

# Mekanisme Aus dan Umur Pahat pada Pemesinan Micro Milling Paduan Ti-6Al-4V ELI

Endra Saputra<sup>1\*</sup>, Christian Cahya Putra<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Pemeliharaan Alat Berat, Politeknik Tunas Garuda  
Kota Budaya Uluhan Nughik, Panaragan Jaya, Tulang Bawang Barat 34693,  
Lampung Indonesia

\*Corresponding author: [end@ptg.ac.id](mailto:end@ptg.ac.id)

## Abstract

Titanium material is a metal that is very familiar with human life, many people know that titanium can be used in jewelry, electronics, medical devices and other products that require material strength. Titanium has superior properties, including a good combination of strength to weight ratio at high temperatures (strength-to-weight ratio), fracture resistance and corrosion resistance at high temperatures. Titanium is also twice as strong as aluminum but weighs 60% heavier than aluminum. However, the characteristic of titanium is that it easily reacts with the cutting tool material so that it tends to form a build-up-edge and sticks to the surface of the cutting tool. The low thermal conductivity of the titanium alloy will increase the temperature at the cutting tool tip resulting in rapid tool failure, flaking at the cutting tool tip results in a damaged surface condition of the machined material, which is characterized by a rough and non-uniform surface. Now high speed micro milling is increasingly popular because it has good accuracy and surface finish. This study used a tool diameter of 2 mm, spindle speed of 15,000 rpm, feedrate of 0.005 and depth of cut of 100  $\mu\text{m}$  and used a tool diameter of 1 mm, spindle speed of 15,000 rpm, feedrate of 0.005 and depth of cut of 100  $\mu\text{m}$ . The results showed that the tool diameter affected the tool life, using the same machining parameters, using a 2 mm diameter tool the tool life was up to 490.6 seconds while the 1 mm diameter tool was only 226.17 seconds. Then tool damage often occurs on the edge of the tool or what is often called flank wear, during the machining process the tool wear mechanisms that occur include abrasives and adhesives.

**Keywords:** micro milling, Ti-6Al-4V ELI, Tool wear

## Abstrak

Material titanium merupakan logam yang sangat akrab dengan kehidupan manusia, banyak orang tahu bahwa titanium dapat digunakan dalam perhiasan, elektronik, alat kedokteran dan produk lain yang membutuhkan kekuatan bahan. Titanium memiliki sifat unggul diantaranya adalah kombinasi rasio antara kekuatan dan berat yang baik pada temperatur tinggi (*strength-to-weight ratio*) memiliki sifat tahan patah dan sifat tahan korosi pada suhu tinggi. Titanium juga dua kali lebih kuat dari aluminium tetapi bobotnya 60% lebih berat dari aluminium. Akan tetapi, karakteristik titanium mudah bereaksi dengan material pahat potong sehingga cenderung membentuk *build-up-edge* dan melekat pada permukaan pahat potong. Konduktivitas termal 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. Sekarang *micro milling* kecepatan tinggi semakin populer karena mempunyai ketelitian dan permukaan akhir yang baik. Penelitian ini menggunakan diameter pahat 2 mm, kecepatan spindle 15.000 rpm, gerak makan 0,005 dan kedalaman potong 100  $\mu\text{m}$  dan menggunakan diameter pahat 1 mm, kecepatan spindle 15.000 rpm, gerak makan 0,005 dan kedalaman potong 100  $\mu\text{m}$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter pahat berpengaruh terhadap umur pakai pahat, dengan menggunakan parameter pemesinan yang sama, menggunakan pahat berdiameter 2 mm umur pakai pahat sampai 490,6 detik sedangkan pahat berdiameter 1 mm hanya 226,17 detik. Kemudian kerusakan pahat banyak terjadi pada tepi pahat atau yang sering disebut dengan aus tepi (*flank wear*), selama proses pemesinan mekanisme aus pahat yang terjadi antara lain abrasive dan adhesive.

