

ABSTRAK

Proses pembubutan merupakan salah satu proses pemesinan yang dipengaruhi oleh parameter pemotongan dan metode pendinginan. Penggunaan sistem *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) dengan campuran minyak nabati menjadi alternatif untuk mengurangi penggunaan *coolant* berbasis mineral sekaligus meningkatkan performa proses pemesinan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *depth of cut* dan campuran minyak sawit pada *dromus* terhadap *Material Removal Rate* (MRR), bentuk geram, dan temperatur pemesinan pada proses pembubutan Aluminium 6061 menggunakan sistem MQL. Penelitian ini menggunakan metode *Design of Experiments* (DOE) faktorial dua faktor dengan tiga level. Faktor pertama adalah *depth of cut* sebesar 1 mm, 1,5 mm, dan 2 mm, sedangkan faktor kedua adalah komposisi campuran minyak sawit pada *dromus* sebesar 50%, 65%, dan 80%. Parameter pemotongan lain, yaitu *cutting speed* sebesar 50 m/menit dan *feed rate* sebesar 0,18 mm/rev dijadikan variabel kontrol. Pengujian dilakukan pada mesin CNC *Turning* menggunakan *insert karbida* MGMN300 dengan sistem pendinginan MQL. Variabel respon yang diamati meliputi *Material Removal Rate* (MRR), bentuk geram berdasarkan dimensi geram, dan temperatur pemesinan menggunakan *infrared thermometer*. Data *Material Removal Rate* (MRR) dan bentuk geram dianalisis secara deskriptif berdasarkan hasil pengukuran eksperimen, sedangkan data temperatur pemesinan dianalisis menggunakan *General Linear Model* (GLM) dan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh *depth of cut*, campuran minyak sawit, serta interaksi kedua faktor terhadap temperatur pemesinan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi *depth of cut* memberikan pengaruh paling dominan terhadap peningkatan *Material Removal Rate* (MRR), sedangkan campuran minyak sawit pada *dromus* berpengaruh terhadap karakteristik pembentukan geram dan temperatur pemesinan. Interaksi antara kedua faktor menunjukkan adanya perubahan respon pemesinan pada kombinasi perlakuan tertentu, sehingga pemilihan parameter pemotongan dan komposisi *coolant* yang tepat dapat meningkatkan produktivitas proses sekaligus menjaga kestabilan temperatur dan pembentukan geram selama proses pembubutan Aluminium 6061 menggunakan sistem MQL.

Kata kunci: *Minimum Quantity Lubrication* (MQL), *depth of cut*, minyak sawit, *dromus*, *Material Removal Rate* (MRR), bentuk geram, temperatur pemesinan, Aluminium 6061.

ABSTRACT

The turning process is one of the machining operations significantly influenced by cutting parameters and cooling methods. The application of the Minimum Quantity Lubrication (MQL) system using vegetable oil mixtures has emerged as an alternative to reduce the use of mineral-based cutting fluids while improving machining performance. This study aims to analyze the effect of depth of cut and palm oil mixture in dromus on the Material Removal Rate (MRR), chip formation, and machining temperature during the turning process of Aluminum 6061 using an MQL system. This research employed a two-factor, three-level Design of Experiments (DOE) factorial design. The first factor was the depth of cut at 1 mm, 1.5 mm, and 2 mm, while the second factor was the palm oil concentration in dromus at 50%, 65%, and 80%. Other machining parameters, including a cutting speed of 50 m/min and a feed rate of 0.18 mm/rev, were maintained as control variables. The experiments were conducted on a CNC turning machine using an MGMN300 carbide insert with an MQL cooling system. The observed responses included Material Removal Rate (MRR), chip characteristics based on chip dimensions, and machining temperature measured using an infrared thermometer. Data on the Material Removal Rate (MRR) and chip morphology were analyzed descriptively based on experimental measurements, whereas machining temperature data were analyzed using the General Linear Model (GLM) and Analysis of Variance (ANOVA) to determine the effects of depth of cut, palm oil mixture, and the interaction between these two factors on machining temperature. Furthermore, the interaction between the two factors affects the machining responses under specific treatment combinations. Therefore, selecting an appropriate depth of cut and palm oil concentration in the MQL system can improve machining productivity while maintaining stable machining temperatures and chip formation during the turning process of Aluminum 6061.

