

**EVALUASI DAN ANALISA KINERJA SISTEM PAHAT PUTAR  
MODULAR UNTUK PEMESINAN PERALATAN KESEHATAN  
ORTOPEDI BERBASIS MATERIAL TITANIUM 6Al-4V ELI**

**(SKRIPSI)**

Oleh  
**FERI FARIZA**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2017**

## ABSTRAK

### EVALUASI DAN ANALISA KINERJA SISTEM PAHAT PUTAR MODULAR UNTUK PEMESINAN PERALATAN KESEHATAN ORTOPEDI BERBASIS MATERIAL TITANIUM 6Al-4V ELI

Oleh

**FERI FARIZA**

Peralatan kesehatan ortopedi umumnya adalah implan biomaterial yang ditanam pada tubuh manusia dan bereaksi baik dalam tubuh makhluk hidup, sehingga dapat menggantikan atau membantu pemulihan secara alami fungsi organ yang rusak. Saat ini titanium dan paduannya banyak digunakan untuk material peralatan kesehatan ortopedi. Beberapa keunggulan yang dimiliki material titanium yaitu tahan korosi, ringan, memiliki ketangguhan yang baik dibandingkan material lain, memiliki sifat *biokompatibel*, sifat *nonmagnetik*, serta memiliki kemampuan pasif. Namun disamping memiliki beberapa keunggulan sifat ketemesinan paduan titanium rendah. Titanium memiliki *konduktifitas termal* rendah sehingga pada proses pemesinan, panas yang dihasilkan tidak berkurang dengan cepat. Metode pemesinan ortopedi titanium yang biasanya digunakan adalah pahat bermaterial sangat keras seperti *Polycrystalline Diamond* (PCD) dan pemesinan dengan pelepasan listrik (EDM), tetapi metode jenis ini relatif mahal. Dengan menggunakan pahat putar, maka suhu pahat menurun sehingga menurunkan laju keausan pahat. Oleh karena itu, ketemesinan material ortopedi titanium dapat meningkat.

Dalam tugas akhir ini difokuskan untuk mengevaluasi dan menganalisis kinerja sistem pahat putar melalui beberapa pengujian. Pengujian meliputi: *run out* arah radial 0.096 mm dan aksial 0.036 mm, menurut ISO/R1101 masih diizinkan untuk pemesinan. Pengujian getaran menghasilkan kecepatan getaran (*velocity*) sebesar 0.4 mm/s dan masih tergolong baik untuk proses pemesinan menurut ISO-2372. Pengujian kekasaran permukaan 0.71  $\mu\text{m}$  masih dalam batas yang diizinkan menurut ISO R468 & ISO-1302.2001 untuk dapat digunakan pada implan biomaterial. Kemudian pengujian ulir dari hasil yang didapat belum sesuai standar ulir ISO-261 & 262 maupun standar ulir ortopedi.

Kata kunci: Implan biomaterial, titanium 6Al-4V ELI, pahat putar.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS AND EVALUATION OF MODULAR ROTARY TOOL SYSTEM BASED TITANIUM 6Al-4V ELI FOR MACHINING ORTHOPEDIC MEDICAL DEVICES**

**By**

**FERI FARIZA**

Orthopedic medical devices are generically biomaterials implant which is planted on human body and reacted well on living creatures, so it could replace or help the recovery of damaged organ naturally. Nowadays, most of titanium and its alloy are used to produce orthopedic medical devices. Some of superiority that titanium materials have are corrosion resistant, lightweight, durable toughness compared to other materials, biocompatibility and nonmagnetic characteristic, and also the presence of passive ability. But, besides the superiority, the machinability characteristic of titanium are low. Titanium has a low thermal conductivity, so in the machining process, the production of heat couldn't quickly decrease. Titanium orthopedical machining method that usually used are using very hardened tool like *Polycrystalline Diamond* (PCD) and machining with electrical spark (EDM), but these method are relatively expensive. Using rotary tool, the temperature of tool descended, so it could decrease the tool wear rate. Because of that, machinability of orthopedical material titanium could be increase.

In this research the focus is to evaluate and to analyze the performance of rotary tool system in some experimental tests. Experiment tests that include are : run out in the radial direction 0.096 mm and 0.036 in the axial, based on ISO/R1101 that result still permit for machining. Vibration test resulting the vibration velocity (Velocity) 0.4 mm/s and still in a good criteria for machining process, based on ISO-2372. Surface roughness 0.71  $\mu\text{m}$  was still in the permission limit based on ISO R468 & ISO-1302.2001 for used this on the biomaterial implant. Then, the thread of a screw from the result that achieved haven't appropriate with the thread of a screw standard ISO-261 & 262 even with orthopedical thread of standard screw.

**Keywords:** Biomaterial implant, 6Al-4V ELI titanium, rotary tool.

**EVALUASI DAN ANALISA KINERJA SISTEM PAHAT PUTAR  
MODULAR UNTUK PEMESINAN PERALATAN KESEHATAN  
ORTOPEDI BERBASIS MATERIAL TITANIUM 6Al-4V ELI**

**Oleh  
FERI FARIZA**

**Skripsi**

**Sebagai satu syarat untuk mencapai gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2017**

Judul Skripsi : **EVALUASI DAN ANALISA KINERJA  
SISTEM PAHAT PUTAR MODULAR  
UNTUK PEMESINAN PERALATAN  
KESEHATAN ORTOPEDI BERBASIS  
MATERIAL TITANIUM 6Al-4V ELI**

Nama Mahasiswa : **Feri Fariza**

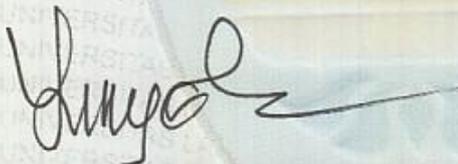
Nomor Pokok Mahasiswa : 1015021064

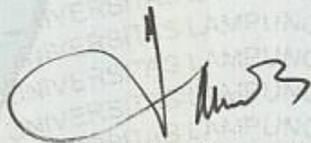
Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

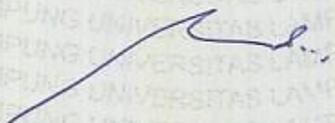
**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

  
**Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T.** NIP 19700501 200003 1 001

  
**Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.** NIP 19640506 200003 1 001

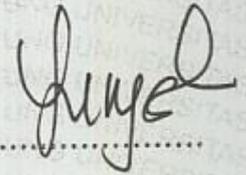
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
**Ahmad Suudi, S.T., M.T.**  
NIP 19740816 200012 1 001

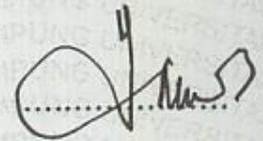
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

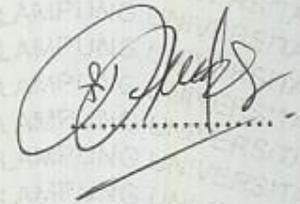
Ketua Penguji : **Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T.** .....



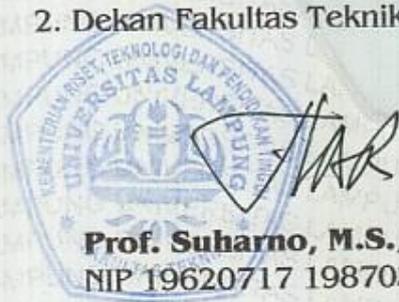
Anggota Penguji : **Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.** .....



Penguji Utama : **Achmad Yahya TP, S.T., M.T.** .....



### 2. Dekan Fakultas Teknik



**Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **25 Januari 2017**

## PERNYATAAN PENULIS

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN  
HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27  
PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT  
KEPUTUSAN REKTOR No. 3187/H26/DT/2010

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



FERI FARIZA  
NPM. 1015021064

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Astra Ksetra 06 Desember 1990, sebagai anak kedua dari empat bersaudara pasangan Bapak Sabil dan Ibu Nursimah. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak di TK Dharma Wanita Kecamatan Terbanggi Besar Kabupaten Lampung Tengah tahun 1997, menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 01 Wonokerto Kecamatan Tulang Bawang Tengah Kabupaten Tulang Bawang pada tahun 2004, menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 01 Tulang Bawang Tengah Kecamatan Tulang Bawang tengah Kabupaten Tulang Bawang pada tahun 2007, menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Negeri 02 Terbanggi Besar Kecamatan Terbanggi Besar Lampung Tengah pada Tahun 2010, dan pada tahun 2010 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Ujian Mandiri (UM).

Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif dalam organisasi internal kampus, yaitu sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Bidang Minat dan Bakat pada tahun 2011-2012, menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Bidang Dana dan Usaha pada tahun 2012-2013.

Pada bidang akademik, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Balai Mesin Perkakas, Teknik Produksi dan Otomasi (MEPPO) BPPT yang berlokasi di Serpong Tangerang Selatan pada tahun 2013. Pada tahun 2015 penulis melakukan penelitian pada bidang konsentrasi Produksi dengan judul tugas akhir “Evaluasi dan Analisa Kinerja Sistem Pahat Putar Modular Untuk Pemesinan Peralatan Kesehatan Ortopedi Berbasis Material Titanium 6Al-4V ELI” dibawah bimbingan Bapak Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T. dan Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.

Bandar Lampung, 25 Desember 2017

Penulis

**Feri Fariza**

## **MOTTO**

"Barang siapa yang mengerjakan amal shaleh, baik laki-laki maupun perempuan dalam keadaan beriman,  
maka sesungguhnya  
akan kami berikan kepadanya kehidupan yang baik"

(Q.S. An-Nahl:97)

"Dan bahwasanya seseorang manusia tidak memperoleh selain apa  
Yang telah diusahakannya"

(Q.S. An-Najm:39)

"Orang yang berkata jujur akan mendapatkan 3 hal, yaitu: KEPERCAYAAN, CINTA dan RASA HORMAT"

(Sayidina Ali Bin Thalib)

"Kegagalan adalah peluang, yang anda perlu memulai lagi dengan cara lain yang lebih cerdas"

(Henry Ford)

## ***PERSEMBAHAN***

*Dengan Kerendahan Hati meraih Ridho Illahi Robbi Kupersembahkan karya*

*Kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi*

### ***Ibu dan Ayahku***

*Kedua orang tua, Bapak Sabil dan Ibu Nursimah atas segala pengorbanan yang tak terbalaskan, doa, kesabaran, keikhlasan, cinta dan kasih sayangnya yang tidak ada putusnya.*

### ***Kakak dan Adikku***

*Kepada kakak Yondri Andizar S. An., Wiwin Dahlia Amd. Kep. kedua adik-ku Fadri Ferza dan Yersa Noviansah sebagai sumber inspirasi, semangat, keceriaan dan kebanggan dalam hidupku*

### ***Calon Pendamping Hidup***

*Senan tiasa selalu memberi motivasi dan semangat dalam belajar, berbagi waktu suka maupun duka*

### ***Dosen Teknik Mesin***

*Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran serta saran baik secara akademis maupun non akademis*

*Tim Lab. CNC dan Lab. Proses Produksi*

*Yang selalu membantu, memberikan semangat, teman belajar menuju  
keberhasilan*

*Sahabat Mesin '10*

*Yang selalu memberi semangat dan berdiri tegap disampingku saat suka maupun  
duka, berbagi nasihat dan keceriaan*

## SAN WACANA

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillahirobbilalamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan mempersembahkan judul "*Evaluasi dan Analisa Kinerja Sistem Pahat Putar Modular Untuk Pemesinan Peralatan Kesehatan Ortopedi Berbasis Material Titanium 6Al-4V ELI*" dengan sebaik-baiknya.

Shalawat beriring salam selalu tercurah kepada junjungan seluruh alam Nabi Muhammad SAW, sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari ajal menjemput.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bimbingan, motivasi dan bantuan baik moral maupun materi oleh banyak pihak. Untuk itu dengan sepenuh ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M. P, selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Prof. Suharno MS, M.Sc., PhD. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

5. Bapak Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T selaku dosen pembimbing utama tugas akhir ini, yang banyak memberikan waktu, ide pemikiran dan semangat serta motivasi bagi penulis.
6. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak memberikan waktu dan pemikiran bagi penulis.
7. Bapak Achmad Yahya, S.T., M.T. selaku dosen pembahas yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
9. Staf Akademik serta Asisten Laboratorium yang telah banyak membantu kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Untuk kedua orang tua-ku Ayahanda Sabil dan Ibunda tercinta Nursimah yang tak pernah henti-hentinya memberikan dukungan moril dan materiilnya serta doa dan kasih sayangnya. Kalian berdua sebagai motivator dan sumber inspirasi bagi saya, tiada kata yang dapat menggambarkan betapa saya sangat berterima kasih atas segala yang telah Ayahanda dan Ibunda berikan. Saya sangat bangga dan beruntung memiliki kedua orang tua seperti Ayahanda Sabil dan Ibunda Nursimah, you're my everything semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan selalu memberikan kesehatan, Amiinnn...
11. Kakak saya Yondri Andizar S.An dan Wiwin Dahlia, Amd. Kep. Yang selalu memberikan motivasi dan untuk keponakan tersayang Kenzi Agra Mahardika (panjul) yang memberikan keceriaan, semoga ken kelak jadi anak yang sholeh, berbakti kepada orang tua, dan cerdas. Amiinnnnn...

12. Kedua adik saya Fadjri Ferza dan Yersa Noviansah terimakasih telah memberikan motivasi agar menjadi contoh kakak yang lebih baik bagi kalian, harapan saya kalian berdua selalu rajin belajar agar kelak dapat melebihi kakak-kakaknya dan menjadi kebanggaan orang tua. Amiin...
13. Teruntuk kekasihku, sekaligus sahabat, adik, teman berantem, partner in crime Wenny Apriyani S. Sos, yang Insya Allah menjadi pendamping hidup ku kelak. Terima kasih sudah memberikan waktu dan semangat yang tiada henti, selalu mendampingi suka maupun duka, thank you so much and I love you to the moon and back. Semoga niat kita selalu di ridhoi oleh Allah SWT dan semoga kelak kamu menjadi istri serta ibu yang solehah. Amiin...
14. Rekan-rekan yang turut membantu dalam pelaksanaan tugas akhir. Dwi Novriadi S.T selaku rekan satu tim Tugas Akhir yang telah banyak memberikan bantuan, Salfa Adenugrah S.T, Dwi Andri Wibowo S.T, Yayang Rusdiana S.T, Rabi'ah Surrianingsih (otw) S.T, Nur Sai'in S.T, Fajar Andi Saputra S.T, Ahmad Rama Doni S.T, Dimas Risky Hermanto S.T (2011) , Rifai, Muhdi, Wahyu, Saiful (2012), Septi Susanti S.AB. terimakasih atas waktu dan tenaga yang diberikan untuk pelaksanaan tugas akhir.
15. Seluruh rekan-rekan teknik mesin khususnya rekan seperjuangan angkatan 2010 untuk kebersamaan yang telah dijalani. Tiada kata yang dapat penulis utarakan untuk mengungkapkan perasaan senang dan bangga menjadi bagian dari angkatan 2010. "Salam Solidarity Forever".
16. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

*Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Bandar Lampung, 07 Februari 2017

Penulis,

**Feri Fariza**  
**NPM. 1015021064**

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN PENULIS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>ix</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xxviii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xxix</b>

## **BAB I. PENDAHULUAN**

1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	4
1.3 Batasan masalah .....	4
1.4 Sistematika penulisan .....	5

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Proses permesinan .....	8
2.2 Proses bubut .....	9
2.2.1 Parameter proses bubut .....	9
2.2.2 Elemen dasar proses bubut .....	11
2.3 Sistem pahat putar ( <i>Rotary Tool Sistem</i> ) .....	13
2.3.1 Mekanisme pemotongan bubut dengan pahat putar .....	14
2.3.2 Suhu pemotongan pemesinan pahat putar .....	16
2.4 Titanium dan paduannya .....	19
2.4.1 Titanium paduan (6Al-4V ELI) .....	21
2.4.2 Pemesinan titanium dan paduannya .....	22
2.5 Getaran mesin perkakas .....	26
2.6 Kekasaran permukaan .....	28
2.7 Ulir .....	32
2.7.1 Hal penting pada ulir .....	33

## **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Waktu dan tempat penelitian .....	37
---------------------------------------	----

3.2 Alur penelitian .....	37
3.3 Bahan dan alat penelitian .....	39
3.3.1 Titanium paduan (6Al-4V ELI) .....	39
3.3.2 Mesin bubut konvensional .....	40
3.3.3 Sistem pahat putar modular ( <i>Rotary Tool System</i> ) .....	41
3.3.4 <i>Regulator</i> .....	43
3.3.5 <i>Dial indicator</i> .....	43
3.3.6 <i>Vibration meter</i> .....	44
3.3.7 <i>Surface tester</i> .....	45
3.3.8 Mikroskop USB .....	45
3.3.9 <i>Profile proyektor</i> .....	46
3.4 Prosedur penelitian .....	46
3.4.1 Persiapan alat dan bahan .....	46
3.4.2 Set-up pemesinan titanium 6Al-4V ELI .....	47
3.5 Proses pengujian perangkat modul pemesinan .....	48
3.5.1 Proses pengujian <i>run out</i> putaran pahat .....	48
3.5.2 Proses pengujian kecepatan getar ( <i>Velocity</i> ) .....	49
3.6 Pengujian kinerja pemesinan .....	50
3.6.1 Proses pengujian kekasaran permukaan .....	51
3.6.2 Proses pengujian <i>mill cutter</i> .....	52
3.6.3 Proses pemesinan spesimen dengan pahat diam .....	52
3.6.4 Proses pemesinan spesimen dengan <i>mill cutter</i> .....	53
3.6.5 Proses pengukuran diameter mayor dan minor .....	54
3.6.6 Proses pengukuran sudut ulir .....	55

