

SKRIPSI
ANALISIS KEAUSAN PAHAT *END-MILL* PADA
PEMESINAN Ti6Al4V MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
DEFORM-3D

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH
TIESTO AUDY JULIO
03051381520073

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KEAUSAN PAHAT *END-MILL* PADA PEMESINAN Ti6Al4V MENGGUNAKAN *SOFTWARE* DEFORM-3D

SKRIPSI

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

Oleh:

TIESTO AUDY JULIO

03051381520073


Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

Palembang, Juli 2019

Pembimbing



Muhammad Yanis, S.T., M.T.
NIP. 19700228 199412 101

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

SKRIPSI

**NAMA : TIESTO AUDY JULIO
NIM : 03051381520073
JUDUL : ANALISIS KEAUSAN PAHAT *END-MILL* PADA
PEMESINAN Ti6Al4V MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
DEFORM-3D.
DIBERIKAN : SEPTEMBER 2018
SELESAI : JULI 2019**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001**

Palembang, Juli 2019

Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing Skripsi

A handwritten signature in black ink, which appears to be 'Muhammad Yanis'.

**Muhammad Yanis, S.T., M.T.
NIP. 19700228 199412 101**

HALAMAN PERSETUJUAN

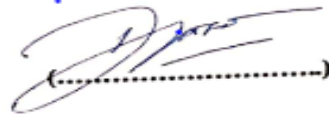
Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “**Analisis Keausan Pahat End-Mill Pada Pemesinan Ti6Al4V menggunakan Software DEFORM-3D**” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 20 Juli 2019.

Palembang, 20 Juli 2019

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP.196012231991021001

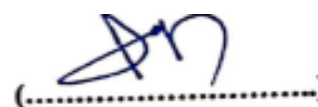


Anggota :

2. Ir. H. Fusito, M.T
NIP. 195709101991021001




3. Dr. Ir. H. Darmawi Bayin, M.T , M.T
NIP.195806151987031002




Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yanti, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

Pembimbing Skripsi



Muhammad Yanis, S.T., M.T.
NIP. 19700228 199412 101

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Tiesto Audy Julio

NIM : 030513815200073

Judul : Analisis Keausan Pahat *End-Mill* Pada Pemesinan Ti6Al4V
Menggunakan *Software* DEFORM-3D

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya 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 aturan yang berlaku.

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



Palembang, Juli 2019



Tiesto Audy Julio
NIM. 030513815200073

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tiesto Audy Julio

NIM : 03051381520073

Judul : Analisis Keausan Pahat *End-Mill* Pada Pemesinan Ti6Al4V
Menggunakan *Software* DEFORM-3D

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, Juli 2019



Tiesto Audy Julio
NIM. 03051381520073

RINGKASAN

ANALISIS KEAUSAN PAHAT *END-MILL* PADA PEMESINAN Ti6Al4V MENGGUNAKAN *SOFTWARE* DEFORM-3D.