**Kata kunci:** micro milling, Ti-6Al-4V ELI, Aus Pahat

## 1. Pendahuluan

Paduan titanium 6Al-4V ELI adalah paduan titanium yang paling banyak

digunakan karena kekuatan spesifiknya yang menarik dan ketahanan terhadap korosi. Paduan titanium 6Al-4V ELI juga digunakan untuk bahan armor untuk



kendaraan militer, kedokteran dan bahan bahan penting lainnya [1].



Gambar 1. Titanium 6Al-4V ELI [15]

Titanium 6Al-4V ELI termasuk paduan titanium Alpha-beta alloy yang strukturnya mengandung sebagian alpha dan sebagian beta pada temperatur ruang. Alpha-beta alloy memiliki sifat mekanik yang sangat seimbang dan yang paling sering digunakan, ada yang dapat dilas dan tidak [10]. Ketahanan korosinya sangat tinggi pada temperatur ruang, lebih mudah dibentuk dan sangat stabil sampai temperatur 425°C. Ketika paduan ini dipanaskan sampai pada temperature 955°C, paduan bertansformasi semua menjadi struktur beta. Ketika di-*water quench* sampai temperatur ruang fasa beta akan seimbang, alpha-beta alloy adalah paduan hasil *precipitation hardening* [2].

Ada beragam paduan alpha beta dengan kekuatan yang berbeda dan dengan mekanisme *precipitation hardening* yang berbeda, namun titanium 6Al-4V ELI adalah yang paling penting. Akan tetapi, karakteristik titanium mudah bereaksi dengan material pahat potong sehingga cenderung membentuk *build-up-edge* dan melekat pada permukaan pahat potong. Konduktivitas termal titanium yang rendah menyebabkan kerusakan permukaan pada bahan yang dipotong, sehingga merusak kualitas permukaan adanya *abrasive* dan kerusakan mikrostruktur. Oleh karena itu titanium dikategorikan sebagai bahan yang sulit dimesin [3][4]. Konduktivitas termal paduan titanium yang rendah akan

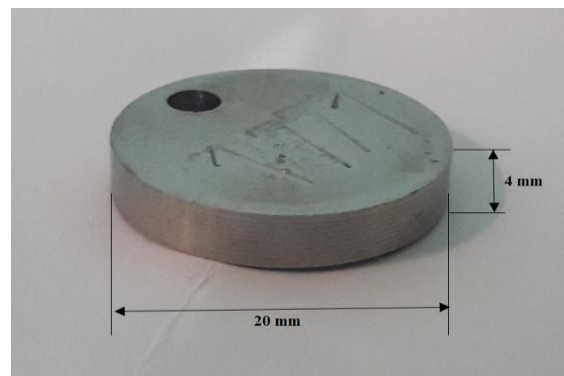
meningkatkan suhu pada ujung pahat potong yang mengakibatkan kegagalan pahat secara cepat, penyerpihan pada bagian ujung pahat potong ini menghasilkan kondisi permukaan bahan yang dimesin menjadi rusak, yang ditandai dengan permukaan yang kasar dan tidak seragam. Hal ini tidak hanya menyebabkan nilai kekasaran permukaan yang tinggi, akan tetapi juga menyebabkan kerusakan mikrostruktur, hal ini juga berkontribusi terhadap kerusakan permukaan [5].

Dalam proses pemesinan logam umur pahat dipengaruhi oleh keausan mata pahat yang terjadi akibat gesekan antara mata pahat dan benda kerja. Keausan pahat ini akan semakin besar sampai batas tertentu, sehingga pahat tidak dapat digunakan lagi. Lamanya waktu mencapai batas keausan ini didefinisikan sebagai umur pahat (*tool life*). Umur pahat tidak hanya dipengaruhi oleh geometri pahat, melainkan juga oleh semua faktor yang berkaitan dengan proses permesinan seperti jenis material benda kerja dan pahat, kondisi pemotongan (kecepatan potong, kedalaman potong, gerak makan dan waktu makan) juga akan mempengaruhi keausan pahat [6].

