



Optimasi Kekasaran Permukaan Baja AISI H13 pada Proses Permesinan Elektro Kimia Skala Laboratorium dengan Metode Taguchi

Surface Roughness Optimization of AISI H13 Steel in the Electrochemical Machining Laboratory Scale Using Taguchi Method

Galang Sandy Prayogo¹, Nuraini Lusi², Chairul Anam³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

¹galangsandy@poliwangi.ac.id, ²nurainilusi@poliwangi.ac.id, ³anam@poliwangi.ac.id

Abstrak

Pada umumnya ECM digunakan untuk membuat rongga cetakan atau bentuk yang kompleks dan benda kerja yang berukuran kecil dari material *hardened tool steel* dengan kekerasan yang tinggi (>55HRC) dan tidak dapat diproses dengan metode permesinan konvensional. Dalam penelitian ini dilakukan eksperimen tentang optimasi parameter proses permesinan ECM seperti *voltage* konsentrasi jenis cairan elektrolit dan *gap width* terhadap respons kekasaran permukaan. Metode eksperimen yang digunakan adalah metode Taguchi. Hasil didapatkan bahwa parameter proses yang memiliki nilai kontribusi terbesar dalam mempengaruhi variasi respons kekasaran permukaan adalah tegangan dengan nilai 75,24%. Konsentrasi elektrolit memberikan kontribusi sebesar 21,6%, dan untuk *gap width* memberikan kontribusi sebesar 1,74%. Parameter yang memiliki nilai *P value* yang signifikan adalah tegangan dan konsentrasi elektrolit masing-masing 0,005 dan 0,016. Kekasaran permukaan yang optimal adalah pada kondisi tegangan 48 Volt, konsentrasi elektrolit sebesar 20%, dan dengan *gap width* adalah sebesar 3 mm.

Kata Kunci: ECM, kekasaran permukaan, taguchi.

Abstract

ECM is used to make mould cavities or complex shapes and small workpieces from hardened tool steel with high hardness (>55HRC) and cannot be processed by conventional machining methods. In this study, an experiment was carried out on the optimization of parameters for the ECM machining process, such as the voltage, concentration of the type of electrolyte fluid and the gap width on the response to surface roughness. The experimental method used is the Taguchi method. The results show that the process parameter that has the greatest contribution value in influencing the variation of surface roughness response is stress with a value of 75, 24%. The electrolyte concentration contributed 21.6%, and for the gap width, it contributed 1.74%. The parameters that have a significant *P value*, the electrolyte voltage and concentration are 0.005 and 0.016, respectively. The optimal surface roughness is at a voltage condition of 48 Volt, the electrolyte concentration is 20%, and with a gap with is 3 mm.

Keywords: ECM, surface roughness, taguchi.

PENDAHULUAN

Permesinan non-tradisional/konvensional merupakan proses manufaktur tingkat lanjut yang melibatkan energi mekanik, termal, listrik atau kimiawi atau kombinasi dari energi, dengan *tool* yang digunakan sama sekali tidak bersentuhan dengan benda kerja. Permesinan non konvensional dapat diaplikasikan untuk material dengan kekerasan yang tinggi, rapuh/*brittle* dan material yang bersifat konduktif. Dengan menerapkan metode kontrol

yang sesuai dan memilih parameter fisik optimum untuk prosesnya, maka proses ini dapat digunakan untuk berbagai jenis benda kerja tanpa memperhatikan kekerasan, ketangguhan, dan kerapuhan materialnya.

Jenis proses permesinan non-konvensional yang banyak digunakan adalah *electro chemical machining* (ECM)/permesinan elektro kimia. Keuntungan dari jenis permesinan ini dibandingkan dengan proses permesinan konvensional (*turning* dan *milling*) yaitu dapat melakukan proses terhadap material yang sangat keras, keausan pahat

yang relatif kecil, permukaan akhir benda kerja halus, dapat memproduksi benda kerja dengan ketelitian yang tinggi, serta geometri yang kompleks tanpa adanya *crack* [1]. Oleh karena itu, ECM banyak diaplikasikan pada industri *turbine blade, engine casting, bearing cages, gears, mould, dies* dan implan bedah.

