

Karakteristik Keausan dan Umur Pahat HSS Hasil *Quenching* Melalui Pendinginan Nitrogen pada Proses Pembubutan Al-T-6061

Sudjatmiko¹⁾ Agus Suprpto²⁾ Darto³⁾

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

Jl. Terusan Dieng No 62-64 Malang, 0341- 568395

e-mail : ¹djatjm@yahoo.com, ²agussuprpto@yahoo.com,

³darto_unmer@yahoo.com

Abstract

Quenching results of conventional HSS tool through nitrogen (N₂), an increase of value : 3.125%, the research conducted to extract material Aluminum alloy T-6061, with the aim of: (1). age and HSS tool wear, tool life values obtained exponent (n) and tool life constants (C_T), (2). know the mechanisms and types of HSS tool wear characteristics. The method used to "Test Variable Speed Machining", research conducted by vary the cutting speed (V_c) with three levels and depth of cut, feed motion (f) is constant. From the findings of this research longest tool life (tc): 0.99 minutes (V_c = 34.56 m / min), depth of cut (a) = 0.3 mm, feeding (f) : 0,1 mm/put, the shortest age (tc): 0.93 minutes (V_c = 51.84 m / min), (a) = 0.5 mm, with temperatures on average nose tool T⁰C: 48.10⁰C. n_{maximum} obtained exponent value = 0.043 at (a) = 0.3 mm, and n_{min} = 0.0254 at a = 1.0 mm. Taylor is so the value equation. V.T^{0.043} = 86.51 (max) for cutting speed V_c = 34.56 m/min [(V_B = 0.41 mm)] and V.T^{0.0254} = 86.51 (min), for cutting speed V_c = 86.39 m / min. [(V_B = 0.30 mm)], (2). Tool wear characteristics of the most commonly grown, which is in the process of abrasive, Abrasion, Diffusion and edge wear (VB) and crater (KT) / very small, there is also BUE (Built Edge Up).

Keywords: HSS tool, tool life, tool wear. quenching

PENDAHULUAN

Gesekan yang dialami pahat oleh permukaan geram yang mengalir dan permukaan benda kerja yang telah terpotong. Akibat gesekan ini pahat mengalami keausan. Keausan pahat ini akan makin membesar sampai batas tertentu. Lamanya waktu untuk mencapai batas keausan ini yang didefinisikan sebagai umur pahat (*ToolLife*)^{1,3)}. Begitu penting memperhatikan Umur Pahat pada proses pemesinan, kriteria mengenai umur pahat atau batas waktu pemakaian pahat yaitu apabila pahat tidak dapat dipergunakan lagi atau pahat telah mengalami kerusakan. Pahat HSS merupakan salah satu jenis pahat yang mempunyai kekerasan cukup tinggi^{1,5,6)}. Pada penelitian ini dipergunakan pahat HSS batangan dengan dimensi 110x13x 3(mm), dengan pengujian komposisi kimia⁸⁾: Mo:04.35 %, Ca :00.52, Cr :06.23 %, Fe :59.79 %, O : 12.69 %, C :06.74 %, V : 01.84% dan WL: 07.84 %.

Pahat HSS konvensional dilakukan proses *heat treatment Quenching* dengan Nitrogen (N₂) cair (divakum)^{11,15)}, dengan tujuan meningkatkan sifat mekanik (*yield strength*, *tensile strength* dan *elongation*), sehingga diharapkan dapat menaikkan nilai kekerasan pahat HSS, dan terjadi perubahan martensit ke austenit tersisa¹¹⁾. Material yang digunakan untuk proses pembubutan adalah **Aluminium T- 6061**¹³⁾, dengan proses pemesinan kering (*dry machining*)¹²⁾. Beberapa penelitian tentang Umur Pahat telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebagai berikut :Penelitian yang dilakukan⁷⁾ dengan menggunakan mesin Frais

konvensional, menunjukkan umur dan keausan pahat HSS gundi untuk membubut baja karbon rendah (ST-37) dengan kecepatan potong tinggi (V_c = 5.275 m/menit), (f) rendah = 0,05 mm/put, nilai keausan tepi (V_B) = 0,143 mm, (f) tinggi = 0,2 mm/put, nilai keausan tepi (V_B) = 0,354 mm diperoleh umur pahat terpendek (T^c) 2,11 menit. Umur pahat terlama (T^c) 4,72 menit dengan V_c = 1.884 m/menit, (f) rendah = 0,05 mm/put, nilai keausan tepi (V_B) = 0,082 mm, (f) tinggi = 0,2 mm/put, nilai keausan tepi (V_B) = 0,305 mm.

Pada penelitian yang dilakukan⁶⁾ dengan menggunakan mesin bubut konvensional, menunjukkan untuk setiap pahat **karbida** dan material benda kerja yang digunakan baja **AIISI 1148**, data umur dan kondisi pemesinan, variabel proses pemesinan dengan putaran spindle yang divariasikan menjadi 3 tingkatan dengan gerak potong (f) dan kedalaman potong (a) konstan. persamaan rumus *Taylor* dari penelitian diperoleh V.T^{0.2574} = 521,4. Penelitian yang dilakukan oleh¹⁰⁾, menyatakan bahwa hasil harga eksponen (n) dan konstanta (C_T) untuk pahat HSS pada proses pemesinan *turning*, material **St. 42. material St. 60 dan material Besi Tuang**, sebagai berikut: Pada feeding = 0,25, diperoleh nilai eksponen (n) = 0,039 ÷ 0,140 dan konstanta (C_T) = 37.757 ÷ 51.286, Pada feeding (f) = 0,30 diperoleh nilai Eksponen (n) = 0,061 ÷ 0,222 dan Konstanta (C_T) = 40.365 ÷ 41.976.

