

***POLISHING* MENGGUNAKAN SERBUK PORANG, PASIR SILIKA, ABU  
GOSOK UNTUK MENINGKATKAN KEPRESISIAN DAN KEHALUSAN  
PERMUKAAN BAUT ULIR KORTIKAL Ti-6AL-4V ELI**

**(Skripsi)**

**Oleh :**

**ANDRE FIRMANSYAH  
1855021012**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

***POLISHING* MENGGUNAKAN SERBUK PORANG, PASIR SILIKA, ABU  
GOSOK UNTUK MENINGKATKAN KEPRESISIAN DAN KEHALUSAN  
PERMUKAAN BAUT ULIR KORTIKAL Ti-6AL-4V ELI**

Oleh

**ANDRE FIRMANSYAH**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### ***POLISHING* MENGGUNAKAN SERBUK PORANG, PASIR SILIKA, ABU GOSOK UNTUK MENINGKATKAN KEPRESISIAN DAN KEHALUSAN PERMUKAAN BAUT ULIR KORTIKAL Ti-6Al-4V ELI**

Oleh

**Andre Firmansyah**

Pada komponen medis harus memiliki bentuk presisi, produk presisi pada dunia medis harus memiliki ketahanan korosi dan kuat, salah satu jenis material yang digunakan dalam pembuatan komponen medis adalah titanium. Titanium dan paduannya merupakan jenis material yang digunakan dalam implan tulang dikarenakan memiliki sifat *biocompatible* dan resistensi korosi yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh dari *polishing* terhadap kepresisian dan kehalusan permukaan ulir kortikal.

*Polishing* merupakan jenis metode pemolesan yang dipilih dalam penelitian ini dan material yang digunakan adalah Ti-6Al-4V ELI. Parameter pemolesan yang digunakan adalah putaran spindel 1000, 1200, dan 1400 rpm, sedangkan waktu sebesar 90, 100, dan 110 menit, dan serbuk yang digunakan yaitu porang, pasir silika, dan abu gosok. Kepresisian geometri ulir dapat dilihat melalui pengukuran kesalahan jarak puncak ulir, kesalahan tinggi ulir, kesalahan sudut  $\alpha$ , kesalahan sudut  $\beta$  menggunakan *profile projector* dan kehalusan permukaan ulir dapat dilihat melalui *scanning electron microscope*.

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa *polishing* berpengaruh pada parameter putaran spindel terhadap kesalahan sudut  $\beta$ , waktu berpengaruh terhadap kesalahan jarak puncak ulir, kesalahan tinggi ulir, dan serbuk berpengaruh terhadap kesalahan sudut  $\alpha$ . Hasil *scanning electron microscope* menampilkan bahwa *polishing* dapat meningkatkan kehalusan permukaan ulir serta pengurangan dimensi pada baut ulir. Penggunaan serbuk dengan kesalahan terkecil dalam penelitian ini adalah abu gosok, abu gosok terbukti memiliki pengaruh kecil terhadap pemolesan. Selain itu abu gosok lebih ekonomis dibandingkan dengan porang dan pasir silika.

**Kata kunci:** *polishing*, Ti-6Al-4V ELI, baut ulir.

## **ABSTRACT**

### ***POLISHING USING PORCHING POWDER, SILICA SAND, SHOOTS TO IMPROVE THE PRECISION AND SMOOTHNESS OF THE SURFACE OF THE Ti-6AL-4V ELI chortico-serrated ULTRA FRAME***

**By**

**Andre Firmansyah**

*As medical components must have a precision shape, precision products in the medical world must have corrosion resistance and strength, one type of material used in the manufacture of medical components is titanium. Titanium and its alloys are a type of material used in bone implants because it has biocompatible properties and good corrosion resistance. This study aims to find the effect of polishing on the precision and smoothness of the cortical screw surface.*

*Polishing is the type of polishing method chosen in this study and the material used is Ti-6Al-4V ELI. The polishing parameters used were spindle rotations of 1000, 1200, and 1400 rpm, while the time was 90, 100, and 110 minutes, and the powders used were porang, silica sand, and scouring ash. The precision of the thread geometry can be seen through the measurement of thread peak distance error, thread height error,  $\alpha$  angle error,  $\beta$  angle error using a profile projector and the smoothness of the thread surface can be seen through a scanning electron microscope.*

*This study shows that polishing affects the spindle rotation parameter on the  $\beta$  angle error, time affects the thread peak distance error, thread height error, and powder affects the  $\alpha$  angle error. The scanning electron microscope results show that polishing can improve the smoothness of the thread surface and reduce the dimensions of the threaded bolt. The use of powder with the smallest error in this study is scouring ash, scouring ash is shown to have little effect on polishing. In addition, it is more economical than porang and silica sand.*

**Keywords:** *polishing, Ti-6Al-4V ELI, screw.*

Judul Skripsi : **POLISHING MENGGUNAKAN SERBUK  
PORANG, PASIR SILIKA, ABU GOSOK  
UNTUK MENINGKATKAN KEPRESISIAN  
DAN KEHALUSAN PERMUKAAN BAUT  
ULIR KORTIKAL Ti-6AL-4V ELI**

Nama Mahasiswa : **Andre Firmansyah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1855021012**


Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Komisi Pembimbing 1


Komisi Pembimbing 2

  
**Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, Ph.D**  
NIP. 19710817 199802 1 003

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

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1  
Teknik Mesin

  
**Dr. Amrul, S.T., M.T.**  
NIP. 19710331 199903 1 003

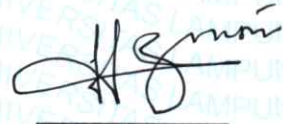
  
**Novri Tanti, S.T., M.T.**  
NIP. 19701104 199703 2 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

Ketua

: **Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, Ph.D.**



Sekretaris

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



Penguji

Bukan Pembimbing : **Ahmad Yahya T.P, S.T., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }**  
NIP. 19750928 200112 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 April 2023**

## PERNYATAAN PENULIS

Skripsi dengan judul “*Polishing Menggunakan Serbuk Porang, Pasir Silika, Abu Gosok Untuk Meningkatkan Kepresisian Dan Kehalusan Permukaan Baut Ulir Kortikal Ti-6AL-4V ELI*”, dibuat sendiri oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiat siapa pun sebagaimana diatur didalam Pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 14 April 2023  
Yang Menyatakan,

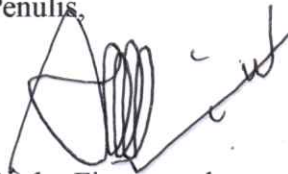


Andre Firmansyah  
NPM 1855021012

26. Teman-teman FOSSI FT (Forum Silaturahmi dan Studi Islam – Fakultas Teknik) Universitas Lampung periode 2019/2020 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
27. Teman-teman pengurus PANSUS FT (Panitia Khusus Pemilihan Raya Fakultas Teknik) Universitas Lampung periode 2019 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
28. Teman-teman BEM UKBM UNILA (Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Keluarga Besar Mahasiswa - Universitas Lampung) periode 2019/2020 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
29. Teman-teman pengurus BEM-FT Universitas Lampung periode 2020/2021 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
30. Almamater Universitas Lampung tercinta
31. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya atas kekurangan dan kekhilafan tersebut. Dengan segala kerendahan hati penulis menerima saran, pendapat serta kritik yang membangun untuk kebaikan bersama. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi semua yang membacanya. Semoga Allah SWT membalas amal baik yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini.

Bandar Lampung, 12 April 2023  
Penulis,



Andre Firmansyah  
NPM 1855021012



## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 22 Oktober 1999. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Jefri Darson dan Ibu Marliyah. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN IV Candimas, Natar, Lampung Selatan pada tahun 2011, pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 5 Natar, Lampung Selatan pada tahun 2014, dan pendidikan menengah atas di SMK 2 MEI Bandar Lampung pada program studi Teknik Sepeda Motor (TSM) diselesaikan pada tahun 2017. Penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung Jurusan Teknik Mesin pada tahun 2018 melalui jalur seleksi mandiri masuk perguruan tinggi negeri (SMMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai organisasi kemahasiswaan, diantaranya Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) menjabat sebagai Sekertaris Bidang Humas periode 2019/2020, Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) menjabat sebagai Kepala Dinas Internal dan Advokasi periode 2020/2021. Pada tahun 2021, penulis telah melaksanakan Kerja Praktek (KP) di **PT. Lambang Jaya** Lampung Selatan, dengan judul laporan **“Analisis Kerusakan Gergaji Pita Arntz Dalam Pemotongan Material Pada Mesin Automatic Band Saw LX-250NC di PT. Lambang Jaya”**. Penulis juga telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2021 sebagai anggota mahasiswa di Desa Hajimena, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Pada tahun 2022, penulis melakukan penelitian di bidang Produksi dengan judul **“Polishing Menggunakan Serbuk Porang, Pasir Silika, Abu Gosok Untuk Meningkatkan Kepresisian Dan Kehalusan Permukaan Baut Ulir Kortikal Ti-6AL-4V ELI”**, dibawah bimbingan Bapak Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, Ph.D., dan Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.

## Motto

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih, Maha Penyayang”

إِيَّاكَ نَعْبُدُ وَإِيَّاكَ نَسْتَعِينُ

“Hanya kepada Engkau kami menyembah dan hanya kepada  
Engkau kami mohon pertolongan”

“Percaya pada proses akan menjadikan hasil yang berkualitas dan menjadi nilai  
ukur dalam menjalani kehidupan”

(Andre Firmansyah 2023)

“Pengorbanan hidup yang ditempa pahit kehidupan  
Insyaallah berbuah manis dengan usaha dan Do'a yang dilakukan”

(Andre Firmansyah 2023)

“Berpetualanglah hingga kau menemukan tempat untuk singgah dan menetap.  
Dan pada akhirnya akan bertemu di waktu yang tepat”

(Andre Firmansyah 2023)

## Persembahan



Segala Puji Bagi Allah SWT, Tuhan Semesta Alam  
Sholawat Serta Salam Selalu Tercurah Kepada Nabi Muhammad SAW.

Kupersembahkan karyaku ini sebagai tanda cinta & kasih sayang kepada:

Mama & Papa, serta saudara-saudariku yang telah memberikan cinta, kasih sayang, dukungan, semangat dan do'a kepadaku.

Para pendidik, yang telah memberikan ilmu dengan penuh rasa sayang dan kesabaran, semoga menjadi amal jariyah yang terus mengalir.

Almamater Universitas Lampung.

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa perubahan luar biasa, menjadi uswatun khasanah di muka bumi ini.

Skripsi ini berjudul “*Polishing* Menggunakan Serbuk Porang, Pasir Silika, Abu Gosok Untuk Meningkatkan Kepresisian Dan Kehalusan Permukaan Baut Ulir Kortikal Ti-6AL-4V ELI.” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya yang telah memberikan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
2. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan saran dan masukan kepada saya selama menempuh program studi S1 di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan tugas akhir kepada penulis serta bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan serta, memberikan perhatian sehingga

penulis dapat menyusun laporan skripsi ini menjadi lebih baik dan dapat menyelesaikan studi S1.

5. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan guna membangun laporan skripsi ini menjadi lebih baik lagi.
6. Bapak Ahmad Yahya T.P, S.T., M.T., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan masukan dan saran-saran membangun agar penulisan laporan ini menjadi lebih baik lagi.
7. Kedua orang tuaku tercinta, Papa (Jefri Darson) dan Mama (Marliyah) atas perhatian, cinta dan kasih sayang yang telah diberikan serta doa yang tak ada hentinya dilantunkan untuk kesuksesan penulis.
8. Kedua orang tuaku, Pak De (Dani Sundana) dan Bude (Dr. Ilim) atas perhatian yang telah diberikan serta doa yang tak ada hentinya dilantunkan untuk kesuksesan penulis dan mensupport dalam membantu dalam masuk ke Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
9. Pak De Kus di Surabaya, yang mensupport dalam membantu dalam masuk ke Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
10. Keluarga Besar Surabaya yang sudah mendoakan dan mensupport saya dalam menyelesaikan skripsi.
11. Keluarga Besar Padang yang sudah mendoakan dan mensupport saya dalam menyelesaikan skripsi.
12. Bapak dan Ibu dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan program studi S1.
13. Bapak Ir. Tarkono, S.T., M.T., IPP., selaku Kepala Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Lampung, yang telah mengizinkan saya dalam menggunakan laboratorium proses produksi sebagai tempat penelitian skripsi saya.
14. Bapak Agus, A.md. dan Bapak Supono, selaku teknisi di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Lampung, yang telah mengizinkan dan membantu saya dalam menggunakan laboratorium proses produksi sebagai tempat penelitian skripsi saya.

15. Bapak Martinus, S.T., M.Sc., selaku Kepala Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Lampung, yang telah mengizinkan saya dalam menggunakan laboratorium metrologi industri sebagai tempat penelitian skripsi saya
16. Bapak Joko Irwanto, S.T., selaku teknisi di Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Lampung, yang telah mengizinkan saya dalam menggunakan Laboratorium sebagai tempat penelitian skripsi saya.
17. Ibu Dr. Widiya Astuti, M.Si., selaku peneliti di UPT Laboratorium Terpadu dan Senta Inovasi Teknologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, yang telah membantu saya dalam melakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM).
18. Bapak Admin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu saya dalam menyelesaikan administrasi dalam perkuliahan selama menempuh studi S1.
19. Akhmad Zikautsar RM, pembimbing saya dalam menyelesaikan skripsi pada awal-awal penyusunan proposal skripsi.
20. Kurnia Agung Laksono, selaku kaka tingkat yang telah membantu saya terkait kendala dalam menyelesaikan skripsi.
21. Anggi saputra, sebagai kawan dan rekan teknik mesin yang telah membantu saya dalam masa-masa diakhir perjuangan dalam skripsi saya.
22. Teman-teman keluarga besar Teknik Mesin Angkatan 2018 yang selalu menjadi rumah bagi penulis dan telah menemani selama masa-masa indah perkuliahan.
23. Kakak-kakak dan adik-adik tingkat Teknik Mesin Universitas Lampung terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
24. Teman-teman pengurus HIMATEM (Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin) Universitas Lampung periode 2019/2020 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
25. Teman-teman HIMATEM (Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin) Universitas Lampung periode 2020/2021 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.

26. Teman-teman FOSSI FT (Forum Silaturahmi dan Studi Islam – Fakultas Teknik) Universitas Lampung periode 2019/2020 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
27. Teman-teman pengurus PANSUS FT (Panitia Khusus Pemilihan Raya Fakultas Teknik) Universitas Lampung periode 2019 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
28. Teman-teman BEM U KBM UNILA (Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Keluarga Besar Mahasiswa - Universitas Lampung) periode 2019/2020 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
29. Teman-teman pengurus BEM-FT Universitas Lampung periode 2020/2021 terima kasih atas kebersamaan dan do'anya.
30. Almamater Universitas Lampung tercinta
31. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya atas kekurangan dan kekhilafan tersebut. Dengan segala kerendahan hati penulis menerima saran, pendapat serta kritik yang membangun untuk kebaikan bersama. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi semua yang membacanya. Semoga Allah SWT membalas amal baik yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini.

