

**OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN ULIR Ti-6Al-4V ELI
TERHADAP DIAMETER MAYOR DAN DIAMETER MINOR ULIR
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

(Skripsi)

Oleh

**HARY JUMA SETIAWAN
1715021044**



**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Lampung
2022**

**OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN ULIR Ti-6Al-4V ELI
TERHADAP DIAMETER MAYOR DAN DIAMETER MINORULIR
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

Oleh

HARY JUMA SETIAWAN1715021044

Skripsi

Sebagai Syarat untuk Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK

Pada Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Lampung

2022

ABSTRAK

OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN ULIR Ti-6Al-4V ELI TERHADAP DIAMETER MAYOR DAN DIAMETER MINOR ULIR MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Oleh

HARY JUMA SETIAWAN

Industri manufaktur membutuhkan solusi yang dapat memproduksi komponen dalam ukuran mikro, dengan kualitas tinggi dan akurasi yang lebih baik. Paduan Ti-6Al-4V ELI memiliki kelebihan di bidang industri dan memiliki kekurangan diproses pemesinan. Untuk mengantisipasi kelemahan titanium pada proses pemesinan usaha yang dilakukan yaitu memvariasikan parameter pemotongan dan pemilihan media pendingin. Kesalahan geometri ulir titanium pada pemesinan bubut ulir dipengaruhi oleh kecepatan potong, kedalaman potong, dan jenis pemesinan. Penelitian ini meneliti respon kesalahan diameter mayor, dan kesalahan diameter minor ulir pada diameter ulir M4x0.7 dengan 3 level dan 3 faktor lalu pengolahan datanya menggunakan proses optimasi Taguchi dengan variasi kecepatan potong sebesar 17.58, 21.35, 25.12 m/min, kedalaman potong sebesar 0.085, 0.108, dan 0.143 mm, serta pemesinan bubut yang digunakan yaitu pemesinan kering, menggunakan pelumas minyak sawit dan menggunakan pelumas minyak sintetis. Hasil optimal didapatkan pada kombinasi parameter

pemotongan dengan faktor kecepatan potong 25.12 m/min dan kedalaman potong 0.143 mm serta pelumas kelapa sawit dimana respon kesalahan diameter mayor 0.088 mm dan kondisi pemotongan optimal pada kesalahan diameter minor yaitu pada parameter kecepatan potong 25.12 m/min kedalaman potong 0.083 mm serta jenis pendinginan minyak sintetik dimana respon kesalahan 0.07 mm.

Kata kunci: *Titanium, Optimasi, Metode Taguchi*

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF Ti-6Al-4V ELI THREAD MACHINERY PARAMETERS ON MAJOR AND MINOR THREAD DIAMETERS USING TAGUCHI METHOD

By

HARY JUMA SETIAWAN

Manufacturing industry needs solutions can produce components micro size, with high quality and better accuracy. Ti-6Al-4V ELI alloy has advantages in industrial and disadvantages in machining. To anticipate weakness of titanium in machining process, work carried out is to vary cutting parameters and selection of cooling media. Titanium thread geometry error in screw lathe machining influenced by cutting speed, depth of cut, and type of machining. This study examines response of major diameter errors, and minor diameter errors of threads on M4x0.7 thread diameter with 3 levels and 3 factors and then processing data using Taguchi optimization process with variations in cutting speed 17.58, 21.35, 25.12 m/min, depth of cut 0.085, 0.108, and 0.143 mm, and lathe machining used dry machining, using palm oil lubricant and using synthetic oil lubricant. Optimal results were obtained on combination of cutting parameters with cutting speed factor of 25.12 m/min and cutting depth of 0.143 mm and oil palm lubricants where the response to major diameter error of 0.088 mm and optimal cutting conditions for minor diameter error is the cutting speed parameter of 25.12

m/min depth of cut. 0.083 mm and synthetic oil cooling type where the error response is

0.07 mm.

Keywords: *Titanium, optimization, Taguchi Metod*

Judul Skripsi : OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN
ULIRTi-6Al-4V ELI TERHADAP DIAMETER
MAYOR DAN DIAMETER MINOR ULIR
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI

Nama : HARY JUMA SETIAWAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715021044

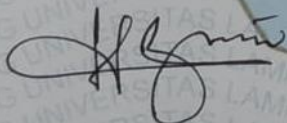
Jurusan : Teknik Mesin


Fakultas : Teknik



Komisi Pembimbing 1

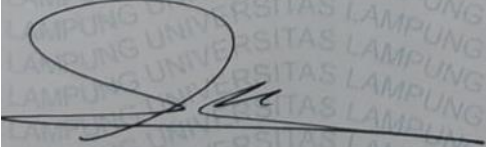
Komisi Pembimbing 2

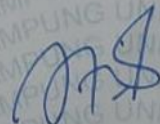

Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197108171998021003


Ir. Arinal Hamni, M.T.
NIP 196412281996032001

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Kepala Program Studi
S1 Teknik Mesin

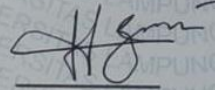

Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

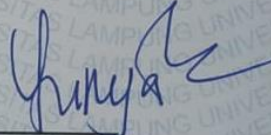
Ketua Penguji : **Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.**



Anggota Penguji : **Ir. Arinal Hamni, M.T.**



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



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juli 2022

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

DENGAN INI SAYA MENYATAKAN BAHWA SKRIPSI INI SAYA BUAT DENGAN USAHA SAYA SENDIRI DAN BUKAN HASIL DARI PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN KEPUTUSAN RECTOR NO. 13 TAHUN 2019.

Bandar Lampung, 1 Agustus 2022
Penulis,



HARY JUMA SETIAWAN
NPM. 1715021044

RIWAYAT HIDUP



Bernama lengkap Hary Juma Setiawan, penulis adalah anak kedua dari pasangan Handarudin dan Sri Marlina yang bertempat tanggal lahir di Bandar Lampung, 05 September 1997. Penulis menempuh pendidikan SMA di SMA Negeri 2 Bandar Lampung dan lulus pada Tahun 2016. Penulis mengikuti seleksi SBMPTN pada tahun 2016 namun hasilnya tidak sesuai keinginan.

Pada tahun 2017 penulis mengikuti seleksi SBMPTN kembali dan diterima pada Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Selama masa perkuliahan, penulis aktif sebagai Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) FT Divisi Kerohanian pada periode 2017/2018 dan penulis juga aktif menjadi asisten dosen praktikum Teknik Pengukuran dan Metrologi.

Pada tahun 2022 penulis menyelesaikan skripsi berjudul “Optimasi Parameter Pemesinan Ulir Ti-6al-4v Eli Terhadap Diameter Mayor Dan Diameter Minor Ulir Menggunakan Metode Taguchi” sebagai syarat memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin dengan bimbingan Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D dan Ir. Arinal Hamni, M.T.

Motto

*Jika kau menungguku untuk menyerah maka kau
akan menungguku untuk selamanya.*

~Uzumaki Naruto~

*“Menyerah dan dipermalukan oleh keadaan atau berjuang dan menjadi
kebanggaan”*

*“Maju tanpa menyingkirkan orang lain dan naiklah tanpa menjatuhkan
orang lain”*

*“Tidak perlu terlalu stres, jalani saja. Karena hidup dijalani bukan di
pikirkan”*

SANWACANA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan atas ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat, karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Parameter Pemesinan Ulir Ti-6al-4v Eli Terhadap Diameter Mayor Dan Diameter Minor Ulir Menggunakan Metode Taguchi”. Karya ilmiah ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang selalu kita nantikan syafaat nya di hari akhir kelak.

Rasa cinta dan sayang penulis berikan kepada kedua orang tua penulis tercinta yaitu Ayahanda Handarudin dan Ibunda Sri Marlina, yang hangatnya pelukan dan kasih sayangnya akan selalu menjadi rumah kembali terbaik bagi penulis. Skripsi ini dapat terselesaikan tentu saja bukan karena usaha penulis semata, tetapi juga karena kebaikan, bantuan dan kerendahan hati dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada berbagai pihak sebagai berikut.

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Amrul S.T., M.T. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung
3. Ibu Novri Tanti S.T., M.T. sebagai Ketua Program studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing

Pertama yang terus memberikan arahan dan nasihat-nasihat yang dapat membantu penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

5. Ibu Ir. Arinal Hamni, M.T. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang terus memberikan masukan yang dapat membantu penulis menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Bapak Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji atas masukan dan saran-saran yang diberikan ketika seminar maupun ujian komprehensif.
7. Seluruh dosen Teknik Mesin Unila yang telah memberikan ilmu, pengalaman serta inspirasinya selama penulis menyelesaikan studi.
8. Kepada kedua Orang Tua penulis Handarudin dan Sri Marlina yang terus memberikan motivasi dan menjadi sumber semangat bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi.
9. Kepada Mas Marta dan Admin Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu keperluan administrasi penulis.
10. Kepada teman-teman (SNL) Bayu, Fernando, Mudrick, Daud, Ahmad Rizki
11. Tim Penelitian Cici Septiani, Muhammad Yahya, Kurnia Agung.
12. Kepada Hanalin Aprisela, Syamzal Alkhanovid, dan Sheina Zahrani selaku ayuk dan adik-adik penulis yang selalu direpotkan mulai dari penelitian hingga selesainya skripsi ini.
13. Terakhir berupa ucapan terimakasih pada diri ini yang selalu bekerja keras dan tidak pernah menyerah dalam keadaan apapun.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dari semua pihak dengan balasan yang paling baik dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis secara khusus dan bagi pembaca pada umumnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bandar Lampung, 1 Agustus 2022



Hary Juma Setiawan

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|------------|
| SANWACANA | i |
| DAFTAR ISI..... | iii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | vi |
| I. PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar belakang..... | 1 |
| 1.2. Tujuan penelitian..... | 4 |
| 1.3. Hipotesa | 4 |
| 1.4. Batasan masalah | 5 |
| 1.5. SistematikaPenulisan..... | 5 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1. Titanium | 7 |
| 2.2. Titanium Paduan (Ti 6Al 4V- ELI)..... | 9 |
| 2.3. Pemesinan Titanium dan Paduannya | 10 |
| 2.4. Pemesinan..... | 12 |
| 2.5. Pemesinan Bubut..... | 13 |
| 2.6. Proses Pembuatan Ulir | 18 |
| 2.7. Cutting Fluid | 22 |
| 2.8. Ulir | 23 |
| 2.9. Pengukuran Ulir | 27 |
| 2.10. <i>Design and Analysis of Experiment (DOE)</i> | 30 |
| 2.11. Metode Taguchi..... | 33 |
| 2.12. Anova | 37 |

| | |
|--------------------|----|
| 2.13. P-Value..... | 38 |
|--------------------|----|

III. METODE KERJA PRAKTIK

| | |
|--|----|
| 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian | 40 |
| 3.2. Alur Penelitian..... | 41 |
| 3.3. Alat dan Bahan | 42 |
| 3.4. Prosedur Penelitian..... | 48 |

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1. Hasil | 55 |
| 4.2. Optimasi Parameter Pemotongan untuk Kesalahan Diameter Mayor Menggunakan Metode Taguchi | 56 |
| 4.3. Optimasi Parameter Pemotongan untuk Kesalahan Diameter Minor Menggunakan Metode Taguchi | 64 |
| 4.4. Tes Prediksi | 72 |

V. PENUTUP

| | |
|---------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 74 |
| 5.2 Saran | 75 |