Hasil penelitian yang dilakukan⁹⁾, menentukan umur dan keausan pahat **karbida** untuk membubut **Aluminium T- 6061**, diperoleh nilai eksponen (n = 0.3) dan konstanta (C_T) =

112,5723 , pada $[V_c]$ optimum = 69,12 m/menit, waktu terpendek (T_c) = 12 menit, $(a) = 0,70$ mm, persamaan umur pahat Taylor $VT^{0,3} = 112,5723$. Pada $[V_c](\text{minimum}) = 34,56$ m/menit. $(a) = 0.70$ mm, waktu terlama (T_c) = 96 menit, memperoleh persamaan umur pahat Taylor $VT^{0,3} = 158,2453$. Pada penelitian ini merupakan **kelanjutan** penelitian terdahulu dengan pahat Karbida dengan proses pembubutan **Aluminium T-6061**. Tujuan **penelitian** ini untuk menentukan umur pahat (T) **HSS konvensional hasil Quenching**, menentukan kondisi pemotongan optimum dan mengidentifikasi karakteristik keausan pahat HSS hasil **quenching**. Manfaat umur pahat dan kondisi pemesinan yang diperoleh dapat digunakan sebagai data dalam proses manufaktur dan pengembangan akademik.

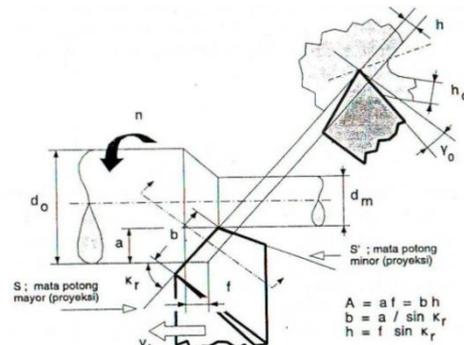
Lima Elemen Dasar Pemesinan

Berdasarkan gambar teknik, dimana dinyatakan spesifikasi geometrik suatu produk komponen mesin, salah satu atau beberapa jenis pemesinan seperti proses bubut, proses gurdi dan lain-lain harus dipilih sebagai suatu proses/ urutan proses yang digunakan untuk membuatnya. Elemen proses pemesinan tersebut (V_c, V_f, a, t_c, Z)^{5,6)} dihitung berdasarkan dimensi benda kerja dan pahat serta besaran dari mesin perkakas, oleh sebab itu rumus yang dipakai dalam setiap proses pemesinan bisa berlainan.

Aplikasi Pada Operasi Pembubutan

Elemen dasar dari proses bubut (turning) dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan dengan memperhatikan gambar^{5,6)}. Kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut :

- Benda Kerja :
- d_o : diameter awal ; mm
 - d_m : diameter luar ; mm
 - l_t : panjang pemesinan ; mm
- Pahat :
- K_r : sudut potong utama ; o
 - γ_o : sudut geram ; o
- Mesin Bubut :
- a : kedalaman potong ; mm
 - : $(d_o - d_m) / 2$; mm
 - f : gerak makan ; mm/putaran
 - n : putaran poros utama (rpm)



Gambar 1. Proses bubut^{5,6)}

Dari gambar 1^{5,6)} terlihat bahwa proses bubut tersebut menggunakan suatu proses pemotongan miring (*oblique cutting*) yaitu suatu sistem pemotongan dengan gerakan relatif antara pahat dan benda kerja membentuk sudut potong utama (K_r) kurang dari 90° . Kecepatan makan (V_f) dihasilkan oleh pergerakan dari pahat ke benda kerja. Elemen dasar^{5,6)} dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut :

1. Kecepatan Potong
 $V_c = \frac{\pi d n}{1000}$; m/menit
2. Kecepatan Pemakanan
 $V_f = f \cdot n$; mm/menit
3. Waktu Pemotongan
 $t_c = l_t / v$; menit
4. Kecepatan Penghasilan Geram
 $Z = A \cdot V$; cm^3 / menit
5. Lebar pemotongan
 $b = a / \sin K_r$; mm
Tebal geram sebelum terpotong
 $h = f \sin K_r$; mm

Bidang Aktif Pahat yang Mengalami Kerusakan / Keausan

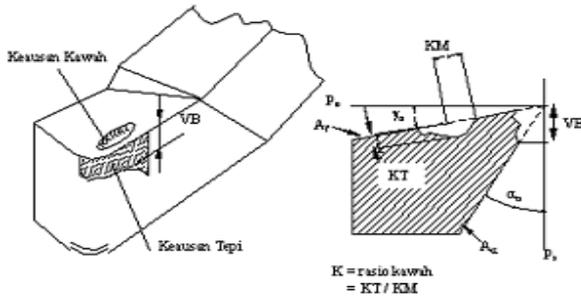
Selama proses pembentukan geram berlangsung, pahat dapat mengalami kegagalan dari fungsinya yang normal karena berbagai sebab antara lain^{1,2,6)}:

- a. Keausan yang secara bertahap membesar (tumbuh) pada bidang aktif pahat.
- b. Retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat.
- c. Deformasi plastis yang akan mengubah bentuk/ geometri pahat.

Jenis kerusakan yang terakhir di atas jelas disebabkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama naiknya temperatur. Keausan dapat terjadi pada bidang geram (A_γ) dan/atau pada bidang utama (A_α) pahat, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

Keausan dibedakan jadi 2 macam yaitu:

- Keausan kawah (*crater wear*)
- Keausan tepi (*flank wear*)



Gambar 2. Keausan kawah dan tepi^{2,6)}

Mekanisme Keausan & Kerusakan Pahat

Berdasarkan hasil-hasil penelitian mengenai keausan dan kerusakan pahat dapat disimpulkan bahwa penyebab keausan dan kerusakan pahat dapat merupakan suatu faktor yang dominan atau gabungan beberapa faktor tertentu,^{1,3)}. Faktor-faktor penyebab tersebut antara lain:

- Proses Abrasif
- Proses Kimiawi
- Proses Adhesi
- Proses Difusi
- Proses Oksidasi
- Proses Deformasi Plastik
- Proses Keretakan, dan Kelelahan

Umur Pahat

Bahwa, umur pahat dapat didefinisikan sebagai lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai batas keausan yang ditetapkan. Saat proses permesinan berlangsung bahwa pahat telah mencapai batas keausan yang telah ditetapkan (umurnya) dari kriteria berikut^{1,3,8)}:

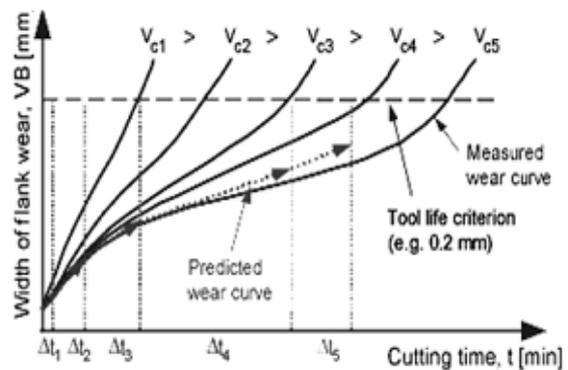
- Adanya kenaikan gaya potong,
- Terjadinya getaran/chatter,
- Penurunan kehalusan permukaan hasil pemesinan, dan/atau
- Perubahan dimensi/geometri produk.

