

SKRIPSI

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA BAJA
KARBON TINGGI AISI D2 *THIN WALLED* DALAM
KONDISI KRIOGENIK**



MUHAMMAD BAGUS AL MAKSUM DAULAY

03051381823076

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

SKRIPSI

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA BAJA
KARBON TINGGI AISI D2 *THIN WALLED* DALAM
KONDISI KRIOGENIK**

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



**OLEH
MUHAMMAD BAGUS AL MAKSUM DAULAY**

03051381823076

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJ**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA BAJA KARBON TINGGI AISI D2 *THIN WALLED* DALAM KONDISI KRIOGENIK

SKRIPSI

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

Oleh:

MUHAMMAD BAGUS AL MAKSUM DAULAY
03051381823076

Palembang, November 2022
Pembimbing I

Pembimbing II



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



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 : MUHAMMAD BAGUS AL MAKSUM DAULAY
NIM : 03051381823076
JURUSAN : TEKNIK MESIN
**JUDUL SKRIPSI : ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA
BAJA KARBON TINGGI AISI D2 *THIN*
WALLED DALAM KONDISI KRIOGENIK**

DIBUAT TANGGAL : AGUSTUS 2022
SELESAI TANGGAL :

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 “ANALISA KEKASARAN PERMUKAAN PADA BAJA KARBON TINGGI BAJA AISI D2 *THIN WALLED* DALAM KONDISI KRIOGENIK” telah disidangkan 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.

Indralaya, 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 di bawah ini:

Nama : Muhammad Bagus Al Maksum Daulay

NIM : 03051381823076

Judul : Analisis Kekasaran Permukaan pada Baja Karbon Tinggi AISI D2
Thin Walled dalam Kondisi 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 saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Palembang, November 2022



Muhammad Bagus Al Maksum
Daulay
NIM. 03051381823076

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Bagus Al Maksun Daulay

NIM : 03051381823076

Judul : Analisis Kekasaran Permukaan pada Baja Karbon Tinggi AISI D2
Thin Walled dalam Kondisi Kriogenik

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

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Palembang, 2022



Muhammad Bagus Al Maksun
Daulay
NIM. 03051381823076

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis atas kehadiran Allah Swt. yang telah memberikan Rahmat, Nikmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi yang berjudul “ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA BAJA KARBON TINGGI AISI D2 *THIN WALLED* DALAM KONDISI KRIOGENIK”, disusun untuk melengkapi salah satu syarat mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang tak terhingga atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan skripsi ini kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendukung baik secara lahir maupun batin.
2. Bapak Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D. Sebagai Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak memberikan arahan dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Arie Yudha Budiman S.T.,M.T. yang senantiasa membantu dan mengarahkan penulis dalam melaksanakan penelitian.
4. Bapak Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Seluruh teman teman Teknik Mesin Universitas Sriwijaya angkatan 2018 dan Keluarga semua yang membantu selama masa perkuliahan.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Palembang, November 2022



M. Bagus Al Maksun Daulay

RINGKASAN

ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA BAJA KARBON TINGGI AISI D2 *THIN WALLED* DALAM KONDISI KRIOGENIK

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, November 2021

Muhammad Bagus Al Maksum Daulay, di bimbing oleh Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D.

