

PENGARUH PROSES MILLING MUKA PADA KONDISI BASAH DAN KERING UNTUK BAJA AMUTIT TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN

Rudy Yuni Widiatmoko^{1)*}, Waluyo Musiono Bintoro²⁾, Achmad Hata³⁾, Deni Mulyana⁴⁾, Ilham Azmy⁵⁾

^{1,3,5)} Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Bandung Barat, Indonesia

^{2,4)} Program Studi Proses Manufaktur, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Bandung Barat, Indonesia

Corresponding Author: rudy.yw@polban.ac.id

ABSTRAK

Proses milling muka pada pemotongan logam merupakan aktivitas penting dalam industri manufaktur untuk dapat menghasilkan suatu produk. Salah satu parameter dari hasil proses tersebut adalah kekasaran permukaan yang berperan penting pada umur pakai komponen mekanik. Di sisi lain, baja amutit dengan standar AISI O1 banyak dimanfaatkan sebagai komponen mekanik untuk punch dan dies karena sifat mampu mesinnya yang sangat baik. Maka, pada penelitian ini dilakukan penerapan variasi parameter selama proses milling muka dalam kondisi basah dan kering pada mesin Computer Numerical Control (CNC) untuk menghasilkan komponen mekanik baja amutit dengan kekasaran yang lebih baik. Parameter yang dipilih pada prosesnya meliputi putaran spindle, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan. Proses milling muka dilakukan pada beberapa spesimen baja amutit menggunakan insert carbide cutter pada kondisi yang berbeda. Selanjutnya, data kekasaran permukaan (Ra) dievaluasi menggunakan metode signal-to-noise ratio (SNR) dan analysis of variance (ANOVA). Hasil pemotongan proses milling muka baja amutit dalam kondisi basah dan kering memiliki perbedaan nilai kekasaran permukaan. Adapun parameter pemotongan yang berperan besar dalam menghasilkan nilai kekasaran permukaan optimum antara lain spindle speed pada 2250 rpm, feed rate 180 mm/menit dan kondisi basah. Dengan demikian, proses milling muka basah pada baja amutit dengan penerapan parameter tersebut dapat menciptakan kualitas produk yang tinggi dan ekonomis.

Kata kunci : baja amutit, milling muka, kekasaran permukaan

ABSTRACT

Face milling is considered as important process of metal cutting in manufacture industry to obtain a product. The main parameter of this process relies on surface roughness which highly affect to lifespan of mechanical parts. Amutit, commonly known as AISI O1 steel, has widely utilized for mechanical parts specifically as punch and dies due to its better machineability. Herein, in this research, the variation of parameters has been applied during dry and wet face milling process in Computer Numerical Control (CNC) milling machine to achieve mechanical parts of amutit with intriguing surface roughness. The opted parameters include spindle speed, feed rate, and dept of cut during face milling process. Face milling process was applied to several amutit steels samples using insert carbide cutter in different conditions. Afterwards, surface roughness (Ra) data were evaluated by using signal-to-noise ratio (SNR) and analysis of variance (ANOVA). The cutting result of face milling amutit steel in wet and dry condition possess distinct surface roughness value. The main contributor of cutting parameters to exhibit optimum surface roughness value were spindle speed of 2250 rpm, feed rate of 180 mm/minute,

and wet condition. Therefore, wet face milling process of amutit steel within its parameters has big potential to produce high-quality and cost-effective products.

Keywords : amutit steel, face milling, surface roughness

1. PENDAHULUAN

Baja amutit (AISI O1) merupakan golongan baja perkakas yang memiliki susunan komposisi kimia utama *ferrous*, *silicon*, *chromium*, dan mangan[1]. Dalam aplikasi dunia industri, baja ini dimanfaatkan sebagai *punch* dan *dies* karena sifat mampu mesinnya yang sangat baik[2]. Salah satu proses industri yang umum diberikan pada baja amutit adalah proses permesinan. Proses permesinan (*machining*) merupakan istilah umum yang didefinisikan sebagai serangkaian proses pada suatu benda (*raw material*) yang diproses melalui pemotongan material, pembuangan material, dan modifikasi permukaan benda kerja dengan beragam metode pengerjaan, hingga pada tahap akhir menjadi suatu produk utuh yang berkualitas bagus dan bernilai jual tinggi.