Adapun tujuan dari penelitian ini menganalisa mekanisme keausan pahat dan umur pakai pahat yang digunakan pada titanium 6Al-4V ELI yang dilakukan pemesinan menggunakan mesin *micro milling*.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Bahan



Gambar 2. Titanium 6Al-4V ELI

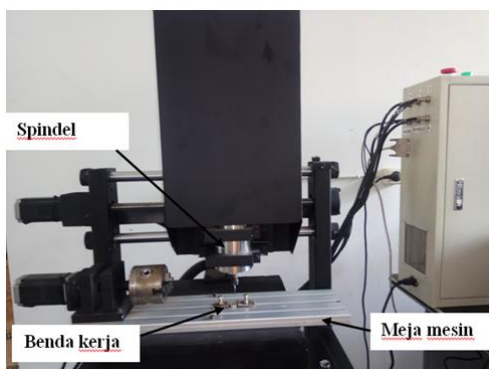
Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan titanium 6Al-4V ELI, dengan diameter 20 mm dan dengan ketebalan titanium yaitu 4 mm. Dengan bahan yang telah tersedia diharapkan dapat menyelesaikan penelitian ini dengan hasil yang di inginkan.

## 2.2 Peralatan

### 2.2.1 Mesin CNC 4060 Router

Mesin CNC 4060 Router adalah jenis mesin *micro milling* yang banyak beredar dipasaran. *Micro milling* itu sendiri adalah proses pemesinan dimana parameter alat dan komponen atau parameter pemotongan ada pada kisaran mikrometer. Cara kerja mesin CNC 4060 Router diatur langsung oleh komputer melalui aplikasi. Aplikasi yang digunakan yaitu *Rhinoceros* dan *Mach3 Loader*.

*Rhinoceros* yaitu aplikasi yang digunakan untuk menggambar alur pemesinan yang diinginkan. Selanjutnya gambar yang telah dibuat dimasukan ke dalam aplikasi *Mach3 Loader*. Aplikasi *Mach3 Loader* yaitu aplikasi yang terhubung langsung dengan mesin CNC 4060 Router. Aplikasi ini berfungsi untuk menjalankan dan *setting* parameter seperti kecepatan spindle, kedalaman potong dan lain sebagainya.



Gambar 3. Mesin CNC *Micro milling*

### 2.2.2 Pahat Frais Karbida

Pahat frais karbida memiliki sifat yang tahan terhadap pengikisan (*abrasive*). Karbida merupakan material yang kaku di mana pahat frais karbida dapat dipakai untuk menyayat benda kerja yang terbuat dari material yang keras. Pahat frais karbida bisa

dipakai pada kecepatan tinggi dengan keausan lebih sedikit sehingga dalam jangka panjang. Pahat frais dari material karbida lebih ekonomis.

Tabel 1. Spesifikasi mesin CNC *Micro milling*

| Merk           | Mini- CNC 4060 Router |
|----------------|-----------------------|
| Spindel Motor  | 1,5 HP                |
| Number Of Axis | 3                     |
| X Axis Travel  | 40 cm                 |
| Y Axis Travel  | 60 cm                 |
| Z Axis Travel  | 6 cm                  |
| Pencekam Pahat | 3 - 7 mm              |
| Spindel Speed  | 20.000 Rpm            |



Gambar 4. Pahat Frais Karbida

Adapun spesifikasi pahat potong karbida yang digunakan pada proses penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Pahat Frais

| Spesifikasi Pahat   | Keterangan              |
|---------------------|-------------------------|
| Jenis               | <i>Karbida end mill</i> |
| Bahan               | Karbida                 |
| Diameter            | 1 dan 2 mm              |
| Jumlah <i>Flute</i> | 4                       |
| Material            | <i>Solid Karbida</i>    |
| Diameter Batang     | 4 mm                    |
| Panjang             | 50 mm                   |

### 2.2.3 Parameter Pemesinan

Setelah proses *set-up* di mesin selesai, maka langkah awal proses pemesinan iyalah menggambar sebuah alur sesuai dengan susunan data penelitian,

dimana alur tersebut nantinya akan menjadi pengerjaan pemesinannya. Kemudian mengatur kecepatan putaran spindle, menentukan kedalaman pemakanan dan gerak makan (*feeding*) pada software mesin CNC *micro milling* tersebut. Adapun parameter pemesinan dapat dilihat ditabel di bawah ini.