LXIII+ 63 Halaman, 8 Tabel, 16 gambar, 11 lampiran

RINGKASAN

Dalam proses pemesinan kondisi pemotongan adalah aspek penting. Karena pada saat pemotongan logam terjadi panas yang dapat menyebabkan keausan pahat yang cepat dan integritas permukaan yang rendah. Untuk mengatasi masalah ini, cairan pemotongan digunakan untuk memperbaiki kondisi pemotongan, yang selain mengurangi suhu di zona pemotongan, juga melakukan fungsi seperti pelumasan, penghambatan korosi, dan penghilangan chip. Penelitian ini berfokus pada penggunaan kriogenik menggunakan CO₂ terhadap proses pemesinan frais yang menggunakan benda kerja berbahan baja karbon tinggi aisi D2 berbentuk *Thin-walled*. batasan masalah, pada penelitian ini, menggunakan pendingin kriogenik, menganalisis kekasaran permukaan menggunakan benda kerja berbahan baja karbon tinggi aisi D2, proses Pemesinan menggunakan cnc frais. menggunakan 2 variabel (V_c), (F_z). Penelitian ini dirancang menggunakan *Respon Surface Methodology* (RSM) berbasis *Central Composite Design* (CCD) dengan tipe *rotatable* dengan lima level dua variabel. Percobaan ini akan dilakukan dengan 12 kali percobaan yang terdiri dari 4 titik faktorial, 4 titik aksial, dan 4 titik pengulangan di tengah. Jarak diantara titik pusat dan titik tengah disebut radius putar atau α , nilai $\alpha = (2^k)^{1/4}$, k adalah banyaknya variabel input. Hasil pengujian diterapkan dalam tabel, kemudian hasil pengujian akan dianalisis menggunakan *software Design Expert 13*. Dari hasil yang didapat dari *software Design Expert 13* tersebut adalah grafik dimana respon pengaruh interaksi dari faktor A atau kecepatan potong dan faktor B atau laju pemakanan terhadap kekasaran

permukaan (R_a). Semakin tinggi nilai faktor A maka nilai kekasaran permukaan akan semakin rendah, sedangkan semakin tinggi nilai faktor B maka nilai kekasaran permukaan akan semakin tinggi. Dari perbandingan kedua faktor tersebut dapat diketahui bahwa faktor B lebih berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

Kata kunci : Kekasaran permukaan, AISI D2, CNC frais, Kriogenik.

SUMMARY

SURFACE ROUGHNESS ANALYSIS ON HIGH CARBON STEEL AISI D2 THIN WALLED UNDER CRYOGENIC CONDITIONS

Scientific paper in the form of a thesis, November 2021

Muhammad Bagus Al Maksun Daulay, Supervised by Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D.

LXIII+ 63 Pages, 8 Tables, 16 Figure, 11 Appendix

SUMMARY

In the process of machining cutting conditions are an important aspect. Because at the time of metal cutting heat occurs which can cause rapid tool wear and low surface integrity. To solve this problem, cutting fluid is used to improve cutting conditions, which in addition to reducing the temperature in the cutting zone, also performs functions such as lubrication, corrosion inhibition, and chip removal. The formulation of the problem in this research focuses on the use of cryogenic using CO₂ against the milling machining process that uses a workpiece made of high-carbon steel in the form of Thin-walled D2. problem limitations, in this study, using cryogenic coolant, analyzing surface roughness using a workpiece made of high carbon steel aisi D2, machining process using cnc milling. using 2 variables (V_c), (F_z). This study was designed using a Central Composite Design (CCD)-based Surface Methodology (RSM) Response with a rotatable type with five levels of two variables. This experiment will be conducted with 12 experiments consisting of 4 factorial points, 4 axial points, and 4 repetition points in the middle. The distance between the center point and the midpoint is called the turning radius or α , the value of $\alpha = (2^k)^{1/4}$, k is the number of input variables. The test results are applied in a table, then the test results will be analyzed using the Design Expert 13 software. From the results obtained from the Design Expert 13 software is a graph where the interaction response of factor A or cutting speed and factor B or feeding rate on surface roughness (R_a). The higher the value of factor A, the lower the value of surface roughness, while the higher the value of factor

B, the higher the value of surface roughness will be. From the comparison of the two factors, it can be seen that factor B is more influential on surface roughness.

Keywords : Surface roughness, AISI D2, CNC milling, Cryogenic.

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN AGENDA.....	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.....	3
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 Parameter Proses Pemesinan	7
2.4 <i>Cutting Tool</i>	8
2.4.1 <i>Coated (Berlapis)</i>	9
2.5 <i>Cutting Fluid</i>	10
2.5.1 Kriogenik.....	10
2.6 Kekasaran Permukaan	11

