

Perbandingan Kekasaran Permukaan yang dihasilkan Proses *High Speed Milling* antara arah pemakanan *down-milling* dan *up-milling* pada material aluminium 6061

Wahyu Isti Nugroho*, Hartono, Slamet Priyoatmojo, Avicenna an nizhami, Padang Yanuar, Sunarto

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

Telp. +6224 7473417, 7499585, 7499586, Fax. +6224 7472396

*E-mail: wahyu.istinugroho@polines.ac.id

Diajukan: 18-10-2022; Direvisi: 20-12-2022; Dipublikasi: 23-12-2022

Abstrak

Perkembangan teknologi mesin *milling* memberikan kemudahan untuk melakukan berbagai jenis gerakan pemakanan dan parameter pemotongan. Penentuan gerakan serta parameter proses yang tepat menentukan kualitas suatu produk. Pada proses produksi, tidak hanya mempertimbangkan kualitas produk yang dihasilkan tetapi dipertimbangkan waktu proses serta usia pakai alat potong atau dikenal *tool life*. *high speed milling* (HSM) adalah metode pemakanan memanfaatkan panjang *flute* dan kecepatan potong tinggi untuk proses *roughing*. Metode tersebut menggunakan pemakanan samping atau *side cutting* dengan lebar pemakanan yang kecil. Pada pemakanan *side cutting* memiliki dua metode arah pemakanan yaitu *down milling* dan *up milling*. Kedua metode arah pemakanan masih menjadi perdebatan untuk menentukan kualitas hasil pemakanan terbaik. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hasil kekasaran permukaan dari metode *up milling* dan *down milling*. Metode penelitian ini menggunakan bahan Aluminium 6061 Series ukuran 54x54x50, *Cutter endmill* DHF Ø10, Panjang *flute* 30 mm, 2 *flute*, metode pemotongan *dry cutting*. Proses pengujian pemotongan *roughing* kedalaman 20mm dengan lebar pemotongan 1.5mm, dan pemotongan *finishing* kedalaman 10mm dengan lebar pemotongan 0.15mm. Metode *up milling* dengan step over 1.5mm menghasilkan kekasaran permukaan yang besar yaitu Ra 0.6796µm dibandingkan metode *down milling* dengan Ra 0.5876µm. Metode *down milling* menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik dibandingkan *up milling*.

Kata kunci: Aluminium, *High speed milling*, *Side cutting*

Abstract

The development of milling machine technology makes it easy to perform various types of feed motion and cutting parameters. Motion of tools and the right process parameters determine the quality of a product. In the production process, do not consider the quality of the resulting product, only consider the time and age of the cutting tool or the known age of the tool. *high speed milling* (HSM) is a feeding method that utilizes flute length and high cutting speed for the roughing process. This method uses side feeding or side cutting with a small feed width. In side cutting feeding, there are two methods of feeding direction, namely *down milling* and *up milling*. The two feeding methods are still the determinants for determining the quality of the best feeding results. The purpose of this study was to determine the results of the surface roughness of the *up milling* and *down milling* methods. This research method uses Aluminum 6061 Series with size 54x54x50, DHF 10 endmill cutter, 30 mm flute length, 2 flutes, dry cutting method. The testing process cuts a depth of 20mm with a cutting width of 1.5mm, and a finishing cut of 10mm depth with a cutting of 0.15mm. The *up milling* method with a step over 1.5mm produces a large surface roughness of Ra 0.6796µm compared to the *down milling* method with Ra 0.5876µm. The results of this study concluded that the *down-milling* direction resulted in better surface roughness than the *up-milling* direction.

