

KOMPARASI ANTARA PROSES UP-MILLING DAN DOWN-MILLING DALAM VARIASI SPEED, FEED DAN FLUTE TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DALAM PEMOTONGAN AL 6061

A. As'ad Sonief¹
Apris Yudi Aditya²
Yoedivianto³

¹ Dosen Teknik Mesin FT-UB; sonief@ub.ac.id

² Teknik Mesin FT-UB; aprisya@gmail.com

³ Teknik Mesin FT-UB; yoedivd@gmail.com

Telp.: 0341-554291

E-mail: sonief@ub.ac.id

Abstract

In general the manufacturing process in manufacturing machining components is done in an effort to achieve product quality characteristics that have been established in equipment standards, cost and time. Various efforts are made to reduce these constraints by reducing costly operations and improving product quality. This paper discusses the comparison between up-milling and down-milling machining on variations of speed, feed and flute to surface roughness of aluminum 6061. The methodology is used by predicting surface roughness at milling machining in both operations through the empirical formula. Factors affecting the surface roughness empirically to optimize the machining parameters. The experimental results show the relationship between speed, feed, flute and surface roughness of Aluminum 6061, with the most influential parameter is the flute. Down-milling machining processes have lower gradients than up-milling operations.

Keywords: up-milling, down-milling, speed, feed, flute, surface roughness, Al 6061.

PENDAHULUAN

Secara umum dalam proses manufaktur permesinan yang menghasilkan produk dilakukan dengan upaya untuk mencapai karakteristik kualitas produk yang telah ditetapkan dalam standar produksi, biaya dan waktu. Tantangan yang sangat besar di dunia industri dalam upaya meningkatkan daya saing di pasar global. Kualitas produk suatu komponen salah satunya ditunjukkan secara fisik berupa nilai kekasaran permukaan komponen tersebut [2]. Upaya untuk mendapatkan kualitas permukaan yang baik berupa kekasaran permukaan tergantung banyak faktor di dalam proses permesinan, khususnya pada pencapaian parameter pemotongan optimal yang merupakan kendala utama dalam permesinan [3]. Berbagai upaya dilakukan untuk menekan kendala-kendala tersebut dengan mengurangi operasi yang mahal dan memperbaiki kualitas produk. Secara sistem timbulnya kekasaran

permukaan pada komponen sangat merugikan dalam aplikasinya. Pada skala mikroskopik kekasaran permukaan merupakan ketidakteraturan konfigurasi permukaan yang bisa berupa guratan atau kawah kecil pada permukaan. Guratan atau kawah kecil tersebut akan menjadi takikan (*notch*) yang merupakan tempat konsentrasi tegangan, apabila dikenai beban tinggi berfluktuasi, sehingga sangat membahayakan komponen karena berakibat pada keretakan. Kekasaran permukaan pada sistem pemotongan benda kerja dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah proses permesinan, parameter pemotongan, dan geometri pahat [4] dan [7]. Upaya untuk mendapatkan kekasaran permukaan yang baik dengan didaparkannya parameter pemotongan yang tepat, tergantung pada putaran spindle, kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan [4]. Proses *milling* dengan pahat *end mill* didapatkan perbedaan kekasaran permukaan pada proses *up*

(conventional) dan *down (climb)* [8], [5]. Proses pemakanan tegak dengan end mill terdapat perbedaan kekasaran permukaan yang dihasilkan pada proses *up (conventional)* dan *down (climb)*, yaitu nilai kekasaran permukaan proses *down (climb)* lebih rendah dari pada proses *up (conventional)* [6]. Pada proses masih dimungkinkan untuk penerapan beberapa strategi proses permesinan untuk menghasilkan parameter yang lebih optimum [6] dan [7]. Upaya tersebut dilihat pada sisi geometri pahat *ball nose end mill* yaitu jumlah gigi pahat. Geometri pahat berupa jumlah gigi pahat mempengaruhi kualitas permukaan hasil proses, semakin banyak jumlah gigi dimungkinkan semakin banyak geram yang dihasilkan karena banyak yang terpotong. Pada proses milling, telah diketahui bahwa proses pemotongan akan mempengaruhi gaya pemotongan karena rotasi alat potong. Dalam riset yang telah dilakukan [8] telah menunjukkan bahwa kinematik dari proses milling (*up-milling* atau *down-milling*) mempunyai pengaruh signifikan pada performansi pemotongan. Pada semua studi telah menunjukkan bahwa parameter pemotongan sangat mempengaruhi hasil produk. Akan tetapi, korelasi antara parameter pemotongan dan flute serta orientasi kinematik pada Aluminium 6061 belum banyak diungkapkan [7]. Dan tujuan utama dari makalah ini mempelajari secara komprehensif perilaku end milling pada arah kinematik pemotongan (*up* dan *down-milling*) yang berbeda dari material Aluminium 6061 terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan.

