

## KARAKTERISTIK UMUR PAHAT PADA PROSES MILLING TERHADAP PEMESINAN KERING AISI 4140

Ivan Andri Harianja<sup>1,\*</sup>, Surya Murni Yunus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Institut Teknologi Medan

<sup>2</sup>Dosen Institut Teknologi Medan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Medan

Jl. GedungArca No.52 Medan (20217)Telp. (061) 7363771 Fax. (061) 7347954

\*Email: ivanandriian@yahoo.co.id

### ABSTRACT

*Tool life is a machining data that is very important in machining planning. Characteristics of tool life is a function of the thickness of the chips, temperature and flow velocity of the debris. If the thickness of the flakes is greater, the temperature will be higher while the flow rate of the flakes will be lower than the cutting speed so that the tool wear / tool life is obtained. The research was conducted by observing the effect of cutting conditions, where the cutting speed was varied while other cutting conditions, such as feeding motion, infeed depth and fixed cutting time. The purpose of this study was to determine the HSS tool life with AISI 4140 steel. 755 m / min,  $f = 0.5$  mm / put,  $a = 0.5$  mm, that the tool wear ( $V_b$ ) obtained is 0.325 mm, the value can be said that the tool wear / tool life limit has been reached, because according to ISO 3685 tool life wear limit is 0.3 mm.*

**Keywords:** *tool life, tool wear and cutting speed*

### PENDAHULUAN

Keausan pahat adalah suatu masalah yang tidak bisa dihindari dalam suatu proses manufaktur. Keausan pahat terjadi karena naiknya temperatur kontak antara pahat dengan benda kerja. Kenaikan temperatur akibat gesekan ini bahkan bisa menyebabkan kegagalan pahat. Salah satu usaha untuk mengurangi laju keausan pahat adalah pemberian *coolant* (cairan pendingin) yang dapat mengurangi temperature pahat. Tetapi usaha ini masih menyisakan permasalahan karena menyebabkan limbah industri yang sulit ditangani. *Coolant* yang dibuang sembarangan dapat menyebabkan kematian bagi mahluk-mahluk sekitarnya dan juga membahayakan bagi operator karena memiliki sifat racun jika terjadi kontak secara terus-menerus atau bahkan jika sampai tertelan.

Beberapa negara maju bahkan sudah mengeluarkan peraturan yang membatasi penggunaan *coolant* ini dalam kaitannya terhadap kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia. Dalam permesinan, penggunaan fluida permesinan menyumbang 7% s.d 17% dari

biaya permesinan, sedangkan biaya pahat 2% s.d 4% dari biaya permesinan (Klocke, 2011), dapat disimpulkan bahwa penggunaan *coolant* sangat mempengaruhi biaya total produksi. Permesinan secara *dry* juga “seakan-akan” menawarkan solusi untuk ini, tetapi kenyataannya cara ini tidak efektif saat dituntut pada efisiensi mesin tinggi, kualitas hasil akhir permukaannya tidak memuaskan. Oleh karena itu mulai digagas permesinan *semi-dry* yang memerlukan sedikit fluida permesinan dengan fluida yang ramah lingkungan. Pada dasarnya proses produksi mesin – mesin perkakas bertujuan untuk memotong material ke dalam ukuran yang tepat. Namun, kemajuan teknologi semakin pesat demikian pula kemajuan teknologi di Indonesia juga semakin pesat. Dapat di lihat bahwa semakin banyaknya tuntutan untuk menciptakan suatu produk yang beragam dan terkadang pula dengan jumlah yang banyak.

