

## Pengaruh Variabel Pemotongan Terhadap Keutuhan Lapisan Pahat Karbida Berlapis Titanium Aluminium Nitrida (TiAlN) Pada Pembubutan Paduan Aluminium

Sunarto<sup>1</sup>, Razali<sup>2</sup>, Sri Mawarni<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, <sup>3</sup>Jurusan Teknologi Informasi

Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Bathin Alam, Bengkalis, Indonesia

Email: [sunarto@polbeng.ac.id](mailto:sunarto@polbeng.ac.id), [razali@polbeng.ac.id](mailto:razali@polbeng.ac.id), [srinawarni@polbeng.ac.id](mailto:srinawarni@polbeng.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa lapisan pada alat potong karbida (Wc+Co) mengalami kegagalan fungsi pada saat memotong paduan Titanium, lapisan terkelupas pada menit awal pemotongan. Beberapa penyebab hilangnya lapisan dilaporkan oleh peneliti adalah berupa reaksi kimia antara bahan lapisan dengan material yang dipotong yang diawali oleh retak yang menjalar, beban mekanik dan temperatur pemotongan. Pada penelitian ini temperatur pemotongan menjadi bahasan utama yaitu dengan mengubah variabel pemotongan berupa kecepatan potong ( $V_c$ ) 200, 400 dan 600 m/mnt dan melakukan pemotongan terhadap bahan Aluminium 6061. Hasil observasi terhadap lapisan alat potong setelah melakukan proses pembubutan Aluminium 6061 dilakukan dengan menggunakan SEM dan EDS. Dari ketiga kondisi pemotongan rendah, sedang dan tinggi disimpulkan pada  $V_c=200$  m/mnt dijumpai bahan dasar alat potong berupa Wolfram (W) sebesar 44.84 % dan Cobalt (Co) sebesar 3,28 %, permukaan penampang alat potong didominasi dengan BUE (*Built Up Edge*), pada  $V_c=400$  m/mnt tidak dijumpainya bahan dasar pahat artinya unsur bahan pelapis berupa Titanium Aluminium Nitrida (TiAlN) masih utuh, permukaan alat potong didominasi oleh BUE dan pada  $V_c=600$  m/mnt unsur pelapis berupa TiAlN tidak terdetek disebabkan permukaan pengamatan ditutupi dengan banyaknya chip yang menempel yaitu unsur bahan baku Aluminium sebesar 65,92% dan 51,9%.

*Kata kunci: Kecepatan Potong, Reaksi Kimia, Beban Mekanik, Beban Termal, SEM, EDS*

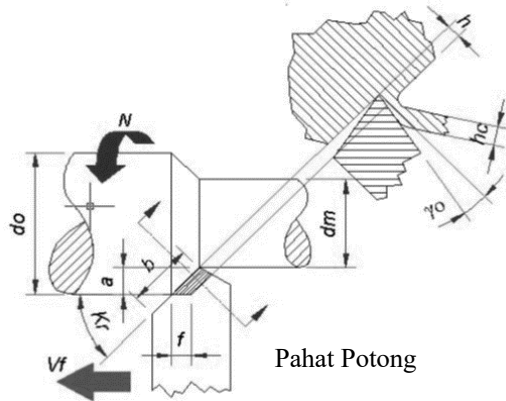
### ABSTRACT

*Previous research has revealed that the coating on the carbide cutting tool (Wc+Co) malfunctions when cutting Titanium alloys, the coating peels off in the early minutes of cutting. Some of the causes of layer loss reported by researchers are chemical reactions between layer materials and cut materials that are initiated by spreading cracks, mechanical loads and cutting temperatures. In this study, the cutting temperature became the main discussion, namely by changing the cutting variable in the form of cutting speeds ( $V_c$ ) of 200, 400 and 600 m/min and cutting Aluminum 6061 materials. The results of observations of the cutting tool layer after the Aluminum 6061 turning process were carried out using SEM and EDS. Of the three low, medium and high cutting conditions concluded at  $V_c=200$  m/min found the basic material of cutting tools in the form of Wolfram (W) of 44.84% and Cobalt (Co) of 3.28%, the cross-sectional surface of the cutting tool is dominated by BUE (*Built Up Edge*), in  $V_c=400$  m/min there is no cutting tool base material means that the coating material in the form of Titanium Aluminum Nitride (TiAlN) is still intact, The surface of the cutting tool is dominated by BUE and at  $V_c=600$  m/min the coating element in the form of TiAlN is not cut because the observation surface is covered with many chips attached, namely Aluminum raw material elements by 65.92% and 51.9%.*

