

TESIS

KINERJA PAHAT KARBIDA PADA PROSES FRAIS PELAT TIPIS Ti6Al4V MENGGUNAKAN METODOLOGI PERMUKAAN RESPON

PERFORMANCE OF STRAIGHT CARBIDE WHEN END MILLING ON THIN WALL Ti6Al4V USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Magister Teknik Mesin**



Oleh :

ZALDY SIRWANSYAH SUZEN

NIM : 03032681418008

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

KINERJA PAHAT KARBIDA PADA PROSES FRAIS PELAT TIPIS Ti6Al4V MENGGUNAKAN METODOLOGI PERMUKAAN RESPON

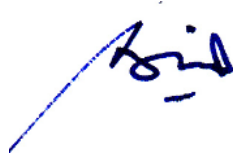
TESIS

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Magister Teknik Mesin pada Universitas Sriwijaya**

Oleh :

**ZALDY SIRWANSYAH SUZEN
03032681418008**

Pembimbing I



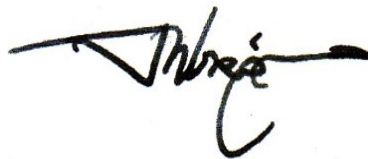
**Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin M., PhD
NIP. 196409111999031002**

**Palembang, 10 Desember 2016
Pembimbing II**



**Agung Mataram, ST, MT, PhD
NIP. 197901052003121001**

**Mengetahui :
Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Ir. Subriyer Nasir, MS, PhD
NIP. 196009091987031004**

HALAMAN PENGESAHAN

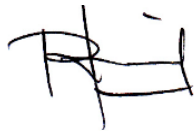
Karya tulis ini berupa Tesis ini dengan judul “Kinerja Pahat Karbida Pada Proses Frais Pelat Tipis Ti6Al4V Menggunakan Metodologi Permukaan Respon” telah dipertahankan dihadapan Panitia Sidang Ujian Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Pada Tanggal 10 Desember 2016 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai dengan masukan Panitia Sidang Ujian Karya Tulis Ilmiah berupa Tesis Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Palembang, 10 Desember 2016

Panitia Sidang Ujian Karya Ilmiah berupa

Ketua :

a. Prof. Ir. Riman Sipahutar, MSc, PhD
NIP. 195606041986021001

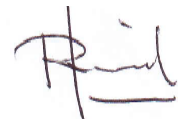
()

b. Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin M., PhD
NIP. 196409111999031002

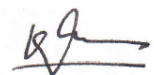
()

c. Anggota Penguji :

1. Prof. Ir. Riman Sipahutar, MSc, PhD
NIP. 195606041986021001

()

2. Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA
NIP. 195701181985051004

()

3. Prof. Dr. Ir. Nukman, MT
NIP. 195903211087031001

()

4. Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, MT
NIP. 196307191990032001

()

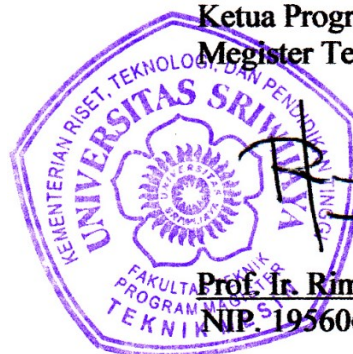
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Prof. Ir. Subriyer Nasir, MS, PhD
NIP. 196009091987031004

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Prof. Ir. Riman Sipahutar, MSc, PhD
NIP. 195606041986021001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
Karya Tulis Ilmiah berupa Tesis
10 Desember 2016

ZALDY SIRWANSYAH SUZEN
03032681418008

“Kinerja Pahat Karbida Pada Proses Frais Pelat Tipis Ti6Al4V Menggunakan Metodologi Permukaan Respon”

