

**OPTIMASI PARAMETER *BENDING VIBRATION ASSISTED TURNING* (BVAT)
UNTUK MEMINIMALKAN *SURFACE ROUGHNESS* DAN *CUTTING TEMPERATURE*
DENGAN PENDEKATAN *RESPONSE SURFACE METHOD***

***OPTIMIZATION OF BENDING VIBRATION ASSISTED TURNING PARAMETERS
(BVAT) TO MINIMIZE SURFACE ROUGHNESS AND CUTTING TEMPERATURE WITH
RESPONSE SURFACE METHOD APPROACH***

Mario Adiprana Muki¹, Rino Andias Anugraha², Teddy Sjafrizal³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹marioadiprana@student.telkomuniversity.ac.id, ²rinoandias@telkomuniversity.ac.id,

³teddysjafrizal@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Bending Vibration Assisted Turning (BVAT) merupakan sebuah alternatif lanjutan proses pembubutan, dengan memanfaatkan gaya pemotongan yang dibantu dengan menggetarkan *tooltip*. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan menentukan parameter *Bending Vibration Assisted Turning* (BVAT) yang optimal untuk menghasilkan *cutting temperature* dan *surface roughness* yang rendah. Parameter yang dievaluasi adalah *spindle speed*, *feed rate*, *depth of cut* dan *frequency* pada VAT. Model dikembangkan dengan *Response Surface Method* (RSM) dari analisis *dataset* yang diperoleh dari serangkaian percobaan dirancang oleh *Box-Behnken Design* (BBD). Dalam kasus ini Al6061, respon BVAT yang optimal ditunjukkan pada *spindle speed* 635,991 rpm, *feed rate* 0,17 mm/rev, *frequency* 18 KHz dan *depth of cut* 0,11 mm. Pengaturan tersebut menghasilkan permukaan permesinan baru dengan kekasaran 2,04 μm dan perkiraan suhu pemotongan sebesar 77,1 °C.

Kata kunci: *bending vibration assisted turning, Al6061, response surface method, box-behnken design.*

Abstract

Bending Vibration Assisted Turning (BVAT) is an alternative advanced turning process, exploiting the cutting force assisted by vibrating the tooltip. This study aims to model and to determine the optimal parameters of *Bending Vibration Assisted Turning* (BVAT) in producing low cutting temperatures and surface roughness. The evaluated parameters were spindle speed, feed rate, depth of cut, and frequency of the VAT. The model was developed by *Response Surface Method* (RSM) from analyzing the dataset obtained from a series of experiments designed by *Box-Behnken Design* (BBD). In the case of Al6061 alloy, the optimal BVAT response was exhibited at spindle speed of 635.991 rpm, feed rate of 0.17 mm/rotation, frequency of 18 KHz, and depth of cut of 0.11 mm. This setup produced a new machined surface with typical roughness of 2.04 μm and an estimated cutting temperature of 77.1° C.

Keywords: *bending vibration assisted turning, Al6061, response surface method, box-behnken design.*

1. Pendahuluan

Pembubutan merupakan salah satu proses permesinan yang sudah menjadi bagian dari industri manufaktur sejak revolusi industri. Untuk menghasilkan hasil yang baik tidak hanya berpedoman pada buku panduan. Kualitas akan mencerminkan semua dimensi penawaran produk yang menghasilkan manfaat bagi pelanggan [1]. Pemilihan parameter untuk mencapai pemotongan kualitas yang optimal akan mempengaruhi kekasaran permukaan, keausan pahat dan konsumsi daya [2]. Parameter *feed rate*, *cutting speed*, *depth of cut* akan mempengaruhi hasil dari proses permesinan. Pada penelitian [3] proses pembubutan dengan menggunakan paduan seri EN-31 akan menghasilkan kenaikan *temperature* pada pahat potong. Kenaikan *temperature* pahat potong dapat dikurangi dengan menggunakan pelumasan (*coolant*) bertekanan tinggi berhasil mengurangi *cutting temperature* dan *surface roughness*) [4]. Tetapi penggunaan pelumasan tidak direkomendasikan sebagai upaya untuk menciptakan *green manufacturing*.

Alternatif untuk mendukung upaya meminimalkan *cutting temperature* dan *surface roughness* adalah *Vibration assisted turning* (VAT) [5]. Menurut penelitian [6] penggunaan VAT menghasilkan kekasaran permukaan 12 % lebih baik di banding *Conventional turning*. Penelitian mengenai vat semakin berkembang, sehingga pada tahun 1994 Shamoto dan Moriwaki memperkenalkan *Elliptical Vibration Turning* [7]. *Elliptical Vibration Turning* direkomendasikan juga untuk material yang keras dan sulit dipotong (*difficult-to cut materials*) [8]. Parameter VAT seperti frekuensi dan amplitudo harus dipertimbangkan, bukan hanya *cutting speed*, *depth of cut* maupun *feed rate*. Penelitian [9] membuktikan bahwa ketika amplitudo sebesar 23 μm menghasilkan *surface roughness* yang lebih baik.

Untuk menentukan parameter dan menghasilkan *surface roughness* dan *cutting temperature* yang optimal tidak hanya menggunakan buku panduan serta pengalaman operator. Maka model prediksi sangat direkomendasikan [10].

Respon Surface Methodology (RSM) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon [11]. Metode ini sudah banyak digunakan untuk mengoptimasi, [12] juga meneliti material AISI 52100 *Alloy steel* dengan pahat multilayer coated carbide (TiN/TiCN/Al₂O₃/TiN) juga membuktikan bahwa respon *surface methodology* mampu mengoptimasi *cutting temperature* dan [13] dalam jurnalnya telah berhasil mengoptimasi aluminium 6063 serta memodelkan *cutting temperature*, *cutting force* dan *surface roughness* dengan material aluminium 6063 dan hasilnya dapat mengurangi suhu pemotongan sampai 64,26 %. [14] Dalam penelitiannya menggunakan metode rsm mampu memodelkan serta mengoptimasi *surface roughness* dan *cutting temperature* *Longitudinal Vibration-Assisted Turning* (L-VAT) dengan material Al6061.

