

## Kajian terhadap Tingkat Kerusakan Pahat pada Pembubutan dengan Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL)

Rika Dwi Hidayatul Qoryah, Allen Luviandy, Mahros Darsin \*

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Jember,  
Jl. Kalimantan No.37, Tegal Boto, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Indonesia 68121

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengamati efek penerapan metode pelumasan berkuantitas minimum atau *minimum quantity lubrication* (MQL) pada pembubutan baja AISI4340. Perangkat MQL yang dibuat dilengkapi dengan sistem kendali berbasis Arduino yang dapat disetel manual atau otomatis. Pahat yang digunakan adalah jenis insert DCMT 11. Desain eksperimen pada penelitian ini yaitu Taguchi desain *orthogonal array L9* dengan variasi kedalaman potong, komposisi cairan pendingin, dan metode pemberian cairan pendingin. Tiap variabel ada tiga level. Tingkat kerusakan pahat dinilai dari bentuk perubahan pahat setelah digunakan membubut dengan mengobservasinya di bawah mikroskop optik dari tiga sudut pandang. Ada empat kategori perubahan pahat dibandingkan bentuk aslinya. Nilai total kerusakan pahat adalah akumulasi dari angka tingkat kerusakan dari tiga sudut pandang. Hasil utama dari penelitian ini adalah MQL dengan kendali suhu menghasilkan tingkat kerusakan paling minim. Secara detil didapatkan bahwa faktor yang paling dominan mempengaruhi perubahan bentuk pahat (*tool deterioration*) secara berurutan adalah kedalaman potong, komposisi, dan metode pemberian *cutting fluids* dengan persentase sebesar 32,69%, 17,30 % dan 12,82%. Selain itu ditemukan bahwa metode MQL berbasis kendali suhu berpadu dengan kedalaman potong 1,6 mm dan komposisi campuran cairan pendingin 3:7 terbukti sebagai perpaduan parameter yang menghasilkan kerusakan pahat minimum.

**Kata kunci:** cairan pendingin; MQL; metode Taguchi; pahat, *tool deterioration*

### Abstract

**[Title: Study on Tool Deterioration in Machining with Minimum Quantity Lubrication (MQL) Condition]** This study aims to observe the tool deterioration following application of minimum quantity lubrication method (MQL). The designed MQL system is completed with an Arduino controller system which was able to be either manually-controlled or automatically-controlled. The tool used in this study is DCMT 11 insert type. The Taguchi method using the Orthogonal Array L9 design was used to compile the design of experiments with variations in depth of cut, coolant composition, and cooling fluid application methods. Each variable consists of three levels. Tool deterioration evaluated by observing it under an optic microscope from three sides of the tool. There are four levels of tool deterioration. The value of tool deterioration of each tool is the accumulation of each side view. ANOVA analysis found that depth of cut, cutting tool composition and method of applying coolant influence tool deterioration in percentage by 32.69%, 17.30 % and 12.82% respectively. Moreover, the minimum tool deterioration would be achieved when using the parameter combination of depth of cut of 1.6 mm; mixture composition of 3:7; and using the temperature-controlled MQL.

---

\*) Penulis Korespondensi.  
E-mail: mahros.teknik@unej.ac.id

**Keywords:** cutting fluid; MQL; Taguchi method; cutting tool; tool deterioration

**1. Pendahuluan**

Saat ini dunia industri masih banyak menggunakan mesin-mesin konvensional, seperti mesin bubut, *milling*, *drilling*, dll. Pahat merupakan salah satu komponen paling penting dalam proses pengerjaan tersebut. Banyak faktor yang mempengaruhi keausan pahat, seperti geometri pahat, pemberian cairan pendingin (*cutting fluid*), jenis material pahat dan benda kerja, waktu pemakaian, suhu karena gesekan, kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan (Dalimunthe, 2009). Sedangkan menurut Qomarudin dan Rahmanto (2018), salah satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas pahat adalah kemampuan potong dari pahat tersebut. Seiring pemakaian, pahat akan semakin aus dan berubah bentuk. Hal ini dikarenakan fenomena terkikisnya bagian pahat dengan adanya gesekan terus menerus dengan benda kerja (Bayuseno, 2010). Untuk mengurangi keausan tersebut, salah satu solusinya memberikan cairan pendingin. Namun penggunaan cairan pendingin yang berlebihan juga menyebabkan dampak berbahaya bagi operator dan lingkungan sekitar karena termasuk dalam limbah.