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, 26 Juli 2019

Tiesto Audy Julio; Dibimbing oleh Muhammad Yanis, S.T , M.T

END-MILL TOOL WEAR ANALYSIS IN Ti6Al4V MACHINING USING DEFORM-3D

xxviii + 42 halaman, 2 tabel, 34 gambar, 1 lampiran

RINGKASAN

Pada proses pemesinan penggunaan mata pahat sangat penting, dimana dapat menentukan kualitas suatu produk, apabila digunakan terus-menerus maka akan mengakibatkan kualitas dari produk akan kurang maksimal, akan terjadi keausan pahat dan umur pahat semakin pendek. Maka dibutuhkannya suatu cairan pendingin agar dapat mengurangi keausan dari mata pahat akibat gesekan dengan benda kerja. Dengan penambahan cairan tersebut maka keausan pahat yang terjadi dapat berkurang, dibandingkan dengan tanpa menggunakan cairan pendinginan tersebut. Sehingga dapat mengurangi kerusakan dari mata pahat tersebut. Dengan memprediksi distribusi proses variabel-variabel dari simulasi pemotongan dan menerapkannya dalam kode *Finite Element Methode* (FEM) model keausan pahat, diatur dengan proses variabel-variabel ini, distribusi tingkat keausan pahat sepanjang permukaan pahat dapat diperkirakan secara efektif. Geometri yang diprediksi dari pahat yang aus dapat dihitung dari data tingkat keausan dan dibandingkan dengan geometri yang diukur. Oleh sebab itu penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis keausan yang bekerja pada pahat pada proses *end-milling* balok, dimana proses ini dilakukan pada kondisi dengan metode software berbasis FEM. Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah DEFORM-3D guna dapat mensimulasikan keausan pahat yang terjadi saat proses pemakanan antara pahat dan benda kerja yang telah di buat sesuai ukuran yang diketahui. Pada penelitian tugas akhir ini, pahat yang

dibuat menggunakan material *wolfram carbide* serta benda kerja menggunakan *Titanium alloy*. Hasil dari penelitian ini ditunjukkan bahwa nilai temperature awal pada saat proses terjadi yaitu 20°C namun setelah proses simulasi temperature mengalami kenaikan yaitu 31.945°C dari hasil pemodelan tersebut menunjukkan keausan pahat yang terjadi lebih dominan pada keausan tepi (*flank wear*). Nilai keausan yang diperoleh dari hasil simulasi jauh dari hasil yang diharapkan dimana nilai coefficient pada variable temperature yang diperoleh masih berada jauh dibawah dari nilai yang diharapkan.

Kata kunci: Keausan, Keausan pahat, Finite Element Methode (FEM), DEFORM-3D, Titanium Alloy, Temperature.

SUMMARY

END-MILL TOOL WEAR ANALYSIS IN Ti6Al4V MACHINING USING DEFORM-3D

Scientific Writing in the form of Thesis, July 26, 2019

Tiesto Audy Julio; Supervised by Muhammad Yanis, S.T , M.T

ANALISIS KEAUSAN PAHAT *END-MILL* PADA PEMESINAN Ti6Al4V MENGGUNAKAN *SOFTWARE* DEFORM-3D

xxviii + 42 pages, 2 tables, 34 images, 1 attachments

SUMMARY

In machining process, it is very important to define the right tool as it affects the product quality, tools that have been used continuously will produce low-quality products, and will cause tool wear and shorten its lifetime. Therefore, coolant is needed to reduce tool wear caused by friction. Tools with additional coolant have longer lifetime and less tool wear compared to those without coolant. Predicting variable distribution of cutting simulation and apply it in Finite Element Method code tool wear model, adjusted by the variable process, tool wear level distribution along the tool surface can be predicted effectively. Geometry predicted from tool wear can be calculated by wear level data compared to measured geometry. Therefore, the main purpose of this research is to analyze tool wear in block end-milling process using FEM based software. Software used in this research is DEFORM-3D to simulate the tool wear in cutting process between tool and work piece which geometry has been determined. In this research, the tool material is wolfram carbide and work piece material is titanium alloy. The result shown that initial temperature is 20°C and rise to 31.945°C at the end of the machining process, the tool wear is dominant on the flank wear. Wear value obtained is far from the value expected where the coefficient value on temperature obtained is far below the expected value.

Keywords: Wear, Tool Wear, Finite Element Method, DEFORM-3D, Titanium Alloy, Temperature.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan Skripsi ini. Skripsi ini berjudul “**Analisis keausan pahat *end-mill* pada pemesinan Ti6Al4V menggunakan *software* DEFORM-3D**”. Skripsi tersebut dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari Orang-orang secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak terkait, antara lain :

1. Bapak Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D dan Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D selaku ketua jurusan dan sekretaris jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Muhammad Yanis, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan ilmu yang bermanfaat, bimbingan, nasihat, dan motivasi dalam pengerjaan proposal skripsi ini.
3. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, bimbingan, dan nasihat kepada penulis selama masa perkuliahan.
4. Muhammad Zahir, S.T, M.T, alumni Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang banyak membantu dan memberikan saran ke penulis.
5. Teman-teman Teknik Mesin 2015 Kampus Palembang yang turut andil dalam membantu saya untuk menyelesaikan skripsi ini.