Pengikisan material di ECM diatur oleh erosi material yang disebabkan oleh adanya proses reaksi kimia. Faktor utama yang mempengaruhi laju permesinan dan kualitas akhir benda kerja adalah konsentrasi elektrolit, tegangan, celah antar-elektroda, dan sebagainya. Geometri, kondisi, dan akurasi permukaan permesinan juga dipengaruhi oleh parameter tersebut [2]. Guna mendapatkan kekasaran permukaan yang minimal merupakan suatu tantangan dan menjadi kendala tersendiri bagi operator. Banyaknya variabel/parameter proses membutuhkan suatu pengaturan yang tepat untuk mencapai kualitas yang diinginkan. Pengaturan parameter proses dalam meningkatkan karakteristik kualitas dari produk, memiliki kesulitan tersendiri dikarenakan kompleksitas yang dimiliki sehingga perlu dilakukan rangkaian percobaan dalam jumlah yang banyak. Dibutuhkan pemilihan metode yang tepat untuk eksperimen. Taguchi adalah salah satu metode yang diusulkan dalam rancangan percobaan yang berguna untuk meningkatkan kinerja permesinan [3].

Beberapa penelitian tentang pengaruh variabel proses telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh pada proses elektro kimia. Penelitian untuk permesinan komposit SiCp LM25 al /10% dengan natrium klorida sebagai elektrolit dan tembaga sebagai pahat telah dilakukan. Parameter proses yang dipilih adalah tegangan, konsentrasi elektrolit, *tool feed rate*, dan laju alir elektrolit. Respons yang dipilih adalah MRR dan kekasaran permukaan. Model matematis dikembangkan berdasarkan metode RSM (*respon surface methodology*) dan dilakukan uji dengan ANOVA. Optimasi parameter dilakukan dengan pendekatan NGA- II. Hasilnya menunjukkan optimalisasi MRR dan kekasaran permukaan (*Ra*) meningkatkan tingkat produksi dengan waktu permesinan dapat dikurangi [4].

Penelitian tentang respons tingkat MRR, *overcut* dan kekasaran permukaan (*Ra*) material baja ringan dengan diameter 50 mm dengan menggunakan elektrode tembaga dan larutan air garam sebagai elektrolit telah dilakukan. Metode yang digunakan adalah ortogonal array Taguchi L9. Kemudian dioptimalkan dengan *setting* variabel proses terbaik untuk MRR yang lebih tinggi, kekasaran permukaan, dan *overcut* yang lebih rendah. Tiga parameter yang dipilih sebagai variabel proses adalah *voltage, tool, feed rate*, dan konsentrasi elektrolit. Di antara tiga faktor tersebut *feed rate* adalah variabel proses yang paling berpengaruh terhadap MRR, kemudian diikuti dengan tegangan dan terakhir adalah konsentrasi elektrolit. Kekasaran permukaan yang paling berpengaruh adalah *feed*

rate kemudian konsentrasi elektrolit dan tegangan. Respons *overcut, feed rate* memberikan pengaruh paling utama, kemudian yang kedua adalah tegangan dan ketiga adalah konsentrasi elektrolit [5].

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dijelaskan tersebut, pengaturan parameter proses yang tepat merupakan suatu metode yang perlu dilakukan secara efektif dan efisien dengan tujuan untuk mengurangi proses *trial* dan *error*. Melalui *design* eksperimen yang tepat, proses coba-coba dalam jumlah banyak dapat dikurangi. Kebutuhan biaya produksi dan waktu proses juga dapat diminimalkan sehingga dalam hal ini metode Taguchi dapat digunakan untuk proses optimasi dari respons. Selain metode eksperimen pada permesinan ECM, pemilihan dan penggunaan cairan elektrolit aman dan bagi operator perlu ditentukan dengan tepat sesuai dengan jenis material yang akan digunakan.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan *setting*/pengaturan parameter proses permesinan elektro kimia/ECM yang dapat menghasilkan kualitas kekasaran permukaan yang minimum. Tujuan selanjutnya adalah untuk mengetahui pengaruh dari setiap parameter proses yang telah ditentukan terhadap variasi respons yaitu kekasaran permukaan.

