

Pemesinan Paduan Ti-6Al-4V ELI

Gusri Akhyar Ibrahim^{1*}, Endra Saputra²

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung¹
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145,
Lampung, Indonesia

Jurusan Pemeliharaan Alat Berat, Politeknik Tunas Garuda²
Kota Budaya Uluan Nughik, Panaragan Jaya, Tulang Bawang barat 34693,
Lampung Indonesia

*Corresponding author: gusri.akhyar@eng.unila.ac.id

Abstract

The Ti-6Al-4V ELI (Extra Low Interstitial) titanium alloy material is a type of alloy that has very similar properties to the Ti-6Al-4V (Grade 5) alloy, which is the most widely used material, but only differs in terms of properties. Its tenacity. Ti-6Al-4V ELI has a higher level of ductility and better fracture toughness properties. Apart from that, this material also has a good ability to work at high temperatures without losing its main properties. The main properties of this material are that it has corrosion resistance at high temperatures and has an excellent weight to strength ratio. Referring to its superior properties, this type of Ti-6Al-4V ELI alloy material has been widely developed in various fields including the field of planting materials in the medical field, the aircraft industry, applications in the field of military weapons, the manufacture of racing vehicle components and also high pressure vessels for storing materials. low temperature liquid nitrogen (cryogenic) [16]. The machining process for the Ti-6Al-4V ELI alloy material is considered a material that is difficult to machine. However, the selection of cutting tools, surface quality and cooling fluid content are problems in the machining process of the Ti-6Al-4V ELI solid material, therefore many studies are needed to obtain the most optimal machining parameters for the Ti-6Al-4V ELI solid material. Often a reaction occurs between the cutting tool and the workpiece material during the cutting process, and high temperatures accumulate in the cutting area. Cutting speed and feed rate factors are two dominant factors in the formation of cutting tool wear, both wear on the face and crater sides. The feed rate parameter is also a dominant factor in determining changes in surface roughness values. Abrasion and diffusion wear types are the main mechanisms that occur in carbide tools before failure. Damage to the upper surface of the thin layer of the cutting tool was found during machining under high speed conditions. The speed factor is the dominant factor that influences tool wear. Cutting tool damage is also followed by damage to the surface of the workpiece being machined or the surface quality of the workpiece. The dominant wear that occurs in the rib face area is wear due to material sticking (adhesion), notch wear, while wear in the crater area is diffusion that occurs during the machining process. Meanwhile, the cutting temperature has a direct impact on the surface quality of the machined workpiece. The factor of high cutting speed with low feed rate is a combination of factors that provide good cutting force.

Keywords: materials, cutting tool, machining, Ti-6Al-4V ELI.

Abstrak

Material paduan titanium Ti-6Al-4V ELI (*Extra Low Interstitial*) merupakan jenis paduan yang memiliki sifat yang sangat mirip dengan paduan Ti-6Al-4V (Grade 5), yang mana material ini paling banyak digunakan, akan tetapi hanya berbeda dalam hal sifat keuletannya. Ti-6Al-4V ELI memilikian tingkat keuletan yang lebih tinggi dan sifat ketangguhan retak yang lebih baik. Selain itu, material ini juga memiliki kemampuan yang baik untuk bekerja pada suhu tinggi tanpa menghilangkan sifat-sifatnya utamanya. Sifat utama dari material ini adalah memiliki ketangguhan korosi pada suhu tinggi dan memiliki rasio berat terhadap kekuatan yang sangat baik. Mengacu pada kelebihan sifatnya tersebut material paduan jenis Ti-6Al-4V ELI ini banyak dikembangkan di berbagai bidang antaranya adalah bidang material tanam bidang kedokteran, industri pesawat terbang, aplikasi di bidang persenjataan militer, pembuatan komponen kendaraan balap dan juga bejana bertekanan tinggi untuk menyimpan bahan cairan nitrogen bersuhu rendah (*cryogenic*) [16]. Proses pemesinan material paduan Ti-6Al-4V ELI dianggap sebagai material yang sulit dimesin. Namun bagaimanapun pemilihan alat potong, kualitas permukaan dan kadar cairan pendinginan menjadi permasalahan dalam proses pemesinan material paduan Ti-6Al-4V ELI, oleh karena itu diperlukan banyak kajian-kajian sehingganya mendapatkan parameter pemesinan material paduan Ti-6Al-4V ELI yang paling optimal. Seringkali terjadi reaksi antara pahat potong dan material benda kerja sewaktu proses pemotongan berlangsung, dan terjadi akumulasi suhu tinggi pada kawasan pemotongan. Faktor



kecepatan potong dan kadar pemakanan merupakan dua faktor yang dominan terhadap pembentukan aus pahat potong, baik aus pada sisi muka ataupun sisi *crater*. Parameter kadar pemakanan juga merupakan faktor dominan dalam menentukan perubahan nilai kekasaran permukaan. Jenis aus abrasi dan difusi adalah mekanisme utama yang terbentuk pada pahat karbida sebelum mengalami kegagalan. Kerusakan permukaan atas lapisan tipis pahat potong ditemukan pada pemesinan dalam kondisi kecepatan tinggi. Faktor kecepatan merupakan faktor yang dominan berpengaruh terhadap aus pahat. Kerusakan pahat potong juga diikuti dengan kerusakan permukaan benda kerja yang dimesin atau kualitas permukaan benda kerja. Aus dominan yang terjadi pada kawasan muka rusuk adalah aus karena material melekat (*adhesion*), aus takikan, sedangkan aus pada kawasan *crater* adalah *diffusion* yang terjadi selama proses pemesinan berlangsung. Sementara itu, suhu pemotongan berdampak langsung terhadap kualitas permukaan benda kerja yang dimesin. Faktor kecepatan potong yang tinggi dengan kadar pemakanan yang rendah adalah kombinasi faktor yang memberikan gaya potong yang baik.