*Keywords: Cutting Speed, Chemical Reaction, Mechanical Load, Thermal Load, SEM, EDS*

**PENDAHULUAN**

Salah satu proses pemesinan yang digunakan pada pemotongan logam adalah proses bubut. Proses ini bertujuan untuk membuang material dimana benda kerja dicekam menggunakan sebuah chuck atau pencekam dan berputar pada sebuah sumbu, alat potong bergerak arah aksial dan radial terhadap benda kerja sehingga terjadi pemotongan dan menghasilkan permukaan yang konsentris dengan sumbu putar benda kerja.



**Gambar 1.** Proses Bubut  
(Sumber: Rochim, 1993)

Ada tiga parameter utama yang berpengaruh terhadap kondisi pemotongan, peningkatan panas, keausan, dan integritas permukaan benda kerja yang dihasilkan. Ketiga parameter itu adalah kecepatan potong ( $V_c$ ), gerak makan ( $f$ ), dan kedalaman potong ( $a$ ). Kecepatan potong adalah kecepatan keliling benda kerja dengan satuan (m/menit), gerak makan adalah perpindahan atau jarak tempuh pahat tiap satu putaran benda kerja dengan satuan (mm/put), kedalaman potong adalah tebal material terbuang pada arah radial dengan satuan (mm) (Rochim, 1993).

Salah satu bentuk kerusakan pada alat potong yang berdampak pada hasil pemotongan ialah kegagalan fungsi bahan pelapis pahat dimana lapisan mengalami pengelupasan saat terjadinya proses pemotongan berlangsung. Jenis bahan pelapis untuk melapisi bahan dasar alat potong dari jenis karbida (WC+Co) ialah Titanium Nitrida (TiN), Titanium Carbida (TiC), Titanium Carbonitrida (TiCN) dan Aluminium Oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Menurut beberapa ahli kegagalan fungsi bahan pelapis disebabkan oleh reaksi kimia dan sebagian lagi berpendapat akibat retak yang menjalar antara permukaan bahan pelapis dengan bahan dasar pahat yang disebabkan oleh perbedaan suhu antara kedua sisi bahan tersebut (A. Jawaid, et al. 2000), (M. Nouari, A. Ginting. 2006), (G.A. Ibrahim, et al, 2010).

Dearnley dan Greason (pada Nouari, 2006) menyatakan bahwa suatu temperatur pemotongan yang lebih daripada 8000C akan mengakibatkan

proses difusi ketika memotong paduan Titanium. Mereka menetapkan bahwa mekanisme aus difusi terjadi selama membubut Ti-64 dengan pahat karbida. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa permukaan yang dikenakan rake face pahat adalah sangat halus, dengan kata lain tidak ada aus mekanis secara jelas.

Menurut Rochim (1993) pada setiap proses pemesinan ada lima elemen dasar yang perlu dipahami, yaitu:

1. Kecepatan potong (cutting speed):  $V_c$  (m/menit)
2. Laju pemakanan (feeding speed) :  $vf$  (mm/min)
3. Kedalaman potong (depth of cut):  $a$  (mm)
4. Waktu pemotongan (cutting time):  $tc$  (min)
5. Kecepatan penghasilan geram:  $Z$  (cm<sup>3</sup>/min)