Untuk mencegah penggunaan cairan pendingin yang berlebihan maka muncullah metode yang bernama *Minimum Quantity Lubrication* (MQL). Metode MQL ini adalah salah satu metode pemberian cairan pendingin dengan debit maksimal 50 – 500 ml per jam (Basuki dkk, 2014). Dengan adanya penggunaan metode MQL diharapkan dapat mengurangi dampak buruk bagi lingkungan. Menurut Boubekri (2015) metode MQL lebih efektif dibandingkan metode *flood* dengan mengurangi penggunaan cairan pelumasan (*cutting fluid*) yang berlebihan. Lebih lanjut, metode MQL juga menghasilkan permukaan yang lebih halus dan bisa mengurangi suhu pengerjaan dibandingkan dengan metode *dry cutting* (metode pemesinan dimana tidak menggunakan cairan pelumasan sama sekali) (Boubekri, 2015). Patriawan dkk (2016) mengatakan bahwa penggunaan metode MQL terbukti lebih ekonomis dari sisi *production cost* dan ramah lingkungan. Penggunaan cairan pendingin akan memperlambat keausan pahat terbukti pada penelitian yang dilakukan oleh Basuki dkk. (2014), proses pemotongan dengan menggunakan metode *dry cutting* menyebabkan pahat akan semakin cepat mengalami aus.

Sebagai pendukung dalam pemberian metode MQL, digunakan sistem otomasi berbasis arduino dimana penyemprotan cairan pendingin akan bergantung pada suhu pengerjaan. Dengan adanya sistem otomasi tersebut seperti penelitian yang dilakukan oleh Dinata dkk (2019), diharapkan data yang diperoleh semakin valid karena pemberian cairan

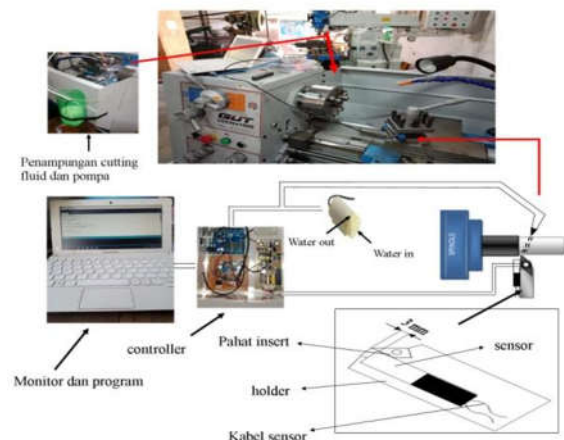
pendingin terkendali dan bergantung pada sensor suhu, selain itu penggunaan metode MQL dengan memanfaatkan sistem otomasi memberikan dampak pengurangan penggunaan cairan pendingin.

Berdasarkan studi literatur di atas penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari aplikasi sistem kendali pemberian *cutting fluid* terhadap tingkat kerusakan pahat. Selain itu, untuk menemukan kombinasi parameter yang akan menghasilkan tingkat kerusakan pahat minimum. Kontribusi utama dari hasil penelitian ini adalah ditemukannya kombinasi parameter permesinan optimum dengan melibatkan permesinan dengan MQL yang menghasilkan perubahan bentuk pahat minimum.

**2. Bahan dan Metode**

Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *insert* karbida DCMT 11. Suhu kerja pahat karbida biasanya mencapai suhu maksimal pengerjaan ± 566 °C (Shihab dkk, 2014). Material yang digunakan adalah baja AISI 4340 yang termasuk dalam golongan baja karbon sedang. Penyemprotan cairan pendingin menggunakan alat yang sudah dirangkai dan dimodifikasi yang dapat dilihat pada Gambar 1.

