

## OPTIMASI VARIABEL PEMESINAN *VIBRATION ASSISTED TURNING* (VAT) UNTUK MEMINIMALKAN *CUTTING TEMPERATURE* MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

### OPTIMIZATION OF *VIBRATION ASSISTED TURNING* (VAT) MACHINE TO MINIMIZE *CUTTING TEMPERATURE* USING TAGUCHI METHOD

Zakaria Gunada<sup>1</sup>, Haris Rachmat<sup>2</sup>, Deni Sukma Eka Atmaja<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[zakariagunada@telkomuniversity.ac.id](mailto:zakariagunada@telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[harisrachmat@telkomuniveristy.co.id](mailto:harisrachmat@telkomuniveristy.co.id),

<sup>3</sup>[dennysukma@telkomuniversity.ac.id](mailto:dennysukma@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

Salah satu hal yang terpenting dalam proses pemotongan adalah *cutting temperature*. Kenaikan suhu tinggi dapat mempengaruhi proses pemotongan dalam hal sifat material seperti *modulus young*, koefisien *ekspansi termal*, panas spesifik dan *konduktivitas termal*. Suhu berlebih dapat berdampak buruk pada umur pahat dan bentuk dimensi permukaan material sehingga akan memperpendek *tool life* dan memperbesar biaya produksi. UVAT telah terbukti mampu menghasilkan *cutting temperature* yang rendah dibandingkan dengan pemesian konvensional. Pada studi ini proses optimasi dilakukan menggunakan UVAT holder. Parameter pemesinan memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya *temperature*. Dalam studi ini metode Taguchi digunakan untuk mendapatkan parameter pemesinan yang optimal. Parameter yang digunakan ada empat yaitu (*spindle speed*, *feedrate*, *depth of cut*) dan ada penambahan getaran (*frekuensi*). Material Al 6061 dipilih dengan proses pemesinan berdasarkan *orthogonal array* L<sub>27</sub> (3<sup>4</sup>). Data *temperature* minimum diperoleh berdasarkan perhitungan *S/N Ratio* yaitu parameter *spindle speed* = 635 Rpm, *feedrate* = 0,17 mm/min, *depth of cut* = 0,1 mm dan frekuensi = 20.000 Khz. Berdasarkan Uji ANOVA parameter yang mempengaruhi yaitu *spindle speed* sebesar 60,47% selanjutnya untuk *feedrate* sebesar 24,67% untuk *depth of cut* sebesar 12,35% dan frekuensi sebesar 0,01%.

**Kata Kunci:** UVAT, *temperature*, UVAT holder, Metode Taguchi

#### Abstract

One of the most important things in the cutting process is cutting temperature. High temperature rise can affect the cutting process in terms of material properties such as modulus young, coefficient of thermal expansion, specific heat and thermal conductivity. Overheating can adversely affect tool life and shape dimensions of material surfaces, which will shorten tool life and increase production costs. UVAT has been shown to be able to produce lower cutting temperatures compared to conventional machining. In this study the optimization process is carried out using a UVAT holder. Machining parameters give effect to the size of the temperature. In this study the Taguchi method is used to obtain optimal machining parameters. The parameters used are four, namely (*spindle speed*, *feedrate*, *depth of cut*) and there are additional vibrations (*frequency*). Material Al 6061 is selected by machining process based on *orthogonal array* L<sub>27</sub> (3<sup>4</sup>). Minimum temperature data is obtained based on S / N Ratio calculation, namely *spindle speed* = 635 Rpm, *feedrate* = 0.17 mm / min, *depth of cut* = 0.1 mm and *frequency* = 20,000 Khz. Based on ANOVA Test parameters that affect the *spindle speed* of 60.47% then for the *feedrate* of 24.67% for a *depth of cut* of 12.35% and a *frequency* of 0.01%.

