

**PENGARUH PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KESALAHAN
CIRCULARITY LUBANG BOR TULANG KORTIKAL**

(Skripsi)

Oleh

**ADILLA WINDI WARSITO
NPM 1915021009**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGARUH PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KESALAHAN *CIRCULARITY* LUBANG BOR TULANG KORTIKAL

Oleh

ADILLA WINDI WARSITO

Patah tulang adalah cedera ortopedi yang paling umum mengalami retak/patah sebagian atau seluruhnya pada tulang. Pengeboran tulang adalah salah satu langkah dalam proses bedah ortopedi untuk fiksasi dan sering digunakan untuk membuat lubang kemudian memasukkan sekrup di tempat yang diperlukan. Untuk menghindari komplikasi pada proses penyembuhan seperti melonggarnya sekrup implan, perlu ketelitian minimal kesalahan *circularity* lubang bor agar perikatan antara sekrup implan dan tulang stabil dalam meminimalkan trauma akibat pengeboran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter pemesinan terhadap kesalahan kebulatan lubang bor tulang kortikal sapi. Dengan metode analisis yang digunakan yaitu ANOVA dan RSM. Pengambilan data dilakukan dengan *run-order* 15 kali dengan parameter yang di variasikan kecepatan putar sebesar 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm, kemudian laju pemakanan sebesar 35 mm/min, 65 mm/min, dan 85 mm/min dan cairan pendingin kering, NaCl, dan Opsite. Didapatkan hasil parameter signifikan pada analisis ANOVA yaitu parameter laju pemakanan dengan nilai signifikansi sebesar 0,0042. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengeboran menggunakan cairan pendingin OpSite dengan kombinasi parameter laju pemakanan 35 mm/min dan kecepatan putar 1500 Rpm, didapatkan hasil *sirkularitas error* rendah.

Kata kunci: Pengeboran tulang, *box behnken design*, kesalahan *circularity*.

ABSTRACT

THE EFFECT OF MACHINING PARAMETERS ON THE CIRCULARITY ERROR OF CORTICAL BONE DRILL HOLES

By

ADILLA WINDI WARSITO

Bone fractures are the most common orthopedic injuries that experience partial or complete cracks/fractures in bones. Bone drilling is one of the steps in the orthopedic surgical process for fixation and is often used to make holes and then insert screws in the required places. To avoid complications in the healing process such as loosening of implant screws, it is necessary to have minimal accuracy in the roundness of the drill hole so that the bond between the implant screw and the bone is stable in minimizing trauma due to drilling. This study aims to determine the effect of machining parameters on the roundness of bovine cortical bone drill holes. The analysis methods used are ANOVA and RSM. Data collection was carried out with a run-order 15 times with parameters that varied the rotational speed of 500 rpm, 1000 rpm, and 1500 rpm, then the feed rate of 35 mm / min, 65 mm / min, and 85 mm / min and dry coolant, NaCl, and OpSite. The results of significant parameters in the ANOVA analysis were obtained, namely the feed rate parameter with a significance value of 0.0042. The results showed that drilling using OpSite coolant with a combination of feed rate parameters of 35 mm / min and a rotational speed of 1500 Rpm, obtained low circularity error results.

Keywords: *Bone drilling, box behnken design, roundness.*

**PENGARUH PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KESALAHAN
CIRCULARITY LUBANG BOR TULANG KORTIKAL**

Oleh

Adilla Windi Warsito

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Srikpsi : **PENGARUH PARAMETER PEMESINAN
TERHADAP KESALAHAN *CIRCULARITY*
LUBANG BOR TULANG KORTIKAL**


Nama Mahasiswa : **Adilla Windi Warsito**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915021009

Program Studi : Teknik Mesin

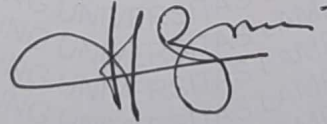
Fakultas : Teknik




Ir. Arinal Hamni, M.T.
NIP 196412281996032001


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

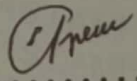
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin


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

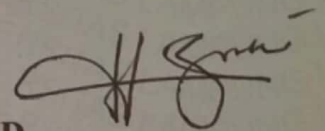
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

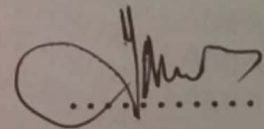
Ketua Penguji : **Ir. Arinal Hamni, M.T.**


.....

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




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


.....

2. Dekan Fakultas Teknik




Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP 197509282004121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **8 Agustus 2024**

PERNYATAAN PENULIS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

PENGARUH PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KESALAHAN *CIRCULARITY* LUBANG BOR TULANG KORTIKAL

Tugas akhir ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 27 peraturan akademik Universitas Lampung dengan surat keputusan rector No. 3187/H26/DT/2010.

Yang membuat pernyataan



Adilla Windi Warsito
NPM 1915021009

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Way Kanan Provinsi Lampung pada tanggal 3 Juni 2001 sebagai anak pertama dari Bapak Warsito dan Ibu Mesgiati. Menempuh Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Tanjung Rejo diselesaikan pada tahun 2014, Sekolah Menengah Pertama di SMP N 22 Gedong Tataan selesai pada tahun 2017, Sekolah Menengah Atas di SMA N 1 Gedong Tataan yang selesai pada tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai Mahasiswi pada Program Studi S1 Teknik Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama masa perkuliahan penulis aktif di organisasi tingkat jurusan yaitu sebagai Wakil Bidang Dana dan Usaha Himpunan Teknik Mesin (HIMATEM) selama dua periode kepengurusan tahun 2019 – 2021. Pada tahun 2022 penulis telah melaksanakan Kerja Praktek di PT. Semen Baturaja Tbk.

SANWACANA

Puji Syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah S.W.T karena berkat anugrah dan rahmat-Nya penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir dengan judul Pengaruh Parameter Pemesinan Terhadap Kesalahan *Circularity* Lubang Bor Tulang Kortikal. Pada kesempatan ini penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, dukungan serta bantuan dari berbagai pihak yang memotivasi penulis untuk menyelesaikan dan menyusun tugas akhir ini. Ucapan terima kasih tersebut layak penulis ucapkan kepada :

1. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Ketua Jurusan Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Ir. Arinal Hamni, M.T., sebagai dosen pembimbing I tugas akhir yang telah banyak meluangkan waktu, perhatian, dan motivasi untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D., sebagai dosen pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memotivasi, mendukung, dan memberikan saran kepada penulis.
4. Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. sebagai dosen pembahas tugas akhir yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
5. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung dan para staf Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Ibu Mesgiati sebagai Orang Tua yang tersayang yang selalu menyemangati dan memberikan dukungan serta do'a yang tak terbatas.
7. Bapak Suhartono sebagai kakek yang selalu sayang, perhatian, memberikan banyak dukungan dan motivasi untuk penulis.
8. Arif Kurnia Efendi sebagai kekasih yang telah banyak memberikan semangat dan dukungan.

9. Mbak magno, Ipeh, dan Ragel selaku teman yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
10. Bang Arzaq selaku rekan tim penelitian tugas akhir yang sangat banyak membantu, membimbing dan menasehati penulis.
11. Semua pihak dan teman-teman Teknik Mesin UNILA angkatan 2019 yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis.

Penulis sangat berterimakasih karena telah diberikak banyak orang yang membantu menyelesaikan tugas akhir dan berdoa semoga Allah SWT. membalas kebaikannya serta selalu diberi perlindungan. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan dan pembuatan tugas akhir ini, dan sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak yang telah membacanya.

Bandar Lampung, Agustus 2024

Adilla Windi Warsito

NPM. 1915021009

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Hipotesis.....	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Metode Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tulang.....	7
2.2 Pengeboran	8
2.3 Mesin Bor.....	10
2.4 Pahat (Mata Bor).....	11
2.5 Parameter Pemesinan	12
2.6 Kebulatan Lubang Bor	15
2.7 Response Surface Metode (RSM)	18
2.8 Design of Experiments (Desain Eksperimental).....	20
2.9 Box Bohnken Deisgn.....	21
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Diagram Alur.....	24
3.3 Alat dan Bahan	25