METODE PENELITIAN

Rancangan Percobaan

Design of experiment (DOE) berdasarkan metode Taguchi dipilih sebagai rancangan percobaan dalam penelitian ini. Metode Taguchi adalah sebuah metode dari tokoh kualitas yaitu Genichi Taguchi yang merupakan seorang konsultan dari Jepang untuk manajemen kualitas secara *offline*. Tujuan metode ini adalah untuk mengurangi jumlah percobaan dan mempelajari keseluruhan ruang parameter. Hasil percobaannya akan diubah menjadi *signal-to-noise* (S/N) rasio, berdasarkan penentuan karakteristik kualitas, data yang didapatkan diolah berdasarkan penyimpangan nilai rasio S/N dari atau mendekati nilai yang diinginkan. Desain eksperimen dengan metode Taguchi ini disebut dengan *robust design*, karena produk yang dibuat dan proses yang dilakukan akan memiliki sifat yang kokoh (*robust*) terhadap *noise*/faktor gangguan.

Ada tiga tahapan utama pada desain eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi, yaitu [6]:

1. Tahap Perencanaan dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Menentukan *dependent variable*/respon. Variabel respons adalah variabel yang nilainya terikat pada *independent variabel*/variabel bebas.
 - b. Menentukan *independent variable*/parameter proses. Variabel proses/parameter proses adalah nilai

variabelnya tidak tergantung pada variabel lain. Penentuan parameter proses dilakukan berdasarkan parameter yang terdapat pada mesin. Tujuan penentuan parameter ini adalah untuk mengetahui besar pengaruh parameter proses terhadap respons.

- c. Menentukan dan memisahkan faktor gangguan/noise dengan parameter proses. Pada metode Taguchi, perlu dilakukan identifikasi terlebih dahulu pengaruh noise terhadap respons.
 - d. Menentukan level masing-masing parameter proses. Level dipilih dan ditentukan nilai dan jumlahnya berdasarkan biaya yang dibutuhkan.
 - e. Penentuan Matriks Ortogonal. Matriks ortogonal ini adalah matriks eksperimen yang seimbang antara variabel proses dan level-level dari parameter proses, dengan tujuan dapat mengetahui pengaruh setiap parameter proses pada setiap level.
2. Tahap Eksperimen. Dalam tahap ini dilakukan metode untuk meningkatkan keakuratan dari data yang dihasilkan yaitu:
- a. Replikasi. Replikasi memberikan perkiraan kesalahan eksperimental. Dalam eksperimental dilakukan pengulangan dengan perlakuan yang sama dengan tujuan untuk meningkatkan tingkat ketelitian dan mengetahui besar kecilnya nilai variabilitas dari data.
 - b. Randomisasi. Randomisasi/pengacakan dilakukan untuk memperkirakan latar belakang variasi atau faktor gangguan dan bertujuan untuk meningkatkan ketepatan percobaan dari hasil eksperimental.
3. Tahap Analisis

Pada tahap ini data hasil eksperimen akan diubah menjadi Rasio S/N berdasarkan Karakteristik dari respons yang telah ditentukan. Rasio S/N bertujuan untuk menentukan parameter yang paling signifikan dalam memperhitungkan target dan variasi dalam membandingkan dua set sampel, jika dibandingkan dengan rata-rata (*means*). Dalam metode Taguchi, rasio S/N digunakan dalam perhitungan analisis variansi. Rasio S/N dihitung berdasarkan karakteristik kualitas, yang dituju yaitu:

- 1) Semakin kecil semakin baik (*smaller is better*) dengan persamaan:

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

- 2) Nilai/target tertentu (*nominal the best*) dengan persamaan:

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

- 3) Semakin besar semakin baik (*bigger is better*) dengan persamaan:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \quad (3)$$

Parameter Proses Penelitian

Parameter proses yang dipilih pada penelitian ini adalah tegangan (*voltage*), konsentrasi elektrolit, dan lebar celah antara pahat dan benda kerja (*gap width*). Masing-masing parameter proses memiliki tiga (3) level yang ditunjukkan dalam Tabel 1, dan dapat dipilih matriks orthogonal yang digunakan berdasarkan matriks yang telah tersedia di metode taguchi, dalam penelitian ini yang digunakan adalah L₉ (3³) seperti di tunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Parameter Proses Penelitian