METODOLOGI PENELITIAN

Material Dan Pahat Potong.

Material yang digunakan adalah aluminium (Al) tipe 6061, dengan spesifikasi seperti pada tabel 1. Material ini merupakan logam yang ringan dan juga memiliki sifat penghantar panas yang baik sehingga banyak digunakan pula pada komponen mesin, komponen pesawat dan komponen industri.

Alat pemotongan yang digunakan dalam uji permesinan adalah pahat *ball nose end mill* terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS), seperti pada tabel 2. Pahat *ball nose end mill* memiliki ujung pahat setengah bola atau radius. Pahat *ball nose end mill* dapat

bekerja pada permukaan maupun pada tepian pahat, sehingga dengan pahat ini dapat dihasilkan benda kerja dengan variasi ukuran dan bentuk serta permesinan 3 dimensi. Proses pemotongan dilakukan dengan mesin CNC-TU3A di laboratorium Otomasi Manufaktur FT-UB.

Tabel 1. Spesifikasi Bahan Aluminium 6061

Aluminium 6061	
Kekuatan tarik	12,6 kgf/mm
Titik cair	660°C
Berat jenis	2,70 g/cm ³
Koefisien ekspansi thermal	13,1.10 ⁻⁶ in/in ⁰ F
Konduktifitas termal, 25°C	237 w/cm ⁰ C

Tabel 2. Spesifikasi Pahat

Merk	Guhring (Jerman)
Jenis	Pahat <i>Ball Nose End Mill</i>
Bahan	HSS
Diameter pahat	10 mm
Jumlah gigi (flute)	2 dan 4
Sudut helix	30°

Parameter Penelitian Dan Pengukuran Kekasaran Permukaan.

Kualitas permukaan selama proses milling sangat dipengaruhi beberapa faktor penting yaitu parameter pemotongan (*speed*, *feed*, *depth of cut*), geometri pahat (*flute*), kinematika pemotongan, vibrasi dan sebagainya. Kualitas permukaan diamati pada setiap perubahan parameter, variasi flute dalam kinematika pemotongan (*up* and *down process*). Kualitas permukaan yang diamati adalah nilai kekasaran permukaan (*Ra*) menggunakan surface tester Mitutoyo SJ-301 [1] secara berulang.

Tabel 3. Parameter pemotongan pada permesinan

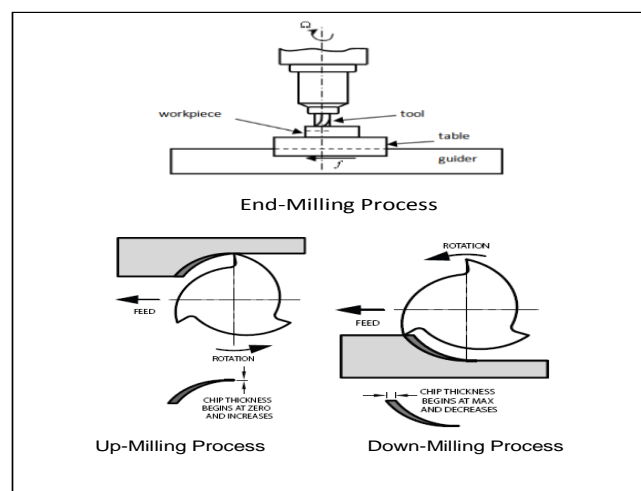
Parameter	Satuan	Nilai
Speed	rpm	700, 800, 900
Feed	mm/menit	100, 200, 300
Depth of cut	mm	0,5 (tetap)
Geometri Pahat		
Flute	Jumlah gigi	2 dan 4
Kinematika pemotongan		
Up-milling process	Down-milling process	

Parameter pemotongan diseting dengan speed 3 variasi, feed 3 variasi, flute 2 variasi pada setiap kinematika pemotongan (up and down process) dengan depth of cut tetap pada 0,5 mm dengan diameter pahat 10 mm. Parameter pemotongan secara rinci terlihat seperti pada tabel 3.

