

**OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN BAUT ULIR KORTIKAL Ti-
6Al-4V ELI DENGAN METODE KOMBINASI SINGLE
dan MULTI RESPON**

(Tesis)

Oleh
MUHAMMAD SYAFRIL



**MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2024

Ringkasan / Abstrak

Pada saat ini proses pemesinan masih sangat digunakan baik manual maupun otomatis dalam memenuhi kebutuhan manufaktur. Tetapi dalam penggunaan hasil dari produksi manufaktur harus memiliki hasil yang terbaik. Hasil tersebut dihasilkan dari berbagai parameter penelitian sebelum di terapkan pada sebuah industri. Optimasi dilakukan untuk menentukan nilai terbaik dari beberapa parameter penelitian yang dilakukan. Penelitian dilakukan pada proses pemesinan baut ulir tulang kortikal Ti-6Al-4V ELI dengan variasi kecepatan spindle 100 rpm, 200 rpm dan 300 rpm serta variasi kedalaman pemotongan sebesar 0,01 mm, 0,02 mm dan 0,03 mm kemudian dengan memvariasikan media pendingin yang dipakai yaitu VPO (*Virgin Palm Oil*), VCO (*Virgin Coconut Oil*) dan Sintesis. Dalam parameter tersebut maka di dapatkan 3 level dengan 3 faktor. Metode optimasi yang digunakan yaitu kombinasi antara metode *Taguchi* dan *Grey Relation Analysis (GRA)* sehingga mendapatkan nilai optimal pada hasil pemesinan terhadap faktor kesalahan jarak puncak ulir, kesalahan tinggi ulir dan kesalahan sudut ulir. Diperoleh kondisi parameter kesalahan tinggi ulir dan kesalahan sudut α menggunakan putaran spindle sebesar 300 rpm, kedalaman potong sebesar 0,01 mm, dan pelumas yang digunakan adalah VPO. Berbeda dengan ketiga respon sebelumnya pada kesalahan sudut β diperoleh pemotongan optimum pada putaran spindle sebesar 300 rpm, kedalaman potong sebesar 0,01 mm, dan pelumas yang digunakan adalah sintesis. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode taguchi kedalaman potong, merupakan faktor yang paling signifikan terhadap kepresisian geometri ulir dihasilkan dimana semakin besar nilai kedalaman potong digunakan maka kesalahan yang dihasilkan akan semakin besar pula, untuk besar nilai kedalaman potong yang optimum pada penelitian ini sebesar 0,01 mm. Berdasarkan perhitungan Grey Relational Analysis, kombinasi kondisi pemotongan yang paling optimal yaitu pada putaran spindle 100 rpm (level 1), depth of cut 0,01 mm (level 1), dan coolant berjenis virgin palm oil (VCO) (level 3).

Kata kunci: *Grey Relation Analysis, Taguchi*, putaran spindle, kedalaman pemotongan, pendingin

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF TI-6Al-4V ELI CORTICAL BONE SCREW MACHINING PARAMETERS USING COMBINATION TAGUCHI METHOD and GREY REALTION ANALYSIS (GRA)

By Muhammad Syafril

At this time the machining process is still very much used both manually and automatically in meeting manufacturing needs. But in using the results of manufacturing production must have the best results. These results are generated from various research parameters before being applied to an industry. Optimization is done to determine the best value of several parameters of the research conducted. The research was conducted on the machining process of Ti-6Al-4V ELI cortical bone screw with variations in spindle speed of 100 rpm, 200 rpm and 300 rpm and variations in cutting depth of 0.01 mm, 0.02 mm and 0.03 mm then by varying the media The coolers used are VPO (Virgin Palm Oil), VCO (Virgin Coconut Oil) and Synthesis. In these parameters, we get 3 levels with 3 factors. The optimization method used is a combination of the Taguchi and Gray Relation Analysis (GRA) methods so as to obtain optimal values on the machining results for the peak screw spacing error factor, screw height error and screw angle error. The parameter conditions for screw height error and angle error α are obtained using a spindle rotation of 300 rpm, a depth of cut of 0.01 mm, and the lubricant used is VPO. In contrast to the three previous responses to the angle error β , optimum cutting was obtained at a spindle rotation of 300 rpm, a depth of cut of 0.01 mm, and the lubricant used was synthetic. Based on the test results using the taguchi method, the depth of cut is the most significant factor for the precision of the screw geometry produced where the greater the depth of cut value is used, the resulting error will be even greater, for the optimum depth of cut value in this study of 0.01 mm . Based on Gray Relational Analysis calculations, the most optimal combination of cutting conditions is spindle speed 100 rpm (level 1), depth of cut 0.01 mm (level 1), and coolant type virgin palm oil (VCO) (level 3).

Keywords: Gray Relation Analysis, Taguchi, spindle speed, depth of cut, cooling media

*OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN BAUT ULIR KORTIKAL Ti-6Al-4V ELI
DENGAN METODE KOMBINASI SINGLE
dan MULTI RESPON*

Oleh
MUHAMMAD SYAFRIL

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNIK

Pada

Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024

Judul Tesis

: **OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN BAUT
ULIR KORTIKAL Ti-6Al-4V ELI DENGAN
METODE KOMBINASI SINGLE dan MULTI
RESPON**

Nama Mahasiswa

: **Muhammad Syafril**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2025021004

Jurusan

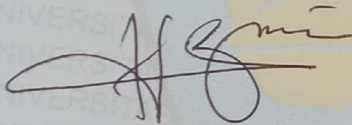
: Magister Teknik Mesin

Fakultas

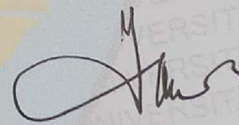
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

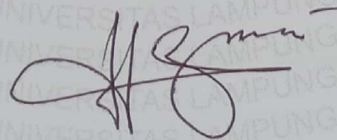


Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19710817 199802 1 003



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

2. Ketua Jurusan Magister Teknik Mesin



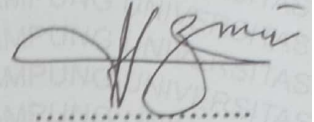
Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19710817 199802 1 003

MENGESAHKAN

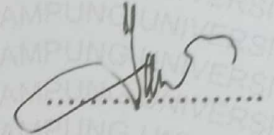
1. Tim Penguji

Ketua

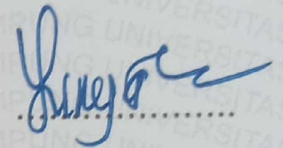
: **Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.**



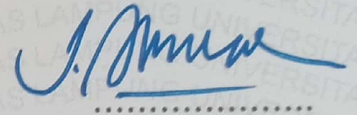
Anggota Penguji : **Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, S.T., M.T.**



Penguji Utama I : **Dr. Eng. Surya Diwansa Harun, S.T., M.T.**



Penguji Utama II : **Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928/200112 1 002

Direktor Program Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.

NIP 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **14 Juni 2024**

PERNYATAAN PENULIS

Skripsi dengan judul "*OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN BAUT ULIR KORTIKAL TI-6Al-4V ELI DENGAN METODE KOMBINASI SINGLE dan MULTI RESPON*" 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, Juni 2024

Yang membuat pernyataan



2000
SERBUH RUPIAH
20
METERAI
TEMPEL
04E08ALX184028619

Muhammad Syafril

NPM. 2025021004

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta, 21 April 1984, sebagai anak ke empat dari lima bersaudara, pasangan Bapak Djamiluddin dan Ibu Nurhayati. Penulis memiliki tiga kakak perempuan yang bernama Noviyanti, Meiyensi, Mahdalena dan memiliki adik perempuan yang bernama Aulia Fitriyani.

Penulis mengawali pendidikannya pada tahun 1988 di TK Pertiwi Kalianda Lampung Selatan diselesaikan pada tahun 1990. Penulis melanjutkan sekolah di Sekolah Dasar Negeri 1 Kalianda Lampung Selatan diselesaikan tahun 1996, SLTP Negeri 10 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 1999, SMA dan Podok Pesantren Gading Mangu Jombang Jawa Timur Yang diselesaikan tahun 2002.

Pada tahun 2003 mengikuti Program Pelatihan di BLK (Balai Latihan Kerja) Bandar Lampung selama enam bulan dengan jurusan Mesin Produksi.

Pada tahun 2003 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Universitas Malahayati Bandar Lampung, Fakultas Teknik Jurusan Mesin. Pada tahun 2006 mengikuti program magang ke Jepang atas kerjasama antara Departemen Tenaga Kerja Indonesia dengan Jepang, yang diselesaikan pada tahun 2009. Pada tahun 2010 hingga sampai saat ini mengajar di SMA dan SMK Tri Sukses Natar Lampung Selatan

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ

ALHAMDULILLAH HIROBBIL ALAMIIN

(segala puji bagi الله, tuhan semesta alam)

KARYA TULIS INI KU PERSEMBAHKAN UNTUK

Orangtua Tercinta

Mertua

Istri Tercinta

Ke Empat Buah Hati Saya

Teman-Teman Magister Teknik Mesin Seangkatan 2020

Dan

Almamater Tercinta

Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin

Universitas Lampung

2020-2024

MOTTO HIDUP

“Menjadi Seorang Engineer Itu Harus Kritis, Belum Melihat Jangan Dulu
Percaya, Sudah Melihat Baru Percaya.

Jadi Prinsip Dasarnya

“SEEING IS BELIEVE”

“Berbuat Baiklah Kepada setiap orang maka kamu akan menerima kebaikan
juga meskipun bukan dari orang yang kita tolong tersebut “

(Mahruri Arif Wicaksono)

“Maka Sesungguhnya Bersama Kesulitan Itu Ada Kemudahan “

(Q.S Al Insyirah 5)

Akhlak yang baik adalah berbuat baik kepada orang lain, tidak menyakiti
mereka, dan menampakkan wajah ceria.

(Hasan Al-Bashri)

“Selalulah Berfikir Positif, Tidak Peduli Seberapa Keras Kehidupanmu “

(Ali bin Abi Thalib)

SANWACANA

Assalamualaikum wr.wb

Alhamdulillahirobbil'alamiin, segala puji bagi ALLAH SWT tuhan semesta alam, atas segala rahmat dan hidayah-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tesis ini.

Tesis dengan judul “*OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN BAUT ULIR KORTIKAL TI-6Al-4V ELI DENGAN METODE KOMBINASI SINGLE dan MULTI RESPON*” adalah salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik di Universitas Lampung. Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses Tesis ini. Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Magister Teknik Mesin.
4. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing utama atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam proses menyelesaikan Tesis ini.
5. Bapak Ir. Dr. Yanuar Burhanuddin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam proses menyelesaikan Tesis ini.
6. Bapak Dr. Eng. Surya Diwansa Harun, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan saran selama proses pengujian.
7. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan saran selama proses pengujian.

8. Orang tua Tercinta, Mertua dan Istri Tercinta yang tak berhenti memberikan do'a dan semangat untuk anaknya dalam menyelesaikan pendidikannya.
9. Teman seperjuangan atau sahabat perkuliahan Mahruri Arif Wicaksono, Rizal Adi Saputra, Adam Wisnu Murti, Aris Margono, Mahfud Kurnia Akbar, Kurniawan Purga dan rekan-rekan lain nya yang saling membantu dan mendukung selama proses perkuliahan dan penelitian.
10. Teman-Teman kuliah Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin Universitas Lampung angkatan Tahun 2020
11. Kepada Mas Salam yang selalu membantu membauatkan keperluan surat menyurat selama perkuliahan di Magister Teknik Mesin Universitas Lampung.
12. Kepada Mas Dadang yang selalu membantu menyiapkan tempat ketika seminar proposal, seminar hasil dan ujian komprehensif.
13. Semua pihak yang membantu penulis untuk menyelesaikan Tesis ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari banyak kekurangan dalam penyusunan dalam Tesis ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Tesis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum wr. wb.

Bandar Lampung, Juni 2024

Penulis,

Muhammad Syafril

NPM. 2025021004

DAFTAR ISI

Ringkasan / Abstrak	ii
ABSTRACT	iii
PERNYATAAN PENULIS	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Perumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Mesin Bubut Konvensional (Turning).....	6
2.2 Mesin Bubut CNC	7
2.3 Bagian Utama Mesin Bubut	8
2.4 Parameter Proses Pemesinan	10
2.5 Proses pembuatan ulir.....	13
2.6 Jenis Ulir dan Fungsinya	15
2.9 Material biokompatibilitas.....	23
2.10 Material Ti-6AL-4V ELI	24
2.11 Cairan Pendingin (<i>coolant</i>).....	25
2.10 Uji SEM.....	25
2.11 Uji Struktur Mikro	27
2.12 Optimasi	28
2.13 Kerusakan Ulir.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	38
3.1 Tempat Penelitian	38
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	38
3.3 Parameter Pengujian	44

3.4	Langkah Pengujian.....	45
3.5	Prosedur Penelitian.....	46
3.6	Pengolahan Data Penelitian.....	49
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	56
3.8	Rencana Jadwal Penelitian.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		58
4.1	Hasil Pengujian	58
4.2.	Analisa FE-SEM	82
4.3	RPM 100 kedalaman potong 0.02.....	82
4.4	RPM 100 kedalaman potong 0.03.....	83
4.5	RPM 200 kedalaman potong 0.02.....	85
4.6	Analisa Perbedaan Putaran Spindle (100 RPM dan 200 RPM) dengan kedalaman potong konstan (0.02)	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		92
A.	Kesimpulan	92
B.	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses Pembubutan.....	7
Gambar 2. Gerakan Sumbu Utama Koordinat X dan Z	8
Gambar 3. Parameter Pemakanan	12
Gambar 4. Nama- nama bagian ulir	13
Gambar 5. Dimensi ulir metris	14
Gambar 6. Proses pembuatan ulir luar dengan pahat sisipan	14
Gambar 7. Eretan atas diatur menyudut terhadap sumbu tegak lurus benda kerja dan arah pemakanan pahat bubut	15
Gambar 8. Ulir tunggal dan ulir ganda.....	16
Gambar 9. Jenis-jenis ulir menurut bentuk sisi ulir.....	17
Gambar 10. LCP Reconstruction Pelates 3.5.....	21
Gambar 11. 6.5 mm <i>Cancellous Bone Screw</i>	21
Gambar 12. 5.0 mm <i>Cannulated Conical Screws</i>	22
Gambar 13. Jenis screw berdasarkan fungsinya di dalam tulang (Glyde).	22
Gambar 14. (a) Self-tapping screw, dan (b) non- self-tapping screw (Glyde).....	23
Gambar 15. Struktur kristal titanium (a. Hexagonal Close Packed) dan (b. Body Centered Cubic) (Sumber : Leyens & Peters, 2003).....	24
Gambar 16. Diagram Blok SEM (Sujatno, 2015)	27
Gambar 17. Kerusakan permukaan hasil pembubutan ulir	36
Gambar 18. Geometry kerusakan permukaan hasil pembubutan ulir	36
Gambar 19. Geometry kerusakan permukaan hasil pembubutan ulir	37
Gambar 20. Paduan titanium 6Al-4V ELI (Fariza, 2017)	38
Gambar 21. Mesin bubut CNC FEELER FTC-350XL.....	39
Gambar 22. Pahat Ulir Carbide	40
Gambar 23. Profile projector	41
Gambar 24. Mikroskop Optik.....	42
Gambar 25. Alat Uji SEM-EDX	43
Gambar 26. Geometri Baut Ulir Kortikal	47
Gambar 27. Diagram alir penelitian	56