Proses pemotongan logam merupakan salah satu proses penting dalam industri manufaktur, bahkan proses permesinan telah menjadi inti dari industri manufaktur sejak revolusi industri. Salah satu proses permesinan yang sering

digunakan di industri manufaktur adalah proses freis (*milling*). Proses freis adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar (Rochim, 1993). Bagi teknisi di bidang pengerjaan logam dan mahasiswa pada jurusan teknik mesin, mesin frais/*milling* telah dikenal fungsi dan perannya untuk membuat komponen dari bermacam-macam peralatan dan komponen-komponen mesin. Pada dasarnya setiap pekerjaan mesin mempunyai persyaratan kualitas permukaan (kekasaran permukaan) yang berbeda-beda, tergantung dari fungsi dan efisiensi dengan ketelitian yang tinggi. Kualitas permukaan hasil pengefraisan dapat dilihat dari kekasaran permukaannya, khususnya untuk pembuatan *dies* atau *mould*.

Pada pembuatan *dies*, makin halus permukaannya maka makin baik pula kualitasnya, sehingga cukup beralasan juga apabila kekasaran permukaan hasil pengefraisan pada pembuatan *dies* harus diperhatikan dan dapat diketahui solusi untuk mendapatkan yang sehalus mungkin. Proses pengerjaan pembuatan *dies*, yang dipakai adalah menggunakan proses *end milling*. *End milling* (Frais Jari) adalah dimana pisau pada proses frais jari biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja, sehingga pisau dapat bergerak menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut (Wijanarko, 2012).

Penelitian tentang proses pemotongan logam biasanya difokuskan pada beberapa kualitas yang kritis dari produk, seperti gaya potong, laju pengerjaan material, kekasaran permukaan dan bentuk geram. Gaya potong yang terlalu besar dan melebihi kekuatan yang dimiliki oleh pahat potong, akan menyebabkan keretakan/patah pada pahat potong tersebut. Pahat potong yang aus akan menimbulkan gesekan yang menyebabkan gaya potong meningkat, sehingga getaran menjadi lebih besar.

Getaran yang besar akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan, misalnya kekasaran permukaan menjadi tinggi. Besar kecilnya gaya potong dipengaruhi oleh parameter pemotongan seperti kecepatan potong, sudut geram, kedalaman potong, kecepatan makan dan geometri pahat potong (Rochim, 1993). Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik umur pahat pada proses *milling* terhadap pemesinan kering AISI 4140

Mekanika proses pemotongan logam membutuhkan parameter yang melibatkan kondisi pemotongan dan geometri serta kemampuan pahat potong. Semakin besar kecepatan potong semakin besar pula konsumsi tenaga mesinnya. Penampang serpihan dalam proses pemotongan besarnya tergantung kepada gerak makan (mm/put) atau dalam/tebalnya kedalaman potong (mm). Dalam proses pemesinan, untuk mencapai kondisi pemotongan yang optimal dan stabil sangat perlu diperhatikan adanya kombinasi besaran laju pemotongan, gerak makan, dan kedalaman pemotongan yang sangat erat kaitannya terhadap umur pahat serta kualitas permukaan bahan termesin (Rochim, 1993).

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya 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:

- a. Adanya kenaikan gaya potong,
- b. Terjadinya getaran/*chatter*,
- c. Penurunan kehalusan permukaan hasil permesinan, dan/atau
- d. Perubahan dimensi/geometri produk.

Dengan menentukan kriteria saat habisnya umur pahat seperti di atas, maka umur pahat dapat ditentukan yaitu mulai

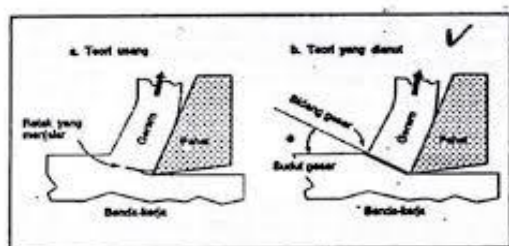
dengan pahat baru (setelah diasah atau *insert* telah diganti) sampai pahat yang bersangkutan dianggap tidak bisa digunakan lagi. Dimensi umur dapat merupakan besaran waktu, yang dapat dihitung secara langsung maupun secara tidak langsung dengan mengkorelasikan terhadap besaran lain. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah prosedur perhitungan sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan.