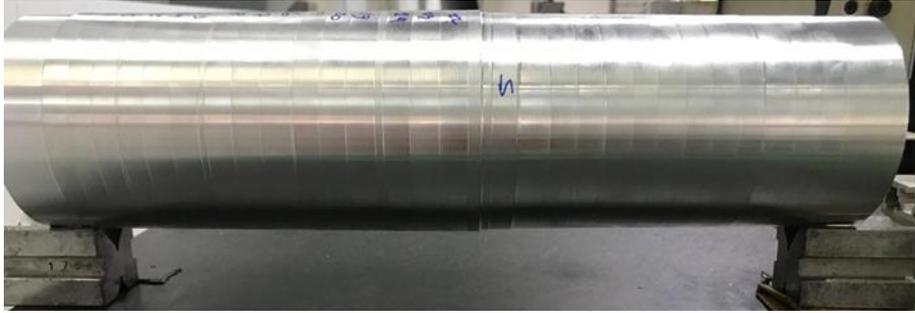
**Key word:** UVAT, *temperature*, UVAT holder, Taguchi Method

#### 1. Pendahuluan

Sehubungan dengan industri nasional, pemerintah tidak dapat mengabaikan sektor manufaktur, yang memberikan kontribusi signifikan bagi industri nasional secara keseluruhan. Kekuatan industri manufaktur terletak pada produk industri dalam bentuk barang yang dapat dipasarkan [1]. Pada saat ini industri melakukan upaya untuk memperkenalkan *fleksibilitas* sebagai strategi mereka untuk beradaptasi dengan pasar kompetitif yang selalu berubah. Mengurangi biaya permesinan dan meningkatkan efektivitas permesinan sangat penting untuk memilih variabel permesinan [2].

Variabel permesinan terdiri dari menentukan parameter proses yaitu kecepatan potong, *feed rate* dan *depth of cut*. Tujuan untuk mengukur optimalisasi pemesinan meliputi: biaya produksi, *unit minimum*, tingkat produksi maksimum, tingkat keuntungan maksimum dan kombinasi dari beberapa fungsi. Batasan pemotongan yang harus dipertimbangkan yaitu umur pakai alat, gaya potong, pemotongan yang stabil, antarmuka alat *chip*, kendala permukaan, dan hubungan parameter *roughing* dan *finishing* [3]. Dalam teknologi UAM, khususnya pada operasi turning, proses pemotongan yang memisahkan pahat dari benda kerja melalui getaran frekuensi tinggi. Pada tujuannya, membantu menghilangkan panas yang dihasilkan dalam proses pemotongan seperti ditunjukkan pada gambar 1[4].





Gambar 2 *workpiece* yang sudah dibuat *undag-undagan*

2. Posisikan *workpiece* pada *chuck* turning, lalu buat *centre point* pada *workpiece*. Dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 posisi *workpiece*

3. Pasangkan *piezoelectric* pada *simplified holder* dengan baut dan atur posisi *piezzo* tepat ditengah. Lalu tempatkan holder ke posisi *toolpost* pada pemesinan turning. Dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Posisi Holder Pada *Toolpost*

4. Aktifkan *amplifier* dan atur getaran *frekuensi* setiap satu kali percobaan sesuai dengan kombinasi *orthogonal array*. Bisa dilihat pada Gambar 5



Gambar 5 Amplifier

- Melakukan *setup* percobaan frekuensi pada *simplified holder* sebelum melakukan proses pemotongan. *Simplified holder* ditempatkan pada *clamp* lalu posisikan *Digital Dial Gauge* tepat di ujung *insert holder*. Setelah itu, aktifkan *amplifier*. Didapatkan pada frekuensi 20.000 Khz *dial* menunjukkan angka 3  $\mu\text{m}$ , ini membuktikan bahwa frekuensi berjalan dengan baik. Dapat dilihat pada Gambar 6

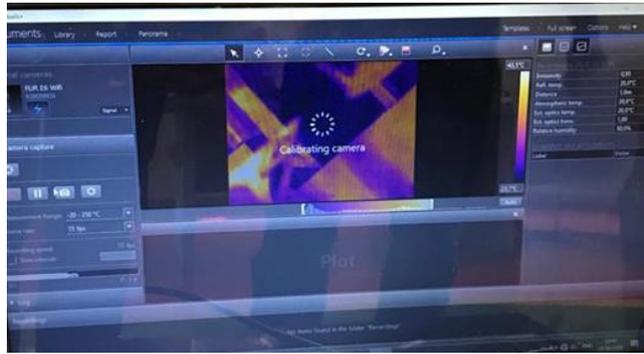


Gambar 6 Pengukuran Frekuensi

- Posisikan kamera *infrared Flir E6* disamping *tool post* dengan bantuan alat bantu yang bertujuan untuk menyesuaikan posisi kamera dengan area pemotongan bisa dilihat pada Gambar 7 lalu hubungkan kamera *Flir E6* dengan laptop/PC dan jalankan software *Flir Tools*. Bisa dilihat pada Gambar 8 lalu lakukan *setup* pada *software* dengan menggantikan *emisifity* menjadi 0,41 (berdasarkan kalibrasi) dan mengubah suhu atmosfer sesuai dengan kondisi pada saat penelitian.