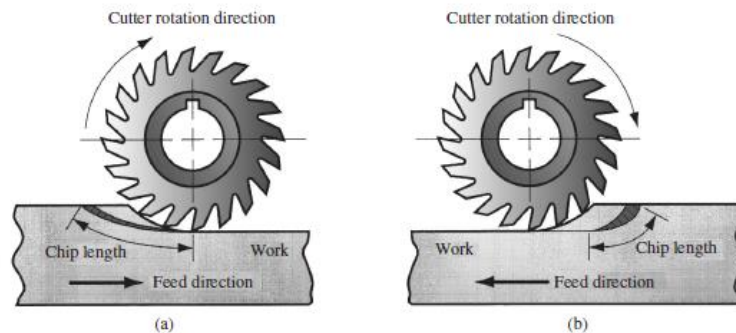
Keywords: Aluminium, *high speed milling*, *side cutting*

1. Pendahuluan

High speed milling (HSM) adalah proses manufaktur yang diperbincangkan hingga saat ini. HSM merupakan metode baru untuk *milling roughing* menggunakan diameter 10 mm atau dibawahnya dengan kedalaman penuh *High axial depth* (Ad) of cut dengan *feed rate* dan *speed tinggi* [1]. Metode HSM sebagian besar menggunakan teknik penyayatan *side cutting* dibandingkan menggunakan penyayatan *end cutting* pada pahat potong.

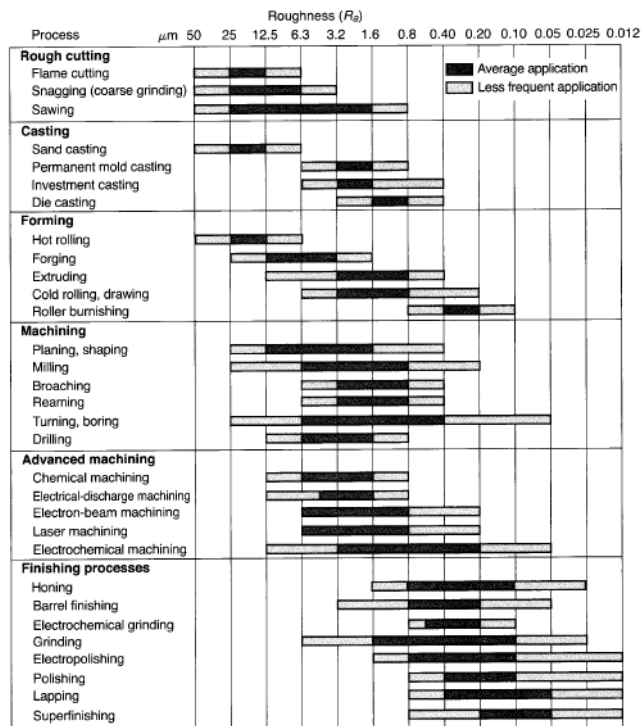
Berdasarkan arah pemotongan pada proses *milling* dikenal dengan metode *up milling* atau *conventional milling* dan *down milling* atau *climbing milling*. Arah pemotongan pada proses *milling* mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja [2]. Proses *side cutting* arah pemotongan *down milling* menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik

dibandingkan *up milling*. Metode *down milling* memberikan umur pahat lebih lama dibandingkan *up milling* [3]. Keausan pahat untuk metode *down milling* lebih baik dari pada metode *up milling*. Terdapat *chipping* pada sisi potong yang menyebabkan penurunan kemampuan potong yang menyebabkan gesekan dan menghasilkan keausan [3]. Kesetabilan metode *down-milling* lebih baik dibandingkan *up-milling* ditinjau dari frekuensi terjadinya getaran, *chatter*, serta hasil pemakanan [4]. Temperature pada permukaan geram yang dihasilkan dari kedua metode pemotongan *up-milling* dan *down-milling* bahwa suhu pada geram berkontribusi terhadap keausan pahat. Namun metode *up milling* menghasilkan temperature geram yang lebih rendah dibandingkan metode *down milling* [5]. Pada kenyataan dilapangan, bahwa operator masih menerapkan pemakanan *up-milling* dibandingkan *down-milling* [6]. Pada *up milling* (gambar 1a), geram yang dibentuk oleh setiap gigi pemotong dimulai dari bentuk tipis dan bertambah tebal selama pemotong [9].