Kata kunci: material, pahat, pemesinan, Ti-6Al-4V ELI

1. Pendahuluan

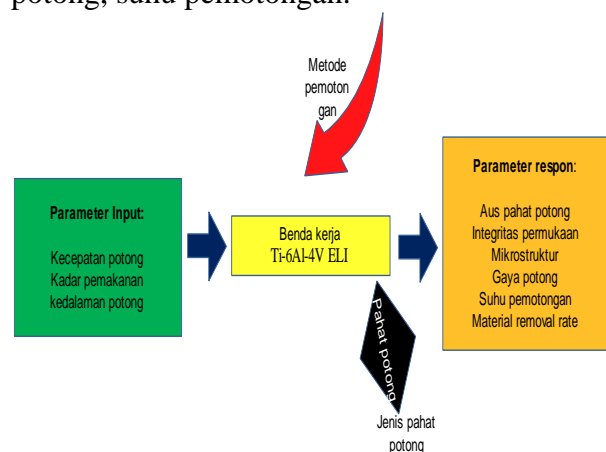
Material paduan Ti-6Al-4V ELI adalah material paduan yang tahan terhadap korosi dan memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang istimewa. Sekalipun material ini dikategorikan sebagai material ringan, akan tetapi berbeda dengan material ringan lainnya, yaitu memiliki sifat kuat yang baik.

Berdasarkan sifat-sifat istimewa yang demikian, kemudian material paduan titanium ini dikembangkan secara meluas di berbagai bidang. Beberapa bidang yang paling banyak mengaplikasikan paduan titanium ini antaranya adalah kedokteran atau biomedik yaitu sebagai material tanam di dalam tubuh manusia seperti baut untuk penyambungan patah tulang, pelat untuk penguatan patah tulang, baut tanam untuk sambungan gigi, baut ulir atau screw untuk penguatan patah tulang. Di bidang pesawat luar angkasa material titanium Ti-6Al-4V ELI digunakan sebagai ring pada rotor mesin pesawat, pendesak mesin roket dan sambungan pada sudu-sudu turbin. Sedangkan di industri kimia, paduan titanium ini banyak digunakan sebagai tabung bertekanan tinggi untuk menyimpan nitrogen cair.

Tabel 1. Sifat kimia bahan paduan titanium Ti-6Al-4V ELI [2, 14]

Ko mp	C	Si	Fe	Al	N	V	S	O	H	Ti
	0,003		0,10	5,85	0,006	3,8		0,08	0,01	
Wt %	-	<0,03	-	-	-	-	0,003	-	-	sisa
	0,11		0,22	6,13	0,02	4,1		0,13	0,03	

Material paduan Ti-6Al-4V ELI mengandung aluminium sebesar 6% dan vanadium sebanyak 4%. Proses pemesinan yang sering digunakan untuk memotong paduan titanium ini adalah proses pemesinan bubut dan freis. Parameter input yang dikendari pada proses pemesinan adalah kecepatan potong, kadar pemakanan dan kedalaman potong. Beberapa metode pemotongan yang banyak digunakan antaranya adalah pemesinan kering dan pemesinan yang menggunakan cairan pemotongan. Ada banyak jenis pahat yang digunakan akan tetapi yang populer digunakan antaranya adalah pahat high speed steel, karbida dan ceramic. Sedangkan parameter respon yang banyak diteliti dan dianalisis oleh berbagai peneliti adalah aus pahat potong, integritas permukaan benda kerja yang dimesin, mikro struktur, gaya potong, suhu pemotongan.



Gambar 1. Skema aspek dalam proses pemesinan Ti-6Al-4V ELI

Tabel 2. menunjukkan sifat-sifat fisika dan mekanis material paduan titanium Ti-6Al-4V ELI. Tingkat kekerasan material

Ti-6Al-4V ELI ini sebesar 35 HRC, sehingga material tidak dikategorikan material yang keras. Sedangkan modulus elastisitasnya adalah sebesar 133.5 GPA, sehingga dikategorikan sebagai material yang ulet. Sifat ini juga yang menjadikan Ti-6Al-4V ELI material yang sulit dimesin. Modulus elastisitas yang tinggi menyebabkan material bersifat ulet, sementara material yang ulet sulit dilakukan pemesinan, karena pada saat proses pemesinan berlangsung material geram sulit terbentuk dan terlepas dari benda kerja.

