



PENGARUH SPINDLE SPEED, FEEDING DAN CUTTING TOOL TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA BERKONTUR PADA CNC MILLING

Elda Bagus Perdana¹⁾, Yoyok Winardi²⁾, Fadelan³⁾, Munaji⁴⁾, Rizki Dwi Ardika⁵⁾

^{1,2,3,4,5)}Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Jl. Budi Utomo No. 10, Ponorogo, 63471

e-mail: eldabagusperdana@gmail.com

ABSTRAK

Keterbatasan pada mesin perkakas konvensional tidak mampu memenuhi tuntutan permintaan permodelan yang semakin rumit. Terlalu banyak detail yang perlu dicermati seperti tingkat kekasaran permukaan dan kepresisian yang tinggi. Mesin CNC memiliki keunggulan lebih jika dibandingkan mesin milling konvensional, salah satunya pengerjaan permukaan berkontur. Sehingga fokus Penelitian ini ada pada parameter pemilihan cutting tool yang digunakan pada proses finishing kontur 3D untuk menghasilkan permukaan benda berkontur yang baik. Dengan menggunakan variasi kecepatan spindle dan kecepatan potong dengan pengujian kekasaran untuk menentukan variasi pemilihan tool yang tepat. Pada proses penelitian kali ini dihasilkan 4 spesimen benda berkontur. Proses pertama pembuatan desain dengan software Autodesk Inventor, kemudian di program dengan software Mastercam X4 dan pemindahan G-code ke mesin CNC Milling serta proses terakhir pengujian kekasaran permukaan untuk menentukan pemilihan tool yang tepat. Dari hasil pengujian kekasaran dengan alat uji kekasaran Mitutoyo SJ210 diperoleh variasi tool terbaik ada Ball Endmill F1600 S4000 dengan nilai kekasaran sebesar 0,672 μm .

Kata Kunci: CNC Milling, Spindle Speed, Feeding, Benda Berkontur

ABSTRACT

The limitations of conventional machine tools are unable to meet the increasingly complex modeling demands. There are too many details that need to be considered, such as surface roughness and high precision. CNC machines have more advantages than conventional milling machines, one of which is contoured surface processing. So the focus of this research is on the parameters of the selection of cutting tools used in the 3D contour finishing process to produce a well-contoured surface. By using variations in spindle speed and cutting speed with roughness testing to determine the variation of the right tool selection. In this research process, 4 specimens of contoured objects were produced. The first process is making a design with Autodesk Inventor software, then programming it with Mastercam X4 software and transferring the G-code to a CNC Milling machine and the final process is testing surface roughness to determine the right tool selection. From the results of the roughness test with the Mitutoyo SJ210 roughness tester, the best tool variation was Ball Endmill F1600 S4000 with a roughness value of 0.672 μm .

Keywords: CNC Milling, Spindle Speed, Feeding, Contoured Objects

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan teknologi pemrosesan, permintaan konsumen akan model yang rumit untuk dikerjakan dengan mesin frais manual

semakin meningkat. Sekalipun bisa membutuhkan waktu panjang untuk bisa mendapatkan hasil dengan tingkat ketelitian dan kepresisian yang tinggi. Terlalu banyak detail yang perlu dicermati seperti tingkat kekasaran permukaan dan presisi ukuran produk,

namun juga persyaratan kualitas benda kerja yang semakin kompleks merupakan permasalahan yang harus dicarikan solusinya.

Akan tetapi keterbatasan pada mesin perkakas konvensional tidak mampu memenuhi tuntutan tersebut. Sehingga para pelaku industri harus mencari jalan keluar agar tuntutan pasar tetap terpenuhi. CNC Milling merupakan perangkat mesin perkakas yang dapat dikontrol dengan komputer. Salah satu yang banyak digunakan adalah CNC milling. Dalam proses CNC milling memiliki keunggulan lebih jika dibandingkan mesin milling konvensional. Yaitu terdapat fitur yang bisa dikerjakan dalam proses milling, salah satunya pengerjaan permukaan berkontur.

Di Industri Manufaktur banyak sekali pengerjaan emesinan CNC yang membuat produk benda berkontur yang mempunyai bentuk permukaan berupa lengkungan, baik itu cembung maupun berupa cekungan dengan ukuran radius yang sudah ditentukan. Sebagai contoh adalah pembuatan Jig untuk produksi kampas pada kendaraan. Permukaan Jig tersebut berkontur berupa lengkungan mengikuti permintaan kampas yang diminta *Customer*.