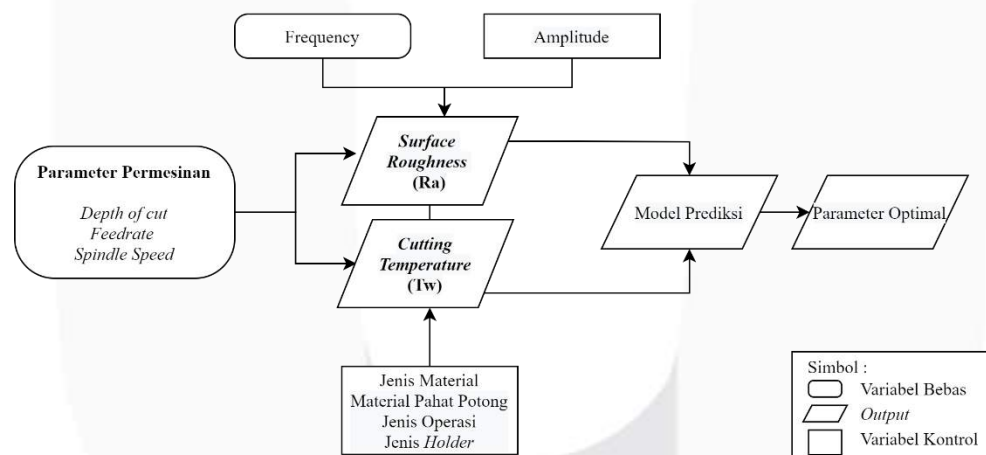
Penentuan jumlah eksperimen terdapat beberapa metode diantaranya Full Factorial Design (FFD), Box-Behnken Design (BBD), *Central Composite Design* (CCD), *Doehlert Matrix* (DM) dan *Palcket-Burman Design* (PBD) [15]. Menurut penelitian [16] *Behnken* (BBD) dan *Doehlert matrix* (DM) lebih efisien digunakan untuk 3 atau lebih faktor dibanding yang metode lainnya.

Berdasarkan uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa *Respon Surface Methodology* *Box-Behnken* untuk membuat model prediksi dan menghasilkan parameter yang optimal. Diharapkan dengan model dapat menyelesaikan masalah optimasi *surface roughness* dan *cutting temperature* pada *bending vibration assisted turning* (BVAT).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Prosedur

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa fokus pada studi ini adalah membuat model prediksi *surface roughness* dan *cutting temperature* serta menentukan parameter yang optimal. Parameter permesinan dan *frequency* sebagai variabel bebas yang digunakan sebagai faktor dalam pengukuran. Amplitudo, jenis material, material pahat potong, jenis operasi, jenis holder menjadi variabel pembatas yang dibuat konstan selama penelitian.



Gambar 1 Model Konseptual

2.2 Respons Surface Methodology

Berikut merupakan parameter yang digunakan dalam *bending vibration assisted turning* (BVAT). Pemilihan parameter pada tabel – berdasarkan resiko mesin.

Tabel 1. Faktor dan Level Eksperimen

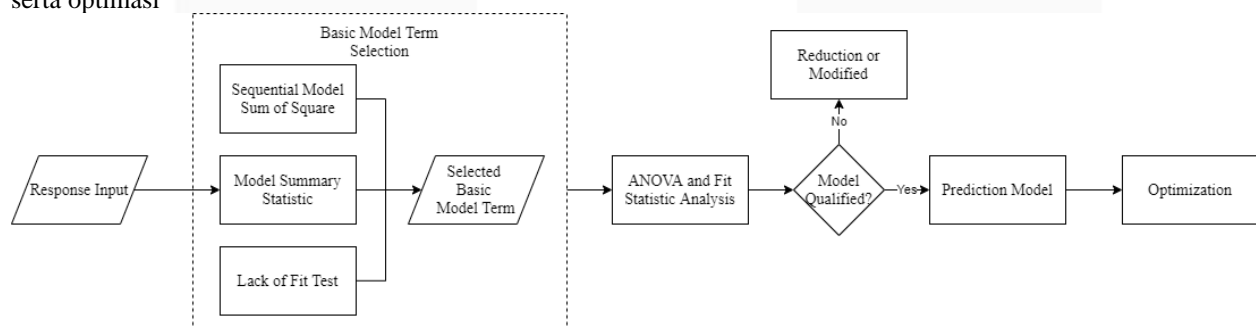
| Parameter Permesinan | Unit | Low | Medium | High |
|----------------------|--------|------|--------|------|
| <i>Spindel Speed</i> | m/min | 635 | 855 | 1350 |
| <i>Feed Rate</i> | mm/rev | 0,17 | 0,21 | 0,24 |
| <i>Frequency</i> | KHz | 18 | 20 | 22 |
| <i>Depth of Cut</i> | mm | 0,1 | 0,15 | 0,2 |

Prosedur eksperimen respon *surface methodology* (RSM) menggunakan *Box-Bhenken* dengan 28 kombinasi parameter. Kombinasi yang diperoleh didapatkan dengan bantuan software *design expert-11*.

Tabel 2. Prosedur Eksperimen

| Std | Parameter Permesinan | | | |
|-----|----------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| | Spindle Speed (rpm) | Feed Rate (mm/rev) | Frequency (KHz) | Depth of Cut (mm) |
| 1 | 635 | 0.17 | 20 | 0.15 |
| 2 | 1350 | 0.17 | 20 | 0.15 |
| 3 | 635 | 0.24 | 20 | 0.15 |
| 4 | 1350 | 0.24 | 20 | 0.15 |
| 5 | 855 | 0.21 | 18 | 0.1 |
| 6 | 855 | 0.21 | 22 | 0.1 |
| 7 | 855 | 0.21 | 18 | 0.2 |
| 8 | 855 | 0.21 | 22 | 0.2 |
| 9 | 635 | 0.21 | 20 | 0.1 |
| 10 | 1350 | 0.21 | 20 | 0.1 |
| 11 | 635 | 0.21 | 20 | 0.2 |
| 12 | 1350 | 0.21 | 20 | 0.2 |
| 13 | 855 | 0.17 | 18 | 0.15 |
| 14 | 855 | 0.24 | 18 | 0.15 |
| 15 | 855 | 0.17 | 22 | 0.15 |
| 16 | 855 | 0.24 | 22 | 0.15 |
| 17 | 635 | 0.21 | 18 | 0.15 |
| 18 | 1350 | 0.21 | 18 | 0.15 |
| 19 | 635 | 0.21 | 22 | 0.15 |
| 20 | 1350 | 0.21 | 22 | 0.15 |
| 21 | 855 | 0.17 | 20 | 0.1 |
| 22 | 855 | 0.24 | 20 | 0.1 |
| 23 | 855 | 0.17 | 20 | 0.2 |
| 24 | 855 | 0.24 | 20 | 0.2 |
| 25 | 855 | 0.21 | 20 | 0.15 |
| 26 | 855 | 0.21 | 20 | 0.15 |
| 27 | 855 | 0.21 | 20 | 0.15 |
| 28 | 855 | 0.21 | 20 | 0.15 |

