

## Kekasaran permukaan pada pemesinan frais mikro Ti 6Al- 4V ELI (*extra low interstitial*)

Gusri Akhyar Ibrahim<sup>1\*</sup>, Endra Saputra<sup>2</sup>, Suryadiwansa Harun<sup>3</sup>, Eko Agus  
Supriyanto<sup>4</sup>, Armulani Patihawa<sup>5</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung<sup>1,3</sup>  
Prodi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung<sup>2</sup>  
Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung<sup>4,5</sup>  
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145, Lampung, Indonesia  
Email: [gusri.akhyar@eng.unila.ac.id](mailto:gusri.akhyar@eng.unila.ac.id)<sup>1</sup>, [endranidda83@gmail.com](mailto:endranidda83@gmail.com)<sup>2</sup>,  
[Suryadiwansa.harun@eng.unila.ac.id](mailto:Suryadiwansa.harun@eng.unila.ac.id)<sup>3</sup>, [Bajang4@gmail.com](mailto:Bajang4@gmail.com)<sup>4</sup>,  
[Armulani.pati.hawa019@gmail.com](mailto:Armulani.pati.hawa019@gmail.com)<sup>5</sup>

### Abstract

*One of the ingredients that are popular now is titanium, but titanium is a material that is difficult to process using conventional milling machining because of the poor thermal conductivity of the material so that the high-temperature machining process produced in the cutting zone causes plastic deformation in cutting tools and increased chemical reactivity in titanium. High-speed micro-milling machining can be used for micro machining of hard metals or alloys that are difficult to achieve at low speeds. Micro milling machining in titanium material 6Al-4V ELI with variations in milling tool diameter 1 and 2 mm, spindle speed 10.000 and 15.000 rpm, feed 0,001 and 0,005 mm/rev, depth of cut 100 and 150  $\mu$ m, which then do data processing using the method taguchi full factorial and theoretical analysis. The results showed that the diameter of the tool and into the depth of cut the most effect on surface roughness, the greater the tool diameter of the milling produced a smaller roughness value, this is inversely proportional to the depth of the cut. The lowest roughness value is 0,26 and the highest roughness value is 0,9.*

**Keywords:** *Micro milling machining, titanium 6Al-4V ELI, surface roughness.*

### Abstrak

Salah satu bahan yang populer saat ini adalah titanium, tetapi titanium adalah bahan yang sulit untuk diproses menggunakan permesinan frais konvensional karena konduktivitas termal yang buruk dari bahan tersebut sehingga proses permesinan mengakibatkan suhu tinggi yang diproduksi di zona pemotongan menyebabkan deformasi plastik pada alat pemotong dan peningkatan reaktivitas kimia pada titanium. Pemesinan mikro berkecepatan tinggi dapat digunakan untuk pemesinan mikro logam keras atau paduan yang sulit dicapai pada kecepatan rendah. Pemesinan mikro milling pada bahan titanium 6Al-4V ELI dengan variasi diameter pahat 1 dan 2 mm, kecepatan spindle 10.000 dan 15.000 rpm, feed 0,001 dan 0,005 mm/putaran, kedalaman potong 100 dan 150  $\mu$ m, yang kemudian melakukan pemrosesan data menggunakan metode taguchi analisis faktorial dan analisa teoritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter pahat dan kedalam potong memiliki efek paling besar pada kekasaran permukaan, semakin besar diameter pahat frais menghasilkan nilai kekasaran yang lebih kecil, ini berbanding terbalik dengan kedalaman pemotongan. Nilai kekasaran terendah adalah 0,26 dan nilai kekasaran tertinggi adalah 0,9.

**Kata kunci:** Pemesinan fais mikro, titanium 6Al-4V ELI, kekasaran permukaan.

### Pendahuluan

Salah satu bahan yang paling populer saat ini adalah titanium. Titanium

adalah bahan yang banyak digunakan di bidang industri, penerbangan, biomedis, elektronik dan benda benda mikrokopis

lainnya. Titanium juga merupakan logam yang sangat akrab dengan kehidupan manusia, banyak orang tahu bahwa titanium dapat digunakan dalam perhiasan, elektronik, alat kedokteran, dan produk lainnya yang membutuhkan kekuatan bahan [1, 14].