Dengan menentukan kriteria saat habisnya umur pahat seperti di atas, maka umur pahat dapat ditentukan yaitu mulai dengan pahat baru (setelah diasah atau insert telah diganti) sampai pahat yang bersangkutan dianggap tidak bisa digunakan lagi. Dimensi umur dapat merupakan besaran waktu, yang dapat dihitung secara langsung maupun secara tidak langsung dengan mengkorelasikan terhadap besaran lain. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah prosedur perhitungan sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan.

Pertumbuhan Keausan

Pada dasarnya dimensi keausan menentukan batasan umur pahat. Dengan demikian kecepatan pertumbuhan keausan menentukan laju saat berakhirnya masa guna pahat. Pertumbuhan keausan tepi (*flank wear*) pada umumnya mengikuti bentuk, yaitu dimulai dengan pertumbuhan yang relatif cepat sesaat setelah pahat digunakan diikuti pertumbuhan yang linier setaraf dengan bertambahnya waktu pemotongan dan kemudian pertumbuhan yang cepat terjadi lagi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3^{3,5)}.

Saat dimana pertumbuhan keausan cepat mulai berulang lagi dianggap sebagai batas umur pahat, dan hal ini umumnya terjadi pada harga keausan tepi (V_B) yang relatif sama untuk kecepatan potong yang berbeda. Sampai saat batas ini, keausan tepi (V_B) dapat dianggap merupakan fungsi pangkat (*power function*) dari waktu pemotongan (T_c) dan bila digambarkan pada skala dobel logaritma maka mempunyai hubungan linier¹⁷⁾. Persamaan yang menunjukkan hubungan kecepatan potong dengan umur pahat pertama kali dikemukakan oleh F.W Taylor pada tahun 1907¹⁸⁾.



Gambar 3. Pertumbuhan keausan tepi untuk gerak makan tertentu dan kecepatan potong yang berbeda¹⁷⁾.

Untuk harga yang tetap bagi batas dimensi keausan serta kombinasi pahat dan benda kerja tertentu, maka hubungannya sebagai berikut¹⁴⁾:

$$V \cdot T^n = C_T \tag{1}$$

dimana:

C_T = konstanta umur pahat Taylor

V = kecepatan potong

n = harga eksponen

Persamaan di atas dikenal dengan nama Persamaan Umur Pahat Taylor. Harga Konstanta (C_T) dan eksponen (n) diperoleh dengan melakukan praktek pemotongan/permesinan material benda kerja. Semakin kecil harga eksponen (n), maka umur pahat yang bersangkutan sangat dipengaruhi oleh

kecepatan potong. Menurut penelitian yang dilakukan^{5,6)}, pengaruh perubahan variabel permesinan terhadap perubahan umur pahat, secara berurutan dari yang paling besar pengaruhnya adalah:

- a. Kecepatan potong, V ; bila diubah +5%, T turun 20%,
- b. Batasan keausan, V_B ; bila diubah +5%, T naik 10%,
- c. Tebal geram atau gerak makan; bila diubah + 5 %, T turun 5%,
- d. Lebar geram, atau kedalaman potong; bila diubah +5%, T turun 2%.

METODOLOGI PENELITIAN

Metoda yang menjadi dasar dalam bentuk penelitian untuk memperoleh kondisi pemotongan yang memberikan umur pahat yang optimal ini adalah “test cepat” salah satu metode yang dipergunakan oleh *Taylor*, (1907)¹⁴⁾; ini adalah “*Variable Speed Machining Test*”^{5,6)}. Penelitian dilakukan dengan bervariasi kecepatan potong (V_c) dan kedalaman potong (a), gerak makan (f) dan temperatur pahat (T °C), dengan persamaan umur pahat *Taylor* diperoleh harga eksponen n dan konstanta C_T . Subyek pahat yang digunakan adalah pahat HSS konvensional hasil *quenching* melalui nitrogen (N_2). Analisa pengujian ini dilakukan dengan metode grafik. Objek Penelitian pada pahat HSS yang akan diteliti meliputi: (a). Keausan tepi (V_B) dan keausan kawah (K_T) [jika ada] terhadap umur pahat, (b). Pengaruh kecepatan potong, besarnya temperatur yang bervariasi terhadap umur pahat (T_c menit).

Variabel Proses Pemesinan dan Nilainya

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya dapat ditetapkan berdasarkan pertimbangan tertentu, pada penelitian ini sebagai variabel bebasnya adalah : Kecepatan potong (V_c)(m/min), gerak makan (f) (mm/put) konstan, Kedalaman Potong, a (mm), dan temperatur pahat (T °C), seperti yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Parameter Kondisi Pemotongan pahat HSS dan Tingkatannya

(n) Rpm	(f) mm/put	(a) mm	(T) °C	(t _c) detik	(V _B) mm
500	0,1	0,3			
		0,5			
		1,0			
750	0,1	0,3			
		0,5			
		1,0			
1250	0,1	0,3			
		0,5			
		1,0			

Dimana :

n = putaran spindel, f = gerak makan, a = kedalaman potong, T = temperatur pahat, t_c = waktu pemesinan, V_B = keausan tepi

Variasi kecepatan potong dilakukan dengan cara memilih tingkatan untuk masing-masing daerah kecepatan potong rendah, sedang dan tinggi. Cara ini cukup untuk melihat pengaruh faktor-faktor tersebut dengan pendekatan analisis umur pahat dengan metoda Grafik Umur Pahat Taylor.