3.6.7 Proses pengukuran kesalahan <i>pitch</i> ulir .....	57
3.7 Parameter pemesinan sistem pahat putar modular .....	59
3.7.1 Parameter pemesinan <i>round cutter</i> .....	59
3.7.2 Parameter pembubutan ulir dengan pahat diam .....	59
3.7.3 Parameter pembubutan ulir dengan <i>mill cutter</i> .....	60
3.8 Analisa data pengujian sistem pahat putar modular .....	60

#### **BAB IV. DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pengujian sistem pahat putar modular .....	64
4.2 Pengujian perangkat modul pemesinan .....	64
4.2.1 Pengujian <i>run out</i> sistem pahat putar ( <i>Round Cutter</i> ) .....	64
4.2.2 Pembahasan <i>run out</i> poros pahat putar arah radial dan akasial .....	66
4.2.3 Pengujian getaran sistem pahat putar modular .....	68
4.2.4 Pembahasan getaran sistem pahat putar modular .....	70
4.3. Pengujian hasil pemesinan sistem pahat putar modular .....	73
4.3.1 Pengujian kekasaran permukaan .....	73
4.3.2 Pembahasan kekasaran permukaan .....	74
4.3.3 Pembuatan bentuk ulir dengan <i>mill cutter</i> .....	78
4.3.4 Pengujian bentuk ulir hasil pemesinan dengan pahat diam .....	79
a. Pengujian diameter mayor dan minor ulir .....	79
b. Pengujian sudut ulir .....	80
c. Pengujian kesalahan <i>pitch</i> ulir .....	81
4.3.5 Pembahasan geometri ulir dengan pahat diam	

terhadap ulir standar M6 .....	82
4.3.6 Pengujian bentuk ulir hasil pemesinan dengan pahat berputar .....	83
4.4 Pengembangan <i>mill cutter</i> .....	86

## **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	90
5.2 Saran .....	91

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.1.</b> Ilustrasi pemesinan bubut dengan pahat putar .....	3
<b>Gambar 2.1.</b> Ilustrasi proses mesin bubut .....	9
<b>Gambar 2.2.</b> Parameter proses bubut .....	10
<b>Gambar 2.3.</b> Ilustrasi permesinan bubut dengan pahat putar (a. SPRT) dan (b. ADRT) .....	14
<b>Gambar 2.4.</b> Prinsip kerja pemesinan bubut dengan pahat putar .....	16
<b>Gambar 2.5.</b> Aliran panas selama proses pemesinan bubut dengan pahat putar .....	17
<b>Gambar 2.6.</b> Produk paduan titanium dalam bentuk batang bulat .....	19
<b>Gambar 2.7.</b> Struktur kristal titanium pada tingkat atom (a. heksagonal) dan (b. Kubik) .....	21
<b>Gambar 2.8.</b> Pengaruh kecepatan potong terhadap umur pakai pada kecepatan pemakanan konstan untuk material titanium 6Al-4V ELI .....	24

<b>Gambar 2.9.</b> Getaran mesin perkakas .....	26
<b>Gambar 2.10.</b> Profil kekasaran permukaan .....	30
<b>Gambar 2.11.</b> Dimensi penting pada ulir .....	33
<b>Gambar 2.12.</b> Standar ulir metrik halus .....	34
<b>Gambar 2.12.</b> Ulir ortopedi .....	35
<b>Gambar 3.1.</b> Diagram pengujian sistem pahat putar modular .....	37
<b>Gambar 3.2.</b> Paduan titanium 6Al-4V ELI .....	39
<b>Gambar 3.3.</b> Mesin Bubut Konvensional S-90/200.....	41
<b>Gambar 3.4.</b> Sistem pahat putar modular ( a. <i>Round cutter</i> , b. <i>Mill cutter</i> ) .....	42
<b>Gambar 3.5.</b> <i>Regulator</i> .....	43
<b>Gambar 3.6.</b> <i>Dial indicator</i> .....	44
<b>Gambar 3.7.</b> Alat ukur getaran (Lutron VB-8213) .....	44
<b>Gambar 3.8.</b> <i>Surface tester</i> .....	45
<b>Gambar 3.9.</b> Mikroskop USB .....	45
<b>Gambar 3.10.</b> <i>Profile Projector</i> .....	46
<b>Gambar 3.11.</b> Set-up pemesinan titanium 6Al-4V ELI dengan sistem pahat putar .....	48
<b>Gambar 3.12.</b> Pengujian <i>run out</i> (a) arah radial dan (b) arah aksial .....	49

<b>Gambar 3.13.</b> Tahapan pengukuran kecepatan getar ( <i>velocity</i> ) .....	50
<b>Gambar 3.14.</b> Pengujian kekasaran permukaan .....	51
<b>Gambar 3.15.</b> Melihat profil permukaan .....	52
<b>Gambar 3.16.</b> Set-up pemesinan <i>mill cutter</i> .....	53
<b>Gambar 3.17.</b> Pengukuran diameter (a) mayor dan (b) minor .....	55
<b>Gambar 3.18.</b> Pengukuran sudut sisi ulir .....	56
<b>Gambar 3.19.</b> Pengukuran jarak pitch cara 1 .....	57
<b>Gambar 3.20.</b> pengukuran jarak pitch cara 2 .....	58
<b>Gambar 4.1.</b> <i>Run out</i> pahat (a) arah radial dan (b) arah aksial .....	65
<b>Gambar 4.2.</b> Grafik <i>run out</i> arah radial .....	66
<b>Gambar 4.3.</b> Grafik <i>run out</i> arah aksial .....	67
<b>Gambar 4.4.</b> Grafik hasil getaran <i>velocity</i> pada $V_w$ 35 m/menit .....	70
<b>Gambar 4.5.</b> Grafik hasil getaran <i>velocity</i> pada $V_w$ 90 m/menit .....	71
<b>Gambar 4.6.</b> Grafik hasil getaran <i>velocity</i> pada $V_w$ 180 m/menit .....	72
<b>Gambar 4.7.</b> Perbandingan kecepatan potong dan kecepatan pahat putar terhadap getaran <i>velocity</i> .....	73
<b>Gambar 4.8.</b> Rata-rata nilai kekasaran ( $\mu\text{m}$ ) . .....	76
<b>Gambar 4.9.</b> Profil kekasaran dengan $V_w$ 35 m/menit, $V_T$ 100, 700, 1500 Rpm .....	77

<b>Gambar 4.10.</b> Profil kekasaran dengan $V_W$ 90 m/menit, $V_T$ 100, 700, 1500 Rpm .....	78
<b>Gambar 4.11.</b> Profil kekasaran dengan $V_W$ 180 m/menit, $V_T$ 100, 700, 1500 Rpm .....	78
<b>Gambar 4.12.</b> Spesimen uji setelah dibuat .....	79
<b>Gambar 4.13.</b> Bentuk dan diameter mata pisau <i>frais</i> .....	83
<b>Gambar 4.14.</b> Profil permukaan ulir pemesinan pahat putar .....	84
<b>Gambar 4.15.</b> Jarak <i>pitch</i> mata pisau jenis <i>freis</i> .....	85
<b>Gambar 4.16.</b> Cara kerja sistem pembuatan ulir ortopedi .....	86
<b>Gambar 4.17.</b> Tahapan pembuatan ulir ortopedi .....	87
<b>Gambar 4.17.</b> Pembuatan <i>taper</i> (a) proses <i>turning</i> , (b) <i>milling</i> .....	88
<b>Gambar 4.18.</b> Pembuatan ulir ortopedi .....	89

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1.</b> Daya pemotongan untuk beberapa jenis material .....	25
<b>Tabel 2.2.</b> Klasifikasi getaran izin.....	28
<b>Tabel 2.3.</b> Angka kekasaran .....	32
<b>Tabel 2.4.</b> Tingkat kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaan .....	32
<b>Tabel 2.5.</b> Standar ulir ortopedi .....	35
<b>Tabel 3.1.</b> Kandungan paduan titanium (Ti) 6Al-4V ELI .....	39
<b>Tabel 3.2.</b> Karakter fisik paduan titanium (Ti) 6Al-4V ELI .....	40
<b>Tabel 3.3.</b> Spesifikasi mesin bubut konvensional .....	41
<b>Tabel 3.4.</b> Spesifikasi <i>Rotary Tool System</i> .....	42
<b>Tabel 3.5.</b> Parameter pemesinan <i>round cutter</i> .....	59
<b>Tabel 3.6.</b> Parameter pembuatan ulir dengan pahat diam .....	59
<b>Tabel 3.7.</b> Parameter pembuatan ulir dengan pahat <i>mill cutter</i> .....	60
<b>Tabel 3.8.</b> Pengujian <i>run out</i> sistem pahat putar modular arah radial.....	60

<b>Tabel 3.9.</b> Pengujian run out sistem pahat putar modular arah aksial .....	60
<b>Tabel 3.10.</b> Hasil pengujian getaran pada $V_w$ 35 m/menit .....	61
<b>Tabel 3.11.</b> Hasil pengujian getaran pada $V_w$ 90 m/menit .....	61
<b>Tabel 3.12.</b> Hasil pengujian getaran pada $V_w$ 180 m/menit .....	62
<b>Tabel 3.13.</b> Hasil pengujian kekasaran permukaan pemesinan sistem pahat putar .....	62
<b>Tabel 3.14.</b> Hasil pengukuran diameter mayor dan diameter minor ulir ...	63
<b>Tabel 3.15.</b> Hasil pengukuran sudut ulir dengan profaile proyektor .....	63
<b>Tabel 3.16.</b> Hasil pengukuran kesalahan <i>pitch</i> .....	63
<b>Tabel 4.1.</b> Hasil Pengujian <i>run out</i> sistem pahat putar modular arah radial .....	65
<b>Tabel 4.2.</b> Hasil pengujian <i>run out</i> sistem pahat putar modular arah aksial .....	66
<b>Tabel 4.3.</b> Hasil pengujian getaran pada $V_w$ 35 m/menit .....	68
<b>Tabel 4.4.</b> Hasil pengujian getaran pada $V_w$ 90 m/menit .....	69
<b>Tabel 4.5.</b> Hasil pengujian getaran pada $V_w$ 180 m/menit .....	69
<b>Tabel 4.6.</b> Hasil pengujian kekasaran permukaan pemesinan pahat putar .....	74

<b>Tabel 4.7.</b> Hasil pengukuran diameter mayor dan diameter minor ulir .....	79
<b>Tabel 4.8.</b> Hasil pengukuran sudut ulir dengan <i>profile projector</i> .....	80
<b>Tabel 4.9</b> Hasil pengukuran kesalahan <i>pitch</i> .....	81
<b>Tabel 4.10</b> Contoh <i>screw</i> peralatan ortopedi .....	85

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran

LAMPIRAN A. Standar ISO

LAMPIRAN B. Foto proses pengujian

## DAFTAR SIMBOL

$\alpha$	Sudut tekan	°
$\beta$	Sudut inklinasi pahat	°
$\pi$	Phi	3,14
$d_o$	Diamter mula	mm
$d_m$	Diameter akhir	mm
$l_t$	Panjang pemesinan	mm
$x_r$	Sudut potong utama	°
$v_r$	Sudut geram	°
$a$	Kedalaman potong	mm
$f$	Gerak makan	mm/rev
$V_c$	Kecepatan potong	m/menit
$V_w$	Kecepatan putar benda kerja	m/menit
$V_t$	Kecepatan putar pahat	m/menit
$n$	Putaran poros utama	Putaran/menit
$n_w$	Putaran benda kerja	Putaran/menit
$n_t$	Putaran pahat	Rpm
$t_c$	Waktu pemotongan	menit
$Z$	Kecepatan penghasilan geram	cm <sup>3</sup> /menit
$R_a$	Kekasaran rata-rata	μm
$R_p$	Kekasaran perataan	μm

$R_q$	Kekasaran rata-rata kuadratik	$\mu\text{m}$
$R_t$	Kekasaran total	$\mu\text{m}$
$R_z$	Kekasaran total	$\mu\text{m}$
$V_c$	Kecepatan pahat	Rpm
$t$	waktu	s
$T$	Perioda	s
$V$	Kecepatan getar ( <i>velocity</i> )	mm/detik
$f$	Frekuensi	Hz
$f_c$	Faktor koreksi	-
$m$	Modul pahat	-

# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Peralatan ortopedi biasanya berupa implan biomaterial yang ditanam pada tubuh manusia dan bereaksi baik pada tubuh makhluk hidup, sehingga dapat menggantikan atau membantu pemulihan secara alami fungsi organ dan jaringan tubuh yang rusak (Batchelor dkk, 2004).

Pada saat ini titanium dan paduannya banyak digunakan untuk material peralatan kesehatan ortopedi. Titanium merupakan logam transisi dengan densitas yang tinggi dibandingkan dengan logam lainnya. Beberapa fakta yang dimiliki oleh titanium dan paduannya antara lain titanium paduan tahan korosi, ringan dan memiliki ketangguhan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan material lain, memiliki sifat *biokompatibel* atau kemampuan suatu material untuk dapat di tanamkan dalam tubuh manusia tanpa menimbulkan reaksi negatif sehingga dapat digunakan dalam tubuh manusia, memiliki sifat *nonmagnetik* dan memiliki kemampuan pasif dengan demikian menunjukkan tingkat kekebalan terhadap mineral, asam dan klorida (Donachie & Matthew, 2000).

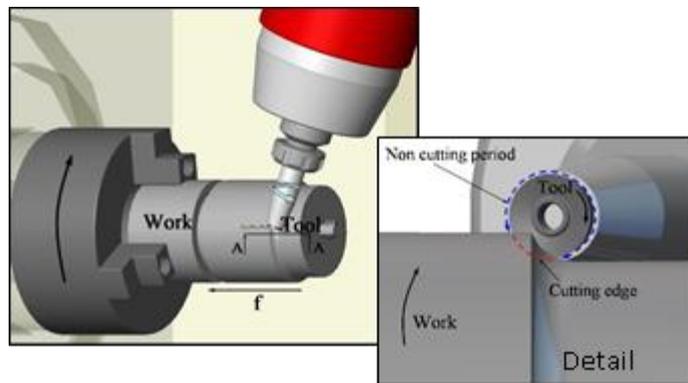
Namun titanium disamping memiliki beberapa kelebihan, para pakar proses permesinan (Donachie & Matthew, 2000) menemukan fakta bahwa

bukan hal yang mudah memotong paduan titanium karena sifat keternesinan paduan titanium yang rendah. Titanium juga memiliki *konduktifitas termal* rendah sehingga pada proses pemesinan panas yang dihasilkan tidak berkurang dengan cepat, sebagian besar panas terkonsentrasi pada tepi pemotongan dan permukaan pahat. Hal ini akan menyebabkan pahat cepat aus dan umur menjadi lebih pendek. Selain itu Proses pemesinan titanium membutuhkan gaya pemotongan (*cutting force*) yang sedikit lebih besar, hal itu yang menyebabkan titanium disebut sebagai material yang sulit dipotong (*difficult to cut material*).

Metode yang biasanya digunakan untuk pememesin peralatan kesehatan ortopedi titanium adalah pemesinan dengan penggunaan pahat bermaterial sangat keras seperti *Polycrystalline Diamond* (PCD). Bagaimanapun harga pahat potong berbasis PCD masih relatif mahal. Metode pemesinan dengan pelepasan listrik (*Electrical Discharge Machining*, EDM) juga banyak digunakan untuk melakukan pemesinan peralatan kesehatan ortopedi titanium. Alasannya adalah pemesinan dengan EDM tidak dipengaruhi oleh kekerasan material benda kerja sehingga dapat digunakan untuk pemesinan material dan paduannya yang keras dan sulit dipotong. Hanya saja, selama proses pemesinannya terjadi pelepasan listrik tetesan kecil tembaga dan seng dari kawat yang akan menempel pada permukaan material benda kerja (Benes, 2006). Tembaga dan seng adalah unsur kimia yang tidak *biokompatibel* sehingga harus dilakukan proses lebih lanjut untuk membersihkan unsur logam tersebut pada permukaan material

produk kesehatan implan ortopedi, dimana akan membutuhkan biaya tambahan dalam proses produksi.

Saat ini telah banyak dilakukan penelitian untuk mencari metode yang efektif mengatasi suhu pemotongan, terutama untuk material yang sulit dipotong melalui proses pemesinan. Salah satu metode yang dapat menurunkan suhu pemotongan dengan cukup baik serta mampu meningkatkan produktifitas pemesinan yaitu dengan menggunakan pahat putar dalam proses pembubutan (Harun, 2009).



**Gambar 1.1.** Ilustrasi pemesinan bubut dengan pahat putar (Harun, 2012).

Gambar di atas mengilustrasikan prinsip dari proses pemesinan bubut dengan pahat putar. Pada metode proses pemesinan ini, pahat putar berotasi dan suhu pahat akan menurun saat pahat tidak melakukan pemotongan pada satu kali proses putaran pemotongan. Oleh sebab itu, suhu pemotongan pada pahat akan menurun sehingga berpotensi menurunkan laju keausan pahat.

Dengan keunggulan metode sistem pahat putar yang diuraikan di atas, maka menjadi alasan mengapa metode ini diaplikasikan pada permesinan titanium untuk pembuatan ortopedi implan biomedis. Dalam rangka mengaplikasi metode ini pada pembuatan ortopedi implan biomedis, maka dilakukan rancang bangun

sistem pahat putar modular. Dalam tugas akhir ini difokuskan untuk mengevaluasi dan menganalisis kinerja sistem pahat putar sistem modular setelah dirancang bangun sehingga sistem ini handal digunakan dalam pemesinan ortopedi bermaterial titanium. Evaluasi dan analisis kinerja sistem tersebut meliputi pengujian perangkat modul pemesinan meliputi, yaitu pengujian *run out* pahat putar dan kekakuan sistem pahat putar modular, selanjutnya melakukan pengujian kinerja pemesinannya, yaitu pengujian kekasaran permukaan dan pengujian bentuk ulir (pengujian diameter mayor dan minor, sudut ulir dan kesalahan *pitch* ulir).