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 contoh orthogonnal array $L_9(3^3)$ | 37 |
| 3.1 Tensile test paduan Titanium Ti-6Al-4V ELI | 43 |
| 3.2 Sifat Mekanik Titanium | 43 |
| 3.3 Spesifikasi alat | 46 |
| 3.4 Nilai Viskositas Pelumas Jenis Kelapa Sawit Yang Digunakan | 47 |
| 3.5 Spesifikasi Minyak <i>Synthetic Oil</i> (Sk Super Bearing 46) | 47 |
| 3.6 Spesifikasi Profi Projector | 48 |
| 3.7. Parameter Pengujian..... | 49 |
| 3.8 urutan pengerjaan ulir | 50 |
| 3.9Tabel hasil pengukuran specimen | 51 |
| 4.1 Tabel hasil pengukuran spesimen | 56 |
| 4.2 data S/N Rasio kesalana diameter mayor..... | 58 |
| 4.3 <i>analysis of variance for S/N</i> rasio diameter mayor..... | 59 |
| 4.4 mean response S/N rasio kesalahan diameter mayor | 60 |
| 4.5 data S/N Rasio kesalana diameter minor | 66 |
| 4.6 <i>analysis of variance for S/N</i> rasio diameter minor | 67 |
| 4.7 mean response S/N rasio kesalahan diameter minor..... | 68 |
| 4.8 data selisi S/N rasio..... | 72 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 2.1. Titanium..... | 7 |
| 2.2. Struktur kristal titanium pada tingkat atom | 9 |
| 2.3. Beberapa proses pemesinan | 13 |
| 2.4. 4. Mesin bubut..... | 14 |
| 2.5. Proses pada mesin bubut..... | 15 |
| 2.6. Skematis proses bubut..... | 16 |
| 2.7. Nama-nama bagian ulir..... | 18 |
| 2.8. Dimensi ulir metris | 19 |
| 2.9. Pahat ulir metris untuk ulir luar dan ulir dalam | 19 |
| 2.10. Penyesuaian posisi pahat ulir luar dan dalam | 20 |
| 2.11. Proses pembuatan ulir luar dengan menggunakan pahat sisipan..... | 22 |
| 2.12. Ulir tunggal dan ulir ganda | 25 |
| 2.13. Jenis ulir menurut bentuk sisi ulir..... | 26 |
| 2.14. Dimensi pada ulir..... | 28 |
| 2.15. Tabel Standar Ulir Metrik Normal | 29 |
| 2.16. Notasi Orthogonal array | 36 |
| 3.1. Diagram alur penelitian | 41 |
| 3.2. Material Ti-6Al-4V ELI | 42 |
| 3.3. Dimensi mata pahat ulir..... | 44 |
| 3.4. Mesin bubut CNC | 44 |
| 3.5. Alat CHEN YING Type CEN 01 | 45 |
| 3.6. Profil Projector..... | 48 |
| 3.7. Tahapan desain Taguchi pada Minitab | 52 |
| 3.8. Pop-up desain Orthogonal Array | 53 |

| | |
|---|----|
| 3.9. Proses analisis respon pada minitab | 54 |
| 4.1. Pengujian asumsi residual berdistribusi normal pada diameter mayor .. | 57 |
| 4.2. Grafik main effect plot S/N rasio untuk kesalahan diameter mayor | 61 |
| 4.3. Grafik pengaruh kecepatan potong terhadap kesalahan diameter mayor . | 63 |
| 4.4. Kesalahan diameter mayor (a) kecepatan potong 17,58 m/min, (b) kecepatan potong 25,12 m/min | 64 |
| 4.5. Pengujian asumsi residual berdistribusi normal pada diameter minor ... | 65 |
| 4.6. Grafik main effect plot S/N rasio untuk kesalahan diameter minor | 69 |
| 4.7. Grafik pengaruh kecepatan potong terhadap kesalahan diameter minor.. | 71 |
| 4.8. Kesalahan diameter minor (a) kecepatan potong 17,58 m/min, (b) kecepatan potong 25,12 m/min | 71 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini dalam industri manufaktur membutuhkan solusi yang dapat memproduksi bagian-bagian komponen dalam ukuran mikro, dengan kualitas tinggi dan akurasi yang lebih baik. Salah satu material yang digunakan dalam membuat komponen-komponen dengan ukuran mikro adalah titanium. Titanium merupakan logam transisi dengan densitas yang tinggi dibandingkan dengan logam lainnya. Beberapa fakta yang dimiliki oleh titanium dan paduannya antara lain titanium paduan tahan korosi, ringan dan memiliki ketangguhan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan material lain, memiliki biokompatibel atau kemampuan suatu material untuk dapat ditanamkan dalam tubuh manusia tanpa menimbulkan reaksi negatif sehingga dapat digunakan dalam tubuh manusia, memiliki sifat nonmagnetik dan memiliki kemampuan pasif dengan demikian menunjukkan tingkat kekebalan terhadap material asam dan klorida (Donachie, 2000).

Paduan Ti-6Al-4V ELI memiliki kelebihan di bidang industri dan memiliki kekurangan di proses pemesinan. Kekurangan paduan Ti-6Al-4V ELI yaitu konduktivitas termal yang rendah mengakibatkan panas terakumulasi secara berlebih, serta modulus elastisitas yang rendah. Mengakibatkan material titanium lengket di pahat, serta panas yang berlebih cepat mengalami keausan dan mempengaruhi geometri ulir berubah (Aufadhia, 2020). Beberapa kelaamatan tersebutlah yang menjadi acuan para peneliti untuk

menemukan mekanisme pemotongan yang tepat dalam pemesinan titanium. Para peneliti melakukan beberapa usaha untuk mengantisipasi kelemahan titanium pada saat proses pemesinan, usaha-usahanya antara lain dengan memvariasikan parameter pemotongan, pemilihan media pendinginan, pemilihan mata pahat, dan beberapa usaha lain. Bentuk usaha usaha para peneliti ini bertujuan untuk mendapatkan parameter pemotongan ataupun faktor lain yang dapat membantu mengoptimalkan kualitas hasil pemesinan pada titanium. Proses optimasi dapat melibatkan respon tunggal maupun multi respon. Ketika percobaan yang dilakukan melibatkan multi respon, maka seluruh respon tersebut harus dioptimasi secara simultan. Metode optimasi yang banyak digunakan yaitu metode Taguchi, aplikasi dan teori dari metode ini pada awalnya hanya untuk mengoptimasi respon tunggal (Rahmadani et al., 2012).

Penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh Ibrahim (2014) pengaruh pemesinan kering terhadap kekasaran dan kekerasan permukaan paduan titanium. Pemesinan atau pembubutan dilakukan dalam kondisi kering atau tanpa menggunakan pelumas (*dry machining*) dan pada tingkat kecepatan tinggi menggunakan mesin bubut Colchester T4 6000 CNC dengan menggunakan parameter kecepatan potong 55 m/min, 75 m/min, 90 m/min dan kadar pemakanan 0,15 mm/rev, 0.25 mm/rev, 0.35 mm/rev dan kedalaman potong 0.10 mm, 0.15 mm, 0.20 mm. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil pemesinan paduan titanium Ti-6Al-4V ELI menggunakan pahat karbida yang dilapisi dan tidak dilapisi dalam keadaan kering adalah bahwa nilai kekasaran permukaan sangat ditentukan oleh kadar suapan dan juga jari-jari ujung pahat potong. Tiga langkah trend-line dari grafik nilai kekasaran permukaan yakni nilai kekasaran permukaan tinggi pada awal pemotongan, stabil pada tahap kedua dan cenderung menurun hingga ke akhir umur pahat. Pada penelitian Ibrahim proses pemesinan yang dilakukan yaitu bubut biasa dengan diameter yang lebih besar maka dari itu kecepatan potong perlu diperkecil agar sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Selanjutnya pada penelitian Suseno et. al., (2019) pengaruh parameter pemotongan pada proses bubut ulir (*threading*) terhadap kepresisian geometri ulir magnesium paduan AZ31 menggunakan kecepatan spindel 212 rpm, 318 rpm, 424 rpm dan kedalaman potong 0.324761mm, 0.433015mm, dan 0.649523mm dan diameter yang di gunakan 22 mm. Dan mendapatkan hasil Nilai kesalahan tinggi ulir minimum yaitu 0.018188 mm didapatkan pada parameter kecepatan spindel 424 rpm dan kedalaman potong 0.46 mm. Nilai kesalahan jarak puncak ulir (*pich*) minimum yaitu 0.0205 mm didapatkan pada parameter kecepatan spindel 212 rpm dan kedalaman potong 0.6133 mm. Nilai kesalahan sudut minimum yaitu 0.603 didapatkan pada parameter kecepatan spindel 212 rpm dan kedalaman potong 0.31 mm. Bentuk profil permukaan ulir terbaik yaitu dengan sedikit chattering mark dan feed mark didapatkan pada parameter kecepatan spindel 424 rpm dan kedalaman potong 0.31 mm.

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Ibrahim (2014) diameter yang dilakukan masih terlalu besar dan tidak sesuai dengan standar kebutuhan industri manufaktur yang berukuran mikro. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian menggunakan diameter yang lebih kecil dan sesuai kebutuhan industri yang berukuran mikro. Karena untuk mendapatkan ulir berukuran mikro yang presisi sangatlah sulit dan memakan waktu dan biaya yang banyak, oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan parameter optimal pemesinan titanium berdiameter kecil agar membantu industri manufaktur ulir dapat menghemat biaya dan waktu pembuatan ulir secara presisi.

Hal tersebut yang menjadi acuan penulis dalam mengangkat topik Optimasi parameter pemesinan ulir titanium terhadap diameter mayor dan diamter

minor menggunakan metode Taguchi. Penelitian ini akan membuat komponen ulir luar dengan material Ti6Al4V ELI menggunakan design of experiment yaitu *Orthogonal array* L9, dengan variasi kecepatan potong 17.58, 21.35, 25.12 m/min dan kedalaman potong 0.085, 0.108, 0.143 mm, pemesina bubut ulir yang digunakan yaitu pemesinan kering, menggunakan pelumas minyak sawit, dan minyak sintetis, serta diameter ulir M4×0.7, kemudian data karakteristik kepresisian geometri ulirnya akan dioptimasi dengan metode Taguchi.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan kondisi optimal parameter pemotongan terhadap kepresisian diameter mayor dan minor ulir pada proses *threading* Ti6Al4V ELI menggunakan Metode Taguchi. Parameter yang digunakan yaitu kecepatan potong, kedalaman makan, dan jenis pendingin.

1.3 Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini adalah:

1. H0 : Ada faktor yang paling dominan berpengaruh terhadap *single* respon.
2. H1 : Tidak ada faktor yang paling dominan berpengaruh terhadap *single* respon.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga arah tujuan dari penelitian ini maka penulis membatasi pembahasan masalah pada kriteria berikut :

1. Material yang akan digunakan adalah Titanium paduan Ti6Al4V ELI
2. Pemesinan yang dilakukan menggunakan mesin CNC *turning* dengan proses *threading*
3. Pengambilan data dimensi dan geometri ulir menggunakan *Profil Projector*
4. Proses optimasi data menggunakan Metode Taguchi berdasarkan 2 karakteristik yang diamati, yaitu kesalahan diameter mayor dan minor.
5. Pelumas yang digunakan yaitu minyak sawit dan minyak sintetik

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Pada bab ini terdiri dari latar belakang yang menjadi penulisan penelitian ini, yaitu berisikan tentang perlunya kajian tentang kepresisian ulir pada pemesinan Ti6Al4V ELI, dengan tujuan yaitu mendapatkan pengaruh parameter pemotongan terhadap geometri dan kepresisian ulir pada proses *threading* Ti6Al4V ELI, serta batasan masalah yang diberikan adalah material yang digunakan menggunakan Ti6Al4V ELI, pemesinan yang dilakukan adalah bubut ulir (*threading*) dan pengambilan data dimensi ulir menggunakan *profil projector*, dan yang terakhir adalah sistematika penulisan yang berisikan pendahuluan, tinjauan pustaka, metode penelitian, data dan pembahasan, penutup serta daftar pustaka.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Berisi tentang magnesium dan sifat-sifatnya, proses pemesian, pemesian Ti6Al4V ELI, pemesian bubut, parameter pemesian bubut, pemesian bubut ulir (*threading*), jenis-jenis ulir, pengukuran ulir, kesalahan ulir.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alur penelitian, alat dan bahan, serta prosedur penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini.

4. Bab IV Data dan Pembahasan

Bab ini berisikan hasil dan pembahasan dari data-data yang diperoleh saat penelitian, serta analisa data dari semua parameter yang diambil.

5. Bab V Penutup

Bab ini berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dari semua analisa dan percobaan yang dilakukan serta saran yang berisi informasi agar dilakukan padapenelitian selanjutnya.

6. Daftar Pustaka

Memuat daftar referensi-referensi yang digunakan penulis dalam penulisan laporan penelitian.

7. Lampiran

Pada lampiran memuat data perlengkapan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Titanium

Titanium adalah sebuah unsur kimia yang dalam tabel periodik memiliki simbol Ti dan nomor atom 22. Unsur ini merupakan logam transisi yang kuat, ringan, berkilau, tahan korosi (termasuk tahan terhadap air laut, aqua regia, dan klorin) dengan warna putih metalik keperakan (Wima, 2017).



Gambar 2.1 Titanium (Wima, 2017).

Titanium dapat digunakan sebagai paduan dengan aluminium, besi, vanadium dan molybdenum, untuk memproduksi paduan yang kuat

namun ringan untuk penerbangan, militer, proses industri (kimia dan petrokimia, pabrik desalinasi, pulp dan kertas), otomotif, agro industri, alat kedokteran, implan ortopedia, peralatan dan instrument dokter gigi, implan gigi, alat olahraga, perhiasan, telepon genggam dan masih banyak aplikasi lainnya (Wima, 2017). Dua sifat yang paling berguna pada titanium yaitu ketahanan terhadap korosi dan rasio kekuatan terhadap densitasnya yang paling tinggi di antara semua logam lain. Pada kondisi murni, titanium sama kuat dengan beberapa baja, namun lebih ringan (Wima, 2017).