Proses permesinan yang dilakukan pada mesin milling adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong yang berputar. Beberapa parameter yang bisa mempengaruhi proses permesinan adalah *cutting speed* yang berhubungan dengan dengan putaran motor dan diameter alat potong, *feed rate* berhubungan dengan kecepatan pemakanan dan *depth of cut* (kedalaman pemakanan)[3]. Ketiga parameter pemakanan tersebut merupakan parameter penting dalam sebuah proses milling.

Salah satu proses milling yang dikenal secara luas adalah milling muka (*face milling*). Milling muka merupakan proses pemotongan permukaan datar yang tegak lurus terhadap sumbu rotasi pemotong[4]. Dalam hal ini, proses pemotongan dilakukan dengan memotong tepi kedua sisi (bagian ujung dan luar) pinggiran pisau milling. Proses milling muka banyak dipilih karena kapabilitasnya dalam menghasilkan permukaan yang benda kerja sangat rata.

Di sisi lain, hal yang patut untuk diperhatikan dalam kondisi operasi proses milling muka yaitu perbedaan kondisinya yang dapat berpengaruh pada kekasaran permukaan dari benda kerja[3, 4]. Kekasaran permukaan ini menjadi krusial untuk menentukan peningkatan mampu mesin, umur pakai, dan kehandalan dari produk baja amutit.

Kekasaran permukaan juga digunakan untuk mengevaluasi kualitas hasil proses milling muka sehingga menjadi tolok ukur yang patut diperhatikan[7].

Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan proses milling muka dengan perbedaan kondisi basah dan kering pada baja amutit. Perbedaan kondisi basah dan kering tersebut diharapkan dapat memberikan terobosan dalam proses permesinan milling muka yang efektif untuk menghasilkan produk *machining* baja amutit yang berkualitas. Selain itu, parameter *cutting speed* yang digunakan dalam penelitian ini bervariasi antara 1600, 1900, 2250 rpm karena seiring dengan meningkatnya *cutting speed* akan sangat berpengaruh pada gaya pemotongan yang berefek pada hasil kekasaran permukaan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Milling Muka

Proses milling muka merupakan bagian dari operasi pemotongan logam (metal cutting) yang banyak diaplikasikan dalam industri otomotif dan *aerospace* untuk berfokus pada penyelesaian komponen mekanik yang akurat khususnya pada bagian permukaan (*surface*)[8]. Seiring berkembangnya teknologi, mesin CNC secara luas digunakan pada proses milling muka untuk mereduksi kompleksitas proses pemesinan melalui pemrograman komputer yang efisien dalam peningkatan hasil produksi.

Untuk menghasilkan produk yang baik, proses milling muka memerlukan pengaturan parameter yang tepat khususnya dalam proses kontak antara peralatan dan benda kerjanya sehingga dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang baik[9]. Parameter yang secara aktif berperan penting adalah kecepatan spindle dan gaya potong selama proses pemesinan milling muka tersebut.

2.2 Baja Amutit

Baja amutit merupakan golongan baja perkakas dengan standar AISI O1 dengan komposisi kimia yang terdiri dari unsur paduan

utama ferrous dan beberapa paduan lainnya seperti karbon 0,95 %, mangan 1, 1% chromium, 0,5 %, vanadium 0,12 %, tungsten 0,55% dan silikon 0,3%. Secara umum, baja amutit memiliki kekuatan yang cukup tinggi bersamaan dengan ketangguhan yang mumpuni untuk tahan terhadap penetrasi dan mengeluarkan kapasitas penyerapan terhadap beban kejut (impak) yang lebih baik[10].

Dalam proses manufaktur, baja amutit dikenal sebagai salah satu material yang memerlukan perhatian khusus dalam pengerjaannya karena sifat *machineability*-nya yang relatif rendah. Proses permesinan seperti *metal cutting*, *turning*, hingga *milling* memerlukan parameter yang tepat sehingga produk hasil baja amutit yang dihasilkan dapat memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan[11].