## 1.2 Tujuan

Dari latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Melakukan pengujian perangkat modul pemesinan yaitu *run out* pahat dan kekakuan sistem pahat putar (*vibration*).
2. Pengujian kinerja pemesinan, meliputi: pengujian kekasaran permukaan dan pengujian bentuk ulir (diameter mayor dan minor, sudut ulir, kesalahan *pitch*).

## 1.3 Batasan Masalah

Kajian dalam penelitian ini ditekankan pada evaluasi dan analisa kinerja sistem pahat putar modular. Adapun batasan masalah antara lain:

1. Proses permesinan bubut dengan pahat putar jenis ADRT (*Active Driven Rotary Tool*).

2. Material untuk pengujian ini yaitu paduan titanium 6Al-4V ELI.
3. Mesin bubut yang digunakan adalah jenis mesin konvensional.
4. Bentuk ulir yang dibuat adalah ulir standar yang dipakai dalam ortopedi.
5. Alat ukur getaran *Vibration meter*, (*Lutron VB-8213*), *software lutron801*, alat ukur kekasaran permukaan (*surface tester*), mikroskop USB dan alat ukur ulir (*profile injector*).

#### **1.4 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematis penulisan dari penelitian ini terdiri dari lima bab, yaitu sebagai berikut :

#### **BAB I: PENDAHULUAN**

Sub bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian, yaitu keunggulan produk ortopedi atau implan biomaterial yang digunakan dalam bidang kesehatan, khususnya material paduan titanium (6Al-4V ELI), serta proses produksi produk ortopedi menggunakan proses pemesinan.

Metode yang efektif dan lebih ekonomis untuk mengatasi suhu pemotongan pada pemesinan material yang sulit dipotong termasuk paduan titanium telah banyak diterapkan. Salah satu metode yang digunakan yaitu sistem pahat putar modular. Dengan keunggulan sistem pahat putar, yaitu menghasilkan suhu pemotongan dan gaya pemotongan yang rendah maka teknologi ini diaplikasikan dalam proses produksi produk kesehatan ortopedi bermaterial paduan titanium, melalui rancang bangun sistem pahat putar modular. Dalam tugas akhir ini difokuskan untuk evaluasi dan analisa kerja sistem pahat putar modular setelah dirancang bangun sehingga sistem ini

handal digunakan dalam pemesinan material ortopedi titanium. Evaluasi dan analisis kerja sistem tersebut meliputi pengujian perangkat modul pemesinan yaitu *run out* pahat putar dan kekakuan sistem pahat putar modular, pengujian kinerja pemesinan yaitu: kekasaran permukaan hasil permesinan, pengujian bentuk ulir (diamater mayor dan minor, sudut ulir, kesalahan *pitch*).

## **BAB II: TINJAUAN PUSTAKA**

Pada Bab II berisikan uraian yang dijadikan sebagai landasan teori untuk mendukung penelitian ini. Sub bab pertama pada bab ini adalah penjelasan ringkas terkait definisi proses pemesinan dan proses mesin bubut, baik parameter dalam pemesinan bubut sampai elemen dasar proses bubut. Berikutnya pada sub bab lain dijelaskan juga metode pemesinan dengan sistem pahat putar (*rotary tool system*) baik mekanis pemotongannya maupun suhu pemotongannya. Pada bab ini juga dibahas sifat material titanium dan paduannya, serta proses pemesinan titanium dijelaskan definisi sifat-sifat titanium dan paduannya. Pada sub bab berikutnya menjelaskan beberapa getaran mesin perkakas, kekasaran permukaan produk ortopedi, ulir dan standar ulir yang digunakan untuk peralatan ortopedi.

## **BAB III: METODOLOGI PENELITIAN**

Tempat dan waktu penelitian serta alat dan bahan akan dikemukakan pada bab ini. Kemudian terdapat penjelasan rinci mengenai metode penelitian. Dalam sub bab metode penelitian akan dijelaskan tahapan proses pengambilan data secara rinci dengan parameter yang sudah ditentukan dan

dijelaskan juga pengolahan data yang diambil pada saat percobaan dilakukan.

#### **BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil yang berisikan uraian hasil dan membahas data yang diperoleh dari penelitian dalam bentuk tabel dan grafik. Dilengkapi juga dengan analisa pada semua kecenderungan data yang diperoleh dari pengujian yang dilandasi kajian teori ilmiah.

#### **BAB V: SIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini diuraikan intisari terhadap semua analisa dan percobaan, termasuk saran yang berisi uraian informasi, untuk dilakukan pada penelitian selanjutnya. Hal tersebut bertujuan agar penelitian selanjutnya dapat melakukan pengembangan penelitian yang lebih baik.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Memuat referensi-referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.

#### **LAMPIRAN**

Pada lampiran merupakan data yang mendukung penelitian serta gambar pengujian sebagai bahan pelengkap dalam laporan tugas akhir ini.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Proses Permesinan**

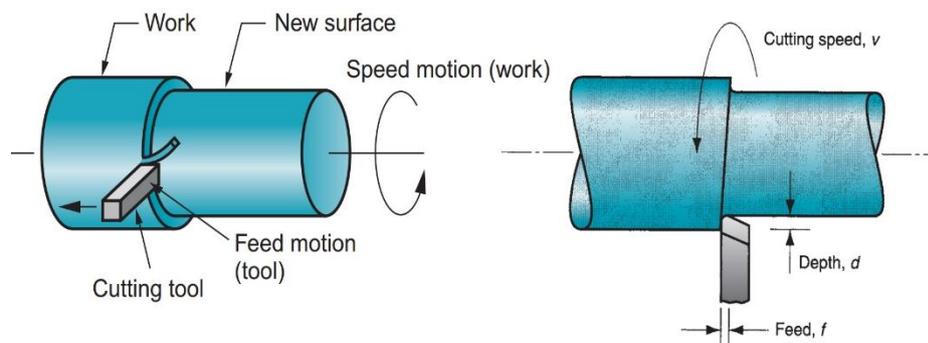
Proses permesinan merupakan salah satu cara untuk menghasilkan produk dalam jumlah yang banyak dengan waktu relatif singkat. Proses pemesinan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk dari logam dengan cara memotong. Proses pemotongan menggunakan pahat potong yang dipasang pada suatu mesin perkakas, dalam bahasa teknik disebut dengan proses pemesinan. Dalam proses pemesinan, benda kerja dipotong secara kontinyu oleh pahat potong untuk menghasilkan produk sesuai keinginan. Klasifikasi proses pemesinan dibagi menjadi tiga yaitu menurut jenis gerakan relatif pahat/perkakas potong terhadap benda kerja, jenis mesin perkakas yang digunakan, dan pembentukan permukaan (Rochim, 1993).

Berdasarkan gambar teknik dimana dinyatakan spesifikasi geometrik suatu produk komponen mesin, proses bubut dipilih sebagai suatu proses atau urutan proses yang digunakan untuk membuatnya. Bagi suatu tingkatan proses, ukuran obyektif ditentukan dan pahat harus membuang sebagian material benda kerja sampai ukuran obyektif tersebut dicapai. Hal ini dapat dilaksanakan dengan cara menentukan penampang geram/sebelum terpotong (Rochim, 1993).

## 2.2 Proses Bubut

Satu dari tujuh macam proses pemesinan seperti yang disebutkan sebelumnya adalah proses bubut. Pada proses ini benda kerja di cekam oleh *chuck* dan berputar sedangkan pahat potong bergerak maju untuk melakukan pemotongan dan pemakanan.

Dalam proses ini pahat dipasang padaudukan pahat dengan memposisikan ujungnya harus sama tinggi dengan pusat benda kerja (*center*). Dalam proses bubut, benda kerja *silindris* dihasilkan dari kombinasi gerak pahat dan benda kerja. Benda kerja berputar dan pahat potong didorong ke dalam permukaan benda kerja dengan bergerak melintang oleh pergeseran *carriage* padaudukan mesin. Proses ini diulang beberapa kali sampai mendapatkan diameter yang diinginkan (Rochim, 1993). Ilustrasi dari proses bubut ditunjukkan pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Ilustrasi proses mesin bubut (Goover, 2010).

### 2.2.1 Parameter Proses Bubut

Dalam proses pemesinan terdapat elemen dasar proses bubut yang dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan.

Kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut:

a. Benda kerja;

$d_o$  = Diameter mula (mm)

$d_m$  = Diameter akhir (mm)

$l_t$  = Panjang permesinan (mm)

b. Pahat

$\alpha_r$  = Sudut potong utama ( $^\circ$ )

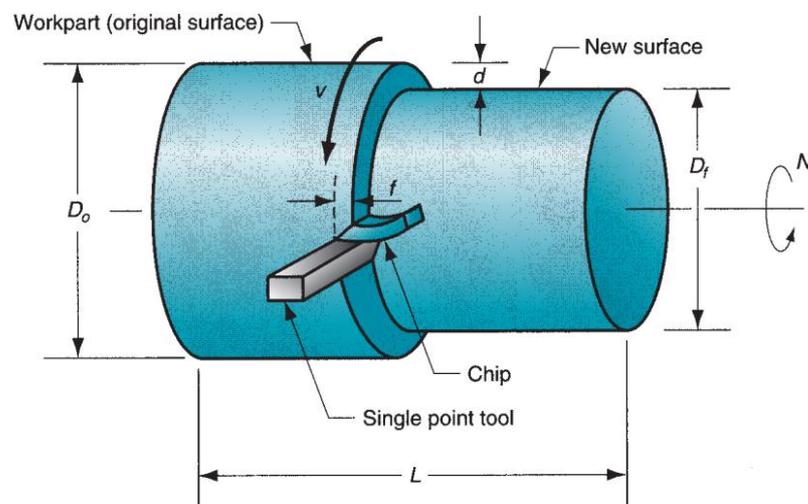
$\gamma_s$  = Sudut geram ( $^\circ$ )

c. Mesin bubut

$a$  = Kedalaman potong (mm)

$f$  = Gerak makan (mm/rev)

$n$  = Putaran poros utama (benda kerja), (r/min)



**Gambar 2.2.** Parameter proses bubut (Goover, 2010).

Pada gambar 2.2 kecepatan makan  $v$  besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pahat pada mesin perkakas (orientasi pemasangan). Untuk harga  $a$  dan  $f$  yang tetap maka sudut ini menentukan

besarnya lebar pemotongan ( $b$ , *width of cut*) dan tebal geram sebelum terpotong ( $h$ , *undeformed chip thickness*) sebagai berikut:

a. Lebar pemotongan :

$$b = a / \sin \alpha_r \text{ (mm)} \quad (2.1)$$

b. Tebal geram sebelum terpotong:

$$h = f \sin \alpha_r \text{ (mm)} \quad (2.2)$$

dengan demikian, penampang geram sebelum terpotong dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = f \cdot a = b \cdot h \text{ (mm}^2\text{)} \quad (2.3)$$

### 2.2.2 Elemen Dasar Proses Bubut

Elemen dasar dalam proses pembubutan dapat dihitung dengan rumus-  
rumus berikut:

a. Kecepatan potong

Didefinisikan sebagai kerja rata-rata pada sebuah titik lingkaran pada pahat potong dalam satu menit. Kecepatan putar (*speed*), selalu dihubungkan dengan sumbu utama (*spindle*) dan benda kerja. Secara sederhana kecepatan potong diasumsikan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar. Kecepatan potong biasanya dinyatakan dalam unit satuan m/menit (Widarto, 2008). Kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda dan putaran poros utama.

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ (m/min)} \quad (2.4)$$

dimana  $d$  = diameter rata-rata, yaitu:

$$(d_o + d_m) / 2 = d \text{ (mm)} \quad (2.5)$$

## b. Kecepatan makan

Gerak makan,  $f$  (*feeding*) adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali sehingga satuan  $f$  adalah mm/rev. Gerak makan ditentukan oleh kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat. untuk mendapatkan kehalusan permukaan yang diinginkan. Sehingga kecepatan makan didefinisikan sebagai jarak dari pergerakan pahat potong sepanjang jarak kerja untuk setiap putaran dari spindel.

$$v_f = f \cdot n \text{ (m/min)} \quad (2.6)$$

## c. Kedalaman potong

Didefinisikan sebagai kedalaman geram yang diambil oleh pahat potong. Dalam pembubutan kasar, kedalaman potong maksimum tergantung pada kondisi dari mesin, tipe pahat potong dan ketermesinan dari benda kerja.

$$a = (d_o - d_m) / 2 \text{ (mm)} \quad (2.7)$$

## d. Waktu pemotongan

Waktu pemotongan adalah waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk.

$$t_c = \frac{l_t}{v_f} \text{ (menit)} \quad (2.8)$$

## e. Kecepatan penghasilan geram

Geram adalah potongan dari material yang terlepas dari benda kerja oleh pahat potong  $Z = A \cdot V$  dimana, penampang geram sebelum terpotong  $A = f \cdot a \cdot v$  ( $\text{mm}^2$ ) maka (Widarto, 2008).

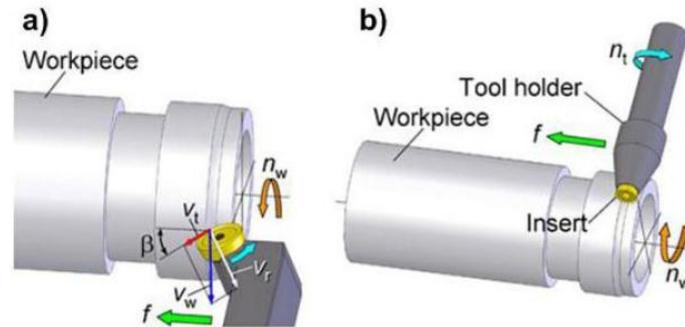
$$Z = a \cdot v \text{ (cm}^3\text{/min)} \quad (2.9)$$

### 2.3 Sistem Pahat Putar (*Rotary Tool Sistem*)

Salah satu metode untuk menurunkan suhu pemotongan serta untuk meningkatkan produktivitas pemesinan adalah dengan menggunakan pahat potong berputar dalam proses pemesinan bubut (Harun et al, 2009). Pada gambar 2.3 mengilustrasikan prinsip dari proses pemesinan ini. Seperti terlihat pada gambar, dalam metode pemotongan ini, dengan pahat potong yang berputar maka mata pisau (*cutting edge*) akan didinginkan selama periode tanpa pemotongan (*non cutting periode*) dalam satu putaran pahat potong. Hal ini diharapkan suhu pahat potong akan menurun dibandingkan dengan proses pemesinan bubut konvensional (pahat potong diam). Selain itu proses pemesinan dengan pahat berputar ini dapat digunakan untuk pemotongan kecepatan tinggi (*high speed cutting*) untuk material magnesium (*Magnesium alloy*) dan material yang sulit dipotong (*difficult to-cut materials*) seperti paduan nikel (*Nickel Alloy*), titanium (*Titanium Alloy*).

Ada dua tipe pahat putar yaitu tipe SPRT (*Self Propeled Rotary Tool*) dan ADRT (*Active Driven Rotary Tool*). Untuk tipe SPRT putaran pahat tergantung dari putaran benda kerja sehingga kekasaran permukaan pemotongan akan tinggi. Berbeda dengan jenis ADRT dimana untuk pengontrolan pergerakan pahat menggunakan motor listrik. Keunggulan jenis ini salah satunya yaitu kecepatan pahat putar dan sudut kemiringan pahat dapat dikontrol. Pengaturan sudut kemiringan pahat dapat memperpanjang umur pahat, dimana pada sudut kemiringan pahat  $0^{\circ} - 5^{\circ}$  mampu meningkatkan sebesar 44% umur pahat. Selain itu, dengan menggunakan motor listrik untuk mengontrol pergerakan pahat maka

produksi akan lebih maksimal jika dibandingkan dengan tipe SPRT (Olgun dan Budak, 2013).