Titanium juga merupakan logam yang sangat atraktif karena merupakan logam yang ringan tetapi mempunyai properti yang tangguh. Dalam bidang industri, titanium digunakan sebagai komponen untuk konstruksi pesawat, sistem pipa pada industri petrokimia, kilang minyak lepas pantai, dan alat olah raga. Dalam bidang kesehatan, titanium juga digunakan sebagai tulang buatan atau implan karena sifatnya yang bio kompatibel [2].

Akan tetapi, karakteristik titanium mudah bereaksi dengan material pahat potong sehingga cenderung membentuk *build-up-edge* dan melekat pada permukaan pahat potong [3, 13]. Konduktivitas thermal titanium yang rendah menyebabkan kerusakan permukaan pada bahan yang dipotong, sehingga merusak kualitas permukaan, adanya abrasi dan kerusakan mikrostruktur. Oleh karena itu titanium dikategorikan sebagai bahan yang sulit dimesin.

Konduktivitas thermal paduan titanium yang rendah akan meningkatkan suhu pada ujung pahat potong yang mengakibatkan kegagalan pahat secara cepat, penyerpihan pada bagian ujung pahat potong ini menghasilkan kondisi permukaan bahan yang dimesin menjadi rusak, yang ditandai dengan permukaan yang kasar dan tidak seragam.

Hal ini tidak hanya menyebabkan nilai kekasaran permukaan yang tinggi, akan tetapi juga menyebabkan kerusakan mikrostruktur, hal ini juga berkontribusi terhadap kerusakan permukaan [3]. Kekasaran permukaan merupakan suatu hal yang sangat penting bagi suatu material. Hal ini dikarenakan material yang nantinya akan dijadikan suatu

komponen harus memiliki suatu nilai kekasaran tertentu agar dapat sesuai dengan fungsi komponennya [4].

Ganguli dan Kapoor [5] Mengatakan bahwa titanium dianggap bahan yang sulit diproses menggunakan pemessinan frais konvensional karena konduktivitas termal bahan yang buruk sehingga pada proses pemessinan dengan suhu tinggi yang dihasilkan di zona pemotongan menyebabkan deformasi plastis pada alat potong dan peningkatan reaktivitas kimia pada titanium. Tantangan dalam proses pembuatan *micro parts* untuk alat kesehatan pada pemessinan dengan material titanium terutama adalah sulitnya paduan titanium dimesin. *Micro milling machining* adalah proses pemessinan yang umum digunakan dalam produksi *micro parts* [6].

Karena produk *micro parts* sangat riskan terhadap gesekan, bahkan kekuatan kecil pun bisa menyebabkannya bencana kegagalan produk. *Micro milling machining* dengan kecepatan tinggi bisa digunakan untuk mengatasi masalah ini, karena beban *chip* yang lebih rendah pada tingkat kecepatan rotasi yang lebih tinggi, maka dari itu *micro milling machining* berkecepatan tinggi bisa digunakan untuk *micro machining* dari logam keras atau paduan yang sulit dicapai pada kecepatan rendah [7].

Sekarang *micro milling* kecepatan tinggi semakin populer karena mempunyai ketelitian dan permukaan akhir yang baik. Maka penelitian pada proses *micro machining* dengan material titanium semakin diminati.

## Tinjauan Pustaka

### 1. Pemessinan frais mikro (*micro milling machining*)

*Micro machining* adalah proses pemessinan dimana parameter alat dan komponen atau parameter pemotongan ada pada kisaran mikrometer. Dengan demikian *micro milling* dapat diartikan juga sebagai mesin milling atau mesin perkakas dimana parameter alat dan komponen atau parameter pemotongan ada