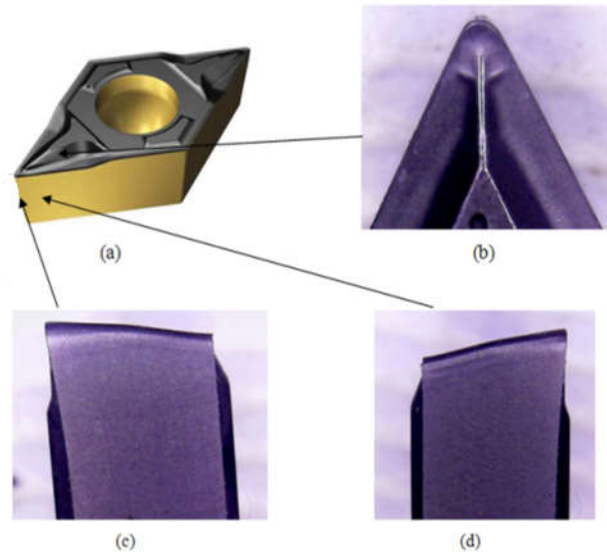
Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen langsung. Langkah-langkah yang dilakukan adalah proses pembubutan; pengambilan gambar pahat yang sudah dipakai menggunakan mikroskop digital, dan yang terakhir adalah pengolahan data menggunakan metode Taguchi. Pengambilan gambar pahat ini menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 100 kali (Gambar 2). Foto dari 3 sisi: *flank*, *left side rake*, dan *right side rake* dari pahat digunakan untuk menetapkan nilai tingkat kerusakan pahat.



**Gambar 1.** Kontroler Sistem Pendingin



Gambar 2. Mikroskop digital



Gambar 3. (a) Pahat insert DCMT 11 (b) Bagian Flank (c) Bagian Right Side Rake (d) Bagian Left Side Rake

**2.1 Proses Pengambilan Gambar Pahat**

Pada proses ini, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut: (a) Meletakkan pahat yang sudah digunakan dengan posisi tetap untuk diambil gambar pada bagian *flank*, (b) Mengambil gambar pada setiap bagian pahat yang sudah ditentukan sebelumnya menggunakan mikroskop digital, (c) Mengulangi prosedur 1 dan 2 untuk *right side rake*, dan *left side rake*. Sisi pahat yang diobservasi disajikan pada Gambar 3.

**2.2 Pengolahan Data**

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode Taguchi L9 yang terdiri dari 3 macam variabel, yaitu variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat. Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut: (a) Variabel kontrol: nilai *feed rate* sebesar 0,122 mm/putaran, dan putaran spindle sebesar 585 rpm, (b) Variabel terikat merupakan nilai *tool deterioration*. (c) Variabel bebas dalam penelitian ini ada 3, yaitu kedalaman potong, metode pemberian cairan pendingin pada proses pemakanan, dan komposisi campuran cairan pendingin. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada variasi metode, terdapat 3 jenis yaitu metode

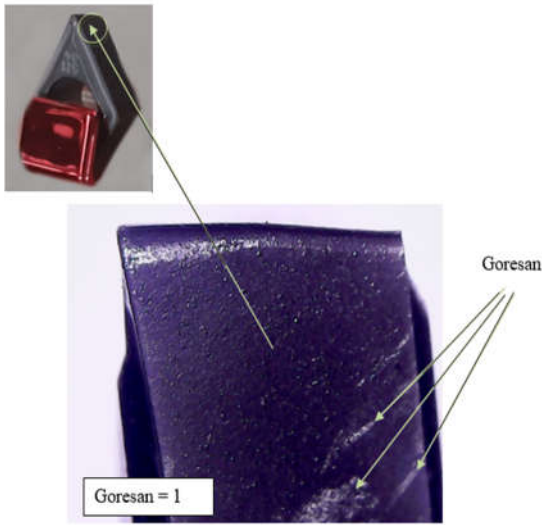
MQL manual, MQL otomatis, dan metode *flood*. Maksud dari metode MQL manual adalah penyemprotan cairan pendingin dilakukan berdasarkan waktu, yaitu setiap 10 detik sekali alat kontroler akan menyemprotkan cairan pendingin. Metode MQL otomatis adalah sistem penyemprotan yang dilakukan berdasarkan sensor suhu, yaitu adalah apabila suhu pada sensor mencapai 70°C maka alat kontroler akan otomatis menyemprotkan cairan pendingin dan jika suhu sudah di bawah 70°C maka alat akan otomatis berhenti menyemprotkan cairan pendingin. Metode *flood* adalah metode pemberian cairan pendingin dengan menyemprotkan cairan pendingin secara terus menerus dari awal pemotongan sampai berhenti.

