

Optimasi Umur Pahat Karbida TiN: Studi Eksperimental dengan Variasi Kecepatan Potong dan Metode Taylor

Arfan Halim^{a*}, Ilmawan Suryapradana^a, Dedy Sufriansyah^a, Masnur^a

^aProdi Perawatan Mesin, Politeknik Sinar Mas Berau Coal

Jl. Raja Alam II, Rinding – Kabupaten Berau

*E-mail: arfan.halim@polteksimasberau.ac.id

Abstract

The use of carbide cutting tools is prevalent in the metal cutting industry, with previous research demonstrating that carbide cutting tools have higher durability compared to conventional cutting tools. This study describes the testing conducted to determine the life and wear of TiN carbide tools, thereby supplementing machining variable data related to tool life. The research was conducted by examining the effects of cutting conditions with variations in cutting speed while keeping other parameters (feed rate and depth of cut) constant. The aim of this study is to determine the life of carbide tools used in the turning process of shafts. The results indicate that for TiN carbide tools at a cutting speed of 92.45 m/min, wear occurred at the 220th minute with a VB value of 0.92 mm, whereas at a cutting speed of 56.33 m/min, wear occurred at the 420th minute with a VB value of 0.53 mm. Empirically, the tool life for the turning process conditions was analyzed using the Taylor tool life method. From the testing results of TiN carbide tool life at the cutting speed combinations of 56.33 m/min and 92.45 m/min, an exponent value of $n = 0.7857$ and a constant $CT = 3.8086$ were obtained, resulting in the tool life equation $V.T^{0.7857} = 3.8086$.

Keywords: flank wear (VB), cutting speed (VC), tool life, Taylor method, TiN

Abstrak

Penggunaan alat potong karbida banyak digunakan oleh industri pemotongan logam, dengan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa alat potong karbida memiliki daya tahan lebih tinggi dibandingkan alat potong biasa. Penelitian ini menjelaskan pengujian untuk menentukan umur dan keausan pahat karbida TiN, yang dapat melengkapi data variabel permesinan terkait masa pakai pahat. Penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan pengaruh kondisi pemotongan, di mana kecepatan potong divariasikan sementara parameter lainnya (gerak makan dan kedalaman potong) tetap. Tujuan penelitian ini adalah menentukan umur pahat karbida yang digunakan dalam proses pembubutan poros. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pahat karbida TiN dengan kecepatan potong 92,45 m/menit, keausan terjadi pada menit ke 220 dengan nilai VB 0,92 mm, sedangkan pada kecepatan potong 56,33 m/menit, keausan terjadi pada menit ke 420 dengan nilai VB 0,53 mm. Secara empiris, umur pahat untuk kondisi proses pembubutan dianalisis menggunakan pendekatan metode umur pahat Taylor. Dari hasil pengujian umur pahat karbida TiN pada kombinasi kecepatan potong (VC) 56,33 m/menit dan 92,45 m/menit, diperoleh nilai eksponen $n = 0,7857$ dan konstanta $CT = 3,8086$ sehingga persamaan umur pahat adalah $V.T^{0,7857} = 3,8086$.

