



## Kajian Simulasi Fem 3D : Keausan Pahat Twist Drill Pada Pemesinan Bor Mikro Material Ti-6Al-4V

Gusri Akhyar Ibrahim<sup>1</sup>, Yanuar Burhanuddin<sup>2</sup>, Aufadhia<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung  
gusri.akhyar@eng.unila.ac.id

### Abstract

Titanium is a material that has a good strength to weight ratio, excellent corrosion resistance, and resistant to high or low temperatures Titanium alloys that are used in various industrial fields, one of them is the Ti6Al4V alloy. Micro drilling has a high rotational speed which results in tool wear, high temperatures, and surface roughness. This research uses The Finite Element Method (FEM) simulation. The application used is DEFORM 3D based on parameters from previous studies. The purpose of this research is to identify the progress of tool wear in a simulated manner on the Ti6Al4V alloy micro-dilling and analyze the tool wear on the Ti6Al4V alloy micro-drilling under dry machining conditions. Machining trials used CNC micro-drilling at various of cutting parameters such as cutting speed of 10.000 and 15.000 rpm. The results showed that the tool wear progress at the 5th hole was 0.00346 mm, the tool wear progress at the 10th hole was 0.00462 mm and the tool wear progress at the 15th hole was 0.00525 mm. Analyzing tool wear in simulated machining and experimental machining in dry conditions has a high wear value. Tool wear is simulated by measuring the radius of the tool in the 15th hole valued at 0.09973 mm. Tool wear is experimentally measured from the tool radius in the 15th hole valued at 0.0101 mm. The tool mesh is changed due to the tool wear. The tool mesh in the 5th hole is worth 17372 mesh. The tool mesh in the 10th hole is 15662 mesh. The tool mesh in the 15th hole was highly reduced by 13021 mesh. Tool wear affects the change in tool mesh. With increasing tool wear then tool mesh is reduced. The next cause of tool wear is the tool temperature in the machining process.

**Keywords:** simulation; Ti-6Al-4V; micro drilling; tool wear.

### Abstrak

Titanium merupakan material yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang baik, ketahanan korosi yang sangat baik dan tahan terhadap suhu tinggi. Titanium memiliki beberapa jenis paduan yang digunakan di berbagai bidang industri, salah satunya yaitu paduan Ti-6Al-4V. Pemesinan bor mikro memiliki kecepatan rotasi tinggi yang berpengaruh terhadap keausan pahat, suhu dan kekasaran permukaan. Penelitian ini menggunakan simulasi Finite Element Method (FEM) sedangkan aplikasi yang digunakan adalah DEFORM 3D berdasarkan parameter pemotongan yang ditentukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi progres aus pahat secara simulasi pada pemesinan bor mikro paduan Ti-6Al-4V. Pemesinan dilakukan mengikuti penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya dimana kecepatan putaran 10.000 rpm, kadar pemakanan 70 mm/min dan kedalaman potong sebesar 3 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa progres aus pahat secara berturut-turut adalah di pelubangan ke-5 sebesar 0,00346 mm, di pelubangan ke-10 sebesar 0,00462 mm dan di pelubangan ke-15 sebesar 0,00525 mm. Aus pahat pahat potong pada pemesinan secara simulasi dan pemesinan secara eksperimental dalam kondisi kering mendapatkan nilai aus yang tinggi. Aus pahat *secarmesha* simulasi yang di ukur dari jari-jari pahat di pelubangan ke-15 sebesar 0,09973 mm. Aus pahat secara ekperimental yang di ukur dari jari-jari pahat di pelubangan ke-15 sebesar 0,0101 mm. Perubahan *mesh* pada pahat disebabkan karena pengaruh aus yang terjadi pada mata pahat. *Mesh* pahat dari pelubangan ke-5 sebesar 17372 *mesh* dan pada pelubangan ke-10 sebesar 15662 *mesh*, sedangkan pada pelubangan ke-15 makin berkurang sebesar

13021 *mesh*. Dengan demikian aus pahat potong semakin bertambah seiring dengan banyaknya lobang yang dibuat dan *mesh* yang terbentuk menjadi lebih kecil sebagai akibat dari aus yang terjadi pada pahat potong.

