

## Optimasi keausan pahat potong pemesinan milling magnesium AZ31 tanpa pendingin dengan metode taguchi

Yanuar Burhanuddin<sup>1</sup>, Wahyudyatama<sup>1</sup>, Ahmad Yahya T.P<sup>1</sup>,  
Gusri Akhyar Ibrahim<sup>1</sup>, Arinal Hamni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

[yanuar.burhanuddin@eng.unila.ac.id](mailto:yanuar.burhanuddin@eng.unila.ac.id)

### ABSTRACT

Magnesium alloys are lightweight metallic materials that offer a number of different interesting mechanical and thermal properties. However, magnesium machining still faces problems because magnesium exhibits poor machining at low temperatures due to the crystal structure of HCP, which causes the tool to wear out quickly. Therefore it is better to machine magnesium at high temperatures. However, when the machining temperature is close to the melting temperature, magnesium will easily burn when exposed to oxygen. For this reason, it is necessary to conduct research on magnesium in the milling machining process. In this experiment, the parameters used were spindle speed, feed rate, depth of cut, and tool size. The result data on this experiment was conducted based on experimental design and analysis using the Taguchi L9 Method (34), and then an Analysis of Variance was performed. Measuring wear values using a USB microscope and monitoring heat distribution using a thermal camera. The experimental results obtained the highest wear value on Run Order 8 of 0.316 mm with operation using a 10 mm tool diameter, 1.5 mm of depth of cut, 910 rpm of spindle speed, and 220 mm/minute of feed rate. The highest cutting temperature is Run Order 9 with a value of 45.4 ° C, operating using a 10 mm tool diameter, 2 mm depth of cut, 910 rpm of spindle speed, and 75 mm/min feed rate. After using the ANOVA, it can be concluded that the most significant factor in the occurrence of wear was the feed rate.

**Keywords:** Magnesium, milling, wear, heat distribution, taguchi method

**Received** 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

### PENDAHULUAN

Komponen otomotif, elektronik dan medikal banyak yang menggunakan bahan magnesium. Alasan utama menggunakan magnesium yaitu kepadatan yang rendah dengan bobot yang ringan. Untuk menghasilkan produk-produk tersebut magnesium diproses menggunakan beberapa proses manufaktur, salah satunya adalah proses pemesinan. Diantara proses pemesinan yang ada yang paling banyak digunakan untuk pemesinan magnesium ialah frais atau *milling*..

Penelitian ketermesinan magnesium sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya Friemuth & Winkler, Buldum et.al, Akyuz [1] [2], [3], Dalam penelitiannya Buldum et.al merekomendasikan penggunaan kecepatan potong yang lebih rendah jika digunakan pada pemotongan magnesium. Peningkatan kecepatan potong akan mengakibatkan suhu permukaan benda kerja meningkat. Semakin rendah kecepatan potong maka geram akan semakin besar dan temperatur permukaan benda kerja juga akan rendah [4].

Kemudian pemesinan magnesium tidak boleh menggunakan cairan pendingin. Ketika suhu pemesinan meningkat mendekati suhu leleh

magnesium yang terkena air akan bereaksi dan meledak. Selain itu juga cairan pendingin akan mencemari lingkungan ketika cairan tersebut dibuang [5] [6].

Pemesinan kering terhadap paduan magnesium dengan kecepatan tinggi besar kemungkinan terjadinya resiko kebakaran [7], [8] serta membulkan masalah pada aus pahat dan panjang umur pahat potong. Kenaikan kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman potong akan menaikkan suhu pemesinan. Semakin tinggi suhu pemotongan itu pula akan memperpendek umur pahat dan pahat menjadi cepat aus [9]

Beberapa penelitian sebelumnya kebanyakan hanya melihat masalah hubungan parameter pemesinan *milling* dengan keausan pahat potong dan kekasaran permukaan [10] [11] [12]. Namun masih sedikit yang meneliti hubungan parameter pemesinan dengan keausan pahat dan suhu pemesinan. Oleh karena itu perlu adanya penelitian pada proses pemesinan *milling* paduan magnesium dengan pengukuran suhu. Pemakaian termografi inframerah selain dapat mengukur suhu juga dapat melihat distribusi suhu pahat potong dan geram magnesium pada pemesinan *milling*.