**3. Hasil dan Pembahasan**

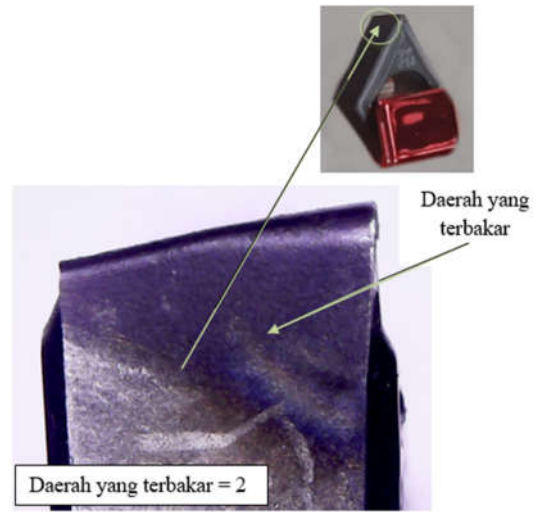
Dari pengamatan foto mikroskopi dikategorikan menjadi 4 jenis kerusakan pahat. Penetapan nilai perubahan bentuk pahat (*tool deterioration*), yaitu sebagai berikut: (1) tergores, (2) terbakar, (3) built-up edge (BUE), dan (4) cuil. Contoh masing-masing pahat dengan nilai kerusakan 1-4 secara berurutan disajikan pada Gambar 4-7. Pahat yang telah cuil (nilai 4) tidak dapat digunakan lebih lanjut.

Tabel 1. Variabel bebas dan levelnya

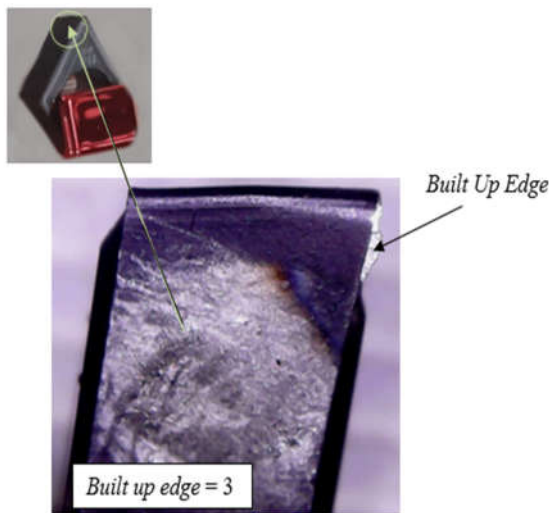
Kode	Kontrol Faktor	Level		
		1	2	3
A	<i>Depth of cut</i>	1,6 mm	1,8 mm	2 mm
B	Komposisi (Air : <i>Cutting Fluid</i> )	3:7	5:5	7:3
C	Metode	MQL Manual	MQL Otomasi	Flood



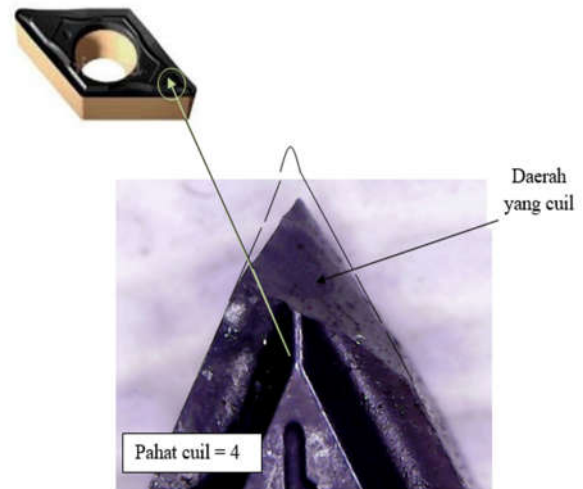
**Gambar 4.** Tool deterioration tingkat 1, gambar dari *right side rake* pahat percobaan 3 replikasi 1



**Gambar 5.** Tool deterioration tingkat 2, gambar dari *Left side rake* pahat percobaan 1 replikasi 3



**Gambar 6.** Tool deterioration tingkat 3, gambar dari *left side rake* pahat percobaan 5 replikasi 1



**Gambar 7.** Tool deterioration tingkat 4, gambar dari *flank* pahat percobaan 8 replikasi 2

Setelah mengetahui kategori dari masing-masing kerusakan pahat, kemudian menghitung total kerusakan sesuai dengan nilai yang sudah ditetapkan di atas. Contoh dari perhitungan nilai kerusakan dari masing-masing pahat dapat dilihat pada Tabel 2.