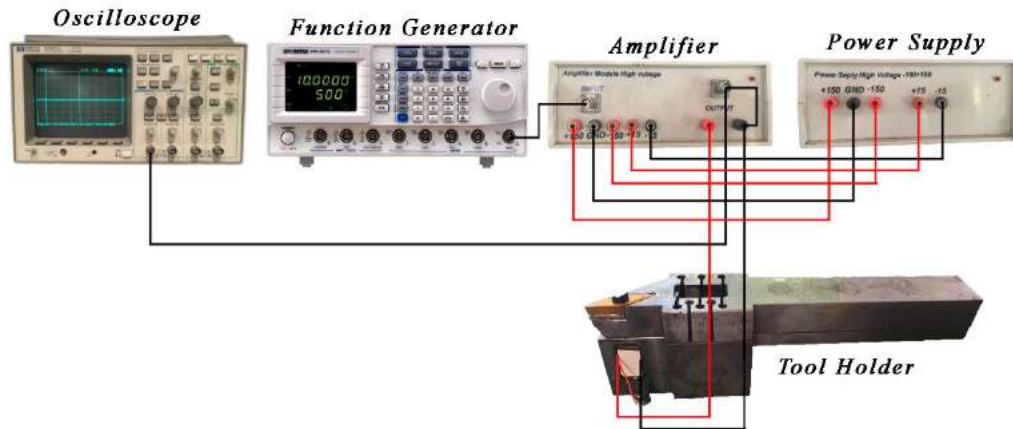
Setelah seluruh nilai variabel respon terpenuhi, maka selanjutnya adalah memasukkan seluruh data tersebut kedalam *software design expert-11* kemudian program akan melakukan memilih model yang akan digunakan dengan *basic model term* seperti *sequential model sum of square*, *model summary statistic* dan *lack of fit test* dapat dilihat pada gambar 2. Model yang terpilih berdasarkan perhitungan *Whitcome score* dan model yang disarankan oleh program akan bertanda “*suggested*”. Jika model rekomendasi program tidak memenuhi syarat pada *anova* dan *fit statistic analysis* maka model akan dilakukan modifikasi atau reduksi. Model yang memenuhi syarat akan menghasilkan model serta optimasi



Gambar 2 Proses Seleksi Model

2.3 Bending Vibration Assisted Turning (BVAT)

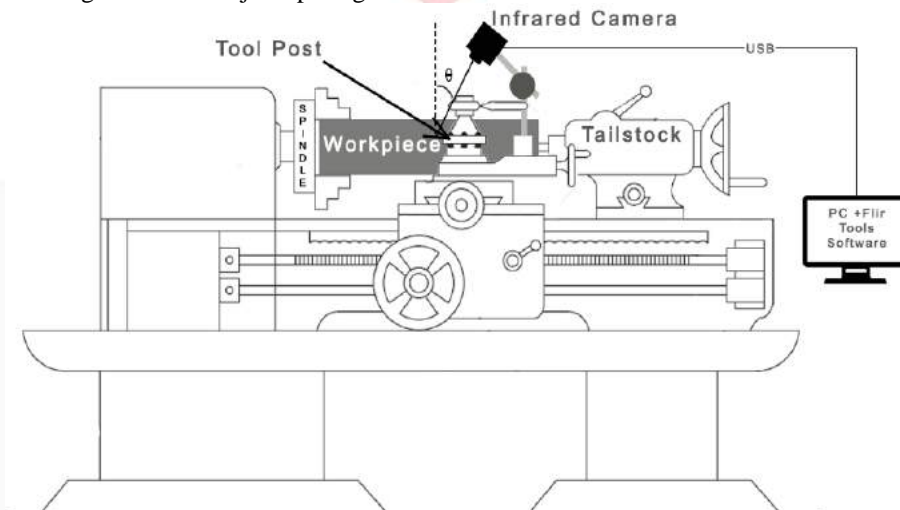
Schematic diagram vibration assisted tool menjelaskan bagaimana cara kerja *bending vibration assisted turning* (BVAT) menghasilkan getaran 18 KHz sampai 22 KHz seperti pada gambar 2.



Gambar 3 Schematic Diagram Vibration Assisted

2.4 Pengukuran Cutting Temperature

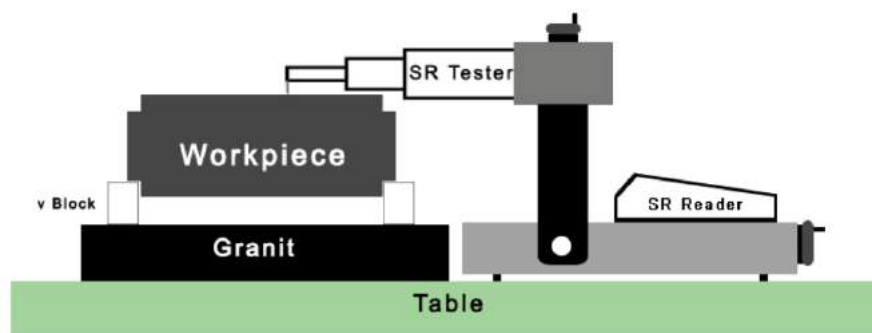
Cutting temperature diukur pada saat proses pengambilan eksperimen dengan Flir E6. Selama proses permesinan, Flir diposisikan pada kemiringan 45-60 derajat seperti gambar 3.



Gambar 4 Pengukuran Cutting Temperature

2.5 Pengukuran Surface Roughness

Pengukuran surface roughness dilakukan setelah dilakukannya eksperimen digunakan menggunakan Mituyo Surface SJ-410. Material diposisikan diatas granit seperti pada gambar 4. Pengukuran untuk satu kombinasi parameter dilakukan sebanyak tiga kali.

