

Analisis Pengaruh *Cutting Speed*, *Depth of Cut* dan *Feed Rate* CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 6061 Menggunakan *Resposns Surface Methodology* (RSM)

Wahyudi¹, Yudi Oktriadi^{1*}, Erwansyah¹

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail : yudioktriadi@gmail.com

Received 3 Desember 2025; Received in revised form 17 Desember 2025; Accepted 17 Desember 2025

Abstract

The development of modern manufacturing industries demands increased process efficiency and high-precision machining quality. One of the key factors determining product quality is surface roughness, particularly in Aluminium 6061, which is widely used in the automotive and precision manufacturing industries due to its light weight, strength, and corrosion resistance. An improper combination of machining parameters can reduce surface quality and process efficiency. Therefore, this study aims to analyse the effect of cutting speed, depth of cut, and feed rate on the surface roughness of Aluminium 6061 and to determine the optimal parameter combination. The analysis was conducted using the statistical method Response Surface Methodology (RSM). The results show that all three machining parameters significantly affect surface roughness, with the optimal combination obtained at a cutting speed of 70 m/min, feed rate of 318.3 mm/min, and depth of cut of 0.7 mm, producing the lowest surface roughness value of 0.224 μm (Ra).

Keywords: Aluminium 6061; CNC milling; Machining parameters; Response surface methodology (RSM); Surface roughness.

Abstrak

Perkembangan industri manufaktur modern menuntut peningkatan efisiensi proses dan kualitas hasil pemrosesan dengan presisi tinggi. Salah satu faktor penting dalam menentukan kualitas produk adalah kekasaran permukaan, terutama pada material Aluminium 6061 yang banyak digunakan dalam industri otomotif dan manufaktur presisi karena sifatnya yang ringan, kuat, dan tahan korosi. Kombinasi parameter pemotongan yang kurang tepat dapat menurunkan kualitas permukaan dan efisiensi proses pemrosesan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan potong, kedalaman potong, dan laju pemakanan terhadap kekasaran permukaan Aluminium 6061 serta menentukan kombinasi parameter optimal. Analisis dilakukan menggunakan metode statistik *Response Surface Methodology* (RSM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga parameter pemrosesan berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan, dengan kombinasi optimal diperoleh pada kecepatan potong 70 m/min, feed rate 318,3 mm/menit, dan depth of cut 0,7 mm yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan terendah sebesar 0,224 μm (Ra).

Kata kunci: Aluminium 6061; CNC milling; Kekasaran permukaan; Parameter pemotongan; Response surface methodology (RSM).

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur saat ini menuntut sistem produksi yang tidak hanya berorientasi pada kuantitas, tetapi juga pada kualitas dan efisiensi. Penerapan teknologi Computer Numerical Control (CNC) telah menjadi solusi utama dalam menghasilkan produk dengan tingkat presisi tinggi, produktivitas optimal, serta konsistensi dimensi yang sulit dicapai oleh mesin

konvensional. Menurut Sumbodo (2021), lebih dari 70% proses produksi di industri manufaktur melibatkan operasi pemrosesan, dimana factor kualitas permukaan (surface finish) menjadi salah satu indikator penting dalam menentukan performa fungsional komponen [1].

Kualitas permukaan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh parameter pemotongan seperti kecepatan potong

(cutting speed), kedalaman potong (depth of cut), dan laju pemakanan (feed rate). Kombinasi parameter yang tidak tepat dapat menyebabkan meningkatnya gaya potong, keausan pahat, deformasi termal, hingga penurunan kualitas permukaan. Hasil penelitian Bukhari Kasim (2024) menunjukkan bahwa spindle speed memberikan pengaruh terbesar terhadap kekasaran permukaan aluminium 6061 dengan kontribusi 51,80%, diikuti oleh depth of cut sebesar 36,88% dan feed rate sebesar 10,72% [2]. Sementara itu, penelitian lain oleh Rizza (2021) menegaskan pentingnya analisis statistik dalam menentukan kombinasi parameter optimal untuk menghasilkan kekasaran permukaan minimal [3].

Material Aluminium 6061 banyak digunakan dalam industri otomotif, dirgantara, dan manufaktur presisi karena sifatnya yang ringan, kuat, tahan korosi, serta mudah diproses dengan CNC. Menurut Kurniawan (2020), paduan ini memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang baik dan mampu menghasilkan hasil akhir permukaan yang halus. Namun demikian, variasi parameter pemotongan yang tepat untuk memperoleh kekasaran optimal masih menjadi tantangan, karena interaksi antar variabel proses bersifat non-linear dan kompleks [4].