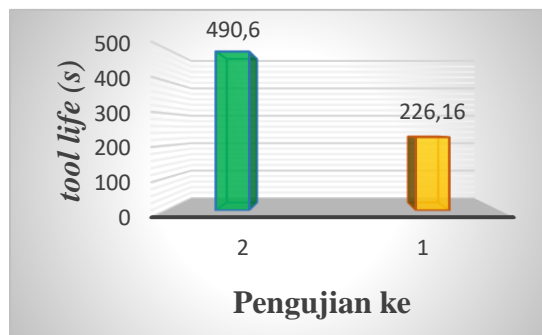
Tabel 3. Parameter Pemesinan

| No | Diameter Pahat frais (mm) | Kecepatan Putar (rpm) | Gerak makan ( <i>feeding</i> ) (mm/rev) | Kedalaman Potong (μm) |
|----|---------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| 1  | 1                         | 15.000                | 0.005                                   | 100                   |
| 2  | 2                         | 15.000                | 0.005                                   | 100                   |

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Umur Pakai Pahat

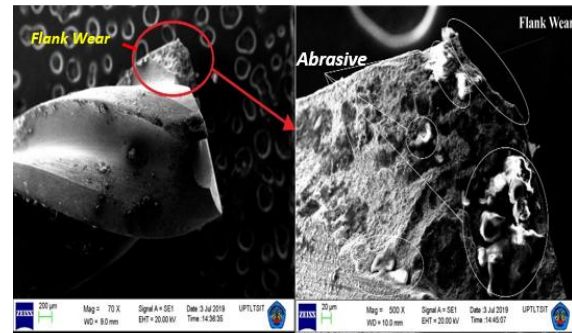
Dalam pengambilan data keausan pahat, proses pemesinan diulang sebanyak 2 kali. Dimana pengulangan ini bertujuan untuk mendapatkan hasil keausan pahat, sehingga hasil keausan lebih nampak. Setelah dilakukan proses pemesinan selanjutnya dilakukan pengamatan permukaan pahat untuk mengetahui kondisi keausan.



Gambar 5. Grafik perbandingan masa pakai pahat

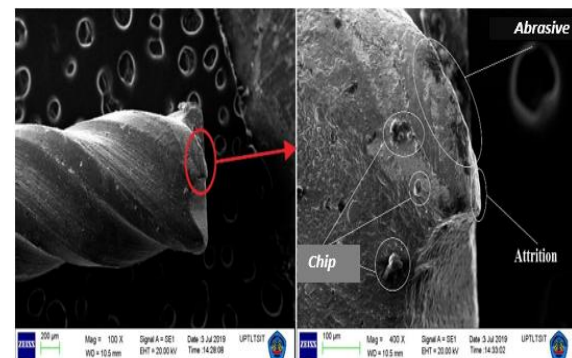
Pada Gambar 4 dapat dilihat perbedaan masa pakai pahat. Kondisi pemotongan dapat dilihat pada Tabel 3 di atas. Kondisi pemotongan yang membedakan antara kedua pahat ini adalah pada diameter pahat. Masa pakai pahat pada pengujian menggunakan diameter pahat 2 mm yaitu 490,6 detik sedangkan pada pengujian menggunakan diameter pahat 1 mm hanya 226,16 detik. Selisih masa antara kedua pahat tersebut sebesar 264,44 detik.

Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa diameter pahat sangat berpengaruh terhadap masa pakai pahat, dengan parameter yang sama, semakin besar diameter yang digunakan dalam pemesinan khususnya *micro milling* maka semakin panjang masa pakai pahat.



Gambar 6. Kerusakan pahat pengujian no 1

Pada kondisi pemotongan pengujian no 1, kerusakan juga terjadi pada sisi ujung mata pahat (*flank wear*). Pada setiap tepi pahat terlihat deformasi yang terjadi, deformasi merupakan perubahan bentuk, perubahan bentuk yang terjadi pada ujung mata pisau ini menjadi pembulatan. Menurut [7] pembulatan ini terjadi karena naiknya temperatur akibat gesekan yang tinggi antara pahat dengan benda kerja.