2.7	<i>Respon Surface Methodology</i>	12
2.8	<i>Rotatable Central Composite Design</i>	13
2.9	<i>Thin-Walled</i>	13
2.10	Baja Karbon Tinggi.....	13
2.10.1	AISI D2 Baja Karbon Tinggi.....	14
2.11	<i>Green Machining</i>	14
2.12	Ringkasan Penelitian Sebelumnya.....	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		17
3.1	Pengenalan	17
3.2	Prosedur Percobaan.....	17
3.3	Benda Kerja Penelitian	19
3.4	Pisau Frais.....	20
3.5	Sistem Kriogenik	21
3.6	Pengaturan Kriogenik CO ₂	22
3.7	Pengukuran Kekasaran Permukaan.....	23
3.8	<i>Experimental Design</i>	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Hasil Pengujian dan Kekasaran Permukaan	27
4.2	Analisis Kekasaran Permukaan Menggunakan RSM	27
4.2.1	Persamaan Linear Model Kekasaran Permukaan	28
4.2.2	Persamaan Quadratic	29
4.2.3	Grafik 3D Respon.....	30
4.3	Nilai Prediksi Kekasaran Permukaan.....	31
BAB 5 KESIMPULAN		35
5.1	Kesimpulan	35
5.2	Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....		37
LAMPIRAN		41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>up milling</i> (Laamouri et al., 2019).....	6
Gambar 2.2 <i>Down milling</i> (Laamouri et al., 2019).....	7
Gambar 2.3 Penyimpangan kekasaran permukaan (Lancaster, 1980).....	12
Gambar 3.1 Mesin CNC frais vertikal (LAGUN. MC-750).....	18
Gambar 3.2 Diagram Alir.	19
Gambar 3.3 Baja Karbon Tinggi <i>Thin walled</i>	19
Gambar 3.4 <i>tool holder</i> 10 mm.....	20
Gambar 3.5 <i>insert milling</i> APMT 1135PDR SPTIEH WIDIA.....	20
Gambar 3.6 Diagram fasa.(Rodríguez <i>et al.</i> , 2021).....	21
Gambar 3.7 Skema penelitian.....	22
Gambar 3.8 Proses pengujian.....	22
Gambar 3.9 <i>Accretech HANDYSURF (E35A/E)</i>	23
Gambar 3.10 <i>Central Composite Design</i> (Myers, dkk 2016).....	25
Gambar 4.1 <i>3D Surface graph</i>	31
Gambar 4.2 Kekasaran permukaan aktual dan prediksi linier.....	32
Gambar 4.3 Kekasaran permukaan aktual dan prediksi quadratic.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 <i>Mechanical properties</i> Baja AISI D2 (Ibrahim, 2012).....	20
Tabel 3.2 Deskripsi kondisi kriogenik	23
Tabel 3.3 Input variabel dan kode level pada CCD	24
Tabel 3.4 Konfigurasi variabel masukan, data pengujian dan hasil percobaan	25
Tabel 4.1 Hasil kekasaran permukaan dari pemesinan kriogenik.....	27
Tabel 4.2 <i>first-order</i> linier ANOVA	28
Tabel 4.3 <i>Second-order</i> ANOVA model quadratic.....	29
Tabel 4.4 Prediksi kekasaran permukaan.....	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Parameter Proses Pemesinan	41
Lampiran 2 Turunan Variabel Input dan Nilai Level Code	42
Lampiran 3 Model Persamaan Linear	43
Lampiran 4 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Model Linear	45
Lampiran 5 Model Persamaan Quadratic	50
Lampiran 6 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) untuk Quadratic	53
Lampiran Gambar 1 Penyetelan dan penempatan tabung CO ₂	61
Lampiran Gambar 2 Proses Penyemprotan kriogenik.	62
Lampiran Gambar 3 Pemasangan benda kerja	62
Lampiran Gambar 4 Pemasangan tool holder pada mesin cnc frais	63
Lampiran Gambar 5 Pengukuran kekasaran permukaan	63

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses permesinan ialah suatu manufaktur yang dimana benda dibentuk dengan cara menghilangkan sebagian material dari benda kerjanya menjadi sebuah barang. proses permesinan ialah bertujuan untuk mendapatkan ketelitian dari pada proses yang lain seperti proses pengecoran, pembentukan dan juga bertujuan memberikan bentuk bagian dalam dari suatu benda tertentu. Berikut alat proses permesinan yang banyak digunakan adalah proses bubut, proses menyekrap, proses pembuat lubang, proses frais, proses menggerinda (Prihutomo dkk., 2019).