Hanya terimakasih yang dapat penulis berikan. Penulis mengharapkan kritik dan saran untuk meningkatkan kualitas dari skripsi ini dan semoga dapat bermanfaat bagi semua yang membacanya.

Palembang, Juli 2019



Tiesto Audy Julio
NIM. 03051381520073

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan.....	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar.....	vi
Daftar Tabel	vii
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 Studi Literatur	5
2.2 Pemesinan Frais (Milling).....	6
2.2.1 Elemen Dasar Pada Pemesinan frais	7
2.3 Pahat (Cutting Tool)	9
2.4 Titanium Alloy (Ti6Al4V).....	9
2.5 Cutting Fluids.....	10
2.6 Keausan (Wear).....	10
2.6.1 Persamaan Taylor	11
2.6.2 Model Keausan Archad	11
2.6.3 Model Keausan Usui.....	12
2.7 Keausan Pahat (Tool Wear)	12
2.7.1 Keausan Tepi (Flank Wear).....	13
2.7.2 Keausan Kawah (Crater Wear).....	14
2.7.3 Adhesion Wear	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram Alir	15
3.2 Prosedur penelitian	16
3.2.1 Parameter Pemesinan	16

3.3 Prosedur Pada Simulasi DEFORM-3D	17
3.3.1 Pre Processor (Input).....	17
3.3.2 Simulator	24
3.3.3 Post Processor (output).....	25
BAB 4 PEMBAHASAN DAN HASIL.....	27
4.1 Pembahasan.....	27
4.2 Hasil Simulasi	30
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Up-Milling (Altintas, 2012).....	6
Gambar 2.2. Down-Milling (Altintas, 2012).....	7
Gambar 2.3. Flank dan Crater Wear (Altintas, 2012).....	13
Gambar 2.4. Build-up Edge (Altintas, 2012).....	14
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3.2. Geometri Pahat Helikal End-Milling	17
Gambar 3.3. Tampilan Awal <i>software</i> DEFORM-3D	18
Gambar 3.4. Pre Processor	18
Gambar 3.5. Menentukan tipe objek dan membuat geometri.....	19
Gambar 3.6. Kolom geometri untuk membuat geometri.....	19
Gambar 3.7. Tampilan geometri	20
Gambar 3.8. Memasukkan Pahat	20
Gambar 3.9. Data Pahat dari Solidwork.....	21
Gambar 3.10. Tampilan setelah pahat dimasukkan	21
Gambar 3.11. Untuk menentukan metode keausan.....	22
Gambar 3.12. Model keausan Archad	23
Gambar 3.13. Model keausan Usui	23
Gambar 3.14. Tampilan awal lagi untuk simulasi	24
Gambar 3.15. Kolom simulator untuk <i>run</i> simulasi.....	24
Gambar 3.16. Tampilan awal lagi untuk melakukan/melihat analisis	25
Gambar 3.17. Kolom <i>Post Processor</i> untuk ke tampilan simulasi	25
Gambar 3.18. Tampilan hasil analisis keausan (<i>wear</i>).....	26
Gambar 3.19. Contoh hasil <i>wear rate</i> setelah disimulasikan	26
Gambar 4.1. Geometri pahat helical <i>end-mill</i>	27
Gambar 4.2. Arah sumbu pemakanan pada simulasi	28
Gambar 4.3. Ukuran awal mesh pada workpiece.....	30
Gambar 4.4. Ukuran nilai mesh pada chip workpiece	30
Gambar 4.5. Hasil temperature dari simulasi DEFORM-3D	31
Gambar 4.6. Grafik <i>Sliding velocity</i> versus <i>wear rate</i> pada kondisi parameter pemotong I	32

