Journal of Agricultural and Biosystem Engineering Research
Vol. 5 No. 2, November 2024, 108-114
http://jos.unsoed.ac.id/index.php/jaber/index | P-ISSN: 2722-3620 | e-ISSN: 2776-821X

PENGARUH VARIASI KECEPATAN PEMAKANAN DAN KEDALAMAN POTONG TERHADAP KUALITAS PERMUKAAN ALUMUNIUM SERI 6061 PADA PROSES CNC MILLING

"The Effect of Feed Rate and Cutting Depth Variations on the Surface Quality of 6061 Series Aluminum in the CNC Milling Process"

Aziz Syamsudin A'bas [1], Christian Soolany [1*], Dhimas Oki Permata Aj [1]

[1] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, UNUGHA Cilacap,
Jl. Kemerdekaan Barat No.17, Gligir, Kesugihan Kidul, Kec. Kesugihan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah 53274.

* Email: christiansoolany@gmail.com

DOI: http://dx.doi.org/10.20884/1.jaber.2024.5.2.15616
Naskah ini diterima pada 8 Januari 2025; revisi pada 14 Januari 2025;
disetujui untuk dipublikasikan pada 7 Februari 2025

ABSTRAK

Perkembangan industri manufaktur menuntut peningkatan kualitas dan presisi dalam proses pemesinan. Salah satu faktor kunci dalam menghasilkan permukaan yang halus adalah variasi kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian pada alumunium 6061 menggunakan mesin CNC Milling dengan variasi kecepatan 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm serta kedalaman pemotongan 0,5 mm dan 1 mm. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan pemakanan yang lebih tinggi, terutama pada 2500 rpm dan kedalaman 1 mm, memberikan hasil kekasaran permukaan terendah, yaitu 1,596 mikrometer. Sebaliknya, kombinasi kecepatan 1500 rpm dan kedalaman pemotongan 0,5 mm menghasilkan kekasaran tertinggi sebesar 2,566 mikrometer. Kombinasi optimal untuk permukaan halus ditemukan pada kecepatan 2500 rpm dengan kedalaman pemotongan 1 mm

Kata kunci: CNC Milling, Alumunium 6061, Kecepatan Pemakanan, Kedalaman Pemotongan, Kekasaran Permukaan

ABSTRACT

The advancement of the manufacturing industry demands improvements in quality and precision during machining processes. One of the key factors in producing a smooth surface is the variation of feed rate and cutting depth. In this study, tests were conducted on 6061 aluminum using a CNC milling machine with spindle speeds of 1500 rpm, 2000 rpm, and 2500 rpm, as well as cutting depths of 0.5 mm and 1 mm. The results showed that a higher feed rate, particularly at 2500 rpm with a cutting depth of 1 mm, produced the lowest surface roughness of 1.596 micrometers. Conversely, the combination of 1500 rpm and a 0.5 mm cutting depth resulted in the highest surface roughness of 2.566 micrometers. The optimal combination for achieving a smooth surface was found at 2500 rpm with a cutting depth of 1 mm..

Keywords**:** *CNC Milling, 6061 Aluminum, Feed Rate, Cutting Depth, Surface Roughness*

PENDAHULUAN

Industri manufaktur modern dituntut untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi, efisiensi waktu, dan biaya produksi yang kompetitif. Dalam konteks ini, teknologi pemesinan berkembang pesat untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satu teknologi unggulan adalah mesin CNC (Computer Numerical Control), yang telah merevolusi proses produksi dengan kemampuan otomatisasi, presisi tinggi, dan konsistensi hasil. CNC Milling menjadi metode yang sangat populer karena mampu memproduksi komponen dengan bentuk kompleks dan toleransi dimensi yang ketat (Gunanto, 2017). Teknologi CNC Milling bekerja dengan mengatur pergerakan pahat potong melalui sistem kontrol numerik berbasis komputer. Sistem ini memungkinkan pengulangan proses yang presisi dan efisien dalam jumlah besar. Oleh karena itu, mesin ini sangat diandalkan dalam industri otomotif, dirgantara, peralatan medis, hingga manufaktur mold dan dies Thomas & Thomas, 2021). Selain presisi dimensi, salah satu parameter penting dari kualitas hasil pemesinan adalah kekasaran permukaan (surface roughness), yang berdampak langsung pada kinerja, keausan, dan umur pakai komponen.