**Kata kunci:** simulasi; Ti-6Al-4V; bor mikro; aus pahat.

## 1. PENDAHULUAN

Magnesium Titanium merupakan material yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang sangat baik, ketahanan korosi yang sangat baik dan tahan terhadap suhu tinggi. Titanium mempunyai kekuatan tinggi namun berbobot ringan sehingga menjadi istimewa bila digunakan untuk membuat komponen industri. Titanium memiliki beberapa paduan titanium yang digunakan di berbagai bidang industri, salah satunya yaitu paduan Ti6Al4V. Paduan Ti6Al4V, di samping memiliki kelebihan, juga memiliki kekurangan, terutama dalam proses pemesinan. Kekurangan paduan Ti6Al4V yaitu konduktivitas termal yang rendah mengakibatkan panas terakumulasi secara berlebih. Modulus elastisitas yang rendah mengakibatkan material titanium mudah melekat pada permukaan pahat, serta panas yang berlebih saat pemotongan berlangsung sehingga pahat mudah mengalami aus dan mempengaruhi geometri pahat potong [1].

Proses drilling merupakan proses yang sering dilakukan di berbagai bidang industri untuk pembuatan produk. Proses drilling dilakukan pada perakitan kerangka suatu produk dalam bidang aerospace dengan material titanium [2]. Proses bor mikro merupakan proses yang memiliki kelebihan untuk mendapatkan komponen berukuran kecil dengan kepresisian yang baik, bahkan dilakukan pada pemesinan dengan kecepatan putaran tinggi. Selain itu juga untuk menghasilkan kualitas permukaan produk dengan tingkat ketelitian yang baik [3].

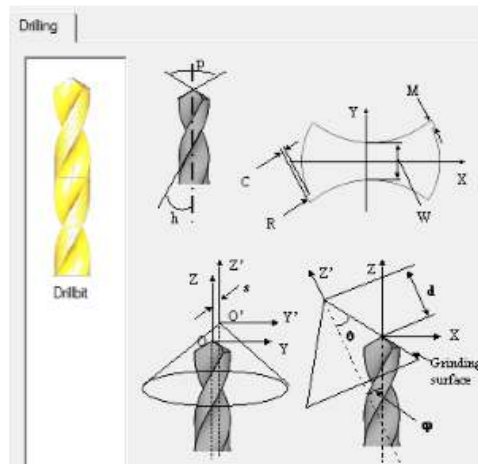
Bagaimanapun juga proses bor mikro memiliki kekurangan, karena beroperasi pada kecepatan rotasi tinggi sehingga mengakibatkan keausan pahat secara cepat. Selain itu juga menimbulkan suhu yang dibangkitkan sangat tinggi sehingga kekasaran permukaan yang dihasilkan menjadi tidak baik atau rusak. Suhu yang tinggi sewaktu proses pemotongan berlangsung membuat pahat mudah rusak dan menjadi tumpul [4]. Keausan pahat juga terjadi semakin parah apabila dikombinasikan dengan kedalaman potong yang besar. Diameter pahat drill memberikan pengaruh secara langsung terhadap gaya potong dan torsi selama proses pemotongan berlangsung. Keausan pahat dan umur pahat dapat dikurangi dengan cara memberikan pelumasan atau pendinginan pada pahat. Proses pelumasan berfungsi mengurangi gesekan antara benda kerja dan pahat potong sehingga panas yang dihasilkan lebih rendah. Sementara itu, pendinginan berfungsi untuk mendinginkan pahat potong yang sudah mengalami suhu tinggi. Dengan demikian akan mengurangi suhu yang terjadi selama proses pemotongan berlangsung sehingga dapat mengurangi laju keausan mata pahat potong. Suhu yang tinggi waktu pemotongan berkontribusi terhadap penurunan kekuatan bahan pahat potong [4].

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Percin et al. [5] tentang proses pemesinan bor mikro secara eksperimental dan menggunakan pahat karbida tanpa dilapisi dengan diameter ukuran 700  $\mu\text{m}$ . Penelitian bor mikro secara eksperimental sudah dilakukan namun hasil yang diperoleh tidak rinci dan dengan tingkat kepresisian yang rendah. Maka penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat komputer atau simulasi Finite Element Method (FEM) untuk mudah diamati dan mendapatkan hasil secara rinci dan presisi. Pengambilan data dilakukan untuk setiap langkah simulasi, kemudian perhitungan dilakukan untuk mendapatkan nilai aus potong yang digunakan. Bagaimanapun juga simulasi tersebut belum dilakukan secara eksperimental sehingga tidak dapat dibandingkan antara hasil kajian simulasi dan hasil kajian eksperimental.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan menggunakan metode simulasi pemesinan dengan FEM 3D. Hasil yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan hasil eksperimental yang sudah dilakukan oleh Percin et al. [5]. Membandingkan hasil keausan pahat antara hasil kajian eksperimental dengan hasil kajian simulasi menjadi penting untuk mendapatkan ketelitian hasil kajian simulasi. Sehingga dengan demikian dapat dijadikan sebagai rujukan untuk menentukan tingkat keausan pahat potong yang digunakan untuk memotong paduan titanium menggunakan metode bor mikro [6].