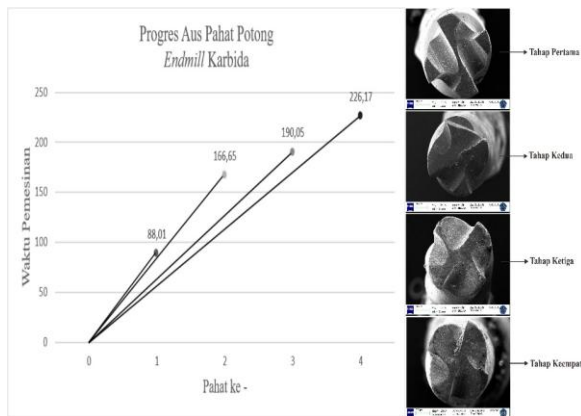
Gambar 7. Kerusakan pahat pengujian no 2

Pada kondisi pemotongan no 2, mekanisme aus pahat yang terjadi yaitu *abrasive*. Kerusakan aus pahat tersebut berada pada tepi pahat (*Flank Wear*). Menurut [8]. Kerusakan pahat di tepi pahat atau sering disebut dengan aus tepi (*flank wear*), aus tepi merupakan keausan pada bidang *mayor* atau utama. Keausan ini bermula dari bagian tepi sisi potong dan akan terus melebar hingga ke bidang *minor*.

Menurut [9] bahwa aus yang terlihat pada sisi mata pahat disebabkan oleh bagian pahat yang berkontak langsung dengan benda kerja, sehingga ujung pahat terkikis dan akan terus melebar.

### 3.2 Progres Aus Pahat

Pada penelitian ini, untuk memudahkan menganalisis mekanisme aus pahat maka dipilih satu pahat dengan tingkat aus yang tinggi yaitu pada pengujian ke-7 dengan parameter putaran spindel 15.000 rpm, gerak makan 0.005 mm/rev, kedalaman potong 100  $\mu\text{m}$  dan diameter pahat 1 mm. Adapun gambar grafik evolusi keausan pahat dapat dilihat sebagai berikut:



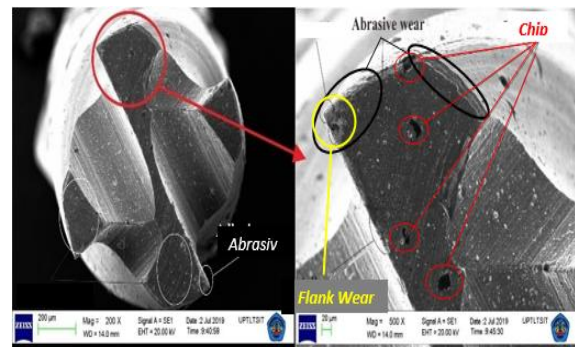
Gambar 8. Progres keausan pahat

Gambar 8 menunjukan progres pahat hingga pahat tidak dapat digunakan kembali. Setelah dilakukan pemessinan sebanyak 4 tahap menunjukan keausan yang terjadi pada pahat. Pada tahap pertama dilakukan pemotongan selama 88,01 detik dan di dapatkan hasil permukaan sebagai gambar 9.

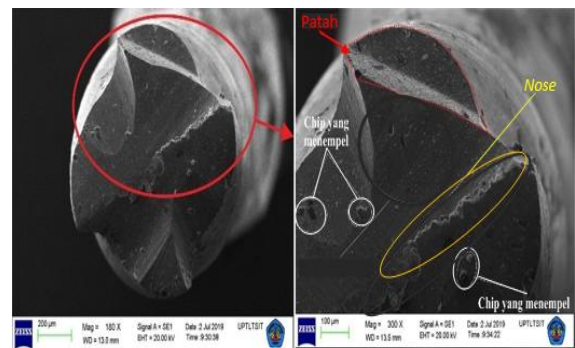
Pada Gambar 9, dapat dilihat tahap pertama ini mekanisme aus yang terjadi pada permukaan pahat adalah *abrasive wear*. Hasil yang disebabkan oleh *abrasive wear* ini menyebabkan terjadinya aus sisi atau *flank wear* dan rusaknya pahat pada bagian *minor*. Selain itu juga nampak adanya *chip* yang menempel pada permukaan pahat.