Gambar 28. Geometri Kesalahan Diameter Ulir Dengan Profil Projector	61
Gambar 29. Geometri Kesalahan Jarak Puncak Ulir Dengan Profil Projector.....	61
Gambar 30. Geometri Kesalahan Sudut α Ulir Dengan Profil Projector	62
Gambar 31. Geometri Kesalahan Sudut β Ulir Dengan Profil Projector	62
Gambar 32. Main Effects Plot untuk SNR Kesalahan Diameter Ulir	65
Gambar 33. Grafik Kesalahan Diameter Ulir	65
Gambar 34. Main Effects Plot untuk SNR Kesalahan jarak Ulir	68
Gambar 35. Grafik Kesalahan Jarak Puncak Ulir	69
Gambar 36. Main Effects Plot untuk SNR Kesalahan Sudut α	72
Gambar 37. Grafik Kesalahan sudut α	72
Gambar 38. Main Effects Plot untuk SNR Kesalahan Sudut β	75
Gambar 39. Grafik Kesalahan sudut β	76
Gambar 40. Main effects plot for means Grey Relational.....	81
Gambar 41. (a). Manufaktur Baut, (b). Pembesaran 50x, (c). Pembesaran 80x, (d). Pembesaran 150x dan (e). Pembesaran 200x	83
Gambar 42. (a). Manufaktur Baut, (b). Pembesaran 50x, (c). Pembesaran 80x, (d). Pembesaran 150x dan (e). Pembesaran 200x Spot 1, (f). Pembesaran 200x Spot 2.....	84
Gambar 43. Gambar 41. (a). Manufaktur Baut, (b). Pembesaran 50x, (c). Pembesaran 80x, (d). Pembesaran 150x dan (e). Pembesaran 200x	85
Gambar 44. (a). Kerusakan Ulir pada RPM 100 kedalaman potong 0.02, (b). Kerusakan Ulir pada Putaran Spindle 200 RPM kedalaman Potong 0.02	86
Gambar 45. (a). Gambar Kerusakan puncak ulir (b). Kerusakan Ulir pada Putaran Spindle 100 RPM kedalaman potong 0.03 Spot 1, (c). Spot 2, (d) Kerusakan puncak ulir, (e). Kerusakan puncak ulir kecepatan spindle 200 RPM kedalaman potong 0.02	87

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Material yang digunakan untuk aplikasi ortopedi	18
Tabel 2. Perbandingan beberapa material implan protesis	19
Tabel 3. Anova satu arah tanpa interaksi	33
Tabel 4. Anova Dua Arah dengan Interaksi	34
Tabel 5. Kandungan paduan titanium Ti-6Al-4V ELI	39
Tabel 6. Sifat fisika paduan titanium Ti-6Al-4V ELI	39
Tabel 7. Spesifikasi <i>profile projector</i>	41
Tabel 8. Kandungan VCO	42
Tabel 9. Kandungan VPO	42
Tabel 10. Spesifikasi Mikroskop Optik	43
Tabel 11. Spesifikasi Alat Uji SEM-EDX	44
Tabel 12. Parameter Pengujian	44
Tabel 13. L9 orthogonal array	45
Tabel 14. Besaran level	45
Tabel 15. Hasil pengukuran diameter ulir	48
Tabel 16. Hasil pengukuran jarak puncak ulir	48
Tabel 17. Hasil pengukuran sudut ulir	49
Tabel 18. Hasil Percobaan dan hasil perhitungan S/N Ratio	50
Tabel 19. Faktor optimal masing-masing respon	51
Tabel 20. Analisis Varian Untuk S/N Rasio kesalahan diameter ulir, Jarak Puncak Ulir dan kesalahan sudut ulir	51
Tabel 21. Response table S/N rasio kesalahan diameter ulir, Jarak Puncak Ulir dan kesalahan sudut ulir	52
Tabel 22. Normalisasi SNR	53
Tabel 23. Perhitungan Deviation Sequence dan GRC	54
Tabel 24. Grey Relation Grade (GRG)	55
Tabel 25. Mean response Grey Relational Grade	55
Tabel 26. Rencana Penelitian	57

DAFTAR NOTASI

	Satuan
σ = Tegangan	(N/mm ²)
ε = Regangan	(mm)
Y = Modulus young	(GPa)
A ₀ = Luas awal penampang spesimen	(mm ²)
L ₀ = Panjang awal spesimen	(mm)
L = Panjang akhir spesimen	(mm)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi industri manufaktur terus berkembang, sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, peningkatan produksi harus diimbangi dengan peningkatan kualitas produksi. Proses pemesinan non konvensional atau Computer Numerical Control (CNC) merupakan solusi kerja ketika proses pemesinan tidak dapat dilakukan dengan menggunakan mesin konvensional. Permintaan yang paling penting tidak hanya kualitas barang yang tinggi, tetapi juga waktu pemrosesan yang singkat. Sehingga diharapkan proses produksi dapat dilakukan dengan cepat, dalam jumlah dan permintaan yang banyak dengan kualitas yang sesuai dengan permintaan. Dengan proses produksi yang cepat akan meningkatkan efisiensi kerja sehingga pada akhirnya biaya produksi menjadi lebih efektif. Untuk itu diperlukan suatu mesin yang mampu memenuhi segala tuntutan dalam industri manufaktur.

Salah satunya adalah mesin bubut CNC (pembubutan) menggunakan mesin CNC, tingkat presisi atau akurasi pengukuran yang tinggi dapat dicapai. Keunggulan mesin CNC adalah dalam memproduksi barang dalam jumlah banyak, akurasi tinggi, dan kecepatan tinggi. Dengan menggunakan program dan setting yang sama, meskipun diulang berkali-kali, produk yang dihasilkan akan tetap sama. Produktivitas yang dihasilkan oleh mesin CNC dengan menggunakan sistem komputer lebih besar dibandingkan dengan produktivitas yang dihasilkan oleh mesin konvensional.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas produk ulir yang dihasilkan oleh mesin CNC adalah kerusakan pada ulir. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya (Abbas, 2013) dalam proses pemesinan ulir ukuran kualitas sebagian besar dilihat dari kerusakan ulir yang dihasilkan. Tingkat kerusakan pada ulir merupakan parameter kualitas utama dari setiap proses pemesinan pembuatan ulir. Sedangkan menurut (Makmur, 2006) mengatakan bahwa karakteristik kerusakan

ulir sangat penting untuk komponen mesin, karena kerusakan ulir berkaitan dengan penguncian, gesekan dan keausan suatu rangkaian. Untuk mencapai tingkat kerusakan ulir yang rendah sesuai standar, faktor-faktor yang dapat mempengaruhi tingkat kerusakan ulir pada proses bubut CNC adalah seperti yang dikemukakan oleh (Prasetya, 2010), yang meliputi kecepatan spindle, kedalaman makan, gerak umpan, kondisi mesin, material benda kerja, pahat, cairan pendingin, dan operator.

Dengan pertimbangan tersebut material yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah material titanium karena material tersebut sering digunakan pada komponen permesinan, mudah dikerjakan dan mudah didapatkan di pasaran. Penelitian yang dilakukan oleh (Zubaidi, 2012), tentang analisis pengaruh kecepatan putar dan kecepatan umpan terhadap kerusakan ulir pada mesin bubut CNC. Hasil analisis dapat disimpulkan bahwa besaran *feeding* berpengaruh terhadap tingkat kerusakan ulir, semakin tinggi nilai *feeding* maka semakin tinggi pula tingkat kerusakan geometri ulirnya. Kemudian kecepatan putaran juga mempengaruhi tingkat kerusakan ulir, semakin cepat putaran maka semakin rendah tingkat kerusakan geometri ulirnya.

Penelitian dilakukan optimasi berdasarkan perhitungan *Gray Relational Analysis*, kombinasi kondisi pemotongan yang paling optimal adalah pada putaran spindle 100 rpm (level 1), kedalaman potong 0,01 mm (level 1), dan pendingin virgin palm oil (VCO) (Yahya, 2022). Bentuk permukaan ulir terbaik diperoleh pada parameter kecepatan potong 2,826 m/menit dan kedalaman potong 0,02 mm, semakin besar kedalaman potong yang digunakan maka semakin besar nilai kerusakan bentuk profil permukaan ulir dan semakin tinggi kecepatan potong, semakin rendah nilai kerusakan permukaan ulir material baut Ti-6Al-4V ELI (Harto, 2022). Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan yaitu melakukan optimasi untuk menentukan nilai terbaik dari beberapa parameter penelitian yang dilakukan.

Penelitian dilakukan pada proses pemesinan baut ulir tulang kortikal Ti-6Al-4V ELI dengan variasi kecepatan spindle 100 rpm, 200 rpm dan 300 rpm serta variasi kedalaman pemotongan sebesar 0,01 mm, 0,02 mm dan 0,03 mm kemudian dengan memvariasikan media pendingin yang dipakai yaitu VPO (Virgin Palm Oil), VCO (Virgin Coconut Oil) dan Sintesis. Dalam parameter tersebut maka di

dapatkan 3 level, 3 faktor terhadap 3 respon. Metode optimasi yang digunakan yaitu kombinasi antara Metode *Taguchi* dan *Grey Relation Analysis (GRA)* sehingga mendapatkan nilai optimal pada hasil pemesinan terhadap faktor kesalahan jarak puncak ulir, kesalahan tinggi ulir dan kesalahan sudut ulir.

Hal tersebut yang menjadi acuan penulis dalam mengangkat topik “Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Kepresisian Geometri Baut Ulir Tulang Kortikal Material Ti-6Al-4V ELI Menggunakan Metode “*Taguchi dan Grey Relation Analysis*”. Penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam menentukan kombinasi parameter pemotongan dengan nilai optimum sehingga dapat meningkatkan kualitas produk baut ulir tulang kortikal menggunakan material Ti-6Al-4V ELI.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Melakukan optimasi dengan kombinasi antara Metode *Taguchi* dan *Grey Relation Analysis (GRA)* terhadap faktor kesalahan jarak puncak ulir, kesalahan tinggi ulir dan kesalahan sudut ulir.
- b. Menentukan pengaruh parameter permesinan terhadap kesalahan dimensi dan geometri ulir baut kortikal dengan diameter 4,5mm.

1.3 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah pada penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut :

- a. Bagaimana kombinasi antara Metode *Taguchi* dan *Grey Relation Analysis (GRA)* mendapatkan kondisi optimal parameter terhadap faktor kesalahan jarak puncak ulir, kesalahan tinggi ulir dan kesalahan sudut ulir?

1.4 Batasan Masalah

Mengingat banyak faktor yang mempengaruhi tingkat kerusakan ulir proses CNC *turning* seperti kecepatan pemakanan, kecepatan putaran *spindle*, jenis pahat, jenis material yang digunakan, jenis mesin, dan kedalaman pemakanan. Adapun batasan penelitiannya adalah sebagai berikut:

- a. Variasi kecepatan putaran spindel (*spindle speed*) dalam penelitian ini yaitu 100, 200 dan 300 rpm.
- b. Kedalaman pemakanan (*depth of cut*) adalah sebesar 0,01 mm, 0,02 mm dan 0,03 mm.
- c. *Cutting fluid* yang digunakan yaitu *VPO (Virgin Palm Oil)*, *VCO (Virgin Coconut Oil)* dan *Sintetic*.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari laporan penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori dasar proses manufaktur pemesinan CNC bubut, baut ulir, material titanium, anova, metode taguchi, grey relation analysis dan analisis SEM.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, desain penelitian, diagram alir penelitian, pelaksanaan penelitian, kesalahan baut ulir, optimasi taguchi dan grey relation analysis, analisis SEM, Struktur mikro dan jadwal penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang data dari hasil analisis kerusakan ulir seperti kesalahan diameter ulir, kesalahan jarak puncak ulir dan kesalahan sudut α dan β pada baut ulir kortikal kemudian dilakukan optimasi dengan metode taguchi dan grey relation analysis.

BAB V. PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan tentang sumber-sumber yang menjadi referensi penulis dalam melakukan penelitian dan menyelesaikan laporan penelitiannya.

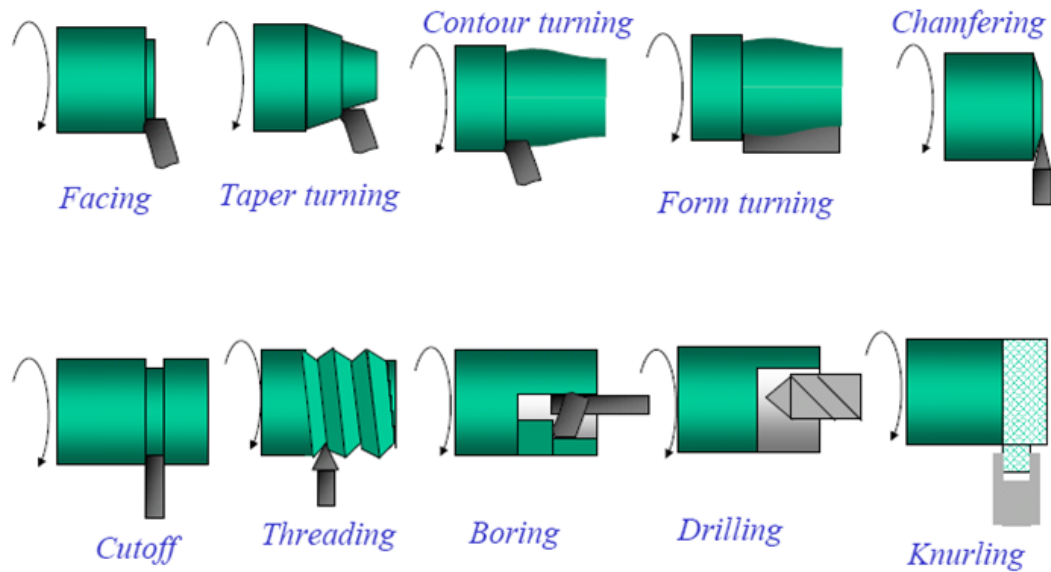
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Bubut Konvensional (Turning)

Mesin bubut (lathe machining) adalah mesin perkakas untuk tujuan proses pemotongan logam (metal cutting process). Kekhususan operasi mesin bubut digunakan untuk memproses benda kerja dengan hasil atau bentuk penampang lingkaran (benda kerja silinder). Prinsip Kerja Mesin Bubut Pemesinan bubut merupakan salah satu dari berbagai macam proses permesinan dimana proses permesinan sendiri adalah proses pemotongan logam yang bertujuan untuk mengubah bentuk suatu benda kerja dengan pahat potong yang dipasang pada mesin perkakas. Jadi proses bubut dapat didefinisikan sebagai proses permesinan yang biasanya dilakukan pada mesin bubut dimana pahat bermata potong tunggal pada mesin bubut bergerak memakan benda kerja yang berputar, dalam hal ini pahat potong tunggal adalah gerak potong dan gerak translasi pahat adalah gerak makan (Rochim, 1993).

Secara umum terdapat beberapa gerakan utama pada sebuah mesin bubut. Yang pertama adalah gerakan pemakanan dengan pahat sejajar terhadap sumbu benda kerja pada jarak tertentu sehingga akan membuang permukaan luar benda kerja atau biasa disebut dengan proses bubut rata. kemudian terdapat pemakanan yang identik dengan proses bubut rata, tetapi arah gerakan pemakanan tegak lurus terhadap sumbu benda kerja atau gerak pemakanannya menuju ke sumbu benda kerja, gerak pemakanan ini biasa disebut proses bubut permukaan (surface turning). Dan yang terakhir adalah proses bubut tirus (taper turning), proses bubut ini sebenarnya identik dengan proses bubut rata hanya jalannya pahat membentuk sudut tertentu terhadap sumbu benda kerja (widarto, 2008).



Gambar 1. Proses Pembubutan

2.2 Mesin Bubut CNC

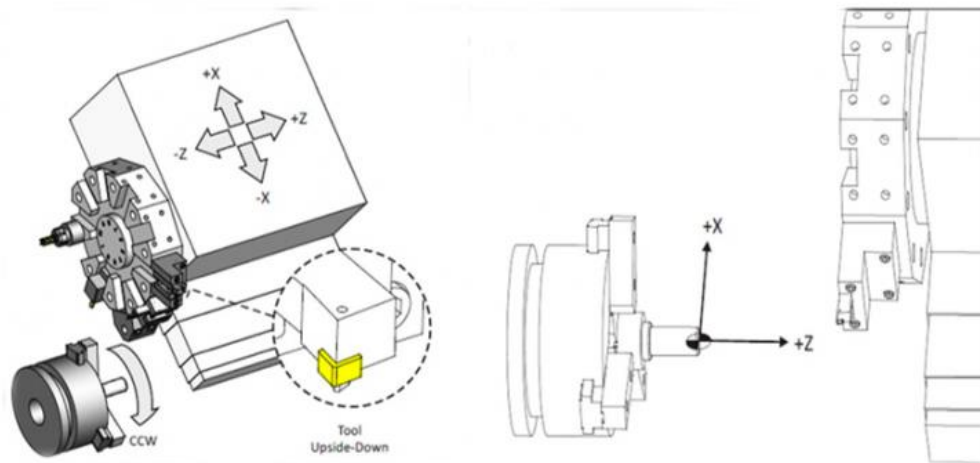
Mesin bubut CNC (Computer Numerically Controlled) merupakan salah satu bentuk pemanfaatan kemajuan teknologi komputer dimana pada mesin bubut CNC terdapat perpaduan teknologi komputer dengan teknologi mekanik. Dengan menggabungkan teknologi tersebut mesin bubut CNC dapat melakukan proses bubut dengan lebih teliti, lebih presisi, dan lebih fleksibel. Dengan keunggulan tersebut industri besar pada saat ini banyak menggunakan mesin bubut CNC karena mesin bubut CNC sangat cocok digunakan untuk produksi massal. Selain itu kualitas dan kuantitas yang dibutuhkan konsumen dapat terpenuhi oleh para produsen (Lilih, 2003).

