

Aplikasi Metode Hibrid Fuzzy Logic dan Teknik Taguchi untuk Optimasi Multi-Respons pada Proses Bubut Material ST-60

Application of Fuzzy Logic Hybrid Method and Taguchi Technique for Multi-Response Optimization of Turning Process on ST-60 Material

**Moh. Nur Shodiq¹, Dian Ridlo Pamuji², Dedy Hidayat Kusuma³, Herman Yuliandoko⁴,
Nuraini Lusi⁵, Mohammad Abdul Wahid^{6*}**

Jurusan Bisnis and Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia^{1,3,4},

Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia^{2,5,6}

Email: noer.shodiq@poliwangi.ac.id¹, ridlodian@poliwangi.ac.id², dedy@poliwangi.ac.id³,

herman.yuliandoko@poliwangi.ac.id⁴, nurainilusi@poliwangi.ac.id⁵, abdul_wahid@poliwangi.ac.id⁶

*Corresponding author

Abstract Surface roughness determines the quality of the lathe process, while the material machining rate indicates productivity. The higher the machining rate of the material, the shorter the cutting time and the higher the productivity. In the metal cutting process, especially the lathe process, it must produce workpieces with quality that meets specifications with a short cutting time. However, this will be difficult to do because the surface roughness characteristics and machining rate of the materials are different. The lower the surface roughness value, the better the quality of the turning process results. Meanwhile, increasing the material processing rate will result in a more productive and faster turning process. To obtain output in the form of optimal surface roughness and material machining rate simultaneously, the selection of turning process parameters must be considered carefully. This research aims to obtain the right turning process parameter settings in order to obtain optimal surface roughness output and material machining rate. The optimization method used is Taguchi-Fuzzy. Based on the results of the experiment, optimization process, and analysis that were conducted, it can be concluded that the combination of process variable levels that simultaneously produce optimum arithmetic surface roughness, average total surface roughness, and material removal rate are as follows: level 1 coolant, using a cold water solvent and air pressure; level 3 spindle speed at 1200 rpm; level 3 feed rate at 0.161 mm/rev; and level 3 cutting depth at 0.5 mm

Keywords: *Fuzzy logic, Taguchi technique, Hybrid method, Multi-response, Turning process, ST-60 material.*

Kualitas proses bubut ditentukan oleh kekasaran permukaan sedangkan laju pengerjaan bahan merupakan indikator produktivitas. Semakin tinggi laju pengerjaan bahan, semakin singkat waktu pemotongannya dan produktivitas semakin tinggi. Pada proses pemotongan logam khususnya proses bubut, harus menghasilkan benda kerja dengan kualitas yang sesuai spesifikasi dengan waktu pemotongan yang singkat. Akan tetapi, hal ini akan sulit dilakukan karena karakteristik kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan berbeda. Semakin rendah nilai kekasaran permukaan, maka kualitas hasil proses bubut semakin baik. Sedangkan semakin tinggi laju pengerjaan bahan, maka proses bubut akan semakin produktif atau semakin cepat. Untuk mendapatkan output berupa kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimal secara serentak, maka pemilihan parameter proses bubut harus dipertimbangkan dengan hati-hati. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaturan parameter proses bubut yang tepat agar didapatkan output kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimal. Metode optimasi yang digunakan adalah Taguchi-Fuzzy. Berdasarkan hasil percobaan, proses optimasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kombinasi level-level variabel proses yang menghasilkan kekasaran permukaan aritmatik, kekasaran permukaan total rata-rata dan laju pengerjaan bahan yang optimum secara serentak adalah cairan pendingin level 1 yaitu soluble air dingin dan air pressure, putaran spindle level 3 dengan nilai 1200 rpm, gerak makan level 3 dengan nilai 0.161 mm/rev kedalaman potong level 3 dengan nilai 0.5 mm.