### Kriteria Umur Pahat

Semakin besar keausan / kerusakan yang diderita pahat maka kondisi pahat akan semakin kritis. Jikalau pahat tersebut masih tetap digunakan maka pertumbuhan keausan akan semakin cepat dan pada suatu saat ujung pahat akan sama sekali rusak. Kerusakan fatal seperti ini tidak boleh terjadi sebab gaya pemotongan akan semakin tinggi sehingga dapat merusakkan seluruh pahat, mesin perkakas dan benda kerja, serta dapat membahayakan operator yang melayani mesin tersebut. Oleh sebab itu, untuk menghindari hal tersebut ditetapkan batas harga keausan (dimensi dari keausan tepi atau keausan kawah) yang dianggap sebagai batas kritis dimana pahat tidak boleh digunakan.

### Mekanisme Pembentukan Geram

Pada mulanya diperkirakan geram terbentuk karena adanya retak mikro (micro crack) yang timbul pada benda kerja tepat diujung pahat pada saat pemotongan dimulai. Dengan bertambahnya tekanan pahat, retak tersebut menjalar kedepan sehingga terjadinya geram.



Gambar 1.1. teori terjadinya geram

### Gambar 1. Terjadinya Geram

Berkat hasil berbagai penelitian, anggapan mengenai pembentukan geram ini sekarang sudah ditinggalkan. Logam yang pada umumnya bersifat ulet (duktile) apabila mendapat tekanan akan timbul tegangan (stress) didaerah disekitar konsentrasi gaya penekanan mata potong pahat. Tegangan pada logam (benda kerja) tersebut mempunyai orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser (shearing stress) yang maksimum. Apabila tegangan geser ini melebihi kekuatan logam yang akan terjadi deformasi plastik (perubahan bentuk) yang menggeser dan memutuskan benda kerja diujung pahat pada suatu bidang geser (shear plane). Bidang geser mempunyai lokasi tertentu yang membuat sudut terhadap vektor kecepatan potong dan dinamakan sudut geser (shear angle,  $\Phi$ ). Untuk mempermudah pemahaman mekanisme keausan pahat, maka ada beberapa contoh bentuk geram. Geram hasil proses pemotongan merupakan material yang kontinu dengan berbagai tebal yang berbeda - beda. Dalam kenyataannya bentuk geram sangat beraneka ragam, tergantung pada material benda kerja, jenis proses pemesinan dan kondisi pemotongan yang digunakan secara garis besar terbagi atas dua bentuk geram, yaitu :

1. Geram Tak Kontinu terbentuk pada proses dengan benda kerja yang rapuh yang bentuk serpihan berbentuk serbuk.
2. Geram Kontinu terbentuk pada proses dengan benda kerja yang keras yang bentuk serpihan terputus - putus dan juzga sambung menyambung bisa juga tidak terputus.

Agar lebih jelas dapat melihat gambar dibawah ini:



**Gambar 2.** Bentuk Geram (CHIPS)

Menurut Prof.Dr.Ir.Armanasyah Ginting, M.Eng, perhitungan tebal serpihan dengan menggunakan metode metologi geometri dapat digunakan rumus yaitu :

$$X = \frac{\sum x}{n}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum v^2}{(n-1)}}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_s}{\sqrt{n}}$$

Best Value = Mean (x) –  $\sigma_m$

Dengan :

X	: nilai rata-rata	(mm)
$\sigma_s$	: standart toleransi	(mm)
$\sigma_m$	: standart kesalahan	(mm)
n	: banyak data	
$\sum x$	: jumlah nilai data	(mm)

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat

#### Material Benda Uji

Material benda uji yang digunakan adalah bahan baja 4140 yang direkomendasikan sebagai landing gear pada pesawat terbang ,alat transportasi dan pertahanan yang terbuat dari baja perkakas.