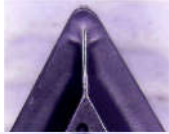



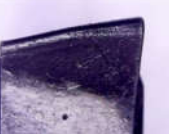




Tabel 3 menyajikan hasil perhitungan semua nilai kerusakan pahat pada masing-masing percobaan. Sedangkan perhitungan rata-rata *means* dari setiap percobaan menggunakan persamaan 1 dan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i \text{ Means} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i \quad (1)$$

$$\mu_{\text{prediksi}} = (\underline{A}1 + \underline{B}1 + \underline{C}2) - \underline{y} \quad (2)$$

Hasil perhitungan faktor yang paling optimum dari tiap faktor kendali dapat dilihat pada Tabel 5. Dari perhitungan nilai prediksi respon optimum menggunakan persamaan 2 dengan hasil nilai rata-rata prediksi *means* untuk kombinasi yang optimal terhadap nilai *tool deterioration* adalah sebesar 9,43.

Tabel 2. Contoh perhitungan nilai *tool deterioration*

	Bagian Flank	Bagian Left side rake	Bagian Right side rake
Sebelum digunakan			
Percobaan 3 replikasi 3 (Total: 4)			
Percobaan 9 Replikasi 1 (Total: 12)			

Tabel 3. Data nilai *tool deterioration*

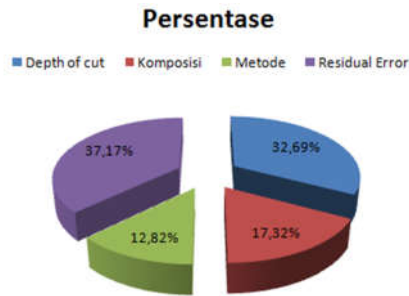
No	Parameter Kendali			Replikasi	Data Hasil Pengujian			Jumlah
	Depth Of Cut(mm)	Komposisi (Air : Cutting fluid)	Metode		Flank	Left Side Rake	Right Side Rake	
1	1,6	3 : 7	MQL Manual	1	2	1	2	5
				2	2	1	1	4
				3	2	2	1	5
2	1,6	5 : 5	MQL Otomasi	1	2	3	1	6
				2	1	2	1	4
				3	2	2	1	5
3	1,6	7 : 3	Flood	1	2	2	1	5
				2	2	3	1	6
				3	1	2	1	4
4	1,8	3 : 7	MQL Otomasi	1	1	2	1	4
				2	1	2	1	4
				3	1	2	1	4
5	1,8	5 : 5	Flood	1	2	3	1	6
				2	1	3	2	6
				3	3	4	4	11
6	1,8	7 : 3	MQL Manual	1	1	2	1	4
				2	2	2	1	5
				3	1	2	1	4
7	2,0	3 : 7	Flood	1	1	2	2	5
				2	3	3	2	8
				3	1	2	2	5
8	2,0	5 : 5	MQL Manual	1	3	1	1	5
				2	4	4	4	12
				3	4	4	1	9
9	2,0	7 : 3	MQL Otomasi	1	4	4	4	12
				2	2	2	1	5
				3	3	2	1	6

Tabel 4. Perhitungan *means*

Percobaan	% Tool Deterioration			Rata-rata means
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	
1	5	4	5	4,66
2	6	4	5	5,00
3	5	6	4	5,00
4	4	4	4	4,00
5	6	6	11	7,66
6	4	5	4	4,33
7	5	8	5	6,00
8	5	12	9	8,66
9	12	5	6	7,66

Tabel 5. Respon rata-rata nilai *means* setiap faktor kendali

Simbol	Faktor kendali	Rata-rata			Selisih
		Level 1	Level 2	Level 3	
1	<i>Depth of cut</i>	4,88	5,33	7,44	2,55
2	Komposisi	4,88	7,11	5,66	0,77
3	Metode	5,88	5,55	6,22	-0,66
Rata-rata total				5,88	



Gambar 8. Grafik Persen Kontribusi

Tabel 6. Persen Kontribusi

Simbol	Faktor Kendali	SS'	P
A	<i>Depth of cut</i>	7,55	32,69 %
B	Komposisi	5,00	17,30 %
C	Metode	-2,96	12,82 %
R	Residual		37,17 %
Total			100 %

