

MEKANISME PEMBENTUKAN CHIP PROSES PEMBUBUTAN KERING MENGGUNAKAN PAHAT PVD DAN CVD BERLAPIS

Veri Akhmal Ramadhan Syah, Din Aswan A.Ritonga, Yulfitra, Junaidi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan

veriaakhmalramadhansyah@gmail.com; junaidi.stth@gmail.com

Abstrak

Dalam studi pemesinan, sisa dari pemotongan yang dikerjakan dalam pemesinan disebut chip (geram), chip yang dihasilkan dari proses pemesinan memiliki bentuk dan ketebalan yang berbeda, bentuk chip yang dihasilkan pada proses pembubutan memiliki karakteristik yang sangat berkaitan dengan mode aus pahat. penting untuk mengenal mekanisme dasar yang mempengaruhi pembentukan chip untuk mengembangkan cutting tools (pahat potong) yang efisien. Penyelidikan pembentukan chip dimulai sekitar Perang Dunia II dengan peningkatan penggunaan mesin pemotong yang kuat dan lebih bertenaga, umumnya untuk pemotongan logam dengan munculnya pemotong baja kecepatan tinggi baru. Parameter pembubutan utama yaitu kecepatan potong, laju pemakanan, kedalaman potong, geometri pahat dan bahan pahat memiliki pengaruh yang signifikan untuk mengontrol pembentukan chip. Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja AISI 4340 (48 ± 1 HRC) dan pahat yang digunakan adalah pahat PVD dan CVD berlapis. Alat yang digunakan untuk mengukur ketebalan chip pada penelitian ini adalah software Micro Capture Plus. Pada proses pembubutan dilakukan 8 kondisi pemotongan menggunakan mesin bubut CNC. Pada hasil akhir penelitian pembubutan kering ini didapatkan variabel-variabel yang paling signifikan terhadap ketebalan chip adalah dengan kondisi pemotongan optimal yaitu $V = 180$ m/min, $v_f = 352,4$ mm/min maka mendapatkan karakteristik ketebalan chip senilai $a = 0,934$ mm.

Kata-Kata Kunci : Ketebalan Chip, Pembubutan Kering, Baja AISI 4340, Minitab

I. Pendahuluan

Proses pemesinan kering (*Dry Machining*) telah sukses dilakukan pada operasi pembubutan keras baja paduan, pemesinan kering menjadi satu pilihan teratas untuk menjadi pembahasan dalam riset pemesinan, selain hemat dalam proses produksi karena tidak menggunakan cairan pemotong, pemesinan kering juga turut menyumbang keselamatan lingkungan karena tidak menghasilkan crude limbah pemotongan [1]. Dalam studi pemesinan, sisa dari pemotongan yang dikerjakan dalam pemesinan disebut chip (geram), chip yang dihasilkan dari proses pemesinan memiliki bentuk dan ketebalan yang berbeda, bentuk chip yang dihasilkan pada proses pembubutan memiliki karakteristik yang sangat berkaitan dengan mode aus pahat [19]. penting untuk mengenal mekanisme dasar yang mempengaruhi pembentukan chip untuk mengembangkan cutting tools (pahat potong) yang efisien. Penyelidikan pembentukan chip dimulai sekitar Perang Dunia II dan momentumnya meningkat setelahnya, dengan peningkatan penggunaan mesin pemotong yang kuat dan lebih bertenaga, umumnya untuk pemotongan logam dengan munculnya pemotong baja kecepatan tinggi baru. Parameter pembubutan utama yaitu kecepatan potong, laju pemakanan, kedalaman potong, geometri pahat dan bahan pahat memiliki pengaruh yang signifikan untuk mengontrol pembentukan chip [3].

Peneliti Guo et al membahas bahwa keadaan deformasi pada benda kerja merupakan penyebab utama integritas permukaan permukaan mesin. Pembentukan keadaan cacat sangat terkait dengan

