



## Kumpulan Abstrak

# PROSIDING

## SEMINAR NASIONAL ENERGI TERBARUKAN DAN PRODUKSI BERSIH 2012



*Bandar Lampung, 20 Juni 2012*

ISBN 978-979-8510-49-6

Diselenggarakan oleh:  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik  
Universitas Lampung

Didukung oleh:



IKATAN KELUARGA BESAR ALUMNI  
TEKNIK MESIN UNIVERSITAS LAMPUNG



D3 Teknik Mesin  
Universitas Lampung



515

### **Studi Aplikasi Bio-dryer untuk Meningkatkan Produktivitas, Kualitas dan Pendapatan Petani Onggok**

*Indra Mamad Gandidi, M. Dyan Susila E.S., Rahmat Cahaya Putra*

Onggok is a residue from processing cassava into tapioca flour and it used for animal feed, mosquito coil, and sauces. The best price of onggok is around Rp. 1800/kg for white color specifications, 12% maximum moisture content and it is free from foreign material such as sand or gravel. In fact, most of farmers using traditional drying and it does not produce onggok with low quality, low capacity, and long time necessary. Drying capacity obtained in these conditions is 6-8 tons/month.

Most of onggok farmer in Lampung province do not use a dryer to reduce moisture content of onggok from 60-70% to 10-12% due to large operating costs and the dryers are expensive, so they turn to drying in the field. This onggok resulted are only sold at a price Rp.650-/kg and impact to low welfare of onggok farmers.

Bio-dryer is a combination between rotary dryer and gasifier biomass with high dryer capacity and economic. Optimum performance of bio-dryer are at: moisture content of onggok feed is 30-40%, gasification airflow 0.011 kg/s, biodryer rotation 20 rpm, and drying mass are 10-12 kg in single process. The maximum reduction of moisture which is about 20% and drying capacity gained from this condition is 480 kg/day or 12 tons per month. Quality of dry onggok produced under these conditions approached onggok best quality with the selling price reached Rp.1400–Rp.1600/kg.

**Keywords:** cassava residue (onggok), drying quality, dry onggok price, bio-dryer

516

### **Umur Pahat dan Kekasaran Permukaan Sewaktu Pemesinan Ti-6%Al-4%V ELI pada Kecepatan Tinggi**

*Gusri Akhyar Ibrahim, Ahmad Yahya T.P., Tarkono*

Machining process of titanium alloys as aerospace material that has extremely strength to weight ratio and resistant to corrosion at high-elevated temperature, become more interested topic. Quality of machining process is presented by performance of tool and surface quality of titanium alloys. The turning parameters evaluated are cutting speed (55, 75, 95 m/min), feed rate (0.15, 0.25, 0.35 mm/rev), depth of cut (0.10, 0.15, 0.20 mm) and tool grade of PVD carbide tool. The results that Tool life shows three patterns; rapidly increase at the initial stage, gradually increased at the second stage and extremely increased at the final stage. The trend lines of surface roughness have are the surface roughness value is high at first machining after then regularly decreases. At the second stage, the surface roughness is remained stable and followed by decreasing at final stage of tool life.

**Keywords:** PVD tool, dry machining, Ti-6Al-4V ELI, machined surface

# Umur Pahat dan Kekasaran Permukaan Sewaktu Pemesinan Ti-6%Al-4%V ELI pada Kecepatan Tinggi

Gusri Akhyar Ibrahim<sup>1</sup>, Achmad Yahya TP<sup>2</sup>, Tarkono<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung  
Jurusan Teknik Mesin UNILA, Jl. Sumatri Brodjonegoro No 1 Bandar Lampung 35145  
gusriakhyar@yahoo.com

## Abstract

*Machining process of titanium alloys as aerospace material that has extremely strength to weight ratio and resistant to corrosion at high-elevated temperature, become more interested topic. Quality of machining process is presented by performance of tool and surface quality of titanium alloys. The turning parameters evaluated are cutting speed (55, 75, 95 m/min), feed rate (0.15, 0.25, 0.35 mm/rev), depth of cut (0.10, 0.15, 0.20 mm) and tool grade of PVD carbide tool. The results that Tool life shows three patterns: rapidly increase at the initial stage, gradually increased at the second stage and extremely increased at the final stage. The trend lines of surface roughness have are the surface roughness value is high at first machining after then regularly decreases. At the second stage, the surface roughness is remained stable and followed by decreasing at final stage of tool life.*