3.4	Prosedur Penelitian	31
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1	Data Hasil Kebulatan pada Proses Pemesinan	36
4.2	Analisis Varian (ANOVA)	38
4.3	Analisis Response Surface Methodology (RSM)	42
4.4	Optimasi Parameter dari <i>Design Expert</i>	48
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	50
	DAFTAR PUSTAKA	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.3 Operasi fraktur femur dengan pengeboran tulang	9
Gambar 2.4 Nama Bagian Mata Bor.....	12
Gambar 2.5 Proses gurdi (<i>drilling</i>)	13
Gambar 2.6 Grafik polar dari 4 cara pengukuran kebulatan	16
Gambar 2.10 Kubus BBD untuk tiga faktor	21
Gambar 2.11 Titik point BBD untuk tiga faktor	22
Gambar 3.1 Diagram alur.....	24
Gambar 3.1 Mesin CNC <i>milling</i>	25
Gambar 3.2 Profil projector	27
Gambar 3. 4 Pahat Tahan Karat (<i>Stainless Stell</i>)	29
Gambar 3. 5 Cairan Pendingin	30
Gambar 3.4 Tulang kortikal sapi.....	30
Gambar 4.1 Pengambilan nilai kebulatan lubang bor	38
Gambar 4.2 Normal Plot of Residuals	42
Gambar 4.3 Respon Kebulatan pada 2D <i>Surface</i> menggunakan NaCl.....	43
Gambar 4.4 Respon Kebulatan pada 3D <i>Surface</i> menggunakan NaCl.....	44
Gambar 4.5 Respon Kebulatan pada 2D <i>Surface Kering</i>	45
Gambar 4.6 Respon Kebulatan pada 3D <i>Surface Kering</i>	45
Gambar 4.7 Respon Kebulatan pada 2D <i>Surface</i> menggunakan OpSite	46
Gambar 4.8 Respon Kebulatan pada 3D <i>Surface</i> menggunakan OpSite	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi mesin CNC <i>milling</i>	26
Tabel 3.2 Spesifikasi profil proyektor.....	28
Tabel 3.5 Paramter Penelitian	32
Tabel 3.6 Parameter Penelitian <i>Box Behnken Design</i>	33
Tabel 3.7 Data Nomer Run Order <i>Box Behnken Design</i>	34
Tabel 4.1 Data nilai kebulatan lubang bor	37
Tabel 4.2 Model Summary Statistics respon sirkularity	38
Tabel 4.3 Hasil analisis varian (ANOVA) untuk kebulatan lubang.....	38
Tabel 4.4 Rekomendasi kombinasi parameter pengeboran dari <i>Design Expert</i>	49

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fraktur atau patah tulang merupakan salah satu luka yang sering terjadi karena penyakit kelainan tulang maupun kecelakaan. Di Indonesia kejadian patah tulang menduduki angka kejadian 5,8% yang berada di bawah angka kejadian luka lecet/memar 70,9% dan kasus terkilir 27,5% (Ritonga et al. 2021). Patah tulang adalah cedera ortopedi yang paling umum mengalami retak/patah sebagian atau seluruhnya pada tulang. Fraktur femur, ini adalah patah tulang yang terjadi di bagian paha yang mana tulang ini adalah salah satu bagian tulang paling tebal dan terkuat di tubuh. Cedera ini berpotensi menimbulkan kecacatan jangka panjang yang signifikan terutama saat terkait dengan kerusakan tulang yang luas dan terkait dengan cedera jaringan lunak yang parah. Biasanya, pengobatan meliputi memosisikan ulang tulang dan membalutnya dengan gips untuk menyediakan waktu pemulihan. Terkadang, operasi atau batang logam diperlukan untuk memosisikan tulang dengan cara mengebor tulang. Bagian patah tulang dapat diperbaiki dengan menggunakan sekrup dan pelat (Bohra et al., 2021).

Pengeboran tulang adalah salah satu langkah dalam proses bedah ortopedi untuk fiksasi dan sering digunakan untuk membuat lubang kemudian memasukkan sekrup di tempat yang diperlukan (Alam dkk., 2009). Dalam banyak penelitian telah banyak disebutkan bahwa karakteristik dari permukaan tulang setelah pengeboran berpengaruh pada hubungan struktural dan fungsional yang bersifat langsung antara tulang dan tersusun dengan permukaan implan atau disebut dengan *osseointegrasi*. Untuk menghindari

komplikasi pada proses penyembuhan seperti melonggarnya sekrup implan, perlu ketelitian minimal agar perikatan antara sekrup implan dan tulang stabil dalam meminimalkan trauma akibat pengeboran. Kondisi pengeboran pada proses pengeboran tulang saling terkait dengan parameter mengenai kecepatan putar dan laju pemakanan yang mempengaruhi kualitas lubang. Oleh karena itu, penting diketahui tentang pengaruh parameter pengeboran terhadap kinerja lubang perlu dilakukan (Izamsyah et. al., 2015). Ketelitian dalam pengeboran tulang harus diperhatikan, salah satunya adalah ketelitian kebulatan lubang bor yang akan dipasang skrup. Kebulatan hasil pengeboran, semakin bulat dan presisi hasil pengeboran maka akan meminimalisir kesalahan pemasangan skrup.

Mufaarrh dkk., (2022) menganalisa kebulatan pada proses *drilling* material KFRP. Rancangan percobaan menggunakan metode *full factorial* yang berupa *orthogonal array* L9 dengan replikasi sebanyak dua kali. Variabel bebas yang divariasikan adalah sudut ujung pahat (100° , 118° , 140°) dan kecepatan makan (50 mm/menit, 115 mm/menit dan 180 mm/menit). Variabel respon yang diamati adalah kebulatan. Proses *drilling* dilakukan menggunakan mesin CNC *Milling*. Pahat yang digunakan adalah *twist drill* HSS Nachi diameter 10 mm. ANOVA digunakan untuk mengetahui variabel-variabel bebas yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon yang diamati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut ujung pahat dan kecepatan makan berpengaruh signifikan terhadap respon kebulatan. Peningkatan sudut ujung pahat dan kecepatan makan akan meningkatkan penyimpangan kebulatan, sehingga agar diperoleh profil kebulatan yang baik, maka perlu menggunakan sudut ujung pahat yang kecil serta kecepatan makan yang rendah.

Verma et al., (2020) menganalisis kekasaran permukaan pengeboran nanokomposit polimer menggunakan analisis ANOVA dalam investigasi ekperimental pada kekasaran permukaan dan kesalahan *circularity*. Pada ekperimen menunjukkan bahwa kecepatan spindel memiliki kontribusi

sebesar 19,02%, laju pemakanan memiliki kontribusi sebesar 62,85% dan material berkontribusi sebesar 9,34%. Namun pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah HSS, Karbida, TiAIN dan metode analisis yang digunakan adalah analisis ANOVA.

Ibrahim dkk., (2019) menganalisis kekasaran dan kebulatan paduan magnesium pada pemesinan *drill* dengan menggunakan metode Taguchi. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa parameter yang memberikan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan adalah *lubricant* dengan nilai P 0,003 dan nilai F 86,98, diikuti oleh kecepatan putar dengan nilai P 0,031 dan nilai F 14,86. Sedangkan parameter yang memberikan pengaruh signifikan terhadap kebulatan adalah *lubricant* dengan nilai P 0,025 dan nilai F 17,51. Penggunaan kecepatan putar yang tinggi sebesar 890 rpm, gerak makan yang rendah sebesar 0,1 mm/mnt, point angle yang besar yaitu 65° dan *lubricant* dengan MQL minyak kelapa sawit memberikan hasil kekasaran permukaan dan kebulatan lubang yang terbaik.

Tinjauan litelatur menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian sebelumnya bertujuan untuk menyelidiki pengaruh parameter pada respon individu seperti kebulatan lubang. Penelitian ini difokuskan untuk menemukan tingkat pengaruh parameter pemotongan terhadap kesalahan *circularity* tulang kortikal sapi menggunakan metode analisis RSM dan berkontribusi untuk meminimalkan cedera jaringan tulang dan menghasilkan lubang dengan kesalahan *circularity* yang kecil. Pada penelitian, kajian ditekankan pada proses pengeboran tulang kortikal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang didapat yaitu: Apakah parameter pengeboran berpengaruh terhadap kesalahan *circularity* lubang bor?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang akan dicapai dari latar belakang yang telah dipaparkan adalah: Menentukan parameter pemesinan yang berpengaruh terhadap kesalahan *circularity* lubang bor.

1.4 Hipotesis

Dengan berdasarkan literatur yang digunakan, terdapat 2 (dua) pilihan hipotesis, diantaranya:

- H_0 = Terdapat parameter pengeboran yang berpengaruh signifikan terhadap kesalahan *circularity* lubang bor.
- H_1 = Tidak ada parameter pengeboran yang mempengaruhi secara signifikan terhadap kesalahan *circularity* lubang bor.

Uji hipotesis dilakukan dengan analisa varian ANOVA menggunakan *Test of Between – Subject Effects* (Uji F). *Output* dari ANOVA pada *Test of Between – Subject Effects* adalah nilai F dan Probabilitas (tingkat signifikan). Prinsip Uji F pada ANOVA adalah analisis variabilitas data dari variabel dependen yang dibagi menjadi dua sumber variasi yaitu *variance* yang berasal dari variabel independen yang diteliti atau variasi antar kelompok (*between group*) dan variasi yang berasal dari faktor yang lainnya atau variasi dalam kelompok (*within group*).

$$F = \frac{\text{Between Groups Estimated Variances}}{\text{Within Groups Estimate Variances}}$$

- Jika hasil Uji F signifikan ($p \leq 0,05$) maka dikatakan terdapat parameter pengeboran yang berpengaruh signifikan terhadap kesalahan *circularity* lubang bor.
- Jika hasil Uji F signifikan ($p > 0,05$) maka dikatakan tidak ada parameter pengeboran yang mempengaruhi secara signifikan terhadap kesalahan *circularity* lubang bor.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat batasan-batasan masalah yang tidak dapat dihindari oleh penulis yakni sebagai berikut:

1. Parameter yang digunakan dalam proses pengeboran adalah laju pemakanan dan kecepatan spindle.
2. Penelitian ini dilakukan dengan pengeboran tulang kortikal sapi.
3. Adapun proses pengeboran menggunakan mesin CNC.
4. Metode analisis yang digunakan adalah RSM.