Oleh karena itu mesin CNC sendiri dapat diartikan sebagai suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik dimana dengan susunan kode-kode yang sudah distandarisasikan dalam kode permesinan CNC mesin dapat bekerja sesuai dengan perintah kode tersebut (widarto, 2008).

Berdasarkan kondisi kerja di lapangan mesin bubut CNC secara garis besar di bagi menjadi dua golongan, yaitu mesin bubut CNC training unit dan mesin bubut CNC production. Prinsip kerja kedua mesin bubut CNC tersebut pada dasarnya adalah sama. Mesin bubut CNC training unit digunakan untuk pelatihan dasar pengoperasian dan pemrograman CNC yang dilengkapi dengan EPS (External Programming System) dan juga dapat digunakan untuk pekerjaan ringan.

Sedangkan mesin bubut CNC production digunakan untuk produksi massal, perbedaannya pada adalah mesin ini dilengkapi dengan modifikasi bermacam aksesoris sesuai dengan keperluan produksinya, misalnya mesin dilengkapi dengan sistem pembuka pintu otomatis, chuck dengan sistem otomatis atau hidrolik, pembuangan tatal dan lainnya (Lilih, 2003).

Secara umum prinsip kerja mesin bubut CNC sama dengan mesin bubut konvensional. Gerakan dasarnya ke arah melintang dan horizontal dengan sistem koordinat sumbu X dan Z, dan pada pemakannya benda kerja diletakkan dicekam yang berputar dan dimakan oleh pahat yang diam. Arah gerakan pada mesin bubut CNC diberikan lambang sumbu X untuk arah gerakan melintang tegak lurus terhadap sumbu putar dan sumbu Z untuk arah gerakan memanjang yang sejajar sumbu putar (widarto, 2008).



Gambar 2. Gerakan Sumbu Utama Koordinat X dan Z

2.3 Bagian Utama Mesin Bubut

Adapun bagian – bagian utama mesin CNC yaitu sebagai berikut :

a. Motor Utama

Motor utama adalah motor penggerak utama dari mesin bubut yang akan menggerakkan spindle cekam (chuck) untuk memutar benda kerja. Motor ini merupakan motor jenis arus searah (DC) dengan kecepatan putar variabel.

b. Eretan

Eretan adalah penggerak sumbu pada jalannya mesin. Untuk mesin CNC dibedakan menjadi dua bagian sumbu yaitu:

- 1) Eretan memanjang (sumbu Z)
- 2) Eretan melintang (sumbu X)

c. Step Motor

Step motor berfungsi untuk menggerakkan eretan pada mesin bubut, yaitu memiliki gerak sumbu X dan gerakan sumbu Z. Dimana gerak sumbu X bertujuan untuk melakukan pemotongan benda kerja sedangkan pada arah sumbu Z bertujuan untuk menyayat benda kerja.

d. Rumah Alat Potong

Rumah alat potong berfungsi sebagai penjepit alat potong pada saat proses pengerjaan benda kerja. Adapun alat yang dipergunakan disebut revolver atau toolturret, revolver digerakan oleh step motor sehingga bias bergerak secara terprogram.

e. Cekam (Chuck)

Cekam pada mesin bubut berfungsi untuk menjepit benda kerja pada saat proses pemotongan berlangsung.

f. Meja Mesin

Meja mesin atau sliding bed sangat mempengaruhi kualitas hasil pekerjaan menggunakan mesin bubut ini, hal ini dikarenakan gerakan memanjang eretan (gerakan sumbu Z) tertumpu pada kondisi sliding bed ini. Jika kondisi sliding bed sudah aus atau cacat bisa dipastikan hasil pembubutan menggunakan mesin ini tidak akan maksimal, bahkan benda kerja juga rusak.

g. Bagian Pengendali/kontrol

Bagian pengendali/kontrol merupakan box control mesin CNC yang berisikan tombol-tombol dan saklar yang dilengkapi dengan monitor. Pada box control merupakan unsur layanan yang berhubungan langsung dengan operator.

2.4 Parameter Proses Pemesinan

Pada proses pembubutan, parameter pemesinan sangat mempengaruhi terbentuknya suatu produk yang berkualitas. Untuk itu diperlukan pemilihan parameter pemesinan yang tepat. Salah satu kualitas yang ingin didapat pada proses pemesinan adalah tingkat kerusakan permukaan pada produk yang dihasilkan.

Dalam proses pemesinan ada beberapa hal yang menjadi parameter utama, parameter - parameter ini memiliki pengaruh cukup signifikan terhadap kerusakan permukaan benda kerja. Parameter tersebut adalah sebagai berikut :

a. Kecepatan Potong

Kecepatan potong (cutting speed) merupakan kemampuan alat potong dalam melakukan proses pemotongan benda kerja dengan aman dalam satuan panjang/waktu (m/min atau ft/min). Pada gerak putar seperti mesin bubut, kecepatan potongnya adalah keliling benda kerja dikalikan dengan putaran spindle (n), yang dituliskan dengan formula sebagai berikut (Windarto, 2008) :

$$Vc = \frac{\pi D n}{1000} \text{ m/menit} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: Vc : kecepatan potong (m/min)

D : diameter benda kerja (mm)

n : putaran mesin/benda kerja (putaran/menit - Rpm)

Sejalan dengan perkembangan dunia industri, telah banyak penelitian yang dilakukan oleh para ahli dalam penentuan kecepatan potong yang disesuaikan dengan jenis pahat potong dan benda kerja yang digunakan dan sudah dipatenkan kedalam tabel kecepatan potong. Kecepatan potong maksimal yang diijinkan tergantung pada (Dudung, 2010):

- 1) Bahan benda kerja : Makin tinggi tahanan dari benda kerja, makin rendah kecepatan potong.
- 2) Material alat potong : Pahat karbida memungkinkan kecepatan potong yang lebih tinggi dari pahat HSS.

- 3) Besar pemakanan : Makin besar pemakanan, makin kecil kecepatan potong.
- 4) Dalamnya pemotongan : makin besar dalamnya pemotongan, makin kecil kecepatan potong.

b. Kecepatan putaran mesin bubut

Kecepatan putaran mesin bubut adalah kemampuan putar mesin bubut untuk melakukan pemotongan atau penyayatan dalam satuan putaran/menit. Maka dari itu untuk mencari besarnya putaran mesin sangat dipengaruhi oleh seberapa besar kecepatan potong dan keliling benda kerjanya. Mengingat nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah ditetapkan secara baku, maka komponen yang bisa diatur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin/benda kerjanya. Dengan demikian rumus dasar untuk menghitung putaran mesin bubut adalah (Naibaho, 1988):

$$n = \frac{V_c 1000}{\pi D} \text{ put/menit} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan : V_c = Kecepatan Potong (m/menit)

D = Diamater benda kerja (mm)

n = Jumlah putaran tiap menit (rpm)

c. Kecepatan pemakanan

Kecepatan pemakanan ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor, diantaranya: kekerasan bahan, kedalaman penyayatan, sudut-sudut sayat alat potong, bahan alat potong, ketajaman alat potong dan kesiapan mesin yang akan digunakan. Kesiapan mesin ini dapat diartikan, seberapa besar kemampuan mesin dalam mendukung tercapainya kecepatan pemakanan yang optimal.

Besarnya kecepatan pemakanan (F) pada mesin bubut ditentukan oleh seberapa besar pergeseran pahat bubut (f) dalam satuan mm/putaran dikalikan dengan putaran mesinnya (n) yang digunakan. Maka rumus untuk

mencari kecepatan pemakanan (F) adalah:

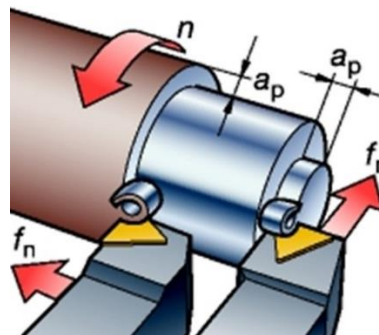
$$F = f \times n \text{ (mm/menit)} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan: f = besar pemakanan atau bergesernya pahat (mm/putaran)

n = putaran mesin (putaran/menit)

d. Gerak pemakanan (*feed rate*)

Gerak pemakanan adalah jarak yang ditempuh pahat setiap benda kerja berputar satu kali. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan benda kerja yang diinginkan. Gerak makan dapat ditentukan dengan menghubungkannya dengan kedalaman potong, gerak makan berharga antara 1/3 sampai 1/20 kedalaman potong atau sesuai dengan kehalusan permukaan yang diinginkan. Gambar berikut menjelaskan hubungan antara gerak makan (*feed rate*) dengan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) (Windarto, 2008).



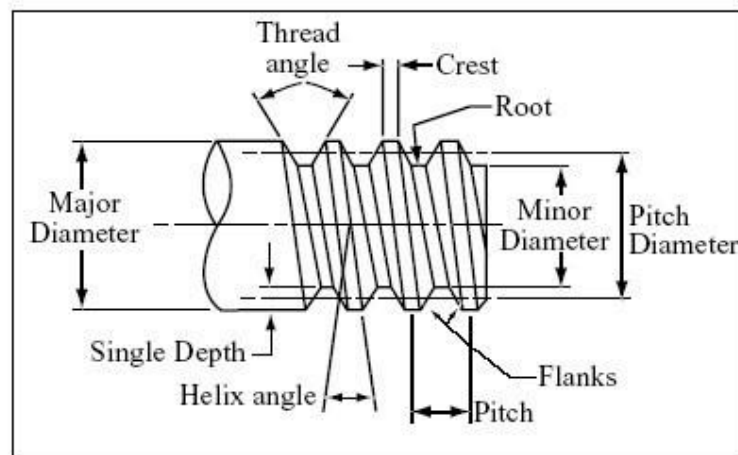
Gambar 3. Parameter Pemakanan

e. Kedalaman potong (*depth of cut*)

Kedalaman pemotongan adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong (George, 2002). Ketika pahat pahat memotong sedalam a (lihat Gambar 2.10) maka diameter benda kerja akan berkurang 2a, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi akibat dari benda kerja yang berputar.

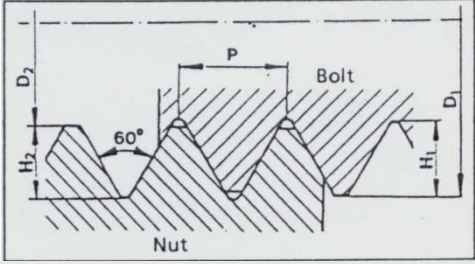
2.5 Proses pembuatan ulir

Proses pembuatan ulir bisa dilakukan pada mesin bubut. Pada mesin bubut konvensional (manual) proses pembuatan ulir kurang efisien, karena pengulangan pemotongan harus dikendalikan secara manual, sehingga proses pembubutan lama dan hasilnya kurang presisi. Dengan mesin bubut yang dikendalikan CNC proses pembubutan ulir menjadi sangat efisien dan efektif, karena sangat memungkinkan membuat ulir dengan kisar (pitch) yang sangat bervariasi dalam waktu relatif cepat dan hasilnya presisi.



Gambar 4. Nama- nama bagian ulir

Ulir segi tiga tersebut bisa berupa ulir tunggal atau ulir ganda. Pahat yang digunakan untuk membuat ulir segi tiga ini adalah pahat ulir yang sudut ujung pahatnya sama dengan sudut ulir atau setengah sudut ulir. Untuk ulir metris sudut ulir adalah 60° , sedangkan ulir Whitworth sudut ulir 55° . Identifikasi ulir biasanya ditentukan berdasarkan diameter mayor dan kisar ulir (Tabel 1.6). Misalnya ulir M5x0,8 berarti ulir metris dengan diameter mayor 5 mm dan kisar (pitch) 0,8 mm.

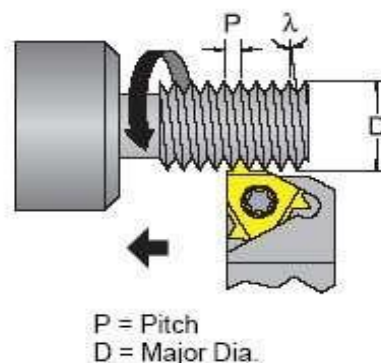


Thread designation	Pitch P	Bolt		Nut	
		Nominal diameter D_1	Thread height H_1	Core diameter D_2	Thread height H_2
M3	0,5	3,00	0,337	2,459	0,285
M3,5	0,6	3,50	0,416	2,850	0,355
M4	0,7	4,00	0,490	3,242	0,414
M4,5	0,75	4,50	0,529	3,688	0,448
M5	0,8	5,00	0,551	4,134	0,479
M6	1,0	6,00	0,717	4,917	0,609
M8	1,25	8,00	0,907	6,647	0,771
M10	1,5	10,00	1,100	8,376	0,934
M12	1,75	12,00	1,285	10,106	1,098
M14	2,0			11,835	1,257
M16	2,0			13,835	1,257

* M.. stands for metric standard threads

Gambar 5. Dimensi ulir metris

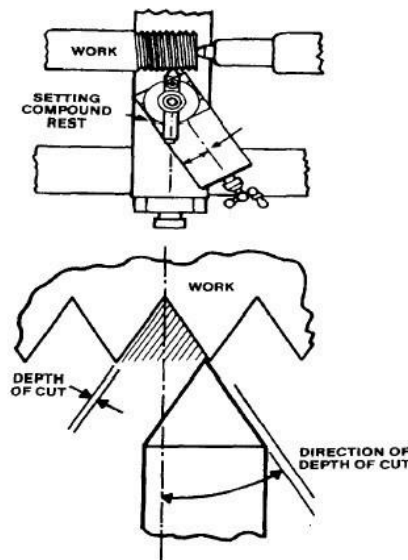
Pada proses pembuatan ulir dengan menggunakan mesin bubut manual pertama-tama yang harus diperhatikan adalah sudut pahat. Bentuk pahat ulir metris dan alat untuk mengecek besarnya sudut tersebut (60°). Pahat ulir pada gambar tersebut adalah pahat ulir luar dan pahat ulir dalam. Selain pahat terbuat dari HSS pahat ulir yang berupa sisipan ada yang terbuat dari bahan karbida.



Gambar 6. Proses pembuatan ulir luar dengan pahat sisipan

Supaya dihasilkan ulir yang halus permukaannya perlu dihindari kedalaman potong yang relatif besar. Walaupun kedalaman ulir kecil (misalnya untuk ulir M10x1,5, dalamnya ulir 0,934 mm) proses penyayatan tidak

dilakukan sekali potong, biasanya dilakukan penyayatan antara 5 sampai 10 kali penyayatan ditambah sekitar 3 kali penyayatan kosong (penyayatan pada diameter terdalam). Hal tersebut karena pahat ulir melakukan penyayatan berbentuk V. Agar diperoleh hasil yang presisi dengan proses yang tidak membahayakan operator mesin, maka sebaiknya pahat hanya menyayat pada satu sisi saja (sisi potong pahat sebelah kiri untuk ulir kanan, atau sisi potong pahat sebelah kanan untuk ulir kiri) . Proses tersebut dilakukan dengan cara memiringkan eretan atas dengan sudut 29° untuk ulir metris. Sedang untuk ulir Acme dan ulir cacing dengan sudut 29° , eretan atas dimiringkan $14,5^\circ$. Proses penambahan kedalaman potong (dept of cut) dilakukan oleh eretan atas (Kencanawati, 2017).



Gambar 7. Eretan atas diatur menyudut terhadap sumbu tegak lurus benda kerja dan arah pemakanan pahat bubut

2.6 Jenis Ulir dan Fungsinya

Secara umum jenis ulir dapat dilihat dari gerakan ulir, jumlah ulir dalam tiap gang (pitch) dan bentuk permukaan ulir.