**Keywords:** PVD tool, dry machining, Ti-6Al-4V ELI, machined surface

Bahan titanium dan paduannya banyak digunakan untuk mesin pesawat luar angkasa dan struktur rangka pesawat karena bahan ini memiliki kekuatan yang tinggi pada suhu tinggi, tahan korosi pada suhu tinggi, yang bersifat melindungi permukaan (Ezugwu et al. 2003; Ezugwu 2005). Beberapa karakteristik daripada bahan paduan mesin pesawat luar angkasa adalah cenderung membentuk proses pengerasan (*work hardening*), memiliki kekuatan tinggi pada suhu tinggi, mudah bereaksi dengan bahan pahat di bawah lingkungan atmosfer, cenderung membentuk Build-Up- Edge (BUE) dan melekat pada pahat potong (Che Haron, 2001; Ezugwu, 2005). Pemesinan paduan titanium dilatarbelakangi oleh kekuatan yang tinggi pada suhu tinggi, konduktifitas termal yang rendah, modulus elastisitas rendah dan mudah bereaksi dengan bahan lain (Jawaid et al, 2000). Selanjutnya kerentanan paduan titanium akan pengerjaan keras yang akan merusak mampu mesinnya, dengan demikian bahan paduan ini dikategorikan sebagai bahan yang sulit dimesin.

Kemajuan besar dalam pengembangan pahat potong telah berlansung sejak beberapa dekade belakangan ini. Hal ini seiring dengan pengembangan dalam hal mampu mesin paduan titanium. Hampir setiap jenis pahat potong telah dikembangkan termasuk juga pahat bermata intan, pahat keramik dan pahat *cubic boron nitride* (CBN). Pahat tungsten karbida adalah salah satu pahat dengan grad baik yang digunakan untuk memesin paduan titanium dan bahkan sekarang masih menjadi pilihan banyak peneliti (Jawaid et al., 2000). Beberapa usaha telah dilakukan untuk meningkatkan mampu-mesin paduan titanium ketika jenis

pemesinan kering menggunakan pahat konvensional dan modern. Pemesinan kering digunakan bertujuan untuk menghindari bahaya dari pelumas yang bisa merusak kesehatan dan merusak lingkungan bahkan juga dapat mengurangi biaya operasi (Ginting, 2003; Che Haron et al., 2007). Penelitian tentang itu telah menghasilkan perkembangan dalam hal umur pahat dan keadaan permukaan bahan yang dimesin. Aplikasi jenis pahat karbida dilakukan karena pahat ini memiliki sifat tahan aus sehingga memperpanjang umur pahat, bahkan menghasilkan umur pahat beberapa kali lipat dibandingkan dengan pahat biasa (Ezugwu, 2005). Bahkan pada saat ini dikembangkan pahat karbida yang dilapisi dengan lapisan tipis yang keras, yang memiliki potensial untuk memperbaiki sifat mampu mesin paduan titanium, sehingga lapisan tersebut berkontribusi terhadap peningkatan prestasi pahat dan meningkatkan produktivitas permesinan (Ezugwu et al., 2003; Che Haron et al., 2007).