**Gambar 2.3.** Ilustrasi permesinan bubut dengan pahat putar (a. SPRT) dan (b. ADRT) (Olgun & Budhak, 2013).

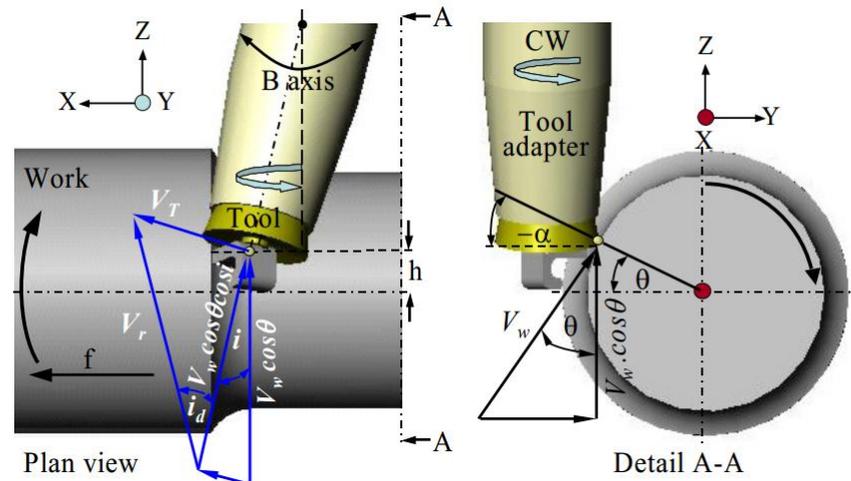
### 2.3.1 Mekanisme Pemotongan Bubut Dengan Pahat Putar

Pada gambar 2.4 menunjukkan dasar dari pembubutan dengan proses pahat putar bergerak yang digunakan dalam penelitian ini. Secara geometri, metode ini identik oleh tepi pemotongan bundar, normal *rake angle* dan *clearance angle*. Sebagai tambahan, dalam metode ini terdapat kemungkinan untuk memiliki dua posisi dari tepi pahat potong relatif terhadap benda kerja. Sudut kemiringan  $i$  dari pemegang pahat dan tinggi *offset* (Sudut *offset*  $\theta$ ). Secara kinematik, tiga gerakan terjadi pada metode ini yaitu gerak pemotongan ( $V_w$ ), *feed rate* dari pahat ( $f$ ) terhadap benda kerja dan kecepatan putar pahat ( $V_T$ ) sebagai fitur utama dalam metode ini, dimana menyebabkan gerakan menyamping pada pahat. Diasumsikan bahwa ketika pahat berputar dari titik ketebalan geram yang besar ke titik ketebalan geram kecil, arah perputaran pahat didefinisikan menjadi berlawanan arah jarum jam CCW. Sudut miring (yang disebut sebagai sudut kemiringan dinamik  $i_d$ ) dari resultan vektor antara kecepatan pemotongan

benda kerja dan kecepatan putaran pahat juga terbentuk, dimana dapat dinyatakan dalam (persamaan 2.10) Peningkatan kecepatan putaran pahat dapat menyebabkan peningkatan pada sudut kemiringan dinamik. Hal tersebut menyebabkan perubahan arah aliran geram (Shaw at al, 1952) sehingga mekanis pemotongan berubah dari *orthogonal* menjadi pemotongan *oblique*.

$$\tan i_d = \frac{V_T}{V_W \cdot \cos \theta \cdot \cos i} \quad (2.10)$$

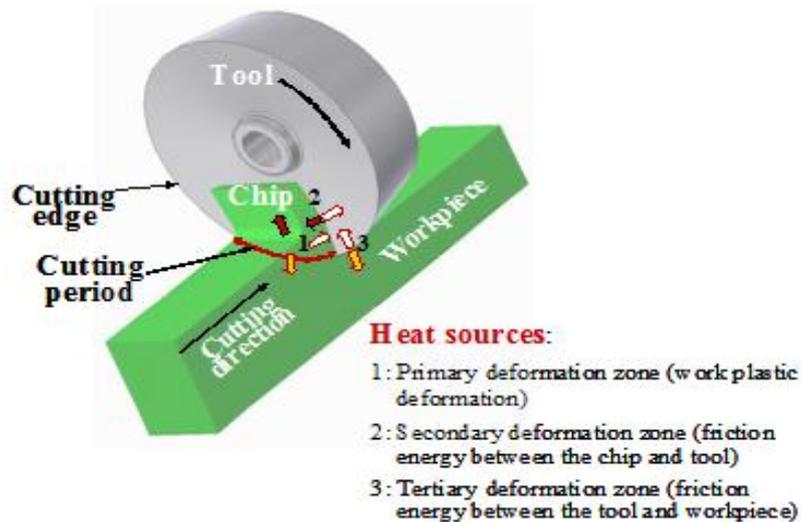
Pada gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi skematik proses pendinginan pada pahat dalam proses pembubutan dengan pahat putar. Dapat terlihat pada gambar bahwa mata pahat bulat digunakan dan mampu berputar pada sumbunya sehingga bagian dari tepi pemotongan pahat bergerak melakukan pemotongan hanya dalam jangka waktu yang singkat, diikuti oleh periode yang lebih lama dari siklus pendinginan selama periode tidak melakukan pemotongan dalam satu putaran pahat. Oleh karena itu, jumlah panas ke pahat pada pahat yang berputar dapat dikurangi. Jadi, dapat diharapkan bahwa temperatur pada pahat akan menurun dibandingkan dengan pembubutan konvensional. Hal tersebut juga diharapkan bahwa pahat putar dapat digunakan untuk pemotongan kecepatan tinggi untuk material yang sulit dipotong seperti nikel dan paduan titanium.



**Gambar 2.4.** Prinsip kerja pemesinan bubut dengan pahat putar (Harun et al, 2008).

### 2.3.2 Suhu Pemotongan Pemesinan Pahat Putar

Panas yang dihasilkan akibat deformasi geram selama proses pemesinan bubut dengan pahat berputar berpotensi dihasilkan dari sumber panas (*heat source*). Sumber panas ini terdiri atas tiga zona deformasi yang dekat dengan mata pisau pahat (*tool cutting edge*) seperti terlihat pada gambar 2.4, dimana biasanya disebut masing-masing dengan zona deformasi utama (*primary*), kedua (*secondary*) dan ketiga (*tertiary*). Selain itu, sumber panas yang lain adalah akibat akumulasi panas pada mata pisau pahat.



**Gambar 2.5.** Aliran panas selama proses pemesinan bubut dengan pahat putar (Harun, 2009).

Pada daerah deformasi plastik (*primary deformation zone*), mata pisau (*cutting edge*) pahat berbentuk lingkaran berputar dan secara kontinyu memotong material benda kerja sehingga menyebabkan terjadinya deformasi plastik material benda kerja menjadi geram (*chip*). Usaha untuk mendeformasi material benda kerja menjadi geram membutuhkan deformasi yang besar dengan laju regangan yang tinggi sehingga menyebabkan timbulnya panas pada daerah deformasi geser. Harun (2008) dalam penelitiannya melakukan eksperimen pengaruh kecepatan putar pahat terhadap gaya potong pada pemesinan bubut material baja S45C dengan pahat berputar. Dari eksperimen tersebut diperoleh hasil yaitu peningkatan kecepatan putar pahat menyebabkan suatu penurunan kecepatan potong sehingga diharapkan dapat memicu reduksi daya geser. Hal ini dapat menyebabkan penurunan energi geser spesifik dan selanjutnya penurunan panas yang dihasilkan selama deformasi geser.

Material yang digeser kemudian terdeformasi menjadi geram selanjutnya mengalir di atas permukaan geram pahat pada daerah deformasi kedua (*secondary deformation zone*). Panas yang timbul dari daerah deformasi kedua adalah dihasilkan akibat deformasi plastik material benda kerja dan energi gesek antara pahat potong dan geram. Oleh karena itu panas yang tinggi biasanya terjadi pada daerah deformasi kedua ini (Dudzinski, 2004). Panas yang timbul pada daerah deformasi ini dialirkan menuju geram dan pahat potong.

Selanjutnya pada daerah deformasi ketiga (*tertiary deformation zone*), panas yang dihasilkan pada daerah antarmuka (*interfece*) antara pahat dan benda kerja, dimana tepi pahat (*flank tool*) berputar sambil bergerak sepanjang permukaan benda kerja dan menghasilkan panas melalui energi gesek antara pahat dan benda kerja. Suhu yang meningkat akibat panas yang timbul oleh pembentukan permukaan baru benda kerja pada daerah deformasi ketiga adalah dialirkan kedalam benda kerja.

Pada pemesinan bubut dengan pahat berputar, periode tanpa pemotongan (*non cutting period*) menjadi pendek dengan peningkatan kecepatan putar pahat, hal ini mengartikan bahwa periode pendinginan pahat menjadi pendek. Oleh karena itu pada batas kecepatan tertentu, suhu mata pisau pahat pada ujung periode pendinginan belum cukup dingin ketika masuk kembali kedalam daerah pemotongan sehingga suhu mata pisau pahat terus meningkat akibat akumulasi panas.

## 2.4 Titanium dan Paduannya

Titanium untuk pertama kalinya ditemukan pada tahun 1970. Dalam tabel periodik, titanium memiliki simbol kimia Ti dengan nomor atom 22 dan merupakan logam transisi dengan densitas yang rendah. Selain itu, titanium memiliki sifat *elektropositif* dan mudah bersenyawa dengan karbon sehingga mengakibatkan logam ini sulit untuk dimurnikan.



**Gambar 2.6.** Produk paduan titanium dalam bentuk batang bulat (Donachie, 2000).

Pada saat ini titanium sudah banyak digunakan dalam industri karena keunikan dari sifat yang dimiliki oleh logam ini. Keunikan ini lebih unggul dibandingkan dengan logam lainnya seperti aluminium, baja dan *superalloy*. Beberapa fakta yang dimiliki oleh titanium dan paduannya antara lain (Donachie & Matthew, 2000):

- a. Densitas yang dimiliki titanium hanya berkisar 60% dari baja, nikel, atau *superalloy*.
- b. Titanium paduan dapat digunakan pada suhu sekitar 538°C sampai 595°C (1000°F hingga 1100°F), tergantung pada komposisinya. Beberapa

paduan titanium (*titanium aluminides*) mungkin memiliki kemampuan bertahan diatas suhu ini.

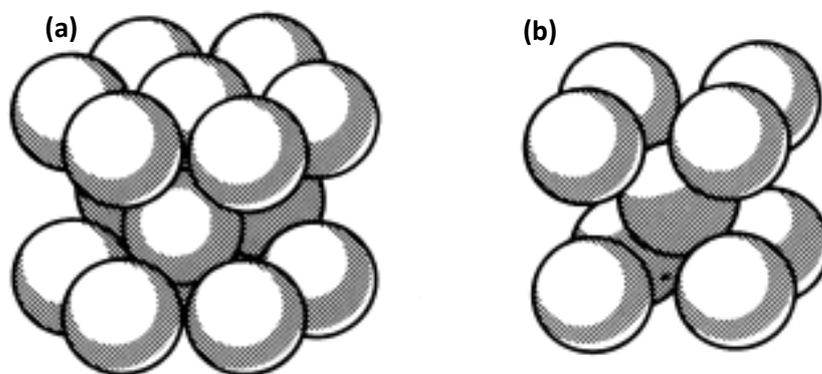
- c. Titanium sangat tahan korosi. Bahkan lebih baik dari *stainless steel* yang beredar dipasaran.
- d. Titanium memiliki sifat *biokompatibel* yang baik sehingga dapat digunakan didalam tubuh manusia.

Titanium memiliki sifat *nonmagnetik*. Dengan koefisien dari ekspansi termal yang sedikit lebih rendah daripada baja dan kurang dari setengah material aluminium. Titanium dan paduannya memiliki titik leleh yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja, tetapi suhu maksimum yang digunakan untuk aplikasi struktural umumnya berkisar kurang dari 427°C (800°F) untuk temperatur 583°C hingga 595°C (1000°F – 1100°F) bergantung pada komposisi.

Titanium memiliki kemampuan pasif dan dengan demikian menunjukkan tingkat kekebalan terhadap mineral, asam dan klorida. Titanium murni *nontoxic* dan beberapa paduan titanium umumnya memiliki *kompatibilitas* dengan jaringan dan tulang manusia karena tahan terhadap korosi, ringan dan memiliki kekuatan yang baik dibanding aluminium dan baja. Selain itu, titanium banyak digunakan dalam aplikasi kimia dan petrokimia, lingkungan laut, aplikasi biomaterial dan struktur pesawat.

### 2.4.1 Titanium Paduan (Ti 6Al-4V ELI)

Titanium pada umumnya merupakan elemen *allotropik* atau logam yang memiliki lebih dari satu bentuk *kristalograpi*. Pada suhu kamar, titanium memiliki struktur *kristal heksagonal (Hexagonal closed Packed, HCP)* yang disebut sebagai *fase alpha*. Struktur ini akan berubah menjadi struktur kubik berpusat (BCC) pada saat dipanaskan dengan temperatur 888°C (1621°F), struktur ini disebut juga sebagai *fase beta*.



**Gambar 2.7.** Struktur kristal titanium pada tingkat atom (a. *heksagonal*) dan (b. *Kubik*) (Donachie, 2000).

Titanium 6Al-4V ELI merupakan titanium yang berada pada *fase alpha-beta* yang berisi 6 wt% aluminium dan 4 wt% vanadium. Titanium jenis ini biasanya digunakan untuk *pressure vessel*, baling-baling turbin gas pesawat dan *implan biomedis*. Titanium 6Al-4V ELI memiliki kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik serta memiliki ketahanan terhadap korosi.

Titanium 6Al-4V ELI memiliki beberapa kelebihan antara lain massa yang lebih ringan jika dibandingkan dengan baja dengan tingkat kekerasan yang sama, memiliki kemampuan pasif dan dengan demikian menunjukkan tingkat ketahanan terhadap mineral, asam, protein dan klorida. Titanium

murni *nontoxic* dan beberapa paduan titanium umumnya memiliki *kompatibilitas* dengan jaringan dan tulang manusia karena tahan terhadap korosi, serta memiliki kekuatan yang baik dibanding aluminium dan baja selain itu titanium paduan juga memiliki sifat *biokompatibel* atau kemampuan suatu material untuk dapat di tanamkan dalam tubuh manusia tanpa menimbulkan reaksi negatif terhadap sistem biologi tubuh makhluk hidup. Dari material implan yang telah di ambil dan dipelajari tingkat korosi yang terjadi sangat kecil sehingga titanium paduan cocok untuk dijadikan implan biomaterial (Enderle & Bronzino, 2000).

#### **2.4.2 Pemesinan Titanium dan Paduannya**

Titanium dianggap sebagai material yang sulit untuk dimesin (*difficut to cut material*). Untuk melakukan pemesinan titanium paduan dibutuhkan gaya pemotongan yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan gaya pemotongan yang digunakan untuk pemesinan baja. Titanium paduan memiliki karakteristik metalurgi yang membuat mereka sulit untuk dilakukan pemesinan sehingga untuk melakukan pemesinan dibutuhkan biaya tambahan yang cukup besar dibanding dengan melakukan pemesinan baja dengan tingkat kekerasan yang sama. Keberhasilan dalam pemesinan titanium tergantung sebagaimana cara mengatasi beberapa sifat yang dimilikinya. Sifat-sifat itu antara lain:

##### **a. Konduksi panas**

Titanium merupakan konduktor panas yang buruk. Panas yang dihasilkan oleh pemotongan tidak menghilang dengan cepat. Oleh karena itu,

sebagian besar panas terkonsentrasi pada tepi pemotongan dan permukaan *tool*. Sehingga umur *tool* dapat terpengaruh.

b. Sifat paduan

Titanium memiliki kecenderungan sifat paduan yang kuat atau *reaktivitas* kimia dengan material pada temperatur alat potong. Hal ini dapat menyebabkan tingkat keausan alat potong lebih cepat.

c. *Modulus elastisitas*

Titanium memiliki *modulus elastisitas* yang lebih rendah dari pada besi dan *superalloy* namun memiliki *springiness* yang lebih dibandingkan dengan logam-logam tersebut. Hasilnya adalah *defleksi* benda kerja yang lebih besar.

d. Rentan kerusakan permukaan

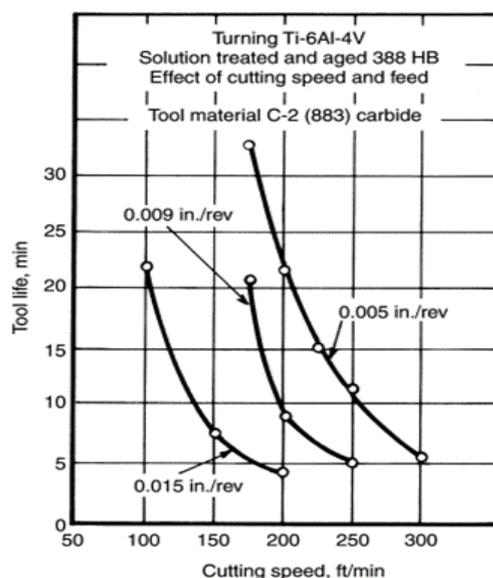
e. Karakteristik pekerjaan pengerasan

Karakteristik pengerasan titanium dapat menunjukkan *built-up edge*. Munculnya *built-up edge* pada tepi alat potong menyebabkan perubahan yang mengakibatkan peningkatan temperatur pada sebagian area alat potong. Sehingga tingkat keausan pahat meningkan dan menurunkan umur pakai pahat potong.

Teknologi pemesinan konvensional titanium tidak jauh berbeda dengan teknologi pemesinan pada umumnya. Terdapat beberapa parameter pemotongan yang harus diperhatikan dalam melakukan proses pemotongan titanium, parameter-parameter tersebut antara lain:

a. Umur pahat

Data umur pahat telah dikembangkan melalui eksperimen dengan menggunakan berbagai jenis paduan titanium. Data tersebut mewakili secara keseluruhan jenis titanium. Pada gambar 2.7 dapat dilihat bahwa kecepatan potong sangat berpengaruh terhadap umur pahat. Pada kecepatan potong tinggi, umur pahat relatif lebih singkat sedangkan pada kecepatan potong yang rendah umur potong relatif lebih panjang.



**Gambar 2.8.** Pengaruh kecepatan potong terhadap umur pakai pada kecepatan pemakanan konstan untuk material titanium 6Al-4V ELI (Donachie & Matthew, 2000).

b. Gaya Pemotongan

Gaya pemotongan merupakan hal yang sangat penting. Hal ini dikarenakan gaya potong dapat menentukan besarnya daya yang dibutuhkan untuk melakukan pemotongan. Bila gaya potong dikalikan dengan kecepatan potong, maka didapat besarnya daya yang dibutuhkan untuk melakukan pemotongan. Secara umum kebutuhan daya pada proses pembubutan dan milling dapat diperoleh dengan mengukur daya

yang masuk ke motor penggerak selama proses pemotongan dan menguranginya dengan daya ideal. Pada tabel 2.1 menunjukkan kebutuhan daya untuk pemesinan titanium yang dibandingkan dengan beberapa paduan lainnya.