**Kecepatan Potong ( $V$ )**

Untuk memperoleh putaran mesin atau kecepatan potong digunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d} \text{ (Rpm)}$$

dimana:  $V_c$  = Kecepatan potong (m/min)  
 $d$  = Diameter benda kerja (mm)  
 $n$  = Putaran spindel (rpm)

**Gerak Makan ( $f$ )**

Untuk proses penghalusan permukaan, gerak makan ( $f$ ), ditetapkan sesuai dengan kehalusan permukaan produk yang dikehendaki. Hubungan antara kekasaran permukaan, radius ujung pahat, dan gerak makan secara empiris adalah sebagai berikut (Dawson dan Kurfess, 2004):

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{r_c} \text{ (}\mu\text{m)}$$

atau:

$$f = \sqrt{\frac{r_c \times Ra}{0,0321}} \text{ (mm/put)}$$

dimana:  
 $f$  = Gerak makan (mm/put)  
 $Ra$  = Parameter kekasaran permukaan ( $\mu$ m)  
 $r_c$  = Radius ujung pahat (mm)

**Laju pemakanan ( $vf$ ):**

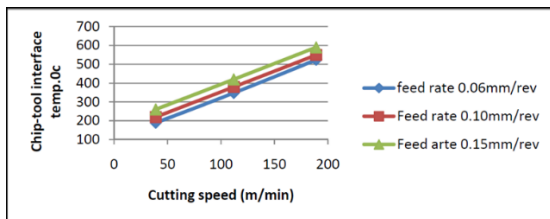
$$v_f = f \times n \text{ (mm/min)}$$

**Temperatur Pemotongan**

Menurut Abhang L.B et al, (2010) dalam penelitiannya pada proses bubut menggunakan benda kerja baja paduan dengan seri EN-31 kenaikan temperatur pada pahat potong merupakan efek dari kondisi pemotongan. Lebih jelas mereka menguraikan sebagai berikut:

**a). Akibat dari Kecepatan Potong (*V*)**

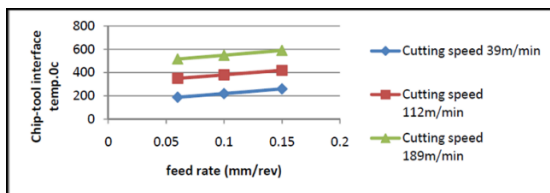
Kecepatan potong sangat mempengaruhi kenaikan temperatur pemotongan. Lebih lanjut mereka menjelaskan dengan meningkatnya kecepatan potong gesekan akan meningkat, hal ini akan menyebabkan peningkatan suhu di zona pemotongan. Pada kecepatan potong 39, 112, 189 m/menit menggunakan termokopel didapatkan kenaikan temperatur pemotongan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Temperatur  
(Sumber: Abhang, L.B et al, 2010)

**b). Akibat dari Gerak Makan (*f*)**

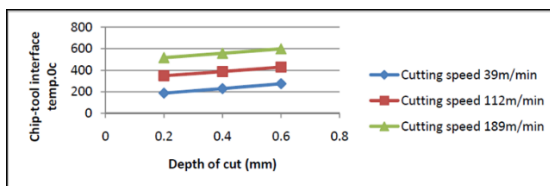
Dengan meningkatnya gerak makan (*f*) yang berdampak pada geram, menyebabkan meningkatnya gesekan dan menyebabkan kenaikan temperatur pemotongan, hal ini sesuai sebagaimana yang laporkan oleh Shaw (1984), Stephenson (1992). Kenaikan temperatur pemotongan sehubungan dengan kenaikan gerak makan dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Pengaruh Gerak Makan Terhadap Temperatur  
(Sumber: Abhang, L.B et al, 2010)

**c). Akibat dari Kedalaman Potong (*a*)**

Perubahan suhu pemotongan yang tercatat dalam zona pemotongan sebagai fungsi kedalaman potong sehubungan dengan kecepatan potong yang berbeda dan gerak makan dengan radius pahat konstan (0.4mm) dapat dilihat pada Gambar 4.