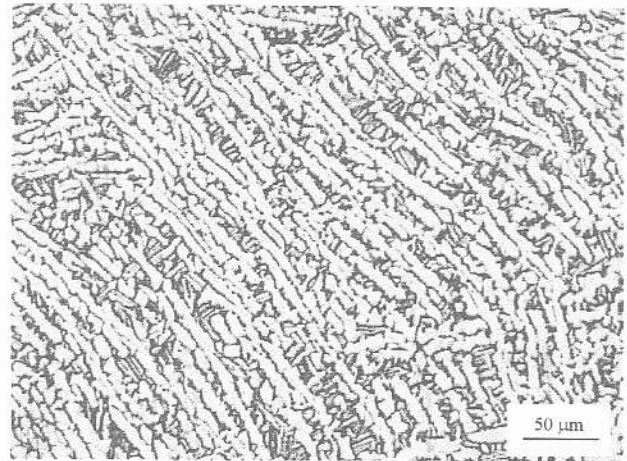
Pahat tungsten karbida yang dilapisi adalah sangat sesuai untuk proses pemesinan akhir paduan titanium pada kecepatan potong 75 m/min, pemakanan 0.25 mm/rev dan kedalaman potong 0.25 mm. Umur pahat dan keadaan permukaan yang diperoleh dilaporkan bahwa penggunaan lapisan tipis pada pahat pemotong telah mengurangi gesekan antara pahat potong dan bahan kerja (Kennametal, 2006). Aus rusuk rata-rata adalah tipe kegagalan pahat yang dominan, sehingga dapat dikatakan bahwa pahat karbida yang dilapisi dapat digunakan untuk jenis pemesinan kering pada kondisi kecepatan potong sedang dan tingkat pemakanan yang relatif rendah. Aplikasi multi lapisan keras pada pahat karbida dalam keadaan jenis pemesinan

kering dilaporkan bahwa mampu meningkatkan produktifitas dibandingkan dengan satu lapisan atau tidak menggunakan lapisan (Jawaid et al., 1999; Ezugwu et al., 2005).

Peneliti lain juga menemukan bahwa pahat sementit karbida (termasuk pahat karbida yang dilapisi) adalah material pahat yang paling banyak digunakan saat ini untuk memesis paduan titanium karena bahan ini mampu meningkatkan prestasi dalam hal umur pahat dibandingkan dengan jenis bahan lain. Bahkan akhir-akhir ini, pengembangan teknik pelapisan telah menunjukkan kemajuan yang signifikan untuk memesis paduan titanium pada kecepatan tinggi, meskipun dengan peningkatan biaya pembentukan lapisan tipis tersebut (Ezugwu, 2005). Tujuan daripada penelitian adalah untuk mengkaji prestasi pahat karbida yang lapisi tipis TiAlN dengan teknik Powder Vapor deposition (PVD-TiAlN) untuk memesis paduan titanium Ti-6Al-4V ELI dalam keadaan pemesinan kering pada berbagai jenis parameter pemotongan.

#### PROSEDUR PENELITIAN

Bahan yang digunakan sebagai benda kerja adalah paduan titanium alpha-beta Ti-6Al-4V Extra Low Interstitial (Ti-6Al-4V ELI), yang mempunyai fasa equiaxed  $\alpha$  dan fasa  $\beta$  sekelilingnya sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Mikrostruktur paduan titanium Ti-6Al-4V-ELI

Komposisi kimia bahan digunakan adalah sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1. Sekurang-kurangnya 3 mm dari permukaan bahan dibuang agar supaya menghilangkan berbagai macam kerusakan permukaan dan tegangan sisa yang dapat merusak hasil permesinan (Kalpakjian and Rechmid, 2001).

Pemesinan dilakukan dalam keadaan kering dan kecepatan tinggi dilakukan menggunakan mesin bubut Colchester T4 6000. Pahat dan pemegang pahat yang digunakan adalah atas rekomendasi dari suplayer pahat (Kennametal, 2006). Pahat bubut jenis Physical Vapor Deposition (PVD) mempunyai standar kode KC9225 (CCMT 12 04 04 LF, ISO standar digunakan untuk membubut Ti-6Al-4V ELI dalam kondisi kering tanpa menggunakan pelumas. Keadaan parameter pemotongan yang digunakan pada penelitian ini sebagaimana yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi kimia bahan benda kerja Ti-6Al-4V ELI (% wt)

HEAT	C	Si	Fe	Ti	Al	N	V	S	O	H	Y
C-11465	0.11	<0.03	0.18	Bal.	6.1	0.007	4.0	<0.003	0.11	0.0031	<0.005