suhu yang dihasilkan, riwayat pembebanan kompleks, regangan yang dihasilkan, laju regangan, evolusi struktur mikro selama pemesinan [20]. Selain itu, geometri pahat, cairan pemotongan, dan kondisi pemesinan juga berdampak signifikan pada kualitas permukaan. Secara eksperimental, itu telah diamati bahwa nilai kekasaran permukaan pada laju umpan minimum tidak sesuai dengan data teoritis, tetapi prediksi teoritis pada laju umpan tinggi ditemukan lebih cocok dengan data eksperimen. Deviasi yang lebih tinggi telah diamati antara kekasaran permukaan yang diprediksi secara teoritis dengan rekan eksperimentalnya, sambil mengubah kecepatan potong dan kedalaman potong [3]. Fokus pembahasan pada penulisan ini adalah untuk menemukan kombinasi parameter yang optimal untuk mencapai mode pembentukan chip dan kekasaran permukaan minimum untuk pembubutan baja AISI 4340 (48 ± 1 HRC) pada pahat CVD berlapis TiCN+Al₂O₃+TiN dengan PVD berlapis TiAN dengan proses pemesinan kering.

1.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Adapun tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mengetahui mekanisme pembentukan chip pembubutan kering menggunakan pahat PVD dan CVD berlapis pada baja AISI 4340.

Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Mengkarakterisasi mode chip terhadap kualitas permukaan.
1. Mengkarakterisasi mode chip terhadap kualitas permukaan.

- Mengamati mode chip terhadap mode aus pahat.
- Mengamati karakteristik bentuk chip terhadap jenis pahat.

1.2 Manfaat penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Dapat membentuk kondisi pemotongan (*cutting condition*) yang sesuai untuk menghasilkan suatu kondisi pemotongan diinginkan tanpa harus melakukan eksperimen yang membutuhkan banyak waktu dan biaya.
- Dapat menunjukkan perbandingan pembentukan chip pada proses pembubutan selama proses pemesinan berlangsung.

1.3 Batasan Masalah

Agar pengerjaan dalam penelitian ini dapat lebih terarah, maka penulis membatasi ruang lingkup pembahasan pada:

- Rencana pemodelan dari proses pembubutan orthogonal.
- Menampilkan hasil pembentukan chip proses pembubutan yang terjadi pada bidang pahat dan hubungannya terhadap kekerasan permukaan yang dihasilkan,
- Kajian yang dilakukan pada tugas sarjana ini adalah distribusi temperatur potong pada pahat PVD berlapis dan CVD berlapis menggunakan material baja AISI 4340.
- Operasi permesinan menggunakan mesin bubut yang terdapat pada lab. Pemesinan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.
- Operasi pembubutan (*turning*) dilakukan tanpa menggunakan cairan pemotongan (*dry cutting*) yaitu metode pembubutan ramah lingkungan

II. Metodologi Penelitian

2.1 Tempat dan Waktu

Tempat pelaksanaan Penelitian Investigasi suhu pemotongan proses pembubutan ini meliputi pengujian alat, Penelitian ini dilakukan di SMKN 2 Medan

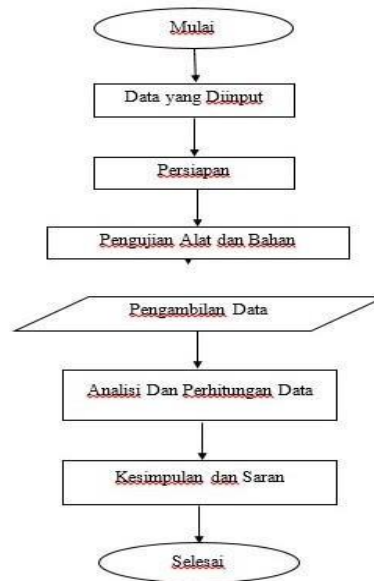
2.2 Alat dan Bahan Alat

- Mesin CNC
- Mikroskop digital
- Stylus profilometer Mitutoyo SJ-210
- Alatukurdayapemotongan (P) yang dikembangkan padapenelitianini.
- Pyrometer Transmitter

2.3 Bahan

- Baja AISI 4340
- Pahat CVD(*Chemical Vapour Deposition*)
- Pahat PVD(*Physical Vapour Deposition*)

