

SKRIPSI
ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PEMBUBUTAN TITANIUM MENGGUNAKAN
SISTEM PENDINGINAN KRIOGENIK



ERLAN WAHYU ERISTA

03051381320006

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2021

SKRIPSI

**ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PEMBUBUTAN TITANIUM MENGGUNAKAN
SISTEM PENDINGINAN KRIOGENIK**

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



**OLEH
ERLAN WAHYU ERISTA
03051381320006**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA PEMBUBUTAN TITANIUM MENGGUNAKAN SISTEM PENDINGINAN KRIOGENIK

SKRIPSI

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

Oleh:


ERLAN WAHYU ERISTA
03051381320006



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, ST, M.Eng, Ph.D
NIP. 197112251997021001

Palembang, Desember 2021
Pembimbing Skripsi



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

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

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

SKRIPSI

**Nama : ERLAN WAHYU ERISTA
NIM : 03051381320006
Jurusan : TEKNIK MESIN
Judul Skripsi : ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PEMBUBUTAN TITANIUM MENGGUNAKAN
SISTEM PENDINGINAN KRIOGENIK**

**Dibuat Tanggal : Agustus 2017
Selesai Tanggal : Juli 2020**



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

Palembang, Desember 2021
Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

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

HALAMAN PERSETUJUAN

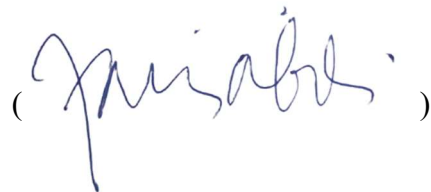
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “**Analisis Kekasaran Permukaan Pada Pembubutan Titanium Menggunakan Sistem Pendinginan Kriogenik**”. telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 29 Juli 2020

Palembang, Desember 2021

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Ir. H. Zainal Abidin, MT
NIP. 195809101986021001

()

Anggota :

2. Muhammad Yanis, ST, MT
NIP. 197002281994121001

()

3. Ismail Thamrin, S.T, M.T
NIP. 197209021997021001

()



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

Pembimbing Skripsi



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

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Erlan Wahyu Erista

NIM : 03051381320006

Judul : Analisis Kekasaran Permukaan Pada Pembubutan Titanium Menggunakan Sistem 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.

Palembang, Desember 2021



Erlan Wahyu Erista
NIM. 03051381320006

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Erlan Wahyu Erista

NIM : 03051381320006

Judul : Analisa Kekasaran Permukaan Pada Pembubutan Titanium Menggunakan Sistem Pendinginan Kriogenik

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 siapapun.

Palembang, Desember 2021



Erlan Wahyu Erista
NIM. 03051381320006

RINGKASAN

ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN PADA PEMBUBUTAN TITANIUM MENGUNAKAN SISTEM PENDINGINAN KRIOGENIK

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, Juli 2020

Erlan Wahyu Erista; Dibimbing oleh Dipl.-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D

Surface Roughness Analysis In Titanium Turning Using Cryogenic Cooling System

XXVII + 47 Halaman, 6 Tabel, 35 Bagan, 1 Lampiran

Kualitas permukaan merupakan faktor penting dalam evaluasi produktivitas pahat mesin, oleh karena itu, penting untuk mencapai toleransi dan penyelesaian permukaan yang konsisten. selain itu juga dapat mempengaruhi kinerja bagian mekanik dan biaya produksi. Salah satu indikator dalam mengukur kualitas permukaan yaitu kekasaran permukaan yang mana adalah salah satu hasil utama dari parameter proses seperti geometri pahat, kondisi pemotongan, dan kedalaman pemotongan. Operasi pembubutan pada penelitian ini menggunakan simulasi tiga dimensi (3D) berbasis metode elemen hingga dengan menggunakan bantuan Software Deform-3D. Untuk nilai kekasaran permukaan didapatkan dengan cara menggunakan metode alternatif yaitu menggunakan indikasi pergerakan atau getaran dari moving point yang dipasang sepanjang benda kerja selama proses pemotongan atau pemodelan, dikarenakan Software Deform-3D tidak memiliki keluaran (output) nilai kekasaran permukaan. Hasil perhitungan pergerakan point tersebut didapatkan nilai kekasaran permukaan untuk kecepatan potong 350 m/min