Bandar Lampung, 12 April 2023  
Penulis,

Andre Firmansyah  
NPM 1855021012

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
<b>II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Titanium.....	7
2.1.1 Karakteristik titanium.....	7
2.1.2 Titanium paduan (Ti 6Al-4V ELI).....	9
2.2 Baut Implan Kortikal .....	10
2.2.1 Jenis-jenis baut ulir implan .....	11
2.2.2 Aplikasi baut ulir implan.....	12
2.2.3 Material baut ulir implan.....	13
2.2.4 Karakteristik permukaan baut implan .....	14
2.3 Ulir.....	15
2.3.1 Klasifikasi ulir .....	15
2.3.2 Jenis ulir menurut bentuk ulir.....	16
2.3.3 Pengukuran kepresisian ulir .....	17
2.4 Pemolesan.....	18
2.4.1 Tujuan pemolesan .....	19



2.4.2 Teknik pemolesan .....	19
2.4.3 Jenis-jenis penghalusan permukaan .....	19
2.5 Serbuk Abrasif .....	22
2.5.1 Ukuran abrasif .....	23
2.5.2 Serbuk porang .....	23
2.5.3 Serbuk pasir silika .....	24
2.5.4 Serbuk abu gosok .....	25
2.6 Mesin Bor .....	26
2.7 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	26
2.8 Metode Taguchi .....	27
2.8.1 <i>Smaller-the-better</i> (STB) .....	28
2.8.2 <i>Lager-the-better</i> (LTB) .....	28
2.8.3 <i>Nomenital-the-better</i> (LTB) .....	29
2.8.4 <i>Orthogonal array</i> .....	29
2.8.5 Analisis varian taguchi .....	31
2.8.6 Anova .....	33
2.8.7 <i>P-Value</i> .....	34
<b>III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1 Tempat dan Waktu .....	35
3.1.1 Tempat penelitian .....	35
3.1.2 Waktu .....	35
3.2 Alur Penelitian .....	35
3.3 Alat dan Bahan .....	37
3.3.1 Alat .....	37
3.3.2 Bahan .....	42
3.4 Desain Parameter Penghalusan .....	47
3.5 Tahapan Penelitian .....	48
3.6 Prosedur Pengujian .....	48
3.6.1 Persiapan alat dan bahan .....	48
3.6.2 Skema penghalusan .....	49
3.6.3 Proses penghalusan .....	50
3.6.4 Pengamatan <i>scanning electron microscope</i> (SEM) .....	52

3.6.5 Pengukuran ulir menggunakan <i>profil projector</i> .....	52
3.6.6 Data .....	54
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>55</b>
4.1 Data Hasil Pengukuran Dimensi Ulir .....	55
4.2 Pembahasan .....	56
4.3 Kepresisian, Kehalusan Permukaan Baut Ulir Kortikal Sebelum dan Sesudah Pengujian .....	57
4.3.1 Baut ulir sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan rpm 1000 .....	57
4.3.2 Baut ulir sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan rpm 1200 .....	59
4.3.3 Baut ulir sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan rpm 1400 .....	61
4.3.4 Perbandingan kesalahan jarak puncak ( <i>pitch</i> ) sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan. ....	62
4.3.5 Perbandingan kesalahan tinggi ulir sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan.....	64
4.3.6 Perbandingan kesalahan sudut $\alpha$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan.....	66
4.3.7 Perbandingan kesalahan sudut $\beta$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan.....	69
4.4 Pengaruh Putaran rpm, Waktu dan Jenis Serbuk Terhadap Kepresisian Permukaan Baut Ulir Kortikal .....	71
4.4.1 Kesalahan jarak puncak <i>pitch</i> menggunakan Metode Taguchi.....	71
4.4.2 Kesalahan tinggi ulir menggunakan Metode Taguchi.....	76
4.4.3 Kesalahan sudut $\alpha$ menggunakan Metode Taguchi.....	81
4.4.4 Kesalahan sudut $\beta$ menggunakan Metode Taguchi.....	85
4.5 Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	90
4.5.1 Perbandingan kesalahan jarak puncak ( <i>pitch</i> ) sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan .....	90
4.5.2 Perbandingan kesalahan tinggi ulir sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan.....	92
4.5.3 Perbandingan kesalahan sudut ulir $\alpha$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan.....	94
4.5.4 Perbandingan kesalahan sudut ulir $\beta$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan.....	96
<b>V SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>99</b>

5.1 Simpulan .....	99
5.1 Saran .....	100
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>101</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sifat-sifat fisik material titanium .....	8
2.2 Sifat-sifat kimia material titanium .....	9
2.3 Sifat-sifat mekanik titanium .....	9
2.4 Komposisi kimia porang .....	24
2.5 Komposisi kimia pasir silika .....	25
2.6 Komposisi kimia abu gosok .....	25
2.7 Parameter pemotongan .....	30
2.8 Contoh matriks <i>orthogonal array</i> L9 (3 <sup>3</sup> ) .....	30
2.9 Contoh matriks <i>orthogonal array</i> L8 (2 <sup>7</sup> ) .....	31
3.1 Spesifikasi mesin bor KRISBOW 16 MM .....	38
3.2 Spesifikasi SEM-EDX Zeiss EVO MA10 .....	38
3.3 Spesifikasi <i>profile projector</i> .....	40
3.4 Spesifikasi <i>tachometer</i> .....	41
3.5 Spesifikasi baut ulir kortikal (Ti-6Al-4V ELI) .....	42
3.6 Spesifikasi toples selai .....	43
3.7 Spesifikasi serbuk porang .....	44
3.8 Spesifikasi serbuk pasir silika .....	45
3.9 Spesifikasi serbuk abu gosok .....	46
3.10 Spesifikasi saringan mesh 100 .....	47
3.11 Desain parameter penghalusan .....	47
3.12 Pengukuran kesalahan tinggi ulir .....	53
3.13 Pengukuran kesalahan jarak <i>pitch</i> .....	53
3.14 Pengukuran kesalahan sudut ulir .....	53
3.15 Data hasil pengukuran <i>profil projector</i> .....	54

4.1 Data hasil pengukuran dimensi ulir kortikal. ....	55
4.2 Data kesalahan pengukuran dimensi ulir kortikal. ....	55
4.3 Data S/N rasio untuk kesalahan jarak <i>pitch</i> .....	73
4.4 Analisis varian untuk S/N rasio.....	73
4.5 <i>Response table</i> S/N rasio kesalahan jarak <i>pitch</i> .....	74
4.6 Data S/N rasio untuk kesalahan tinggi ulir .....	78
4.7 Analisis varian untuk S/N rasio.....	78
4.8 <i>Response table</i> S/N rasio kesalahan tinggi ulir .....	79
4.9 Data S/N rasio untuk kesalahan sudut $\alpha$ .....	82
4.10 Analisis varian untuk S/N rasio.....	83
4.11 <i>Response table</i> S/N rasio kesalahan sudut $\alpha$ .....	84
4.12 Data S/N rasio untuk kesalahan sudut $\beta$ .....	87
4.13 Analisis varian untuk S/N rasio.....	88
4.14 <i>Response table</i> S/N rasio kesalahan sudut $\beta$ .....	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Paduan titanium dalam bentuk batangan bulat.....	7
2.2 Struktur kristal titanium pada tingkat atom (a.heksagonal) dan (b.kubik).....	10
2.3 Posisi penyambungan implan pada tulang patah .....	11
2.4 (a) Ulir kortikal, dan (b) ulir kanselus.....	11
2.5 (a) Ulir pengunci, dan (b) ulir standar.....	12
2.6 Jenis ulir berdasarkan fungsinya di dalam tulang .....	13
2.7 Mikrograf SEM dari benang implan internal (×200).....	14
2.8 Mikrograf SEM dari sekrup prostetik (×200) .....	15
2.9 Ulir tunggal dan ulir ganda .....	16
2.10 Jenis ulir menurut bentuk sisi ulir .....	17
2.11 Dimensi penting pada ulir .....	17
2.12 Pemolesan .....	19
2.13 <i>Polishing process using AE</i> .....	20
2.14 <i>Laser polishing</i> .....	20
2.15 <i>Burnishing</i> .....	21
2.16 <i>Surface grinding</i> .....	22
2.17 <i>Buffing</i> .....	22
2.18 Media abrasif awal (12 mm) .....	23
2.19 Porang .....	24
2.20 Pasir silika .....	24
2.21 Abu gosok .....	25
2.22 Mesin bor .....	26
2.23 Notasi OA.....	30
3.1 Diagram alur penelitian.....	36

3.2 Mesin bor KRISBOW 16MM.....	37
3.3 SEM -EDX Zeiss EVO MA10.....	38
3.4 <i>Profile projector</i> .....	40
3.5 <i>Tachometer</i> .....	41
3.6 <i>Software minitab 19</i> .....	42
3.7 Baut ulir kortikal (Ti-6Al-4V ELI).....	42
3.8 Toples selai.....	43
3.9 Serbuk porang.....	44
3.10 Serbuk pasir silika.....	45
3.11 Serbuk abu gosok.....	46
3.12 Saringan mesh.....	46
3.13 Skema penghalusan.....	49
4.1 Baut ulir sebelum pemolesan.....	58
4.2 Penggunaan waktu (a)90 menit, (b)100 menit, dan (c)110 menit.....	58
4.3 Baut ulir sebelum pemolesan.....	59
4.4 Penggunaan waktu (a)90 menit, (b)100 menit, dan (c)110 menit.....	60
4.5 Baut ulir sebelum pemolesan.....	61
4.6 Penggunaan waktu (a)90 menit, (b)100 menit, dan (c)110 menit.....	61
4.7 Perbandingan kesalahan jarak puncak <i>pitch</i> sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (a)90 menit.....	62
4.8 Perbandingan kesalahan jarak puncak <i>pitch</i> sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (b)100 menit.....	63
4.9 Perbandingan kesalahan jarak puncak <i>pitch</i> sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (c)110 menit.....	64
4.10 Perbandingan kesalahan tinggi ulir sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (a)90 menit.....	65
4.11 Perbandingan kesalahan tinggi ulir sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (b)100 menit.....	65
4.12 Perbandingan kesalahan tinggi ulir sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (c)110 menit.....	66
4.13 Perbandingan kesalahan sudut ulir $\alpha$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (a)90 menit.....	67

4.14 Perbandingan kesalahan sudut ulir $\alpha$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (b)100 menit .....	68
4.15 Perbandingan kesalahan sudut ulir $\alpha$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (c)110 menit .....	68
4.16 Perbandingan kesalahan sudut ulir $\beta$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (a)90 menit .....	69
4.17 Perbandingan kesalahan sudut ulir $\beta$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (b)100 menit .....	70
4.18 Perbandingan kesalahan sudut ulir $\beta$ sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan pada waktu (c)110 menit .....	71
4.19 Grafik <i>probability plot</i> kesalahan jarak <i>pitch</i> .....	72
4.20 Grafik <i>main effect plot</i> S/N rasio kesalahan jarak <i>pitch</i> .....	75
4.21 Grafik <i>probability plot</i> kesalahan tinggi ulir.....	77
4.22 Grafik <i>main effect plot</i> S/N rasio kesalahan tinggi ulir.....	80
4.23 Grafik <i>probability plot</i> kesalahan sudut $\alpha$ .....	82
4.24 Grafik <i>main effect plot</i> S/N rasio sudut $\alpha$ .....	85
4.25 Grafik <i>probability plot</i> kesalahan sudut $\beta$ .....	86
4.26 Grafik <i>main effect plot</i> S/N rasio sudut $\beta$ .....	90
4.27 Kesalahan jarak puncak <i>pitch</i> sebelum pemolesan menggunakan <i>scanning electron microscope</i> .....	91
4.28 Kesalahan jarak puncak <i>pitch</i> sesudah pemolesan menggunakan <i>scanning electron microscope</i> .....	92
4.29 Kesalahan tinggi ulir sebelum pemolesan menggunakan <i>scanning electron microscope</i> .....	93
4.30 Kesalahan tinggi ulir sesudah pemolesan menggunakan <i>scanning electron microscope</i> .....	94
4.31 Kesalahan sudut ulir $\alpha$ sesudah pemolesan menggunakan <i>scanning electron microscope</i> .....	95
4.32 Kesalahan sudut ulir $\alpha$ sesudah pemolesan menggunakan <i>scanning electron microscope</i> .....	96
4.33 Kesalahan sudut ulir $\beta$ sesudah pemolesan menggunakan <i>scanning electron microscope</i> .....	97



4.34 Kesalahan sudut ulir $\beta$ sesudah pemolesan menggunakan <i>scanning electron microscope</i> .....	98
---	----

# I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Permintaan produk presisi meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu teknik mendapatkan produk yang presisi adalah teknik pemolesan. Teknik pemolesan merupakan teknik untuk mendapatkan permukaan yang halus dari suatu produk. Teknik pemolesan digunakan pada produksi komponen di berbagai bidang, salah satunya bidang medis. Komponen di bidang medis harus memiliki bentuk presisi serta terbuat dari material yang tahan terhadap korosi dan kuat (Gorana et al., 2004). Salah satu material yang digunakan dalam pembuatan komponen medis adalah titanium. (Ibrahim, 2014).

Titanium merupakan jenis material yang memiliki sifat unggul, salah satunya pada tingkat kekerasan yang tinggi, baik pada temperatur tinggi dan memiliki ketahanan patah serta juga ketahanan terhadap korosi pada saat suhu tinggi. Salah satu jenis titanium yang paling banyak digunakan dalam biomedis adalah Ti-6Al-4V-ELI. Material Ti-6AL-4V ELI memiliki daya adaptasi yang sangat baik dalam tubuh manusia, sehingga tidak menimbulkan efek samping dalam penggunaannya. Implan merupakan salah satu contoh aplikasi produk presisi menggunakan material Ti-6AL-4V ELI. Implan dalam biomedis diaplikasikan sebagai penyambungan tulang patah dan ortopedi terapeutik (Damisih et al., 2012). Komponen implan yang memiliki tingkat presisi yang tinggi adalah baut ulir kortikal. Baut ulir kortikal memiliki presisi tinggi, yang baik ditempatkan di dalam tubuh dan tidak memiliki efek samping. Baut ulir kortikal memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda. Bentuk yang digunakan dalam biomedis

memiliki model potongan kerucut, dengan bentuk pelat tipis atau bilah (Arsista, 2018).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Yan, et al (2007), menyimpulkan bahwa konsentrasi tinggi (50%) berpengaruh pada silikon karbida (12 mm) dalam medium dikaitkan dengan kekasaran permukaan yang lebih baik, di mana untuk variasi dari ukuran butir abrasif yang digunakan (12, 30 dan 150 mm) dan variasi rpm yang digunakan yaitu (600, 800 dan 1000) dalam hal ini kualitas permukaan ditingkatkan dalam kondisi celah kecil (0,5 mm) dengan kecepatan putaran tinggi (1000 rpm) merupakan rpm terbaik dalam penelitiannya. Serta penyempurnaan permukaan akhir diperoleh dengan waktu pemesinan 90 menit. Namun, kualitas permukaan menurun pada pemesinan meningkat menjadi 120 menit. Kemudian penelitian yang telah dilakukan oleh P.S. Pa (2009), menyimpulkan bahwa menggunakan kecepatan rotasi yang memadai dari benda kerja dengan kecepatan rotasi tinggi dari alat akhir menguntungkan untuk efek akhir dan sistem desain yang diusulkan dari proses penyelesaian berkelanjutan membutuhkan waktu yang lebih singkat dari pada pemolesan manual atau mesin untuk membuat permukaan sekrup halus dan cerah.

Penelitian yang dilakukan oleh Guzaitis, et al (2011), menyimpulkan bahwa pengaruh kekasaran permukaan ulir internal implan memiliki kekasaran yang unik untuk setiap implan, di mana berkontribusi pada variasi torsi balik dan memfasilitasi pembangkitan *preload* (untuk menjepit dua struktur yang membuat kunci gesekan antar member untuk mengurangi efek beban bersiklus pada implan). Menurut Heran, et al (2017), menyimpulkan bahwa pemolesan sabuk ganda dapat meningkatkan efisiensi pemolesan dan akurasi mekanis saat memoles benda kerja dengan permukaan yang rumit seperti bagian baut ulir. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Yan, et al (2007) menyimpulkan bahwa, berkaitan dengan metode penghalusan permukaan di mana media abrasif langsung bersentuhan dengan benda kerja selama pemolesan. Media abrasif dengan demikian menghilangkan serpihan kecil dan kotoran dari

permukaan benda kerja. Selama pengoperasian alat, media abrasif yang diambil oleh sekrup tidak akan terlepas, tetapi dapat didaur ulang kembali ke sumber aslinya untuk digunakan kembali. Saat bekerja dengan kecepatan tinggi, sekrup yang berputar memoles permukaan benda kerja. Media abrasif ditekan ke permukaan bagian dalam benda kerja dengan sekrup yang berputar. Media abrasif ini sangat ideal untuk metode pemolesan dan *microfinishing*.