2.4 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. Analisa Data

3.1 Data Hasil Pengamatan

Tabel 1. Data hasil pengamatan

Run No	cut speed		Cutting Tools	MQL	Bar dia	depth of cut	Roughness	feed speed	spindle	flank wear
	v	f		ml/jam	Do	a	Ra	vf	n	vb
	m/min	mm/rev		Mm	mm	micron	mm/min	rpm	mm	
1	120	0.2	ISCAR	MQL	67.00	0.2	2.772	114.0	570	0.039
2	120	0.4	ISCAR	DRY	66.60	0.2	7.356	229.6	574	0.062
3	120	0.4	KYC	MQL	66.20	0.2	8.308	230.8	577	0.062
4	120	0.2	KYC	DRY	65.80	0.2	2.652	116.2	581	0.056
5	180	0.2	KYC	MQL	65.40	0.2	2.178	175.2	876	0.121
6	180	0.4	KYC	DRY	65.00	0.2	6.399	352.4	881	0.183
7	180	0.4	ISCAR	MQL	64.60	0.2	6.647	354.8	887	0.048
8	180	0.2	ISCAR	DRY	64.20	0.2	2.178	178.4	892	0.050

3.2 Chip Pemotongan

- Gaya Potong : N/mm^2
- Kecepatan Potong : v (m/mm)
- Laju Pemakanan : vf (mm/min)
- Ketebalan Pemakanan: a (mm)

Rumus :

- Gaya Potong
- Kecepatan Potong $\rightarrow v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$
- Laju Pemakanan $\rightarrow Vf = f \cdot n$
- Ketebalan Pemakanan $\rightarrow a = (do - dm)/2$

A. Gaya Potong

Dik :
 Pahat CVD :
 Baja AISI 48 HRC :
 Kr : 45°
 Y ϕ : -6

re : 0,8 mm
 Kecepatan potong : 120m/mm
 Ketebalan pemakanan : 0,2mm
 Laju pemakanan : 0,2mm/min
 Dit :

Gaya potong pada 0,3mm

Jawab:

$$K_s = K_s \cdot 1.1 \cdot f^{-z} \cdot C_k \cdot C_y \cdot C_{vB} \cdot C_v$$

$$= 2170 \times 0,2^{-0,2} \times 1,102 \times 1,12 \times 1,24 \times 1,0$$

$$= 4582,2105 \text{ N/mm}^2$$

Maka gaya potong pada kondisi pembubutan adalah:

$$F_v = K_s \cdot A = K_s \cdot f \cdot a$$

$$K_s \cdot A = 4582,2105 \times 0,2 \times 0,2$$

$$= 183,288 \text{ N}$$

Daya kecepatan potong pada 120 m/min dalam proses pembubutan tersebut adalah:

$$N_c = \frac{F_v \cdot v}{60.000} = \frac{183,288 \times 120}{60.000} = 0,366 \text{ kw}$$

Daya kecepatan potong pada 180 m/min dalam proses pembubutan tersebut adalah:

$$N_c = \frac{F_v \cdot v}{60.000} = \frac{183,288 \times 180}{60.000} = 0,549 \text{ kw}$$

B. Kecepatan Potong

1. $120 = \frac{3,14 \cdot 67 \cdot 0,570}{\frac{1000}{1000}} = 119,916 \text{ m/mm}$
2. $120 = \frac{3,14 \cdot 66 \cdot 0,574}{\frac{1000}{1000}} = 120,037 \text{ m/mm}$
3. $120 = \frac{3,14 \cdot 66 \cdot 0,577}{\frac{1000}{1000}} = 119,939 \text{ m/mm}$
4. $120 = \frac{3,14 \cdot 65 \cdot 0,581}{\frac{1000}{1000}} = 120,041 \text{ m/mm}$
5. $180 = \frac{3,14 \cdot 65 \cdot 0,876}{\frac{1000}{1000}} = 179,891 \text{ m/mm}$
6. $180 = \frac{3,14 \cdot 65 \cdot 0,881}{\frac{1000}{1000}} = 179,812 \text{ m/mm}$
7. $180 = \frac{3,14 \cdot 64 \cdot 0,887}{\frac{1000}{1000}} = 179,922 \text{ m/mm}$
8. $180 = \frac{3,14 \cdot 64 \cdot 0,892}{\frac{1000}{1000}} = 179,816 \text{ m/mm}$