ABSTRAK

Kualitas produk yang dianggap baik biasanya harus dilakukan dengan permintaan produk yang memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dan hasil proses manufaktur yang baik, apalagi dalam industri pesawat terbang pada saat ini sedang berkembang pesat yang pada umumnya menggunakan produk berbahan paduan titanium. Untuk mendapatkan hal tersebut cukup sulit dilakukan karena penggunaan material paduan Titanium sangat mahal dan memiliki sifat keras dan ulet. Pada penelitian ini terfokus untuk menemukan kondisi pemesinan yang tepat untuk memperoleh kekasaran permukaan yang memenuhi kebutuhan industri dan mengetahui kinerja pahat karbida pada proses frais CNC pelat tipis dari material Ti6Al4V. Desain faktor percobaan menggunakan metodologi permukaan respon dalam mengembangkan desain model matematika empiris untuk memperkirakan kekasaran permukaan dengan parameter kecepatan potong $80 \leq V_c \leq 125$ m/min, laju pemakanan $0,04 \leq f_z \leq 0,1$ mm/tooth, kedalaman pemotongan aksial $0,25 \leq a_{rad} \leq 0,4$ mm dan kedalaman radial $5 \leq a_{axial} \leq 10$ mm dalam kondisi pemotongan kering. Analisis varian (ANOVA) digunakan untuk memverifikasi model yang akan dipilih. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan potong, laju pemakanan, kedalaman pemakanan radial dan aksial adalah faktor utama yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada saat proses frais pelat tipis Ti6Al4V.

Kata kunci: Titanium, Kekasaran Permukaan, Frais CNC, RSM

Mengetahui,

Pembimbing 1



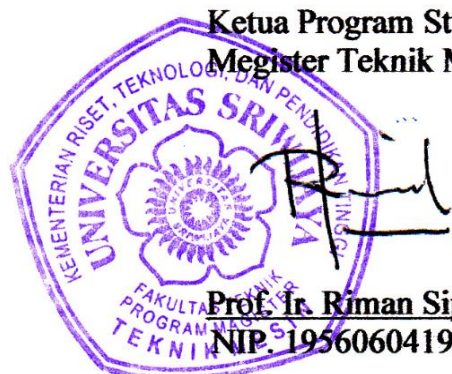
Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin M., PhD
NIP. 196409111999031002

Pembimbing 2



Agung Mataram, ST, MT, PhD
NIP. 197901052003121001

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Prof. Ir. Riman Sipahutar, MSc, PhD
NIP. 195606041986021001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Zaldy Sirwansyah Suzen
Tempat dan Tanggal lahir : Sungailiat, 26 Mei 1980
Program Studi : Teknik Mesin/ Teknik Material dan Manufaktur
NIM : 03032681418008
Judul : Kinerja Pahat Karbida Pada Proses Frais Pelat Tipis
Ti6Al4V Menggunakan Metodologi Permukaan
Respon.

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

Demikianlah pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapa pun.



Palembang, 2016
Yang membuat pernyataan



Zaldy Sirwansyah Suzen
NIM. 03032681418008

PERFORMANCE OF STRAIGHT CARBIDE WHEN END MILLING ON THIN WALL Ti6Al4V USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

ZALDY SIRWANSYAH SUZEN
03032681418008

ABSTRACT

High product quality is usually related to the demand for a product that has a high level of accuracy and good manufacturing processes, especially in the fast-growing aerospace industry which commonly use products made of titanium alloy. To achieve that level of quality is difficult because titanium alloy materials are very expensive. Furthermore, it is also hard in nature. This research aims to identify the optimum machining conditions for obtaining surface roughness that meets the needs of the industry and the performance of straight carbide used in CNC end milling of Ti6Al4V thin wall using surface response methodology. The design of factorial experiment employed response surface methodology (RSM) in developing an empirical mathematical model for estimating the surface roughness with the parameters of cutting speed $80 \leq V_c \leq 125$ m/min, feed per tooth $0.04 \leq f_z \leq 0.1$ mm/tooth, axial depth of cut $0.25 \leq a_{rad} \leq 0.2$ mm and radial depth of cut $5 \leq a_{ax} \leq 10$ mm on the dry-cutting conditions. ANOVA was used to verify the models. The results indicate that cutting speed, feed per tooth, axial depth of cutting and radial depth of cut are key factors which determine the surface roughness in the end milling of Ti6Al4V thin wall.

Keyword: titanium, surface roughness, end milling, response surface methodology (RSM)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis ini. Penulisan tesis ini bertujuan sebagai salah satu syarat kelulusan Pendidikan Strata Dua (S-2) pada Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Sriwijaya. Adapun judul Tesis ini yaitu **"KINERJA PAHAT KARBIDA PADA PROSES FRAIS PELAT TIPIS Ti6Al4V MENGGUNAKAN METODOLOGI PERMUKAAN RESPON"**.

