Journal of Mechanical Engineering Vol: 2, No 3, 2025, Page: 1-10

Rancang Bangun Mesin *CNC Milling Mini 3 Axis* Dengan Menggunakan *Stepper* Motor Nema 34 dan *Board Mach* 3

Mohamad Khoirul Yusfi*, Agus Dani

Politeknik Negeri Malang

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin CNC (Computer Numerical Control) Milling 3 axis sebagai bagian dari inovasi di bidang manufaktur. Mesin yang dikembangkan memiliki tiga sumbu gerak utama, yaitu sumbu X dan Y untuk pergerakan horizontal alat potong, serta sumbu Z untuk pergerakan vertikal. Proses pengembangan mesin dilakukan melalui beberapa tahapan, meliputi: perencanaan, desain mekanikal dan elektrikal, pembuatan komponen, perakitan, pengujian dan validasi performa, hingga tahap penyempurnaan. Sistem kontrol mesin ini menggunakan Board Mach3 sebagai pengendali utama gerakan sumbu. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif eksperimental, dengan dua variabel bebas yaitu *depth of cut* (0,15 mm; 0,25 mm; dan 0,35 mm) serta *feed rate* (300 mm/menit; 400 mm/menit; dan 500 mm/menit). Pengujian dilakukan untuk menganalisis pengaruh kombinasi parameter tersebut terhadap kekasaran permukaan hasil milling. Analisis data menggunakan uji ANOVA untuk mengetahui signifikansi pengaruh masing-masing variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter terbaik dalam menghasilkan permukaan paling halus diperoleh pada *depth of cut* 0,15 mm dan *feed rate* 300 mm/menit, dengan nilai kekasaran permukaan sebesar 2,085 µm. Temuan ini mengindikasikan bahwa semakin kecil nilai *depth of cut* dan *feed rate*, maka semakin rendah pula nilai kekasaran permukaan benda kerja. Total biaya pembuatan mesin CNC Milling ini sebesar Rp11.240.000, yang menunjukkan potensi efisiensi biaya untuk aplikasi pendidikan maupun industri skala kecil.

Kata kunci: Alumunium, *Depth Of Cut*, *Feed Rate*, Mesin CNC *Milling Mini*, Kekasaran Permukaan

DOI: https://doi.org/10.47134/jme.v2i3.3131
*Correspondence: Muhammad Khoirul Yusfi
Email: khoirulyusfimlgg@gmail.com

Received: 30-05-2025
Accepted: 30-06-2025
Published: 30-07-2025

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract: *This research aims to design and build a 3-axis CNC (Computer Numerical Control) milling machine as part of innovation in the field of manufacturing. The developed machine has three main axes of motion, namely the X and Y axes for horizontal movement of the cutting tool, and the Z axis for vertical movement. The machine development process was carried out in several stages, including: planning, mechanical and electrical design, component manufacturing, assembly, performance testing and validation, and refinement. The machine's control system uses the Mach3 Board as the primary controller for axis movement. The research method employed was a quantitative experimental approach, with two independent variables: depth of cut (0.15 mm, 0.25 mm, and 0.35 mm) and feed rate (300 mm/min, 400 mm/min, and 500 mm/min). The testing was conducted to analyze the effect of the combination of these parameters on the surface roughness of the milling results. Data analysis used an ANOVA test to determine the significance of each variable's effect. The research results showed that the best combination of parameters for producing the smoothest surface was obtained at a depth of cut of 0.15 mm and a feed rate of 300 mm/min, with a surface roughness value of 2.085 µm. This finding indicates that the smaller the depth of cut and feed rate values, the lower the surface roughness value of the workpiece. The total cost of manufacturing this CNC Milling machine is Rp11,240,000, indicating potential cost efficiency for educational applications or small-scale industries.*

Keywords: *Aluminium, Mini CNC Milling Machine, Depth Of Cut, Feed Rate, Surface Roughness*