pada kisaran micrometer [6]. Seperti yang dikatakan Bajpai [8], bahwa *Micro milling* adalah proses pemesinan mekanis yang umum digunakan dalam produksi fitur mikroskopis. Mikrotool memiliki kekakuan yang sangat rendah dan bahkan kekuatan kecil pun bisa menyebabkannya bencana kegagalan alat, *Micro machining* dengan kecepatan tinggi bisa digunakan untuk mengatasi masalah ini karena beban *chip* yang lebih rendah pada tingkat kecepatan rotasi yang lebih tinggi. Akibatnya, *micro milling* berkecepatan tinggi bisa digunakan untuk *micro machining* dari logam keras atau paduan yang sulit dicapai pada kecepatan rendah. Sekarang *micro milling* kecepatan tinggi semakin populer karena mempunyai ketelitian dan permukaan akhir yang baik.

Dalam banyak kasus, produk mesin tidak perlu proses *finishing* tambahan. Namun, tingkat kekasaran dan pembentukan burr di proses pemesinan *micro milling* adalah masalah yang paling penting. Menghilangkan burr ukuran mikro sangat sulit dalam proses pemesinan *micro milling*. Maka penelitian ini difokuskan pada kekasaran permukaan dan pembentukan burr bahan dalam kecepatan tinggi *micro milling* untuk mendapatkan hasil yang baik [16]. Mesin frais mikro menggunakan kendali CNC (*Computer Numerically Controlled*) dan hampir semuanya adalah mesin frais vertikal. Mesin CNC akan bergerak secara otomatis setelah program kerjanya dimasukkan ke komputer yang telah dihubungkan ke mesin tersebut.

## 2. Kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan dibedakan menjadi dua bentuk, diantaranya:

### a. Ideal *Surface Roughness*

Yaitu kekasaran ideal yang dapat dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal.

### b. Natural *Surface Roughness*

Yaitu kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi proses permesinan diantaranya:

1. Keahlian operator
2. Getaran yang terjadi pada mesin
3. Ketidak teraturan *feed mechanism*
4. Adanya cacat pada material

## Metode Penelitian

### 1. Bahan

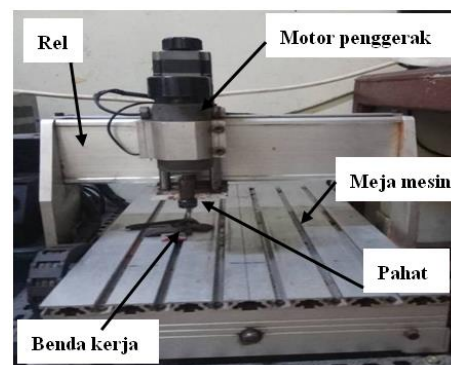
Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan Titanium 6Al-4V- ELI, dengan diameter 20 mm dan Tebal 4 mm dengan ketebalan titanium yaitu 4 mm. Dengan bahan yang telah tersedia diharapkan dapat menyelesaikan penelitian ini dengan hasil yang baik.



Gambar 1. Titanium 6Al-4V-ELI

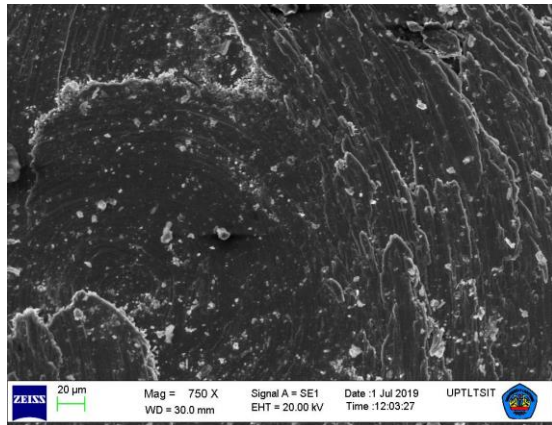
### 2. Alat

Mesin Frais *Micro Milling* CNC merupakan mesin yang mampu melakukan banyak pekerjaan bila dibandingkan mesin perkakas yang lain. Sebagai hasilnya, mesin frais CNC mampu meratakan permukaan datar maupun berlekuk. Selain itu mesin ini juga berguna untuk menghaluskan atau meratakan benda kerja sesuai dengan dimensi yang dikehendaki [6, 12, 15]. Mesin Frais *Micro Milling* CNC ini dilengkapi dengan tiga axis travel dan spindle speed 20.000 rpm.