1.6 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan desain eksperimen dengan metode permukaan respon yaitu metode *Box Behnken* sehingga dapat ditentukan pemodelan matematik untuk nilai optimal pada prosese pengeboran tulang kortikal dengan parameter pengeboran yang telah ditentukan.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah secara jelas, tujuan yang memaparkan diadakannya penelitian ini, batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini agar hasil penelitian lebih terarah, sistematika penulisan berupa format yang dipakai pada penulisan laporan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan landasan teori yang menunjang pada penelitian dan merupakan teori teori dasar yang meliputi: Tulang, pengeboran, mesin bor, pahat bor, parameter pemesinan, kebulatan

lubang bor, *response surface methodology* (RSM), *design of experiment* (DoE), *box behnken design*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berisi tempat dan waktu penelitian yang akan dilakukan serta alur tahapan pelaksanaan penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil pengujian pengeboran tulang dan pembahasan analisis data yang telah didapat saat maupun setelah pengujian.

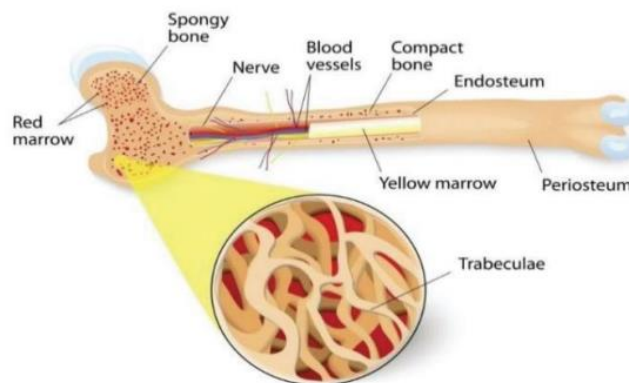
V. SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang dapat diambil atau diberikan atas hasil penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tulang

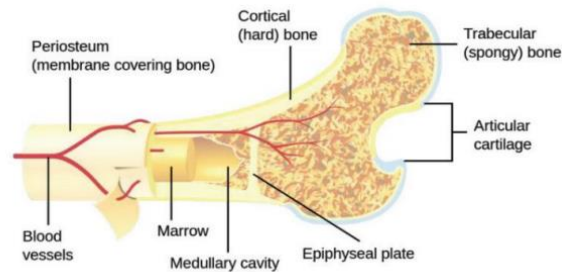
Tulang merupakan kerangka yang tersusun dari jaringan sel-sel keras. Tulang adalah bagian tubuh yang berfungsi sebagai pembentuk rangka dan alat gerak tubuh alat gerak pasif. Dalam struktur tubuh manusia, tulang membentuk sebagian besar kerangka dan sebagian besar vertebrata. Jaringan aktif hidup yang terbuat dari protein kolagen ini terus-menerus direnovasi dan memiliki struktur internal yang menyerupai sarang lebah, menjadikannya relatif ringan namun kaku. Struktur umum tulang tipikal ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Bohra et al., 2019).



Gambar 2.1 Struktur Tulang
(Sumber: Bohra et al., 2019)

Tulang terdiri dari dua jenis jaringan yang berbeda, jaringan-jaringan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2. Lapisan luar pertama dari jaringan disebut tulang kompak atau tulang kortikal yang tahan lama padat dan kuat. *Cancellous* adalah jenis jaringan kedua yang juga disebut sebagai tulang

spons atau *trabecular*. Tulang *spons* ini ringan, lebih fleksibel dan kurang padat jika dibandingkan dengan tulang kompak dan terbuat dari struktur batang (trabekula).



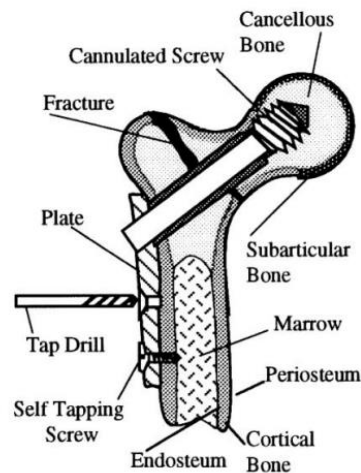
Gambar 2.2 Perbedaan Jaringan Tulang
(Sumber: Bohra et al., 2019)

Patah tulang (*fracture*) adalah putusnya kontinuitas tulang, tulang rawan sendi, tulang rawan *epiphysis*, baik yang bersifat total maupun parsial yang pada umumnya disebabkan oleh trauma di mana terdapat tekanan yang berlebihan pada tulang, baik berupa trauma langsung dan trauma tidak langsung, biasanya disertai cedera di jaringan sekitarnya. *Neglected fracture* dengan atau tanpa dislokasi adalah suatu fraktur yang tidak ditangani atau ditangani dengan tidak semestinya sehingga menghasilkan keadaan keterlambatan dalam penanganan, atau kondisi yang lebih buruk dan bahkan kecacatan. *Neglected Fracture* adalah penanganan patah tulang pada anggota gerak (*extremitas*) yang salah oleh dukun patah (*bone setter*), yang masih sering dijumpai di masyarakat Indonesia. Pada umumnya *neglected fracture* terjadi pada masyarakat desa yang berada di daerah pedalaman jauh dari akses kesehatan (Sari, 2012).

2.2 Pengeboran

Proses pengeboran merupakan salah satu dari jenis proses pemesinan yang dioperasikan untuk membuat lubang yang berpenampang bulat dengan menggunakan perkakas potong yang disebut mata bor (*drill*) (Ndaruhadi dan Santosa., 2015). Pengeboran (*drilling*) adalah proses pembuatan lubang

dengan cara menekan sebuah mata pahat yang berputar pada benda kerja (Ibrahim dkk., 2107). Proses ini banyak digunakan pada aktivitas produksi di industri manufaktur dan kesehatan. Pengeboran tulang adalah salah satu jenis utama bedah ortopedi dan sering digunakan untuk membuat lubang sekrup di tempat yang diperlukan (Alam dkk., 2009). Pengeboran pada patah tulang adalah prosedur bedah yang dilakukan untuk mengatasi patah tulang tertentu. Prosedur ini biasanya disebut sebagai *osteosintesis* atau pemasangan implan. Tujuan dari pengeboran pada patah tulang adalah untuk mengatur potongan tulang yang patah sehingga mereka dapat sembuh dengan baik dan memungkinkan pemulihan fungsi normal pada anggota tubuh yang terkena.



Gambar 2.3 Operasi fraktur femur dengan pengeboran tulang
Sumber: (Sheng, 2016)

Pengeboran tulang adalah prosedur medis yang melibatkan penggunaan bor atau alat khusus untuk membuat lubang atau lubang kecil di dalam tulang. Jenis pengeboran tulang dapat bervariasi tergantung pada tujuan dan lokasi pengeboran. Berikut adalah beberapa jenis pengeboran tulang yang umum:

1. Pengeboran Diagnostik: Jenis pengeboran ini biasanya digunakan untuk mengambil sampel jaringan tulang yang mencurigakan untuk pemeriksaan laboratorium dan evaluasi lebih lanjut. Pengeboran diagnostik berguna dalam mengidentifikasi penyakit tulang, infeksi, atau kanker tulang.

2. Pengeboran Bedah: Pengeboran bedah digunakan dalam berbagai prosedur bedah ortopedi dan neurologi. Ini termasuk pemasangan pen, paku, atau implan lainnya untuk memperbaiki tulang yang patah atau mengatasi masalah tulang lainnya.
3. Biopsi Tulang: Jenis pengeboran ini dilakukan untuk mengambil sampel jaringan tulang yang mencurigakan untuk dianalisis lebih lanjut dengan tujuan mendeteksi infeksi, tumor, atau kondisi lainnya.
4. Pengeboran dalam Bidang Kedokteran Gigi: Dalam bidang kedokteran gigi, pengeboran tulang dapat digunakan dalam prosedur seperti pemasangan implan gigi untuk menggantikan gigi yang hilang.
5. Pengeboran dalam Bedah Plastik: Dalam beberapa kasus bedah plastik, pengeboran tulang mungkin diperlukan untuk menyesuaikan bentuk atau ukuran tulang dengan hasil yang diinginkan.

Pengeboran tulang biasanya merupakan prosedur invasif yang memerlukan keterampilan dan peralatan medis yang tepat. Ini biasanya dilakukan oleh ahli bedah atau dokter spesialis dengan pengalaman dalam prosedur tersebut. Penting untuk diingat bahwa pengeboran tulang adalah prosedur medis yang berisiko, dan keputusan untuk melakukan pengeboran harus didasarkan pada evaluasi medis yang cermat dan pertimbangan manfaat dan risiko yang tepat.

2.3 Mesin Bor

Mesin bor adalah suatu jenis mesin gerakannya memutar alat pemotong yang arah pemakanan mata bor hanya pada sumbu mesin tersebut (pengerjaan pelubangan). Sedangkan pengeboran adalah operasi menghasilkan lubang berbentuk bulat dalam lembaran-kerja dengan menggunakan pemotong berputar yang disebut bor dan memiliki fungsi untuk membuat lubang, membuat lobang bertingkat, membesarkan lobang dan *chamfer* (Akhmadi et al., 2021). Adapun jenis-jenis mesin bor yaitu:

1. Mesin Bor Meja

Mesin bor meja adalah mesin bor yang diletakkan di atas meja. Mesin ini digunakan untuk membuat lobang benda kerja dengan diameter kecil (terbatas sampai dengan diameter 16 mm).

2. Mesin Bor Tangan

Mesin bor tangan adalah mesin bor yang pengoperasiannya dengan menggunakan tangan dan bentuknya mirip pistol. Mesin bor tangan biasanya digunakan untuk melubangi kayu, tembok maupun pelat logam. Khusus.