Tabel 2. Sifat-sifat fisika dan mekanis material paduan Ti-6Al-4V ELI

Densitas (ρ)	Kekerasan	Tegangan maks	Tegangan Yield	Elongasi	Modulus elastisitas	Poisson rasio
4,43 g/cc	35	860 MPa	7990 MPa	15%	133,5 GPa	0,34 2

Walaupun proses pemesinan material paduan Ti-6Al-4V ELI dianggap sebagai material yang sulit dimesin. Namun bagaimanapun pemilihan alat potong, kualitas permukaan dan kadar cairan pendinginan menjadi permasalahan dalam proses pemesinan material paduan Ti-6Al-4V ELI, oleh karena itu diperlukan banyak kajian sehingga mendapatkan parameter pemesinan material paduan Ti-6Al-4V ELI yang paling optimal.

2. Metode Penelitian

2.1 Aplikasi Metode Pemesinan untuk Material Ti-6Al-4V ELI

Dengan sifat-sifat yang dimiliki material titanium Ti-6Al-4V ELI dianggap sebagai material yang sulit dimesin. Hal ini disebabkan karena kekerasannya yang relatif tinggi dikombinasikan dengan sifat yang mudah bereaksi dengan bahan lain. Material ini juga dikenal sebagai material yang memiliki tingkat konduktivitas yang rendah sehingga pada proses pemesinan menimbulkan suhu tinggi pada daerah pemotongan. Suhu yang tinggi adalah sebagai akibat dari gesekan antara benda kerja dan pahat potong. Jika proses pemesinan berlangsung pada suhu tinggi maka suhu yang dibangkitkan akan semakin

tinggi. Hal ini kemudian yang menyebabkan sumber kerusakan dari pahat potong dan permukaan benda kerja yang dimesin. Secara detail hasil kajian yang sudah dilakukan adalah sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter pemesinan bubut dan freis pada pemotongan material Ti-6Al-4V ELI.

Referensi	Nama Penulis	Tahun	Proses	Kee Potong (m/min)	Kadar pemakanan (mm/rev)	Kedalaman potong (mm)	Respon
1	Sulaiman	2014	Bubut	120, 170, 220	0,2	4	Aus pahat potong
2	Sulaiman et al.	2013	Bubut	120, 170, 220	0,1, 0,15, 0,2	0,4, 0,5, 0,6	Optimasi parameter pemesinan
3	Shin et al.	2013	Bubut	110	0,20	1,0	Gaya potong, umur pahat, kekasaran permukaan
4	Ghani, Haron	2015	Bubut	120-200	0,1-0,2	0,4-0,6	Mekanisme aus pahat potong
5	Karkaols et al	2016	Freis	75,100, 125	0,2, 0,25, 0,30	0,9	Kekasaran permukaan
6-9	Ibrahim et al.	2013, 2011, 2009	Bubut	55, 75, 95	0,15, 0,25, 0,35	0,10, 0,15, 0,20	Kerusakan struktur mikro, kekasaran permukaan, umur pahat potong
10	Gusri et al.	2010	Bubut	55, 75, 95	0,15, 0,20, 0,35	0,10, 0,15, 0,20	Kualitas permukaan
11	Dilibabu et al.	2013	Bubut	55, 75, 95	0,15, 0,20, 0,35	0,10, 0,15, 0,20	Efek parameter pemotongan
12	Haron et al.	2016	Bubut	120, 170, 220	0,1, 0,15, 0,2	0,4, 0,5, 0,6	Prestasi pahat potong
13	Sargade et al.	2016	Bubut	50, 65, 80	0,08, 0,15, 0,2	0,5	Kekasaran permukaan dan gaya potong
14	Sharif	2014	Freis	200, 250, 300	0,03, 0,06	Radial 0,5 Axial 1,5	Kekasaran permukaan dan gaya potong
15	Gusri et al.	2020	Bubut mikro	10.000, 15.000 (rpm)	0,001 dan 0,005	0,1 dan 0,15	Formasi burr, jumlah burr,
16	Gusri et al.	2019	Bubut mikro	10.000, 15.000 (rpm)	0,001 dan 0,005	0,1 dan 0,15	Nilai kekasaran permukaan benda kerja

Bagaimanapun juga, usaha untuk mengatasi hal tersebut dilakukan dengan cara pemilihan parameter pemotongan yang tepat dan penggunaan cairan pendingin atau pelumas. Akan tetapi dalam menggunakan cairan pendingin atau pelumas hendaklah yang memperhatikan yang ramah terhadap lingkungan. Dengan demikian didapatkan kondisi pemesinan yang menghasilkan prestasi pahat yang baik dan kualitas permukaan yang diinginkan. Hingga saat

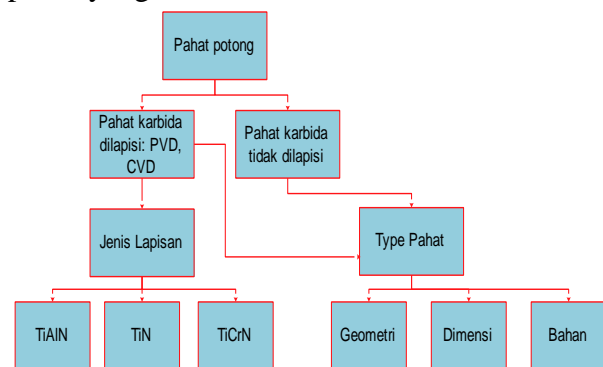
ini, belum banyak kajian yang melakukan investigasi terhadap pemesinan material paduan Ti-6Al-4V ELI. potong selama proses pemesinan berlangsung.