Kualitas hasil pemesinan pada proses CNC salah satunya dapat ditentukan melalui parameter kekasaran permukaan (surface roughness). Nilai kekasaran permukaan yang baik akan memengaruhi sifat mekanik, ketahanan aus, ketahanan korosi, kompatibilitas antar komponen, serta nilai

estetika produk [5]. Material Aluminium 6061 menjadi salah satu bahan yang banyak digunakan dalam industri karena memiliki kombinasi sifat mekanik dan fisik yang baik, seperti ringan, tahan korosi, konduktivitas termal tinggi, serta kemudahan dalam proses pemesinan. Paduan ini mengandung komposisi utama 97,9% Al, 0,6% Si, dan 1,0% Mg yang menjadikannya ideal untuk aplikasi struktural dan komponen presisi [2]. Untuk menentukan kombinasi parameter pemotongan yang optimal, diperlukan pendekatan analisis yang mampu memodelkan hubungan antara variabel input dan respons hasil pemesinan. Salah satu metode statistik yang efektif digunakan adalah Response Surface Methodology (RSM).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi cutting speed, depth of cut, dan feed rate terhadap kekasaran permukaan Aluminium 6061 menggunakan mesin CNC Milling. Selain itu, penelitian ini bertujuan membangun model matematis prediksi kekasaran permukaan dengan pendekatan Response Surface Methodology (RSM) guna menentukan parameter pemotongan optimal. Secara teoretis, penelitian ini memperluas penerapan metode RSM pada optimasi parameter pemesinan material non-ferrous seperti Aluminium 6061. Secara praktis, hasilnya memberikan dasar bagi industri manufaktur untuk menetapkan kombinasi parameter pemotongan yang efisien guna meningkatkan kualitas permukaan, memperpanjang umur pahat, dan menekan biaya produksi.

yang relevan dengan topik penelitian. Secara umum, pelaksanaan penelitian mengikuti tahapan kegiatan seperti, identifikasi masalah, desain percobaan, persiapan alat dan bahan penelitian, pengambilan data penelitian, pengolahan data, analisis data hasil uji coba, dan kesimpulan.

Urutan atur untuk memperoleh dasar teori dan informasi pendukung, kemudian dilanjutkan dengan perancangan atau desain percobaan guna menentukan variabel serta metode yang digunakan. Setelah itu dilakukan persiapan alat dan bahan penelitian sebelum memasuki tahap pengambilan data. Jika data yang diperoleh belum memenuhi kriteria, maka dilakukan pengambilan ulang hingga data siap untuk diolah. Selanjutnya, data yang sudah terkumpul dianalisis menggunakan metode statistik untuk memperoleh hasil uji coba yang valid. Berdasarkan hasil analisis

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini melibatkan pengumpulan data sekunder berupa dokumen tertulis terkait pengolahan data hasil pengukuran kekasaran permukaan aluminium 6061. Data yang dikumpulkan mencakup hasil pengujian I, II, dan III mengenai tingkat kekasaran permukaan, serta berbagai temuan penelitian terdahulu yang menggunakan metode Response Surface Methodology (RSM). Analisis data dilakukan secara komprehensif dengan pendekatan deskriptif kuantitatif, sedangkan interpretasi hasil penelitian menggunakan metode kualitatif. Sumber referensi diperoleh dari berbagai literatur ilmiah terpercaya meliputi jurnal internasional, buku teks, laporan penelitian, publikasi ilmiah, dan artikel-artikel bereputasi

tersebut, peneliti menarik kesimpulan akhir yang menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian, sehingga seluruh rangkaian kegiatan penelitian dinyatakan selesai.

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium permesinan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, khususnya pada area mesin CNC Milling MC750 yang digunakan untuk proses pemesian spesimen uji.

Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas laboratorium yang memadai serta tersedianya mesin CNC dengan spesifikasi yang sesuai untuk pengujian parameter cutting speed, depth of cut, dan feed rate terhadap kekasaran permukaan material. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama tahun 2024 hingga 2025, mencakup tahapan persiapan alat dan bahan, proses pemesian, pengambilan data, serta analisis hasil pengujian. Subjek penelitian meliputi spesimen uji berbahan Aluminium 6061 dengan ukuran 50×50×30 mm yang dikerjakan menggunakan pahat carbide insert tipe APMT113508PDTR, serta variabel proses yang meliputi cutting speed, depth of cut, dan feed rate sebagai faktor utama yang dianalisis menggunakan metode Response Surface Methodology (RSM).