Skema penelitian dilakukan dengan mempersiapkan mesin CNC milling, pahat ball end mill dengan flute 2 dan 4, material objek riset Al 6061, alat ukur kekasaran permukaan serta peralatan penunjang lainnya. Mesin CNC

milling disiapkan mulai dari menentukan titik referensi sampai dengan membuat program G-code untuk diinputkan ke mesin CNC milling.

Proses pemotongan berlangsung sesuai parameter pemotongan speed, feed, depth of cut (tetap) dan variasi geometri flute pahat serta variasi kinematika pemotongan yaitu up-milling dan down-milling. Secara skematik instalasi penelitian seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Skema instalasi penelitian

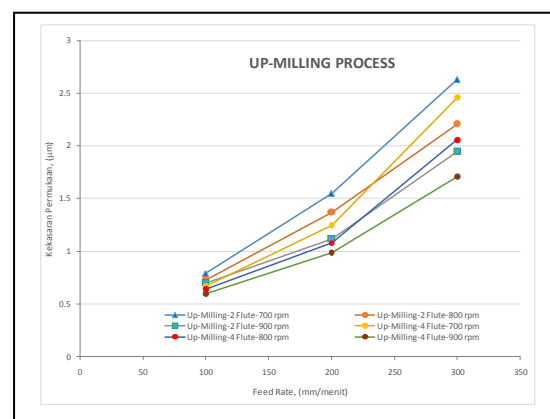
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekasaran Permukaan Pada Proses Up Milling.

Kekasaran permukaan (R_a) pada proses up-milling terhadap speed, feed, dengan depth of cut (tetap) serta flute pada berbagai variasi permesinan terlihat seperti pada gambar 2. R_a meningkat dengan peningkatan feed yang pengaruhnya signifikan. Peningkatan speed berpengaruh terhadap nilai R_a , semakin tinggi speed semakin rendah nilai R_a , khususnya pada parameter feed yang tinggi, peran speed signifikan. Sedangkan pada kondisi feed yang rendah peranan speed yang meningkat kurang signifikan.

Demikian pula peranan flute pada jumlah gigi 4 nilai R_a lebih baik dari pada jumlah gigi 2, peranan jumlah gigi yang meningkat karena bahan termakan lebih banyak oleh gigi pahat

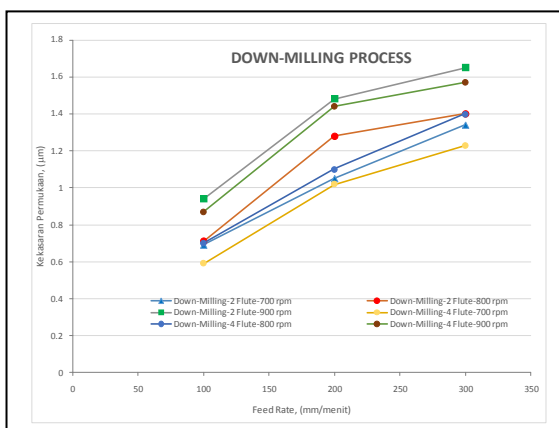
dengan 4 flute. Pada kelompok feed rate 100 mm/menit menjadi bagian terbaik dari 3 kelompok parameter permesinan yang lain.



Gambar 2. Kekasaran permukaan pada Up-Milling Process.

Pada kelompok 200 mm/menit dan 300 mm/menit masih terjadi fluktuatif pada penggunaan pahat 2 dan 4 flute. Peranan jumlah gigi pada penggunaan pahat *ball nose-mill* antara 2 flute dan 4 flute menjadi signifikan untuk penurunan kekasaran permukaan pada proses *up-milling*. Nilai Ra terbaik pada proses *up-milling* terjadi pada parameter speed 900 rpm, feed 100 mm/menit dan variasi flute berjumlah 4 gigi.