Tabel 2. Faktor dan level yang digunakan pada penelitian ini

Faktor	Level		
	0	1	2
A- Kecepatan potong (m/min)	55	75	95
B- Pemakanan (mm/rev)	0.15	0.25	0.35
C- kedalaman potong (mm)	0.10	0.15	0.20

Aus rusuk rata-rata (*VB*) diukur menggunakan alat ukur pahat Mitutoyo dengan pembesaran

mencapai 20x pembesaran, dan waktu pemesinan dicatat menggunakan stopwatch. Aus pahat dan

waktu pemotongan dicatat setiap satu kali pembubutan. Proses pembubutan akan dihentikan apabila aus rusuk telah mencapai 0,2 mm. Jenis aus dan tipe kegagalan pahat diamati menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Sedangkan kekasaran permukaan diukur menggunakan roughness tester Mohr.

## HASIL DAN DISKUSI

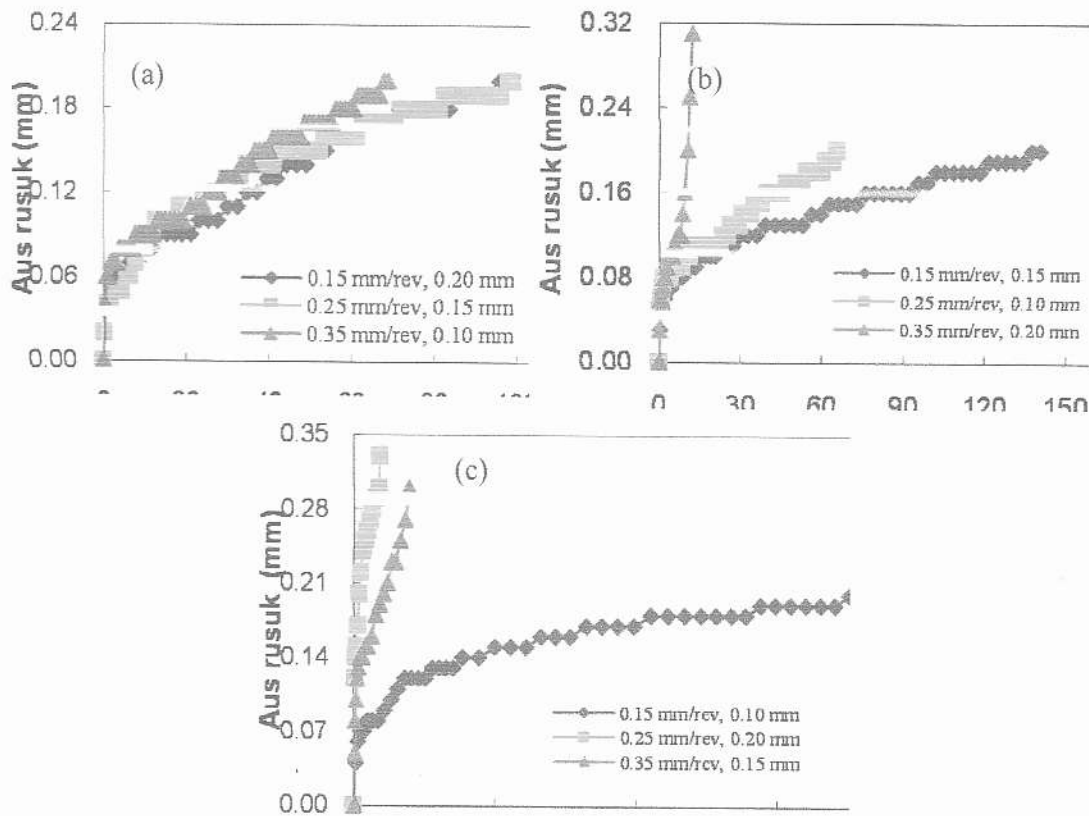
### Umur Pahat

Progres aus rusuk melawan umur pahat bubut untuk pembubutan paduan titanium Ti-6Al-4V ELI menggunakan pahat karbida PVD pada kecepatan potong 55, 75 and 95 m/min, dan pada berbagai tingkat pemakanan dan kedalaman potong sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Dapat dilihat dengan jelas bahwa tipe ketiga jenis tahapan aus pahat yang didapatkan adalah sama. Hal seperti ini juga dilaporkan oleh Jawaid et al. (1999) pada waktu memesin paduan titanium menggunakan pahat karbida yang dilapisi dan tidak dilapisi. Aus berlaku secara cepat pada awal pemotongan, meningkat secara teratur pada tahap kedua serta meningkat secara mendadak pada akhir pemotongan. Peningkatan aus yang cepat pada awal pemotongan disebabkan oleh permukaan yang bersentuhan antara pahat bubut dan benda kerja adalah kecil, sehingga menyebabkan suhu meningkat pada ujung pahat bubut. Dengan demikian sebagian bahan mudah terlepas dari permukaan pahat bubut (Che Haron, 2001). Ibrahim et al. (2007) menemukan bahwa tanda bekas terbakar ditemukan pada lapisan pahat bubut pada waktu memesin paduan titanium menggunakan pahat karbida dalam keadaan pemesisan kering karena suhu lebih banyak terkonsentrasi pada bagian ujung pahat saja, sedangkan pada bagian lain relatif rendah karena sifat titanium yang memiliki konduktivitas rendah.

Gambar 2(a) menunjukkan bahwa progress aus pahat PVD pada berbagai tingkat pemakanan dan kedalaman potong, yang mana kecepatan potong tetap pada 55 m/min. Progress aus untuk semua kombinasi pemakanan dan kedalaman potong menunjukkan bahwa pada tingkat awal pemotongan