## 2. METODE PENELITIAN

Geometri pahat didesain menggunakan geometry tool pada aplikasi DEFORM 3D dengan parameter yang didapat dari penelitian sebelumnya [5] sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1. Secara detail tentang ukuran dimensi pahat dan penentuan sudut pahat serta parameter lainnya dapat dilihat pada Table 1. Usaha untuk membandingkan hasil kajian eksperimental dan simulasi, maka parameter yang digunakan pada penelitian ini mengikuti parameter yang sudah digunakan sebelumnya. Data yang digunakan untuk membuat model pahat drill dan geometri yang digunakan sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Geometri Pahat DEFFORM 3D

Tabel 1. Parameter dan Geometri yang Digunakan pada Simulasi.

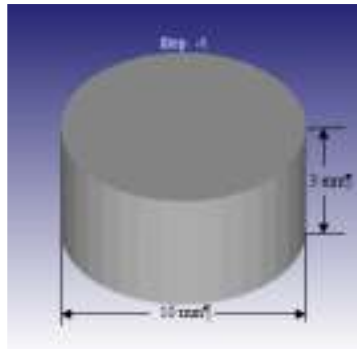
m (mm)	p (deg)	h (deg)	R (mm)	O (deg)	W (mm)	C (mm)	s (mm)	d (mm)
0,01	150	30	0,7	60	0,1	0,001	0,09	0,6

Sementara itu material pahat potong yang digunakan pada kajian simulasi ini adalah pahat potong jenis karbida WC (tungsten carbide), dengan parameter pemotongan sebagaimana yang telah dilakukan oleh Percin et al, [5] secara eksperimental. Secara detail model pahat potong yang digunakan pada penelitian adalah sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Drill Bit atau Pahat Potong yang Digunakan pada Penelitian

Pemodelan benda kerja yang digunakan pada penelitian ini yaitu diameter pahat potong sebesar 10 mm dan ketebalan 3 mm. Pemodelan benda kerja menggunakan bentuk silinder dikarenakan pada aplikasi DEFORM Machining 3D menetapkan spesimen silinder seperti pada Gambar 3. Material pahat potong yang digunakan karbida tungsten (WC) dipilih sebagai bahan drill dan bahan benda kerjanya Ti-6Al-4V yang merupakan paduan titanium yang banyak digunakan pada komponen biomedik dan aerospace.



Gambar 3. Benda Kerja yang sudah Dimodelkan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan berdasarkan parameter pemesinan yang sebelumnya telah dilakukan secara eksperimental oleh Percin, et al [5]. Parameter yang digunakan yaitu kecepatan spindel ( $n$ ) 10000 rpm, kadar pemakanan 70 mm/menit, dan diameter pahat 700  $\mu\text{m}$ . Pada penelitian ini dilakukan kajian simulasi, dimana pengambilan data dilakukan sebanyak 15 kali berdasarkan faktor dan level yang ditentukan. Pengujian dilakukan pada kondisi pemesinan kering untuk menghindari dampak terhadap lingkungan. Selanjutnya dilakukan pengukuran nilai keausan pahat yang terjadi pada muka rusuk pahat potong. Nilai aus pahat dibandingkan antara data eksperimental dengan simulasi yang bertujuan untuk mendapatkan perbedaannya. Data hasil pengujian dengan metode simulasi dan eksperimental berupa nilai keausan mata pahat, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Hasil Simulasi

No	D (mm)	Parameter Pemotongan			Keausan Tepi ( $V_b$ )(mm)	Step Simulasi	Waktu (detik)
		n (rpm)	f (mm/min)	a (mm)			
1	700	10000	70	3	0,00325	946	28,33
2	700	10000	70	3	0,00332	950	28,33
3	700	10000	70	3	0,00341	950	28,33
4	700	10000	70	3	0,00342	982	28,33
5	700	10000	70	3	0,00346	935	28,33
6	700	10000	70	3	0,00421	978	28,33
7	700	10000	70	3	0,00433	987	28,33
8	700	10000	70	3	0,00448	984	28,33
9	700	10000	70	3	0,00451	969	28,33
10	700	10000	70	3	0,00462	983	28,33
11	700	10000	70	3	0,00500	973	28,33
12	700	10000	70	3	0,00511	923	28,33
13	700	10000	70	3	0,00515	960	28,33
14	700	10000	70	3	0,00521	951	28,33
15	700	10000	70	3	0,00525	913	28,33

Pahat potong mengalami aus di setiap pelubangan dengan kecepatan potong, kadar pemakanan dan waktu secara konstan. Kemudian perubahan *mesh* pahat yang diperoleh dari aus pahat dan step pada simulasi. Pada Tabel 2 juga dapat diamati nilai aus mata pahat hingga mencapai 0.00525 mm, dimana aus mata pahat terjadi pada akhir pengamatan. Secara detail untuk masing-masing keadaan aus pahat dari pelubangan ke-1 hingga ke-15 ditampilkan pada kondisi kecepatan potong, kadar pemakanan, waktu pemotongan dan kondisi pemesinan kering.