Kata kunci: aus sisi (VB), kecepatan potong (VC), umur pahat, metode Taylor, TiN

1. Pendahuluan

Keausan umumnya didefinisikan sebagai hilangnya material secara bertahap yang terjadi melalui beberapa proses yang dapat berlangsung sendiri-sendiri atau bersamaan. Mekanisme keausan sangat terkait dengan gesekan. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan reaksi material terhadap proses eksternal, seperti kontak permukaan. Semua bahan, termasuk alat potong, mengalami keausan melalui berbagai proses. Salah satu alat yang paling banyak digunakan dalam industri pemotongan logam adalah pahat karbida tipe karbida berlapis. Bahan dasar pahat karbida ini biasanya terbuat dari tungsten karbida (WC+Co) yang dilapisi dengan lapisan titanium nitrida (TiN), titanium karbida (TiC), titanium karbonitrida (TiCN), dan titanium aluminium oksida (Al₂O₃) [1]. Ding et al, meneliti koefisien gesekan dari lapisan TiAlN dan menemukan bahwa lapisan ini memiliki koefisien gesekan yang lebih rendah dibandingkan dengan lapisan titanium nitrida (TiN) dan titanium karbonitrida (TiCN). Penurunan koefisien gesekan ini secara signifikan mengurangi keausan alat, yang pada gilirannya meningkatkan umur pakai alat pemotong. Selain itu, penelitian tersebut juga menemukan bahwa kekerasan lapisan TiAlN bervariasi tergantung pada parameter deposisi, dengan kekerasan yang lebih tinggi berkaitan dengan peningkatan ketahanan terhadap keausan [2]. Geng et al, menyelidiki pembentukan oksida pada lapisan TiAlN dan menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, lapisan ini membentuk oksida pelindung yang dapat

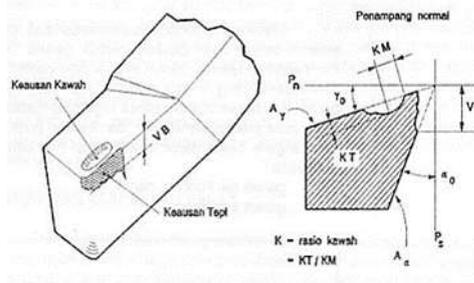
meningkatkan stabilitas termal dan ketahanan terhadap oksidasi. Pembentukan lapisan oksida pelindung ini memungkinkan lapisan TiAlN untuk mempertahankan strukturalnya dalam kondisi operasi yang keras, seperti pada suhu tinggi dan lingkungan korosif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lapisan TiAlN tidak hanya efektif dalam mengurangi gesekan dan keausan tetapi juga memberikan perlindungan yang signifikan terhadap oksidasi [3]. Zheng et al, meneliti berbagai mekanisme keausan seperti chipping, retak, keausan adhesif, keausan abrasif, oksidasi, dan keausan difusi pada pahat potong karbida TiAlN/TiN yang dilapisi PVD selama pembubutan keras baja. Hasil penelitian ini menemukan bahwa lapisan pelindung yang terbentuk dari Si-O dan Ti-O mampu mengurangi koefisien gesekan secara signifikan. Hal menunjukkan bahwa selain mengurangi keausan, lapisan pelindung tersebut juga membantu meningkatkan performa dan umur pakai alat pemotong dalam aplikasi pembubutan keras [4]. Halim et al, menyelidiki keausan alat pada pembubutan poros menggunakan karbida berlapis TiAlN(Al₂O₃)/TiN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan ini secara signifikan mengurangi keausan alat, termasuk chipping, retak, keausan adhesif, dan keausan abrasif. Selain itu, lapisan oksida yang terbentuk pada suhu tinggi membantu mengurangi koefisien gesekan dan meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi. Secara keseluruhan, penggunaan lapisan TiAlN(Al₂O₃)/TiN terbukti efektif dalam meningkatkan performa pemotongan dan umur pakai alat dalam proses pembubutan poros [5,6]. Da Silva et al, pada penelitiannya mengamati pengaruh pahat karbida berlapis TiAlN dalam kondisi permesinan kering dan basah pada material baja AISI 1047. Umur pahat yang lebih lama didapatkan ketika aliran pelumasan rendah digunakan dan hasil peningkatan keausan sisi yang meningkat secara signifikan dalam hal umur pahat diperoleh ketika kecepatan potong yang lebih rendah digunakan [7]. Masa pakai pahat dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk proses pemesinan, material benda kerja dan pahat, geometri pahat, kondisi pemotongan, serta jenis cairan pendingin yang digunakan [8]. Usca et al, mengevaluasi keausan alat potong, kekasaran permukaan, suhu pemotongan, dan morfologi chip pada alat potong karbida berlapis Al/TiN dalam pemesinan komposit matriks keramik berbasis CueBeCrC. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa alat potong karbida berlapis Al/TiN mengalami keausan yang lebih lambat dibandingkan dengan alat potong tanpa pelapisan saat digunakan dalam pemesinan komposit matriks keramik berbasis CueBeCrC. Lapisan Al/TiN memberikan perlindungan tambahan yang mengurangi tingkat keausan alat [9]. Penelitian ini mengkaji penggunaan mesin bubut untuk memproses komponen cam-shaft yang telah dilapisi dengan material E7016. Dalam penelitian ini, hanya kecepatan potong yang dimodifikasi sementara faktor lainnya tetap konstan. Tujuan penelitian adalah untuk menentukan umur pahat karbida dan proses pemotongan yang optimal untuk pembubutan cam-shaft yang telah melalui pengerasan dengan metode pelapisan las E7016. Hasil penelitian ini memberikan data mengenai umur pahat dan parameter pemotongan yang dapat digunakan dalam penyusunan *Teaching Factory*.

