

SKRIPSI

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN
MENGUNAKAN MESIN *MILLING* PADA
MATERIAL BAJA KARBON TINGGI AISI D2
DINDING TIPIS PADA KONDISI KRIOGENIK**



AZHARI AKBAR

03051281823032

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

SKRIPSI

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN
MENGUNAKAN MESIN *MILLING* PADA
MATERIAL BAJA KARBON TINGGI AISI D2
DINDING TIPIS PADA KONDISI KRIOGENIK**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH
AZHARI AKBAR
03051281823032**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN MESIN *MILLING* PADA MATERIAL BAJA KARBON TINGGI AISI D2 DINDING TIPIS PADA KONDISI KRIOGENIK SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar sarjana Teknik
Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
AZHARI AKBAR
03051281823032

Palembang, November 2022
Pembimbing I



Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D.
NIP 196409111999031002

Pembimbing II,



Arie Yudha Budiman S.T.,
M.T.
NIP 1671090705750004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D
NIP 197112251997021001

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

NAMA : AZHARI AKBAR
NIM : 03051281823032
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN
MENGUNAKAN MESIN *MILLING* PADA
MATERIAL BAJA KARBON TINGGI AISI D2
DINDING TIPIS PADA KONDISI KRIOGENIK
DIBUAT TANGGAL : AGUSTUS 2021
SELESAI TANGGAL : NOVEMBER 2022

Palembang, November 2022

Diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

& Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

Dipl-Ing. Ir Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D.
NIP. 196409111999031002

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul “ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN MESIN *MILLING* PADA MATERIAL BAJA KARBON TINGGI AISI D2 DINDING TIPIS PADA KONDISI KRIOGENIK” telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Sidang Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 3 November 2022 dan dinyatakan sah telah melakukan revisi.

Palembang, November 2022

Ketua :

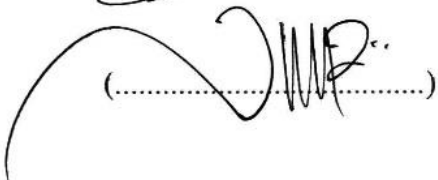
1. Dr. Muhammad Yanis, S.T., M.T.
NIP. 197002281994121001


(.....)

Anggota :

1. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T.
NIP. 197209021997021001
2. M. A. Ade Saputra, S.T., M.T.
NIP. 198711302019031006


(.....)


(.....)

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112351997021001

Pembimbing Skripsi



Dipl.-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D.
NIP :196409111999031002

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Azhari Akbar

NIM : 03051281823032

Judul : Analisis Kekasaran Permukaan Menggunakan Mesin *Milling* pada Material Baja Karbon Tinggi AISI D2 Dinding Tipis pada Pendingin Kriogenik

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, November 2022



Azhari Akbar
NIM: 03051281823032

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Azhari Akbar

NIM : 03051281823032

Judul : Analisis Kekasaran Permukaan Menggunakan Mesin *Milling* pada Material Baja Karbon Tinggi AISI D2 Dinding Tipis pada Pendingin Kriogenik

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan plagiat dalam skripsi ini. Apabila ditemukan unsur penjiplakan plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, saya buat pernyataan ini dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, November 2022



Azhari Akbar

NIM: 03051281823032

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan karunia-Nya, skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini berjudul “ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN MESIN *MILLING* PADA MATERIAL BAJA KARBON TINGGI AISI D2 DINDING TIPIS PADA KONDISI KRIOGENIK”.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan skripsi ini tentunya penulis tidak berkerja sendirian, akan tetapi mendapat bantuan serta dukungan secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada, antara lain:

1. Kedua Orang Tua atas segala kerja keras, kasih sayang, dukungan, doa yang tak henti. Serta seluruh keluarga besar yang telah banyak memberikan doa dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu, ilmu yang bermanfaat dan motivasi untuk terus berkembang dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Arie Yudha Budiman S.T.,M.T selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan banyak waktu, ilmu yang bermanfaat dan motivasi untuk terus berkembang dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
5. Seluruh Dosen di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya atas ilmu, nasihat dan bimbingan selama proses perkuliahan.
6. Sahabat-sahabat di Teknik Mesin Angkatan 2018, teman-teman yang membantu dan memberi support kepada penulis agar dapat

menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun yang membacanya.

Palembang, 12 September 2022



Azhari Akbar

RINGKASAN

ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN MESIN *MILLING* PADA MATERIAL BAJA KARBON TINGGI AISI D2 DINDING TIPIS PADA KONDISI KRIOGENIK

Karya tulis ilmiah, 22 November 2022

Azhari Akbar, di bimbing oleh Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D.