Pendahuluan

Saat ini, mesin CNC sangat banyak digunakan di industri manufaktur. Mesin ini umumnya digunakan untuk berbagai tujuan dalam produksi suatu produk. Keunggulan utama mesin CNC terletak pada kemudahan dalam pengoperasian dan pemrograman yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Komponen yang rumit dan detail dapat dengan mudah diproduksi menggunakan mesin CNC, cukup dengan memanfaatkan fasilitas pemrograman NC yang ada pada semua jenis mesin CNC. Mesin ini juga mampu memproduksi barang secara massal dengan kualitas yang konsisten dan efisien. Dengan meningkatnya kebutuhan manusia yang semakin beragam, industri manufaktur di Indonesia juga mengalami pertumbuhan, termasuk dalam bidang proses permesinan. Proses pemesinan adalah istilah umum yang mencakup berbagai metode yang digunakan untuk menghilangkan material dan memodifikasi permukaan spesimen. Tujuan utama dari industri manufaktur adalah untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi dalam waktu yang singkat serta biaya produksi yang rendah. Oleh karena itu, pemilihan parameter pemesinan yang optimal menjadi penting untuk meningkatkan kualitas produk mesin dan menekan biaya produksi (Kasim et al, 2024).

Penggunaan Mesin CNC *Milling* di masa ini meningkat di bidang Industri skala besar, industri skala kecil dan sampai di bidang Pendidikan. Mesin CNC adalah mesin yang proses pengoperasiannya dikendalikan oleh sistem CNC, yaitu sistem kontrol yang melakukan pengontrolan melalui kode-kode, huruf, dan angka (*alpha-numeric-code*). Susunan perintah dalam kode huruf dan angka yang tersusun sedemikian rupa dan digunakan untuk mengatur operasi mesin dalam rangka pembuatan suatu produk, disebut program CNC (Ardiansyah, 2019).

Kualitas hasil pemesinan yang baik dapat diidentifikasi, salah satunya melalui tingkat kekasaran permukaan material yang dihasilkan. Kekasaran permukaan suatu komponen mekanis dapat berdampak pada kinerja fungsional produk. Pemilihan teknik pemesinan bergantung pada tujuan yang ingin dicapai. Terdapat berbagai kombinasi parameter seperti kecepatan spindel, kecepatan makan (*feed rate*), dan kedalaman potong (*depth-of-cut*) yang digunakan untuk menghasilkan kualitas permukaan yang berbeda. Ketiga parameter ini berperan dalam menentukan kualitas permukaan produk yang dihasilkan dari proses pemesinan, namun kontribusi masing-masing parameter tersebut tidak sama. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menentukan sejauh mana masing-masing parameter tersebut berkontribusi. Dalam penelitian ini, parameter pemesinan seperti kecepatan spindel, kecepatan makan, dan kedalaman potong akan dianalisis untuk menilai pengaruhnya terhadap kualitas permukaan produk yang dihasilkan (Kasim et al, 2024). Penelitan ini menggunakan parameter *depth of cut* dan *feed rate*.

Penggunaan paduan aluminium secara luas juga terlihat di industri otomotif. Sejak tahun 1980, penggunaan paduan aluminium dalam industri otomotif telah meningkat secara signifikan. Salah satu paduan aluminium yang banyak digunakan dalam industri ini adalah aluminium 6061. Paduan ini banyak diaplikasikan dalam industri otomotif, militer, dan dirgantara karena memiliki kekuatan yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, serta

bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan paduan logam lainnya (Tsamroh & Riza Fauzy, 2022).

Oleh karena itu, dari penjelasan penelitian terdahulu masih ada celah penelitian terkait belum terlalu banyak dibahas mesin CNC Milling Mini 3 sumbu yang digunakan untuk material alumunium pada proses pemesinan Mesin CNC Milling Mini 3 sumbu tersebut untuk mengisi kesenjangan tersebut penulis melakukan penelitian dengan judul "Rancang Bangun Mesin *CNC Milling Mini 3 Axis* Dengan Menggunakan *Stepper* Motor Nema 34 dan *Board Mach* 3". Dengan tujuan dari penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi kontribusi nyata bagi pengembangan metode pemesinan terutama dalam industri manufaktur dan perkembangan pada mesin konvensional yang lebih modern. Sehingga dapat bermanfaat baik dari segi ekonomis untuk industri umkm maupun yang lain dari segi akademik baik untuk akademik mengajar.