2.3 Kekasaran Permukaan

Kekasaran didefinisikan sebagai bentuk ketidakhalusan suatu benda setelah benda tersebut diberikan perlakuan mekanik melalui proses pemessinan (*machining*). Dalam bidang keteknikan, nilai kekasaran dinyatakan dalam simbol *Ra* (*Roughness Average*) sehingga nilai tersebut menjadi landasan dalam menentukan kekasaran suatu benda[12]. Secara spesifik, kekasaran permukaan merupakan kekasaran yang terletak pada bagian permukaan benda. Kekasaran permukaan menjadi tolok ukur karena bagian permukaan tersebut merupakan bagian terluar dari suatu benda yang bersinggungan langsung dengan lingkungan. Untuk mendapatkan nilai kekasaran suatu benda, maka perlu dilakukan pengujian kekasaran menggunakan sebuah peralatan yang bernama *roughness tester*. Pada prinsipnya, proses pengukuran kekasaran pada *roughness tester* tersebut mengandalkan sinyal yang secara simultan terus bergerak pada permukaan benda.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Preparasi Spesimen

Spesimen penelitian yang digunakan merupakan baja Amutit dengan standar AISI O1 atau K460 (Bohler) yang memiliki dimensi 100 x 85 x 25 mm sebanyak 2 buah.

3.2 Penentuan Parameter Pemotongan

Paramater pemotongan yang diterapkan selama proses milling muka dalam penelitian ini

antara lain putaran spindle, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan. Masing-masing parameter menggunakan tiga level nilai variabel seperti dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter proses pemotongan milling muka

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
Spindle Speed (rpm)	1600	1900	2250
Feed Rate (mm/menit)	128	152	180
Depth of Cut (mm)	1	1	1

Selain itu, perbedaan kondisi antara kering (*dry*) dan basah (*wet*) pada proses milling muka turut menjadi objek penelitian.

3.3 Proses Milling Muka

Proses milling muka dilakukan dengan menggunakan mesin CNC Milling Mori Seiki NMV5000 DCG (Gambar 1). Proses pemotongan dilakukan dalam kondisi *dry cutting* (tanpa coolant) dan *wet cutting* (menggunakan coolant).



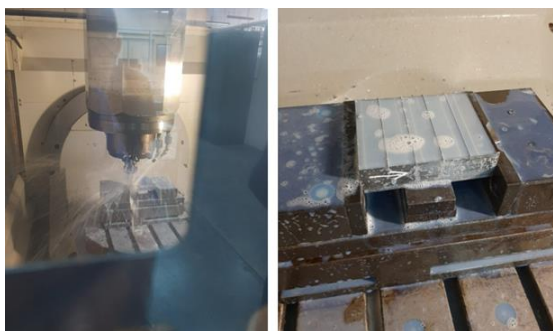
Gambar 1. Mesin CNC milling mori seiki nmv 5000 dcg

Alat potong yang digunakan sepanjang proses eksperimen berjenis *Insert Carbide* berdiameter 20 mm sejumlah 3 buah.



Gambar 2. Persiapan dan pemasangan *insert carbide cutter*

Persiapan pemotongan dengan menyiapkan *part program* untuk proses pemotongan baik pada kondisi *dry cutting* maupun *wet cutting*, input program ke dalam mesin, serta dilakukan simulasi gerakan lintasan alat potongnya untuk meyakinkan bahwa gerakan alat potong sudah sesuai dengan yang diinginkan. Selanjutnya spesimen dipasang atau dicekam pada ragum mesin yang ada di dalam mesin CNC Milling. Proses pemotongan atau pemesinan dilakukan sesuai dengan program yang telah disiapkan sebelumnya untuk kondisi tanpa pendingin (*dry cutting*) dan menggunakan pendingin coolant (*wet cutting*). Secara umum, proses pemotongan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses pemotongan spesimen

Selanjutnya dilakukan pemberian notasi pada masing-masing kondisi pemotongan untuk digunakan sebagai acuan dalam pengukuran kekasaran permukaannya.

3.4 Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan (*surface roughness*) dilakukan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan dari spesimen baja amutit dengan perbedaan parameter pemotongan proses milling muka. Alat uji Mitutoyo Surface Roughness Tester SJ-310 digunakan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan seperti dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat *surface roughness tester*

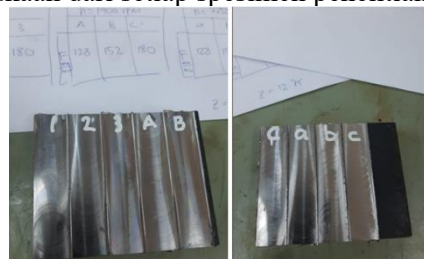
3.5 Pengolahan dan Analisis Data

Data penelitian yang telah didapatkan dari pengaruh parameter pemotongan proses milling muka baja amutit diolah dan dianalisis menggunakan metode *signal-to-noise ratio (SNR)* dan *analysis of variance (ANOVA)* serta perhitungannya dengan software MiniTab.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Proses Pemotongan

Secara umum, hasil pemotongan proses milling muka telah diterapkan pada baja amutit dengan kondisi *dry* dan *wet cutting*. Gambar 5 memperlihatkan hasil perbedaan kekasaran permukaan dari setiap spesimen penelitian.