Penulis telah berupaya semaksimal mungkin untuk membuat tesis ini agar dapat diterima dan disetujui dalam ujian tesis. Namun penulis menyadari tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, karena keterbatasan ilmu dan pengetahuan dari penulis. Untuk itu, Penulis mohon dapat diberikan saran dan masukan apabila terdapat kekurangan dalam penulisan tesis ini, sehingga dapat lebih baik lagi dan menjadikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.

Penulis Sebagai penutup dalam kesempatan ini tak lupa penulis ucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin M., PhD selaku pembimbing I, Agung Mataram, ST, MT, PhD selaku pembimbing II, Prof. Ir. Riman Sipahutar, MSc, PhD selaku Ketua Program Studi, seluruh Dosen dan Staf Program Studi Teknik Mesin, keluarga dan orang tua serta seluruh rekan-rekan seangkatan dan rekan-rekan dosen Polman Babel yang telah memberikan bantuan dan masukan kepada penulis.

Akhir kata, semoga tesis ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca umumnya. Amin Ya Robbal Alamin.

Palembang, 10 Desember 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.5. Keutamaan Penelitian	3
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	 4
2.1. ProsesFrais	4
2.2. CNC (<i>Computer Numerical Control</i>)	5
2.3. Elemen Dasar Kondisi Pemesinan Frais	5
2.4. Kekasaran Permukaan	6
2.5. Titanium	10
2.6. Proses Frais Pelat Tipis (<i>Thin Wall Milling</i>)	11
2.7. Penelitian-penelitian Sebelumnya	13
2.7.1. Pemesinan Pelat Tipis	13
2.7.2. Pemesinan Titanium	14

2.8. Perangkat Lunak Design Expert 7	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Diagram Alir Penelitian	19
3.2. Material dan Pahat	20
3.2.1. Material	20
3.2.2. Pahat	21
3.3. Peralatan Pengujian.....	21
3.3.1. Mesin CNC Milling	21
3.3.2. Alat Ukur Surface Rougness Tester	23
3.4. Desain Eksperimen	23
3.5. Response Surface Methodology	26
3.6. Prosedur Pelaksanaan Percobaan	29
3.7. Pengukuran Kekasaran Permukaan	29
3.8. Hasil Yang Diharapkan	30
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Hasil Pengujian	31
4.1.1. Proses Pengambilan Data	31
4.1.2. Hasil Pengukuran Kekerasan Permukaan	34
4.1.3 Pengembangan Model Matematika Empiris Pertama Menggunakan Model Linier	36
4.1.3 Pengembangan Model Matematika Empiris Pertama Menggunakan Model 2F1	37
4.1.3 Pengembangan Model Matematika Empiris Pertama Menggunakan Model Kuadrat	38
4.1.3. Analisa Kekerasan Permukaan Respon.....	39
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1. Kesimpulan.....	45
5.2. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	47
DAFTAR LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Angka Kekasaran Menurut Iso Atau Din 4763: 1981	9
Tabel 3.1. <i>Chemical Composition Of Ti6al4v (Wt %)</i>	20
Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin Frais Cnc	22
Tabel 3.3 Variabel Bebas Dari Ti6al4v	24
Tabel 3.4 Tabel Pengumpulan Data Menurut CCD	25
Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan.....	34
Tabel 4.2 Anova Dari Model Linier	36
Tabel 4.3 Anova Dari Model 2F1	37
Tabel 4.6 Anova Dari Model Kuadrat	38