Dalam proses pemesinan kondisi pemotongan adalah aspek penting. Karena pada saat pemotongan logam terjadi panas yang dapat menyebabkan keausan pahat yang cepat dan integritas permukaan yang rendah. Untuk mengatasi masalah ini, cairan pemotongan digunakan untuk memperbaiki kondisi pemotongan, yang selain mengurangi suhu di zona pemotongan, juga melakukan fungsi seperti pelumasan, penghambatan korosi, dan penghilangan chip (Khanna dkk., 2021).

Untuk mengatasi masalah pada pemotongan yaitu menggunakan *Cutting fluids*. *Cutting fluids* ini memiliki pengaruh yang besar dalam performa proses pemesinan. Proses pemesinan dengan *cutting fluids* akan menurunkan temperature pada benda kerja dan mata pahat, selain itu koefisien gesek dan gaya yang digunakan juga akan menurun. Namun penggunaan *coolant* atau *lubricant* pada proses pemesinan yang terlalu banyak juga memiliki dampak negatif, seperti pencemaran lingkungan dan masalah kesehatan (Patriawan dkk., 2016).

Penelitian terbaru dalam sepuluh tahun terakhir menunjukkan pendinginan kriogenik keunggulan dibandingkan pendinginan banjir dan teknik pemesinan kering dan hampir kering lainnya dalam hal peningkatan umur pahat dan integritas permukaan karena menjaga pahat jauh di bawah suhu pelunakan.

Kriogenik menjadi pilihan berkelanjutan karena keunggulan kinerjanya yang luar biasa (seperti tidak beracun dan ramah lingkungan) dibandingkan pendingin dan pelumas tradisional lainnya untuk menghasilkan produk dengan kualitas unggul. Keuntungan utama menggunakan cairan kriogenik, terutama karbon dioksida cair (CO_2) adalah kecenderungannya untuk menguap pada kondisi atmosfer dengan mengekstraksi panas dari daerah pemotongan. Cairan ini tidak menghasilkan asap berbahaya karena sifatnya yang lembam (Khanna dkk., 2021).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini berfokus pada penggunaan kriogenik menggunakan CO_2 terhadap proses pemesinan frais yang menggunakan benda kerja berbahan baja karbon tinggi AISI D2 berbentuk *Thin-walled* untuk mendapatkan proses pemesinan yang terbaik.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian tersebut dapat lebih fokus, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Menggunakan pendingin kriogenik.
2. Menganalisis kekasaran permukaan.
3. Menggunakan benda kerja berbahan baja karbon tinggi AISI D2.
4. Proses Pemesinan.
5. Menggunakan 2 variabel (V_c), (F_z).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan kondisi pemesinan terbaik dan mendapatkan nilai kekasaran permukaan (R_a) terkecil yang dihasilkan dari dua variabel kecepatan potong (V_c), kecepatan pemakanan (F_z).
2. Untuk mendapatkan persamaan matematika menggunakan RSM *Design Expert*.
3. Dan membandingkan nilai prediksi dengan nilai aktual.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penelitian ini, antara lain:

1. Untuk mengetahui proses pemesinan menggunakan pendinginan kriogenik yang berbasis CO_2 yang ramah lingkungan.
2. Sebagai salah satu referensi tambahan bagi mahasiswa Teknik Mesin dalam penelitian-penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Dilip Jerold, B. and Pradeep Kumar, M. (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.
- Gajrani, K. K. *et al.* (2021) 'Machining of hard materials using textured tool with minimum quantity nano-green cutting fluid', *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 35, pp. 410–421. doi: 10.1016/j.cirpj.2021.06.018.
- Gunawan, Y., Endriatno, N. and Anggara, B. H. (2017) 'Analisa Pengaruh Pengelasan Listrik Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah Dan Baja Karbon Tinggi', *Enthalpy-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 2(1), pp. 1–12.
- Han, J. *et al.* (2019) 'Influence of metal forming parameters on surface roughness and establishment of surface roughness prediction model', *International Journal of Mechanical Sciences*, 163(July). doi: 10.1016/j.ijmecsci.2019.105093.
- Helu, M. *et al.* (2012) 'Impact of green machining strategies on achieved surface quality', *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(1), pp. 55–58. doi: 10.1016/j.cirp.2012.03.092.
- Ibrahim, G. A. (2012) 'Prestasi Pahat Karbida Berlapis TiN-Al₂O₃-TiCN Pada Saat Pembubut Baja Perkakas AISI D2', 3(September), pp. 16–21.
- Ibrahim, S., Hersaputri, M. and Panjaitan, V. I. (2021) 'Pembuatan Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah Plastik dengan Material AISI D2 yang Dikeraskan', *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (Jvti)*, 3(1), pp. 36–40. doi: 10.36870/jvti.v3i1.216.