Gambar 2: Mesin CNC *Micromilling*

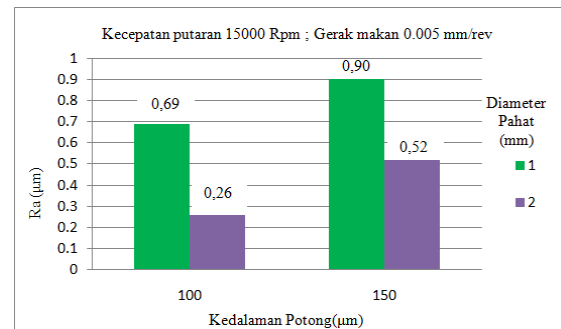




(b)

Gambar 4. *Scanning electronic microscopy* (SEM) (a) gambar permukaan menggunakan diameter pahat 1 mm, putaran spindle 15.000 rpm, feed 0,005 mm/rev dan kedalaman potong 150 µm (b) gambar permukaan menggunakan diameter pahat 2 mm, putaran spindle 15.000 rpm, feed 0,005 mm/rev dan kedalaman potong 100 µm.

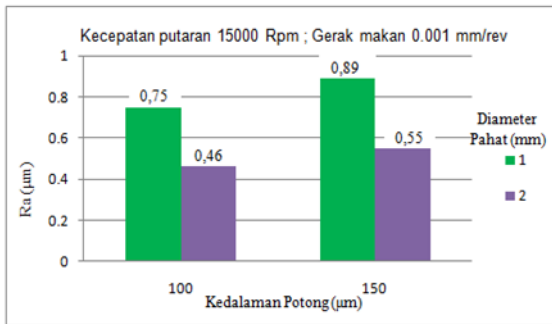
Gambar 4 Menunjukkan hasil kualitas permukaan uji SEM dengan Ra minimal dan Ra optimal. Gambar 4 (a) terlihat nampak guratan gutaran dari sayatan pahat yang tidak konsisten, serta terdapat serpihan serpihan yang menempel pada permukaan selain itu juga terbentuk seperti sebuah ombak pada permukaan yang menunjukkan bahwa kekasaran permukaan yang buruk. Selain itu banyak partikel *chip* yang menempel pada permukaan atau sering disebut dengan BUE. Partikel-partikel ini merupakan bagian tepi yang terlepas dan menempel ke permukaan bahan. Permukaan dengan Ra minimum gambar 4 (b) tidak banyak partikel *chip* yang menempel sehingga menghasilkan kualitas permukaan baik atau halus [16], nilai kekasaran permukaan sangat tergantung pada kadar pemakanan dan jari jari pahat potong [3].



Gambar 5. Grafik kekasaran permukaan antara diameter pahat 1 mm dan 2 mm menggunakan kedalaman pemotongan 100 µm dan 150 µm, kecepatan putaran 15000 rpm dan gerak makan 0,005 mm/rev

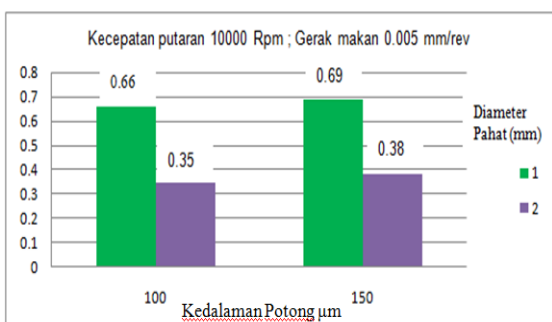
Gambar 5 menunjukkan bahwa pada kecepatan putaran 15000 rpm dan gerak makan 0,005 mm/rev, menggunakan diameter pahat 2 mm menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan pahat berdiameter 1 mm. Pada kedalaman potong 100 µm, menggunakan pahat berdiameter 2 mm menurunkan nilai kekasaran permukaan sebesar 62 % dibandingkan dengan menggunakan diameter pahat 1 mm. Hal tersebut juga terjadi pada kedalaman potong 150 µm, menggunakan pahat berdiameter 2 mm menurunkan nilai kekasaran permukaan sebesar 42 % dibandingkan dengan menggunakan diameter pahat 1 mm.