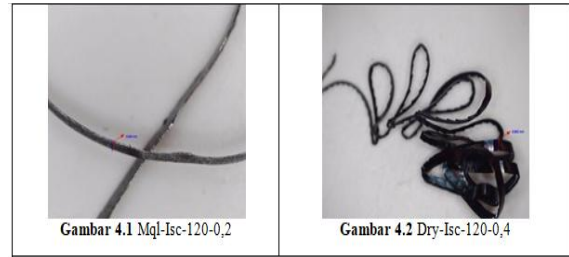
C. Laju Pemakanan

1. $114,0 = 0,2 \times 570 = 114 \text{ mm/min}$
2. $229,6 = 0,4 \times 574 = 229,6 \text{ mm/min}$
3. $230,8 = 0,4 \times 577 = 230,8 \text{ mm/min}$
4. $116,2 = 0,2 \times 581 = 116,2 \text{ mm/min}$
5. $175,2 = 0,2 \times 876 = 175,2 \text{ mm/min}$
6. $352,4 = 0,4 \times 881 = 352,4 \text{ mm/min}$
7. $354,8 = 0,4 \times 887 = 354,8 \text{ mm/min}$
8. $178,4 = 0,2 \times 892 = 178,4 \text{ mm/min}$

D. Ketebalan Pemakanan

1. $0,2 = (67,00 - 66,60) : 2 = 0,2 \text{ mm}$
2. $0,2 = (66,60 - 66,20) : 2 = 0,2 \text{ mm}$
3. $0,2 = (66,20 - 65,80) : 2 = 0,2 \text{ mm}$
4. $0,2 = (65,80 - 65,40) : 2 = 0,2 \text{ mm}$
5. $0,2 = (65,40 - 65,00) : 2 = 0,2 \text{ mm}$
6. $0,2 = (65,00 - 64,60) : 2 = 0,2 \text{ mm}$
7. $0,2 = (64,60 - 64,20) : 2 = 0,2 \text{ mm}$
8. $0,2 = (64,20 - 63,20) : 2 = 0,2 \text{ mm}$

3.3 Mode Pembentukan Chip



Gambar 2. Kondisi pemotongan MQL laju pemakanan 0,2

Gambar 2 Kondisi pemotongan MQL dengan kecepatan potong 120, laju pemakanan 0,2 dan jenis pahat PVD menghasilkan tipe chip yang berbentuk *Ribbon Chips (Long)* hal ini dipengaruhi oleh karakter sifat material AISI 4340 dikategorikan baja paduan yang dikeraskan hingga kekerasan 48 HRC menghasilkan tipe *Ribbon Chip Long* karena laju pemotongan yang rendah dan continue / terus menerus, berbeda dengan Gambar 3 dengan kondisi pemotongan DRY kecepatan pemotongan yang sama namun laju pemakanan berbeda menghasilkan jenis *Ribbon Chips Snarled* hal ini terjadi karena perbedaan laju pemakanan yang terjadi pada pemesinan dimana laju pemakanan sangat mempengaruhi umur pahat dan kualitas permukaan hasil pemesinan, fenomena perbedaan ini disebabkan oleh gaya pemotongan yang tinggi dan suhu kontak antara permukaan pahat dengan material yang potong terjadinya suhu kontak yang tinggi mengakibatkan material sisa pemotongan / chip mengalami bentuk yang berbeda setiap kondisi pemotongan, disisi lain pelumas yang digunakan pada saat pemesinan mempengaruhi suhu kontak jika dilihat secara detail chip dengan kondisi dry/kering sudah mengalami perubahan fasa (sudah fase perubahan struktur cementide yang memiliki sifat keras dan rapuh)



Gambar 3. Kondisi pemotongan MQL Kec. 120 laju pemakanan 0,4

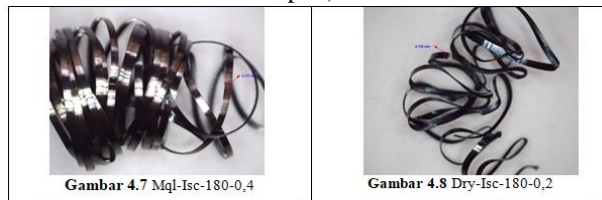
Gambar 3 Kondisi pemotongan MQL dengan kecepatan potong 120, laju pemakanan 0,4 dan jenis pahat CVD menghasilkan tipe chip yang berbentuk *Tubular Chips (Snarled)* hal ini dipengaruhi oleh karakter sifat material AISI 4340 dikategorikan baja paduan yang dikeraskan hingga kekerasan 48 HRC menghasilkan tipe *Tubular Chips (Snarled)* karena laju pemakanan yang tinggi dan continue / terus menerus, berbeda dengan Gambar 3.4 dengan kondisi pemotongan DRY, kecepatan pemotongan yang sama namun laju pemakanan yang rendah