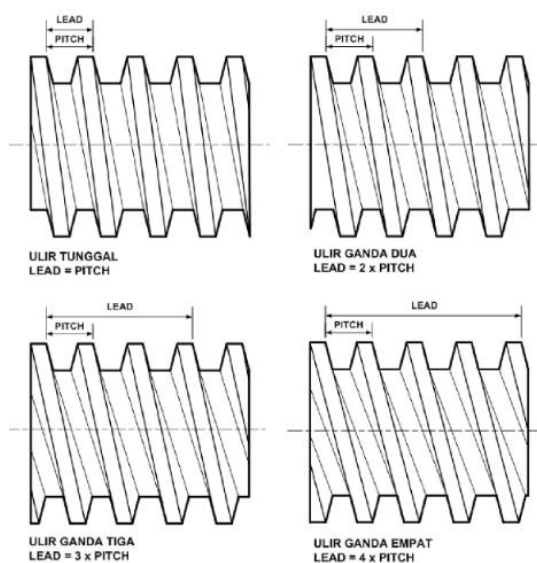
a. Jenis Ulir Menurut Arah Gerakan Jalus Ulir

Menurut arah gerakan ulir dapat dibedakan dua macam ulir yaitu ulir kiri dan ulir kanan. Untuk mengetahui apakah suatu ulir termasuk ulir kiri atau

ulir kanan dilihat arah kemiringan sudut sisi ulir. Atau bisa juga dicek dengan memutar pasangan dari komponen-komponen yang berulir misalnya mur dan baut. Apabila sebuah mur dipasangkan pada baut yang kemudian diputar ke kanan (searah jarum jam) ternyata murnya bergerak maju maka ulir tersebut termasuk ulir kanan. Sebaliknya, bila mur diputar arahnya ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam) ternyata murnya bergerak maju maka ulir tersebut termasuk ulir kiri. Jadi, pada ulir kanan, kalau akan melepaskan mur dari bautnya maka mur harus diputar ke kiri. Sedangkan pada ulir kiri, untuk melepaskan murnya adalah dengan memutar mur ke kanan. Yang paling banyak digunakan adalah ulir kanan.

b. Jenis Ulir Menurut Jumlah Ulir Tiap Gang (Pitch)

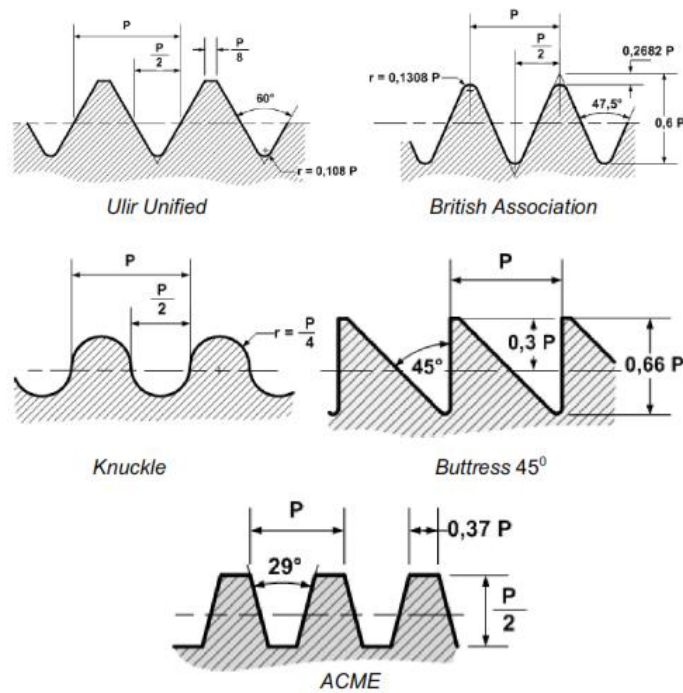
Dilihat dari banyaknya ulir tiap gang (pitch) maka ulir dapat di bedakan menjadi ulir tunggal dan ulir ganda. Ulir ganda artinya dalam satu putaran (dari puncak ulir yang satu ke puncak ulir yang lain) terdapat lebih dari satu ulir, misalnya dua ulir, tiga ulir dan empat ulir. Untuk ulir ganda ini biasanya disebutkan berdasarkan jumlah ulirnya, misalnya ganda dua, ganda tiga dan ganda empat. Gambar 5 menunjukkan bagan dari ulir tunggal dan ulir ganda. Melihat bentuknya, maka satu putaran pada ulir ganda dapat memindahkan jarak yang lebih panjang dari pada satu putaran ulir tunggal.



Gambar 8. Ulir tunggal dan ulir ganda

c. Jenis Ulir Menurut Bentuk Sisi Ulir

Melihat bentuk dari sisi ulir ini maka ulir dapat dibedakan menjadi ulir segi tiga, segi empat, trapesium, parabol (knuckle). Bentuk ulir ini juga ada kaitannya dengan standar yang digunakan. Berikut ini berupa contoh dari bentuk ulir (Munadi, 2010) .



Gambar 9. Jenis-jenis ulir menurut bentuk sisi ulir

2.7 Material untuk Aplikasi Ortopedi

Biomaterial telah didefinisikan sebagai bahan yang digunakan dalam perangkat medis dan dimaksudkan untuk berinteraksi dengan sistem biologis tubuh makhluk hidup (Ratner, et al., 1996). Dalam pengembangan implan medis, banyak pertimbangan, antara lain sifat mekanik (kekuatan, daya tahan, dan sebagainya), fungsi (interaksi antara implan dan tubuh), serta hubungan antara implan terhadap desain spesifik. Hal pertama dan yang terpenting adalah biomaterial tersebut harus cocok dengan tubuh manusia. Biomaterial ini harus tidak memperlihatkan respon yang merugikan dari tubuh, atau kebalikannya, harus tidak beracun dan non-carcinogenic.

Selain itu, biomaterial harus memiliki sifat fisik dan mekanik yang memadai untuk berfungsi sebagai pengganti atau pengganti dari jaringan

tubuh. Banyak jenis biomaterial yang digunakan, termasuk logam, alloy, keramik, polimer, komposit, dan glass. Aplikasinya banyak ditemukan dalam plate dan screw untuk fiksasi patah tulang, katup jantung, prostesis sendi, implan gigi, dan lainnya. Penggunaan pelat (plate), sekrup (screw), dan kabel (wire) pertama didokumentasikan dalam pada tahun 1880-an dan 1890-an.

Material yang ideal atau kombinasi material tersebut harus menunjukkan sifat-sifat seperti berikut :

- a. Komposisi kimia yang cocok untuk menghindari reaksi merugikan yang terjadi pada jaringan tubuh.
- b. Ketahanan yang baik terhadap degradasi (contoh : ketahanan korosi untuk logam atau ketahanan dari degradasi biologis pada polimer).
- c. Ketahanan yang baik untuk mempertahankan siklus daya tahan pembebanan dengan tulang sendi.
- d. Modulus yang rendah untuk meminimalisasi bone resorption.

Kebanyakan biomaterial sintetik yang digunakan untuk implantasi adalah material umum yang sudah lazim digunakan oleh para insiyur dan ahli material. Beberapa biomaterial sintetik beserta aplikasinya ditunjukkan dalam tabel di bawah.

Tabel 1. Material yang digunakan untuk aplikasi ortopedi (Cahyanto, 2009).

No.	Biomaterial Sintetik	Aplikasi
1.	Logam dan paduannya ∙ SS 316 L ∙ CP-Ti, Ti-Al-V, Ti-AlNb, Ti-13Nb-13Zr, TiMo-Zr-Fe ∙ Co-Cr-Mo, Cr-Ni-CrMo ∙ Ni-Ti	Fiksasi retak (<i>fracture fixation</i>), <i>stents</i> , instrumen bedah Pengganti tulang dan sendi, fiksasi retak, implantasi dental, <i>pacemaker encapsulation</i> . Pengganti tulang dan sendi, implantasi dental, perbaikan protesa dental, pompa jantung. Pelat tulang, <i>stents</i> , kawat orthodonti.

2.	Polimer <ul style="list-style-type: none"> ∨ Polietilen ∨ Polipropilen, Poliamida ∨ PET ∨ PVC ∨ PMMA 	Pengganti tulang sendi Benang jahit Benang jahit, pembuluh darah buatan <i>Tubing</i> Pengganti tulang sendi (<i>bone cements</i>)
3.	Keramik dan <i>Glass</i> <ul style="list-style-type: none"> ∨ Alumina, Zirconia ∨ <i>Calcium phosphates</i> ∨ <i>Bioactive glasses</i> 	Pengganti tulang sendi Perbaikan dan penambah tulang, pelapisan permukaan pada logam Pengganti tulang
4.	Komposit <ul style="list-style-type: none"> ∨ <i>BIS-GMA-quartz/silica filler</i> ∨ <i>PMMA-glass fillers</i> 	Restorasi <i>dental composite</i> <i>Dental cements</i>

Logam memiliki cakupan yang luas dalam aplikasinya. Modulus elastis dan titik luluh digabungkan dengan keuletan metal membuat material jenis ini cocok untuk menopang beban tanpa mengakibatkan deformasi.

Tabel 2. Perbandingan beberapa material implan protesis (Cahyanto, 2009).

No.	Implan	Keuntungan	Kerugian
1.	<i>Modular</i> Ti ₆ Al ₄ V / CoCrMo (<i>porous</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Lebih mudah untuk mencocokkan dengan pasien. ∨ Memiliki modulus yang rendah. ∨ Penggunaan lapisan dapat dihindarkan. 	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Korosi celah pada bagian sambungan. ∨ Co, Cr, Mo merupakan unsur beracun dirancang berdasar kebutuhan operasi. ∨ Butuh waktu 2 minggu tanpa pembebanan agar terjadi pertumbuhan tulang.
2.	CoCrMo (<i>smooth</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Ketahanan penggunaan tinggi. ∨ Toleransi pembedahan yang tinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Bisa menyebabkan reaksi jaringan. ∨ Co, Cr, Mo merupakan unsur beracun memiliki modulus yang tinggi.
3.	CoCrMo (<i>porous</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Ketahanan penggunaan yang tinggi. ∨ Tidak diperlukan lapisan untuk membuatnya menyatu dengan femur. 	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Co, Cr, Mo merupakan unsur beracun. ∨ Modulus yang tinggi. ∨ Butuh waktu 2 minggu tanpa pembebanan agar terjadi pertumbuhan tulang.

4.	Ti ₆ Al ₄ V (<i>smooth</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Toleransi pembedahan yang lebih besar. ∨ <i>Toxicity</i> sangat rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Ketahanan penggunaan yang rendah ∨ kemungkinan adanya reaksi jaringan.
5.	Ti ₆ Al ₄ V (<i>porous</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Tidak diperlukan lapisan untuk membuatnya menyatu dengan femur ∨ Modulus yang rendah ∨ <i>Toxicity</i> sangat rendah 	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Ketahanan penggunaan yang rendah ∨ Butuh waktu 2 minggu tanpa pembebanan agar terjadi pertumbuhan tulang
6.	SS 316 L (<i>smooth</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Harga murah dan mudah untuk diproduksi ∨ Toleransi pembedahan besar ∨ Banyak penelitian mendalam tentang spesimen ini 	<ul style="list-style-type: none"> ∨ Mudah mengalami retak lelah ∨ Modulus sangat tinggi ∨ Memungkinkan adanya reaksi jaringan

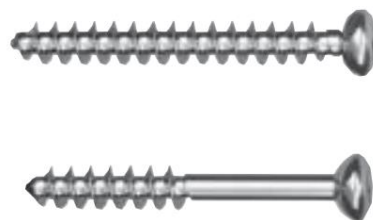
Beberapa resiko yang terjadi ketika menggunakan implan logam di dalam tubuh antara lain terkait aspek korosi, kegagalan implan akibat kelelahan, kemuluran (*creep*) logam, tegangan logam, dan lainnya. Beberapa jenis korosi akan dialami implan logam ketika dipasang ke dalam tubuh manusia antara lain korosi galvanik (arus elektrokimia ketika dua logam berbeda mengalami kontak), korosi celah (adanya variasi tarikan), dan korosi tegangan (gradien tegangan tinggi). Kegagalan implan logam akibat kelelahan terjadi karena pembebanan berulang di bawah kekuatan ultimatnya. Batas ketahanan adalah besarnya tegangan yang diberikan terhadap material di mana material tersebut tidak akan gagal bahkan setelah beberapa juta siklus pembebanan. Sebagai contoh, batas ketahanan untuk SS316L yang mengalami cold-forged adalah sebesar 900 Mpa dan untuk Ti-6Al-4V adalah 520 Mpa.

2.8 Baut Tulang

Perancangan baut tulang yang akan digunakan mengacu pada *catalog Depuy Synthes Instruments and implants* dengan spesifikasi, ukuran dan jenis materialnya. Berikut beberapa jenis baut tulang yang terdapat pada *catalog Depuy Synthes Instruments and implants* yaitu sebagai berikut :

a) *4.0 mm Cancellous Bone Screw*

Pada baut tulang jenis ini mempunyai soket berbentuk hexagonal dengan lebar sekitar 2.5 mm bidang datar. Baut ini mempunyai diameter thread 4 mm dengan pitch 1.75 mm diameter lubang 1.9 mm diameter kepala baut 6 mm dan diameter poros sekitar 2.3 mm dengan lubang thread 2.5 mm. Baut tulang jenis 4.0 mm Cancellous Bone Screw memiliki panjang 10-100 mm dengan pengkodean 206.10 berarti memiliki panjang total 10 mm sedangkan untuk thread memiliki kode 207.10 dengan panjang thread 5 mm.



Gambar 10. LCP Reconstruction Pelates 3.5

b) *6.5 mm Cancellous Bone Screw*

Pada baut tulang jenis ini memiliki 4 mm diameter lubang thread dengan diameter thread 2.4 mm, thread pitch 2.75 mm, diameter kepala baut 8 mm, lubang thread 3.2 mm. Baut jenis ini mempunyai kode yaitu 218.009 dengan panjang total 60 mm, baut jenis ini mempunyai panjang dari 60 mm sampai dengan 130 mm.



Gambar 11. 6.5 mm Cancellous Bone Screw

c) *5.0 mm Cannulated Conical Screws*

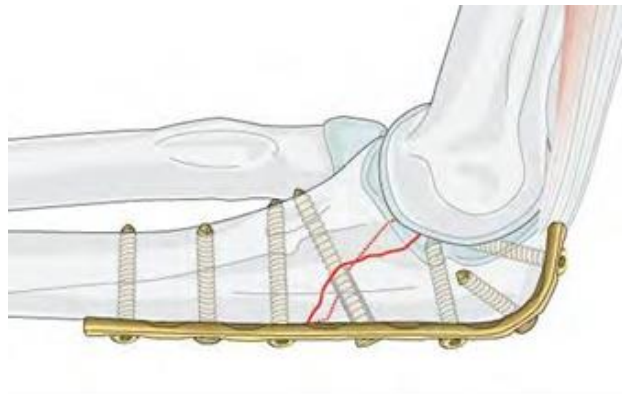
Baut tulang jenis ini mempunyai kepala baut berbentuk kerucut halus dengan 4.0 mm soket berbentuk hexagonal. Baut ini memiliki diameter thread 5.0 mm, Thread Pitch 1.0 mm, diameter lubang 4.4 mm, diameter batang 4.4 mm, dan lubang thread 4.3 mm. Baut jenis ini memiliki kode 02.205.240 dengan panjang total 40 mm sedangkan panjang thread 25 mm. Baut jenis ini memiliki panjang total 10-95 mm dengan panjang thread 6-25 mm.



Gambar 12. 5.0 mm *Cannulated Conical Screws*

d) Pemasangan baut tulang

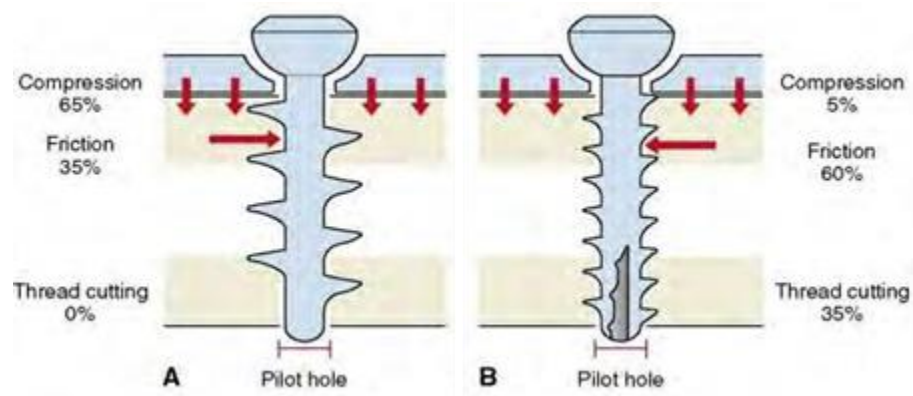
Screw dapat dikelompokkan ke dalam tiga jenis, yaitu plate screw, lag screw, dan positional screw (Gambar 13). Plate screw dirancang untuk mempererat plat ke tulang, biasanya diletakkan diujung lubang pelat (no. 1 dan 7). Lag screw dirancang untuk menghasilkan kompresi interfragmentari. Screw ini ditempatkan sedemikian rupa sehingga thread mengikat daerah tulang retak (no. 4). Sementara positional screw digunakan untuk mempertahankan posisi relatif fragmen tulang yang lebih kecil ketika rekonstruksi anatomi luas diterapkan. Screw ini tidak menghasilkan kompresi interfragmentari (no. 2, 3, 5, dan 6).



