



Analisa Perbandingan Machining Time Toolpath Vortex dan Konvensional pada Proses CNC Milling

Wildan Hanif^{1*}, Nugroho Eko Setjiogiar¹

²Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

CNC Milling adalah suatu mesin perkakas untuk membentuk benda kerja. Cara kerjanya adalah dengan memotong benda kerja dengan menggunakan pahat (cutter) yang berputar sesuai dengan NC code. Dalam proses permesinan dengan CNC Milling, toolpath adalah salah satu faktor yang mempengaruhi waktu permesinan. Proses permesinan dengan toolpath yang ada membutuhkan waktu yang lama, sehingga dibutuhkan suatu strategi permesinan yang dapat mempercepat proses permesinan. Dalam penelitian ini dilihat perbandingan toolpath konvensional dan vortex terhadap waktu permesinan. Penelitian dilakukan pada mesin Okuma Ace Center dengan pahat end-mill diameter 10 mm. Parameter permesinan yang digunakan adalah spindle speed dengan kecepatan 3820 rpm dan feed rate dengan 1222 mm/menit tanpa menggunakan pendingin dan diuji pada material spesimen S50C. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan statistik dari CAM dan pengamatan waktu permesinan dengan stopwatch dengan 3 kali running pada mesin CNC Milling. Hasilnya toolpath vortex lebih cepat dengan waktu permesinan tercepat 9 menit 16 detik dibanding dengan toolpath konvensional dengan waktu permesinan tercepat 52 menit 51 detik.

Kata-kata kunci: CNC milling, Vortex machining, Waktu permesinan

Abstract

CNC Milling is a computerized machine tool for shaping workpieces wit. It works by cutting the workpiece using a rotating cutter according to the NC code. In the machining process with CNC Milling, the toolpath is one factor affecting machining time. Machining process with existing toolpath takes a long time, so it is needed to shorten machining time. In this research, a comparison of conventional toolpath and vortex to machining time is seen. The research was conducted on an Okuma Ace Center machine with an end-mill cutter diameter of 10 mm. The machining parameters used are spindle speed with a speed of 3820 rpm and a feed rate of 1222 mm/minute without coolant, tested on S50C specimen material. Data were collected using statistics from CAM and machining time observations with a stopwatch with three runs on a CNC Milling machine. The result is a faster vortex toolpath with an average machining time of 9 minutes 20 seconds compared to the conventional toolpath with a machining time of 52 minutes 57 seconds.

Keywords: CNC milling, Vortex machining, Machining Time

* Corresponding author E-mail address: wildanwh@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Manufaktur adalah salah satu aspek yang selalu mengalami perkembangan dengan banyaknya permintaan akan suatu produk. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat dan metode yang dapat melakukan proses manufaktur secara cepat, yaitu mesin CNC *milling*. Mesin CNC *milling* dapat mengerjakan suatu pekerjaan manufaktur dengan cepat dan mudah. Mesin CNC *milling* adalah salah satu mesin perkakas yang bekerja dengan bantuan NC (*Numerical Control*). Konsep NC pada suatu perkakas yang dikendalikan dengan angka, huruf, dan simbol. NC bekerja dengan program yang berisikan NC *code*. Program pada NC *code* berisikan perintah untuk melakukan proses permesinan seperti putaran *spindle speed*, jenis *cutter* yang digunakan, *feed rate* yang digunakan, dari suatu koordinat ke koordinat lain [1]

Pengerjaan menggunakan mesin CNC membutuhkan parameter seperti *spindle speed*, *feed rate*, *depth of cut*, *stepover*, dan lainnya. Parameter-parameter tersebut berpengaruh terhadap waktu permesinan. Waktu permesinan adalah durasi pengerjaan suatu benda kerja. Durasi pengerjaan sangat penting untuk diperhatikan karena berhubungan dengan efisiensi pengerjaan[2], [3]. Oleh karena itu, yang melibatkan proses *milling* terutama CNC *milling* haruslah memperhatikan waktu pengerjaan.