Pada penelitian pembuatan produk yang berkontur cembung ini menggunakan pemesinan *Cnc Milling*. Dasar pemilihan metode dengan penggunaan mesin CNC Milling disebabkan permodelan benda kerja yang rumit tidak dapat dijangkau dengan pemesinan *milling* manual. Sehingga pada penelitian kali ini ingin meneliti pemilihan tool yang tepat untuk pengerjaan berkontur. Karena banyak sekali tool seperti endmill, bullnose endmill dan ball endmill yang masih bagus yang masih bagus bisa dimanfaatkan untuk penelitian kali ini. Di samping itu banyak sisa material pengerjaan produksi berbahan dasar baja S45C yang tidak dipakai yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan untuk penelitian ini.

2. Metode

Pada penelitian ini menggunakan bahan baja s45c sebanyak 4 pcs. Mesin CNC Maple ME-1055 VMC sebagai alat dalam membuat spesimen dan menggunakan Mitutoyo SJ210 sebagai alat untuk menguji kekasaran permukaannya.

Fokus Penelitian ini ada pada parameter pemilihan *cutting tool* yang digunakan pada proses *finishing* kontur 3D untuk menghasilkan permukaan benda berkontur yang baik. Parameter *cutting tool* yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Parameter *Cutting tool*

No	VARIASI TOOL	FEED RATE	SPINDLE SPEED
1	Ball Endmill	F1400	S3500
2	Ball Endmill	F1600	S4000
3	Bullnose Endmill	F1400	S3500
4	Bullnose Endmill	F1600	S4000

Langkah pertama dengan merencanakan desain gambar berupa permodelan 2D dan 3D menggunakan bantuan software Autodesk Inventor. Kemudian dilanjutkan

nantinya akan diinput ke mesin CNC Maple ME-1055 VMC. Setelah diperoleh program perintah *G-code* kemudian eksekusi program pada mesin CNC Milling. Hasil dari pembuatan spesimen harus dilakukan pengujian kekasaran permukaan. Densn melakukan setidaknya 5 kali pengujian di titik yang berbeda secara acak pada setiap 1 spesimen.

Sedangkan parameter *surface finish* yang digunakan adalah *Roughness Average* (Ra). *Roughness Average* (Ra) merupakan nilai kekasaran rata-rata pada suatu permukaan dalam jarak pengukuran tertentu. Persamaan dalam menghitung *Roughness Average* (Ra) adalah sebagai berikut:

$$1 \quad L$$

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx$$

Keterangan :

dengan pembuatan program 3D menggunakan software Mastercam X4 untuk menghasilkan perintah *G-code* yang

Ra : *Roughness Average*

Y : Ordinat dari kurva profil

L : Panjang sampling

Nilai Ra keempat spesimen ditentukan dari lima pengujian pada titik yang berbeda atau secara acak kemudian dibagi lima untuk mendapatkan nilai Ra rata-rata. Nilai Ra rata-rata mewakili nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan dalam variasi pemilihan pahat tool.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pembuatan Spesimen

Setelah melalui proses pembuatan desain menggunakan Autodesk Inventor 2023, pembuatan program dengan Mastercam X4, lalu eksekusi perintah *G-code* di mesin CNC Maple ME-1055 VMC didapatkan hasil pembuatan spesimen seperti pada gambar 1 berikut ini :



Gambar 1 Hasil Pembuatan Spesimen

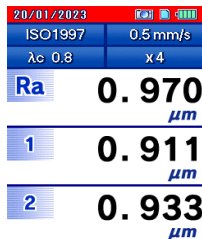
3.2 Pengujian Kekasaran

Tahap selanjutnya di uji kekasarannya dengan penggunaan alat uji kekasaran digital Mitutoyo SJ 210. Pada Tahap ini kita bisa menentukan tool manakah yang paling baik digunakan untuk pekerjaan dengan permukaan berkontur. Dengan menekan tombol start yang ada di alat uji kekasaran Mitutoyo SJ210. Lalu alat tersebut akan bergerak ke depan sekitar 10-15 mm

bekerja mendeteksi kekasaran permukaan sehingga alat akan bergerak naik turun sesuai ketinggian dan kedalaman benda berkontur dan kembali ketitik semula lalu berhenti seperti pada gambar 2. Setelah itu di monitor alat uji akan muncul data nilai kekasaran permukaan benda berkontur seperti pada gambar 3.