aus meningkat secara dramatis sehingga aus rusuk mencapai  $VB = 0.06$  mm. Kombinasi antara tingkat pemakanan yang tinggi dan kedalaman potong tinggi memberikan efek yang lebih signifikan terhadap umur pahat. Kedalaman potong yang tinggi secara langsung mempengaruhi gaya potong disebabkan oleh bidang kontak yang besar antara pahat dan bahan kerja. Sedangkan, pemesisan pada kecepatan tinggi dapat menyebabkan aus yang lebih parah pada ujung pahat bubut. Oleh karena konduktivitas paduan titanium rendah, hal ini menyebabkan panas yang dibangkitkan terkonsentrasi pada ujung pahat potong saja. Jawaid (1999) menemukan bahwa pemakanan juga berkontribusi terhadap peningkatan suhu selama proses pemesisan paduan titanium. Lebih jauh, pemesisan paduan titanium pada parameter pemotongan tinggi akan menyebabkan aus yang lebih parah pada ujung pahat dibandingkan dengan pemesisan pada kondisi parameter pemotongan rendah.

Gambar 2(b) menunjukkan bahwa progress aus dari tiga jenis pahat bubut yaitu pada kecepatan potong 75 m/min dan berbagai jenis pemakanan dan kedalaman potong. Pola progress aus pada pemakanan 0.15 mm/rev dan kedalaman potong 0.10 mm adalah sama dengan pada pemakanan 0.25 mm/rev dan kedalaman potong 0.20 mm dari saat awal pemotongan hingga pahat mengalami aus. Pada tahap awal pemotongan, progress aus meningkat sangat cepat sampai aus  $VB$  mencapai 0.10 mm, selanjutnya berlaku aus meningkat secara teratur hingga aus mencapai 0.20 mm. Oleh karena itu, kadar pemakanan dan kedalaman potong memberikan kontribusi yang sama terhadap aus pahat. Sebaliknya, pemotongan pada kadar pemakanan rendah (0.15 mm/rev) dan kedalaman potong rendah (0.10 mm) menghasilkan progress aus yang rendah juga. Pemesisan titanium pada kedalaman potong rendah menghasilkan gaya potong rendah, yang juga berkontribusi terhadap progress aus paduan titanium (Trent, 1995; Ezugwu et al., 2003). Mereka juga menemukan bahwa pemotongan pada kedalaman potong dan kecepatan potong rendah, dapat menyebabkan geram (chips) pada ujung pahat dan aus berlaku secara dominan pada ujung pahat (nose radius).