Gambar 13. Jenis screw berdasarkan fungsinya di dalam tulang (Glyde).

e) Berdasarkan cara pemasangannya

Berdasarkan hal tersebut screw dapat dikelompokkan ke dalam dua jenis, yaitu self-tapping dan nonself-tapping (Gambar 14). Self-tapping adalah jenis yang dapat membuat lubang masuknya sendiri di dalam tulang ketika dimasukkan dengan cara dipuntir. Sedangkan nonself-tapping adalah jenis yang membutuhkan lubang terlebih dahulu agar bisa dimasukkan ke dalam tulang.



Gambar 14. (a) Self-tapping screw, dan (b) non- self-tapping screw (Glyde).

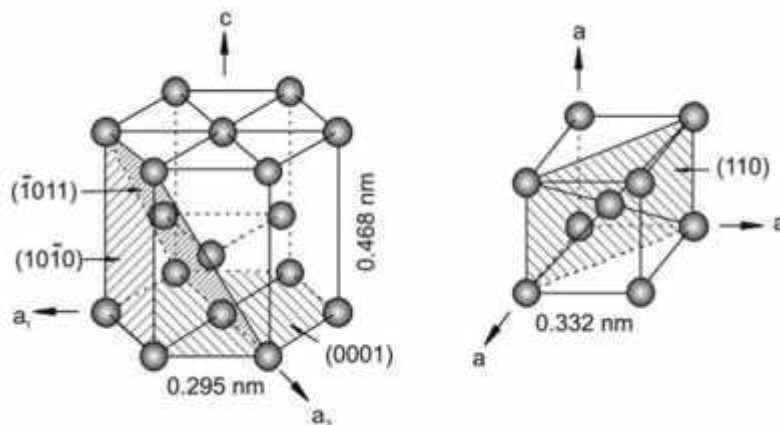
2.9 Material biokompatibilitas

Menurut pendapat Nashrullah (2016) Biomaterial telah didefinisikan sebagai bahan yang digunakan dalam perangkat medis dan dimaksudkan untuk berinteraksi dengan sistem biologis makhluk hidup. Dalam pengembangan implan medis, ada banyak pertimbangan, termasuk sifat mekanik, daya tahan, dll. Ketiga komponen ini adalah tiga bagian dari hubungan antara implan dan desain khusus. Hal pertama dan terpenting adalah bahannya harus sesuai dengan tubuh manusia. Biomaterial Ti-6Al-4V ELI tidak bereaksi atau bereaksi negatif dengan tubuh, atau sebaliknya, tidak beracun dan tidak karsinogenik. Biomaterial memiliki sifat fisik dan mekanik yang memadai untuk berfungsi sebagai pengganti jaringan atau pengganti dalam tubuh.

Menurut pendapat Gunawarman (2020) Bahan titanium, jenis paduan $\alpha+\beta$ Ti6Al-4V ELI, telah digunakan 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 implanasi. Titanium memiliki banyak keunggulan yang menjadikannya bahan implan yang baik. Bahan titanium yang ditanamkan di tubuh pasien menghasilkan respons inflamasi dan hipersensitivitas yang rendah saat bersentuhan dengan lingkungan biologis tubuh.

2.10 Material Ti-6Al-4V ELI

Pada umumnya Titanium merupakan elemen alotropi atau logam yang memiliki lebih dari satu bentuk kristal. Pada suhu rendah, titanium memiliki struktur kristal heksagonal (Hexagonal closed Packed/HCP) yang kemudian disebut fase alpha. Struktur ini akan berubah menjadi body centered cubic (BCC) pada saat dipanaskan melebihi temperatur 882°C (1620°F), struktur kemudian disebut fase beta. (Leyens & Peters, 2003).



Gambar 15. Struktur kristal titanium (a. Hexagonal Close Packed) dan (b. Body Centered Cubic) (Sumber : Leyens & Peters, 2003)

Titanium 6Al-4V ELI merupakan titanium yang berada pada fase alpha-beta yang berisi 6 wt% aluminium dan 4 wt% vanadium. Titanium jenis ini biasanya digunakan untuk pressure vassel, baling-baling turbin gas pesawat, dan implan biomedis. Titanium 6Al-4V memiliki kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik serta memiliki ketahanan terhadap korosi. Titanium 6Al-4V ELI memiliki beberapa kelebihan dimana massa yang lebih ringan jika dibandingkan dengan baja dengan tingkat kekerasan yang sama, memiliki kemampuan pasif dalam sistem biologi tubuh dan dengan demikian menunjukkan ketahanan terhadap mineral, asam, protein dan klorida.

Titanium murni nontoxic dan beberapa paduan titanium umumnya memiliki kompatibilitas dengan jaringan dan tulang manusia, sifat biokompatibel titanium memungkinkan untuk dapat di tanamkan dalam tubuh manusia tanpa menimbulkan reaksi negatif terhadap sistem biologi tubuh makhluk hidup. Meskipun demikian tetap terjadi korosi pada titanium yang ditanam pada tubuh manusia dengan tingkat yang sangat rendah hal ini

dapat dipelajari dari material implan yang telah di ambil dari tubuh manusia. (Enderle & Bronzino, 2000).

2.11 Cairan Pendingin (*coolant*)

Cairan pendingin pemesinan mempunyai kegunaan yang khusus dalam proses pemesinan. Selain untuk memperpanjang umur pahat cairan pendingin dalam beberapa kasus mampu menurunkan gaya potong dan memperhalus permukaan produk hasil pemesinan. Selain itu, cairan pendingin juga berfungsi sebagai pembersih/pembawa geram dan melumasi elemen pembimbing mesin perkakas serta melindungi benda kerja dan komponen mesin dari korosi (Rochim, 2007).

Cairan pendingin yang biasa dipakai dalam proses pemesinan dapat dikategorikan dalam empat jenis utama sebagai berikut :

- a. Minyak murni (*Straight oils*), merupakan minyak yang berasal salah satu atau kombinasi dari minyak bumi, minyak binatang, minyak ikan, atau minyak nabati.
- b. Cairan emulsi (*Soluble oils*), merupakan air yang mengandung partikel minyak (5 s.d 20 μm). Unsur pengemulsi ditambahkan dalam minyak yang kemudian dilarutkan dalam air.
- c. Cairan sintetik (*Synthetic fluids*), merupakan larutan murni yang tidak bersifat melumasi dan biasanya dipakai untuk sifat penyerapan panas yang tinggi dan melindungi terhadap korosi. Sementara itu bila adanya penambahan unsur lain sebagai zat aditif, daya lumas cairan ini akan naik.
- d. Cairan semi sintetis (*Semisynthetic fluids*), merupakan perpaduan antara cairan sintetik dan cairan emulsi yang memiliki karakteristik sebagai berikut, 1. kandungan minyaknya 10% s.d 45% lebih sedikit dari jenis cairan emulsi. 2. Cairan pengemulsinya lebih banyak daripada jenis cairan sintetik.

2.10 Uji SEM-EDX

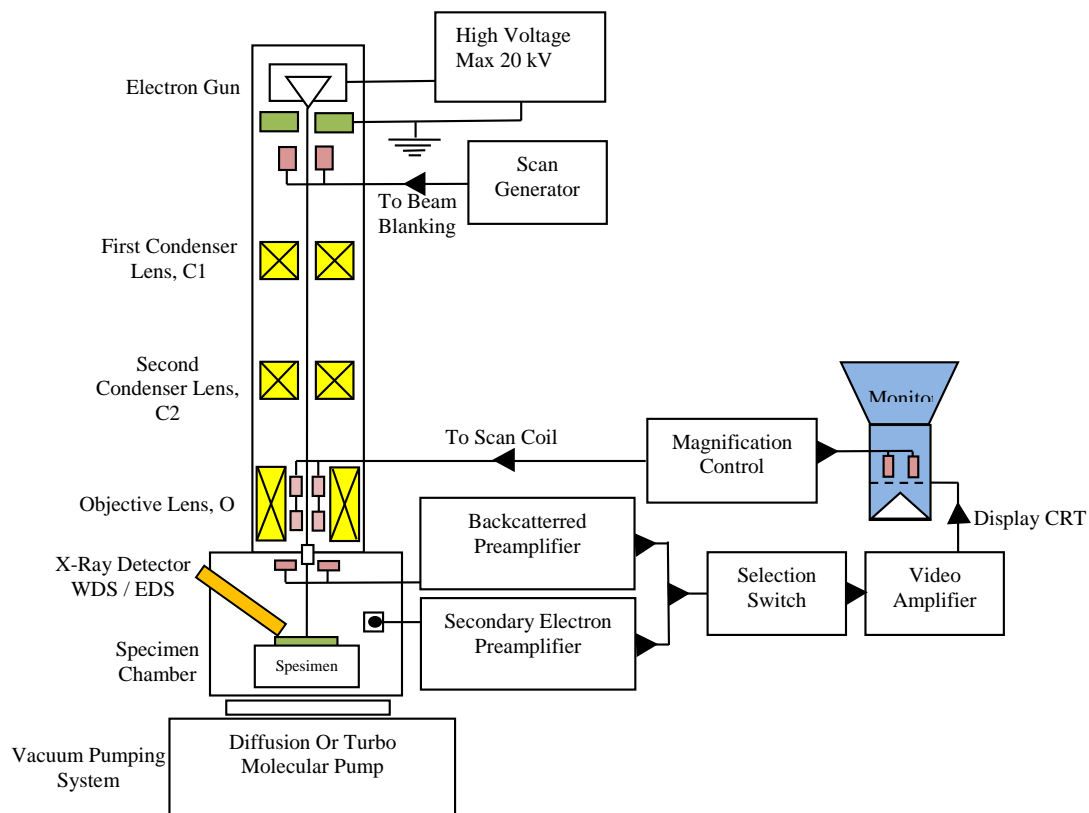
Scanning Electron Microscope atau SEM adalah suatu alat pengujian untuk mengetahui karakteristik komposisi struktur unsur melalui gambar yang dihasilkan, dengan alat detektor *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dengan standar SEM JSM-6510 LA. Prinsip kerja dari alat uji SEM-EDX yaitu menggunakan berkas elektron

yang dipantulkan dengan energi yang tinggi untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang sedang dianalisis berupa susunan kristal. Pengujian dilakukan dengan cara sampel diletakan pada SEM *specimen holder* dengan ditempelkan menggunakan *carbon double tipe* dengan bagian penampang lintang (*cross section*) mengarah vertikal keatas atau pada lensa obyektif (Sujatno, 2015).

Untuk mengenali jenis atom dipermukaan yang mengandung multi atom menggunakan teknik EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). Sebagian besar SEM dilengkapi dengan kemampuan EDS namun tidak semua SEM terdapat EDS. EDS dihasilkan dari sinar X karakteristik sehingga EDS biasa disebut juga dengan EDX (*Energy Dispersive X-ray*). Dengan melakukan pengujian EDS maka sinar x karakteristik akan menembakan pada posisi yang inginkan, kemudian akan muncul puncak-lembah tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung.

EDS bisa digunakan untuk membuat *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna yang berbeda dari masing-masing elemen, dapat juga menganalisis secara kuantitatif dari presentase masing-masing elemen. Sehingga hasil dari pengujian EDX hampir sama dengan pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). Pengujian SEM-EDX dapat digunakan untuk mengetahui topografi material seperti kekerasan, reflektivitas dll, morfologi untuk menganalisis bentuk, ukuran dan komposisi material dengan menganalisis komposisi dari permukaan material. Hasil dari pengujian SEM akan didapatkan berupa gambar dengan pembesaran yang tinggi mencapai 500x pembesaran, untuk pengujian EDS/EDX akan didapatkan gambar pemetaan berupa puncak-lembah suatu unsur yang terkandung pada suatu material.

Komponen utama dari alat SEM yaitu berupa tiga pasang lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil kemudian di *scan* menggunakan dua pasang *scan coil* dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Sumber elektron yang menyediakan berkas elektron yang memiliki energi tunggal (monokromatik) dan komponen yang ketiga adalah *imaging detector* yang berfungsi untuk mengubah sinyal elektron menjadi gambar. Alur pengujian SEM–EDX seperti pada gambar 16 diagram blok.



Gambar 16. Diagram Blok SEM (Sujatno, 2015)

2.11 Uji Struktur Mikro

Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik makrostruktur dan mikrostruktur material dengan mengukur secara kualitatif maupun kuantitatif tanpa adanya pembebanan tertentu. Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui dan mengamati ukuran struktur dan bentuk kristal dari sebuah material, kerusakan yang terjadi yang disebabkan oleh proses deformasi, perbedaan kandungan komposisi, dan perlakuan panas. Pengamatan *metallography* struktur makro menggunakan pembesaran 10-100 kali dan *metallography* struktur mikro dengan pembesaran di atas 100 kali (Sanjaya, 2016). Sebelum dilakukan optikal metalografi, spesimen terlebih dahulu dilakukan preparasi. Preparasi pada pengujian struktur mikro yaitu, pemotongan untuk memperkecil spesimen, pembersihan (*mounting*) agar mudah dilakukan pengamplasan dan pemolesan. Selanjutnya yaitu proses gerinda, pengamplasan dan pemolesan. Proses yang terakhir yaitu pengetsaan (*etching treatment*) proses ini merupakan reaksi dan melarutkan kotoran material. Kemudian pembersihan spesimen menggunakan

larutan kimia untuk menghilangkan kotoran halus.

2.12 Optimasi

Optimasi dilakukan untuk mengetahui nilai terbaik dari berbagai parameter pengujian yang di lakukan. Dalam proses optimasi di lakukan beberapa metode yaitu sebagai berikut :

a. Metode Taguchi

Metode taguchi dikembangkan oleh Dr.Genichi Taguchi, pada metode ini berisi tiga tahap yaitu desain system, desain parameter serta desain toleransi. Metode Taguchi ialah suatu Metode Statistic yang digunakan untuk meningkatkan kualitas suatu produk. Pada proses pemesinan bubut threading Metode ini digunakan untuk menentukan kondisi potong optimal. Taguchi mengembangkan sebuah desain khusus dari orthogonal array untuk dapat mempelajari seluruh parameter pengujian dengan hanya menggunakan sejumlah kecil percobaan.

Hasil dari percobaan tersebut kemudian ditransformasikan kedalam rasio signal-to-noise rasio (S/N). kemudian menggunakan rasio ini sebagai pengukur penyimpangan sifat kualitas dari pendekatan kenilai yang diharapkan. Taguchi memanfaatkan susunan Orthogonal Array yang dapat memungkinkan penilaian yang sama dari masing- masing faktor melalui Desain Of Experiment (DOE). Dengan menggunakan metode ini maka akan mengurangi jumlah percobaan yang diperlukan sambil tetap mendapatkan hasil yang valid dan statistic yang baik. DOE dengan Metode Taguchi memiliki beberapa langkah yaitu (Gusri, 2019) :

1. Pemilihan variabel / faktor independen
2. Pemilihan jumlah level disetiap variabel independen.
3. Pemilihan orthogonal array
4. Pemilihan performance parameter Terdapat tiga kategori dari sifat kualitas dalam analisa dari rasio S/N, yaitu dimana yang lebih rendah yang lebih baik, yang lebih tinggi yang lebih baik.

Taguchi menyatakan suatu prosedur standar untuk mengoptimalkan parameter-parameter proses. Analisis varian merupakan teknik perhitungan

yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis varian yang digunakan pada desain parameter berguna untuk mengindifikasikan kontribusi faktor, sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Metode Taguchi mengembangkan konsep S/N (rasio signal-to-noise) untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Rasio S/N diformulasikan sedemikian sehingga akan selalu dapat dipilih nilai level faktor terbesar dan mengoptimalkan karakteristik kualitas dari suatu eksperimen. Tahapan dari pengolahan data direncanakan dengan terlebih dahulu melakukan Taguchi analysis untuk mencari kombinasi optimal dari semua faktor untuk setiap respon, dengan mencari Signal Noise Ratio (SNR). SNR untuk ketiga respon tersebut sama yaitu Smaller-the-Better (STB) (Dwi dkk, 2020). Rumus yang dipakai adalah :

1). Menghitung SN Ratio sesuai dengan metode Taguchi :

Setelah mendapatkan data dari perhitungan menggunakan Metode Taguchi, selanjutnya menganalisa data. Adapun rencana analisa yang dilakukan yaitu menghitung harga S/N rasio sesuai dengan karakteristik respon. Karena pada eksperimen ini karakteristik memiliki kriteria smaller the better maka dihitung dengan rumus :

$$SNR_{STB} = -10 \log [Xi(j)^2] \dots \dots \dots (4)$$

Dimana ; $Xi(j)$ = nilai eksperimen ke -i pada respon ke- j

2). Melakukan Normalisasi SN Ratio.