**Tabel 2.1** Daya pemotongan untuk beberapa jenis material

<i>Material</i>	<i>Hardness, HB (300 kg)</i>	<i>Unit power for sharp tools (a), hp/in<sup>3</sup>/min</i>		
		<i>Turning HSS and carbide tools</i>	<i>Drilling HSS drills</i>	<i>Milling HSS and carbide tools</i>
<i>Steels</i>	35-40 HRC	1.4	1.4	1.5
<i>Titanium Alloys</i>	250-375	1.2	1.1	1.1
<i>Hing-temperatur nickel and cobal-base alloys</i>	200-360	2.5	2.0	2.0
<i>Almunium alloys</i>	30-150 (500 kg)	0.25	0.16	0.32

(Donachie, 2000).

c. Material Pahat

Pahat potong yang digunakan untuk pemesinan titanium membutuhkan ketahanan dan kekerasan yang memadai. Meskipun penggunaan alat dengan material baru seperti *special ceramics*, *coated carbides*, *polycrystalline diamonds* dan *boron nitrid* hanya untuk memotong material seperti baja, besi cor dan paduan tahan panas, tidak terdapat perkembangan yang baru untuk meningkatkan produktivitas pemesinan komponen titanium.

d. Peralatan potong dan cairan pendingin

Meskipun sifat dasar pemesinan dari logam titanium tidak dapat dikurangi secara signifikan, efeknya dapat diminimalisir dengan menurunkan temperatur yang dihasilkan pada permukaan dan tepi pahat.

## 2.5 Getaran Mesin Perkakas

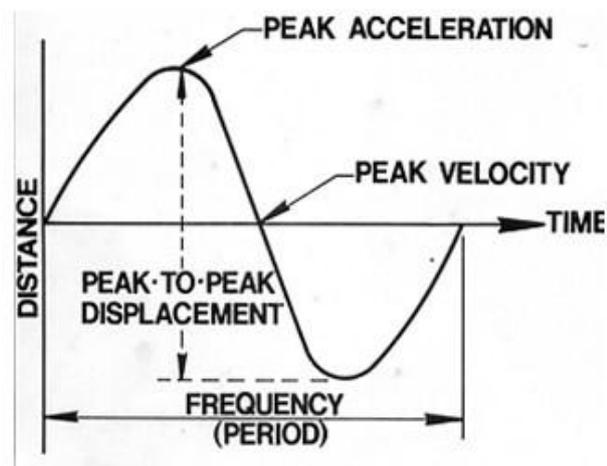
Getaran diawali dengan perubahan secara periodik suatu besaran.

Merupakan suatu fungsi periodik yang dinyatakan sebagai berikut:

$$X(t) = X(t + T) \quad (2.11)$$

Dimana:  $t$  = Waktu (s)

$T$  = Perioda getaran (s)



**Gambar 2.9.** Getaran mesin perkakas.

Frekuensi merupakan kebalikan dari periodik yaitu jumlah getaran dalam satuan waktu (Hz). Fenomena getaran yang umum terjadi pada suatu mesin perkakas memiliki dua jenis getaran yaitu getaran paksa dan getaran bebas (Sewoyo, 1990).

a. Getaran Paksa

Getaran paksa terjadi dikarenakan ada gaya luar yang bekerja selama sistem tersebut bergetar. Frekuensi dari getaran paksa ini merupakan resultan dari masing-masing frekuensi dari komponen-komponen pengganggu (*disturbing components*). Pada mesin perkakas yang sedang berputar umumnya selalu ada getaran paksa dan faktor yang penting adalah besar/kecil *amplitudo* getaran paksa tersebut. Sumber-sumber getaran paksa pada mesin perkakas berasal dari:

1. Gaya pemotongan yang berubah-ubah secara periodis seperti pada permesinan dengan menggunakan mesin frais.
2. Gaya-gaya pengganggu yang berasal dari mesin itu sendiri. Misalnya perputaran dari pada elemen-elemen mesin yang tidak seimbang, sistem transmisi roda gigi yang tidak seimbang, dll (Bagiasna. 2014).

b. Getaran bebas

Jenis getaran ini biasa disebut dengan *self excited vibration*. Frekuensi getaran pada *chatter* tergantung pada frekuensi pribadi sistem. Fenomena *chatter* hanya akan terjadi jika batas stabilitas dinamis dari sistem dilampaui. Kondisi seperti ini terjadi misalnya pada suatu proses pemotongan dimana harga parameter-parameter pemotongan diambil secara berlebihan (kedalaman pemotongan yang terlalu besar, kecepatan pemakanan dan kecepatan potong yang terlalu tinggi, dll). Gejala *chatter* adalah gejala yang cukup kompleks dan penelitian dibidang ini menyimpulkan suatu batas yang dinamai "*dynamic cutting coeficien*" yang menentukan terjadi tidaknya *chatter* tersebut.

Respon dari suatu sistem mesin perkakas terhadap komponen-komponen pengganggu yang bekerja tergantung pada sifat-sifat (karakteristik) dinamis mesin perkakas itu sendiri. Respon dari mesin perkakas terhadap suatu pembebanan gaya statis hanya tergantung pada kekakuan (*rigidity*) sistem. Tetapi dalam perbedaan dinamis, respon yang terjadi juga tergantung pada gaya inersia dan faktor damping dari sistem tersebut (Bagiasna, 2014). Berdasarkan pada *manual book lutron VB-8213* getaran ijin untuk proses permesinan antara lain ditunjukkan pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Klasifikasi getaran ijin

<i>Small machines, especially production electrical motors of up to 15 KW (Group K).</i>	
<i>Good</i>	0 to 0.71 mm/s
<i>Acceptabel</i>	0.72 to 1.80 mm/s
<i>Still permissible</i>	1.81 to 4.5 mm/s
<i>Dangerous</i>	>4.5 mm/s
<i>Medium sized machines, especially electrical motors with 15 up to 75 KW output, without special foundation (Group M)</i>	
<i>Good</i>	0 to 1.12 mm/s
<i>Acceptable</i>	1.13 to 2.80 mm/s
<i>Still permissible</i>	2.81 to 7.1 mm/s
<i>Dangerous</i>	>7.1 mm/s
<i>Large machines on heavy foundation (Group G)</i>	
<i>Good</i>	0 to 1.80 mm/s
<i>Acceptable</i>	1.81 to 4.50 mm/s
<i>Still permissible</i>	4.51 to 11.2 mm/s
<i>Dangerous</i>	>11.2 mm/s
<i>Largest machines and turbo machines with a special foundations</i>	
<i>Good</i>	0 to 2.80 mm/s
<i>Acceptable</i>	2.81 to 7.10 mm/s
<i>Still permissible</i>	7.11 to 18 mm/s
<i>Dangerous</i>	>18 mm/s

(Sumber: *manual book lutron VB-8213*).

## 2.6 Kekasaran Permukaan

Yang dimaksud dengan permukaan adalah batas yang memisahkan benda padat dan sekelilingnya (Rochim, 2001). Jika ditinjau dari skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan suatu elemen mesin (produk) juga merupakan karakteristik geometri, yang dalam hal ini termasuk golongan mikrogeometrik. Sementara itu, yang tergolong mikrogeometrik adalah permukaan secara keseluruhan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik misalnya permukaan: poros, lubang, sisi dan sebagainya. Kekasaran permukaan (*surface roughness*) dibedakan menjadi dua:

### a. *Ideal surface Roughness*

Adalah kekasaran ideal (terbaik) yang bisa dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran ideal diantaranya:

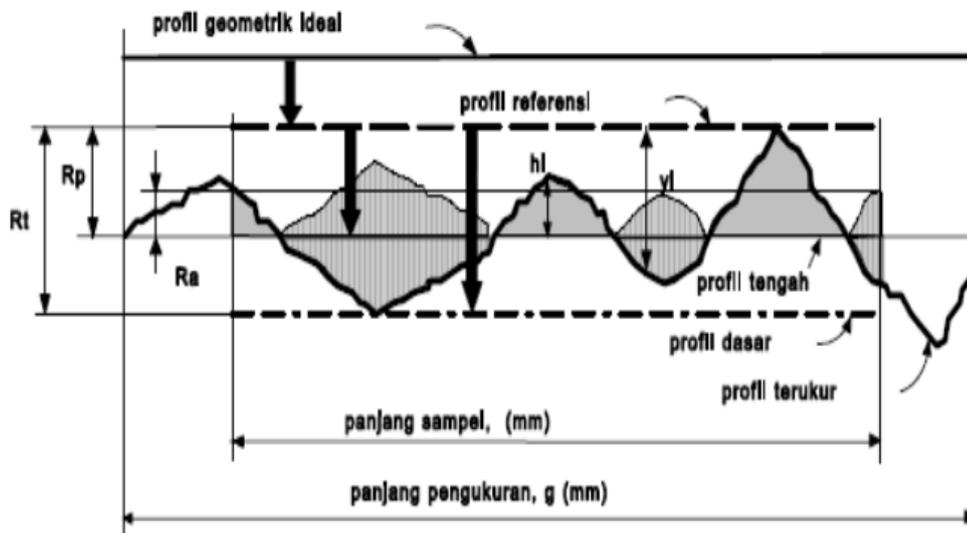
- Getaran yang terjadi pada mesin
- Ketidak tepatan gerakan bagian-bagian mesin
- Ketidak teraturan *feed mechanisme*
- Adanya cacat pada material
- Gesekan antara *chip* dan material

### b. *Natural Surface Roughness*

merupakan kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya berbagai faktor yang mempengaruhi proses permesinan tersebut.

Dalam proses permesinan kualitas kekasaran permukaan yang paling umum adalah harga kekasaran rata-rata aritmatik (Ra) yaitu sebagai standar kualitas permukaan dari hasil pemotongan maksimum yang diizinkan. Dimana posisi (Ra) dan parameter kekasaran yang lain, bentuk profil,

panjang sampel dan panjang pengukuran yang dilakukan oleh mesin-mesin ukur kekasaran permukaan seperti pada gambar 2.10.



**Gambar 2.10.** Profil kekasaran permukaan (Saputro dkk, 2014).

Profil kekasaran permukaan terdiri dari:

- Profil geometri ideal ialah profil permukaan yang sempurna dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur.
- Profil terukur (*measured profil*), merupakan profil permukaan terukur.
- Profil referensi adalah profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidak teraturan konfigurasi permukaan.
- Profil akar/alas yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.
- Profil tengah adalah profil yang digeserkan ke bawah sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah diatas profil tengah sampai profil terukur adalah sama dengan jumlah luas daerah-daerah dibawah profil tengah sampai profil terukur.

Berdasarkan profil-profil diatas pada gambar 2.9 dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dikenal beberapa parameter yaitu:

- a. Kekasaran total (*peak to valley height/total height*),  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- b. Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/peak to mean line*),  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
- c. Kekasaran rata-rata aritmatik (*mean roughness index/center line average, CLA*),  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah harga rata-rata aritmatik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |h_1| dx \quad (2.12)$$

- d. Kekasaran rata-rata kuadrat (*root mean squar height*),  $R_q$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h_i^2 - dx} \quad (2.13)$$

- e. Kekasaran total rata-rata,  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

$$R_z = \sum \frac{[R1+R2...+R5-R6...-R10]}{5} \quad (2.14)$$

Parameter kekasaran yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja adalah kekasaran rata-rata ( $R_a$ ). Harga  $R_a$  lebih sensitif terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi

pada proses permesinan. Toleransi harga  $R_a$  seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros) harga kekasaran rata-rata aritmatik  $R_a$  juga mempunyai harga toleransi kekasaran.

**Tabel 2.3.** Angka kekasaran

Harga kekasaran, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Angka kelas kekasaran	Panjang sampel (mm)
50 25	N12 N11	8
12,5 6,3	N10 N9	2,5
3,2 1,6 0,8 0,4	N8 N7 N6 N5	0,8
0,2 0,1 0,005	N4 N3 N2	0,25
0,025	N1	0,08

(Sumber: ISO-R468: *Roughness number*).

**Tabel 2.4.** Tingkat kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaan

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
<i>Flat and cylindrical lapping</i> <i>Superfinishing diamond turning</i>	N1 – N4 N1 – N6	0,025 – 0,2 0,025 – 0,8
<i>Flat and cylindrical grinding</i> <i>Finishing</i>	N1 – N8 N4 – N8	0,025 – 3,2 0,2 – 3,2
<i>Face and cylindrical turning, milling</i> <i>and reaming</i> <i>Drilling</i>	N5 – N12 N10 – N11	0,4 – 50,0 12,5 – 25,0
<i>Shaping, planing, horizo</i> <i>Sandcasting and forging</i>	N6 – N12 N10 – N11	0,8 – 50,0 12,5 – 25,0
<i>Extruding, cold rollin, drawing</i> <i>Die casting</i>	N6 – N8 N6 – N7	0,8 – 3,2 0,8 – 1,6

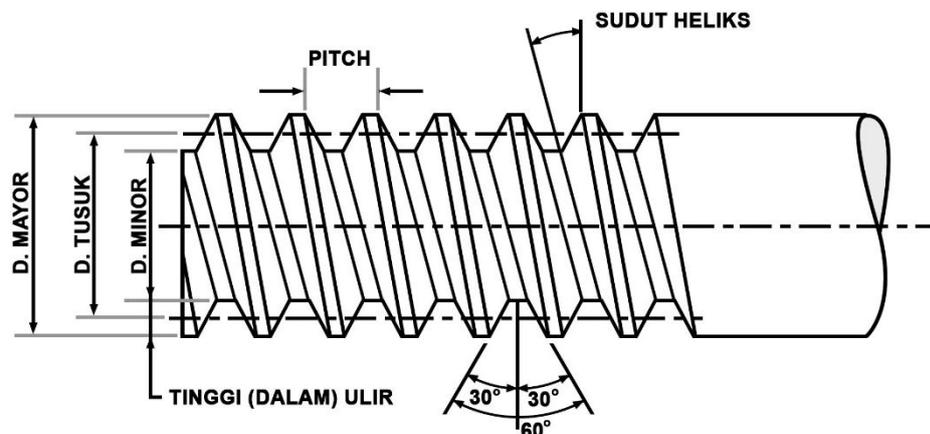
(Sumber: ISO-1302. 2001).

## 2.7 Ulir

Penggunaan sistem ulir untuk menyatukan dua komponen hampir terdapat dalam semua hasil teknologi. Dari hasil teknologi perindustrian yang tingkat ketelitiannya rendah (kasar) sampai pada hasil industri yang tingkat ketelitiannya sangat tinggi (presisi) tidak bisa terlepas dari namanya ulir. Sistem ulir telah menjadi alah satu faktor penting dalam kemajuan industri pada semua jenis produksi. Makin tinggi tingkat ketelitian suatu komponen dibuat berarti semakin tinggi pula tingkat ketelitian ulirnya.

### 2.7.1 Hal Penting Pada Ulir

Adanya dimensi-dimensi yang penting untuk diketahui pada ulir. Beberapa dimensi yang penting pada ulir dapat dilihat pada gambar 2.11.



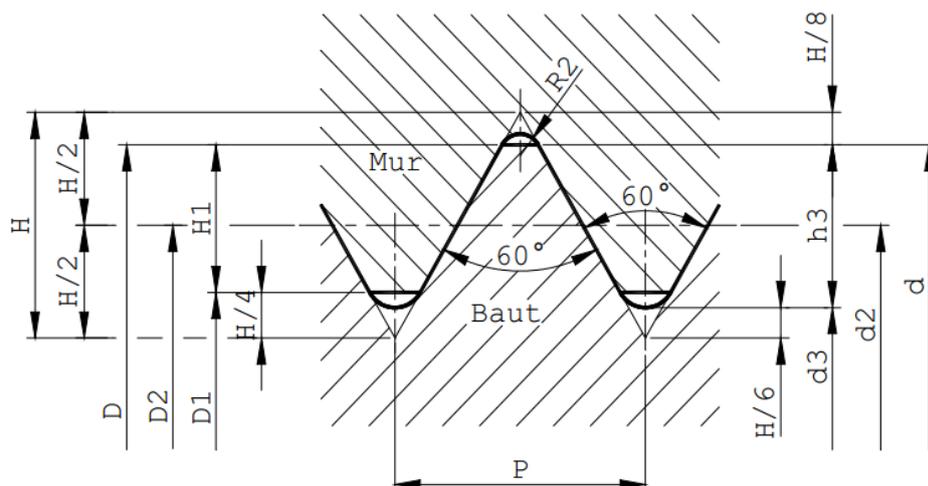
**Gambar 2.11.** Dimensi penting pada ulir.

1. Diameter mayor (diameter luar) adalah diameter terbesar dari ulir
2. Diameter minor (diameter inti) adalah diameter terkecil dari ulir
3. Diameter *pitc* (diameter tusuk) adalah diameter semu yang letaknya diantara diameter luar dan diameter inti. Pada radius dari diameter tusuk inilah letak titik-titik singgung antara pasangan dua buah ulir sehingga

pada titik-titik tersebut yang akan menerima beban terberat sewaktu pasangan ulir dikencangkan.

4. Jarak antara puncak ulir yang disebut juga dengan pitch merupakan dimensi yang cukup besar pengaruhnya terhadap pasangan ulir. Karena bila jarak antara puncak ulir yang satu dengan lainnya tidak sama maka ulir tidak dapat dipasangkan. Jadi dalam proses pembuatannya jarak puncak ulir harus di perhatikan sehingga kesalahan yang terjadi pada puncak ulir masih dalam batas yang diinginkan.
5. Sudut ulir adalah sudut dari kedua sisi permukaan ulir yang satuannya dalam derajat. Untuk American Standard dan ISO sudut ulirnya adalah  $60^\circ$ .
6. Kedalaman ulir adalah jarak antara diameter inti dengan diameter luar.

Dimana ulir ISO Metrik memakai satuan milimeter sedangkan ulir *Unified* dengan satuan inchi. Dapat dilihat pada gambar 2.11 adalah bentuk standar ulir menurut ISO metrik.



**Gambar 2.12.** Standar ulir metrik halus (ISO 261 dan ISO 262).

Dimana:

$D_2, d_2$	= diameter tengah	$H1$	= 0.54127 P
$D_2 = d_2$	= $d - 0.64952 P$	$h3$	= 0.61343 P
$D_1$	= $d - 1.08253 P$	$R1$	= 0.14434 P
$d_3$	= $d - 1.22687 P$	$R2$	= 0.07217 P
$H$	= 0.86603 P		

Pada dasarnya ulir yang digunakan untuk alat kesehatan berupa implan biomedis (*bone screw*) berbeda dengan ulir pada umumnya, dilihat dari bentuk ulir berupa ulir jenis *flats*. Alat kesehatan ortopedi berupa ulir memiliki dua bentuk yaitu berbentuk ulir penuh dan hanya sebagian saja yang berbentuk ulir tabel 2.5 menurut *orthomed manufacturer and supplier of high quality, innovative veterinary orthopaedic products* untuk produk yang digunakan pada ulir ortopedi memiliki sudut  $20^\circ - 30^\circ$ .



