

PERFORMANSI HASIL PAHAT KARBIDA TIN PADA PROSESBUBUT DENGAN PEMESINAN HIJAU BAJA TEW 6582

Suhardi Napid¹⁾, Abdul Haris Nasution²⁾,

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UISU

suhardi.napid@uisu.ac.id; aharisnst@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Kini pemesinan basah masih diaplikasikan tetapi memiliki dampak terhadap biaya, kesehatan dan lingkungan. Penelitian dengan tujuan mengetahui kemampumesinan baja TEW 6582 dengan pemesinan hijau. Pahat dan parameter pemotongan dipilih untuk mengkaji hasil performansi pahat tentang pertumbuhan aus pahat, ragam kegagalan pahat, mekanisme aus pahat, umur pahat dan merumuskan umur pahat menggunakan model matematika. Untuk keausan tepi (VB) 0,1 mm, 0,3 mm dan 0,6 mm dapat dihasilkan sembilan sampel uji pahat hasil pemesinan hijau menggunakan mikroskop optik dengan kecepatan potong (V) 200 m/min, 250 m/min, 300 m/min, pemakanan (f) 0,15 mm/r, 0,2 mm/r, 0,25 mm/r dan kedalaman potong (a) 1 mm, 1,5 mm, 2 mm. Untuk mengkaji pahat digunakan SEM kemudian data eksperimen diolah dan dianalisa dengan metode Taguchi $L_9(3^4)$. Keausan pahat karbida TiN dipengaruhi oleh parameter potong, suhu dan geometri pahat. Hasil pemotongan optimum diperoleh dengan pemesinan hijau pada kecepatan potong 200 m/min, kedalaman potong 0,1 mm, pemakanan 0,15 mm/rev dan sudut potong 6° . Kondisi pemotongan memberikan umur pahat sebesar 2434 detik. Bila kondisi pemotongan ini dilakukan dengan pemesinan basah didapati bahwa umur pahat 2520 detik. Perbedaan umur pahat antara pemesinan hijau dan basah tidak signifikan jadi sangat menjanjikan pemesinan hijau diaplikasikan pada industri manufaktur dan otomotif.

Kata-Kata Kunci : Pahat Karbida- Bubut Pemesinan Hijau – Baja TEW 6582

I. PENDAHULUAN

Dari data bahwa 100 persen ongkos produksi, 16 persen dari padanya adalah sumbangan untuk cairan pemotongan yang mana harus dikeluarkan (Canter, 2003). Biaya 16 % ini bila dikonversikan kepada total ongkos produksi dari industri otomotif di Amerika mencapai 48 milyar dolar, 1 milyar mark di Jerman dan 78 milyar yen di Jepang (Hattori, 2004). Berdasarkan nilai di atas, cairan pemotongan disarankan ditiadakan maka dapat dibayangkan berapa nilai yang dapat dihemat sehingga nilai jual produk dapat direduksi. Walaupun saran tersebut kelihatan nya menjanjikan suatu langkah menuju perbaikan ongkos produksi, tetapi saran untuk mentiadakan cairan pemotongan yang utama ternyata bukan disebabkan oleh masalah cairan pemotongan, melainkan karena alasan dampak lingkungan. Cairan pemotongan bekas sebesar 650.000 ton/tahun telah dihasilkan oleh industri otomotif di Jerman (Tonshoff dan Mohfeld, 1997). Biasanya cairan pemotongan ini dikemas dalam kontainer dan ditimbun di tanah. Bayangkan berapa jumlah cairan pemotongan bekas yang harus dibuang ke alam ini apabila kita mencoba memperhitungkan jumlah yang dihasilkan oleh seluruh industri manufaktur di dunia. Dari aspek pengaruh cairan pemotongan terhadap manusia (Tonshoff dan Mohfeld, 1997) dan (Sreejith dan Ngoi, 2000) melaporkan bahwa cairan pemotongan dapat mengakibatkan gangguan kesehatan bagi operator seperti gangguan pernafasan dan kulit.

Dari paparan diatas terlihat bahwa masalah cairan pemotongan dan ancaman cairan pemotongan bekas merupakan hal yang mesti diperhitungkan. Sreejith dan Ngoi (2000) melaporkan bahwa Undang-Undang lingkungan telah diberlakukan untuk Industri untuk menangani cairan pemotongan bekas ini dengan tepat. Namun penanganan yang tepat memerlukan biaya yang besar. Hal ini dapat di lihat di Amerika serikat diperlukan biaya dua kali lebih besar dari harga cairan pemotongan dan di Eropah diperlukan biaya empat kali dari harga cairan pemotongan untuk menguraikan cairan pemotongan bekas tersebut agar aman untuk dibuang ke alam bebas. Hal ini bukan penyelesaian karena akan meningkatkan lagi ongkos produksi yaitu dari 16 % biaya cairan pemotongan di tambah persen dari biaya penguraian cairan pemotongan bekas sehingga dapat di buang ke alam bebas. Pada proses pemesinan untuk memfabrikasi produk-produk manufaktur, biasanya jumlah cairan pemotongan yang digunakan adalah 25 liter per menit untuk operasi bubut dan 225 liter per menit untuk satu pahat pada operasi frais (Kalpakjian 1995). Sebagai contoh dari industri penghasil produk-produk manufaktur yang terbuat dari bahan baja paduan kelas tinggi, seperti poros pompa, roda gigi dan baut kereta api yang menggunakan mesin bubut CNC dengan kapasitas tanki cairan pemotong 75 liter (Pairin 2004), apabila masa pakai cairan pemotong tersebut adalah 3 bulan (Pairin 2004), maka dalam satu tahun mesin bubut CNC tersebut

akan menghasilkan (4 x75) liter cairan pemotongan bekas sama dengan 300 liter. Pada industri tersebut beroperasi 10 unit mesin CNC dengan kapasitas tanki cairan pemotongan yang hampir sama dan ini berarti 3000 liter cairan pemotongan bekas akan dihasilkan pertahun. Ini adalah salah satu dari sekian banyak industri pemotongan logam di Sumatra Utara. Dari sekian banyak industri pemotongan logam di Sumatra Utara dapat di bayangkan berapa banyak cairan pemotongan bekas yang dihasilkan di Sumatra Utara setiap tahun dan bagai mana dampaknya terhadap kerusakan lingkungan . Menanggapi paparan diatas, maka pakar – pakar permesinan di minta mencari jalan keluarnya. SME (2000) menawarkan suatu konsep pemesinan ramah lingkungan yaitu konsep pemesinan hijau. Dalam konsep ini cairan pemotongan tidak lagi digunakan dalam jumlah yang besar atau bila mungkin ditiadakan sama sekali. Konsep ini belum banyak dilaporkan oleh peneliti sebelumnya, tetapi Ginting (2001) melaporkan bahwa kecendrungan pemesinan hijau lebih baik dari pemesinan basah ketika memotong baja TEW 6852 menggunakan pahat karbida TIN.