XXXIX+ 39 Halaman, 8 Tabel, 14 Gambar, 8 Lampiran

RINGKASAN

Dalam beberapa tahun terakhir, metode pendinginan kriogenik telah banyak digunakan. Di antara itu, Pemotongan kriogenik adalah salah satu metode yang paling sering digunakan. Pilihan *low-temperature cooling medium* menentukan kinerja pendinginan dan pelumasan. Saat ini, media pendingin yang biasa digunakan untuk pemotongan kriogenik ialah karbon dioksida cair (CO₂). CO₂ adalah media pendingin yang murah, aman, dan ramah lingkungan dan dapat dengan mudah digunakan dan disimpan. Adapun Batasan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah penggunaan pendingin kriogenik, proses pemesinan frais, menganalisa kekasaran permukaan, penggunaan material baja karbon tinggi AISI D2. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh parameter pemesinan pada proses frais kriogenik terhadap kekasaran permukaan baja karbon tinggi AISI D2 menggunakan metode *Respon Surface Methodology*. Penelitian ini dirancang menggunakan Central Composite Design (CCD). Variabel bebas ialah kecepatan potong (V_c), kecepatan pemakanan (F_z) digunakan pada percobaan penelitian ini. Benda kerja baja karbon tinggi *thin-walled* disiapkan. Percobaan dilakukan dengan variasi kondisi pemotongan menggunakan cairan pemotong kriogenik. Kekasaran permukaan adalah variabel yang akan diteliti. Variabel terikat pada penelitian ini adalah parameter kekasaran R_a . Persamaan empiris model matematika untuk masing-masing respon kekasaran permukaan dibuat dalam bentuk faktor kode dan analisa varian (ANOVA) digunakan menganalisa persamaan empiris model matematika tersebut. Dari persamaan model matematika

R_a didapatkan bahwa kecepatan pemakanan (F_z) berpengaruh lebih besar dari kecepatan potong (V_c). Semakin kecil kecepatan potong maka kekasaran permukaan yang didapat akan semakin kasar begitupun sebaliknya semakin kecil kecepatan pemakanan maka kekasaran permukaan yang didapat akan semakin halus.

Kata Kunci: Kriogenik, Mesin Frais CNC, AISI D2, Kekasaran Permukaan

SUMMARY

ANALYSIS SURFACE ROUGHNESS USING MILLING MACHINE ON HIGH CARBON STEEL MATERIAL AISI D2 THIN WALLED ON CRYOGENIC CONDITIONS

Scientific papers, 22 November 2022

Azhari Akbar, Supervised by Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D.

XXXIX+ 36 Pages, 8 Tables, 14 Figures, 8 Appendix

SUMMARY

Today cryogenic cooling methods have been widely used. Among them, cryogenic cutting is one of the most frequently used methods. The choice of low-temperature cooling medium determines the cooling and lubrication performance. Currently, the cooling medium commonly used for cryogenic cutting is liquid carbon dioxide (CO₂). CO₂ is a cooling medium that is cheap, safe, and environmentally friendly and can be easily used and stored. The limitations of the problems taken in this study are the use of cryogenic coolant, milling machining process, analyzing surface roughness, the use of AISI D2 high-carbon steel material. The purpose of this study was to analyze the influence of machining parameters on the cryogenic milling process on the surface roughness of AISI D2 high carbon steel using the Surface Methodology Response method. This study was designed using Central Composite Design (CCD). The free variables are cutting speed (V_c), feeding speed (F_z) used in this research experiment. A thin-walled high-carbon steel workpiece is prepared. Experiments were carried out with variations in cutting conditions using cryogenic cutting fluid. Surface roughness is a variable to be studied. The variable tied to this study is the roughness parameter R_a . The empirical equations of the matimatics model for each surface roughness response are made in the form of code factors and variance analysis (ANOVA) is used to analyze the empirical equations of the mathematical model. From the equation of the mathematical model R_a it is found that the speed of feeding (F_z) has an effect greater than the cutting speed (V_c). The smaller the cutting speed, the roughness of the surface obtained will be rougher

xx

and vice versa, the smaller the feeding speed, the smoother the surface roughness obtained.