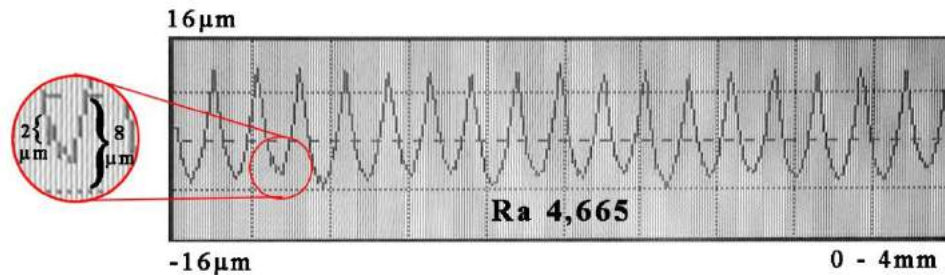


Gambar 5 Pengukuran Surface Roughness

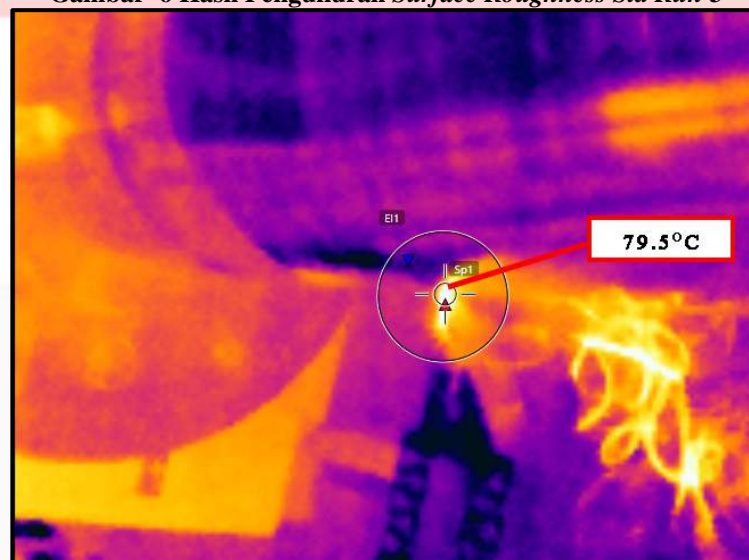
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Eksperimen

Pada tabel 3 dapat dilihat hasil respon *surface roughness* dan *cutting temperature* dari 28 kombinasi parameter. Eksperimen dilakukan pada mesin turing WINHO S530X1000 dengan material aluminium *alloy* 6061. Hasil kombinasi menunjukkan bahwa *std run* 13 memiliki kekasaran permukaan paling rendah 1,801 μm dan paling tinggi pada *std run* 24 sebesar 4,766 μm , sedangkan kombinasi yang memiliki suhu pemotongan yang rendah pada *std run* 6 dengan suhu 77,01 $^{\circ}\text{C}$ dan suhu tertinggi pada *std run* 2 sebesar 101,70 $^{\circ}\text{C}$. Gambar 6 memperlihatkan hasil pengukuran *surface roughness* dan gambar 7 memperlihatkan pengukuran *cutting temperature*.



Gambar 6 Hasil Pengukuran *Surface Roughness Std Run 3*



Gambar 7 Pengukuran *Cutting Temperature Std Run 6*

Tabel 3. Hasil Eksperimen

| Std Run | Parameter Permesinan | | | | Response Variables | |
|---------|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------------|--------------------------|
| | Spindle Speed (rpm) | Feed Rate (mm/rev) | Depth of Cuts (mm) | Frequency (KHz) | Surface Roughness (Ra) | Cutting Temperature (Tw) |
| 1 | 635 | 0.17 | 20 | 0.15 | 2.197 | 80.7398 |
| 2 | 1350 | 0.17 | 20 | 0.15 | 1.96833 | 94.8277 |
| 3 | 635 | 0.24 | 20 | 0.15 | 4.66467 | 89.0185 |
| 4 | 1350 | 0.24 | 20 | 0.15 | 4.37 | 95.2567 |
| 5 | 855 | 0.21 | 18 | 0.1 | 3.376 | 78.1185 |
| 6 | 855 | 0.21 | 22 | 0.1 | 3.761 | 77.1017 |
| 7 | 855 | 0.21 | 18 | 0.2 | 3.37867 | 91.969 |
| 8 | 855 | 0.21 | 22 | 0.2 | 3.566 | 85.8299 |
| 9 | 635 | 0.21 | 20 | 0.1 | 3.224 | 82.2541 |
| 10 | 1350 | 0.21 | 20 | 0.1 | 3.50833 | 85.8139 |
| 11 | 635 | 0.21 | 20 | 0.2 | 2.986 | 85.8105 |
| 12 | 1350 | 0.21 | 20 | 0.2 | 3.268 | 101.775 |
| 13 | 855 | 0.17 | 18 | 0.15 | 1.801 | 79.3395 |
| 14 | 855 | 0.24 | 18 | 0.15 | 4.403 | 81.4189 |
| 15 | 855 | 0.17 | 22 | 0.15 | 1.93833 | 78.6762 |
| 16 | 855 | 0.24 | 22 | 0.15 | 4.35967 | 83.9831 |
| 17 | 635 | 0.21 | 18 | 0.15 | 2.81967 | 82.0315 |
| 18 | 1350 | 0.21 | 18 | 0.15 | 3.41033 | 94.7541 |
| 19 | 635 | 0.21 | 22 | 0.15 | 3.23533 | 82.4982 |
| 20 | 1350 | 0.21 | 22 | 0.15 | 3.331 | 89.9711 |

| | | | | | | |
|----|-----|------|----|------|---------|---------|
| 21 | 855 | 0.17 | 20 | 0.1 | 2.683 | 81.9671 |
| 22 | 855 | 0.24 | 20 | 0.1 | 4.40267 | 85.0013 |
| 23 | 855 | 0.17 | 20 | 0.2 | 2.494 | 80.9501 |
| 24 | 855 | 0.24 | 20 | 0.2 | 4.766 | 85.5943 |
| 25 | 855 | 0.21 | 20 | 0.15 | 3.67033 | 78.7877 |
| 26 | 855 | 0.21 | 20 | 0.15 | 3.329 | 84.2727 |
| 27 | 855 | 0.21 | 20 | 0.15 | 3.32667 | 77.8501 |
| 28 | 855 | 0.21 | 20 | 0.15 | 3.38233 | 98.0403 |

Hasil eksperimen diatas selanjutnya dilakukan dengan melakukan pemilihan model berdasarkan beberapa uji diantaranya jumlah kuadrat dari urutan model (*Sequential Model Sum of Squares*), pengujian ketidaktepatan model (*Lack of Fit Tests*) dan ringkasan model secara statistik (*Model Summary Statistics*).