Variabel tidak bebas (respon) adalah variabel yang besarnya diambil atau diketahui sewaktu penelitian berlangsung, yang diamati adalah umur pahat, dan keausan tepi pada pahat.

Material dan pahat yang digunakan

Tabel 2. Dimensi material yang digunakan

Bahan	Kekerasan (BHN)	Panjang	Diameter
Al-T-6061	117	100 mm	22 mm

Pahat potong yang digunakan Pahat HSS konvensional hasil *quenching*, dengan nilai kekerasan rata-rata 64 HRc dan dilengkapi dengan pemegang pahat (*Tool holder*) terpasang pada mesin bubut CNC.

Peralatan yang digunakan

1. Mesin Bubut TU CNC -2A untuk proses pemesinan
2. *InfraRed* sebagai pencatat temperatur pahat (T °C)
3. *Stop Watch* sebagai pencatat waktu pemesinan
4. *Tachometer* sebagai pengukur kecepatan spindel
5. Jangka Sorong sebagai pengukur dimensi benda kerja
6. *Digital Microscope Tips of Using Measurement Function- Merk Dino-lite*, untuk pemotretan pahat keausan pahat, yang dikombinasi dengan Mesin TU CNC -3A
7. Perangkat lunak (PC) untuk mengkonvert ke poin (6) yang menghasilkan data.

8. SEM (*Scanning Electron Mycroscopy*)

Metoda Pengukuran Keausan Pahat

Pengukuran yang dilakukan yaitu keausan tepi (*flank wear*), keausan kawah (*crater wear*), ujung pahat (*nose*) menggunakan *Digital Microscope Tips of Using Measurement Function-Merk Dino-lite* dengan pembesaran 500 X dengan resolusinya diambil 840X640. Pemotretan dilakukan dengan *Digital Microscope Tips of Using Measurement Function* yang dikonvert ke perangkat lunak (PC) grafis komersial dengan tahapan berikut:

- Sisi potong pahat (*cutting edge*) dan sisi atas terlebih dahulu dibersihkan dengan tujuan untuk menghilangkan serpihan geram yang menempel pada pahat menggunakan larutan alkohol.
- Spesimen ditempatkan pada dukungan ragam di meja kerja mesin TU CNC-3A
- Digital Microscope* ditempatkan pada kedudukan spindle vertikal (Z) di mesin TU CNC - 3A yang dapat digerakkan pada 3 arah sumbu koordinat (x, y, dan z).
- Melakukan pengambilan gambar keausan yang terjadi pada pahat poin (b) dan poin (c), yang dikonvert ke perangkat lunak (PC) [Auto CAD 2004], sehingga menghasilkan parameter angka keausan tepi (V_B) dan kawah (K_T) yang akurat.

3. Prosedur Penelitian

- Pengujian awal untuk verifikasi dan penentuan range level variabel proses pemesinan.
- Menyiapkan Setting data proses pembubutan (Pahat HSS, *Stop watch*, Tachometer, *InfraRed*, alat ukur lainnya)
- Menyiapkan material Aluminium T-6061 dengan (L) Panjang benda kerja = 100 mm, (ϕ) diameter = 22 mm
- Melakukan proses pembubutan dengan panjang (L_p) pembubutan = 70 mm dan sesuai dengan variabel yang ditentukan (atau 12 kali langkah, setiap melakukan pemotongan) dan mencatat temperatur pemotongan ($T^\circ C$) pada ujung pahat
- Penghentian proses pembubutan untuk mengukur waktu pemotongan (t_c) dan keausan (V_B).
- Langkah 4. dan 5. tersebut dilakukan sampai pahat mencapai batas kriteria keausan yaitu pada $V_B \leq 0,3$ mm atau lebih pada t_{cn} , dengan *Digital Microscope Tips of Using Measurement Function*
- Mengklasifikasikan nilai keausan pahat (V_B) dari setiap kombinasi kondisi pemesinan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(1). Hasil heat treatment Pahat HSS

Sebelum dilakukan heat treatment pahat HSS konvensional mempunyai nilai kekerasan HRC 62, selanjutnya di treatment dengan proses *quenching* pada Nitrogen (N_2) cair mengalami kenaikan nilai kekerasan sebesar 3,125 %, sehingga penelitian pada proses pemesinan selanjutnya dapat dilakukan untuk menganalisa keausan pahat dan umur pahat. Dari hasil penelitian pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kondisi pemesinan yang memberikan umur pahat yang optimal dari pahat HSS dengan memvariasikan kecepatan potong menjadi 3 tingkatan, dan dilakukan pengukuran temperatur ujung pahat setiap proses pemotongan Al-T-6061, adapun data hasil penelitian disajikan pada tabel 1.

(2). Keausan tepi (V_B) dan Umur pahat (T)

Umur pahat merupakan seluruh waktu pemotongan (t_c) dengan kedalaman dan gerak makan serta putaran tertentu, sehingga dicapai batas keausan yang telah ditetapkan ($V_B > 0,3$ mm) (prediksi), dalam penelitian ini kriteria saat berakhirnya umur pahat Pertumbuhan keausan pahat pada kecepatan potong yang berbeda sampai kritis keausan pahat HSS^{1,6)}.

(3). Keausan Tepi pahat HSS hasil *Quenching*

Keausan tepi terjadi pada bidang utama/mayor, dan pengukuran keausan tepi (V_B) dilakukan dengan mengukur panjang (V_B), dimana jarak antara mata potong sebelum terjadi keausan (dijadikan referensi acuan), sampai ke garis rata-rata bekas keausan pada bidang utama, sesuai acuan $V_B \leq 0,3$ mm dalam hal ini kriteria saat berakhirnya umur pahat.