menghasilkan jenis *Ribbon Chips(Snarled)* hal ini terjadi karena perbedaan laju pemakanan yang terjadi pada pemesinan dimana laju pemakanan sangat mempengaruhi umur pahat dan kualitas permukaan hasil pemesinan, fenomena perbedaan ini disebabkan oleh gaya pemotongan yang tinggi dan suhu kontak antara permukaan pahat dengan material yang potong terjadinya suhu kontak yang tinggi mengakibatkan material sisa pemotongan / chip mengalami bentuk yang berbeda setiap kondisi pemotongan, disisi lain pelumas yang digunakan pada saat pemesinan mempengaruhi suhu kontak jika dilihat secara detail chip dengan kondisi dry/ kering sudah mengalami perubahan fasa (sudah fase perubahan struktur cementide yang memiliki sifat keras dan rapuh).



Gambar 4. Kondisi pemotongan MQL Kec. 180 laju pemakanan 0,4

Gambar 4 Kondisi pemotongan MQL dengan kecepatan potong 180, laju pemakanan 0,2 dan jenis pahat CVD menghasilkan tipe chip yang berbentuk *Ribbon Chips(Long)* hal ini dipengaruhi oleh karakter sifat material AISI 4340 dikategorikan baja paduan yang dikeraskan hingga kekerasan 48 HRC menghasilkan tipe *Ribbon Chips(Long)* karena laju pemotongan yang rendah dan continue / terus menerus, berbeda dengan Gambar 4 dengan kondisi pemotongan DRY, kecepatan pemotongan yang sama namun laju pemakanan berbeda menghasilkan jenis *Ribbon Chips(Short)* hal ini terjadi karena perbedaan laju pemakanan yang terjadi pada pemesinan dimana laju pemakanan sangat mempengaruhi umur pahat dan kualitas permukaan hasil pemesinan, fenomena perbedaan ini disebabkan oleh gaya pemotongan yang tinggi dan suhu kontak antara permukaan pahat dengan material yang potong terjadinya suhu kontak yang tinggi mengakibatkan material sisa pemotongan / chip mengalami bentuk yang berbeda setiap kondisi pemotongan, disisi lain pelumas yang digunakan pada saat pemesinan mempengaruhi suhu kontak jika dilihat secara detail chip dengan kondisi dry/ kering sudah mengalami perubahan fasa (sudah fase perubahan struktur cementide yang memiliki sifat keras dan rapuh).

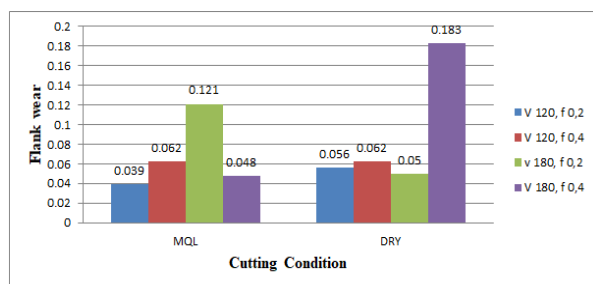


Gambar 5. Kondisi pemotongan MQL Kec. 180 laju pemakanan 0,4

Gambar 5 Kondisi pemotongan MQL dengan kecepatan potong 180, laju pemakanan 0,4 dan jenis pahat PVD menghasilkan tipe chip yang berbentuk *Washer Type Helical Chips(Snarled)* hal ini dipengaruhi oleh karakter sifat material AISI 4340 dikategorikan baja paduan yang dikeraskan hingga kekerasan 48 HRC menghasilkan tipe *Washer Type Helical Chips(Snarled)* karena laju pemotongan yang tinggi dan continue / terus menerus, berbeda dengan Gambar 5 dengan kondisi pemotongan DRY, kecepatan pemotongan yang sama namun laju pemakanan yang rendah menghasilkan jenis *Tubular Chips(Snarled)* hal ini terjadi karena perbedaan laju pemakanan yang terjadi pada pemesinan dimana laju pemakanan sangat mempengaruhi umur pahat dan kualitas permukaan hasil pemesinan, fenomena perbedaan ini disebabkan oleh gaya pemotongan yang tinggi dan suhu kontak antara permukaan pahat dengan material yang potong terjadinya suhu kontak yang tinggi mengakibatkan material sisa pemotongan / chip mengalami bentuk yang berbeda setiap kondisi pemotongan, disisi lain pelumas yang digunakan pada saat pemesinan mempengaruhi suhu kontak jika dilihat secara detail chip dengan kondisi dry/ kering sudah mengalami perubahan fasa (sudah fase perubahan struktur cementide yang memiliki sifat keras dan rapuh).