Gambar 7 Posisi Kamera Flir E6



Gambar 8 Interface Software Flir E6

7. Nyalakan mesin turning dan atur tuas mesin sesuai dengan parameter percobaan yang akan dilakukan. Bisa dilihat pada Gambar 9



Gambar 9 Tuas Mesin Turning

8. Siapkan pengukur temperature jenis *lutron BTM-4208SD* dan posisikan pada area pemotongan. Tunggu selama kurang lebih 10 detik, lalu ambil nilai suhu terakhir dan inputkan suhu ke dalam *software Flir tools* pada atmosfer suhu. Bisa dilihat pada Gambar 8



Gambar 10 Pengukuran Suhu Pada Area Pemotongan

9. Lakukan proses percobaan sebanyak 27 kali untuk holder konvensional dan 27 kali untuk *simplified holder* dengan step yang sama

Desain eksperimen berdasarkan Taguchi dengan pemilihan faktor dan level disesuaikan dengan kemampuan mesin yang digunakan. Tabel 1 menunjukkan faktor yang dipertimbangkan dan masing-masing level.

Tabel 1 Faktor dan Level

Variabel Proses	Level			Satuan
	Low	Medium	High	
<i>Spindle Speed (Vc)</i>	635	855	1350	rpm
<i>Feed Rate (Fr)</i>	0.17	0.21	0.24	mm/min
<i>Depth of Cut (DoC)</i>	0.1	0.15	0.2	mm
Frekuensi	18	20	22	KHz

Pengukuran cutting temperature dilakukan selama proses eksperimen sebanyak 27 sesuai dengan *orthogonal array* dengan menggunakan kamera inframerah (*FLIR E6 + software Flir Tools*). Kamera inframerah diposisikan dengan kemiringan tertentu terhadap objek ( $45^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ ). Hal ini dilakukan untuk menghindari terhalangnya kamera dari chip. Pengaturan kamera inframerah menggunakan emissivity sebesar 0,41 (berdasarkan kalibrasi) dan suhu atmosfer diubah sesuai dengan percobaan.

### 3. Hasil Eksperimen dan Pembahasan

Pelaksanaan penelitian ini menggunakan mesin turning konvensional tipe *Winho S530X1000* dengan material dural Al 6061 dan *insert carbida* yang dilapisi *coated*. Pada eksperimen ini membandingkan antara 2 jenis tools berbeda yaitu tools konvensional dan *simplified tools*. Eksperimen ini menggunakan proses *cylindrical turning* dengan mesin turning konvensional. Eksperimen yang dilakukan sebanyak 27 kali untuk holder konvensional dan 27 kali untuk *simplified holder* menurut perhitungan *orthogonal array* dengan nilai variabel yang sudah ditentukan sebelumnya. Hasil dari eksperimen berupa nilai *cutting temperature* dari holder konvensional dan UVAT dengan nilai *S/n ratio*. Tujuan menganalisis dua holder yang berbeda yaitu ingin membuktikan apakah hasil dari *simplified holder* lebih baik atau tidak. Setelah melakukan percobaan sebanyak 27 kali didapatkan data hasil eksperimen dari holder konvensional dan *simplified holder*.