Sumber data penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer

diperoleh dari hasil pengujian langsung proses CNC Milling pada material Aluminium 6061 menggunakan variasi cutting speed, depth of cut, dan feed rate, dengan pengukuran kekasaran permukaan menggunakan Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur dari jurnal, buku, dan sumber ilmiah terkait metode Response Surface Methodology (RSM). Teknik pengumpulan data dilakukan melalui tahap persiapan alat dan bahan, pelaksanaan pemesian sesuai desain percobaan Box-Behnken Design, serta pencatatan hasil pengujian yang kemudian diolah dan dianalisis menggunakan software Minitab 19 dan Microsoft Excel.

Pada variabel penelitian, penelitian ini menggunakan tiga parameter utama proses CNC milling yang divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan material Aluminium 6061 menggunakan metode Response Surface Methodology (RSM). Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas cutting speed, depth of cut, dan feed rate sebagai parameter yang divariasikan, sedangkan kekasaran permukaan (surface roughness) dijadikan sebagai hasil respon yang diamati. Variabel yang dapat diatur oleh peneliti, nilainya ditentukan berdasarkan tujuan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel penelitian

Cutting speed (m/min)	Depth of Cut (mm)	Feed Rate (mm/menit)
90	0,7	358,05
80	0,6	318,3
70	0,5	278,7

Hasil respon dari ketiga parameter tersebut yang diukur menggunakan Mitutoyo SJ-210 Surface Roughness Tester dalam satuan mikrometer (μm). Variabel penelitian ini terdiri atas cutting speed, depth of cut, feed rate, dan kekasaran permukaan sebagai respon. Cutting speed (kecepatan potong) merupakan kecepatan pergerakan pahat terhadap benda kerja dengan variasi 70, 80, dan 90 m/min. Depth of cut (kedalaman pemotongan) menunjukkan tebal material yang terpotong pada setiap lintasan pemakanan dengan variasi 0,5 mm; 0,6 mm; dan 0,7 mm. Feed rate (kecepatan pemakanan) adalah kecepatan pahat

bergerak memotong benda kerja per satuan waktu, dengan variasi 278,7; 318,3; dan 358,05 mm/menit. Sementara itu, kekasaran karena efisien untuk mengevaluasi pengaruh antar faktor dan menentukan kombinasi parameter pemotongan yang optimal.

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab 19 dan Microsoft Excel untuk menghasilkan nilai kuantitatif dari parameter pemotongan yang meliputi cutting speed, feed rate, dan depth of cut terhadap surface roughness pada material Aluminium 6061. Langkah-langkah pengolahan data meliputi: (1) Rekapitulasi hasil pengukuran kekasaran permukaan dari

setiap variasi parameter pemotongan; (2) Perhitungan nilai rata-rata kekasaran permukaan pada tiap spesimen uji.; (3) Penyusunan data dalam bentuk tabel dan grafik untuk melihat tren pengaruh tiap parameter; dan (4) Pembuatan grafik contour plot dan surface plot guna memvisualisasikan Pembuatan grafik contour plot dan surface plot guna memvisualisasikan interaksi antar variabel proses.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan menerapkan model matematis yang diperoleh dari hasil perhitungan RSM. Data hasil eksperimen dianalisis menggunakan uji Analysis of Variance (ANOVA) untuk mengetahui variabel yang berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan Aluminium 6061. Selain itu, dilakukan uji Lack of Fit untuk menilai kecocokan model, serta perhitungan koefisien determinasi (R^2) guna mengukur tingkat keakuratan model prediksi. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa variasi cutting speed, feed rate, dan depth of cut memberikan pengaruh yang signifikan