Metodologi

Jenis penelitian ini adalah kuantitatif. Dimana analisis dan pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode Anova Faktorial. Setelah data terkumpul, analisis dilakukan dengan perangkat lunak Minitab 2021.

Gambar 1. Mesin CNC Milling Mini 3 Axis

Dalam penelitian ini, digunakan variabel bebas berupa *depth of cut* (0,15 mm, 0,25 mm, 0,35 mm) dan *feed rate* (300 mm/menit, 400 mm/menit, 500 mm/menit). Variabel yang dikontrol adalah kecepatan putar spindle yang konstan pada 5600 rpm, material pahat yang digunakan adalah HSS dengan diameter 6 mm dan 2 flute, serta material benda kerja adalah aluminium 6061 dengan ukuran 100 mm x 50 mm x 10 mm. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekasaran permukaan.

Hasil dan Pembahasan

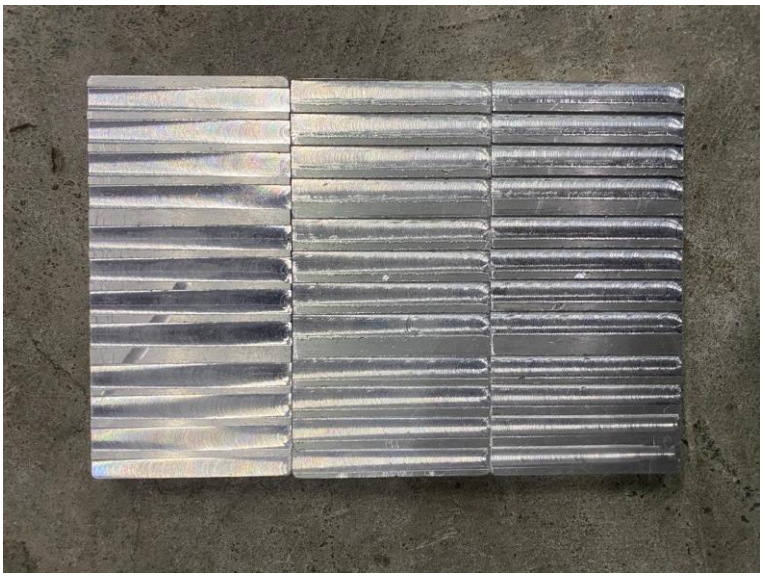
Proses pembuatan mesin CNC *Milling Mini* 3 *Axis* ini meluputi: perencanaan, desain dan pengembangan, pemilihan bahan, pembuatan komponen, perakitan, pengujian dan validasi, penyempurnaan atau optimasi. Biaya total dari pembuatan sebesar Rp. 11.240.000

Data penelitian ini diperoleh dalam satuan μm dan diolah menggunakan perangkat lunak Minitab 2021. Proses pengolahan data melibatkan analisis statistik yang memberikan informasi lebih mendetail dan relevan. Setelah pengolahan data selesai, hasilnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi dan pemahaman. Data dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