Toolpath adalah lintasan potong pahat *cutter* pada proses permesinan dengan menggunakan CNC *milling*. *Toolpath* adalah hasil dari proses CAM (*Computer Aided Manufacturing*) sebelum menjadi NC *code*. Di dalam *toolpath* mengandung parameter permesinan yang berpengaruh terhadap efisiensi dan waktu permesinan. Pada umumnya, proses CNC *milling* memotong benda kerja dari bagian atas permukaan benda kerja secara berulang hingga terbentuk sebuah kontur atau profil. [4]

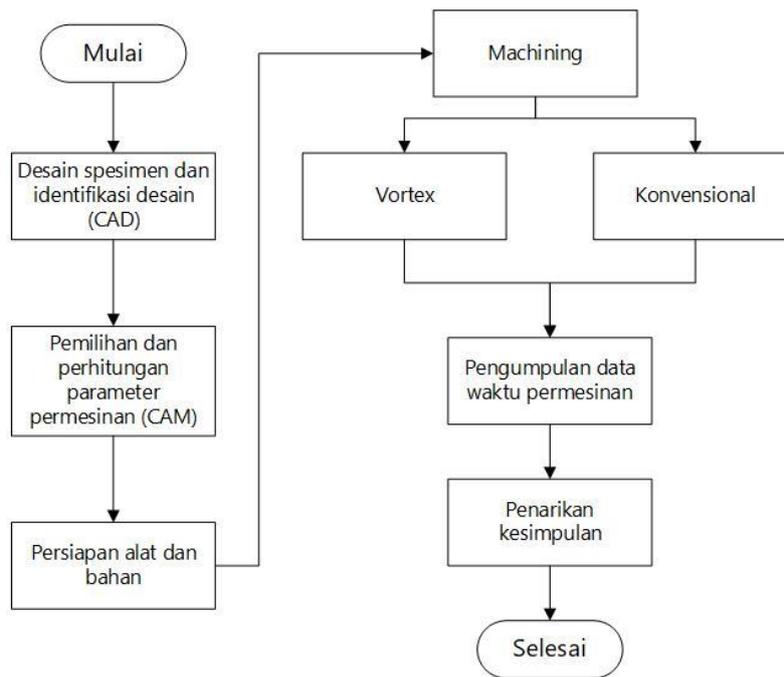
Pada tahun 2014, Delcam mengeluarkan suatu fitur di *software* PowerMill yaitu *Vortex Machining*. *Vortex machining* diklaim dapat mengerjakan proses CNC *milling* dengan lebih cepat dari *toolpath* konvensional. *Vortex* adalah suatu strategi permesinan yang dapat memotong benda kerja secara cepat dengan menjaga sudut pengikatan agar tetap konstan dan menjaga beban pada tool agar tidak berlebih[5], [6].

Yudhyadi, et all. (2016) melakukan penelitian dengan melakukan optimasi parameter permesinan berbasis CAD/CAM dan melihat pengaruh dari *spindle speed*, *feed rate*, *depth of cut* terhadap waktu permesinan. Hasilnya adalah *depth of cut* memberi signifikansi paling tinggi dengan nilai kontribusi sebesar 49,5%, *feed rate* sebesar 43%, *cutting speed* sebesar 0,92%[7]. Dalam penelitian ini belum menjelaskan bahwa penggunaan *toolpath* sebagai variabel uji.

Uzun et all. (2022) melakukan penelitian yang membahas pengaruh *toolpath* terhadap waktu permesinan, keausan pahat, dan kekasaran permukaan pada proses *milling* material AISI X210Cr12. *Toolpath* yang diuji pada penelitian ini adalah *toolpath* Trokoid, *Follow Part*, *Zig*, dan *Zig-Zag*. Hasil waktu permesinan dari pengujian adalah *Toolpath* *Zig* dan *Follow Part* memiliki waktu permesinan yang paling rendah[8].

2. METODE PENELITIAN

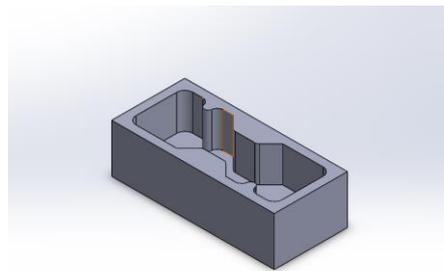
Metode yang dilakukan untuk penelitian ini adalah eksperimen. Pengamatan dilakukan secara langsung dengan langkah-langkah yang telah ditentukan dan sesuai dengan SOP dalam mengoperasikan mesin CNC *milling*. Pengambilan data waktu permesinan dilakukan sebanyak tiga kali. Berikut adalah diagram alir untuk memberi penjelasan singkat penelitian yang dijelaskan pada Gambar 1.



