

**KAJIAN PEMESINAN BOR MATERIAL MAGNESIUM
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

(Tesis)

Oleh

R. DIDIEK EMBRIJAKTO



PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2018

ABSTRACT

STUDY OF DRILLING MACHINE OF MATERIAL MAGNESIUM USING TAGUCHI METHOD

By

R.DIDIEK EMBRIJAKTO

Magnesium is one the very important material light weight , especially in the field of the vehicle component , and field of biomedical . Application of material magnesium and its alloy in the field of biomedical based on the magnesium character which look very much like the nature of biocompatibility of bones in man and melted down within the body. Application material magnesium are also many developed by means of grown (implant).

Magnesium has several advantages , some of them are having the ratio of strength against high weight , and good machinability. Although magnesium alloy material having some of the more in the chemical nature and physics , but in the machining process an magnesium alloy known as combustible metal material type, especially during the machining process at high speed . The optimizing of machining process is necessary in order to maintain for not chip burning.

In this research , the point angle , a lubricant and drilling parameter were analyzed to know their influence on the value of surface roughness , cylindricity and perpendicularity. On this research analysis support for new carried out using a Taguchi Method L18 consisting of 3 factors with 3 levels and 1 factors with 2 levels. The research results show that surface roughness influenced by the significant contributions from the point angle 18.9 % and lubricant 14.5 % , where point angle is 65⁰ with lubricant of synthetic oil. The emergence of a nose radius tendency resulting in the increasing level subtlety.

Cylindricity influenced by an point angle 45⁰ of the drilling process however , especially if there is the interactions of the feeding of 0,2 mm and synthetic

lubricant. The cutting edge accuracy led to a tangential force so that had an impact on their rotation stability and the cylindricity of drilling result. The value of perpendicularity of magnesium AZ31 in the drilling process however also carried out similar procedures are very much influenced by the cutting parameter of feeding that produces the significance of $p = 0,044$, while the strongest significance will be happened if there were an interaction between feeding of 0,1 mm and synthetic lubricant to $p = 0,041$.

Keywords: Drilling Machine , Magnesium AZ31, Surface Roughness , Cylindricity , Perpendicularity , Taguchi Method.

ABSTRAK

KAJIAN PEMESINAN BOR MATERIAL MAGNESIUM MENGUNAKAN METODE TAGUCHI

Oleh

R.DIDIEK EMBRIJAKTO

Magnesium merupakan salah satu material bobot ringan yang sangat penting,, terutama di bidang komponen kendaraan , dan bidang biomedik . Aplikasi material magnesium dan paduannya dibidang material biomedik didasarkan pada sifat magnesium yang sangat mirip dengan sifat tulang manusia dan memiliki *biocompatibility* yang baik serta luluh di dalam tubuh. Aplikasi material magnesium juga banyak dikembangkan dengan cara ditanam (implan).

Magnesium mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, dan mampu mesin yang baik. Meskipun material paduan magnesium memiliki beberapa kelebihan dalam sifat kimia dan fisiknya, namun dalam proses pemesinan paduan magnesium dikenal sebagai material jenis logam yang mudah terbakar, terutama pada saat proses pemesinan dengan kecepatan tinggi. Pengoptimalan kondisi proses pemesinan adalah perlu untuk menjaga tidak terbakarnya tatal (*chip*). Dalam penelitian ini, sudut mata bor (*point angle*) , pelumas dan parameter pengeboran dianalisa untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kekasaran permukaan, kesilindrisan dan ketegaklurusan . Pada penelitian ini analisa dilakukan menggunakan Metode Taguchi L18 yang terdiri dari 3 faktor 3 level dan 1 faktor 2 level . Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekasaran permukaan dipengaruhi oleh adanya kontribusi dari sudut pahat 18,9% dan pelumasan 14,5%, dimana *point angle* adalah 65⁰ dengan pelumasan minyak sintetis. Munculnya kecenderungan *nose radius* mengakibatkan naiknya tingkat kehalusan.

Kesilindrisan dipengaruhi oleh sudut pahat 45^0 dari proses pengeboran, terutama jika terjadi interaksi pada *feeding* 0,2 mm dan lubrikan sintetis. Keakuratan sisi potong / *cutting edge* berakibat pada gaya tangensial sehingga berpengaruh pada kestabilan putaran dan kesilindrisan hasil pengeboran.

Nilai ketegaklurusan magnesium AZ31 dalam proses pengeboran sangat dipengaruhi pula oleh parameter pemotongan *feeding* yang menghasilkan signifikansi $P = 0,044$, sedangkan signifikansi terkuat terjadi jika ada interaksi antara *feeding* 0,1 mm dengan lubrikan sintetis pada $P = 0,041$.

Kata kunci : Pemesinan Bor , Magnesium AZ31, Kekasaran, Kesilindrisan, Ketegak Lurusan, Metode Taguchi

**KAJIAN PEMESINAN BOR MATERIAL MAGNESIUM
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

Oleh

R. DIDIEK EMBRIJAKTO

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

MAGISTER TEKNIK MESIN

Pada

Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITSA LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2018

Judul Skripsi : **KAJIAN PEMESINAN BOR MATERIAL
MAGNESIUM MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI**

Nama Mahasiswa : **R. Didiek Embri jakto**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1425021010**

Program Studi : **Magister Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



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

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

**2. Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin,**

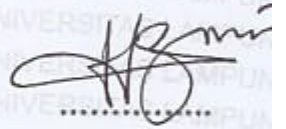
Dr. Amrizal, S.T., M.T.
NIP. 19700202 199803 1 004

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

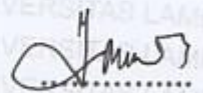
Ketua

: Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.



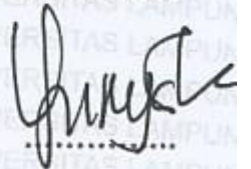
Anggota Penguji

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



Penguji Utama I

: Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T.



Penguji Utama II

: Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.



2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D

NIP. 19620717 198703 1 002



3. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Drs. Mustofa, MA, Ph.D.

NIP. 19570101 198403 1 020



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 31 Januari 2018

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul “KAJIAN PEMESINAN BOR MATERIAL MAGNESIUM MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiatisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya; saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Februari 2018



ang Membuat

Didiek Embrijakto
R. Didiek Embrijakto

NPM. 1525021010

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan dikota Surakarta, Propinsi Jawa Tengah pada tanggal 13 Desember 1952 sebagai anak pertama dari tujuh bersaudara. Dari Bapak Yohanes Sukiman Kartoatmojo dan Ibu Anastasia Murtiah.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di :

1. SD. Pangudiluhur di Surakarta, Jawa Tengah tahun 1965,
2. SMP. Kanisius 2 ,di Surakarta tahun 1968,
3. STM Mikael jurusan mesin ,di Surakarta tahun 1971,
4. Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI) Surakarta tahun 1974,
5. S1 Ekonomi Manajemen di Universitas Terbuka (UT) tahun 1997,
6. S1 Teknik Mesin di Universitas Gajah Mada (UGM) tahun 2003,
7. Magister Manajemen (MM) pada bidang Manajemen Keuangan di Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta tahun 2003,
8. Magister Teknik (MT) pada bidang Teknik Sipil di Universitas Bandar Lampung (UBL) tahun 2014,
9. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan Pendidikan Pasca Sarjana di Universitas Lampung (UNILA) Jurusan Magister Teknik Mesin.

Saat ini penulis bekerja sebagai konsultan untuk sekolah vokasi (Training Center) , Sekolah Kejuruan maupun Politeknik). Penulis mengajar di SMK dan Politeknik Sugar Group Companies di Lampung Tengah.

MOTTO

**“DEMIKIAN JUGA HALNYA DENGAN IMAN :
JIKA IMAN TIDAK DISERTAI PERBUATAN, MAKA IMAN ITU PADA
HAKEKATNYA ADALAH MATI”**

(Yakobus 2 : 17)

SANWACANA

Puji syukur kami hujukkan kepada Allah Yang Maha Kuasa dan Baik karena atas berkat rahmat dan karuniaNya tetap memampukan dimasa tua saya untuk menyelesaikan Tesis ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik di Universitas Lampung.

Tesis dengan judul “Kajian Pemesinan Bor Material Magnesium Menggunakan Metode Taguchi”. dapat diselesaikan dengan baik berkat partisipasi, bantuan , dukungan dan doa dari berbagai pihak.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Drs. Mustofa, MA, Ph.D. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Suharno M.S, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Amrizal, S.T., M.T. selaku Ketua Program Magister Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. sebagai Dosen pembimbing utama atas kesediaannya memberikan bimbingan, arahan, saran dan masukan dalam proses penyelesaian Tesis ini.

5. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. sebagai pembimbing kedua atas kesediaannya juga dalam memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam proses penyelesaian Tesis ini.
6. Bapak Dr.Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T. sebagai dosen pada konsentrasi manufaktur yang memberi banyak masukan pada masalah yang saya hadapi dalam menyelesaikan Tesis ini.
7. Dosen Penguji yang telah mengkritisi dan memberikan masukan untuk sempurna Tesis ini.
8. Para Dosen pada Pasca Sarjana Teknik Mesin yang sudah memberikan ilmu kepada saya dengan sepenuh hati.
9. Manajemen lab. Teknik Mesin Universitas Lampung, lab Pengujian Politeknik ATMI Surakarta, lab. Produksi Politeknik Sugar Group Companies, lab Polman Ceper dalam membantu proses pengujian untuk Tesis ini.
10. Bapak dan Ibu yang sudah ada disurga, saya yakin engkau selalu tetap mendoakan anakmu yang masih berziarah didunia ini. Terima kasih.
11. Isteri , anak dan cucu tercinta dimanapun kalian berada, terima kasih atas doamu.
12. Teman – teman Angkatan II Magister Teknik Mesin Universitas Lampung terutama mas Christian dan mas Hari juga mas Opi, maju terus. saya bisa berarti anda pasti juga bisa.

Tiada gading yang tak retak, penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kelemahan dalam penyajian Tesis ini, dengan senang hati saya menerima kritikan dan saran dari semua pihak untuk sempurnanya Tesis ini. Terima kasih. Berkah Dalem.

Bandar Lampung, 30 Januari 2018

Penulis,

R. Didiek Embrijakto

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---------------------------------------|---------|
| ABSTRACT | i |
| ABSTRAK | .iii |
| LEMBAR PENGESAHAN | vii |
| PERNYATAAN PENULIS | viii |
| RIWAYAT HIDUP | ix |
| MOTTO | xi |
| SANWACANA | xii |
| DAFTAR ISI | xv |
| DAFTAR TABEL | |
| DAFTAR GAMBAR | |
| | |
| BAB I. PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan penelitian | 6 |
| 1.3 Batasan Masalah | 7 |
| 1.4 Sistematika Penulisan | 7 |
| | |
| BAB II. LANDASAN TEORI | |
| 2.1 Pemesinan | 9 |
| 2.2 Drilling | 10 |
| 2.3 Mesin Bor dan Cara Kerjanya | 13 |
| 2.4 Bagian-Bagian Mata Bor | 14 |
| 1. Elemen pahat | 14 |
| 2. Bidang pahat | 15 |
| 2.5 Mekanisme Pembentukan Geram | 16 |

| | |
|--|----|
| 2.6 Mekanisme Aus Pahat | 16 |
| 2.7 Kriteria Aus Pahat | 19 |
| 2.9 Pengamatan Aus Pahat | 21 |
| 2.9 Bahan Pahat | 22 |
| 2.10 Perhitungan Waktu Pemotongan Benda Kerja | 25 |
| 2.11 Pemakanan Pengeboran | 27 |
| 2.12 Cairan Pelumas | 29 |
| 2.13 Cairan Pelumas Dalam Proses Pemesinan | 30 |
| 2.14 Cairan Pelumas Dalam Penelitian Dasar Pemilihan Minyak Pelumas | 30 |
| 2.15 Magnesium dan Proses Pemesinan | 37 |
| 2.16 Magnesium dan Paduan Magnesium. | 39 |
| 2.17 Proses Pembuatan Magnesium | 44 |
| 2.18 Hubungan Dasar Implant Biomedis dan Biomaterial | 48 |
| 2.19 Metode Taguchi | 52 |
| 2.20 Anova (Analysis Of Variance) | 54 |

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

| | |
|---|----|
| 3.1 Tempat Penelitian | 56 |
| 3.2 Bahan | 56 |
| 1 Perkakas Pemotong | 56 |
| 2 Bahan Benda Kerja | 58 |
| 3 Bahan Pelumas | 59 |
| 3.3 Peralatan | 62 |
| 1 CNC Vertical Machining | 62 |
| 2 Coordinate Measuring Machine (CMM) | 63 |
| 3 Kamera Mikroskop USB | 64 |
| 4 Mitutoyo SURFTEST SJ-201 PM | 66 |
| 3.4 Pengujian Permesinan | 67 |
| 3.5 Pengujian dengan Taguchi | 68 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 3.6 Diagram Alur Penelitian | 71 |
|-----------------------------------|----|

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|-----|
| 4.1 Hasil Pengujian | 73 |
| 4.2 Pembahasan Nilai Kekasaran Permukaan Hasil proses pengeboran .. | 81 |
| 4.3 Pembahasan Nilai Kesilindrisan / Roundness Hasil proses Pengeboran | .92 |
| 4.4 Persamaan Unit Unit Pada Takberkode | 96 |
| 4.5 Pembahasan Nilai Ketegaklurusan Hasil proses pengeboran | 98 |
| 4.6 Persamaan Unit Unit Pada Takberkode | 100 |

BAB V. KESIMPULAN

| | |
|-------------------|-----|
| A. Simpulan | 103 |
| B. Saran | 104 |

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|----------------|
| Gambar 2.1 . Mekanisme kerja proses pengeboran magnesium | 10 |
| Gambar 2.2 Mesin bor tipe sederhana / <i>bench drill machine</i> | 11 |
| Gambar 2.3 .Bagian dari Mesin Bor / <i>bench drilling Machines</i> | 15 |
| Gambar 2.4. Nama Bagian Mata Bor | 15 |
| Gambar 2.5. Geram keluar | 16 |
| Gambar 2.6. Bidang Pahat Potong (flank, rake , clearance) | 20 |
| Gambar 2.7. Berbagai Jenis Implan Biomedis. | 49 |
| Gambar 3.1 Bor diameter 12 mm sebagai alat penelitian | 57 |
| Gambar 3.2. Bor dengan perubahan <i>point angle</i> yang berbeda. | 57 |
| Gambar 3.3. Material Uji dengan ukurannya | 58 |
| Gambar 3.4. Material Uji | 58 |
| Gambar3.5.Proses milling pada aluminium tebal menggunakan suatu cairan potong berdasar air (water-based cutting fluid) pada <i>milling cutter</i> | 61 |
| Gambar 3.6 CNC <i>Vertical Machining</i> menggunakan program Fanuc | 56 |
| Gambar 3.7. <i>Coordinate Measuring Machine</i> (CMM) | 58 |
| Gambar 3.8.Mikroskop USB | 59 |
| Gambar 3.9.Proses pengukuran dengan Surface Test SJ-201 PM | 66 |
| Gambar 3.10. Mekanisme penggunaan Mitutoyo SJ-201 PM | 69 |
| Gambar 4.1. Benda Uji diratakan dan diawali dengan <i>predrill</i> diameter 5 mm.. | 77 |
| Gambar 4.2. Proses pengeboran dengan lubrikan minyak sintetis , kelapa sawit dan kedelai | 77 |
| Gambar 4.3 Hubungan antara <i>point angle</i> dan <i>cutting edge</i> | 78 |
| Gambar 4.4 Grafik Plot SNR untuk Faktor Utama pada kekasaran permukaan (Ra) Magnesium AZ 31 | 85 |
| Gambar 4.5 Interaksi proses parameter pada kekasaran permukaan (Ra) Magnesium AZ 31 | 89 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.6 <i>Contour Plot of Ra vs RPM, Point Angle</i> | 89 |
| Gambar 4.7 <i>Contour Plot of Ra vs RPM, Feeding</i> | 90 |
| Gambar 4.8 <i>Contour Plot of Ra vs Feeding, Point Angle</i> | 90 |
| Gambar 4.9 Prakiraan Round Nose untuk bor dengan sudut berbeda | 91 |
| Gambar 4.10 Pengukuran selisih sisi potong / <i>cutting edges</i> | 93 |
| Gambar 4.11 Gaya Tangensial pada Mata Bor | 94 |
| Gambar 4.12. Grafik Plot SNR untuk Faktor Utama Kesilindrisan | 97 |
| Gambar 4.13 Interaksi proses parameter pada kesilindrisan Magnesium AZ 31. . | 98 |
| Gambar 4.14 Grafik Plot Rasio SNR untuk Faktor Utama Ketegaklurusan | 101 |
| Gambar 4.15 Interaksi proses parameter pada ketegaklurusan Magnesium AZ31 | 102 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|----------------|
| Tabel 2.1. Batas Keausan Kritis | 21 |
| Tabel 2.2. Nilai Kecepatan Potong Mata Bor dari bahan HSS. | 26 |
| Tabel 2.3. Nilai Kecepatan Potong Mata Bor dari Bahan HSS | 27 |
| Tabel 2.4. Besarnya Pemakanan Berdasarkan Diameter Mata Bor. | 28 |
| Tabel 2.5. Sifat Fisik Magnesium. | 42 |
| Tabel 2.6. Sifat Kimia Magnesium AZ31. | 43 |
| Tabel 3.1. Urutan proses pengerjaan material uji | 59 |
| Tabel 3.2. Data CNC <i>vertical machining</i> | 64 |
| Tabel 3.3. Spesifikasi Mikroskop USB. | 65 |
| Tabel 3.4. Spesifikasi <i>Surface Tester</i> | 67 |
| Tabel 3.5. Data <i>Run Order</i> data penelitian. | 69 |
| Tabel 3.6. Data Rumus Penelitian dengan Metode Taguchi | 70 |
| Tabel 4.1. <i>Run Order</i> penelitian | 73 |
| Tabel 4.2. Data Hasil Penelitian dengan Metode Taguchi | 74 |
| Tabel 4.3. Perbandingan Sifat Fisik Minyak Nabati dan Mineral | 76 |
| Tabel 4.4. Model Estimasi dan Anova untuk Kekasaran Permukaan (Ra) | 83 |
| Tabel 4.5 Respon SNR untuk Kekasaran Permukaan (Ra) | 84 |
| Tabel 4.6. <i>Backward Elimination of Terms</i> untuk Kekasaran Permukaan (Ra).. . . . | 85 |
| Tabel 4.7. Model Estimasi dan Anova untuk Kesilindrisan/ <i>Roundness</i> | 94 |
| Tabel 4.9. Model Estimasi dan Anova untuk Ketegaklurusan | 98 |
| Tabel 4.10. Respon untuk SNR untuk Ketegaklurusan | 101 |