**Gambar 2.13.** Ulir ortopedi.

**Tabel 2.5.** Standar ulir ortopedi.

Ben. ulir (kortikal)	Mini screw		Small screw						Large screw			
Pitch (mm)	1.25											
$\alpha$ (°)	20°-30°											
Lenght (mm)	6	6	6	10	10	10	10	14	20	-	-	-
Head screw (mm)	3	4	5	6	6	6	6	8	8	8	8	8
D <sub>L</sub> (mm)	1.5	2	2.7	3.5	3.5	4	4	4.5	4.5	6.5	6.5	6.5
D <sub>D</sub> (mm)	1.1	1.5	2	2.5	2	2	2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Lub. Kunci (mm)	SW 1.5		SW 2.5		Width across flats 2.5			Width across flats 3.5				

Sumber: *Aesculap Implans and Istruments Osteosynthesis.*

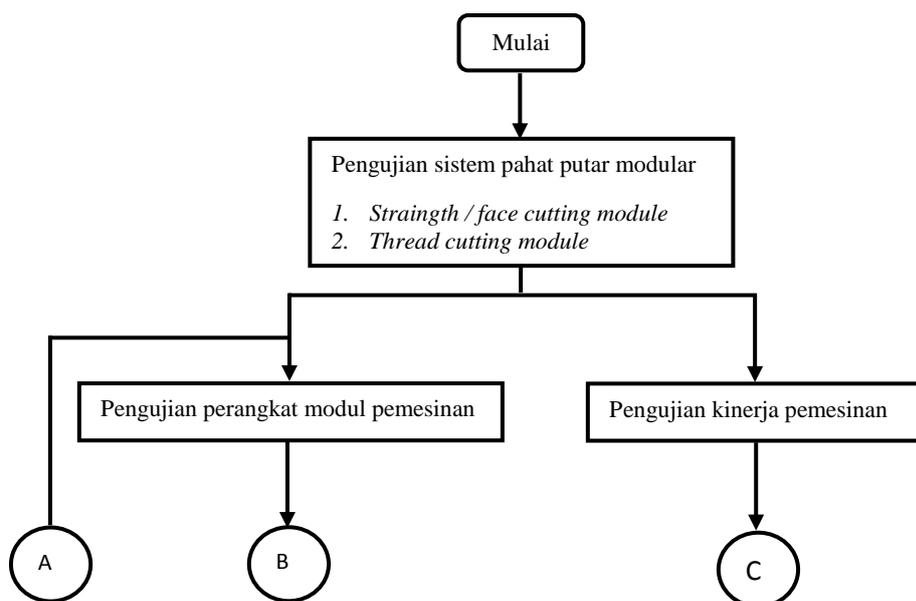
## BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

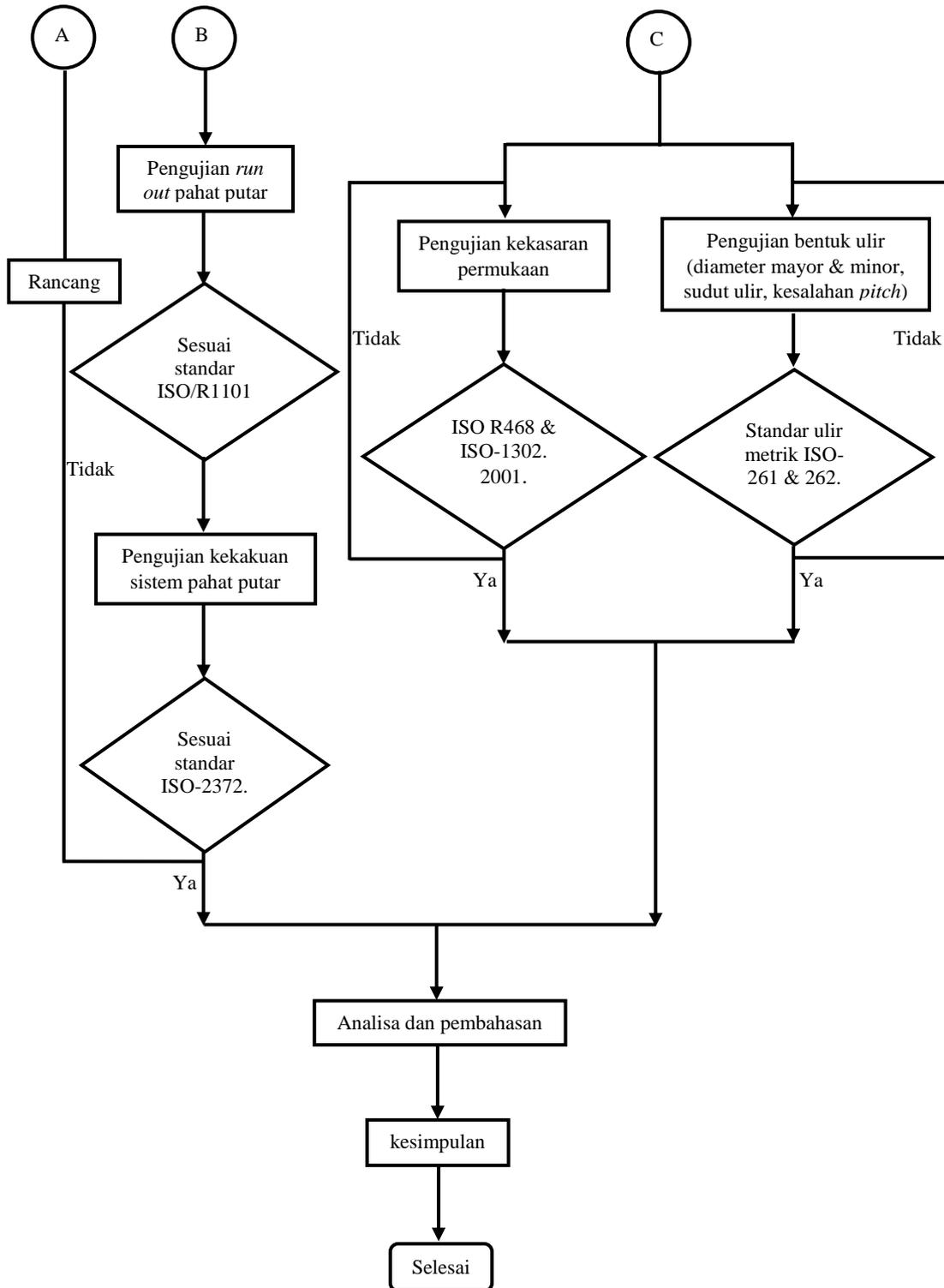
### 3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan September 2015 sampai dengan selesai. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Teknik Produksi, Laboratorium CNC/CAM dan Laboratorium Meterologi Industri Fakultas Teknik Universitas Lampung.

### 3.2 Alur Penelitian

Secara garis besar, alur pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada *flowchart* berikut ini:





**Gambar 3.1.** Diagram pengujian sistem pahat putar modular.

### 3.3 Bahan Dan Alat Penelitian

Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan Titanium (Ti) 6Al-4V ELI.

#### 3.3.1 Titanium Paduan (6Al-4V ELI)



**Gambar 3.2.** Paduan titanium 6Al-4V ELI.

Titanium 6Al-4V ELI merupakan titanium yang berada pada *fase alpha-beta* yang berisi 6 wt% aluminium dan 4 wt% vanadium. Titanium jenis ini biasanya digunakan untuk *pressure vassel*, baling-baling turbin gas, pesawat dan implan biomedis. Titanium 6Al-4V ELI memiliki kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik serta memiliki ketahanan terhadap korosi. Komposisi kimia dan karakteristik fisik sebagai berikut:

**Tabel 3.1.** Kandungan paduan titanium (Ti) 6Al-4V ELI

Kandungan	N	C	H	Fe	O	Al	V
Wt % max	0.05	0.08	0.0125	0.25	0.13	5.5-6.75	3.5-4.5

**Tabel 3.2.** Karakter fisik paduan titanium (Ti) 6Al-4V ELI

<i>Sifat</i>	<i>Nilai</i>
<i>Moduus Elastisitas</i>	<b>104800.31 MPa/mm<sup>2</sup></b>
<i>Possions Ratio</i>	<b>0.31 N/A</b>
<i>Shear Modulus</i>	<b>41023.81 MPa/mm<sup>2</sup></b>
<i>Massa Density</i>	<b>4428.78 kg/m<sup>3</sup></b>
<i>Tensil Streangth</i>	<b>1050 MPa/m<sup>2</sup></b>
<i>Compressive Strength</i>	<b>Mpa/mm<sup>2</sup></b>
<i>Yield Strenght</i>	<b>827.37 MPa/mm<sup>2</sup></b>
<i>Koefisien Termal</i>	<b>9e-006 K</b>
<i>Konduktifitas Termal</i>	<b>6.7 W/(m-K)</b>
<i>Panas Spesifik</i>	<b>586.04 J/(kg-K)</b>
<i>Damping Rasio</i>	<b>N/A</b>

(Sumber: Donachie, 2000).

Dan untuk alat-alat yang digunakan dalam penelitian untuk melihat kinerja sistem dan pengujian kinerja pemesinannya, diantara lain adalah:

### 3.3.2 Mesin Bubut Konvensional

Bubut sendiri merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatanya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar dengan benda kerja. Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak makan.



**Gambar 3.3.** Mesin Bubut Konvensional S-90/200.

**Tabel 3.3.** Spesifikasi mesin bubut konvensional

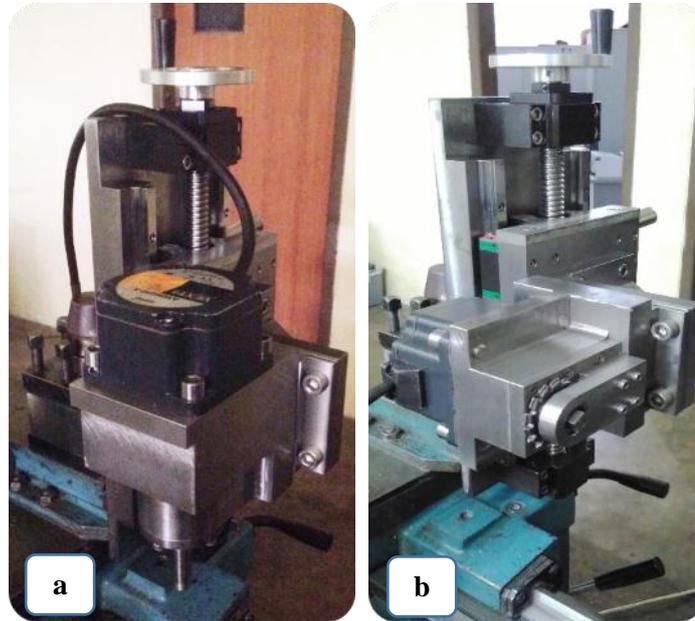
<i>Merk</i>	<b>PHINACO</b>
<i>Type</i>	<b>S-90/200</b>
<i>Motor</i>	<b>Main Motor Power: 4 Kw</b>
<i>Central High</i>	<b>200 mm</b>
<i>Central Distance</i>	<b>750-1150 mm</b>
<i>Swing Over Bed</i>	<b>400 mm</b>
<i>Swing Over Grap</i>	<b>600 mm</b>
<i>Swing Over Carriage</i>	<b>370 mm</b>
<i>Swing Cross Slide</i>	<b>210</b>

### 3.3.3 Sistem Pahat Putar Modular (*Rotary Tool System*)

Pahat putar (*holder rotary*) merupakan sistem pahat yang digunakan dalam penelitian ini. Dimana metode pemotongan pahat putar, mata pisau (*cutting edge*) akan didinginkan selama periode tanpa pemotongan dalam satu putaran pahat potong. Hal ini diharapkan suhu pahat potong akan menurun dibandingkan dengan proses pemesinan bubut konvensional (pahat potong diam).

Jenis pahat putar yang digunakan pada penelitian ini yaitu ADRT (*Active Driven Rotary Tool*). Untuk tipe ADRT dimana pengontrolan

pergerakan pahat menggunakan motor listrik. Keunggulan jenis ini salah satunya yaitu kecepatan pahat putar dan sudut kemiringan pahat dapat dikontrol sesuai keinginan.



**Gambar 3.4.** Sistem pahat putar modular ( a. Round cutter, b. Mill cutter).

**Tabel 3.4.** Spesifikasi *Rotary Tool System*

<i>Modular Round Cutter</i>	
<b>Merk motor</b>	<b>AXUM590-A</b>
<b>Jenis Pahat</b>	<b><i>Insert-Propeller (Karbida)</i></b>
<b>Kecepatan putaran pahat</b>	<b>0-2000 rpm</b>
<b>Arah putaran spindel</b>	<b>CW/CCW</b>
<b>Diameter insert</b>	<b>16– 20 mm</b>
<i>Modular Mill Cutter</i>	
<b>Merk motor</b>	<b>AXUM590-A</b>
<b>Jenis Pahat</b>	<b>Modul 1</b>
<b>Kecepatan putaran pahat</b>	<b>0-2000 rpm</b>
<b>Arah putaran spindel</b>	<b>CW/CCW</b>

### 3.3.4 Regulator

Alat yang berfungsi untuk menurunkan tegangan sehingga ketika digabungkan dengan motor DC *regulator* mampu mereduksi putaran motor sesuai dengan skala yang tertera pada *regulator*. Pada *regulator* ini atau biasa disebut *speed control* unit mempunyai 10 skala pengatur putaran pahat. Pada penelitian ini *regulator* berfungsi sebagai pengatur putaran pahat. *Regulator* yang digunakan yaitu jenis AXUD90C.



**Gambar 3.5.** *Regulator.*

### 3.3.5 Dial Indicator

Suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur suatu simpangan putar (*run out*) sebuah poros. Pada proses pengukuran simpangan putar pahat atau kebulatan pahat digunakan sebuah alat ukur *dial indicator*, dimana *dial indicator* yang digunakan memiliki ketelitian hingga 0,01 mm.



**Gambar 3.6.** *Dial indicator.*

### **3.3.6** *Vibration Meter*

*Vibration meter* merupakan alat untuk mengukur getaran. Pada penelitian ini *vibration meter* digunakan sebagai alat untuk mengukur tingkat getaran struktur *Active driven rotary tool* saat dilakukan proses pemesinan. Alat ini memiliki ketelitian hingga 0,001 mm untuk *displacement* dan 0,01 mm/s untuk *velocity*.



**Gambar 3.7.** Alat ukur getaran (Lutron VB-8213).

### 3.3.7 Surface Tester

Alat ini berfungsi untuk mengukur kekasaran dari suatu permukaan. Dengan standar properti pengukuran  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_q$ . Dan dengan ketelitian alat  $0.01 \mu m$ .



**Gambar 3.8.** Surface tester.

### 3.3.8 Mikroskop USB

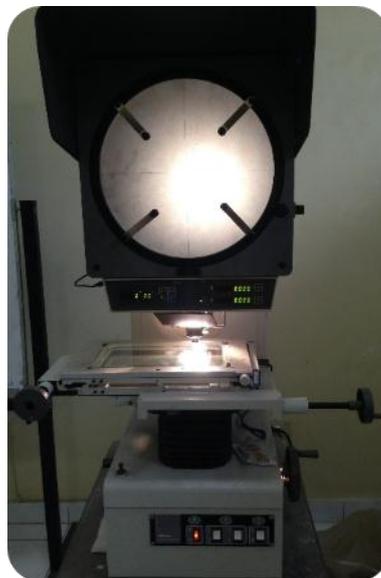
Pada penelitian pemesinan sistem pahat putar mikroskop USB digunakan untuk melihat profil permukaan *round cutter* maupun *milling cutter* hasil pemesinan. Dimana mikroskop yang digunakan memiliki pembesaran hingga 1000X.



**Gambar 3.9.** Mikroskop USB.

### 3.3.9 Profil Projektor

Merupakan perangkat pengukuran optikal yang memperbesar permukaan objek kerja dan diproyeksikan dalam skala *linier/sirkular*. *Profile projector* memperbesar profile benda kerja ke dalam sebuah layar menggunakan tipe pencahayaan *doascope illumination*. Dimensi bend kerja dapat diukur langsung dari layar atau dibandingkan dengan referensi standar pembesaran.