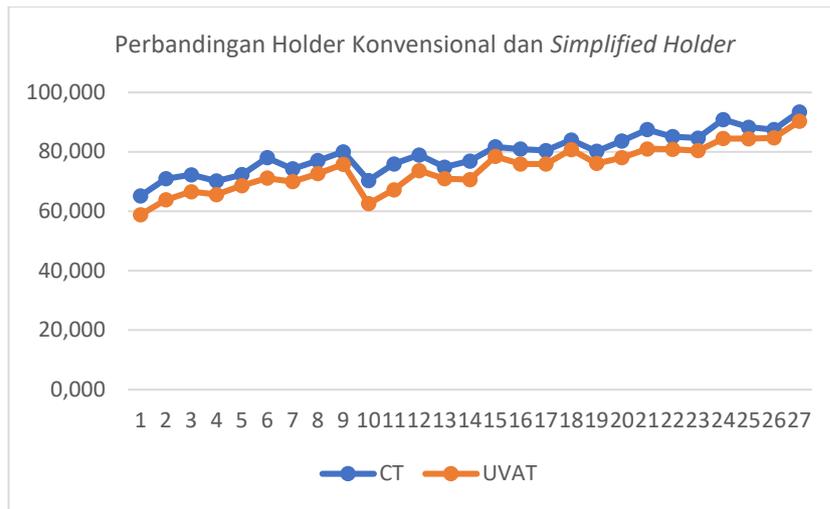
Tabel 2 Hasil Eksperimen Holder Konvensional

No	<i>Spindle Speed (Rpm)</i>	<i>Feed rate (mm)</i>	<i>Depth of Cut (mm)</i>	<i>Temperature (C)</i>	<i>SN Ratio</i>
1	655	0,17	0,1	65,173	-36,2813
2	655	0,17	0,15	70,919	-37,0153
3	655	0,17	0,2	72,255	-37,1773
4	655	0,21	0,1	70,178	-36,924
5	655	0,21	0,15	72,322	-37,1854
6	655	0,21	0,2	77,988	-37,8405
7	655	0,24	0,1	74,247	-37,4136
8	655	0,24	0,15	77,029	-37,733
9	655	0,24	0,2	80,017	-38,0636
10	855	0,17	0,1	70,314	-36,9408
11	855	0,17	0,15	75,923	-37,6075
12	855	0,17	0,2	78,919	-37,9436
13	855	0,21	0,1	74,823	-37,4807
14	855	0,21	0,15	76,907	-37,7193
15	855	0,21	0,2	81,683	-38,2426
16	855	0,24	0,1	80,937	-38,1629
17	855	0,24	0,15	80,441	-38,1096

18	855	0,24	0,2	83,946	-38,48
19	1350	0,17	0,1	80,175	-38,0808
20	1350	0,17	0,15	83,662	-38,4506
21	1350	0,17	0,2	87,468	-38,837
22	1350	0,21	0,1	85,100	-38,5986
23	1350	0,21	0,15	84,641	-38,5516
24	1350	0,21	0,2	90,848	-39,1663
25	1350	0,24	0,1	88,256	-38,9149
26	1350	0,24	0,15	87,477	-38,8379
27	1350	0,24	0,2	93,439	-39,4106

Tabel 3 Hasil Eksperimen Holder Konvensional

<i>Spindle Speed</i>	<i>Feedrate</i>	<i>Depth of Cut</i>	<i>Frekuensi</i>	<i>Temperature</i>	<i>SN Ratio</i>
655	0,17	0,1	18000	58,855	-35,3956
655	0,17	0,15	20000	63,829	-36,1004
655	0,17	0,2	22000	66,562	-36,4645
655	0,21	0,1	18000	65,624	-36,3412
655	0,21	0,15	20000	68,626	-36,7298
655	0,21	0,2	22000	71,112	-37,0388
655	0,24	0,1	18000	69,955	-36,8964
655	0,24	0,15	20000	72,658	-37,2257
655	0,24	0,2	22000	75,786	-37,5917
855	0,17	0,1	20000	62,559	-35,9258
855	0,17	0,15	22000	67,235	-36,5519
855	0,17	0,2	18000	73,682	-37,3472
855	0,21	0,1	20000	70,932	-37,0168
855	0,21	0,15	22000	70,641	-36,9811
855	0,21	0,2	18000	78,440	-37,8907
855	0,24	0,1	20000	75,932	-37,6085
855	0,24	0,15	22000	75,873	-37,6018
855	0,24	0,2	18000	80,739	-38,1417
1350	0,17	0,1	22000	76,081	-37,6255
1350	0,17	0,15	18000	78,006	-37,8425
1350	0,17	0,2	20000	80,944	-38,1636
1350	0,21	0,1	22000	80,862	-38,1549
1350	0,21	0,15	18000	80,366	-38,1015
1350	0,21	0,2	20000	84,479	-38,5349
1350	0,24	0,1	22000	84,384	-38,5252
1350	0,24	0,15	18000	84,674	-38,555
1350	0,24	0,2	20000	90,265	-39,1104