Gambar 1. Up Milling (a), Down Milling (b) [9]

Ditemukan beban pemotongan yang lebih tinggi pada *up milling*, sehingga tidak sesuai untuk pemakanan *roughing* [10]. Penelitian untuk pemakanan *side cutting* material *Steel C45* untuk kedalaman 10 mm diperoleh hasil kekasaran permukaan 8.882 μm untuk down milling, dan 12,321 μm untuk up milling. Strategi pemakanan *Down milling* sesuai untuk pemakanan *Roughing* dan *finishing* [11][12][14].

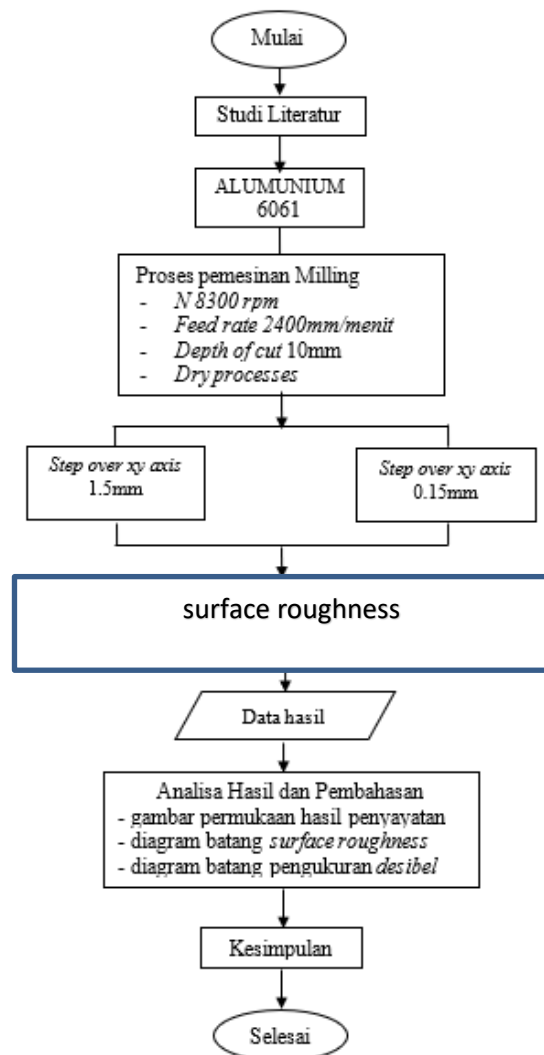


Gambar 2. Nilai kekasaran permukaan rata-rata setiap proses pemesinan. [8]

Pemakanan dengan *side cutting* menimbulkan defleksi, akan tetapi dapat diatasi dengan mengurangi lebar pemakanan [13]. Perpaduan parameter pemotongan untuk *up* dan *down milling* menghasilkan perbedaan kekasaran permukaan namun tidak terlalu signifikan untuk *finishing* [15]. Perlu dilakukan penelitian untuk membandingkan antara arah pemakanan *down-milling* dengan *up-milling* ditinjau dari kualitas permukaan yang dihasilkan. Berdasarkan gambar 2, nilai kekasaran permukaan rata-rata atau *roughness average* dari proses *milling* adalah $25\mu\text{m}$ sampai dengan $0.2\mu\text{m}$ [8]. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan kekasaran permukaan dinding benda kerja yang dihasilkan antara arah pemakanan *down-milling* dengan *up-milling*.