Gambar 4.7. Grafik <i>Sliding velocity</i> versus <i>wear rate</i> pada kondisi parameter pemotong II.....	33
Gambar 4.8. Grafik <i>temperature</i> versus <i>wear rate</i> pada kondisi parameter I...	34
Gambar 4.9. Grafik <i>temperature</i> versus <i>wear rate</i> pada kondisi parameter II..	35
Gambar 4.10. Grafik <i>interface pressure</i> parameter II	36
Gambar 4.11. Grafik <i>interface pressure</i> perbandingan parameter I dan II.....	37
Gambar 4.12. Grafik perbandingan <i>interface pressure</i> takeyama dan usui.....	38

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Sifat mekanik dari balok Ti6Al4V (<i>Titanium alloy</i>)	16
Tabel 3.2 Kondisi pemotongan untuk balok Ti6Al4V (<i>Titanium alloy</i>).....	16

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Keausan Pahat	41
Lampiran 2. Gambar Analisis.....	42

ANALISIS KEAUSAN PAHAT *END-MILL* PADA PEMESINAN Ti6Al4V MENGUNAKAN *SOFTWARE* DEFORM-3D

Muhammad Yanis¹, Tiesto Audy Julio²

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya,

Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

*e-mail: tiestojulio18@gmail.com

Abstrak

Pada proses pemesinan penggunaan mata pahat sangat penting, dimana dapat menentukan kualitas suatu produk, apabila digunakan terus-menerus maka akan mengakibatkan kualitas dari produk akan kurang maksimal, akan terjadi keausan pahat dan umur pahat semakin pendek. Maka dibutuhkannya suatu cairan pendingin agar dapat mengurangi keausan dari mata pahat akibat gesekan dengan benda kerja. Dengan penambahan cairan tersebut maka keausan pahat yang terjadi dapat berkurang, dibandingkan dengan tanpa menggunakan cairan pendinginan tersebut. Sehingga dapat mengurangi kerusakan dari mata pahat tersebut. Dengan memprediksi distribusi proses variabel-variabel dari simulasi pemotongan dan menerapkannya dalam kode *Finite Element Methode* (FEM) model keausan pahat, diatur dengan proses variabel-variabel ini, distribusi tingkat keausan pahat sepanjang permukaan pahat dapat diperkirakan secara efektif. Geometri yang diprediksi dari pahat yang aus dapat dihitung dari data tingkat keausan dan dibandingkan dengan geometri yang diukur. Oleh sebab itu penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis keausan yang bekerja pada pahat pada proses *end-milling* balok, dimana proses ini dilakukan pada kondisi dengan metode software berbasis FEM. Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah DEFORM-3D guna dapat mensimulasikan keausan pahat yang terjadi saat proses pemakanan antara pahat dan benda kerja yang telah di buat sesuai ukuran yang diketahui. Pada penelitian tugas akhir ini, pahat yang dibuat menggunakan material *wolfram carbide* serta benda kerja menggunakan *Titanium alloy*. Hasil dari penelitian ini ditunjukkan bahwa nilai temperature awal pada saat proses terjadi yaitu 20°C namun setelah proses simulasi temperature mengalami kenaikan yaitu 31.945°C dari hasil pemodelan tersebut menunjukkan keausan pahat yang terjadi lebih dominan pada keausan tepi (*flank wear*). Nilai keausan yang diperoleh dari hasil simulasi jauh dari hasil yang diharapkan dimana nilai coefficient pada variable temperature yang diperoleh masih berada jauh dibawah dari nilai yang diharapkan.

Kata Kunci: Keausan, Keausan pahat, Finite Element Methode (FEM), DEFORM-3D, Titanium Alloy, Temperature.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

NIP. 19711225 199702 1 001

Palembang, Juli 2019

Dosen Pembimbing



Muhammad Yanis, S.T, M.T

NIP.197002281994121001

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada proses pemesinan penggunaan mata pahat sangatlah penting, dimana dapat menentukan kualitas suatu produk, apabila digunakan terus-menerus maka akan mengakibatkan kualitas dari suatu produk akan kurang maksimal, akan terjadi keausan pahat dan umur pahat (*tool life*) semakin pendek. Maka dibutuhkannya suatu cairan pendingin agar dapat mengurangi keausan dari mata pahat akibat gesekan dengan benda kerja.

