

ANALISA PERTUMBUHAN KEAUSAN MATA PAHAT KARBIDA PADA PROSES MILLING BAJA SKD 11

Sobron Y. Lubis¹, Rosehan², Ega P. Hidayat³, Silvi Ariyanti⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara

E-mail: sobronl@ft.untar.ac.id

⁴Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Mercubuana

E-mail: ariyantisilvi41@gmail.com

Masuk : 25-09-2023, revisi: 27-11-2023, diterima untuk diterbitkan : 01-12-2023

ABSTRAK

Proses pemesian dapat dilakukan dengan menggunakan mesin milling. Dalam proses pemesian, mata pahat merupakan hal yang penting untuk diperhatikan dalam penggunaannya untuk memotong logam yang keras. Pada proses pemesian, parameter pemotongan merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan sebelum melakukan proses milling. Penggunaan parameter pemotongan yang tidak tepat dapat berdampak pada keausan pada mata pahat pemotong. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis pertumbuhan keausan yang terjadi pada mata pahat karbida end mill pada saat pemotongan baja SKD 11. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen dengan menggunakan mesin milling. Untuk mengamati pertumbuhan keausan yang terjadi pada mata pahat, maka kedalaman pemotongan divariasi antara lain 0,5, 1,0 dan 1,5 mm. Putaran spindle yang digunakan sebesar 1452 r/min. Proses pemesian dilakukan dengan selang waktu 5 menit, setiap 5 menit pemesian dihentikan untuk mengamati nilai keausan yang terjadi pada pahat potong. Nilai keausan cutting tool ditetapkan sebesar 0,3 mm. Apabila pada saat proses pemesian nilai keausan yang ditentukan belum tercapai, maka proses pemesian dilanjutkan. Dan bila nilai keausan sudah mencapai 0,3 mm maka pemesian dihentikan dan diamati mata pahat tersebut. Proses milling selanjutnya dilakukan dengan meningkatkan kedalaman pemotongan, pada proses ini menggunakan cutting tool yang baru. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah bertambahnya kedalaman pemotongan memberi pengaruh terhadap cepatnya terjadi keausan pada mata pahat. Pada kedalaman pemotongan 1,5 mm, nilai keausan yang dicapai sebesar 0,31 dalam waktu 20 menit. Sedangkan pada depth of cut 0,5 dan 1,0 mm nilai keausan terjadi lebih lama yaitu 30 menit. Jenis keausan yang terjadi pada mata pahat karbida end mill adalah abrasive wear yang terjadi pada bagian tepi mata pahat. Keausan tepi terjadi karena adanya gesekan terus menerus antara mata pahat dengan benda kerja, sehingga bagian tepi mata pahat terkikis dan akhirnya terjadi keausan.

Kata Kunci : Keausan pahat, keausan tepi, pahat karbida

ABSTRACT

The machining process can be carried out using a milling machine. In the machining process, cutting tools are important things to pay attention to when using them to cut hard metal. In the machining process, cutting parameters are factors that need to be considered before carrying out the milling process. Using inappropriate cutting parameters can result in wear on the cutting tool. This research was carried out to analyze the wear growth that occurs on carbide end mill cutting tools when cutting SKD 11 steel. The research was carried out using an experimental method using a milling machine. To observe the growth of wear that occurs on cutting tools, the depth of cut is varied, including 0.5, 1.0, and 1.5 mm. The spindle speed used is 1452 revolutions/minute. The machining process is carried out at intervals of 5 minutes, every 5 minutes the machining is stopped to observe the wear value that occurs on the cutting tool. The cutting tool wear value is set at 0.3 mm. If during the machining process, the specified wear value has not been reached, then the machining process continues. When the wear value reaches 0.3 mm, machining is stopped and the cutting tool is observed. The next milling process is carried out by increasing the depth of the cut, in this process using a new cutting tool. The results obtained from this research are that increasing the depth of cut influences the speed of wear on the cutting tool. At a depth of cut of 1.5 mm, the wear value achieved was 0.31 in 20 minutes. Meanwhile, at a depth of cut of 0.5 and 1.0 mm, the wear value occurs longer, namely 30 minutes. The type of wear that occurs on carbide end mill cutting tools is abrasive wear which occurs on the flank of the cutting tools. Flank wear occurs due to continuous friction between the cutting tool and the workpiece, so that the flank of the cutting tool is eroded and eventually wear occurs.