**Gambar 3.10.** *Profile Projector.*

## 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur dalam penelitian sistem pahat putar modular memiliki beberapa tahapan yang dilakukan untuk pengambilan data yaitu pengujian *round cutter* dan *mill cutter*, diantaranya:

### 3.4.1 Persiapan Alat Dan Bahan

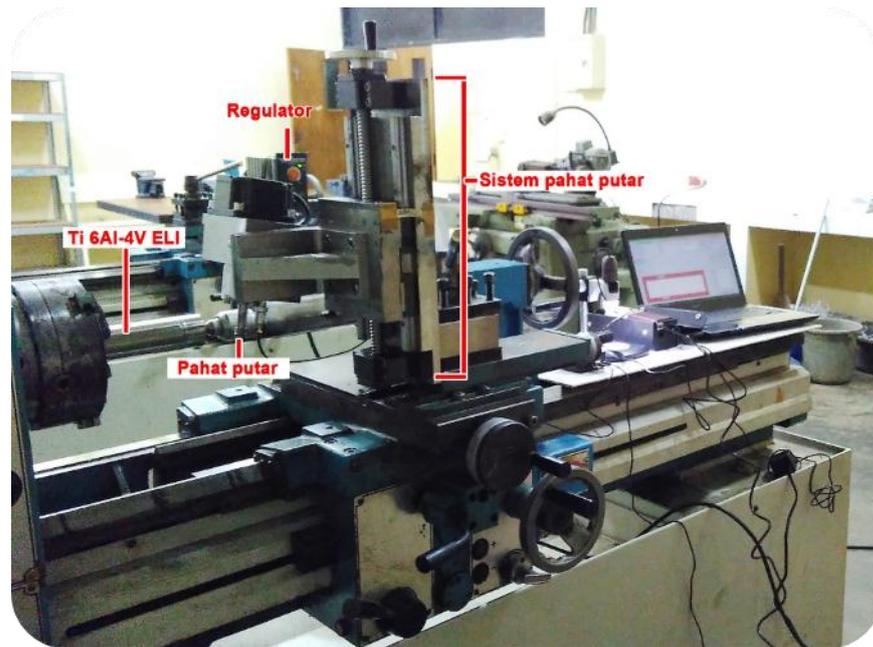
Pada tahap ini merupakan tahap mempersiapkan alat yang akan digunakan untuk melakukan pengujian antara lain: mesin bubut, ADRT

(*Active Driven Rotary Tool*), *speed regulator*, *dial Indicator*, *vibration meter*, *surface tester*, *profile projector* dan spesimen uji Titanium 6Al-4V ELI. Kemudian set-up pemesinan titanium dengan sistem pahat putar.

### 3.4.2 Set-up pemesinan titanium 6Al-4V ELI

Pada tahapan ini dilakukan pemasangan sistem pahat putar pada mesin bubut dan mempersiapkan alat ukur yang digunakan. Adapun tahapannya sebagai berikut:

1. Memasang sistem pahat putar *round cutter* dengan cara memasang pada *holder* bubut pahat diam.
2. Memposisikan pahat *round cutter*  $\beta 10^\circ$ , dengan cara memutar roda gigi internal dan eksternal dan memasang *lock cover* kemudian kencangkan baut. Dimana setiap gigi memiliki  $5^\circ$ .
3. Memasang sensor getaran pada *cover* bantalan bagian bawah *round cutter* dan dihubungkan pada komputer.
4. Memasang material titanium 6Al-4V ELI pada pencekam (*chuck*) mesin bubut kemudian melakukan pengukuran diameter material (50 mm). Memasang senter dan penentuan titik nol pemotongan.
5. Mengubah parameter mesin bubut dan putaran pahat sesuai dengan parameter yang ditentukan pada tabel 3.7. pemesinan dilakukan tanpa cairan pendingin.



**Gambar 3.11.** Set-up pemesinan titanium 6Al-4V ELI dengan sistem pahat putar.

### 3.5 Proses Pengujian Prangkat Modul Pemesinan

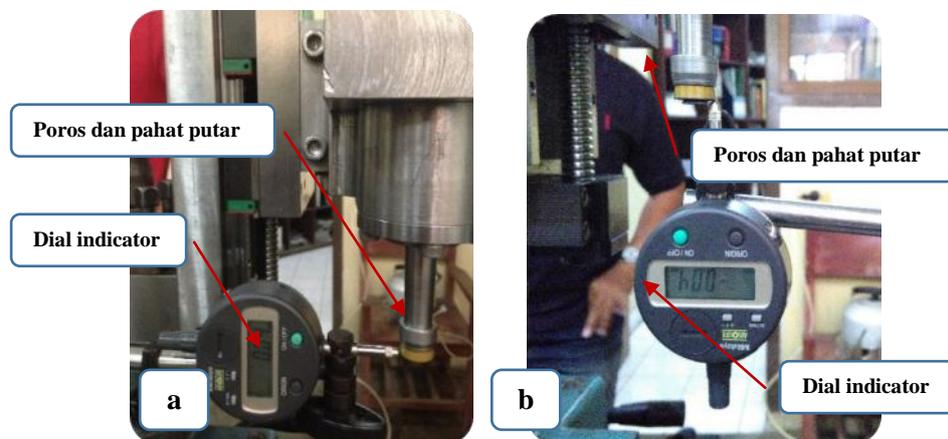
Untuk mengetahui ujuk kerja sistem pahat putar modular maka dilakukan pengujian kekakuan sistem pahat dan penyimpangan yang terjadi pada pahat putar. Dimana pada pengujian ini mengukur *run out* pahat dan kecepatan getar (*velocity*) yang terjadi saat pemesinan berlangsung. Pada pengujian ini alat yang digunakan *dial indikator* dan alat ukur getaran (Lutron VB-8213). Hal ini juga akan menjadi acuan pada pemesinan titanium 6Al-4V ELI dengan sistem pahat putar. Kemudian hasil pengukuran dibandingkan dengan ketentuan standar yang diizinkan.

#### 3.5.1 Proses Pengujian *Run Out* Putaran Pahat

Adapun langkah-langkah untuk mendapatkan *run out* putaran pahat (aksial dan radial) antara lain sebagai berikut:

1. Memposisikan ujung *sylus dial indikator* pada pahat putar modular.

2. Menghidupkan motor penggerak pahat putar dengan menggeser tombol *start regulator*.
3. Memutar *speed control* pada *regulator* pada setiap skala yang tertera pada *regulator*. Pada putaran pahat 100, 700, 1500 Rpm dimana setiap putaran pahat diambil tiga kali putaran pahat.
4. Mencatat hasil *run out* putaran pahat yang terjadi pada setiap kecepatan putaran pahat putar pada tabel.



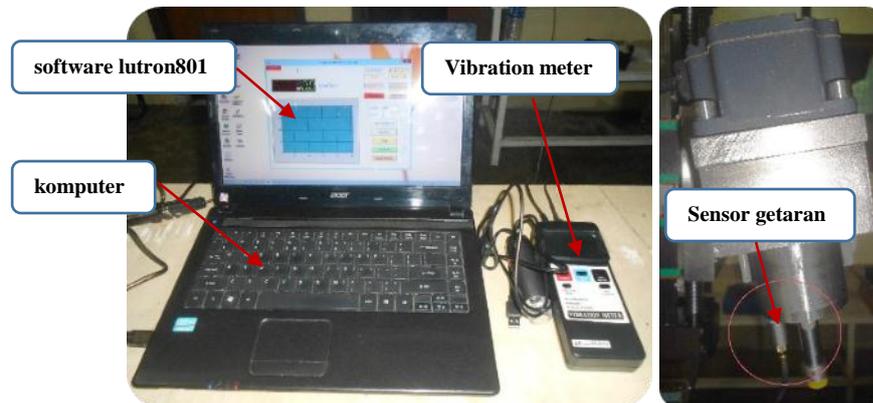
**Gambar 3.12.** Pengujian *run out* (a) arah radial dan (b) arah aksial.

### 3.5.2 Proses Pengujian Kecepatan Getar (*Velocity*)

Pengujian kecepatan getar (*velocity*) dilakukan pada saat proses pemesinan titanium 6Al-4V ELI berlangsung. Ada beberapa tahapan dalam pengambilan data getaran:

1. Menghubungkan alat ukur *vibration meter* dengan komputer dan membuka *software lutron801*. Sensor getaran di letakan pada *cover bantalan* bagian bawah.
2. Melakukan set-up pengujian dengan sistem set-up selanjutnya mengubah COM port detect lalu save dan exit.

3. Mengubah nama data pengujian dengan Set-up lalu create new data file dilanjutkan dengan create dan exit.
4. Pengambilan data getaran *velocity* dilakukan dengan chart display selanjutnya mengubah Y max dan Y min (sesuai keinginan) dilanjutkan set Y-axis min-max kemudian klik run, setelah semua diubah kemudian save data.
5. Menampilkan data getaran dengan cara report kemudian data query open setelah itu klik chat1 untuk menampilkan data query dan untuk melihat grafik show chart.



**Gambar 3.13.** Tahapan pengukuran kecepatan getar (*velocity*).

### 3.6 Pengujian Kinerja Pemesinan

Pengujian ini dilakukan untuk melihat hasil dari pemesinan titanium 6Al-4V ELI menggunakan sistem pahat putar modular, baik *round cutter* maupun *mill cutter*. Pada pengujian *round cutter* yaitu menguji kekasaran permukaan dengan *surface tester* dan mikroskop USB sedangkan untuk *mill cutter* menguji dimensi ulir menggunakan *profil proyektor*. Kemudian hasil pengujian akan dibandingkan dengan standar yang telah ditentukan.

### 3.6.1 Proses Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran dilakukan setelah pemesinan, dimana tiap parameter pemesinan dilakukan tiga kali pengukuran dengan *surface tester* dan mengambil profil permukaan hasil pemesinan dengan mikroskop USB. adapun langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

Kekasaran permukaan (*surface tester*):

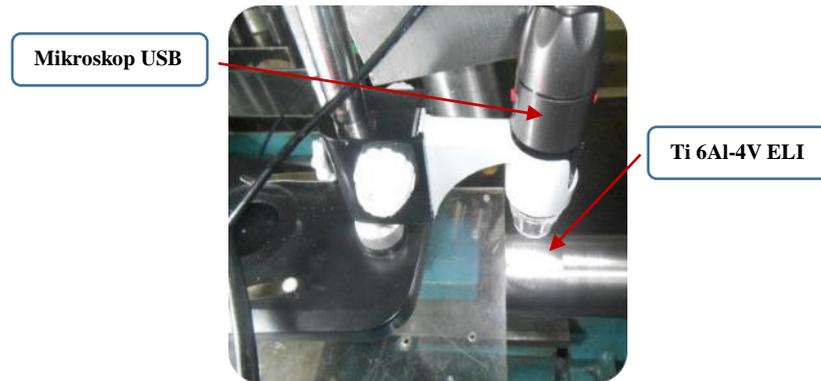
1. Meletakkan akrilik antara spesimen dan center pada mesin bubut, hal ini dilakukan sebagai tumpuan *surface tester* pada saat melakukan pengukuran kekasaran permukaan.
2. Setelah posisi *surface tester* benar dilakukan pengukuran dengan menekan tombol *star* kemudian mencatat data kekasaran ( $R_a$ ) yang tertera pada layar *surface tester*.



**Gambar 3.14.** Pengujian kekasaran permukaan.

Melihat profile permukaan (mikroskop USB):

1. Meletakkan mikroskop USB pada akrilik hingga posisi yang diinginkan sesuai.
2. Memfokuskan gambar dengan cara mengatur pembesaran gambar dan cahaya. Kemudian mengklik capture setelah itu still image capture pada layar komputer setelah itu simpan gambar.



**Gambar 3.15.** Melihat profil permukaan.

### 3.6.2 Proses Pengujian *Mill Cutter*

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem pahat putar *mill cutter* terlebih dahulu membuat spesimen pengujian. Dimana spesimen uji berbentuk ulir dan jenis ulir yang dibuat adalah jenis ulir metrik M6 x 0.75. Pemilihan bentuk ulir yang kecil dikarenakan pada implan biomaterial pada dasarnya menggunakan jenis ulir yang relatif kecil. Sebelumnya dilakukan pembuatan ulir dengan pahat diam, hal ini bertujuan untuk melihat perbandingan antara ulir pahat diam dan *mill cutter*, jenis pahat yang digunakan sama. Perbedaannya hanya terletak pada pahat yang berputar.

### 3.6.3 Proses Pemesinan Spesimen Dengan Pahat Diam.

Adapun langkah-langkah pemesinan untuk pembuatan ulir dengan pahat diam sebagai berikut:

1. Mengganti *bracket round cutter* dengan *bracket mill cutter* dan sudut pemotongan  $\beta 0^\circ$ .
2. Mengunci poros *mill cutter* dengan pengunci poros.
3. Memasang material spesimen pada pencekam (*chuck*) mesin bubut, kemudian menentukan titik nol pemotongan. Dimana sebelumnya

material di bubut menggunakan modul *round cutter* hingga diameter yang diinginkan.

4. Mengubah parameter pemotongan sesuai parameter yang telah ditentukan pada tabel 3.7. kemudian melakukan pemesinan.



**Gambar 3.16.** Set-up pemesinan *mill cutter*.

### 3.6.4 Proses Pemesinan Spesimen Dengan *Mill Cutter*

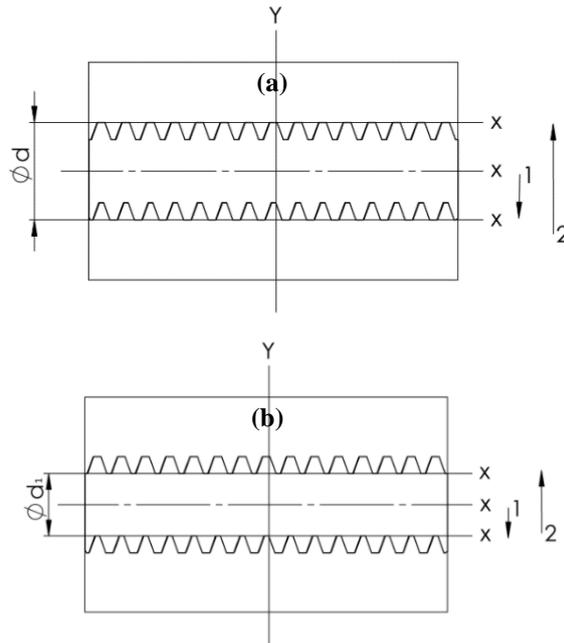
Pada tahapan ini dilakukan instalasi set-up mesin, adapun langkah-langkah pembuatan ulir sebagai berikut:

1. Melepas pengunci poros *mill cutter* agar pahat dapat berputar.
2. Memasang material spesimen pada pencekam (*chuck*) mesin bubut, kemudian menentukan titik nol pemotongan. Dimana sebelumnya material di bubut menggunakan modul *round cutter* hingga diameter yang diinginkan.
3. Mengubah parameter pemotongan sesuai parameter yang telah ditentukan pada tabel 3.8. kemudian melakukan pemesinan.

### 3.6.5 Proses Pengukuran Diameter Mayor dan Minor Ulir

Untuk mengukur diameter mayor dan minor dengan *profil proyektor* ada beberapa tahapan yang harus dilakukan, yaitu:

1. Meletakkan obyek pengukuran ke meja ukur.
2. Menghidupkan profail proyektor kemudian memfokuskan bayangan obyek ukur sehingga mendapatkan bayangan yang tajam pada layar proyeksi dengan pembesaran 20X.
3. Memeriksa kesejajaran garis horizontal proyeksi (sumbu x) dengan sisi obyek ukur, dengan cara:
  - Skala sudut proyeksi di setel pada kedudukan nol.
  - Menggeser obyek sampai didapat sisi obyek ukur sejajar dengan sumbu X.
  - Menggerakkan meja kedepan atau kebelakang sampai posisi benda ukur sejajar mungkin dengan garis referensi sumbu x.
4. Mengatur posisi obyek ukur dengan menggerakkan meja ke depan atau ke belakang untuk arah vertikal (sumbu Y) sampai bayangan garis profil ulir paling bawah (puncak ulir) segaris dengan garis horizontal (garis sumbu referensi Y) dan nolkan skala baca mikrometer.
5. Menggerakkan meja kebelakang dengan memutar handel mikrometer, sampai sumbu referensi x segaris dengan bayangan garis referensi profil puncak ulir dan mencatat hasil pengukuran. Mengulangi pengukuran dengan arah berlawanan dari yang pertama.



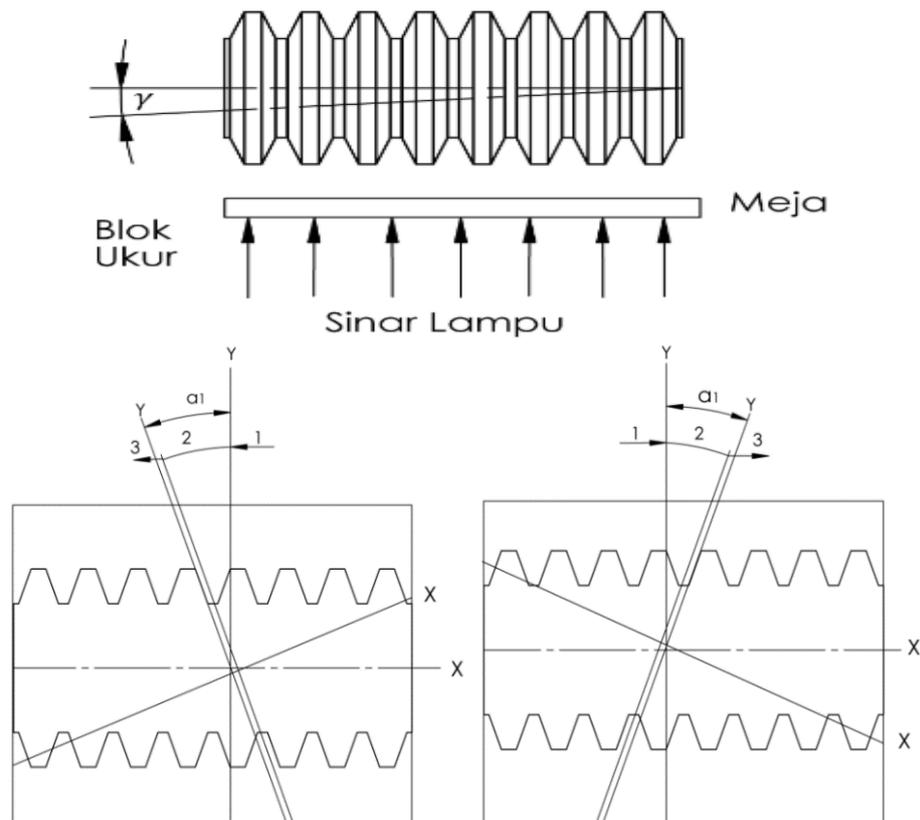
**Gambar 3.17.** Pengukuran diameter (a) mayor dan (b) minor.