2.2 Aplikasi Pahat Potong dan Teknik Pendinginan

Performan atau prestasi pahat potong jenis inser bergantung kepada jenis lapisan yang aplikasikan pada permukaan pahat, ketebalan lapisan yang terbentuk dan suhu dimana pahat bekerja memotong titanium. Suhu ini merupakan suhu pemotongan, dimana suhu yang dibangkitkan selama proses pemesinan berlangsung sebagai akibat dari gesekan antara benda kerja dan pahat potong atau antara benda kerja dan geram. Selama proses pemesinan, pahat mengalami kerusakan sebagai akibat bergesekan dengan benda kerja. Aus yang terjadi pada ujung pahat potong berupa peningkatan aus secara regular setelah lapisan pahat mengalami kerusakan. Lapisan tipis pahat sebagian terlepas dari permukaan karena mengalami panas dan beban pemotongan, terutama pada ujung mata pahat daerah yang paling awal memotong benda kerja. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dan melaporkan bahwa direkomendasikan menggunakan pahat karbida yang dilapisi untuk memotong paduan titanium [1,4]. Beberapa penelitian menjelaskan bahwa prestasi pahat yang baik yaitu pahat karbida yang dilapisi dengan lapisan keras baik lapisan tunggal ataupun banyak lapisan. Sementara itu metode pelapisan yang direkomendasikan adalah pelapisan dengan metode Physical Vapor Deposition (PVD) dan Chemical Vapor Deposition (CVD). Lapisan pada permukaan pahat adalah lapisan keras sehingga mampu memotong material yang juga keras dan tahap terhadap panas sejenis paduan titanium.

Pada waktu pemotongan material paduan titanium, suhu yang dihasilkan akibat gesekan pahat dan benda kerja sangat tinggi, sehingga dikombinasikan sifat titanium yang penghantar panas yang buruk, maka suhu yang dihasilkan semakin

terakumulasi di kawasan pemotongan. Hal ini menyebabkan material menjadi lembut sehingga dibutuhkan gaya pemotongan yang lebih kecil. Akan tetapi suhu yang tinggipun dapat menyebabkan pahat bersifat lebih lembut sehingga berpengaruh terhadap prestasi pahat [2]. Dengan demikian ada usaha untuk mengurangi suhu yang dihasilkan yaitu dengan memberikan pendingin pada pahat sewaktu proses pemotongan berlangsung. Penggunaan cairan pendinginan juga berfungsi sebagai pelumasan agar gesekan antara pahat potong dan benda kerja menjadi lebih kecil sehingga panas yang dihasilkan akan lebih sedikit.

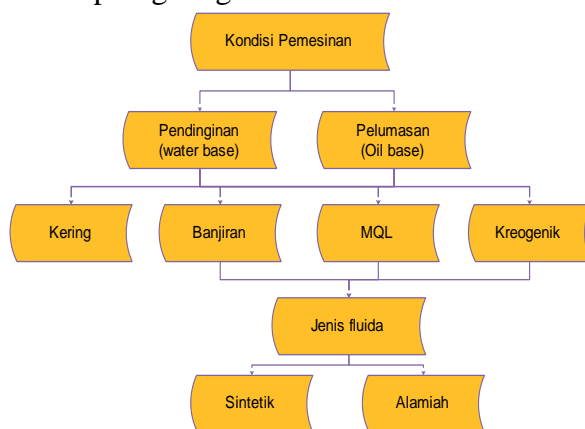


Gambar 2. Tipe dan jenis pahat yang digunakan untuk memotong paduan Ti-6Al-4V ELI.

Gambar 2 menunjukkan beberapa jenis dan tipe pahat potong karbida yang digunakan dalam memoles material paduan Ti-6Al-4V ELI. Pahat karbida yang digunakan adalah jenis inser baik yang dilapisi dengan lapisan keras ataupun tanpa menggunakan lapisan. Penelitian merekomendasikan bahwa pahat karbida yang menggunakan lapisan memberikan performan yang lebih baik dibandingkan dengan pahat karbida tanpa menggunakan lapisan. Lapisan keras tersebut juga lebih tahan terhadap aus sehingga dengan demikian sekaligus memperpanjang umur pahat potong dan menghindarkan pahat dari aus yang parah di awal pemotongan. Jenis lapisan tipis yang sering digunakan adalah berbasis titanium seperti TiAlN, TiN dan TiCrN, dimana tiga lapisan tersebut memiliki kekerasan yang baik. Sedangkan tipe pahat yang digunakan bergantung kepada geometri pahat dan dimensinya.

Pahat dengan ukuran diameter jari-jari besar akan menghasilkan nilai kekasaran rendah di awal pemotongan tetapi akan mengalami aus pada luas area yang lebih besar. Akibat dari hal itu akan menyebabkan suhu yang dibangkitkan semakin tinggi karena area kontak antara benda kerja dan pahat menjadi besar.