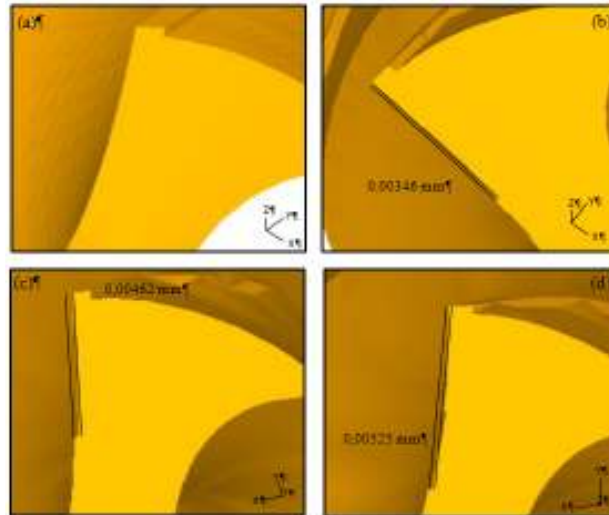
### 3.1. Progres Aus Pahat

Pengukuran keausan pahat pada pelubangan ke-1 sampai ke-5 mendapatkan perubahan aus yang tidak jauh berbeda, keausan pahat ke-5 sebesar 0.00346 mm dan dapat dilihat pada Gambar 4b. Kemudian keausan pahat ke-6 meningkat dari pelubangan sebelumnya. Gesekan antara benda kerja dan pahat potong yang menimbulkan suhu pahat semakin tinggi sehingga berpengaruh terhadap aus pahat yang terjadi, bahkan meningkatkan pergerakan aus pada muka rusuk pahat potong. Gesekan antara pahat dan benda kerja pada kondisi pemotongan kering menjadi faktor utama peningkatan suhu. Suhu pahat yang meningkat berpengaruh langsung terhadap aus pada kedua permukaan pahat potong [7].

Aus pahat semakin meningkat seiring dengan lamanya penggunaan pahat untuk membuat lobang drill. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya aus pahat potong pada pelubangan ke 10, dimana besarnya aus pahat adalah 0.00462 mm sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4c. Peningkatan aus pahat dari 0.00346 menjadi 0.00462 adalah sebesar 0.00116 atau terjadi peningkatan sebesar 0.116%. Nilai peningkatan ini adalah sangat kecil, akan tetapi karena proses pemotongan adalah jenis mikro milling maka peningkatan aus sebesar ini memberikan pengaruh terhadap progress aus pahat potong. Gesekan yang terjadi antara benda kerja dan pahat potong memberikan pengaruh terhadap aus mata pahat. Karena kecepatan putaran tinggi maka suhu yang dibangkitkan juga besar sehingga peningkatan aus pahat semakin cepat. Bagaimanapun juga, peningkatan aus pahat terjadi secara regular, walaupun pengukuran aus dilakukan pada pelubangan ke 11. Akan tetapi pada setiap langkah pelubangan telah terjadi peningkatan aus, namun aus yang terjadi sangat kecil sehingga sulit dilakukan pengukuran. Pahat yang mengalami panas yang tinggi akan merubah sifat kekuatannya, dimana kekuatan akan berkurang. Salah satu perubahan yang terjadi pada pahat potong adalah deformasi karena adanya perubahan suhu dan kontribusi gaya.