Cairan pendingin pada proses pemesinan berfungsi untuk menurunkan koefisien gesek, yang terjadi diantara kedua benda kerja (*workpiece*) dengan pahat (*tool*), menurunkan temperatur panas antara gesekan benda kerja dan pahat yang bekerja, juga membersihkan sisa-sisa geram dari permukaan *workpiece* (Wahid et al., 2017).

Dengan penambahan cairan tersebut maka keausan pahat yang terjadi dapat berkurang, dibandingkan dengan tanpa menggunakan cairan pendinginan tersebut. Sehingga dapat mengurangi kerusakan dari mata pahat tersebut.

Proses simulasi berbasis finite element (FE) telah dimanfaatkan untuk mempelajari proses pemesinan selama beberapa dekade. Simulasi berbasis FE sangat diuntungkan dari pengembangan *computing power* yang memungkinkan masalah yang sangat rumit untuk di modelkan dan disimulasikan secara efisien dan akurat. sebagai hasilnya, simulasi ini sekarang terlihat sebagai pengganti dari *physical experiments* yang memungkinkan penghematan biaya dan waktu dalam analisis dan optimasi dari proses kinerjanya (T. Thepsonthi, 2015).

Dengan memprediksi distribusi proses variabel-variabel dari simulasi pemotongan dan menerapkannya dalam kode FEM model keausan pahat, diatur dengan proses variabel-variabel ini, Distribusi tingkat keausan pahat sepanjang permukaan pahat dapat diperkirakan secara efektif. geometri yang diprediksi

dari pahat yang aus dapat dihitung dari data tingkat keausan dan dibandingkan dengan geometri yang diukur (Yen et al., 2002).

Dengan menggunakan metode tersebut, maka peneliti ingin mencoba mengangkat judul “**Analisis keausan pahat *end-mill* pada pemesinan Ti6Al4V menggunakan *software* DEFORM-3D**“ dimana hal ini diharapkan dapat berguna didalam mengurangi keausan serta dapat dijadikan referensi tentang pelumasan menggunakan *software* DEFORM-3D.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian di atas dengan adanya keausan dan gaya yang bekerja pada pahat yang terjadi saat proses pemesinan. Maka dilakukan analisis untuk hal tersebut, dengan adanya *software* berbasis finite element maka dapat mempermudah analisis tentang masalah pada umur pahat yang singkat dapat bertambah, dan masalah keausan yang terjadi pun akan berkurang.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini fokus pada keausan yang terjadi pada pemesinan down milling pada blok titanium Ti6Al4V dan pemesinan dilakukan pada kondisi pemberian pelumasan. Hal ini keausan diakibatkan gesekan antara tools dan benda kerja (workpiece).

1.4 Tujuan Penelitian

Analisis yang dilakukan bertujuan untuk analisis keausan dan gaya yang

bekerja pada pahat pada proses end-milling balok, akan dimana proses ini dilakukan pada kondisi dengan metode FEM / software yaitu DEFORM-3D.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Meningkatkan umur pahat, dan berkurangnya keausan yang terjadi.
2. Dapat menambah pengetahuan dan referensi tentang keausan pada pemesinan frais menggunakan pahat *end-mill* pada pemesinan balok Ti6Al4V untuk mengetahui keausan yang bekerja pada kondisi menggunakan coolant dan non coolant.