Level	Parameter Proses		
	Voltage (Volt)	Konsentrasi Elektrolit (%)	Celah Pemotongan (mm)
1	24	10	1
2	36	15	2
3	48	20	3

Tabel 2. Matriks Orthogonal L₉

Run	Parameter Proses		
	Voltage (Volt)	Konsentrasi Elektrolit (%)	Gap width (mm)
1	24	10	3
2	24	15	2
3	24	20	1
4	36	10	2
5	36	15	1
6	36	20	3
7	48	10	1
8	48	15	2
9	48	20	3

Percobaan dilakukan berdasarkan kombinasi dari parameter proses mengacu pada rancangan percobaan yang sesuai yang telah disajikan pada Tabel 2 untuk menganalisis data dan memprediksi kualitas komponen yang dihasilkan [7]. Rancangan acak ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* berdasarkan fasilitas randomisasi bilangan. Eksperimen direplika sebanyak dua kali untuk mengetahui secara detail gangguan (*noise*) pada saat proses permesinan berlangsung.

Peralatan Penelitian

1. Benda kerja. Benda kerja pada penelitian ini digunakan material AISI H13 dengan dimensi 12x14x5 mm. Benda kerja secara aktual ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Benda kerja AISI H13

Mesin yang digunakan adalah mesin ECM skala laboratorium seperti pada Gambar 2. Pada mesin ECM Skala Laboratorium ini ada beberapa sistem kelistrikan dan elektronika. Sistem kelistrikan mencakup seluruh komponen pompa sirkulasi, penyedia arus DC yang bisa diatur arus dan tegangannya dan sistem pemanas berupa *heater* yang dapat dikontrol suhunya menggunakan *thermostat*. Sedangkan sistem elektronika menggunakan *micro control* arduino dengan *driver* dan kipas sebagai pendingin *box panel* dengan spesifikasi mesin pada Tabel 3.



Gambar 2. Mesin ECM skala laboratorium

Tabel 3. Spesifikasi Mesin ECM Skala Laboratorium

Tegangan Listrik (Voltage)	24-48 V
Cairan Elektrolit	NaCl
Konsentrasi Elektrolit	10,15,20% NaCl
Suhu Elektrolit	0-50°C
Dimensi	80 cmx60cmx60cm
Arus	Low, medium, high
Controller	Arduino UNO

2. Pahat. Pahat dengan material jenis kuningan (*brass*) dengan dimensi panjang 60 mm dan diameter 12mm digunakan dan dibuat sedemikian rupa untuk memudahkan pengukuran, adapun pahat yang digunakan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pahat kuningan

3. Alat ukur kekasaran/*surface roughness tester*. Pengukuran angka kekasaran permukaan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *surf test* seperti ditunjukkan oleh Gambar 4. Alat ini memiliki kecermatan sebesar 0,001 µm.



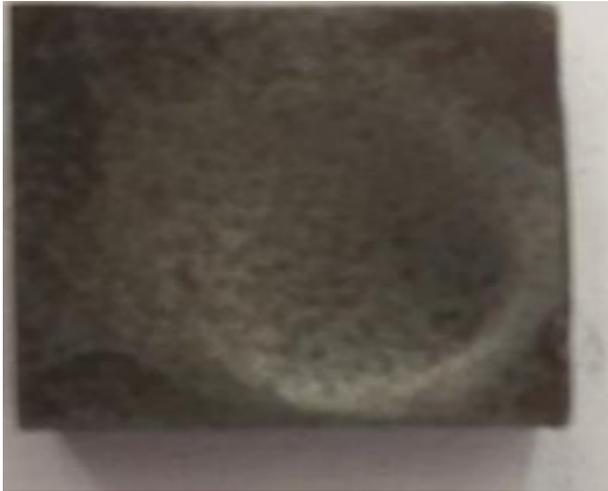
Gambar 4. Alat ukur *surf test*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil identifikasi permasalahan adalah bagaimana melakukan optimasi terhadap parameter permesinan proses untuk respons kekasaran permukaan aritmatik (Ra) dengan karakteristik respons *smaller is better*/semakin kecil semakin baik.