Keywords : Tool wear, flank wear, carbide tools

1. PENDAHULUAN

Mesin frais (*milling machine*) merupakan salah satu mesin konvensional yang mampu mengerjakan suatu permukaan benda kerja menjadi rata baik *horizontal* maupun vertikal serta permukaan sudut atau permukaan miring. Pada mesin *milling* terdapat beberapa parameter pemotongan yang perlu diperhatikan seperti kecepatan putar motor (*spindle*), kedalaman pemakanan dan kecepatan potong.

Cetakan (*mould*) adalah bagian yang berfungsi untuk membentuk produk pada mesin Moulding. Material yang digunakan untuk bahan cetakan umumnya adalah baja SKD 11. Dalam pembuatan cetakan pada mesin *milling* diperlukan kepresisian dari bentuk sehingga cetakan dapat menghasilkan produk yang sempurna. [1]. Bahan ini menarik minat karena kandungan karbon dan kromiumnya yang tinggi dibandingkan dengan baja lainnya. Karena ketahanan ausnya yang tinggi, ketahanan terhadap korosi yang baik, dan kekuatan yang tinggi, hal ini membuatnya cocok untuk industri manufaktur perkakas dan cetakan.[2]. Oleh karena material ini memiliki kekerasan yang tinggi, maka proses pemotongan yang dilakukan menggunakan mata pahat jenis end mill karbida.

Peningkatan kecepatan produksi (peningkatan jumlah produk yang dihasilkan) dapat dicapai dengan meningkatkan laju pemotongan. Namun peningkatan tersebut memberi efek terhadap penurunan umur pahat. Penurunan umur pahat tersebut terjadi diakibatkan nilai keausan yang terjadi pada mata pahat semakin meningkat. Sehingga jika proses pemesinan terus di lakukan maka suatu saat mata pahat akan menjadi rusak dan tidak dapat lagi menjalankan fungsinya dan pada saat itu umur mata pahat telah mencapai batasnya. Umur mata pahat didefinisikan sebagai lamanya mata pahat dapat menjalankan fungsinya dengan baik dalam proses pemotongan logam. Atau jumlah maksimum produk yang dihasilkan sehingga mata pahat mengalami kerusakan. Umur pahat dipengaruhi oleh geometri pahat, jenis material benda kerja dan pahat, kondisi pemotongan (kecepatan potong, kedalaman potong dan gerak makan, cairan pendingin dan jenis proses pemesinan. Adapun faktor faktor yang mempengaruhi keausan pahat antara lain pemakanan pahat pada benda kerja yang material lebih keras dibanding pahat potong. Keausan pahat itu merupakan problem tersendiri untuk proses permesinan. Karena perubahan yang terjadi pada pahat akibat gesekan antara pahat dan benda kerja, serta chip(geram). Seiring proses berjalannya mesin CNC ini, keausan pada mata pahat dapat tumbuh karena gaya potong yang menyebabkan keausan pada pahat dan berakhir pada kerusakan yang fatal. Problem keausan pahat ini terjadi karena adanya proses energi panas yang terjadi.[3]

Pada mesin Milling CNC terdapat beberapa parameter pemotongan yang perlu diperhatikan seperti kecepatan putar motor (*spindel*), kedalaman pemakanan dan kecepatan potongnya. Putaran *spindle* dan *feeding* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan, sedangkan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) tidak memberi pengaruh yang signifikan [4]

Pada proses pembentukan logam dengan menggunakan mesin *milling*, tentunya tidak terlepas dengan penggunaan mata pahat. Pemilihan mata pahat yang tepat disesuaikan dengan berdasarkan jenis benda kerja yang akan dikerjakan. Disamping itu, parameter pemotongan juga perlu dipertimbangkan sebelum proses *milling* dilakukan. Parameter pemotongan tersebut antara lain kecepatan pemotongan, kedalaman potong dan hantaran yang digunakan. Penggunaan peningkatan parameter pemotongan yang tinggi untuk mempercepat proses dan meningkatkan jumlah produksi dapat dilakukan, namun memberi efek terhadap terjadinya keausan pada mata pahat. Terutama dalam hal penggunaan kedalaman pemotongan, peningkatan penggunaan kedalaman potong, menimbulkan gaya tekan yang lebih besar dan geseran pada permukaan pada