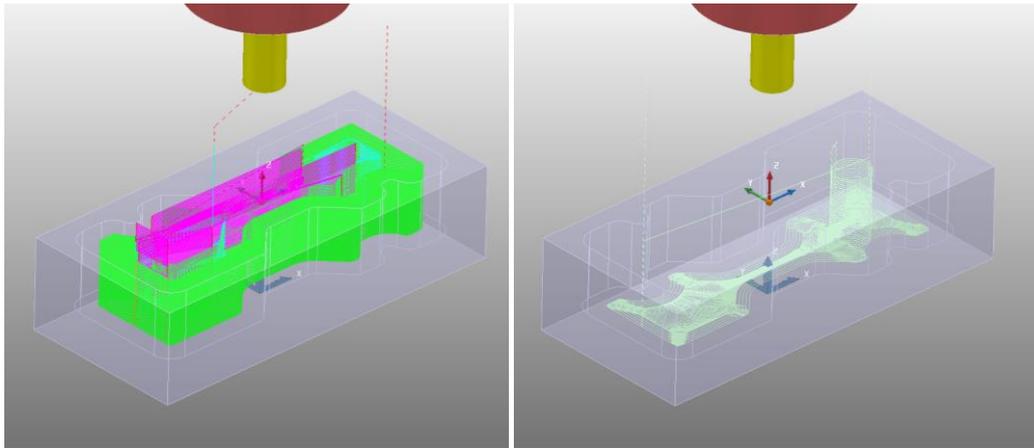
Gambar 1. Diagram alir penelitian

CAD & CAM

Tahapan dimulai dengan desain spesimen gambar dengan menggunakan *software* Solidworks 2018. Spesimen berbentuk *pocket* dengan dimensi 100 mm × 45 mm × 25 mm. Langkah berikutnya adalah melakukan pembuatan *toolpath* dan strategi permesinan dari Autodesk PowerMill 2019. Setelah *toolpath* dibuat, *NC Code* dapat dihasilkan dari *toolpath* yang sudah dibuat. Setelah dibuat model CAM dari kedua *toolpath*, dapat dilihat pada Gambar 3(b) *toolpath* vortex memanfaatkan pemakanan samping dalam proses permesinan, sehingga lintasan *toolpath* lebih pendek. Sedangkan *toolpath* konvensional pada Gambar 3(a) memakan benda kerja dari permukaan atas benda kerja dan turun sedikit-sedikit sehingga lintasan *toolpath* lebih panjang.



Gambar 2. Desain spesimen benda kerja



Gambar 3. *Toolpath* konvensional hasil CAM (a) *Toolpath vortex* hasil CAM (b)

Alat dan Bahan

Pahat yang digunakan adalah jenis *end-mill 4 flute* diameter 10 mm berbahan carbide. Pahat disiapkan dua buah untuk pengujian *toolpath vortex* dan *toolpath* konvensional. Material spesimen benda kerja yang digunakan adalah baja S50C berdimensi 100 mm × 45 mm × 25 mm. Pengujian proses permesinan dilakukan di mesin CNC *milling 3-axis* Okuma Ace Center MB-46 VAE yang ada di laboratorium CNC Politeknik Negeri Jakarta.



Gambar 4. Material S50C

Penentuan Parameter Permesinan

Parameter permesinan meliputi *spindle speed*, *feed rate*, *stepover*, dan *stepdown*. *Spindle speed* dan *feed rate* disamakan dalam penelitian ini untuk menciptakan kondisi *apple-to-apple* terhadap kedua *toolpath* yang hendak diuji. *Spindle speed* dan *feed rate* ditentukan dengan perhitungan: [9]

Spindle speed

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} \quad (1)$$

Feed rate

$$f = n \times f_z \times z \quad (2)$$

Dimana:

n = Kecepatan putar *spindle* [rpm]

V_c = Kecepatan potong [m/min]

D = Diameter pahat *cutter* [mm]

f = Kecepatan pemakanan [mm/min]

f_z = Kecepatan pemakanan per *flute* [mm/tooth]

z = Jumlah *flute* pahat *cutter*

Kecepatan potong ditampilkan pada tabel 1.

Feed per tooth ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 1. Kecepatan potong material proses *milling*

Bahan	Cutter HSS		Cutter Carbide	
	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Baja perkakas	75-100	25-45	185-230	110-140
Baja karbon rendah	70-90	25-40	170-215	90-120
Baja karbon menengah	60-85	20-40	140-185	75-110
Baja cor	40-45	25-30	110-140	60-75
Kuningan	85-110	45-70	185-215	120-150
Aluminium	70-110	30-45	140-215	60-90

Tabel 2. *Feed per tooth* untuk proses *milling* [10]