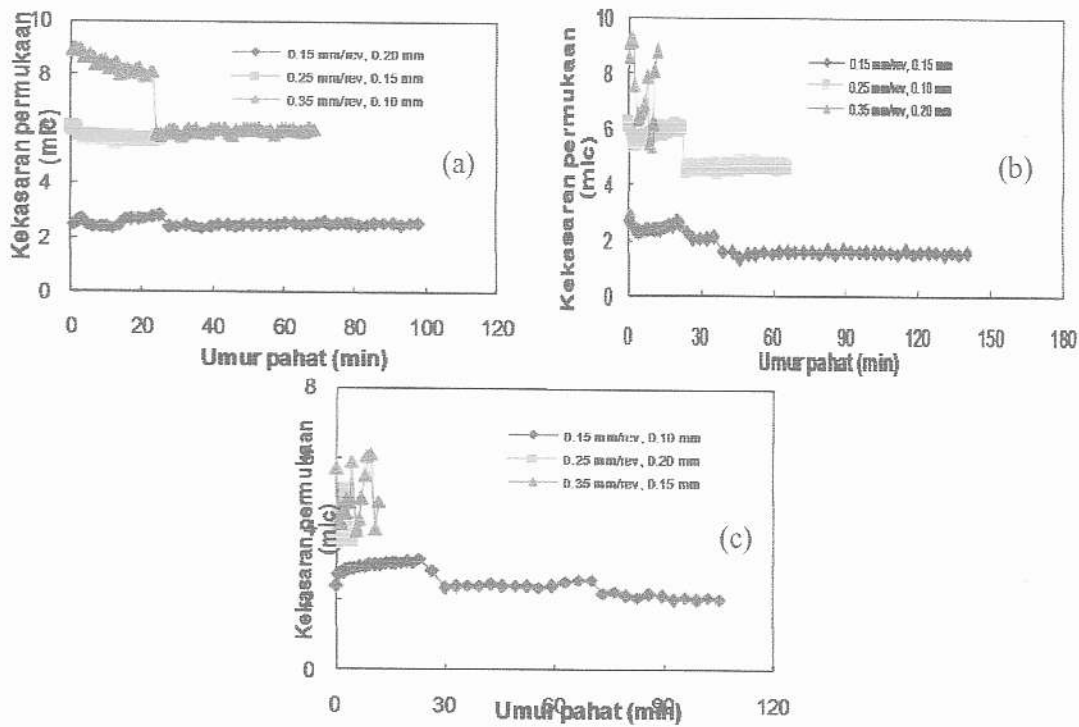
Gambar 2. Progres aus rusuk dari pahat sementif karbida pada kecepatan potong (a) 55 m/min (b) 75 m/min (c) 95 m/min

Variasi parameter pemesinan, pada kadar pemakanan tinggi dan kedalaman potong rendah atau kadar pemakanan rendah dan kedalaman potong tinggi, memberikan kontribusi yang sama terhadap progress aus pahat bubut sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2©. Pada tahap awal pemesinan, aus meningkat secara cepat hingga *VB* mencapai 0.13 mm. Kemudian diikuti oleh peningkatan aus yang signifikan hingga akhir umur pahat. Manakala, pada kadar pemakanan 0.15 mm/rev dan kedalaman potong 0.20 mm, umur pahat meningkat secara sangat cepat hingga *VB* mencapai 0.07 mm, dan kemudian meningkat secara teratur sampai akhir umur pahat bubut. Dapat dilihat secara jelas bahwa proses pemesinan pada kadar suapan rendah dan kecepatan potong tinggi menghasilkan umur pahat yang lebih panjang.