2. Material dan Metodologi

2.1 Metode penelitian



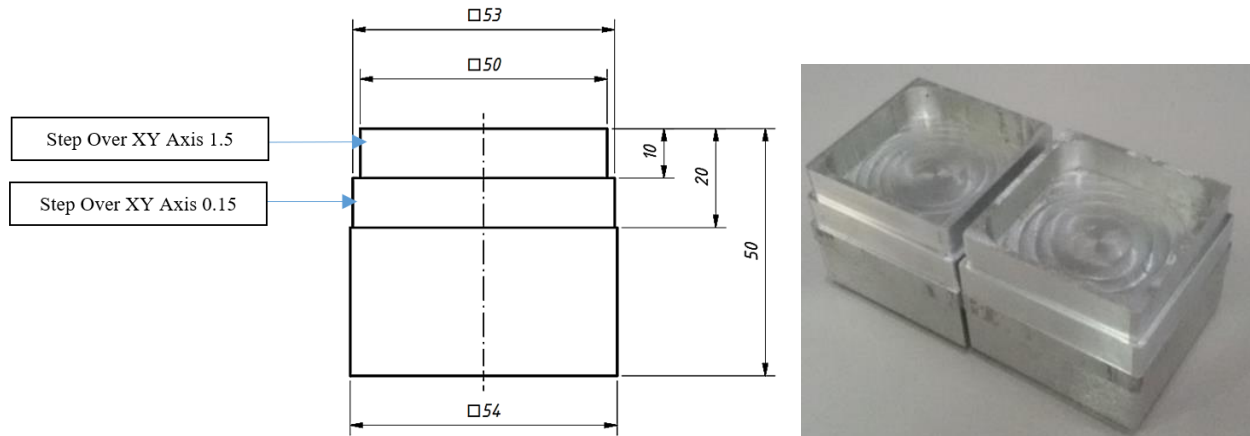
Gambar 3. Alur penelitian

Alur penelitian diawali dari menentukan penelitian yang relevan terkait arah pemakanan *down-milling* dan *up milling*. Material uji yang digunakan adalah Alumunium 6061 dengan karakteristik material lunak, dengan mampu mesin yang lebih baik. Parameter yang digunakan dalam proses ini diatur pada kondisi: Putaran endmill 8300 rpm; feedrate 2400 mm/menit; depth of cut 10 mm; kondisi tanpa pendinginan supaya proses dan hasilnya dapat diamati dengan mudah. Parameter pemakanan samping atau *step over xy axis* terdiri dari 1.5mm sebagai pekerjaan *roughing*,

dan 0.15mm sebagai pekerjaan *finishing*. Hasil yang diamati dalam penelitian ini adalah perbandingan kekasaran permukaan yang terbentuk dari pekerjaan *roughing* dan *finishing*.

2.2 Bahan

Material yang diuji adalah aluminium seri 6061 ukuran 54x54x50 mm yang akan dilakukan pemakanan *contour* pada dinding dengan *step over xy axis* 1.5mm *depth* 10mm sebagai proses *roughing*, dan *step over xy axis* 0.15mm *depth* 10mm sebagai proses *finishing* seperti gambar 4.



Gambar 4. Dimensi benda uji

2.3 Mesin CNC Milling

Pada penelitian ini menggunakan mesin CNC Milling 3Axis Hartford MVP 100 supaya parameter *feedrate*, *spindle speed* dapat ditentukan dengan akurat. Selain itu, mesin ini menggunakan penggerak *ball screw* sehingga dapat meminimalkan *backlash* yang dapat mempengaruhi pergerakan meja mesin pada saat proses pemakanan. Gambar 5 adalah mesin CNC Milling yang digunakan untuk penelitian.



<i>X AXIS</i>	:	1050mm
<i>Y AXIS</i>	:	530mm
<i>Z AXIS</i>	:	510mm
<i>Max Spindel Speed</i>	:	10000rpm
<i>Maximal Auto Tool Changer</i>	:	24
<i>Maximal feed rate</i>	:	10000mm/menit
<i>Control</i>	:	Fanuc AI200

Gambar 5. Mesin CNC Milling Hartford MVP 100 dan spesifikasi

2.4 Endmill

Penelitian ini menggunakan *endmill* material *carbide* brand DHF Eco Series DC 1002 yang memiliki spesifikasi diameter 10mm, panjang *flute* 30mm, jumlah *flute* 2. Spesifikasi tersebut sesuai untuk material Aluminium 6061 tujuan pemotongan *roughing* maupun *finishing* [7].



