

SKRIPSI

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PEMESINAN FREIS *STAINLESS-STEEL* 304
DINDING TIPIS DENGAN PENDINGINAN
KRIOGENIK**



**MUHAMMAD REYHAN FADILLAH
03051281823056**

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

SKRIPSI

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PEMESINAN FREIS *STAINLESS-STEEL* 304
DINDING TIPIS DENGAN PENDINGINAN
KRIOGENIK**

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



**OLEH
MUHAMMAD REYHAN FADILLAH
03051281823056**

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

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PEMESINAN FREIS *STAINLESS-STEEL* 304 DINDING
TIPIS DENGAN PENDINGINAN KRIOGENIK**

SKRIPSI

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

Oleh:

MUHAMMAD REYHAN FADILLAH
03051281823056

Indralaya, 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



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 REYHAN FADILLAH
NIM : 03051281823056
JURUSAN : TEKNIK MESIN
**JUDUL SKRIPSI : ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA PEMESINAN
FREIS STAINLESS-STEEL 304 DINDING TIPIS DENGAN
PENDINGINAN KRIOGENIK**
DIBUAT TANGGAL : AGUSTUS 2021
SELESAI TANGGAL : NOVEMBER 2022

Indralaya, 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

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Kekasaran Permukaan pada Pemesinan Freis Stainless-Steel 304 Dinding Tipis dengan Pendinginan Kriogenik” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 3 November 2022.

Indralaya, 3 November 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi

Ketua Penguji :

Dr. Muhammad Yanis, S.T., M.T.

NIP. 197002281994121001



(.....)

Sekretaris Penguji :

M. A. Ade Saputra, S.T., M.T.

NIP. 198711302019031006

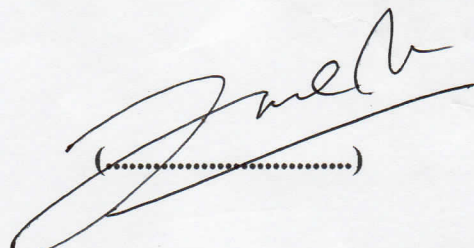


(.....)

Penguji

Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T.

NIP. 197209021997021001



(.....)

Indralaya, November 2022

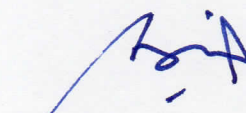
Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi



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

NIP. 197112251997021001



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

NIP. 196409111999031002

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Reyhan Fadillah

NIM : 03051281823056

Judul : Analisis Kekasaran Permukaan pada Pemesinan Freis Stainless-Steel 304 Dinding Tipis dengan Pendinginan 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.

Indralaya, November 2022



Muhammad Reyhan Fadillah

NIM: 03051281823056

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Reyhan Fadillah

NIM : 03051281823056

Judul : Analisis Kekasaran Permukaan pada Pemesinan Freis Stainless-Steel 304 Dinding Tipis dengan Pendinginan 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.



Indralaya, November 2022



Muhammad Reyhan Fadillah

NIM: 03051281823056

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah Subhanahuwata'ala atas rahmat-Nya lah saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini berjudul “ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA PEMESINAN FREIS STAINLESS-STEEL 304 DINDING TIPIS DENGAN PENDINGINAN KRIOGENIK”. Skripsi ini dibuat bertujuan sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini baik secara langsung ataupun tak langsung kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan moril, bantuan, nasihat, dan materil.
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.

Hanya terima kasih yang dapat penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu, semoga Allah Subhanahuwata'ala membalas semua kebaikan yang sudah diberikan kepada penulis dengan rahmat dan karunia-Nya.

Akhir kata Penulis mengharapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang datang.

Indralaya, November 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'RM' or similar initials, written in a cursive style.

Muhammad Reyhan Fadillah

RINGKASAN

ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA PEMESINAN FREIS STAINLESS-STEEL 304 DINDING TIPIS DENGAN PENDINGINAN KRIOGENIK

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 3 November 2022

Muhammad Reyhan Fadillah, di bimbing oleh Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D.