yaitu 4,1079E-01 mm, dan untuk kecepatan potong 450 m/min yaitu 3,2178E-01 mm, serta kecepatan potong 550 m/min yaitu 3,7388E-01 mm. Perhitungan ini rentan akan kesalahan atau tidak validnya nilai, dikarenakan pemodelan ini berbeda dengan proses perhitungan dengan cara ekperimental, hal ini dikarenakan bentuk benda kerja dan chip yang diperoleh saat awal dan akhir pemotongan akan memberikan signifikan nilai yang berbeda daripada saat pertengahan pemotongan/pemodelan.

Kata Kunci: Kekasaran Permukaan, Deform-3D, Titanium Ti-6Al-4V, Kualitas Permukaan.

SUMMARY

SURFACE ROUGHNESS ANALYSIS IN TITANIUM TURNING USING CRYOGENIC COOLING SYSTEM

Scientific papers in the form of Thesis, Juli 2020

Erlan Wahyu Erista; Supervised Dipl.-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D

Analisa kekasaran permukaan pada pembubutan titanium menggunakan system pendinginan kriogenik

XXVII + 47 Page, 6 Table, 35 Picture, 1 Attachement

SUMMARY

Surface quality is an important factor in the evaluation of machine tool productivity, therefore, it is important to achieve consistent tolerances and surface finishes. besides that, it can also affect the performance of mechanical parts and production costs. One of the indicators in measuring surface quality is surface roughness which is one of the main results of process parameters such as tool geometry, cutting conditions, and cutting depth. The turning operation in this study uses a three-dimensional (3D) simulation based on the finite element method using the Deform-3D Software. The surface roughness value is obtained by using an alternative method, namely using an indication of movement or vibration from moving points that are installed along the workpiece during the cutting or modeling process, because the Deform-3D Software does not have an output surface roughness value. The results of the calculation of the movement of the point obtained that the surface roughness value for a cutting speed of 350 m/min is 4.1079E-01 mm, and for a cutting speed of 450 m/min is 3.2178E-01 mm, and a cutting speed of 550 m/min is 3, 7388E-01mm. This calculation is prone to errors or invalid values because this modeling is different from the calculation process in an experimental way, this is because the shape of the workpiece and chip obtained at the beginning and end of cutting will give significantly different values than during the middle of cutting/modeling..

Kata Kunci: *Surface Roughness, Deform-3D, Titanium Ti-6Al-4V, Surface Quality*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur kehadiran ALLAH SWT karena dengan rahmat dan karunia-Nya Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik, yang berjudul **“Analisis Kekasaran Permukaan Pada Pembubutan Titanium Menggunakan Sistem Pendinginan Kriogenik”**.

Pada kesempatan ini, Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih atas bimbingan serta bantuan dari pihak-pihak yang ikut terlibat dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu antara lain:

1. Orang tua dan keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan moral, semangat, materi serta do'anya yang tulus sehingga penulisan skripsi ini berjalan dengan baik.
2. Bapak Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Amir Arifin, S.T, M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dipl.-Ing. Ir. Amrifan Saladin M, Phd selaku dosen pembimbing skripsi
5. Bapak Ismail Thamrin, S.T, M.T dan Kakak Muhammad Zahir, S.T, M.T serta para Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah membekali saya dengan ilmu yang bermanfaat untuk menyusun Skripsi ini.
6. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sriwijaya dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya

Tentunya skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk membantu dalam perbaikan. Akhir kata semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa akan datang.