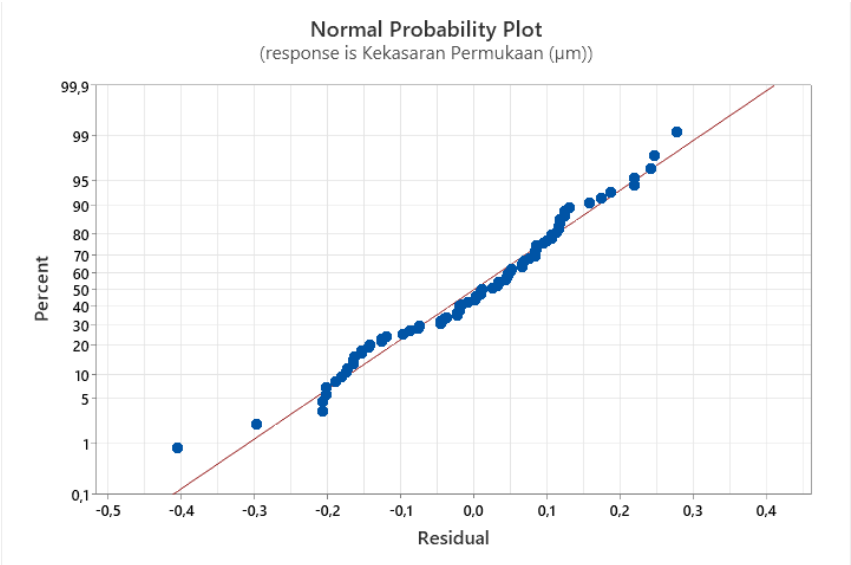
Depth of Cut (mm)	*Feed Rate* (mm/menit)	Kekasaran Permukaan (μm)			Rata-Rata (μm)
		P1	P2	P3	
0,15	300	1,921	1,911	1,92	1,917
		2,185	2,133	2,133	2,150
		2,202	2,202	2,161	2,188
	400	2,065	1,929	2,091	2,028
		2,065	2,235	2,014	2,105
		2,236	2,091	2,27	2,199
	500	2,185	2,185	1,997	2,122
		2,201	2,202	2,031	2,145
		1,997	2,219	2,338	2,185
0,25	300	2,202	2,304	2,336	2,281
		2,091	2,073	2,142	2,102
		2,287	2,219	2,304	2,270
	400	2,441	2,594	2,355	2,463
		2,219	2,372	2,338	2,310
		2,355	2,389	2,048	2,264
	500	2,253	2,475	2,424	2,384
		2,355	2,406	2,663	2,475
		2,236	2,663	2,509	2,469
0,35	300	2,159	2,116	2,15	2,142
		2,441	2,406	2,406	2,418
		2,406	2,389	2,429	2,408
	400	2,372	2,441	2,509	2,441
		2,253	2,321	2,355	2,310
		2,526	2,406	2,372	2,435
	500	2,645	2,85	2,953	2,816
		3,089	3,021	3,124	3,078
		2,441	2,645	2,85	2,645

Data ini didapat dari pengukuran *surface rougness tester* AMTAST SRT-6210 dengan *cut off leght* 0,8. Hasil pemakanan dapat dilihat pada gambar 2. dibawah.



Gambar 2. Hasil Pemakanan

Setelah dilakukan proses pemesinan dengan hasil seperti gambar 2 diatas Kemudian data penelitian ini diperoleh dalam satuan µm dan diolah menggunakan perangkat lunak Minitab 2021.



Gambar 3. Grafik *Normal Probability Plot*

Dari data tersebut kemudian dapat dilihat grafik *normal probability plot* pada gambar 3, dengan menggunakan minitab 2021. Grafik pada gambar 3, menjelaskan bahwa data penelitian yang didapat mengalami distribusi normal, meskipun ada data yang menyimpang dari garis normal tapi masih dalam toleransi. Berikut gambar 3. Grafik *normal probability plot*. Setelah itu akan diketahui data *Analysis of Variance* dan *modal summary* seperti pada tabel 2 dibawah.

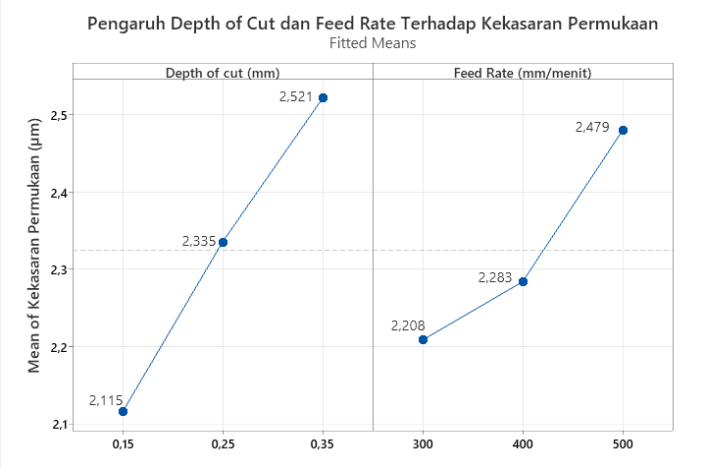
Tabel 2. Tabel *Analysis Of Variance dan Modal Summary*