terhadap nilai kekasaran, serta dapat ditentukan kombinasi parameter yang permukaan (surface roughness) menjadi menghasilkan kekasaran permukaan paling optimal.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Response Surface Methodology (RSM) dengan pendekatan Box-Behnken Design (BBD), dipilih karena mampu menganalisis hubungan antara beberapa variabel proses secara simultan serta menentukan kondisi optimum dari parameter pemesinan. Metode ini mendukung pencapaian tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi cutting speed, feed rate, dan depth of cut terhadap kekasaran permukaan Aluminium 6061 serta memperoleh model matematis yang dapat memprediksi hasil kekasaran dengan akurat. Dengan menggunakan pendekatan RSM, interaksi antar variabel dan efek kuadratik dapat divisualisasikan melalui grafik contour plot dan surface plot, sehingga proses optimasi parameter pemotongan dapat dilakukan secara sistematis dan ilmiah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian kekasaran permukaan Aluminium 6061 dilakukan menggunakan mesin CNC Milling Lagun MC750 terhadap material Aluminium 6061 dengan variasi tiga parameter pemesinan, yaitu kecepatan potong (70, 80, 90 m/min), feed rate (278,7; 318,3; dan 358,05 mm/rev),

serta depth of cut (0,5; 0,6; dan 0,7 mm). Setelah proses pemesinan, pengukuran kekasaran permukaan (R_a) dilakukan pada tiga titik tiap spesimen menggunakan alat Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210. Nilai rata-rata kekasaran tiap spesimen kemudian dihitung rekapitulasi hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Nilai kekasaran permukaan

No	Kecepatan potong	Feed rate (mm/min)	Depth of cut (Kedalaman Pemakanan)	(R_a) 1	(R_a) 2	(R_a) 3	Rata-Rata
1	70	278,7	0,6	0,303	0,309	0,319	0,310
2	90	278,7	0,6	0,399	0,374	0,355	0,376
3	70	358,05	0,6	0,353	0,374	0,304	0,344
4	90	358,05	0,6	0,467	0,472	0,443	0,461
5	70	318,3	0,5	0,280	0,267	0,277	0,275
6	90	318,3	0,5	0,281	0,272	0,261	0,271
7	70	318,3	0,7	0,222	0,220	0,231	0,224
8	90	318,3	0,7	0,403	0,416	0,392	0,404
9	80	278,7	0,5	0,335	0,319	0,326	0,327
10	80	358,05	0,5	0,389	0,372	0,394	0,385
11	80	278,7	0,7	0,436	0,435	0,427	0,433
12	80	358,05	0,7	0,464	0,447	0,459	0,457
13	80	318,3	0,6	0,350	0,349	0,347	0,349
14	80	318,3	0,6	0,364	0,363	0,372	0,366
15	80	318,3	0,6	0,353	0,341	0,346	0,347

Dari hasil pengujian diperoleh nilai kekasaran permukaan rata-rata tertinggi sebesar 0,461 μm dan nilai terendah sebesar 0,224 μm . Kondisi optimal dengan kekasaran permukaan paling halus (0,224 μm) terjadi pada parameter kecepatan potong 70 m/min, feed rate 318,3 mm/rev, dan depth of cut 0,7mm. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang lebih rendah cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus.

Analisis data dilakukan menggunakan metode Response Surface Methodology

(RSM) dengan Box–Behnken Design (BBD) untuk menentukan pengaruh signifikan dari ketiga variable dengan menggunakan model summary, S bernilai 0,0175912, R-sq bernilai 97,63%, R-sq (adj) 93,36%, dan R-s1 (ored) 66,64%. Hasil analisis of variance (ANOVA) menunjukkan bahwa model yang dihasilkan signifikan dengan nilai Fhitung = 22,87 > Ftabel = 4,76 pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Nilai R^2 sebesar 97,63% menandakan bahwa model dapat menjelaskan variasi data dengan sangat baik.