Kemudian menurut Zhang, et al (2010), menyimpulkan bahwa elektroda atau benda kerja digerakkan oleh mekanisme rotasi kantilever presisi tinggi. Kelurusan yang baik, tegak lurus, akurasi pemosisian, dan resolusi tinggi harus dijamin untuk mencapai pemesinan presisi tinggi dan kecepatan pemakanan. Selain itu, beberapa perangkat tambahan harus dirancang, seperti catu daya pulsa sempit frekuensi ultra tinggi dan sistem suplai elektrolit. Menurut penelitian Harto (2022) menyimpulkan bahwa bentuk permukaan ulir terbaik didapatkan pada parameter kecepatan potong 2,826 m/menit dan semakin besar kedalaman potong yang digunakan maka semakin besar kekasaran pada permukaan ulir, serta semakin tinggi kecepatan potong maka semakin rendah kekasaran permukaan ulir Ti-6Al-4V ELI. Menurut penelitian Laksono (2022), menyimpulkan bahwa faktor yang paling signifikan terhadap kepresisian geometri ulir dihasilkan dari kedalaman potong dan menyarankan untuk melihat kepresisian baut ulir menggunakan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian terhadap kepresisian dan kehalusan baut ulir kortikal dengan *pemolesan* menggunakan serbuk porang, pasir silika dan abu gosok belum dilakukan. Penelitian ini menggunakan material Ti-6Al-4V ELI. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan putaran, waktu dan serbuk yang optimal untuk kepresisian dan kehalusan permukaan baut ulir kortikal. Topik yang diangkat dalam penelitian ini adalah “*Polishing* Menggunakan Serbuk Porang, Pasir Silika, Abu Gosok Untuk Meningkatkan Kepresisian Dan Kehalusan Permukaan Baut Ulir Kortikal Ti-6AL-4V ELI”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam melakukan pengujian kepresisian dan kehalusan permukaan baut ulir kortikal dapat dikemukakan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi putaran 1000, 1200 dan 1400 rpm dapat meningkatkan kepresisian dan kehalusan pada permukaan baut ulir kortikal?
2. Bagaimana variasi waktu dalam pengujian 90, 100 dan 110 menit dapat meningkatkan kepresisian dan kehalusan pada permukaan baut ulir kortikal?
3. Bagaimana variasi serbuk yang digunakan dalam pengujian serbuk porang, pasir silika dan abu gosok dapat berpengaruh terhadap kepresisian dan kehalusan pada permukaan baut ulir kortikal?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari pengujian kepresisian dan kehalusan permukaan baut ulir kortikal adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perbandingan kehalusan, kepresisian pada baut ulir kortikal sebelum pengujian dan setelah pengujian.
2. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar, waktu, serbuk terhadap kepresisian baut ulir kortikal.
3. Melakukan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM).

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir (skripsi) ini penulis membatasi sebagai berikut:

1. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin *drill press* krisbow 16mm KW1500540, *scanning electron microscope-energy dispersive x-ray* (SEM-EDX) dan *profile projector*
2. Parameter penelitian meliputi rpm, waktu dan serbuk.

3. Variasi putaran yang digunakan sebesar 1000, 1200 dan 1400 rpm
4. Variasi waktu yang digunakan sebesar 90, 100 dan 110 menit
5. Serbuk yang digunakan yaitu tepung porang, pasir silika dan abu gosok.
6. Pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian terhadap struktur mikro.
7. Pengambilan data hasil eksperimental L<sub>9</sub> menggunakan Metode Taguchi.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan untuk penelitian ini yaitu sebagai berikut:

Bab I. Pendahuluan, bab ini terdiri tentang latar belakang yang berisikan alasan-alasan dari penulisan penelitian tentang material Ti-6Al-6V ELI, proses pemolesan pada baut ulir. Kemudian terdapat tujuan penelitian. Lalu batasan masalah penelitian yaitu terkait alat yang digunakan, parameter yang dipakai beserta variasi-variasi yang digunakan. Terakhir sistematika penulisan berisikan terkait isi pada bab-bab dalam penulisan penelitian ini, seperti pendahuluan, tinjauan pustaka, metode penelitian, data baut ulir kortikal dan pembahasan, penutup serta daftar pustaka. Sistematika penulisan pada penelitian terbagi menjadi lima bab, yaitu:

Bab II. Tinjauan Pustaka, pada bab ini berisikan tentang material titanium dan sifat-sifatnya, titanium paduan Ti-6AL-4V ELI, ulir dan jenis-jenisnya, Kekasaran permukaan, metode pemolesan, Metode Taguchi, analisis varian taguchi, anova, *P-value*, dan dasar-dasar mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini.

Bab III. Metodologi Penelitian, pada bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alur penelitian, alat dan bahan, serta prosedur penelitian yang digunakan pada penelitian ini.

Bab IV. Hasil dan Pembahasan, pada bab ini berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh pada pengujian yang telah

dilakukan dan diamati serta membahas setiap perbandingan pada setiap parameter.

Bab V. Kesimpulan dan Saran, pada bab ini berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dari hasil penelitian yang didapatkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini

Daftar Pustaka, bab ini memuat tentang referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.

## II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Titanium

Titanium merupakan logam yang sangat tahan korosi. Simbol unsur kimianya adalah Ti. Ini adalah unsur kesembilan yang paling melimpah di kerak bumi dan tersebar luas (Fariza, 2017). Titanium biasa juga digunakan dalam industri, penerbangan, biomedis, elektronik dan benda mikroskopis lainnya. Titanium merupakan logam yang sangat familiar dalam kehidupan manusia, banyak orang mengetahui bahwa titanium dapat digunakan dalam pembuatan perhiasan, elektronik, peralatan medis dan produk lainnya yang membutuhkan kekuatan material (Ibrahim, 2014).



Gambar 2.1 Paduan titanium dalam bentuk batangan bulat (Fariza, 2017)

#### 2.1.1 Karakteristik titanium

Titanium merupakan logam yang sangat kuat, yang terkandung sebagai logam tahan korosi dan memiliki unsur kimia yang dilambangkan dengan Ti. Titanium juga merupakan elemen nomor 9 yang sangat umum di bumi. Titanium sangat umum karena cukup besar untuk oksigen dan



elemen lainnya. Logam ini sebenarnya ada di alam, dan titanium terkandung dalam berbagai mineral. Contohnya adalah rutil dan ilmenit. Titanium merupakan logam yang sangat reaktif dan sangat menguntungkan karena oksida yang terbentuk pada permukaan logam bersifat stabil dan memiliki efek melindungi logam. Titanium Ti-6Al-4V adalah jenis paduan titanium yang mengandung elemen penstabil isomorfik seperti vanadium, molibdenum, niobium dan tantalum. Oleh karena itu, unsur-unsur ini tidak dapat membentuk senyawa intermetalik, tetapi dapat mengurangi densitas dan tidak meningkatkan kekerasan dan kekuatan paduan titanium itu sendiri. Penambahan stabilisator homomorfik juga bertujuan untuk memperkuat fasa untuk menjaga kestabilan pada suhu transisi yaitu sebesar (882°C) (Prajitno dkk, 2019).

### 1. Sifat fisik titanium

Titanium bersifat paramagnetik (lemah tertarik oleh magnet) dan memiliki konduktivitas listrik dan termal yang relatif rendah.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik material titanium

Sifat fisik	Keterangan
Fasa	Padat
Masa jenis	3.506 g/cm <sup>3</sup> (suhu kamar)
Masa jenis cair	4.11 g/cm <sup>3</sup> (pada titik lebur)
Titik lebur	1941 K (16680 C, 30340 F)
Titik didih	3560 K (32870 C, 59490 F)
Kalor peleburan	14.15 kJ/mol
Kalor penguapan	425 kJ/mol
Kapasitas kalor (25°C)	25.060 J/mol.K
Penampilan	Logam perak metalik
Resistivitas listrik (20°C)	0.420 μΩ.m
Konduktivitas termal (300K)	21.9 W/(m.K)
Ekspansi termal (25°C)	8.6 μm/(m.K)
Kecepatan (pada wujud kawat) (suhu kamar)	5090 m/s

(Baharudianto, 2020)

### 2. Sifat kimia

Adapun sifat-sifat kimia yang ada pada material titanium yaitu:

Tabel 2.2 Sifat-sifat kimia material titanium

Sifat fisik	Keterangan
Nama, lambang, nomor atom	Titanium, Ti, 22
Deret kimia	Logam transisi
Golongan, priode, blok	4, 4, d
Massa atom	47.867 (1) g/mol
Konfigurasi electron	[Ar] 3 d3 4s2
Jumlah elektron tiap kulit	3, 8, 10, 2
Struktur Kristal	Hexagonal
Bilangan oksidasi	4
Elektronegativitas	1.54 (skala pauling)
Energi ionisasi	Ke-1: 658.8 kJ/mol Ke-2: 1309.8 kJ/mol Ke-3: 2652.5 kJ/mol
Jari-jari atom	140 pm
Jari-jari atom (terhitung)	176 pm
Jari-jari kovalen	136

(Suganda, 2021)

### 3. Sifat mekanik

Adapun sifat-sifat mekanik yang ada pada material titanium dan paduan diantaranya yaitu:

Tabel 2.3 Sifat-sifat mekanik titanium

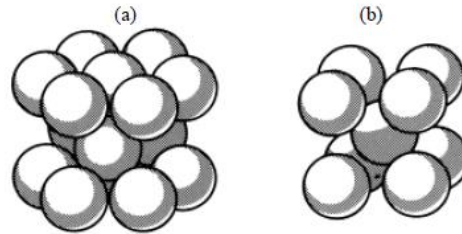
Sifat fisik	Keterangan
Modulus <i>young</i>	116 Gpa
Modulus geser	44 Gpa
Modulus ruah	110 Gpa
Nisbah <i>poisson</i>	0,32
Skala kekerasan	6
Kekerasan <i>Vickers</i>	970 Mpa
Kekerasan <i>Brinell</i>	716 Mpa
Nomor CAS	7440-32-6

(Baharudianto, 2020)

#### 2.1.2 Titanium paduan (Ti 6Al-4V ELI)

Titanium paduan merupakan elemen yang sudah ada sebagai unsur lebih dari satu berbentuk kristal. Pada rentan suhu ruangan, titanium juga memiliki bentuk struktur kristal (heksagonal) yang disebut sebagai fase alfa, di mana fasa ini ketika dipanaskan pada rentan suhu 888°C atau

1621°F, struktur ini akan berubah menjadi struktur berbentuk kubik terpusat (BBC).



Gambar 2.2 Struktur kristal titanium pada tingkat atom (a.heksagonal) dan (b.kubik) (Fariza, 2017)

## 2.2 Baut Implan Kortikal

Menurut penelitian Sutowo (2014), baut implan dapat ditempatkan baik di dalam maupun di luar tubuh manusia. Gambar di bawah ini menunjukkan bagaimana plat menempel pada tulang kaki, yang merupakan bagian pendukung tubuh manusia. Dimana kita tidak bisa berdiri tegak tanpa tulang, bayi mulai membentuk tulang di dalam rahim sejak usia 20 tahun. Secara umum kerusakan tulang dapat disebabkan oleh kecelakaan, cacat, kekurangan mineral tulang, trauma, dan efek samping dari gaya hidup yang tidak sehat. Parameter keberhasilan implan menurut Drismyanti, dkk. (2012) menyatakan bahwa tidak ada tanda atau gejala nyeri, tidak ada infeksi nanah di daerah perimplan, dan tidak ada resorpsi tulang per implan  $< 1.5$  mm pada tahun pertama, dan  $< 0.2$  mm di tahun-tahun berikutnya. *Behneke* dan *d'Hoedt* telah mengembangkan seperangkat kriteria untuk menilai keberhasilan implan dan untuk menilai keberhasilan reaksi tulang  $< 4$  mm, kedalaman probing  $< 4$  mm, dan pengukuran aliran cairan  $< 2,5$  mm. Implan biasanya ditempatkan pada tulang kortikal karena kekuatan tulangnya yang tinggi.



Gambar 2.3 Posisi penyambungan implan pada tulang patah (Sutowo, 2014)

### 2.2.1 Jenis-jenis baut ulir implan

Sebuah penelitian oleh Nashrulah (2016) menyatakan bahwa ada berbagai jenis sekrup yang dapat diklasifikasikan berdasarkan kepadatan tulang dan kemampuan pengunciannya.

#### 1. Berdasarkan kepadatan tulang

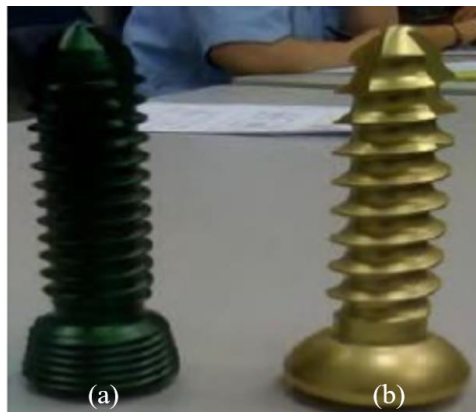
Menurut hal tersebut, ulir dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu ulir kortikal dan ulir kancellus. Ulir didesain untuk dapat digunakan pada tulang-tulang tengkorak, dan dipasangkan melalui seluruh panjang poros. Baut ulir kortikal mempunyai jumlah ulir per inci yang lebih banyak dari pada baut ulir kancellus. Baut ulir kortikal mempunyai diameter akar yang relatif lebar, puncak ulir-ulir kecil, dan lebih pendek dari baut ulir kancellus, baut ulir kancellus mempunyai puncak ulir-ulir yang lebih lebar dan ulir yang lebih dalam untuk meningkatkan restitensi ulir pada tulang trabekula epifisis pada sendi, ujung yang membulat adalah epifisis.



Gambar 2.4 (a) Ulir kortikal, dan (b) ulir kancellus (Gunawarman et al., 2020)

## 2. Berdasarkan kemampuan mengunci

Menurut hal tersebut, ulir dapat dibedakan menjadi dua jenis: ulir standar dan ulir pengunci. Ulir standar adalah jenis ulir yang mempunyai kepala tidak berulir, akibatnya ulir mudah digerakkan dengan leluasa dan fleksibel, tetapi lebih mudah digeser. Sementara itu, ulir pengunci memiliki kekuatan lentur dan tegangan geser yang lebih tinggi pada daerah sambungannya yaitu antara ulir tulang dan ulir plat yang dibandingkan ulir standar. Kepala ulir dengan profil ulir yang bergerak sesuai dengan lubang di plat menghasilkan sudut fiksasi yang cukup stabil.

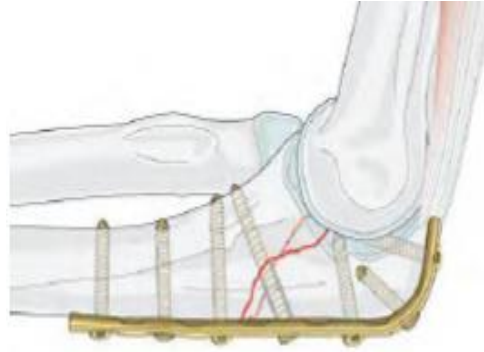


Gambar 2.5 (a) Ulir pengunci, dan (b) ulir standar (Gunawarman et al., 2020)

### 2.2.2 Aplikasi baut ulir implan

Berdasarkan penelitian Sukmana (2016) menyatakan bahwa konsep penerapan tulang yang mampu patah adalah kesesuaian antara korosi baut tulang dengan proses penyembuhan patah tulang. Menurut penelitian Nashrulah (2016) menyatakan bahwa ulir dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu ulir pelat dan posisi ulir. Ulir pelat didesain untuk menahan pelat ke tulang, biasanya diposisikan diujung lubang pelat (no.1 dan 7). Ulir didesain untuk memberikan kompresi interfragmenter. Ulir ini diposisikan sedemikian rupa sehingga ulirnya menempel pada area tulang yang retak terletak (di no.4). Ulir posisi, di sisi lain, dapat

digunakan untuk mempertahankan posisi relatif fragmen tulang kecil ketika rekonstruksi anatomi ekstensif dilakukan. Ulir ini tidak menghasilkan kompresi interfragment karena ulir tidak dipotong pada bidang yang sama. (2, 3, 5, dan 6).



Gambar 2.6 Jenis ulir berdasarkan fungsinya di dalam tulang  
(Gunawarman et al., 2020)

### 2.2.3 Material baut ulir implan

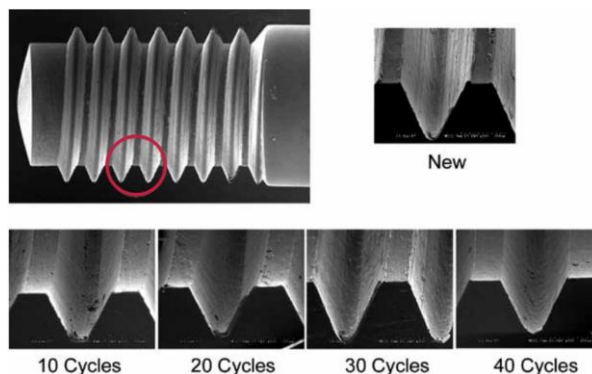
Berdasarkan penelitian, Nashrulah (2016) menyatakan bahwa biomaterial didefinisikan sebagai bahan yang digunakan pada alat kesehatan yang dimaksudkan untuk berinteraksi dengan sistem biologis organisme. Ada banyak pertimbangan saat merancang implan medis, seperti sifat mekanik dan daya tahan. Ketiga komponen ini adalah tiga bagian dari hubungan antara implan dan desain tertentu. Hal pertama dan terpenting adalah bahannya harus sesuai dengan tubuh manusia. Biomaterial Ti-6Al-4V ELI tidak bereaksi dengan tubuh atau bereaksi negatif, dan sebaliknya. Ini tidak beracun dan karsinogenik. Biomaterial memiliki sifat fisik dan mekanik yang cocok untuk bertindak sebagai pengganti jaringan atau pengganti dalam tubuh.