Keyword: Cryogenic, Milling Machine CNC, AISI D2, Surface Roughness

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| SKRIPSI..... | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | v |
| SKRIPSI..... | vii |
| HALAMAN PERSETUJUAN..... | ix |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | xi |
| HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS..... | xiii |
| KATA PENGANTAR | xv |
| RINGKASAN | xvii |
| SUMMARY | xix |
| DAFTAR ISI..... | xxi |
| DAFTAR GAMBAR | xxiii |
| DAFTAR TABEL..... | xxv |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xxvii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 <i>Material Removal Process</i> | 5 |
| 2.2 <i>Milling (Frais)</i> | 5 |
| 2.2.1 <i>Up Milling</i> | 6 |
| 2.2.2 <i>Down Milling</i> | 6 |
| 2.2.3 <i>Cutting Speed</i> | 7 |
| 2.3 <i>Cutting Tools</i> | 7 |
| 2.3.1 <i>Coated (Berlapis)</i> | 8 |
| 2.4 <i>Cutting Fluids</i> | 9 |
| 2.4.1 Kriogenik..... | 10 |
| 2.5 Kekasaran Permukaan | 11 |
| 2.6 <i>Thin-Walled</i> | 11 |

| | | |
|-----------------------------------|---|----|
| 2.7 | Baja Karbon Tinggi..... | 12 |
| 2.7.1 | AISI D2..... | 12 |
| 2.8 | <i>Green Machining</i> | 12 |
| 2.9 | <i>Rotatable Central Composite Design</i> | 13 |
| 2.10 | Ringkasan Penelitian Sebelumnya | 13 |
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN | | 15 |
| 3.1 | Pengenalan | 15 |
| 3.2 | Prosedur Percobaan..... | 15 |
| 3.3 | Benda Kerja Penelitian | 17 |
| 3.4 | Pahat Frais..... | 18 |
| 3.5 | Sistem Kriogenik | 19 |
| 3.6 | Pengaturan Kriogenik CO ₂ | 20 |
| 3.7 | Pengukuran Kekasaran Permukaan..... | 21 |
| 3.8 | Experimental Desain..... | 21 |
| BAB 4 HASIL DAN ANALISIS | | 25 |
| 4.1 | Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan | 25 |
| 4.2 | Analisa Kekasaran Permukaan Menggunakan RSM | 25 |
| 4.2.1 | Persamaan <i>Linear Model</i> Kekasaran Permukaan | 26 |
| 4.2.2 | Persamaan <i>Model Quadratic</i> | 27 |
| 4.2.3 | Grafik 3D Respon..... | 28 |
| 4.3 | Nilai Prediksi Kekasaran Permukaan..... | 29 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | | 33 |
| 5.1 | Kesimpulan | 33 |
| 5.2 | Saran | 34 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 35 |
| LAMPIRAN | | 39 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 (a) <i>down milling</i> dan (b) <i>up milling</i> (Okafor, 2020)..... | 7 |
| Gambar 2.2 Grafik Perbandingan Nilai Keausan Mata Pahat Karbida Coated dan Uncoated (Lubis dkk., 2017)..... | 8 |
| Gambar 2.3 Klasifikasi cairan pemotongan (Grzesik, 2017) | 10 |
| Gambar 3.1 LAGUN MC-750 | 16 |
| Gambar 3.2 Diagram alir..... | 17 |
| Gambar 3.3 Baja karbon tinggi <i>thin-walled</i> | 18 |
| Gambar 3.4 <i>Tool holder & Insert</i> | 18 |
| Gambar 3.5 Diagram fasa CO ₂ (Zhang dkk., 2019) | 19 |
| Gambar 3.6 Skema Proses Pengujian..... | 20 |
| Gambar 3.7 <i>Accretech HANDYSURF (E35A/E)</i> | 21 |
| Gambar 3.8 <i>Central Composite Design</i> (Myers dkk., 2009) | 23 |
| Gambar 4.1 Grafik 3D Respon..... | 31 |
| Gambar 4.2 Aktual dan prediksi <i>Linear</i> | 32 |
| Gambar 4.3 Aktual dan prediksi <i>Quadratic</i> | 33 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 <i>Mechanical Properties</i> AISI D2 (Ibrahim, 2012)..... | 17 |
| Tabel 3.2 Deskripsi Kondisi Kriogenik | 20 |
| Tabel 3.3 Input variabel dan kode level pada CCD | 22 |
| Tabel 3.4 Konfigurasi <i>coded level</i> dan <i>actual level</i> | 23 |
| Tabel 4.1 hasil kekasaran permukaan dari pengujian pemesinan kriogenik | 25 |
| Tabel 4.2 <i>First-order</i> ANOVA model linear pada Ra | 26 |
| Table 4.3 <i>Second-order</i> ANOVA model <i>quadratic</i> pada Ra | 27 |
| Tabel 4.4 Prediksi Kekasaran Permukaan..... | 30 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 Parameter Pemesinan..... | 39 |
| Lampiran 2 Turunan Variabel Input dan Nilai Level Code | 40 |
| Lampiran 3 Model Persamaan Linear | 41 |
| Lampiran 4 Analysis of Variance (ANOVA) Model Linear | 43 |
| Lampiran 5 Model Persamaan Quadratic..... | 47 |
| Lampiran 6 Analysis of Variance (ANOVA) untuk Quadratic | 49 |
| Lampiran 7 Perbandingan Kekasaran Permukaan dengan Penelitian Lainnya..... | 55 |
| Lampiran 8 Gambar | 58 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemesinan adalah salah satu proses yang paling banyak digunakan di bidang manufaktur dan telah menjadi fokus penelitian dan pengembangan selama bertahun-tahun. Dalam setiap proses pemesinan jenis pemotongan logam atau chip itu diketahui bahwa panas yang dihasilkan selama pemotongan merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja alat pemotong. Peningkatan produktivitas terletak pada peningkatan kecepatan pemotongan logam dan chip ini dicapai dengan meningkatkan masukan variabel seperti kecepatan potong, kecepatan pemakanan dan kedalaman potong (Choudhury dkk., 2010).