Source	*DF*	*Adj SS*	*Adj MS*	*F-Value*	*P-Value*
Depth of cut (mm)	2	2,2280	1,11399	56,32	0,000
Feed Rate (mm/menit)	2	1,0604	0,53018	26,80	0,000
Depth of cut (mm)**Feed Rate* (mm/menit)	4	0,6395	0,15988	8,08	0,000
Error	72	1,4241	0,01978		
Total	80	5,3520			

S	*R-sq*	*R-sq(adj)*	*R-sq(pred)*
0,140640	73,39%	70,43%	66,32%

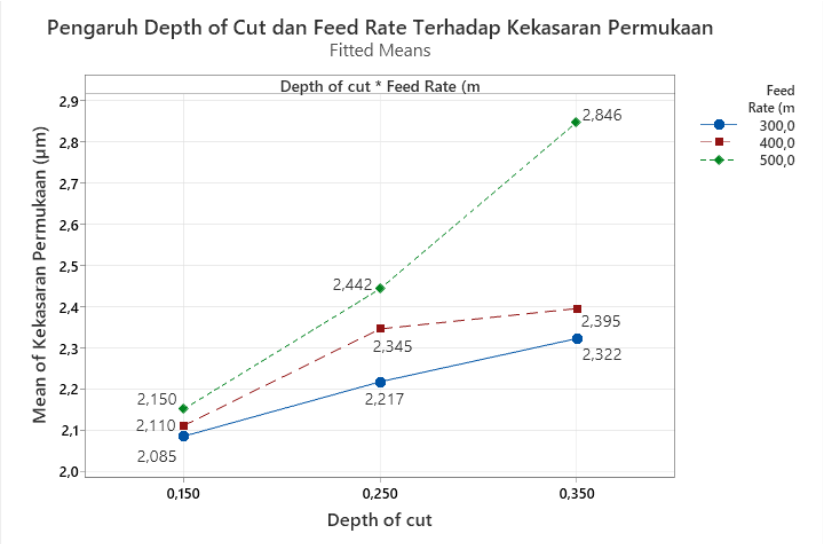
Dari *Analysis of Variance* dan *modal summary* yang telah dilakukan dengan menggunakan data diatas, menjelaskan bahwa *depth of cut* dan *feed rate* mempengaruhi kekasaran permukaan karena nilai *P-value* 0 dibawah alpha (α) dengan nilai 0,05. *Depth of cut* dan *feed rate* adanya interaksi terhadap kekasaran permukaan. Kemudia *R-square* yang didapat adalah 73,39%. Pernyataan di atas dapat dilihat pada Tabel 2 ini memperlihatkan bahwa parameter pemesinan berupa depth of cut dan feed rate memiliki pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*) benda kerja aluminium 6061 pada mesin CNC Milling Mini 3 Axis. Hal ini dibuktikan melalui uji ANOVA yang menunjukkan nilai *P-value* sebesar 0,000 untuk masing-masing variabel, lebih kecil dari batas signifikansi α = 0,05. Dengan demikian, baik secara individu maupun interaksi antar-variabel, kedua parameter tersebut berkontribusi nyata terhadap perubahan kualitas permukaan hasil pemesinan

Temuan ini mendukung hasil penelitian Suryadi et al. (2022) yang menunjukkan bahwa kombinasi parameter pemesinan secara signifikan mempengaruhi kualitas akhir permukaan benda kerja berbahan logam ringan seperti aluminium. Penelitian ini juga sejalan dengan hasil studi Novrialdy et al. (2021) yang menyatakan bahwa semakin kecil nilai *feed rate*, maka hasil kekasaran permukaan cenderung menurun, yang artinya permukaan menjadi lebih halus. Setelah itu akan diketahui grafik factorial plot seperti pada gambar 4 dibawah.