Menurut Liu dan Forrest (2010), Grey Relational Analysis (GRA) pertama kali diperkenalkan oleh Deng Julong pada tahun 1984. Grey relational analysis merupakan bagian dari grey system theory dan bertujuan untuk menganalisis grey relational degree antar setiap faktor didalam grey system. Pendekatan GRA berkaitan dengan perhitungan semua pengaruh dari berbagai faktor beserta kaitannya atau disebut dengan whitening of factor relation.

Pendekatan GRA menggunakan informasi dari Grey system untuk membandingkan setiap faktor secara kuantitatif berdasarkan tingkat kesamaan dan

variasi antar faktor untuk mengidentifikasi hubungan diantaranya. Besar nilai normalisasi SNR antara 0 sampai 1. Setelah didapatkan harga S/N Ratio untuk masing-masing respon karakteristik dilanjutkan dengan proses optimasi menggunakan Metode Grey Relational Analysis. Langkah pertama yaitu menormalisasi data S/N Ratio (proses Grey Relational Generation) sehingga memiliki rentang harga yang sama antar responnya yaitu pada rentang 0-1. Proses ini dilakukan dengan menghitung harga respon menggunakan rumus:

$$Xi^*(k) = \frac{Xi(k) - \min Xi(k)}{\max Xi(k) - \min Xi(k)} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

$Xi^*(j)$ = nilai normalisasi SNR pada percobaan ke- i dan respon ke-j

$Xi(j)$ = nilai eksperimen ke -i pada respon ke-j

i = banyaknya percobaan

j = banyaknya respon

3). Menghitung nilai delta

Menghitung jarak $\Delta oi(j)$ yang merupakan nilai absolut dari selisih antara nilai maksimum hasil normalisasi $Xo^*(j)$ dengan data yang telah dinormalisasi $Xi^*(j)$ pada titik j. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\Delta oi(j) = | Xo^*(j) - Xi^*(j) | \dots\dots\dots (6)$$

Dimana : $Xo^*(j) = 1$ (nilai terbesar normalisasi S/N Ratio diinversikan sebesar 1).

4). Menghitung nilai gamma (Grey Relational Coefficient / GRC).

GRC menunjukkan hubungan antara kondisi terbaik dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai GRC adalah sebagai berikut :

$$\zeta i^*(k) = \frac{\Delta \min + \zeta \Delta \max}{\Delta oi(k) + \zeta \Delta \max} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

$\Delta \min$ = nilai minimum dari $\Delta oi(j)$

$\Delta maks =$ nilai maksimum dari $\Delta oi(j)$

$\zeta =$ koefisien pembeda, biasanya diambil nilai 0,5

5). Menghitung Grey Relational Grade

Setelah didapatkan harga Grey Relational Coefficient (GRC), kemudian dilanjutkan proses menghitung harga Grey Relational Grade (GRG), merupakan tahapan penggabungan harga GRC pada masing-masing respon menjadi harga respon tunggal yang disebut GRG.

$$\gamma_i = 1/2 n \sum \zeta_i(k) \dots\dots\dots (8)$$

Dimana : β_j menggambarkan nilai bobot ke-j dari karakteristik respon dan nilai bobot diperoleh dari nilai vektor eigen komponen utama terpilih yang dikuadratkan. Misalkan komponen utama yang terpilih adalah komponen utama 1.

b. Analysis of Varians (ANOVA)

Uji ANOVA adalah bentuk khusus dari analisis statistik yang banyak digunakan dalam penelitian eksperimen. metode analisis ini dikembangkan oleh R.A Fisher. Uji ANOVA juga adalah bentuk uji hipotesis statistik dimana kita mengambil kesimpulan berdasarkan data atau kelompok statistik inferentif. Hipotesis nol dari uji ANOVA adalah bahwa data adalah simple random dari populasi yang sama sehingga memiliki ekspektasi mean dan varians yang sama. Sebagai contoh penelitian perbedaan perlakuan terhadap sampel pasien yang sama. Hipotesis nol nya adalah semua perlakuan akan memiliki efek yang sama (Marpaung dkk, 2017).

Untuk melakukan perhitungan ANOVA pada Minitab, maka kita dapat mengikuti langkah-langkah berikut ini:

- Pilih Menu Stat
- Pilih ANOVA

Setelah itu akan tampil banyak pilihan yaitu:

- One-way, yaitu melakukan perhitungan ANOVA satu arah dengan respon terletak pada satu kolom dan faktor pada kolom lainnya

- One-way (Unstacked), yaitu melakukan perhitungan ANOVA satu arah dengan masing-masing grup terletak pada kolom yang berbeda.
- Two-way, melakukan Analisis dua arah pada balanced data
 - Anova 2 Arah

Pengujian anova dua arah mempunyai beberapa asumsi diantaranya:

1. Populasi yang diuji berdistribusi normal,
2. Varians atau ragam dan populasi yang diuji sama,
3. Sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain.

Pada pembahasan kali ini, dititikberatkan pada pengujian ANOVA 2 arah yaitu pengujian ANOVA yang didasarkan pada pengamatan 2 kriteria. Setiap kriteria dalam pengujian ANOVA mempunyai level. Tujuan dan pengujian ANOVA 2 arah ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dan berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Misal, seorang guru menguji apakah ada pengaruh antara jenis media belajar yang digunakan pada tingkat penguasaan siswa terhadap materi. Tujuan dari pengujian anova dua arah adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan.

Dengan menggunakan teknik anova 2 arah ini kita dapat membandingkan beberapa rata-rata yang berasal dari beberapa kategori atau kelompok untuk satu variable perlakuan. Bagaimanapun, keuntungan teknik analisis varian ini adalah memungkinkan untuk memperluas analisis pada situasi dimana hal-hal yang sedang diukur dipengaruhi oleh dua atau lebih variable. Anova 2 arah ini digunakan bila sumber keragaman yang terjadi tidak hanya karena satu faktor (perlakuan). Faktor lain yang mungkin menjadi sumber keragaman respon juga harus diperhatikan. Faktor lain ini bisa berupa perlakuan lain yang sudah terkondisikan. Pertimbangan memasukkan faktor kedua sebagai sumber keragaman ini perlu bila faktor itu dikelompokkan, sehingga keragaman antar kelompok sangat besar, tetapi kecil dalam kelompoknya sendiri.

- Anova Dua Arah tanpa Interaksi

Anova atau Anova adalah sinonim dari analisis varians terjemahan dari *analysis of variance*, sehingga banyak orang menyebutnya dengan anova. Anova merupakan bagian dari metoda analisis statistika yang tergolong analisis komparatif lebih dari dua rata-rata (Riduwan.2008. *Dasar-dasar Statistika*. Bandung: Alfabeta).

Menurut M. Iqbal Hasan (2003), pengujian klasifikasi dua arah tanpa interaksi merupakan pengujian hipotesis beda tiga rata-rata atau lebih dengan dua faktor yang berpengaruh dan interaksi antara kedua faktor tersebut ditiadakan. Tujuan dari pengujian anova dua arah adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dan berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan.

Tabel 3. Anova satu arah tanpa interaksi

Sumber Varians	Jumlah kuadrat	Derajat bebas	Rata-rata kuadrat	f_0
Rata-Rata Baris	JKB	$b - 1$	$S_1^2 = \frac{JKB}{db}$	$f_1 = \frac{S_1^2}{S_3^2}$
Rata-Rata Kolom	JKK	$k - 1$	$S_2^2 = \frac{JKK}{db}$	
Error	JKE	$(k - 1)(b - 1)$	$S_3^2 = \frac{JKE}{db}$	$f_2 = \frac{S_2^2}{S_3^2}$
Total	JKT	$kb - 1$		

Baris : $V_1 = b - 1$ dan $V_2 = (k - 1)(b - 1)$

Kolom : $V_1 = k - 1$ dan $V_2 = (k - 1)(b - 1)$

Jumlah Kuadrat Total

$$(JKT) = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^k T_{ij}^2 - \frac{T^2}{kb}$$

Jumlah Kuadrat Baris

$$(JKB) = \frac{\sum_{i=1}^b T_i^2}{k} - \frac{T^2}{kb}$$

Jumlah Kuadrat Kolom

$$(JKK) = \frac{\sum_{j=1}^b T_j^2}{k} - \frac{T^2}{kb}$$

Jumlah Kuadrat Error

$$(JKE) = JKT - JKB - JKK$$

- Anova Dua Arah dengan Interaksi

Pengujian klasifikasi dua arah dengan interaksi merupakan pengujian beda tiga rata-rata atau lebih dengan dua faktor yang berpengaruh dan pengaruh interaksi antara kedua faktor tersebut diperhitungkan. (Hasan, Iqbal. 2006. *Analisis Data Penelitian dengan Statistik*. Jakarta: Bumi Aksara).

Tabel 4. Anova Dua Arah dengan Interaksi

Sumber Varians	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	f_0
Rata-rata baris	JKB	b-1	$S_1^2 = \frac{JKB}{db}$	
Rata-rata kolom	JKK	k-1	$S_2^2 = \frac{JKK}{db}$	$f_1 = \frac{S_1^2}{S_4^2}$
Interaksi	JK (BK)	(k-1) (b-1)	$S_3^2 = \frac{JK(BK)}{db}$	$f_1 = \frac{S_2^2}{S_4^2}$
Error	JKE	bk (n-1)	$S_4^2 = \frac{JKE}{db}$	$f_1 = \frac{S_3^2}{S_4^2}$
Total	JKT	n-1		

Jumlah Kuadrat Total

$$JKT = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^k \sum_{k=1}^n X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{bkn}$$

Jumlah Kuadrat Baris

$$JKB = \frac{\sum_{i=1}^b T_i^2}{kn} - \frac{T^2}{bkn}$$

Jumlah Kuadrat kolom

$$JKK = \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{bn} - \frac{T^2}{bkn}$$

Jumlah kuadrat bagi interaksi Baris Kolom

$$JK(BK) = \frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^b T_i^2}{kn} - \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{bn} + \frac{T^2}{bkn}$$

Jumlah Kuadrat Error

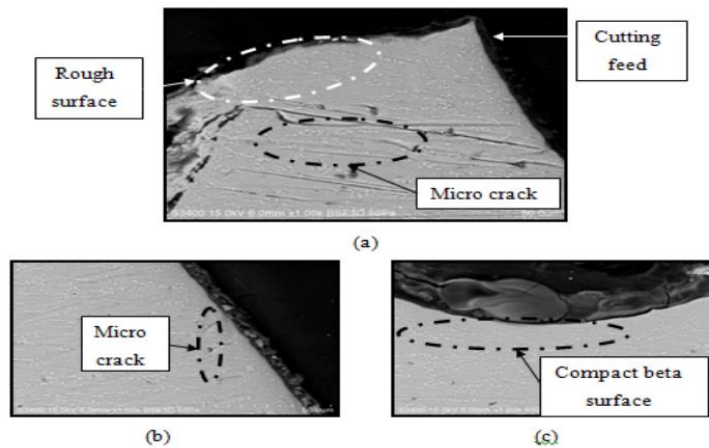
$$JKE = JKT - JKB - JKK - JK(BK)$$

- Analysis of Means, menampilkan grafik analisis nilai mean dan menampilkan tabel untuk data dengan distribusi normal, binomial dan poisson
- Balanced ANOVA, menganalisis model balanced ANOVA dengan faktor-faktor yang bersilangan, nested, fixed atau random
- General Linear Model, menganalisis model ANOVA dan melakukan multiple comparisons of means
- Fully Nested ANOVA, menganalisis fully nested ANOVA dan mengestimasi berbagai komponen yang ada
- Balanced MANOVA, menganalisis Multivariate Analysis of Variance pada balanced data General MANOVA, hampir sama dengan Balanced MANOVA, namun dapat digunakan baik pada balanced data maupun unbalanced data
- Test for Equal Variances, melakukan test Bartlett dan Levene untuk mengetahui equality of variances
- Interval Plot, Menghasilkan grafik yang menampilkan variasi dari group mean
- Main Effect Plot, menghasilkan plot dari response main effect

2.13 Kerusakan Ulir

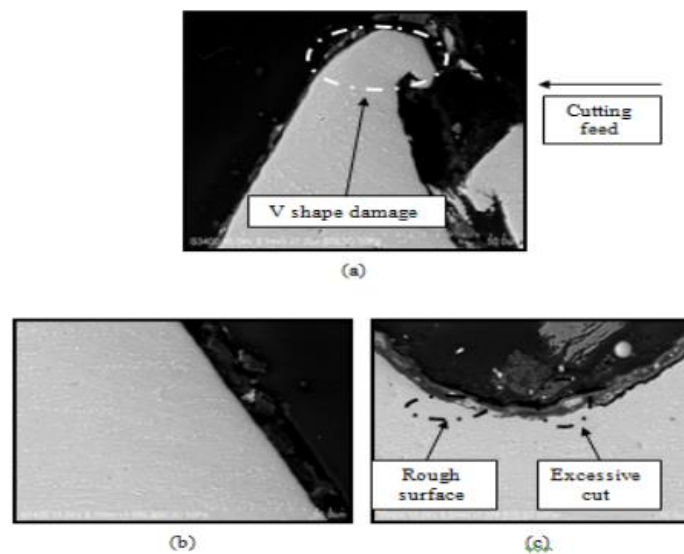
Pada penelitian yang dilakukan dengan Gambar 4 menyajikan Scanning Electron Microscope (SEM) gambar benang depan. Kecepatan potong adalah 530 rpm dan kedalaman potong 0,35 mm. Pengamatan di puncak menunjukkan

permukaan kasar dan juga retak mikro karena gaya tinggi. (Ezugwu 2007) menyatakan perubahan ini jelas karena generasi gesekan di daerah permesinan. Gambar struktur mikro pada (a) permukaan kasar, pemotongan pemakan dan retak mikro sedangkan untuk (b) terjadi retak mikro dan gambar (c) kelebihan pemakanan.



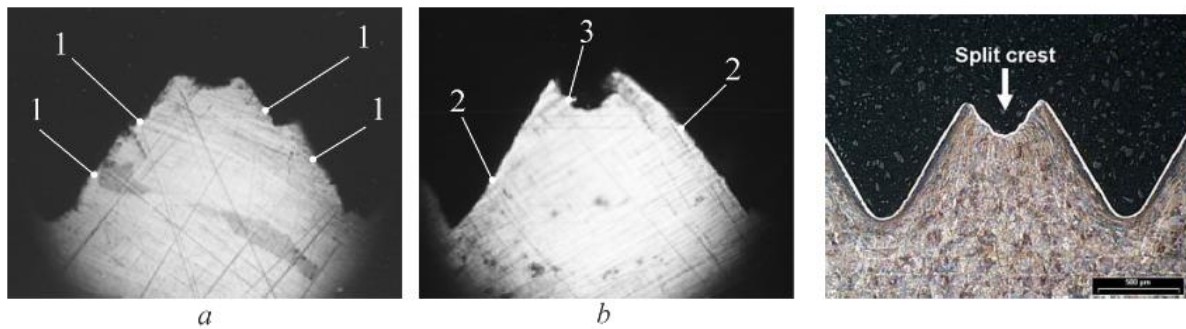
Gambar 17. Kerusakan permukaan hasil pembubutan ulir

Gambar 18 (a) mewakili kerusakan di puncak. Hal ini karena sisipan alat aus menyebabkan kerusakan pada ulir. Pada saat yang sama, potongan berlebihan pada permukaan ditunjukkan pada Gambar 18 (c) karena hal ini juga menunjukkan kekasaran permukaan karena keausan dari sisipan yang tidak dilapisi.