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material logam mempunyai peranan penting sebagai biomaterial untuk mengganti jaringan tulang yang rusak akibat penyakit atau kecelakaan (Niinomi, 2002). Hal ini disebabkan karena logam mampu menahan beban atau gesekan yang biasanya ditempatkan pada lutut, punggung, siku dan lain-lain dibanding material keramik atau polimer. Untuk implan diperlukan material yang mempunyai sifat mekanik yang tinggi seperti kuat, tangguh dan ulet. Paduan logam yang umum digunakan sebagai biomaterial meliputi baja tahan karat, titanium dan paduan kobalt-kromium. Namun paduan tersebut mempunyai banyak kelemahan, terutama kobalt-kromium yang memiliki kecenderungan untuk melepas racun akibat proses korosi atau keausan (Edward, 1985). Hal ini dapat mengurangi biokompatibilitas dan menghambat pertumbuhan jaringan tulang. Selain itu modulus elastis biomaterial selama ini tidak sesuai dengan jaringan tulang alami sehingga dapat menyebabkan berkurangnya stimulasi pertumbuhan tulang baru dan menurunkan stabilitas implan (Nagel, 2003). Lebih jauh korosi yang ditimbulkan dari material implan dapat mengubah bentuk ukuran dan komposisi kimia yang biasa saja sangat berbahaya untuk tubuh. Pada saat ini, biomaterial logam digunakan sebagai pengganti tulang-tulang yang patah, namun setelah pemakaian yang cukup lama harus dikeluarkan melalui

pembedahan. Pembedahan yang berulang-ulang dapat meningkatkan biaya kesehatan dan penyakit lain yang muncul setelah pembedahan lebih lanjut dan mungkin akan menyebabkan pasien mengalami komplikasi sehingga menyulitkan penyembuhan (Bondan, 2013).

Magnesium adalah salah satu material bobot ringan yang sangat penting,, terutama di bidang komponen kendaraan, dan bidang biomedik. Hal ini dikarenakan magnesium mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, dan mampu mesin yang baik (Biermann and Liu, 2014). Magnesium dan paduannya dikategorikan sebagai logam ringan, oleh karena itu magnesium diaplikasikan dibidang otomotif karena mampu menurunkan berat komponen dan mengurangi berat keseluruhan kendaraan. Demikian juga bila digunakan untuk komponen rangka pesawat angkasa, disamping bernilai dekoratif, berat rangka yang ringan diperlukan untuk mengurangi berat keseluruhan badan pesawat (Ibrahim, 2014).

Meskipun material paduan magnesium memiliki beberapa kelebihan dalam sifat kimia dan fisiknya, namun dalam proses pemesinan paduan magnesium dikenal sebagai material jenis logam yang mudah terbakar, terutama pada saat proses pemesinan dengan kecepatan tinggi (Spicer, et.al, 2014; Ibrahim, 2014). Hal ini disebabkan oleh suhu atau titik cair material magnesium yang rendah dan sifat magnesium yang mudah terbakar (*flammable*). Pada saat proses pemesinan magnesium berlangsung, gesekan antara benda kerja dan pahat potong dapat menimbulkan panas dan temperatur yang dicapai tinggi sehingga menimbulkan

api. Demikian juga gesekan antara geram dan permukaan atas pahat menimbulkan panas yang tinggi. Bahkan panas yang dihasilkan dapat menyebabkan geram terbakar (Kalpakjian and Schmid, 2002). Peningkatan suhu pemotongan sangat bergantung kepada kecepatan potong yang dipilih saat proses pemotongan, walaupun parameter kecepatan pemakanan, kedalaman potongan dan jenis pahat potong juga mempengaruhi terhadap suhu pemotongan yang dihasilkan (Ibrahim, 2014). Distribusi suhu yang dibangkitkan selama proses pemesinan didistribusi ketiga-tiga bagian komponen kontak pemesinan yaitu pahat potong, benda kerja dan geram, dan antara ketiga komponen tersebut. Geram merupakan komponen yang paling banyak mendapatkan distribusi suhu pemotongan hingga mencapai 70% dari keseluruhannya (Trent, 2001). Dibidang biomedik, aplikasi material magnesium banyak dikembangkan dengan cara ditanam / implant. Paduan magnesium dapat didisain untuk larut dan menyesuaikan dengan kebutuhan implant khusus pada berbagai aplikasi. (Hofmann, D,2009).

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) suatu produk pemesinan dapat mempengaruhi beberapa fungsi produk tersebut seperti, gesekan permukaan (*surface friction*), perpindahan panas, kemampuan penyebaran pelumasan, pelapisan dan lain-lain. Dimana semakin halus kekasaran permukaan semakin kecil gesekan yang terjadi, semakin halus kekasaran permukaan semakin merata penyebaran perpindahan begitu juga dengan penyebaran pelumasan. Oleh karena itu, kekasaran permukaan menjadi tolok ukur keakuratan dan kualitas permukaan suatu produk industri manufaktur.

Tingkat kekasaran yang diinginkan dapat ditentukan oleh parameter pemotongan; Kedalaman pemakanan (*depth of cut*), laju pemakanan (*feed rate*), dan kecepatan potong (*cutting speed*), jika kekasaran permukaan yang didapatkan tidak sesuai dengan yang diinginkan, maka dilakukan lagi proses pemesinan dengan pengaturan parameter pemotongan yang lain (Kalpakjian and Schmid, 2002).

Permasalahannya adalah seberapa besar pengaruh pada penelitian ini untuk , laju pemakanan (*feed rate*), dan kecepatan potong (*cutting speed*) terhadap kekasaran permukaan. Proses pemesinan bor atau pengeboran sangat menentukan kualitas permukaan (kekasaran permukaan) benda kerja atau komponen yang dibuat, bahkan dianggap sebagai faktor yang paling krusial disamping sifat mampu mesin paduan magnesium (Chong and Shih, 2002). Pemilihan jenis pahat bor yang digunakan, baik material pahat ataupun geometri pahat bor, berkontribusi signifikan terhadap kualitas permukaan komponen yang dibuat (Ibrahim, 2014). Penggunaan pahat bor bermata dua (*twiss drill*) dan pemilihan kemiringan mata pahat (*point angle*) sebesar 55° memberikan pengaruh yang baik terhadap kualitas nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan dan struktur mikro permukaan komponen. $n = 405$ rpm dan pemakanan pada $0,1$ mm/ putaran (Chong and Shih, 2002). Penggunaan sudut potong pahat yang lebih kecil menghasilkan geram yang lebih tahan terhadap regangan dan lebih tahan terhadap dislokasi butiran pada struktur mikronya (Anilchandra and Surappa, 2010). Oleh karena itu, pemilihan parameter pemotongan dan jenis pahat potong yang digunakan sangat menentukan terhadap kualitas komponen yang dihasilkan.

Selain faktor pemilihan parameter pemotongan dan jenis pahat potong yang digunakan pada metode pemotongan, seperti pemesinan yang menggunakan pelumas, pemesinan menggunakan pelumas sejumlah kecil, juga memberikan pengaruh yang signifikan (Ibrahim, et.al, 2011). Bagaimanapun juga, penggunaan cairan pelumas ataupun pendingin pada proses pemotongan akan memberikan efek merusak terhadap lingkungan dan operator kerja. Oleh sebab itu, penggunaan pelumas dalam kuantitas terbatas akan mengurangi dampak terhadap lingkungan, namun memberikan efek yang signifikan terhadap kualitas permukaan dan daya tahan mata pahat (Klocke, 1997). Ia juga mengatakan bahwa kuantitas pelumas sebesar 50 ml/jam dapat menghasilkan nilai kekasaran permukaan benda kerja mesin menjadi lebih rendah dibandingkan dengan pemesinan tanpa menggunakan pelumas, hingga mencapai 50%. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa penggunaan pelumas dengan kuantitas minimum memberikan kontribusi signifikan terhadap kualitas permukaan komponen dan daya tahan pahat potong.