LXX+ 43 Halaman, 7 Tabel, 19 Gambar, 8 Lampiran

RINGKASAN

Kriogenik saat ini banyak digunakan sebagai cairan pemotong pada proses pemesinan karena memiliki sifat pemesinan ramah lingkungan. 304 *Stainless-steel* merupakan baja tahan karat austenitik yang banyak diaplikasikan di berbagai bidang. Hal ini dikarenakan ketahanan korosi yang sangat baik, dan sifat mekaniknya. Dengan metode *Response Surface Methodology* berdasarkan *Rotatable Central Composite Design*, menghasilkan variasi pada kecepatan potong dan laju pemakanan. Proses pemesinan yang dilakukan adalah proses freis dengan variasi kecepatan potong dan laju pemakanan, serta pengaturan cairan pemotong berupa kriogenik berbahan dasar CO₂ yang telah ditetapkan pada penelitian ini. diperoleh dataran yang memiliki profil tertentu sebanyak 12 sampel. Analisis kekasaran permukaan dilakukan dengan dua langkah, pertama dengan melakukan pengukuran nilai aktual dari hasil kekasaran permukaan. Lalu mendapatkan nilai prediksi dari hasil kekasaran permukaan dengan bantuan perangkat lunak *Design Expert 13* untuk melakukan ANOVA yang kemudian diperoleh persamaan regresi dari keseluruhan percobaan. Analisis kekasaran permukaan ini dapat disimpulkan bahwa kenaikan nilai kecepatan potong mempengaruhi nilai kekasaran permukaan yang semakin rendah. Dan penurunan laju pemakanan dapat menyebabkan nilai kekasaran permukaan menjadi semakin rendah. Dari 2 variabel yang ada, laju pemakanan memiliki pengaruh yang lebih signifikan terhadap kekasaran permukaan. Dimana nilai

kekasaran permukaan terendah terjadi pada kecepatan potong sebesar 74.833 m/min dan laju pemakanan sebesar 0.033 mm/gigi, dengan perolehan nilai kekasaran permukaan sebesar 0.310 μm . Dan nilai kekasaran permukaan tertinggi terjadi pada kecepatan potong sebesar 74.833 m/min dan laju pemakanan sebesar 0.054 mm/gigi, dengan perolehan nilai kekasaran permukaan sebesar 1.491 μm .

Kata Kunci: Freis, Kriogenik, Pemesinan Ramah Lingkungan, Kekasaran Permukaan, Baja Tahan Karat

SUMMARY

SURFACE ROUGHNESS ANALYSIS ON THIN WALLED 304 STAINLESS-STEEL MILLING PROCESS WITH CRYOGENIC COOLING SYSTEM.

Scientific papers in the form of Undergraduate Thesis, 3 November 2022

Muhammad Reyhan Fadillah, Supervised by Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D.

LXX+ 43 Pages, 7 Tables, 19 Figures, 8 Attachment

SUMMARY

Cryogenic nowadays is widely used as cutting fluid on machining process because of its green machining characteristic. 304 Stainless-steel is austenitic steel that is widely applied in various fields and aspects. This is due to its excellent corrosion resistance, and its mechanical properties. With the Response Surface Methodology method based on Rotatable Central Composite Design, it produces variations in cutting speed and feed rate. The machining process carried out is a milling process with various cutting speed and feed rate, as well as the setting of CO₂ based cryogenic which has been determined in this study. Obtained 12 samples with certain profile. Surface roughness analysis was carried out in two steps, first step by measuring the actual value of surface roughness result. Then obtain the predicted value of surface roughness results with the help of Design Expert 13 software to perform ANOVA which then produces the regressive equation of the entire experiment. This surface roughness analysis can be interpreted that the increase of the cutting speed value affects the lower of the surface roughness value. And the decreasing of feed rate can cause the surface roughness value to get lower. Within the 2 existing variables, feed rate has more significant effect on surface roughness. Where the lowest surface roughness value occurs at a cutting speed of 74.833 m/min and a feed rate of 0.033 mm/tooth, with a surface roughness value of 0.310 μm . And the highest surface

roughness value occurs at a cutting speed of 74.833 m/min and a feed rate of 0.054 mm/tooth, with a surface roughness value of 1.491 μm .