Material	Cutter type						
	Plain Heavy	Plain Light	Face	Side	End	Form	Slitting
Steel Low Carbon	0,25	0,15	0,3	0,15	0,15	0,1	0,08
Steel Low Carbon	0,2	0,13	0,25	0,13	0,13	0,08	0,08
Steel Med Carbon	0,2	0,13	0,23	0,13	0,1	0,08	0,05
Steel High Carbon Annealed	0,1	0,08	0,15	0,08	0,05	0,05	0,05
Stainless Steel Free Cutting	0,2	0,13	0,25	0,13	0,1	0,08	0,05
Stainless Steel	0,1	0,08	0,15	0,1	0,05	0,05	0,05
Cast Iron-grey	0,3	0,2	0,36	0,2	0,2	0,1	0,1
Cast Iron-Medium	0,25	0,15	0,3	0,15	0,15	0,1	0,08
Cast Iron Maleable	0,25	0,15	0,3	0,15	0,15	0,1	0,08
Brass/Bronze	0,25	0,2	0,33	0,2	0,15	0,1	0,08
Alluminium/Alloy	0,41	0,2	0,51	0,3	0,25	0,18	0,1

Untuk proses permesinan dengan menggunakan pahat *cutter end-mill* dengan 4 *flute* diameter 10 mm untuk mengerjakan benda kerja dengan material S50C. Maka *cutting speed* yang digunakan adalah 120 m/min dan *feed per tooth* digunakan adalah 0,1 mm/tooth. Untuk alasan keamanan *feed per tooth* yang digunakan 0,08. Maka:

Spindle speed

$$n = \frac{120 \times 1000}{\pi \times 10} = 3820 \text{ rpm}$$

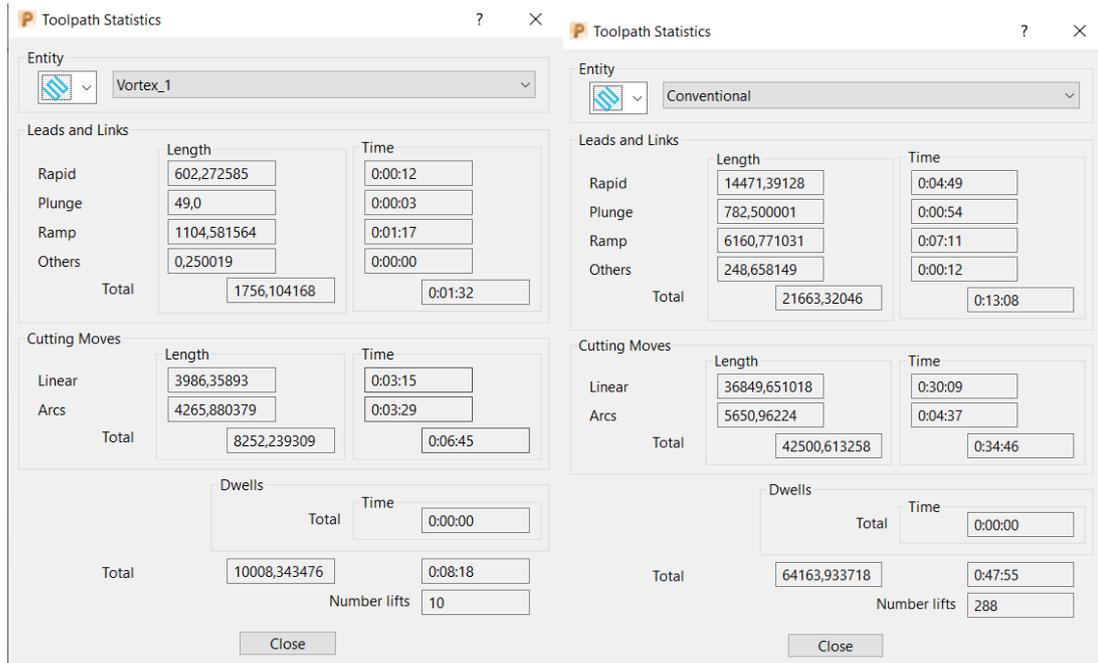
Feed rate

$$f = 3820 \times 0,8 \times 4 = 1222 \text{ rpm}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Waktu Permesinan dengan CAM

Sebelum dilakukan pencatatan waktu permesinan secara langsung dilakukan pengecekan waktu permesinan dengan menggunakan fitur *Statistic* pada *software* Autodesk PowerMill. Fitur *Statistic* di Autodesk PowerMill dapat melihat waktu permesinan, panjang lintasan *toolpath*, dan juga jumlah *lift* selama proses permesinan. Hasilnya adalah pada *toolpath vortex* dapat mengerjakan proses permesinan dalam waktu 8 menit 18 detik sedangkan *toolpath* konvensional dapat menyelesaikan proses permesinan dengan waktu 47 menit 58 detik. Hal ini terjadi karena jumlah *lift* pada *toolpath vortex* lebih sedikit dengan 10 *lift*, sedangkan untuk *toolpath* konvensional dengan 288 *lift*. Panjang lintasan *toolpath* dari *toolpath vortex* juga lebih pendek dengan panjang lintasan *toolpath* 100008,34 mm sedangkan panjang lintasan *toolpath* konvensional 64163,93 mm. Hasil dapat dilihat dari gambar 5 (a) dan (b). Perbedaan waktu permesinan antara kedua *toolpath* berdasarkan statistik CAM adalah 39 menit 37 detik.