### Permukaan benda kerja yang dimesin

Gambar 3a, 3b dan 3c menunjukkan variasi nilai kekasaran permukaan melawan waktu

potongan pada masa memesis Ti-6Al-4V ELI dengan pahat karbida yang dilapisi TiAlN dalam keadaan pemesinan kering pada pada kecepatan potong 55, 75 dan 95 m/min. Masing-masing kurva menunjukkan bahwa perbedaan nilai kekasaran permukaan pada waktu pemesinan pada kadar pemakanan (0.15, 0.25 and 0.35 mm/rev). Secara kalsik, nilai kekasaran permukaan ditentukan oleh persamaan  $h \approx f^2/8R$  or  $h_{CLA} \approx f^2/18 (3R)^{1/2}$  (Bhattacharya 1984). Dimana,  $h$  adalah tinggi puncak-ke-puncak,  $h_{CLA}$  adalah pusat kekasaran permukaan rata-rata,  $f$  adalah kadar pemakanan dan adalah jari-jari kelengkutan ujung pahat. Rumus ini menunjukkan bahwa kekasaran permukaan sangat bergantung kepada kadar pemakanan dan jari-jari pahat bubut. Gambar 3 menunjukkan bahwa pengaruh kadar pemakanan sangat signifikan sehingga dapat dikatakan pemilihan kadar pemakanan yang rendah menghasilkan keadaan permukaan yang lebih baik



Gambar 3 Nilai kekasaran permukaan pada kecepatan potong (a) 55 m/min, (b) 75 m/min dan (c) 95 m/min.

Gambar 3a menunjukkan nilai kekasaran permukaan pada kecepatan potong 55 m/min dan pada berbagai macam kadar pemakanan, 0.15, 0.25 dan 0.35 mm/rev. Nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan pada kadar pemakanan 0.35 mm/rev adalah lebih tinggi pada awal pemesinan dan cenderung stabil hingga mencapai VB 0.2 mm. Nilai kekasaran tinggi pada awal pemotongan disebabkan oleh ujung pahat yang masih tajam, sedangkan nilai kekasaran permukaan yang cenderung stabil (sedikit meningkat) disebabkan oleh deformasi telah terjadi pada muka rusuk pahat atau sebagian material titanium melekat pada jari-jari ujung pahat bubut (Che Haron 2001). Sedangkan menurut Bhattacharya (1984), penurunan nilai kekasaran permukaan disebabkan oleh perubahan jari-jari ujung (menjadi lebih besar). Jika aus jari-jari ujung semakin lebar, maka jari-jari ujung semakin besar dan nilai kekasaran permukaan semakin halus. Untuk kadar pemakanan 0.35 mm/rev, nilai kekasaran permukaan menurun pada saat umur pahat 26.13 menit. Hal ini disebabkan oleh chipping pada jari-jari ujung, yang mempunyai panjang 0.07 mm dari hujung potong. Sebaliknya, pada pemakanan 0.20 mm/rev, nilai kekasaran permukaan sedikit menurun sepanjang proses pembubutan. Nilai kekasaran permukaan pada akhir umur pahat adalah 2.52  $\mu\text{m}$ .

Secara umum, kecenderungan hasil yang sama juga ditunjukkan oleh setiap kurva pada saat memesin paduan titanium pada kecepatan potong 75 m/min sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 3b dan 3c. Nilai kekasaran permukaan relative lebih tinggi pada saat awal pemotongan dan cenderung stabil pada tahap berikutnya. Bahkan juga ditemukan nilai kekasaran permukaan tidak teratur di sebagian besar keadaan pemotongan seperti yang ditunjukkan pada kadar pemakanan 0.35 mm/rev dan kedalaman

potong 0.15 mm. Ketidak-teraturan nilai kekasaran permukaan tersebut disebabkan oleh operasi pada kadar suapan yang tinggi (0.35 mm/rev). Sebagaimana yang ditemukan oleh Che Haron (2001) bahwa ketidakstabilan nilai kekasaran permukaan pada saat memesin paduan titanium disebabkan oleh kadar pemakanan yang tinggi, karena kadar pemakanan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan disamping jari-jari ujung pahat.