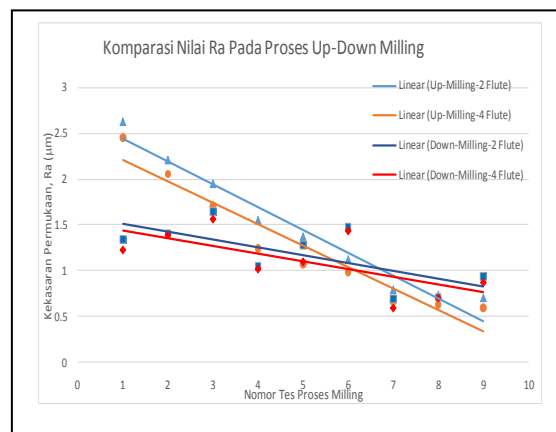
Pada gambar 3. Pada proses *down-milling* kekasaran permukaan (R_a) meningkat dengan peningkatan feed, peningkatan yang tajam terjadi pada area nilai feed 200 mm/menit dan meningkat lebih landai pada area feed 300 mm/menit. Demikian juga fenomena terjadi pada peningkatan speed. Sebaliknya fenomena fluktuatif terjadi pada variasi flute 2 dan 4 gigi pada setiap variasi parameter pemotongan, sehingga peranan variasi flute kurang signifikan pada proses *down-milling*. Nilai Ra terbaik pada proses *down-milling* terjadi pada parameter speed 700 rpm, feed 100 mm/menit dan pada variasi flute berjumlah 4 gigi.



Gambar 3. Kekasaran permukaan pada Down-Milling Process.

Pada gambar 4. tergambaran seluruh proses permesinan dengan *up-milling* pada kondisi *speed*, *feed*, dan *flute* pada *ball nose-end mill*. Linearisasi pada trendline antara pahat jumlah 4 flute lebih baik dari pada pahat jumlah 2 flute. Dari hasil linearisasi diperoleh gradient yang lebih besar pada *up-milling* dari pada *down-milling* yang artinya *up-milling* cukup signifikan perubahan terhadap

parameter pemotongan. Sedangkan pada proses *down-milling* hasil linearisasi seluruh proses menunjukkan gradient yang landai sehingga kurang signifikan pengaruh parameter pemotongannya. Disamping itu pada proses *down-milling* dihasilkan data yang fluktuatif, hal ini dikarenakan pada pemakanan proses *down-milling* terdapat banyak geram yang menempel pada pahat hingga sulit untuk terbuang dengan segera dari mata pahat. Hal lain disebabkan juga oleh proses pemotongan *down-milling* yang kinematikanya berputar berlawanan dengan pahat potong, yang cenderung akan mengangkat benda kerja. Dampak yang ditimbulkan pada mekanika pemotongan terjadi gaya yang lebih besar, yang memungkinkan getaran yang ditimbulkan juga lebih besar [10]. Akan tetapi hasil Ra yang diperoleh nilai yang lebih kecil pada area feed 300 mm/menit. Sedangkan pada area feed 100 mm/menit proses *up-milling* masih lebih baik nilai Ra dari pada proses *down-milling*.



Gambar 4. Komparasi kekasaran permukaan pada Up-Down Milling Process.

Tabel 4. Kekasaran Permukaan Ra untuk sejumlah 9 eksperimen

No. Tes	Up-Milling			Nilai terukur (Ra, μm)	
	Parameter Pemotongan n (rpm)	f (mm/mnt)	a (mm)	2 (tooth)	4 (tooth)
1	700	300	0.5	2.63	2.46
2	800	300	0.5	2.21	2.06
3	900	300	0.5	1.95	1.71
4	700	200	0.5	1.55	1.25
5	800	200	0.5	1.37	1.08
6	900	200	0.5	1.12	0.99
7	700	100	0.5	0.79	0.67
8	800	100	0.5	0.73	0.64
9	900	100	0.5	0.7	0.6