Berdasarkan penelitian Gunawarman, et al (2020) menyatakan bahwa bahan material titanium, jenis paduan  $\alpha+\beta$  Ti-6Al-4V ELI, telah dipakai dalam aplikasi ortopedi karena biokompatibilitas dan kemampuan menahan beban serta modulus elastisitas yang relatif rendah. Untuk

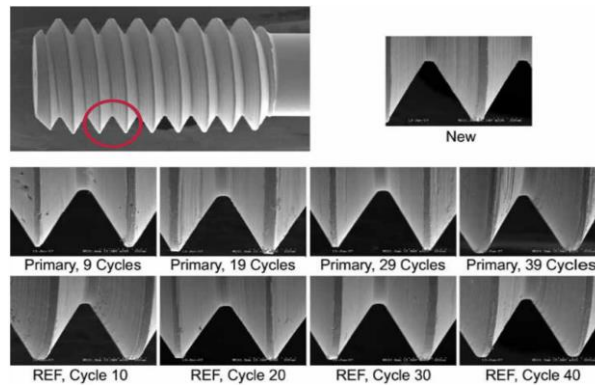
membantu mengurangi efek pelindung stres yang mungkin terjadi selama prosedur implansi. Titanium mempunyai banyak keunggulan yang menjadikan material implan yang baik. Material titanium yang ditanamkan di dalam tubuh pasien menghasilkan respon inflamasi dan hipersitivitas yang rendah saat berkontak dengan lingkungan dalam biologis tubuh.

#### 2.2.4 Karakteristik permukaan baut implan

Karakteristik karakter permukaan implan bervariasi antar kelompok. Mikrograf SEM dari implan yang dipilih dan sekrup yang disajikan pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8. Dimana secara permukaan implan yang diproduksi tidak homogen, lurik, dan tidak berpori dengan serpihan permukaan, sedangkan spesimen implan terpilih dari PS9, PS19, dan PS39 menunjukkan fitur permukaan yang lebih homogen dengan sedikit serpihan. Sebaliknya, spesimen implan dari PS29 menunjukkan fitur permukaan nonhomogen, lurik, tidak ada porositas, dan lebih banyak puing-puing permukaan. Morfologi ulir sekrup juga bervariasi, seperti pada sekrup PS9 dan permukaan sekrup utamanya homogen, lurik, dan tidak berpori tanpa ada serpihan permukaan (Guzaitis et al., 2011).



Gambar 2.7 Mikrograf SEM dari benang implan internal ( $\times 200$ )  
(Guzaitis et al., 2011)



Gambar 2.8 Mikrograf SEM dari sekrup prostetik ( $\times 200$ ) (Guzaitis et al., 2011)

## 2.3 Ulir

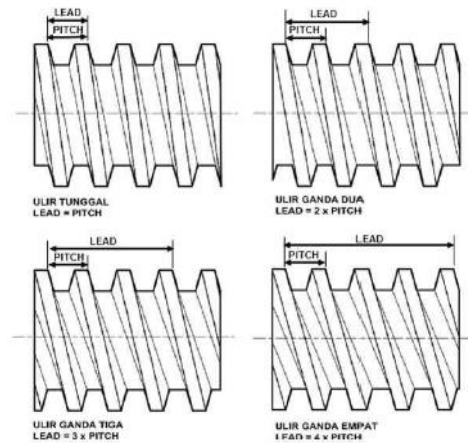
Ulir adalah garis yang mengelilingi benda berbentuk silinder dengan sudut kemiringan tertentu. Sistem ulir dasar adalah menghubungkan dua komponen menjadi satu kesatuan. Dalam perkembangannya, yang terpenting adalah standar dari ulir itu sendiri. Pada awal penemuannya, tidak ada ulir standar, dan masalah seperti ketidakcocokan sering ditemukan. Solusi dari permasalahan tersebut pada saat itu adalah mengembangkan Standar Internasional (ISO) untuk meningkatkan sistem ulir untuk mendapatkan komponen ulir yang dapat digunakan di mana saja dan dapat diproduksi secara massal untuk mendukung kemajuan dalam teknologi industri (Widyanto & Jamasri, 2001).

### 2.3.1 Klasifikasi ulir

Klasifikasi ulir dapat dikategorikan berdasarkan arah gerakan, jumlah lintasan, dan bentuk garis. Tergantung pada arah gerakannya, ulir dibagi menjadi ulir kanan dan ulir kiri. Garis di sebelah kanan adalah garis yang dapat dimajukan dengan cara memutar searah jarum jam, dan garis di sebelah kiri adalah garis yang dapat dimajukan dengan cara memutar berlawanan arah jarum jam. Dilihat dari jumlah ulir (*pitch*) dalam setiap kelompok, ulir dapat dibagi menjadi tunggal dan ganda. Ulir ganda berarti ada beberapa ulir secara berurutan (dari atas satu ulir ke atas yang



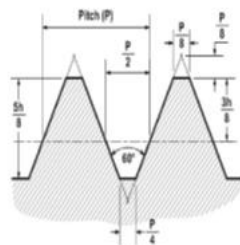
lain). Seperti 1 ulir, 2 ulir, 3 ulir, dan 4 ulir. Ulir ganda biasanya dinyatakan sebagai jumlah ulir. Dari ulir 2, ulir 3, ulir 4. Gambar di bawah menunjukkan grafik centang tunggal dan grafik centang ganda. Dari segi bentuk, ulir ganda dapat menempuh jarak yang lebih jauh dalam satu putaran dari pada ulir tunggal itu sendiri (Munandi, 1980).



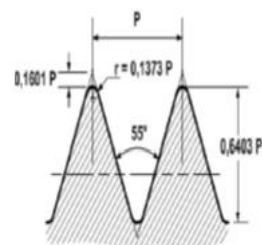
Gambar 2.9 Ulir tunggal dan ulir ganda (Munandi, 1980)

### 2.3.2 Jenis ulir menurut bentuk ulir

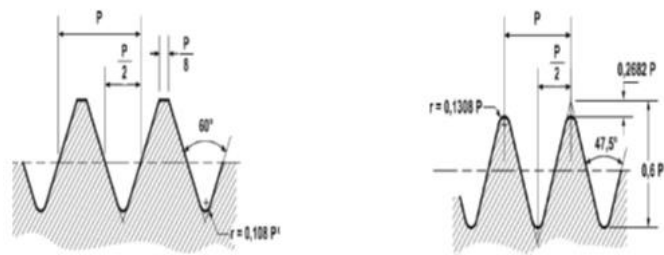
Dari sisi bentuk ulir, ulir dapat dibagi menjadi ulir segitiga, persegi panjang, trapesium, dan parabola (*knuckle*). Bentuk ulir ini tergantung dari standar yang akan digunakan. Di bawah ini adalah beberapa contoh bentuk ulir (Munandi, 1980).



Ulir Metrik (ISO)

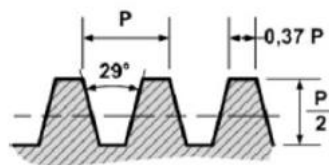


British standar whihtworth



Ulir Unified

British Association

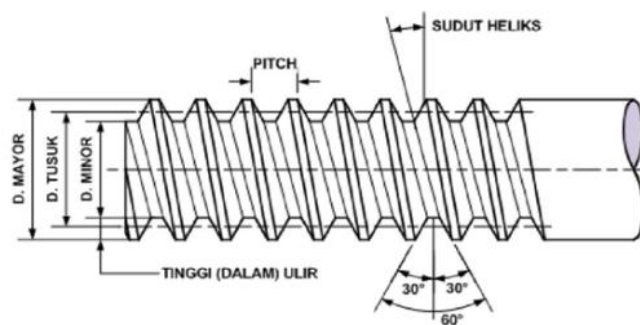


ACME

Gambar 2.10 Jenis ulir menurut bentuk sisi ulir (Munandi, 1980)

### 2.3.3 Pengukuran kepresisian ulir

Dalam mengukur dimensi ulir, ada beberapa dimensi-dimensi penting yang harus diketahui arti dari istilahnya. Beberapa dimensi penting itu ditunjukkan pada gambar dibawah ini (Munandi, 1980).



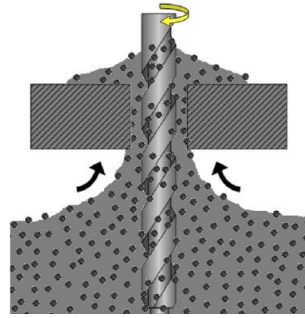
Gambar 2.11 Dimensi penting pada ulir (Munandi, 1980)

- D = Diameter mayor (diameter luar) merupakan diameter terbesar dari ulir.
- $d_3$  = Diameter menitor (diameter inti) merupakan diameter terkecil dari ulir.

- $d_2$  = Diameter *pitch* (diameter tusuk) merupakan diameter semu yang terletak diantara diameter luar dan diameter inti. Pada radius dari diameter tusuk inilah letaknya titik-titik singgung antara pasangan dua buah ulir sehingga pada titik - titik tersebut yang dapat menerima beban terberat sewaktu pasangan ulir dikencangkan.
- P = Jarak antara puncak ulir disebut juga dengan istilah *pitch*, merupakan dimensi yang cukup besar pengaruhnya terhadap pasangan ulir. Karena jika jarak antara puncak ulir yang satu dengan yang lainnya tidak sama maka ulir ini tidak dapat dipasangkan dengan ulir lainnya yang jarak ukuran puncaknya masing - masing sama. Kalaupun bisa maka dilakukan dengan jalan paksa sehingga pada akhirnya akan merusak ulir yang sudah betul. Akibatnya pasangan dari beberapa komponen dalam satu unit tidak akan bisa bertahan lama. Maka pada proses pembuatan jarak puncak ulir harus benar - benar diperhatikan , sehingga kesalahan yang terjadi pada jarak puncak ulir masih dalam batas batas yang diizinkan.
- $\alpha$  = Sudut ulir adalah sudut dari kedua sisi permukaan ulir yang menggunakan satuan derajat. Untuk *American standard* dan ISO sudut ulirnya adalah  $60^\circ$ . Untuk ulir *whitworth* sudut ulirnya  $55^\circ$ .
- H = Kedalaman ulir merupakan jarak antara diameter inti dengan diameter luar.

## 2.4 Pemolesan

Pemolesan adalah cara untuk mengurangi kekasaran permukaan dan goresan dengan menggunakan instrumen pemolesan. Dimana proses pemolesan dilakukan untuk menghilangkan goresan kecil dari permukaan restorasi dan mencapai kemilau reflektif yang halus. Proses pemolesan juga dirancang untuk menghasilkan permukaan yang seragam dengan goresan dan deformasi mikroskopis yang minimal (Jefferies et al., 2007).



Gambar 2.12 Pemolesan (Yan et al., 2007)

#### 2.4.1 Tujuan pemolesan

Tujuan pemolesan adalah untuk mendapatkan permukaan halus. Permukaan halus didapatkan dengan menggunakan serbuk yang lebih kecil, dalam memberikan tampilan halus dan berkilau pada material. Kualitas permukaan yang diperhalus dapat dilihat dengan mengukur atau mengamati kekasaran permukaan dengan menggunakan *profilometer*, mikroskop optik, atau mikroskop elektron penerbitan (SEM) (Anusavice, 2014).

#### 2.4.2 Teknik pemolesan

Teknik pemolesan dapat dibagi menjadi dua jenis, teknologi pemolesan satu langkah dan teknologi pemolesan multi-langkah. Perbedaan kedua teknik ini hanya pada jumlah bahan abrasif yang digunakan. Teknik pemolesan satu langkah hanya menggunakan satu alat pemoles, sedangkan teknik pemolesan multi langkah menggunakan beberapa jenis alat pemoles dan membutuhkan waktu lebih lama (Diana, 2012).

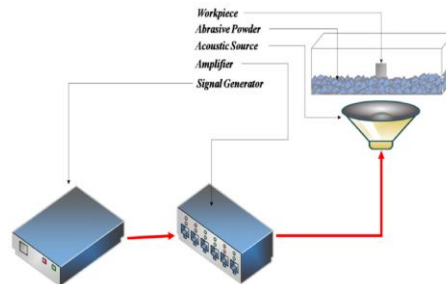
#### 2.4.3 Jenis-jenis penghalusan permukaan

Adapun jenis-jenis penghalusan pada material adalah sebagai berikut:

##### 1. *Polishing process using AE*

*Polishing process using AE* merupakan kemampuan energi akustik yang di survei pada rentang frekuensi rendah untuk menggerakkan partikel abrasif untuk memoles benda kerja paduan aluminium 2024.

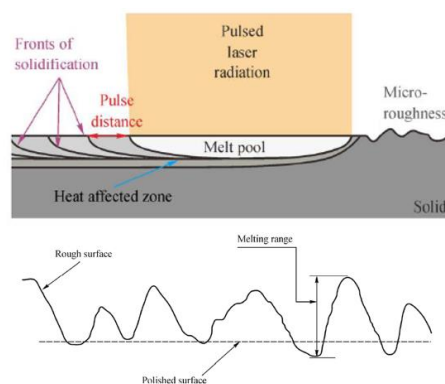
Dan dapat dilihat pada Gambar 2.13 sebagai berikut (Beigmoradi & Vahdati, 2022).



Gambar 2.13 *Polishing process using AE* (Beigmoradi & Vahdati, 2022)

## 2. *Laser polishing*

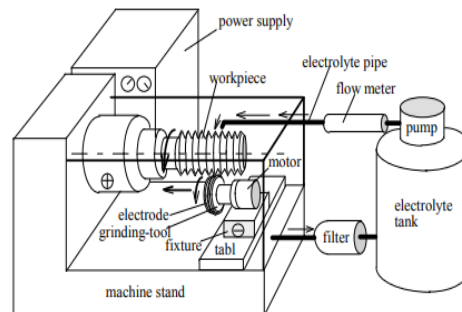
*Laser polishing* adalah proses *finishing* yang melibatkan peleburan lapisan tipis permukaan logam yang bebas dari retakan atau cacat permukaan. Proses ini dirancang untuk memuluskan puncak yang ditemukan pada logam hingga kisaran menengah di bawah puncak. Gambar 2.14 dengan jelas menunjukkan mekanisme pemolesan laser. Garis putus-putus menunjukkan area di mana puncak permukaan kasar harus turun, dan ketika target ini tercapai, permukaan tersebut dapat dikatakan sebagai permukaan yang dipoles (Krishnan & Fang, 2019).



Gambar 2.14 *Laser polishing* (Krishnan & Fang, 2019).

### 3. *Burnishing*

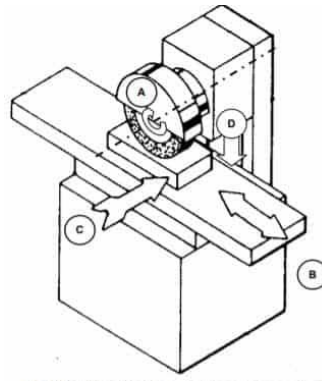
*Burnishing* adalah proses deformasi plastik *super-finishing*, yang menjadi lebih populer sebagai proses *finishing*. Pelumas, gaya, kecepatan, dan umpan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kehalusan permukaan. Satu *set roller* digunakan untuk menggulung pada permukaan komponen dengan tekanan yang cukup. *Burnishing* adalah proses pengerjaan dingin, yang menghasilkan permukaan akhir yang halus dengan memutar rol yang mengeras di atas permukaan logam yang dibor atau diputar (P.S & Pa, 2009).



Gambar 2.15 *Burnishing* (P.S & Pa, 2019)

### 4. *Surface grinding*

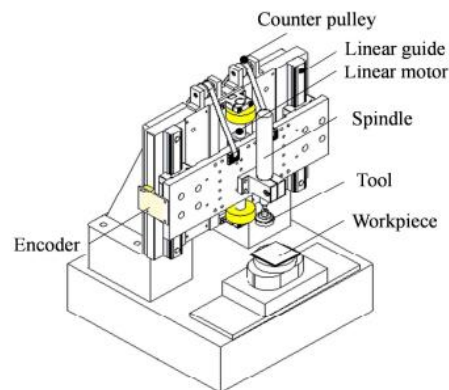
*Surface grinding* adalah proses penggerindaan untuk mendapatkan permukaan yang rata, bersudut, dan berkontur dengan meletakkan benda kerja di atas meja magnet lalu batu gerinda menyayat permukaan benda kerja untuk mendapatkan kehalusan lebih. Hasil proses penggerindaan dapat mencapai kekasaran N3 dengan nilai Ra 0,1  $\mu\text{m}$ . Selain kekasaran, kualitas yang dituntut dari proses penggerindaan permukaan adalah kepresisian ukuran (Banga & Sharma, 2009).