Permasalahan

Liew (2004) melaporkan bahwa Industri pemotongan logam hingga kini masih menggunakan pemesinan basah untuk pemotongan baja TEW 6582. Cairan pemotongan dapat berfungsi sebagai pelumas, pembersih gram dan menurunkan suhu pemotongan. Hal ini menyebabkan umur pahat potong menjadi lebih panjang . Pemotongan pada temperatur yang rendah dapat memperpanjang umur pahat dan memperhalus permukaan benda termesin. Gesekan yang tinggi antara pahat dan benda kerja dapat menimbulkan kenaikan temperatur, Temperatur yang tinggi akan mengurangi umur pahat akibatnya laju pemotongan berkurang. Hal ini akan menyebabkan hasil permukaan benda termesin berkurang kualitasnya. Untuk mengurangi gesekan sekaligus sebagai pembersih gram pada daerah pemotongan dilakukan dengan memilih cairan pemotongan yang cocok . Downson dan Kurfess (2004) melaporkan bahwa keutuhan permukaan komponen termesin di pengaruhi oleh nilai kedalaman potong, suapan dari pahat dan radius pojok serta cairan pemotongan. Proses permesinan dengan metode pemesinan hijau, kecendrungan terbentuknya BUE lebih besar dibandingkan dengan metode pemesinan basah. Canter (2003) melaporkan bahwa tanpa cairan pemotongan, keausan pahat yang tinggi serta kemasaman permukaan yang buruk terjadi selama proses permesinan. Kedua faktor ini akan meningkatkan biaya fabrikasi dan mengurangi produktifitas. Timbulnya BUE dapat memberikan kemasaman permukaan yang kasar sehingga diperoleh kualitas permukaan benda termesin rendah. Bulloch (2004) melaporkan bahwa temperatur yang tinggi pada permukaan benda termesin akan menyebabkan terjadinya perubahan mikrostruktur pada benda kerja

termesin. Untuk mengatasi hal ini perlu dipilih pahat yang memiliki sifat kekakuan yang tinggi dan tahan terhadap suhu yang tinggi. Che haron (2001) melaporkan bahwa pemesinan hijau berhasil dilakukan pada beberapa logam seperti besi tuang, karbon, baja paduan dan paduan titanium.

Jadi tujuan kegiatan rencana pemecahan masalah adalah mewujudkan pemesinan hijau dalam dunia industri pemotongan logam meliputi pemilihan pahat dan parameter pemotongan, pertumbuhan keausan pahat, ragam kegagalan pahat, umur pahat, menggunakan metode Taguchi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Performansi Pahat

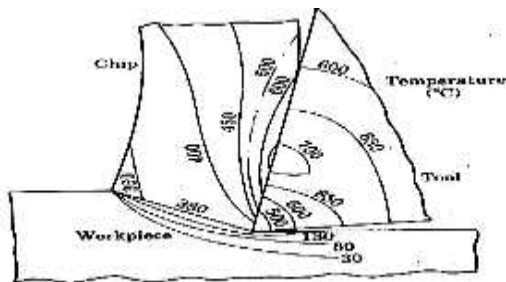
Sifat- sifat yang harus dimiliki pahat adalah kekerasan, ketangguhan, ketahanan panas dan keausan rendah. Umur pahat dan *surfacefinish* yang diperoleh dengan memuaskan telah dilaporkan saat melakukan pemesinan paduan titanium ,lapisan pelapis keras pada pahat potong dapat mengurangi gesekan antara pahat potong dan benda kerja (GusriAI,JaharahAG,2010). Pada dasarnya dimensi keausan pahat menentukan batasan umur pahat, dengan demikian kecepatan pertumbuhan keausan menentukan laju saat berakhirnya masa pakai pahat. Dalam bidang pemotongan logam, pahat potong harus tahan terhadap panas yang ekstrim, tekanan yang tinggi dan getaran kejutan. Keausan pahat akan memberikan efek samping yaitu kenaikan gaya potong, chatter, penurunan kehalusan permukaan dan perubahan geometri produk.

P.SSreejith dan B.K.ANgoi (2016) melaporkan Manfaat cairan pemotongan tak dibutuhkan untuk pemesinan kering yang mana pemesinan kering akan dapat diterima jika kualitas komponen dan waktu pemesinan yang dicapai pemesinan basah sama atau dilampaui. Ravindra K.Palakudtewar, SharadV.Gaikwad, (2012) menyatakan bahwa paduan super memiliki permintaan yang besar dalam industri kedirgantaraan, industri kelautan, dan pembangkit listrik tenaga nuklir. Hal ini terutama digunakan dibagian panas seperti mesin, karena kekuatan dan ketahanan korosi yang tinggi pada suhu dan tekanan tinggi namun paduan super merupakan bahan mesin yang palingsulit. Kekuatannya yang tinggi memiliki sejumlah besar pembangkit panas ketika pemesinan yang mana dapat mengurangi umur pahat. Untuk mengatasi masalah pemesinan pada Pemesinan kering paduan super dengan sisipan pahat karbida berlapis dilakukan dengan kecepatan tinggi dapat membantu menghindari keausan pahat yang cepat. (Rodrigo P. Zeilmann, 2017) menyatakan Mekanisme keausan pada proses pemotongan menggunakan pahat bahwasanya, umur pahat dapat berakhir dengan dua cara utama. Yang pertama keausan pahat progresif memaknai daerah tertentu permukaan pahat menghadapi geram dan sisi bawah (flank) pahat potong. Keausan pahat

gradual membuat penggantian pahat potong diperlukan. Modus kedua adalah kegagalan pahat catastrophic yang merupakan akhir pahat.

Temperatur Pemotongan dan Keausan Pahat

Hampir seluruh energi pemotongan diubah menjadi panas melalui proses gesekan antara gram dengan pahat dan antara pahat dengan benda kerja, serta proses perusakan molekuler atau ikatan atom pada bidang geser. Panas ini sebagian besar terbawa oleh gram, sebagian merambat melalui pahat dan sisanya mengalir melalui benda kerja menuju kesekelilingnya. Suhu yang timbul tersebut cukup besar dan karena luas bidang kontak relatif kecil, maka suhu pahat terutama bidang gram dan bidang utamanya akan sangat tinggi, karena tekanan yang tinggi akibat gaya pemotongan serta suhu yang tinggi membuat permukaan aktif dari pahat akan mengalami keausan. Untuk berbagai kondisi pemotongan persentase panas yang dihasilkan pada bidang geser, bidang geram dan bidang utama masing-masing berkisar diantara 80 %, 18 % dan 2 %.



Gambar 1. Temperatur pahat, benda kerja dan geram

Pemesinan Hijau

Strategi pemesinan hijau dapat mempengaruhi beberapa aspek sistem manufaktur termasuk kualitas komponen, yang harus tetap mencukupi untuk memastikan nilai produk. Peningkatan kualitas komponen juga dapat mengurangi kehidupan siklus dampak lingkungan melalui peningkatan efisiensi sumber daya. Kualitas permukaan paling dipengaruhi oleh laju pemotongan dan pemakanan. Pemesinan kering dikategorikan sebagai pemesinan hijau jika ditinjau dari sisi pencemaran terhadap lingkungan (Moneer Helu, BenjaminB, 2012). Manfaat pemesinan kering adalah tak ada polusi air, tidak ada ancaman terhadap kesehatan; tidak merugikan kulit dan bebas alergi. Pengurangan biaya dalam permesinan (ApooryJain, HarshKansal, 2017).