Mekanisme Keausan dan Kerusakan Pahat Karbida

Dalam proses pembubutan, pembentukan *chip* berlangsung yang dapat mengakibatkan kegagalan pahat dari fungsi yang standar karena berbagai alasan antara lain :

- a. Keausan yang secara bertahap membesar pada bidang aktif pahat.
- b. Retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada sudut pemotongan pahat.
- c. Deformasi plastis yang akan mengakibatkan perubahan bentuk/geometri pahat.

Tipe kerusakan yang terakhir disebabkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat dimana kekerasan dan material pahat akan menurun bersama dengan naiknya temperatur pemotongan [10].

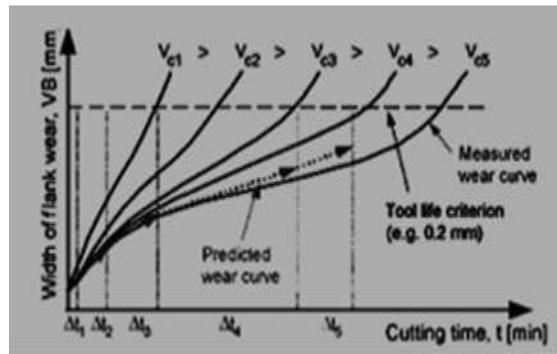


Gambar 1. Keausan kawah dan tepi.

Umur Pahat

Keausan alat potong meningkat seiring bertambahnya waktu pemotongan ke titik-titik tertentu di mana peralatan tidak lagi dapat digunakan. Semakin besar keausan yang diderita pahat maka kondisi pahat akan mengalami kegagalan. Penggunaan pahat secara terus menerus akan menyebabkan peningkatan keausan dan dalam beberapa kasus kerusakan mata potong.

Dengan menetapkan syarat untuk akhir masa pakai pahat ditentukan mulai dari penggunaan pahat baru (setelah diasah atau insert diganti) hingga pahat tersebut dianggap tidak layak digunakan. Dimensi masa pakai dapat berupa besaran waktu, yang bisa dihitung secara langsung atau tidak langsung dengan mengkorelasikan terhadap besaran lain. Ini bertujuan untuk mempermudah prosedur perhitungan sesuai dengan tipe pekerjaan.



Gambar 2. Grafik Keausan kawah dan tepi.