Gambar 2.16 *Surface grinding* (Banga & Sharma, 2009)

### 5. *Buffing*

*Buffing* adalah suatu proses yang memakai roda kain dengan adanya kandungan senyawa yang diaplikasikan. *Buffing* juga dapat menghilangkan garis-garis tidak rata dan menciptakan hasil akhir yang mengkilap.



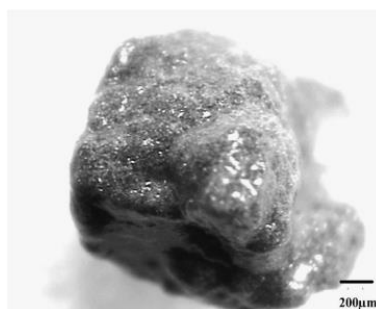
Gambar 2.17 *Buffing* (Igarashi et al., 2011)

## 2.5 Serbuk Abrasif

Bahan abrasif yang terkandung dalam serbuk pemoles adalah serbuk halus oksida logam seperti  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , dll. Zat ini umumnya digunakan dalam pemolesan. Dimana dinilai dari tingkat kekasaran yang terakumulasi dalam uji pemolesan dan kualitas pemolesan. Kekasaran serbuk adalah salah satu kriteria dalam pemilihan abrasif (Doi et al., 2015).

### 2.5.1 Ukuran abrasif

Serbuk terdiri dari butiran dan polimer abrasif SiC, lilin dan minyak silikon yang digunakan sebagai media pemesinan. Campuran polimer, lilin dan minyak silikon, dicampur dengan butiran abrasif 12, 30 dan 150 mm. Media abrasif memiliki kekasaran tinggi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18. Kekasaran awal dipengaruhi oleh ukuran partikel abrasif, di mana partikel ini akan menurun secara signifikan dengan perpanjangan waktu pemesinan. Untuk berbagai ukuran partikel abrasif 12, 30 dan 150 mm, dengan bertambahnya waktu pemesinan, menunjukkan bahwa kekasaran media abrasif cocok untuk memoles permukaan mikro (Yan et al., 2007).



Gambar 2.18 Media abrasif awal (12 mm) (Yan et al., 2007)

### 2.5.2 Serbuk porang

Porang merupakan tanaman herba menahun yang termasuk dalam *Familij Araceae*. Batang tegak, lunak, batang halus berwarna hijau atau hitam dengan bintik-bintik putih (Pitojo, 2007). Dalam porang mengandung pati, protein dan serat kasar (Dananjaya, 2010). Ditinjau secara ekonomi tanaman porang sangat menjanjikan, terutama di sektor industri dan kesehatan (Faridah et al., 2012). Porang hadir dalam bentuk *chips* kentang, harga berkisar Rp 75.000/kg. Dan jika diolah menjadi tepung kualitas ekspor harganya mencapai Rp 300.000/kg (Prasasti 2021).





Gambar 2.19 Porang (porang.co.id)

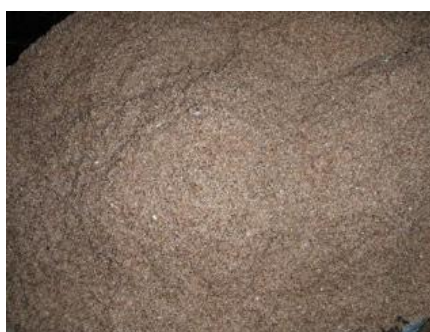
Tabel 2.4 Komposisi kimia porang

No	Spesifikasi	
1	Kadar air	16%
2	Kadar abu	1.9%
3	Silika	90%
4	Kadar besi	9%
5	Zat kapur	21%

(Pasaribu, dkk., 2019)

### 2.5.3 Serbuk pasir silika

Pasir silika adalah mineral yang tersusun dari kristal silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) yang mengandung pengotor yang terbawa selama pengendapan. Umumnya senyawa pengotor tersebut antara lain oksida besi, kalsium oksida, oksida alkalin, magnesium oksida, lempung, dan bahan organik dari pelapukan sisa tumbuhan dan hewan (Fairus dkk, 2009).



Gambar 2.20 Pasir silika (Slamet &amp; Qomaruddin, 2016)

Tabel 2.5 Komposisi kimia pasir silika

No	Spesifikasi	
1	Kalium oksida	17%
2	Magnesium oksida	0,26%
3	Silika	99%
4	Kadar besi	9,14%
5	Alumunium oksida	18%

(Slamet &amp; Qomaruddin. 2016)

#### 2.5.4 Serbuk abu gosok

Abu gosok merupakan limbah dari pengolahan beras di penggilingan padi dan tidak digunakan untuk pengolahan lebih lanjut, sehingga abu sekam padi merupakan limbah yang belum diolah. Arang sekam (abu gosok) memiliki nilai ekonomi tinggi dan bahan campuran industri yang ramah lingkungan. Di tingkat penggilingan, harga sekam kering sekitar Rp 50/kg, sedangkan jika diolah menjadi arang sekam (abu gosok), harganya hampir Rp 150/kg. Ternyata teknologi pengolahan yang sedikit sederhana dapat memberikan nilai tambah yang cukup besar (Surdianto, dkk. 2015).



Gambar 2.21 Abu gosok (Litbang pertanian, 2017)

Tabel 2.6 Komposisi kimia abu gosok

No	Spesifikasi	
1	Silika	92-97%
2	Alumenitium oksida	0.75-3%
3	Besi oksida	0.17-2%
4	Kapur tohor	0.36-3%
5	Magnesium oksida	0.32-1.5%

(Tutsek et al., 1977)

## 2.6 Mesin Bor

Mesin bor adalah jenis mesin yang memutar alat potong yang arah pemakanannya hanya sumbu mesin (pekerjaan perlubangan). Pengeboran, di sisi lain, adalah proses membuat lubang bundar di lembar kerja menggunakan pemotong putar yang disebut. Ada fungsi untuk membuat lubang dengan bor. Bor lubang multi-langkah, perbesar lubang dan bevel (Saputra & Hamsi, 2014).



Gambar 2.22 Mesin bor (Saputra & Hamsi, 2014)

## 2.7 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

SEM adalah mikroskop elektron yang dirancang untuk pengamatan langsung permukaan benda padat. SEM memiliki perbesaran 10 hingga 3000000 kali, kedalaman fokus 4 hingga 0,4 mm, dan resolusi 1 hingga 10 nm. Kombinasi pembesaran tinggi, kedalaman bidang yang dalam, resolusi yang sangat baik, komposisi dan kemampuan untuk mengetahui informasi kristalografi membuat SEM tersedia secara luas untuk tujuan penelitian dan industri. Fitur utama SEM dapat digunakan antara lain untuk mendapatkan informasi tentang (Yudi, 2011):

1. Topografi, yaitu karakteristik permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat reflektif, dll).
2. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran partikel yang menyusun objek (kekuatan, cacat pada sirkuit terpadu (IC) dan *chip*, dll).

3. Komposisi, yaitu data kuantitatif tentang unsur dan senyawa yang terkandung dalam benda (titik leleh, reaktivitas, kekerasan, dll).
4. Informasi kristalografi, yaitu informasi tentang susunan butir pada benda yang diamati (konduktivitas, sifat listrik, kekuatan, dll).

## 2.8 Metode Taguchi

Metode Taguchi ditemukan oleh Dr. Genichi Taguchi yang terdiri dari tiga tahap: desain sistem, desain parametrik, dan desain toleransi. Metode Taguchi adalah metode statistik untuk meningkatkan kualitas produk. Taguchi telah mengembangkan desain susunan ortogonal khusus untuk menyelidiki semua parameter pengujian hanya dalam beberapa percobaan. Hasil eksperimen kemudian diubah menjadi rasio *signal-to-noise* (S/N). Rasio ini digunakan sebagai ukuran penyimpangan kualitas dari perkiraan ke nilai yang diharapkan. Taguchi menggunakan pengaturan ortogonal yang memungkinkan setiap faktor desain eksperimental (DOE) dievaluasi secara setara. Anda dapat menggunakan metode ini untuk mengurangi jumlah percobaan yang diperlukan dalam mendapatkan hasil yang baik dan statistik yang baik. Menggunakan Metode Taguchi (DOE) memiliki beberapa tahapan adalah sebagai berikut (Athreya et al., 2012):

1. Pemilihan variabel / faktor independen
2. Pemilihan jumlah level di setiap variabel independen
3. Pemilihan *orthogonal array*
4. Pemilihan *performance* parameter

Dalam analisis rasio S/N, sifat kualitas dibagi menjadi tiga kategori, yaitu semakin rendah semakin baik, semakin tinggi semakin baik, dan semakin baik nomenital. Taguchi menyatakan prosedur standard untuk mengoptimalkan parameter *process*. ANOVA adalah teknik perhitungan yang memungkinkan untuk memperkirakan secara kuantitatif kontribusi setiap faktor terhadap semua tindakan respon. Analisis *varians* yang digunakan dalam desain parametrik parametrik berguna untuk mengidentifikasi ikon kontribusi faktor

dan oleh karena itu menentukan keakuratan estimasi model. Metode Taguchi mengembangkan konsep rasio *signal-to-noise* (S/N) untuk eksperimen multifaktorial. Rasio *signal-to-noise* diformulasikan sehingga faktor level maksimum selalu dipilih, sehingga mengoptimalkan karakteristik kualitas percobaan. Lebih besar lebih baik atau fokus pada nilai tertentu. Deskripsi sifat massa Metode Taguchi adalah sebagai berikut:

### 2.8.1 *Smaller-the-better* (STB)

*Smaller-the-better* adalah kualitas yang semakin kecil semakin baik semakin rendah kualitasnya, semakin baik kualitasnya. Kekasaran permukaan optimum dari proses pemesinan, semakin kecil kekasaran permukaan maka semakin baik permukaannya, merupakan contoh karakteristik kualitas STB. Contoh lain adalah keausan pahat, *rasio signal-to-noise* untuk karakteristik ini diberikan oleh:

$$S/N = -10 \log [X_{ijk}^2] \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:  $X_i(j)$  = nilai eksperimen ke -i pada respon ke-j b.

### 2.8.2 *Larger-the-better* (LTB)

*Larger-the-better* adalah karakteristik kualitas yang menyatakan semakin besar nilainya maka kualitasnya akan semakin baik, contoh dari karakteristik ini adalah kekuatan material, efisiensi bahan bakar dan lain-lain. Nilai S/N untuk jenis LTB adalah:

$$SNR_{LTB} = -10 \log \frac{1}{X_i(j)^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:  $X_i(j)$  = nilai eksperimen ke -i pada respon ke-j.

### 2.8.3 *Nomenital-the-better* (LTB)

*Nomenital-the-better* adalah karakteristik kualitas yang menetapkan suatu nilai *nomenital* tertentu, apabila nilainya semakin mendekati nilai *nomenital* tertentu maka kualitasnya akan semakin baik. Contoh dari karakteristik ini adalah *clearance*, viskositas dan lain-lain. Nilai S/N untuk jenis karakteristik NTB:

$$\text{SNR NTB} = \log [X_i(j) m^2] \dots \dots \dots (2.3)$$

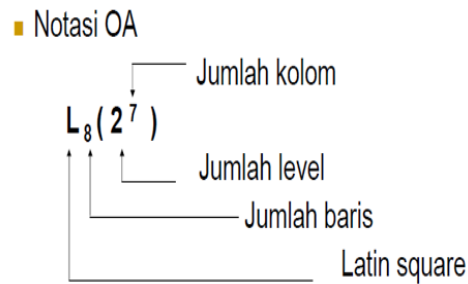
Dimana:  $X_i(j)$  = nilai eksperimen ke-i pada respon ke-j

$m$  = nilai target spesifikasi

### 2.8.4 *Orthogonal array*

*Orthogonal Array* (OA) adalah sebuah matriks yang digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal. Bagian terpenting dari Matriks Ortogonal ini terletak pada pemilihan kombinasi level variabel-variabel *input* pada masing-masing eksperimen. *Orthogonal Array* merupakan salah satu kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, di mana dibagian ini mungkin separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh.

Tabel *Orthogonal Array* terdiri dari kolom dan baris di mana jumlah baris menyatakan jumlah eksperimen yang dilakukan sedangkan jumlah kolom menyatakan jumlah faktorial. Pada *Orthogonal Array* memiliki notasi yang berfungsi sebagai lambang dan keterangan jenis data yang akan dibuat yang dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Notasi OA (Andriani, 2015)

Penentuan derajat bebas berdasarkan pada:

1. Jumlah faktor utama yang diamati dan juga interaksi yang diamati.
2. Jumlah level faktor yang diamati.
3. Estimasi percobaan yang diharapkan atau batasan biaya.
  - a. Angka dalam pemilihan *array* menunjukkan banyaknya percobaan yang dilakukan, suatu matrik  $L_8$  memiliki delapan percobaan dan matriks  $L_9$  memiliki sembilan percobaan dan seterusnya.
  - b. Jumlah level yang digunakan dalam faktor digunakan untuk memilih OA. Jika faktor yang ditetapkan berlevel dua maka harus digunakan OA dua level. Jika level yang digunakan tiga maka OA tiga level.

Tabel 2.7 Parameter pemotongan

Faktor	Level		
	1	2	3
Putaran rpm (rpm)	1000	1200	1500
<i>Depth of cut</i> , $D_c$ (mm)	0,05	0,1	0,15
<i>Feed rate</i> , $f$ (mm/rev)	0,15	0,15	0,15

Tabel 2.8 Contoh matriks *orthogonal array*  $L_9 (3^3)$ 

No.	Parameter			Kepresisian geometri ulir	Error pengukuran
	A	B	C		
1	1	1	3		
2	1	2	2		
3	1	3	1		
4	2	1	3		
5	2	2	2		
6	2	3	1		

**Lanjutan Tabel 2.8**

7	3	1	3		
8	3	2	2		
9	3	3	1		

Tabel 2.9 Contoh matriks *orthogonal array* L8 ( $2^7$ )

No.	Faktor							Hasil tepung ikan yang diperoleh			
	A	B	C	D	E	F	G	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
1	1	1	1	1	1	1	1	*	*	*	*
2	1	1	1	2	2	2	2	*	*	*	*
3	1	2	2	1	1	2	2	*	*	*	*
4	1	2	2	2	2	1	1	*	*	*	*
5	2	1	2	1	1	1	2	*	*	*	*
6	2	1	2	2	2	2	1	*	*	*	*
7	2	2	1	1	1	2	1	*	*	*	*
8	2	2	1	2	2	1	1	*	*	*	*

**2.8.5 Analisis varian taguchi**

Analisis *varians* dalam Metode Taguchi digunakan untuk menginterpretasikan data yang dihasilkan secara statistik. ANOVA adalah teknik komputasi yang melihat kontribusi kumulatif dari setiap faktor untuk semua tanggapan yang diukur. Dengan menggunakan ANOVA ini, kontribusi dari faktor-faktor yang digunakan dapat ditentukan sehingga akurasi estimasi model dapat ditentukan (Ibrahim & Hamni, 2019). Analisis *varians* pada matriks didasarkan pada perhitungan kuadrat setiap kolom. ANOVA dapat dilakukan dalam satu atau kedua arah. ANOVA satu arah hanya dapat menentukan *varians* dari mean *error*, sedangkan ANOVA dua arah digunakan untuk data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih (Sojanto, 2009). Di bawah ini adalah persamaan untuk menghitung ANOVA, yang meliputi menghitung pembiasan dan kuadrat.



1. Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_A = \frac{A_1^2}{nA_1} + \frac{A_2^2}{nA_2} + \frac{A_3^2}{nA_3} + \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Derajat kebebasan (*Degree of Freedom*)

$$V_A = (\text{banyaknya vaktor}) \times (\text{banyaknya level-1}) \dots (2.5)$$

3. Rata-rata kuadrat (*Mean square*)

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} \dots\dots\dots (2.6)$$

## 4. Jumlah kuadrat total

$$SS_T = \sum Y^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

## 5. Jumlah kuadrat karena rata-rata

$$S_m = n Y^{-2} \dots\dots\dots (2.8)$$

6. Persen kontribusi masing-masing *factor*

$$7. P = \frac{SS_A}{SS_T} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.9)$$

Persentase kontribusi akan dihitung sebagai kontribusi faktor dan interaksi faktor signifikan dan kesalahan. Jika persentase kesalahan kontribusi adalah  $\leq 15\%$ , tidak ada faktor pendukung yang diabaikan. Namun, jika persentase kontribusi kesalahan adalah  $\geq 50\%$ , maka ada satu faktor yang mendominasi. Jumlah kuadrat *error* dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Kurniawan, 2008):

$$S_e = ST - S_m - SS_{faktor} \dots\dots\dots (2.10)$$

Nilai *F-value* akan dihitung sebagai kuadrat rata-rata dibagi dengan kuadrat kesalahan.

$$F_A = \frac{M_{qa}}{S_e} \dots\dots\dots (2.11)$$

### 2.8.6 Anova

Analisis ANOVA merupakan metode statistik yang digunakan untuk mencari perbedaan antara kelompok perlakuan, kelompok, atau jenis perlakuan. Analisis ANOVA secara umum dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Analisis varian satu arah

ANOVA satu arah digunakan untuk menentukan *varians* mean dan *error* saja. Perhitungan analisis *varians* ANOVA satu arah meliputi perhitungan kuadrat total, kuadrat rata-rata, kuadrat faktor, dan kuadrat kesalahan.

2. Analisis varian dua arah

ANOVA dua arah digunakan untuk data eksperimen yang terdiri dari dua faktor dan dua level atau lebih. Perhitungan ANOVA dua arah meliputi penghitungan kuadrat total, kuadrat rata-rata, kuadrat interaksi, dan kuadrat kesalahan (Sojanto, 2009).

Dalam uji ANOVA diperlukan hipotesis sebagai acuan untuk menarik kesimpulan dari hasil analisis yang diperoleh. Asumsi yang diasumsikan adalah sebagai berikut:

1.  $H_0$  adalah faktor sepele yang mempengaruhi suhu.
2.  $H_a$  merupakan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap nilai.
3. Hipotesis awal ditolak jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$  Hipotesis dapat diterima jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ .

4. df adalah nilai derajat kebebasan sebagai pembilang ( $V_1$ ) dan  $k$ =bilangan.
5. df dengan derajat kebebasan sebagai penyebut ( $V_2$ ), nilai  $T$  = jumlah percobaan yang dilakukan.
6. Berdasarkan  $F$  Tabel yaitu dengan  $V_1$  dan  $V_2$  maka didapatkan  $F$  Tabel.

### **2.8.7 P-Value**

Nilai-p adalah tingkat signifikansi minimum sedemikian rupa sehingga nilai uji statistik yang diamati masih signifikan. Misalnya, jika nilai  $p$  adalah 0,021, ini berarti bahwa jika  $H_0$  dianggap benar, peristiwa yang disebutkan di  $H_0$  hanya akan terjadi 21 dari 1000 dalam percobaan yang sama. Probabilitas terjadinya peristiwa yang disebutkan di  $H_0$  sangat rendah sehingga Anda dapat menolak pernyataan di  $H_0$ . Sebaliknya, terima pernyataan  $H_1$ . Nilai  $P$  juga dapat diartikan sebagai kemungkinan melakukan kesalahan ketika memutuskan untuk menolak  $H_0$ . Secara umum, nilai-p dibandingkan dengan tingkat signifikansi tertentu (biasanya 0,05 atau 5%). Tingkat sebenarnya didefinisikan sebagai probabilitas bahwa kesalahan akan terjadi ketika menyimpulkan bahwa  $H_0$  salah ketika pernyataan  $H_0$  benar-benar benar. Jenis kesalahan ini biasa disebut sebagai kesalahan tipe I (kesalahan tipe 1, baca = kesalahan tipe 1). Misalnya, jika  $\alpha$  adalah 0,05 digunakan dan nilai  $P$ -valuenya 0,021 ( $<0,05$ ), Anda mengambil risiko keputusan untuk menolak  $H_0$ . Ini karena jika Anda memutuskan untuk menolak  $H_0$  (dengan asumsi pernyataan  $H_0$  salah), kemungkinan membuat kesalahan masih lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Di sini, 0,05 adalah ambang batas maksimum yang dapat membuat kesalahan saat mengambil keputusan (Sojanto, 2009).

## III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan dengan keterangan tempat dan waktu yang telah penulis tentukan sebagai berikut:

#### 3.1.1 Tempat penelitian

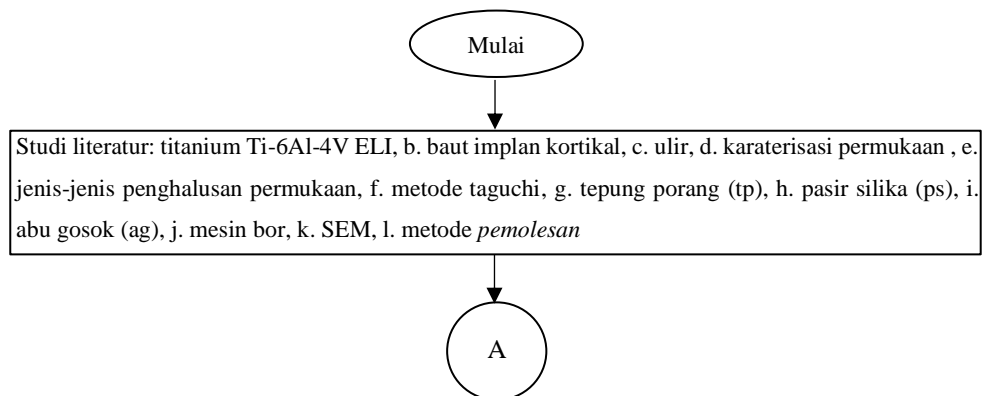
Penelitian dan pengambilan data pengujian dilakukan di UPT - LTSIT Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Laboratorium Proses Produksi dan Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

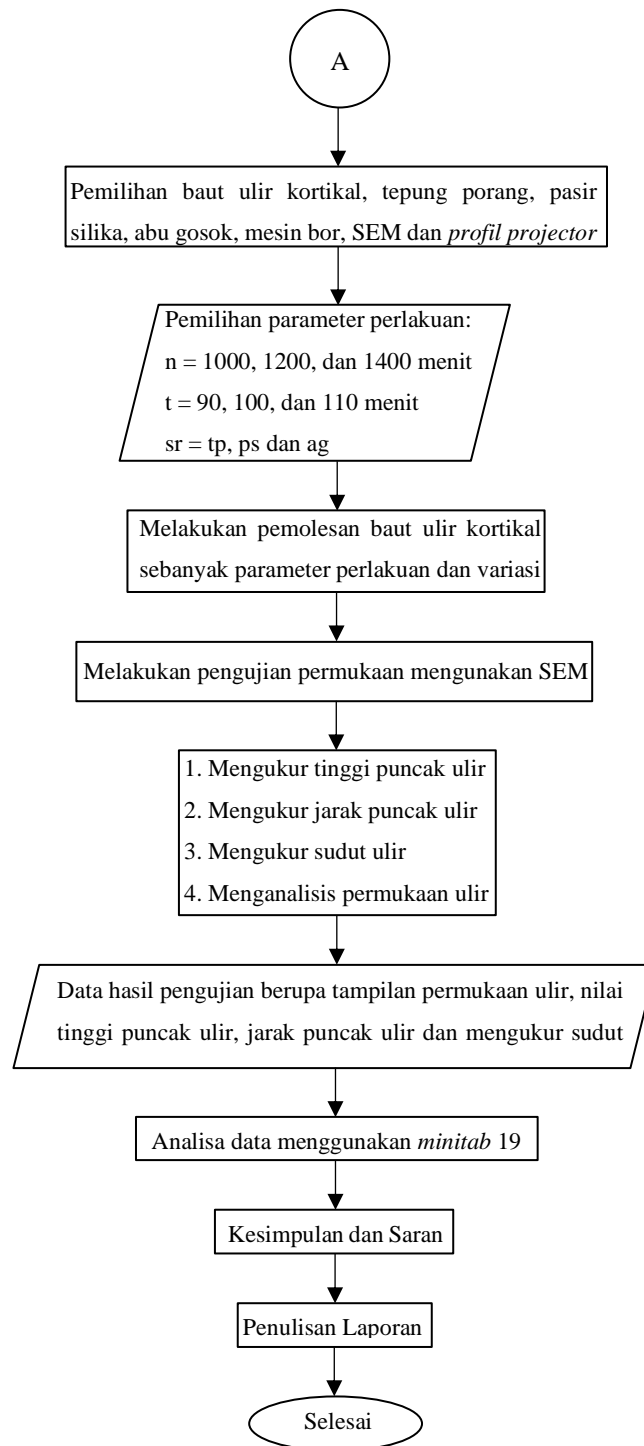
#### 3.1.2 Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2022 sampai dengan Januari 2023.

### 3.2 Alur Penelitian

Alur pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada *flow chart* berikut:





Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

### 3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini bersifat eksperimental sehingga membutuhkan alat dan bahan sebagai berikut:

#### 3.3.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Mesin bor duduk tipe KRISBOW 16 MM

Kinerja mesin bor duduk ini memakai daya motor listrik dan kemudian ditransmisikan dengan memakai hubungan puli dan sabuk, kemudian daya akan diteruskan ke dalam mata mesin bor duduk ini di mana mesin ini memungkinkan untuk menjepit baut ulir dalam proses pemolesan permukaan dan dapat dilihat pada Gambar 3.2.

- a. Mensetting putaran rpm pada *v-belt* satu dan *v-belt* dua berdasarkan tingkatan *puly* yang digunakan.
- b. Memasang bor pada *chuck* dengan kunci *chuck*.
- c. Memasang spesimen pada ragum.
- d. Menaikan *handle* mendekati bor.
- e. Menekan tombol on.
- f. Menurunkan *hendle* menggunakan tangan menuju spesimen.
- g. Selesai.



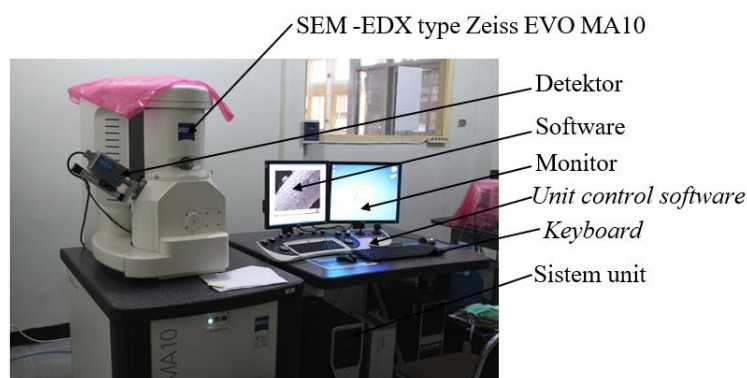
Gambar 3.2 Mesin bor KRISBOW 16MM

Tabel 3.1 Spesifikasi mesin bor KRISBOW 16 MM

No.	Spesifikasi	
1	Tegangan listrik	220V-50Hz
2	Daya	375W
3	Kecepatan	180-2740 rpm
4	Kapasitas pengeboran	0.6-16 mm
5	<i>Max. Spindle Travel</i>	25 mm
6	Dimensi keseluruhan	895 x 490 x 290 mm
7	Berat	59 kg

## 2. SEM-EDX Zeiss EVO MA10

Digunakan untuk melihat dan mengamati benda-benda yang ukurannya sangat kecil sehingga memungkinkan untuk mengamati struktur permukaan baut ulir. Dapat dilihat pada Gambar 3.3 merupakan mikroskop optik yang digunakan pada kegiatan penelitian.



Gambar 3.3 SEM -EDX Zeiss EVO MA10

Tabel 3.2 Spesifikasi SEM-EDX Zeiss EVO MA10

No	Spesifikasi	
1	Spesifikasi Mikroskop	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evo 10 MA (W): tinggi spesimen max 100, diameter: 230 mm mm</li> <li><i>Motorized stage travel</i> 80 X 100 X 35 mm</li> <li>Bidang Pandang: 6 mm pada Jarak Kerja Analitik</li> <li>9 <i>specimen</i> sample holder Navigator sampel kamera eksternal</li> </ul>
2	Resolusi	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 nm, 3 nm @ 30kV SE</li> <li>6 nm, 8 nm @ 3 kV SE</li> <li>9 nm, 20 nm @ 1 kV SE</li> </ul>

Lanjutan Tabel 3.3

3	Mode Vakum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Variable Pressure (VP)</i> mode: 10 – 400 Pa</li> <li>• <i>Easy VP</i> mode: 10 – 133 Pa</li> </ul>
4	Detektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detektor Elektron Sekunder <i>Everhart-Thornley</i></li> <li>• Detektor Elektron <i>Backscattered Solid State</i> 5 kuadran</li> <li>• Pemenitdaian Detektor Mikroskop Elektron Transmisi</li> <li>• Kamera digital <i>internal chamberscope</i> EVO</li> </ul>
5	<i>5-Axis Motorized Stage</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• X = 80 mm, Y = 100 mm</li> <li>• Z = 35 mm, Kemiringan = -10 to 90°</li> <li>• Rotasi = 360° terus menerus</li> </ul>
6	<i>Software and Output</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeiss Smart SEM</li> <li>• Zeiss Smart Tiff</li> <li>• Output: tiff</li> </ul>

### 3. *Profile projector*

*Profil projector* digunakan untuk mengukur dimensi sekrup yang akan buat. Dimana *profil projector* dapat mengukur puncak ulir, lembah ulir, jarak ulir, dan besar sudut. Prinsip pengoperasian alat ukur *profil projector* adalah dengan memberikan bayangan pada benda kerja yang disinari oleh lampu proyektor. Proyeksi benda kerja kemudian ditampilkan pada tampilan digital sumbu x-y di *profil projector*. Perilaku *profil projector* ini dapat diilustrasikan pada Gambar 3.4 yang digunakan dalam kegiatan penelitian.

1. Objek uji diletakan di bidang uji dan dijepit.
2. *Projector* dinyalakan sehingga bayangan dari objek terlihat di display lensa *projector*.
3. Fokus dari *projector* disesuaikan hingga kelihatan jelas dan terang.
4. Pengaturan jarak sumbu x-y digeserkan ke acuan titik dari objek uji secara vertikal atau horizontal.
5. *Display* digital sumbu x-y disetting sampai menunjukkan angka nol.
6. Pengatur jarak sumbu x-y digeser hingga ke titik lain yang ingin diukur jaraknya.



Gambar 3.4 *Profile projector*Tabel 3.3 Spesifikasi *profile projector*

No	Spesifikasi	
1	Model	Mitutoyo PJ3000 <i>Profile Projector</i>
2	Type	PJ3000
3	Tahun	1986
4	Ketelitian	1 $\mu\text{m}$ (linier) dan 1 menit (sudut)
5	Diameter layar	300 mm
6	Lensa proyeksi	Lensa zoom (10x, 20x, 30x & 50x)
7	Akurasi proyeksi	Kontur: $\pm 0,1\%$ , Permukaan $\pm 0,15\%$
8	Kepala mikrometer	25 mm (0,005 mm)
9	<i>Power supply</i>	220 V
10	Dimensi	452x754x1118 mm (PxLxT)
11	<i>Weight</i>	85kg

#### 4. *Tachometer*

*Tachometer* digunakan untuk menghitung jumlah putaran yang dihasilkan pada mesin bor saat proses pemolesan baut ulir berlangsung dengan variasi besaran 1000 rpm, 1200 rpm dan 1400 rpm per menitnya. *Tachometer* sangat penting untuk mengetahui rpm yang diinginkan. Dapat dilihat pada gambar 3.5 merupakan *tachometer* yang digunakan pada kegiatan penelitian.