#### Bahan Pahat

Dalam penelitian ini, material pahat yang digunakan berupa pahat HSS Cobalt M42. Jenis pahat HSS Cobalt M42 yang digunakan GUHRING No.3458

### Variabel Yang Diamati

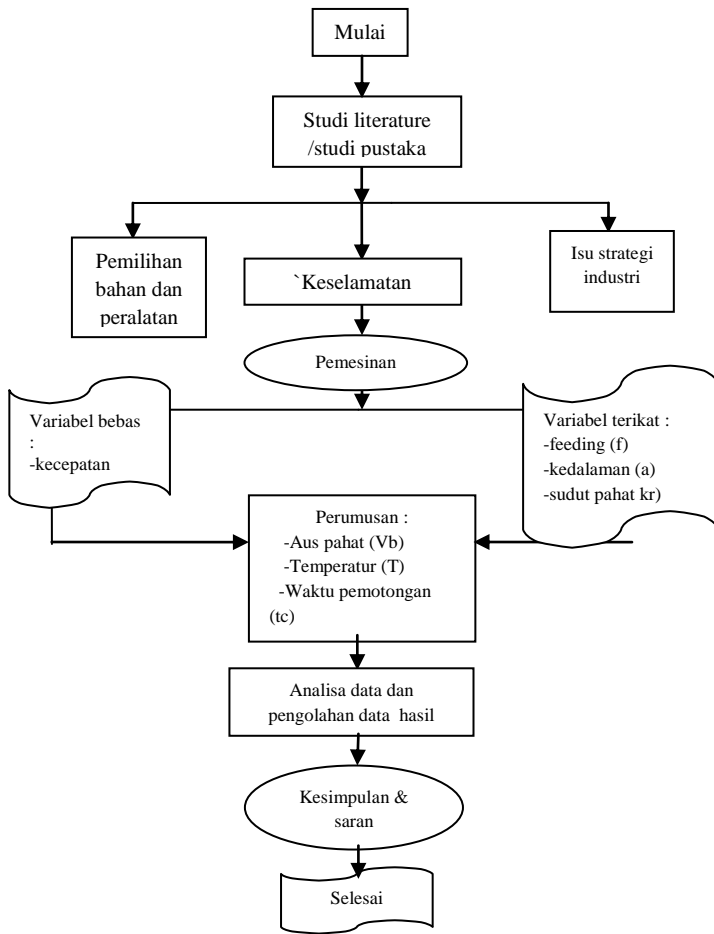
Adapun variable terikat yang dibahas dalam penelitian ini yaitu feeding (f) ,kedalaman potong (a) dan sudut pahat (kr) sedangkan variabel bebas kecepatan potong.

### Tahapan Pengamatan dan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dan pengamatan adalah :

1. Menyiapkan bahan dan alat pengambilan data diantaranya adalah :
2. Mengatur mesin dan uji kalibrasi mesin sebelum melakukan percobaan kemudian hentikan uji jalan mesin milling
3. Mengikat end mill pada arbor pendek
4. Memasang benda uji baja AISI 4140 keragum
5. Menentukan putaran mesin (rpm), laju pemakanan (f) dan kedalaman potong (a) pada mesin milling
6. Mengatur dan memastikan alat Thermokopel dalam keadaan baik
7. Menghidupkan mesin milling dengan menekan tonbol ON/OFF pada mesin milling
8. Melakukan proses permesinan sesuai dengan rancangan eksperimen bersama dengan menempelkan kabel termokopel pada ujung pemakanan mata end mill sampai batas yang ditentukan pada benda kerja serta melihat laju pahat dengan menggunakan stopwatch
9. Mengambil data dan keausan pahat dengan menggunakan mikroskop optic USB
10. Setelah selesai pengujian dilakukan hentikan mesin dan lepaskan benda uji dan pahat dari mesin milling
11. Menyimpulkan dan menentukan peforma pahat setelah pengambilan data dan pengolahan data.