Persamaan yang menggambarkan hubungan antara kecepatan potong dan umur pahat diperkenalkan oleh FW Taylor pada tahun 1907. Hubungan ini menggambarkan nilai tetap untuk batas panjang keausan serta spesifikasi alat potong dan benda kerja sebagai berikut:

$$V \cdot T^n = CT \quad (1)$$

Dimana :

CT = konstanta umur pahat Taylor, setara dengan kecepatan potong untuk 1 menit umur pahat

V = kecepatan potong

n = harga eksponen, merupakan kemiringan (slope) fungsi linier $n = \tan = y/x$

Perhitungan Panas Pemotongan

Energi mekanik dalam proses pemotongan, yang bebas getaran seluruhnya diubah menjadi panas atau kalor. Energi mekanik merupakan persatuan waktu atau daya mekanik yang diubah menjadi energi panas persatuan waktu [10] :

$$Q = \frac{F_v \cdot V_c}{60} \quad (2)$$

Dimana :

Fv = Gaya potong (N)

Vc = Kecepatan potong (m/min)

$$F_v = K_s \cdot A \quad (3)$$

Dimana :

Ks = Gaya Potong spesifik (N/mm²)

A = Penampang geram sebelum terpotong (mm²)

$$K_s = K_{s\ 1.1} \cdot h^{-z} \quad (4)$$

Dimana :

K_{s 1.1} = Gaya potong spesifik referensi (N/mm²)

h = Tebal Geram sebelum terpotong (mm²)

z = Pangkat tebal geram

2. Material dan Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, eksperimen digunakan dan diterapkan langsung pada subjek. Bentuk paling sederhana dari penelitian ini adalah dengan menggunakan metode “*Variable Speed Machining Test*” untuk mendapatkan keputusan yang memberikan tool life yang baik. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan potong. Nilai eksponen n dan konstanta CT diperoleh dari persamaan umur pahat Taylor, kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan grafik.

Tujuan Penelitian

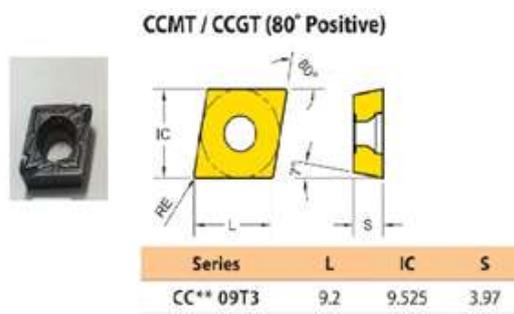
Objek penelitian yang dianalisa dalam penelitian ini adalah :

- Menganalisa keausan tepi (VB) pada pahat karbida.
- Pengaruh kecepatan potong yang divariasikan terhadap umur pahat.
- Menentukan harga eksponen n dan konstanta CT dari persamaan umur pahat Taylor dengan metode grafik.

Material

- Material benda kerja yang digunakan pada penelitian adalah *cam-shaft* dengan dimensi panjang 1.000 mm dan diameter 39 mm dan telah dilakukan pelapisan permukaan dengan proses pengelasan menggunakan material elektroda E7016.
- Pahat karbida yang digunakan dalam penelitian ini adalah insert carbide CCMT09T308-PSF AH725 PVD TiN, memiliki radius 0,8 mm, ketebalan 3,97 mm dan sudut pemotongan 80°.
- Mesin Bubut yang digunakan pada penelitian ini adalah Krisbow KW15-979. Dengan spesifikasi motor 1,5 KW; 1.400 Rpm dan putaran spindle maksimum 2.000 Rpm

- d. Peralatan ukur yang digunakan untuk mengukur panjang keausan tepi (VB) adalah Microscope Series MIT 300/500.



Gambar 3. Pahat karbida TiN



Gambar 4. Bahan uji Cam-Shaft yang telah dilapisi permukaannya dengan material E7016

Tabel 1. Sifat mekanis pahat insert karbida TiN

Coating Material Variant	TiN
Composition	TiN
Coating Thickness (μm)	2.0
Hardness (GPa)	28
Young Modulus (GPa)	530
Residual Stress (GPa)	-4.2 ± 0.7

Prosedur Pengujian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menganalisa keausan pahat insert karbida TiN dengan prosedur sebagai berikut :