Menurut [10], *Abrasive wear* merupakan lepasnya material dari permukaan sebuah benda oleh material lain yang lebih keras. *Abrasive wear* disebabkan

oleh gesekan antara pahat dengan material sehingga terjadi erosi pada permukaan pahat. Selanjutnya pahat pada tahap ke-2 sebagaimana ditampilkan Gambar 10.

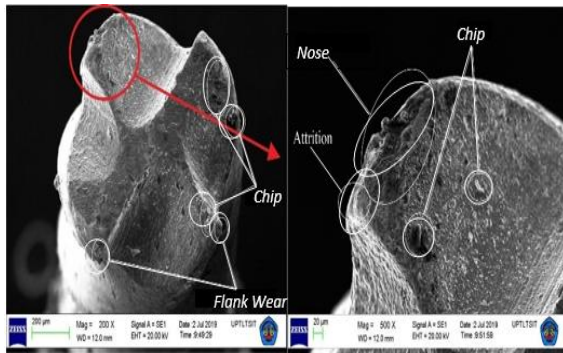


Gambar 9. Permukaan pahat tahap 1

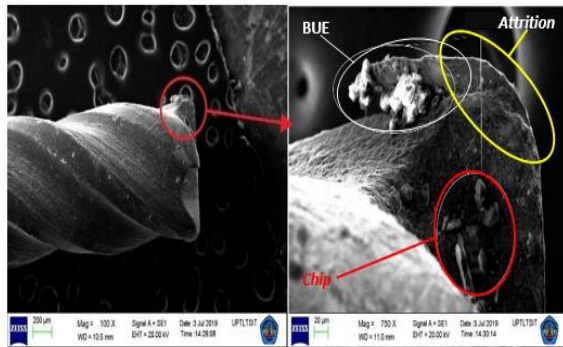


Gambar 10. Permukaan pahat tahap 2

Pada Gambar 10, terlihat keausan pahat setelah dilakukan pemotongan selama 166,65 detik terjadi *nose wear* yang kemungkinan terjadi akibat *abrasive* atau deformasi pada pahat yang mengakibatkan perubahan bentuk yang tidak teratur pada mata pahat. Selain itu pada permukaan atas pahat ada salah satu sisi pahat terlihat terjadi adanya patahan yang mungkin terjadi kelelahan pahat, Selanjutnya pahat pada tahap ke-3 sebagaimana ditampilkan Gambar 11. Terlihat keausan yang terjadi setelah dilakukan pemessinan selama 190,05 detik. Pada tahap ini terlihat mekanisme keausan yang terjadi adalah *abrasive wear* dimana permukaan mata pahat mengalami keausan *flank wear* dan juga *nose wear*. *Nose wear* diakibatkan karena *abrasive* dan deformasi yang terjadi pada mata pahat. Deformasi dan *abrasive* yang terjadi pada mata pahat mengakibatkan terjadinya *attrition* sehingga menimbulkan pembulatan pada ujung mata pahat.



Gambar 11. Permukaan pahat tahap 3



Gambar 12. Permukaan pahat tahap 4

Pada Gambar 12 terlihat keausan yang terjadi setelah dilakukan pemesinan selama 226,17 detik. Mekanisme keausan yang terjadi pada tahap ke-4 yaitu deformasi dan *abrasive* namun juga terdapat *adhesive wear*. Fenomena deformasi dan *abrasive* yang menyebabkan deformasi mata pahat menjadi pembulatan. Selain itu deformasi juga menimbulkan BUE (terlihat banyaknya BUE yang melekat pada isi mata pahat). Hal tersebut dikarenakan terlalu lamanya gesekan yang terjadi antara pahat dengan benda kerja, sehingga pahat menjadi rusak dan tidak dapat digunakan kembali karena dapat merusak kualitas permukaan benda kerja.