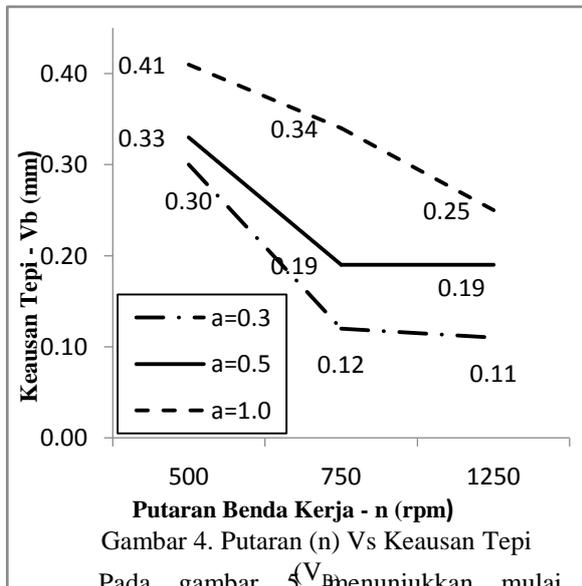
Tabel 3. Data hasil pengujian pembubutan.

n (rpm)	a (mm)	f(mm/put)	T o(C)	t _c (detik)	VB (mm)
500	0,3	0,1	38,30	57,92	0,30
	0,5		43,40	57,03	0,33
	1,0		47,20	57,18	0,41
750	0,3	0,1	35,50	58,11	0,12
	0,5		42,50	56,04	0,19
	1,0		48,10	58,50	0,34
1250	0,3	0,1	33,80	57,20	0,11
	0,5		37,70	57,28	0,19
	1,0		48,10	58,50	0,25

(4). Pengaruh Kondisi Pemotongan

Pada gambar 4, terlihat bahwa keausan tepi maksimum ($V_B = 0,41$ mm) dengan kedalaman potong ($a = 1,0$ mm) dan menurunnya putaran

spindel ($n=500$ rpm), dengan proses kecepatan potong rendah (V_c) akan cepat terjadinya pertumbuhan keausan hal ini disertai adanya kenaikan temperatur pahat maksimum terhadap benda kerja $48,10^\circ\text{C}$ (tabel 3), pada putaran spindel medium ($n = 750$ rpm), kedalaman potong $a = 1,0$ mm, dan gerak makan (f) konstan = $0,1$ mm/put, terjadi keausan tepi pahat ($V_B = 0,34$ mm), pada proses pembubutan dengan panjang total pemotongan 840 mm, untuk setiap benda kerja (12 kali langkah). Pada kondisi pemotongan terdapat beberapa hal yang harus dicermati yaitu pada setting alat ukur *infrared* untuk mengukur temperatur pada ujung pahat (pahat dengan benda kerja) saat proses pemotongan berlangsung harus dijaga ketepatan dalam mensett hal ini akan berpengaruh terhadap hasil pengukuran. Demikian juga pengaruh setting pencatat waktu pemotongan saat start maupun finish harus dijaga ketepatannya.



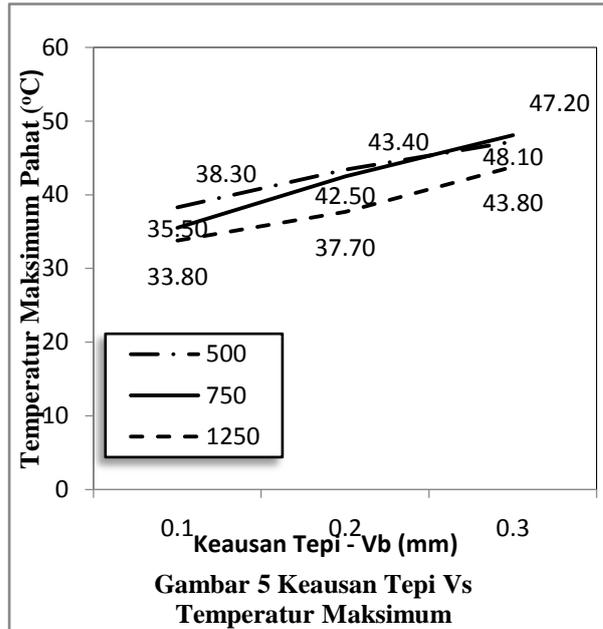
Gambar 4. Putaran (n) Vs Keausan Tepi

Pada gambar 5 menunjukkan mulai terjadinya pertumbuhan keausan tepi pada nilai $V_B \leq 0,3$ mm, kondisi pemesinan pada putaran rendah 500 rpm, kedalaman potong $a = 1,0$ mm, gerak makan (f) = $0,1$ mm/put konstan, dengan nilai temperatur pahat $48,10^\circ\text{C}$ artinya bahwa pada proses pembubutan material benda kerja **Al-T 6061**¹³⁾ dengan pahat bubut HSS hasil *quenching* mulai terlihat terjadi fenomena keausan tepi pahat (V_B) sebesar $0,41$ mm, sedangkan keausan kawah (K_T) tidak nampak akibat kecilnya keausan (diabaikan).

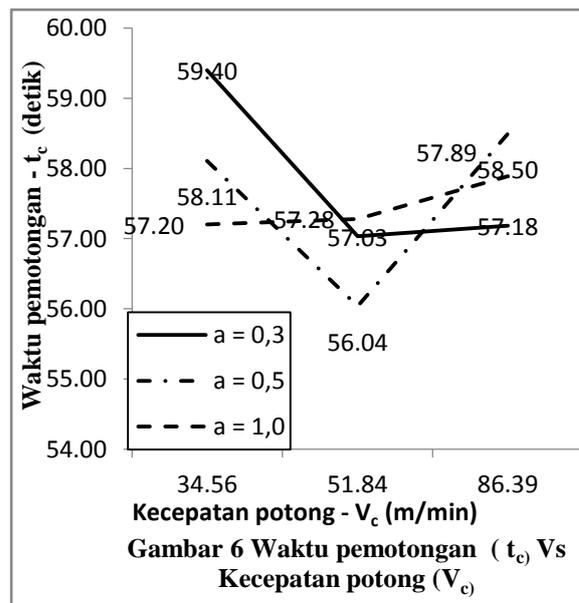
(5). Umur Pahat (T) pahat HSS hasil Quenching