3. Mesin Bor Radial

Mesin bor radial khusus dirancang untuk pengeboran benda-benda kerja yang besar dan berat. Mesin ini langsung dipasang pada lantai, sedangkan meja mesin telah terpasang secara permanen pada landasan atau alas mesin.. Pada mesin ini benda kerja tidak bergerak.

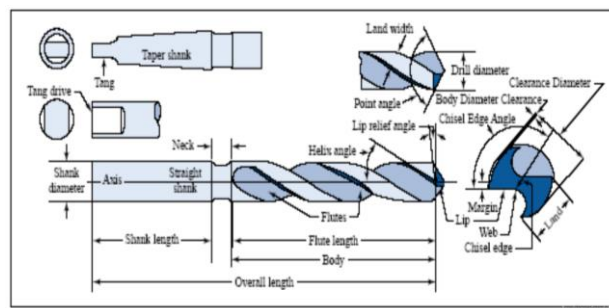
4. Mesin Bor Tegak

Mesin ini pada umumnya persis seperti mesin bor lainnya hanya saja mesin ini mempunyai kelebihan yang tidak dipunyai oleh mesin bor lainnya yaitu semi otomatis. mesin ini digunakan untuk mengerjakan benda kerja dengan ukuran yang lebih besar, dimana proses pemakanan dari mata bor dapat dikendalikan secara otomatis naik turun. Pada proses pengeboran, poros utamanya digerakan naik turun sesuai kebutuhan. Meja dapat diputar 3600. Pada umumnya mesin inipun banyak yang menggunakan dikarenakan bentuknya yang tidak terlalu besar dan harganya cukup murah. Mesin ini sangat banyak fungsinya dibengkel umum maupun di dunia industri manufaktur. Bnyak para wirausaha yang belum mengenal kelebihan mesin ini, karena kurangnya pengetahuan tentang mesin tersebut

2.4 Pahat (Mata Bor)

Pahat merupakan bagian dari mesin bubut yang memegang peran penting dalam pemotongan logam, karena pahat adalah bagian yang berkontak

langsung dengan benda kerja yang dipotong (Nugroho dan Senoaji, 2010). Pahat bor adalah salah satu jenis perkakas tangan atau mesin yang digunakan untuk menghasilkan lubang atau celah pada benda kerja seperti logam, kayu, plastik, atau bahan lainnya. Pahat bor bekerja dengan cara memutar mata bor pada ujungnya, yang berfungsi untuk menghapus material dan membentuk lubang sesuai dengan diameter mata bor yang digunakan.



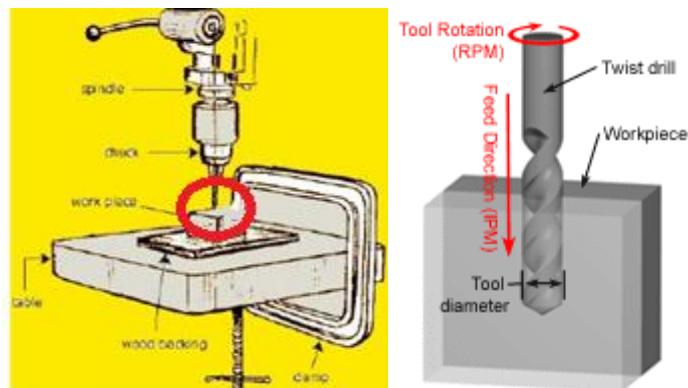
Gambar 2.4 Nama Bagian Mata Bor

Pahat bor umumnya terbuat dari baja dengan ujung yang tajam dan keras, yang memungkinkan mereka untuk mengebor benda kerja dengan efisien. Mata bor dapat memiliki berbagai ukuran dan tipe, termasuk mata bor rata, mata bor spiral, mata bor senter, dan banyak lagi. Jenis mata bor yang digunakan tergantung pada jenis material yang akan dikerjakan dan jenis lubang yang ingin dibuat. Ada beberapa kelas pahat gundi (mata bor) untuk jenis pekerjaan yang berbeda. Bahan benda kerja dapat juga mempengaruhi kelas dari mata bor yang digunakan, tetapi pada sudut-sudutnya bukan pada mata bor yang sesuai untuk jenis pengerjaan tertentu.

2.5 Parameter Pemesinan Bor

Proses pemesinan merupakan suatu proses untuk menciptakan produk melalui tahapan-tahapan dari baku untuk diubah atau diproses dengan cara-cara tertentu secara urut dan sistematis untuk menghasilkan suatu produk yang berfungsi (Abdau, 2014). Proses gundi adalah proses pemesinan yang paling sederhana di antara proses pemesinan yang lain. Biasanya di bengkel

proses ini dinamakan proses bor, walaupun istilah ini sebenarnya kurang tepat. Proses gurdi dimaksudkan sebagai proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor. Sedangkan proses bor (*boring*) adalah proses meluaskan atau memperbesar lubang yang bisa dilakukan dengan batang bor (*boring bar*) yang tidak hanya dilakukan pada mesin *drilling*, tetapi bisa dengan mesin bubut, mesin frais, atau mesin bor.



Gambar 2.5 Proses gurdi (*drilling*)

Parameter proses gurdi dapat ditentukan berdasarkan gambar . Parameter proses gurdi pada dasarnya sama dengan parameter proses pemesinan yang lain, akan tetapi dalam proses gurdi selain kecepatan potong, gerak makan, dan dan kedalaman potong perlu dipertimbangkan pula gaya aksial , dan momen puntir yang diperlukan pada proses gurdi. Parameter proses gurdi tersebut adalah:

1. Kecepatan potong

Kecepatan potong adalah panjang ukuran lilitan pahat terhadap benda kerja atau dapat juga disamakan dengan panjang tatal yang terpotong dalam ukuran meter yang diperkirakan apabila benda kerja berputar selama satu menit (Makmur, 2010). Kecepatan potong ditentukan dengan rumus :

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

Dimana:

V_c = kecepatan potong (m/meit)

d = diameter cutter (mm)
n = putaran spindle (rpm)

2. Waktu pengeboran bisa diartikan dengan panjang permesinan tiap kecepatan gerak pemakanan. Satuan waktu permesinan adalah milimeter. Panjang pemesian sendiri adalah panjang pemotongan pada benda kerja ditambah langkah pengawalan ditambah dengan langkah pengakhiran, waktu pemotongan dirumuskan dengan

$$t = \frac{la}{fn} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

t = waktu pengeboran
la = panjang pengeboran (mm/menit)
n = putaran spindel (rpm)

3. Umpan / laju pemakanan

Laju Pemakanan (*Feed Rate*) adalah kecepatan pergerakan alat pemotong yang memotong bahan kerja selama proses pemesian. Ini sering diukur dalam satuan jarak per putaran atau satuan waktu. Laju pemakanan (*f*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$f = \frac{Vf}{n} \text{ (mm/rev)} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

f = *feed per revolution* (mm/rev)
n = putaran spindel (rpm)
Vf = laju pemakanan (mm/menit)

4. Kecepatan Penghasil Geram

$$MMR = f \cdot n \cdot \pi \cdot D^2 \text{ (mm}^3\text{/menit)} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

MMR = kecepatan penghasil geram (mm³/menit)
f = *federate* (mm/rev)
n = putaran spindel (rpm)
*D*² = diameter bor dalam (mm)

2.6 Kebulatan Lubang Bor

Suatu profil kebulatan dikatakan tidak bulat sempurna jika terjadi ketidakbulatan yang ditandai dengan adanya perbedaan jarak antara titik-titik pada bentuk geometrik tersebut terhadap titik pusatnya (Yanis, 2010). Kebulatan lubang bor merujuk pada seberapa dekat lubang bor tersebut dengan bentuk yang sempurna lingkaran. Dalam dunia bor dan mesin pengeboran, kebulatan lubang bor sangat penting karena berhubungan dengan akurasi, kualitas, dan efisiensi proses bor. Kebulatan lubang bor dapat diukur dengan dua parameter utama:

1. Toleransi diameter

Toleransi adalah selisih maksimum yang diizinkan antara diameter sebenarnya dari lubang bor dengan diameter yang diinginkan. Semakin kecil toleransi, semakin baik kebulatan lubang bor tersebut. Toleransi biasanya dinyatakan dalam satuan ukuran, misalnya 0,01 mm.

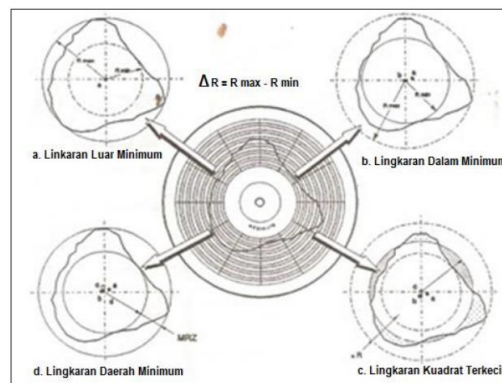
2. Deviasi bulat

Deviasi bulat mengukur seberapa dekat bentuk lubang bor dengan bentuk lingkaran sempurna. Deviasi bulat dinyatakan sebagai perbedaan maksimum antara radius aktual lubang bor dengan radius lingkaran ideal pada setiap titik sekeliling lubang. Semakin kecil deviasi bulat, semakin dekat lubang bor tersebut dengan kebulatan sempurna.