Kata Kunci: Fuzzy logic, teknik taguchi, Metode hibrid, Multi-respons, Proses bubut, Material ST-60

I. PENDAHULUAN

Salah satu indikator kualitas proses pemesinan khususnya proses bubut adalah nilai kekasaran permukaan [1]. Jika nilai kekasaran permukaan hasil proses bubut rendah, maka kualitasnya semakin baik. Kekasaran permukaan yang rendah merupakan salah satu persyaratan yang diharapkan di dunia industri, karena dapat meningkatkan kekuatan lelah dan meminimalkan gesekan [2]. Parameter proses bubut seperti cutting speed, feeding, dan depth of cut memengaruhi nilai kekasaran permukaan [3,4]. Ghazali, dkk. [5] melaksanakan percobaan terkait pengaruh prameter proses turning CNC terhadap kekasaran permukaan. Gerak makan dan cutting speed adalah parameter-parameter yang digunakan sebagai variabel bebas pada penelitian ini. Hasilnya menunjukkan bahwa kekasaran permukaan meningkat dengan naiknya gerak makan dan turun dengan semakin naiknya kecepatan potong. Javidikia, dkk [6] melakukan analisa dan optimasi kekasaran permukaan pada proses turning material AA6061-T6 dengan lingkungan dan parameter yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa kekasaran permukaan dipengaruhi oleh gerak makan.

Selain parameter proses bubut, cairan pemotongan atau cutting fluid juga memiliki pengaruh terhadap kualitas permukaan benda kerja hasil proses bubut [7]. Cairan pemotongan pada proses bubut memiliki fungsi untuk menurunkan panas yang terjadi saat proses pemotongan berlangsung serta mengurangi koefisien gesek yang terjadi antara pahat dan benda kerja. Saat ini, cairan pemotongan dengan bahan dasar minyak atau oil based fluid banyak digunakan didunia industri. Penggunaan cairan pemotongan berbahan dasar minyak secara berlebihan dapat mengakibatkan iritasi pada kulit dan pencemaran lingkungan [8,9]. Sebagai alternatif untuk mengurangi effect negative penggunaan cairan pemotongan yaitu dengan penggunaan cairan pemotongan ramah lingkungan [10–12].

Selain penggunaan cairan pendingin ramah lingkungan, metode pemberian cairan pendingin juga berperan penting dalam mengurangi dampak negative tersebut. Salah satu tersebut adalah *Minimum Quantity Cooling Lubrication* (MQCL). Metode ini dilakukan dengan cara meminimalkan cairan pendingin dengan ditambahkan hembusan udara dingin bertekanan. MQCL lebih baik dari metode kering dan metode MQL. Hal ini disebabkan karena pada metode kering tanpa menggunakan cairan pendingin sehingga pahat cepat aus sedangkan pada metode MQL hanya fokus pada pelumasan tanpa ada proses pendinginan. Pengaruh metode MQCL terhadap kualitas permukaan dibandingkan dengan metode kering dan dibanjirkan pada proses *freis material Inconel 718* telah diteliti oleh Perveis, dkk [13]. MQCL yang digunakan adalah dengan kombinasi udara dingin dengan vegetable oil. Hasil penelitian menunjukkan kekasaran permukaan dengan MQCL lebih rendah jika dibandingkan dengan metode kering, MQL dan dibanjirkan.

Kualitas proses bubut ditentukan oleh kekasaran

permukaan sedangkan laju pengerjaan bahan merupakan indikator produktivitas. Semakin tinggi laju pengerjaan bahan, semakin singkat waktu pemotongannya dan produktivitas semakin tinggi. Pada proses pemotongan logam khususnya proses bubut, harus menghasilkan benda kerja dengan kualitas yang sesuai spesifikasi dengan waktu pemotongan yang singkat. Akan tetapi, hal ini akan sulit dilakukan karena karakteristik kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan berbeda. Semakin rendah nilai kekasaran permukaan, maka kualitas hasil proses bubut semakin baik. Sedangkan semakin tinggi laju pengerjaan bahan, maka proses bubut akan semakin produktif atau semakin cepat. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan proses optimasi untuk mendapatkan pengaturan yang tepat parameter proses bubut untuk mendapatkan respon berupa kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimum secara serentak. Metode optimasi yang sering digunakan adalah metode *Taguchi* untuk respon tunggal seperti kekasaran permukaan saja atau laju pengerjaan bahan saja. Sedangkan untuk multi respon yang diamatai secara serentak bisa menggunakan gabungan metode *Taguchi* dengan *fuzzy logic*. Metode *Taguchi* menjadikan produk dan proses memiliki sifat *robust* (kokoh, tangguh) terhadap faktor-faktor gangguan (*noise*), seperti: material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Sedangkan kelebihan logika *fuzzy* dibandingkan dengan metode optimasi lainnya adalah mampu memproses variabel respon yang tidak pasti atau abu-abu [14].