Gambar 2 Pengujian kekasaran



Gambar 3 Nilai kekasaran permukaan pada monitor

3.3 Hasil Pengujian Kekasaran

Diperoleh data hasil dari pengujian kekasaran yang dilakukan sebanyak 5 titik di setiap spesimen. Kemudian nilai di setiap titik tersebut dicatat dan diambil nilai rata-ratanya dan diperoleh nilai Ra dari setiap benda spesimen. Dikelompokkan berdasarkan penggunaan kecepatan pemotongan.

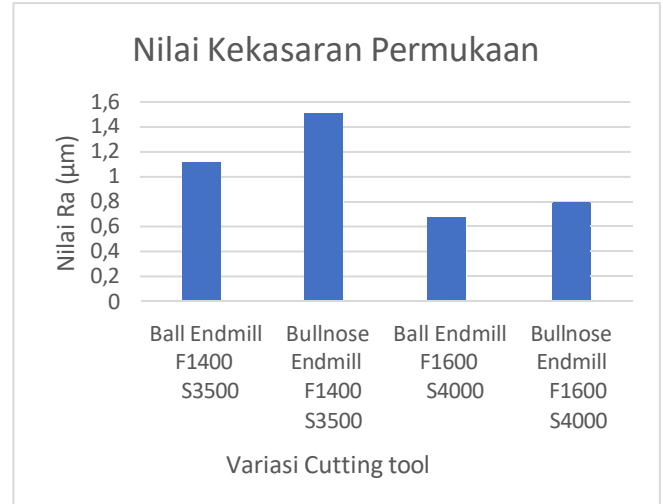
Tabel 2 Hasil pengujian kekasaran parameter F1400 S3500

NO	Pemilihan Tool	Nilai kekasaran permukaan Ra (μm)					Rata-Rata Nilai (μm)
		titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik 5	
1	BallEndmill F1400 S3500	0,829	1,360	1,535	0,911	0,970	1,121
2	Bullnose Endmill F1400 S3500	1,068	2,825	0,918	1,690	1,057	1,512

Tabel 3 Hasil pengujian kekasaran parameter F1400 S3500

NO	Pemilihan Tool	Nilai kekasaran permukaan Ra (μm)					Rata-Rata Nilai (μm)
		titik 1	itik 2	titik 3	titik 4	titik 5	
1	Ball Endmill F1600 S4000	0,909	0,742	0,712	0,474	0,524	0,672
2	Bullnose Endmill						

Berdasarkan tabel diatas maka diperoleh grafik nilai kekasaran permukaan seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4 Grafik nilai kekasaran

3.4 Analisis Hasil Pengujian Kekasaran

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian kekasaran bahwa factor pemilihan besar kecilnya nilai *feeding* dan *spindle speed* sangat berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan benda. Dengan menggunakan F1600 S4000 lebih baik daripada F1400 S3500. Pemilihan Parameter *spindle speed* S4000 dan kecepatan potong F1600 sesuai dengan perhitungan menentukan spindle speed dan kecepatan potong finishing sebagai berikut:

Feed (Fz): 0,1 mm/tooth

Cutting Speed (Vc): 120.000 mm/min

Sehingga dapat dihitung *spindle speed* dan *feed rate* seperti berikut:

Spindle Speed

$$n = \frac{vc}{\pi d}$$

$$n = \frac{120.000}{3,14 \cdot 10}$$

$n = 3.821 \text{ rpm}$ (diambil 4000 rpm)

Feed rate

$Vf = Fz \cdot z \cdot N$ (mm/tooth)

$Vf = 0,1 \times 4 \times 4000$

$Vf = 1600 \text{ mm/menit}$

Dengan menggunakan F1600 lebih baik daripada F1400 dikarenakan peningkatan kecepatan potong terhadap benda kerja memberi pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kekasaran permukaan benda kerja. Dengan 1,199 0,671 0,801 1,059 1,102 0,806

Kenaikan kecepatan potong maka serpihan menjadi melemah dan kemudian patah sehingga tidak terbentuk serpihan yang memanjang yang dapat menggores permukaan benda kerja. Sedangkan berbanding terbalik apabila penurunan kecepatan pemotongan akan menyebabkan suhu pada benda berkontur dan serpihan menjadi lebih meningkat