Gambar 18. Geometry kerusakan permukaan hasil pembubutan ulir

Sedangkan kerusakan profil ulir pada penelitian bratan (2016) bahwasanya terdapat beberapa kerusakan yang terjadi yaitu sebagai berikut :



Gambar 19. Geometry kerusakan permukaan hasil pembubutan ulir

Pada gambar 19 (a) menggambarkan struktur mikro bahwa terdapat kerusakan permukaan dengan di tandakan nya ulir bertingkat, sedangkan gambar 10 (b) terdapat kerusakan pada puncak ulir yang gagal manufaktur atau perpecahan puncak ulir.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Adapun pelaksanaan penelitian Optimasi Parameter Pemesinan Baut Ulir Kortikal Ti-6AL-4V ELI Dengan Metode Single dan Multi Respon. Penelitian dan pengumpulan data akan dilakukan di Laboratorium Metrologi dan Pengukuran Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan serta spesifikasinya yang digunakan dalam penelitian. Pelaksanaan penelitian Optimasi Parameter Pemesinan Baut Ulir Kortikal Ti-6AL-4V ELI Dengan Metode Single dan Multi Respon adalah sebagai berikut:

a. Material Ti-6AL-4V ELI

Ti-6Al-4V ELI adalah titanium paduan yang dikenal memiliki kekuatan spesifiknya yang tinggi, ketahanan terhadap korosi dan biokompatibilitas yang sangat baik. Material implan titanium memiliki kelebihan terutama dalam bidang non toksitas atau tidak menimbulkan racun atau biokompatibilitas yang baik.



Gambar 20. Paduan titanium 6Al-4V ELI (Fariza, 2017)

Titanium 6Al-4V ELI memiliki kombinasi kekuatan dan ketangguhan

yang lebih baik serta memiliki ketahanan terhadap korosi. Komposisi kimia dan sifat fisiknya adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Kandungan paduan titanium Ti-6Al-4V ELI (Ibrahim, 2014)

Kandungan	C	Si	Fe	Al	N	V	S	O	H	Y
Persentase %	0,11	0,03	0,18	6,1	0,007	4,0	0,003	0,11	0,031	0,005

Tabel 6. Sifat fisika paduan titanium Ti-6Al-4V ELI (Ibrahim, 2014).

Tegangan Tarik	132x103 Psi
Tegangan yield pada offset 2%	119x103 Psi
Perpanjangan	17/14%
%Ra	42.0

b. Mesin CNC *Turning*

Mesin bubut CNC sendiri merupakan suatu proses pengumpanan benda kerja dimana dilakukan sayatan dengan cara memutar benda kerja kemudian menempelkannya pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar sumbu putar dengan benda kerja. Gerak putar benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerak translasi pahat disebut gerak makan.



Gambar 21. Mesin bubut CNC FEELER FTC-350XL

c. Pahat ulir

Pada penelitian ini pahat ulir yang digunakan adalah pahat buatan sendiri dengan mengacu pada standar geometri yang ada.



Gambar 22. Pahat Ulir Carbide

d. *Profile projector*

Profile projector berfungsi sebagai alat untuk mengukur dimensi ulir yang akan dikerjakan, alat ini dapat membantu untuk mengukur diameter minor, diameter mayor, dan besar sudut. Prinsip kerja alat ukur *profile projector* adalah dengan memproyeksikan bayangan pada benda kerja yang disinari oleh lampu pada proyektor, kemudian proyeksi benda kerja tersebut akan ditampilkan pada tampilan digital sumbu xy pada proyektor profil.

Cara kerja *profile projector* ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Benda uji ditempatkan pada bidang uji dan dijepit.
2. Proyektor dihidupkan agar bayangan objek terlihat pada layar lensa proyektor.
3. Fokus proyektor disesuaikan hingga terlihat jelas.
4. Pengaturan jarak sumbu xy dipindahkan ke titik acuan benda uji secara vertikal atau horizontal.
5. Tampilan digital sumbu xy diatur ke nol.
6. Jarak sumbu xy digeser ke titik lain di mana Anda ingin mengukur jarak.



Gambar 23. Profile projector

Tabel 7. Spesifikasi *profile projector*

Merk	Mitutoyo
Type	PJ311
Tahun	1986
Ketelitian	1 μm (linear) dan 1 min (sudut)

e. *Coolant*

Terdapat 3 jenis pelumas yang digunakan dalam pemesian bubut CNC menggunakan metode MQL yaitu :

1) Minyak Sintetis

Tabel 6. Kandungan Minyak Sintetis

Titik didih awal dan rentang didih	300 - 580°C
Titik nyala	Lebih dari 210°C
Berat jenis	0,875 (air=1) 15°C
Suhu pengapian otomatis	Sekitar 260 ~ 371°C
Viskositas	Sekitar 41 – 50 cSt atau 40°C

2) *Virgin Coconut Oil (VCO)*

Virgin Coconut Oil adalah minyak yang dihasilkan dari pengolahan buah kelapa. Proses pembuatan VCO tidak menggunakan campuran, sehingga minyak yang dihasilkan adalah minyak murni.

Tabel 8. Kandungan VCO (Bhikuning, 2013)

Density 40°C	901 kg/m ³
Viscosity kin. At 40°C	26,72 cSt
Pour point	21°C
Flash point PMCC	262°C

3) *Virgin Palm Oil* (VPO)

Virgin Palm Oil merupakan hasil pengolahan buah kelapa sawit. Proses pembuatan VPO tidak menggunakan campuran, sehingga minyak yang dihasilkan adalah minyak murni.

Tabel 9. Kandungan VPO (Parman, 2020)

Density 15°C	0,908 g/m ³
Viscosity kin. At 40°C	36 cSt
Kandungan kalori	37.600 KJ/kg
Flash point PMCC	260°C

f. Analisis Struktur Mikro

Analisis struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik yang bertujuan untuk melihat struktur mikro pada permukaan magnesium dan pori yang dibentuk oleh titanium dengan pembesaran 50 x. Alat uji mikroskop optik seperti pada gambar 24 dan spesifikasi pada tabel 10.



Gambar 24. Mikroskop Optik

Tabel 10. Spesifikasi Mikroskop Optik

Nama Alat	<i>Struktur Micro Tester</i>
Type Alat	Mikroskop Optik MEIJI MT 7000
Head	Binocolur CLEMEX
Ilumination	30 W Vertical Kohler
Eyepieces	SWH 10xFN22
Objectives	Plan EPI 5x, 10x, 20x, 50x

g. Uji SEM-EDX

Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) digunakan untuk melihat struktur bagian dalam dari spesimen magnesium berpori, mengetahui pori yang terbentuk, pengkorosian titanium dan ikatan magnesium dengan hasil pembesaran gambar dengan ukuran tertentu. Pengambilan uji SEM dilakukan pada 2 titik yang berbeda yaitu pada pori pengkorosian titanium dan bagian magnesium. Kemudian dilanjutkan dengan EDX (*Energy Dispersive X-ray*) untuk mengetahui unsur yang ada pada spesimen magnesium berpori, apakah pada spesimen tersebut masih terdapat titanium yang belum terkorosi. Alat uji SEM-EDX seperti pada gambar 25 dan spesifikasi alat uji pada tabel 11.



Gambar 25. Alat Uji SEM-EDX

Tabel 11. Spesifikasi Alat Uji SEM-EDX

Nama Alat	<i>Analytical Scanning Electron Microscope</i>
Type Alat	JEOL JSM-6390A
Pembesaran	10x-3.10 ⁶ x
<i>Depth of Field</i>	4-0.4 mm
<i>Resolution</i>	1-10 nm
<i>Magnification</i>	7x-1.10 ⁶ x

3.3 Parameter Pengujian

Pada penelitian ini, proses pemotongan material titanium Ti-6Al-4V ELI akan menggunakan mesin bubut CNC. Parameter pemesinan yang akan digunakan pada proses pemotongan ini adalah putaran spindle sebesar 100 rpm, *depth of cut* sebesar 0,01 mm, 0,02 mm dan 0,03 mm dengan variasi kecepatan potong 2,826 m/min dengan media pendingin yang dipakai yaitu VPO (Virgin Palm Oil), VCO (Virgin Coconut Oil) dan Sintesis. Dalam pengujian yang akan dilakukan menggunakan 3 faktor dengan 3 level dan 3 respon yaitu single dan multi respon. Sedangkan yang akan diamati dalam respon yaitu kesalahan jarak pitch, kesalahan tinggi pitch dan kesalahan sudut pitch. Pada tabel 12 berikut ini akan ditampilkan parameter pengujian yaitu sebagai berikut.

Tabel 12. Parameter Pengujian

Faktor			Level			Respon		
Kode (Symbol)	Parameter Pemotongan	Unit	Level/Tingkatan			kesalahan jarak puncak pitch	kesalahan tinggi pitch	kesalahan sudut pitch
			1	2	3			
A	Putaran <i>Spindle</i>	rpm	100	200	200			
B	<i>Depth of Cut</i>	mm	0,01	0,02	0,03			
C	<i>Coolant</i>	mm	Sintetis	VPO	VCO			

3.4 Langkah Pengujian

Adapun langkah pengujian yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan *orthogonal array* berdasarkan Metode Taguchi

Pengujian ini menggunakan 3 faktor dengan 3 level serta mengamati 3 respon. Dengan bantuan software perhitungan statistika didapatkan L_9 *orthogonal array* yang dapat dilihat pada tabel 13 sebagai berikut :

Tabel 13. L_9 orthogonal array

Percobaan Ke-	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Jika besaran level dimasukkan maka besaran level yang akan dilakukan pengujian dengan parameter percobaan seperti tabel 14 yaitu sebagai berikut :

Tabel 14. Besaran level

Percobaan Ke-	Putaran Spindle (rpm)	Depth of Cut (mm)	Coolant
1	100	0,1	Sintetis
2	100	0,2	VPO
3	100	0,3	VCO
4	200	0,1	VPO
5	200	0,2	VCO

6	200	0,3	Sintetis
7	300	0,1	VCO
8	300	0,2	Sintetis
9	300	0,3	VPO

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Tahapan pertama

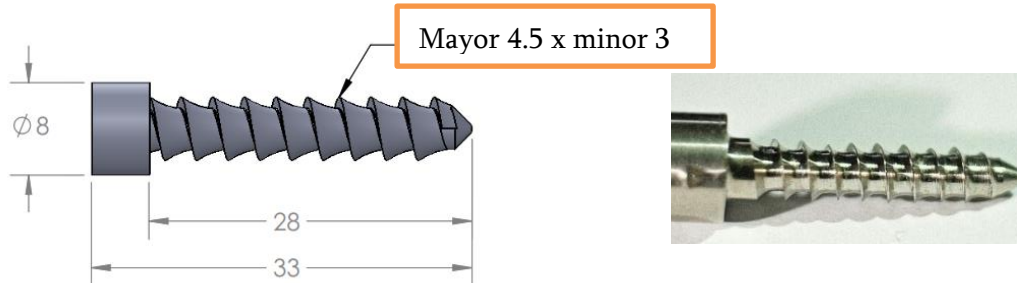
Tahap pertama adalah persiapan alat, bahan dan mengatur mesin bubut, persiapan alat meliputi pahat bubut muka, pahat ulir, alat ukur dial caliper dan profile projector. Kemudian menyiapkan bahan titanium yang telah dibeli dari produsen pabrik tanpa dilakukan perlakuan material. Kemudian mengatur mesin bubut termasuk pengaturan pada pahat dan penjepitan benda kerja pada chuck dan kemudian pengaturan parameter pemesinan. Material yang digunakan adalah titanium (Ti-6Al-4V ELI) berbentuk silinder dengan diameter awal 10 mm.

b. Tahapan kedua

Tahapan yang kedua yaitu proses pembuatan produk baut tulang kortikal. Pada tahap ini, setelah mesin set-up selesai, pahat dipasang dan benda kerja dicengkeram dengan benar di chuck, proses pembubutan akan dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Pembubut facing muka benda kerja menggunakan pahat bubut muka dengan arah pemakanan melintang.
2. Membuat lubang center drill untuk tumpuan live center diameter 1 mm sedalam 1 mm.
3. Tumpu menggunakan live center, kemudian melakukan pemakanan menggunakan pahat bubut rata kanan dengan arah memanjang, buat diameter 8 mm sepanjang 35 mm.
4. Melakukan pemakanan menggunakan pahat bubut rata kanan dengan arah memanjang, buat diameter 4,5 mm sepanjang 28 mm.
5. Langkah selanjutnya pembuatan ulir. Set-up mesin bubut untuk

penggunaan pembuatan ulir post, buat ulir pada bagian benda kerja yang berdiameter 4,5 mm sepanjang 28 mm dengan diameter minor sebesar 3 mm dengan pitch 1,75. Untuk geometri seperti gambar dibawah ini yaitu sebagai gambar 22 berikut :



Gambar 26. Geometri Baut Ulir Kortikal

6. Mengecek semua ukuran menggunakan dial caliper, apabila ukuran sudah sesuai gambar kerja, potong benda kerja menggunakan pahat undercut pada bagian benda berdiameter 8 mm masukan ukuran panjang total 33 mm.
 7. Selesai.
- c. Proses pengukuran ulir dengan Profile Projector
- Siapkan alat ukur *profile projector*, setelah itu siapkan benda uji yang telah dilakukan pemesinan, kemudian atur jarak sumbu xy pada titik acuan benda uji secara vertikal dan horizontal. Kemudian dilakukan normalisasi terhadap kesalahan ulir. Hasil pengukuran diameter mayor, diameter minor, jarak pitch, dan sudut ulir disajikan pada tabel 15.

Tabel 15. Hasil pengukuran diameter ulir

No	Putaran Spindle (rpm)	DOC (mm)	Pelumas	Pengukuran diameter Ulir (mm)			Ukuran standar (mm)			Kesalahan Pengukuran (mm)
				D _o	D _m	$\frac{D_o - D_m}{2}$ (a)	D _o	D _m	$\frac{D_o - D_m}{2}$ (b)	(b-a)
1	100	0,1	Sintesis							
		0,2	VPO							
		0,3	VCO							
2	200	0,1	VPO							
		0,2	VCO							
		0,3	Sintesis							
3	300	0,1	VCO							
		0,2	Sintesis							
		0,3	VPO							

Tabel 16. Hasil pengukuran jarak puncak ulir

No	Putaran Spindle (rpm)	DOC (mm)	Pelumas	Jarak puncak (mm)	Ukuran standar (mm)	Kesalahan Pengukuran (mm)
1	100	0,1	Sintesis			
		0,2	VPO			
		0,3	VCO			
2	200	0,1	VPO			
		0,2	VCO			
		0,3	Sintesis			
3	300	0,1	VCO			
		0,2	Sintesis			
		0,3	VPO			

Tabel 17. Hasil pengukuran sudut ulir

No	Putaran spindle (rpm)	DOC (mm)	Pelumas	Pengukuran sudut ulir (mm)		Ukuran standar (mm)		Kesalahan Pengukuran (mm)	
				α	β	α	β	α	β
1	100	0,1	Sintesis						
		0,2	VPO						
		0,3	VCO						
2	200	0,1	VPO						
		0,2	VCO						
		0,3	Sintesis						
3	300	0,1	VCO						
		0,2	Sintesis						
		0,3	VPO						

3.6 Pengolahan Data Penelitian

Setelah mendapatkan data pada hasil penelitian maka selanjutnya akan dilakukan analisis varian. Adapun rencana analisis varian yang akan dilakukan yaitu:

1. Menghitung *Signal Noise Ratio* (SNR) (*Taguchi Method*)

Pencarian SN Ratio untuk masing-masing respon kemudian dilakukan olah data dengan metode taguchi untuk mencari kombinasi faktor yang optimal bagi setiap respon parameter penelitian.