Tabel 2. Hasil morfologi cutting tools pada kecepatan potong yang berbeda

<p>CT1-Mql-Isc-120-0,2</p> <p>Hasil kondisi keausan mata pahat (Vb=0,039 mm)</p>	<p>CT2-Dry-Isc-120-0,4</p> <p>Hasil kondisi keausan mata pahat (Vb=0,062 mm)</p>
<p>CT3-Mql-kyc-120-0,2</p> <p>Hasil kondisi keausan mata pahat (Vb=0,062 mm)</p>	<p>CT4-Dry-Kyc-120-0,2</p> <p>Hasil kondisi keausan mata pahat (Vb=0,056 mm)</p>
<p>CT5-Mql-Kyc-180-0,2</p> <p>Hasil kondisi keausan mata pahat (Vb=0,121 mm)</p>	<p>CT6-Dry-Kyc-180-0,4</p> <p>Hasil kondisi keausan mata pahat (Vb=0,183 mm)</p>
<p>CT7-Mql-Isc-180-0,4</p> <p>Hasil kondisi keausan mata pahat (Vb=0,048 mm)</p>	<p>CT8-Dry-Isc-180-0,2</p> <p>Hasil kondisi keausan mata pahat (Vb=0,050 mm)</p>



Gambar 6. Grafik keausan mata pahat

Hasil grafik yang didapatkan dengan kecepatan potong terendah dengan nilai $V = 120$ m/min, $f = 0,2$ mm/rev pada kondisi pemotongan MQL mendapatkan nilai keausan mata pahat/flank wear senilai 0,039 mm maka mendapatkan karakteristik ketebalan chip senilai $a = 0,684$ mm, sedangkan kecepatan potong tertinggi dengan nilai $V = 180$ m/min, $f = 0,4$ mm/rev pada kondisi pemotongan DRY mendapatkan nilai keausan mata pahat/flank wear senilai 0,183 mm maka mendapatkan karakteristik ketebalan chip senilai $a = 0,934$ mm. Jadi dapat disimpulkan pada grafik diatas yang didapatkan bahwa umur pahat akan lebih panjang disaat pada kondisi pemotongan MQL (*Minimum Quantity Lubrication*) dibandingkan dengan kondisi pemotongan Dry Machining umur pahat akan lebih pendek dan pahat akan cepat mengalami keausan.

IV. Kesimpulan Dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapatkan karakteristik chip dalam pembubutan baja AISI 4340 dengan kekerasan (48 • 1 HRC) terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan pemotongan hasil grafik yang didapatkan dengan kecepatan potong terendah dengan nilai $V = 120$ m/min, $f = 0,2$ mm/rev pada kondisi pemotongan MQL dan menggunakan pahat ISCAR (PVD) mendapatkan nilai keausan mata pahat/flank wear senilai 0,039 mm dan mendapatkan nilai kekasaran $ra = 2,772$ micron maka mendapatkan karakteristik ketebalan chip senilai $a = 0,684$ mm.
2. Berdasarkan pengaruh kecepatan potong tertinggi dengan nilai $V = 180$ m/min, $f = 0,4$ mm/rev pada kondisi pemotongan DRY dan menggunakan pahat KYOCERA (CVD) mendapatkan nilai keausan mata pahat/flank wear senilai 0,183 mm dan mendapatkan nilai kekasaran $ra = 3,524$ micron maka mendapatkan karakteristik ketebalan chip senilai $a = 0,934$ mm.

4.2 Saran

Adapun saran dari penulis untuk mendukung terciptanya kualitas yang baik untuk penelitian terkait yang akan dilakukan selanjutnya yaitu:

1. Proses pemotongan sebaiknya dilakukan pada beberapa jenis material dan proses pemesinan lainnya, sehingga dapat diketahui perbandingan

atau perbedaan pengaruh terhadap rasio ketebalan chip.

2. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dianjurkan menggunakan gerak makan yang bervariasi sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap rasio ketebalan chip.