Metode Taguchi dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi. Metode ini dibagi dalam tiga tingkat : disain sistem, disain parameter dan disain toleransi. Metode Taguchi adalah metode statistik digunakan untuk meningkatkan kualitas produk. Dalam penelitian ini Proses Taguchi membantu memilih atau menentukan kondisi pemotongan yang optimum untuk proses drilling. Taguchi mengembangkan suatu disain khusus dari orthogonal arrays untuk mempelajari seluruh bidang parameter dengan hanya menggunakan sedikit percobaan. Hasil percobaan – percobaan tersebut kemudian ditransformasikan kedalam suatu rasio *signal-to-noise* (S/N). Penggunaan rasio S/N sebagai suatu pengukur penyimpangan sifat-sifat kualitas

atau dari nilai-nilai yang mendekati ke nilai yang diinginkan. Ada tiga kategori dari sifat-sifat kualitas dalam analisa dari rasio S/N, misalnya yang lebih rendah lebih baik, yang lebih tinggi lebih baik, dan nominal lebih baik. Lebih kecil lebih baik : hal ini digunakan dimana nilai yang lebih kecil yang diinginkan.(Alagarzamy, et.al, 2016).

Oleh karena itu, penelitian ini untuk mendapatkan kondisi proses pemesinan bor yang optimal terhadap material paduan magnesium AZ31 yang dicadangkan sebagai material *orthopedi implant* (pengganti tulang yang ditanam di dalam tubuh) perlu dilakukan kajian yang mendalam termasuk dalam hal ini, pahat bor *twiss drill* dan kondisi pemesinan menggunakan pelumas berkuantitas minimum (*minimum quantity lubrication*). Minimum Quantity Lubrication (MQL), sebagai pelumas dengan kuantitas minimum merupakan proses pelumasan untuk mengurangi gesekan antara pahat dan benda kerja yang akan mengurangi laju kenaikan suhu pahat sehingga menaikkan umur pahat (Boswell.B, 2013). Dalam MQL penggunaan pelumas sangat kecil kurang dari 500 mL/jam sehingga benda kerja, pahat mesin , dan suhu dari lingkungan tetap relatif kering (Klocke,1997). Untuk mencapai tujuan penelitian, diimplementasi pendekatan disain penelitian Metode Taguchi dengan jumlah eksperimen mengikuti ketentuan *orthogonal array L18*.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada proses pemesinan bor dengan pelumasan berkuantitas minimum . Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Melakukan pemesinan bor menggunakan pahat bor *twist drill* dengan beberapa variasi sudut kemiringan (*point angle*) pahat .
2. Menganalisis proses pemesinan bor melalui pengamatan kekasaran permukaan benda kerja (lobang pengeboran), kesilindrisan dan ketegaklurusan.
3. Mengaplikasikan Metode Taguchi pada pemesinan bor magnesium untuk mendapatkan kondisi optimum pemesinan.

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi permasalahan yang terjadi berkaitan dengan penelitian, ada beberapa hal yang menjadi batasan yaitu :

1. Ketebalan pelat yang akan dibuat lubang pada AZ31 maksimal 40 mm dengan diameter lubang 12 mm.
2. Material magnesium yang digunakan adalah AZ31.
3. Pahat yang digunakan jenis twist drill HSS , diameter 12 mm.
4. Permesinan bor dilakukan secara CNC.

1.4 Sistematika Penulisan

BAB I. PENDAHULUAN : Latar Belakang, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Sistematika Penulisan, judul sub bab.

BAB II. LANDASAN TEORI : Pemesinan, Magnesium dan Proses Pemesinan, Magnesium dan Paduan Magnesium, Hubungan dasar Implant Biomedica dan Biomaterial , Metode Taguchi.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN : judul sub bab, Tempat Penelitian, Bahan, Peralatan, Pengujian Pemesinan, Pengujian Taguchi, Diagram Alir Penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN : Menjelaskan data hasil pengujian, Pembahasan Nilai Kekasaran Permukaan, Pembahasan Nilai Kesilindrisan dan Pembahasan Nilai Ketegaklurusan hasil Proses Pengeboran.

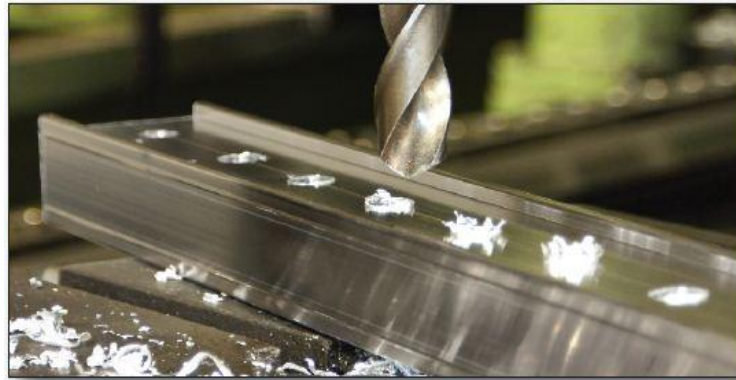
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN : menjelaskan hasil kesimpulan dari bab sebelumnya dan memberikan saran untuk penelitian yang akan dilaksanakan kemudian.

BAB II. LANDASAN TEORI

2.1 Pemesinan

Pemesinan adalah suatu proses produksi menggunakan mesin perkakas dengan memanfaatkan gerakan relatif antara pahat dengan benda kerja sehingga menghasilkan suatu produk sesuai dengan hasil geometri yang diinginkan. Logam dapat dipisahkan kedalam bagian – bagian / geram dengan menggunakan sebuah perkakas dan banyak sumber energi lain untuk memisahkannya. (Chaplin, 1976). Teknik pembentukan logam menggunakan perkakas dengan cara membuang bagian material yang tidak diperlukan, lebih dikenal dengan istilah proses pemesinan. Dalam proses pemesinan ini, perkakas yang digunakan untuk membuang material bersifat tajam, karena berfungsi menyayat benda kerja dengan ketebalan tertentu (Kalpakjian and Schmid, 2001).

Prinsip kerja proses pemesinan adalah dengan cara menempatkan benda kerja yang akan dipotong di atas meja potong. Untuk mendapatkan benda keadaan yang kaku digunakan komponen pencekam, agar benda kerja tidak dapat bergerak sewaktu proses pemesinan. Jika benda kerja tidak dalam kondisi kaku pada saat proses pemesinan berlangsung, dapat menyebabkan kerusakan pada geometri komponen atau merusak ketelitian. Secara detail, cara kerja proses pemesinan dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1,



Gambar 2.1 Mekanisme kerja proses pengeboran magnesium

(Boothroyd, 1975)

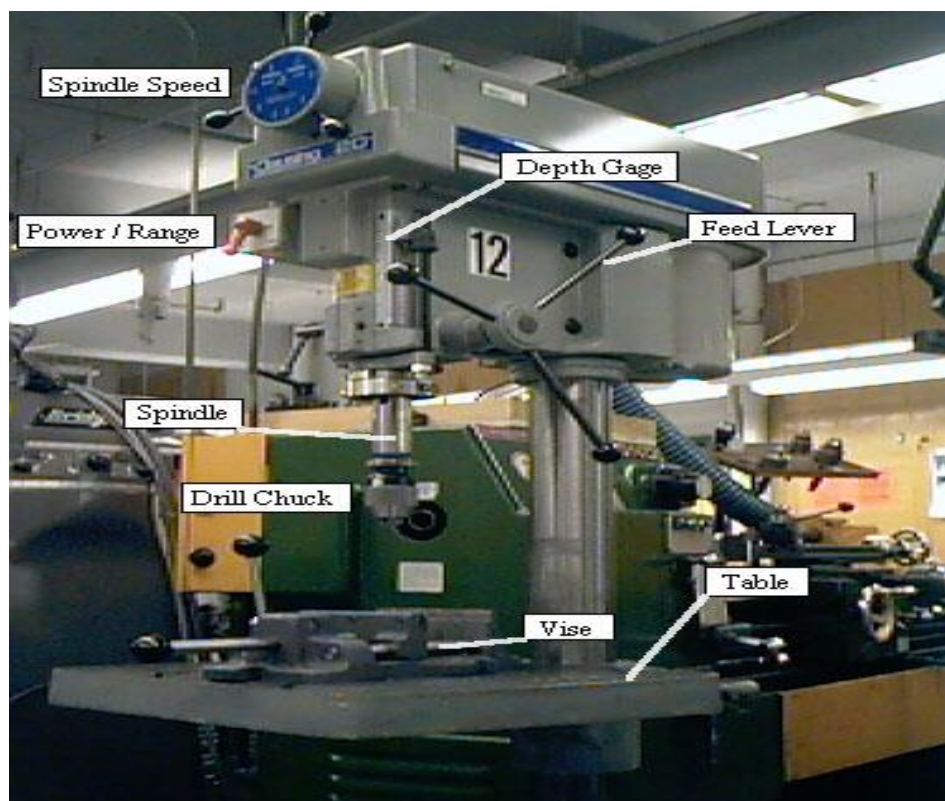
Proses pemesinan dapat diklasifikasikan dalam dua klasifikasi besar yaitu proses pemesinan untuk membentuk benda kerja silindris atau konis dengan benda kerja atau pahat berputar, dan proses pemesinan untuk membentuk benda kerja permukaan datar tanpa memutar benda kerja.