Kata Kunci: Milling, Cryogenic, Green Machining, Surface Roughness, Stainless Steel

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	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	xxv
DAFTAR TABEL.....	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
2.1.1 <i>Traditional Machining</i>	6
2.1.2 <i>Nontraditional Machining</i>	6
2.2 <i>Green Machining</i>	7
2.2.1 <i>Dry Machining</i>	8
2.2.2 <i>Minimum Quantity Lubrication</i>	8
2.2.3 <i>Cryogenic</i>	8
2.3 <i>Freis (Milling)</i>	9
2.4 Parameter Pemesinan.....	11
2.4.1 Kecepatan Potong	12

2.4.2 Gerak Makan Pergigi.....	12
2.4.3 Waktu Pemotongan.....	12
2.4.4 Kecepatan Penghasil Geram.....	13
2.5 <i>Cutting Tools</i>	13
2.5.1 <i>Tool Holder</i>	14
2.5.2 <i>Coated</i>	15
2.5.3 <i>Insert Cutting Tools</i>	15
2.6 <i>Stainless Steel</i>	15
2.6.1 <i>304 Stainless Steel</i>	16
2.7 Kekasaran Permukaan	16
2.8 <i>Thin-Walled</i>	18
2.9 <i>Response Surface Methodology</i>	19
2.10 <i>Rotatable Central Composite Design</i>	19
2.11 Perangkat Lunak <i>Design Expert</i> 13.....	19
2.12 Ringkasan Penelitian Sebelumnya	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Pengenalan	23
3.2 Prosedur Percobaan	23
3.3 Material Benda Kerja	24
3.4 Alat Uji	25
3.4.1 Mesin CNC Frais	26
3.4.2 <i>Tool Holder</i>	27
3.4.3 <i>Insert Milling</i>	27
3.5 Sistem Pendingin.....	28
3.6 Pengaturan Kriogenik pada CO ₂	29
3.7 Pengukuran Kekasaran Permukaan	30
3.8 <i>Experimental Design</i>	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan.....	33
4.2 Analisis Kekasaran Permukaan Menggunakan RSM.....	33
4.2.1 Persamaan Model Linear	34
4.2.2 Persamaan Model <i>Quadratic</i>	35

4.2.3 <i>Model Graphs</i>	36
4.3 Nilai Prediksi Kekasaran Permukaan	37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	42
DAFTAR RUJUKAN	43
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Material Removal Processes (El-Hofy, 2005)	5
Gambar 2.2 (a) Mesin Freis Vertikal dan (b) Freis Horizontal	10
Gambar 2.3 (a) <i>Up Milling</i> dan (b) <i>Down Milling</i> (Rochim, 2007)	11
Gambar 2.4 Profil Permukaan (Hartini, 2015).....	17
Gambar 2.5 Faktor Kekasaran Permukaan (Benardos dan Vosniakos, 2003)	18
Gambar 2.6 Tampilan Utama <i>Design Expert 13</i>	20
Gambar 3.1 Diagram Alir	24
Gambar 3.2 Material Benda Kerja	25
Gambar 3.3 Mesin CNC Freis	26
Gambar 3.4 <i>Endmill Tool Holder</i>	27
Gambar 3.5 <i>Insert Milling Carbide</i>	27
Gambar 3.6 Diagram Fasa CO ₂ (Pereira dkk., 2020)	28
Gambar 3.7 Skema Pendingin Kriogenik	29
Gambar 3.8 <i>Accretech HANDYSURF (E35A/E)</i>	30
Gambar 3.9 <i>Central Composite Design</i> . (Myers dkk., 2016)	32
Gambar 4.1 <i>3D Surface Graph</i>	37
Gambar 4.2 Kekasaran Permukaan Aktual VS Prediksi Linear	38
Gambar 4.3 Kekasaran Permukaan Aktual VS Prediksi Quadratic	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 <i>Mechanical Properties 304 Stainless Steel</i> (Ramadan, 2020).....	25
Tabel 3.2 Deskripsi Kondisi Kriogenik.....	29
Tabel 3.3 Input variabel dan kode level pada CCD	31
Tabel 3.4 <i>Actual level</i> dan <i>coded level</i> dari 2 variabel.....	32
Tabel 4.1 Hasil kekasaran permukaan dengan pendingin kriogenik.....	33
Tabel 4.2 <i>First-order</i> ANOVA model linier pada Ra.....	34
Tabel 4.3 <i>Second-order</i> ANOVA model kuadratik pada Ra	35
Tabel 4.4 Prediksi Kekasaran Permukaan	38