II. METODE PENELITIAN

A. Desain eksperimen

Penelitian ini terdiri dari empat variabel proses yang bervariasi dengan level campuran, yaitu 2 level untuk cairan pemotongan dan 3 level untuk *spindle speed* (*rpm*), *feeding* (*mm/rev.*) dan *depth of cut* (*mm*) dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan hasil yang diamati pada penelitian ini berupa kekasaran permukaan aritmatik (*Ra*), kekasaran permukaan total rata-rata (*Rz*) dan laju pengerjaan bahan (LPB).

Tabel 1. Variabel Proses Penelitian

Variabel Proses	Level		
	1	2	3
Cairan Pemotogan (<i>CP</i>)	Dromus dingin+ udara bertekanan	Udara bertekanan	-
<i>Spindle speed</i> (<i>n</i>)	550	700	1200
<i>feeding</i> (<i>f</i>)	0.053	0.103	0.161
<i>Depth of cut</i> (<i>a</i>)	0.125	0.25	0.5

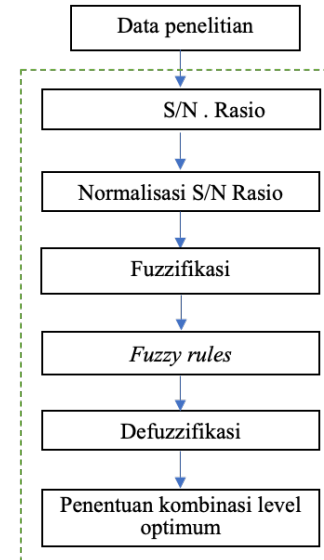
Sedangkan design eksperimen pada penelitian ini menggunakan metode *Taguchi* dengan matrik orthogonal L_{18} . Dasar pemilihan rancangan percobaan adalah berdasarkan total derajat kebebasan dari variabel proses bubut yang digunakan. Matrik orthogonal L_{18} yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Ortogonal L18

Kombinasi	CP	n	f	a
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	1
5	1	2	2	2
6	1	2	3	3
7	1	3	1	2
8	1	3	2	3
9	1	3	3	1
10	2	1	1	3
11	2	1	2	1
12	2	1	3	2
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2

B. Metode hibrid fuzzy logic dan teknik taguchi

Metode Taguchi adalah metode optimasi yang hanya dapat digunakan untuk satu respons seperti kekasaran permukaan saja atau laju pengerjaan bahan saja. Metode Ini tidak dapat digunakan untuk mengoptimalkan beberapa respons secara bersamaan seperti kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan. Berdasarkan hal tersebut, perlu menggabungkan dengan metode optimasi lainnya seperti Taguchi dengan fuzzy.



Gambar 1. Langkah-langkah Taguchi-Fuzzy

Variabel respons yang tidak pasti dalam logika fuzzy digambarkan sebagai himpunan yang terdiri dari nilai tegas serta derajat keanggotaan [15]. Gambar 1 urutan proses optimasi Taguchi-fuzzy.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian yang terdiri dari kekasaran permukaan aritmatik (Ra), kekasaran total rata-rata (Rz) dan Laju Pengerjaan Bahan (LPB) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil eksperimen