Penentuan interval kepercayaan rata-rata nilai *tool deterioration* prediksi dihitung berdasarkan Persamaan 3.

$$N_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan}} \quad (3)$$

Nilai dari interval kepercayaan rata-rata nilai *tool deterioration* prediksi dengan interval kepercayaan sebesar 95 % adalah  $9,43 \pm 2,98$  ( $6,45 \leq \mu \text{ means} \leq 12,41$ ). Sedangkan perhitungan persentase kontribusi menggunakan Persamaan 4 dan 5.

$$SS'A = SS_A - MS_e (DK_A) \quad (4)$$

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad (5)$$

Hasil perhitungan persen kontribusi dapat dilihat pada Tabel 6 dan grafik dari persen kontribusi dapat dilihat pada Gambar 8.

Pada penelitian ini hasil pengambilan data menggunakan metode Taguchi menunjukkan adanya residual *error* yang melebihi batas normal yang dianjurkan, yaitu sebesar 15%. Jika nilai persen kontribusi  $error \leq 15\%$  berarti tidak ada faktor berpengaruh yang diabaikan. Jika persen kontribusi  $error \geq 50\%$  berarti ada faktor signifikan yang berpengaruh namun diabaikan dalam penelitian ini. Dimana nilai residual error pada penelitian ini mencapai 37,17%. Data yang dihasilkan akan dianggap masih dapat digunakan selama nilai residual *error* tidak melebihi 50% (Soejanto, 2009). Nilai residual *error*

yang melebihi batas normal tersebut kemungkinan disebabkan oleh faktor penting yang mempengaruhi *tool deterioration* secara signifikan, namun tidak dimasukkan dalam desain eksperimen Taguchi (Khanna & Davim, 2015), seperti *cutting speed* dan *feed rate* yang dijadikan variable kontrol dalam penelitian ini. Selain itu, *error* yang besar dapat juga disebabkan oleh sistem yang bekerja kurang baik. Salah satunya oleh pemasangan sensor pada pahat. Rochim (2007) menjelaskan bahwa karena proses pemotongan terus berjalan maka tingkat temperatur di bagian depan alat potong akan semakin kecil dan sebagian besar panas akan terbawa oleh tatal sehingga suhu yang paling maksimal adalah berada pada tatal. Lebih lanjut menurut Rochim (2007), distribusi pembagian suhu adalah pada tatal sekitar 75%, suhu yang terbawa oleh pahat 20%, dan suhu yang dibawa oleh benda kerja sebesar 5%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu pada pahat akan relatif lebih kecil daripada tatal sehingga pemasangan sensor suhu pada pahat akan kurang efektif karena suhu yang terbaca tidak maksimal.

Berikut adalah pembahasan dari tiap masing-masing faktor kendali yang berpengaruh terhadap nilai *tool deterioration*.

### 3.1 *Depth of cut*

Faktor *depth of cut* adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pada penelitian *tool deterioration* ini dengan persen kontribusi sebesar 32,69 % terbesar dibandingkan parameter lainnya. Nilai *depth of cut* yang paling optimal untuk pahat supaya tidak cepat cuil adalah nilai 1,6 mm dan nilai *depth of cut* yang

menyebabkan pahat cepat cuil dan berubah bentuk adalah pada nilai 2,0 mm. Pada nilai *depth of cut* adalah 2,0 mm pahat akan menjadi lebih rentan mengalami patahan. Peristiwa patahan tersebut dikarenakan gaya potong yang terjadi pada pahat semakin besar seiring dengan besarnya nilai *depth of cut*. Semakin besar nilai *depth of cut* maka akan menyebabkan pahat cepat cuil dan berubah bentuk karena suhu yang dihasilkan oleh gesekan semakin tinggi. Penelitian Gupta *dkk.* (2020) juga menunjukkan hasil serupa bahwa kedalaman potong yang tinggi berakibat kemungkinan kausan pahat yang lebih besar. Pada proses permesinan lain seperti drilling, *depth of cut* yang besar juga terbukti memicu pahat lebih cepat rusak (Darsin *dkk.*, 2017). Menurut Rochim (2007) suhu yang tinggi akan menyebabkan cairan pendingin cepat berubah menjadi uap yang membuat fungsi cutting fluid sebagai pendingin dan pelumas akan menurun. Jika daya guna *cutting fluid* menurun, maka pahat cepat cuil karena gesekan menjadi lebih besar dari sebelumnya.