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses <i>End Milling</i>	4
Gambar 2.2 Parameter Kekasaran Permukaan	7
Gambar 2.3 Pengaruh Laju Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan	8
Gambar 2.4 Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Kekasaran Permukaan	9
Gambar 2.5 <i>Compressor Turbine Blades</i>	11
Gambar 2.6 Dimensi <i>Compressor Gas Turbine Blades</i>	12
Gambar 2.7 Teknik Pemotongan Pelat Tipis	13
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Pengujian	19
Gambar 3.2 Benda kerja	20
Gambar 3.3 Pahat	21
Gambar 3.4 Mesin Frais CNC Deckel Maho DMC 835 V M	22
Gambar 3.5 Alat Ukur Kekasaran Accretech Handysurf model E-35A	23
Gambar 3.6 Desain CCD	24
Gambar 3.7 Posisi Titik Pengukuran Kekasaran Permukaan	30
Gambar 4.1 Proses Pembuatan Alat Bantu Pencekaman	31
Gambar 4.2 Gambar Kerja Alat Bantu Pencekaman Benda	32
Gambar 4.3 Proses Pencekaman Benda Kerja	32
Gambar 4.4 Pengaturan Titik Nol Benda Kerja	33
Gambar 4.5 Proses Pemotongan di Frais CNC	33
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan	35
Gambar 4.7 3D Permukaan Respon Model 2F1 (R_a vs. V_c and f_z)	40
Gambar 4.8 3D Permukaan Respon Model 2F1 (R_a vs. V_c and a_{rad})	41
Gambar 4.9 3D Permukaan Respon Model 2F1 (R_a vs. V_c and a_{axial})	41
Gambar 4.10 3D Permukaan Respon Model 2F1 (R_a vs. f_z and a_{rad})	42
Gambar 4.11 3D Permukaan Respon Model 2F1 (R_a vs. F_z and a_{axial})	43
Gambar 4.12 3D Permukaan Respon Model 2F1 (R_a vs. a_{rad} and a_{axial})	43

DAFTAR SIMBOL

a_{ax}	= kedalaman pemotongan aksial (mm)
a_{rad}	= kedalaman pemotongan radial (mm)
b_0, b_j	= diperkirakan parameter model
$C_s \beta_j$	= parameter model
d	= diameter pahat (mm)
ε	= kesalahan eksperimental
fz	= laju pemakanan (mm/tooth)
k	= Jumlah variabel independen (faktor)
$\ln R_{si}$	= prediksi nilai respon
$\ln$	= logaritma natural
l_t	= panjang langkah pemotongan (mm)
n	= putaran spindel (rpm)
n_e	= total jumlah titik data
R_a	= kekasaran permukaan (μm)
R_s	= tanggapan yang diukur (<i>measured response</i>)
t_c	= waktu pemotongan (min)
Vc	= kecepatan potong (m/min)
V_f	= tingkat laju pemakanan (mm/min)
x_0	= <i>dummy variable</i>
x_{ij}	= kode variabel independen
$\hat{y}$	= prediksi (perkiraan) respon pada skala logaritmik
z	= jumlah gigi (mm)
ε'	= kesalahan perkalian acak (<i>multiplicative random error</i>)
ζ_j	= variabel independen natural

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas produk yang dianggap baik biasanya harus dilakukan dengan permintaan produk yang memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dan hasil proses manufaktur yang baik, apalagi dalam industri *aerospace* pada saat ini sedang berkembang pesat yang pada umumnya menggunakan produk berbahan paduan titanium. Untuk mendapatkan hal tersebut cukup sulit dilakukan karena penggunaan material paduan titanium sangat mahal dan harus memiliki kombinasi beberapa percobaan yang bisa diandalkan. Hal ini bertujuan untuk mengurangi hal-hal yang tidak diinginkan, sehingga efisiensi proses pemesinan yang tepat dapat menghemat waktu dan biaya.

Untuk mendapatkan kualitas produk yang dibuat, dapat menggunakan mesin perkakas dinilai dari ketelitian dimensi, geometrik (bentuk) dan kekasaran permukaan (*surface roughness*). Mesin perkakas tersebut terdiri atas mesin perkakas konvensional dan mesin perkakas CNC (*Computer Numerical Control*). Sesuai kelebihan yang dimiliki mesin perkakas CNC (lebih teliti, lebih tepat, produktif dan kompleksitas tinggi), maka sudah tentu komponen yang dihasilkan akan memiliki kualitas yang lebih tinggi dari mesin perkakas konvensional (Rochim, 2007).

Proses pemesinan pemotongan pelat tipis pada *compressor gas turbine blade* berbahan paduan TiA16V4 dengan menggunakan pahat *polycrystalline cubic diamond (PCD)* dapat dilakukan dengan sukses. Umur pahat sangat panjang yaitu $T = 381$ menit dengan kecepatan potong (V_c) = 110 m/menit, laju pemakanan (f_z) = 0,135 mm/tooth, kedalaman potongan aksial (a_e) = 0,2 mm, kedalaman pemotongan radial (a_e) = 5 mm, menggunakan pendingin minyak 7% dan air menghasilkan kekasaran permukaan rendah (Kuljanic, et al., 1998).