Tabel 4 menunjukkan *fit summary* dari *surface roughness* model linier terpilih menjadi model prediksi. *Sequential p-value* <0,00001 yang berarti peluang kesalahan model kurang dari 5 %. Nilai *Adjusted R²* dengan *Predicted R²* memiliki perbedaan kurang dari 0,2 berarti nilai *adjusted R²* masih dalam batas wajar dengan *predicted R²*. *Lack of fit* 0,2130 (>0,1) yang menunjukkan ketidaksesuaian model tidak berpengaruh terhadap respon.

Tabel 4. Fit Summary Surface Roughness

| Source | Sequential p-value | Lack of Fit p-value | Adjusted R ² | Predicted R ² | |
|-----------|--------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| Linear | < 0,0001 | 0,2130 | 0,8930 | 0,8614 | Suggested |
| 2FI | 0,9433 | 0,1558 | 0,8679 | 0,7383 | |
| Quadratic | 0,0802 | 0,2250 | 0,9050 | 0,7446 | |
| Cubic | 0,6639 | 0,1029 | 0,8871 | -2,3963 | Aliased |

Tabel 5. Fit Summary Cutting Temperature

| Source | Sequential p-value | Lack of Fit p-value | Adjusted R ² | Predicted R ² | |
|-----------|--------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| Linear | 0,0011 | 0,9955 | 0,4547 | 0,3769 | Suggested |
| 2FI | 0,8076 | 0,9913 | 0,3708 | 0,1966 | |
| Quadratic | 0,4028 | 0,9971 | 0,3835 | 0,1602 | |
| Cubic | 0,9826 | 0,9323 | -0,2408 | -1,5745 | Aliased |

Pada tabel 5 dapat dilihat juga, bahwa model linier juga terpilih sebagai model prediksi. *Sequential p-value* 0,0011 yang berarti peluang kesalahan model kurang dari 5 %. Kemudian perbedaan antara *Adjusted R²* dengan *Predicted R²* kurang dari 0,2 berarti nilai *adjusted R²* masih dalam batas wajar dengan *predicted R²*. *Lack of fit* 0,2130 (>0,1) yang menunjukkan ketidaksesuaian model tidak berpengaruh terhadap respon.

3.2 Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA digunakan untuk menganalisis data yang diperoleh dengan melihat berapa banyak variasi dari suatu eksperimen dengan berbagai tingkat faktor, biasanya dua atau lebih faktor. *Lack of fit* bertujuan untuk mengetahui ketidaksesuaian data respon dari model yang dihasilkan.

Tabel 6. Anova Surface Roughness

| Source | Sum of Squares | df | Mean Square | F-value | p-value | |
|-----------------|----------------|----|-------------|---------|----------|-----------------|
| Model | 16,01 | 4 | 4,00 | 57,34 | < 0,0001 | significant |
| A-Spindle Speed | 0,0037 | 1 | 0,0037 | 0,0527 | 0,8204 | |
| B-Feed Rate | 15,90 | 1 | 15,90 | 227,79 | < 0,0001 | |
| C-Frequency | 0,0838 | 1 | 0,0838 | 1,20 | 0,2846 | |
| D-Depth of Cut | 0,0205 | 1 | 0,0205 | 0,2941 | 0,5928 | |
| Residual | 1,61 | 23 | 0,0698 | | | |
| Lack of Fit | 1,52 | 20 | 0,0762 | 2,83 | 0,2130 | not significant |
| Pure Error | 0,0809 | 3 | 0,0270 | | | |
| Cor Total | 17,62 | 27 | | | | |

Tabel 7. Anova Cutting Temperature

| Source | Sum of Squares | df | Mean Square | F-value | p-value | |
|-----------------|----------------|----|-------------|---------|---------|-------------|
| Model | 634,93 | 4 | 158,73 | 6,63 | 0,0011 | significant |
| A-Spindle Speed | 430,82 | 1 | 430,82 | 17,99 | 0,0003 | |

| | | | | | | |
|-----------------------|---------|----|--------|--------|--------|------------------------|
| <i>B-Feed Rate</i> | 50,29 | 1 | 50,29 | 2,10 | 0,1608 | |
| <i>C-Frequency</i> | 7,63 | 1 | 7,63 | 0,3188 | 0,5778 | |
| <i>D-Depth of Cut</i> | 144,71 | 1 | 144,71 | 6,04 | 0,0219 | |
| <i>Residual</i> | 550,80 | 23 | 23,95 | | | |
| <i>Lack of Fit</i> | 290,78 | 20 | 14,54 | 0,1677 | 0,9955 | <i>not significant</i> |
| <i>Pure Error</i> | 260,02 | 3 | 86,67 | | | |
| <i>Cor Total</i> | 1185,73 | 27 | | | | |

Berdasarkan tabel 6 dapat dilihat bahwa *feed rate* memiliki dampak yang signifikan terhadap *surface roughness* dengan p-value <0,0001. Faktor yang memiliki dampak yang signifikan terhadap *cutting temperature* adalah *spindle speed* dan *depth of cut*

3.3 Model RSM

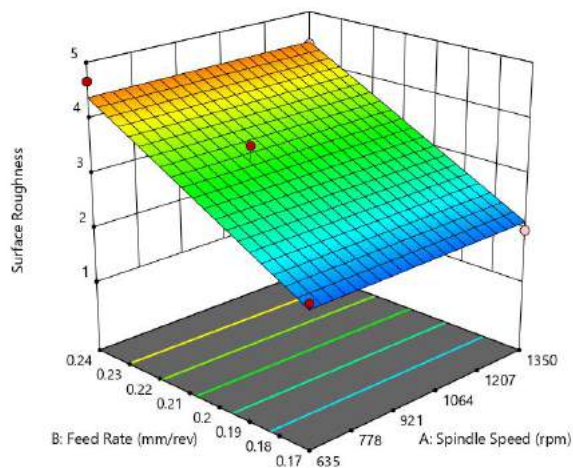
Model yang terpilih untuk mengoptimasi *surface roughness* dan *cutting temperature* adalah model linear. *Surface roughness* memiliki standar deviasi 0,2642 sedangkan model *cutting temperature* memiliki standar deviasi 4,89. Model yang dihasilkan kedua respon adalah sebagai berikut:

$$Ra = -4.20775 + 0.000047 * Spindle Speed + 32.6997 * Feed Rate + 0.0417778 * Frequency + (-0.827222 * Depth of Cut) \quad (1)$$