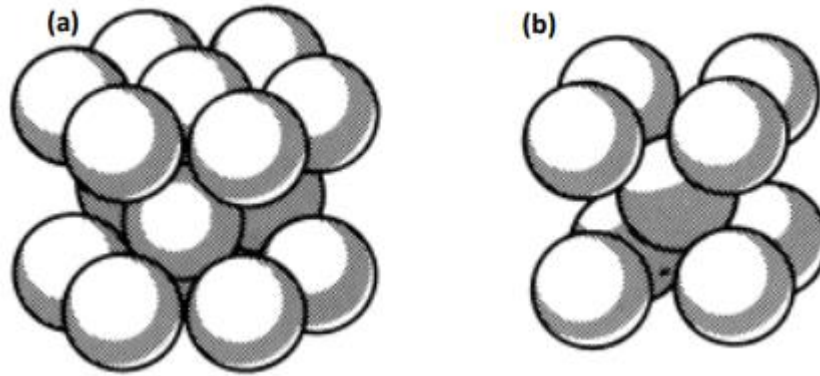
Pada saat ini titanium sudah banyak digunakan dalam industri karena keunikan dari sifat yang dimiliki oleh logam ini. Keunikan ini lebih unggul dibandingkan dengan logam lainnya seperti aluminium, baja dan superalloy. Beberapa fakta yang dimiliki oleh titanium dan paduannya antara lain (Donachie & Matthew,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

- a. Densitas yang dimiliki titanium hanya berkisar 60% dari baja, nikel, atau superalloy.
- b. Titanium paduan dapat digunakan pada suhu sekitar 538°C sampai 595°C (1000°F hingga 1100°F), tergantung pada komposisinya. Beberapa paduan titanium (titanium aluminides) mungkin memiliki kemampuan bertahan diatas suhu ini.
- c. Titanium sangat tahan korosi. Bahkan lebih baik dari stainless steel yang beredar dipasaran.
- d. Titanium memiliki sifat biokompatibel yang baik sehingga dapat digunakan didalam tubuh manusia.

2.2 Titanium Paduan (Ti 6Al-4V ELI)

Titanium pada umumnya merupakan elemen allotropik atau logam yang memiliki lebih dari satu bentuk kristalograpi. Pada suhu kamar, titanium memiliki struktur kristal heksagonal (Hexagonal closed Packed, HCP) yang disebut sebagai fase alpha. Struktur ini akan berubah

menjadi struktur kubik berpusat (BCC) pada saat dipanaskan dengan temperatur 888°C (1621°F), struktur ini disebut juga sebagai fase beta.



Gambar 2.2 Struktur kristal titanium pada tingkat atom (a. heksagonal) dan (b. Kubik) (Donachie, 2000).

Titanium 6Al-4V ELI merupakan titanium yang berada pada fase alpha-beta. Komposisi kimia dari paduan titanium 6Al-4V ELI adalah; C=0.11%, Si=0.03%, Fe=0.18%, Al=6.1%, N=0.007%, V=4.0%, S=0.003%, O=0.11%, H=0.031%, Y=0.005% dan sisanya adalah Titanium. Titanium jenis ini biasanya digunakan untuk pressure vassel, baling-baling turbin gas pesawat dan implan biomedis. Titanium 6Al-4V ELI memiliki kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik serta memiliki ketahanan terhadap korosi.

Titanium 6Al-4V ELI memiliki beberapa kelebihan antara lain massa yang lebih ringan jika dibandingkan dengan baja dengan tingkat kekerasan yang sama, memiliki kemampuan pasif dan dengan demikian menunjukkan tingkat ketahanan terhadap mineral, asam, protein dan klorida. Titanium murni nontoxic dan beberapa paduan titanium umumnya memiliki kompatibilitas dengan jaringan dan tulang manusia karena tahan terhadap korosi, serta memiliki kekuatan yang baik dibanding almunium dan baja selain itu titanium paduan juga memiliki sifat biokompatibel atau kemampuan suatu material untuk dapat di tanamkan dalam tubuh manusia tanpa menimbulkan reaksi negatif terhadap sistem biologi tubuh makhluk hidup. Dari material implan yang telah di ambil dan dipelajari tingkat korosi yang terjadi sangat

kecil sehingga titanium paduan cocok untuk dijadikan implan biomaterial (Enderle & Bronzino, 2000 : Fariza, 2017).

2.3 Pemesinan Titanium dan Paduannya

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

1. Konduksi panas

Titanium merupakan konduktor panas yang kurang baik. Panas yang dihasilkan oleh pemotongan tidak berpindah dengan cepat. Oleh karena itu, sebagian besar panas terkonsentrasi pada tepi pemotongan dan permukaan tool. Sehingga umur tool dapat terpengaruh.

2. Sifat paduan

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

3. Modulus elastisitas

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

4. Rentan kerusakan permukaan

5. Karakteristik pekerjaan pengerasan

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

2.4 Pemesinan

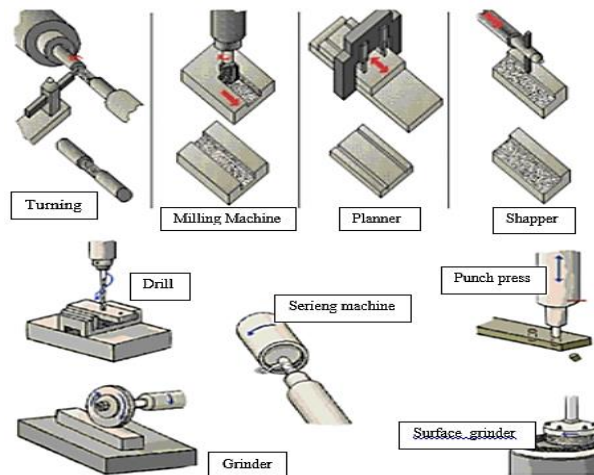
Pemesinan merupakan proses produksi yang menggunakan mesin perkakas dengan memanfaatkan gerakan relatif antara benda kerja dengan pahat dan menghilangkan bagian yang tidak diinginkan yang menjadi sisa dari pengerjaan produk yang disebut geram, sehingga menghasilkan suatu produk sesuai dengan hasil geometri yang diinginkan (Widarto, 2008). Proses pemesinan adalah teknik pembentukan dengan cara membuang bagian material yang tidak diperlukan menggunakan perkakas, dalam proses pemesinan ini, perkakas bersifat tajam, karena fungsinya membuang material dengan menyayat benda kerja dengan ketebalan tertentu (Kalpakjian, 2001).

Prinsip kerja dari proses pemesinan ini adalah dengan cara menempatkan benda kerja yang akan dipotong di atas meja potong. Supaya benda tetap diam dan tidak bergerak maupun bergeser saat proses pemesinan berlangsung, digunakan komponen pencekam. Jika benda kerja tidak dalam keadaan kondisi kaku pada saat proses pemesinan berlangsung, dapat menyebabkan kerusakan geometri komponen atau merusak ketelitian.

Proses pemesinan diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar yaitu proses pemesinan untuk bentuk silindris dan konis, dimana klasifikasi pemesinan yang pertama untuk mendapatkan bentuk silindris menggunakan benda kerja atau pahat yang berputar, sedangkan klasifikasi pemesinan yang kedua untuk mendapatkan permukaan yang datar menggunakan pahat yang berputar atau bergerak sedangkan benda kerja diam (Widarto, 2008; Suseno, 2019).

Dalam proses pemesinan jika kita ingin melakukan suatu pekerjaan, maka perlu kita ketahui terlebih dahulu dengan mesin apa yang semestinya kita gunakan sehingga produk yang kita buat sesuai

dengan yang diinginkan. Beberapa jenis proses mungkin dapat dilakukan pada satu mesin perkakas.



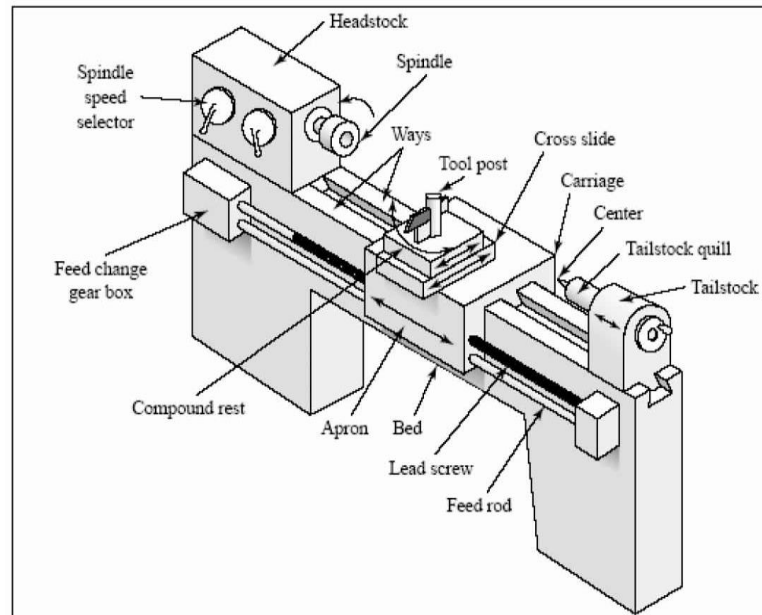
Gambar 2.3 Beberapa proses pemesinan (Suseno, 2019).

2.5 Pemesinan Bubut

Pemesinan bubut pada umumnya digunakan untuk melakukan pemesinan pada benda kerja untuk mendapatkan bentuk yang silindris maupun konis, proses pemesinan bubut adalah dimana benda kerja yang berputar akan dipotong oleh pahat mata tunggal untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan, dan melepas bagian dari benda kerja yang tidak diinginkan. Menurut definisi ASM Internasional, proses bubut adalah proses pemesinan konvensional untuk membentuk permukaan yang dilakukan oleh pahat terhadap benda kerja yang berputar, hal ini dirancang supaya benda kerja dapat dipotong sesuai dimensi dan toleransi yang diinginkan sesuai dengan rancangan teknisnya (Setyawan, 2014)

Proses pembubutan dilakukan dengan langkah memasang benda kerja

pada cekam yang dipasang di ujung poros utama spindel, dan mengatur lengan yang terdapat pada kepala diam, untuk memilih putaran poros (n) yang sesuai, umumnya disesuaikan dengan spesifikasi pahat yang digunakan. Harga putaran poros utama biasanya dibuat bertingkat dengan standar yang sudah ada, misalnya : 83, 150, 270, 550, 1020 dan 1800 rpm.



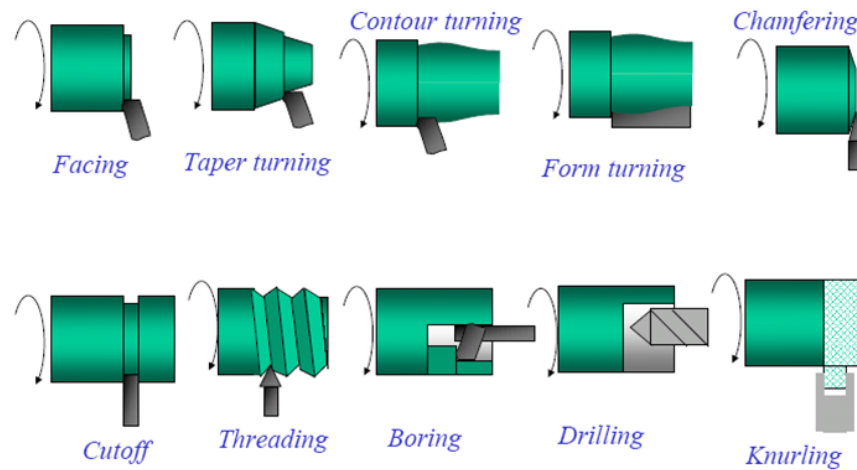
Gambar 2.4 Mesin bubut (Sumber : Widarto, 2008: Suseno, 2019)

Kecepatan pemotongan dilakukan oleh benda kerja yang bergerak memutar atau rotasi, sedangkan gerak makan dilakukan oleh pahat yang melakukan gerak translasi. Pahat dipasangkan padaudukan pahat dan kedalaman potong (d) diatur dengan menggeserkan tuas silang melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter) dengan demikian kedalaman gerak translasi dan gerak makannya diatur dengan lengan pengatur pada rumah roda gigi. Gerak makan (f) yang tersedia pada mesin bubut dibuat bertingkat dengan aturan yang telah distandarkan.

2.5.1 Jenis operasi bubut

Ada berbagai macam jenisnya operasi bubut, hal ini dibedakan berdasarkan posisi benda kerja dan bentuk pahat yang digunakan, berikut adalah jenis operasi bubut : Pemotongan (*Cut-off*), Pengerjaan tepi/bubut muka (*facing*), Bubut inti (*trepanning*), Bubut Alur (*grooving*), Pembubutan silindris (*turning*), Bubut Ulir

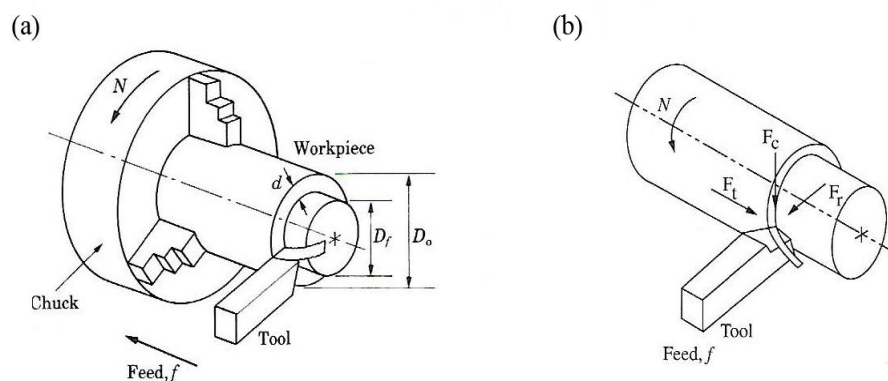
(*threading*), Meluaskan lubang (*boring*), Bubut bentuk (*Forming*), dan Bubut konis.