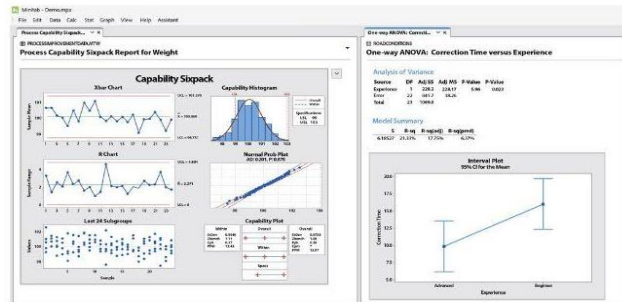
Gambar 3.5 Tachometer

Tabel 3.4 Spesifikasi tachometer

No	Spesifikasi	
1	Rentang pengukuran	2.5 rpm - 99.999 rpm
2	Resolusi	0,1 rpm (dari 2,5 hingga 999,9 rpm) 1 rpm (lebih dari 1.000 rpm)
3	Akurasi	(0,05%+1 digit)
4	Mengukur Jarak	50-500mm
5	Basis Waktu	Osilator Kristal Kuarsa 6MHz
6	Memori	Nilai Terakhir. Nilai Maks. rpm menit
7	Waktu Pengambilan Sampel	0,8 detik (lebih dari 60 rpm)
8	Catu Daya	Baterai 1 x 9V 6F22
9	Konsumsi Daya	30mA
10	Berat	160g

### 5. Minitab

*Minitab* merupakan suatu *software* yang sering digunakan dalam proses analisis statistik. *Taguchi Method* merupakan salah satu desain analisis yang terdapat di dalam menu analisis *software* ini, di mana biasanya digunakan untuk membuat suatu rancangan percobaan yang akan dilaksanakan.

 Minitab 19


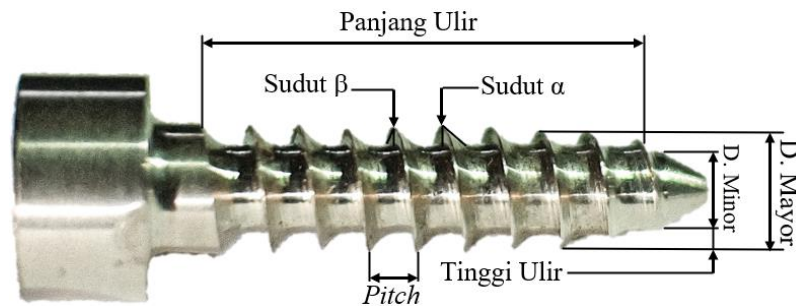
Gambar 3.6 Software minitab 19

### 3.3.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Baut ulir kortikal (Ti-6Al-4V ELI)

Baut ulir kortikal ini adalah spesimen dalam pengujian penghalusan permukaan di mana terdapat spesifikasi diantaranya diameter mayor, diameter minor, jarak *pitch*, sudut  $\alpha$ , sudut  $\beta$  dan panjang ulir.



Gambar 3.7 Baut ulir kortikal (Ti-6Al-4V ELI)

Tabel 3.5 Spesifikasi baut ulir kortikal (Ti-6Al-4V ELI)

No	Spesifikasi	
1	Diameter mayor	4,5 mm
2	Diameter minor	3 mm
3	Jarak <i>pitch</i>	1,75 mm
4	Tinggi ulir	0.75 mm

**Lanjutan Tabel 3.5**

5	Sudut $\alpha$	35°
6	Sudut $\beta$	3°
7	Panjang ulir	15mm

## 2. Toples selai

Toples selai dipilih sebagai penampung serbuk yang akan digunakan sebagai wadah dalam pemolesan baut ulir, yang mana penggunaan toples digunakan karena kuat, tahan korosi, mudah dalam pengamatan serta mudah didapat. Dapat dilihat pada gambar 3.8 merupakan toples selai yang digunakan pada kegiatan penelitian.



Gambar 3.8 Toples selai

**Tabel 3.6 Spesifikasi toples selai**

No	Spesifikasi	
1	Kapasitas penuh	40ml
2	Ketinggian	5cm
3	Diameter ( lebar )	4,2cm
4	Diameter penutup stainless	4,2cm
5	Ketebalan kaca	2,5mm
6	Tahan panas	120°C

### 3. Serbuk porang

Cara mendapatkan serbuk porang dilakukan dengan umbi porang dikupas, dicuci, kemudian diiris dengan ketebalan 4-5 mm. Kemudian direndam dalam NaCl 5% selama 5 menit dilanjutkan dengan perendaman dalam Napirofosfat 8000 ppm selama 30 menit. Irisan umbi porang selanjutnya dikeringkan selama 12 jam pada suhu 55°C. Irisan kering umbi porang kemudian digiling sehingga diperoleh tepung porang, tepung ini dijadikan bahan alternatif dalam melakukan pemolesan permukaan baut ulir. Dapat dilihat pada gambar 3.9 merupakan serbuk porang yang digunakan pada kegiatan penelitian.



Gambar 3.9 Serbuk porang

Tabel 3.7 Spesifikasi serbuk porang

No	Spesifikasi	
1	Warna	cream
2	Berat	1kg
3	Kadar air	10%
4	Silika	90%
5	Ukuran butir	100 mesh

### 4. Serbuk pasir silika

Cara mendapatkan serbuk pasir silika dilakukan dengan cara menumbuk pasir kedalam lesung batu secara perlahan-lahan, dilanjutkan dengan mengayak pasir silika menggunakan saringan mesh 100 agar diperoleh butiran serbuk halus. Serbuk pasir silika halus

dapat dipakai untuk dijadikan bahan alternatif dalam melakukan pemolesan permukaan baut ulir. Dapat dilihat pada gambar 3.10 merupakan serbuk yang digunakan pada kegiatan penelitian.



Gambar 3.10 Serbuk pasir silika

Tabel 3.8 Spesifikasi serbuk pasir silika

No	Spesifikasi	
1	Warna	Putih
2	Berat	1kg
3	Kadar air	10%
4	Silika	90%
5	Ukuran butir	100 mesh

#### 5. Serbuk abu gosok

Cara mendapatkan serbuk abu gosok yaitu dengan cara sekam padi dicuci dengan air dan dikeringkan di bawah sinar matahari. 700 gram sekam padi kering direndam dalam larutan HCl 10 % pada temperatur 100°C selama 2,5 jam setelah itu dikeringkan dan dibakar pada temperatur 850°C selama 4 jam dalam *furnace* hingga menjadi abu. Abu sekam dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C selama 2 jam. Dan hal ini abu gosok bisa dijadikan bahan alternatif dalam melakukan pemolesan permukaan baut ulir. Dapat dilihat pada gambar 3.11 merupakan serbuk yang digunakan pada kegiatan penelitian.



Gambar 3.11 Serbuk abu gosok

Tabel 3.9 Spesifikasi serbuk abu gosok

No	Spesifikasi	
1	Warna	Abu-abu
2	Berat	1kg
3	Kadar air	10%
4	Silika	90%
5	Ukuran butir	100 mesh

#### 6. Saringan mesh

Saringan mesh digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran dari butir-butir tepung yang akan digunakan dan menggunakan ukuran mesh sebesar 100 mesh. Dapat dilihat pada gambar 3.12 merupakan jaring mesh yang digunakan pada kegiatan penelitian.



Gambar 3.12 Saringan mesh

Tabel 3.10 Spesifikasi saringan mesh 100

No	Spesifikasi	
1	Bahan	Stainless
2	Ukuran	Mesh 100 (0.154mm)
3	Diameter	20cm
4	Tinggi	5cm
5	Berat	500g

### 3.4 Desain Parameter Penghalusan

Pada penelitian parameter *orthogonal* penghalusan yang dilakukan pada titanium paduan Ti-6Al-4V ELI menggunakan mesin bor duduk konvensional menggunakan serbuk. Putaran rpm yang digunakan adalah 1000, 1200, dan 1400 rpm, untuk waktu yang digunakan yaitu, 90, 100, dan 110 menit, untuk serbuk yang digunakan yaitu porang. Pada Tabel 3.11 menunjukkan desain parameter yang akan digunakan sebagai berikut.

Tabel 3.11 Desain parameter penghalusan

Faktor	Level		
	1	2	3
Putaran rpm (rpm)	1000	1200	1400
Waktu (t)	90	100	110
Serbuk (sr)	Porang	Pasir silika	Abu gosok

Kombinasi parameter penghalusan tersebut dirancang menggunakan desain eksperimen Taguchi, untuk analisis eksperimental yang akan dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.15 di mana menggunakan *Orthogonal Array L<sub>9</sub>*. Alasan menggunakan OA L<sub>9</sub> dikarenakan pertimbangan jumlah faktor dan level yang digunakan 3 faktor 3 level, dikarenakan adanya variasi level pada faktor tersebut akan berpengaruh terhadap tingkat penghalusan dan juga menyesuaikan dengan rumusan perhitungan yang sudah ditentukan oleh Metode Taguchi tersebut.



### 3.5 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan pelaksanaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan dan mencari data pada literatur di internet seperti jurnal-jurnal, artikel ilmiah, dan laporan penelitian yang berkaitan dengan penelitian skripsi ini.

#### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan dilakukan secara langsung dilapangan mengenai perlakuan permukaan baut ulir pada proses pemolesan, variasi serbuk digunakan, waktu pengujian dan besaran putaran dari pengujian.

#### 3. Persiapan Alat Pengujian

Dilakukan persiapan dalam pembuatan alat pengujian, di mana sebelum dilakukan pengujian alat sudah harus jadi dan sesuai dengan bentuk dan spesifikasi yang dibutuhkan agar pengujian dapat dilakukan sesuai dengan penelitian.

#### 4. Pengujian

Dilakukan secara langsung dilapangan mengenai perlakuan permukaan baut ulir pada proses pemolesan, variasi serbuk digunakan, waktu pengujian dan besaran putaran dari pengujian yang dilakukan.

#### 5. Penulisan Laporan

Setelah semua data didapatkan dilanjutkan dengan penulisan laporan skripsi.

### 3.6 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

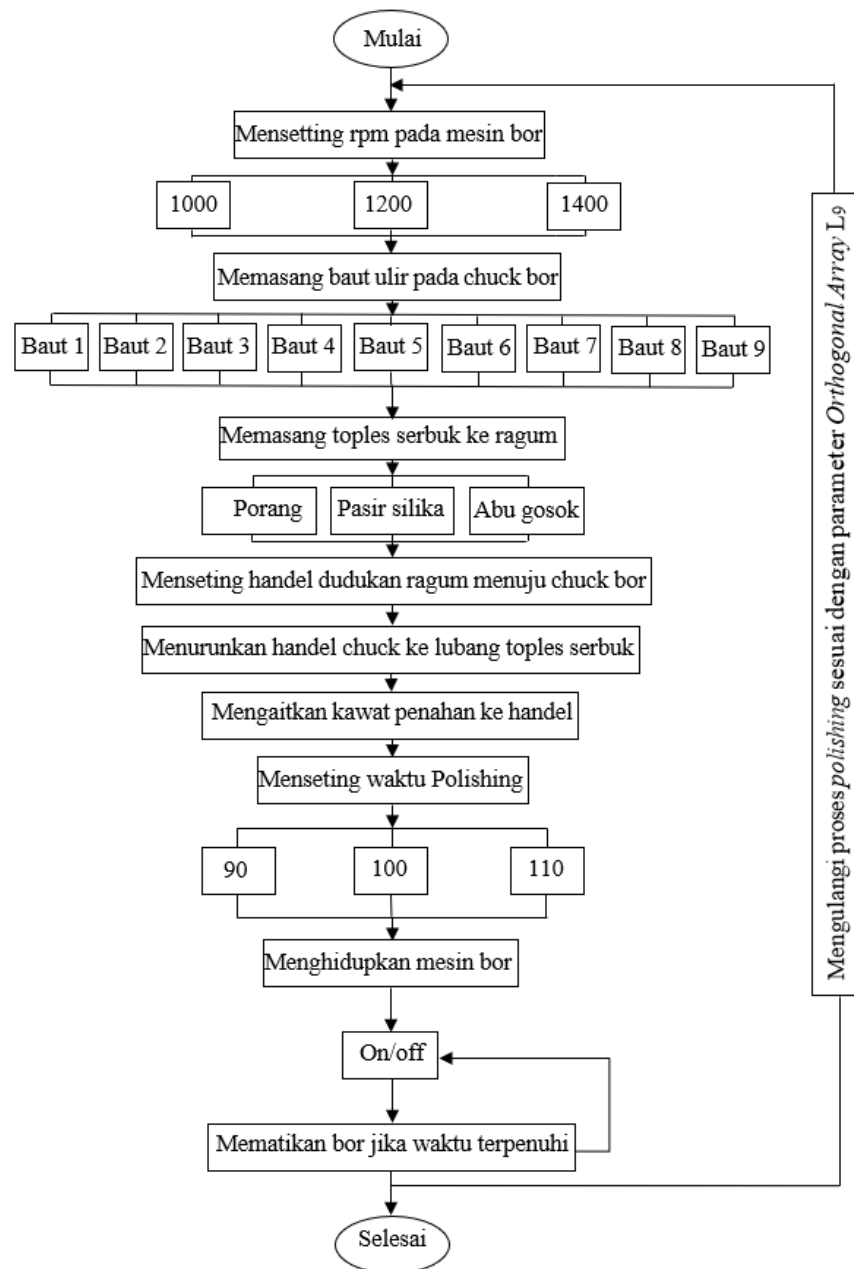
#### 3.6.1 Persiapan alat dan bahan

*Set-up* mesin bor duduk, persiapan alat meliputi *tachometer*, *stopwacth*, *profil projector* dan *scanning electron microscopy* (SEM). Kemudian menyiapkan bahan yang digunakan meliputi baut ulir titanium (Ti-6Al-

4V ELI) berjumlah 9, serbuk (porang, pasir silika dan abu gosok), toples selai berjumlah 3, saringan 100 mesh dan mata bor 8 mm untuk melubangi tutup toples selai.

### 3.6.2 Skema penghalusan

Berikut merupakan skema dari proses *pemolesan* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.13 Skema penghalusan

### 3.6.3 Proses penghalusan

Pada tahap ini setelah *set-up* mesin selesai dan tutup selai sudah terlubangi sesuai ukuran, setelah itu melakukan pengujian dengan besaran putaran rpm, waktu dan variasi serbuk yang digunakan masing-masing. Apabila dijelaskan secara bertahap maka akan dilakukan proses pemolesan dengan langkah sebagai berikut:

1. Mengurutkan baut ulir sesuai dengan parameter *Orthogonal Array* L<sub>9</sub> berdasarkan hasil *minitab* (dikelompokkan menjadi 3 faktor dan 3 level).
2. Memasukan serbuk porang, pasir silika dan abu gosok kedalam masing-masing toples selai (3 toples).
3. Melakukan setting rpm 1000 dengan membuka tutup atas mesin bor dengan menempatkan *v-belt* satu dan *v-belt* dua berdasarkan tingkat susunan *puly* sesuai prosedur pada mesin bor, dan seting menggunakan *tachometer*.
4. Membuka cuk mesin bor dengan kunci cuk, memasang baut ulir ke 1 dan mengencangkan kembali cuk bor.
5. Membuka ragum dan memasang toples berisi serbuk porang.
6. Mengencangkan ragum dan memutar tuas ragum naik mendekati baut ulir yang sudah dicekam.
7. Memasukan baut ulir kedalam lubang toples yang sudah dibuat sebelumnya dengan menurunkan hendel tuas bor.
8. Mengaitkan kawat pada tuas bor sebagai penahan baut ulir selama proses pemolesan.
9. Menyeting timer dengan 90 menit dan menekan tombol on pada mesin bor.
10. Setelah timer sudah selesai lepaskan kawat pengait, buka ragum untuk mengganti toples serbuk selanjutnya dan baut ulir ulir selanjutnya.
11. Mengulangi prosedur no. 4 dan memasang baut ulir ke 2.
12. Mengulangi prosedur no. 5 dengan memasang toples berisi serbuk pasir silika.

13. Menggulangi prosedur no. 9 dengan timer 100 menit dan menekan tombol on pada mesin bor.
14. Menggulangi prosedur no. 10 sesuai prosedur no 1.
15. Menggulangi prosedur no. 4 dan memasang baut ulir ke 3.
16. Menggulangi prosedur no. 5 dengan memasang toples berisi serbuk abu gosok.
17. Menggulangi prosedur no. 9 dengan timer 110 menit dan menekan tombol on pada mesin bor.
18. Menggulangi prosedur no. 10 sesuai prosedur no 1.
19. Menggulangi prosedur no. 3 dengan setting rpm 1200.
20. Menggulangi prosedur no. 4 dan memasang baut ulir ke 4.
21. Menggulangi prosedur no. 5 dengan memasang toples berisi serbuk pasir silika.
22. Menggulangi prosedur no. 9 dengan timer 90 menit dan menekan tombol on pada mesin bor.
23. Menggulangi prosedur no. 10 sesuai prosedur no 1.
24. Menggulangi prosedur no. 4 dan memasang baut ulir ke 5.
25. Menggulangi prosedur no. 5 dengan memasang toples berisi serbuk abu gosok.
26. Menggulangi prosedur no. 9 dengan timer 100 menit dan menekan tombol on pada mesin bor.
27. Menggulangi prosedur no. 10 sesuai prosedur no 1.
28. Menggulangi prosedur no. 4 dan memasang baut ulir ke 6.
29. Menggulangi prosedur no. 5 dengan memasang toples berisi serbuk porang.
30. Menggulangi prosedur no. 9 dengan timer 110 menit dan menekan tombol on pada mesin bor.
31. Menggulangi prosedur no. 10 sesuai prosedur no 1.
32. Menggulangi prosedur no. 3 dengan setting rpm 1400.
33. Menggulangi prosedur no. 4 dan memasang baut ulir ke 7.
34. Menggulangi prosedur no. 5 dengan memasang toples berisi serbuk abu gosok.