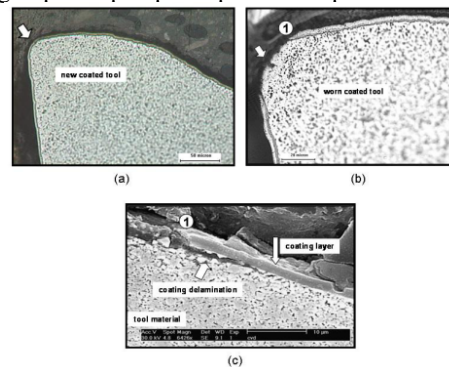


**Gambar 4.** Kedalaman Potong Terhadap Temperatur  
(Sumber: Abhang, L.B et al, 2010)

Pada Gambar 3 di atas untuk kedalaman potong 0,2 mm, suhu tercatat sebesar 345,370C. Jika kedalaman potong ditingkatkan menjadi 0,6 mm (tiga kali), besar suhu pemotongan menjadi 4390C, dengan peningkatan suhu sebesar 29%. Jika kedalaman potong meningkat, ukuran geram meningkat dan gesekan antara geram dan pahat akan meningkat yang menyebabkan peningkatan suhu. Hasil ini sesuai dengan peneliti sebelumnya Federico (2003).

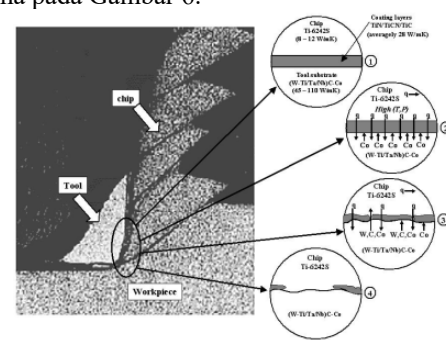
**Pengelupasan Pelapis (Coating Delamination)**

Pengelupasan pelapis (coating delamination) merupakan kejadian hilangnya bagian pahat dalam bentuk lapisan dari permukaan pahat. Pengelupasan pelapis dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Pengelupasan Pelapis Pahat Karbida Berlapis CVD  
a. Penampang pahat baru;  
b. Pelapis mata potong mayor terkelupas;  
c. Pembesaran bagian lapisan yang terkelupas.  
(Sumber: Ginting, 2006)

Mekanisme terjadinya coating delamination yang digali berdasarkan hasil analisis mikro menggunakan scanning electron microscopy (SEM) dan energy dispersive analysis by X-Ray spectroscopy (EDAX) dapat disimpulkan seperti skema pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Skema Mekanisme Pengelupasan Pelapis  
(Sumber: Ginting, 2006)

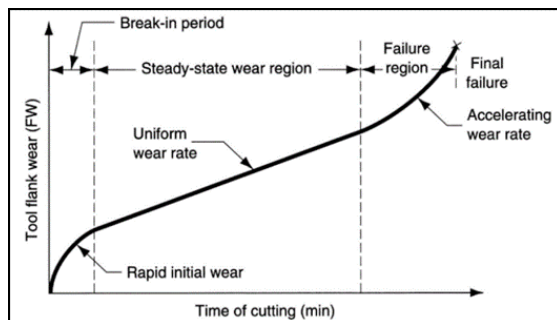
Menurut Nouari dan Ginting (2006), dalam kasus pahat berlapis pengelupasan pelapis terjadi dengan diawali oleh micro-cracks yang berlangsung di dalam lapisan penyalut dan kemudian diikuti oleh

kepindahan material lapisan dengan cepat. Secara umum penyelidikan tentang pengelupasan pelapis bukanlah suatu pekerjaan yang mudah, hal ini disebabkan oleh interaksi yang kompleks antar beberapa faktor yang berperan terhadap pengelupasan seperti Dry Machining Operation Environment (DMOE), sifat hakiki material pelapis, dan interaksi antara pahat, lapisan, serta benda kerja.