Hal-hal yang berhubungan dengan proses pembuatan yang dapat menyebabkan terjadinya ketidakbulatan pada komponen yang dibuat adalah sebagai berikut :

- Keausan yang terjadi pada bantalan poros utama mesin bubut atau mesin gerinda yang digunakan.
- Lenturan yang terjadi pada benda kerja atau pada mesin perkakas yang diakibatkan oleh gaya pemotongan yang cukup besar.
- Kesalahan posisi senter pemegang.
- Tekanan alat pemegang atau pencekam pada komponen yang berdinding tipis.
- Terjadi *chatter* pada proses pemotongan.

Kebulatan suatu lubang dapat diukur atau dilihat menggunakan alat *profile projector*. *Profile Projector* adalah alat ukur *optic* yang memperbesar fitur permukaan benda kerja untuk memungkinkan pengukuran pada skala linier atau melingkar. Alat ukur ini juga disebut sebagai komparator *optic*, karena dimensi dapat diukur langsung di layer atau dibandingkan dengan referensi standar pada perbesaran yang sesuai (Ulikaryani et.al., 2022). *Profile projector* memperbesar profil benda kerja ke dalam sebuah layar menggunakan tipe pencahayaan *diascopic illumination*. *Dimension* benda kerja dapat diukur langsung dari layar atau dibandingkan dengan referensi standar perbesaran. Agar akurat, saat pengukuran jangan mengubah sudut pandang (perspektif) objek (Prakoso, 2014). Pengamatan kebulatan hasil proses pemesinan dapat dilakukan dengan cara melakukan pengamatan kebulatan benda uji yang dihasilkan oleh proses pemotongan pada mesin perkakas, pengamatan kebulatan dilakukan dengan merubah parameter pemotongan. Parameter kebulatan dapat dihitung berdasarkan profil kebulatan relatif terhadap lingkaran referensi. Lingkaran referensi yang digunakan untuk menganalisa kebulatan dapat dilakukan dengan 4 cara (Yudo, 2014) yaitu lingkaran luar minimum, lingkaran dalam maksimum, lingkaran daerah minimum dan lingkaran kuadrat terkecil. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6 Standard ISO menganjurkan menggunakan MRZ, karena sesuai dengan makna toleransi. Nilai ketidakbulatan adalah selisih dari radius kedua lingkaran tersebut (ΔR) dan dinamakan sebagai *minimum radial zone* (MRZ).



Gambar 2.6 Grafik polar dari 4 cara pengukuran kebulatan
(Sumber: Yudo, 2019)

Dalam sistem ISO ditetapkan 18 kelas toleransi (*grades of tolerance*) yang dinamakan toleransi standar yaitu dimulai dari IT 01, IT 0, IT 1 s.d. IT 16. Toleransi standar untuk diameter sampai dengan 500 mm dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Toleransi standar untuk diameter dengan 500 mm

Diameter (mm):	Angka Kualitas (IT; International Tolerance); Toleransi yang dimaksud dalam μm .																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
≤ 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
>3-6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
>6-10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
>10-18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
>18-30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
>30-50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
>50-80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
>80-120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
>120-180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	26	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
>180-250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
>250-315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
>315-400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	2600
>400-500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Pengukuran kebulatan hasil pemotongan benda uji dapat dilakukan dengan berbagai macam cara salah satunya menggunakan profil proyektor. Pengukuran kebulatan dilakukan dengan menggunakan metode diameter. Lubang diberi titik ukur dengan posisi bertolak belakang. Lubang tersebut kemudian diukur jarak pada setiap titik yang telah ditentukan. Kemudian hasil dari pengukuran dirata-ratakan.

Rumus kebulatan permukaan lubang adalah suatu rumus yang digunakan untuk digunakan untuk menghitung kebulatan atau kesalahan geometri pada permukaan dalam lubang atau celah. Kebulatan permukaan adalah perbedaan antara permukaan sebenarnya dari lubang atau celah dengan permukaan ideal yang diinginkan. Adapun rumus umum untuk menghitung kebulatan permukaan lubang yaitu:

$$K = \frac{R_{max} - R_{min}}{2}$$

Dimana:

K adalah kebulatan permukaan (*deviation*).

R_{max} adalah jari – jari maksimum yang terukur dari lubang atau celah.

R_{min} adalah jari – jari minimum yang terukur dari lubang atau celah.

Selain rumus di atas, ada juga parameter lain yang digunakan untuk mengukur kebulatan permukaan lubang, seperti ΔR (perbedaan antara jari – jari maksimum dan minimum) dan ΔD (perbedaan antara diameter maksimum dan minimum). Rumus – rumus dapat berbeda tergantung pada standar atau spesifikasi yang digunakan dalam pengukuran kebulatan lubang.

Kebulatan lubang bor yang buruk dapat menyebabkan berbagai masalah seperti ketidakcocokan pasak atau paku dengan lubang, retakan pada benda kerja, dan ketidakmampuan untuk menginstal komponen dengan benar. Oleh karena itu, menjaga kebulatan lubang bor dalam toleransi yang diinginkan sangatlah penting dalam berbagai aplikasi industri.

2.7 Response Surface Metode (RSM)

Response Surface Metode (RSM) merupakan suatu metode gabungan antara teknik matematika dan teknik statistik, digunakan untuk membuat model dan menganalisa suatu respon y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas/faktor x guna mengoptimalkan respon tersebut. Hubungan antara respon y dan variable bebas x adalah:

$$y = f(x_1, x_2) + \epsilon \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana ϵ mewakili kebisingan atau kesalahan yang diamati dalam respon y . Jika kita menyatakan respon yang diharapkan dengan $E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$, maka permukaan diwakili oleh $\eta = f(x_1, x_2)$ dan disebut sebagai permukaan respon.

Langkah pertama dari RSM adalah menemukan hubungan antara respon y dan faktor x melalui persamaan polinomial orde pertama dan digunakan model regresi linear, atau yang lebih dikenal dengan *first order model* (model orde I):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \dots \dots \dots (2.5)$$

Rancangan eksperimen orde I yang sesuai untuk tahap penyingkapan faktor adalah rancangan faktorial 2^k (*Two Level Factorial Design*). Selanjutnya untuk model orde II, biasanya terdapat kelengkungan dan digunakan model polinomial orde kedua yang fungsinya kuadratik:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \dots \dots \dots (2.6)$$

Rancangan eksperimen orde II yang digunakan adalah rancangan faktorial 3^k (*Three Level Factorial Design*), yang sesuai untuk masalah optimasi. Kemudian dari model orde II ditentukan titik stasioner, karakteristik permukaan respon dan model optimasinya.

Response Surface Methodology (RSM) adalah kumpulan matematika dan statistik teknik untuk empiris model bangunan dengan desain yang cermat dari percobaan tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respon (variabel output) yang dipengaruhi oleh beberapa variabel independen (variabel input). Eksperimen adalah serangkaian tes disebut berjalan dimana perubahan yang dibuat dalam variabel input untuk mengidentifikasi alasan untuk perubahan respon output (Montgomery, 1976). Awalnya, RSM dikembangkan untuk model tanggapan eksperimental, dan kemudian bermigrasi ke dalam pemodelan eksperimen numerik, perbedaannya adalah dalam jenis kesalahan yang dihasilkan oleh respon. Dalam percobaan fisik, ketidaktepatan dapat disebabkan, misalnya: kesalahan dalam pengukuran sementara, dalam computer, percobaan kebisingan numerik adalah hasil konvergensi lengkap dari hasil pengulangan, proses kesalahan *round-off* atau representasi diskritisasi terus menerus fenomena (Giunta, 1996) di RSM, kesalahan

diasumsikan acak. Penerapan RSM untuk perancang optimasi bertujuan untuk mengurangi biaya metode analisis mahal (misalnya metode elemen hingga/analisis CFD) dan yang kebisingan numerik terkait. Terdapat dua jenis RSM yang umumnya digunakan untuk eksperimen, yaitu BBD (*Box Behnken Design*) dan CCD (*Central Composite Design*) (Khidir & Mohamed, 2011).

2.8 Design of Experiments (Desain Eksperimental)

Sebuah aspek penting dari RSM adalah desain eksperimen, biasanya disingkat DoE. Strategi ini awalnya dikembangkan untuk model pas percobaan fisik, tetapi juga dapat diterapkan untuk numerik eksperimen. Tujuan dari DoE adalah pemilihan titik-titik di mana respon harus dievaluasi. Sebagian besar kriteria desain yang optimal dari eksperimen yang terkait dengan model matematis dari proses. Umumnya, model-model matematika adalah polinomial dengan struktur yang tidak diketahui, sehingga percobaan sesuai dirancang hanya untuk setiap masalah tertentu. Pilihan desain eksperimen dapat memiliki pengaruh besar pada keakuratan perkiraan biaya pembangunan permukaan respon.