Palembang, Desember 2021
Erlan Wahyu Erista

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	v
Halaman Persetujuan	ix
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi.....	xi
Halaman Pernyataan Integritas	xiii
Ringkasan.....	xv
Summary	xvii
Kata Pengantar	xix
Daftar isi.....	xxi
Daftar Gambar.....	xxv
Daftar Tabel	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proses Pembubutan	5
2.2 Parameter Pembubutan	6
2.2.1 Kecepatan Potong (<i>Cutting Speed</i>).....	7
2.2.2 Kecepatan Pemakanan (Feeding)	7
2.2.3 Kedalaman Pemotongan (<i>Depth Of Cut</i>).....	8
2.3 Pahat Potong (<i>Cutting Tools</i>).....	8
2.3.1 Pahat Dengan Satu Titik Potong (<i>Single Point Cutting Tools</i>)	8

2.3.2 Pahat Bertitik Potong Ganda (<i>Multiple Point Cutting Tools</i>).....	9
2.3.3 Roda Pengamplas (<i>Abrasive Wheels</i>)	10
2.4 Material Pahat Potong Dan Material Benda Kerja	10
2.5 Pahat Karbida	11
2.5.1 Klasifikasi Karbida	11
2.6 Titanium.....	13
2.7 Gaya Pemotongan.....	13
2.7.1 Pemotongan Tegak (<i>Orthogonal Cutting</i>)	14
2.7.2 Pemotongan Miring (<i>Oblique</i>).....	14
2.8 Teknik Pendinginan Kriogenik.....	15
2.8.1 Bahan Kriogenik	15
2.8.2 Proses Pendinginan Kriogenik	16
2.9 Kekasaran Permukaan	17
2.9.1 Kekasaran Permukaan Ideal.....	17
2.9.2 Kekasaran Permukaan Alami.....	18
2.9.3 Rumus Perhitungan Kekasaran Permukaan	19
2.10 Metode Elemen Hingga	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.2 Tahapan Penelitian	24
3.3 Diagram Alir Analisa Elemen Hingga.....	24
3.4 Tahapan Analisa Elemen Hingga	25
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Pembahasan	27
4.2 Hasil Pemodelan	29
BAB 5 PENUTUP.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pembubutan	5
Gambar 2.2 Skematik Pembentukan Chip	6
Gambar 2.3 Pahat Dengan Satu Titik Potong (<i>Single Point Cutting Tools</i>)	9
Gambar 2.4 Pahat Bertitik Potong Ganda (<i>Multiple Point Cutting Tools</i>)	9
Gambar 2.5 Roda Pengamplas (<i>Abrasive Wheels</i>)	10
Gambar 2.6 Gaya Pemotongan Tegak (<i>Orthogonal Cutting</i>)	14
Gambar 2.7 Gaya Pemotongan Miring (<i>Oblique Cutting</i>)	14
Gambar 2.8 Proses Pemesinan Kriogenik	17
Gambar 2.9 Kekasaran Permukaan Ideal	18
Gambar 2.10 Contoh Profil Permukaan Benda Kerja	19
Gambar 2.11 Profil Kekasaran Permukaan	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Analisa Elemen Hingga	25
Gambar 4.1 Kondisi Pemodelan dan Tipe Material	27
Gambar 4.2 Kondisi batas benda kerja (a) Tumpuan pada Sb.Y (b) Tumpuan pada Sb.X (c) Tumpuan pada Sb.Z	28
Gambar 4.3 Kondisi Proses Pemodelan Dry dan SCCO2	28
Gambar 4.4 Hasil Pemodelan menggunakan DEFORM-3D	29
Gambar 4.5 Penempatan Moving Point P1 dan P2	30
Gambar 4.6 Grafik P1 dan P2 pada kecepatan potong 350 m/min	30
Gambar 4.7 Penentuan moving point setelah validasi	31
Gambar 4.8 Hasil nilai koordinat moving point P2, $V_c = 350$ m/min	32
Gambar 4.9 Hasil nilai koordinat moving point P4, $V_c = 350$ m/min	32
Gambar 4.10 Hasil nilai koordinat moving point P5, $V_c = 350$ m/min	33
Gambar 4.11 Hasil nilai koordinat moving point P6, $V_c = 350$ m/min	33
Gambar 4.12 Hasil nilai koordinat moving point P7, $V_c = 350$ m/min	34
Gambar 4.13 Hasil nilai koordinat moving point P2, $V_c = 450$ m/min	35
Gambar 4.14 Hasil nilai koordinat moving point P4, $V_c = 450$ m/min	35
Gambar 4.15 Hasil nilai koordinat moving point P5, $V_c = 450$ m/min	36