- Khanna, N. *et al.* (2021) 'Review on design and development of cryogenic machining setups for heat resistant alloys and composites', *Journal of Manufacturing Processes*, 68(PA), pp. 398–422. doi: 10.1016/j.jmapro.2021.05.053.
- Kusumo, I. (2016) 'Proses Frais (Milling)', in proses pemesinan. yogyakarta. Available at: <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/dr-dwi-rahdianta-mpd/teori-pemesinan-dasar-proses-fraiss-milling.pdf>.
- Laamouri, A. *et al.* (2019) 'Influences of up-milling and down-milling on surface integrity and fatigue strength of X160CrMoV12 steel', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(1–4), pp. 1209–1228. doi: 10.1007/s00170-019-04280-2.
- Lancaster, J. F. (1980) *Brazing, soldering and adhesive bonding*. 4th edn, *Metallurgy of Welding*. 4th edn. Edited by A. Melhorn. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. doi: 10.1007/978-94-010-9506-8_6.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C. and Anderson-cook, C. M. (2016) *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*.
- 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.
- Patriawan, D. A. *et al.* (2016) 'Studi Pendahuluan Penggunaan Minimum Quantity Lubricant Pada Proses Pemesinan', *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 4, pp. 153–160.
- Priohutomo, T. *et al.* (2019) 'Optimasi Proses Pemesinan Sudu Turbin Fd Fan Terhadap Waktu Dan Biaya Produksi', *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, 14(2), pp. 56–67. Available at: <http://www.ejournal.sttmandalabdg.ac.id/index.php/JIT/article/view/158>.
- Rochim, T. (2007) *Klasifikasi Proses, Gaya & Daya Pemesinan*. 1st edn. Bandung.

- Rodríguez, A. *et al.* (2021a) ‘Drilling of CFRP-Ti6Al4V stacks using CO₂-cryogenic cooling’, *Journal of Manufacturing Processes*, 64(March 2020), pp. 58–66. doi: 10.1016/j.jmapro.2021.01.018.
- Rodríguez, A. *et al.* (2021b) ‘Drilling of CFRP-Ti6Al4V stacks using CO₂-cryogenic cooling’, *Journal of Manufacturing Processes*, 64(January), pp. 58–66. doi: 10.1016/j.jmapro.2021.01.018.
- Septiadi, R. and Sunarto, S. (2020) ‘Kinerja Pahat Karbida Berlapis Titanium Aluminium Nitrida (TiAlN) pada Pembubutan Kering Baja ASTM A 29 Grade 1038’, *Jurnal Polimesin*, 18(2), pp. 74–81.
- Siboro, B. P. *et al.* (2016) ‘Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Desember 2016 (ISSN : 0216-7492) Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Desember 2016 (ISSN : 0216-7492)’, (4), pp. 1–12.
- Sobron Lubis (2014) ‘Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Proses Side Milling Dan Face Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Logam’, (Aisi 4340).
- Suarsana (2014) ‘Pengetahuan Material Teknik’, pp. 1–71.
- 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.
- Yanuar, H., Syarief, A. and Kusairi, A. (2014) ‘Pengaruh Variasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Dengan Berbagai Media Pendingin Pada Proses Frais Konvensional’, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*, 03(1), pp. 27–33. Available at: <http://eprints.ulm.ac.id/314/1/27-33.pdf>.
- Zhuo, Y. *et al.* (2021) ‘Surface topography prediction in peripheral milling of thin-walled parts considering cutting vibration and material removal effect’, *International Journal of Mechanical Sciences*, 211(May), p. 106797. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2021.106797.