Pemotongan paduan Titanium berukuran tipis dengan metode pencekaman menggunakan klem pada benda kerja merupakan metode yang efektif untuk mengurangi deformasi. Pahat yang digunakan TC4 40 x 6 mm dengan kecepatan

potong (V_c) antara 24 sampai dengan 94 m/menit, kedalaman pemotongan (a_e) = 0,3 sampai dengan 4 mm, laju pemakanan (f_z) = 0,02 sampai dengan 0,10 mm/tooth (Guimu, et al., 2003).

Paduan Titanium banyak digunakan dalam industri *aerospace*, karena memiliki kekuatan tarik tinggi untuk rasio berat dan ringan. Selama proses pemesinan, paduan Titanium memiliki konduktivitas termal rendah, konsentrasi akan terjadi pada pahat menjadi lebih panas dan kasar. Panas yang dihasilkan meningkatkan suhu pahat dan mempengaruhi integritas permukaan benda kerja dan juga menyebabkan keausan pahat. Dalam penelitiannya percobaan telah dilakukan dalam kondisi pemotongan kering. Kecepatan potong (V_c) yang dipilih adalah 120, 150 dan 180 m/menit, laju pemakanan (f_z) = 0,075 mm/tooth dan menggunakan pahat *insert* tunggal dengan kedalaman pemotongan (a_e) = 0,5 mm sampai 1 mm menghasilkan kekasaran permukaan dari 0,27 sampai 0,45 μm menunjukkan nilai yang sangat cocok untuk menyelesaikan proses pemesinan material paduan Titanium sesuai dengan standar yang dibutuhkan (Krishnaraj, et al., 2014).

Berdasarkan penelitian yang telah disebutkan di atas, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan kondisi-kondisi optimum lainnya, perlu dilakukannya penentuan *setting* variabel proses pemesinan yang tepat dari penelitian sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan hasil dari *literature review* di atas, analisa akan dirumuskan pada penentuan *setting* variabel yang tepat dari parameter-parameter proses pemotongan pelat tipis apakah kinerja pahat yang digunakan akan mendapatkan kekasaran permukaan yang terendah.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan supaya penelitian dapat berjalan secara fokus dan serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Mesin Frais CNC merek Deckel Maho DMC 835 V,
2. Material yang digunakan Ti6Al4V,
3. Pahat yang digunakan Carbida diameter 10 mm merek Sandvik,
4. Parameter pemesinan yang terdiri dari kecepatan potong (*cutting speed*), laju pemakanan (*feed rate*), kedalaman pemotongan radial dan aksial (*radial and axial depth of cut*),
5. Efek dari kondisi pemesinan yang tepat terhadap kekasaran permukaan (R_a) pada proses pemesinan pelat tipis.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan perumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Menemukan kondisi pemesinan untuk memperoleh kekasaran permukaan yang terendah memenuhi kebutuhan industri,
2. Mengetahui pengaruh kecepatan potong, laju pemakanan dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada proses frais pelat tipis dari material Ti6Al4V menggunakan pahat karbida.

1.5 Keutamaan Penelitian

Keutamaan penelitian yang akan didapatkan adalah untuk memberikan masukan mengenai penggunaan mesin frais CNC agar mampu menghasilkan *output* produk dengan kekasaran permukaan yang dibutuhkan dan sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenis dalam rangka pengembangan pengetahuan tentang optimasi kondisi pemotongan pada proses frais CNC terutama untuk pemotongan Ti-6Al-4V.