Hal tersebut mungkin dikarenakan dengan menggunakan diameter pahat 2 mm menghasilkan kecepatan makan yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan diameter pahat 1 mm dengan demikian nilai kekasaran permukaan menjadi lebih kecil atau baik, sedangkan pada kedalaman potong yang lebih besar akan mengakibatkan suhu yang semakin tinggi sewaktu proses pemesian. Oleh karena itu hasil dari kekasaran permukaan dari proses pemesian menjadi lebih tinggi atau buruk.



Gambar 6. Grafik kekasaran permukaan antara diameter pahat 1 mm dan 2 mm, kedalaman potong 100 μm dan 150 μm, kecepatan putaran 15000 rpm dan gerak makan 0,001 mm/rev.

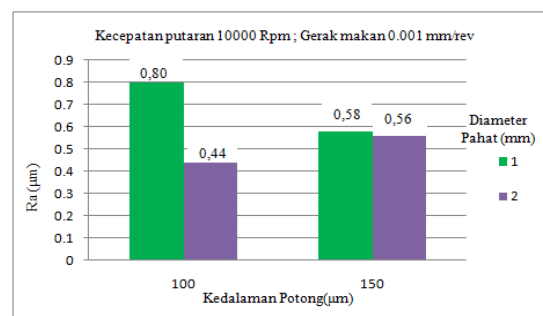
Gambar 6 menunjukkan bahwa pada kecepatan putaran 15000 rpm dan gerak makan 0,001 mm/rev, menggunakan diameter pahat 2 mm menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan pahat berdiameter 1 mm. Pada kedalaman potong 100 μm menggunakan diameter pahat 2 mm menurunkan nilai kekasaran permukaan sebesar 38 % dibandingkan dengan menggunakan diameter pahat 1 mm. Hal tersebut juga terjadi pada kedalaman potong 150 μm, menggunakan diameter pahat 2 mm menurunkan nilai kekasaran permukaan sebesar 38 % dibandingkan dengan menggunakan diameter pahat 1 mm.



Gambar 7. Grafik kekasaran permukaan antara diameter pahat 1 mm dan 2 mm menggunakan kedalaman potong 100 μm dan 150 μm dengan pada kecepatan putaran 10000 rpm dan gerak makan 0,005 mm/rev.

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada kecepatan putaran 10000 rpm dan gerak makan 0,005 mm/rev, menggunakan

diameter pahat 2 mm menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan pahat berdiameter 1 mm. Pada kedalaman potong 100 μm menggunakan diameter pahat 2 mm menurunkan nilai kekasaran permukaan sebesar 46 % dibandingkan dengan menggunakan diameter pahat 1 mm. Hal tersebut juga terjadi pada kedalaman potong 150 μm, menggunakan diameter pahat 2 mm menurunkan nilai kekasaran permukaan sebesar 44 % dibandingkan dengan menggunakan diameter pahat 1 mm.



Gambar 8. Grafik kekasaran permukaan antara diameter pahat 1 mm dan 2 mm menggunakan kedalaman potong 100 μm dan 150 μm pada kecepatan putaran 10000 rpm dan gerak makan 0,001 mm/rev

Gambar 8 menunjukkan bahwa pada kecepatan putaran 10000 rpm dan gerak makan 0,001 mm/rev, menggunakan diameter pahat 2 mm menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan pahat berdiameter 1 mm. Pada kedalaman potong 100 μm menggunakan diameter pahat 2 mm menurunkan nilai kekasaran permukaan sebesar 45 % dibandingkan dengan menggunakan diameter pahat 1 mm. Hal tersebut juga terjadi pada kedalaman potong 150 μm, menggunakan diameter pahat 2 mm menurunkan nilai kekasaran permukaan sebesar 3 % dibandingkan dengan menggunakan diameter pahat 1 mm.