Dalam beberapa tahun terakhir, metode pendinginan kriogenik telah banyak digunakan. baik dalam akademik maupun teknik. Di antara itu, Pemotongan kriogenik adalah salah satu metode yang paling sering digunakan. Pilihan *low-temperature cooling medium* menentukan kinerja pendinginan dan pelumasan. Saat ini, media pendingin yang biasa digunakan untuk pemotongan kriogenik ialah karbon dioksida cair (CO₂). CO₂ adalah media pendingin yang murah, aman, dan ramah lingkungan di mana ia digunakan di atas suhu dan tekanan kritisnya dan dapat dengan mudah digunakan dan disimpan (Mariano de Souza dkk., 2021).

Temperatur dan gaya potong merupakan parameter penting yang harus dikontrol dalam proses pemesinan. Temperatur dan gaya potong memengaruhi masa pakai alat, yang pada gilirannya memengaruhi biaya produksi. Cairan pengerjaan logam berupa cairan pemotongan dan pelumas berperan penting dalam proses pemotongan dan meningkatkan efisiensi produksi dengan memperpanjang umur pahat dengan mengubah bentuk benda kerja. Cairan pengerjaan logam (MWF) atau pendingin proses digunakan sepanjang waktu di semua industri proses dan perkiraan konsumsi global mencapai miliaran liter per tahun (Mariano de Souza dkk., 2021).

1.2 Rumusan Masalah

Dengan latar belakang masalah di atas, penelitian ini dapat menunjukkan penggunaan pendinginan kriogenik CO₂ pada proses pemesinan frais menggunakan baja karbon tinggi AISI D2 *thin-walled* untuk mendapatkan pemesinan dengan kondisi yang terbaik.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan pendingin kriogenik.
2. Proses pemesinan frais.
3. Menganalisa kekasaran permukaan.
4. Penggunaan material baja karbon tinggi AISI D2.
5. V_c , F_z sebagai variabel bebasnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian skripsi ini adalah:

1. Mendapatkan pemesinan dengan kondisi terbaik dalam nilai kekasaran permukaan (R_a) terkecil yang dihasilkan dari variabel kecepatan potong (V_c), kecepatan pemakanan (F_z).
2. Mendapatkan persamaan matematika menggunakan RSM.
3. Membandingkan nilai prediksi dengan nilai aktual.