Daftar Pustaka

- [1] A. Ginting, R. Skein, D. Cuaca, Herdianto, Pieter, and Z. Masyithah, 2018, *The characteristics of CVD- and PVD-coated carbide tools in hard turning of AISI 4340*,” Meas. J. Int. Meas. Confed., vol. 129, pp. 548–557, doi: 10.1016/j.measurement.2018.07.072.
- [2] B. K. Singh, H. Roy, B. Mondal, S. S. Roy, and N. Mandal, 2019, *Measurement of Chip Morphology And Multi Criteria Optimization Of Turning Parameters For Machining of AISI 4340 steel using Y-ZTA cutting insert*,” Meas. J. Int. Meas. Confed., vol. 142, pp. 181–194, Aug. doi: 10.1016/j.measurement.2019.04.064.
- [3] B. Yılmaz, Ş. Karabulut, and A. Güllü, 2019, *A Review Of The Chip Breaking Methods For Continuous Chips In Turning*, J. Manuf. Process., vol. 49, no. September, pp. 50–69, 2020, doi: 10.1016/j.jmappro.2019.10.026.
- [4] W. Grzesik, 2017, *Tribology of Metal Cutting*, Adv. Mach. Process. Met. Mater., pp. 197–214, doi: 10.1016/b978-0-444-63711-6.00011-9.
- [5] S. Lepar, R. Poeng, and I. N. Gede, *Analisis Rasio Ketebalan Geram pada Proses Pembubutan*, J. Tek. Mesin, vol. 4, no. 2, pp. 171–183.
- [6] S. Mawarni, 2017, *Studi Pahat Karbida Berlapis (Tialn / Tin) Pada Pembubutan Kering Kecepatan Potong Tinggi Bahan Paduan Aluminium 6061*, vol. 07, no. 2, 2017.
- [7] B. Al, “Issn 2548-7574,” vol. 2, no. 1, 2017.
- [8] V. S. Pahade, P. S. Chavan, and V. P. Baisane, 2016, *Sebuah Makalah Review Tentang Lapisan Deposisi Uap*, pp. 75–78.
- [9] F. Sitorus, A. Ginting, and B. Wirjosentono, 2016, *Penyelidikan Karakteristik Lapisan Diamond Film Pada Pembubutan Kering*, vol. 1, no. 1, pp. 32–45, 2016.
- [10] L. Penelitian, 2013, *Pembuangan Geram Pada Proses Pembubutan Universitas Hkbp Nommensen*.
- [11] F. Ahmad, 2017, *Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Text Mining pada Media Sosial Twitter*.

- [12] M. Arifin, A. Ginting, S. S. Sarjana, and Suherman, *When Cermet Applied for Hard Machining of Steel: A Review*, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 1003, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012056.
- [13] R. N. T. Dianastri, 2020, *Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Learners of English Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember*.
- [14] M. A. Lawal, I. A. Choudhury, and Y. Nukman, 2013, *Jurnal Produksi Bersih Evaluasi Pemotongan Emulsi Nabati Dan Minyak Mineral Dalam Air Fl Cairan Dalam Memutar Baja Aisi 4340 Dengan Perkakas Karbida Berlapis*, pp. 1–9, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.066.
- [15] V. Pontevedra, 2018, *Science Direct Science Direct Science Direct Eksperimental ke dalam Mengubah Investigasi Eksperimental AISI 4340 Hardened menjadi Mengubah Baja AISI 4340 yang Dikeraskan menggunakan Cairan Pemotong Berbasis Nabati di Nabati dengan Pelumasan Kua*, vol. 00, no. 2, 2018.
- [16] P. T. Proses *et al.*, 2020, *Pemodelan Temperature Proses Pemesinan Bubut Aisi 4340 Dengan Metode Hot Machining Menggunakan Artificial Neural Network*.
- [17] R. Poeng *et al.*, *Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Temperatur Pemotongan Pada Proses Pembubutan*, vol. 4, pp. 128–137.
- [18] syukri M. Nur, 2009, *Aplikasi Program Minitab 15*, Apl. Progr. Minitab 15.
- [19] J. Junaidi, S. Hestukoro, A. Yanie, and E. Eddy, 2017, *Implementation Analysis Of Cutting Tool Carbide With Cast Iron Material S45 C on Universal Lathe*, in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 930, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/930/1/012044.
- [20] J. Junaidi, 2020, *Working Process Of Tu 3a Cnc Frais Machine Using Software System*, *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 3, p. 658, Aug. 2020, doi: 10.14419/ijet.v9i3.29682.