No	CP	n	f	a	Ra (µm)	Rz (µm)	LPB (mm ³ /min)
1	Dromus dingin+udara bertekanan	550	0.053	0.125	1.14	6.325	577.75
2	Dromus dingin+udara bertekanan	550	0.103	0.25	0.87	5.765	2,284.13
3	Dromus dingin+udara bertekanan	550	0.161	0.5	0.77	4.91	7,129.82
4	Dromus dingin+udara bertekanan	700	0.053	0.125	0.95	5.62	743.52
5	Dromus dingin+udara bertekanan	700	0.103	0.25	0.83	5.425	3,029.90
6	Dromus dingin+udara bertekanan	700	0.161	0.5	0.52	4.195	9,501.51
7	Dromus dingin+udara bertekanan	1200	0.053	0.25	0.47	2.68	2,446.89
8	Dromus dingin+udara bertekanan	1200	0.103	0.5	0.39	2.52	9,289.60
9	Dromus dingin+udara bertekanan	1200	0.161	0.125	0.37	2.755	3,930.39
10	udara bertekanan	550	0.053	0.5	1.01	6.48	2,350.25
11	udara bertekanan	550	0.103	0.125	0.94	6.515	1,177.50
12	udara bertekanan	550	0.161	0.25	0.88	6.3	3,527.36
13	udara bertekanan	700	0.053	0.25	0.95	6.585	1,470.03
14	udara bertekanan	700	0.103	0.5	0.57	3.78	6,055.76
15	udara bertekanan	700	0.161	0.125	0.82	5.18	2,255.20
16	udara bertekanan	1200	0.053	0.5	0.39	2.32	4,777.58
17	udara bertekanan	1200	0.103	0.125	0.51	3.295	2,551.42
18	udara bertekanan	1200	0.161	0.25	0.32	2.715	7,378.30

A. Perhitungan Nilai Rasio S/N

Langkah pertama pada proses optimasi *Taguchi-Fuzzy* adalah perhitungan nilai Rasio S/N. Nilai Rasio S/N mengikuti karakteristik dari respon. Semakin rendah nilai kekasaran permukaan, maka semakin baik sesuai dengan persamaan 1 dan semakin tinggi nilai laju pengerjaan bahan, maka semakin baik sesuai dengan persamaan 2. Hasil perhitungan rasio S/N untuk masing-masing respon dapat dilihat pada Tabel 4.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right] \tag{1}$$

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \tag{2}$$

Tabel 4. S/N rasio data hasil eksperimen

No	S/N Ra	S/N Rz	S/N LPB
1	-1.211	-16.024	61.256
2	1.255	-15.226	73.209
3	2.232	-13.830	83.082
4	0.454	-15.001	63.447
5	1.645	-14.698	75.652
6	5.628	-12.495	85.579
7	6.533	-8.568	73.794
8	8.101	-8.029	85.390
9	8.706	-8.810	77.915
10	-0.084	-16.233	73.443
11	0.542	-16.296	67.440
12	1.097	-15.992	76.970
13	0.425	-16.402	69.367
14	4.884	-11.550	81.664
15	1.663	-14.344	73.085
16	8.171	-7.310	79.605
17	5.823	-10.357	74.157
18	9.813	-8.688	83.380

B. Normalisasi Data Respon

Normalisasi data berfungsi merubah S/N rasio menjadi nilai antara nol dan satu. Untuk kekasaran permukaan menggunakan persamaan 3. dengan Karakteristik kualitas semakin rendah semakin baik dan persamaan 4. untuk laju pengerjaan bahan dengan karakteristik kualitas semakin tinggi semakin baik. Hasil perhitungan normalisasi seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Semakin Rendah Semakin Baik:

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)} \tag{3}$$

Semakin Tinggi Semakin Baik:

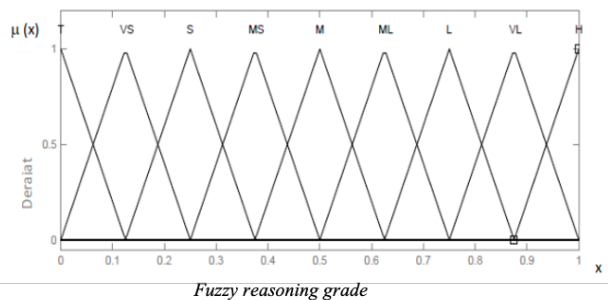
$$X_i^*(k) = \frac{\max X_i(k) - X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)} \tag{4}$$