Gambar 4. Grafik factorial plot

Sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Grafik ini menunjukkan plot faktorial yang menggambarkan dampak *depth of cut* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan pada Mesin CNC *Milling Mini* 3 *Axis*. Grafik ini memperkuat hasil uji ANOVA dan data penelitian lainnya dalam jurnal Anda, yang menyimpulkan bahwa baik depth of cut maupun feed rate secara signifikan mempengaruhi nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*). Kombinasi terbaik untuk mendapatkan kualitas permukaan paling halus adalah pada depth of cut 0,15 mm dan feed rate 300 mm/menit. Setelah itu akan diketahui grafik factorial plot seperti pada gambar 4 dibawah.



Gambar 5. Grafik Interaksi factorial plot

Pada Gambar 5, ditampilkan grafik interaksi faktorial yang menggambarkan pengaruh *depth of cut* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan pada mesin CNC *Milling Mini* 3 *Axis*. Garis vertikal pada grafik tersebut menunjukkan nilai rata-rata kekasaran permukaan (µm) sebagai variabel terikat. Grafik ini memuat tiga garis yang mewakili variabel *feed rate*, yang masing-masing berwarna biru, merah, dan hijau

Dari analisis data penelitian ini didapatkan parameter yang menghasilkan kekasaran paling rendah adalah *depth of cut* 0,15 dengan *feed rate* 300 mm/menit. Dapat diketahui bahwa dari sisi ekonomi, total biaya pembuatan sebesar Rp11.240.000 memperlihatkan bahwa mesin ini dapat menjadi alternatif tepat guna bagi industri kecil-menengah (IKM) dan institusi pendidikan vokasi. Hal ini sejalan dengan visi pengembangan mesin CNC hemat biaya seperti yang dikemukakan oleh Sanusi (2011), bahwa mesin CNC skala kecil dapat menjadi solusi ideal untuk pembelajaran dan produksi terbatas, asalkan tetap mengedepankan akurasi dan pengujian performa.

Selain itu, penggunaan material aluminium 6061 sebagai benda kerja dalam pengujian ini juga relevan dengan tren industri otomotif dan dirgantara yang mulai mengadopsi logam ringan untuk efisiensi energi, sebagaimana dijelaskan oleh Tsamroh & Riza Fauzy (2022). Kombinasi kekuatan tinggi dan ketahanan korosi pada aluminium 6061 mendukung penggunaannya dalam uji performa mesin CNC skala mini.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan kontribusi praktis dan teoritis dalam pengembangan teknologi pemesinan berbasis CNC, khususnya pada sektor edukasi teknik dan industri kecil. Penelitian ini juga mengisi kesenjangan dari studi sebelumnya yang lebih banyak berfokus pada mesin CNC skala besar atau penggunaan kontrol sistem selain Mach 3 dan stepper motor Nema 34