Klasifikasi yang pertama meliputi proses bubut dan variasi proses yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, mesin gurdi (*drilling machine*), mesin frais (*milling machine*), mesin gerinda (*grinding machine*). Klasifikasi kedua meliputi proses sekrap (*shaping planing*), proses slot (*slotting*), proses menggergaji (*sawing*), dan proses pemotongan roda gigi (*gear cutting*) (Chaplin, 1976).

2.2 Drilling

Salah satu proses permesinan yang sering digunakan adalah pengeboran atau drilling. Bor itu sendiri adalah salah satu mesin perkakas, yang secara umum

digunakan untuk mengebor suatu benda kerja. Pada mesin bor ini juga dapat dilakukan pekerjaan yang lainnya seperti, memperluas lubang, pengeboran untuk tirus pada bagian suatu lubang atau pembedaman. Dalam pelaksanaannya pengeboran sesungguhnya adalah suatu poros yang berputar, dimana pada bagian ujungnya (bagian bawah) disambungkan mata bor yang dapat mengebor terhadap benda kerja yang di jepit pada meja mesin bor (Hendra, 2004).



Gambar 2.2 Mesin bor tipe sederhana / *bench drilling machine* (Boothroyd, 1975)

Jadi secara umum dalam pelaksanaan pengeboran suatu lubang pada benda kerja diperlukan suatu mesin bor yang bekerja baik dan teliti. Mesin dapat mengebor benda kerja secara terus menerus dan mempunyai kecepatan poros

yang dapat disetel menurut kebutuhannya dan dapat dilakukan bermacam-macam pengeboran yang sesuai kebutuhan. Apabila pekerja akan mengebor dengan teliti, haruslah bekerja dengan hati-hati, karena pada pemakanan atau pemotongan permulaan, kemungkinan miring atau bisa meleset. Oleh karena itu pada bagian yang akan dibor terlebih dahulu harus dibuat titik pusat yang memenuhi syarat.

Menurut Rahdiyanta (2010), mengacu pada panduan bahwa karakteristik proses pengeboran agak berbeda dengan proses pemesinan yang lain, yaitu :

1. Geram harus keluar dari lubang yang dibuat,
2. Geram yang keluar dapat menyebabkan masalah ketika ukurannya besar dan atau kontinyu,
3. Proses pembuatan lubang bisa sulit jika membuat lubang yang dalam,
4. Untuk pembuatan lubang dalam pada benda kerja yang besar, cairan pendingin dimasukkan ke permukaan potong melalui tengah mata bor.

Mesin bor mempunyai prinsip dasar gerakan yaitu gerakan berputar spindel utama (n) dan gerakan/laju pemakanan (f).

1. Putaran mata bor (n)

Gerakan putaran mata bor ini merupakan gerakan berputarnya spindel mesin bor. Gerakan ini sering disebut gerakan utama (*main motion*). Besarnya putaran spindel yang diperlukan tergantung oleh material benda kerja, material mata bor dan diameter mata bor. Gerakan kepala utama ini diukur dalam m/menit.

2. Laju pemakanan (f)

Laju pemakanan adalah gerakan turunnya mata bor menuju benda kerja tiap satuan waktu. Besarnya laju pemakanan ini mempengaruhi kualitas permukaan hasil lubang. Laju pemakanan diukur dalam mm/putaran.

2.3 Mesin Bor dan Cara Kerjanya

Mesin bor dibagi menjadi tujuh macam yakni mesin bor meja, mesin bor tangan (pistol), mesin bor radial, mesin bor tegak (*vertical drilling machine*), mesin bor koordinat, mesin bor rantai, mesin bor berporos (mesin bor gang). Salah satu mesin bor yang sering digunakan adalah mesin bor meja, yaitu mesin bor yang diletakkan diatas meja.

Mesin ini digunakan untuk membuat lobang benda kerja dengan diameter kecil (terbatas sampai dengan diameter 16 mm). Prinsip kerja mesin bor meja adalah putaran motor listrik diteruskan ke poros mesin sehingga poros berputar. Selanjutnya poros berputar yang sekaligus sebagai pemegang mata bor dapat digerakkan naik turun dengan bantuan roda gigi lurus dan gigi rack yang dapat mengatur tekanan pemakanan saat pengeboran. Bagian utama mesin bor meja adalah sebagai berikut :

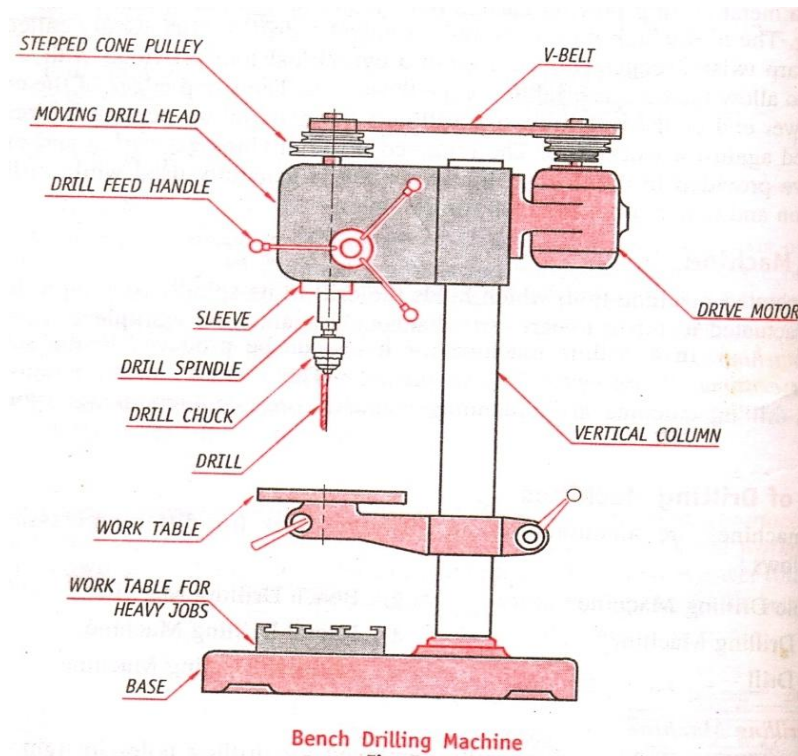
1. *Spindel* pada mesin bor berfungsi menggerakkan mata bor.
2. *Drill head* pada mesin bor berfungsi menopang mekanisme penggerak pisau potong dan menghantarkan ke benda kerja.

3. Lengan radial, bagian dari mesin bor radial yang dapat bergerak naik turun maupun berputar dimana motor penggerak dan drill head terpasang kuat.
4. Meja, bagian yang menopang seluruh bagian mesin bor dimana meja terbuat dari material besi cor dengan kekuatan yang tinggi dan stabilitas yang mantap.

2.4 Bagian-bagian Mata Bor

Adapun bagian-bagian mata bor menurut Rahdiyanta (2010), dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Elemen pahat
 - a. Badan (*body*), adalah bagian pahat diameter 6 mm yang dibentuk untuk mata potong atau tempat untuk sisipan pahat.
 - b. Pemegang/ gagang (*shank*), adalah bagian pahat yang dipasangkan pada mesin perkakas. Bila bagian ini tidak ada, maka fungsinya diganti oleh lubang pahat.
 - c. Sumbu pahat (*tool axis*), adalah garis maya yang digunakan untuk mendefinisikan geometri pahat bor. Umumnya merupakan garis tengah dari pemegang

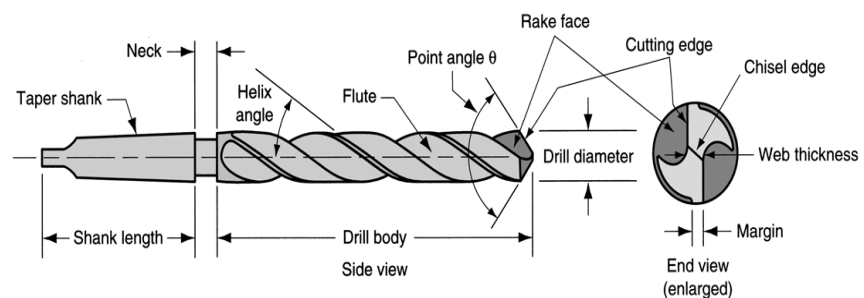


Gambar 2.3 Bagian dari mesin bor /bench drilling machine (Chaplin, 1976)

2. Bidang pahat

Merupakan permukaan aktif pahat. Setiap pahat mempunyai bidang aktif sesuai dengan jumlah mata potongnya (tunggal atau jamak). Dua bidang aktif dari pahat adalah:

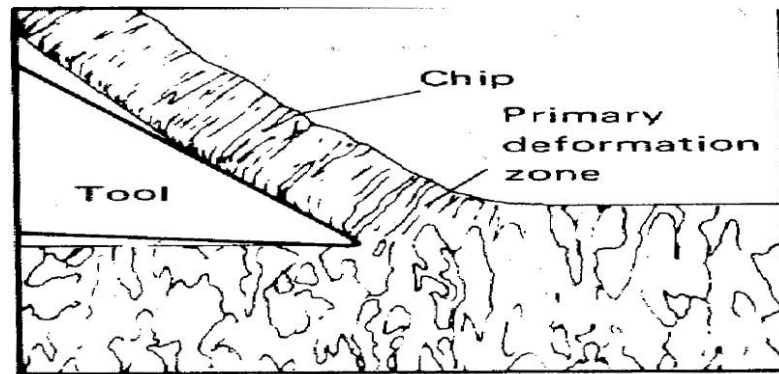
- Bidang geram (*A, Face*), adalah bidang tempat geram mengalir.
- Bidang utama/ mayor (*Aa, Principal Mayor Flank*), adalah bidang yang menghadap permukaan transien dari benda kerja.