### Kerangka Konsep Penelitian



Gambar 2. Kerangka konsep penelitian

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 1. Pengolahan Data

Dari pengamatan dan didasarkan pada landasan teoritis didapati pengaruh perubahan laju sayatan ( $f$ ) dan kedalaman potong ( $a$ ) sangat mempengaruhi umur pahat pada pahat yang digunakan. Analisa dari data hasil pengujian diperoleh dari kondisi pemotongan sesuai menurut rencana perlakuan dan selanjutnya dilakukan analisa data yang mencakup variabel-variabel penelitian antara lain : variabel bebas berupa kecepatan potong ( $v$ ), sedangkan variabel terikatnya laju sayatan ( $f$ ), kedalaman potong ( $a$ ), sudut potong ( $kr$ ), dan karakteristik umur pahat berupa aus pahat ( $V_b$ ), waktu pemotongan

( $t_c$ ), temperatur ( $T$ ) dan tebal serpihan ( $hc$ ).

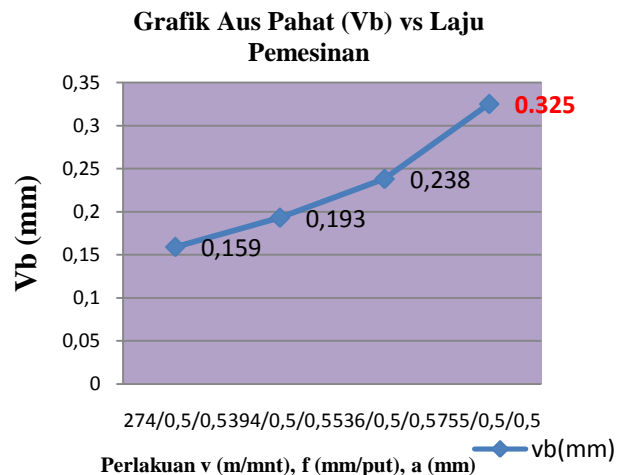
Pengamatan data-data hasil pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik umur pahat. Pengamatan ini memakai End Mill HSS Cobalt M42 dengan menggunakan mesin milling dengan bahan Baja AISI 4140.

#### 2. Data Hasil Umur Pahat

Hubungan kriteria umur pahat ada berkaitan dengan data temperatur dan juga aus pahat yang mana akan menghasilkan waktu pemotongan pada saat proses pemillingan dilakukan dengan waktu yang telah ditentukan yaitu 30 menit.

Umur pahat berkaitan dengan aus pahat, laju pemesinan, temperatur, waktu pemotongan dan tebal serpihan yang mana aus pahat dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop digital, nilai temperatur menggunakan termokopel dan tebal serpihan menggunakan mikrometer digital..

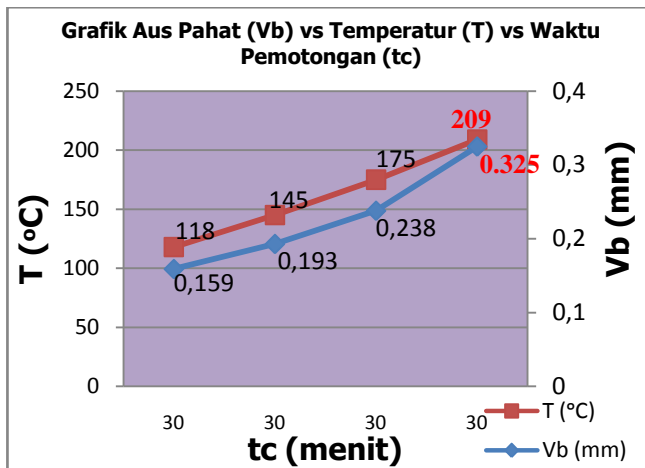
Maka grafiknya yaitu :