Gambar 2.5 Proses pada mesin bubut (Sumber : Purnomo, 2017 : Hariyanto, 2015)

2.5.2 Parameter proses bubut

Pemesinan bubut memiliki beberapa parameter utama diantaranya, parameter utama tersebut akan sangat berpengaruh terhadap hasil dari produk yang telah dibubut. Kita dapat menentukan parameter utama yang dibutuhkan dengan persamaan-persamaan berikut, dan Gambar 4. menunjukkan skema dari proses bubut.



Gambar 2.6 Skematis proses bubut (Kalpakjian, 1995)

Keterangan :

- D_o = Diameter mula (mm)
- D_f = Diameter akhir (mm)
- l_t = Panjang pemotongan (mm)
- d = Kedalaman potong (mm)
- f = Gerak makan (mm/putaran)
- N = Putaran poros utama (putaran/menit)

1. Kecepatan Potong

Parameter pertama yang akan dibahas adalah kecepatan potong, pada proses bubut kecepatan potong dapat didefinisikan sebagai kerja rata-rata pada sebuah titik lingkaran terhadap pahat potong dalam satu menit. Nilai kecepatan potong dipengaruhi diameter benda kerja dan kecepatan spindel. Semakin besar diameter benda kerja dan nilai kecepatan spindel maka semakin besar juga kecepatan potongnya. Sederhananya kecepatan potong diasumsikan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar (Purnomo, 2017).

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000}; \text{ m/menit} \quad (1)$$

Dimana

V_c : kecepatan potong

d : diameter workpiece

n : kecepatan putar.

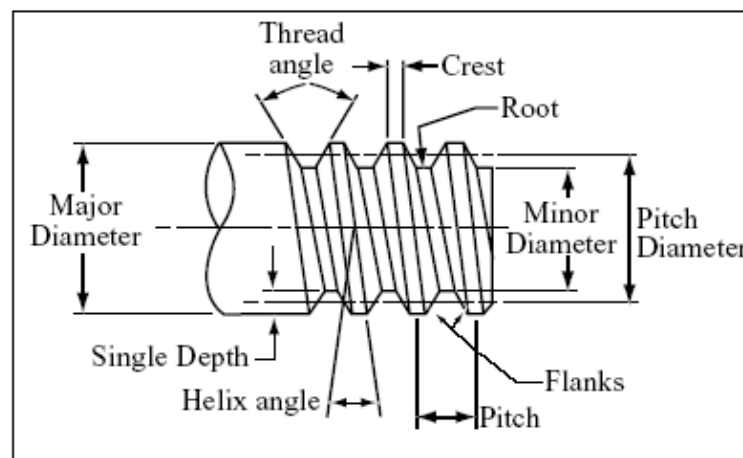
2. Kedalaman potong

Kedalaman potong adalah kedalaman benda kerja yang diambil oleh pahat potong. Pada pemesinan bubut, kedalaman potong maksimum tergantung pada kondisi dari mesin, tipe pahat potong yang digunakan, dan kemampuan benda kerja untuk dilakukan pemesinan (*machineability*) (Rochim, 1993). Rumus kedalaman potong adalah :

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

2.6 Proses Pembuatan Ulir

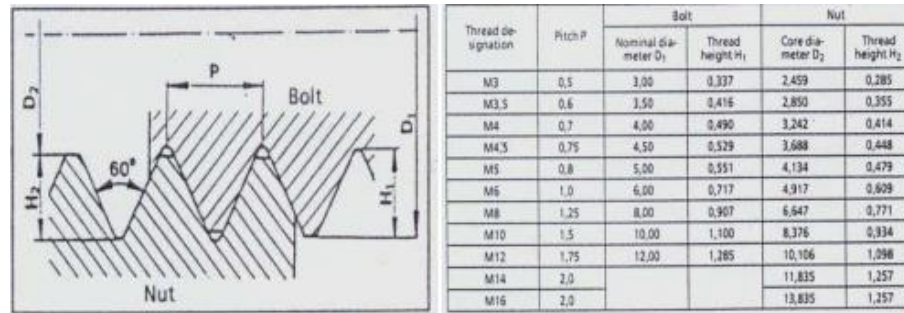
Proses pembuatan ulir bisa dilakukan pada mesin bubut. Pada mesin bubut konvensional (manual) proses pembuatan ulir kurang efisien, karena pengulangan pemotongan harus dikendalikan secara manual, sehingga proses pembubutan lama dan hasilnya kurang presisi. Dengan mesin bubut yang dikendalikan CNC proses pembubutan ulir menjadi sangat efektif dan efisien, karena sangat memungkinkan membuat ulir dengan kisar (*pitch*) yang sangat bervariasi dalam waktu relatif cepat dan hasilnya presisi. Nama-nama bagian ulir segi tiga dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Nama-nama bagian ulir (Sumber : Rahdiyanata,2010)

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

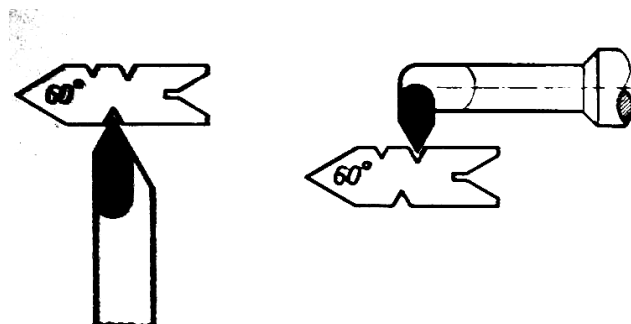
Whitworth sudut ulir 55° . Identifikasi ulir biasanya ditentukan berdasarkan diameter mayor dan kisar ulir. Misalnya ulir M4x0,7 berarti ulir metris dengan diameter mayor 4 mm dan kisar (*pitch*) 0,7 mm (Rahdiyanata,2010)



Gambar 2.8 Dimensi ulir metris (sumber: Rahdiyanta 2010)

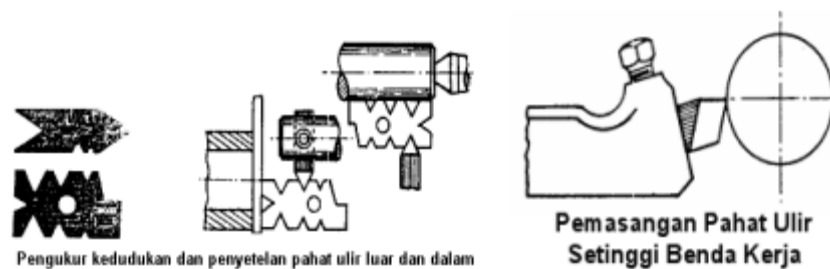
2.6.1 Pahat Ulir

Pada proses pembuatan ulir dengan menggunakan mesin bubut manual pertama-tama yang harus diperhatikan adalah sudut pahat. Ditunjukkan 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 (Rahdiyanata,2010).



Gambar 2.9 Pahat ulir metris untuk ulir luar dan ulir dalam (Sumber : Rahdiyanata,2010)

Setelah pemilihan pahat, kemudian dilakukan pengaturan posisi pahat terhadap benda kerja. Setting ini dilakukan terutama untuk mengecek posisi ujung pahat terhadap sumbu mesin bubut atau sumbu benda kerja, agar diperoleh sudut ulir yang simetris terhadap sumbu yang tegak lurus sumbu benda kerja.



Gambar 2.10 Penyesuaian posisi pahat ulir luar dan dalam
(Sumber: Rahdiyanta, 2010)

2.6.2 Parameter Pemotongan Ulir

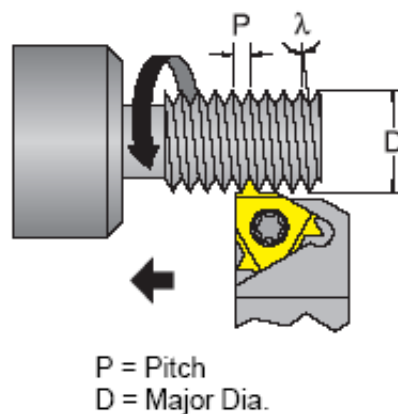
Parameter pemesinan untuk proses bubut ulir berbeda dengan bubut rata. Hal tersebut terjadi karena pada proses pembuatan ulir gerak makan (f) adalah kisar (*pitch*) ulir tersebut, sehingga putaran spindel tidak terlalu tinggi (secara kasar sekitar setengah dari putaran spindel untuk proses bubut rata).

2.6.3 Langkah Penyayatan Ulir

Agar dihasilkan ulir yang halus permukaannya perlu dihindari kedalaman potong yang relatif besar. Walaupun kedalaman ulir kecil (misal untuk $M4 \times 0.7$ dalamnya ulir 0,4291 mm) proses penyayatan tidak harus dilakukan sekali langkah, biasanya dilakukan antara 5-10 kali penyayatan ditambah 3 kali penyayatan kosong (penyayatan pada diameter terdalam). Hal tersebut dilakukan karena pahat ulir menyayat dalam bentuk V, agar diperoleh hasil yang presisi dan proses yang tidak membahayakan operator, maka sebaiknya pahat hanya menyayat pada 1 sisi saja (sisi potong pahat sebelah kiri untuk ulir kanan, atau sisi potong pahat sebelah kanan untuk ulir kiri) (Rahdiyanta, 2010).

Adapun proses bubut ulir dilakukan dengan cara, sebagai berikut:

1. Majukan pahat pada diameter luar ulir.
2. Atur ukuran pada eretan atas menjadi 0 mm.
3. Tarik pahat ke luar benda kerja, sekita 10 mm jarak bebas dari benda kerja.
4. Atur handel kisar menurut tabel kisar yang terdapat pada mesin bubut, geser handel gerakan eretan bawah untuk pembubutan ulir.
5. Masukkan pahat dengan kedalaman potong sekitar 0,1 mm.
6. Jalankan mesin sampai panjang ulir yang dibuat terdapat goresan pahat lalu hentikan mesin dan tarik pahat keluar.
7. Periksa kisar ulir dengan kaliber ulir. Jika sudah sesuai lanjutkan proses, jika belum sesuai periksa handel pilihan kisar pada mesin bubut.
8. Gerakkan pahat mundur dengan memutar spindel kearah berlawanan, hentikan setelah pahat berada di depan benda kerja
9. Majukan pahat untuk kedalaman potong selanjutnya dan majukan eretan atas.
10. Ulangi langkah g, sampai kedalaman ulir maksimal tercapai.
11. Setelah selesai proses pembubutan ulir, cek hasil ukuran ulirnya (diameter mayor, diameter minor, kisar, sudut).



Gambar 2.11 Proses pembuatan ulir luar dengan menggunakan pahat sisipan (Sumber : Rahdiyanata,2010)

2.7 *Cutting Fluid*

Cutting fluid yaitu media pendingin pada proses pemesinan yang sering digunakan karena mudah di dapatkan dan lebih efektif dalam menurunkan suhu panas pada saat proses pemesinan akibat gesekan antara pahat dan benda kerja.

2.7.1 fungsi cutting fluid

Dalam proses pemesinan yang menggunakan pelumas, cutting fluid mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. mengurangi gesekan yang terjadi antara cutting tool, benda kerja, dan geram.
2. mengurangi temperatur pada benda kerja dan cutting tool sehingga menghindari terjadinya deformasi thermal.
3. membersihkan geram pada daerah cutting zone.
4. memperpanjang umur cutting tool.
5. mendinginkan benda kerja khususnya pada kecepatan potong tinggi.

2.7.1 jenis cutting fluid

1. minyak sawit
minyak sawit berasal dari mesocarp buah kelapa sawit. Minyak kelapa sawit terdiri atas berbagai trigliserida dengan rantai asam lemak yang panjang dan jenisnya berbeda-beda. Dengan demikian, sifat minyak kelapa sawit ditentukan oleh perbandingan dan komposisi trigliserida tersebut.
2. minyak sintetik
minyak sintetik adalah minyak yang terbuat dari senyawa kimia artificial atau buatan.

2.8 Ulir

Sistem ulir sudah dikenal dan digunakan manusia sejak beberapa abad yang lalu. Ulir yaitu komponen yang digunakan untuk menggabungkan atau menyambung dua buah komponen sehingga gabungan ini menjadi satu kesatuan unit yang memiliki fungsi.