DAFTAR PUSTAKA

- Alauddin, M., Baradie, M. & Hashm, M., 1995. Computer-Aided Analysis Of A Surface-Roughness Model For End Milling. *Journal of Materials Processing Technology* 55 , pp.123-27.
- Ali, M.H., Khidhir, B.A., Ansari, M.N.M. & Mohamed, B., 2013. FEM To Predict The Effect Of Feed Rate On Surface Roughness. *HBRC Journal*, pp.263–69.
- Boothroyd, 1975. *Fundamental of Metal machining and Machine Tool*. 1st ed. Hemisphere Publishing Co.
- Cheng, Y. et al., 2015. Study on Simulation of Machining Deformation and Experiments for Thin-Walled Parts of Titanium Alloy,. *International Journal of Control Automation*, , 8 (1), p. 401 – 410.
- Dogra, M. & Sharma, V. S., 2012. Mechinability ann Surface Quality Ussues in Finish Turning of Harcened Stell With Coated Carbide and CBN Tools. *Materials ang Manufacturing Processes*, 27(10), pp. 1110-1117.
- Gang, L., 2009. Study on deformation of titanium thin-walled. *College of Mechanical and Energy Engineering, Zhejiang University*.
- Guimu, Z., Chao, Y., Chen, S.R. & Libao, A., 2003. Experimental Study On The Milling Of Thin Parts Of Titanium Alloy (TC4). *Journal of Materials Processing Technology Volume 138, Issues 1–3, 20 July 2003*, , pp.Pages 489–493.
- Ginting, A., 2008. Pemesinan Ramah Lingkungan Bahan Aero-Angkasa Paduan Titanium Menggunakan Pahat Karbida. *USU e-Repository*.
- Harona, C. J. A., 2004. The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti–6% Al–4% V. *Journal of Materials Processing Technology Volume 166, Issue 2, 1 August 2005*, p. Pages 188–192.

- Huang, P. L., Li., J. F., Sun, J. & Zhou, J., 2013. Study on Performance in Dry Milling Aero nautical Titanium alloy Thin-Wall Components with Two Type of Tools,. *Journal Cleaner Production*,, Volume 67 , p. 258 – 264.
- Izamshah, R. R. A., 2011. Hybrid Deflection Prediction for Machining Thin-Wall Titanium Alloy Aerospace Component,. *Thesis of Doctor Philosophy, School of Aerospace, mechanical and manufacturing Engineering, RMIT University*.
- Jawaid, A., Sharif, S. & Koksai, S., 2000. Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy. *Journal of Materials Processing Technology Volume 99, Issues 1–3, 1 March 2000*, p. Pages 266–274.
- Kadrigama, K. et al., 2008. Optimization of Surface Roughness in End Milling on Mould Aluminium Alloys (AA6061-T6) Using Response Surface Method and Radian Basis Function Network. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Volume 2, Number 4, December. 2008 ISSN 1995-6665*, pp.Pages 209- 214.
- Kalpajian, S., 2001. Peason Education. *Manufacturing Engineering And Technology*.
- Krishnaraj, V., Samsudeensadham, S., Sindhumathi, R. & Kuppan, P., 2014. A Study On High Speed End Milling Of Titanium Alloy. *Procedia Engineering*, 97, pp.251 – 257.
- Kuljanic, E., L, M.F. & Miani, F., 1998. Milling Titanium Compressor Blades with PCD Cutter. *CIPR Annal - Manufacturing Technology*, 47(1), pp.61-64.
- Leyens, C. & Peter, M., 2003. *Titanium and Titanium Alloy*. Wiley: VCH Verlag GmbH.
- Mailer, 1998. *Petunjuk pemrograman – pelayanan EMCO TU -3A*. Austria: Penerbit Pabrik Mesin Khusus.

- Mhamdia, M., Boujelbenea, M., Bayraktara, E. & Zghalb, A., 2012. Surface Integrity of Titanium Alloy Ti-6Al-4V in Ball end milling. *Physics Procedia* 25 (2012), pp.355 – 362.
- Ming, L., Jing, W., Baohai, W. & Dinghua, Z., 2016. Effects of Cutting Parameters on Tool Insert Wear in End Milling of Titanium Alloy Ti6Al4V. *Chinese Journal Of Mechanical Engineering*.
- Mohrui, A. S, 2008. Performance Evaluation Of Uncoated And Coated Carbide Tools When End Milling Of Titanium Alloy Using Response Surface Methodology. *Faculty of Mechanical Engineering*.
- Montgomery, D. C., 2008. *Douglas C. Montgomery-Design and Analysis of Experiments*. New York: s.n.
- Montgomery, D., 1997. *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley and Sons.
- Muthukrishnan, N. & Davim, P., 2011. Influence of Coolant in Machinability of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V). *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 2011, pp.9-14.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C. & Anderson-Cook, C. M., 2009. *Response Surface Methodology*. New Jersey: Simultaneously in Canada.
- Polishetty, A., Moshe Goldberg, M., Littlefair, G.,Puttaraju, M., Patile, P., Akshay, Kalra., 2014. A Preliminary Assessment Of Machinability Of Titanium Alloy Ti 6al 4v During Thin Wall Machining Using Trochoidal Milling. *Procedia Engineering* 97 (2014), pp.357 – 364.
- Ramesh, S., Karunamoorthy, L. & K. Palanikumar, 2008. Surface Roughness Analysis in Machining of Titanium Alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, Volume 23, p. 174–181.
- Ramesh, S., Karunamoorthy, L. & Ramakrishnan, R., 2006. Modeling for Prediction of Surface Roughness in Machining of Ti64 Alloy by CVD Coated Inserts;. *Proceedings of International Conference on Advances in*