Adapun rumus dan tabel 18 SN Ratio yaitu sebagai berikut :

$$\text{SNR STB} = -10 \log [X_i(j)^2] \dots\dots\dots(9)$$

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

Tabel 18. Hasil Percobaan dan hasil perhitungan S/N Ratio kesalahan diameter ulir, Jarak Puncak Ulir dan kesalahan sudut ulir

No	Putaran Spindle (rpm)	Depth of Cut (mm)	Coolant	Kesalahan diameter ulir (mm)	Kesalahan Jarak Puncak Ulir (mm)	Kesalahan Sudut Ulir ($^{\circ}$) α	Kesalahan Sudut Ulir ($^{\circ}$) β	S/N Ratio
1	100	0,1	Sintesis					
		0,2	VPO					
		0,3	VCO					
2	200	0,1	VPO					
		0,2	VCO					
		0,3	Sintesis					
3	300	0,1	VCO					
		0,2	Sintesis					
		0,3	VPO					

Kemudian data di olah menggunakan aplikasi ANOVA untuk melihat pengaruh parameter pemotongan terhadap respon kesalahan jarak puncak ulir, kesalahan tinggi ulir dan kesalahn sudut ulir. Kemudian dilakukan *main effect plot* dengan Anova terhadap S/N ratio dengan software minitab. Adapun tabel 19 data yaitu sebagai berikut :

Tabel 19. Faktor optimal masing-masing respon

Respon	Metode Taguchi			Faktor signifikan
	Faktor optimal			
Kesalahan diameter ulir				
Kesalahan jarak puncak ulir				
Kesalahan sudut ulir				

Tabel 20. Analisis Varian Untuk S/N Rasio kesalahan diameter ulir, Jarak Puncak Ulir dan kesalahan sudut ulir

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Persen Kontribusi (%)
Putaran spindel							
Kedalaman potong							
Pelumas							
Residual Error							
Total							

Kemudian data tersebut di hitung menjadi data mean respon dengan cara sebagai berikut :

$$\text{Mean respon faktor} = \frac{\sum y_1 + y_2 + y_3 \dots + y_n}{n}$$

Perhitungan tersebut dilakukan pada tiap level yang dimiliki faktor dimana menggunakan pengolahan data menggunakan Metode Analisis *Taguchi smaller is better*. Adapun tabel 21 yang menerangkan sebagai berikut:

Tabel 21. Response table S/N rasio kesalahan diameter ulir, Jarak Puncak Ulir dan kesalahan sudut ulir

Level	Putaran spindel	Kedalaman potong	Pelumas
1			
2			
3			
Delta			
Rank			

2. Normalisasi SNR (*Grey Relation Analysis*)

Setelah didapatkan harga S/N Ratio untuk masing-masing respon karakteristik dilanjutkan dengan proses optimasi menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Xi^*(k) = \frac{Xi(k) - \min Xi(k)}{\max Xi(k) - \min Xi(k)} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

$Xi^*(j)$ = nilai normalisasi SNR pada percobaan ke- i dan respon ke-j

$Xi(j)$ = nilai eksperimen ke -i pada respon ke-j

i = banyaknya percobaan

j = banyaknya respon

Adapun tabel 22 dari normalisasi 3 faktor dengan 3 respon yaitu sebagai berikut :

Tabel 22. Normalisasi SNR

Run Order	Normalisasi SNR			
	Kesalahan Jarak Puncak Ulir (mm)	Kesalahan Tinggi Ulir (mm)	Kesalahan Sudut Ulir α ($^{\circ}$)	Kesalahan Sudut Ulir β ($^{\circ}$)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

3. Menghitung Nilai Deviation Sequence dan Gamma (Grey Relational Coefficient / GRC)

Menghitung jarak $\Delta oi(j)$ yang merupakan nilai absolut dari selisih antara nilai maksimum hasil normalisasi $Xo * (j)$ dengan data yang telah dinormalisasi $Xi * (j)$ pada titik j. Untuk mencari nilai Delta yaitu seperti persamaan berikut :

$$\Delta Oi(j) = | X_0*(j) - X_i *(j) | \dots\dots\dots (11)$$

Dimana : $X_0 * (j) = 1$ (nilai terbesar normalisasi S/N Ratio diinversikan sebesar 1)

GRC menunjukkan hubungan antara kondisi terbaik dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi Sedangkan untuk nilai GRC di dapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\zeta_i^*(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{max}} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

Δ_{min} = nilai minimum dari $\Delta_{oi}(j)$

Δ_{maks} = nilai maksimum dari $\Delta_{oi}(j)$

ζ = koefisien pembeda, biasanya diambil nilai 0,5

Sedangkan tabel 23 hasil perhitungan yaitu sebagai berikut :

Tabel 23. Perhitungan Deviation Sequence dan GRC

Run Order	Deviation Sequence				Grey Relational Coefficient			
	Kesalahan Jarak Puncak Ulir (mm)	Kesalahan Diameter Ulir (mm)	Kesalahan Sudut Ulir α (°)	Kesalahan Sudut Ulir β (°)	Kesalahan Jarak Puncak Ulir (mm)	Kesalahan Tinggi Ulir (mm)	Kesalahan Sudut Ulir α (°)	Kesalahan Sudut Ulir β (°)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

4. Menghitung Nilai Grey Relational Grade (GRG)

proses menghitung harga Grey Relational Grade (GRG), merupakan tahapan penggabungan harga GRC pada masing-masing respon menjadi harga respon tunggal yang disebut GRG.

$$\gamma_i = 1/n \sum \zeta_i(k) \dots\dots\dots (13)$$

Dimana : β_j menggambarkan nilai bobot ke-j dari karakteristik respon dan nilai bobot diperoleh dari nilai vektor eigen komponen utama terpilih yang dikuadratkan. Misalkan komponen utama yang terpilih adalah komponen utama 1. Adapun tabel 24 pada perhitungan yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut :

Tabel 24. Grey Relation Grade (GRG)

Run Order	GRG	Rank
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Data perhitungan mean response untuk kesalahan jarak puncak ulir akan ditampilkan selengkapnya pada Tabel 25 berikut ini.

Tabel 25. Mean response Grey Relational Grade

Level	Faktor		
	Putaran Spindle (A)	Depth of Cut (B)	Coolant (C)
Level 1			
Level 2			
Level 3			
Delta			
Rank			

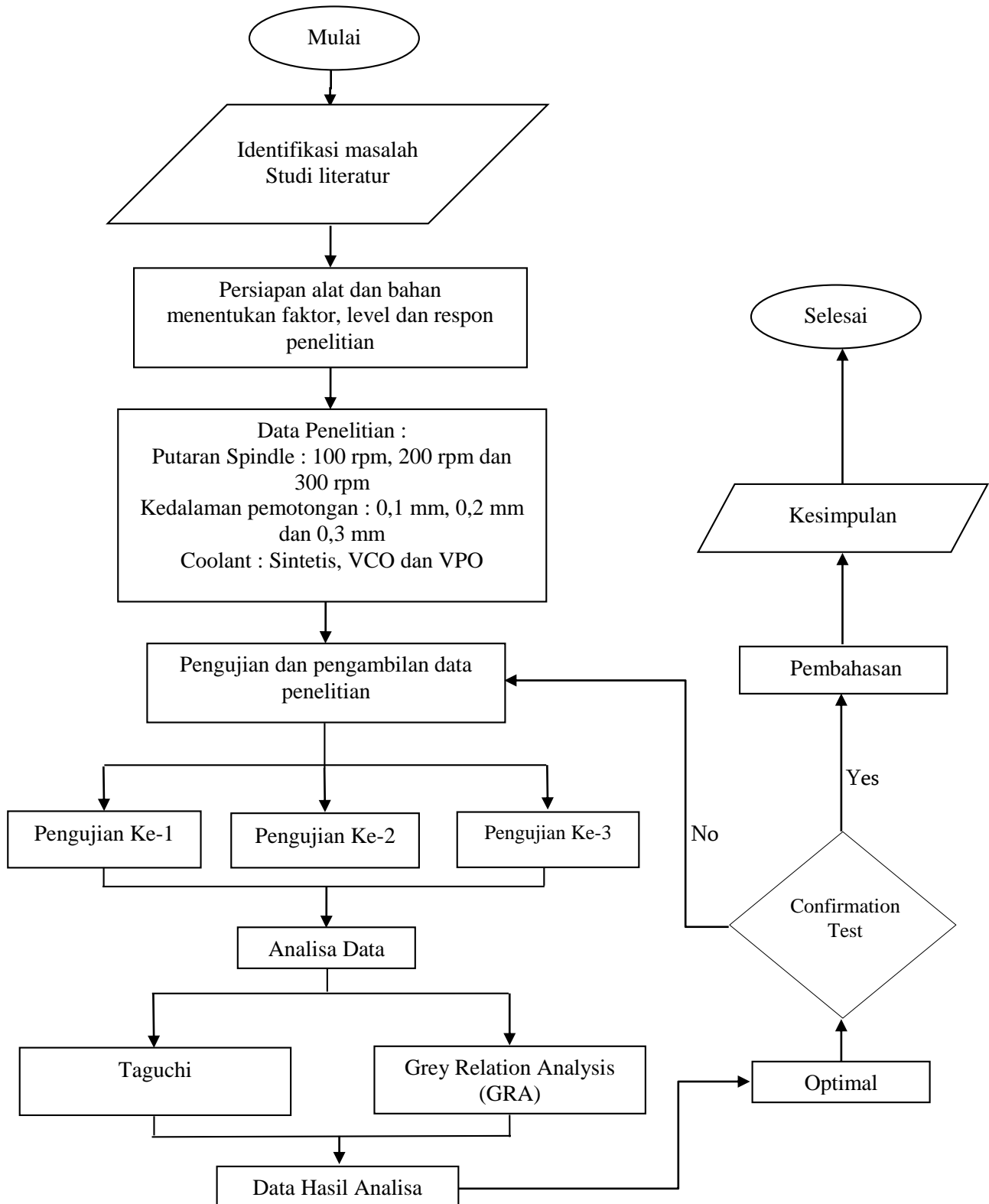
5. ANOVA

Cara penggunaan software ANOVA yaitu sebagai berikut :

- a. Pilih Stat> ANOVA> One-Way.
- b. Pilih Data respons ada dalam satu kolom untuk semua tingkat faktor.
- c. Sebagai Respons, masukkan Nilai S/N ratio. Di Factor, masukkan pelumas, kedalaman potong dan kecepatan spindle.
- d. Klik Perbandingan.
- e. Di bawah Prosedur perbandingan dengan asumsi varian sama, periksa Tukey.
- f. OK

3.7 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian dapat dijelaskan pada gambar 27.



Gambar 27. Diagram alir penelitian

3.8 Rencana Jadwal Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dari awal bulan September 2022 sampai akhir bulan Juni 2023. Adapun rencana jadwal penelitian dapat dijelaskan pada tabel 26.

Tabel 26. Rencana Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan Ke-								
		01	02	03	04	05	06	07	08	09
1	Studi kasus	■								
2	Penyusunan proposal		■							
3	Persiapan seminar proposal			■						
4	Seminar Proposal				■					
5	Persiapan alat dan bahan penelitian					■				
6	Melakukan Proses pemesanan					■				
7	Proses Pengamatan Ulir					■	■			
8	Mempersiapkan seminar hasil						■			
9	Seminar hasil						■			
10	Ujian komprehensif							■	■	

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan pada Optimasi Parameter Pemesinan Baut Ulir Kortikal Ti-6Al-4V ELI Dengan Metode Kombinasi Single dan Multi Respon yaitu sebagai berikut:

- a. Kondisi optimal kesalahan diameter ulir terdapat pada parameter permesinan pada putaran spindel sebesar 300 rpm, kedalaman potong sebesar 0,01 mm, dan pelumas yang digunakan adalah VPO. Dan kondisi optimal pada kesalahan jarak puncak ulir terdapat pada parameter permesinan pada putaran spindel sebesar 300 rpm, kedalaman potong 0.01 mm, dan pelumas yang digunakan adalah VCO. Kondisi optimal kesalahan sudut α ulir terdapat pada parameter permesinan pada putaran spindel sebesar 100 rpm, kedalaman potong sebesar 0,01 mm, dan pelumas yang digunakan adalah VCO. Dan kondisi optimal pada kesalahan sudut β ulir terdapat pada parameter permesinan pada putaran spindel sebesar 100 rpm, kedalaman potong 0.01 mm, dan pelumas yang digunakan adalah sintetis.
- b. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode taguchi kedalaman potong, merupakan faktor yang paling signifikan terhadap kepresisian geometri ulir yang dihasilkan, dimana semakin besar nilai kedalaman potong maka kesalahan yang dihasilkan akan semakin besar pula, untuk besar nilai kedalaman potong yang optimum pada penelitian ini sebesar 0,01 mm.
- c. Berdasarkan perhitungan Grey Relational Analysis, kondisi pemotongan yang paling optimal yaitu pada putaran spindel 100 rpm (level 1), kedalaman potong 0,01 mm (level 1), dan coolant berjenis sintetis.

B. Saran

Pada penelitian ini menentukan pengaruh parameter permesinan terhadap kesalahan geometri, dan dimensi ulir baut kortikal dengan diameter 4.5mm. kajian selanjutnya dapat dilakukan untuk jenis ulir yang berbeda dan diameter yang berbeda menggunakan parameter optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, H. et al. 2013. *Penaruh parameter Pemotongan Pada Operasi Pemotongan Milling Terhadap Getaran dan Tingkat Kerusakan Permukaan (Surface Roughness)*. Proceeding SNTTM XII & Lomba Rancang Bangun Mesin Universitas Lampung.
- Agus Dudung, *Pemrograman Mesin Control Numerik*, (Jakarta: Teknik Mesin UNJ, 2010), h. 1.
- Ardianto, R. 2010. Pengaruh kecepatan *spindle*, Kecepatan Pemakanan Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kerusakan Permukaan Benda Kerja Hasil Pemesinan Bubut CNC Baja St40.
- Cahyanto, Arief., (2009). "Makalah Biomaterial", Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjajaran, Bandung.
- Dwi. A, L. P. G., Wahyudyatama, W., Panjaitan, K. F., Ibrahim, G. A., & Burhanuddin, Y. (2020). Optimal Conditions of Tool Wear and Surface Roughness of Magnesium Workpiece in Milling Machine with Combination of Taguchi Methods, Grey Relational Analysis and Principal Component Analysis.
- E.O. Ezugwu, Surface integrity of finished turned Ti-6Al-4V alloy with PCD tools using conventional and high coolant supplies, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Volume 47, 2007, pp. 884-891
- Enderle, J., dan Bronzino, J. 2000. *Introducing to Biomedical Engineering Third Edition*. United Kingdom: Elsevier.
- Fariza, F. 2017. *Evaluasi Dan Analisa Kinerja Sistem Pahat Putar Modular Untuk Pemesinan Peralatan Kesehatan Ortopedi Berbasis Material Titanium 6Al-4V ELI*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Lampung.
- 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).
- Harto, A.R. 2022. *Kajian Eksperimental Terhadap Baut Ulir Implan Tipe Kortikal Dari Bahan Ti-6al-4v Eli Menggunakan Mesin Bubut Cnc*. Skripsi.

Jurusan teknik Mesin universitas lampung.

- Ibrahim, G.A. 2014. Pengaruh Pemesinan Kering Terhadap Kerusakan dan Kekerasan Permukaan Paduan Titanium. Fakultas Teknik. Universitas Lampung. Jurnal Mechanical, Vol. 5, No. 2.
- Leyens, C., dan Peters, M. 2003. Titanium and Titanium Alloys. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Makmur, T. 2006. Pengaruh Variasi Putaran, Kecepatan Putar Benda Serta Kecepatan Meja Terhadap Nilai Kerusakan Benda Kerja Pada Proses Pengerindaan Silinder.
- Mesin Turning CNC Tu 3A. Lilih, dkk. 2003.
- Munadi, S. (2010). Materi Perkuliahan Dasar-dasar Metrologi Industri. Yogyakarta: UNY.
- Naibaho, Cornel. *Pengetahuan Pokok Teknik Permesinan*, Jakarta: Gramada Offset, 1988.
- Nashrulah, M. (2016). Pengembangan desain optimal bone screw untuk implan ortopedi menggunakan ansys: pengaruh diameter screw dan pemilihan material (Doctoral dissertation, institut teknologi sepuluh nopember surabaya).
- Prasetya, T.A. 2010. Pengaruh Gerak Pemakanan Dan Media Pendingin Terhadap Kerusakan Permukaan Logam Hasil Pembubutan Pada Material Baja HQ 760.
- Rochim, Taufiq. *Proses Pemesinan Buku 1: Klasifikasi Proses, Gaya dan Daya Pemesinan*, Bandung: ITB, 2007.
- Rochim, Taufiq. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, Jakarta: Higher Education Development Support Project, 1993.
- Schneider, George. *Cutting Tool Application Chapter 4 Turning Tools & Operations*, Lawrence Technological University, 2002.
- Widarto. *Teknik Pemesinan Jilid 2*, Jakarta: Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar Dan Menengah Kejuruan, Departemen Nasional, 2008.
- Yahya, M. 2022. Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Kepresisian Geometri Baut Ulir Kortikal Material Ti-6al-4v Eli Menggunakan Metode Grey Relational Analysis. Skripsi. Jurusan teknik Mesin universitas lampung.

Zubaidi, A. 2012. Analisis Pengaruh Kecepatan Putar dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kerusakan Permukaan Material FCD 40 Pada Mesin Bubut CNC. *Jurnal Teknik Mesin (online)* 8(1) : 40 – 47.