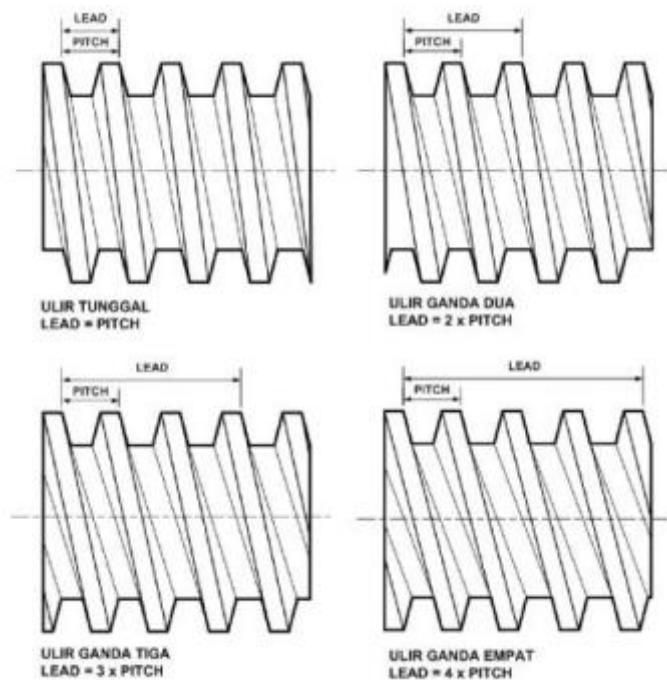
Pada kaitan ini, International Standard Organisation (ISO) pun menciptakan standar sendiri terkait ulir. Tujuan utama dari perubahan dan pengembangan standarisasi ulir ini adalah untuk memperoleh komponen ulir yang memiliki sifat mampu tukar (*interchangeability*) yang luas dan dapat diproduksi dalam skala besar. Sistem ulir telah menjadi faktor penting dalam kemajuan industri pada semua jenis produksi. Makin teliti suatu komponen yang dibuat maka makin teliti juga sistem ulirnya. Untuk mendapatkan hasil ulir maksimal maka harus dipelajari mengenai system pengukuran ulir. Secara umum jenis ulir dapat dilihat dari gerakan ulir, jumlah ulir dalam tiap gang (*pitch*) dan bentuk permukaan ulir. Bisa juga jenis ulir ini dilihat dari standar yang digunakan, misal ulir Whitworth, metrik dan sebagainya.

2.8.1 jenis ulir menurut arah gerakan jenis ulir

Menurut arah gerakan ulir dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu ulir kiri dan ulir kanan. Untuk mengetahui ulir tersebut jenis ulir kiri atau kanan, bisa mengecek dengan cara memutar pasangan dari komponen ulir tersebut misalnya mur, apabila mur di gerakan ke kanan (searah jarum jam) bergerak maju maka ulir tersebut jenis ulir kanan.

2.8.2 Jenis ulir menurut jumlah ulir pitch

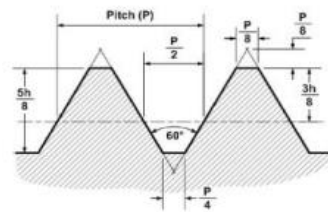
Dilihat dari banyaknya ulir tiap gang (pitch) maka ulir dapat dibedakan menjadi ulir tunggal dan ulir ganda. Ulir ganda artinya dalam satu putaran (dari puncak ulir yang satu ke puncak ulir yang lain) terdapat lebih dari satu ulir, misalnya dua ulir, tiga ulir dan empat ulir. Untuk ulir ganda ini biasanya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



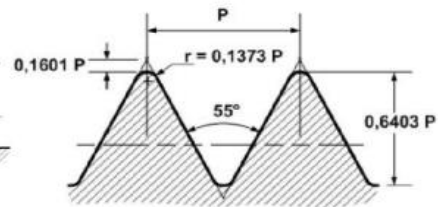
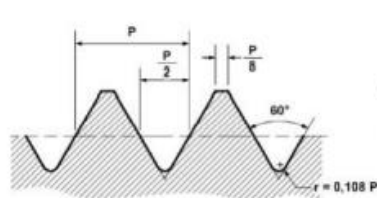
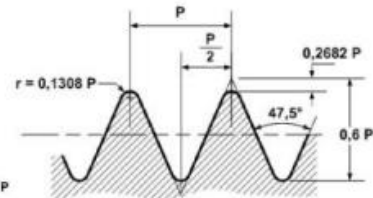
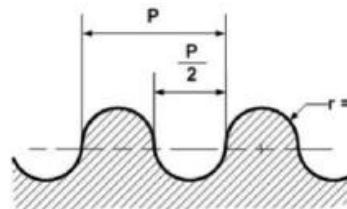
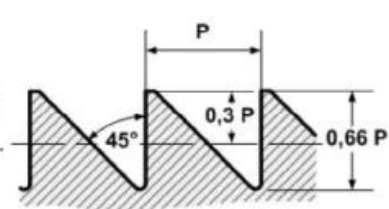
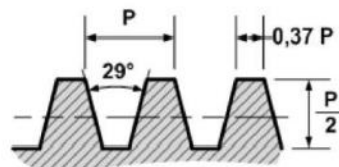
Gambar 2.12 Ulir tunggal dan ulir ganda (Sumber: Munandi, 1980)

2.8.3 Jenis ulir menurut bentuk sisi ulir

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



Ulir metrik (ISO)

Ulir *whitworth*Ulir *unified*Ulir *British Association*Ulir *Knuckle*Ulir *buttress 45°*

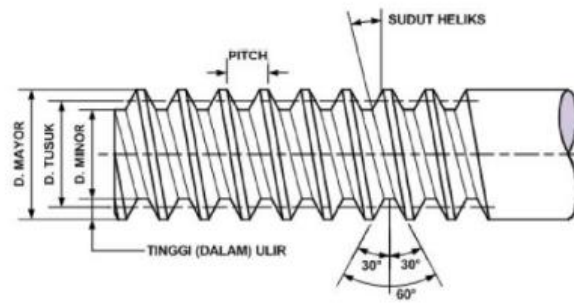
ACME

Gambar 2.13 Jenis ulir menurut bentuk sisi ulir (Sumber: Munandi, 1980).


2.9 Pengukuran Ulir

Pada pengukuran ulir terdapat beberapa istilah penting yang harus dipelajari. Istilah-istilah ini merupakan istilah terkait dimensi ulir. Beberapa istilah penting tentang dimensi ulir:

1. Diameter mayor (dia. luar), yaitu diameter terluar ulir.
2. Diameter minor (dia. inti), yaitu diameter terdalam ulir.
3. Diameter pit (tusuk), yaitu diameter semu yang letaknya diantara diameter mayor dan minor. Pada radius diameter inilah letaknya titik-titik singgung antara pasangan dua buah ulir sehingga pada titik tersebutlah yang akan menerima beban terberat sewaktu pasangan ulir dikencangkan.
4. Pitch, yaitu jarak antara puncak ulir, merupakan dimensi yang cukup berpengaruh dalam pasangan ulir. Karna jika jarak pitch yang satu dengan yang lain tidak sama maka ulir ini tidak bisa dipasangkan dengan pasangan ulirnya. Kalaupun bisa tentu harus dengan paksaan yang menyebabkan ulir tersebut tidak akan bertahan lama karna beban berlebih.
5. Sudut ulir, yaitu sudut pada kedua sisi permukaan ulir yang satuannya dalam derajat. Untuk American Standard dan ISO sudutnya sebesar 60° dan untuk Whitworth sebesar 45° .
6. Kedalaman ulir yaitu jarak antara diameter mayor dengan diameter minor.

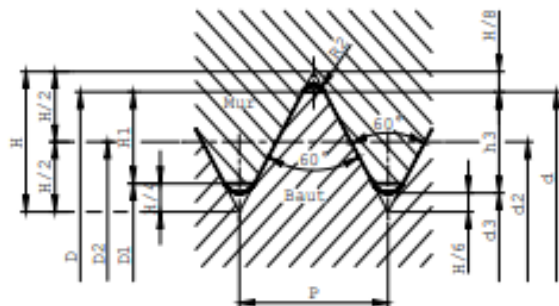


Gambar 2.14 Dimensi pada ulir (Sumber: Munandi, 1980)


PT. PALMART

Tabel Ulir ISO Metrik Normal

ISO 261/68/262/R724



$D_2, d_2 = \text{Dia. tengah}$
 $D_2 = d_2 = d - 0,649 P$
 $D_1 = d - 1,082 P$
 $d_2 = d - 1,226 P$
 $H = 0,866 P$
 $H_1 = 0,541 P$
 $h_2 = 0,613 P$
 $R_1 = 0,144 P$
 $R_2 = 0,072 P$

Penunjukan dari ulir metrik ISO, diameter nominal $d = 5 \text{ mm} : M 5$.

| Diameter nominal $d = D$ | Gang P | Diameter Tengah $d_2 = D_2$ | Baut | | Mur | |
|-----------------------------|-------------|--------------------------------|----------------------------|---|----------------------------|-------------------|
| | | | Diameter terkecil d_3 | Luas tegangan tarik A_s <small>(mm²)</small> | Diameter terkecil D_1 | Diameter mata bor |
| M 1 | 0,25 | 0,838 | 0,69 | 0,46 | 0,73 | 0,75 |
| M 1,2 | 0,25 | 1,038 | 0,89 | 0,73 | 0,93 | 0,95 |
| M 1,6 | 0,35 | 1,373 | 1,11 | 1,27 | 1,22 | 1,25 |
| M 2 | 0,4 | 1,740 | 1,51 | 2,07 | 1,57 | 1,6 |
| M 2,5 | 0,45 | 2,208 | 1,95 | 3,39 | 2,01 | 2 |
| M 3 | 0,5 | 2,675 | 2,39 | 5,03 | 2,46 | 2,5 |
| M 4 | 0,7 | 3,545 | 3,14 | 8,78 | 3,24 | 3,3 |
| M 5 | 0,8 | 4,480 | 4,02 | 14,2 | 4,13 | 4,2 |
| M 6 | 1 | 5,350 | 4,77 | 20,1 | 4,91 | 5 |
| M 8 | 1,25 | 7,188 | 6,47 | 36,6 | 6,65 | 6,8 |
| M 10 | 1,5 | 9,026 | 8,16 | 58,0 | 8,37 | 8,5 |
| M 12 | 1,75 | 10,863 | 9,85 | 84,3 | 10,10 | 10,2 |
| (M 14) | 2 | 12,700 | 11,55 | 115 | 11,83 | 12 |
| M 16 | 2 | 14,701 | 13,55 | 157 | 13,83 | 14 |
| (M 18) | 2,5 | 16,376 | 14,93 | 192 | 15,29 | 15,5 |
| M 20 | 2,5 | 18,376 | 16,93 | 245 | 17,29 | 17,5 |
| (M 22) | 2,5 | 20,376 | 18,93 | 303 | 19,29 | 19,5 |
| M 24 | 3 | 22,051 | 20,32 | 353 | 20,75 | 21 |
| (M 27) | 3 | 25,051 | 23,32 | 459 | 23,75 | 24 |
| M 30 | 3,5 | 27,727 | 25,71 | 561 | 26,21 | 26,5 |
| (M 33) | 3,5 | 30,726 | 28,71 | 693 | 29,21 | 29,5 |
| M 36 | 4 | 33,402 | 31,09 | 817 | 31,67 | 32 |
| (M 39) | 4 | 36,401 | 34,09 | 975 | 34,67 | 35 |
| M 42 | 4,5 | 39,077 | 36,48 | 1120 | 37,13 | 37,5 |
| (M 45) | 4,5 | 42,077 | 39,48 | 1306 | 40,13 | 40,5 |
| M 48 | 5 | 44,752 | 41,87 | 1470 | 42,59 | 43 |
| (M 52) | 5 | 48,752 | 45,87 | 1758 | 46,59 | 47 |
| M 56 | 5,5 | 52,427 | 49,25 | 2030 | 50,04 | 50,5 |
| (M 60) | 5,5 | 56,427 | 53,25 | 2362 | 54,04 | 54,5 |
| M 64 | 6 | 60,102 | 56,64 | 2676 | 57,50 | 58 |
| (M 68) | 6 | 64,102 | 60,64 | 3055 | 61,50 | 62 |

Gambar 2.15 Tabel Standar Ulir Metrik Normal

2.9.1 Analisa Kesalahan Ulir

Kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi ketika membuat ulir dengan menggunakan mesin yaitu: kesalahan diameter mayor, kesalahan diameter minor, kesalahan pitch, kesalahan sudut ulir, kesalahan diameter pitch. Kesalahan sudut sisi luar dan kesalahan pitch, merupakan kesalahan yang berhubungan dengan kesalahan

diameter fungsional.

2.9.2 Pengukuran Diameter Ulir

Untuk pengukuran secara kasar dapat dilakukan dengan menggunakan mistar insut/jangka sorong. Untuk pengukuran yang lebih teliti lagi dapat digunakan mikrometer yang memang khusus untuk mengukur ulir, biasanya digunakan mikrometer pana. Untuk mendapat hasil pengukuran yang lebih teliti lagi, baik dibandingkan dengan menggunakan mistar insut maupun dengan menggunakan micrometer pana, adalah dengan menggunakan alat yang disebut *Floating Carriage (Bench) Micrometer* atau bias juga menggunakan *profil projector*

2.10 Design and Analysis of Experiment (DOE)

Design and Analysis of Experiments (DOE) atau bisa juga disebut desain eksperimen atau perancangan percobaan merupakan ilmu statistik yang banyak digunakan oleh industri-industri di dunia. Aplikasi dari DOE dapat dipakai dalam bidang manajemen, manufaktur, *engineering* dan juga *science*. DOE adalah teknik ampuh yang melibatkan proses perencanaan dan desain suatu percobaan sehingga data yang tepat bisa dikumpulkan dan diolah secara statistik yang pada akhirnya dapat ditarik kesimpulan yang valid (Putra, 2010).