Demikian juga yang terjadi pada tahap pemesinan berikutnya yaitu pelubangan ke-11 sampai ke-15 aus pahat bertambah besar, dimana pada pelubangan ke 15, nilai aus pahat potong adalah sebesar 0.00525 mm. Peningkatan nilai yang terjadi merupakan progress dari aus sebelumnya. Jika pemesinan dilakukan secara berketerusan maka aus akan bertambah secara proporsional, bahkan peningkatannya tidak lagi mengikuti pola linear akan tetapi bisa secara kuadratik. Aus pahat yang diakibatkan oleh gesekan antara benda kerja dan pahat potong, dimana gesekan tersebut menimbulkan suhu secara terakumulasi selama proses pemesinan berlangsung. Sebagaimana diketahui bahwa sifat bahan akan menjadi melemah apabila berada pada suhu yang tinggi, sehingga aus pada pahat potong akan terjadi lebih cepat. Bahkan sekaligus keadaan ini akan berdampak langsung terhadap kualitas benda kerja yang diproduksi. Aus pahat semakin besar karena suhu antara chip dan benda kerja yang dibangkitkan semakin tinggi. Bahkan keausan yang terjadi disebabkan juga oleh adanya perubahan energi mekanik pemotongan menjadi energi panas. Perubahan energi tersebut terjadi akibat adanya gesekan antara pahat dan benda kerja, benda kerja dan chip, serta proses perusakan molekuler (ikatan atom) pada bahan bidang geser (shear plane) [6,8].

Aus yang terjadi pada mata pahat adalah sebagai akibat dari panas dan gesekan pemotongan yang meningkat selama proses pemotongan berlangsung. Hal ini menyebabkan perubahan bentuk plastik pahat potong, sehingga dalam rentang waktu yang lama dapat menyebabkan pelemahan pada pahat bahkan dapat menyebabkan pahat mengalami patah. Dengan demikian, akibat dari perubahan bentuk plastik, panas akibat gesekan menjadi meningkat yang kemudian dapat menyebabkan terjadinya Built Up Edge (BUE) pada mata potong. Built Up Edge yang terjadi pada ujung mata pahat dapat mengubah geometri pahat, sehingga memberikan dampak terhadap hasil pemotongan. BUE merupakan struktur yang dinamik, sebab selama proses pemotongan, BUE akan tumbuh di saat lapisan atas atau seluruh BUE akan terkelupas secara berulang. Dengan proses penumpukan lapisan metal yang baru BUE yang terkelupas sebagian akan terbawa oleh chip [7].



Gambar 4. Progres Aus yang Terjadi pada Pahat Potong; (a) Pahat Sebelum Aus, (b) Aus Pahat Setelah Pelubangan ke-5, (c) Aus Pahat Setelah Pelubangan ke-10, (d) Aus Pahat Setelah Pelubangan ke-15.

### 3.2. Perubahan Mesh

Proses pemesinan dengan kajian simulasi dilakukan terlebih dahulu pemodelan, sebelum proses simulasi dilakukan. Pemodelan dan simulasi dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahap pertama diawali dengan pembuatan model pahat potong. Pemodelan pahat yang dilakukan adalah mendesain geometri pahat dan mengimpor material yang digunakan. Material pahat yang digunakan yaitu karbida tungsten (WC). Setelah model pahat telah terbentuk selanjutnya dilakukan *mesh* untuk menjalankan pemesinan simulasi. Pada program tool *mesh* generation, pahat menggunakan rasop ukuran 15 dengan 20000 *mesh*. Pahat yang digunakan pada proses simulasi ini menggunakan satu pahat, sehingga setiap memulai program, *mesh* diatur dengan sedemikian rupa, untuk mendapatkan rasio ukuran dan *mesh* yang sama. Dengan demikian, satu simulasi *mesh* pahat mengalami *mesh* sama atau *mesh* berbeda.

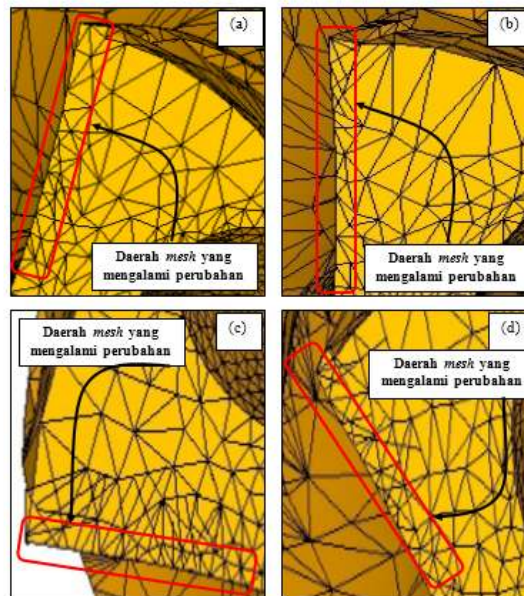
### 3.3. Mesh Pahat

Data hasil pengujian dengan perubahan *mesh* pada tahap awal hingga akhir untuk pahat potong pada semua kondisi pemotongan adalah sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perubahan Mesh Pahat