Keywords: *Minimum Quantity Lubrication (MQL), depth of cut, palm oil, dromus, Material Removal Rate (MRR), chip formation, machining temperature, Aluminum 6061.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Disiplin Ilmu Pendukung	7
2.1.1 Proses Manufaktur	7
2.1.2 Material Teknik.....	8
2.2 Teori dasar	8
2.2.1 Proses Pemesinan	9
2.2.2 Mesin CNC <i>Turning</i>	16
2.2.3 Dasar-dasar Proses Pembubutan.....	20
2.2.4 Aluminium 6061	21
2.2.5 <i>Depth of cut</i>	22
2.2.6 Pahat Potong Karbida	23
2.2.7 Temperatur Pahat Potong.....	25
2.2.8 Laju Pelepasan Material (MRR).....	26
2.2.9 Teori pembentukan dan klasifikasi geram	28
2.2.10 Distribusi Temperatur Pada Proses Pemesinan	32
2.2.11 Cairan Pendingin (<i>coolant</i>).....	34
2.2.12 Sistem MQL	36

2.2.13 Cairan <i>Dromus</i>	37
2.2.14 Cairan Minyak Sawit.....	37
2.3 <i>Design of Experiments</i> (DOE)	40
2.3.1 Metode Faktorial	40
2.3.2 <i>General Linear Model</i> (GLM).....	44
2.4 Penelitian Terdahulu.....	45
2.5 Posisi Penelitian	48
BAB III METODE PENELITIAN	50
3.1 Jenis Penelitian.....	50
3.2 Variabel Penelitian	50
3.2.1 Variabel Bebas	50
3.2.2 Variabel Terikat.....	51
3.2.3 Variabel Kontrol	51
3.3 Alur Penelitian.....	52
3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian.....	55
3.4.1 Alat	55
3.4.2 Bahan.....	57
3.5 Prosedur Pengambilan Data	58
3.5.1 Pengukuran MRR	58
3.5.2 Pengamatan Bentuk Geram	59
3.5.3 Pengukuran Temperatur Pemesinan	59
3.6 Desain Eksperimen	60
3.6.1 Faktor dan Level Variabel.....	60
3.6.2 <i>Coded Variable</i>	61
3.6.3 Matriks Desain Eksperimen Faktorial	62
3.6.4 Respon Penelitian	63
3.6.5 Model Matematis DOE Faktorial	63
3.7 Teknik Pengolahan Data	64
3.7.1 Pengacakan	65
3.8 Replikasi.....	66
3.9 Analisis ANOVA Temperatur Pemesinan.....	68
3.10 Analisis Data	68
3.11 Tempat dan Waktu Penelitian	70
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	71
4.1 Data Hasil Eksperimen.....	71