Tabel 3. Analisis of varian

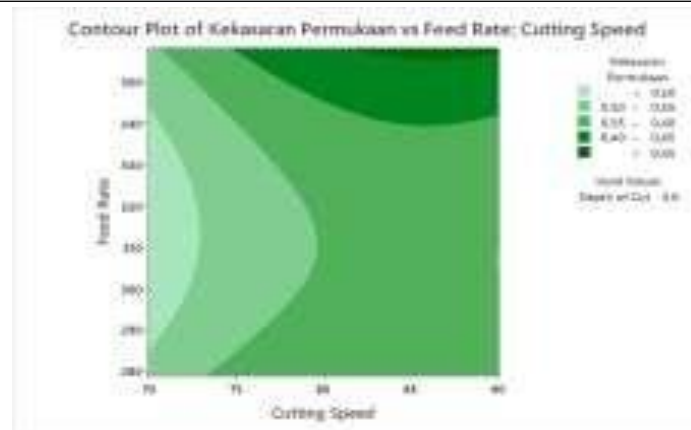
Source	Df	Adj SS	Adj MS	f-Value	P-Value
Model	9	0,063686	0,007076	22,87	0,002
Linear	3	0,029610	0,009870	31,90	0,001
Kecepatan Potong	1	0,016110	0,016110	52,06	0,001
Feed rate	1	0,005050	0,005050	16,32	0,010
Depth Of Cut	1	0,008450	0,008450	27,31	0,003
Square	3	0,024672	0,008224	26,58	0,002
Kecepatan Potong* Kecepatan Potong	1	0,007189	0,007189	23,23	0,005
Feed rate* Feed rate	1	0,014597	0,014597	47,17	0,001
Depth Of Cut	1	0,000990	0,000990	3,20	0,134
2-Way Interaction	3	0,009403	0,003134	10,13	0,014
Kecepatan Potong*Feed rate	1	0,000650	0,000650	2,10	0,207
Kecepatan Potong*Depth Of Cut	1	0,008464	0,008464	27,35	0,003
Feed rate*Depth Of Cut	1	0,000289	0,000289	0,93	0,378
Error	5	0,001547	0,000309		
Lack of fit	3	0,001329	0,000443	4,06	0,204
Pure error	2	0,000218	0,000109		
Total	14				

Secara individual, hasil uji signifikansi menunjukkan bahwa: kecepatan potong berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan (p-value = 0,001), feed rate juga berpengaruh signifikan (p-value = 0,010), dan depth of cut memiliki pengaruh signifikan (p-value = 0,003). Dengan demikian, ketiga parameter pemrosesan secara simultan dan individual memengaruhi hasil kekasaran permukaan Aluminium 6061.

Peningkatan kecepatan potong dari 70 m/min ke 90 m/min menyebabkan nilai kekasaran permukaan meningkat. Hal ini terjadi karena peningkatan kecepatan potong

mempercepat proses pemotongan dan menghasilkan panas yang lebih tinggi pada permukaan benda kerja. Akibatnya, terjadi deformasi plastis lokal dan getaran yang meningkatkan kekasaran permukaan.

Nilai feed rate yang tinggi (358,05 mm/rev) meningkatkan kekasaran permukaan karena pahat memotong material lebih cepat dengan beban potong lebih besar, sehingga meninggalkan jejak potong yang lebih kasar. Sebaliknya, feed rate rendah (278,7–318,3 mm/rev) menghasilkan permukaan lebih halus karena waktu kontak pahat lebih lama dan gaya pemotongan lebih stabil.

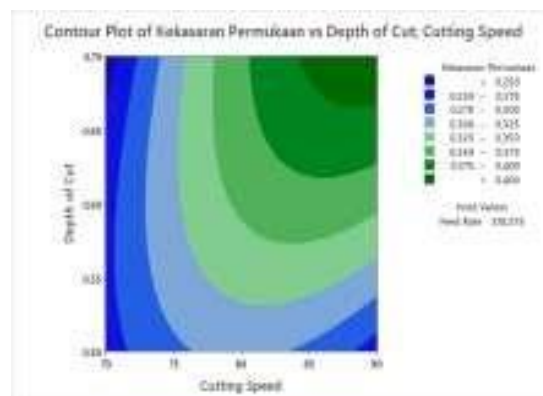


Gambar 1. Grafik countour of Roughness1 vs Feed Rate, Cutting Speed

Nilai kekasaran terendah berada pada kombinasi feed rate 318,3 mm/rev dan cutting speed 70 m/min. Area dengan warna biru-hijau menunjukkan kekasaran rendah, sedangkan warna merah menandakan kekasaran tinggi. Hasil ini mendukung analisis bahwa kenaikan feed rate dan cutting speed secara bersamaan meningkatkan nilai Ra.

Kedalaman pemotongan yang terlalu besar (0,7 mm) dapat meningkatkan

kekasaran jika tidak diimbangi dengan parameter lainnya. Namun, dalam penelitian ini, kombinasi depth of cut 0,7 mm dengan cutting speed 70 m/min dan feed rate 318,3 mm/rev justru memberikan kekasaran paling rendah. Hal ini menunjukkan adanya interaksi antarparameter yang seimbang sehingga menghasilkan hasil optimal.



Gambar 2. Grafik countour Plot of Roughness1 vs Depth of cut, Cutting speed

Bahwa peningkatan depth of cut umumnya cenderung meningkatkan nilai kekasaran permukaan. Namun, kombinasi depth of cut 0,7 mm dan feed rate 318,3 mm/rev menghasilkan nilai Ra terendah sebesar 0,224 μm , sesuai dengan hasil prediksi model RSM.