- Memotong material *cam-shaft* dengan gerak makan (f) 0.52 mm/rev, kedalaman potong (a) 0,2 mm dan waktu pemotongan 420 menit selanjutnya dilakukan pengukuran keausan tepi (VB maks = 0,6 mm). Variasi kecepatan potong dilakukan yaitu 56,33 m/menit dan 92,45 m/menit.
- Lakukan pengukuran keausan pahat karbida (VB) dengan *Tool Maker Microscope* setelah proses pengujian dilakukan.
- Hasil foto makro selanjutnya dilakukan pembahasan dan analisa untuk mendapatkan kesimpulan tentang kerusakan pahat sebagai dampak dari perlakuan pelapisan permukaan material dengan E7016.
- Pada percobaan kedua dilakukan pembubutan kembali dengan perubahan sesuai dengan percobaan awal, kemudian dilakukan proses evaluasi keausan tepi (VB).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

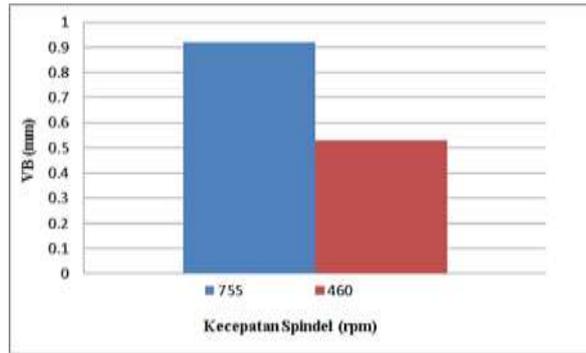
Untuk menentukan tingkat keausan pada pahat insert karbida, dilakukan pengambilan foto makro menggunakan Mikroskop Series MIT 300/500 di Laboratorium Uji Bahan Poltek Simas Berau. Hasil citra makro kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai keausan tepi (VB) pahat karbida. Pengujian lanjutan dilakukan untuk menemukan kondisi parameter pemotongan yang memberikan umur pahat karbida yang optimal.

Keausan Tepi (VB) dan Umur Pahat

Umur pahat adalah total waktu pemotongan (t_c) hingga akhir waktu keausan ($VB_{maks} = 0,2$ s/d 0,6 mm) dengan waktu pemotongan lebih dari 5 menit [10].

Tabel 2. Hubungan putaran spindel terhadap aus tepi (VB)

Uji	N (Rpm)	Vc (m/menit)	a (mm)	f (mm/rev)	t_c (menit)	VB (mm)
1	755	92,45	0,2	0,52	220	0,92
2	460	56,33	0,2	0,52	420	0,53



Gambar 5. Grafik kecepatan spindel terhadap aus tepi (VB)

Pada gambar 5 dapat dilihat, nilai keausan tepi (VB) pahat karbida berturut-turut yaitu 0,92 mm dan 0,53 mm pada masing-masing putaran 755 rpm dan 460 rpm. Secara keseluruhan data pengujian menunjukkan bahwa keausan tepi meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan putaran spindel. Berdasarkan spesifikasi nilai kecepatan potong (VC) yang disarankan pada pahat karbida TiN adalah 50 – 150 m/menit, sehingga didapatkan nilai kecepatan potong optimal yaitu 56,33 m/menit.

Fenomena Keausan Pahat Karbida

VC = 56,33 m/menit

Keausan yang terjadi disebabkan oleh proses abrasi yang terjadi karena gesekan antara geram dengan bidang geram dan bidang utama pahat. Proses abrasi ini selanjutnya membesar baik pada bidang utama pahat maupun pada bidang geram. Pada bidang utama proses abrasi ini akan menjadi keausan tepi (VB) sedangkan pada bidang geram akan membuat permukaan bidang geram akan bertambah kasar. Sehingga semakin lama pahat digunakan akan menyebabkan keausan yang mengakibatkan permukaan benda kerja yang dibubut bertambah kasar, gaya pemotongan yang terjadi bertambah besar ditandai dengan bunyi pada proses pembubutan yang bertambah keras. Keausan akibat proses abrasi ini akan terus meningkat sampai mencapai batas kritis nilai keausan pahat.