Temuan baru menunjukkan bahwa pemesin hijau dan pemesinan dengan cairan pendingin minimum adalah arah penelitian yang menjanjikan untuk pemesinan bahan paduan aerospace pada suhu tinggi Inconel 718, karena menawarkan peningkatan kinerja pemesinan dalam hal mengurangi keausan pahat, suhu, dan peningkatan kualitas permukaan (Yusuf Kaynak, 2014). Padaroad map penelitian untuk

menganalisis kemampuan pahat dan permukaan hasil pemesinan dibahas kemampuan pahat mengenal mekanisme aus pahat, laju aus pahat, umur pahat dan suhu pemotongan sedangkan permukaan termesin membahas topografi dan metalurgi permukaan yang mana membandingkan pemesinan basah dan pemesinan hijau dengan aplikasi model matematika, statistic dan disain dengan standar L9(3). Perbandingan yang tidak signifikan antara pemesin hijau dan basah maka pemesinan hijau layak diwujudkan sebagai pengganti pemesinan basah.

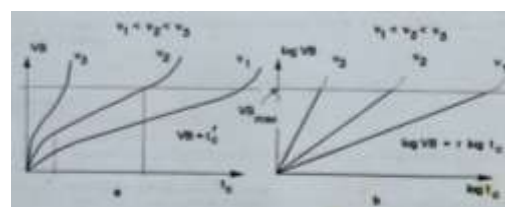
Baja TEW 6582

Pada umumnya baja diklasifikasikan atas baja lunak, baja liat, baja agak keras dan baja keras. Baja liat dan baja agak keras banyak dipilih untuk poros. Baja paduan untuk poros terdiri dari baja khrom nikel, baja khrom nikel molibden, baja khrom dan baja khrom molibden. Adapun jenis baja paduan yang digunakan adalah baja khrom nikel molibden dengan standar TEW 6582. Poros yang dipakai untuk putaran tinggi dan beban berat biasanya dibuat dari baja paduan dengan pengerasan kulit yang sangat tahan terhadap keausan (Sularso dan Suga, 1997).

Beberapa unsur paduan lain yang ditambah untuk meningkatkan sifat yang khas adalah molibdenum, nikel, silikon, mangan, fosfor, belerang.

Pertumbuhan Keausan Pahat

Dimensi keausan pahat menentukan batasan umur pahat dengan demikian kecepatan pertumbuhan keausan menentukan laju saat berakhirnya masa pakai pahat. Pertumbuhan keausan tepi pada umumnya mengikuti bentuk seperti gambar-2 yaitu mulai pertumbuhan yang relatif cepat sesaat setelah pahat digunakan diikuti pertumbuhan yang linier setara dengan bertambahnya waktu pemotongan, kemudian pertumbuhan yang cepat terjadi lagi. Saat dimana pertumbuhan keausan cepat mulai berulang lagi dianggap sebagai batas umur pahat. Hal ini umumnya terjadi pada harga keausan tepi (VB) yang relatif sama untuk kecepatan potong yang berbeda



Gambar 2. Pertumbuhan Keausan Tepi Pahat

Sebenarnya ragam kegagalan pahat meliputi jenis-jenis kerusakan pahat sebagai berikut :

Keausan kawah (crater wear), keretakan termal, aus pojok (nose), takikan dalamnya pemotongan dan aus tepi (flank wear).

Umur Pahat

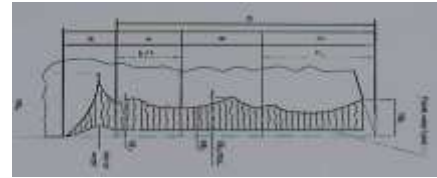
Standar ISO 3685, 1993 memberikan suatu definisi untuk aus pahat seperti perubahan bentuk pahat dari bentuk kondisi asli ke bentuk pahat terdeformasi selama proses pemotongan. Sifat-sifat yang harus dimiliki pahat adalah kekerasan, ketangguhan, ketahanan panas dan keausan rendah. Aus pahat merupakan proses yang terjadi secara berangsur-angsur seperti menumpulnya ujung pensil yang digunakan terus menerus untuk menulis, kadar keausan bergantung kepada bahan pahat dan benda kerja yang dipotong. Suhu permukaan bidang aktif pahat menentukan keausan yang disebabkan oleh mekanisme difusi dan deformasi.

Untuk mengetahui persamaan umur pahat :

$$n \log T = \log C_T - \log v$$

$$\log T^n = \log \frac{C_T}{v}$$

$$T^n = \frac{C_T}{v}$$



Gambar 3. Keausan pahat selama proses pemotongan

III. METODE PENELITIAN

Pengujian dilakukan di dua tempat :

1. Laboratorium CNC di P3GT melakukan proses pemesinan basah dan kering (hijau)
2. LAB Material Universitas Indonesia (UI) menggunakan alat SEM

Bahan, alat dan metode

Bahan

Material yang digunakan baja TEW6582 yang merupakan baja paduan dengan komposisi kimia dan sifat mekanik sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi kimia dari material benda kerja (dalam %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,30-0,38	0,15-0,40	0,40-0,70	≤ 0,035	≤ 0,035	1,40-1,70	0,15-0,30	1,40-1,70

Sumber : PT. Suminsurya Mesindo Lestari, TEW 6582

Tabel 2. Sifat mekanik

Kekuatan luluh (N/mm ² min)	Kekuatan tarik (N/mm ²)	Elongasi (%)	Reduksi (%)	kekuatan impak (Joule)	KekerasanH V
785	980-1180	11	50	48	300-360

umber : PT. Suminsurya Mesindo Lestari , TEW 6582

Alat

Tabel 3. Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik Pahat Carbida Banyak Lapisan

CO (%)	Karbida komposit (%)	Kekerasan (HV)	Ketangguhan (Mpa)	Spesifikasi lapisan
11	12	1420	6,9	TiN+Ti(C,N)+ Al ₂ O ₃

Sumber : Tool and inserts for turning ,Ceratizit 2004

Peralatan yang digunakan dalam riset ini adalah :

1. Mesin Bubut CNC Emcotroni -242
2. SEM
3. Mikroskop optik
4. Termokopel



Gambar 4. Mesin Bubut CNC Emcotroni-242

Gambar 5. Pahat kondisi awal

Gambar 6. Termokopel digital

Untuk setiap variasi keausan VB dari 9 kondisi pemotongan adalah berbeda ketika melakukan pengukuran waktu pemotongan. Diketahui bahwa satu kondisi pemotongan terdiri dari tiga variasi keausan VB yaitu 0.1 mm, 0.3 mm dan 0.6 mm. Hasil tiga variasi keausan VB yang berbeda dijumlahkan setelah selesai pemesinan Riset ini secara eksperimental yang mana dilakukan pengumpulan dan analisa data setelah dilakukan pemesinan dengan 9 kondisi pemotongan, kemudian ditentukan kondisi pemotongan optimum. Adapun disain ekperimennya dilakukan dengan standar $L_9(3^4)$ orthogonal array. Standar $L_9(3^4)$ orthogonalarray memiliki 9 baris , 3 level dan 4 faktor yaitu dengan metode Taguchi. (Belavendram N, 1995).