Penggunaan fluida pemesinan digunakan dengan tujuan utama adalah sebagai pendingin dan pelumas. Metode pemberian fluida pemotongan dilakukan dengan beberapa cara antara lain adalah pemesinan kering (tanpa fluida), pemberian fluida secara banjir, metode pelumas berkuantitas minimum dan kriogenik (menggunakan nitrogen cair bersuhu rendah). Bagaimanapun juga, proses pendinginan ditujukan untuk mengurangi suhu yang dihasilkan selama proses pemotongan berlangsung sedangkan proses pelumasan bertujuan untuk mengurangi gesekan antara benda kerja dan pahat potong. Dengan demikian tujuan diberikan fluida pemotongan untuk mempertahankan umur pahat potong dan memperbaiki kualitas permukaan benda kerja yang dimesin. Kajian sebelumnya menyebabkan fluida sintetik dan fluida alamiah. Bagaimanapun juga, fluida alamiah memberikan dampak yang minimum terhadap kerusakan lingkungan sehingga proses pemesinan jenis ini sering disebut dengan proses pemesinan yang ramah terhadap lingkungan.



Gambar 3. Tipe pendinginan dan pelumasan yang implementasikan pada pemesinan paduan Ti-6Al-4V ELI

Pada proses pemesinan dalam keadaan kering atau tanpa menggunakan fluida, panas yang dibangkitkan sangat tinggi dan terakumulasi di area pemotongan (area kontak antara benda kerja dan pahat potong). Hal ini menyebabkan pahat potong mengalami aus atau rusak lebih cepat. Untuk mengatasi masalah maka digunakan metode pemberian pendinginan atau pelumasan. Metode untuk proses pemesinan yang ramah lingkungan dan tetap menghasilkan performan yang maksimal adalah metode pelumas berkuantitas minimum dan metode kriogenik [3,5]. Memberikan cairan pelumas dengan kuantitas minimum dengan cara mengabutkan cairan bertekanan ke arah area pemotongan sehingga bahan pelumas sampai memperkecil gesekan dan cairan pelumas hilang bersama udara. Disamping menghemat penggunaan cairan juga tidak perlu pemusnahan cairan pelumas. Karena kedua hal tersebut termasuk faktor yang menyebabkan biaya operasional menjadi tinggi. Sedangkan metode kriogenik menggunakan nitrogen cair yang memiliki suhu rendah sehingga pada saat dialirkan ke area pemotongan akan menurunkan suhu pemotongan secara signifikan.

Sebagaimana yang dinyarakan oleh Sulaiman et al [2] bahwa prediksi untuk kondisi parameter pemotongan yang optimum selama proses pembubutan paduan Ti-6Al-4V ELI pada kondisi pendinginan menggunakan metode Response Surface Method telah berhasilkan diperoleh. Didapati bahwa faktor kecepatan potong dan kadar pemakanan merupakan faktor dominan yang berpengaruh terhadap umur pahat potong dan nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dimesin. Sementara itu bila mengacu kepada standar ISO 3685 bahwa performan pahat potong untuk memesin paduan Ti-6Al-4V ELI dapat diterima. Response Surface Method memberikan nilai optimasi variabel input adalah pada kecepatan potong 220 m/min, kadar pemakanan 0.1 mm/rev dan kedalaman potong sebesar 0.4 mm. Che Haron et al [12] menggunakan minyak mineral menggunakan metode MQL dan

pemesinan dalam lingkungan banjir. Hasil yang diperoleh adalah bahwa metode MQL berhasil mengukur nilai aus pahat potong lebih sedikit dibandingkan dengan metode pemesinan banjir.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Aus Pahat Potong

Persamaan Selama proses pemesinan berlangsung terjadi gesekan antara pahat potong dan benda kerja yang kemudian menyebabkan lapisan pada pahat potong mengalami aus. Bahkan aus ini semakin parah apabila pemilihan parameter pemotongan yang tepat dan menggunakan fluida secara tepat juga. Pertimbangan lain adalah apabila penggunaan fluida pemotongan dan pemilihan parameter yang tidak tepat akan menyebabkan biaya operasional semakin tinggi. Oleh karena itu, sangat penting dilakukan investigasi aus pahat potong karena hal ini yang menyebabkan pahat dikatakan gagal atau sudah mengalami kerusakan sehingga tidak dapat lagi digunakan. Mekanisme aus pahat potong baik pada bagian rusuk ataupun pada bagian kraternya sangat penting karena kriteria pahat dikatakan tidak bisa lagi digunakan berdasarkan besaran aus pada area ini. Kecepatan pemotongan yang tinggi akan meningkatkan panas yang dihasilkan semakin banyak pada area pemotongan. [2,13].

Aus pahat potong selama proses pemesinan berlangsung disebabkan oleh gesekan terjadi antara pahat dan benda kerja. Mekanisme gesekan antara pahat potong dan benda kerja titanium Ti-6Al-4V ELI ini berlangsung secara abrasif, dimana partikel benda yang keras menggerus permukaan pahat potong sehingga lama kelamaan terjadi gerusan yang banyak sehingga menimbulkan aus pada pahat potong. Demikian juga yang terjadi aus pahat jenis insert, dimana parameter pemotongan (kecepatan potong, kadar pemakanan, kedalaman potong), jenis lapisan dan kondisi pemesinan memberikan pengaruh secara signifikan. Suhu yang dibangkitkan selama pemotongan, reaksi kimia

berlangsung antara material pahat dan benda kerja sehingga menyebabkan aus pada pahat dan mempengaruhi kerusakan lapisan pada pahat potong. Sementara itu, aus pahat potong yang dominan adalah abrasif, adesif, aus takikan dan difusi pada area krater [4, 5]. Sulaiman et al. [1] melakukan analisis terhadap aus pahat potong jenis inser yang tidak dilapisi, dimana proses pemesinan bubut pada kecepatan tinggi dengan material Ti-6Al-4V ELI dalam keadaan tanpa menggunakan fluida pemotongan. Aus pahat potong dipengaruhi secara signifikan meningkatnya kecepatan potong dan umur pahat potong berkurang dengan peningkatan kecepatan potong.