Gambar 3. Grafik Hubungan Aus Pahat Vb (mm) vs Laju Pemesinan

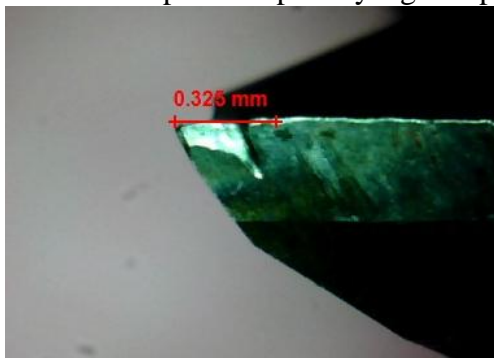
Analisa grafik 3. memperlihatkan bahwa hubungan aus pahat ( $V_b$ ) terhadap laju pemesinan yaitu pada kondisi laju minimum  $v = 274$  m/mnt,  $f = 0,5$  mm/put,  $a = 0,5$  mm, aus pahatnya ( $V_b$ ) = 0,159

mm dan pada kondisi laju maksimum  $v = 755$  m/mnt,  $f = 0,5$  mm/put,  $a = 0,5$  mm, aus pahatnya ( $V_b$ ) = 0,325 mm. Dimana semakin tinggi laju pemesisannya ( $v$ ) maka aus pahat ( $V_b$ ) akan semakin besar pula, dan sangat mempengaruhi umur pahat.



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Aus Pahat ( $V_b$ ) vs Temperatur ( $T$ ) vs Waktu Pemotongan ( $t_c$ )

Analisa grafik 4. memperlihatkan bahwa hubungan aus pahat ( $V_b$ ), temperatur ( $T$ ) dan waktu pemotongan ( $t_c$ ) yang mana aus pahat, temperatur dan waktu pemotongan sama kaitannya dengan umur pahat yaitu  $V_b$  terkecil 0,159 mm dengan temperatur 118 °C dengan waktu pemotongan 30 menit dan  $V_b$  terbesar 0,325 mm dengan temperatur 209 °C dengan waktu pemotongan 30 menit. Bahwa semakin tinggi temperature dan lamanya waktu pemotongannya maka semakin besar pula aus pahat yang didapat.



Perlakuan	v m/mnt	f m/put	a mm	kr °C	$h_c$			
					(mm)			
					Nilai Rata	Standart Tolera nsi	Stand ar Kesalahan	Be st Value
1	274	0,5	0,5	90	0,71	0,12	0,027	0,69
2	394	0,5	0,5	90	0,75	0,11	0,025	0,73
3	536	0,5	0,5	90	0,88	0,07	0,017	0,86
4	755	0,5	0,5	90	0,89	0,06	0,015	0,88

**Gambar 5.** Gambar Aus Pahat

Dari gambar 5. Menurut ISO 3685 umur pahat (*tool life*) batas keausan sisi/tepi pahat adalah 0,3 mm. Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan mesin milling terhadap pemesisan kering baja AISI 4140 menggunakan End Mill HSS Cobalt M42 didapat data batas aus pahat yaitu 0,325 mm. Maka dapat dikatakan umur pahat tersebut telah tercapai dan tidak boleh digunakan lagi.

**Pembahasan Hasil Penelitian**  
**Analisa Karakteristik Umur Pahat**

Pada grafik 3. hubungan Aus Pahat  $V_b$  (mm) terhadap kondisi pemotongan pemesisan bahan baja AISI 4140 menunjukkan bahwa pada perlakuan keempat dimana  $v = 755$  m/mnt,  $f = 0,5$  mm/put,  $a = 0,5$  mm, aus pahat ( $V_b$ ) = 0,325 mm, karakteristik umur pahat yang terjadi adalah aus sisi.

**Analisa Aus Pahat, Temperatur potong dan Waktu Pemotongan**

Pada grafik 4. Aus Pahat  $V_b$  (mm), Temperatur (°C) dan Waktu Pemotongan (menit) pada kondisi pemotongan baja AISI 4140 yang terendah pada perlakuan

pertama  $v = 274$  m/mnt,  $f = 0,5$  mm/put,  $a = 0,5$  mm dimana  $T = 118^\circ\text{C}$  dan  $t_c = 30$  menit. Ditinjau dari aus pahat terhadap temperatur potong dan waktu pemotongan maka aus pahat terjadi akibat pengaruh kedalaman potong ( $a$ ), kecepatan potong ( $v$ ) dan menempelnya geram terhadap mata pahat.

