014 Aluminium Alloy," *J. Mater. Sci.*, vol. 31, no. 1996, pp. 5399–5407, 2014.
- [2] M. K. Surappa, "Aluminium Matrix Composites: challenges and opportunities", *Sadhana*, vol. 28, no. April, pp. 319–334, 2003. DOI: 10.1007/BF02717141
- [3] Y. Hendronursito, T. O. Rajagukguk, R. N. Safii, A. Sofii, K. Isnugroho, D. C. Birawidha, M. Amin, M. A. Muttaqii, "Analysis of Aluminium Basalt Particulate Composite Using Stirring Casting Method Through Taguchi Method Approach Analysis of Aluminium Basalt Particulate Composite Using Stirring Casting Method Through Taguchi Method Approach," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 807*. 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/807/1/012003
- [4] M. W. Wildan, Subarmono, and M. B. N. Rahman, "Kekuatan Bending dan Ketangguhan Impak Komposit Matrik Aluminium Diperkuat dengan Keramik Zirconia (ZrO₂) yang Dibuat dengan Metode Hot Extrusion," in *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV) Bandung, 5-6 Oktober 2016*, 2016, no. SNTTM XV, pp. 5–6.
- [5] A. Z. Sultan and N. Hamzah, "Pengaruh Solution Treatment dan Artifial Aging terhadap Sifat Pembuatan Spesimen Uji," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2019*, 2019, vol. 2019, pp. 68–77.
- [6] R. Y. Novianto, "Pengujian Keausan Komposit Aluminium yang Diperkuat Serbuk Besi dan Komposit Paduan Aluminium Tembaga yang Diperkuat Abu Terbang," *Universitas Diponegoro*, 2012.
- [7] R. N. Safii, "Analisis Kekuatan Material Matriks Komposit Al-Basalt dengan Metode Pengecoran Stir Casting," *Universitas Malahayati*, 2019.
- [8] G. A. Ibrahim and A. Hamni, "Application of Taguchi Method L9 for Tool Life and Surface Roughness in Turning of Inconel 718 Under Dry Cutting," in *The 3rd Engineering Science And Technology International Conference (ESTIC) 2016*, 2017, pp. 139–143.
- [9] D. A. Setiawan, "Analisa Pengaruh Parameter Las GTAW Pada Sambungan Stainless Steel AISI 304 Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro," *Universitas Malahayati*, 2017.
- [10] I. R. Firdaus, "Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium Proses GTAW", *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 8(3), 2019.
- [11] F. D. Mu'afax, "Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Remelting Al-Si Berbasis Limbah Piston Bekas dengan Perlakuan Degassing", *Jurnal Nosel*, Vol. 1.3, 2013.