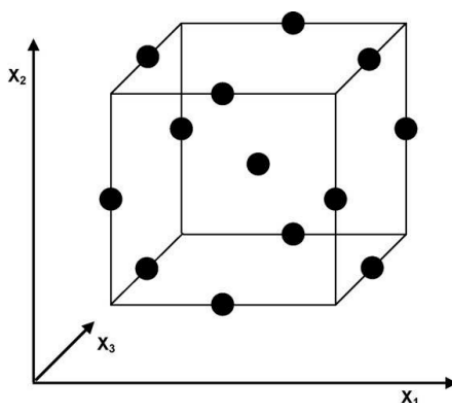
Dalam DoE tradisional, skrining eksperimen dilakukan pada tahap awal proses, ketika ada kemungkinan bahwa banyak variabel desain awalnya dianggap memiliki sedikit atau tidak berpengaruh pada respon. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi desain variabel yang memiliki efek besar untuk penyelidikan lebih lanjut. Pemrograman genetik telah menunjukkan sifat skrining yang baik

Desain ekperimental adalah alat untuk pengembangan dan optimasi proses yang merupakan metode statistik aktif. Statistik aktif adalah penguji secara aktif melakukan serangkaian pengujian pada suatu proses atau sistem, melakukan perubahan masukan dan mengamati perubahan yang terjadi akibat pada keluaran yang terjadi, hal ini akan mendapatkan informasi yang mengarahkan pada perbaikan proses. Semua orang yang terlibat di dalam

eksperimen atau pengujian, dituntut untuk memiliki pemahaman dan pengertian yang jelas tentang tujuan eksperimen, memahami faktor-faktor yang diteliti, mengerti bagaimana eksperimen dijalankan, dan mengerti secara kualitatif bagaimana data-data akan dianalisis.

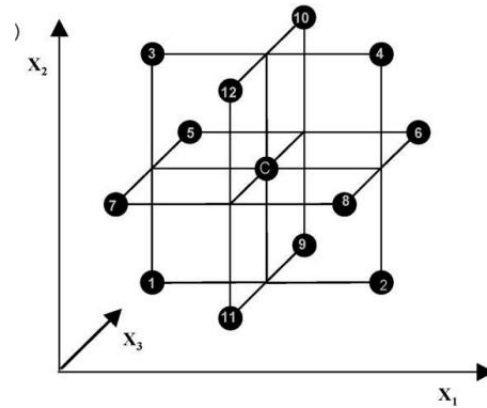
2.9 *Box Bohnken Deisgn*

Box-Behnken adalah desain respon permukaan tiga tingkat desain faktorial (Tekindal, 2012). Menggabungkan dua tingkat desain faktorial dengan desain blok lengkap dengan cara tertentu. Desain *Box-Behnken* diperkenalkan untuk membatasi ukuran sampel sebagai jumlah parameter tumbuh. Ukuran sampel disimpan ke nilai yang cukup untuk estimasi koefisien dalam derajat kedua kuadrat mendekati jumlahnya banyak. Dalam desain *Box-Behnken*, blok sampel yang sesuai dengan dua level desain faktorial diulang lebih dari set yang berbeda dari parameter. Parameter yang tidak termasuk dalam desain faktorial tetap pada tingkat rata-rata mereka di seluruh blok. Jenis (penuh atau pecahan), ukuran faktorial, dan jumlah blok yang dievaluasi, tergantung pada jumlah parameter dan dipilih sehingga desain memenuhi, persis atau sekitar, kriteria rotatability. Desain eksperimental dikatakan diputar jika varians dari respon diprediksi pada setiap titik merupakan fungsi dari jarak dari titik pusat saja.



Gambar 2.10 Kubus BBD untuk tiga faktor

(Sumber: Ferreira et. al, 2007)



Gambar 2.11 Titik point BBD untuk tiga faktor

(Sumber: Ferreira et. al, 2007)

Pada 3 parameter: 3 dari 3 blok dengan 2^2 faktorial lengkap, ditambah titik pusat, 13 sampel keseluruhan, 10 koefisien yang diperlukan untuk interpolasi polinomial. Desain faktorial dibuat, ‘0’ singkatan dari variabel-variabel yang diblokir pada rata-rata. Mempertimbangkan desain *Box-Behnken* dengan tiga parameter (Gambar 2.10), dalam hal ini 2^2 faktorial lengkap diulang tiga kali.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu pelaksanaan penelitian yang direncanakan oleh penulis adalah sebagai berikut:

3.1.1 Tempat Penelitian

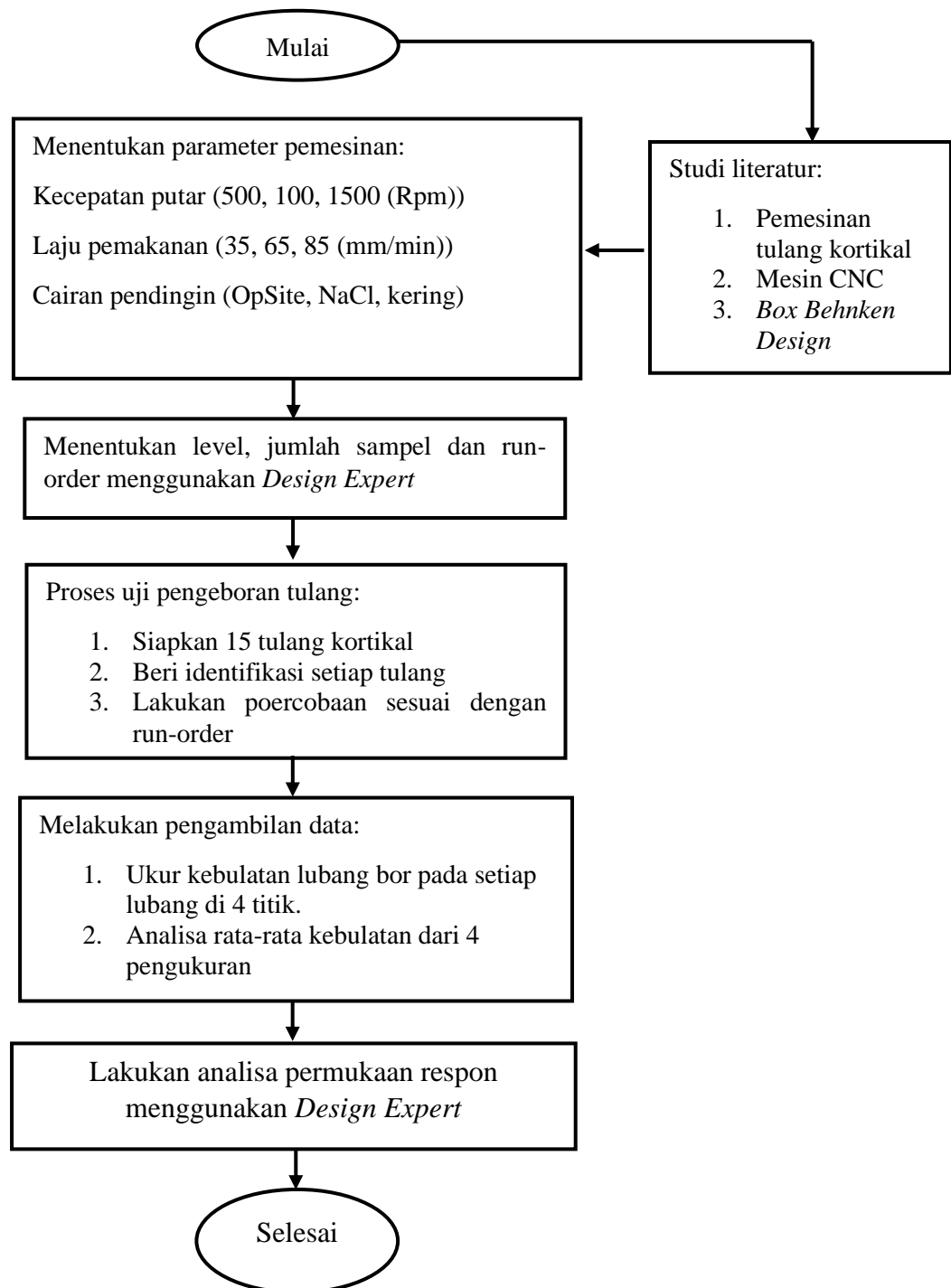
Adapun tempat pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan adalah:

- Proses pengeboran CNC dilakukan di Laboratorium Produksi SMK Muhammadiyah 2 Kalirejo.
- Proses pengambilan data dari penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Metrologi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan dapat diselesaikan dalam kurun waktu tiga bulan, dimulai dari bulan November 2023 sampai dengan bulan Januari 2024.