Tabel 5. Normalisasi data respon

No	S/N Ra	S/N Rz	S/N LPB	Normalisasi S/N		
				Ra	Rz	LPB
1	-1.211	-16.024	61.256	0.0000	0.0415	0.0000
2	1.255	-15.226	73.209	0.2237	0.1293	0.4914
3	2.232	-13.830	83.082	0.3123	0.2828	0.8974
4	0.454	-15.001	63.447	0.1510	0.1541	0.0901
5	1.645	-14.698	75.652	0.2590	0.1874	0.5919
6	5.628	-12.495	85.579	0.6203	0.4297	1.0000
7	6.533	-8.568	73.794	0.7025	0.8617	0.5155
8	8.101	-8.029	85.390	0.8446	0.9209	0.9922
9	8.706	-8.810	77.915	0.8995	0.8350	0.6849
10	-0.084	-16.233	73.443	0.1022	0.0185	0.5011
11	0.542	-16.296	67.440	0.1590	0.0117	0.2542
12	1.097	-15.992	76.970	0.2094	0.0451	0.6461
13	0.425	-16.402	69.367	0.1484	0.0000	0.3335
14	4.884	-11.550	81.664	0.5529	0.5336	0.8391
15	1.663	-14.344	73.085	0.2607	0.2263	0.4863
16	8.171	-7.310	79.605	0.8511	1.0000	0.7544
17	5.823	-10.357	74.157	0.6380	0.6648	0.5304
18	9.813	-8.688	83.380	1.0000	0.8484	0.9096

C. Tahap Fuzzification

Tahap *fuzzification* merubah nilai hasil normalisasi sebagai nilai input menjadi bilangan fuzzy dengan menggunakan *membership function*. Pada penelitian ini, kurva segitiga untuk fungsi keanggotaan digunakan untuk merubah *fuzzy reasoning grade* (FRG) kedalam *linguistic fuzzy subsets* yang dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, terdapat 9 *fuzzy subset* yaitu, kecil sekali (*T*), sangat kecil (*VS*), kecil (*S*) menengah kecil (*SM*), menengah (*M*), menengah lebih besar (*ML*), besar (*L*), sangat besar (*VL*) dan besar sekali (*H*).



Gambar 2. Fungsi Keanggotaan FRG

D. Aturan fuzzy

Aturan yang menjelaskan bagaimana variabel *input* dan *output* berinteraksi disebut aturan *fuzzy*. Penelitian ini menggunakan tiga variabel input yang masing-masing memiliki tiga *fuzzy subset*, yaitu normalisasi kekasaran permukaan aritmatik, kekasaran total rata-rata dan laju pengerjaan bahan. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan 27 aturan fuzzy. Tabel 6. menunjukkan peraturan fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 6. Aturan Fuzzy

No	Ra	Rz	LPB	FRG
1	Small	Small	Small	Tiny
2	Small	Small	Medium	Verysmall
3	Small	Small	Large	Small
4	Small	Medium	Small	Small
5	Small	Medium	Medium	Smallmedium
6	Small	Medium	Medium	Medium
7	Small	Large	Small	Small
8	Small	Large	Medium	Smallmedium
9	Small	Large	Large	Medium
10	Medium	Small	Small	Verysmall
11	Medium	Small	Medium	Smallmedium
12	Medium	Small	Large	Medium
13	Medium	Medium	Small	Smallmedium
14	Medium	Medium	Medium	Medium
15	Medium	Medium	Large	Largemedium
16	Medium	Large	Small	Smallmedium
17	Medium	Large	Medium	Largemedium
18	Medium	Large	Large	Verylarge
19	Large	Small	Small	Small
20	Large	Small	Medium	Smallmedium
21	Large	Small	Large	Medium
22	Large	Medium	Small	Medium
23	Large	Medium	Medium	Largemedium
24	Large	Medium	Large	Large
25	Large	Large	Small	Medium
26	Large	Large	Medium	Large
27	Large	Large	Large	High