**Umur Pahat**

Umur pahat didefinisikan sebagai panjang waktu potong dimana pahat masih dapat digunakan. Umur pahat sangat tergantung pada keausan yang dialaminya, semakin besar keausan yang dialami pahat maka kondisi pahat akan semakin kritis. Keausan pahat akan tumbuh dan membesar dengan bertambahnya waktu pemotongan sampai pada suatu saat pahat yang bersangkutan dianggap tidak dapat dipergunakan lagi karena telah ada tanda-tanda tertentu yang menunjukkan bahwa umur pahat telah habis.

Tiga daerah yang biasanya digunakan untuk mengidentifikasi laju keausan pahat yaitu: periode peretakan (break-in periode), ialah periode keausan yang terjadi sesaat setelah pengoperasian, dimana pada periode ini keausan pahat berjalan sangat cepat terutama pada bagian tajam dari ujung pahat. Daerah keausan konstan (steady-state wear region); daerah ini menggambarkan laju keausan sebagai fungsi linear terhadap waktu. Daerah kerusakan (failure region); pada periode ini laju keausan pahat berjalan dengan cepat sehingga temperatur potong bertambah tinggi dan efisiensi proses pemesinan berkurang, dan akhirnya pahat rusak akibat temperatur tinggi. Daerah keausan pahat seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Daerah Keausan Pahat (Sumber: Marinof,--)

**1. METODOLOGI**

Penelitian mengenai Pengaruh Variabel Pemotongan Terhadap Keutuhan Lapisan Pahat Karbida Berlapis Titanium Aluminium Nitrida (TiAlN) Pada Pembubutan Paduan Aluminium dilakukan secara eksperimental. Untuk mengamati pertumbuhan aus sisi (*Vb*) dilakukan dengan membagi menjadi tiga kondisi pemotongan yaitu

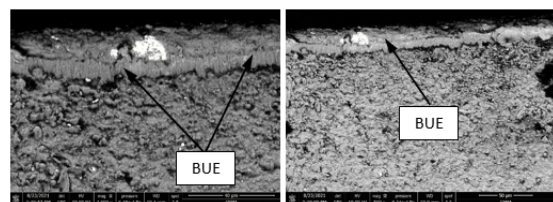
kondisi pemotongan **rendah** ( $V=200$  m/mnt,  $f=0,2$  mm/put,  $a=1,5$  mm), **sedang** ( $V=400$  m/mnt,  $f=0,2$  mm/put,  $a=1,5$  mm) dan **tinggi** ( $V=600$  m/mnt,  $f=0,2$  mm/put,  $a=1,5$  mm).

Pengambilan data pada kondisi pemotongan kategori rendah, sedang dan tinggi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memotong paduan Aluminium 6061 dengan kecepatan potong (*V*) 200, 400 dan 600 m/menit, gerak makan (*f*) 0,2 mm/put, kedalaman potong (*a*) 1,5 mm dan lama waktu pemotongan (*tc*) lebih dari 6 menit (ISO 3685, 1977).
2. Mengukur pertumbuhan aus sisi (*VB*) pada setiap panjang pemotongan 210 mm pada benda kerja.
3. Kerusakan pada pahat karbida berlapis setelah memotong paduan Aluminium 6061 dengan kondisi pemotongan seperti diatas selanjutnya diamati dengan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM).
4. Memeriksa keberadaan unsur pelapis dengan menggunakan Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS).