Untuk melihat kondisi terbaik parameter pemesinan *milling* magnesium terhadap keausan dan suhu pemotongan, maka penelitian ini akan menggunakan Metode *Taguchi*. Diharapkan akan didapatkan hasil nilai keausan minimum pada pahat potong pemesinan *milling* paduan magnesium.

## METODE PENELITIAN

### 1. Bahan dan Alat

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Benda kerja yang digunakan yaitu magnesium AZ31 dengan panjang 100 mm lebar 50 mm dan tebal 50 mm. Pemasangan benda kerja dapat dilihat pada Gambar 1.
2. Mesin *Milling* Konvensional Vertikal Milko.
3. Pahat *End Milling 2 Flute HSS (high speed steel)* dengan diameter 6 mm, 8 mm dan 10 mm.
4. Kamera termal digital FLIR C2 untuk memantau suhu yang terjadi pada saat proses pemesinan.

5. Microskop USB untuk mengukur nilai keausan yang didapat dari hasil proses pemotongan magnesium AZ31.

### 2. Prosedur Eksperimen

Sebelum melakukan penelitian, membuat rancangan eksperimen yang akan memudahkan saat analisis statistiknya. Ada 4 faktor yang di-variaskan pada penelitian ini yaitu, kecepatan potong, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, dan diameter pahat. Rancangan eksperimen yang digunakan adalah metode *Taguchi L9 3<sup>4</sup>* yang berarti ada 9 kali percobaan untuk 4 faktor 3 level. Kemudian meletakkan benda kerja pada ragum dan diperiksa kesejajarannya dengan gerak meja menggunakan *dial-indicator*. Setelah itu mengatur variasi pemesinan sesuai rancangan eksperimen dan melakukan pemesinan. Setelah selesai satu langkah pemesinan pahat sisi potong dilihat menggunakan kamera USB dan diukur keausannya. Langkah ini dilakukan berulang-ulang sampai keausan mencapai 0,2 mm. Kemudian pada saat mencapai 0,2 mm suhu pahat juga diukur menggunakan kamera termal. Kemudian pahat diganti dengan variasi lain yang sudah ditentukan dan melakukan percobaan sebagaimana yang telah diterangkan.



Gambar 1 Pemesinan Milling Magnesium

### 3. Pengukuran Keausan Pahat

Pengukuran keausan pahat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tingkat terjadinya aus pada pahat selama pemotongan berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Nilai keausan didapat dari hasil pengukuran menggunakan mikroskop USB dengan pembesaran mencapai 40x-1000x zoom. Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur dimensi pahat sebelum proses pemesinan dan dimensi pada kondisi setelah proses pemesinan. Gambar 2 adalah proses pengukuran keausan pahat *endmill*. Kemudian data

keausan dan suhu pemotongan dianalisis menggunakan Metoda Taguchi dan Analysis of Variances (ANOVA) untuk melihat parameter yang signifikan dan berapa nilai terbaiknya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian dengan beberapa parameter tersebut diperoleh nilai keausan mata pahat dan suhu yang beragam, seperti yang terlihat pada Tabel 1. Dari tabel terlihat nilai aus tertinggi mencapai 0,428 mm pada run order ke 8 dan suhu pemotongan tertinggi pada run order 9 yaitu 45,4°C.



Gambar 2 Pengukuran keausan pahat

Tabel 1 Data Pengujian

Run	Diameter (A)	Kedalaman potong (B)	Kecepatan spindel (C)	Kecepatan makan (D)	T (°C)	Keausan (Vb)			
						Sisi sayat 1		Sisi sayat 2	
						Replikasi	Replikasi	Replikasi	Replikasi
						1	2	1	2
1	6	1	910	75	36	0,051	0,067	0,087	0,087
2	6	1.5	1280	145	38,3	0,063	0,072	0,064	0,064
3	6	2	1700	220	40,7	0,236	0,175	0,223	0,069
4	8	1	1280	220	36,5	0,239	0,207	0,340	0,186
5	8	1.5	1700	75	40,9	0,104	0,154	0,134	0,418
6	8	2	910	145	44,1	0,178	0,135	0,178	0,344
7	10	1	1700	145	41,4	0,050	0,050	0,277	0,281
8	10	1.5	910	220	42,1	0,316	0,246	0,428	0,334
9	10	2	1280	75	45,4	0,122	0,190	0,104	0,165