Gambar 4.16 Hasil nilai koordinat moving point P6, $V_c = 450$ m/min	36
Gambar 4.17 Hasil nilai koordinat moving point P7, $V_c = 450$ m/min	37
Gambar 4.18 Hasil nilai koordinat moving point P2, $V_c = 550$ m/min	38
Gambar 4.19 Hasil nilai koordinat moving point P4, $V_c = 550$ m/min	38
Gambar 4.20 Hasil nilai koordinat moving point P5, $V_c = 550$ m/min	39
Gambar 4.21 Hasil nilai koordinat moving point P6, $V_c = 550$ m/min	39
Gambar 4.22 Hasil nilai koordinat moving point P7, $V_c = 550$ m/min	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kondisi Batas Pemesinan.....	26
Tabel 4.1 Hasil ratio pada moving point P1 dan P2.....	31
Tabel 4.2 Hasil nilai kekasaran pada kecepatan potong 350 m/min.....	34
Tabel 4.3 Hasil nilai kekasaran pada kecepatan potong 450 m/min.....	37
Tabel 4.4 Hasil nilai kekasaran pada kecepatan potong 550 m/min.....	40
Tabel 4.5 Hasil nilai maksimum kekasaran pada tiga variabel kecepatan potong 350, 450 dan 550 m/min.....	41

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tujuan industri manufaktur adalah untuk memproduksi produk berbiaya rendah dan bermutu tinggi dalam waktu singkat. dari tujuan itulah sistem manufaktur otomatis dan fleksibel digunakan, bersama dengan peralatan mesin Kontrol Numerik Terkomputerisasi (CNC) yang telah menjadi sangat umum di pabrik dan mampu mencapai akurasi tinggi dengan waktu pemrosesan yang sangat singkat.

Pembubutan adalah metode pertama dan paling umum yang digunakan untuk pemotongan, terutama untuk proses pemesinan komponen - komponen mesin. dalam proses pemesinan suatu komponen mesin, kualitas permukaan adalah salah satu persyaratan yang paling ditentukan. Dimana indikasi utama kualitas permukaan adalah kekasaran permukaan.

Kekasaran permukaan adalah salah satu hasil utama parameter proses seperti Geometri Pahat (*Nose Radius, Geometri Tepi, Dan Rak Angle*), Kondisi Pemotongan (Kecepatan Pemakanan, Kecepatan Pemotongan, Dan Kedalaman Pemotongan). kualitas permukaan merupakan faktor penting dalam evaluasi produktivitas pahat mesin, oleh karena itu, penting untuk mencapai toleransi dan penyelesaian permukaan yang konsisten. selain itu juga karakter ini juga dapat mempengaruhi kinerja bagian mekanik dan biaya produksi. (Makadia and Nanavati, 2014)

Pada saat ini titanium (Ti-6Al-4V) telah umum digunakan dalam proses manufaktur modern karena titanium dan paduan titanium memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi pada suhu yang lebih tinggi, tahan patah dan tahan korosi (Nithyanandam, Das and Palanikumar, 2015). Karena itulah Varian α - β dari paduan titanium ini pada industri global penggunaannya mencapai 50%, 80% pada industri kedirgantaraan, dan medis (Shokrani, Dhokia and Newman, 2016).