Selain itu menggunakan S4000 lebih baik daripada S3500 maka semakin tinggi kecepatan potong, semakin rendah kekasaran permukaan, itu dikarenakan serpihan yang dihasilkan dengan cepat bergeser sehingga tidak menggores permukaan benda kerja yang telah dipotong, peningkatan kecepatan pemotongan juga menyebabkan suhu pada bidang kontak dan serpihan menjadi lebih meningkat. Seiring dengan itu serpihan menjadi melemah dan kemudian patah sehingga tidak terbentuk serpihan yang memanjang yang dapat menggores permukaan benda kerja yang mengakibatkan permukaan benda menjadi lebih kasar.

Sedangkan pemilihan tool BallEndmill lebih tepat karena menghasilkan Ra 0,672 μm yang relative lebih kecil dibandingkan tool Bullnose Endmill yang menghasilkan 0,806 μm itu dikarenakan sudut pada ujung mata pahat BallEndmill yakni R 5mm yang semakin besar memberi efek terhadap pada terjadinya penurunan kekasaran permukaan benda berkontur karena gaya gesek yang bekerja cenderung menjadi lebih rendah jika dibandingkan dengan tool bullnose Endmill yang memiliki sudut mata pahat yang lebih kecil hanya R 2mm, hal ini memberi pengaruh kekasaran terhadap goresan yang terjadi di permukaan ketika pengerjaan benda berkontur.

Ditinjau dari mata pahatnya terdapat perbedaan yang sangat signifikan. Perbedaan mata pahat ini tentunya berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan benda. Pada tool ball endmill \varnothing 10 mm dengan R 5mm

Apabila semakin kecil nilai kekasarannya tentunya tingkat kepresisian dan Sedangkan pada tool bullnose endmill \varnothing 10 mm dengan R 2 mm memiliki sudut buang kecil yang hanya ada di kedua samping pahat. Mempengaruhi kekasaran permukaan saat proses penyayatan pada benda keakuratannya akan semakin baik. Sementara jika semakin tinggi nilai kekasarannya maka tingkat kepresisian akan menjadi kurang baik.

Sudut buang sebesar R 5mm membuat serpihan hasil penyayatan cepat terlempar keluar menjauhi permukaan benda sehingga tidak akan mengganggu proses penyayatan berikutnya dan membuat nilai kekasaran menurun. Penjelasan ini sesuai dengan hasil nilai kekasaran yang diperoleh yaitu 0,672 μm pada tool Ball Endmill R 5mm Sedangkan sudut buang yang kecil sebesar 2mm akan membuat serpihan hasil penyayatan jatuh di sekitar permukaan benda dan menghalangi saat proses penyayat berikutnya yang akan berpengaruh pada nilai kekasaran permukaan yang semakin meningkat.

Ditinjau dari segi masa pemakaian tool, Sudut buang

yang kecil akan mengurangi masa pakai tool karena besarnya gesekan antara tool dengan serpihan hasil penyayatan yang jatuh di sekitar penyayatan. Berbanding terbalik dengan tool yang memiliki sudut buang yang besar akan lebih lama masa pemakaian toolnya.

Sehingga penerapannya di industri manufaktur, pemilihan cutting tool BallEndmill lebih banyak digunakan untuk program *finishing*. Ball endmill sangat diandalkan untuk mendapatkan permintaan kualitas produk yang lebih baik bagi konsumen sesuai dengan kriteria presisi dan desain. Apabila sedangkan BullnoseEndmill lebih baik digunakan untuk digunakan untuk program *semifinish*.

Pemilihan tool, *spindle speed* dan *feeding* yang paling tepat terhadap kekasaran permukaan benda berkontur adalah tool Ball Endmill dengan Feeding 1600 mm/menit dan Spindle Speed 4000 rpm dengan nilai Ra 0,672 dan masuk dalam nilai kekasaran N6.