Gambar 2.4 Nama bagian mata bor (Kalpakjian and Schmid, 2001)

2.5 Mekanisme Pembentukan Geram

Proses permesinan yang dilakukan membutuhkan benda kerja dan alat atau perkakas. Pada proses pengeboran pasti akan menghasilkan geram. Sesuai dengan bentuk mata bornya, maka geram yang dihasilkan biasanya berbentuk serpihan panjang spiral. Tetapi ada juga geram yang berupa serpihan kecil. Geram terbentuk karena adanya gesekan antara benda kerja dan mata bor. Bentuk geram itu juga dipengaruhi banyak faktor antara lain kecepatan spindel utama, laju pemakanan, jenis material mata bor, temperatur pemesinan serta material benda kerja (Hendra, 2004).



Gambar 2.5 Geram keluar (Kalpakjian and Schmid, 2001)

2.6 Mekanisme Aus Pahat

Menurut Hendra (2004), mekanisme aus pahat pada drilling dapat diklasifikasikan yaitu:

1. Proses pengikisan (*abrasive*) berupa gesekan antara aliran material benda kerja pada bidang geram dan bidang utama pahat bor. Proses pengikisan berbanding langsung terhadap jarak makan (*feed distance*) dan tidak tergantung pada suhu. Mekanisme pembentukan radius serpihan R_o juga memungkinkan terjadinya aus abrasif pada pahat bor.

2. Proses kimiawi dua permukaan yang saling bergesekan dengan tekanan yang cukup besar beserta lingkungan kimiawi yang aktif (udara maupun cairan pendingin dengan komposisi tertentu) dapat menyebabkan interaksi antara material pahat dengan benda kerja. Permukaan material benda kerja yang baru saja terbentuk (permukaan geram dan permukaan benda kerja yang telah terpotong) sangat kimiawi aktif sehingga mudah bereaksi kembali dan menempel pada permukaan pahat bor. Pada kecepatan potong yang rendah, oksigen dalam udara pada celah-celah diantara pahat dengan geram atau benda kerja mempunyai kesempatan untuk bereaksi dengan material benda kerja sehingga akan mengurangi derajat penyatuan dengan permukaan pahat bor. Akibatnya daerah kontak dimana pergeseran antara pahat bor dengan geram/benda kerja akan lebih luas sehingga proses keausan karena gesekan akan terjadi lebih cepat.
3. Proses adhesi (*adhesive*) adalah kerusakan mata bor akibat proses yang terkait dengan suhu serta kondisi pemotongan. Pada tekanan dan temperatur yang relatif tinggi, permukaan metal yang baru saja terbentuk akan menempel dengan permukaan metal yang lain. Proses adhesi tersebut terjadi disekitar mata potong pada bidang geram and bidang utama pahat.
4. Proses difusi atau peresapan (*diffusion*) pada daerah dimana terjadi pelekatan (*adhesi*) antara material benda kerja dengan pahat dibawah tekanan dan temperatur yang tinggi serta adanya aliran metal (geram dan permukaan terpotong relatif terhadap pahat) akan menyebabkan

timbulnya proses difusi. Dalam hal ini terjadi perpindahan atom metal dan karbon dari daerah dengan kecepatan tinggi menuju kedaerah dengan konsentrasi rendah. Kecepatan keausan karena proses difusi dipengaruhi beberapa faktor, antara lain:

- a. Daya larut (*solubility*) dari berbagai fasa dalam struktur pahat terhadap material benda kerja,
- b. Kecepatan aliran metal yang melarutkan,
- c. Temperatur.

Seperti pada semua operasi logam, energi yang dihasilkan dalam operasi pengeboran diubah menjadi panas, yang mana pada akhirnya akan menaikkan temperatur pada daerah pengeboran tersebut. Hampir semua energi pengeboran diubah menjadi energi panas/ laju panas yang ditunjukkan oleh daya pengeboran melalui proses gesekan antara geram dengan mata bor serta antara mata bor dengan benda kerja, dan semakin tinggi kecepatan putaran spindel utama mesin bor maka semakin besar persentase panas yang terbawa oleh geram. Menurut Thelning (1975), pengetahuan perihal kenaikan temperatur perlu diperhatikan karena kenaikan temperatur dapat menyebabkan hal-hal yang tidak diinginkan antara lain :

- a. Bisa mempengaruhi kekuatan, kekerasan dan keausan pada pahat bor.
- b. Menyebabkan perubahan dimensi benda kerja , sehingga akan sulit memperoleh ketelitian yang baik.

- c. Dapat mempengaruhi kerusakan sehingga akan mempengaruhi umur pakai mesin perkakas/mesin bor.
- d. Dapat mempengaruhi umur pakai pahat, sehingga pemakaian pahat tidak efisien.
- e. Proses Oksidasi Pada kecepatan potong yang tinggi (temperatur yang tinggi) ketahanan karbida atas proses oksidasi akan menurun. Karbida dapat teroksidasi bila temperaturnya cukup tinggi dan tak ada perlindungan terhadap serangan oksigen dalam atmosfer. Akibatnya struktur material mata bor akan lemah dan tidak tahan akan deformasi yang disebabkan oleh gaya pemotongan. Cairan pendingin dalam batas-batas tertentu mampu mencegah terjadinya proses oksidasi.

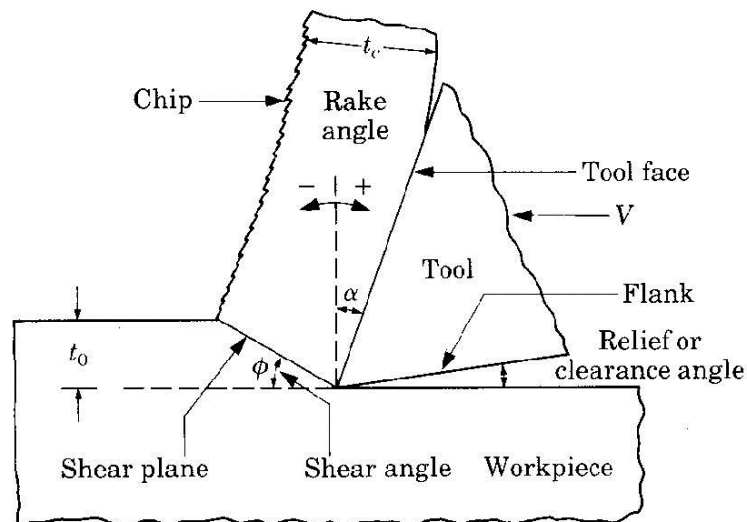
Proses Deformasi Plastik Kekuatan mata bor untuk menahan tegangan tekan merupakan sifat material mata bor yang dipengaruhi oleh temperatur. Hal inilah yang merupakan faktor utama yang membatasi kecepatan penghasilan geram bagi suatu jenis mata bor. Penampang geram harus direncanakan supaya tekanan yang diderita ujung/pojok mata bor tidak melebihi batas kekuatan pahat untuk menghindari terjadinya proses deformasi plastik.

2.7 Kriteria Aus Mata Bor

Keausan mata bor akan tumbuh dengan bertambahnya waktu pemotongan sampai pada suatu saat pahat yang bersangkutan dianggap tidak dapat digunakan lagi karena telah ada tanda-tanda tertentu yang menunjukkan bahwa

umur pahat telah habis. Semakin besar keausan yang dialami mata bor maka kondisi mata bor akan semakin kritis. Jika pahat bor tersebut masih tetap digunakan maka pertumbuhan keausan akan semakin cepat dan pada suatu saat ujung pahat akan sama sekali rusak. Kerusakan fatal seperti ini tidak boleh terjadi sebab gaya pengeboran akan sangat tinggi sehingga dapat merusak seluruh mata bor, mesin perkakas dan benda kerja, serta dapat membahayakan operator yang menggunakan mesin tersebut.