### 3.6.6 Proses Pengukuran Sudut Ulir

Untuk mengukur sudut ulir ada beberapa tahapan yang harus dilakukan:

1. Mengulangi langkah (a. Poin 1-4)
2. Memiringkan sumbu ulir sebesar sudut kisarannya, Y dengan menyisipkan blok ukur pada bagian ujung ulir sebesar *pitch* ulir seperti gambar 3.17.
3. Mengfokuskan bayangan benda ukur pada layar proyeksi dengan cara menggerakkan meja keatas-kebawah.
4. Mengerakan meja kekiri-kekanan sampai sumbu referensi Y berpotongan dengan garis puncak ulir.
5. Memutar layar proyeksi sampai garis referensi Y sejajar mungkin dengan bayangan garis dari salah satu sisi ulir.

6. Memutar handel mikrometer ke depan atau kekiri serta memutar layar proyeksi sampai sumbu referensi Y sejajar dengan bayangan garis dari ulir seperti gambar 3.17 dan mencatat hasil pengukuran ( $\alpha_1$ ).
7. Memutar layar proyeksi sehingga kedudukan sudut nol dan menggerakkan meja sampai sumbu referensi Y berpotongan dengan bayangan garis puncak ulir.
8. Memutar layar proyeksi sampai sumbu referensi Y disejajarkan dengan garis dari salah satu sisi ulir yang berseberangan.
9. Dan memutar handel ke depan dan kekanan serta memutar layar proyeksi sampai referensi Y sejajar dengan bayangan garis dari sisi ulir seperti gambar 3.15 kemudian mencatat hasil pengukuran ( $\alpha_2$ ).



**Gambar 3.18.** Pengukuran sudut sisi ulir.

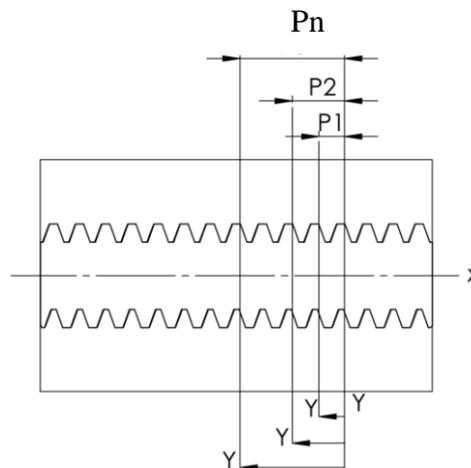
### 3.6.7 Proses Pengukuran Kesalahan *Pitch* Ulir

Pada pengujian *pitch* ulir memiliki beberapa cara yaitu cara I dan cara

II. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan sebagai berikut:

#### Cara pengukuran kesalahan *pitch* langkah 1:

1. Melakukan hal yang sama (a poin 1-4)
2. Memfokuskan bayangan benda ukur sampai mendapatkan bayangan yang tajam dengan menggerakkan meja ke atas dan kebawah.
3. Memutar mikrometer sampai sumbu referensi Y berpotongan dengan bayangan garis referensi puncak ulir yang pertama seperti gambar 3.18 dengan cara menggerakkan meja ke kiri.
4. Memutar mikrometer sampai sumbu referensi Y berpotongan dengan bayangan garis referensi puncak ulir yang kedua seperti gambar 3.18 dengan cara menggerakkan meja kekanan.
5. Mencatat hasil pengukuran kesalahan jarak *pitch*;  $\Delta_p$  ( $\mu\text{m}$ ).

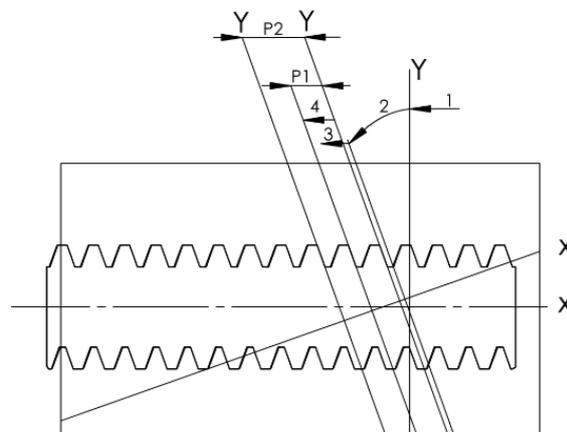


**Gambar 3.19.** Pengukuran jarak *pitch* cara 1.

#### Cara pengukuran kesalahan *pitch* langkah II:

1. Melakukan langkah yang sama (a. Poin 1-4).

2. Memiringkan sumbu ulir sebesar sudut kisarnya dengan menyiapkan blok ukur pada bagian ujung ulir sebesar *pitch* ulir.
3. Dan memfokuskan bayangan dengan menggerakkan meja proyeksi ke atas atau kebawah.
4. Menggerakkan meja kekiri sampai sumbu referensi Y berpotongan dengan garis referensi puncak ulir.
5. Memutar layar proyeksi sampai sumbu referensi Y sejajar mungkin dengan bayangan garis dari salah satu sisi ulir.
6. Memutar mikrometer kedepan atau kekiri sampai sumbu referensi Y segaris dengan bayangan garis dari sisi ulir seperti gambar 3.19.
7. Menggerakkan meja kekanan dengan memutar mikrometer sampai sumbu referensi Y sejajar dengan bayangan referensi sisi ulir sebelah kiri yang berikutnya.
8. Mencatat hasil pengukuran kesalahan *pitch*;  $\Delta_p$  ( $\mu\text{m}$ ).
9. Kemudian menggerakkan meja kekanan dengan memutar mikrometer sampai sumbu referensi Y segaris dengan bayangan garis referensi sisi ulir berikutnya sampai yang terakhir.



**Gambar 3.20.** pengukuran jarak *pitch* cara 2.

### 3.7 Parameter Pemesinan Sistem Pahat Putar Modular

Pengujian yang dilakukan pada sistem pahat putar modular ada dua tahapan yang dilakukan yaitu menguji sistem pahat putar *round cutter* dan *milling cutter*. Dimana pengujian pertama yaitu *round cutter* meliputi pengujian *run out* pahat, kecepatan getar (*velocity*) dan kekasaran permukaan sedangkan pengujian *milling cutter* meliputi pengujian bentuk (pengukuran diameter mayor dan minor, sudut ulir dan kesalahan *pitch*). Pada proses tahapan pengujiannya tentu saja berbeda antara *round cutter* dan *milling cutter* dan parameter pemesinan yang digunakan pun berbeda.

#### 3.7.1 Parameter Pemesinan Round Cutter

Adapun parameter yang digunakan dalam pengujian ujuk kerja sistem pahat *round cutter*, sebagai berikut:

**Tabel 3.5.** Parameter pemesinan *round cutter*

Kecepatan potong ( $V_w$ ) m/menit			Kecepatan pahat putar (Rpm)			Kedalaman makan $\alpha$ (mm)	Kecepatan makan ( $v_f$ ) mm/rev	B
35	90	180	100	700	1500	0.2	0.2	10°

#### 3.7.2 Parameter Pembuatan Ulir Dengan Pahat Diam

Untuk pembuatan ulir metrik halus M6 x 0.75 mm dengan sistem pahat diam parameter yang digunakan sebagai berikut:

**Tabel 3.6.** Parameter pembuatan ulir dengan pahat diam

Kecepatan potong ( $V_w$ ) m/menit	Kedalaman makan $\alpha$ (mm)	Kecepatan makan $v_f$ (mm/rev)
40	0.1	0.75

### 3.7.3 Parameter Pembuatan Ulir Dengan *Mill Cutter*

Perbedaan parameter yang digunakan untuk membuat ulir dengan pahat diam dan berputar hanya terletak pada pahat yang berputar. Adapun parameter yang digunakan, yaitu:

**Tabel 3.7.** Parameter pembuatan ulir dengan pahat *mill cutter*

Kecepatan potong ( $V_w$ ) m/menit	Kecepatan pahat (Rpm)	Kedalaman makan $a$ (mm)	Kecepatan makan $v_f$ (mm/rev)
40	700	0.1	0.75

### 3.8 Analisa Data Pengujian Sistem Pahat Putar Modular

Setelah melakukan pemesinan ujuk kerja sistem pahat putar baik *round cutter* maupun *mill cutter*, kemudian dilakukan pengukuran untuk masing-masing spesimen. Dari data tersebut dilakukan analisa menggunakan full faktor untuk masing-masing data dan membuat pembahasan.

**Tabel 3.8.** Hasil Pengujian *run out* sistem pahat putar modular arah radial.

Kecepatan Putaran Pahat	Data Pengukuran ke			Rata-Rata
	1	2	3	
100 Rpm				
700 Rpm				
1500 Rpm				

**Tabel 3.9.** Hasil pengujian *run out* sistem pahat putar modular arah aksial.

Kecepatan Putaran Pahat	Data Pengukuran ke			Rata-Rata
	1	2	3	
100 Rpm				
700 Rpm				
1500 Rpm				

**Tabel 3.10.** Hasil pengujian getaran pada  $V_w$  35 m/menit

No	waktu	Kecepatan getar ( <i>velocity</i> ) mm/s		
		100 Rpm	700 Rpm	1500 Rpm
1.	1			
2.	2			
3.	3			
4.	4			
5.	5			
6.	6			
7.	7			
8.	8			
9.	9			
10.	10			

**Tabel 3.11.** Hasil pengujian getaran pada  $V_w$  90 m/menit

No	waktu	Kecepatan getar ( <i>velocity</i> ) mm/s		
		100 Rpm	700 Rpm	1500 Rpm
1.	1			
2.	2			
3.	3			
4.	4			
5.	5			
6.	6			
7.	7			
8.	8			
9.	9			
10.	10			

**Tabel 3.12.** Hasil pengujian getaran pada  $V_w$  180 m/menit

No	waktu	Kecepatan getar ( <i>velocity</i> ) mm/s		
		100 Rpm	700 Rpm	1500 Rpm
1.	1			
2.	2			
3.	3			
4.	4			
5.	5			
6.	6			
7.	7			
8.	8			
9.	9			
10.	10			

**Tabel 3.13.** Tabel hasil pengujian kekasaran permukaan pemesinan dengan sistem pahat putar

No	Kec. Potong (m/menit)	Kec. Makan (mm/rev)	Kedalaman makan (mm)	Kec. Putaran pahat (Rpm)	Data Hasil Pengukuran ( $\mu\text{m}$ )			Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
					1	2	3	
					$R_a$	$R_a$	$R_a$	
1.	35	0.2	0.2					
2.								
3.								
4.	90	0.2	0.2					
5.								
6.								
7.	180	0.2	0.2					
8.								

**Tabel 3.13.** Tabel hasil pengujian kekasaran permukaan pemesinan dengan sistem pahat putar (lanjutan)

9.								
----	--	--	--	--	--	--	--	--

**Tabel 3.14.** Hasil pengukuran diameter mayor dan diameter minor ulir

Pembesaran: 20X		Ketelitian:	
Pengukuran ke	Diameter Mayor (mm)	Diameter Minor (mm)	
1			
Dibalik			
2			
Dibalik			
3			
Dibalik			
Rata-rata			

**Tabel 3.15.** Hasil pengukuran sudut ulir dengan profil proyektor

Pembesaran: 20X		Ketelitian:	
Pengukuran ke	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha (\alpha_1 + \alpha_2)$
1			
2			
3			
Rata-rata			

**Tabel 3.16.** Hasil pengukuran kesalahan *pitch*

Jarak pitch teoritik: 1 mm			Pembesaran: 20X			
Komulatif jarak pitch teoritik (mm)		Cara-1		Cara-2		
		Kumulatif hasil pengukuran	Kesalahan komulatif ( $\mu\text{m}$ )	Kesalahan pitch ( $\mu\text{m}$ )	Kumulatif hasil pengukuran	Kesalahan komulatif ( $\mu\text{m}$ )
P <sub>1</sub>	1					
P <sub>2</sub>	2					
P <sub>3</sub>	3					
P <sub>4</sub>	4					
P <sub>5</sub>	5					
P <sub>6</sub>	6					
P <sub>7</sub>	7					
P <sub>8</sub>	8					
P <sub>9</sub>	9					
P <sub>10</sub>	10					
Kesalahan Rata-Rata <i>Pitch</i>						

## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian pengujian sistem pahat putar (*modular tool system*) ini adalah:

1. Pada pengujian *rou out* sistem pahat putar semakin tinggi putaran pahat maka nilai *roun out* yang didapat semakin kecil dan hasil pengujian kecepatan getar (*velocity*) modul *round cutter* didapatkan kecepatan getar maksimum 0.4 mm/s. Berdasarkan standar ISO 2372 tentang evaluasi getaran mesin, nilai tersebut masuk dalam katagori baik.
2. Semakin tinggi putaran pahat ( $V_T$ ) maka nilai kekasaran yang dihasilkan akan semakin rendah. Semakin tinggi kecepatan potong ( $V_W$ ) maka nilai kekasaran akan tinggi. Nilai kekasaran terendah didapat pada kecepatan potong 35 m/min, putaran pahat 1500 Rpm yaitu 0.48  $\mu\text{m}$  dan tertinggi pada kecepatan potong 35 m/menit, kecepatan pahat 100 m/min yaitu 0.71  $\mu\text{m}$ .
3. Sistem pahat putar modular dapat diaplikasikan untuk pemesinan ortopedi bermaterial titanium 6Al-4V ELI. Secara konsep pembuatan ulir

untuk implan biomaterial dengan sistem pahat putar modular belum dapat dilakukan.

## 5.2 Saran

Dari pengujian sistem pahat putar (*modular tool system*) ini dapat memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Melakukan pengujian dengan variasi yang lebih banyak baik kecepatan potong, kecepatan putaran pahat, kecepatan makan, kedalaman makan dan sudut pemotongan.
2. Pada proses pengukuran *run out*, *velocity*, kekasaran maupun pengujian bentuk ulir hendaknya menggunakan alat yang memiliki keakuratan yang tinggi karena berpengaruh pada hasil pengujian.
3. Penggunaan mata modul *freis* pada pembuatan ulir dengan sistem pahat putar (*modular tool system*) tidak dianjurkan sebab ukuran pisau yang tidak sesuai untuk membuat ulir dan memodifikasi *mill cutter* dengan mengikuti konsep pemesinan *thread whirling* untuk pemesinan ulir ortopedi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bagiasna, Komang. 2014. Pengantar Pengujian Ketelitian Geometrik Mesin perkakas. ITB. Bandung.
- Benes, J. (2006, Agustus 17). *Machining Titanium Implants*. Retrieved from NTMA Precesion Online Magazine.
- Batchelor, Andrew W, Margam Channdrasekaran. 2004. *Biomedical Materials and Implants, Singapore Instiute Of Manufacturing Technology. Singapore.*
- Donachie Jr, Matthew J. 2000. *Titanium: A Technical Guide, Secon Edition*. ASM International.
- Dudzinski, D., Deville, A., Moufki, A., Larrouque're, D., Zerrouki, V., & Vigneau, J. (2004). *A Review of Developments Towards Dry and High Speed Machining of Inconel 718 Alloy. International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 439 - 456.
- Enderle, J., & Bronzino, J. (2000). *Introducing to Biomedical Engineering Third Edition. United Kingdom: Elsevier.*
- Harun, Suryadiwansa, Hibasaka, T. Dkk. 2008. *Cutting Temperature Measurement in Turning with Actively Driven Rotary Tool. Key Engineering Material*. Vol. 389-390, pp. 138-14.
- Harun, Suryadiwansa. 2009. *Study On Turning With Actively Driven Rotary Tool. Dissertation*. Kobe University.

Hariyanto, Baron. 2015. Kajian Suhu Pemotongan Permesinan Bubut Menggunakan Pahat Potong Berputar (*Rotary Cutting Tool*) Pada Material Paduan Magnesium AZ31. Universitas Lampung. Lampung.

<https://www.youtube.com/watch?v=FAd9NyB-6ko>. 17:10:52 WIB. 9 September 2016.

Ibrahim, Gusri Akhyar. 2014. Pengaruh Permesinan Kering Terhadap Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Paduan Titanium. Universitas Lampung. Lampung.

Ginting, Armansyah. 2008. Permesinan Ramah Lingkungan Bahan Aero-Angkasa Paduan Titanium Menggunakan Pahat Karbida. USU. Sumatra Utara.

Novriadi, Dwi. 2016. Rancang Bangun Sistem Pahat Putar Modular (*Modular Rptary Tool System*) Untuk Pemesinan Alat Kesehatan Ortopedi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Olgun, Utku dan Budhak, Erhan. 2013. *Machining Of Difficult To Cut Alloys Using Rotary Turning Tools*. Sabanci University. Istanbul. Turkey.

Sewoyo, Trihono. 1990. Kaji teoritik sistem getaran Mekanik Redaman Tak Sebanding. ITB. Bandung.

Rochim, T. 2001. Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas *Geometri*. ITB. Bandung.

Rochim, Taufiq. 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. ITB. Bandung.

Riyadi, Pranca Muhamad. 2015. Rancangan Bangun Sistem Pahat Putar Aktif Tergerak (*Active Driven Rotary Tool*) Untuk Aplikasi Pembubutan Material Mangesium, Universitas Lampung. Lampung.

Saputro, Herman, dkk. 2008. Studi Pengaruh Kedalaman Pemakanan Terhadap Getara dengan Menggunakan Mesin Bubut Chieh Yeh CY 800 Gf. ITENAS. Bandung.

Shaw, M.C., Smith, P.A., and Cook, N.H., the Rotary Cutting Tool, Transactions Of the ASME, Vol.74 (1952) 1065-1076.

Widarto. 2008. Teknik Permesinan Jilid 1. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

Yanis, Muhamad. 2010. Analisis Profil Kebulatan Untuk Menentukan Kesalahan Geometrik Pada Pembuatan Komponen Menggunakan Mesin Bubut CNC. Teknik Mesin. UNSRI. Palembang.