Materials Processing and Characterisation (AMPC2006), Anna University, Chennai, India,, Volume Aug. 29-30, p. pp. 253–261

Ribeiro, M., Moreira, M. & Ferreira, J., 2003. Optimization of titanium alloy (6Al–4V) machining. *Journal of Materials Processing Technology* 143-144 (2003), pp.458–63.

Rochim, 2007. *Spesifikasi Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Bandung, Penerbit ITB Bandung.

Safari, H., Sharif, S. & Izman, S., 2013. Influence of Cutting Conditions on Surface and Sub-Surface Quality of High Speed Dry End Milling Ti-6Al-4V. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* April 2015, Volume 78, Issue 1, pp.pp 651-657.

Sandvik, C., 2016. *Shoulder Milling Thin Walls*, , Accessed 28th February 2016: http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application_overview/shoulder_milling/shoulder_milling_thin_walls.

Seguy, S., Dessein, G. & Arnaud, L., 2008. Surface Roughness Variation Of Thin Wall Milling, Related To Modal Interactions. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48, pp.261-74.

Sehgal, A. K. & Meenu, 2014. Application of Artificial Neural Network in Surface Roughness Prediction Considering Mean Square Error as Performance Measure. *International Journal of Engineering and Technical Research*.

Sharif, S., Mohruni, A. S. , Noordin., M. & Venkatesh, V., 2006. *Proceedings of ICOMAST 2006a, International Conference on Manufacturing Science and Technology*, pp. 55-58.

Sharif, S., Safari, H. & Izman, S., 2013. Influence of Cutting Conditions on Surface and Sub-Surface Quality of High Speed Dry End Milling Ti-6Al-4V. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* April 2015, Volume 78, Issue 1, pp. pp 651-657.

- Sheik, G.M. & Manivannan, P., 2015. Computational Analysis of Compressor. *International Journal of Innovative Research in Science*, 4(3), pp.1131-38.
- Shi, Q. et al., 2013. Exspermental study high speed milling of Titanium aloy TC 21. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 49-54.
- Su, Y., He, L., Li, L. & 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, pp.760–766.
- Sun, J. & Guo, Y., 2009. A comprehensive experimental study on surface integrity by end milling Ti–6Al–4 V,. *Journal of Materials Processing Technology Volume 209, Issue 8, 21 April 2009*, p. Pages 4036–4042.
- Sadik, M. I., Isakson, S., Malakizadi, A. & Lars Nyborg, 2016. Influence of coolant flow rate on tool life and wear development in cryogenic and wet milling of Ti-6Al-4V. *Procedia CIRP* 46 , p. 91 – 94
- Thakur, D., Ramamoorthy, B. & Vijayaraghavan, L., 2012. Some Investigations on High Speed Dry Machining of Aerospace Material Inconel 718 Using Multicoaten Carbide Inserts. *Material and Manufacturing Processes*, 27(10), pp. 1066-1072.
- Yazdi, S. & Khorram, 2010. Modeling and Optimization of Milling Processby using RSM and ANN Methods. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, Vol.2, No.5, October 2010 ISSN, pp.1793-8236.
- Zain, A. M., Haron, H. & Sharif, S., 2009a. Artificial Neural Network for Predicting machining Performance of Uncoated Carbide (WC-Co) in Milling Machining Operation. *International Conference on Computer Technology and Development*, p. 76 – 80.