## Kesimpulan

Diameter pahat secara signifikan menurunkan nilai kekasaran permukaan.

Nilai kekasaran minimum yaitu 0,26  $\mu\text{m}$  dengan menggunakan parameter pemesinan kecepatan spindle 15.000 rpm, gerak makan 0,005 mm/rev, kedalaman potong 100  $\mu\text{m}$ , dan diameter pahat frais 2 mm. Penurunan nilai kekasaran permukaan terbesar adalah sebesar 62 % pada parameter kecepatan putaran 15000 rpm, gerak makan 0,005 mm/rev, kedalaman potong 100  $\mu\text{m}$  dengan diameter pahat 1 mm sebesar 0,69  $\mu\text{m}$  dan diameter pahat 2 mm sebesar 0,26  $\mu\text{m}$  sehingga selisihnya 0,43  $\mu\text{m}$ .

### Referensi

- [1]. Rifai, M., (2018), Analisis keausan pahat pada pemesinan bubut pada pahat putar modular (modular rotary tools) untuk material titanium 6Al-4V ELI. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [2]. Josephine, M., Windajati, D.J., Djoko H., Santjojo, Abdurrouf., (2017), Pembentukan titanium nitrida (TiN) dengan proses nitriding pada titanium murni menggunakan plasma densitas tinggi, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v.8, n.2, pp. 83-90.
- [3]. Ibrahim, G., A., (2014), Pengaruh pemesinan kering terhadap kekasaran dan kekerasan permukaan paduan titanium, *Jurnal Mechanical*, v.5, n.2, pp. 6-11.
- [4]. Prasetyo, E. D., (2015), Analisis perbandingan metode pengujian kekasaran permukaan pada material komponen dan komposit – review, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v.6, n.2, pp. 171-175.
- [5]. Ganguli, S., Kapoor, S., G., (2016), Improving the performance of milling of titanium alloys using the atomization - based cutting fluid application system, Department of Mechanical Science and Engineering, University of Illinois, Urbana, IL, United States : *Journal of Manufacturing Processes* 29–36.
- [6]. Tamborlin, M., O. Mewis, Jan, Ramos, Klaus, Schutzer, (2017), Influence of cutting parameters in micro-milling of moulds for micro-components, *Croatian Association of Production Engineering, Zagreb*.
- [7]. Zhu, Kunpeng, Xiaolong, Y., (2017), The monitoring of micro milling tool wear conditions by wear area estimation, *Mechanical Systems and Signal Processing* 80–91.
- [8]. Bajpai, V., Remesh, K.S., Kushawaha, A.K., (2017), Burr formation and surface quality in high speed micromilling of titanium alloy (Ti6Al4V), *Indian Institute of Technology Bombay, India*.
- [9]. Embrijakto, R., D., (2018), Kajian Pemesinan Bor Material Magnesium Menggunakan Metode Taguchi, Fakultas Teknik mesin. Universitas lampung. Bandar Lampung.
- [10]. Anang, A., (2015), Pengaruh kecepatan potong dan makan terhadap umur pahat pada pemesinan freis paduan magnesium, *Jurnal Mechanical*, v.6, n.1, pp. 28- 35.
- [11]. Triwibowo, S., Madya, W., (2015), Keausan alat potong (Tool Wear), PPPPTK BOE Malang.
- [12]. Ardhy, Sanny, Gunawarman, Affi Jon., (2015), Perilaku korosi titanium dalam larutan modifikasi saliva buatan untuk aplikasi ortodontik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Padang.
- [13]. Uhlmann, E., Oberschmid, Kuche, Lowenstein, Winker., (2016), Effects of different cutting edge preparation methods on micro milling performance, *Technische Universität Berlin, Pascalstrabe 8-9, 10587 Berlin, Germany*.
- [14]. Thepsonthi, T., and Ozel, T., (2012), Multi-Objective Process Optimization For Micro-end Milling of Ti-6Al-4V Titanium Alloy, *Int J Adv Manuf Technol*, London.