### Data Hasil Pengujian Tebal Serpihan

#### Pembahasan Hasil Tebal Serpihan

1. Kondisi serpihan 1 yaitu :  $v = 274$  m/menit,  $f = 0,5$  mm/put,  $a = 0,5$  mm.

Dari pengamatan dan analisa data diatas menunjukkan pada kondisi laju  $V = 274$  m/mnt,  $f = 0,5$  mm,  $a = 0,5$  mm. Tebal serpihan pertama yang paling mendekati yaitu =  $0,71$  mm, standart toleransi yaitu =  $0,12$  mm, standart kesalahan yaitu =  $0,027$  mm, dan ukuran terbaik yaitu =  $0,69$  mm.

2. Kondisi serpihan 2 yaitu :  $v = 394$  m/menit,  $f = 0,5$  mm/put,  $a = 0,5$  mm.

Dari pengamatan dan analisa data diatas menunjukkan pada kondisi laju  $V = 394$  m/mnt,  $f = 0,5$  mm,  $a = 0,5$  mm/put. Tebal serpihan kedua yang paling mendekati yaitu =  $0,75$  mm, standart toleransi yaitu =  $0,11$  mm, standart kesalahan yaitu =  $0,025$  mm, dan ukuran terbaik yaitu =  $0,73$  mm.

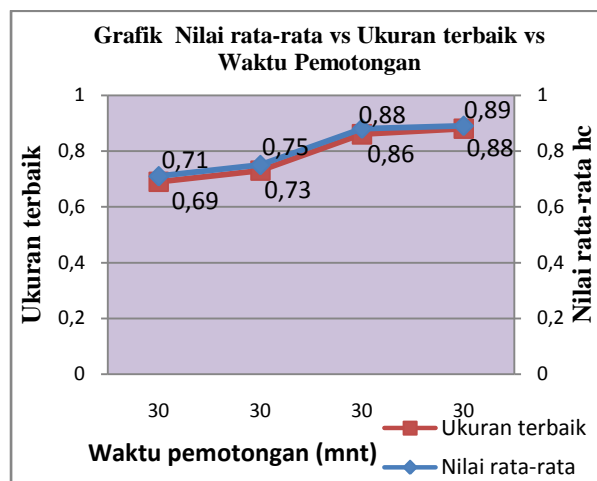
3. Kondisi serpihan 3 yaitu :  $v = 536$  m/menit,  $f = 0,5$  mm/put,  $a = 0,5$  mm.

Dari pengamatan dan analisa data diatas menunjukkan pada kondisi laju  $v = 536$  m/mnt,  $f = 0,5$  mm/put,  $a = 0,5$  mm. Tebal serpihan ketiga yang paling mendekati yaitu =  $0,88$  mm, standart toleransi yaitu =  $0,07$  mm, standart kesalahan yaitu =  $0,017$ mm, dan ukuran terbaik yaitu =  $0,86$  mm.

4. serpihan 4 yaitu :  $v = 755$  m/menit,  $f = 0,5$  mm/put,  $a = 0,5$  mm.

Dari pengamatan dan analisa data diatas menunjukkan pada kondisi laju  $v = 755$  m/mnt,  $f = 0,5$  mmput,  $a = 0,5$  mm. Tebal serpihan keempat yang paling

mendekati yaitu =  $0,89$  mm, standart toleransi yaitu =  $0,06$  mm, standart kesalahan yaitu =  $0,015$  mm, dan ukuran terbaik yaitu =  $0,88$  mm.



**Gambar 6.** Grafik Nilai rata-rata hc vs Ukuran Terbaik vs Waktu Pemotongan

Analisa gambar grafik 6. memperlihatkan grafik hubungan antara kondisi nilai rata-rata dengan waktu pemotongan, yaitu pada nilai rata-rata hc hampir mendekati dengan nilai ukuran terbaik. Terlihat ukuran terbaik hc =  $0,69$  dan nilai sebenarnya  $0,71$  dengan waktu potong 30 menit, Dari analisa data diatas menunjukkan bahwa terjadi pengaruh hasil serpihan yang berkaitan dengan tebal serpihan pada setiap kondisi pemotongan tergolong pada kondisi yang kurang baik karena tidak mendekati angka pada  $f$  (mm/put) yaitu  $0,5$  mm pada pemotongan minimum.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang didapatkan pada hasil pemillingan kering pada Baja AISI 4140, berkekerasan 25-32 HRC menggunakan End Mill HSS Cobalt M42 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari penelitian kecepatan potong ( $v$ ) =  $755$  m/mnt,  $f = 0,5$  mm/put dan  $a = 0,5$