Penelitian lain adalah Shin et al. [3] melakukan pemesinan menggunakan metode teknik jaringan syaraf tiruan untuk mendeteksi aus pahat potong. Dari hasil kajian didapatkan bahwa parameter input memberikan pengaruh terhadap aus yang terjadi pada pahat, sewaktu proses bubut dilakukan pada kondisi pemotongan Ti-6Al-4V ELI tanpa menggunakan pelumas atau pendingin. Pemesinan dilakukan menggunakan jenis pahat karbida yang dilapisi dengan metode CVD. Hasil kajian juga menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan yang diperoleh memiliki korelasi yang kuat dengan aus yang terbentuk pada permukaan pahat potong.

Sementara itu, Ghani dan Haron [4] melakukan investigasi terhadap mekanisme aus pahat potong selama proses pembubutan Ti-6Al-4V ELI menggunakan jenis pahat karbida yang dilapisi dengan lapisan keras TiAlN/AlCrN dan juga pahat tanpa menggunakan lapisan dalam keadaan mesin pelumas berkuantitas minimum. Pada kajian ini telah dapati bahwa aus yang terjadi adalah aus pada area rusuk, aus takikan dan aus area krater pahat jenis inser. Suhu yang berlebihan pada area pemotongan terakumulasi sehingga menyebabkan konsentrasi tegangan pada area pemotongan. Hal ini yang kemudian menyebabkan pahat mengalami kegagalan akibat aus pada ujung potong. Jenis aus adesif dan difusi juga ditemukan sebagai

salah satu mekanisme aus yang dominan. Mekanisme aus kimia atau reaksi terjadi antara benda kerja dan material pahat sehingga menyebabkan mekanisme aus yang berujung pada kegagalan pahat potong.

3.2 Analisis Nilai Kekasaran Permukaan Benda Kerja yang Dimesin

Paduan titanium Ti-6Al-4V ELI yang digunakan sebagai material implant biomedik karena material yang diperlukan implant biomedik membutuhkan nilai kekasaran permukaan yang baik dan integritas permukaan. Nilai kekasaran permukaan dan kualitas permukaan secara mudah dipengaruhi oleh parameter input selama proses pemesinan berlangsung. Secara umum, faktor kadar pemakanan sangat menentukan nilai kekasaran permukaan. Disebabkan karena tingkat kekerasan paduan Ti-6Al-4V ELI dan konduktivitas termal yang rendah, panas tinggi terakumulasi yang dibangkitkan selama pemotongan menyebabkan permukaan benda kerja menjadi, sehingga ini menyebabkan pahat mengalami aus atau rusak. Bahkan suhu yang tinggi menyebabkan kerusakan struktur mikro dan integritas permukaan [7-12]. Karkoals et al [5] melakukan kajian untuk memprediksi nilai kekasaran permukaan Ti-6Al-4V ELI pada proses proses pemesinan freis. Persamaan matematika yang diperoleh menunjukkan bahwa faktor kadar suapan adalah faktor yang dominan yang mempengaruhi nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dimesin. Metode disain eksperimen RSM diimplementasi untuk mengoptimasi parameter input terhadap pengukuran respon. Hasil prediksi menggunakan metode RSM dibandingkan dengan metode ANN untuk mendapatkan nilai prediksi yang akurat.

Ibrahim et al. [6-9] juga melakukan kajian investigasi nilai kerusakan struktur permukaan dan integritas permukaan selama proses bubut dilakukan terhadap material Ti-6Al-4V ELI dalam keadaan kering. Pada penelitian ini proses pembubut dilakukan

menggunakan karbida yang dilapisi dengan lapisan tipis dengan metode CVD dan PVD. Hasilnya menunjukkan bahwa pada saat proses pemesinan dilakukan, suhu pemesinan mengalami peningkatan pada daerah pemotongan yang kemudian menyebabkan kerusakan pada permukaan benda kerja yang dimesin termasuk merusak struktur mikro. Nilai kekasaran permukaan meningkat dengan peningkatan suhu pemesinan. Gusri et al. [10] menginvestigasi kualitas permukaan material Ti-6Al-4V ELI menggunakan pahat potong dilapisi menggunakan metode CVD dalam keadaan tanpa menggunakan pelumas atau pendingin. Didapati bahwa nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dimesin sangat dipengaruhi oleh kadar pemakanan. Perubahan struktur mikro dan tekstur permukaan mempengaruhi kualitas permukaan benda kerja yang dimesin. Bahkan pada permukaan benda kerja terbentuk lapisan putih yang keras dengan ketebalan 2 mikro, yang didapatkan pada kondisi pemesinan kecepatan tinggi dan kadar pemakanan tinggi.