Material aluminium seri 6061 merupakan salah satu bahan yang banyak digunakan dalam proses CNC Milling. Material ini memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap korosi, kekuatan mekanik yang baik, dan kemudahan dalam proses pemesinan. Sifat-sifat ini membuat aluminium 6061 banyak diaplikasikan dalam industri otomotif, konstruksi, hingga kedirgantaraan (Gupta & Gupta, 2020). Dalam praktik industri, pemesinan aluminium 6061 sering digunakan dalam pembuatan komponen otomotif, pesawat terbang, rangka sepeda, serta struktur ringan lainnya. Kualitas permukaan hasil pemesinan sangat memengaruhi performa produk secara keseluruhan. Permukaan yang kasar dapat meningkatkan gesekan, mempercepat keausan, serta menurunkan ketahanan terhadap beban dinamis. Sebaliknya, permukaan halus akan meminimalkan kehilangan energi, memperpanjang umur komponen, dan meningkatkan daya saing produk. Oleh karena itu, pengendalian kekasaran permukaan menjadi indikator penting dalam keberhasilan proses CNC Milling Salah satu faktor penentu kualitas produk yang dihasilkan dalam proses pemesinan adalah kekasaran permukaan material. Kekasaran permukaan yang optimal dapat memperpanjang umur pakai komponen, meningkatkan efisiensi operasional, serta mengurangi gesekan dan keausan pada aplikasi mesin (Mahendra, 2023).

Penelitian mengenai pengaruh variasi parameter pemesinan seperti kecepatan pemakanan (*feed speed*) dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan sudah banyak dilakukan. Menurut penelitian oleh Prakoso (2014), peningkatan kecepatan pemakanan secara umum dapat meningkatkan kekasaran permukaan material. Semakin cepat kecepatan pemakanan, semakin kasar permukaan material yang dihasilkan (Prakoso, 2014). Hal ini disebabkan oleh gaya pemotongan yang meningkat dan durasi kontak alat potong dengan permukaan material yang lebih singkat. Di sisi lain, kedalaman pemotongan juga berperan penting dalam menentukan kualitas permukaan. Kedalaman pemotongan yang lebih kecil cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus, terutama pada kecepatan spindle yang tinggi, seperti yang ditunjukkan oleh penelitannya Firdaus dan Susanti (2021) (Firdaus, 2021).

Penggunaan parameter pemesinan yang tepat pada proses CNC Milling tidak hanya menghasilkan produk dengan kualitas permukaan yang baik, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi waktu dan biaya dalam produksi. Hasil penelitian sebelumnya oleh Rizallah et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan variasi feed speed dan kedalaman pemotongan yang optimal mampu menurunkan kekasaran permukaan pada material baja AISI 1045 (Rizallah, 2023). Sementara itu, penelitian Yudo dan Kurniawan (2023) juga mengonfirmasi bahwa pemilihan feed speed yang tepat pada material aluminium dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah, khususnya pada kecepatan spindle yang lebih tinggi (Yudo, 2023).

Studi oleh Rizallah (2023) pada material baja AISI 1045 menunjukkan bahwa kombinasi feed rate rendah dan depth of cut sedang menghasilkan kekasaran permukaan minimal. Temuan ini menunjukkan bahwa untuk setiap jenis material diperlukan pendekatan parameter yang spesifik. Dalam konteks aluminium 6061, penelitian oleh Yudo & Kurniawan (2023) memperlihatkan bahwa feed rate yang optimal pada kecepatan spindle tinggi mampu menurunkan

kekasaran permukaan secara signifikan, memperkuat pentingnya seleksi parameter yang presisi dalam proses pemesinan CNC.

Upaya optimasi parameter CNC Milling terhadap kekasaran permukaan juga dilakukan oleh Singh & Singh (2022), yang menemukan bahwa pengaturan parameter yang tepat tidak hanya meningkatkan kualitas permukaan tetapi juga memperpanjang umur pahat. Hal ini relevan untuk industri yang menargetkan produksi massal dengan biaya rendah. Di sisi lain, kombinasi antara teori pemesinan dan pendekatan eksperimental dibutuhkan untuk mengidentifikasi parameter optimal yang aplikatif dalam industri.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi feed rate dan depth of cut terhadap kekasaran permukaan aluminium 6061 dalam proses CNC Milling. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan spindle 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm serta dua tingkat depth of cut, yaitu 0,5 mm dan 1 mm. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam penyusunan parameter pemesinan yang optimal, sehingga meningkatkan kualitas permukaan dan efisiensi proses secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi kecepatan pemakanan (*feed speed*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) terhadap kekasaran permukaan aluminium seri 6061 pada proses CNC Milling. Metodologi penelitian ini mencakup beberapa tahapan, yaitu perancangan percobaan, persiapan alat dan bahan, pelaksanaan eksperimen, dan analisis data. Setiap tahapan dijelaskan sebagai berikut:

1. Rancangan percobaan

Percobaan ini dirancang dengan menggunakan metode eksperimen faktorial dua faktor dengan variasi pada dua parameter utama, yaitu:

a. Kecepatan pemakanan (*feed speed*) 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm.
b. Kedalaman pemotongan (*depth of cut*) 0,5 mm dan 1 mm.

Setiap kombinasi dari kedua variabel tersebut diuji pada aluminium seri 6061 menggunakan mesin CNC Milling untuk menentukan pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan. Desain eksperimen ini memungkinkan analisis interaksi antara feed speed dan kedalaman pemotongan, serta identifikasi kombinasi optimal untuk menghasilkan permukaan yang lebih halus. Pendekatan faktorial ini sering digunakan dalam pemesinan karena memberikan hasil yang komprehensif dalam waktu yang efisien.

2. Alat dan Bahan

2.2.1. Alat

1) Mesin *CNC Milling Wedia* VMC 740
   Mesin ini digunakan untuk memotong material aluminium dengan presisi tinggi. Mesin ini memiliki spindle vertical dan dilengkapi dengan pengontrol berbasis numerik, sehingga mampu menghasilkan gerakan pemotongan yang akurat.
2) *Endmill* 10 mm
   Alat potong ini digunakan untuk memotong aluminium. *Endmill* ini berbahan HSS (*High-Speed Steel*), yang memiliki ketahanan tinggi terhadap panas dan aus, sehingga cocok untuk pemotongan aluminium.
3) *Surface Roughness Tester*
   Alat ini digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan spesimen yang dihasilkan setelah proses pemesinan. Pengujian kekasaran permukaan dilakukan di tiga titik berbeda pada permukaan spesimen: kiri, tengah, dan kanan. Gambar 1 menunjukkan alat yang digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan.

Gambar 1. Alat pengujian kekasaran permukaan

4) Master CAM X9
Perangkat lunak ini digunakan untuk membuat program CNC. Dengan bantuan MasterCAM, jalur alat potong dapat dioptimalkan untuk mencapai hasil pemesinan yang diinginkan.

2.2.2. Bahan

1) Aluminium seri 6061
Bahan ini dipilih karena sifatnya yang ringan, tahan terhadap korosi, dan mudah dibentuk. Aluminium seri 6061 juga banyak digunakan dalam industri otomotif dan aerospace karena kekuatan dan ketahanannya terhadap korosi. Gambar 2 menunjukkan specimen yang diamati pada penelitian ini.

Gambar 2. Specimen penelitian

3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Persiapan Spesimen

Aluminium seri 6061 dipotong menjadi spesimen berbentuk balok dengan dimensi 100 mm x 30 mm x 20 mm. Sebelum proses pemesinan, spesimen dipastikan berada dalam kondisi bebas dari cacat dan kotoran yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran kekasaran permukaan.

b. Pelaksanaan Pemesinan

Spesimen aluminium diproses menggunakan mesin CNC Milling dengan variasi kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan seperti yang telah ditentukan dalam rancangan percobaan. Setiap spesimen diukur setelah dilakukan pemesinan pada tiga titik (kiri, tengah, dan kanan) untuk mendapatkan nilai rata-rata kekasaran permukaan.

Proses pemesinan dilakukan dalam kondisi kering (tanpa penggunaan cairan pendingin) untuk meminimalisasi pengaruh variabel eksternal pada hasil permukaan. Selain itu, kecepatan spindle dijaga konstan selama percobaan untuk memastikan bahwa hanya feed speed dan kedalaman pemotongan yang menjadi variabel bebas.

c. Pengukuran Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan dilakukan menggunakan Surface Roughness Tester dengan metode Ra (Average Roughness). Metode ini mengukur deviasi rata-rata permukaan dari garis rata-rata profil. Setiap spesimen diukur tiga kali di titik yang berbeda (kiri, tengah, kanan) dan nilai rata-ratanya digunakan sebagai hasil akhir untuk setiap kombinasi parameter pemesinan. Metode pengukuran ini merupakan standar yang banyak digunakan dalam industri untuk mengevaluasi kualitas permukaan material.

4. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menghitung rata-rata nilai kekasaran dari setiap spesimen pada berbagai variasi kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan. Data yang diperoleh dari pengukuran kekasaran permukaan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan analisis lebih lanjut. Hasil eksperimen digunakan untuk mengidentifikasi kombinasi parameter yang menghasilkan kualitas permukaan terbaik

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil pengujian kekasaran permukaan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan pemakanan (feed speed) dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan aluminium seri 6061 menggunakan mesin CNC Milling. Hasil pengujian kekasaran permukaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekesaran Permukaan

No	Kode Spesimen	Kecepatan (rpm)	Kedalamaan Pemotongan (mm)	Kekasaran Permukaan(**µm)**
1	A	1500	0,5	2,566
2	B	2000	0,5	2,038
3	C	2500	0,5	2,412
4	D	1500	1	2,691
5	E	2000	1	1,873
6	F	2500	1	1,596

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 1. Diperoleh rata-rata nilai kekasaran untuk setiap kombinasi kecepatan dan kedalaman pemotongan dianalisis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi kecepatan pemakanan 2500 rpm dengan kedalaman pemotongan 1 mm menghasilkan nilai kekasaran terendah, yaitu 1,596 µm pada spesimen F.

2. Pengaruh variasi kecepatan pemakanan

Dari hasil pengujian, peningkatan kecepatan pemakanan secara signifikan mempengaruhi penurunan kekasaran permukaan aluminium seri 6061. Pada kedalaman pemotongan 0,5 mm, kekasaran tertinggi tercatat pada kecepatan pemakanan 1500 rpm dengan nilai kekasaran 2,566 µm. Sebaliknya, pada kecepatan pemakanan 2500 rpm, kekasaran berkurang menjadi 2,412 µm. Thomas dan Joshi (2021) menemukan hasil serupa, di mana peningkatan feed speed dalam CNC Milling pada aluminium menghasilkan pengurangan gaya pemotongan, yang berkontribusi terhadap penurunan kekasaran permukaan (Thomas, 2021).

Pada kedalaman pemotongan 1,0 mm, tren serupa terlihat. Pada kecepatan pemakanan 1500 rpm, kekasaran mencapai 2,691 µm, sedangkan pada kecepatan 2500 rpm, kekasaran berkurang signifikan menjadi 1,596 µm, yang merupakan nilai kekasaran terendah di antara semua spesimen yang diuji. Singh dan Kumar (2022) juga mengamati bahwa peningkatan feed speed yang disertai dengan optimalisasi parameter pemesinan dapat menghasilkan pengurangan kekasaran permukaan yang signifikan pada aluminium 6061 (Singh, 2022).

3. Pengaruh variasi kedalaman pemotongan

Selain kecepatan pemakanan, kedalaman pemotongan juga mempengaruhi kekasaran permukaan secara signifikan. Pada kecepatan pemakanan yang sama, kedalaman pemotongan 1,0 mm menghasilkan kekasaran yang lebih rendah dibandingkan kedalaman pemotongan 0,5 mm. Sebagai contoh, pada kecepatan 2500 rpm, kedalaman 1,0 mm menghasilkan kekasaran 1,596 µm, sedangkan kedalaman 0,5 mm menghasilkan kekasaran 2,412 µm.m. Menurut Gupta dan Verma (2020) menunjukkan bahwa pada feed speed yang tinggi, kedalaman pemotongan yang lebih besar cenderung menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah karena kemampuan alat potong untuk bekerja lebih stabil dan mengurangi vibrasi (Gupta, 2020).

4. Interaksi kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan

Interaksi antara kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan aluminium seri 6061. Kombinasi kecepatan pemakanan yang tinggi (2500 rpm) dengan kedalaman pemotongan yang besar (1 mm) menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang paling rendah, yaitu 1,596 µm. Menurut Huang dan Chen (2023) juga menunjukkan bahwa kecepatan pemakanan yang tinggi dengan kedalaman pemotongan yang optimal memberikan hasil permukaan yang lebih halus karena mengurangi gaya gesekan dan vibrasi selama proses pemesinan (Huang).

KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan penelitian dan hasil yang diperoleh pada penelitian maka ditarik kesimpulan sebagai berikut ini :

1. Feed speed (kecepatan pemakanan) berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan aluminium 6061. Semakin tinggi feed speed, semakin halus permukaan yang dihasilkan. Hal ini terlihat dari penurunan nilai kekasaran saat feed speed meningkat dari 1500 rpm ke 2500 rpm, di mana pada feed speed tertinggi, permukaan menjadi paling halus..
2. Kedalaman pemotongan juga memengaruhi kekasaran permukaan secara nyata. Kedalaman 1 mm secara umum menghasilkan permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan 0,5 mm, terutama saat dikombinasikan dengan feed speed tinggi.
3. Terdapat interaksi kompleks antara feed speed dan kedalaman pemotongan. Kombinasi feed speed tinggi dengan kedalaman potong yang lebih besar (1 mm) cenderung memberikan hasil permukaan yang lebih baik, sedangkan pada depth 0,5 mm, peningkatan feed speed tidak selalu memberikan hasil serupa.
4. Kombinasi paling optimal untuk menghasilkan permukaan paling halus diperoleh pada feed speed 2500 rpm dan kedalaman pemotongan 1 mm, dengan nilai kekasaran permukaan terendah sebesar 1,596 mikrometer. Kombinasi ini direkomendasikan untuk pemesinan aluminium 6061 yang mengutamakan hasil akhir berkualitas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Abhang, L. B., & Hameedullah, M. (2011). Chip-tool interface temperature prediction model for turning process: A step towards sustainable manufacturing. International Journal of Engineering Science and Technology, 3(7), 5436–5444.

Firdaus, F. N. (2021). Pengaruh Kecepatan Putar dan Penyayatan Endmill Cutter Type HSS Terhadap Tingkat Kekasaran Aluminium pada Mesin CNC. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, 103 - 110.

Gunanto, A. &. (2017). Teknik Pemesinan NC/CNC dan CAM. Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia: Andi Yogyakarta.

Gupta, R. &. (2020). Experimental Investigation of Cutting Speed and Depth of Cut on Surface Roughness in CNC Milling of 6061 Aluminum. Journal of Advanced Engineering Studies, 12(2), 145 - 153.

Huang, T. &. (n.d.). Effects of Feed Rate and Depth of Cut on Surface Roughness in Precision CNC Milling. Journal of Materials Processing Technology,, 1-8.

Kurniawan, A., Sutrisno, A., & Mulyono, T. (2021). Strategi peningkatan efisiensi produksi menggunakan mesin CNC pada industri manufaktur. *Jurnal Teknik Industri*, *19*(1), 25–34.

Mahendra, A. Y. (2023). Analisis Pengaruh Nilai Parameter Proses Pemesinan Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 7075. Jurnal Inovasi Teknologi Terapan, 1(2), 345 - 351.

Prakoso, I. (2014). Analisis Pengaruh Kecepatan Feeding Terhadap Kekasaran Permukaan Draw Bar Mesin Milling Aciera Dengan Proses CNC Turning. Jurnal Teknik Mesin, 1-6.

Rizallah, M. P. (2023). Analisis Kekasaran Permukaan Pada Pengaruh Kecepatan Spindle dan Feeding Terhadap Material Baja AISI 1045 Pada Mesin Bubut CNC. Jurnal Inovasi Teknologi Terapan, 231 - 237.

Singh, P. &. (2022). Optimization of CNC Milling Process Parameters for Improving Surface Roughness in Aluminum 6061. . Journal of Manufacturing Science,, 8(1), 112 - 118.

Suresh, S., Krishna, C. M., & Reddy, A. C. (2020). Surface integrity in CNC machining of aluminum alloys: A review. *Materials Today: Proceedings*, *33*, 3252–3258. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.221

Thomas, M. &. (2021). Influence of Cutting Parameters on Surface Roughness in CNC Milling of Aluminum Alloys. . International Journal of Mechanical Engineering,, 5(3), 234 - 240.

Yudo, M. &. (2023). Analisis Pengaruh Parameter Pemesinan CNC Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium. Jurnal Rekayasa Mesin, 3(1), 54 - 61.