Umur pahat merupakan seluruh waktu pemotongan (t_c) sehingga dicapai batas keausan yang telah ditetapkan (V_B maks $> 0,3$ mm). Gambar 6 dengan kondisi pemesinan pada kecepatan potong maksimum $V_c = 86,39$ m/menit, kedalaman potong $a = 1,0$ mm, gerak makan $0,1$ mm/put konstant

dengan waktu pemotongan maksimum (umur pahat) $t_c = 58,50$ detik dan terpendek $58,11$ detik, dengan nilai keausan tepi (V_B) = $0,25$ mm, fenomena ini terjadi akibat kenaikan temperatur saat proses pembubutan berlangsung terhadap material benda kerja $T = 48,10^\circ\text{C}$. Pada kecepatan potong paling rendah $V_c = 34,56$ m/menit, memperoleh nilai keausan tepi (V_B) = $0,30$ mm, waktu pemotongan $59,40$ detik dengan kedalaman potong $a = 0,3$ mm.



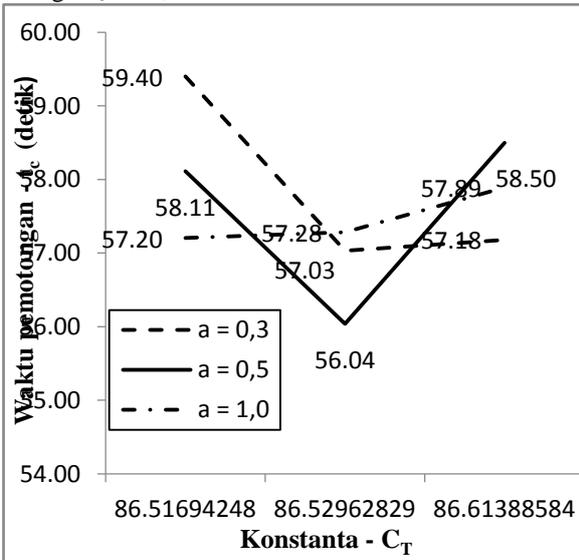
Gambar 5 Keausan Tepi Vs Temperatur Maksimum



Gambar 6 Waktu pemotongan (t_c) Vs Kecepatan potong (V_c)

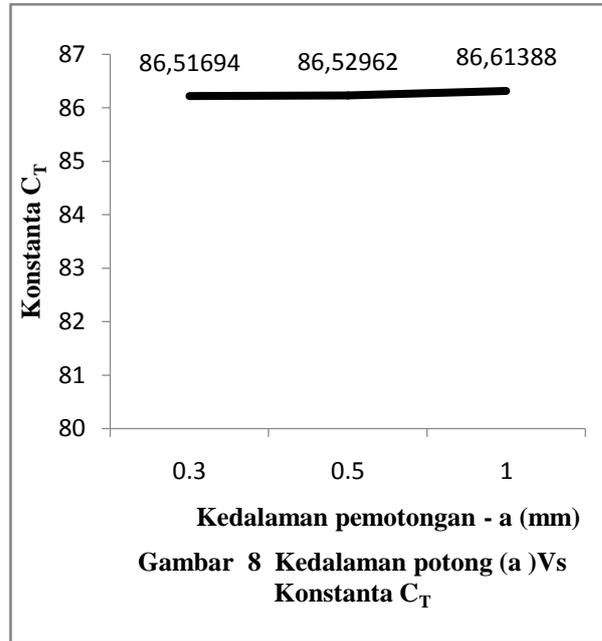
(6).Penentuan C_T dan Harga Eksponen(n)

Berdasarkan grafik hubungan konstanta (C_T) dengan waktu pemotongan (t_c) ditunjukkan gambar 7, terlihat bahwa dengan meningkatnya waktu pemotongan (t_c) = 59,40 detik dan kedalaman potong $a = 1,0$ mm, memperoleh nilai konstanta (C_T) Taylor = 86,51 baik maksimum dan minimumnya relatif sama tidak ada perbedaan yang signifikan, terlihat pada gambar 8 menunjukkan untuk kedalaman potong $a=0,3$ mm, 05 mm dan 1,0 mm, hal ini menunjukkan bahwa temperatur pada ujung pahat yang relatif merata dengan kondisi pemotongan diatas yaitu $48,10^0$ C. Pada gambar 9 menunjukkan bahwa nilai eksponen (n) umur pahat HSS dapat ditentukan secara empiris, dengan menggunakan persamaan umur pahat Taylor $V_c.T^n = C_T$, artinya kondisi pemotongan (kecepatan potong (V_c) dan umur pahat (T) yang telah diperoleh dengan harga eksponen n dan konstanta C_T . Dari hasil pengujian umur pahat HSS hasil *quenching*, diperoleh eksponen $n_{maksimu} = 0,043$ pada $a = 0,3$ mm, dan $n_{min} = 0,0254$ pada $a = 1,0$ mm. Sehingga nilai persamaan Taylor adalah $V_c.T^{0,043} = 86,51$ (maks) untuk kecepatan potong $V_c = 34,56$ m/menit dan $V_c.T^{0,0254} = 86,51$ (min), untuk kecepatan potong $V_c = 86,39$ m/menit.