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern, sebagian besar penelitian berfokus pada bidang yang berkembang pada teknologi ramah lingkungan dan *sustainability engineering*. Perhatian yang paling penting dari *sustainability* adalah penggunaan cairan pemotongan dalam operasi pemesinan. Penggunaan cairan pemotongan konvensional dalam operasi pemesinan menyebabkan masalah kesehatan, polusi ekologi, dan pengeluaran tinggi untuk cairan pemotongan dibandingkan dengan biaya perkakas. Efektivitas cairan pendingin konvensional dapat gagal karena dua aspek: kegagalan menyebar ke daerah pemotongan dan pergerakan chip selama periode mesin. Oleh karena itu, penggunaan pendingin yang dapat terurai secara hayati di setiap industri permesinan sangat penting dan dapat memberikan dampak positif terhadap lingkungan dan teknologi ramah lingkungan. Pemesinan kriogenik adalah teknologi ramah lingkungan dan salah satu teknik alternatif untuk *wet machining*. Sistem pemesinan kriogenik tidak memiliki efek berbahaya pada *machinist* dan pahat, serta tidak meninggalkan bekas yang dapat merusak benda kerja. Ini adalah proses yang benar-benar tidak berpolusi dan dapat diterima secara ekologi. Selain itu, pendingin kriogenik memberikan hasil akhir permukaan yang baik untuk produk. Penggunaan kriogenik dalam proses pemesinan mengurangi keausan pahat, getaran, dan kekuatan pemotongan. Panas yang dihasilkan dalam operasi pemotongan logam mempengaruhi kualitas produk dan mengurangi umur pahat (Jebaraj dan Pradeep Kumar, 2019).

Cairan pemotong banyak digunakan dalam proses pemesinan di seluruh dunia. Namun, cairan pemotong ini adalah sumber dari banyaknya pencemaran lingkungan. Untuk mengurangi atau menghilangkan efek yang dihasilkan oleh pemotongan fluida, perlu untuk beralih ke teknik pemesinan seperti

menggunakan sedikit fluida pemotongan, nitrogen cair, minyak sayur atau udara terkompresi sebagai media pelumasan pendingin. Pendingin kriogenik terbukti lebih efisien, ekonomis, hemat biaya, dan ramah lingkungan jika dibandingkan dengan pendingin konvensional, terutama dalam produksi massal. Dalam pemesinan material yang sulit dipotong seperti material ber dinding tipis untuk industri *aerospace*, diperlukan aplikasi pendinginan (Budiman dan Mohruni, 2020).

Kriogenik merupakan salah satu bidang dimana material memiliki peranan yang sangat penting dalam kemajuannya. Teknologi berbasis kriogenik memiliki aplikasi di berbagai bidang, seperti metalurgi, kimia, industri energi, kedokteran, *rocket propulsion and space simulation*, *food processing* dengan pendinginan, serta banyak lainnya (Zohuri, 2018).

1.2 Rumusan Masalah

Menurut latar belakang yang telah dijelaskan maka penelitian ini dapat ditunjukkan berfokus pada penggunaan pendingin kriogenik yang memakai CO₂ pada proses pemesinan freis menggunakan material *stainless steel* AISI 304 *thin-walled* untuk mendapatkan kondisi pemesinan optimal.

1.3 Batasan Masalah

Untuk dapat mengatasi pelebaran suatu masalah, maka penelitian ini diberi batasan masalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kekasaran pada permukaan.
2. Penggunaan pendingin kriogenik CO₂.
3. Proses pemesinan freis.
4. Material yang digunakan *stainless steel* 304 *thin-walled*.

5. V_c dan f_z sebagai variabel bebas.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan:

1. Mendapatkan persamaan model matematika dari *Response Surface Methodology*.
2. Membandingkan nilai prediksi dengan nilai aktual dari persamaan model matematika.
3. Untuk mendapatkan kondisi permesinan terbaik dalam hal nilai kekasaran permukaan (R_a) terkecil yang dihasilkan dari variasi variabel kecepatan potong (V_c), kecepatan makan (f_z).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. partisipasi dalam pengembangan ilmu permesinan yang ramah lingkungan.
2. membuktikan keefektifan pendingin kriogenik pada proses pemesinan.