Gambar 5 Statistik CAM *toolpath vortex* (a) *toolpath* konvensional (b)

Hasil Pengamatan Waktu Permesinan

Pengamatan waktu permesinan dilakukan dengan melakukan pengamatan selama proses permesinan berlangsung pada mesin CNC *milling*. Proses permesinan dilakukan dengan kondisi *rapid movement* diturunkan menjadi 10% pada mesin CNC *milling*.

Tabel 3. Hasil pengujian proses permesinan di mesin CNC *milling*

Run	Vortex	Konvensional
1	09:16	52:58
2	09:26	53:02
3	09:20	52:51

Hasilnya perbedaan waktu permesinan dari statistik CAM dengan pengujian langsung tidak berbeda jauh dengan hasil permesinan. Waktu tercepat yang didapat dengan proses permesinan *toolpath vortex* adalah 9 menit 16 detik. Sedangkan waktu permesinan tercepat *toolpath* konvensional adalah 52 menit 51 detik. Perbedaan waktu permesinan berdasarkan pengamatan dari waktu permesinan tercepat antara kedua *toolpath* adalah 43 menit 53 menit

4. KESIMPULAN

Toolpath vortex dapat melakukan proses permesinan lebih cepat daripada dengan waktu permesinan pada statistik CAM 8 menit 18 detik dan waktu tercepat selama proses permesinan dengan mesin CNC *milling* 9 menit 16 detik. Sedangkan proses permesinan dengan *toolpath* konvensional memakan waktu hingga 47 menit 55 detik dan waktu tercepat proses permesinan dengan mesin CNC *milling* 52 menit 51 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas Unit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (UP2M) Politeknik Negeri Jakarta atas dukungan finansialnya pada penelitian ini melalui program Penelitian Mahasiswa Tingkat Akhir (PMTA).

REFERENSI

- [1] P. N. Rao, *CAD/CAM Principles and Applications*, 3rd ed. New Delhi: McGraw-Hill Education, 2010.
- [2] G. Kiswanto, D. L. Zariatin, and T. J. Ko, "The effect of spindle speed, feed-rate and machining time to the surface roughness and burr formation of Aluminum Alloy 1100 in micro-milling operation," *J Manuf Process*, vol. 16, no. 4, pp. 435–450, Oct. 2014, doi: 10.1016/J.JMAPRO.2014.05.003.
- [3] L. Hu, R. Tang, Y. Liu, Y. Cao, and A. Tiwari, "Optimising the machining time, deviation and energy consumption through a multi-objective feature sequencing approach," *Energy Convers Manag*, vol. 160, pp. 126–140, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2018.01.005.
- [4] J. H. Ko and Y. Altintas, "Time domain model of plunge milling operation," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 47, no. 9, pp. 1351–1361, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2006.08.007.
- [5] Autodesk, "Vortex Machining," 2020. <https://knowledge.autodesk.com/support/powermill/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/PWRM-ReferenceHelp/files/GUID-77122AF8-A489-43EB-A542-E21EAA660A0D-htm.html> (accessed Mar. 11, 2022).
- [6] M. Otkur and I. Lazoglu, "Trochoidal milling," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 47, no. 9, pp. 1324–1332, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2006.08.002.
- [7] Y. I. G.N.K., R. Tri, and R. A. Dedy, "OPTIMASI PARAMETER PERMESINAN TERHADAP WAKTU PROSES PADA PEMROGRAMAN CNC MILLING DENGAN BERBASIS CAD/CAM," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 38–50, 2016.
- [8] M. Uzun, Ü. Usca, M. Kuntoğlu, and M. Gupta, "Influence of tool path strategies on machining time, tool wear, and surface roughness during milling of AISI X210Cr12 steel," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Mar. 2022, doi: 10.1007/s00170-021-08365-9.
- [9] W. Sumbodo, *TEKNIK PRODUKSI MESIN INDUSTRI SMK JILID 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [10] Ade Sumpena, *Teknik Mesin Perkakas*. Depok: Politeknik Negeri Jakarta, 2010.