Karakteristik rasio S/N dapat dibagi dalam 3 persamaan yaitu

1. Nominal karakteristik terbaik

$$S/N = 10 \log \frac{\bar{y}}{s^2_y}$$

2. Semakin kecil semakin baik :

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum y^2 \right)$$

3. Semakin besar makin baik :

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum \frac{1}{y^2} \right)$$

dimana \bar{y} = rata-rata data yang diamati

s^2_y = variansi y

n = jumlah pengamatan

y = data yang diamati

(J.A. Ghani, I.A. Choudhury, Hassan, 2004)

Tabel 1. Rencana Kegiatan VB=0.1,0.3,0.6 mm

Jlh	FAKTOR			BESARAN				
Exp	V	a	f	Gp	d	n	ta	Tt
PK1	200	1.0	0.15	6				
PK2	200	1.5	0.20	12				
PK3	200	2.0	0.25	18				
PK4	250	1.0	0.20	18				
PK5	250	1.5	0.25	6				
PK6	250	2.0	0.15	12				
PK7	300	1.0	0.25	12				
PK8	300	1.5	0.15	18				
PK9	300	2.0	0.20	6				

Untuk 9 kondisi pemotongan untuk tiga variasi keausan VB yaitu 0.1 mm, 0.3 mm dan 0.6 mm berarti ada 27 sampel uji. Dengan dilakukan pemesinan basah dan hijau (kering) maka diperoleh 54 sampel uji.

Variabel Yang Diamati

Adapun variable yang diamati pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

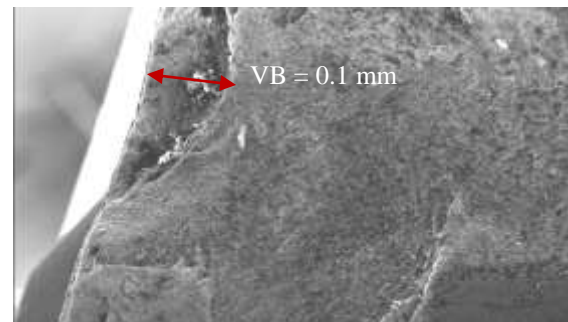
- Ragam kegagalan pahat,-Aus pahat,-Mekanisme aus pahat,-Laju aus pahat,-Suhu pemotongan,-GP.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ragam Kegagalan Pahat

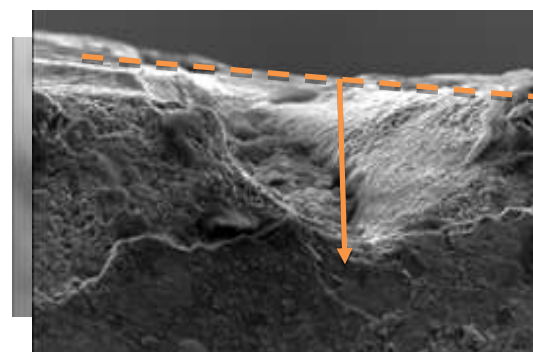
Dari berbagai ragam kegagalan pahat yang dipaparkan hanya tiga ragam kegagalan pahat yang ditemukan dalam penelitian ini, yaitu aus tepi (flank wear), patah rapuh (brittle fracture) dan ubah bentuk plastik (plastik deformation).

Bentuk aus pada sisi (flank) pahat potong disebabkan perubahan bentuk radius ujung pahat oleh gesekan antara permukaan pemesinan benda kerja dengan sisi pahat karena kekakuan benda kerja. Besarnya aus tepi didasarkan pada tebal bidang aus yang harus sejajar terhadap resultan arah potong. Bentuk aus tepiserta pengukurannya seperti (Gambar 7).



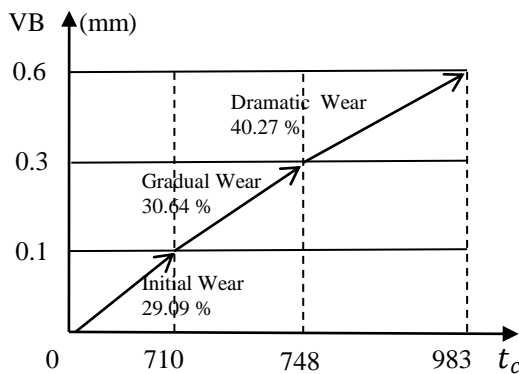
Gambar 7. Aus tepi (flank wear) VB=0.1 mm

Flank wear (Aus tepi) yang terjadi adalah aus tepi maksimum pada keausan pojok (nose wear) dari pahat potong. Hal ini terjadi karena terbentuknya bentangan aus yang tidak selalu sama disepanjang sisi potong mayor akibat gesekan antara permukaan mata potong pahat & benda kerja. Melalui gambar-7 kecepatan potong V 200 m/min, kedalaman potong 1mm, pemakanan 0.15 mm/min dan geometri pahat 6° dengan VB =0.1 mm dari VB sama dengan nol hingga 0,1 mm dikatakan aus awal dengan waktu 710 detik dengan persentase aus pahat 29.09 seperti terlihat pada Gambar.7.pada Gambar 8. Keausan 0.1 mm ini tidaklah mengalami perubahan berarti , keausan pahat masih merata disekitar sisi mata potong pahat.



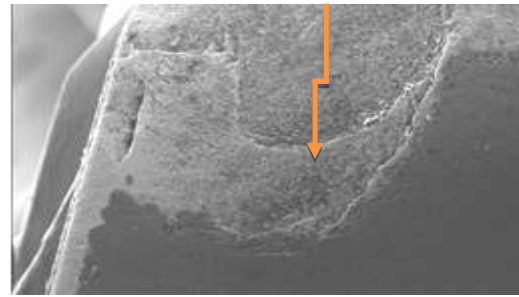
Gambar 8. Aus tepi (flank wear) VB=0.3 mm

Dari Gambar 8.dapat dilihat bahwa pahat mengalami aussisi maksimum pada daerah pojok (nose wear) sebesar $VB_{max} = 0.3 \text{ mm}$ yang karena bentangan aus yang tidak merata disepanjang sisi potong mayor pahat yangdiakibatkan oleh gesekan antara permukaan mata potong pahat dengan benda kerjayang mana $VB = 0.3$ dapat disebut aus gradual. Dari $VB = 0.1 \text{ mm}$ sampai $VB = 0.3 \text{ mm}$ diperlukan waktu selama 748 detik, dengan persentase pertumbuhan aus sebesar 30.64%.Dari persentase aus diperoleh pertumbuhan aus didaerah pertumbuhan aus (gradual wear) lebihbesar dari aus didaerah aus awal (initial wear), kenaikan pertumbuhan aus yangterjadi adalah tiga kali lebih besar dari pertumbuhan aus initial dengan rentang waktuyang hampir sama yaitu 710 dan 748 detik. Hal ini menunjukkan bahwa gradienkurva kenaikan aus initial lebih besar dari aus gradual seperti diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Jenis aus pahat

Dari Gambar 9 kelihatan kondisi pahat pada aus tepi maksimum= 0.6 mm dengan kecepatan potong $V = 200 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 1.0 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.15 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 6^\circ$. Dari gambar-8 terlihat bahwa bentangan aus tepi maksimum pahat masih berada di zona pojok dan ISO 3685 menyatakan bahwa nilai aus ini merupakan batas pakai pahat. Untuk mencapai $VB_{max} = 0.6 \text{ mm}$ dari keadaan aus tepi $VB_{max} = 0.3 \text{ mm}$ dari kondisi pemotongan seperti keterangan Gambar-8 diperlukan waktu pemotongan selama 983 detik dengan persentase pertumbuhan aus sebesar 40.27%. Dari kenyataan ini bahwa gradien kenaikan pertumbuhan aus lebih besar dari pertumbuhan aus gradual. Dari tabel 4.1 dengan kondisi pemotongan sebagai berikut, kecepatan potong $V = 200 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 1.0 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.15 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 6^\circ$ pada aus tepi $VB_{max} = 0.6 \text{ mm}$ umur pahat jadi $t_c = 2441$ detik.