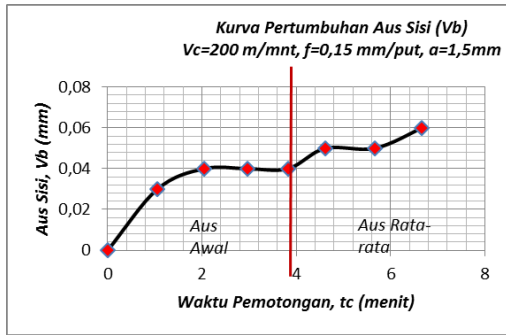
**2. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pemotongan paduan Aluminium 6061 pada kategori rendah menghasilkan aus sisi (*VB*) sebesar 0,06 mm dengan lama pemotongan selama 6 menit. Pada kondisi pemotongan ini permukaan alat potong banyak ditemui lekatan-lekatan beram atau yang disebut dengan Built Up Edge (BUE). BUE merupakan struktur yang dinamik, sebab selama proses pemotongan pada kecepatan potong rendah berlangsung, BUE akan tumbuh dan pada suatu saat lapisan BUE akan tergeser/terkelupas dan berulang dengan proses penumpukan lapisan metal yang baru. BUE yang terjadi pada kecepatan potong 200 m/menit sejalan dengan penelitian Gokkaya, (2010) yang menyimpulkan bahwa BUE sangat mendominasi pada alat potong pada kecepatan potong 200 dan 300 m/menit (kecepatan potong rendah). Keadaan alat potong dan laju pertumbuhan *VB* sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9 berikut:



**Gambar 8.** Sisi Alat Potong Pada *V* 200 m/mnt



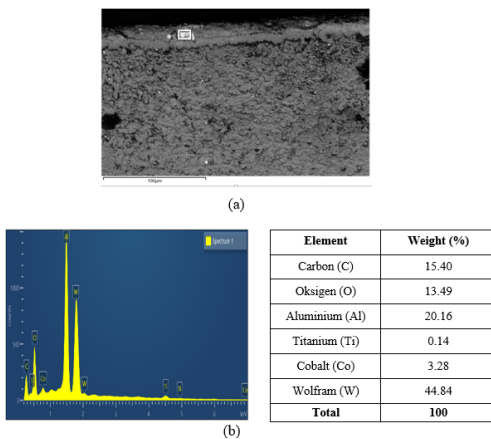


**Gambar 9.**

Kurva Pertumbuhan  $V_B$  pada  $V_c$  200 m/mnt

Pada kondisi pemotongan ini besarnya aus sisi yang terjadi masih berada pada daerah aus rata-rata (Uniform Wear Rate) yang dimulai dari tiga menit setelah pemotongan hingga akhir pemotongan yaitu itu selama 6 menit. Rata-rata pertumbuhan aus sisi dengan waktu pemotongan selama 6 menit dan besar  $V_B = 0,06$  mm adalah  $0,06/(6 \times 60) = 0,0001666$  mm/dtk.

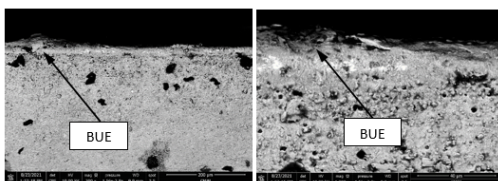
Keutuhan lapisan dilakukan melalui observasi dengan menggunakan EDS, hasil pengamatan pada Spektrum 1 dijumpai bahan dasar alat potong berupa Wolfram (W) sebesar 44.84 % dan Cobalt (Co) sebesar 3,28 %. Unsur Titanium sebagai bahan pelapis pahat hanya sebesar 0,14 %. Secara terperinci lokasi pengamatan dan hasil EDS dapat dilihat seperti Gambar 10 berikut:



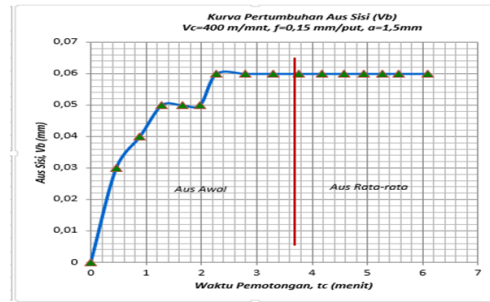
**Gambar 10.**

(a). Observasi Permukaan Alat Potong  
(b). Hasil Pembacaan EDS

Kecepatan pertumbuhan aus sisi dan kerusakan alat potong yang terjadi pada kecepatan potong 400 m/menit sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 11 berikut:



**Gambar 11.** Sisi Alat Potong Pada  $V$  400 m/mnt

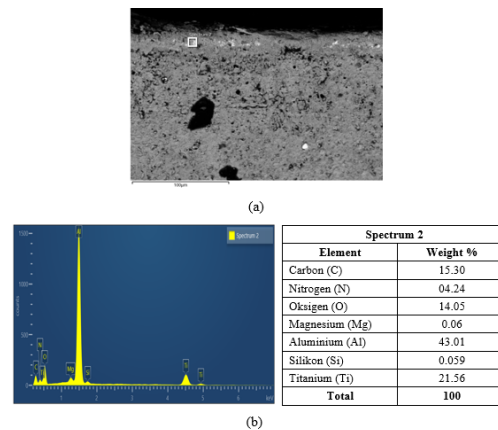


**Gambar 12.**

Kurva Pertumbuhan  $V_b$  pada  $V$  400 m/mnt

Pemotongan selama enam menit mengakibatkan pahat mengalami aus pada daerah aus rata-rata yang dimulai dari tiga menit hingga enam menit dengan laju pertumbuhan aus sisi sebesar besar  $V_B = 0,06$  mm adalah  $0,06/(6 \times 60) = 0,0001666$  mm/dtk. Dari Gambar 5.5 diatas dapat dilihat bahwa aus sisi terjadi merata pada sisi potong alat potong. Masih ditemukan BUE sebagaimana pada pemotongan Alumunium 6061 pada kecepatan potong 200 m/menit.

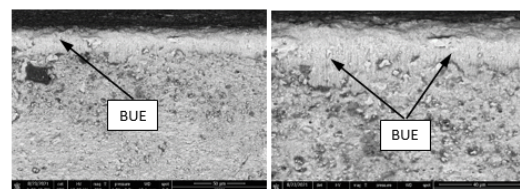
Keutuhan lapisan melalui observasi dengan menggunakan EDS sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 13 dibawah ini:



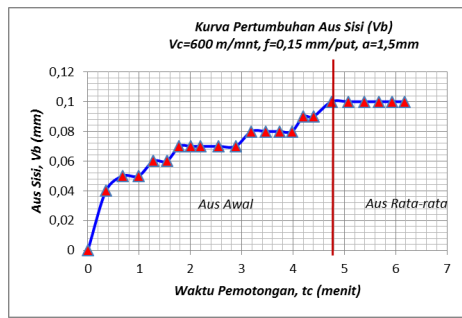
**Gambar 13.**

(a). Observasi Permukaan Alat Potong  
(b). Hasil Pembacaan EDS

Kurva pertumbuhan aus sisi dan keadaan alat potong pada kecepatan potong 600 m/menit dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15 berikut:



**Gambar 14.** Sisi Alat Potong Pada  $V_c$  600 m/mnt

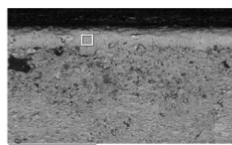


**Gambar 15.**

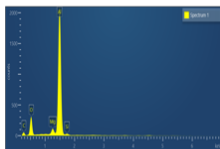
Kurva Pertumbuhan  $VB$  pada  $V_c$  600 m/mnt

Aus rata-rata dimulai dari menit ke tiga hingga menit ke enam dengan besar  $VB = 0,1$  mm dan kecepatan pertumbuhan aus sisi adalah sebesar  $0,1/(6 \times 60) = 0,0002777$  mm/dtk lebih cepat jika dibandingkan dengan kecepatan potong 200 dan 400 m/menit. Sepanjang sisi alat potong yang digunakan untuk pemotongan yaitu sepanjang 1,5 mm masih dijumpai BUE.