Gambar 6. Endmill

2.5 Parameter Pemotongan

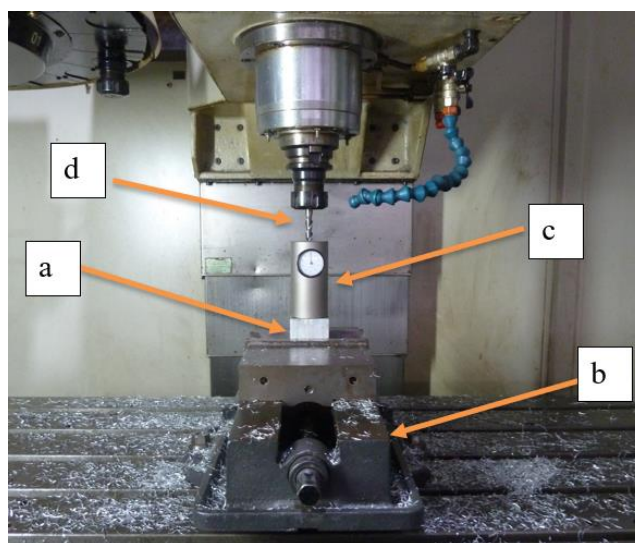
Parameter pemotongan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batas maksimum dari rekomendasi katalog DHP, sebagai berikut :

<i>Cutting speed</i>	: 250m/min
<i>Spindel Speed</i>	: 8300rpm untuk <i>cutter</i> diameter 10mm
<i>Feed Rate</i>	: 2400mm/min
<i>Depth of cut</i>	: 10mm (<i>side cutting</i>)
<i>Step over xy axis</i>	: 1.5mm (<i>side cutting</i>) untuk <i>roughing</i> 0.15mm (<i>side cutting</i>) untuk <i>finishing</i>
Pendingin	: Tanpa pendingin (<i>dry condition</i>)

Feed rate ditambahkan 10 persen dari *feed rate* maksimum yang direkomendasikan pada katalog bertujuan untuk meningkatkan *feed per tooth* sehingga akan terlihat perbedaan kekasaran permukaan yang dihasilkan [7].

2.6 Setting penelitian

Pemasangan benda uji pada mesin CNC dibantu dengan pencekam yang ditunjukkan pada Gambar 7. Posisi benda kerja ditunjukkan pada huruf (a), pencekam ditunjukkan pada huruf (b). Proses *setting* untuk bidang referensi ketinggian benda kerja menggunakan alat bantu *z zero setter* (c), posisi pahat potong ditunjukkan oleh huruf (d).



Gambar 7. Setting penelitian

3. Hasil dan pembahasan

Penelitian ini dilakukan menggunakan 5 spesimen yang diuji hasil visual, kekasaran permukaan arah pemakanan *up-milling* dan *down-milling*. Hasil proses pemotongan *side cutting* pada mesin milling menggunakan metode *up-milling* dan *down milling* dijelaskan pada sub bab berikut.