4.1.1 Data Hasil Pengujian MRR	72
4.1.2 Data Hasil Pengamatan Bentuk Geram	76
4.1.3 Data Hasil Pengujian Temperatur Pemesinan	81
4.2 Analisis Statistik.....	84
4.2.1 Uji Normalitas	84
4.2.2 Uji Homogenitas.....	86
4.2.3 Analisis ANOVA Temperatur	88
4.3 Analisis Pengaruh Faktor	89
4.3.1 Analisis Pengaruh Faktor terhadap Temperatur Pemesinan	89
4.4 Analisis Respon Penelitian.....	91
4.4.1 Analisis <i>Material Removal Rate</i> (MRR)	92
4.4.2 Analisis Bentuk Geram	93
4.5 Pembahasan.....	94
4.5.1 Pengaruh <i>Depth of cut</i> terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR), Bentuk Geram, dan Temperatur	95
4.5.2 Pengaruh Campuran Minyak Sawit terhadap <i>Material Removal Rate</i> (MRR), Bentuk Geram, dan Temperatur.....	97
4.5.3 Pengaruh Interaksi <i>Depth of cut</i> dan Campuran Minyak Sawit	99
4.5.4 Hubungan antara MRR, Bentuk Geram, dan Temperatur	101
BAB V PENUTUP	104
5.1 Kesimpulan	104
5.2 Saran.....	105
DAFTAR PUSTAKA.....	107
LAMPIRAN	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi proses pemesinan menurut gerakan relatif pahat/perkakas potong terhadap benda kerja.	10
Gambar 2.2 Proses turning Sucipto dkk. (2022).	21
Gambar 2.3 Tabel Kecepatan potong pahat HSS dan Karbida (Buku Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2).	26
Gambar 2.4 Jenis-jenis geram (Siregar dkk., 2023).	29
Gambar 2.5 Teori pembentukan chip.	30
Gambar 2.6 Sketsa pengukuran dimensi (Sujana, Haryono, Radyantho, Rahmany, dkk., 2025).	30
Gambar 2.7 Sumber Panas Pada Pemotongan Logam Padangi dkk. (2024).	33
Gambar 3.1 Flowchart penelitian.	53
Gambar 3.2 Mesin CNC turning.	56
Gambar 3.3 Pahat insert karbida MGMN300.	56
Gambar 3.4 Holder MGEHR2020-3	57
Gambar 4.1 Grafik hasil perhitungan MRR.	76
Gambar 4.2 Grafik rata-rata temperatur.	82
Gambar 4.3 Probability Plot Residual Temperatur Pemesinan.	85
Gambar 4.5 Hasil Uji Homogenitas Temperatur Pemesinan Menggunakan Bartlett's Test	87
Gambar 4.6 Main Effects Plot Temperatur Pemesinan.	90
Gambar 4.7 <i>Interaction Plot</i> Temperatur Pemesinan.	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel saat Material Perlu Pendingin.....	11
Tabel 2.2 Tabel saat Material Al 6061 Perlu Pendingin.	12
Tabel 2.3 Tahapan Proses Pemesinan (Widarto, 2008).	13
Tabel 2.4 Tabel parameter pemotongan Kalpakjian & Schmid (2020).	15
Tabel 2.5 Karakteristik Operasi External Grooving (Walter AG, 2019).	15
Tabel 2.6 Cara input parameter pada mesin CNC Turning (Automation Haas, 2015).	18
Tabel 2.7 Contoh program G-Code (Automation Haas, 2015).	19
Tabel 2.8 Arti Program G-Code (Automation Haas, 2015).	19
Tabel 2.9 Karakteristik Aluminium 6061 (Radhakrishnan dkk., 2023).	22
Tabel 2.10 Komposisi Material Al6061BE (Napitupulu & Angin, 2024).....	22
Tabel 2.11 Spesifikasi Material Al6061BE (Napitupulu & Angin, 2024).....	22
Tabel 2.12 Spesifikasi Pahat Karbida yang Digunakan (KORLOY, 2007).	24
Tabel 2.13 Komposisi dan sifat kimia dromus oil (Rifandi, 2023).	37
Tabel 2.14 Sifat minyak kelapa sawit (Wahyudi dkk., 2020).	39
Tabel 2.15 Tabel 2 faktor dan 3 level.	42
Tabel 2.16 Penelitian terdahulu	45
Tabel 3.1 Faktor dan level variabel	60
Tabel 3.2 Tabel coding variabel doc.....	61
Tabel 3.3 Tabel coding variabel campuran minyak.....	62
Tabel 3.4 Rancangan dan Urutan Pelaksanaan Eksperimen.	62
Tabel 3.5 Tahap pengolahan data penelitian	64
Tabel 3.6 Matrik desain eksperimen	65
Tabel 3.7 Perulangan	67
Tabel 3.8 Hasil analisis ANOVA.....	68
Tabel 3.9 Waktu penelitian.	70
Tabel 4.1 Data pengujian.....	71
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Material Removal Rate.	74
Tabel 4.4 Dokumentasi bentuk geram hasil proses pembubutan pada setiap kombinasi perlakuan.....	77
Tabel 4.5 Hasil pengukuran temperatur	82
Tabel 4.6 Hasil Uji Normalitas Residual Temperatur Pemesinan	85
Tabel 4.7 Hasil Uji Homogenitas Temperatur Pemesinan	87
Tabel 4.8 Hasil ANOVA temperatur.....	88

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar teknik hasil turning	114
Lampiran 2. Spesimen penelitian dan hasil pemotongan	115
Lampiran 3. Proses pemesinan	116
Lampiran 4 Pengukuran temperatur menggunakan infrared thermometer	117
Lampiran 5. Pengukuran geram menggunakan jangka sorong	119
Lampiran 6. Dokumentasi Lapangan	120