Pengambilan data kekasaran permukaan dilakukan setelah proses permesinan selesai. Pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja dilakukan dengan menggunakan alat ukur *surf test* dengan arah pengujian

yaitu secara vertikal dan horizontal, masing-masing pengujian dilakukan sebanyak 2 kali replikasi. Adapun benda kerja hasil pengujian adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil proses ECM

Data hasil pengukuran kekasaran permukaan secara vertikal dan horizontal ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Run	Horizontal		Vertikal		Rata-rata
	Ra 1	Ra 2	Ra 1	Ra 2	Ra
1	1,588	1,992	1,132	1,879	1,648
2	1,367	1,794	1,207	2,528	1,724
3	2,449	2,937	3,025	2,289	2,675
4	2,728	2,098	2,201	3,068	2,524
5	2,223	2,954	3,205	3,562	2,986
6	3,371	3,147	3,3	3,36	3,295
7	3,498	3,193	3,376	3,607	3,419
8	3,263	3,271	3,982	3,114	3,408
9	4,039	4,428	4,047	4,098	4,140
Mean	2,725	2,868	2,831	2,926	2,869

Berdasarkan hasil pengukuran kekasaran permukaan aritmatik (Ra) dapat dilihat bahwa hasil pengukuran kekasaran untuk posisi vertikal lebih besar dibandingkan dengan posisi horizontal, hal itu dikarenakan pengukuran secara vertikal dilakukan dengan arah tegak lurus dengan posisi pahat sehingga hal tersebut menyebabkan perbedaan nilai kekasaran permukaan. Rata-rata hasil kekasaran permukaan benda kerja secara horizontal didapatkan nilai 2,797 μm , sedangkan rata-rata hasil kekasaran permukaan benda kerja secara vertikal didapatkan nilai 2,941 μm .

Pada rancangan tersebut didapatkan nilai kekasaran paling rendah yaitu pada kombinasi parameter proses tegangan pada level 1, konsentrasi elektrolit pada level 1, dan gap width pada level 1. Tahapan selanjutnya yaitu menghitung rata-rata nilai kekasaran permukaan untuk diubah menjadi nilai rasio S/N berdasarkan karakteristik

respons berdasarkan persamaan 2, hasil perhitungan ada pada Tabel 5.

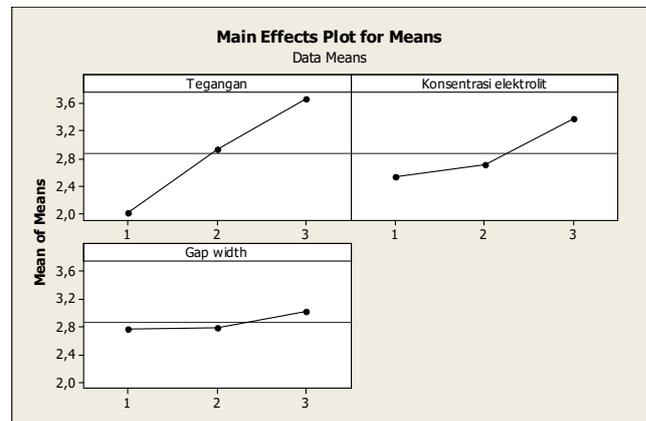
Tabel 5. Nilai Rasio S/N Kekasaran Permukaan

Run	Rata-rata	Nilai
	Ra (μm)	Rasio S/N
1	1,648	-4,337
2	1,724	-4,730
3	2,675	-8,546
4	2,524	-8,040
5	2,986	-9,501
6	3,295	-10,35
7	3,419	-10,676
8	3,408	-10,648
9	4,140	-12,340

Dari nilai rasio S/N tersebut selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata (*means*) nilai dari rasio S/N untuk setiap level dari parameter proses seperti ditunjukkan oleh Tabel 6. Selanjutnya digambarkan *plotting* untuk kombinasi parameter proses seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 6. Rata-rata Nilai Rasio S/N dari Kekasaran Permukaan

Parameter Proses	Level 1	Level 2	Level 3	Max-Min
Voltage	2,016	2,935	3,655	1,640
Konsentrasi Elektrolit	2,530	2,706	3,370	0,840
Gap Width	2,783	2,796	3,027	0,243