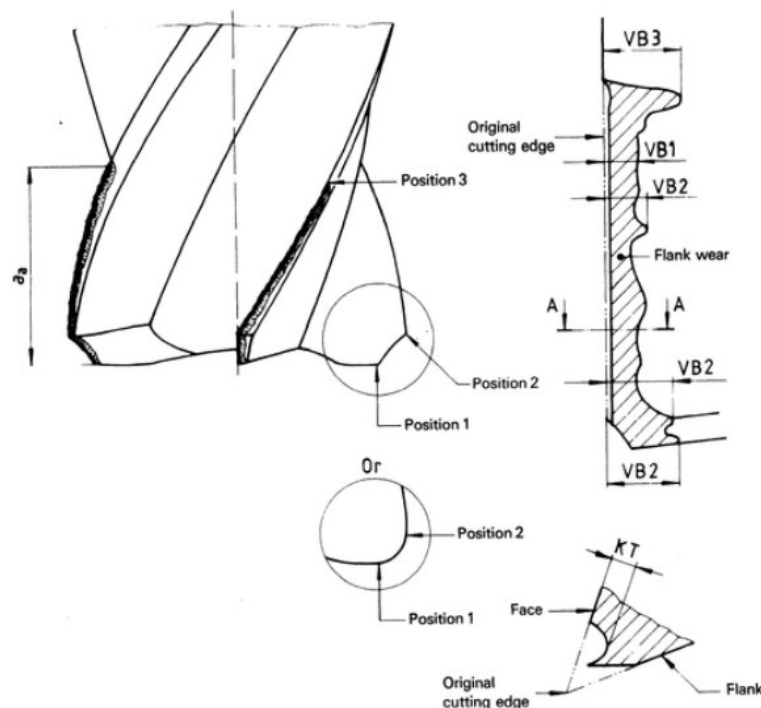
mata pahat menjadi lebih tinggi. Sehingga geseran tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan suhu pada bidang permukaan mata pahat, chip dan benda kerja. Jika proses milling tersebut berlangsung dalam priode yang relatif lama sehingga selesai proses pembentukan profil pada permukaan benda kerja, tentu menyebabkan terjadinya keausan pada mata pahat tersebut. Untuk menganalisis pertumbuhan keausan yang terjadi pada mata pahat tersebut, maka penelitian ini dilakukan. Pada penelitian ini proses pemesian dilakukan tanpa menggunakan coolant, dan tidak membahas kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan.

Keausan pahat, kekasaran permukaan benda kerja, dan gaya potong diukur dan parameter ini dikorelasikan dengan *fungsi respons frekuensi* (FRF) yang diperoleh dengan pahat yang dipasang pada perkakas mesin.[5].

Keausan yang terjadi pada pahat dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. Keausan kawah (*crater wear*) yaitu keausan pada bidang geram. Umumnya disebabkan oleh proses abrasif.
2. Keausan tepi (*flank wear*) yaitu keausan pada bidang utama atau mayor pahat [5].[10].

Keausan tepi merupakan keausan yang sering terjadi pada mata pahat yang disimbolkan dengan V_B . Keausan tepi ini merupakan sisi samping pada mata pahat, dimana terletak pada sisi tepi potong utama. Keausan tepi ini terjadi karena ujung bagian mata pahat bersentuhan langsung dengan benda kerja dan menahan gaya pemotongan, keausan ini bermula dari bagian tepi sisi potong dan akan terus melebar.



Gambar 1. Keausan pada Mata Pahat End Mill [6].

Kinerja *carbide drill* sebagai perkakas potong (*cutting tool*) memberikan hasil yang lebih baik pada semua respon bila dibandingkan dengan penggunaan HSS drill.[7]. Menurut ISO 8688-2, Kriteria umur pahat didefinisikan sebagai nilai numerik yang ditentukan sebelumnya dari jenis keausan pahat tertentu direkomendasikan. Lebar tertentu dari tanah keausan tepi (V_B) adalah kriteria yang paling umum digunakan [6].