3.2 Diagram Alur



Gambar 3.1 Diagram alur

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan penulis dalam penelitian ini dilaksanakan terdiri dari alat utama dan alat pendukung lainnya yaitu sebagai berikut:

3.3.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Mesin CNC *milling*



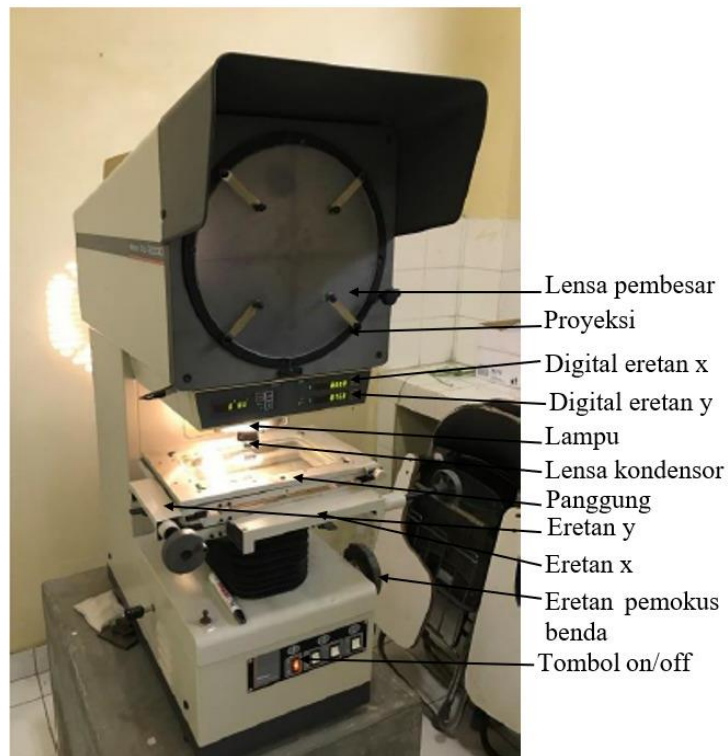
Gambar 3.1 Mesin CNC *milling*

Mesin *milling* CNC adalah salah satu jenis mesin CNC yang mengandalkan program computer dalam pengerjaannya. Sistem computer akan mengendalikan dan mengontrol mesin dengan gerak otomatis. Proses *milling* dalam mesin ini merupakan proses pengeboran dan pemotongan material. Adapun spesifikasi mesin CNC *milling* yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 3.1 Spesifikasi mesin CNC *milling*

Spesifikasi	Unit	VMC650
Table size	Mm	800 × 400
X axis travel	mm	650
Y axis travel	mm	400
Z axis travel	mm	500
Max. worktable load	kg	400
T slot(number-width-pitch)	mm	3*18*125
Max. spindle speed	rpm	8000
Spindle taper	mm	BT40
Main motor power	kw	5.5
X/Y/Z rapid traverse speed	m/min	24/24/20
Cutting feed speed	mm/min	1-1000
Guide rail type		Linear rail
Distance from spindle axis to column surface	mm	550
Distance between spindle nose and worktable surface	mm	120-620
Positioning accuracy	mm	±0.008
Repeat positioning accuracy	mm	±0.005
Tool magazine		
Machine weight		
Overall dimention	kg	4000
	mm	2400×2000×2550

b. *Profile projector*



Gambar 3.2 *Profil projector*

Profil projector adalah alat ukur pembanding optik yang digunakan untuk memproyeksikan gambar suatu objek ke layar. Berguna untuk mengukur bagian kecil atau kompleks, atau untuk melakukan pengukuran dengan perbesaran tinggi. Adapun spesifikasi alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

Tabel 3.2 Spesifikasi profil proyektor

Spesifikasi profil proyektor		
Projected image	Inverted image	
Protractor screen	Effective diameter Screen material Reverence line Angle display (LED)	12.4'' / 315 mm Fine ground glass Cross hair line Resolution: 1° or 0.001° (switchable), range: ± 360°
Projection lens	Standard accessory 10× (172-202)	
Magnification accuracy	Contour illumination Surface illumination	±0.1% or less ±0.15% or less
Contour illumination	Light source Optical system Functions	Halogen bulb (24V, 150W) Telecentric system 2-stage brightness switch, heat-absorbing filter
Surface illumination	Light source Optical system	Halogen bulb (24V, 150W) Vertical illumination with a half-reflection mirror
	XY range Resolution Measuring unit Table size Effective table area Max. workpiece height Funtions	8'' x 4'' (200 x 100 mm) .001'' / 0.001 mm Built-in linear scales 14.96 x 9.84'' (380 x 250 mm) 10.47 x 6.69'' (266 x 170 mm) 3.64'' (92.5 mm) ±direction swithing, SPC output zero-setting 3.3.1.1
Power supply	120V AC, 50 / 60 Hz	
Mass	308 lbs. (140 kg)	

c. Pahat Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Pahat Tahan Karat (*Stainless Steel*) Mata bor baja tahan karat dirancang khusus dengan bahan yang keras dan tajam, serta memiliki gigi atau lapisan pelindung yang tahan terhadap panas dan aus. Hal ini memungkinkan mata bor tersebut untuk mengebor dengan efisiensi tinggi, menghasilkan lubang yang bersih dan presisi.



Gambar 3. 4 Pahat Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Orthopedic drillbit digunakan untuk perawatan bedah patah tulang, kelainan bentuk, dan penyakit tumor tulang panjang, seperti pada lengan dan kaki. Material pada *orthopedic drillbit* ini terbuat dari bahan baja tahan karat *SS 316L* dimana baja tahan karat jenis ini aman digunakan untuk melubangi tulang kortikal.

d. Cairan Pendingin

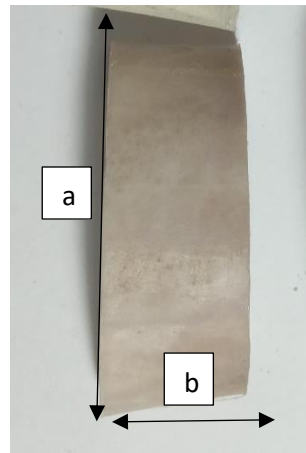
Cairan pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah cairan NaCl (cairan infus) dan cairan *Opsite*. Cairan NaCl dipilih karena memiliki konsentrasi yang mirip dengan kadar dalam tubuh manusia sedangkan cairan *opsite* dipilih karena dapat membantu melindungi luka, mencegah infeksi dan mempercepat kesembuhan. Pada proses pengeborannya cairan NaCl berperan sebagai larutan irigasi, membantu menjaga kelembaban dan keseimbangan elektrolit di sekitar area pengeboran. Sedangkan cairan *Opsite* dapat digunakan untuk menutup area setelah prosedur selesai, membantu menjaga kebersihan area pengeboran.



Gambar 3. 5 Cairan Pendingin

3.3.2 Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu tulang paha sapi kortikal yang sudah berumur dewasa dan sudah dibersihkan dari daging kemudian direndam air formalin agar tidak berbau amis. Tulang sapi dipilih karena tulang sapi dapat dengan mudah ditemukan, struktur anatomi tulang sapi memiliki kemiripan dengan tulang manusia terutama dalam hal komposisi dan tekstur, tulang sapi juga sering digunakan dalam penelitian biomekanik dan studi anatomi.



- a. Panjang tulang 4 - 5 cm
- b. Lebar tulang 2 cm

Gambar 3.4 Tulang kortikal sapi

3.4 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen untuk menganalisa pengaruh parameter pengeboran dengan bahan tulang kortikal sapi terhadap kebulatan lubang bor pada proses pengeboran CNC *milling*. Metodologi yang digunakan sebagai berikut:

1. Pesiapan bahan

Sebelum melakukan pengeboran, perlu disiapkan terlebih dahulu bahan uji yang akan dibor. Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah tulang kortikal sapi. Berikut adalah proses persiapan bahan uji:

- Bersihkan tulang dari daging yang masih menempel.
- Bersihkan pula sumsum tulang sapi.
- Setelah itu cuci bersih tulang dari sisa-sisa daging yang masih menempel.
- Setelah bersih rendam tulang di dalam air formalin agar tidak berbau amis selama satu malam.
- Setelah itu potong-potong tulang dengan lebar 2 cm dan panjang sesuai dengan besar diameter tulang.

2. Persiapan alat

Setelah bahan pengujian siap, selanjutnya adalah pengeboran bahan uji berupa tulang kortikal yang telah dibersihkan dari daging dan sudah dipotong menjadi beberapa bagian. Pada penelitian ini, pengeboran dilakukan dengan menggunakan mesin CNC. Berikut adalah proses persiapan alat pengeboran:

- Mempersiapkan lembar program CNC untuk mesin pengeboran.
- Menentukan lokasi dan dimensi lubang yang akan dibor.
- Memotong bahan menjadi ukuran yang sesuai.
- Memasang bahan pada meja kerja mesin dan memastikan pemasangan yang kuat.

Setelah tulang selesai dibor, perlu dilakukan uji kebulatan. Uji kebulatan pada penelitian ini menggunakan profil proyektor. Adapun proses persiapan alat uji yaitu:

- Pastikan alat uji profil proyektor dalam kondisi baik dan terkalibrasi dengan benar.
- Pastikan ruangan di mana proyektor akan diuji memiliki pencahayaan yang cukup rendah untuk menghindari pantulan yang mengganggu.
- Atur penempatan alat uji profil proyektor sehingga dapat diarahkan ke layar proyeksi dengan sudut yang sesuai.
- Sebelum pengujian, pastikan alat uji profil proyektor terkalibrasi dengan benar dan sesuai dengan panduan yang disediakan oleh produsen.
- Setel resolusi proyektor agar sesuai dengan kebutuhan pengujian.