DAFTAR RUJUKAN

- Awalliyah, A., Ikhwan, H., Nugiasari, V., Zainul, R., Padang, U.N., Padang, U.N., Kimia, L., Padang, U.N., Fisika, L., Padang, U.N., Milling, F., 2018. Prinsip Dasar Milling. Lab. Kim. FMIPA, Univ. Negeri Padang, Indones.
- Benardos, P.G., Vosniakos, G.C., 2003. Predicting surface roughness in machining: A review. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 43, 833–844. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00059-2)
- Budiman, A.Y., Mohruni, A.S., 2020. a Review on Thin Walled Cryogenic Machining on Inconel or 2 Cryogenic Machining 7, 1–5.
- Çalışkan, H., Kurşuncu, B., Kurbanoglu, C., Güven, şevki Y., 2013. Material selection for the tool holder working under hard milling conditions using different multi criteria decision making methods. *Mater. Des.* 45, 473–479. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.09.042>
- Daniel, I., Kumar, J.S., Kaviprakash, G., 2015. Optimization of machining parameters in turning of AISI 304 steel using GRA and RSM.
- El-Hofy, H.A.G., 2005. *Advanced Machining Processes*.
- Gardner, L., 2005. The use of stainless steel in structures. *Prog. Struct. Eng. Mater.* 7, 45–55. <https://doi.org/10.1002/pse.190>
- Gupta, K., 2020. A review on green machining techniques. *Procedia Manuf.* 51, 1730–1736. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.241>
- Hartini, S.R.I., 2015. Jurusan teknik mesin fakultas teknik universitas sriwijaya 2015.
- Jebaraj, M., Pradeep Kumar, M., 2019. Effect of cryogenic CO₂ and LN₂ coolants in milling of aluminum alloy. *Mater. Manuf. Process.* 34, 511–

520. <https://doi.org/10.1080/10426914.2018.1532591>

Jerold, B.D., Kumar, M.P., 2011. Experimental investigation of turning AISI 1045 steel using cryogenic carbon dioxide as the cutting fluid. *J. Manuf. Process.* 13, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2011.02.001>

Myers, R.H., Montgomery, D.C., Anderson-cook, C.M., 2016. *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*.

Niu, J., Huang, C., Li, C., Zou, B., Xu, L., Wang, J., Liu, Z., 2020. A comprehensive method for selecting cutting tool materials. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 110, 229–240. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05534-0>

Özdemir, U., Keskinılıç, S., Acar, F.K., Acarer, M., 2017. Investigation of Cold Work Hardening Behavior of AISI 304 Stainless Steel 3–6.

Papangelis, J.P., Hancock, G.J., 1995. Computer analysis of thin-walled structural members. *Comput. Struct.* 56, 157–176. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(94\)00545-E](https://doi.org/10.1016/0045-7949(94)00545-E)

Pereira, O., Celaya, A., Urbikaín, G., Rodríguez, A., Fernández-Valdivielso, A., Noberto López de Lacalle, L., 2020. CO2 cryogenic milling of Inconel 718: Cutting forces and tool wear. *J. Mater. Res. Technol.* 9, 8459–8468. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.118>

Ramadan, N., 2020. Parametric Optimization of TIG Welding Influence On Tensile Strength of Dissimilar Metals SS-304 And Low Carbon Steel by Using Taguchi Approach American Journal of Engineering Research (AJER) Parametric Optimization of TIG Welding Influence On Tensile Strength of Dissimilar Metals SS-304 And Low Carbon Steel by Using Taguchi Approach Nizar RAMADAN , 2 Abduladim BOGHDADI.

Rochim, T., 2007. *Klasifikasi Proses, Gaya & Daya Permesinan*. Penerbit ITB.

Schintlmeister, C., Wallgram, W., Kanz, J., 1984. Cutting tool deposition 100,

153–169.

Shvets, S. V., Astakhov, V.P., 2020. Effect of Insert Angles on Cutting Tool Geometry. *J. Eng. Sci.* 7, A1–A6. [https://doi.org/10.21272/jes.2020.7\(2\).a1](https://doi.org/10.21272/jes.2020.7(2).a1)

Suteja, J., Candra, S., Aquarista, Y., 2008. Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology. *J. Tek. Mesin* 10. <https://doi.org/10.9744/jtm.10.1.pp.1-7>

Yanis, M., Mohruni, A.S., Sharif, S., Yani, I., 2019. Optimum performance of green machining on thin walled ti6al4v using rsm and ann in terms of cutting force and surface roughness. *J. Teknol.* 81, 51–60. <https://doi.org/10.11113/jt.v81.13443>

Yildiz, Y., Nalbant, M., 2008. A review of cryogenic cooling in machining processes. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 48, 947–964. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.01.008>

Zohuri, B., 2018. Cryogenic Equipment, Systems, and Applications, *Physics of Cryogenics*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814519-7.00016-1>