Nilai akhir masa pakai mata pahat direkomendasikan :

1. Keausan seragam : rata-rata 0,3 mm pada semua gigi.
2. Keausan lokal : maks. 0,5 mm. pada setiap gigi individu

Shankar dkk melakukan penelitian tentang prediksi keausan mata pahat menggunakan microphone dan dinamometer alat milling dengan kartu NI USB 6221 DAQ dan dipantau menggunakan LabVIEW terhadap tekanan suara dan gaya pemesian [8][9].

2. METODE PENELITIAN

Untuk mencapai objektif dari penelitian ini, maka dilakukan eksperimen proses pemesian menggunakan mata pahat end mill karbida terhadap benda kerja baja SKD 11. Pengamatan yang dilakukan adalah terhadap mata pahat dengan variasi penggunaan kedalaman pemotongan. Diagram alir pelaksanaan eksperimen penelitian disampaikan pada Gambar 2.

Bahan dan Peralatan

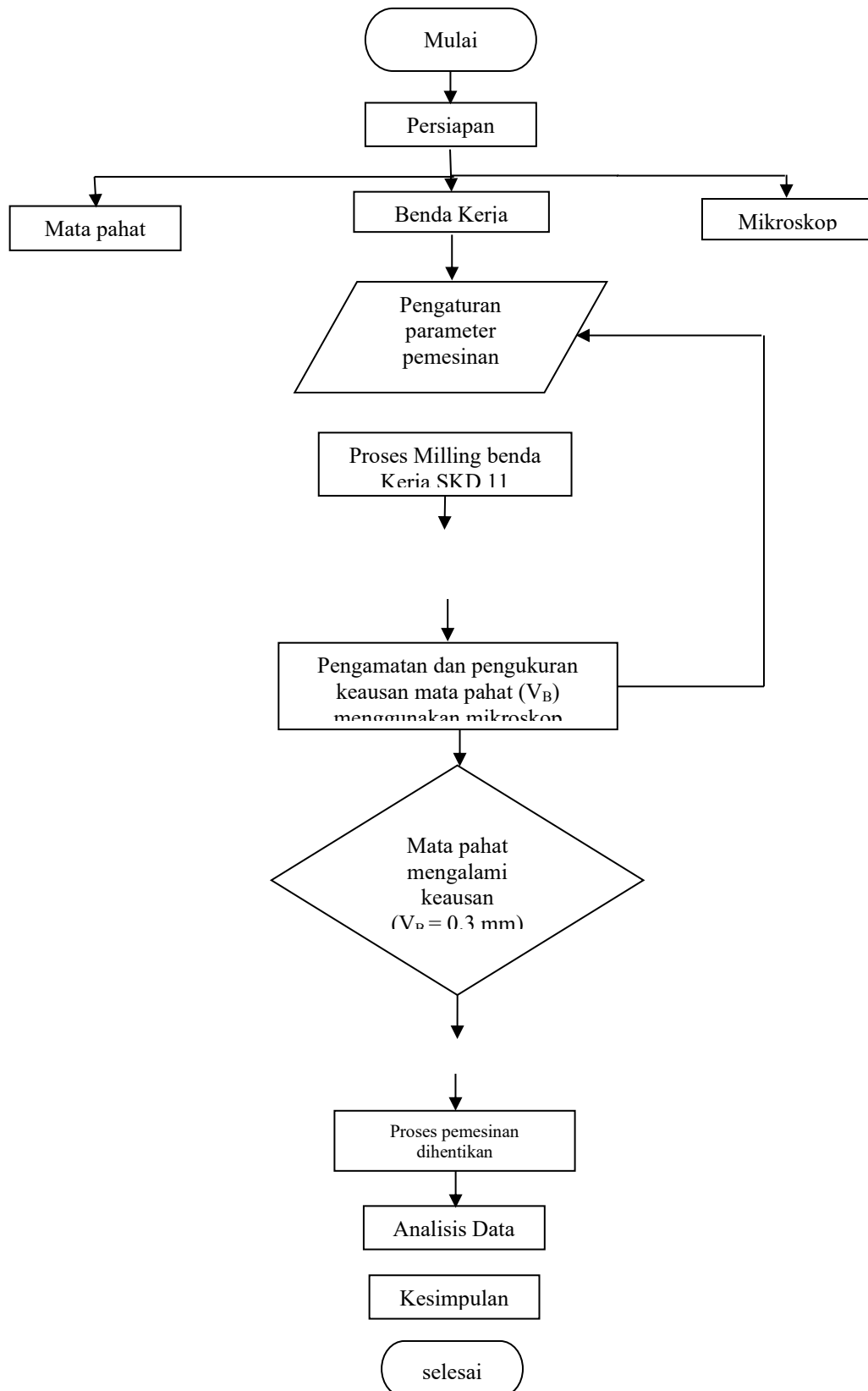
Bahan benda kerja yaitu baja SKD 11. Material ini direkomendasikan untuk perkakas yang membutuhkan daya tahan aus yang tinggi, yang dikombinasikan dengan ketangguhan yang sedang. Kebanyakan dimanfaatkan untuk proses pengerjaan dingin (*cold working*) seperti untuk *blanking dies* dan beberapa proses permesinan . sifat-sifat mekanik Baja SKD 11 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Mechanical Properties* Baja SKD 11