Sebagaimana yang dinyatakan oleh Dillibabu et al [11] bahwa parameter pemotongan memberikan pengaruh terhadap kualitas permukaan benda kerja yang dimesin selama proses pemotongan berlangsung. Pemesinan dilakukan menggunakan pahat potong karbida yang dilapisi TiAlN dalam keadaan pemesinan kering atau tanpa menggunakan fluida pemesinan. Pada penelitian lain dilakukan analisa menggunakan statistik Anova bahwa jari-jari ujung pahat merupakan faktor dominan yang menentukan kualitas permukaan dibandingkan faktor lainnya. Pada proses pemesinan dalam keadaan menggunakan pelumas jari-jari ujung pahat potong memberikan pengaruh lebih besar dibandingkan dengan faktor kecepatan potong, kadar pemakanan dan kedalaman potong. Ibrahim et al. [8] menginvestigasi integritas permukaan menggunakan pahat karbida selama proses pemotongan Ti-6Al-4V ELI dalam keadaan pemesinan kering atau tanpa menggunakan pelumas. Faktor

kadar makan adalah faktor yang dominan terhadap kualitas permukaan. Nilai kekasaran permukaan membentuk kurva dengan tiga kategori yaitu pada tahap awal pemesinan lebih baik, kemudian beraturan dan selanjut nilai kekasaran permukaan menurun hingga ke akhir pemotongan. Juga ditemukan bahwa terbentuk lapisan keras pada permukaan benda kerja pada saat pemesinan dilakukan pada kondisi kecepatan potong pada 95 m/min, kadar pemakanan sebesar 0.35 mm.rev dan kedalaman potong 0.10 mm. Tidak ada teramati terjadi kerusakan permukaan berupa robek dan retak pada permukaan pahat potong karbida. Prediksi intergritas permukaan material Ti-6Al-4V ELI menggunakan pahat karbida dengan lapisan tipis metode PVD pada kondisi pemesinan tanpa menggunakan pelumas atau pendingin.[15]

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa umur pahat potong meningkat pada kecepatan potong rendah dibandingkan dengan pemesinan pada kecepatan tinggi. Aus pahat meningkat secara cepat pada awal pemotongan, bersifat regular pada pertengahan dan meningkat secara cepat pada akhir pemotongan. Kualitas permukaan yang dihasilkan lebih baik pada awal pemotongan dibandingkan dengan tahap kedua dan akhir pemotongan. Hal ini disebabkan oleh perubahan jari-jari ujung pahat potong akibat aus pahat sehingga berpengaruh pada kualitas permukaan benda kerja yang dimesin. Haron et al. [12] melakukan investigasi performan pahat karbida yang tidak dilapisi dan kualitas permukaan benda kerja Ti-6Al-4V ELI dalam keadaan bawah dan sistem pelumas berkuantitas permukaan. Hasil pemesinan menunjukkan bahwa pemesinan menggunakan metode pelumas berkuantitas minimum memberikan umur pahat lebih baik sebesar 25% dan nilai kekasaran permukaan lebih baik sebesar 30% dibandingkan dengan pemesinan menggunakan sistem banjiran.

3.3 Analisis Gaya Potong

Perhitungan gaya potong yang terjadi pada proses pemesinan dianggap sebagai sesuatu yang kompleks selama proses pemotongan yang disebabkan selama proses pemesinan. Parameter pemotongan antara lain kecepatan potong, kadar pemakanan dan kedalaman potong memberikan pengaruh terhadap gaya potong terutama kadar pemakanan adalah faktor dominan terhadap gaya potong. Kadar pemakanan searah dengan arah pergerakan kadar pemakanan sehingga bila kadar pemakanan semakin besar maka gaya potong yang dihasilkan semakin besar. Beberapa peneliti memberikan rekomendasi bahwa gaya potong yang kecil dihasilkan dalam proses pemotongan pada kecepatan potong yang tinggi dan kadar pemakanan yang rendah. Sargade et al [13] melakukan investigasi nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dimesin dan gaya potong pada pemesinan bubut material paduan Ti-6Al-4V ELI menggunakan pahat karbida yang dilapisi PVD tanpa menggunakan fluida pendingin atau pelumas. Ditemukan bahwa kadar pemakanan adalah faktor yang dominan menentukan besarnya gaya potong yang dihasilkan selama proses pemotongan. Juga dilakukan analisis menggunakan kajian statistic ANOVA dan teknik RSM untuk memprediksi pengaruh parameter input terhadap nilai kekasaran permukaan dan gaya potong. Proses optimisasi juga dilakukan untuk mendapatkan keadaan optimal proses pemotongan untuk nilai kekasaran permukaan dan gaya potong.

Syarif et al. [14] melakukan investigasi pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan dan gaya potong selama proses pemesinan freis material Ti-6Al-4V ELI menggunakan pahat karbida PVD dengan lapisan TiAlN+TiN dan pahat tanpa lapisan dalam keadaan pemesinan kering. Hasil kajian menunjukkan bahwa gaya potong adalah kecil pada kecepatan potong tinggi dan kadar pemakanan yang rendah. Hasil ini didapati untuk kedua jenis pahat yang dilapisi dan tanpa menggunakan lapisan. Lapisan tipis pada permukaan pahat

potong menunjukkan adanya prestasi lebih baik dibandingkan dengan pahat yang tidak dilapisi untuk banyak keadaan proses pemotongan dengan berbagai kondisi pemesinan.