Frayman (2002) membagi jenis-jenis percobaan ke dalam 4 bagian, yaitu *trial and error*, *one factor at a time*, *full factorial* dan *fractional factorial*.

2.10.1. Trial and Error

Pendekatan *trial and error* merupakan metode dimana satu faktor dimanipulasi atau diubah tanpa memperdulikan faktor lainnya. Adapun kelemahan dari metode ini adalah tidak terlalu terbukti kebenarannya, memakan biaya yang tinggi, waktu yang lama, dan tidak efisien.

2.10.2. One Factor at a Time (OFAT)

Percobaan *one factor at a time* (OFAT) biasanya digunakan oleh ahli teknik industry, metode ini disebut juga pendekatan tradisional pada eksperimentasi. Metode ini mengubah satu faktor dan mebiarkan faktor lain konstan. Kelemahannya terkadang

hasil tidak sesuai dengan yang diharapkan, waktu percobaan yang lama, percobaan berjalan tidak efisien dan memungkinkan didapatnya kesimpulan yang salah/keliru. Namun pendekatan ofat ini masih menjadi salah satu metode yang paling populer karna metode ini memungkinkan penentuan penyetelan parameter yang baik.

2.10.3. *Full Factorial*

Percobaan *full factorial* berbeda dengan dua percobaan sebelumnya dimana setiap kombinasi faktor diujicobakan pada level yang berbeda-beda. Metode ini akan memiliki keuntungan dibandingkan dua metode sebelumnya, sebab kesimpulan yang didapat akan lebih akurat karena setiap kombinasi faktor diujicobakan. Akan tetapi, kelemahan dari metode ini adalah waktu yang diperlukan serta biaya yang dikeluarkan akan besar dengan menjalankan semua kombinasi faktor. Pemakaian metode DOE seperti dalam *factorial design* dipercaya lebih akurat dan memiliki banyak kelebihan dibandingkan pendekatan OFAT (*One Factor at a Time*). Adapun kelebihan metode DOE dibandingkan dengan metode OFAT (Anthony, 1998) :

1. Metode DOE bisa mempelajari pengaruh dua atau lebih faktor dari suatu percobaan secara bersamaan. Hal ini dipercaya jauh lebih efektif apabila kita hanya meneliti satu faktor setiap melakukan percobaan seperti yang dipakai dalam pendekatan OFAT.
2. Metode DOE memerlukan lebih sedikit sumber daya (*resources*) seperti jumlah percobaan yang diperlukan, waktu, biaya material dan lain sebagainya.
3. Percobaan OFAT tidak memperhitungkan adanya interaksi atau hubungan antar faktor. Oleh karena itu, hasil akhir yang didapatkan dari pendekatan OFAT tidak akan menggambarkan kondisi yang sebenarnya. Sebaliknya metode DOE dapat memperhitungkan adanya pengaruh interaksi antar faktor.
4. Metode DOE lanjutan juga bisa dipakai untuk mencari strategi terbaik dalam menetapkan nilai untuk tiap level dalam suatu faktor. Hal ini sering dikenal dengan istilah *Response Surface Method*.

5. Pada akhirnya, metode DOE bisa membangun suatu model matematis yang akurat untuk memperkirakan berapa hasil yang dapat dicapai apabila nilai dari tiap level faktor diubah.

2.10.4 Fractional Factorial

Metode ini mengatasi kelemahan metode Full Factorial, dimana banyaknya jumlah eksperimentasi yang digunakan belum tentu dapat diaplikasikan di semua keadaan eksperimen. Apalagi dengan adanya keterbatasan waktu dalam percobaan. Maka metode ini menjalankan hanya sebagian dari tiap kombinasi faktor. Metode ini amat populer dalam dunia industri untuk pengembangan produk dan peningkatan proses. Penggunaan utama metode ini untuk menyeleksi kombinasi percobaan. Salah satu contoh metodenya yaitu Taguchi Method.

2.11 Metode Taguchi

Metode Taguchi dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi. Metode ini berisi tiga tahap yaitu desain sistem, desain parameter dan desain toleransi. Metode Taguchi adalah sebuah metode statistik yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produk. Pada proses pemesinan bubut threading metode ini dapat dipakai untuk menentukan kondisi potong optimal. Taguchi mengembangkan sebuah desain khusus dari orthogonal array untuk mempelajari seluruh parameter pengujian dengan hanya menggunakan sejumlah kecil percobaan. Hasil percobaan ditransformasikan kedalam rasio signal-to-noise ratio (S/N). Kemudian dengan menggunakan rasio S/N sebagai pengukur penyimpangan sifat kualitas dari pendekatan ke nilai yang diharapkan. Taguchi memanfaatkan susunan ortogonal dalam metodenya. Array ortogonal memungkinkan penilaian yang sama dari masing-masing faktor melalui Desain of Experiment (DOE). Menggunakan metode ini memungkinkan eksperimen untuk mengurangi jumlah percobaan yang diperlukan sambil tetap mendapatkan hasil yang valid dan statistik yang baik. DOE dengan metode Taguchi memiliki beberapa langkah, yaitu (Athreya et al., 2012) :

1. Pemilihan variabel / faktor independen.
2. Pemilihan jumlah level dalam setiap variabel independen.
3. Pemilihan orthogonal array

4. Pemilihan performance parameter

Ada tiga kategori dari sifat kualitas dalam analisa dari rasio S/N, yaitu yang lebih rendah yang lebih baik, yang lebih tinggi yang lebih baik dan yang nominal yang lebih baik Taguchi menyatakan suatu prosedur standar untuk mengoptimalkan parameter – parameter proses. Analisis varians adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis varian yang digunakan pada desain parameter berguna untuk mengidentifikasi 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 selalu dapat dipilih nilai level faktor terbesar dan mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Perhitungan rasio S/N tersebut akan menghasilkan karakteristik kualitas, apakah responnya, semakin kecil semakin baik, semakin besar semakin baik atau pula tertuju pada nilai tertentu. Penjelasan dari karakteristik kualitas dalam metode Taguchi adalah sebagai berikut

a. Smaller-the-Better (STB)

Karakteristik kualitas yang menyatakan semakin rendah nilainya maka kualitas semakin baik. Kekasaran permukaan optimum proses pemesinan, dimana semakin kecil kekasaran permukaan semakin baik permukaanya, adalah contoh dari karakteristik kualitas STB. Contoh lainnya adalah keausan pahat potong SN Ratio untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$S/N \text{ Rasio} = -10 \log[X_{ijk}^2] \quad (3)$$

Dimana ;

$X_{i(j)}$ = nilai eksperimen ke -i pada respon ke-j

b. Larger-the-Better (LTB)

Karakteristik kualitas yang menyatakan semakin besar nilainya maka kualitas semakin baik. Contoh dari karakteristik ini adalah

adalah kekuatan material, efisiensi bahan bakar dan lain-lain.

Nilai S/N untuk jenis LTB adalah :

$$SNR_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{\sum_{j=1}^n K_i(j)} \right] \quad (4)$$

Dimana ;

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

c. Nominal-the-Better (NTB)

Karakteristik kualitas yang menetapkan suatu nilai nominal tertentu, jika nilainya semakin mendekati nilai nominal tertentu tersebut maka kualitasnya semakin baik. Contoh dari karakteristik ini adalah clearance, viskositas dan lain-lain.

Nilai S/N untuk jenis karakteristik NTB :

$$SNR_{NTB} = \log[X_i(j) - m^2] \quad (5)$$

Dimana :

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

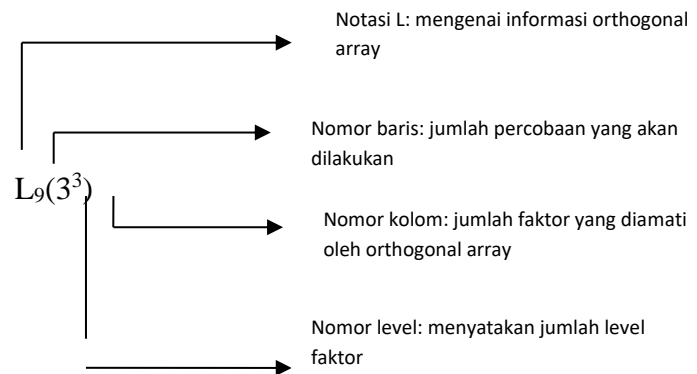
m = nilai target spesifikasi

2.11.1 *Orthogonal Array*

Orthogonal array (OA) adalah sebuah matriks yang digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen yang lebih sedikit dimana hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari faktorial penuh. Dalam metode taguchi digunakan matriks *orthogonal array* untuk menentukan jumlah percobaan minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin tentang variabel-variabel yang dapat mempengaruhi hasil percobaan.

Array disebut orthogonal karena setiap level dari masing-masing faktor adalah seimbang (balance) dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam percobaan.

Pada orthogonal array memiliki notasi yang berguna sebagai pemberi keterangan jenis data yang akan di ambil.



Gambar 2.16 . *Notasi Orthogonal array*

Penentuan derajat bebas berdasarkan pada :

1. Jumlah faktor utama yang diamati dan interaksi yang diamati
2. Jumlah level dari faktor yang diamati
3. Resolusi percobaan yang diinginkan atau batasan biaya

Tabel 2.1 contoh orthogonnal array $L_9(3^3)$

| No | Parameter | | | Diameter mayor | Diameter minor |
|----|-----------|---|---|----------------|----------------|
| | A | B | C | | |
| 1 | 1 | 1 | 3 | | |
| 2 | 1 | 2 | 2 | | |
| 3 | 1 | 3 | 1 | | |
| 4 | 2 | 1 | 3 | | |
| 5 | 2 | 2 | 2 | | |
| 6 | 2 | 3 | 1 | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7 | 3 | 1 | 3 |
| 8 | 3 | 2 | 2 |
| 9 | 3 | 3 | 1 |

2.12. Anova

Analisis varians adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari semua faktor pada semua pengukuran respon. Anova yang digunakan pada desain parameter berguna untuk mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model tepat sasaran.

1. Analisis varian satu arah

Analisis varian satu arah hanya digunakan untuk menentukan varian rata-rata dan galat. Perhitungan analisis varian anova satu arah meliputi, perhitungan jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat karena rata-rata, jumlah kuadrat karena faktor, dan jumlah kuadrat error.

2. Analisis varian dua arah

Analisis varian dua arah digunakan untuk data eksperimen yang terdiri dari dua faktor dan dua level atau lebih. Perhitungan analisis varian dua arah meliputi, perhitungan jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat karena rata-rata, jumlah kuadrat interaksi, jumlah kuadrat error (Soejanto, 2009).

Dalam uji ANOVA dibutuhkan hipotesis yang digunakan sebagai acuan untuk menarik kesimpulan dari hasil analisis yang didapatkan. Adapun anggapan suatu hipotesis sebagai berikut:

1. H_0 adalah faktor yang tidak signifikan dalam mempengaruhi suhu
2. H_a adalah faktor yang mempengaruhi nilai secara signifikan
3. Hipotesa awal jika $F_{hitung} < F_{Tabel}$ maka hipotesa awal ditolak jika $F_{hitung} > F_{Tabel}$ maka hipotesa dapat diterima.

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

2.13. P-value

Definisi p-value adalah tingkat keberartian terkecil sehingga nilai suatu uji statistik yang sedang diamati masih berarti. Misal, jika p-value sebesar 0.021, hal ini berarti bahwa jika H_0 dianggap benar, maka kejadian yang disebutkan di dalam H_0 hanya akan terjadi sebanyak 21 kali dari 1000 kali percobaan yang sama. Oleh karena sedemikian kecilnya peluang terjadinya kejadian yang disebutkan di dalam H_0 tersebut, maka kita dapat menolak statement (pernyataan) yang ada di dalam H_0 . Sebagai gantinya, kita menerima statement yang ada di H_1 .

P-value dapat pula diartikan sebagai besarnya peluang melakukan kesalahan apabila kita memutuskan untuk menolak H_0 . Pada umumnya, p-value dibandingkan dengan suatu taraf nyata α tertentu, biasanya 0.05 atau 5%. Taraf nyata α diartikan sebagai peluang kita melakukan kesalahan untuk menyimpulkan bahwa H_0 salah, padahal sebenarnya statement H_0 yang benar. Kesalahan semacam ini biasa dikenal dengan galat/kesalahan jenis I (type I error, baca = type one error). Misal α yang digunakan adalah 0.05, jika p-value sebesar 0.021 (< 0.05), maka kita berani memutuskan menolak H_0 . Hal ini disebabkan karena jika kita memutuskan menolak H_0 (menganggap statement H_0 salah), kemungkinan kita melakukan kesalahan masih lebih kecil daripada $\alpha = 0.05$, dimana 0.05 merupakan ambang batas maksimal dimungkinkannya kita salah dalam membuat keputusan (Kurniawan, 2008).