Gambar 5. Hasil proses milling muka baja amutit pada kondisi *dry* dan *wet*

Kondisi tersebut dapat terjadi karena pengaruh *coolant* yang menjadi penghambat gaya pemakanan *cutter* saat proses *milling* berlangsung sehingga memberikan efek hasil kekasaran permukaan yang berbeda[13].

4.2 Hasil Proses Pemotongan

Hasil dari proses pemotongan milling muka dari baja amutit pada kondisi basah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian dalam kondisi pemotongan basah

No	Spindel Speed	Feed Rate	Ra
1	1600	128	0,360
2	1600	152	0,382
3	1600	180	0,516
4	1900	128	0,333
5	1900	152	0,422
6	1900	180	0,471
7	2250	128	0,330
8	2250	152	0,356
9	2250	180	0,420

Pada proses milling muka dengan kondisi basah (*wet*), kekasaran permukaan yang dihasilkan cenderung meningkat seiring dengan penambahan parameter *spindle speed*. Hasil tersebut berbasis pada keberadaan coolant yang semakin menjadi *binder* (penhalang) saat kecepatan spindle bertambah[14].

Di sisi lain, hasil pemotongan milling muka dari baja amutit pada kondisi kering dapat dilihat pada Tabel 3.

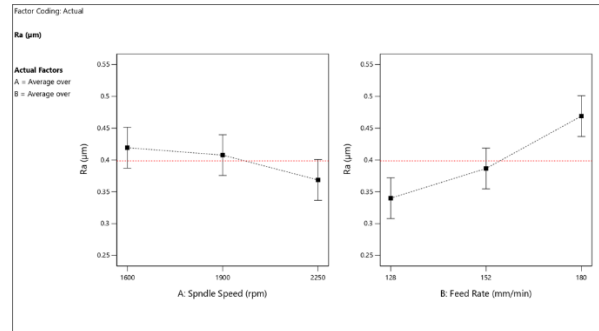
Tabel 3. Hasil pengujian dalam kondisi pemotongan kering

No	Spindel Speed	Feed Rate	Ra
1	1600	128	0,384
2	1600	152	0,388
3	1600	180	0,595
4	1900	128	0,357
5	1900	152	0,384
6	1900	180	0,527
7	2250	128	0,334
8	2250	152	0,382
9	2250	180	0,390

Secara umum, dalam kondisi proses milling muka kering, baja amutit tidak mengalami perubahan signifikan dalam kekasaran permukaannya. Namun demikian, pada kondisi *feed rate* yang cukup tinggi, kekasaran permukaan juga turut meningkat karena bidang pemotongan yang mengalami perluasan.

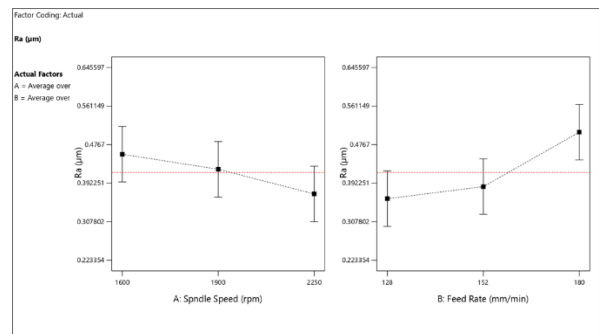
4.3 Hubungan kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan terhadap Kekasaran permukaan

Pada Gambar 6 dan 7 terlihat bahwa secara umum hubungan antara kecepatan spindle terhadap kekasaran permukaan adalah berbanding terbalik yaitu semakin besar kecepatan spindle maka semakin kecil kekasaran permukaan, sedangkan hubungan antara kecepatan pemakanan dengan kekasaran permukaan adalah berbanding lurus yaitu semakin besar kecepatan pemakanan maka semakin besar kekasaran permukaan.