**3.2 Komposisi**

Faktor komposisi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pada penelitian *tool deterioration* ini dengan persen kontribusi sebesar 17,32 %. Nilai komposisi yang paling optimal pada komposisi cairan antara air : dromus = 3 : 7 dan untuk nilai komposisi yang menyebabkan pahat cepat cuil dan berubah bentuk adalah pada komposisi air : dromus = 5 : 5. Hal ini berarti menunjukkan bahwa penggunaan dromus yang banyak dapat mencegah pahat cepat cuil dan berubah bentuk. Menurut Rochim (2007) temperatur yang tinggi akibat gesekan akan menyebabkan cairan pendingin berubah menjadi uap berupa oksigen. Oksigen pada proses pemotongan akan menyebabkan pengurangan derajat afinitas (penyatuan) antara benda kerja dan pahat, sehingga dengan berkurangnya derajat afinitas maka akan menyebabkan keausan karena proses pergesekan menjadi lebih cepat dari sebelumnya. Maka dari itu, dengan penggunaan komposisi air yang lebih banyak akan menyebabkan pahat cepat cuil karena unsur pembentuk air salah satunya adalah oksigen. Penelitian lain, seperti yang dilakukan oleh Ekinovic *dkk.* (2015)

menggunakan berbagai kombinasi berbagai jenis metode aplikasi cutting fluid pada sistem MQL juga memberi efek berarti terhadap keausan pahat, dengan hasil terbaik jika menggunakan perpaduan debit air 1.7 l/jam dan minyak 10 ml/jam.

**3.3 Metode**

Faktor metode pemberian *cutting fluid* adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pada penelitian *tool deterioration* ini dengan nilai persen kontribusi sebesar 12,82 % terkecil dibandingkan parameter lainnya. Metode yang paling optimal yang baik untuk mencegah pahat cepat aus dan berubah bentuk adalah pada metode MQL otomasi. Hal ini sesuai dengan yang didapat oleh Ali *dkk.* (2011). Sedangkan metode yang menyebabkan pahat cepat cuil dan berubah bentuk adalah pada metode *flood*. Seperti yang dijelaskan oleh Rochim (2007) bahwa oksigen dari hasil cairan pendingin yang terkena suhu tinggi akan menyebabkan pahat cepat cuil karena pergesekan antara pahat dan benda kerja juga menjadi lebih cepat. Maka dari itu penggunaan metode *flood* yang menyemprotkan cairan pendingin secara terus menerus akan menyebabkan produksi oksigen yang berlebihan.

Tahap terakhir dari pengolahan data adalah eksperimen konfirmasi. Faktor yang digunakan adalah *depth of cut* 1,6 mm; komposisi 3:7; dan metode MQL otomasi. Hasil dari eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 7. Sedangkan perhitungan dari interval kepercayaan eksperimen konfirmasi menggunakan persamaan 6.

$$N_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan}} \tag{6}$$

$$N_{eff} = \frac{1 \times 3}{1 + (2 + 2 + 2)}$$

$$N_{eff} = 0,42$$

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;Ve} MS_e \left[ \left( \frac{1}{n_{eff}} \right) + \left( \frac{1}{r} \right) \right]}$$

$$CI_3 = \sqrt{19,00 \times 1,81 \left[ \left( \frac{1}{0,42} \right) + \left( \frac{1}{3} \right) \right]}$$

$$CI_3 = \pm 9,66$$

**Tabel 7.** Eksperimen Konfirmasi

Parameter Kendali		Metode	Replikasi	Data Hasil Pengujian			Jumlah Nilai
<i>Depth Of Cut</i> (mm)	Komposisi (Air : Dromus)			<i>Flank</i>	<i>Left Side Rake</i>	<i>Right Side Rake</i>	
1,6	3:7	MQL	1	2	2	1	5
		Otomasi	2	1	2	1	4
			3	2	2	2	6
Rata-rata ( <i>means</i> )							5

Berdasarkan Tabel 7 dan Persamaan 6 diperoleh nilai dari interval kepercayaan 95 % eksperimen konfirmasi dari rata-rata nilai *tool deterioration* prediksi adalah  $5,00 \pm 9,66$  ( $-4,66 \leq \mu \text{ means} \leq 14,66$ ).