35. Menggulangi prosedur no. 9 dengan timer 90 menit dan menekan tombol on pada mesin bor.
36. Menggulangi prosedur no. 10 sesuai prosedur no 1.
37. Menggulangi prosedur no. 4 dan memasang baut ulir ke 8.
38. Menggulangi prosedur no. 5 dengan memasang toples berisi serbuk porang.
39. Menggulangi prosedur no. 9 dengan timer 100 menit dan menekan tombol on pada mesin bor.
40. Menggulangi prosedur no. 10 sesuai prosedur no 1.
41. Menggulangi prosedur no. 4 dan memasang baut ulir ke 9.
42. Menggulangi prosedur no. 5 dengan memasang toples berisi serbuk pasir silika.
43. Menggulangi prosedur no. 9 dengan timer 110 menit dan menekan tombol on pada mesin bor.
44. Selesai.

#### **3.6.4 Pengamatan *scanning electron microscope* (SEM)**

Menyiapkan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan menggunakan perbesaran (50x) dengan ukuran 200  $\mu\text{m}$  untuk pengambilan sampel sebanyak 2 pada permukaan baut ulir sebelum pemolesan dan sesudah pemolesan.

#### **3.6.5 Pengukuran ulir menggunakan *profil projector***

Menyiapkan alat ukur *profil projector* yang telah dikalibrasi, setelah itu menyiapkan spesimen yang sudah dipoles, lalu mengatur jarak sumbu x-y pada titik acuan spesimen secara vertikal dan horizontal. Ukur diameter mayor, diameter minor dan sudut pada ulir tersebut. Lalu mencatat hasil pengukuran tersebut ke dalam tabel hasil pengukuran sebagai berikut:



### 3.6.6 Data

Setelah semua proses dilakukan, data yang sudah didapat diolah dengan menggunakan Metode Taguchi L9 sehingga dapat diketahui nilai kesalahan pada geometri ulir dan dicatat pada tabel hasil pengukuran spesimen seperti ditunjukkan pada Tabel 3.15 dan dapat dijelaskan pengaruh tiap parameter terhadap kepresisian geometri ulir.

Tabel 3.15 Data hasil pengukuran *profil projector*

No	Putaran rpm (rpm)	Waktu (t)	Serbuk (sr)	Kesalahan tinggi ulir (mm)	Kesalahan <i>pitch</i> (mm)	Kesalahan sudut (°)
1	1000	90	Porang			
2	1000	100	Pasir silika			
3	1000	110	Abu gosok			
4	1200	90	Pasir silika			
5	1200	100	Abu gosok			
6	1200	110	Porang			
7	1400	90	Abu gosok			
8	1400	100	Porang			
9	1400	110	Pasir silika			

Dan data berupa tampilan SEM permukaan baut ulir kortikal sebelum dilakukan pemolesan dan sesudah dilakukan pemolesan menggunakan SEM-EDX Zeiss EVO MA10.

## V SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Bedasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Diperoleh kondisi baut ulir sebelum pemolesan, di mana terdapat sisa geram pemotongan, dan gompalan pada ulir hasil dari pemesinan. Setelah pemolesan mendapatkan tampilan permukaan baut ulir halus dan pengurangan dimensi akibat proses pemolesan.
2. Diperoleh hasil pengaruh putaran rpm, waktu, jenis serbuk terhadap kepresisian baut ulir, di mana faktor putaran rpm berpengaruh pada kesalahan sudut  $\beta$ , faktor waktu berpengaruh pada kesalahan jarak puncak (*pitch*) dan kesalahan tinggi ulir, faktor serbuk berpengaruh pada kesalahan sudut  $\alpha$ . Penggunaan serbuk dengan kesalahan terkecil dalam penelitian ini adalah abu gosok, abu gosok terbukti memiliki pengaruh kecil terhadap pemolesan. Selain itu abu gosok lebih ekonomis dibandingkan dengan porang dan pasir silika.
3. Diperoleh pengamatan dari hasil uji *scanning electron microscope*, di mana ulir sebelum pemolesan menampilkan permukaan yang kurang halus, terdapat goresan, ulir tidak rata, gompalan dan sisa geram hasil dari proses pemesinan. Untuk pengamatan baut ulir sesudah pemolesan menampilkan permukaan halus dan pengurangan ukuran dimensi dari kesalahan jarak puncak ulir (*pitch*), kesalahan tinggi ulir, kesalahan sudut  $\alpha$  dan kesalahan sudut  $\beta$ .



## 5.1 Saran

Pada penelitian ini terdapat saran yang diberikan guna untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi dalam pengembangan pada penelitian selanjutnya, diantaranya:

1. Pada penelitian ini menggunakan Metode Taguchi sebagai analisis data penelitian, sehingga apabila penelitian selanjutnya dilanjutkan dapat menggunakan Metode GRA (*Grey Relational Analysis*) karena tidak perlu menganalisis satu-satu perlakuan.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat juga memvariasikan jenis ukuran mesh di bawah 100 dalam penggunaan ukuran serbuk dan juga memvariasikan waktu pemolesan di bawah 90 menit.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat juga menambahkan motor penggerak dibawah toples, sebagai penggerak dalam memutarakan toples berisi serbuk yang berlawanan dengan putaran bor duduk pada proses pemolesan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, D. P. 2014. Metode Taguchi Pengendalian Kualitas. Teknik Industri. Universitas Brawijaya.
- Anusavice, J., K. 2014. Buku Ajar Ilmu Kedokteran Gigi Ed 11. Jakarta. Egc
- Arsista, D., & Eriwati, Y. K. 2018. Desain Dan Fungsi Implan Kedokteran Gigi Yang Beredar Di Pasaran. Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran, 30(3): 168-174.
- Athreya, S., & Venkatesh, Y., D. 2012. Application Of Taguchi Method For Optimization Of Process Parameters In Improving The Surface Roughness Of Lathe Facing Operasion. Xavier Institute Of Engineering, University Of Mumbai, India.
- Baharudianto, Muhammad. 2020. Kajian Simulasi Suhu Pemesinan Pada Proses Micromilling Ti-6al-4v. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Banga, T. R., & Sharma, S. C. 2009. Mechanical Engineering Handbook, Fourth Edition, Khanna Publishers.
- Beigmoradi, S., & Vahdati, M. 2022. Experimental And Numerical Study Of Pemolesan Of 2024 Alumenitum Alloy Using Acoustics Energy. Journal Of Manufacturing Process. (73): 440-453.
- Damisih, D., Jujur, I. N., Sah, J., & Prajitno, D., H. 2018. Effect Of Heat Treatment Temperature On Microstructure Characteristic And Hardness Properties Of Casted Ti-6al-4v Eli. Widyariset, 4 (2): 153-162.
- Dananjaya, N., O., S. 2010. Optimasi Proses Penepungan Dengan Metode “ Stamp Mill” Dan Pemurnian Tepung Porang Dengan Metode Ekastrasi Etanol Bertingkat Untuk Perkembangan Industri Tepung Porang (Amorphophallus Oncopylus) Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.

- Diana S.N., Diansari, V., & Widyarti. 2012. Pengaruh Teknik Pemolesan Satu Langkah Dan Beberapa Langkah Terhadap Kekasaran Permukaan Resin Komposit Nanofiller. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*, 1 (2): 100-105.
- Doi, T.K., Ohnishi, O., Uhlmann, E., & Dethlefs, A. 2015. Lapping And Pemolesan. *Handbook Of Ceramics Grinding And Pemolesan*, 263–325. Doi:10.1016/B978-1-4557-7858-4.00006-6. Diakses Pada 26 Desember 2022
- Drismayanti, I., Sariatun, T., A'la Ub, R. M., & Jubhari, E., H. 2012. Perbandingan Tingkat Keberhasilan Implan Antara Osteogenesis Autogeneous Bone Graft. *Dentofasial*, 11(3): 180-186.
- Fairus, S., Haryono, Sugita, M.H., Dan Sudrajat A. 2009. Proses Pembuatan Waterglass Dari Pasir Silika Dengan Pelebur Natrium Hidroksida. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 8 (2): 56-62.
- Faridah, A.W., Sutrisno, S.B., & Bambang, A.S. 2012. Optimasi Produksi Tepung Porang Dari Chip Porang Secara Mekanis Dengan Metode Permukaan. *Jurnal Teknik Industri* 13(2): 158
- Fariza, F. 2017. Evaluasi Dan Analisa Kinerja Sistem Pahat Putarmodular Untuk Pemesinan Peralatan Kesehatan Ortopedi Berbasis Material Titanium 6al-4v Eli. *Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.*
- Gorana, V.K., Jain, V.K., & Lal, G.K. 2004. Experimental Investigation Into Cutting Forces And Active Grain Density During Abrasive Flow Machining, *International Journal Of Machine Tools And Manufacture* 44: 201-211.
- Gunawarman, G., Affi, J., Sutanto, A., Putri, D. M., Juliadmi, D., Nuswantoro, N. F., & Manjas, M. 2020. Adhesion Strength Of Hydroxyapatite Coating On Titanium Materials (Ti-6al-4v Eli) For Biomedical Application. *Mesin*, 11(2).
- Guzaitis, K. L., Knoernschild, K.L., & Viana, M., Ag. 2011. Effect Of Repeated Ulir Joint Closing And Opening Cycles On Implant Prosthetic Ulir Reverse Torque And Implant And Ulir Thread Morphology. (University Of Illinois Chicago).

- Hamidi. 2008. Pengaruh Perubahan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Permukaan Pada Proses Pembubutan. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 11(1): 18-28.
- Harto, A. 2022. Skripsi Kajian Eksperimental Terhadap Baut Ulir Implan Tipe Kortikal Dari Bahan Ti-6al-4v Eli Menggunakan Mesin Bubut Cnc. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
- Heran, Y., Xingwei, S., Fei, P., & Tongchun, Y. 2017. Contact Analysis For Coated Surface Process Double Abrasive Belt Polishing Ulirs Curved Surface. *Procedia Computer Sciene*, 107: 743-748.
- Ibrahim, G., A. 2014. Identifikasi Nilai Kekasaran Permukaan Pada Pemesinan Paduan Magnesium. *Jurnal Mechanical*, 5(1):11-15.
- Ibrahim, G., A. 2014. Pengaruh Pemesinan Kering Terhadap Kekasaran Dan Kekerasan Permukaan Paduan Titanium. Universitas Lampung. Bandar Lampung. *Jurnal Mechanical*, 5 (2): 6-11.
- Ibrahim, G., A., & Hamni, A. 2016. Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Proses Bubut Ulir (Threading) Terhadap Kepresisian Geometri Ulir Magnesium Paduan Az31. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 12 (1): 1-6.
- Krishnan, A., & Fang, F. 2019. Review On Mechanism And Process Of Surface Polishing Using Lasers. Review Article <https://link.spring.com/article/10.1007/S11465-019-0535-0>. Diakses Pada 26 Desember 2022.
- Kurniawan, Y., Herawan, B., & Indrayani, N. L. (2019). Analisis Gerak Pemakanan Dan Jenis Media Pendingin Terhadap Kekasaran Permukaan Logam Hasil Pembubutan Pada Material Sus 304. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(2), 94-100.
- Laksono, K. 2022. Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Kepresisian Baut Ulir Kortikal Ti-6al-4v Eli Menggunakan Metode Taguchi L9. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung
- Litbang. 2017. Sekam Padi Untuk Bangunan Dan Bahan Bakar. <http://www.litbang.pertanian.go.id/>. Diakses pada 8 Juni 2022.
- Munandi. 1998. *Dasar-Dasar Metrologi Industri* Jakarta.
- Nashrulah, M. 2016. Pengembangan Desain Optimal Bone Ulir Untuk Implan Ortopedi Menggunakan Ansys: Pengaruh Diameter Ulir Dan Pemilihan

Material (Doctoral Dissertation. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya).

- P.S. Pa. 2009. Automatic Super Finish Characterization On Ulir Surfaces. International Conference On Measuring Technology And Mechatronics Automation. (National Taipei University Of Education).
- Pasaribu, G., Hastuti, N., Efiyani, L., Waluyo, T., & Pari, G. 2019. Optimasi Teknik Pemurnian Glukomanan Pada Tepung Porang (*Amorphophallus Muelleri Blume*) (The Glucomannan Purification Techniques Optimization Of Porang (*Amorphophallus Muelleri Blume*) Flour) Penelitian Hasil Hutan, 37 (3): 201-208.
- Pitojo, S. 2007. Seri Budidaya: Suweg: Bahan Pangan Alternatif, Renda Kalori, Penerbit Kanius, Jogjakarta.
- Prajitno, D. H., Pratama, A. B., & Pawawoi, P. 2009. Prilaku Elektrokimia Paduan Bio Inert Ti-6al-4v Bahan Implan Yang Di Doping Dengan Nb Dalam Media Menituman Berkarbonasi Journal Of Chemical Proses Engineering, 4 (1): 23-30.
- Prasasti, Giovanni Dio. (2021). “Menkomenitfo: Pengguna Internet Di Indonesia Capai 202,6 Juta Orang per Januari 2021.” *Liputan 6*: 6–13. <https://m.liputan6.com/tekno/read/4683148/menkomenitfo-pengguna-internet-diindonesia-capai-2026-juta-orang-per-januari-2021>.
- Rochim, Taufik. 2007. Proses Pemesinan: Perkakas & Sistem Pemerkakasan. Bandung. ITB.
- Sawitri, D., & Firdausi, A. 2011. Perancangan Mekanik Mesin Poles Untuk Proses Metalografi Bahan Menggunakan Motor Listrik. Program Studi D3 Teknik Instrumentasi. Jurusan Teknik Fisika. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Saputra, G., & Hamsi, A. 2014. Analisa Optimasi Pemesinan Pada Mesin Bor Breda Tipe R-35 Dengan Algoritma Genetika. Jurnal Dinamis, 9(1): 11-18.
- Slamet, S., & Qomaruddin. 2016. Karakterisasi Pasir Silika Bekas Inti Cor Melalui Proses Daur Ulang Dengan Pengikat Senyawa Resin Alami (Studi Kasus : Produk Manifold Di Ikm Budi Jaya Logam – Juwana). Sintek, 10 (1): 41-47.

- Sojanto, I. 2009. *Desain Eksperiment Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sukmana, I. 2016. Peluang Dan Tantangan Aplikasi Baut Tulang Mampu Terdegradasi Berbasis Logam Magnesium Dinamika Teknik Mesin, 6(2): 93-98.
- Surdianto, Y., Sutrisna, N., Basuno, & Solihin. 2015. *Panduan Teknis Cara Membuat Arang Sekam Padi*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jawa Barat.
- Suwoto, C., Ikhsan, M., & Kartika, I. 2014. Karakteristik Material Biokompetibel Aplikasi Implan Medis Jenis Bone Plate. *Prosiding Semnastek*, 1(1).
- Tutsek, A., Gottingen, Bartha, P., & Bovenden. 1977. *Method Of Producing Lowcarbon, White Husk Ash*, United States Patent 4,049,464 September 20, 1977
- Widyanto, S., A. & Jamasri. 2001. Pengaruh Bentuk Takik Ulir Spesimen Baja Poros Terhadap Kekuatan Lelah Puntir Pada Pembebanan Puntir. *Media Teknik*, 3 (69-72)
- Yan, B. M., Tzeng, H. J., Huang, F. Y., Lin, Y. C., & Chow, H. M. 2007. Finishing Effects Of Spiral Polishing Method On Micro Lapping Surface. *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 47: 920-926.
- Yudi. 2011. *Scanning Electron Microscope (SEM) Dan Optical Emission Spectroscopy(Oes)*.<https://Yudiprasetyo53.Wordpress.Com/2011/11/07/scanning-electronmicroscope-sem-dan-opticalissionspectroscopy-oes/>. Diakses Pada 30 Juni 2022.
- Zhang, Y., Tang, Y., Li, F. 2010. Research Of Electrochemical Polishing Mixed With Powder And Related Experiments. *Advanced Materials Research*, 135: 413-417.