<i>Mechanical Properties</i>	Baja SKD 11
<i>Achievable hardness (HRC)</i>	60-62
<i>Charpy resilience (J)</i>	25
<i>Wear resistance (ROVALMA coefficient-1)</i>	100
<i>Ultimate tensile strength (MPa)</i>	2181
<i>Strain (%)</i>	1.62
<i>Compression strength (MPa)</i>	3472
<i>Strain under compression (%)</i>	8.5
<i>Bending strength (MPa)</i>	2951
<i>Bending strength transversal (MPa)</i>	1526

Tabel 2. Komposisi Kimia Baja SKD 11

C(%)	Si(%)	MN(%)	P(%)	S(%)	Ni(%)	Kr(%)	V(%)	Cu(%)
1.4-1.6	0≤0.4	0≤0.6	0≤0,03	0≤0,03	0≤0,5	11.0-13.0	0,2-0,5	0≤0.25



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Baja SKD 11

Peralatan yang digunakan antara lain:
Mesin *Milling* (Frais)



Gambar 4. KRISBOW *Universal Milling Machine*

Pahat *Endmill* Karbida

Pahat karbida merupakan bahan yang dibuat dengan cara mengikat serbuk karbida (Nitrida, Oksida) dengan bahan pengikat yang umumnya dari *Cobalt* (Co). Spesifikasi mata pahat end mill karbid disampaikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Spesifikasi Mata Pahat Karbida [5]

Spesifikasi	Keterangan
Jenis	Karbida <i>endmill</i>
Bahan	Karbida
Diameter	10 mm
Jumlah Flute	4
Material	<i>Solid Carbide</i>
Sudut Helix	35



Gambar 5. Mata pahat end Mill Karbida

Mikroskop digital

Mikroskop ini digunakan untuk mengamati dan mengukur keausan yang terjadi pada bidang kontak mata pahat.

Parameter Pemotongan

Variasi parameter pemotongan disampaikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Proses Milling

Faktor	1	2	3
Diameter pahat (mm)	10	10	10
Putaran <i>spindle</i> (r/min)	1452	1452	1452
<i>Depth of Cut</i> (mm)	0.5	1	1.5
Waktu(min)	5	5	5

Prosedure eksperimen

Pada eksperiment ini, mata pahat end mill dilekatkan pada tool holder, kemudian benda kerja diletakkan pada pencekam benda kerja. Parameter pemotongan di tentukan berdasarkan matriks parameter pemotongan sebagaimana disampaikan pada Tabel 2.4. Kemudian melakukan proses milling, dimana dengan memberikan variasi kedalaman pemotongan. Proses milling dilakukan dengan rentang waktu 5 menit untuk mengamati dan mengukur keausan yang terjadi pada mata pahat end mill tersebut. Setiap proses milling 5 menit, proses milling dihentikan, pahat di lepaskan dari pemegang dan selanjutnya dilakukan pengamatan dan pengukuran keausan yang terjadi pada mata pahat. Pengamatan dan pengukuran dilakukan dengan menggunakan mikroskop digital, dimana mata pahat diletakkan pada permukaan mikroskop dan mengukur goresan yang terjadi pada permukaan mata pahat tersebut. Jika hasil pengukuran diperoleh belum mencapai batas keausan ($VB=0.3$ mm) maka proses milling dilanjutkan sehingga mencapai 5 menit berikutnya. Jika pada proses berikutnya nilai keausan telah mencapai batas yang ditetapkan, maka proses milling dihentikan di waktu proses tersebut dicatat sebagai batas kemampuan mata pahat melakukan pemotongan benda kerja dengan baik. Maka untuk selanjutnya proses milling dilakukan dengan variasi parameter pemotongan yang berikutnya dengan menggunakan mata pahat yang baru.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses pemesinan, dan pengukuran terhadap nilai keausan yang terjadi pada mata pahat karbida, maka diperoleh hasil pengukuran sebagaimana disampaikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Keausan Pahat (*depth of cut* 0.5 mm)