### 1. Analisis Keausan Pahat

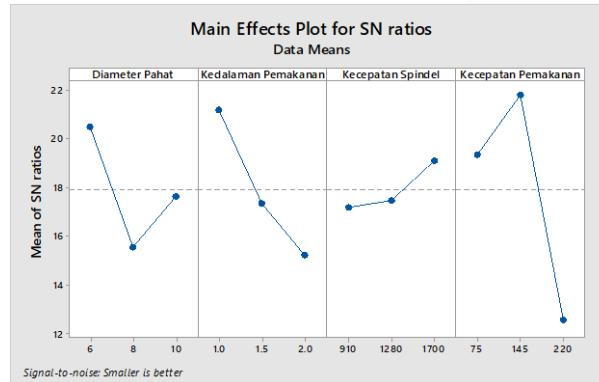
Data respon keausan diolah menjadi Rasio S/N dengan menggunakan metode Taguchi. Kriteria yang diambil adalah *Large-The-Better (LTB)*. Dari masing-masing faktor dan level diambil nilai Rasio S/N-nya. Kemudian dihitung selisih nilai terbesar dan terkecil pada masing-masing faktor tersebut. Faktor dengan nilai selisih terbesar merupakan faktor paling berpengaruh (peringkat 1) sedangkan faktor dengan selisih terkecil merupakan faktor yang paling kurang berpengaruh. Nilai respon *Signal to noise ratios* untuk keausan pahat *end mill*, faktor kecepatan

pemakanan menempati ranking 1 dengan delta 9.27 yang artinya menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap keausan pahat. Pada ranking kedua yaitu faktor kedalaman pemakanan dengan delta sebesar 5.97, ranking ketiga adalah faktor diameter pahat dengan delta sebesar 4.96, dan faktor kecepatan spindel berada pada ranking terakhir dengan delta sebesar 1.94. Hasil perhitungan Rasio S/N tersebut dimasukkan dalam tabel (lihat pada Tabel 2). Sehingga kondisi terbaik parameter pemesinan untuk keausan pahat adalah A1B1C3D2. Apabila hasil perhitungan tercantum pada Tabel 2 dapat dijadikan plot grafik seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Tabel 2 Rasio S/N untuk respon

Level	Diameter (A)	Kedalaman (B)	Spindel (C)	Pemakanan (D)
1	20.52	21.18	17.16	19.36
2	15.56	17.33	17.45	21.81
3	17.64	15.20	19.10	12.54

Level	Diameter (A)	Kedalaman (B)	Spindel (C)	Pemakanan (D)
Delta	4.96	5.97	1.94	9.27
Rank	3	2	4	1



Gambar 3 Plot Main Effects for Signal to Noise Ratios Keausan Pahat Potong

Pada Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa faktor kecepatan makan memiliki pengaruh yang paling besar dibandingkan faktor lainnya seperti diameter pahat, kedalaman makan dan kecepatan spindel. Namun ada hal perlu dicermati bahwa kenaikan diameter pahat dan kecepatan makan tidak berbanding lurus dengan keausan pahat. Walaupun tidak linier namun secara umum tren kenaikan diameter dan kecepatan makan akan menaikkan keausan. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Md Said et al, Ozsvath et al [10][12].

## 2. ANOVA Keausan Pahat

ANOVA dilakukan dengan menggunakan Minitab. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pada parameter atau faktor manakah yang memiliki pengaruh signifikan terhadap terjadinya keausan pahat pada pemesinan *milling* magnesium dari masing-masing faktor dan level yang diujikan.