#### 4. Kesimpulan

Ada tiga kesimpulan yang dapat ditarik dari observasi dan analisis kerusakan pahat dengan berbagai variasi pemberian cutting fluid ketika membubut AISI 4340. Pertama, metode pemberian cutting fluid hanya berkontribusi mempengaruhi *tool deterioration* sebesar 12,82%. Sedangkan parameter yang berpengaruh paling besar adalah *depth of cut* dengan persen kontribusi sebesar 32,69%. Kedua, parameter yang paling optimum adalah berada pada *depth of cut* 1,6 mm; komposisi air : cutting fluid = 3 : 7; dan menggunakan metode MQL otomasi. Terakhir, nilai rata-rata (means) kerusakan pahat yang paling kecil adalah pada percobaan 4 dengan nilai rata-rata sebesar 4,00 dan nilai rata-rata yang paling besar adalah pada percobaan 5 dan percobaan 8 dengan nilai rata-rata sebesar 8,66.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis sampaikan terima kasih kepada tim riset MQL dan teknisi laboratorium Kerja Logam dan Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember.

#### Daftar Pustaka

- Ali, S. M., Dhar, N. R., & Dey, S. K. (2011). Effect of minimum quantity lubrication (mql) on cutting performance in turning medium carbon steel by uncoated carbide insert at different speed-feed combinations. *Advances in Production Engineering & Management*, 6(3).
- Basuki, B. (2014). Pengaruh Metode *Minimum Lubrication* Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda Kerja AISI 4340. *Jurnal Teknologi*, 7(2), 112-117.
- Bayuseno, A. P. (2010). Kajian Pustaka Tentang Keausan Pahat Bubut. *Rotasi*, 12(2), 38-41.
- Boubekri, N., & Shaikh, V. (2015). Minimum Quantity Lubrication (MQL) in Machining: Benefits and Drawback. *Journal of Industrial and Intelligent Information*, 3(3), 205-209.
- Dalimunthe, R. (2009). Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Umur Pahat HSS Pada Proses Pembubutan AISI 4340. *Jurnal Sains dan Inovasi*, 5(2), 139-145.
- Darsin, M., Pasang, T., & Chen, Z. (2017). Performance of TiAlN PVD Coated Carbide Drill when Drilling Titanium 6246 Alloy. *MATEC Web of Conferences 109*, 02001.
- Dinata, G. G. S., Muttaqin, A. Z., & Darsin, M. (2020). Rancang bangun dan uji performa sistem kendali pemberian fluida permesinan MQL berbasis arduino. *Rekayasa Mesin*, 11(1), 97-104.
- Ekinovic, S, H. Prcanovic, H., E. & Begovica, E. (2015). Investigation of influence of MQL machining parameters on cutting forces during MQL turning of carbon steel St52-3. *The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2015*.
- Gupta, M. K., Mia, M., Jamil, M., Singh, R. Singla, A. K. Song, Q., Liu, Z., Khan, A. M., Rahman, M. A., Sarikaya, M. (2020). Machinability investigations of hardened steel with biodegradable oil-based MQL spray system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108,735-748.
- Khanna, N., & Davim, J. P. (2015). Design of experiments application in machining titanium alloys for aerospace structural components. *Measurement*, 61, 280-290.
- Patriawan, D. A., Irawan, H., & Widodo, E. W. R. (2016). Studi Pendahuluan Penggunaan Minimum Quantity Lubricant Pada Proses Pemesinan. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 153-160.
- Qomarudin & Rahmanto, R. H. (2018). Analisis Kekerasan dan Keausan Pahat Bubut HSS. *Prosiding seminar nasional energi & teknologi (SINERGI) 2016*, 47-50.
- Rochim, T. (2007). *Perkakas dan Sistem Pemerkakasan*. Bandung: Penerbit ITB.
- Shihab, S. K., Khan, Z. A., Mohammad, A., & Siddiqueed, A. N. (2014). RSM based study of cutting temperature during hard turning with multilayer coated carbide insert. *Procedia materials science*, 6, 1233-1242..
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Wang, Z., Wang, N. H., & Li, T. (2011). Computational analysis of a twin-electrode DC submerged arc furnace for MgO crystal production. *Journal of Materials Processing Technology*, 11(3), 388-395.