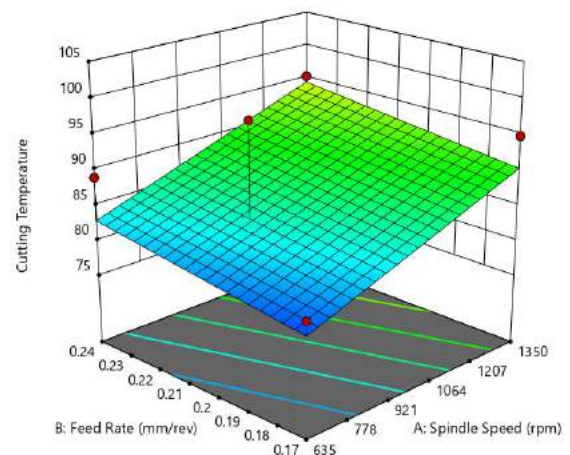
$$Tw = 56.25 + 0.016094 * Spindle Speed + 58.1504 * Feed Rate + (-0.398811 * Frequency) + 69.4534 * Depth of Cut \quad (2)$$

Keterangan :

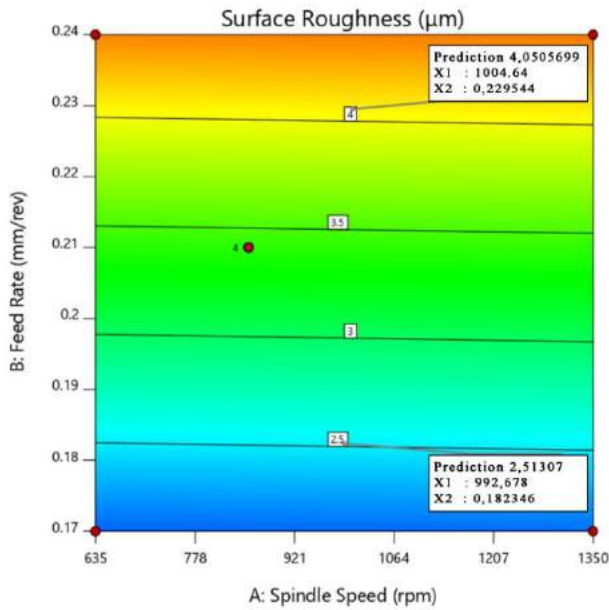
- Ra : *Surface Roughness*
- Tw : *Cutting Temperature*



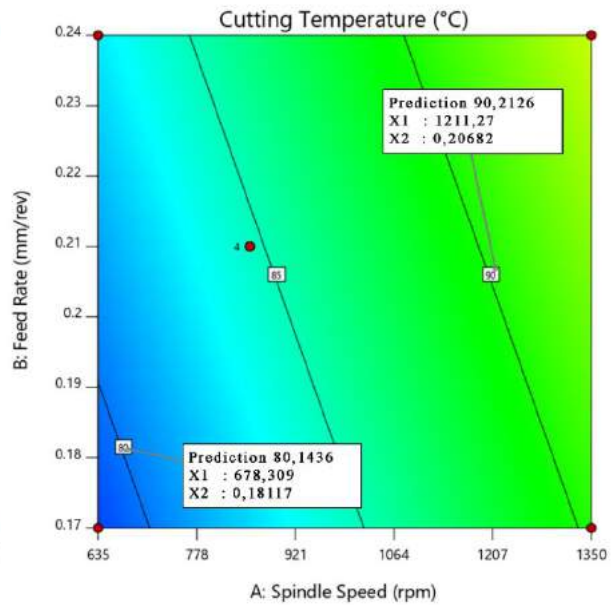
Gambar 8 Grafik 3D Respon *Surface Roughness*