Gambar 6. Plot rata-rata pada masing-masing level parameter proses

Berdasarkan plot pada grafik tersebut didapatkan bahwa pengaturan parameter proses untuk dapat menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimal adalah pada kondisi tegangan 48 Volt, konsentrasi elektrolit sebesar 20%, dan dengan gap width adalah sebesar 3 mm. selanjutnya dilakukan analisis variansi (ANOVA) yang bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh parameter proses secara signifikan terhadap variasi respons secara

serentak dan untuk mengetahui besarnya persen kontribusi parameter terhadap kekasaran permukaan. Hasil ANAVA masing-masing parameter proses ada pada Tabel 7.

Tabel 7. ANAVA dari *Means Rasio S/N*

Parameter Proses	DF	SS	MS	% Kontribusi	P _{value}
Voltage	2	4,053	2,027	75,24	0,005
Konsentrasi Electrolyte	2	1,177	0,588	21,60	0,016
Gap Width	2	0,112	0,056	1,74	0,144
Error	2	0,019	0,009	0,00	
Total	8	5,362		100,00	

Berdasarkan hasil ANAVA dapat diketahui bahwa parameter proses dengan nilai kontribusi terbesar dalam mempengaruhi variasi respons kekasaran permukaan adalah tegangan dengan nilai 75,24%. Konsentrasi elektrolit memberikan kontribusi sebesar 21,6%, dan untuk *gap width* memberikan kontribusi sebesar 1,74%. Untuk parameter yang memiliki nilai P-value yang signifikan adalah tegangan dan konsentrasi elektrolit masing-masing 0,005 dan 0,016. Parameter *gap width* memberikan pengaruh tetapi tidak signifikan terhadap variasi respons.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada DRPM serta Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Banyuwangi yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP).

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa *setting* kombinasi variabel-variabel proses yang signifikan untuk meminimalkan kekasaran permukaan berdasarkan hasil optimasi dengan menggunakan metode Taguchi adalah kombinasi parameter *voltage* pada level 3, konsentrasi elektrolit pada level 3, dan *gap width* pada level 3. Variabel proses yang memiliki kontribusi terbesar terhadap variasi respons yaitu *voltage* sebesar 75,24%, kemudian *gap width* sebesar 21,6%, dan kontribusi oleh konsentrasi elektrolit sebesar 1,74%. Parameter yang memiliki nilai P-value yang signifikan adalah tegangan dan konsentrasi elektrolit masing-masing 0,005 dan 0,016. Parameter *gap width* tidak signifikan dengan nilai 0,144.

Saran

Pada penelitian awal ini parameter proses yang lain diatur sebagai variabel dengan nilai yang konstan. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengamatan terhadap respons yang sama atau berbeda dengan cara memvariasikan parameter proses tersebut pada proses ECM untuk mendapatkan respons yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. P. Rajurkar, H. Hadidi, J. Pariti, and G. C. Reddy, "Review of Sustainability Issues in Non-Traditional Machining Processes," *Procedia Manuf.*, vol. 7, pp. 714–720, 2017.
- [2] A. Charak and C. S. Jawalkar, "A theoretical analysis on electro chemical discharge machining using Taguchi method," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1240, no. 1, p. 12083.
- [3] S. Huang, Y. Liu, and J. Li, "Multi-Objective Optimization of Electrochemical Discharge Machining Using Taguchi Based Grey Relational Analysis Coupled With Principal Component Analysis," vol. 19, no. 3, pp. 145–152, 2016.
- [4] C. Senthilkumar, G. Ganesan, and R. Karthikeyan, "Optimization of ECM Process Parameters Using NSGA-II," vol. 2012, no. October, pp. 931–937, 2012.
- [5] D. Shrivastava, A. Sharma, and H. Pandey, "Experimental Investigation of Machining Parameter in Electrochemical Machining," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, no. V, pp. 2395–56, 2015.
- [6] S. Irwan, "Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi," *Penerbit Graha Ilmu, Jakarta*, 2009.
- [7] S. Athreya and Y. D. Venkatesh, "Application of Taguchi method for optimization of process parameters in improving the surface roughness of lathe facing operation," *Int. Ref. J. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 3, pp. 13–19, 2012.