Oleh sebab itu, untuk menghindari hal tersebut ditetapkan suatu batas harga keausan yang dianggap sebagai batas kritis seperti terlihat pada tabel 2.1, dimana mata bor sudah tidak dapat digunakan. Menurut Makmur (2010), dalam buku yang berjudul proses pemesinan, batas keausan kritis dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.6 Bidang pahat potong, (flank, rake, clearance...) (Kalpakjian and Schmid, 2001)

Tabel 2.1 Batas Keausan Kritis

| Mata Bor | Benda Kerja | VB | K |
|----------|--------------------------|-------------|-----|
| HSS | Baja dan Besi Tuang | 0,3 s.d 0,8 | - |
| Karbida | Baja | 0,2 s.d 0,6 | 0,3 |
| Karbida | Besi Tuang dan Non Feros | 0,4 s.d 0,6 | 0,3 |
| Keramik | Baja dan Besi Tuang | 0,3 | - |

Sumber :Makmur, 2010

Dimana:

VB = Harga keausan tepi

K = Rasio kawah (*crater wear*) = KT/KM

Seperti terlihat pada Tabel 2.1, untuk masing-masing mata bor dengan benda kerja tertentu nilai batas kritis keausannya akan berbeda. Salah satu contoh adalah untuk mata bor karbida dengan benda kerja baja, mempunyai nilai batas keausan kritis 0,2 mm – 0,6 mm. Berbeda dengan mata bor karbida dengan benda kerja besi tuang yang mempunyai nilai batas keausan kritis yaitu 0,4 m - 0,6 mm. Apabila keausan mata bor telah mencapai nilai batas keausan kritis tersebut maka mata bor harus diganti atau diasah kembali (Rochim, 1993).

2.8 Pengamatan Aus Pahat

Metode pengamatan aus dan kegagalan pahat dapat dilakukan dengan dua kategori yaitu pengamatan langsung dan pengamatan tidak langsung (Kalpakjian, 2002).

1. Pengamatan langsung.

Pengamatan langsung adalah pengamatan pengukuran secara optik/mikroskopik terhadap kondisi aus pahat potong yang dilakukan secara periodik dalam bentuk pengikisan sisi serta kawah pahat dan temperatur pemotongan yang berkaitan dengan perubahan profil pahat. Cara ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop atau SEM. Prosedur dengan cara ini dilakukan pada kondisi pemotongan yang dihentikan pada interval waktu tertentu guna dilakukan pengamatan profil kerusakan pahat secara periodik (Kalpakjian, 2002).

2. Pengamatan tidak langsung.

Pengamatan tidak langsung adalah pengukuran aus pahat yang dipengaruhi oleh korelasi antara kondisi pahat dengan variabel gaya potong, daya, panas yang terjadi dan getaran dan bukan akibat abrasi dan temperatur pemotongan (Kalpakjian, 2002). Metode ini menggunakan teknik emisi akustik (*acoustic emission technique*).

2.9 Bahan Pahat

1. Material mata bor

Proses pembentukan geram dengan cara pemesinan berlangsung, dengan cara mempertemukan dua jenis material. Untuk menjamin kelangsungan proses ini maka jelas di perlukan material pahat dan mata bor yang lebih unggul daripada material benda kerja. Keunggulan tersebut dapat di capai karena pahat dan mata bor di buat dengan memperhatikan berbagai segi yaitu :

- a. Kekerasan yang cukup tinggi melebihi kekerasan benda kerja tidak saja pada temperatur ruang melainkan juga pada temperatur tinggi pada saat proses pembentukan geram berlangsung.
- b. Keuletan yang cukup besar untuk menahan beban kejut yang terjadi sewaktu pemesinan dengan interupsi maupun sewaktu benda kerja memotong yang mengandung partikel atau bagian yang keras (*hard spot*).
- c. Tahan beban kejut termal: ketahanan ini diperlukan bila terjadi perubahan temperatur yang cukup besar secara berkala atau periodik.
- d. Sifat adhesi yang rendah diperlukan untuk mengurangi avinitas benda kerja terhadap pahat, mengurangi laju keausan, serta penurunan gaya pemotongan.
- e. Daya larut yang rendah di butuhkan untuk memperkecil laju keausan akibat mekanisme difusi.
- f. Rendah penyerapan (*solubility*) pahat terhadap unsur benda kerja untuk mencegah aus pahat (Schey, 2000).
- g. Kemampuan kesetimbangan secara kimia terhadap pengaruh benda kerja (Kalpakjian, 2002).

2. Pahat Bor HSS

Pada suatu proses pemesinan dengan pekerjaan pemesinan tertentu diperlukan pahat bor dari jenis material yang cocok. Keterbatasan kemampuan suatu jenis material pahat perlu diperhitungkan. Berikut adalah pahat yang sering digunakan menurut urutannya mulai dari

material yang relatif lunak sampai dengan yang paling keras sebagai berikut :

- a. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel, Carbon Tool Steels, CTS*)
- b. HSS (*High Speed Steels, Tool Steels*)
- c. Paduan Cor Non logam (*Cast Nonferrous Alloys, Cast Carbides*)
- d. Karbida (*Cemented Carbides, Hardmetals*)
- e. Keramik (*Ceramic*)
- f. CBN (*Cubic Boron Nitride*)
- g. Intan (*Sintered Diamonds & Natural Diamonds*)

Pada tahun 1900 FW.Taylor dan Maunsel White menemukan HSS (*High Speed Steel*) atau baja kecepatan tinggi. Amstead (1977) menyempurnakan HSS dengan menambahkan tungsten 18% dan chromium 5,5% ke dalam baja paduan. Komposisi HSS biasanya terdiri dari paduan besi dengan karbon, tungsten, molybdenum, chromium dan vanadium bahkan kadang-kadang ada tambahan cobalt (ASM International Vol. 16, 1997).

Mata bor *High Speed Steels* (HSS) merupakan paduan dari 0,75%-1,5% Carbon(C), 4%-4,5% Chromium (Cr), 10%-20% Tungsten (W) dan Molybdenum (Mo), 5% lebih Vanadium (V), dan Cobalt (Co) lebih dari 12% (Childs, dkk, 2000). Pahat bor HSS dapat digolongkan menjadi tiga kelompok yaitu; *high speed steel, molybdenum high speed steel*, dan *superhigh speed steel*. Peningkatan kekerasan permukaan HSS dan ketahanan aus dapat dilakukan dengan pelapisan. Beberapa material pelapis di antaranya; tungsten

karbida, titanium karbida, dan titanium nitrida, dengan tebal pelapisan 5-8 μm (Boothroyd, 1975). Peningkatan kekerasan HSS dapat dilakukan dengan *quenching*, kekerasannya 52-63 HRC. Untuk HSS yang dipanaskan pada suhu 1175-1230°C dan *quenching* dengan oli, kemudian di-temper pada suhu 550-580°C, kekerasannya meningkat sampai 63-65 HRC (Leslie, 1983).

2.10 Perhitungan Waktu Pemotongan Benda Kerja

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

Kecepatan potong ditentukan dalam satuan panjang yang dihitung berdasarkan putaran mesin per menit. Atau secara definitif dapat dikatakan bahwa kecepatan potong adalah panjangnya geram yang terpotong per satuan waktu. Setiap jenis logam mempunyai harga kecepatan potong tertentu dan berbeda-beda. Dalam pengeboran putaran mesin perlu disesuaikan dengan kecepatan potong logam. Bila kecepatan potongnya tidak tepat, mata bor cepat panas dan akibatnya mata bor cepat tumpul atau bisa patah. Untuk mendapatkan putaran mesin bor per menit ditentukan berdasarkan keliling mata bor dalam satuan panjang (mm). Kemudian kecepatan potong dalam meter per menit dirubah menjadi milimeter per menit dengan perkalian 1000.

Akhirnya akan diperoleh kecepatan potong pengeboran dalam harga milimeter per menit.

Kecepatan potong

$$v = (\pi d n) / 1000 ; \text{ m / menit} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

d = diameter benda kerja

v = kecepatan potong

n = kedalaman potong

π = ketetapan 3,14

Berdasarkan perhitungan diatas, maka didapat nilai kecepatan mata bor yang direkomendasikan untuk mata bor HSS.

Tabel 2.2 Nilai kecepatan potong mata bor dari bahan HSS

| Kecepatan Potong yang dianjurkan untuk Pahat HSS | | | | | | |
|--|---------------------------|--------|------------------------|--------|------------|--------|
| Material | Pembubutan dan Pengeboran | | | | | |
| | Pekerjaan Kasar | | Pekerjaan Penyelesaian | | Penguliran | |
| | m/men | ft/men | m/men | Ft/men | m/men | Ft/men |
| Baja Mesin | 27 | 90 | 30 | 100 | 11 | 33 |
| Baja Perkakas | 21 | 70 | 27 | 90 | 9 | 30 |
| Besi Tuang | 18 | 60 | 24 | 80 | 8 | 25 |
| Perunggu | 27 | 90 | 30 | 100 | 8 | 25 |
| Aluminium | 27 | 90 | 30 | 100 | 11 | 35 |

Sumber (Ibrahim, 2004).

Tabel 2.3 Nilai kecepatan potong mata bor dari bahan HSS.

| Bahan | Kecepatan Potong (m / menit) |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1. Aluminium Campuran | 1. 60 – 100 |
| 2. Kuningan Campuran | 2. 30 – 100 |
| 3. Perunggu Tegangan Tinggi | 3. 25 – 30 |
| 4. Besi Tuang Lunak | 4. 30 – 50 |
| 5. Besi Tuang Menengah | 5. 25 – 30 |
| 6. Besi Tuang Keras | 6. 10 – 20 |
| 7. Tembaga | 7. 20 – 30 |
| 8. Baja Karbon Rendah | 8. 30 – 50 |
| 9. Baja Karbon Sedang | 9. 20 – 30 |
| 10. Baja karbon Tinggi | 10. 15 – 20 |
| 11. Baja Perkakas | 11. 10 – 30 |
| 12. Baja Campuran | 12. 15 - 25 |

Sumber : Hendra, 2004

2.11 Pemakanan Pengeboran

Pemakanan adalah jarak perpindahan mata potong bor ke dalam lobang/benda kerja dalam satu kali putaran mata bor. Besarnya pemakanan dalam pengeboran dipilih berdasarkan jarak pergeseran mata bor dalam satu putaran, sesuai dengan yang diinginkan. Pemakanan juga tergantung pada bahan yang akan dibor, kualitas lubang yang dibuat, kekuatan mesin yang ditentukan berdasarkan diameter mata bor.