Gambar 9 Grafik 3D Respon *Cutting Temperature*



Gambar 10 Grafik 2D Surface Roughness

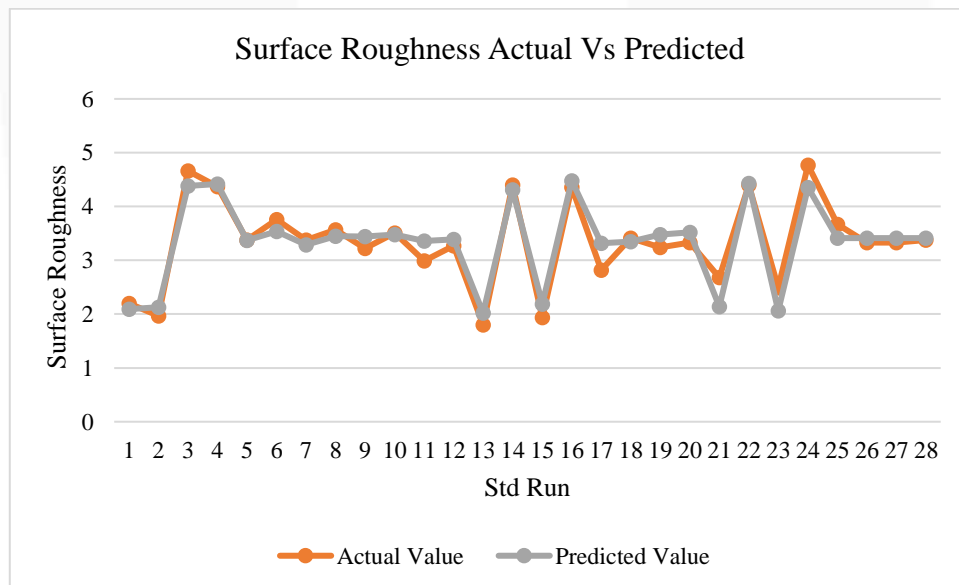


Gambar 11 Grafik 2D Cutting Temperature

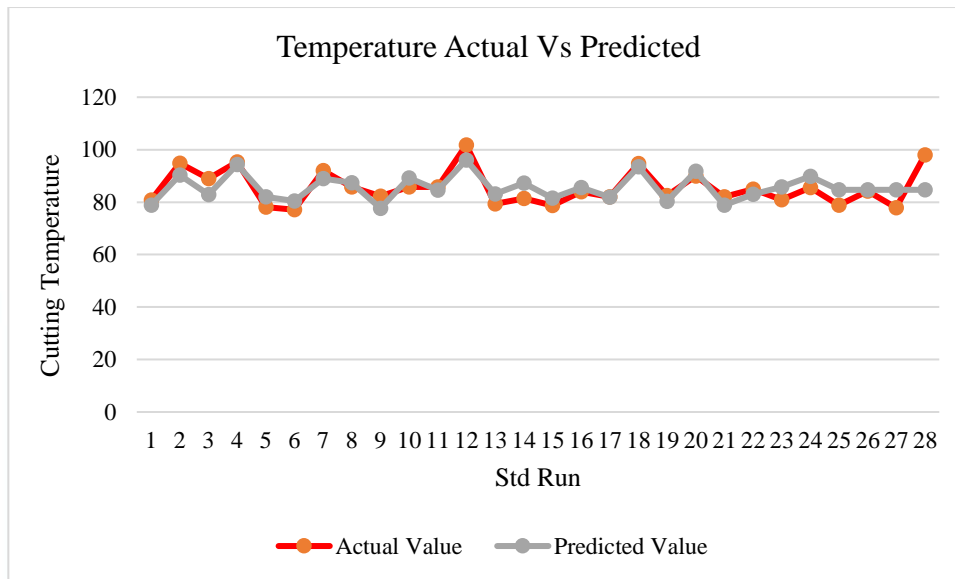
Gambar 8, 9, 10 dan 11 memperlihatkan hubungan antara *spindle speed* dan *feed rate* terhadap respon *surface roughness* dan *cutting temperature* pada saat *frequency* 20 KHz dan *depth of cut* 0,15 mm. gambar. Nilai prediksi respon *surface roughness* paling rendah adalah 2,51307 µm dengan *feed rate* pada 0,182346 mm/rev dan *spindle speed* pada 992,678 rpm, sedangkan prediksi respon tinggi sebesar 4,0505699 µm dengan *spindle speed* pada 1004,64 rpm dan *feed rate* pada 0,229544 mm/rev.

Nilai prediksi respon *cutting temperature* paling rendah adalah 80,1436 °C dengan *spindle speed* pada 678,309 rpm dan *feed rate* pada 0,18117 mm/rev, sedangkan prediksi respon tertinggi sebesar 90,2126 °C dengan *feed rate* pada 0,20682 mm/rev dan *spindle speed* pada 1211,27 rpm.

Gambar 12 dan 13 menjelaskan nilai aktivitas yang diperoleh melalui program dengan hasil aktual eksperimen yang dilakukan dengan prediksi yang dihasilkan. Standar deviasi *surface roughness* sebesar 0,2642. Sedangkan standar deviasi *cutting temperature* sebesar 4,89. Standar deviasi semakin kecil memiliki keakuratan yang baik.



Gambar 12 Predicted vs Actual Surface Roughness



Gambar 13 Predicted Vs Actual Cutting Temperature

Tingkat error paling besar hasil aktual dan prediksi pada surface roughness dan cutting temperature berada pada std run 21 sebesar 20,15% dan std run 28 sebesar 13,65%. Sedangkan tingkat error paling kecil pada surface roughness dan temperature terdapat pada std run 5 sebesar 0,30 % dan std run 17 sebesar 0,13%.

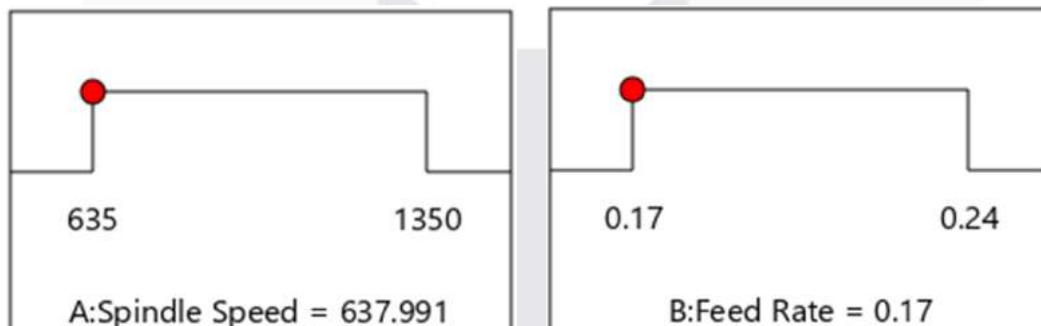
3.4 Optimasi

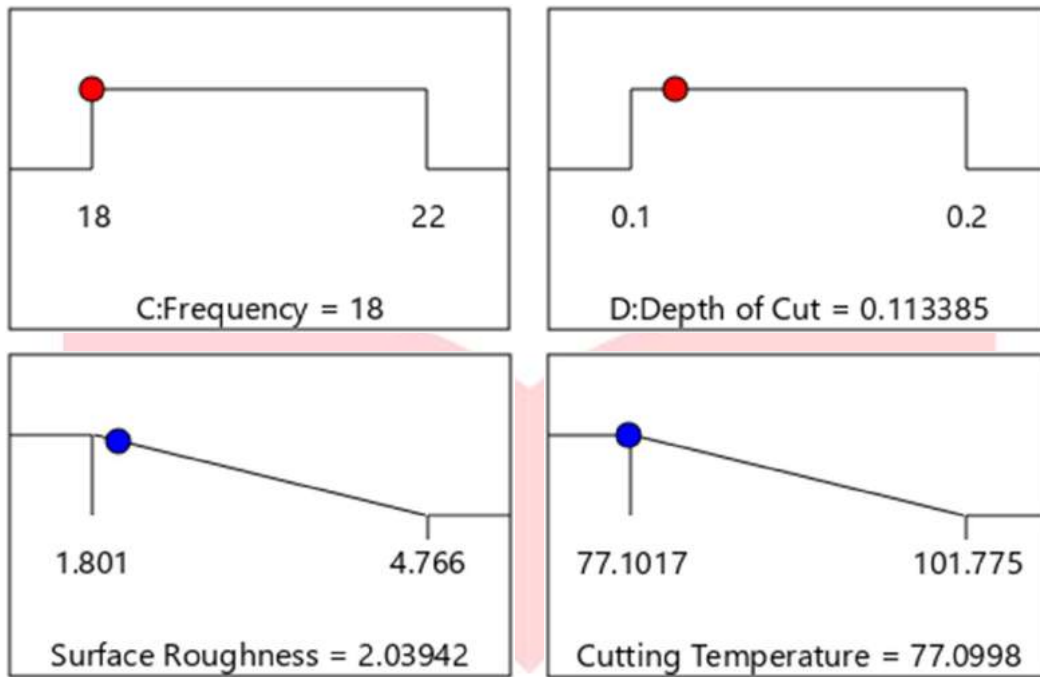
Tabel 8 Menunjukkan komponen yang dioptimasi, target, batas minimum dan maksimum nya, serta tingkat kepentingan. *Spindle speed, feed rate, frequency, depth of cut* merupakan komponen yang dioptimalkan dengan range tersebut dengan tingkat kepentingan 3 (+++). Respon *surface roughness* dan *cutting temperature* merupakan respon yang di optimalkan dengan tingkat kepentingan 5 (+++++).