Proses keausan yang terjadi karena adanya partikel yang keras pada benda kerja yang bergesekan dengan aliran material benda kerja pada bidang utama dan bidang geram. Proses ini akhirnya menyebabkan keausan tepi (VB), bagi pahat karbida pengaruh proses abrasi ini tidak begitu dominan karena mayoritas struktur pahat karbida terbuat dari karbida yang sangat keras, dapat dilihat pada gambar 6.

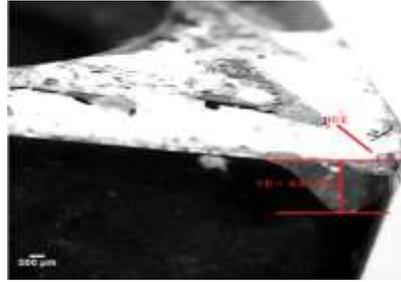


Gambar 6. Mekanisme abrasif pada bidang utama dan geram pahat karbida TiN

VC = 92,45 m/menit

Pada kecepatan ini, keausan tepi (VB) akibat proses abrasi terbentuk semakin cepat dan lebih besar sehingga aus tepi yang terjadi semakin cepat mencapai batas kritis. Besarnya keausan tepi yang terjadi pada kecepatan ini dinyatakan dengan permukaan bidang utama pahat lebih kasar. Keausan ini disebabkan oleh gesekan antara aliran material benda kerja pada bidang geram dan bidang utama pahat. Selain proses abrasi, proses kimiawi aktif terjadi dimana material benda kerja yang baru saja terpotong langsung menempel pada bidang geram dan bidang utama pahat didekat mata potong. Proses kimiawi terjadi dikarenakan permukaan material benda kerja yang baru terbentuk sangat kimiawi aktif sehingga mudah bereaksi kembali dengan udara atau cairan pendingin (*coolant*) dan melekat pada permukaan pahat sehingga akan mengurangi derajat penyatuan benda kerja dengan permukaan pahat, sehingga proses keausan akibat gesekan akan terjadi lebih cepat.

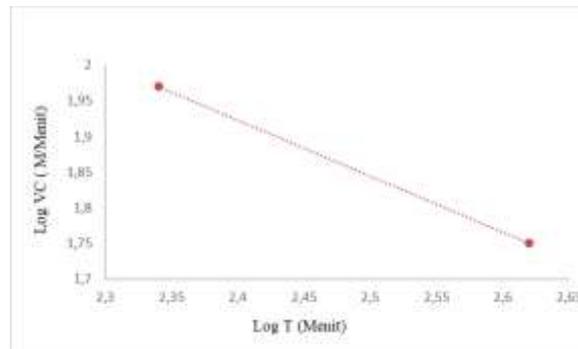
Dapat dilihat pada gambar 7, keausan yang terjadi pada kecepatan ini juga disebabkan oleh adanya gaya adhesi. Gaya adhesi ini akan mengakibatkan penumpukan tatalan pada mata potong yang terkenal dengan nama BUE (*Built Up Edge*). BUE terbentuk sangat besar dan lebih cepat pada mata potong. Akibat adanya gaya adhesi maka BUE yang terbentuk sangat besar, pada kecepatan ini keausan tepi (VB) dan penumpukan logam pada mata potong terbentuk lebih cepat sehingga terbentuk batas kritis keausan tepi (VB) maksimal [11].



Gambar 7. Mekanisme adhesi dan pembentukan BUE pada pahat karbida TiN

Umur Pahat

Umur pahat dapat diprediksi menggunakan metode perhitungan empiris, seperti persamaan umur pahat Taylor. Pengujian akan menghasilkan grafik yang menunjukkan hubungan antara umur pahat dan kecepatan potong. Dari data ini, dibuat grafik doble-logaritma, yang memungkinkan umur pahat diperlakukan sebagai fungsi dari kecepatan potong, dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik laju keausan pahat karbida TiN untuk menentukan harga n dan CT (*Taylor Equation*)

Untuk menentukan harga eksponen n dan konstanta CT dapat dicari dengan metode grafik. Dari grafik bisa dilihat kemiringan harga eksponen n diperoleh dari kemiringan grafik dimana $n = \tan \alpha$ atau perbandingan nilai y/x. Dan konstanta CT dapat diperoleh dengan ekstrapolasi n pada T = 1 menit yang merupakan perpanjangan garis linear n. Dari perhitungan tersebut akan didapat harga n dan harga CT.