3.1. Hasil Visual

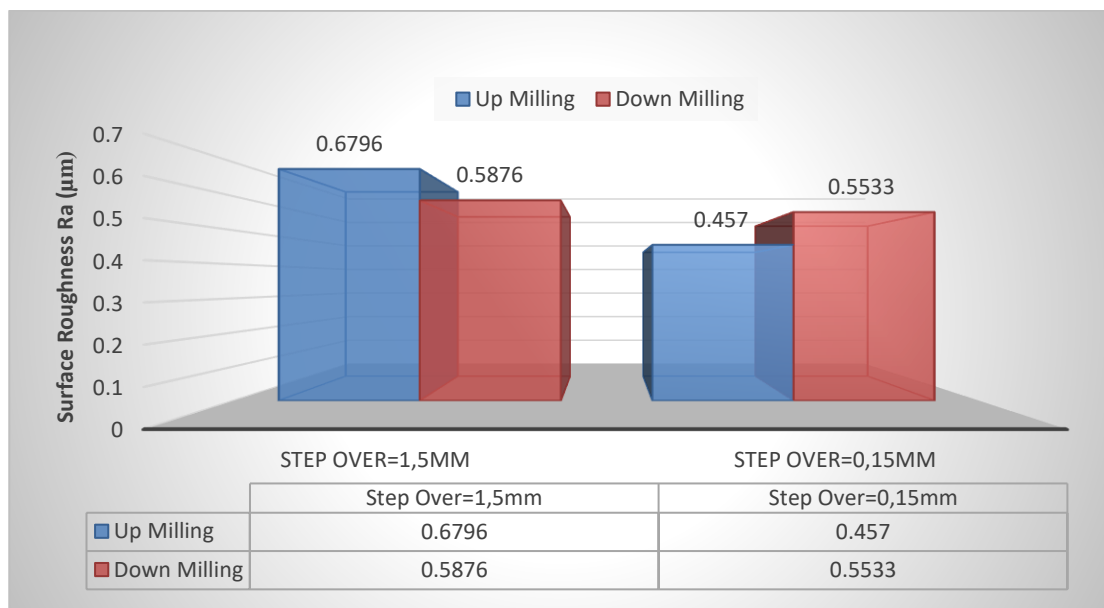
Berdasarkan gambar 8, secara visual diperoleh hasil kualitas permukaan relatif sama, namun pada proses *up milling* terdapat geram yang menempel dan melekat pada permukaan benda kerja (gambar 8 kiri). Geram yang menempel melekat dengan kuat, apabila diangkat akan meninggalkan bekas.



Gambar 8. Permukaan benda hasil pemakanan *up milling* (kiri) dan *down milling* (kanan)

3.2 Hasil Kekasaran Permukaan

Untuk mengetahui tingkat kekasaran permukaan yang paling rendah pada kedua metode penyayatan *side cutting*, perlu dilakukan uji kekasaran permukaan benda kerja menggunakan *digital surface roughness tester*. Hasil pengujian kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar 8. Metode *up milling* dengan *step over* 1.5mm memiliki kekasaran Ra 0.6796 μ m, sedangkan metode *down milling* menghasilkan Ra 0.5876 μ m. Pada *step over* 0.15mm menggunakan metode *up milling* terbukti menghasilkan Ra 0.457 μ m dibandingkan metode *down milling* dengan Ra 0,5533 μ m. Dapat disimpulkan bahwa kekasaran permukaan paling rendah terdapat pada metode *up milling* pada kondisi pemakanan *step over* 0.15mm, sedangkan kekasaran paling buruk adalah metode *up milling* kondisi pemakanan *step over* 1.5mm.



Gambar 9. Nilai kekasaran permukaan rata-rata (ra)

3.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data diatas diperoleh hasil penyayatan *up milling* dengan cacat pada permukaan benda kerja akibat beberapa chips yang tidak terevakuasi dengan baik sehingga menghalangi penyayatan pada sisi potong pahat terhadap dinding benda kerja untuk *step over xy axis* 0.15mm dan 1.5mm. Pada metode *down milling* hasil permukaan sempurna tanpa cacat baik pada *step over xy axis* 0.15mm dan 1.5mm. Tingkat kekasaran permukaan rata-rata yang baik adalah menggunakan metode *up milling* untuk penyayatan *step over* 0.15, tetapi sangat buruk untuk penyayatan dengan *step over* 1.5mm. Hal ini menyebabkan cacat pada permukaan benda kerja akibat geram yang tidak terevakuasi dan menghalangi penyayatan. Pada *down milling* hasil permukaan sempurna tidak terdapat area yang mengalami *defect* atau cacat selama proses pemesinan.