4. Kesimpulan

Proses pemesinan material paduan Ti-6Al-4V ELI yang dianggap sebagai material yang sulit dimesin. Namun bagaimanapun pemilihan parameter pemotongan, jenis pahat yang digunakan, metode pelumas atau pendingin memainkan peran penting dalam proses pemotongan.

Pengaruh dari parameter pemotongan adalah sebagai pembangkitan suhu pemotongan yang tinggi pada proses pemotongan titanium telah menghasilkan kualitas permukaan yang buruk demikian juga dengan tingkat keakuratan dan umur pahat potong. Bahkan pahat yang tinggi menyebabkan benda kerja menjadi lebih lembut dan perubahan struktur mikro benda kerja. Perubahan struktur mikro permukaan menyebabkan kerusakan terhadap kualitas permukaan benda kerja. Parameter kadar pemakanan merupakan faktor dominan dalam menentukan perubahan nilai kekasaran permukaan.

Jenis aus abrasi dan difusi adalah mekanisme utama yang terbentuk pada pahat karbida sebelum mengalami kegagalan. Kerusakan permukaan atas lapisan tipis pahat potong ditemukan pada pemesinan dalam kondisi kecepatan tinggi. Faktor kecepatan merupakan faktor yang dominan berpengaruh terhadap aus pahat. Sementara itu aus pahat potong dapat dikontrol dengan pemilihan parameter dan keadaan permesinan yang tepat sehingga mampu menghasilkan prestasi pahat yang lebih baik.

Untuk memotong material yang keras diperlukan gaya potong yang tinggi. Pada waktu yang sama suhu yang tinggi pada saat pemotongan akibat gesekan antara benda kerja dan pahat potong mempercepat aus pahat dan merusak kualitas permukaan. Kecepatan potong yang tinggi dengan kadar

pemakanan yang rendah adalah kombinasi yang menghasilkan gaya potong terbaik.

Referensi

- [1] M. A. Sulaiman, C. et al. 2014. "Effect of High-speed Parameters on Uncoated Carbide Tool in Finish Turning Titanium Ti-6Al-4V ELI," *Sains Malaysiana*, 43,1 pp 111–116
- [2] M. A. Sulaiman, C. et al. 2013. "Optimization of Turning Parameters for Titanium Alloy Ti-6Al-4V ELI Using the Response Surface Method (RSM)," *Journal of Advanced Manufacturing Technology* 7,2 pp 11-28,
- [3] H. G. Shin, et al. 2013. "A Study on the Cutting Characteristics and Detection of the Abnormal Tool State in Turning of Ti-6Al-4V ELI," *Applied Mechanics and Materials*, 433-435 pp 2025-2030.
- [4] J. A. Ghani, and C. C. H. Haron. 2014 "Wear mechanism of coated and uncoated carbide cutting tool in machining process," *Journal of Materials Research*, pp 1-7.
- [5] N. E. Karkalos, N. I. Galanis, and A. P. Markopoulos. 2016. " Surface roughness prediction for the milling of Ti-6Al-4V ELI alloy with the use of statistical and soft computing techniques, *Measurement* 90 pp 25–35
- [6] G. A. Ibharim. et al. "Microstructure Alterations of Ti- 6Al-4V ELI during Turning by Using Tungsten Carbide Inserts under Dry Cutting Condition," *International Journal on Engineering and Technology Development* , 1,2 pp 37- 40,
- [7] G. A. Ibharim. et al. 2011"Evaluation of PVD-Inserts Performance and Surface Integrity When Turning Ti-6Al-4v ELI under Dry Machining," *Advanced Materials Research*, 264-265 pp 1050-1055,
- [8] G. A. Ibharim, et al. 2009. ,"The

- effect of Dry machining on Surface Integrity of Titanium alloy Ti-6Al-4V ELI," *Journal of Applied Sciences* 9,1 pp 12-127.
- [9] G. Ibharim, C. et al. 2009, "Surface Integrity of Ti-6Al-4V ELI When Machined using coated carbide tools under dry cutting condition," *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 4,2 pp 191-196.
- [10] A. I. Gusri. et al. 2011 "Surface Quality of Ti-6%Al-4%V ELI When Machined Using CVD-Carbide Tools at High Cutting Speed," *International conference on Advances in Materials and Processing Technologies*, 1315,1. pp 1107-1112.
- [11] R. Dillibabu. et al. 2013." Optimization of process parameters in dry and wet machining of Ti-6AL-4V ELI using Taguchi method," *International Journal of Design and Manufacturing Technology*, 4,3 pp 15-21
- [12] C. H. C. Haron. et al. 2016. "Performance of carbide tool in high speed turning of Ti-6Al-4V ELI under conventional coolant and minimal quantity lubrication," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11,7 pp 4817-4821
- [13] V. G. Sargade. et al. 2016. "Analysis of surface roughness and cutting force during turning of Ti6Al4V ELI in dry environment," *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7 pp 257–266
- [14] S. Sharif. et al. 2014. "Effect of High Speed Dry End Milling on Surface Roughness and Cutting Forces of Ti–6Al–4V ELI," *Applied Mechanics and Materials*, 493 pp 546-551
- [15] 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
- [16] A. I. Gusri. dkk. 2019. "Kekasaran permukaan pada pemesinan frais mikro Ti-6Al-4V ELI (Extra Low Intertitial)," *Turbo*, Vol 8, No. 2