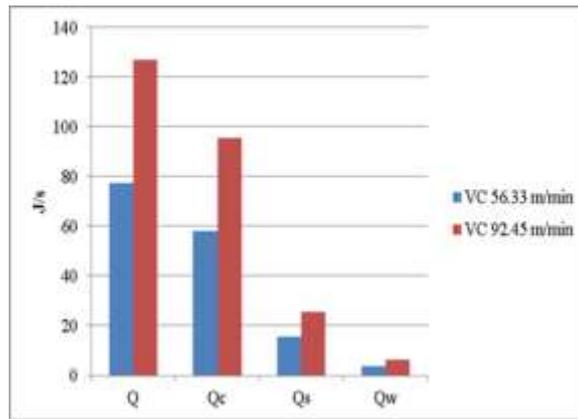
Dari analisis tersebut akan diperoleh harga eksponen n dan konstanta CT. Hasil pengujian umur pahat karbida TiN pada kombinasi kecepatan potong (VC) 56,33 m/menit dan 92,45 m/menit, diperoleh nilai eksponen $n = 0,7857$ dan konstanta $CT = 3,8086$ sehingga persamaan umur pahat $V.T^{0,7857} = 3,8086$. Nilai eksponen Taylor $n = 0.7857$ menunjukkan bahwa umur pahat karbida sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong. Peningkatan kecepatan potong akan mengurangi umur pahat secara signifikan, meskipun tidak secepat jika nilai n mendekati 1. Hal ini berarti umur pahat berkurang dengan cepat saat kecepatan potong meningkat. Temuan ini membantu dalam pengaturan kecepatan potong yang ideal untuk mencapai keseimbangan antara produktivitas dan daya tahan alat.

Panas Pemotongan

Energi mekanik dari proses pemotongan sepenuhnya diubah menjadi panas atau panas tanpa getaran. Energi mekanik adalah satuan waktu atau energi mekanik yang diubah menjadi energi panas per satuan waktu. Sehingga panas yang dihasilkan pada proses pemotongan dengan metode *variable speed machining test*, dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Panas pemotongan terbawa oleh geram, pahat dan benda kerja

Tebal Pemotongan (a) mm	Kecepatan Potong (VC) m/min	Gaya potong (Fv) N	Panas Total (Q) J/s	Panas terbawa geram (Qc) 75% J/s	Panas terbawa oleh pahat (Qs) 20% J/s	Panas terbawa benda kerja (Qw) 5% J/s
0,2	56,33	82,52	77,47	58,11	15,49	3,87
0,2	92,45	82,52	127,15	95,36	25,43	6,36