No	D (mm)	Parameter Pemotongan			Mesh Pahat Awal	Mesh Pahat Akhir	Waktu (detik)
		n (rpm)	f (mm/min)	a (mm)			
1	700	10000	70	3	18126	17876	28,33
2	700	10000	70	3	17876	17837	28,33
3	700	10000	70	3	17837	17800	28,33
4	700	10000	70	3	17800	17491	28,33
5	700	10000	70	3	17491	17372	28,33
6	700	10000	70	3	17372	17033	28,33
7	700	10000	70	3	17033	16225	28,33
8	700	10000	70	3	16225	15894	28,33
9	700	10000	70	3	15894	15840	28,33
10	700	10000	70	3	15840	15662	28,33
11	700	10000	70	3	15662	15400	28,33
12	700	10000	70	3	15400	14727	28,33
13	700	10000	70	3	14727	14127	28,33
14	700	10000	70	3	14127	13624	28,33
15	700	10000	70	3	13624	13021	28,33

Pada pelubangan ke-1 sampai pelubangan ke-5 perubahan *mesh* menurun dari *mesh* awal, dimana *mesh* pahat ke-1 sampai ke-5 mendapatkan rata-rata *mesh* 17826. *Mesh* mempengaruhi aus pahat pada proses pemesinan. *Mesh* pahat pada pelubangan ke-6 sampai ke-10 rata-rata pengurangan sebesar 16473. *Mesh* berkurang banyak karena tingginya suhu pelubangan sehingga mengubah struktur *mesh* pahat dengan benda kerja. Pelubangan ke-11 sampai ke-15 *mesh* mengalami pengurangan yang sangat banyak dibandingkan dengan *mesh* pada tahap awal. *Mesh* pahat pada pelubangan ke-11 sampai ke-15 rata-rata pengurangan sebesar 14708 *mesh*. Secara detail kondisi dan uraian *mesh* pahat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Progres *Mesh* Pahat; (a) *Mesh* Pahat Sebelum Pelubangan, (b) *Mesh* Pahat Setelah Pelubangan ke-5, (c) *Mesh* Pahat Setelah Pelubangan ke-10, (d) *Mesh* Pahat Setelah Pelubangan ke-15

Berkurangnya *mesh* pada pahat potong dapat disebabkan oleh banyak faktor, antaranya antara lain adalah kontak material pahat dengan material benda kerja. Material pahat yang digunakan yaitu karbida tungsten (WC) sedangkan material benda kerja yang digunakan yaitu paduan titanium Ti-6Al-4V. Material benda kerja memiliki konduktivitas termal yang rendah sehingga mengakibatkan panas terakumulasi secara berlebihan. Selain itu, modulus elastisitas paduan titanium yang rendah menyebabkan material ini sulit untuk dilakukan pemotongan. Pengaruh material titanium yaitu lengket di pahat dan panas yang berlebihan, mengakibatkan cepat mengalami aus pahat [8]. Suhu pemotongan juga memberikan dampak terhadap tingkat kesulitan pemotongan terutama pada material paduan. Aus pahat berpengaruh pada perubahan *mesh* sehingga dengan bertambahnya aus pahat maka *mesh* pahat juga berkurang [9].

### 3.4. *Mesh* Benda Kerja

*Mesh* benda kerja di awal pemodelan dibuat sama, tetapi dengan perubahan bentuk *mesh* pahat, maka hasil akhir benda kerja berbeda dengan yang sebelumnya. Pengujian pemesinan simulasi pahat yang digunakan menggunakan satu model pahat dan untuk benda kerja satu pelubangan menggunakan satu model. Pada program workpiece *mesh* generation, benda kerja menggunakan size ratio 20 dengan 20000 *mesh*. Pemodelan benda kerja dilakukan setiap satu pelubangan yang digunakan dengan bentuk benda yang utuh atau bentuk yang belum terlubangi [10]. Dengan demikian, setiap satu pelubangan benda kerja di modelkan bentuk baru. Adapun data hasil perubahan *mesh* awal hingga akhir pelubangan dari *mesh* benda kerja. Data perubahan *mesh* benda kerja dapat kita lihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perubahan *Mesh* Benda Kerja

No	Thickness (mm)	D (mm)	Mesh Benda Kerja Awal	Mesh Benda Kerja Akhir	Waktu (detik)
1	3	10	22404	21625	28,33
2	3	10	22404	21153	28,33
3	3	10	22404	18852	28,33
4	3	10	22404	18681	28,33
5	3	10	22404	18071	28,33
6	3	10	22404	18007	28,33
7	3	10	22404	17937	28,33
8	3	10	22404	17890	28,33
9	3	10	22404	17722	28,33
10	3	10	22404	15550	28,33
11	3	10	22404	15510	28,33
12	3	10	22404	15366	28,33
13	3	10	22404	14987	28,33
14	3	10	22404	14959	28,33
15	3	10	22404	14754	28,33