Model matematis yang diperoleh dari analisis RSM berbentuk persamaan orde dua (second-order polynomial) yang menggambarkan hubungan antara parameter pemesinan dengan kekasaran permukaan (Ra). Model ini dinyatakan valid karena tidak terdapat lack of fit yang signifikan ($p\text{-value} =$

0,204 > 0,05). Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis stationary point, diperoleh kombinasi parameter optimum: cutting speed (A): 70 m/min, feed rate (B): 318,3 mm/rev, dan depth of cut (C): 0,7 mm.

Prediksi nilai respon kekasaran pada titik optimum adalah Ra = 0,224 μm , yang telah dibuktikan sesuai dengan hasil pengujian eksperimental. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan menggunakan RSM dapat digunakan untuk memprediksi dan mengoptimalkan kekasaran permukaan Aluminium 6061 secara akurat.

4. SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kecepatan potong, laju pemakanan, dan kedalaman pemotongan berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan Aluminium 6061 pada proses CNC Milling. Melalui analisis menggunakan metode Response Surface Methodology (RSM), diperoleh nilai koefisien determinasi sebesar 97,63%, yang membuktikan bahwa model yang dihasilkan valid dan mampu

memprediksi hasil secara akurat. Kombinasi parameter optimum diperoleh pada kecepatan potong 70 m/min, feed rate 318,3 mm/rev, dan depth of cut 0,7 mm dengan nilai kekasaran terendah sebesar 0,224 μm . Hasil penelitian ini membuktikan bahwa tujuan penelitian tercapai sesuai dengan yang diharapkan dalam pendahuluan, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk optimasi proses pemesinan pada material non-ferrous lainnya di industri manufaktur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fauzi and W. Sumbodo, "Pengaruh Parameter Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan ST 40 pada Mesin Bubut CNC," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 46–57, 2021, doi:10.21831/dinamika.v6i1.38114.
- [2] B. Kasim, A. Yunus, and A. Harmin, "Analisis Kualitas Permukaan Benda Kerja Al-6061 Hasil Pemesinan dengan Mesin CNC Milling," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 10, no. 1, 2024.
- [3] I. Pratama and M. A. Rizza, "Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Proses Frais Terhadap Kekasaran Permukaan Material Aluminium 6061," *J. Tek. Ilmu Dan Apl.*, vol. 2, no. 2, pp. 49–56, 2022.
- [4] H. Kurniawan, A. W. B. Santoso, and U. Budiarto, "Pengaruh Media Pendingin Air Tawar, Air Coolant, dan Udara Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Sambungan Las MIG (Metal Inert Gas) dan MAG (Metal Active Gas) Aluminium 6061," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 4, pp. 579–587, 2020.
- [5] A. Faturrahman, Saifuddin, and Sumardi, "Analysis of the effect of variations in cutting speed and feed depth in the ST42 steel turning process on surface roughness Analisa pengaruh variasi kecepatan potong dan kedalaman pemakanan proses bubut baja ST42 terhadap," *J. Mech. Eng. Fabr.*, vol. 1, no. 2, pp. 25–28, 2024.
- [6] Auly Fatkhur Hidayat, M. Z. (2023). Perbandingan Hasil Pembubutan Dengan Menggunakan Mata Pahat Karbida Dan Mata Pahat Hss Di Bengkel Polmuh. *Nusantara Hasana Journal*, 122–126. .
- [7] C. Natarajan. (2021). Investigation of cutting parameters of surface roughness for a non-ferrous material using artificial neural network in CNC turning. *Journal of Mechanical Engineering*, 1-14.
- [8] company, S. a. (2021, November 12). *Milling muka (face milling)*. Retrieved from Panduan Pemesinan Milling <https://sentrateknika prima.com/news/panduan-pemesinan-milling-cnc- lengkap-2-3>
- [9] Henry Carles, M. Y. (2019). Analisa kekasaran permukaan terhadap kekerasan material pada proses milling dengan variasi kecepatan feeding. *Jurnal Teknik Mesin*, 59.
- [10] Luqman Dwi Saputra, E. Y. (2024). Analisis Performa Mesin CNC Milling Mini 3 Sumbu Terhadap Akurasi Gerak Pemotongan. *Journal of Mechanical Engineering*, 2-11.