Simpulan

Proses pembuatan Mesin CNC *Milling Mini* 3 *Axis* melibatkan beberapa tahap utama: perencanaan, desain dan pengembangan, pemilihan bahan, pembuatan komponen (meliputi pemotongan dan pembentukan bahan menggunakan metode manufaktur seperti pengelasan, pengefraisan, dan pembubutan), perakitan, pengujian dan validasi, serta penyempurnaan atau optimasi untuk meningkatkan kinerja mesin. Biaya pembuatan mesin CNC *Milling Mini* 3 *Axis* mencakup beberapa aspek, biaya pembelian bahan baku ini ada dua yaitu *order* dan *non order*. Bahan *non order* tergolong pada biaya pengerjaan memalui proses *machining*. Proses *Machining* biaya ini mencakup pengolahan bahan mentah menjadi komponen mesin melalui berbagai teknik seperti pemotongan, pengelasan, *milling*, dan pembubutan. Perakitan Mesin Biaya ini mencakup biaya tenaga kerja dan material yang diperlukan untuk merakit komponen-komponen mesin menjadi satu unit yang berfungsi penuh. Secara keseluruhan, biaya pembuatan mesin CNC *Milling Mini* 3 *Axis* mencapai total Rp 11.240.000. Pada aluminium 6061 yang diproses menggunakan mesin CNC *Milling Mini* 3 *Axis*, *depth of cut* dan *feed rate* mempengaruhi nilai kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan tertinggi, sebesar 2,846 μm, terjadi pada *depth of cut* 0,35 mm dengan *feed rate* 500 mm/menit. Sebaliknya, kekasaran permukaan terendah, yaitu 2,085 μm, diperoleh pada *depth of cut* 0,15 mm dengan *feed rate* 300 mm/menit. Dengan demikian variasi *depth of cut* dan *feed rate* mempengaruhi hasil kekasaran permukaan signifikan. *Depth of cut* dan *feed rate* terdapat interaksi terhadap kekasaran permukaan karena P-*Value* nilainya dibawah alpha (α) 0,05 dengan nilai P-*Value* 0,000. Saran untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengembangan untuk material yang di uji dan untuk penelitian selanjutnya lakukan pengujian dengan parameter yang lebih luas lagi dengan variasi kecepatan spindel, konsumsi daya serta pada saat proses pemesinan lebih baik dilengkapi dengan pendingin

seperti *coolant* terutama pada spindel dan pada pahat dikarenakan akan mempengaruhi kekasaran permukaan apalagi dilakukan untuk pemotongan pada material keras dan pemotongan yang tebal dan banyak akan menyebabkan spindel cepat panas dan pahat akan cepat aus.

Daftar Pustaka

Abdullah, A. B., Chia, L. Y., & Samad, Z. (2008). The effect of feed rate and cutting speed to surface roughness. *Asian Journal of Scientific Research*, *1*, 12–21. https://doi.org/10.3923/ajsr.2008.12.21

Ardiansyah, R. Y. (2019). *Rancang bangun sistem kontrol CNC 3 axis menggunakan board Mach 3* (Laporan tugas akhir). Politeknik Harapan Bersama Tegal.

Cardona Jiménez, J., Ardila, M. I., Rudas, J. S., Isaza, C. A., Núñez, E. J., & Rodriguez, M. A. (2022). Energy consumption analysis of machining centers using Bayesian analysis and genetic optimization. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/2207.05243

Hadiputranto, R. (2007). Pemilihan linear motion guide aksis Y untuk vertikal machining center. *Transmisi*, *III*, 317–325.

Jufrizaldy, M., Ilyas, I., & Marzuki, M. (2020). Rancang bangun mesin CNC milling menggunakan system kontrol GRBL untuk pembuatan layout PCB. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, *4*(1), 37. https://doi.org/10.30811/jmst.v4i1.1743

Malik, I., Azharuddin, & Dewi, Chindyka, K. (2019). Aplikasi hasil rancang bangun mesin CNC router terhadap proses permesinan cutting speed, feeding cutting dan depth of cut terhadap waktu. *Jurnal Austenit*, *11*(1), 11–15.

Malik, I., Azharuddin, A., & Riyadi, S. (2020). Pengaruh Spindle Speed, Feed Rate, dan Depth of Cut Terhadap Akurasi Hasil Permesinan Pada Mesin CNC Router 3Sumbu, Jurnal Austenit, 11(2), 33–40

Novrialdy, Y., Arwizet, K., Yufrizal, A. & Prasetya, F. (2021). Pengaruh variasi feed rate terhadap kekasaran permukaan polyethylene menggunakan mesin CNC milling. Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek), 3(2), 25–33. https://doi.org/10.24036/vomek.v3i2.206

Paridawati., (2020) Pengaruh Kecepatan Dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Benda Kerja Pada Mesin Bubut, Jurnal. Ilmiah Tek. Mesin, 3(1). 53–67

Purwantoro, A., Duniawan, A., Hanif, A., (2022) Uji Ketelitian Geometrik Mesin Frais Universal Type 57-3C Menggunakan Standar ISO 1701, Jurnal Tek. Mesin ITI, 6(2)

Prakosa, T., Wibowo, A., Yuwana, Y., & Nurhadi, I. (2010). Pengujian ketelitian geometrik mesin perkakas CNC milling vertikal buatan dalam negeri. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) Ke-9*, 141–146.