3. Menetapkan angka untuk variabel dan respon

Adapun angka untuk variabel dan respon digunakan pada saat proses permesinannya berlangsung yaitu:

Tabel 3.5 Paramter Penelitian

No	Kecepatan Putar (n)	Laju Pemakanan (f)	Cairn pendingin (L)
	(Rpm)	(mm/mnt)	(-)
1	500	35	Kering
2	1000	65	NaCl
3	1500	85	OpSite

4. Menyiapkan tabel penelitian untuk metode permukaan respon *Box Behnken design (BBD)*

Adapun tabel penelitian untuk metode permukaan respon BBD adalah sebagai berikut:

Tabel 3.6 Parameter Penelitian *Box Behnken Design*

Run Order	Std Order	Kode Untuk Variabel		
		Kec. Putar (n) (Rpm)	Laju Pemakanan (mm/mnt)	Cairan Pendingin
1	5	-1	0	-1
2	6	1	0	-1
3	8	1	0	1
4	2	1	-1	0
5	7	-1	0	1
6	9	0	-1	-1
7	1	-1	-1	0
8	3	-1	1	0
9	14	0	0	0
10	13	0	0	0
11	12	0	1	1
12	15	0	0	0
13	4	1	1	0
14	11	0	-1	1
15	10	0	1	-1

Dengan keterangan tabel penjelasan mengenai keterangan faktor yaitu :

Tabel 3.7 Data Nomer Run Order *Box Behnken Design*

No	Parameter Pengeboran	Nomer Coding <i>BBD</i>		
		-1	0	1
1	Kecepatan Putar (n) (Rpm)	500	1000	1500
2	Laju Pemakanan (f) (mm/rev)	35	60	85
3	Cairan Pendingin	Kering	NaCl	Opsite

5. Prosedur pelaksanaan pengeboran menggunakan CNC *milling*

Berikut merupakan langkah – langkah dalam melakukan pengeboran pada mesin CNC *milling*:

- Memasang alat bor yang sesuai pada spindel mesin.
- Mengatur koordinat nol (*zero point*) pada mesin, merujuk pada lokasi lubang
- Menentukan parameter bor seperti putaran spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pengeboran.
- Membuat program CNC yang berisi instruksi – instruksi pengeboran menggunakan bahasa pemograman CNC seperti G-code.
- Menjalankan program CNC dalam mode simulasi lambat untuk memastikan tidak ada masalah.
- Memulai mesin dan menjalankan program CNC. Mesin akan secara otomatis melakukan pengeboran sesuai dengan program yang telah dibuat.
- Memantau proses pengeboran untuk memastikan bahwa lubang yang dihasilkan sesuai
- Setelah pengeboran selesai, periksa hasil pengeboran dan membersihkan komponen jika diperlukan.

6. Prosedur pengujian kebulatan menggunakan profil proyektor

Berikut merupakan langkah – langkah dalam melakukan pengujian kebulatan menggunakan profil proyektor:

- Nyalakan profil proyektor dan biarkan menyala selama beberapa menit untuk mencapai suhu dan stabilitas yang optimal.
- Letakkan bahan pengujian pada meja kerja, periksa apakah lubang yang akan diukur sudah presisi dan jelas pada layar.
- Setelah profil pada layar terlihat jelas, ukur diameter lubang dengan 4 titik yang berbeda.
- Pengukuran diameter dilakukan dengan memproyeksikan garis *center* ke lubang tepat pada ujung atas ataupun bawah.
- Kemudian mereset nilai sumbu X jika garis *center* sudah berada pada ujung atau di titik diameter yang akan diukur.
- Setelah itu geser garis *center* sampai ujung titik berlawanan.
- Catat hasil pengukuran sesuai titik.
- Setelah selesai pengujian, matikan proyektor dan alat uji profil proyektor, dan tutup kembali dengan benar.

7. Analisa Hasil

Setelah mendapatkan hasil data dari perhitungan menggunakan *Analisis Varians* (ANOVA) dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM), tahapan selanjutnya adalah melakukan analisis mendalam terhadap data tersebut. Dalam proses ini, dilakukan penelusuran terhadap pola-pola yang muncul, identifikasi hubungan antar variabel, serta penafsiran terhadap hasil yang diperoleh. Analisis ini bertujuan untuk memahami secara lebih mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil, serta potensi keterlibatan dari temuan tersebut terhadap proses yang sedang diteliti. Dengan demikian, analisis data perhitungan menjadi langkah penting dalam memperoleh pemahaman yang lebih mendalam terhadap fenomena yang sedang diteliti.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter pengeboran yang berpengaruh terhadap kesalahan *circularity* lubang bor adalah parameter laju pemakanan. Dengan signifikansi diperoleh nilai p-value lebih kecil dari nilai α yaitu sebesar 0,00126.
2. Pengeboran menggunakan cairan pendingin OpSite dengan kombinasi parameter laju pemakanan 35 mm/min dan kecepatan putar 1500 Rpm, didapatkan hasil *sirkularitas error* rendah.

5.2 Saran

Adapaun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Dalam penelitian faktor suhu pemesinan tidak diperhitungkan oleh karena itu penelitian selanjutnya dapat menguji apakah suhu pemesinan berpengaruh terhadap kebulatan lubang bor.
2. Diperlukannya alat bantu lain untuk pengamatan kerusakan lubang bor seperti mikroskop objektif atau uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk pengamatan bentuk kebulatan lubang bor yang terjadi dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdau, F. (2014). Pengaruh Jenis Pahat, Jenis Pendinginan Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kerataan dan Kekasaran Permukaan Baja ST 42 Pada Proses Bubut Rata Muka. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(01).
- Again, D. D.; Wimani, S. & Supartini, E. (2016). Penerapan metode overlaid contour plot dan desirability function pada central composite design. *BIASStatistic Vol. 10 No. 1*, 17-30
- Akhmadi, A. N., & Wulandari, R. (2021). Pengaruh Variasi Putaran Mesin Terhadap Waktu Pengeboran Dengan Material Aluminium Al 6063 Pada Mesin Bor Duduk. *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, 10(1), 11-15.
- Alam, K., Mitrofanov, A. V., & Silberschmidt, V. V. (2009). Measurements of surface roughness in conventional and ultrasonically assisted bone drilling. *American Journal of Biomedical Sciences*, 1(4), 312-320.
- Bohra, A., Chandrasekaran, M., & Teyi, N. (2019, July). Bone drilling investigation and possible research: A state of the art review. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2128, No. 1). AIP Publishing.
- Ferreira, S. L. C. (2007). Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta* 597, 179-186
- Ibrahim, G. A., Iskandar, J., Hamni, A., & Lestari, S. M. P. (2017). Analisa keausan pahat pada pemesinan bor magnesium AZ31 menggunakan metode taguchi. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 12(1), 29-35.
- Ibrahim, G., & Hamni, A. (2019). Analisis Kekasaran Permukaan dan Kebulatan Pada Pemesinan Drill Paduan Magnesium Menggunakan Metode Taguchi. *Machine; Jurnal Teknik Mesin Vol. 5 No. 1, April 2019*.

- Izamshah, R., Noorazizi, M. S., Kasim, M. S., & Haron, C. C. (2016, February). Influence of orthopaedic drilling parameters on surface roughness and cutting force of bone drilling process. In *International Conference on Electronics, Mechanics, Culture and Medicine* (pp. 610-616). Atlantis Press.
- Makmur, H. (2010). Analisa Pengaruh Kecepatan Potong Proses Pembubutan Baja Amutit K 460 Terhadap Umur Pahat HSS. *AUSTENIT*, 2(01).
- Mufarrih, A. M., Harijono, A., Amrullah, U. S., Qosim, N., & Emzain, Z. F. (2022). Analisa Kebulatan pada Proses Drilling Material KFRP. *Jurnal Mesin Nusantara*, 5(2), 201-212.
- Ndaruhadi, P. W., & Santosa, B. (2015). Akurasi Lubang Bor Hasil Proses Pengeboran Pada Material SKD-11. *Prosiding SNIJA*, 191-195.
- Nugroho, S., & Senoaji, H. K. (2010). Karakterisasi Pahat Bubut High Speed Steel (HSS) Boehler Tipe Molibdenum (M2) dan Tipe Cold Work Tool Steel (A8). *Rotasi*, 12(3), 19-26.
- Prakoso, I. (2014). Analisa Pengaruh Kecepatan Feeding Terhadap Kekasaran Permukaan Draw Bar Mesin Milling Aciera Dengan Proses Cnc Turning. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 3(3), 1-6.
- Sari, A. P., Priambodo, A., & Pramono, D. (2012). Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Keterlambatan Berobat Pada Pasien Patah Tulang Yang Menggunakan Sistem Pembiayaan Jamkesmas (Studi Kasus Di RSUP Dr. Kariadi Semarang Tahun 2012) (Doctoral dissertation, Fakultas Kedokteran).
- Sheng, G. T. (2016). The Effect of Using Coolant during Bone Drilling for Surgery Application. IRC.
- Taufic Rochim. (2001). Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik 1, Bandung, ITB.
- Tekindal, M. A., Bayrak, H., Özkaya, B., & Yasemin, G. E. N. Ç. (2012). Box-behnen experimental design in factorial experiments: the importance of bread for nutrition and health running head. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(2), 115- 123.

- Ulikaryani, U., Abdillah, H., & Hastuti, H. D. (2022). Analisis Ketidakpastian Pengukuran Dimensi Roda Gigi Lurus dengan Alat Ukur Profile Projector. *Jurnal Universal Technic*, 1(1), 52-66.
- Verma, R. K., Singh, V. K., Singh, D. K., & Kharwar, P. K. (2021). Experimental investigation on surface roughness and circularity error during drilling of polymer nanocomposites. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2501-2506.
- Winhaju, Wiwiek Setya. 2013. Analisis Variasi dan Statistik Matematika Yang Terkait. ITS. Surabaya
- Yanis, M. (2010). Analisis profil kebulatan untuk menentukan kesalahan geometrik pada pembuatan komponen menggunakan mesin bubut CNC. *Jurnal Rekayasa Sriwijaya*, 19(1), 50-58.
- Yudo, E., & Ariyanto, A. (2019). Kinerja Mesin Bubut Geminis Ditinjau Dari Kebulatan Benda Kerja. *Jurnal Integrasi*, 11(1), 9-13.