Berdasarkan analisa hasil penelitian disimpulkan metode *up milling* baik untuk proses *finishing* apabila tidak terdapat cacat pada permukaan benda kerja. Metode *down milling* menghasilkan kekasaran permukaan yang stabil untuk *roughing* maupun *finishing*.

4. Kesimpulan

Proses Pemakanan metode *up-milling* untuk *roughing* menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan metode *down-milling*. Pemakanan *up-milling* dengan *stepover xy* 0.15mm menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik yaitu 0,45micronmeter dibandingkan metode *dow-milling* 0,55 micronmeter, tetapi terdapat geram yang menempel pada permukaan untuk dinding benda kerja. Metode *down-milling* sangat disarankan untuk pemakanan *roughing* maupun *finishing*.

Daftar Pustaka

- [1] Toh, C. K. Comparison of chip surface temperature between up and down milling orientations in high speed rough milling of hardened steel. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005. 167(1), p 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.10.004>
- [2] Meciarova, J. Effects of Selected Cutting Parameters on Surface Roughness in Side Milling. *Archiwum Technologii Maszyn I Automatyzacji*. 2010. 30(4).
- [3] Hadi, M. A., Ghani, J. A., Che Haron, C. H., & Kasim, M. S. Comparison between up-milling and down-milling operations on tool wear in milling Inconel 718. *Procedia Engineering*. 2013. 68. p 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.234>
- [4] Insperger, T., Mann, B. P., Stépán, G., & Bayly, P. V.. Stability of up-milling and down-milling, Part 1: Alternative analytical methods. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2003. 43(1), p 25–34. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(02\)00159-1](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(02)00159-1)
- [5] Trent, E. M. . *Metal Cutting* (Fourth). Melbourne: Butterworth Heinemann. 2000 Retrieved from <http://www.bh.com>
- [6] Marinov, V. *Manufacturing Technology*. In *Manufacturing Technology*. 2000. p 71-73. Retrieved from me.emu.edu.tr/me364/ME364_machining_milling.pdf
- [7] DHF Precision tools. <https://www.endmill.com.tw/download/en> Taiwan; 2012 (Diakses pada tanggal 30 September 2022).
- [8] Kalpakjian, Serope. Steven R. Schmid. Smith, Hamido. *Manufacturing Engineering And Technology*.8th Edition. New York. Pearson; 2009. P 634.

- [9] Groover, Mikell P. *Modern Manufacturing*. 7th Edition. United States. Ohn Wiley & Sons, Inch. 2019. P 481.
- [10] Ryu, Shi Hyoung., Chu, Chong Nam. The Form Error Reduction In Side Wall Machining Using Successive Down and Up Milling. . *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. March 2005. 45. P 1523-1530.
- [11] Michalik, Peter., Zajac, Jozef., Hatala, Michal., Mital, Dusan., Fecova, Veronica. *Monitoring Surface Roughness of Thin-Walled Components From Steel C45 Machining Down and Up Milling*. Elsevier. 2014. 58. P 416-428.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.008>
- [12] Klauer, Katja., Eifler, Matthias., Kirsch, Benjamin., Seewig, Jorg., Aurich, J.C. *Micro Milling Of Areal Material Measures- Study On Surface Generation For Different Up and Down Milling Strategies*. ScienceDirect. 2020. 87. p 13-18.
- [13] J. Peterka, I. Buransky´ . *Using Aramis For Measurement Of Deformation Of Thin-Walled Parts During Milling*. *Sci. Technol. Slovak Univ. Technol.* 2011. 18 p 45–50.
- [14] O. Çolak, C. Kurbanog˘lu, M.C. Kayacan, *Milling surface roughness prediction using evolutionary programming methods*, *Mater. Des* 2007. 28. p 657–666, <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2005.07.004>
- [15] H. Chang, Ching-Kao, Lu, *Design Optimization Of Cutting Parameters For Side Milling Operations With Multiple Performance Characteristics*, *Int. J. Advanced Manufacture Technology*. 2007. 32. p 18–26,
<http://dx.doi.org/10.1007/s00170-005-0313-5>