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

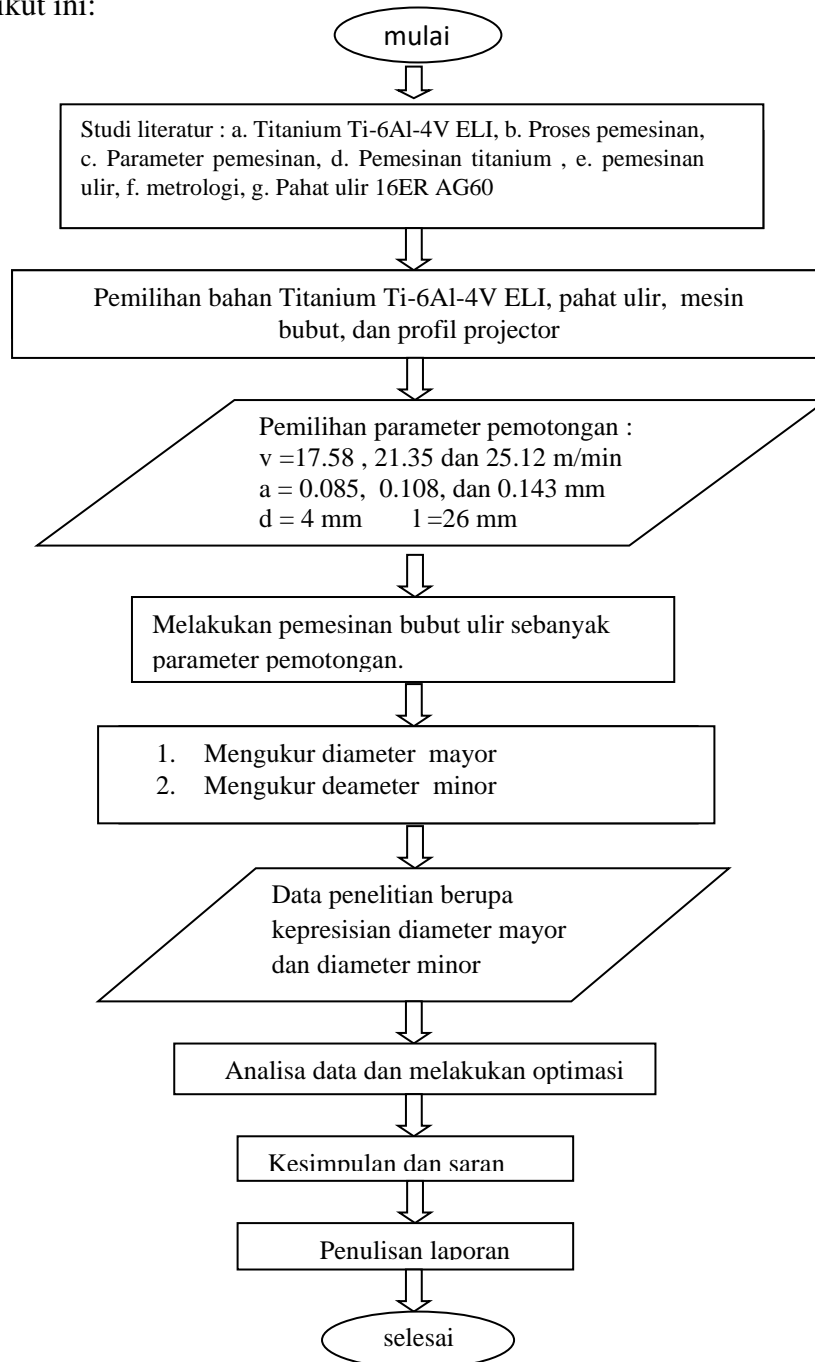
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilakukan di dua tempat yaitu di SMK Negeri 2 Bandar Lampung dan Laboratorium Metrologi Industri Fakultas Teknik Universitas Lampung. Waktu penelitian dilakukan terhitung Oktober 2021 sampai Februari 2022

3.2. Alur Penelitian

Secara garis besar, alur pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada *flowchart*

berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.3. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.3.1 Paduan Titanium Ti 6Al-4V ELI

Bahan benda kerja yang digunakan pada penelitian adalah paduan titanium jenis alpha beta Ti6Al-4V Extra Low Interstitial (Ti-6Al-4V-ELI). Mikrostruktur dari paduan titanium jenis ini adalah pada β dan sekelingnya adalah fasa α fasa equiaxed daerah batas butir.



Gambar 3.2. Material Ti-6Al-4V ELI

Tabel 3.1 Tensile test paduan Titanium Ti-6Al-4V ELI

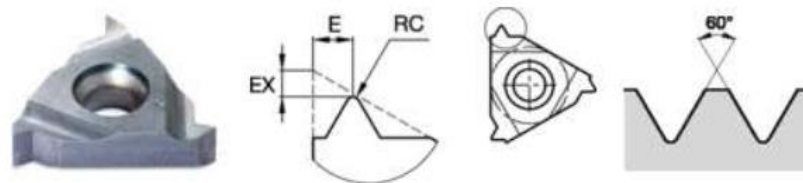
| | |
|------------------------|------|
| Temperature [°C] | 20 |
| Tensile strength [Mpa] | 925 |
| Yield strength [Mpa] | 823 |
| Elongation [%] | 14.5 |
| Reduction of arca [%] | 28 |

Tabel 3.2 Sifat Mekanik Titanium

| Sifat | Keterangan |
|-----------------|------------|
| Modulus young | 116 Gpa |
| Modulus geser | 44 Gpa |
| Modulus ruah | 110 Gpa |
| Nisbah poisson | 0.32 |
| Skala kekerasan | 6 |

3.3.2 Mata pahat ulir

Pada proses pembuatan ulir dengan menggunakan mesin bubut manual pertama-tama yang harus diperhatikan adalah sudut pahat ulir metris dan alat untuk mengecek besarnya sudut tersebut Mata pahat yang akan digunakan adalah matapahat *threading*



| No. Katalog | RC | EX | E | Ukuran insert | Ukuran pitch |
|------------------|------|-----|----|---------------|--------------|
| 16ER AG60 | 0,08 | 1,2 | ,7 | 3 | 0,50 – 3,0 |

Gambar 3.3 Dimensi mata pahat ulir (Hamdan, dkk. 2015)

3.3.3 Mesin bubut CNC

Dalam penelitian ini, mesin bubut digunakan untuk pembentukan awal dari proses pembubutan ulir yaitu membentuk bahan menjadi silindris dengan diameter 4 mm, setelah menjadi silindris mesin bubut ini juga digunakan untuk pembubutan ulir (*threading*) dengan menggunakan pahat yang berbeda. Mesin bubut CNC yang digunakan memiliki bagian-bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut :



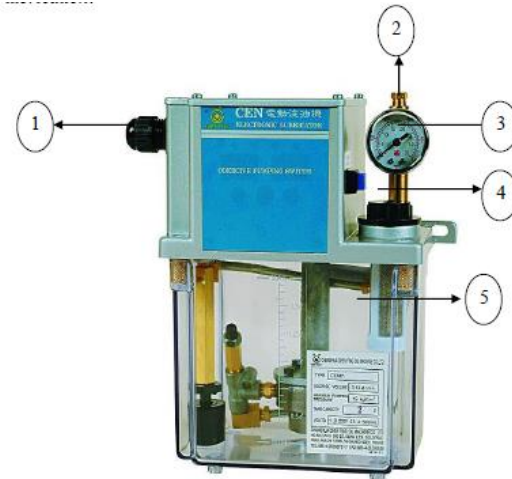
Gambar 3.4. Mesin bubut CNC

Keterangan gambar :

- 1 Tombol emergency
- 2 Kepala Lepas
- 3 Rumah pahat (revolver)
- 4 Cekam
- 5 Eretan
- 6 Panel control CNC
- 7 Meja mesin
- 8 Control lock
- 9 Start
- 10 Badan mesin

3.3.4 Pompa pelumas

CEN 01 adalah jenis mesin yang dapat dikendalikan oleh *ProgrammableLogic Controller* (PLC) dan memiliki alat kontrol tekanan dan telah ditetapkan sebesar 1 Kg/cm², saat suhu mencapai 1000C sensor akan menghentikan kerjamotor. Alat ini bekerja dengan cara memompakan oli yang ada di dalam tempat penampungan keluar dengan bantuan motor listrik



Gambar 3.5 Alat CHEN YING Type CEN 01

Keterangan Gambar :

1. Untuk menghubungkan mesin CHEN YING dengan arus listrik
2. Tempat keluaran oli yang sudah terpompa dari dalam tabung
3. Tekanan keluaran yang akan diperlihatkan oleh *pressure gauge*
4. Tempat memasukkan oli ke dalam tabung penampungan
5. Tempat penampungan oli

Tabel 3.3 Spesifikasi alat

| | |
|------------------------|------------------------|
| Merek | CHEN YING |
| Type | CEN 01 |
| Discharge volume | 0.3 L/min |
| Maximum pressure | 15 kgf/cm ² |
| Tank capacity | 2 L |
| Consumption power | 30 ± 3 w |
| Maximum operation time | 4 min |
| Volt | 1 Ø 220 V, 1A 50 Hz |

3.3.5 Jenis Pelumas

Adapun jenis pelumas yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. minyak sawit

Tabel 3.4 Nilai Viskositas Pelumas Jenis Kelapa Sawit Yang Digunakan (Saputra, 2017)

| No | Jenis pemeriksaan | Satuan | Nilai |
|----|--------------------------------|----------|-------|
| 1 | Viskositas Kinematis (40°) | mm^2/s | 40.17 |
| 2 | Viskositas Kinematis (100°) | mm^2/s | 8.577 |
| 3 | Index viskositas | | 155.2 |
| 4 | Flash point COC | °C | *) |

*) Sampai dengan 320 °C belum terjadi flash point dan sampel

Berasap.

2. minyak sintetik

Tabel 3.5 Spesifikasi Minyak *Synthetic Oil* (Sk Super Bearing 46)

| | |
|---|------------------------|
| Titik didih awal dan rentang didih | 300~580°C |
| Titik nyala (<i>flash point</i>) | Lebih dari 210°C |
| Kepadatan uap | Lebih dari 5 |
| Berat jenis (<i>specivic grafity</i>) | 0..875 (Air = 1) 15 °C |

3.3.6 Profil Projector

Profil projector disini berfungsi sebagai alat untuk mengukur dimensi dari ulir yang akan dibuat, alat ini dapat mengukur diameter minor, diameter mayor, dan juga besar sudut.



Gambar 3.6 Profil Projector

Tabel 3.6 Spesifikasi Profil Projector

| | |
|------------|--------------------------------------|
| Merk | Mitutoyo |
| Type | PJ311 |
| Tahun | 1986 |
| Ketelitian | 1 μ m (linear) dan 1 min (sudut) |

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini :

3.4.1 Persiapan bahan

Paduan Ti 6Al-4V ELI berbentuk silindris yang panjang dipotong terlebih dahulu menjadi ukuran panjang yang sudah ditentukan.

3.4.2 Persiapan mesin bubut

Pada persiapan mesin bubut, yang dilakukan instalasi *set-up* mesin berupa penempatan *holder* yang diletakkan pada dudukan pahat dengan cara melepaskannya dari eretan dengan melepas baut pengikatnya dan

mengatur posisi dari *holder* tersebut seperti tinggi pahat harus sejajar dengan senter. Hal ini sangat perlu dilakukan agar pada saat proses pemotongan pahat yang digunakan tidak cepat rusak. Setelah itu memasang pahat pada mesin bubut, lalu memasang bahan pada cekam dengan kuat hingga kaku. setelah itu memastikan semua komponen berjalan dengan baik dan tidak ada kendala pada mesin maupun spindel

3.4.3 Pemilihan parameter proses *threading*

Pada penelitian ini digunakan desain eksperimentasi taguchi L9 dengan variasi diameter M 4x0.7. Pemesinan dilakukan dengan mesin bubut CNC.