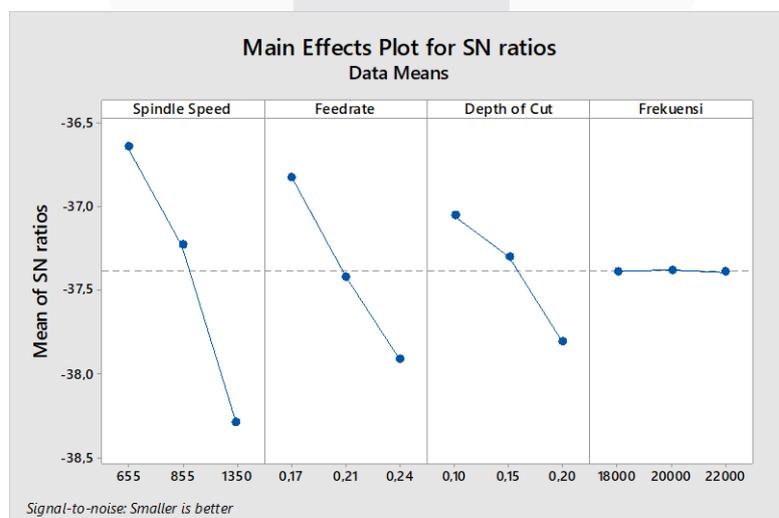
Gambar 4 Hasil Perbandingan Holder Konvensional dan Simplified Holder

Dapat disimpulkan bahwa nilai temperature pada simplified holder lebih kecil daripada holder konvensional. Hal ini membuktikan bahwa simplified holder memiliki hasil lebih baik dibandingkan holder konvensional.

Tabel 4 Hasil Uji ANOVA Model Cutting Temperature

Level	Spindle Speed	Feedrate	Depth of Cut	Frekuensi
1	-36,64	-36,82	-37,05	-37,39
2	-37,23	-37,42	-37,30	-37,38
3	-38,29	-37,92	-37,81	-37,39
Delta	1,65	1,09	0,75	0,01
Rank	1	2	3	4

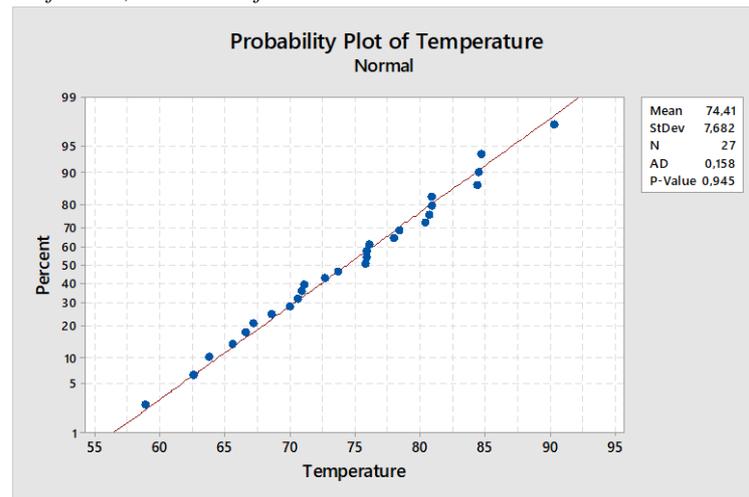
S/N Ratio pada simplified holder untuk masing-masing level yang bertujuan untuk mengetahui level optimum pada setiap faktor. Nilai S/N Ratio setiap level didapatkan dari penjumlahan nilai S/N Ratio eksperimen, dan selanjutnya dihitung rata-rata dari hasil penjumlahan tersebut. Perhitungan S/N Ratio per level dilakukan menggunakan bantuan software Minitab 18 pada Tabel 4. Dari hasil Uji ANOVA menyatakan bahwa parameter spindle speed sangat berpengaruh besar terhadap hasil dari temperature, diikuti dengan parameter feedrate, depth of cut dan frekuensi



Gambar 5 Nilai Optimum S/N Ratio

Penentuan titik optimum diperoleh dari perhitungan S/N Ratio per level pada simplified holder didapatkan dari Tabel 4 pemilihan level optimum dilihat dari grafik nilai S/N Ratio yang paling tinggi dari masing-masing parameter. Dapat

dilihat pada Tabel 4 pada Gambar 5 tersebut nilai optimum dari setiap parameter yaitu *spindle speed* 635/Rpm, *feedrate* 0,17/mm, *Depth of Cut* 0,10/mm dan *frekuensi* 20.000 Khz.