Namun paduan titanium juga sering diklasifikasikan ke dalam bahan yang sulit dilakukan proses pemesinan karena konduktivitas termalnya yang rendah. (Revankar *et al.*, 2013) selain itu juga konduktivitas termal yang buruk menyebabkan peningkatan suhu lokal yang melebihi 1000 °C pada ujung alat yang mengarah ke gradien termal tinggi yang menyebabkan pengelasan, difusi, dan pengurangan kekerasan pada alat potong. (Shokrani, Dhokia and Newman, 2016) Dari banyak bahan yang tersedia, bahan pahat yang dinilai oleh banyak peneliti sebagai bahan yang cukup baik digunakan untuk pemesinan paduan titanium adalah pahat karbida (WC-Co). Dengan cara dilakukan pemesinan basah (pemotongan dengan menggunakan cairan pendingin) atau dengan pemesinan kriogenik. (Ginting, 2006)

Penggunaan cairan pemotong pada tekanan tinggi adalah salah satu teknik umum yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan pemesinan paduan titanium, cairan pemotong digunakan untuk melumasi zona pemotongan dan mengurangi suhu pemotongan. Namun, cairan pemotong diidentifikasi sebagai zat berbahaya pada lingkungan dan bagi kesehatan, selain itu juga meningkatnya peraturan pemerintah untuk penggunaan, perawatan, dan pembuangan cairan pemotong telah mengakibatkan peningkatan biaya yang terkait dengan penggunaan cairan pemotong.

Proses pemesinan kriogenik adalah proses pemesinan menggunakan cairan pendingin nitrogen cair atau juga bisa menggunakan superkritis karbondioksida (SCCO₂) yang disemprotkan dengan tekanan tinggi melalui jet yang berguna untuk proses pemesinan pada bahan yang memiliki kekuatan material yang tinggi atau sifat material yang keras seperti material titanium (Ti-6Al-4V), agar dapat menurunkan temperatur benda kerja dan ujung pahat sehingga dapat menjaga integritas dan kualitas permukaan benda kerja dalam proses akhir (Hong, Markus and Jeong, 2001)

Berdasarkan uraian tersebut diatas maka penulis mencoba untuk mengadakan suatu penelitian dengan judul “Analisis Kekasaran Permukaan Pada Pembubutan Titanium (Ti-6Al-4V) Menggunakan Sistem Pendinginan Kryogenik”

1.2 Rumusan Masalah

Meninjau banyaknya permasalahan yang terjadi pada industri manufaktur khususnya pada proses pemesinan yang telah dijelaskan pada latar belakang maka penelitian ini hanya membahas tentang kualitas permukaan khususnya masalah kekasaran permukaan pada proses pemesinan kriogenik, dengan Metode Permodelan 3d Berbasis Elemen Hingga Menggunakan Software 3D Deform.

1.3 Batasan Masalah

Dalam menganalisa permasalahan pada kualitas permukaan, adapun batasan masalah yang diambil yaitu:

1. Pembahasan masalah hanya pada kekasaran permukaan.
2. Material benda kerja dan jenis pahat yang digunakan masing-masing yaitu titanium (Ti-6Al-4V) dan pahat Karbida Tungsten.
3. Parameter yang digunakan yaitu kecepatan potong sebesar 350 mm/min, 450 m/min, dan 550 m/min, gerak makan sebesar 0.10 mm/rev, dan jenis gaya pemotongan yaitu Orthogonal.
4. Analisa dan simulasi yang digunakan pada proses pemesinan kriogenik menggunakan metode Permodelan 3D berbasis Elemen Hingga dan simulasi 3D Deform.
5. Validasi dilakukan dengan mengacu pada eksperimen peneliti lainnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk Menganalisa kekasaran permukaan pada Proses Pemesinan menggunakan mata pahat jenis Karbida Tungsten, benda kerja Titanium (Ti-6Al-4V) dan jenis gaya pemotongan