1.5 Manfaat Penelitian

Penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat dari penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan operasi yang ramah lingkungan dan menunjukkan bahwa pendingin kriogenik memiliki efek yang lebih baik daripada pendingin konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Aramcharoen, A. and Chuan, S. K. (2014) 'An experimental investigation on cryogenic milling of Inconel 718 and its sustainability assessment', *Procedia CIRP*, 14, pp. 529–534. doi: 10.1016/j.procir.2014.03.076.
- Choudhury, I. A., Gan, S. W. and Yusoff, N. (2010) 'Experimental determination of cutting temperature and force when turning Assab steel with coated carbide inserts', *Advanced Materials Research*, 83–86, pp. 993–1001. doi: 10.4028.83-86.993.
- Duan, Z. et al. (2021) 'Milling surface roughness for 7050 aluminum alloy cavity influenced by nozzle position of nanofluid minimum quantity lubrication', *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(6), pp. 33–53. doi: 10.1016/j.cja.2020.04.029.
- Grzesik, W. (2017) 'Cutting Tool Materials', in *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*. Elsevier B.V., pp. 35–63. doi: 10.1016/b978-0-444-63711-6.00004-1.
- Grzesik, W. and Grzesik, W. (2017) 'Chapter Ten – Cutting Fluids', in *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*, pp. 183–195. doi: 10.1016/B978-0-444-63711-6.00010-7.
- Hadi, M. A. et al. (2013) 'Comparison between up-milling and down-milling operations on tool wear in milling Inconel 718', *Procedia Engineering*, 68, pp. 647–653. doi: 10.1016/j.proeng.2013.12.234.
- Hamidzadeh, M. A., Meratian, M. and Saatchi, A. (2013) 'Effect of cerium and lanthanum on the microstructure and mechanical properties of AISI D2 tool steel', *Materials Science and Engineering A*, 571, pp. 193–198. doi: 10.1016/j.msea.2013.01.074.

- Ibrahim, G. A. (2012) 'Prestasi Pahat Karbida Berlapis TiN-Al₂O₃-TiCN Pada Saat Pembubut Baja Perkakas AISI D2', 3(September), pp. 16–21.
- Jerold, B. D. and Kumar, M. P. (2011) 'Experimental investigation of turning AISI 1045 steel using cryogenic carbon dioxide as the cutting fluid', *Journal of Manufacturing Processes*, 13(2), pp. 113–119. doi: 10.1016/j.jmapro.2011.02.001.
- Kumar, K., Zindani, D. and Davim, J. P. (2018) Advanced manufacturing and machining processes, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. doi: 10.3390/jmmp4040102.
- de Lacalle, L. N. L., Campa, F. J. and Lamikiz, A. (2011) 'Milling', in *Modern Machining Technology: A Practical Guide*, pp. 213–303. doi: 10.1533/9780857094940.
- Lubis, S. et al. (2017) 'Analisa pertumbuhan keausan pahat karbida coated dan uncoated pada alloy steel AISI 4340', *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 9(2), pp. 114–118.
- Mariano de Souza, R. et al. (2021) 'Analysis of predictors for modification of alumina inclusions in medium carbon steel', *Journal of Materials Research and Technology*, 14, pp. 2257–2266. doi: 10.1016/j.jmrt.2021.07.083.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C. and Anderson-cook, C. M. (2009) *Response Surface Methodology*. Third Edit, Syria Studies.
- Napid, S. and Nasution, A. H. (2020) 'Performansi Hasil Pahat Karbida TIN pada Proses Bubut dengan Pemesinan Hijau', *SEMNASTEK UISU 2020*, (Pairin 2004), pp. 30–40.
- Okafor, A. C. (2020) 'Cooling and machining strategies for high speed milling of titanium and nickel super alloys', in *High-Speed Machining*. Elsevier Inc., pp. 127–161. doi: 10.1016/B978-0-12-815020-7.00005-9.
- Rochim, T. (2007) *Proses pemesinan buku 2: Klasifikasi proses, gayaa dan daya*

pemesinan. 2nd edn. ITB,Bandung.

Stephenson, D. A. and Agapiou, J. S. (2016) *Metal Cutting Theory and Practice*. Third Edit. New York: CRC Press.

Tri, Y., Wibowo, J. and Baskoro, S. Y. (2020) *Panduan metalografi*. 1st edn. Edited by E. Ari Wibowo. Bangka Belitung.

V.Balaji (2015) 'Review of the Cryogenic Machining in Turning and Milling Process', *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(Oktober), p. 42. doi: 10.15623/ijret.2015.0410008.

Wang, R. et al. (2021) 'Multi-condition identification in milling Ti-6Al-4V thin-walled parts based on sensor fusion', *Mechanical Systems and Signal Processing*, 164(June 2021), p. 108264. doi: 10.1016/j.ymssp.2021.108264.

Warren, R. and DeVries (1992) *Analysis of Material Removal Processes*. 1st editio. New York: Springer-Verlag New York, Inc. doi: 10.1007/978-1-4612-4408-0.

Yanis, M. et al. (2019) 'Optimum performance of green machining on thin walled ti6al4v using rsm and ann in terms of cutting force and surface roughness', *Jurnal Teknologi*, 81(6), pp. 51–60. doi: 10.11113/jt.v81.13443.

Zhang, Y., Lu, X. and Ji, X. (2019) *Carbon dioxide capture, Deep Eutectic Solvents: Synthesis, Properties, and Applications*. doi: 10.1002/9783527818488.ch15.