DAFTAR RUJUKAN

- Abidin, Z., 2010. MEKANISME KEAUSAN PAHAT PADA PROSES PEMESINAN : SEBUAH TINJAUAN PUSTAKA Zaenal Abidin 6, 9–16.
- Altintas, Y., 2012. Manufacturing Automation, Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. <https://doi.org/DOI: 10.1017/CBO9780511843723.002>
- Feng, J., Sun, Z., Jiang, Z., and Yang, L., 2015. Identification of chatter in milling of Ti-6Al-4V titanium alloy thin-walled workpieces based on cutting force signals and surface topography. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7509-0>
- Hong, H., Riga, A.T., Gahoon, J.M., and Scott, C.G., 1993. Machinability of steels and titanium alloys under lubrication. *Wear* 162–164, 34–39. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(93\)90481-Z](https://doi.org/10.1016/0043-1648(93)90481-Z)
- Marksberry, P.W., and Jawahir, I.S., 2008. A comprehensive tool-wear / tool-life performance model in the evaluation of NDM (near dry machining) for sustainable manufacturing 48, 878–886. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.11.006>
- Matsumura, T., Shirakashi, T., and Usui, E., 2008. Identification of wear characteristics in tool wear model of cutting process. *International Journal of Material Forming* 1, 555–558. <https://doi.org/10.1007/s12289-008-0297-4>
- Perera, G.I.P., Herath, H.M.C.M., Perera, I.M.S.J., and Medagoda, M.G.H.M.M.P., 2015. Investigation on white coconut oil to use as a metal working fluid during turning. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 229, 38–44. <https://doi.org/10.1177/0954405414525610>
- Rahim, E.A., and Sasahara, H., 2011. A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys. *Tribology International* 44, 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2010.10.032>
- Rochim, T., 2007. Klasifikasi Proses, Gaya dan Daya Pemesinan. *Institut Teknologi Bandung*, Bandung.
- Saputra, E., Ismail, R., and Tauviquirrahman, M., 2011. Perhitungan Keausan Pada Kontak Rolling-Sliding 2011.
- Sharad Dhurgude, S., 2017. REVIEW ON INFLUENCE OF COOLING TECHNIQUE ON TOOL WEAR IN TURNING OF TITANIUM ALLOY Ti-6Al-4V. *International Research Journal of Engineering and Technology* 04, 2395–56.

- Sodavadia, K.P., and Makwana, A.H., 2014. Experimental Investigation on the Performance of Coconut oil Based Nano Fluid as Lubricants during Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel. *International Journal of Advanced Mechanical Engineering* 4, 55–60.
- Su, Y., He, N., Li, L., and Li, X.L., 2006. An experimental investigation of effects of cooling/lubrication conditions on tool wear in high-speed end milling of Ti-6Al-4V. *Wear* 261, 760–766. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.01.013>
- T. Thepsonthi, T.Ö., 2015. 3-D Finite Element Process Simulation of Micro-end Milling Ti-6Al-4V Titanium Alloy: Experimental Validations on Chip Flow and Tool Wear. *Journal of Materials Processing Technology* 1–42.
- Usui, E., Shirakashi, T., and Kitagawa, T., 1984. Analytical prediction of cutting tool wear. *Wear* 100, 129–151. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(84\)90010-3](https://doi.org/10.1016/0043-1648(84)90010-3)
- Wahid, M.A., P, D.R., Rohman, A., and P, G.S., 2017. Optimasi Multi Respon Menggunakan Metode Taguchi - Weighted Principal Component Analysis (Wpca) Pada Proses Bubut Material St 60 Dengan Pendinginan Minimum Quantity Lubrication (Mql) 4, 47–53.
- Yen, Y.C., Söhner, J., Weule, H., Schmidt, J., and Altan, T., 2002. Estimation of tool wear of carbide tool in orthogonal cutting using FEM simulation. *Machining Science and Technology* 6, 467–486. <https://doi.org/10.1081/MST-120016256>
- Zanger, F., and Schulze, V., 2013. Investigations on Mechanisms of Tool Wear in Machining of Ti-6Al-4V using FEM Simulation. *Procedia CIRP* 8, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.082>
- Zulfikar, Z., Produksi, L.T., Mesin, J.T., Teknik, F., and Riau, U., 2017. Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3-axis 4, 2–7.