No	Feed Rate (mm/min)	Waktu (min)	Nilai Keausan V_B (mm)	Panjang Pemotongan (mm)
1	54.4	5	0.06	272
2	58.4	10	0.13	292
3	65.0	15	0.19	325
4	72.8	20	0.24	364
5	78.4	25	0.28	392
6	81.2	30	0.32	406
Total panjang pemotongan				2051

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa nilai keausan mata pahat dicapai 0,32 mm waktu 30 menit dengan panjang pemotongan yang dihasilkan adalah 2051 mm.

Tabel 6. Nilai Keausan Pahat (*depth of cut* 1 mm)

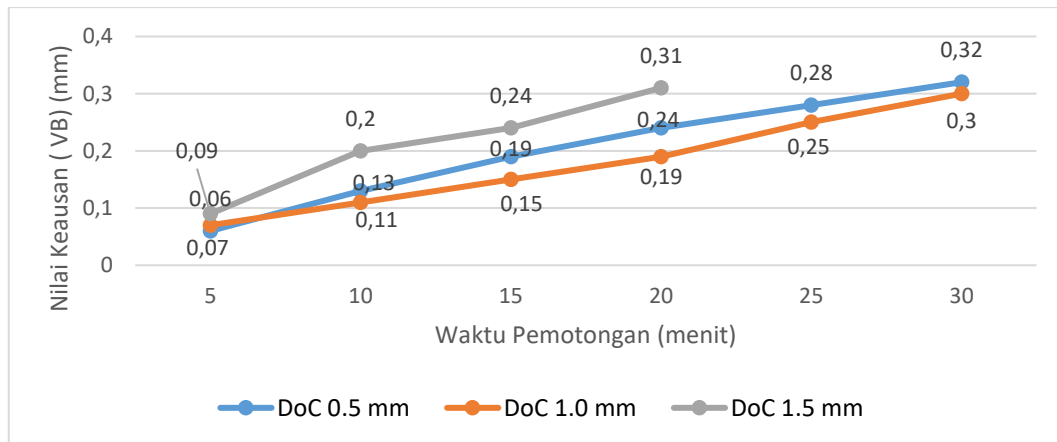
No	Feed Rate (mm/min)	Waktu (min)	Nilai Keausan V_B (mm)	Panjang Pemotongan (mm)
1	55.4	5	0.07	277
2	61.0	10	0.11	305
3	64.6	15	0.15	323
4	68.4	20	0.19	342
5	72.0	25	0.25	360
6	74.4	30	0.30	372
Total panjang pemotongan				1978

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa nilai keausan mata pahat dicapai sebesar 0,30 mm waktu 30 menit dengan panjang pemotongan yang dihasilkan adalah 1978 mm.

Tabel 7. Nilai Keausan Pahat (*depth of cut* 1.5 mm)

No	Feed Rate (mm/min)	Waktu (min)	Nilai Keausan V_B (mm)	Panjang Pemotongan (mm)
1	51.2	5	0.09	256
2	54.0	10	0.20	270
3	58.0	15	0.24	285
4	66.0	20	0.31	330
Total panjang pemotongan				1141

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui bahwa nilai keausan mata pahat dicapai sebesar 0,31 mm waktu 20 menit dengan panjang pemotongan yang dihasilkan adalah 1141 mm. Perbandingan nilai keausan mata pahat pada kedalaman pemotongan yang bervariasi disampaikan pada Gambar 5.