## KESIMPULAN

Daripada hasil analisa terhadap umur pahat (PVD) dan nilai kekasaran permukaan dapat disimpulkan bahwa umur pahat yang dihasilkan terdiri dari tiga pola yaitu meningkat secara cepat pada awal pemotongan, meningkat secara teratur pada tahap kedua dan meningkat secara cepat pada akhir umur pahat. Peningkatan secara cepat pada awal pemotongan disebabkan oleh bidang kontak yang kecil antara pahat dan bahan kerja, yang menyebabkan suhu tinggi pada ujung pahat. Pola kecenderungan nilai kekasaran permukaan bahan kerja yang dimesin adalah tinggi pada awal pemotongan, kemudian meningkat secara teratur. Pada tahap kedua, nilai kekasaran permukaan cenderung stabil dan diikuti oleh peningkatan sehingga akhir umur pahat. Pemesinan paduan titanium pada kadar pemakanan yang tinggi menghasilkan nilai kekasaran permukaan tinggi dan tidak teratur, tetapi peningkatan kecepatan potong akan menyebabkan nilai kekasaran permukaan semakin kecil.

## REFERESI

- Bhattacharya, A. 1984. *Metal Cutting - Theory and practice*. India.
- Che Haron, C.H., 2001, "Tool life and surface integrity in turning titanium alloy", *Journal of Material Processing and Technology*, 118, 231-237.
- Che Haron, C.H. & Jawaid, A. 2005, "The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti-6% Al-4% V", *Journal of Materials Processing Technology*, 188-192.
- Che Haron, C.H., Ginting, A., Arshad, H., 2007, "Performance of alloyed and CVD coated carbide tools in dry milling of titanium alloy Ti-6242S", *Journal of Material Processing and Technology*, 185, 77-82.
- Ezugwu, E.O., 2005, Key improvement in the machining of difficult-to-cut of aerospace Super alloys", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45, 1353-1367.
- Ezugwu, E.O., Da Silva, R.B., Bonney, J., Machado, A.R., 2005, "Evaluation of the performance of CBN tools when turning Ti-6Al-4V alloy with high pressure coolant supplies", *Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 1009-1014.
- Ezugwu, E.O., Booney, J., Yamane, Y., 2003, "An overview of the machinability of aeroengine alloys", *Journal of Material Processing and Technology*, 134, 233-253.
- Ezugwu, E.O. & Bonney, J. 2007, "Surface integrity of finished turned Ti-6Al-4V alloy with PCD tools using conventional and high pressure coolant supplies", *International Journal of Machine Tools and Manufacturer*, 884-891.
- Ginting, A. (2003), "Pemesinan Hijau Aloi Titanium Ti-6242S dengan Menggunakan Perkakas Pemotong Pengisar Hujung Karbida", Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan. Bangi, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Ibrahim, G.A., Che Haron, C.H., Ghani, J.A., Burhanuddin, Y., Yasir A., El-maghrabi, N., 2007, "Performance of cemented carbide tools when turning Ti-6Al-4V ELI under dry cutting condition", *EMARC, Universiti Kebangsaan Malaysia*.
- Jawaid, A., Che Haron, C.H., Abdullah, A., 1999, "Tool wear characteristics in turning of titanium alloy Ti-6246", *Journal Material Processing and Technology*, 92, 329-334.
- Jawaid, A., Sharif, S., Koksai, S., 2000, "Evaluation of wear mechanism of coated carbide tools when face milling titanium alloy", *Journal of Material Processing and Technology*, 99, 266-274.
- Kennametal, 2006. *Kennametal Lathe Tooling Catalogue*, Kennametal Company.
- Kalpakjian, S., Schmid, S.R., 2001, *Manufacturing Engineering and Technology Fourth Edition*. USA, Prentice Hall.
- Kishawy, H.A., Becze, C.E. and McIntosh, D.G., 2004, "Tool performance and attainable surface quality during the machining of aerospace alloys using self-propelled rotary tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 152: 266-271.
- Shaw, C.M., 1984, *Metal cutting principles*, Clarendon Press, Oxport.
- Sun, J. and Guo, Y.B., 2008, "A new multi-view approach to characterize 3D chip morphology and properties in end milling titanium Ti-6Al-4V", *International Journal Machine Tools & Manufacture*, 48: 1486-1494.
- Trent, E.M., 1995. *Metal Cutting Thirth Edition*. Butterworth-Heinemann, Oxford.