Tabel 5. Kekasaran Permukaan Ra untuk sejumlah 9 eksperimen

No. Tes	Down-Milling			Nilai terukur (Ra, μm)	
	Parameter Pemotongan n (rpm)	f (mm/mnt)	a (mm)	2 (tooth)	4 (tooth)
1	700	300	0.5	1.34	1.23
2	800	300	0.5	1.4	1.4
3	900	300	0.5	1.65	1.57
4	700	200	0.5	1.05	1.02
5	800	200	0.5	1.28	1.1
6	900	200	0.5	1.48	1.44
7	700	100	0.5	0.69	0.59
8	800	100	0.5	0.71	0.7
9	900	100	0.5	0.94	0.87

KESIMPULAN

Proses pemotongan end-mill akan melibatkan kinematika pemotongan yaitu up-milling dan down-milling. Hasil eksperimen menunjukkan hubungan antara speed, feed, flute dan kekasaran permukaan Aluminium 6061. Proses permesinan operasi down-milling mempunyai gradien lebih rendah dari pada operasi up-milling. Proses up-milling lebih stabil dari pada down-milling. Pemilihan proses pemotongan yang optimal sangat tergantung pada pemilihan parameter pemotongan, geometri pahat. Pemilihan kinematika pemotongan kedua proses up dan down milling dapat digunakan tentunya dengan memilih parameter pemotongan yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonimus, SURFTEST 401 series 178 Manual Book, Mitutoyo.
- [2] Arifin, NM, AA Sonief, WY Atmojo, 2012, Pengaruh Parameter Proses Frais Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Fasa Ganda, *Rekayasa Mesin 2* (3), 182-192.
- [3] Bala Lulzim, Afrim Gjelij, Avdyi Bunjaku and Avdi Salihu, 2012, Surface Roughness of Material Processing during Milling Process, *Journal of Mechanics Engineering and Automation 2* (2012) 601-605.
- [4] Chen Chi-Hsiang, Yung-Cheng Wang, Bean-Yin Lee, 2012, The Effect of

- Surface Roughness of End-Mills on Optimal Cutting Performance for High-Speed Machining, *Journal of Mechanical Engineering*, 59(2013)2,124-134. DOI:10.5545/sv-jme.2012.677.
- [5] Dimitrios Vakondios , Panagiotis Kyratsis , Suleyman Yaldiz , Aristomenis Antoniadis, 2011, Influence of milling strategy on the surface roughness in ball end milling of the aluminum alloy Al7075-T6, *Measurement Journal*, Elsevier Ltd. All rights reserved.
- [6] Handoko , B. Tulung Prayoga, 2008, Studi Paramater Pemesinan Optimum Pada Operasi Cnc End Milling Surface Finish Bahan Aluminium, *Prosiding Seminar Nasional Teknoin, Bidang Teknik Mesin*, Yogyakarta, 22 Nopember 2008, ISBN:978-979-3980-15-7.
- [7] Hendrawan Muh Alfatih., 2010., Studi Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses *Up* Dan *Down Milling* Dengan Pendekatan *Vertical Milling*, *MEDIA MESIN*, Vol. 11, No. 1, Januari 2010, 37-42 ISSN 1411-4348.
- [8] Kuttolamadom Mathew A., Sina Hamzehlouia, M. Laine Mears, 2010, Effect of Machining Feed on Surface Roughness in Cutting 6061 Aluminum, *Clemson University - International Center for Automotive Research*, Copyright © 2010 SAE International.
- [9] Ozoegwu C.G., 1S.N. Omenyi, 1S.M. Ofochebe, 2E. Obaseki, 3C.F. Uzoh, and 4C.C. Nwangwu, 2012, Comparison Of Up-Milling And Down-Milling Modes Of End-Milling Process, *Research Journal in Engineering and Applied Sciences* 1(5) 314-322.
- [10] Ozoegwu Chigbogu G., Sam N. Omenyi, Sunday M. Ofochebe, Chinonso H. Achebe, 2013, Comparing up and Down Milling Modes of End-Milling Using Temporal Finite Element Analysis, *Applied Mathematics*, 3(1): 1-11 DOI: 10.5923/j.am.20130301.01.