Orthogonal, dengan menggunakan simulasi Permodelan 3D berbasis Elemen Hingga.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui cara mengukur kualitas permukaan, khususnya Kekasaran Permukaan dari proses pembubutan Titanium (Ti-6Al-4V) dengan menggunakan metode permodelan 3D berbasis Elemen Hingga
2. Mampu menggunakan Software 3d deform untuk simulasi dan menganalisa kualitas permukaan khususnya dalam mengukur Kekasaran Permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arbizu, I. P. and Pérez, C. J. L. (2003) 'Surface roughness prediction by factorial design of experiments in turning processes', 144, pp. 390–396. doi: 10.1016/S0924-0136(03)00407-2.
- Ceretti, E. *et al.* (2000) 'Turning simulations using a three-dimensional FEM code', 98, pp. 99–103.
- Geoffrey, B. and Winston, A. K. (1989) *Fundamentals of Machining and Machine Tools, Machining: Fundamentals and Recent Advances*. doi: 10.1007/978-1-84800-213-5.
- Ginting, A. (2006) 'Karakteristik Pemotongan Ortogonal Kering Paduan Titanium Ti6Al4V Menggunakan Pahat Karbida', (Cryogenic Machining), pp. 37–43.
- Gok, K. (2015) 'Development of three-dimensional finite element model to calculate the turning processing parameters in turning operations', *MEASUREMENT*. Elsevier Ltd, 75, pp. 57–68. doi: 10.1016/j.measurement.2015.07.034.
- Groover, M. P. (2010) *Fundamentals of modern machining 4th edition*. 4th edn. Edited by M. McDonald.
- Hong, S. Y. (2001) 'Economical and Ecological Cryogenic Machining', *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 123(2), p. 331. doi: 10.1115/1.1315297.
- Hong, S. Y., Markus, I. and Jeong, W. (2001) 'New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V', 41, pp. 2245–2260.
- Jawahir, I. S. *et al.* (2016) 'Cryogenic manufacturing processes', *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. CIRP. doi: 10.1016/j.cirp.2016.06.007.
- Komvopoulos, K. and Erpenbeck, S. A. (1991) 'Finite Element Modeling of Orthogonal Metal Cutting', 113–253(August 1991).
- Makadia, A. J. and Nanavati, J. I. (2014) 'Analysis of Surface Roughness in Turning with Coated Carbide Cutting Tools : Prediction Model and Cutting Conditions Optimization', (Aimtdr), pp. 1–6.
- Nithyanandam, J., Das, S. L. and Palanikumar, K. (2015) 'Influence of Cutting Parameters in Machining of Titanium Alloy', 8(April), pp. 556–562. doi: 10.17485/ijst/2015/v8i.
- Rahdiyanta, D. (2010) *Buku 2 proses bubut (turning)*.
- Rahim, E. A. *et al.* (2016) 'Experimental Investigation of Supercritical Carbon Dioxide (SCCO 2) Performance as a Sustainable Cooling Technique', *Procedia CIRP*. Elsevier B.V., 40, pp. 637–641. doi: 10.1016/j.procir.2016.01.147.

- Revankar, G. D. *et al.* (2013) 'Response Surface Model for Surface Roughness during Finish Turning of Titanium Alloy under Minimum Quantity Lubrication', pp. 78–84.
- Rochim, T. (2007a) *klasifikasi proses pemesinan, gaya, dan daya pemesinan.*
- Rochim, T. (2007b) *perkakas dan sistem pemerkakasan.*
- Shokrani, A., Dhokia, V. and Newman, S. T. (2013) 'State-of-the-art cryogenic machining and processing', 3052(December). doi: 10.1080/0951192X.2012.749531.
- Shokrani, A., Dhokia, V. and Newman, S. T. (2016) 'Comparative investigation on using cryogenic machining in CNC milling of Ti-6Al-4V titanium alloy', 0344(July). doi: 10.1080/10910344.2016.1191953.
- Sofyan, B. T. (2016) *Pengantar Material Teknik.*
- Stalin John, M. R. *et al.* (2013) 'Finite Element Method-Based Machining Simulation for Analyzing Surface Roughness During Turning Operation with HSS and Carbide Insert Tool', *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(6), pp. 1615–1623. doi: 10.1007/s13369-013-0541-1.
- V.BALAJI *et al.* (2015) 'Review of the Cryogenic Machining in Turning and Milling Process', *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(10), pp. 38–42. doi: 10.15623/ijret.2015.0410008.