Tabel 3.7. Parameter Pengujian

| Faktor | Level | | |
|--------------------------|--------|--------------|-----------------|
| | | | |
| Kecepatan potong [m/min] | 17.58 | 21.35 | 25.12 |
| Kedalaman potong [mm] | 0.085 | 0.108 | 0.143 |
| Jenis pemesinan | kering | Minyak sawit | Minyak sintetik |

3.4.4 Proses *Threading*

Setelah persiapan mesin bubut CNC selesai langkah selanjutnya yaitu memulai proses *threading* hal pertama yang dilakukan yaitu mengkalibrasi/menentukan titik X0 dan Z0 mesin, dan Memindahkan titik 0 mesin ke ke titik 0 benda kerja, setelah itu Memasukkan data tool/pahat yang akan digunakan pada mesin dan sentuhkan pahat yang akan kita setting pada benda kerja sesuai dengan pahat yang akan kita gunakan. langkah selanjutnya yaitu masukkan data diameter benda kerja dan kemudian masukkan data panjang benda kerja dari cekam. Setelah itu memasukan program *threading* yang telah dibuat sesuai parameter yang telah ditentukan. Alur urutan pengerjaan benda menggunakan metode taguchi orthogonal array L9 seperti tabel dibawah ini:

Tabel 3.8 urutan pengerjaan ulir

| Format | | | |
|---------------|---|---|---|
| Pengerjaan 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 |

3.4.5 Proses pengukuran ulir dengan Profil Projector

Menyiapkan alat ukur profil projector yang telah dikalibrasi, setelah itu menyiapkan spesimen yang telah dilakukan pemesinan, lalu mengatur jarak sumbu x-y pada titik acuan spesimen secara vertikal dan horizontal. Ukur diameter mayor, dan diameter minor pada ulir tersebut.

3.4.6 Data

Setelah semua proses dilakukan, data yang sudah didapat akan diolah dengan metode *full factorial* sehingga dapat diketahui error pada geometri ulir dan dicatat pada tabel hasil pengukuran spesimen seperti ditunjukkan pada Tabel 3.10 dan membuat grafik yang menunjukkan hasil pengaruh parameter pemotongan terhadap kepresisian geometri ulir

Tabel 3.9 Tabel hasil pengukuran spesimen

| No | Kecepatan potong | Kedalaman potong (mm) | Jenis pelumas | Keselahan Diameter Mayor | kesalahan Diameter Minor |
|----|------------------|-----------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 17.58 | 0.083 | kering | | |
| 2 | 17.58 | 0.108 | M. Sawit | | |
| 3 | 17.58 | 0.143 | M. sintetik | | |
| 4 | 21.35 | 0.083 | M. Sawit | | |
| 5 | 21.35 | 0.108 | M. sintetik | | |
| 6 | 21.35 | 0.143 | kering | | |
| 7 | 25.12 | 0.083 | M. sintetik | | |
| 8 | 25.12 | 0.108 | Kering | | |
| 9 | 25.12 | 0.143 | M. Sawit | | |

3.4.7 Metode Taguchi

Setelah data hasil penelitian didapatkan selanjutnya akan dilakukan pengamatan dengan menggunakan metode optimasi Taguchi. Penelitian ini akan mengolah data eksperimental berdasarkan desain *Orthogonal array*, dan dibantu dengan penggunaan *software* Minitab19 untuk menyelesaikan proses pengolahan datanya.

Setelah melakukan eksperiment sesuai matriks desain yang telah ditentukan. Mengambil data kepresisian ulir dengan alat *profile projector*, setelah itu hasil pengukuran dikumpulkan kedalam tabel respon taguchi untuk kemudian dioptimasi data respon tersebut dengan metode taguchi.

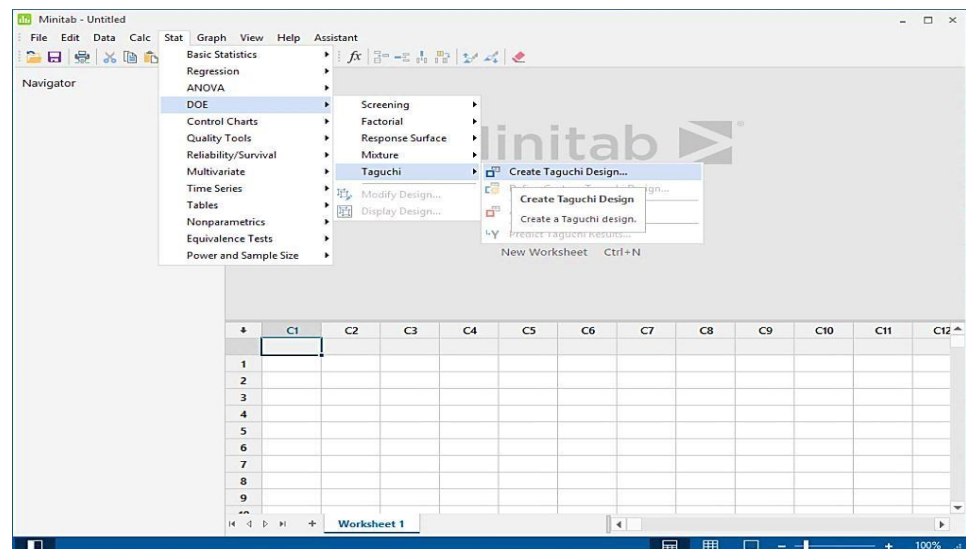
3.4.8 Analisa Data Percobaan

Setelah didapatkan 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:

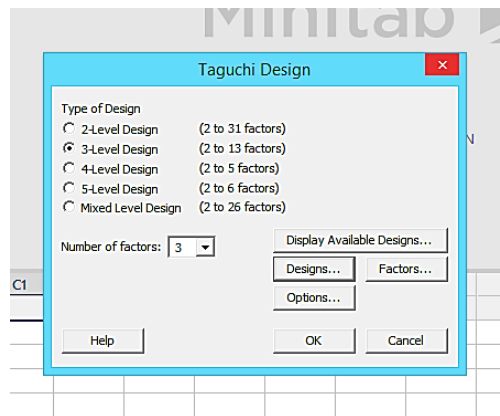
$$S/N \text{ Rasio} = -10 \log[X_{ijk}^2] \quad (3.1)$$

Proses perhitungan S/N Rasio dan *Response mean* nya dilakukan dengan bantuan *software* Minitab19, yaitu yang pertama adalah melakukan setting DOE taguchi dengan menginput level-factor penelitian dengan cara menekan tab *Stat> DOE> Taguchi> Create Taguchi Design*.



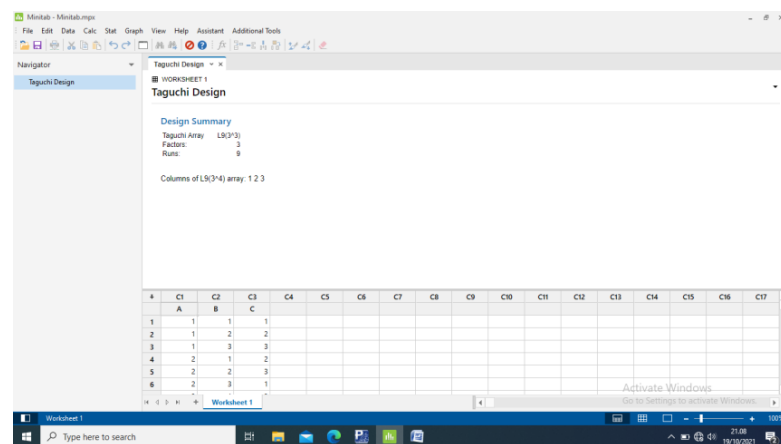
Gambar 3.7 Tahapan desain Taguchi pada Minitab.

Kemudian muncul jendela *pop-up* untuk memilih banyaknya variabel independen dan desain *Orthogonal Array* yang diinginkan. Pada penelitian ini dipilih 3 *factor* dengan 3 level masing-masing, lalu dipilih desain OA L9.



Gambar 3.8 Pop-up desain *Orthogonal Array*

Setelah terbentuk suatu desain orthogonal array L9 pada cell di Minitab, kemudian dimasukkan harga respon pengamatan untuk kemudian dianalisis menggunakan minitab. Untuk menganalisis respon variabel *dependant* nya dengan mengklik tab DOE> Taguchi> *Analyze Taguchi Design*



Gambar 3.10 proses analisis respon pada minitab.

Analisis data selanjutnya yaitu anova, menentukan tabel perengkingan guna menentukan parameter yang paling optimal dari hasil yang didapatkan.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan dalam bab sebelumnya didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis single respon Taguchi, menunjukkan faktor berpengaruh signifikan pada kesalahan diameter mayor ulir yaitu kecepatan potong. Sedangkan faktor berpengaruh signifikan pada kesalahan diameter minor ulir yaitu kecepatan potong dan jenis pelumas.
2. Nilai kesalahan diameter mayor ulir minimum yaitu 0,088 mm didapatkan pada parameter kecepatan potong 25.12 m/min dan kedalaman potong 0,143 mm, jenis pelumas minyak sawit dan semakin tinggi kecepatan potong maka semakin rendah nilai kesalahan ulir.
3. Nilai kesalahan diameter minor ulir minimum yaitu 0,07 mm didapatkan pada parameter kecepatan potong 25.12 m/min dan kedalaman potong 0,083 mm, jenis pelumas minyak sintetik dan semakin tinggi kecepatan potong maka semakin rendah nilai kesalahan ulir.
4. Kondisi pemotongan optimal pada kesalahan diameter mayor yaitu pada parameter kecepatan potong 25.12 m/min (level 3), kedalaman potong 0.143 mm (level 3) dan jenis pelumas minyak sawit (level 2).

5. Kondisi pemotongan optimal pada kesalahan diameter minor yaitu pada parameter kecepatan potong 25.12 m/min (level 3), kedalaman potong 0.085 mm (level 1) dan jenis pelumas minyak sawit (level 2).

5.2 Saran

Dalam penelitian ini penulis memberikan saran dengan tujuan didapatkannya hasil yang lebih baik lagi dalam pengembangan selanjutnya, diantaranya :

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik atau tingkat kesalahan yang rendah dilakukan penelitian dengan parameter kecepatan potong yang lebih tinggi dan jarak antara variasi kecepatan potong yang lebih besar jarak nilainya sehingga didapatkan nilai yang lebih signifikan sebagai hasilnya dan dilakukan menggunakan mesin bubut standar industri.
2. Untuk memvalidasi kesimpulan yang sama dengan optimasi single respon menggunakan Metode Taguchi maka perlu dilanjutkan sampai proses *Grey relation analysis* (GRA)

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, F. 2020. Pengaruh Ketebalan Lapisan terhadap Kekuatan Adhesi Lapisan Hydroxiapatite Bilayers pada Titanium Paduan (Ti6Al4V) ELI dengan Metode Electrophoretic Deposition sebagai Implan pada Tulang. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik - Universitas Andalas Padang
- Agung, M. D. 2014. Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Kepresisian Geometri Ulir Standar Metris Dengan Menggunakan Baja S 45 C Pada Mesin CNC ET 242. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Brawijaya. Malang
- Ardhy. 2021. Crack Analysis on Ti-6Al-4V ELI Coated with Commercial Hydroxyapatite for Implant Material: Literature Review. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering
- Athreya, S., dan Venkatesh, Y.D., 2012. Application Of Taguchi Method For Optimization Of Process Parameters In Improving The Surface Roughness Of Lathe Facing Operation. Xavier Institute of Engineering, University Of Mumbai, India.
- Aufadia. 2020. Kajian Simulasi Fem 3d: Keausan Pahat Twist Drill PadaPemesinan Micro Drilling Material Ti6al4v. Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Fariza. 2017. Evaluasi Dan Analisa Kinerja Sistem Pahat Putar Modular Untuk Pemesinan Peralatan Kesehatan Ortopedi Berbasis Material Titanium 6al-4v Eli. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Hariyanto, Baron. 2015. Kajian Suhu Pemotongan Pemesinan Bubut Menggunakan Pahat Potong Berputar Pada Material Paduan Magnesium AZ31. Tugas Akhir. Universitas Lampung.
- Ibrahim G.A. 2014. Pengaruh Pemesinan Kering Terhadap Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Paduan Titanium. Jurnal Mechanical, Volume 5, Nomor 2, September 2014

Kalpakjian, S. 1995. Manufacturing Process for Engineering and Technology. 3th Edition, Addison Wesley Publishing Company.

Kencanawati, Cok Istri Putri K. 2017. Proses Pemesinan. Teknik Mesin. Universitas Udayana. Bali.

M. J. Donachie. 1988. Titanium: a technical guide. ASM International Metals Park,
Mesin, FTI-ITB. Bandung.

Purnomo, Bagus. 2017. Analisa Nilai Kekasaran Permukaan Magnesium AZ31 Yang Dibubut Menggunakan Pahat Putar Dan Udara Dingin. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Rahdiyanta, Dwi. 2010. Buku 3 Proses Frais (Milling) Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Negeri Yogyakarta.

Rochim, Taufiq. 1993. Teori dan Teknologi Proses Permesinan. Jurusan Teknik

Saputra, Robby. 2017. Kekasaran Permukaan Magnesium AZ31 Yang Difrais Menggunakan Teknik Pelumasan Berkuantitas Minimum (MQL). Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Setiawan, Feny. 2014. Karakterisasi Penyalaan Magnesium AZ31 Pada Proses Bubut Menggunakan Aplikasi Thermografi. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Suseno, Alan. 2018. Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Proses Bubut Ulir (Threading) Terhadap Kepresisian Geometri Ulir Magnesium Paduan AZ31. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Widarto. 2008. Teknik Pemesinan. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah. Departemen Pendidikan Nasional

Wima. 2017. Ilmu Logam Pengenalan Titanium. Universitas Negri Malang. Malang