Tabel 8. Komponen Optimasi

| Komponen Respon | Target | Batas Bawah | Batas Atas | Tingkat kepentingan |
|---------------------------------|-----------------|-------------|------------|---------------------|
| A-Spindle Speed (rpm) | <i>In range</i> | 635 | 1350 | +++ |
| B-Feed Rate (mm/rev) | <i>In range</i> | 0,17 | 0,24 | +++ |
| C-Frequency (KHz) | <i>In range</i> | 18 | 22 | +++ |
| D-Depth of Cut (mm) | <i>In range</i> | 0,1 | 0,2 | +++ |
| Surface Roughness (µm) | <i>Minimize</i> | 1,801 | 4,766 | +++++ |
| Cutting Temperature (°C) | <i>Minimize</i> | 77,1017 | 101,775 | +++++ |

Hasil optimasi *bending vibration assisted turning (BVAT)* dapat dilihat pada gambar dibawah ini





Gambar 14 Hasil Optimasi

Berdasarkan proses optimasi menggunakan *software design expert-11* untuk menghasilkan kerataan permukaan dan suhu pemotongan yang optimal berada pada *spindle speed* 635,991 rpm, *feed rate* 0,17 mm/rev, *frequency* 18 KHz dan *depth of cut* 0,113385 mm. dengan prediksi kerataan permukaan sebesar 2,03942 μm dan suhu pemotongan sebesar 77,0998 $^{\circ}\text{C}$

4. KESIMPULAN

Dalam studi ini, *respon surface methodology* (RSM) dengan *box-bhenken design* (BBD) dilakukan untuk mengoptimasi parameter *bedning vibration assisted turning* (BVAT). Eksperimen yang dihasilkan sebanyak 28 kombinasi parameter menghasilkan model predisi berikut

$$Ra = -4.20775 + 0.000047 * Spindle Speed + 32.6997 * Feed Rate + 0.0417778 * Frequency + (-0.827222 * Depth of Cut)$$

$$Tw = 56.25 + 0.016094 * Spindle Speed + 58.1504 * Feed Rate + (-0.398811 * Frequency) + 69.4534 * Depth of Cut$$

Berdasarkan model prediksi tersebut didapatkan kombinasi parameter yang optimal pada *spindle speed* 635,991 rpm, *feed rate* 0,17 mm/rev, *frequency* 18 KHz dan *depth of cut* 0,113385 mm. dengan kerataan permukaan sebesar 2,03942 μm dan suhu pemotongan sebesar 77,0998 $^{\circ}\text{C}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Tjiptono, G. Chandra, and D. Adriana, "Pemasaran Strategik Edisi 3." ANDI Yogyakarta, Yogyakarta, 2008.
- [2] S. Dahbi, H. El Moussami, L. Ezzine, D. Samya, and E. L. M. Haj, "Optimization of turning parameters for surface roughness To cite this version : HAL Id : hal-01260818 Optimization of turning parameters for surface roughness," 2016.
- [3] L. B. Abhang and M. Hameedullah, "Chip-Tool Interface Temperature Prediction Model for Turning Process," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 4, pp. 382–393, 2010.
- [4] M. Mia and N. R. Dhar, "Optimization of surface roughness and cutting temperature in high-pressure coolant-assisted hard turning using Taguchi method," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 88, no. 1–4, pp. 739–753, 2017.
- [5] D. E. Brehl and T. A. Dow, "Review of vibration-assisted machining methods for precision fabrication," *Proc. 21st Annu. ASPE Meet. ASPE 2006*, no. 6, pp. 2–5, 2006.
- [6] V. V. Silberschmidt, S. M. A. Mahdy, M. A. Gouda, A. Naseer, A. Maurotto, and A. Roy, "Surface-roughness improvement in ultrasonically assisted turning," *Procedia CIRP*, vol. 13, pp. 49–54, 2014.
- [7] E. Shamoto and T. Moriwaki, "Study on Elliptical Vibration Cutting," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 43, no. 1, pp. 35–38, 1994.
- [8] J. Lin, M. Lu, and X. Zhou, "Development of a Non-Resonant 3D Elliptical Vibration Cutting Apparatus for Diamond Turning," *Exp. Tech.*, vol. 40, no. 1, pp. 173–183, 2016.
- [9] P. Zou, Y. Xu, Y. He, M. Chen, and H. Wu, "Experimental investigation of ultrasonic vibration assisted turning of 304 austenitic stainless steel," *Shock Vib.*, vol. 2015, 2015.
- [10] P. G. Benardos and G. C. Vosniakos, "Predicting surface roughness in machining: A review," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 43, no. 8, pp. 833–844, 2003.
- [11] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments (fifth edition)*, 5th ed., vol. 18, no. 2. New York: John Wiley, 2002.
- [12] S. K. Shihab, Z. A. Khan, A. Mohammad, and A. N. Siddiqueed, "RSM based Study of Cutting Temperature During Hard Turning with Multilayer Coated Carbide Insert," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmpe, pp. 1233–1242, 2014.
- [13] A. Kannan, K. Esakkiraja, and M. Nataraj, "Modeling and Analysis for Cutting Temperature in Turning of Aluminium 6063 Using Response Surface Methodology," vol. 9, no. 4, pp. 59–64, 2013.
- [14] A. Agung, S. Nandini, R. A. Anugraha, T. Sjafrizal, M. D. Astuti, and M. R. Ibrahim, "Applying Response Surface Methodology to Optimize the Performance of Longitudinal Vibration-Assisted Turning (L-VAT)," vol. 9, no. 07, pp. 916–921, 2020. [Online]. Available: <https://www.ijert.org/applying-response-surface-methodology-to-optimize-the-performance-of-longitudinal-vibration-assisted-turning-l-vat>.
- [15] G. Ye, L. Ma, L. Li, J. Liu, S. Yuan, and G. Huang, "Application of Box–Behnken design and response surface methodology for modeling and optimization of batch flotation of coal," *Int. J. Coal Prep. Util.*, no. December 2017, pp. 1–15, 2017.
- [16] S. L. C. Ferreira *et al.*, "Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods," *Anal. Chim. Acta*, vol. 597, no. 2, pp. 179–186, 2007.