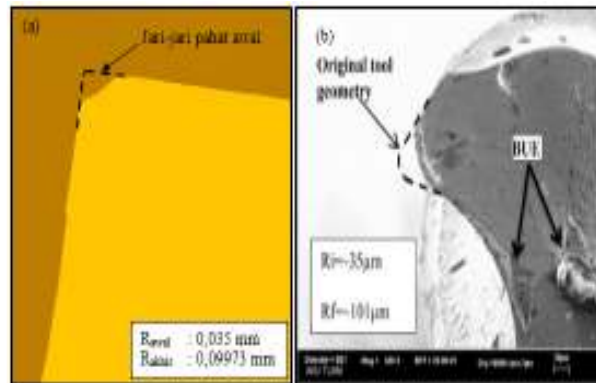
Pada pelubangan ke-1 sampai pelubangan ke-5 perubahan *mesh* menurun sedikit dari *mesh* awal. *Mesh* benda kerja ke-1 sampai ke-5 mendapatkan rata-rata perubahan sebesar 19676.4 *mesh*. *Mesh* benda kerja mempengaruhi aus pahat pada proses pemesinan. *Mesh* benda kerja berkurang banyak karena tingginya suhu pelubangan mengubah struktur *mesh* pahat dengan benda kerja. Hal ini terjadi dengan waktu pelubangan 28.33 detik. Pelubangan ke-11 sampai ke-15 berkurangnya *mesh* sangat banyak dibandingkan dengan *mesh* sebelumnya. *Mesh* benda kerja pada pelubangan ke-11 sampai ke-15 rata-rata pengurangan sebesar 14708 *mesh*. Benda kerja di lubang sampai tembus, maka *mesh* benda kerja akan berkurang karena *mesh* benda kerja berubah menjadi *mesh* chip.

### 3.5. Perbandingan Keausan Pahat

Pengujian secara eksperimental dilakukan dengan membuat lubang sebanyak 60 kali dengan empat kondisi pemesinan. Keausan pahat yang lebih besar yaitu pada kondisi kering dibandingkan dengan ketiga kondisi lainnya. Keausan pahat yang kurang signifikan progresnya yaitu pada kondisi *cryogenic*. Jari-jari pahat sebelum melakukan proses drilling yaitu 0.035 mm. Setelah dilakukan proses drilling dengan kondisi kering, jari-jari pahat berubah bentuk karena keausan pahat, dan jari-jari pahat berubah sebesar 0.101 mm. Sedangkan, jari-jari pahat pada kondisi *cryogenic* berubah nilai yaitu 0.047 mm [9].

Data eksperimental aus pahat kondisi kering dengan pelubangan sebanyak 15 kali mendapatkan nilai sebesar 0.101 mm. Pengambilan data secara eksperimental mengukur jari-jari pahat. Pengambilan data aus pahat secara simulasi dilakukan pada bagian tepi pahat atau yang disebut dengan aus rusuk [10]. Data aus pahat secara simulasi pada kondisi kering dengan pelubangan sebanyak 15 kali mendapatkan nilai sebesar 0.00525 mm. Perbandingan antara aus pahat secara eksperimental dan simulasi dilakukan dengan cara mengukur jari-jari pahat yang mengalami aus, sehingga akan diperoleh besar aus yang terjadi untuk kedua-duanya. Keausan pahat secara eksperimental lebih besar dibandingkan dengan keausan pahat secara simulasi [11]. Perbandingan untuk hasil eksperimental dari jari-jari pahat awal senilai 0.035 mm. Kemudian setelah dilakukan pelubangan sebanyak 15 kali pelubangan makan jari-jari pahat bertambah besar sebanyak 0.101 mm. Sedangkan untuk hasil simulasi, penambahan jari-jari pahat adalah sebesar 0.09973 mm. Dengan demikian, didapatkan selisih perubahan jari-jari pahat potong antara hasil eksperimental dan simulasi senilai 0.00127 mm. Secara detail perbandingan bentuk pahat yang digunakan untuk eksperimental dan simulasi dapat dilihat pada Gambar 6.