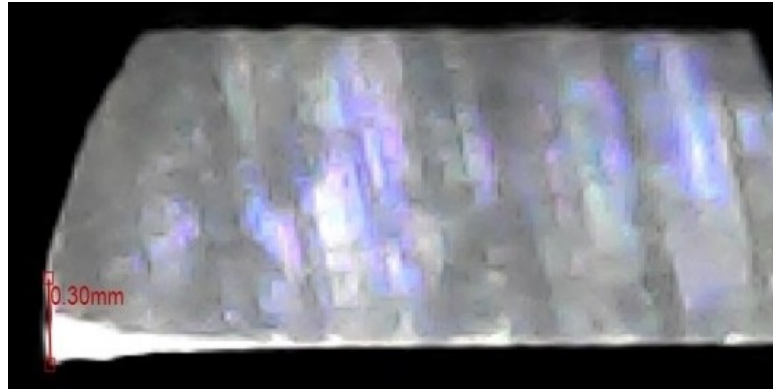


Gambar 6. Grafik Waktu Pemotongan (min) VS Nilai Keausan (V_B , mm)

Berdasarkan grafik yang disampaikan pada Gambar 3.1 dapat diketahui bahwa peningkatan waktu pemotongan berdampak terhadap keausan yang terjadi pada mata pahat, semakin lama proses pemotongan maka keausan mata pahat mulai terjadi. Secara berperingkat nilai keausan pada mata pahat mengalami peningkatan. Pada kedalaman pemotongan 0,5 dan 0,1 mm keausan yang terjadi pada mata pahat ketika pemesinan dilakukan hingga 30 menit, nilai keausan yang dicapai sebesar 0,32 mm. Sedangkan pada kedalaman potong 1,5 mm, nilai keausan mata pahat lebih cepat dicapai yaitu pada menit ke 20 dengan nilai keausan sebesar 0,31 mm. Hal ini terjadi ketika proses pemesinan berlangsung mata pahat mengalami gaya tekan untuk melakukan pemotongan pada permukaan plat baja SKD 11, gaya tekan tersebut menyebabkan gesekan yang terjadi pada bidang kontak permukaan mata pahat dan benda kerja, dimana semakin lama proses pemesinan dilakukan panas yang terjadi pada permukaan mata pahat semakin meningkat, dan secara perlahan menyebabkan adhesi pada mata yang menimbulkan terjadinya keausan, secara bertahap keausan semakin membesar sehingga mencapai nilai batas keausan mata pahat tersenut yaitu 0,3 mm. Profil keausan mata pahat tersebut seperti terlihat pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 7. Keausan Pahat pada *Depth of Cut* 0.5 mm pada menit ke 30



Gambar 8. Keausan Pahat pada Depth of Cut 1 mm pada menit ke 30.



Gambar 9. Keausan Pahat pada *Depth of Cut* 1.5 mm pada menit ke 20.

Berdasarkan Gambar 3.4 dapat di lihat bahwa keausan pada pahat dengan *depth of cut* 1.5 mm lebih cepat terjadi yaitu pada menit ke 20, dibandingkan Gambar 3.1 dengan *depth of cut* 0.5 mm dan Gambar 3.3 dengan *depth of cut* 1 mm dikarenakan mata pahat memiliki gaya geser yaitu penetrasi. Gaya ini diakibatkan oleh gaya tekan yang terjadi saat mata pahat melakukan pemotongan pada benda kerja, sehingga semakin dalam *depth of cut* yang digunakan pada saat proses pemesinan maka luas bidang kontak yang dihasilkan juga akan semakin besar yang mana fenomena ini mempengaruhi terjadi keausan mata pahat lebih cepat terjadi. Hal ini disebabkan ada pengaruh dari sudut geser yang mempengaruhi kekuatan dan efek potong suatu gaya terhadap benda. Semakin besar sudut geser, semakin sulit untuk memotong benda kerja karena diperlukan lebih banyak energi untuk mengatasi gaya geser yang berlawanan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah dilakukan eksperimen dan pengukuran keausan mata pahat dengan variasi kedalaman potong pada proses pemotongan milling benda kerja baja SKD 11 maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

- Mata pahat *end mill karbida* mengalami kenaikan keausan untuk setiap peningkatan waktu pemotongan , peningkatan kedalaman pemotongan memberi efek terhadap cepatnya terjadi keausan pada mata pahat. Keausan yang terjadi pada *end mill karbida* yaitu keausan tepi pada bidang kontak mata pahat.
- Peningkatan kedalaman pemotongan memberi pengaruh terhadap cepatnya terjadi keausan pada mata pahat potong. Pada kedalaman potong 1.5 mm, nilai keausan yang dicapai sebesar 0.31 pada waktu pemesinan 20 menit.