Quinsat, Y., Lavernhe, S., & Lartigue, C. (2011). Characterization of 3D surface topography in 5-axis milling. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/1106.2077

Raharjo. R., Widodo. T. D., Bintarto. R., (2018) *Desain Manufaktur Bracket Aluminium*, Jurnal Rekayasa Mesin, 9(2), 110-125

Rachmawati, A., Setyarini, P. H., Ambayoen, M. A., Djunaidi, I. H., & Azizah, S. (2021). Effect of feed rate and depth of cut on face milling process on surface roughness of Al-Mg alloy using CNC milling machine 3 axis. *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*. https://doi.org/10.47577/TECHNIUM.V3I11.5396

Saputra, L. D., & Yudiyanto, E. (2024). Analisis Performa Mesin CNC Milling Mini 3 Sumbu Terhadap Akurasi Gerak Pemotongan. *Journal of Mechanical Engineering*, *1*(3). https://doi.org/10.47134/jme.v1i3.3117

Saha, S. (2009). Genetic algorithm based optimization and post optimality analysis of multi-pass face milling. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/0902.0763

Sanusi, A. R. (2011). *Rancang bangun konstruksi mesin CNC berbiaya rendah*. Universitas Islam Indonesia.

Syaifudin, M. & Syafri, S., (2017) Pengaruh Kesalahan Dimensi Terhadap Ketelitian Gerak Output Mesin Milling 3 Axes, Jurnal Online Mahasiswa, 4(2)

Sumpena, A., Suharto, A., (2010) Studi Kemampuan dan Keandalan Mesin Milling F4 Melalui Pengujian Karateristik Statik Menurut Standar Iso 1701, Jurnal Politeknologi, 9 (3), 1-8

Suryadi, R., Riana, D., & Kangen. (2022). Pengaruh parameter proses CNC milling terhadap surface roughness dan toleransi bidang pada inlet outer valve. *Jurnal Teknik Mesin*, *6*(2), 1–10.

Taylor. J. R. (1999). *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. University Science Books. hlm. 128–129

Tiwan, (2014), Kemampuan Mahasiswa Dalam Memilih Material Pada Pembuatan Karya Teknologi, Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, 22(1), 100-107

Tolosi, K., Poeng, R., Lumintang R., (2013) Analisis Ketelitian Geometrik Mesin Frain Horisontal Kunzmann Uf6 Di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin Unsrat, 2(1), 1-10

Tsamroh, D. I., & Riza Fauzy, M. (2022). Peningkatan sifat mekanik Al6061 melalui heat treatment natural-artificial aging. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, *6*(1), 8–13. https://doi.org/10.33379/gtech.v6i1.1217

Utama, D. W., Halim, A., Primatri, G., Akbar, B. A., & Immanuel, J. (2018). Perancangan dan analisis rangka mesin desktop CNC milling. *Poros*, *16*(1), 94–102. https://doi.org/10.24912/poros.v16i1.6298

Williams, G. (2003). *CNC robotics: Build your own workshop bot*. McGraw-Hill Education – Europe.

Yessika, F. A., & Yudiono, H. (2020). Pengaruh variasi baja terhadap keausan end mill cutter HSS pada proses permesinan CNC milling. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, *15*(2), 21–24.

Yusril, M., Sunding, A., & Wibowo, N. R. (2020). Rancang bangun mesin CNC router. *Jurnal Tematis*, 1–7.

Zakariya, I. M. (2018). *Kekasaran permukaan AL-6061 pada proses up milling*.