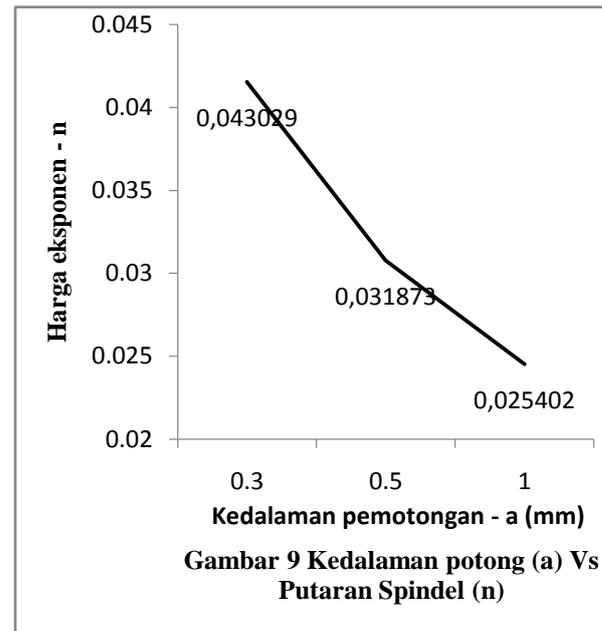


Gambar 7 Waktu Pemotongan (t_c) Vs Konstanta (C_T)

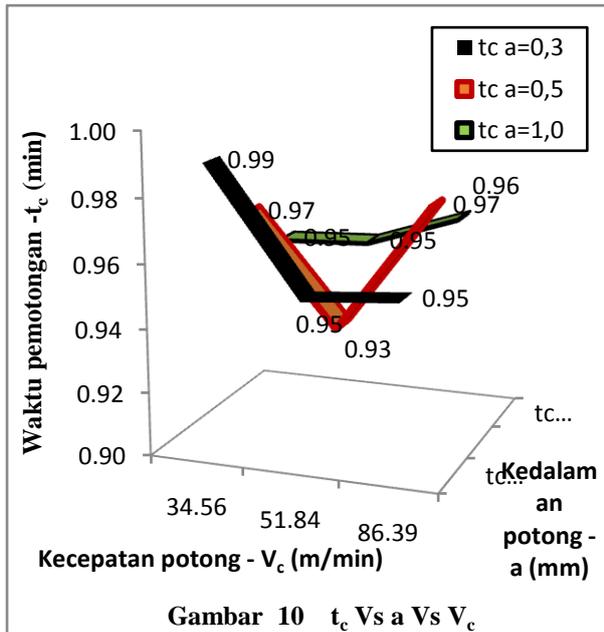
Dengan waktu pemotongan atau umur pahat maksimum $t_c = 58,50$ detik dan terpendek 58,11 detik.



Gambar 8 Kedalaman potong (a) Vs Konstanta C_T



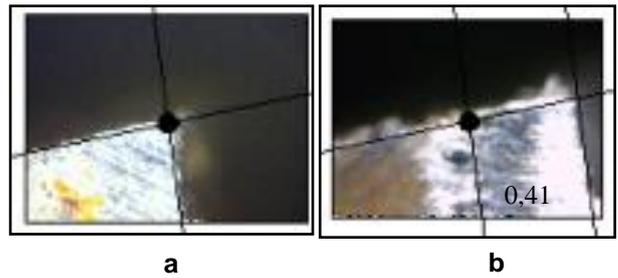
Gambar 9 Kedalaman potong (a) Vs Putaran Spindel (n)



Gambar 10 t_c Vs a Vs V_c

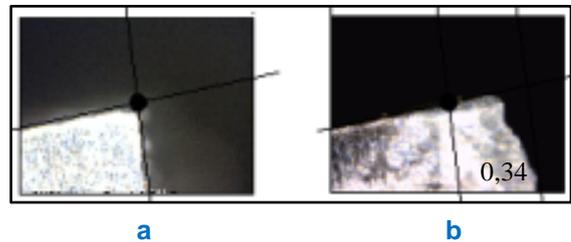
(7). Karakteristik Keausan Pahat HSS

1. Untuk $V_c = 34.56$ m/menit, pada kecepatan ini keausan yang terjadi disebabkan oleh proses abrasif yang terjadi karena pengaruh gesekan antara geram dengan bidang geram dan bidang utama pahat. Proses abrasif ini terus membesar pada bidang utama pahat ($A\alpha$), pada bidang geram($A\gamma$) tidak nampak. Pada bidang utama proses abrasif ini akan menjadi keausan tepi($V_B:0,41$ mm), sedangkan pada bidanggeram($A\gamma$),akan membuat permukaan bidang geram (keausan kawah) terkelupas dan tidak terlihat. Akibatnya semakin lama pahat akan mengalami keausan yang ditandai kelelahan ujung pahat (*fatigue*)¹⁶,sehingga permukaan benda kerja yang dipotong bertambah kasar, gaya pemotongan yang terjadi bertambah besar yang ditandai dengan bunyi pada mesin yang bertambah keras. Keausan akibat proses abrasif dan ini akan terus berkembang sampai mencapai batas kritis keausan pahat, sehingga terjadi BUE (*Built Up Edge*)³, akibat penumpukan geram pada bidang geram(lihat gambar 11 a,b).



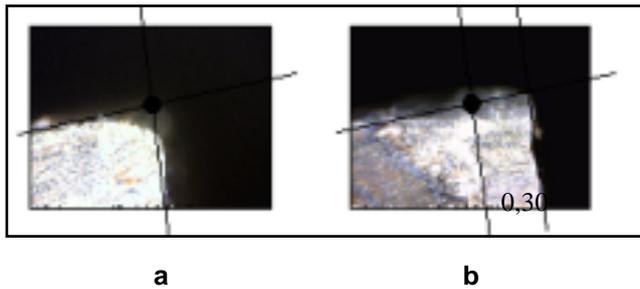
Gambar 11. (a). Awal sebelum terjadi mekanisme Keausan (bidang referensi). (b). Mekanisme Abrasif pada bidang Utama ($A\alpha$)

2. Untuk $V_c = 51.84$ m/menit, pada kecepatan ini keausan yang disebabkan oleh proses abrasif terbentuk lebih cepat dan lebih besar sehingga keausan tepi yang terjadi lebih cepat mencapai batas kritis. Pada kecepatan ini besarnya keausan tepi yang terbentuk ditandai dengan permukaan bidang utama pahat lebih kasar. Keausan ini disebabkan oleh gesekan antara aliran material benda kerja pada bidang geram dan bidang utama pahat. (lihat gambar 12 a dan b).Selain proses abrasif, keausan yang terjadi pada kecepatan ini juga disebabkan oleh adanya gaya adhesi².



Gambar 12. (a) Awal sebelum terjadi mekanisme Keausan(Ref),(b) Mekanisme BUE Gaya adhesi²) ini akan mengakibatkan penumpukan metal pada mata potong yang terkenal dengan nama BUE (*Built Up Edge*)³. BUE terbentuk sangat besar dan lebih cepat pada mata potong.