Tabel 3 ANOVA Pada Keausan Pahat

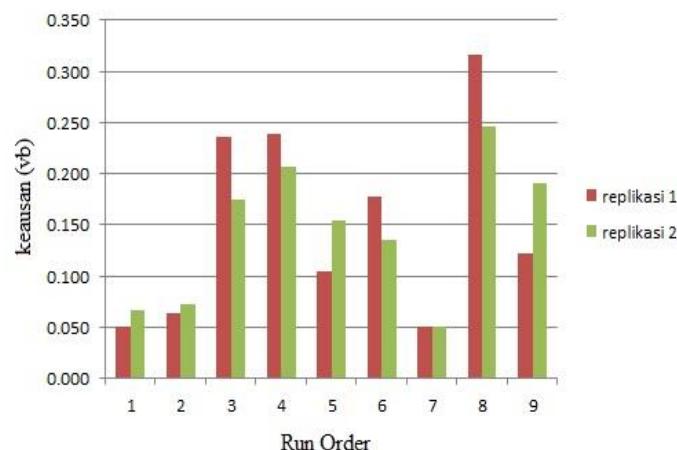
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Diameter Pahat	2	0.012364	0.006182	4.97	0.029
Kedalaman Makan	2	0.012757	0.006379	5.13	0.027
Kecepatan Pemakanan	2	0.072922	0.036461	29.33	0.000
Error	11	0.013675	0.001243		
Lack-of-Fit	2	0.004197	0.002099	1.99	0.192
Pure Error	9	0.009477	0.001053		
Total	17	0.111718			

Pada ANOVA terhadap keausan pahat ini dilakukan pooling atau menghilangkan faktor yang dianggap kurang berpengaruh terhadap terjadinya keausan pahat. Maka pada Tabel ANOVA tersebut hanya terdapat tiga faktor yang memberikan pengaruh signifikan yaitu

diameter pahat, kedalaman pemakanan dan kecepatan pemakanan. Dengan kata lain faktor kecepatan spindel dihilangkan karena merupakan faktor yang kurang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keausan pahat.

Berdasarkan ANOVA faktor kecepatan pemakanan adalah faktor yang paling memberikan pengaruh signifikan terbesar terhadap tingkat keausan pahat, semakin besar kecepatan pemakanan yang diberikan maka nilai keausan juga akan semakin besar. Semakin besar kecepatan pemakanan maka semakin besar juga

beban pemotongan pada mata sayat pahat potong *endmill* dan semakin tinggi suhu pemotongan yang dapat mengakibatkan terjadinya deformasi pada pahat potong yang mengakibatkan perubahan bentuk atau geometri pahat hingga terjadi keausan. Nilai keausan pada pahat potong dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik Nilai Keausan Pahat

Setelah melakukan ANOVA diperoleh 3 faktor yang signifikan terhadap keausan pahat. Dari 3 faktor tersebut kemudian dicari nilai prediksi keausan optimum pada pemesinan milling

menggunakan level terbaik dari masing-masing faktor. Nilai prediksi keausan optimum diperoleh setelah melakukan ANOVA pada Minitab dituliskan pada Tabel 4

Tabel 4 Respon Optimum Keausan

Response Optimization: Keausan (Vb)						
Response Endmill	Keausan	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
		0.05		0.316	1	1
Solution		d	a	f	Keausan (Vb) Fit	
1		6	1	145	0.0176667	1

Tabel 4 menunjukkan nilai prediksi keausan optimum sebesar 0,0176667 mm yang dihasilkan dari pemesinan menggunakan level terbaik dari masing-masing faktor yaitu diameter pahat (d) 6 mm, kedalaman pemakanan (a) 1 mm dan kecepatan pemakanan (f) 145 mm/menit. Dapat disimpulkan bahwa nilai prediksi keausan optimum (0,0176667 mm) yang didapat dari pemodelan tersebut masih dibawah batas keausan maksimal, yang artinya prediksi dari pemodelan tersebut dapat diterima.

### 3. Distribusi Panas Pada Proses Pemesinan

Pada pengujian ini pemantauan distribusi panas yang dihasilkan pada saat proses

pemesinan diperoleh dengan cara perekaman menggunakan kamera termal. Kamera termal yang digunakan yaitu menggunakan kamera FLIR C2. Kamera tersebut berfungsi untuk merekam dan membaca situasi terjadinya panas yang ada di area sekitar proses pemesinan. Pemantauan suhu dilakukan pada saat proses pemotongan berlangsung dengan melakukan perekaman pada titik ujung mata pahat yang merupakan daerah penyayatan. Pada data yang ada di Tabel 1 dapat dilihat bahwa terjadinya perbedaan suhu pada kedalaman potong yang berbeda. Terlihat terjadi peningkatan suhu saat kedalaman pemakanan ditambah.