Gambar 6 Hasil Uji Normalitas

Pada Gambar 4. 3 hasil dari uji normalitas menunjukkan nilai *P-value* sebesar 0.945 yang dimana nilai tersebut berada diatas nilai  $\alpha$  yaitu 0,05 menunjukkan bahwa data tersebut berdistribusi normal.

Tabel 5 Hasil Perhitungan ANOVA

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Spindle Speed	2	927,95	60,47%	927,948	463,974	218,52	0,000
Feedrate	2	378,58	24,67%	378,577	189,288	89,15	0,000
Depth of Cut	2	189,51	12,35%	189,508	94,754	44,63	0,000
Frekuensi	2	0,23	0,01%	0,227	0,113	0,05	0,948
Error	18	38,22	2,49%	38,219	2,123		
Total	26	1534,48	100,00%				

Dapat disimpulkan bahwa nilai *P-Value* untuk variabel *Spindle Speed* adalah 0,000, *Feedrate* 0,000, *Depth of Cut* 0,000 dan *frekuensi* 0,948. *Spindle speed*, *feedrate*, dan *Depth of Cut* variabel tersebut memperlihatkan efek yang signifikan dikarenakan nilai *P-Value* lebih kecil dari 0,05. Sedangkan nilai *P-value frekuensi* lebih besar dari 0,05 maka data tidak berdistribusi normal. Berdasarkan nilai kontribusi yang paling signifikan yaitu *Spindle Speed* kontribusi 60,47%, *Feedrate* kontribusi 24,67%, *Depth of Cut* kontribusi 12,35% dan *Frekuensi* kontribusi 0,01%.

#### 4. Kesimpulan

Parameter/faktor yang paling berpengaruh berdasarkan *rank* dari perhitungan *S/N Ratio* yaitu *spindle speed* dengan kontribusi 60,47%, *Feedrate* kontribusi 24,67%, *Depth of Cut* kontribusi 12,35% dan *Frekuensi* kontribusi 0,01%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa *spindle speed* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan *temperature* pada saat proses pemotongan. Berbeda dengan parameter *frekuensi* yang memiliki nilai *P-Value* lebih besar dari 0,05 yang menyatakan parameter *frekuensi* tidak berpengaruh signifikan terhadap *temperature*. Hal ini membuktikan bahwa *frekuensi* bukan merupakan pengaruh utama pada besar kecilnya nilai *temperature*. Dalam hal ini, desain dari *holder* pengaruh penting pada pengukuran *temperature*.

#### Reference

- [1] S. A. F. Silalahi, "Kondisi Industri Manufaktur Indonesia Dalam Menghadapi Globalisasi," *J. Ekon. dan Kebijakan. Publik*, vol. 5, no. 1, pp. 1–13, 2014.
- [2] D. M. D'Addona and R. Teti, "Genetic algorithm-based optimization of cutting parameters in turning processes," *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 323–328, 2013.
- [3] G. C. Onwubolu and T. Kumalo, "Optimization of multipass turning operations with genetic algorithms," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 39, no. 16, pp. 3727–3745, 2001.
- [4] Puga, Grilo, and Carneiro, "Ultrasonic Assisted Turning of Al alloys: Influence of Material Processing to Improve Surface Roughness," *Surfaces*, vol. 2, no. 2, pp. 326–335, 2019.
- [5] S. Sahu and B. B. Choudhury, "Optimization of Surface Roughness Using Taguchi Methodology & Prediction of Tool Wear in Hard Turning Tools," *Mater. Today Proc.*, vol. 2, no. 4–5, pp. 2615–2623, 2015.
- [6] S. Patil, S. Joshi, A. Tewari, and S. S. Joshi, "Modelling and simulation of effect of ultrasonic vibrations on machining of Ti6Al4V," *Ultrasonics*, vol. 54, no. 2, pp. 694–705, 2014.
- [7] M. A. Hadiyat, "Response-surface dan Taguchi : Sebuah alternatif atau kompetisi dalam optimasi secara praktis," *Semin. Nas. Ind. Madura*, pp. 134–139, 2012.