3. Untuk $V_c = 86,39$ m/menit, pada kecepatan ini keausan yang terjadi lebih kompleks dimana keausan yang terjadi disebabkan oleh proses abrasif, kimiawi dan adhesi. Pada awal pemotongan mata potong pahat terlihat seperti terbakar dan menimbulkan bunyi yang keras pada mesin. Proses pemotongan ini sangat kimiawi aktif dimana material benda kerja yang baru saja terpotong langsung menempel pada bidang geram dan bidang utama pahat didekat mata potong.



Gambar 7. (a). Awal sebelum terjadi mekanisme ke-

Ausan (Ref), (b) Bidang utama($A\alpha$)

Akibat adanya gaya adhesi maka BUE yang terbentuk sangat besar. Pada kecepatan inilah keausan tepi dan penumpukan metal pada mata mata potong (BUE) terbentuk lebih cepat hingga mencapai batas kritis keausan tepi maksimal. Dalam penelitian ini, mekanisme deformasi akibat beban tekan terjadi pada kecepatan potong dan kedalaman potong. Di samping itu pada kecepatan potong yang tinggi, terjadi keausan kawah yang terjadi lebih besar, sehingga tidak nampak akibat terkelupas.

KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Umur pahat terlama 0,99 menit ($V_c = 34,56$ m/menit), kedalaman potong $a = 0,3$ mm, gerak makan (f) : 0,1 mm/put, umur pahat terpendek 0,93 menit ($V_c = 51,84$ m/menit), kedalaman potong $a = 0,5$ mm. Persamaan umur pahat Taylor diperoleh eksponen $n_{maksimu} = 0,043$ pada $a = 0,3$ mm, dan $n_{min} = 0,0254$ pada $a = 1,0$ mm, nilai persamaan Taylor adalah $V.T^{0,043} = 86,51$ (maks) untuk kecepatan potong $V_c = 34,56$ m/menit dan $V.T^{0,0254} = 86,51$ (min), untuk kecepatan potong $V_c = 86,39$ m/menit.
2. Karakteristik keausan pahat yang paling sering tumbuh, pada proses Abrasif, Abrasi, Difusi dan Keausan [tepi (V_B) dan kawah (KT)/tidak nampak dan BUE (*Built Edge Up*), penyebab penurunan kecepatan potong (V_{c1}) akan mempercepat terjadinya keausan tepi pahat (V_B), sehingga umur pahat akan naik. Pada kecepatan potong yang sedang (V_{c2}) pertumbuhan keausan tepi (V_B) akan lambat seiring dengan berkurangnya waktu pemotongan, akibat adanya gaya pemotongan yang terjadi bertambah kecil.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Astakhov, V.P and J.Paulo, D.,2008 "Tools(Geometry and Material) and Tool

Wear, *Machining Fundamentals and Resent Advance XIV*",361 pp. 222,ISBN-978-1-84800-212-8.

- [2]. Dolinsek, B, J.Kopac.,2006,"Mechanism and Type of Tool Wear Particularities in advanced Cutting Materials",Journal AMME, Vol. 19 Issue 1.
- [3]. Molinari, A. & Nouari, M.,2003,"Modeling of Tool Wear by Diffusion in Metal Cutting", *Journal Wear Technology* 252 , p.p. 135-149.
- [4]. Pawlik, A., et al., 2002,"Tool Life Experiment",*Journal Teknologi Process* .pp. 149-156.
- [5]. Rochim, Taufiq,1993,"Teori dan Teknologi Proses Pemecinan". HEDS, Jurusan Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung.
- [6]. Rochim, Taufiq., 2007,"Buku 1 Klasifikasi Proses,Gaya dan Daya Pemecinan",MPE, FTI, Jurusan Mesin Institut Teknologi Bandung.
- [7]. Suherman, H, et al.,2006," Pengaruh kondisi pemotongan pahat gurdi terhadap keausan pahat, dengan menggunakan baja karbon rendah(ST-37) dan pahat HSS, untuk menentukan karakteristik keausan tepi yang dialami pada proses gurdi", *jurnal Teknik Mesin UBH*,Vol.3.
- [8]. Laboratorium Sentral FMIPA Universitas NegeriMalang,2013,"*Microanalysis Report*".
- [9]. Sudjatmiko, 2010, "Penentuan Harga eksponen dan konstanta umur pahat karbida dengan persamaan Taylor untuk membubut Aluminium T-6061 pada kondisi kering dengan *metoda variable speed machining test*". ISSN 0216-3233 vol VI, edisi,2,2010,*Jurnal Transmisi Teknik Mesin Fak. Tek. UnMer Malang*.
- [10]. Hartono, Priyagung, 2010, " Penentuan Harga Eksponen dan Konstanta persamaan Taylor pada proses *Turning* Sebagai Pedoman Mengetahui Keausan dan Umur Hidup Pahat HSS untuk Benda Kerja dengan Material Berbeda",*Prosiding Seminar Nasional Program Magister dan Doktor Fakultas Teknik, UB ke 1*.
- [11]. Darmawan, Agung Setyo,2008,"Proses *Quenching* dan *Tempering* Pada SCMnCr2 untuk memenuhi standar JIS G 5111", *Media Mesin*, 9 ,(2),pp. 49-55. ISSN 1411-438.
- [12]. Streejith, P.S. & Ngoi, B.K.A, 2000," *Dry Machining of The Future* ", *Journal Material Process Techonology* 101 : 287-291.
- [13]. <http://www.aluminium.org.otomotif diakses December, 17,2010,11.30 am>.

- [14] Taylor, Fred. W. ,1907,"*On the Art of Cutting Metals*". Trans. ASME, 28 : 31- 58.
- [15]. Wikipedia, tentang Nitrogen Cair dan Implementasinya, (05/09/2013, jam 22.04
- [16]. *ASMInternational* , 1987.*Fractography Handbook Volume 12, The Materials InformationCompany.*
- [17]. <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/products/steelturning/pdf>. Accessed on : Dec,