Gambar 6. Hubungan *spindle speed* dan *feed rate* terhadap Ra pada pemotongan basah

Pada proses pemotongan milling muka baja amutit dalam kondisi basah dapat diilustrasikan bahwa seiring meningkatnya *spindle speed*, maka nilai kekasaran permukaan semakin kecil.



Gambar 7. Hubungan *spindle speed* dan *feed rate* terhadap Ra pada pemotongan kering

Sementara itu, pada kondisi kering, proses milling muka baja amutit menunjukkan bahwa parameter *feed rate* yang meningkat turut signifikan menaikkan nilai kekasaran permukaan.

4.4 ANOVA Pengaruh Parameter Pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan

Pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan dianalisis dengan metoda ANOVA pada masing-masing kondisi pemotongan kering dan basah. Data ANOVA ditampilkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. ANOVA parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan kondisi pemotongan basah

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0.0298	4	0.0075	9.32	0.0264
A-Spindle Speed	0.0042	2	0.0021	2.64	0.1858
B-Feed Rate	0.0256	2	0.0128	16.00	0.0124
Residual	0.0032	4	0.0008		
Cor Total	0.0330	8			

Dalam kondisi pemotongan basah desain model penelitian disimpulkan signifikan. Faktor yang memberikan pengaruhnya signifikan adalah nilai *feed rate* (kecepatan pemakanan), dapat dilihat dari nilai *p-value* yang lebih kecil dari 0,05 (nilai tingkat signifikansi).

Tabel 5. ANOVA Parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan kondisi pemotongan kering

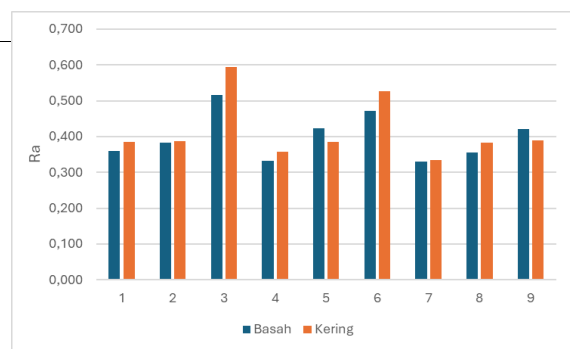
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0.0477	4	0.0119	4.15	0.0985
A-Spindle Speed	0.0116	2	0.0058	2.01	0.2485
B-Feed Rate	0.0362	2	0.0181	6.29	0.0583
Residual	0.0115	4	0.0029		
Cor Total	0.0592	8			

Dalam kondisi pemotongan kering desain model penelitian disimpulkan tidak signifikan artinya tidak ada parameter pemotongan yang dianggap berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Tetapi dari sisi besar pengaruh parameter, nilai kecepatan pemakanan masih

mempunyai pengaruh yang lebih besar dibanding kecepatan spindle karena nilai *p-value* hampir mendekati nilai tingkat signifikansi 0,05.

4.5 Perbandingan Kondisi Pemotongan Basah dan Pemotongan Kering

Perbandingan nilai kekasaran permukaan dari kondisi pemotongan basah dan kering ditunjukkan pada Gambar 8. Dari grafik tersebut terlihat bahwa secara umum nilai kekasaran permukaan kondisi pemotongan basah lebih rendah dibanding kondisi pemotongan kering, kesimpulannya bahwa kondisi pemotongan basah memberikan kehalusan permukaan yang lebih baik.



Gambar 8. Perbandingan kekasaran permukaan kondisi pemotongan basah dan kering

Fakta tersebut didukung bahwa dengan proses milling muka dalam keadaan basah (dialiri *coolant*) dapat menurunkan friksi gesekan yang berlebihan dan membuat bidang pemotongan semakin kecil sehingga meminimalisasi nilai kekasaran permukaan yang menjadikan produk lebih halus[4,15].