Keutuhan lapisan pada kategori pemotongan tinggi dilakukan pengamatan dengan hasil unsur pelapis berupa TiAlN tidak terdetek disebabkan permukaan pengamatan ditutupi dengan banyaknya chip yang menempel yaitu unsur bahan baku Aluminium sebesar 65,92% dan 51,9% seperti Gambar 16 berikut:



(a)



(b)

Spectrum 1	
Element	Weight %
Carbon (C)	0.60
Oksigen (O)	0.72
Magnesium (Mg)	02.29
Aluminium (Al)	65.92
Silicon (Si)	01.01
<b>Total</b>	<b>100</b>

**Gambar 16.**

(a). Observasi Permukaan Alat Potong (b). Hasil Pembacaan EDS

### 3. KESIMPULAN

Hasil pemotongan dan pengamatan unsur pelapis terhadap pemotongan paduan Aluminium 6061 dengan menggunakan pahat karbida berlapis Titanium Aluminium Nitrida (TiAlN) pada kecepatan potong 200, 400 dan 600 m/menit disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada kondisi pemotongan rendah dengan kecepatan potong 200 m/menit besarnya aus sisi yang terjadi masih berada pada daerah aus rata-rata (Uniform Wear Rate) yang dimulai dari tiga menit setelah pemotongan hingga akhir pemotongan yaitu itu selama 6 menit. Rata-rata pertumbuhan aus sisi dengan waktu pemotongan selama 6 menit dan besar  $VB =$

$0,06$  mm adalah  $0,06/(6 \times 60) = 0,0001666$  mm/dtk dan dijumpai bahan dasar alat potong berupa Wolfram (W) sebesar 44,84 % dan Cobalt (Co) sebesar 3,28 %. Permukaan penampang alat potong didominasi dengan BUE.

2. Pemotongan selama enam menit pada kecepatan potong 400 m/menit mengakibatkan pahat mengalami aus pada daerah aus rata-rata yang dimulai dari tiga menit hingga enam menit dengan laju pertumbuhan aus sisi sebesar besar  $VB = 0,06$  mm adalah  $0,06/(6 \times 60) = 0,0001666$  mm/dtk dan tidak dijumpainya bahan dasar pahat artinya unsur bahan pelapis berupa Titanium Aluminium Nitrida (TiAlN) masih utuh, Permukaan alat potong didominasi oleh Built Up Edge.
3. Pemotongan kategori Tinggi aus rata-rata sebesar  $VB = 0,1$  mm dan kecepatan pertumbuhan aus sisi adalah sebesar  $0,1/(6 \times 60) = 0,0002777$  mm/dtk. Unsur pelapis berupa TiAlN tidak terdetek disebabkan permukaan pengamatan ditutupi dengan banyaknya chip yang menempel yaitu unsur bahan baku Aluminium sebesar 65,92% dan 51,9%.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abhang, L.B., 2010, Chip-Tool Interface Temperature Prediction Model for Turning Process. *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 2(4), 2010, 382-393.
- Dearnley, P.A. dan Greason, A.N., 1986, Evaluation of Principal Wear Mechanism of Cemented Carbides and Ceramic Used for Machining Titanium Alloy. *IMI 318. Mat. Sci. And Technol. 2: 47-58.*
- Dawson T. G. dan Kurfess T.R., 2002, *Machining Hardened Steel with Ceramic-Coated and Uncoated CBN Cutting Tools*. Manufacturing Engineers.
- Ginting, A., 2003, High Speed Machining of AISI 01 Steel With Multilayer Ceramic CVD-Coated carbide; Tool Life and Surface Integrity, *majalah IPTEK, Vol 14, No. 3, Agustus 2003.*
- ISO 3685 (1977) Second Edition 1993.
- Marinof. V., --, *Manufacturing Technology.*
- Nouari M., G. List., F. Girod., D. Coupard, 2003, Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys.
- Rochim. T., 1993, *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. Higher Education Development Support Project. Jakarta. Mei.
- S. Sharif, Mohruni A. S., Jawaid A., 2008, Face Milling of Titanium Alloy Ti-62 using PVD-TiN Coated Carbide Tools. *Advance in Manufacturing And Industrial Engineering*. Universiti Teknologi Malaysia.