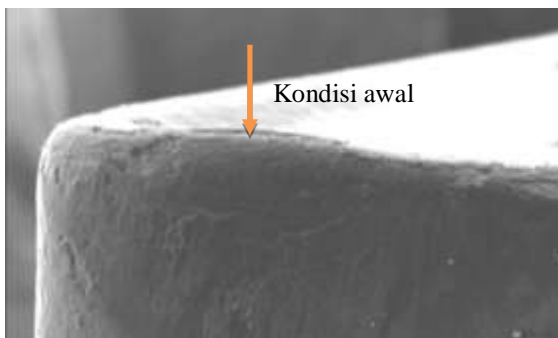
Gambar 10. Aus tepi (Flank Wear)

$VB = 0,6 \text{ mm}$ sedangkan pada kondisi pemotongan $V = 200 \text{ m/min}$ kedalaman potong $a = 1.5 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.2 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 12^\circ$ pada aus tepi $VB_{max} = 0.6 \text{ mm}$ umur pahat menjadi $t_c = 854$ detik untuk kecepatan potong $V = 200 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 2.0 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.25 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 18^\circ$ pada aus tepi $VB_{max} = 0.6 \text{ mm}$ umur pahat menjadi $t_c = 594$ detik. Dari data tersebut dapat dianalisa bahwa umur pahat sangat dipengaruhi oleh kondisi pemotongan, pada kecepatan potong yang sama tetapi kedalaman potong, pemakanan dan geometri pahat yang bertambah besar mengakibatkan umur pahat bertambah pendek. Pada kondisi pemotongan dengan kecepatan potong $V = 250 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 1.0 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.2 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 18^\circ$ pada aus tepi $VB = 0.6 \text{ mm}$ umur pahat $t_c = 473$ detik. Pada kondisi pemotongan dengan kecepatan potong $V = 250 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 1.5 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.25 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 6^\circ$ pada aus tepi $VB = 0.6 \text{ mm}$ umur pahat $t_c = 613$ detik. Pada kondisi pemotongan dengan kecepatan potong $V = 250 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 2.0 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.15 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 12^\circ$ pada aus tepi $VB = 0.6 \text{ mm}$ umur pahat $t_c = 430$ detik, dari data tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa yang paling berpengaruh terhadap pertumbuhan aus tepi adalah geometri pahat, karena makin kecil pun pemakanan dan kedalaman potong kalau geometri pahat besar maka umur pahat makin pendek, hal ini juga berlaku untuk kondisi pemotongan berikut ini dengan kecepatan potong $V = 300 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 1.0 \text{ mm}$ pemakanan $f = 0.25 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 12^\circ$ pada aus tepi $VB = 0.6 \text{ mm}$ umur pahat makin pendek, hal ini juga berlaku untuk kondisi pemotongan berikut ini dengan kecepatan potong $V = 300 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 1.0 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.25 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 12^\circ$ pada aus tepi $VB = 0.6 \text{ mm}$ umur pahat $t_c = 449$ detik. Pada kondisi pemotongan dengan kecepatan potong $V = 300 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 1.5 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.15 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat $G_p = 18^\circ$ pada aus tepi $VB = 0.6 \text{ mm}$ umur pahat $t_c = 346$ detik. Pada kondisi pemotongan dengan kecepatan potong $V = 300 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 2.0 \text{ mm}$,

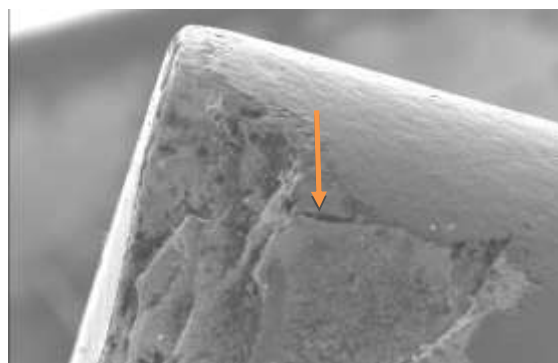
pemakanan $f = 0.2$ mm/rev dan geometri pahat $G_p = 6^\circ$ pada aus tepi $VB = 0.6$ mm umur pahat sebesar 536 detik.

Proses Deformasi Plastik

Kekuatan pahat untuk menahan tegangan tekan merupakan sifat material pahat yang dipengaruhi oleh suhu pemotongan, hal inilah yang merupakan faktor utama yang membatasi kecepatan penghasiian gram bagi suatu jenis pahat. Penampang gram harus direncanakan supaya tekanan yang diderita ujung pojok pahat tidak melebihi batas kekuatan pahat, untuk menghindari terjadinya proses deformasi plastik. Pojok pahat harus diberi radius yang disesuaikan dengan besarnya penampang gram, sebab deformasi yang disebabkan oleh tegangan dimulai dari pojok pahat (Rochim 1993). Hal ini dapat dilihat pada gambar - 9 pahat belum mengalami ubah bentuk (deformasi plastik), akibat suhu pemotongan yang tinggi dan tekanan gram yang besar yang melebihi batas kekuatan pahat mengakibatkan pahat mengalami ubah bentuk (deformasi plastik). Jika radius pojok pahat tidak sesuai dengan besarnya penampang gram juga menyebabkan terjadinya ubah bentuk plastik (deformasi plastik), ini terjadi karena suhu pemotongan yang besar dan gaya tekan gram yang besar menyebabkan terjadinya tegangan yang besar pada ujung pojok pahat, sehingga pahat mengalami deformasi plastik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pahat sebelum mengalami deformasi plastik



Gambar 12. Pahat mengalami deformasi plastic

Pada kondisi pemotongan dengan kecepatan potong $V = 300$ m/min, kedalaman potong $a = 1.5$ mm, pemakanan $f = 0.15$ mm/rev dan geometri pahat

$G_p = 18^\circ$ dengan aus tepi $VB = 0.3$ mm pahat karbida berlapis titanium nitrida mengalami deformasi plastik akibat naiknya suhu pemotongan sebesar $t_c = 590^\circ\text{C}$, akibat suhu pemotongan ini kekuatan pahat berkurang dan pada saat yang bersamaan juga pahat mengalami tekanan aksial dari benda kerja oleh penampang gram dengan geometri pahat yang besar sebesar 18° sehingga pahat mengalami perubahan bentuk dari bentuk semula yang disebut dengan deformasi plastik seperti yang ditunjukkan pada Gambar-10.