E. Tahap defuzzification

Pada tahap ini, nilai fuzzy dirubah menjadi FRG dengan melakukan pemetaan ke himpunan tegas. Hasil defuzzification berupa nilai FRG dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Fuzzy reasoning grade (FRG)

No.	CF	N	F	A	FRG
1.	1	1	1	1	0.0391
2.	1	1	2	2	0.2610
3.	1	1	3	3	0.4662
4.	1	2	1	1	0.1845
5.	1	2	2	2	0.3077
6.	1	2	3	3	0.6411
7.	1	3	1	2	0.6461
8.	1	3	2	3	0.9201
9.	1	3	3	1	0.7475
10.	2	1	1	3	0.1462
11.	2	1	2	1	0.1921
12.	2	1	3	2	0.2615
13.	2	2	1	2	0.1843
14.	2	2	2	3	0.5933
15.	2	2	3	1	0.3166
16.	2	3	1	3	0.7884
17.	2	3	2	1	0.5634
18.	2	3	3	2	0.8685

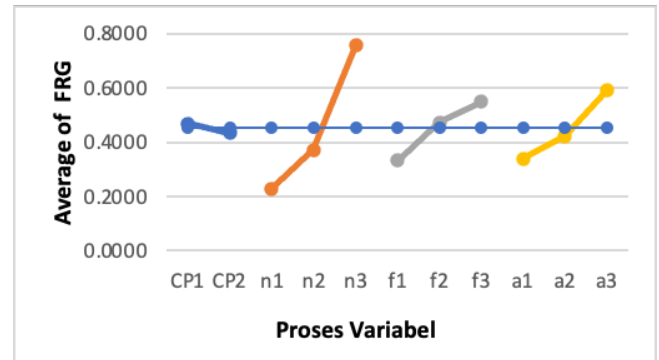
F. Menentukan Kombinasi Variabel Proses untuk Respon Optimum

Langkah pertama untuk menentukan kombinasi variabel yang menghasilkan output optimal dengan membuat tabel rata-rata FRG seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rata-rata FRG

	Level 1	Level 2	Level 3
CP	0.468	0.435	-
n	0.228	0.371	0.756
f	0.331	0.473	0.550
a	0.341	0.422	0.593
rata-rata	0.452		

Langkah kedua membuat plot dari tabel rata-rata FRG yang telah dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Rata-Rata FRG

Pada Gambar 3. menunjukkan bahwa kombinasi variabel proses yang mendapatkan nilai kekasaran permukaan aritmatik (Ra), kekasaran permukaan total rata-rata (Rz) dan laju pengerjaan bahan (LPB) yang optimum adalah cairan pendingin (CP) level 1 yaitu dromus dingin+udara bertekanan, putaran spindle (n) level 3 dengan nilai 1200 rpm, gerak makan (f) level 3 dengan nilai 0.161 mm/rev dan kedalaman potong (a) level 3 dengan nilai 0.5 mm. Secara proses dapat dijelaskan bahwa tingkat kekasaran permukaan benda kerja akan turun dengan bertambahnya kecepatan potong dan berkurangnya gerak makan. Hal ini berbanding terbalik dengan laju pengerjaan bahan. Laju pengerjaan bahan akan bertambah dengan bertambahnya gerak makan dan kedalaman potong. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan proses optimasi untuk mendapatkan kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimal secara serentak sehingga didapatkan hasil proses bubut dengan kualitas yang optimal dengan waktu pemesinan yang singkat.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaturan parameter proses bubut yang tepat dengan menggunakan metode pendinginan ramah lingkungan agar didapatkan output kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimal secara serentak. Berdasarkan hasil percobaan, proses optimasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai Berikut:

- Kombinasi level-level variabel proses yang menghasilkan kekasaran permukaan aritmatik (Ra), kekasaran permukaan total rata-rata (Rz) dan laju pengerjaan bahan (LPB) yang optimum secara serentak adalah sebagai cairan pendingin (CP) level 1 yaitu soluble air dingin+udara bertekanan, putaran spindle (n) level 3 dengan nilai 1200 rpm, gerak makan (f) level 3 dengan nilai 0.161 mm/rev dan edalaman potong (a) level 3 dengan nilai 0.5 mm.
- Perlu dilakukan proses optimasi dengan metode lainnya sebagai perbandingan seperti ANN-GA dan PSO.
- Pada penelitian ini dilakukan pada mesin bubut konvensional sehingga keterbatasan pemilihan parameter seperti putaran spindle, gerak makan dan kedalaman potong. Sehingga perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan mesin bubut CNC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Politeknik Negeri Banyuwangi yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Tomadi SH, Ghani JA, Haron CHC, Ayu HM, Daud R. Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness in End Milling of AISi/AlN Metal Matrix Composite. In: *Procedia Engineering*. Elsevier Ltd; 2017. p. 58–69.
- [2] Yalcinkaya S, Şahin Y. Study on surface finish of AISI 2080 steel based on the Taguchi method. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing; 2017.
- [3] Qehaja N, Jakupi K, Bunjaku A, Bruçi M, Osmani H. Effect of machining parameters and machining time on surface roughness in dry turning process. In: *Procedia Engineering*. Elsevier Ltd; 2015. p. 135–40.
- [4] Arefi GA, Das R, Sahoo AK, Routara BC, Nanda BK. A Study on the Effect of Machining Parameters in Turning of Lead Alloy. In: *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd; 2017. p. 7562–72.
- [5] Ghazali MHM, Mazlan AZA, Wei LM, Tying CT, Sze TS, Jamil NIM. Effect of Machining Parameters on the Surface Roughness for Different Type of Materials. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing; 2019.
- [6] Javidikia M, Sadeghifar M, Songmene V, Jahazi M. Analysis and optimization of surface roughness in turning of AA6061-T6 under various environments and parameters. In: *Procedia CIRP*. Elsevier B.V.; 2020. p. 17–20.
- [7] Zubir B, Abdul Razak MZ, Abd Rahman AF, Said MS. The effect of cutting fluid condition on surface roughness in turning of alloy steel. In: *Advanced Structured Materials*. Springer Verlag; 2019. p. 297–305.
- [8] Dahlin J, Isaksson M. Occupational contact dermatitis caused by N-butyl-1,2-benzisothiazolin-3-one in a cutting fluid. *Contact Dermatitis*. 2015 Jul 1;73(1):60–2.
- [9] Harun S, Burhanuddin Y, Ibrahim GA. The Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness and Morphology of Ti-6Al-4V ELI Titanium Alloy during Turning with Actively Driven Rotary Tools. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2022 Oct 1;6(5).
- [10] Setyarini PH, Anam K, Wahyudi M. Penggunaan Minyak Alami dengan Minimum Quantity Lubrication terhadap Hasil Proses Bubut AA 6061. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2021 May 31;12(1):235.
- [11] Deshpande V, Jyothi PN. A Review on Sustainable Eco-friendly Cutting Fluids. *Journal of Sustainability and Environmental Management*. 2022 May 26;1(2):306–20.
- [12] Pervaiz S, Ahmad N, Ishfaq K, Khan S, Deiab I, Kannan S. Implementation of Sustainable Vegetable-Oil-Based Minimum Quantity Cooling Lubrication (MQCL) Machining of Titanium Alloy with Coated Tools. *Lubricants*. 2022 Oct 1;10(10).
- [13] Pervaiz S, Rashid A, Deiab I, Nicolescu CM. An experimental investigation on effect of minimum quantity cooling lubrication (MQCL) in machining titanium alloy (Ti6Al4V). *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016 Nov 1;87(5–8):1371–86.
- [14] Wu B, Cheng T, Yip TL, Wang Y. Fuzzy logic based dynamic decision-making system for intelligent navigation strategy within inland traffic separation schemes. *Ocean Engineering*. 2020 Feb 1;197.
- [15] Kumar S, Singhal PK, Kumar V, Sagar LK. Optimization of Power Flow using GA Fuzzy Approach. *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*. 2023 Sep 1;10(3):1549–57.