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pembahasan uraian masalah dan hasil uji kekasaran dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Semakin besar Spindle speed yang digunakan maka akan semakin rendah nilai kekasaran permukaan benda tersebut. Dimana S4000 rpm menghasilkan nilai kekasaran rendah dibandingkan dengan S3500 rpm.
- 2) Peningkatan kecepatan potong terhadap benda kerja memberi pengaruh yang signifikan terhadap suhu dipermukaan benda dan penurunan nilai kekasaran permukaan benda berkontur. Dimana F1600 mm/menit menghasilkan nilai kekasaran yang lebih baik jika dibandingkan dengan F1400 mm/menit.
- 3) Pemilihan Cutting tool yang tepat juga mempengaruhi nilai kekasaran dari benda berkontur dimana hasil uji kekasaran menunjukkan bahwa pemilihan jenis cutting tool pada spesiimen nomer 2, yaitu Ball Endmill dengan F1600 S4000 memberikan nilai kekasaran paling rendah sebesar 0,672 μm . Ini merupakan pemilihan tool paling tepat karena didapat nilai kekasaran paling rendah jika dibandingkan pemilihan jenis cutting tool pada Bullnose Endmill dengan F1400 S3500. Nilai kekasaran yang dihasilkan sebesar 0,806 μm . Maka dapat disimpulkan juga bahwa pemilihan cutting tool BallEndmill lebih banyak digunakan untuk program finishing sedangkan Bullnose Endmill lebih baik digunakan untuk digunakan untuk program semifinish.

Daftar Pustaka

- [1] A. Sulistyanto, "Pengaruh Pemilihan Jenis Cutting Tool Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur Pada Pemesinan Milling 3-Axis." Universitas Negeri Jakarta[1] A. Sulistyanto, "Pengaruh Pemilihan Jenis Cutting Tool Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur Pada Pemesinan Milling 3-Axis." UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA, 2018., 2018.
- [2] A. F. de Souza, A. Machado, S. F. Beckert, and A. E. Diniz, "Evaluating the Roughness According to the Tool Path Strategy When Milling Free Form Surfaces for Mold Application," *Procedia CIRP*, vol. 14, pp. 188–193, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.03.089.
- [3] T. Hidayat, T. Widagdo, D. Seprianto, and M. Yunus, "Analisis Kekasaran Permukaan Terhadap Spindle Speed Dan Feeding Pada Proses Milling Menggunakan Mesin CNC Dengan Teknologi CAM," *AUSTENIT*, vol. 8, no. 1, 2016.
- [4] C. Sovannara, T. Widagdo, M. Yunus, and A. A. Sani, "Analisis Pengaruh Proses Pemesinan Mesin CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Material Baja 9SMn36 1.0736," *AUSTENIT*, vol. 8, no. 2, 2016.
- [5] Y. Handoyo, A. Surahto, and L. Hamdi, "Variasi Cutting Speed Dan Depth Of Cut Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Mold Baja STAVAX ESR," *J. Ilm. Tek. MESIN*, vol. 10, no. 1, pp. 45–53, 2022.
- [6] Z. Zuhendri, G. Kiswanto, and Y. Rosa, "Pengaruh Tipe Pahat Dan Arah Pemakanan Permukaan Berkontur Pada Pemesinan Milling Awal Dan Akhir Terhadap Kekasaran Permukaan," *J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 15–22, 2012.
- [7] M. Jufrizaldy, I. Ilyas, and M. Marzuki, "Rancang Bangun Mesin Cnc Milling Menggunakan System Kontrol Grbl Untuk Pembuatan Layout Pcb," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 4, no. 1, p. 37, 2020, doi: 10.30811/jmst.v4i1.1743.
- [8] M. S. Lou, J. C. Chen, and C. M. Li, "Surface roughness prediction technique for CNC end-milling," *J. Ind. Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–6, 1998.
- [9] I. Kaisan, "Pengaruh Parameter Pemotongan CNC Milling Dalam Pembuatan Pocket Terhadap Getaran Dan Kekasaran Permukaan," 2019.
- [10] S. Wang, J. Li, and X. Gao, "Optimization of cutting parameters for complex surface NC machining based on genetic algorithm," *Bol. Tec. Bull.*, vol. 55, no. 12, pp. 86–92, 2017.
- [11] M. A. Muflikhun, "Pengujian Surface Roughness (Kekasaran Permukaan) pada Material dengan Perlakuan Permukaan yang Berbeda," *Gajah Mada Univ. Press*, no. September, 2022.
- [12] S. Y. Lubis and W. Rico, "Permukaan Bahan Aluminium Alloy 6061 Pada Proses Pembubutan," *Semnastek*, pp. 27–31, 2019.