mm pada kondisi pemotongan ini nilai batas aus pahat yang didapat  $V_b = 0,325$  mm dengan temperatur  $209$  °C dan waktu pemotongan 30 menit. Bahwa umur pahat telah habis dan pahat tersebut tidak dapat digunakan lagi.

2. Pada kecepatan potong ( $v$ ) = 274 m/mnt pada kondisi pemotongan ini nilai rata-rata hcnnya yaitu 0,71 mm, yang mana ukuran terbaiknya hc mendapatkan nilai yang relatif lebih kecil yaitu 0,69 mm pada waktu pemotongan 30 menit. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa hasil dari tebal serpihan pada setiap kondisi pemotongan tergolong pada kondisi yang kurang baik karena tidak mendekati angka pada  $f$  (mm/put) yaitu 0,5 mm pada pemotongan minimum.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Canter, M. Neil. 2003. *The Possibilities and Limitations of Dry Machining*, Tribology & Lubrication Technology, ProQuest Science Journals, page.30.
- [2] David A.S and John S.A, 1997. *Metal Cutting Theory and Practice*, Marcel Dekker Inc.
- [3] Ginting Armansyah. 2003. *High Speed Machining of AISI 01 Steel With Multilayer Ceramic CVD – Coated carbide; Tool Life and Surface Integrity*, Vol 14, No. 3, majalah IPTEK.
- [4] Ginting, Armansyah. 2006. *Kesalahan pengukuran metode metologi geometri..*
- [5] Graham, Kelly, S. 2000. *Fundamental of Mechanical Vibrations*. McGraw-Hill International Editions.: Ohio, USA.
- [6] International Standard, ISO 3685, *Tool- life With Single Point Turning Tools, 2nd, ed. Reference Number ISO 3685 1993 (E)*, 1993-11-15
- [7] Kalpakjian, 1995. *Manufacturing Process for Engineering and Technology.*, third Edition, Addison Wesley Publishing Company.
- [8] Klocke, F. dan Eisenblatter, 1997. *Dry Cutting*, CIRP, 46:2:516-526,G.
- [9] Mukun et. Al, 1995. *Karakteristik Pemesinan kering.* , Jurnal, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang.
- [10] Rochim, Taufiq. 1993. *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. Higher Education Development Support Project.
- [11] Schey A. John, 2000. *Introduction to Manufacturing Process*, 3 rd Ed. Mc. Graw – Hill Book Co.
- [12] Sreejith, P.S and Ngoi. 2000. *Dry Machining: Machining of the future, School of Mechanical and Production Engineering*. Nanyang Technology University Singapore.
- [13] Wibowo,Dodi; Gusri Akhyar; dan Arinal Hamni. April 2014. *Pengaruh Gerak Makan Dan Kecepatan Putaran Terhadap Aus Pahat HSS Pada Pengeboran Baja ASTM A1011 Menggunakan Pelumas Minyak Goreng*, Vol.2, No.2,Jurnal FEMA.
- [14] Yunus, Surya, 2005. *Analisa Kegagalan dan Mekanisme Aus Pahat Karbida Pada Pembubutan Hijau Bahan Automotif Aluminium 6061 T6*, Jurnal tesis, Universitas Sumatera Utara.
- [15] Wijanarko Bambang, 2012. *Studi Eksperimental Terjadinya Keausan Pahat Pada Proses Pemotongan End Milling Pada Lingkungan Cairan Pendingin*,Jurnal, Universitas Muhammadiyah Surakarta.