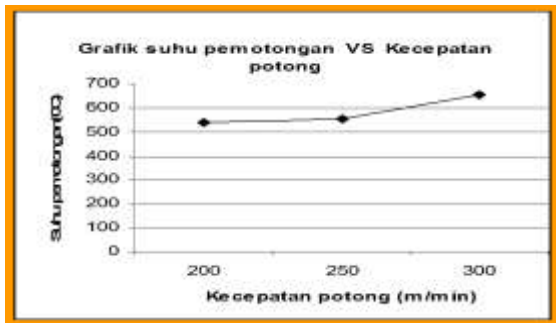
Mekanisme Aus Pahat

Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang menyebabkan aus dan kerusakan pahat dapat disebabkan oleh satu faktor atau gabungan dari beberapa faktor yaitu suhu pemotongan, kecepatan potong, adhesi dan abrasi. Mekanisme penyebab kegagalan pahat pada kecepatan potong rendah umumnya berbeda dengan mekanisme kegagalan pahat dengan kecepatan potong tinggi.

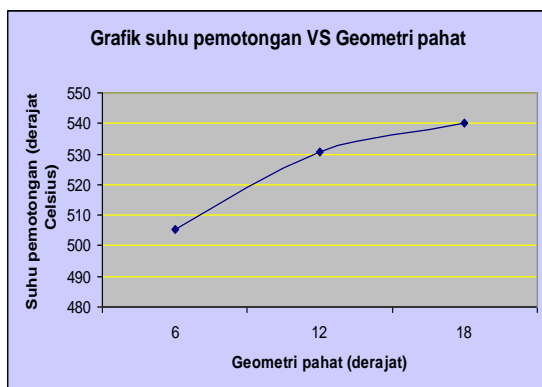
Suhu Pemotongan

Kerja mekanik dalam proses pemotongan seluruhnya diubah menjadi panas dalam bentuk energi mekanik persatuan waktu. Berdasarkan berbagai penelitian pada berbagai kondisi pemotongan suhu tersebar pada bidang geser, bidang gram dan bidang utama. Suhu tersebut sebagian terbawa oleh gram, sebagian mengalir menuju pahat dan benda kerja, semakin tinggi kecepatan potong semakin besar persentase suhu yang terbawa oleh gram, meski pun persentase panas yang terbawa oleh geram sangat tinggi tidak berarti bahwa suhu geram menjadi lebih tinggi dari pada suhu pahat. Suhu yang mengalir bersama sama dengan gram terbentuk dengan kecepatan tertentu, sedangkan suhu yang merambat melalui pahat terjadi sebagai proses konduksi panas yang dipengaruhi oleh konduktivitas panas material pahat serta penampang pahat yang relatif kecil, dengan demikian suhu pahat lebih tinggi dari suhu gram. Suhu pemotongan salah satu faktor yang dominan dalam kegagalan pahat karbida berlapis titanium nitrida dalam pemesinan kering, selain dari kondisi pemotongan seperti yang telah dibahas sebelumnya. Suhu yang tinggi akan menurunkan daya tahan karbida dalam proses oksidasi, pada suhu yang tinggi struktur material pahat karbida berlapis titanium nitrida akan lemah dan tidak tahan terhadap deformasi yang disebabkan oleh gaya pemotongan. Kecepatan potong dan geometri pahat merupakan factor yang dominan dalam menaikkan suhu pemotongan, jika kecepatan potong makin tinggi maka kenaikan suhu pemotongan juga makin tinggi demikian juga geometri pahat. jika geometri pahat makin besar maka suhu pemotongan juga makin besar, hal ini dapat dilihat pada gbr-12. Dari gambar-12 dapat dilihat bahwa dengan naiknya kecepatan potong dari 200 m/min maka suhu pemotongan rata-rata juga naik sebesar 538.77°C , pada kecepatan potong 250 m/min suhu pemotongan naik menjadi 554.99°C dan pada

kecepatan potong 300 m /min suhu pemotongan naik lagi menjadi 562.78 °C. Dari Gambar 13 dan 12 dapat diambil kesimpulan bahwa kenaikan kecepatan potong berbanding lurus dengan kenaikan suhu pemotongan dan berbanding terbalik dengan umur pahat.

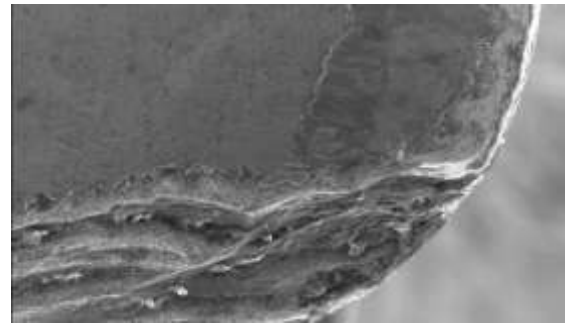


Gambar 13. Hubungan kecepatan dengan suhu potong



Gambar 14. Hubungan geometri pahat dengan suhu

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa geometri pahat juga dominan mempengaruhi kenaikan suhu pemotongan, jika geometri pahat makin besar maka suhu pemotongan juga makin besar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar-15 pada kecepatan potong 200 m/min geometri pahat 6° suhu pemotongan 500.33 °C, pada kecepatan potong yang sama dengan geometri pahat sebesar 12° suhu pemotongan menjadi 530.66 °C dan pada kecepatan potong yang sama pula geometri pahat sebesar 18° suhu pemotongan menjadi 540.33 °C. Untuk berbagai kecepatan potong, pengaruh geometri pahat terhadap kenaikan suhu pemotongan dapat dilihat pada Gambar-15. Pengaruh geometri pahat terhadap kenaikan suhu pemotongan disebabkan karena makin besar geometri pahat, sudut potong antara mata potong pahat dengan benda kerja juga semakin besar, mengakibatkan gaya gesek semakin besar sehingga suhu pemotongan juga makin besar yang ditunjukkan pada gambar-13 kerusakan tersebut bermula dari kerusakan awal (Chiping) kemudian diikuti dengan kerusakan yang lebih besar lagi yaitu (flaking).



Gambar 15. Sisi pahat karbida TIN yang mengalami chipping dan flaking karena suhu pemotongan.

Perbandingan Optimal Pemesinan Hijau Dengan Pemesinan Basah

Pada saat proses pemotongan baja paduan kelas tinggi dengan pahat karbida yang berlapis titanium nitrida berlangsung pada suhu yang relatif tinggi tergenerasi pada daerah pemotongan region of the tool cutting edge, suhu yang tinggi ini secara langsung mempengaruhi terjadinya perpindahan panas antara mata pahat dengan geram pada saat bergesekan. Pada berbagai kondisi pemotongan yang ditetapkan dengan metode Taguchi menunjukkan bahwa pada saat pahat terdeformasi secara elastic, energi yang dibutuhkan untuk proses pemotongan diserap dan ditumpangkan pada material pahat sebagai energi regangan strain energy, kemudian pada saat pahat terdeformasi secara plastik timbul suhu yang merupakan konversi bentuk energi yang tersimpan. Perubahan energi mekanis menjadi suhu terjadi pada daerah geseran. (Kalpakjian 1995). Suhu tersebut bertambah besar dengan semakin menumpuhnya mata potong pahat karbida berlapis titanium nitride, karena semakin menumpuhnya pahat koefisien gesek semakin besar, gesekan bertambah besar mengakibatkan suhu bertambah besar. Dari data percobaan diperoleh bahwa semakin lama pemakaian pahat suhu yang timbul semakin besar, ini disebabkan oleh mata potong pahat semakin menumpul yang mengakibatkan gesekan dan koefisien gesekan antara mata potong pahat karbida berlapis titanium nitrida dengan benda kerja semakin besar, besarnya suhu ini ditentukan oleh $r C V a_c / k$ dimana V adalah kecepatan potong dan a_c adalah ketebalan geram yang tidak terdeformasi.