Gambar 9. Panas pemotongan terhadap keausan pahat karbida TiN

Dapat dilihat pada gambar 9, hasil analisis menunjukkan bahwa panas total (Q) yang dihasilkan berpengaruh langsung terhadap keausan tepi pada pahat insert karbida. Pada kecepatan potong (VC) 56,33 m/menit, panas total yang dihasilkan adalah 77,47 J/s. Namun, pada kecepatan potong yang lebih tinggi, yaitu 92,45 m/menit, panas total meningkat menjadi 127,15 J/s. Peningkatan panas total ini menunjukkan bahwa kecepatan potong yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak panas, yang pada akhirnya mempercepat proses keausan tepi pahat. Sehingga pemilihan kecepatan potong yang tepat sangat penting untuk mengurangi keausan pahat dan memastikan umur alat yang lebih lama.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan pengaturan parameter permesinan yang tepat agar menghasilkan keausan pahat yang minimum dalam proses pembubutan *cam-shaft* (TEFA), hal tersebut diperoleh pada pengaturan variabel proses putaran poros utama (spindel) 460 rpm dengan kecepatan potong (VC) 56,33 m/menit. Dari pengujian pahat karbida berlapis TiN dengan metode *variable speed machining test* dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran spindel berpengaruh terhadap keausan dan temperatur panas pemotongan pahat karbida. Pada kecepatan potong 92,45 m/menit diperoleh nilai keausan tertinggi (VB) sebesar 0,92 mm dengan waktu pemotongan 220 menit dan pada kecepatan potong 56,33 m/menit diperoleh nilai keausan terendah (VB) 0,53 mm dengan waktu pemotongan 420 menit. Selanjutnya dalam pendekatan umur pahat dengan persamaan Taylor, diperoleh nilai eksponen $n = 0,7857$ dan konstanta $CT = 3,8086$. Sehingga persamaan umur pahat Taylor adalah $V.T^n = CT \leftrightarrow V.T^{0,7857} = 3,8086$.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Workshop dan UPPM Politeknik Sinar Mas Berau Coal yang telah membantu menyediakan material dan fasilitas pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Kıvık T, Sarıkaya M, Yıldırım ÇV, Şirin Ş. Study on turning performance of PVD TiN coated Al₂O₃+ TiCN ceramic tool under cutting fluid reinforced by nano-sized solid particles. *J Manuf Process*. 2020;56:522–39.
- [2] Ding Z, Miao Q, Liang WP, Yang ZG, Yi JW, Lin H. Tribological behavior of TiAlN-coated TA19 alloy at elevated temperatures. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing; 2020. p. 12085.
- [3] Geng Z, Shi G, Shao T, Liu Y, Duan D, Reddyhoff T. Tribological behavior of patterned TiAlN coatings at elevated temperatures. *Surf Coat Technol*. 2019;364:99–114.
- [4] Zheng G, Li L, Li Z, Gao J, Niu Z. Wear mechanisms of coated tools in high-speed hard turning of high strength steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018;94(9):4553–63.
- [5] Arfan Halim ISDS. Experimental investigation of tool wear TiAlN(Al₂O₃)/TiN-coated carbide in the cam-shaft turning process. *Jurnal Polimesin*. 2022 Aug 31;22(3):155–61.
- [6] Halim A, Ilmawan S, Dedy S. Pengaruh Putaran Spindel dan Depth of Cut Material AISI 4140 untuk Pembuatan Bushing pada Proses Bubut Konvensional. *ROTASI*. 23(4):8–17.
- [7] Da Silva RB, Vieira JM, Cardoso RN, Carvalho HC, Costa ES, Machado AR, et al. Tool wear analysis in milling of medium carbon steel with coated cemented carbide inserts using different machining lubrication/cooling systems. *Wear*. 2011;271(9–10):2459–65.
- [8] Sousa VFC, Silva FJG, Alexandre R, Fecheira JS, Silva FPN. Study of the wear behaviour of TiAlSiN and TiAlN PVD coated tools on milling operations of pre-hardened tool steel. *Wear*. 2021;476:203695.
- [9] Usca ÜA, Uzun M, Şap S, Kuntoğlu M, Giasin K, Pimenov DY, et al. Tool wear, surface roughness, cutting temperature and chips morphology evaluation of Al/TiN coated carbide cutting tools in milling of Cu–B–CrC based ceramic matrix composites. *Journal of Materials Research and Technology [Internet]*. 2022;16:1243–59.

- [10] Rochim T. *Perkakas & Sistem Pemerkakasan*. Bandung: ITB. 2007;
- [11] Budiman H, Richard R. Analisis Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan Metoda Variable Speed Machining Test. *Jurnal Teknik Mesin*. 2007;9(1):pp-31.