#### 4. Analisis Taguchi Pada Suhu Pemotongan

Data suhu pemotongan yang telah didapat kemudian untuk setiap percobaan dihitung Rasio S/N-nya. Dari perhitungan Rasio S/N dilakukan pemeringkatan berdasarkan faktor dan level. Hasil pemeringkatan faktor dan level dapat dilihat pada Tabel 5.

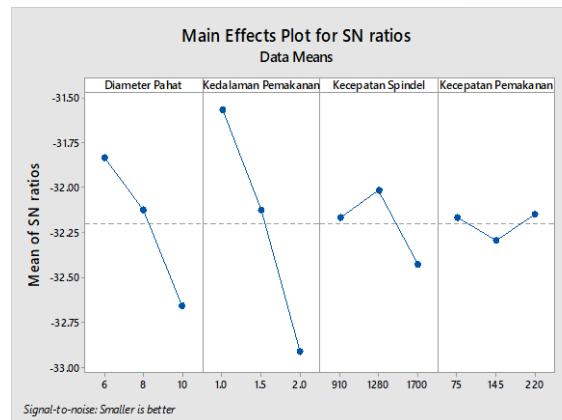
Tabel 5 menunjukkan nilai respon Rasio *Signal/Noise* terhadap suhu pemotongan berdasarkan masing-masing faktor. Faktor kedalaman pemakanan menempati ranking 1 dengan delta 1.34 yang artinya menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap temperatur pemesinan. Pada ranking kedua yaitu faktor diameter pahat dengan delta sebesar 0.82,

ranking ketiga adalah faktor kecepatan spindel dengan delta sebesar 0.41, dan faktor kecepatan pemakanan berada pada ranking terakhir dengan delta sebesar 0.15. Sehingga didapatkan grafik *Main Effects Plot for Signal to Noise ratios* pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa faktor kedalaman memiliki pengaruh yang paling besar dibandingkan faktor-faktor lainnya seperti diameter pahat, kecepatan pemakanan dan kecepatan spindel. Dimana dapat dinyatakan bahwa kedalaman makan berbanding lurus dengan suhu pemesinan

Tabel 5 Pemeringkatan Rasio S/N untuk Suhu Pemotongan

Level	Diameter Pahat	Kedalaman Makan	Kecepatan Spindel	Kecepatan Pemakanan
1	-31.83	-31.57	-32.17	-32.17
2	-32.12	-32.13	-32.02	-32.30
3	-32.66	-32.91	-32.43	-32.15
Delta	0.82	1.34	0.41	0.15
Rank	2	1	3	4



Gambar 5 Grafik Main Effects Plot for Signal-to-Noise ratios Suhu Pemotongan

Tabel 6 Level terbaik dari setiap faktor yang memberikan pemesinan optimum

Faktor	Tingkatan	Nilai
Diameter pahat	Level 1	6 mm
Kedalaman Pemakanan	Level 1	1 mm
Kecepatan Putar Spindel	Level 2	1280 rpm
Kecepatan Pemakanan	Level 1	75 mm/menit

Setelah dilakukan analisis grafik *Main Effects Plot for S/N Ratios*, maka didapatkan level terbaik dari setiap faktor yang memberikan nilai optimum terhadap suhu pemesinan *milling* magnesium seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 6 menunjukkan level terbaik dari setiap faktor yang memberikan pengaruh pada proses pemesinan optimum yaitu antara lain, diameter pahat 6 mm (level 1) yaitu ukuran diameter pahat terendah, kedalaman pemakanan 1 mm (level 1) atau pemberian pemakanan yang sedikit, kecepatan putar yang tinggi yaitu 1280 rpm (level 2), dan kecepatan pemakanan yaitu pada level terendah yaitu 75 mm/menit (level 1).

## KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis data dari hasil pengujian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai keausan terbesar yaitu 0,428 mm dan yang terkecil yaitu 0,050 mm. Dari analisis Taguchi dan ANOVA yang telah dilakukan pada pengujian ini dapat disimpulkan bahwa faktor yang paling signifikan terhadap terjadinya keausan yaitu yang pertama kecepatan pemakanan diikuti oleh kedalaman pemakanan dan diameter pahat.
2. Suhu pemotongan tertinggi terjadi pada run Order ke 9 dimana suhu yang diperoleh dari hasil pemotongan pada parameter diameter pahat 10 mm, kedalaman makan 2 mm, kecepatan putar spindel 910 rpm dan kecepatan pemakanan 75 mm/menit yaitu diperoleh suhu sebesar 45,4°C.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Friemuth and J. Winkler, "Machining of Magnesium Workpieces \*\*," *Advanced Engineering Materials*, pp. 183–186, 1999.
- [2] B. Barış Buldum, A. Sik, and I. Ozkul, "INVESTIGATION OF MAGNESIUM ALLOYS MACHINABILITY," 2011.
- [3] B. Akyuz, "MACHINABILITY OF MAGNESIUM AND ITS ALLOYS," 2011. [Online]. Available: [www.tojsat.net](http://www.tojsat.net)
- [4] M. A. Kiprawi *et al.*, "Study Of Cutting Edge Temperature And Cutting Force Of End Mill Tool In High Speed Machining," in *MATEC Web of Conferences 87 ENCON 2016*, 2017, pp. 1–5.
- [5] K. Weinert, I. Inasaki, J. W. Sutherland, and T. Wakabayashi, "Dry machining and minimum quantity lubrication," *CIRP Ann Manuf Technol*, vol. 53, no. 2, pp. 511–537, 2004, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60027-4.
- [6] Y. Burhanuddin, "Manufaktur Ramah Lingkungan: Suatu Tinjauan Pemesinan Paduan Magnesium Menggunakan Termografi," in *Proceeding Seminar Nasional Energi Terbarukan & Produksi Bersih*, 2012, pp. 289–294.
- [7] Y. Burhanuddin, F. Setiawan, S. Harun, and H. Fitriawan, "Pemodelan Penyalaman Pada Proses Bubut Kering Magnesium AZ31 Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan," in *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, 2015.
- [8] J. Kuczmaszewski, I. Zagórski, and A. Dziubinska, "Investigation of ignition temperature, time to ignition and chip morphology after the high-speed dry milling of magnesium alloys," *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 88, no. 3, pp. 389–396, May 2016, doi: 10.1108/aeat-02-2015-0040.
- [9] L. Lu, S. Hu, L. Liu, and Z. Yin, "High speed cutting of AZ31 magnesium alloy," *Journal of Magnesium and Alloys*, vol. 4, no. 2, pp. 128–134, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.jma.2016.04.004.
- [10] P. Ozsváth, A. Szmejkál, and J. Takács, "Dry milling of magnesium based hybrid materials," *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 36, no. 1–2, pp. 73–78, 2008, doi: 10.3311/pp.tr.2008-1-2.14.
- [11] Z. W. Pu, S. Caruso, D. Umbrello, O. W. Dillon, D. A. Puleo, and I. S. Jawahir, "Analysis of surface integrity in dry and cryogenic machining of AZ31B Mg alloys," in *Advanced Materials Research*, 2011, pp. 439–448. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.223.439.
- [12] Y. B. Ahmad Yasir Md Said, Gusri Akhyar Ibrahim, Arinal Hamni, Rabiah Suryaningsih, "Optimization Machining Parameters When Machine Magnesium

AZ31,” *International Journal of Science and Research*, vol. 7, no. 10, pp. 708–713, 2018.

## PENULIS PERTAMA

Yanuar Burhanuddin adalah tenaga pengajar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Kelompok Bidang Keahlian yang dipilih yaitu Teknik Produksi/Manufaktur. Minat penelitian pada pemesinan bahan ringan, mesin perkakas, pembentukan logam, energi manufaktur dan pemantauan kondisi mesin.

Alamat korespondensi (email): yanuar.burhanuddin@eng.unila.ac.id