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Proses pemotongan milling muka baja amutit menggunakan mesin CNC telah berhasil dilakukan dalam kondisi basah dan kering dengan penerapan variasi parameter pemotongan. Parameter pemotongan yang sangat berpengaruh untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan (*Ra*) baja amutit yang optimum meliputi *spindle speed* pada 2250 rpm, *feed rate* 180 mm/menit dan kondisi basah (dialiri *coolant*). Dengan demikian, kekasaran permukaan (*Ra*) baja amutit dapat dioptimalkan dalam proses milling muka basah sehingga menghasilkan produk yang memiliki kehalusan yang baik dan sesuai dengan kebutuhan produk industri dengan presisi tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan rasa terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian (P3M) dan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung yang telah menyediakan segala fasilitas berupa pendanaan dan peralatan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Sivaraman, S. J. D. Hans, K. Palani, T. A. Atiso, J. JM, and N. S. Ross, "Analysis of Turning Performance on AISI O1 Steel Using VO+nMoS₂ as Coolant," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2022, no. 1, p. 8196347, 2022.
- [2] M. D. Sebayang, S. Max Yudo, and C. Silitonga, "Effect of heat treatment On Microstructure of steel AISI 01 Tools," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 343, no. 1, p. 12005, 2018.
- [3] S. N. Phokobye, I. A. Daniyan, I. Tlhabadira, L. Masu, and L. R. VanStaden, "Model Design and Optimization of Carbide Milling Cutter for Milling Operation of M200 Tool Steel," *Procedia CIRP*, vol. 84, pp. 954–959, 2019.
- [4] S. Patil, P. Sudhakar Rao, M. S. Prabhudev, M. Yunus Khan, and G. Anjaiah, "Optimization of cutting parameters during CNC milling of EN24 steel with Tungsten carbide coated inserts: A critical review," in *International Conference on Materials, Processing & Characterization (13th ICMPC)*, 2022, pp. 3213–3220.
- [5] P. Guo *et al.*, "An Experimental Study on Finish Dry Milling of AISI 321 Stainless Steel," *Mater. Sci. Forum*, vol. 861, pp. 26–31, 2016.
- [6] S. S. Nadaf and P. M. M. Y. Shinde, "Optimization of Process Parameters on CNC milling machine for Mild steel IS 2062:2011 E250 Gr. A with AlTiN coated tool insert in wet condition," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 748, no. 1, p. 12030, 2020.
- [7] E. L. de Oliveira, A. F. de Souza, and A. E. Diniz, "Evaluating the influences of the cutting parameters on the surface roughness and form errors in 4-axis milling of thin-walled free-form parts of AISI H13 steel," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 40, no. 7, p. 334, 2018.
- [8] R. A. Mali, T. V. K. Gupta, and J. Ramkumar, "A comprehensive review of free-form surface milling—Advances over a decade," *J. Manuf. Process.*, vol. 62, pp. 132–167, 2021.
- [9] M. Q. Saleem and S. Mumtaz, "Face milling of Inconel 625 via wiper inserts: Evaluation of tool life and workpiece surface integrity," *J. Manuf. Process.*, vol. 56, pp. 322–336, 2020.
- [10] Z. Kurniawan, E. Yudo, and R. Rosmansyah, "Optimasi Kekasaran Permukaan Pada Material Amutit Dengan Proses CNC Turning Menggunakan Desain Taguchi," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 10, no. 01, pp. 45–51, 2019.
- [11] M. G. C. B. Barbosa, A. Hassui, and P. A. de Oliveira, "Effect of cutting parameters and cutting edge preparation on milling of VP20TS steel," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 116, no. 9, pp. 2929–2942, 2021.
- [12] S. Azim *et al.*, "Sustainable Manufacturing and Parametric Analysis of Mild Steel Grade 60 by Deploying CNC Milling Machine and Taguchi Method," *Metals (Basel)*, vol. 10, no. 10, pp. 1–18, 2020.
- [13] N. T. Cong, P. T. T. Thoa, and D. H. Tien, "Research of multi-response optimization of milling process of hardened S50C steel using minimum quantity lubrication of Vietnamese peanut oil," *EUREKA Phys. Eng.*, no. 6, pp. 74–88, 2021.
- [14] R. Ghoreishi, A. H. Roohi, and A. Dehghan Ghadikolaei, "Analysis of the influence of cutting parameters on surface roughness and cutting forces in high speed face milling of Al/SiC MMC," *Mater. Res. Express*, vol. 5, no. 8, p. 86521, 2018.
- [15] H. Abdulridha, "Prediction of Surface Roughness of Mild Steel Alloy in CNC Milling Process Using ANN and GA Technique," *Eng. Technol. J.*, vol. 38, no. 12, pp. 1842–1851, 2020.