- Sedangkan kedalaman potong 0,5 mm dan 1.0 mm dicapai nilai keausan mata pahat sebesar 0.32 mm pada waktu pemesinan 30 menit.
- Nilai panjang pemotongan pada setiap 5 menit berpengaruh pada tingkat keausan mata pahat (VB) yang mana semakin tinggi panjang pemotongan maka semakin cepat pula nilai keausan terjadi sebaliknya semakin rendah nilai panjang pemotongan maka semakin kecil pula nilai keausan yang tercapai.
- Jenis keausan yang terjadi pada mata pahat potong karbida *endmill adhesif wear* (aus adhesi). Keausan tepi terjadi disebabkan adanya gesekan secara terus menerus antara mata pahat dengan benda kerja, sehingga ujung mata pahat menjadi terkikis dan akhirnya mengalami keausan.

Saran

Berikut saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

1. Menentukan karakteristik dari material dan kemudian menentukan mata pahat yang tepat untuk karakteristik material, sehingga penelitian ini bisa ditentukan parameter untuk membuat produk yang baik dan optimal dengan menggunakan parameter yang tepat.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan tentang perpindahan mikro struktur pada mata pahat end mill karbida.
3. Untuk mengetahui fenomena keausan yang terjadi, sebaiknya penelitian distribusi temperatur pada bidang kontak mata pahat dapat dilakukan
4. Melakukan pengamatan kondisi kekasaran permukaan yang dihasilkan sehingga mata pahat mengalami keausan.

Ucapan Terima Kasih (Acknowledgement)

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik yang telah memberi kesempatan untuk melakukan penelitian di laboratorium Proses Produksi.

REFERENSI

- Abidin, Z. (2010). Mekanisme Keausan Pahat Pada Proses Pemesinan: Sebuah Tinjauan Pustaka. *Majalah Ilmiah Momentum*, 6(1).
- Ansyori, A. (2015). Pengaruh Kecepatan Potong Dan Makan Terhadap Umur Pahat Pada Pemesinan Freis Paduan Magnesium. *Mechanical*, 6(1).
- De Aguiar, M. M., Diniz, A. E., & Pederiva, R. (2013). Correlating surface roughness, tool wear and tool vibration in the milling process of hardened steel using long slender tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 68, 1-10.
- ISO, I. (1989). 8688-2: 1989 Tool life testing in milling—Part 2: End milling. International Organization for Standardization. ISO.
- Ndaruhadi, P. W., & Santosa, B. (2015). Akurasi Lubang Bor Hasil Proses Pengeboran Pada Material SKD-11. *Prosiding SNIJA*, 191-195.
- Patel, S. S., & Patel, D. M. (2022). Investigation of machining characteristics of SKD 11 in WEDM. *Materials Today: Proceedings*, 59, 468-475.
- Prasetya, M. G. R., & Mulyono, R. S. (2019, October). Analisa Pengaruh Variasi Jenis Cairan Pendingin terhadap Kekasaran Permukaan SKD 11 serta Prosedur Perawatannya pada Mesin Milling Konvensional. In *Seminar Nasional Teknik Mesin Vol. 9, No. 1*, pp. 696
- Rahmadianto, F., & Basuki, D. W. L. (2017). Analisa Putaran Spindle dan Kedalaman Potong Terhadap Keausan Pahat Positive dan Negative Rhombic Insert. *Jurnal Flywheel*, 8(2), 34-38.
- Rochim, T. (1993). Teori dan teknologi proses pemesinan. *Jakarta High. Educ. Dev. Support Proj.*
- S. Lubis, K. Nataniel. (2014). Kajian Eksperimental Kekasaran Permukaan Polymer Ertalone 6SA.

- Jurnal Energi dan Manufaktur* Vol, 7(2), 119-224.
- Shankar, S., Mohanraj, T., & Rajasekar, R. (2019). Prediction of cutting tool wear during milling process using artificial intelligence techniques. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(2), 174-182.