Pada penelitian ini hasil percobaan menunjukkan selain pengaruh ketajaman mata potong pahat karbida berlapis titanium nitrida mempengaruhi kenaikan suhu pemotongan juga kecepatan potong sangat dominan menaikkan suhu pemotongan, dari data diperoleh suhu optimal pada kecepatan potong $V = 300$ m/min sebesar $T = 560.77$ °C umur pahat $t_c = 1289$ detik sedangkan pada kecepatan potong $V = 250$ m/min suhu yang diperoleh $T = 554.99$ °C umur pahat $t_c = 1476$

detik dan pada kecepatan potong $V = 200 \text{ m/min}$ suhu yang diperoleh $T = 538.77^\circ \text{C}$ umur pahat $t_c = 3875$ detik. Dari data tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi kecepatan potong suhu pemotongan juga semakin tinggi dan umur pahat semakin pendek, ini disebabkan oleh makin tinggi kecepatan potong semakin banyak pergesekan yang terjadi antara mata potong pahat dengan benda kerja mengakibatkan suhu makin tinggi dan umur pahat makin pendek.

Kondisi Pemotongan Optimum Dengan Metode Taguchi

Berdasarkan data hasil pengujian pemesinan kering untuk baja paduan kelas tinggi yang dibubut dengan pahat karbida berlapis titanium nitrida pada berbagai kondisi pemotongan sesuai dengan metode Taguchi. Dari pengujian diperoleh data yang telah direkapitulasi seperti Tabel 1, 2 dan 3. Kondisi

pemotongan optimal yang diperoleh dari tabel 1, 2 dan 3 pada kecepatan potong $V = 200 \text{ m/min}$, kedalaman potong $a = 1.0 \text{ mm}$, pemakanan $f = 0.15 \text{ mm/rev}$ dan geometri pahat 6° diperoleh umur pahat optimal $t_c = 2434$ detik untuk aus tepi $VB_{\text{max}} = 0.6 \text{ mm}$. Kondisi pemotongan ini menjadi optimal yang disebabkan oleh kecepatan potong rendah, kedalaman potong rendah, pemakanan dan geometri pahat rendah, membuat umur pahat menjadi panjang. Dari penelitian yang dilakukan yang paling dominan membuat umur pahat menjadi pendek adalah kecepatan potong dan geometri pahat. Dalam penelitian ini terbukti yang paling dominan adalah kecepatan potong dan geometri pahat.

Tabel 1. Data yang diolah dengan metode Taguchi untuk $VB = 0.1 \text{ mm}$

Eksp	FAKTOR				Perancangan	Parameter yang diukur		Rasio S/N yang Dihitung				
	A	B	C	D		Umur pahat	Panjang Lintasan	Umur pahat	Panjang Lintasan			
1	1	1	1	1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	707	3255	5,698	-7,025
2	1	2	2	2	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂	149	980	4.346	-5.982
3	1	3	3	3	A ₁	B ₃	C ₃	D ₃	183	1380	4.524	-6.279
4	2	1	2	3	A ₂	B ₁	C ₂	D ₃	131	1005	4.234	-6.004
5	2	2	3	1	A ₂	B ₂	C ₃	D ₁	148	1200	4.340	-6.158
6	2	3	1	2	A ₂	B ₃	C ₁	D ₂	123	620	4.179	-5.580
7	3	1	3	2	A ₃	B ₁	C ₃	D ₂	85	1060	3.858	-6.050
8	3	2	1	3	A ₃	B ₂	C ₁	D ₃	103	700	4.025	-5.690
9	3	3	2	1	A ₃	B ₃	C ₂	D ₁	123	930	4.179	-5.936

Tabel 2. Data yang diolah dengan metode Taguchi untuk $VB = 0.3 \text{ mm}$

Eksp	FAKTOR				Perancangan	Parameter yang diukur		Rasio S/N yang Dihitung				
	A	B	C	D		Umur pahat	Panjang Lintasan	Umur Pahat	Panjang Lintasan			
1	1	1	1	1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	747	3410	5.746	-7.065
2	1	2	2	2	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂	176	1050	4.491	-6.042
3	1	3	3	3	A ₁	B ₃	C ₃	D ₃	196	1705	4.584	-6.463
4	2	1	2	3	A ₂	B ₁	C ₂	D ₃	152	1260	4.363	-6.200
5	2	2	3	1	A ₂	B ₂	C ₃	D ₁	183	1710	4.524	-6.465
6	2	3	1	2	A ₂	B ₃	C ₁	D ₂	134	765	4.254	-5.767
7	3	1	3	2	A ₃	B ₁	C ₃	D ₂	168	1880	4.450	-6.548
8	3	2	1	3	A ₃	B ₂	C ₁	D ₃	105	700	4.042	-5.690
9	3	3	2	1	A ₃	B ₃	C ₂	D ₁	158	1270	4.397	-6.207

Tabel 3. Data yang diolah dengan metode Taguchi untuk $VB = 0.6 \text{ mm}$

Eksp	FAKTOR				Perancangan	Parameter yang diukur		Rasio S/N yang Dihitung				
	A	B	C	D		Umur pahat	Panjang Lintasan	Umur pahat	Panjang lintasan			
1	1	1	1	1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	980	4355	5.677	-7.277
2	1	2	2	2	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂	529	2560	5.446	-6.816
3	1	3	3	3	A ₁	B ₃	C ₃	D ₃	208	1665	4.636	-6.442

4	2	1	2	3	A ₂	B ₁	C ₂	D ₃	183	1315	4.524	-6.237
5	2	2	3	1	A ₂	B ₂	C ₃	D ₁	256	2155	4.816	-6.666
6	2	3	1	2	A ₂	B ₃	C ₁	D ₂	166	980	4.440	-5.982
7	3	1	3	2	A ₃	B ₁	C ₃	D ₂	189	1860	4.552	-6.539
8	3	2	1	3	A ₃	B ₂	C ₁	D ₃	110	810	4.082	-5.816
9	3	3	2	1	A ₃	B ₃	C ₂	D ₁	248	2235	4.788	-6.698

Tabel 4. CD dihitung dengan dua arah untuk umur pahat, C1D1 merupakan suatu kondisi optimal

	C1				C2				C3			
D1	5.698	5.746	5.67	17.1	4.179	4.397	4.788	13.3	4.34	4.52	4.81	13.6
D 2	4.179	4.254	4.44	12.8	4.346	4.491	5.446	14.2	3.85	4.45	4.55	12.8
D 3	4.025	4.042	4.08	12.1	4.234	4.363	4.524	13.1	4.52	4.58	4.63	13.7
To tal				42.1				40.7				40.2

Tabel 5. CD dihitung dengan dua arah untuk panjang lintasan, C1D3 merupakan suatu kondisi optimal

	C1				C2				C3			
D1	-	-	-	21.3	-	-	-	18.8	-	-	-	19.2
D 2	-5.58	5.767	5.982	17.3	5.982	6.042	6.816	18.8	-6.05	6.54	6.53	19.1
D 3	-5.69	-5.69	5.816	17.1	6.084	-6.2	6.237	18.5	6.279	6.40	6.44	19.1
Total				55.8				56.2				57.5

V. KESIMPULAN

-Pertumbuhan aus pahat bergantung kepada kondisi pemotongan yaitu kecepatan potong, kedalaman potong, pemakanan dan geometri pahat.