#### 4. Kesimpulan

Diameter pahat sangat berpengaruh terhadap umur pakai pahat, dengan menggunakan parameter pemesinan yang sama, menggunakan pahat berdiameter 2 mm umur pakai pahat sampai 490,6 detik sedangkan pahat berdiameter 1 mm hanya 226,17 detik.

Kerusakan pahat banyak terjadi pada tepi pahat atau yang sering disebut dengan

aus tepi (*flank wear*) dan selama proses pemesinan mekanisme aus pahat yang terjadi antara lain *abrasive* dan *adhesive*.

#### 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] Thepsonthi, T., and Ozel, T. 2012. Multi-Objective Process Optimization For Mikro-end Milling of Ti-6Al-4V Titanium Alloy : Int J Adv Manuf Technol. London
- [3] Ibrahim, G., A. 2014. Pengaruh Pemesinan Kering Terhadap Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Paduan Titanium. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung : Jurnal Mechanical, Volume 5, Nomor 2
- [4] Wojtaszek, M. et al., 2013. Quasi-Static and Dynamic Tensile Properties of Ti-6Al-4V Alloy Własności Mechaniczne Stopu Ti-6Al-4V W Quesi - Statycznych Oraz Dynamicznych Warunkach Odształcenia. DOI: 10.2478/amm-2013-0145
- [5] Zhu, Kunpeng and Xiaolong, Yu. 2017. The monitoring of Mikro milling tool wear conditions by wear area estimation. Mechanical Systems and Signal Processing 80–91
- [6] A. I. Gusri. dkk. 2019. Kekasaran permukaan pada pemesinan frais mikro Ti-6Al-4V ELI (Extra Low Intertitial)," Turbo, Vol 8, No. 2.
- [7] Ansyori, Anang. 2015. Pengaruh kecepatan potong dan makan terhadap umur pahat pada pemesinan freis paduan magnesium. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Malahayati. Bandar Lampung: Jurnal Mechanical, Volume 6, Nomor 1
- [8] Syafa'at. 2008. Tribologi, Daerah Pelumasan dan Keausan. Jurusan

- Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Wahid Hasyim Semarang. Momentum, Vol. 4, No. 2, Oktober 2008 : 21 – 26
- [9] Bajpai, V. et al. 2013. Burr Formation and Surface Quality in High Speed Mikromilling of Titanium Alloy (Ti6Al4V). Indian Institute of Technology Bombay. India
- [10] G., Lutjering. and J.,C., Williams. 2007 Titanium Engineering Materials And Proseses. Second Edition. Department of Physical Metallurgy and Materials Technology. Technical University Hamburg. Germany
- [11] Gangul , S., and 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 23 29–36
- [12] Nugroho, T., Saputro, H., Estriyanto, Y. 2012. Pengaruh Kecepatan Pemakanan dan Waktu Pemberian Pendingin Terhadap Tingkat Keausan Cutter End Mill HSS Hasil Pemesinan CNC Milling Pada Baja ST 40. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik Kejuruan, FKIP, UNS, Surakarta
- [13] Maksym, Z., Márcio, B., Jackson, M., 2016. Effect of Cutting Fluid on Mikromilling of Ti-6Al-4V Titanium Alloy. Federal University of Uberlandia, Uberlandia, Brazil.
- [14] Zheng, X., Liu, Z., and Chen, M. 2013. Experimental Study on Mikro-Milling of Ti6Al4V With Minimum Quantity Lubrication. School of Mechanical Engineering. Shanghai Jiao Tong University. China : Int. J. Nanomanufacturing, Vol. 9, Nos. 5/6
- [15] Uhlmann, E.,Oberschmid, Kuche, Löwenstein and Winker. 2016. Effects of different cutting edge preparation methods on micro milling performance. Technische Universität Berlin. Pascalstrabe 8-9, 10587 Berlin. Germany
- [16] A. I. Gusri. et al. 2020. "Burr formation analysis when micro milling Ti-6Al-4V ELI using end mill carbide insert," PalArch's Journal of Archeology of Egypt, Vol. 17, No. 9