Gambar 6. Perbandingan Aus Pahat Potong: (a) Aus Pahat Secara Simulasi, (b) Aus Pahat Secara Eksperimental

#### 4. SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil kajian terhadap aus pahat potong selama pemesinan *bor mikro* terhadap benda kerja paduan titanium Ti-6Al-4V adalah:

1. Progres aus pahat yang digunakan untuk pemesinan secara simulasi mengalami peningkatan sepanjang proses pemotongan berlangsung, dimana pada pelubangan ke-5 mendapatkan nilai aus pahat sebesar 0.00346 mm, pada pelubangan ke-10 mendapatkan nilai aus pahat sebesar 0.00462 mm dan pada pelubangan ke-15 mendapatkan nilai aus pahat sebesar 0.00525 mm.
2. Aus pahat potong karbida untuk pemesinan secara simulasi dan eksperimental pada kondisi pemotongan kering mendapatkan nilai aus yang tinggi. Aus pahat yang terjadi secara simulasi adalah sebesar 0.09973 mm yang didapatkan pada pelubangan ke-15. Sedangkan aus pahat secara eksperimental pada pelubangan ke-15 sebesar 0.0101 mm. Sehingga perbedaan hasil secara simulasi dan eksperimental memiliki selisih nilai sebesar 0.00127 mm.
3. *Mesh* pada proses pemesinan secara simulasi diperlukan untuk menjalankan proses pemesinan antara pahat dan benda kerja. *Mesh* pahat berubah karena pengaruh aus pahat, dimana perubahannya untuk *Mesh* pahat pada pelubangan ke-5 sebesar 17372 *mesh*, pada pelubangan ke-10 sebesar 15662 *mesh* dan pada pelubangan ke-15 makin berkurang sebesar 13021 *mesh*. Pengurangan *mesh* diakibatkan bertambahnya aus pahat di setiap proses pemesinan berikutnya.
4. Aus pahat potong yang terjadi selama proses bor mikro bertambah seiring dengan penambahan lobang yang dibuat, dan *mesh* yang terbentuk berkurang dengan semakin besarnya aus yang terjadi pada permukaan ujung pahat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Zdenka, R., Stefania, B., Simone, C., Fabrizio, M., Enrico, S., Filippo, Z., "Micro-drilling and threading of the Ti6Al4V titanium alloy produced through Additive Manufacturing", *Procedia CIRP*, no. 46, pp. 583 – 586, 2016.
- [2]. Ducobu, F., Arrazola, J., Rivi, E., Filippi, E., "Finite element prediction of the tool wear influence in Ti6Al4V", *Proceeding CIRP*, vol. 31, 2015.
- [3]. Pilný, L., De Chiffre, L., Píška, M., Villumsen, M.F., "Hole quality and burr red in drilling Al sheets, *CIRP Journal Manufacture Science and Technology*", vol. 5, no. 2, pp. 102–107, 2012.
- [4]. Kondo, E., Kamo, R., Murakami, H., "Monitoring of burr and prefailure phase caused by tool wear in micro-drilling operations using thrust force signals", *Journal Advanced Mech. Des. System Manufacture*, vol. 6, no. 6, pp. 885–97, 2012.
- [5]. Perçin, M., Aslantas, K., Uçun, İ., Kaynak, Y., Çicek, A., "Micro-drilling of Ti-6Al-4V alloy: The effects of cooling/lubricating", *Journal of Precision Engineering*, vol. 45, pp. 450-462, 2015.
- [6]. Shubham Y, Vivek B, Milind K and Ramesh K., "Burr formation analysis at high speed bor mikro of Ti6Al4V", *Conference Proceedings for the final published paper of ICOMM*, 2013.
- [7]. Gusri A. I, Endra S, Suryadiwansa H, Eko A, Armulani P., "Kekasaran permukaan pada pemesinan frais mikro Ti 6Al- 4V ELI (extra low interstitial)", *TURBO* vol. 8, no. 2, 2019.

- [8]. Eckart, U., Bergera, R.B., Kuhnertb, J., "Cutting simulation with the mesh free finite point set method", *Procedia CIRP*. vol. 8, no 13, "Analisis kepresisian lobang bor pada pemesinan magnesium AZ31 menggunakan Metode Taguchi", *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta* Vol. 5, no. 1, pp. 29 – 33, 2019.
- [9]. Ibrahim, G.A., "Pengaruh pemesinan kering terhadap kekasaran dan kekerasan permukaan paduan titanium", *Jurnal Mechanical Teknik Mesin Universitas Lampung*, vol. 5, no.2, 2014.
- [10]. Rosidi, A., Ginta, A.M.B., Rani, A., "Optimization of bone drilling parameters using Taguhci Method base on finite element analysis", *IOP Conferene Series Materials Science Engineering*, Vol. 203, pp. 012-016, 2017.
- [11]. Ji, C., Li, Y., Qin, X., Zhao, Q., Sun, D., Jin, Y., "3D FEM simulation of helical milling hole process for titanium alloy Ti-6Al-4V," *International Journal of Manufacture and Technology*, no. 81, pp. 1733-1742, 2015.