-Pertumbuhan aus pahat pada pemesinan kering dapat dibagi menjadi tiga zona yaitu zona aus awal, zona pertumbuhan aus dan zona aus mendadak. Zona aus awal berada pada daerah aus tepi VB=0 mm sampai dengan VB=0.1mm dengan pertumbuhan aus sebesar 29.04%, sedangkan zona gradual wear berada pada daerah aus tepi VB=0.1 mm sampai dengan VB=0.3 mm dengan pertumbuhan aus sebesar 30.69% dan zona dramatic wear berada pada daerah aus tepi VB=0.3 mm sampai dengan VB=0.6 mm dengan pertumbuhan aus sebesar 40.26%.

-Kecepatan potong merupakan faktor yang dominan menaikkan suhu pemotongan, jika kecepatan potong makin tinggi maka suhu pemotongan juga makin tinggi, hal ini dapat dilihat pada kecepatan potong V=200 m/min suhu pemotongan sebesar 538.77 °C, pada kecepatan potong V=250 m/min suhu pemotongan menjadi 554.99°C dan pada kecepatan potong V=300 m/min suhu pemotongan

menjadi 562.78⁰ C, dimana suhu pemotongan dominan mempengaruhi umur pahat, jika suhu pemotongan makin tinggi umur pahat makin pendek, hal ini dapat dilihat pada suhu pemotongan 538.77⁰ C umur pahat 3875 detik, pada suhu pemotongan 554.99⁰ C umur pahat menjadi 1476 detik dan pada suhu pemotongan 562.78⁰ C umur pahat menjadi 1289 detik.

-Mekanisme aus yang terjadi adalah proses abrasif dan proses adhesi. Proses adhesi yaitu pada tekanan dan temperatur yang tinggi logam benda kerja bersatu, menempel seolah olah dilas dengan mata potong pahat, sedangkan proses abrasif terjadi karena partikel yang keras pada benda kerja bergesek dengan mata potong pahat sehingga pahat mengalami kerusakan.

-Kondisi pemotongan optimal dengan metode Taguchi pada kecepatan potong 200 m/min, kedalaman potong 1.0 mm, pemakanan 0.15 mm/rev dan geometri pahat 6⁰ diperoleh umur pahat optimal 2434 detik.

-Pemesinan hijau berhasil karena umur pahat pada pemotongan hijau hampir sama dengan umur pahat pada pemotongan basah untuk pahat karbida TIN dalam pemotongan baja TEW 6582

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Neil M. Canter ,(2003) *The Possibilities and limitations of Dry Machining*
- [2]. ISO 3685,(1995) *Tool life Testing With Single-Point Turning tools*
- [3]. Jhon Bulloch MTU(2004), *Reserch and Technology Transfer Work Group Dry machining*
- [4]. Che Haron C.H, (2002) Ginting.A, *Performance of Carbide Tools in Green Milling of Ti- 6242S*, 2nd World Engineering Congress, Serawak Malaysia
- [5]. H.K. Tonshoff, A. Mohlfeld ,(1997) *PVD Coating for Wear Protection in Dry Cutting Operations*
- [6]. W.Y.H. Liew.S.Yuan.B.K.A. Ngoi(2004), *Evaluation of Machining Performance of Stavax with PCBN Tools*
- [7]. TY. G. Dawson, Thomas R. Kurfess,(2004) *Machining Hardened Steel with Ceramic Coated CBN Cutting Tools*
- [8]. Taufiq Rochim,1993) *Teori dan Teknologi Proses Permesinan*, HEDS.
- [9]. Nicolo Belavendram, (1995) *Taguchi Tecniques for industrial exprientionation, Quality by Design*
- [10]. Armansyah Ginting, (2003) *The return of Alloyed Carbide Tool in Machining of Aerospace material*
- [11]. Kalpakjian,S. (1995) *Manufacturing Engineering and Technology*, Addison-Wesley Publishing Company
- [12]. P.S.Srejith, B.K.A. Ngoi ,(1999) *Dry Machining of the Future*
- [13]. Apoorv Jain, Harsh Kansal, 2017, "Green Machining-Machining of The Future" National conference on advance ment in simulation & experimental techniques in Mechanical Engineering (NCASE me-2017), Research Scholars Department of mechanical Engineering Thapar University Patiala India.
- [14]. Gusri Akhyar Ibrahim, Che Hassan Che Haron and Jaharah Abd. Ghani ,2010 "Tool Wear Performance of CVD-Inset During Machining of Ti-6% Al-4% V EL Iat High Cutting Speed" *Key Engineering Materials Vol. 443(2010) pp371-75* @2010 Trans Tech Publications, Switzerland, doi: [10.4028/www.scientific.net/KEM443.371](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM443.371) Mechanical and Material Engineering Department, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi 43600, Malaysia.
- [15]. Ravindra K. Palakudtewar, Sharad V. Gaikwad, 2012, "Dry Machining of Superalloys: Difficulties and Remedies" *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (online): 2319-7064*. Research Scholar, Department of Mechanical Engineering, Walchand College of Engineering, Vishrambag India.
- [16]. Rodrigo P. Zellmann, Fernanda Fontanive, Rafael M. Soares, 2017, "Wear mechanisms during dry and wet turning of Inconel 718 with ceramic tools" *Int J Adv Manuf Technology (2017) 92:2705-2714*, DOI 10.1007/00170-017-0329-7 Springer Verlag London.
- [17]. Moneer Helu, Benjamin Behmann, Herald Meier, David Dornfeld, Gisela Lanza, Volker Schulze, 2012 "Impact of green machining strategies on achieved surface quality". *CIRP Annals-Manufacturing Technology 61(2012) 55-58*. Journal home page <http://ees.elsevier.com/cirp/default.asp-Laboratory for manufacturing and sustainability, University of California USA-Institute for production science, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe Germany>.
- [18]. Kaynak, 2014, Evaluation of machining performance in cryogenic machining of Inconel 18. Yusuf 718 and comparison with dry and MQL machining, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, May 2014, Volume 72, Issue 5-8, pp 919-933, DOI: 10.1007/s00170-014-5683-0, Print ISSN: 0268-3768, Online ISSN: 1433-3015, Springer London.
- [19]. Sularso dan Suga K, (1997) *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin*.
- [20]. J.A. Ghani, I.A. Choudhury, H.H. Hassan, (2002) *Application Of Taguchi Method in the Optimization of end Milling Parameters*.
- [21]. Nicolo Belavendram, *Taguchi Techniques for Industrial Experimentation, Quality by Design*, 1995.
- [22]. Hattori M, (2004) *Cost and Process information Modeling for Dry Machining*