Tabel 2.4 Besarnya pemakanan berdasarkan diameter mata bor

| Diameter Mata Bor (mm) | Besarnya Pemakanan Satu Kali Putaran (mm) |
|------------------------|---|
| 1. <3 | 1. 0,025 – 0,050 |
| 2. 3 – 6 | 2. 0,050 – 0,100 |
| 3. 6 – 12 | 3. 0,100 – 0,175 |
| 4. 12 – 15 | 4. 0,175 – 0,375 |
| 5. 25 – dan seterusnya | 5. 0,375 – 0,675 |

Sumber : Hendra, 2004

1. Waktu pemotongan

$$t_c = l.t / 2 f.n \quad ; \text{ menit } \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

t_c = waktu total

l = panjang benda kerja

f = frekuensi pemotongan

n = putaran mata bor per menit

t = waktu

2. Kecepatan penghasilan geram (*rate of metal removal*) : Z (cm³/min)

Elemen proses pemotongan tersebut dihitung berdasarkan dimensi benda kerja atau pahat serta besaran dari mesin perkakas. Oleh sebab itu rumus yang dipakai untuk menghitung setiap elemen proses pemesinan dapat berbeda. Pada setiap proses diperkenalkan dua sudut pahat yang penting yaitu sudut potong utama (*principal cutting edge angle*) dan sudut geram

(*rake angle*). Kedua sudut tersebut berpengaruh antara lain pada penampang geram, gaya pemotongan serta umur pahat bor.

$$Z = (\pi/4 d^2) (2f n/ 1000) \text{ cm}^3/\text{menit} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

Z = kecepatan penghasilan geram

d = diameter benda kerja

f = frekuensi pengeboran

n = putaran mata bor per menit

2.12 Cairan Pelumas

Cairan pelumas berfungsi untuk mengurangi gesekan, menurunkan temperatur, menurunkan gaya potong dan memperhalus permukaan produk hasil pemesinan. Selain itu cairan pelumas berfungsi sebagai pembersih atau pembawa geram, melindungi benda kerja dan komponen mesin dari korosi (Askew, 2004).

Menurut Tonshoff dan Brinkomeier (1965) dan Canter (2009), pada umumnya pemesinan untuk memfabrikasi komponen-komponen otomotif dilakukan dengan metode pemesinan basah (*wet machining*). Pada metode ini sejumlah cairan pemotongan dialirkan ke kawasan pemotong selama proses pemesinan dengan tujuan menurunkan suhu pemotongan dan melumasi bagian-bagian pemesinan sehingga diharapkan permukaan pemesinan memiliki suatu integritas permukaan (*surface integrity*) yang baik. Cairan pelumas perlu dipilih dengan seksama sesuai dengan jenis pekerjaan.

2.13 Cairan Pelumas Dalam Proses Pemesinan

Cairan Pelumas Dalam Proses Pemesinan dapat dikategorikan dalam empat jenis utama yaitu :

1. Cairan sintetik

Cairan yang jernih atau diwarnai yang merupakan larutan murni atau larutan permukaan aktif. Larutan murni ini tidak bersifat melumasi dan biasanya dipakai untuk sifat penyerapan panas yang tinggi dan melindungi terhadap korosi.

2. Cairan emulsi

Air yang mengandung partikel minyak unsur pengemulsi ditambahkan pada minyak yang kemudian dilarutkan dalam air. Penambahan jenis minyak jenuh atau unsur lain dapat menaikkan daya lumas.

3. Cairan semi sintetik

Merupakan perpaduan antara jenis cairan emulsi dan sintetik yang mempunyai kandungan minyak lebih sedikit, kandungan pengemulsi lebih banyak.

4. Minyak (*cutting oil*)

Minyak yang berasal dari salah satu atau kombinasi dari minyak bumi, minyak binatang, minyak ikan atau minyak nabati. Viskositasnya dapat bermacam-macam dari yang encer sampai dengan yang kental tergantung dari pemakaian.

Oli sintesis yang digunakan pada permesinan ini adalah produksi Pertamina (Mesran). Pemilihan merek Mesran berdasarkan beberapa pertimbangan,

antara lain mudah didapat serta harga yang relatif murah. Sehingga dapat mengurangi biaya produksi. Sedangkan penggunaan minyak nabati dipilih menggunakan minyak kelapa sawit dan minyak kedelai.

Oli sintetik adalah pelumas yang terdiri dari bahan kimia buatan selain dari oli mentah. Pelumas ini digunakan sebagai pengganti pelumas yang dihasilkan petroleum, karena secara umum menyediakan mekanisme dan sifat kimiawi yang lebih baik dibanding pelumas mineral tradisional.

Aditif adalah zat yang ditambahkan ke dalam oli. Jenisnya sebagai berikut :

1. Anti aus : contohnya ZDDP (Zinc dithiophosphates), organic phosphates, Asam phosphates, organic sulfur dan senyawa chlorine, sulfurized fats, sulfides dan disulfides.
2. Anti karat : contohnya Zinc dithiophosphates, metal phenolates, basic metal sulfonates, fatty acids dan amines.
3. Pembersih kotoran (*detergent*) : contohnya Metallo-organic compounds of sodium, calcium dan magnesium phenolates, phosphonates dan sulfonates.
4. Dispersant : contohnya Alkylsuccinimides, alkylsuccinic esters
5. *Friction modifier*

Kelebihan secara teknis

1. Tingkat kecairan (viskositas) yang terukur lebih baik terhadap temperatur tinggi dan rendah.

2. Stabilitas kimia yang lebih baik.
3. Berkurangnya kehilangan masa akibat penguapan.
4. Tahan terhadap oksidasi, kerusakan akibat panas dan pembekuan oli.
5. Masa kering yang lebih panjang sehingga lebih sedikit pembuangan pelumas.
6. Lebih hemat pada konfigurasi mesin tertentu.
7. Pelumasan lebih baik pada awal penghidupan mesin (*cold start*).

Kekurangan secara teknis

1. Tingkat gesekan (*friction*) yang lebih rendah mengakibatkan oli ini tidak cocok untuk situasi *break-in* (misalnya pada saat awal mesin-baru dijalankan) di mana gesekan diharapkan untuk menghasilkan permukaan yang aus. Tetapi pembuatan mesin yang lebih baik menyebabkan proses *break-in* tidak terlampau kritis seperti dulu.
2. Berpotensi menyebabkan masalah dekomposisi pada lingkungan kimia tertentu terutama pada lingkungan industri.
3. Berpotensi menyebabkan retakan stress pada komponen plastik seperti polyoxymethylene jika berpadu dengan polyalphaolefins.
4. Oli sintetik tidak dapat menahan lead dalam suspensi sebaik oli mineral.

Anjuran penggunaan cairan pendingin/ pelumas yang dikemukakan oleh Asyari Daryus (2009), pada beberapa jenis material kerja dalam proses pemesinan antara lain:

1. Aluminium : campuran minyak mineral-lemak hewan

2. Kuningan : kering, campuran minyak mineral-lemak hewan
3. Perunggu : kering, minyak cair
4. Besi cor : kering, semburan udara
5. Tembaga : minyak cair, campuran minyak mineral-lemak hewan
6. Magnesium : kering, minyak mineral
7. Besi mampu tempa : minyak cair
8. Baja : minyak cair, minyak tersulfurisasi
9. Baja perkakas : lemak hewan, minyak cair

Cara yang biasa dipakai untuk mengefektifkan pemakaian cairan pendingin antara lain :

1. Manual

Bila mesin perkakas tak dilengkapi dengan sistem cairan pendingin. Biasanya operator memakai kuas untuk memerciki pahat dengan minyak pendingin.

2. Dikururkan/dibanjirkan

Sistem pendingin yang terdiri atas pompa , saluran, nozel dan tangki, yang dimiliki hampir oleh semua mesin perkakas. Satu atau beberapa nozel dengan selang fleksibel diatur sehingga cairan pendingin disemprotkan pada bidang aktif pemotongan.

3. Ditekan lewat saluran pada pahat.

Cairan pendingin dialirkan dengan tekanan tinggi melewati saluran pada pahat.

4. Dikabutkan

Cairan pendingin disemprotkan berupa kabut. Partikel cairan sintetik, semi sintetik atau emulsi disemprotkan melalui aspirator yang bekerja dengan prinsip seperti semprotan nyamuk. Cairan dalam tabung akan naik melalui pipa berdiameter kecil, karena daya vakum akibat aliran udara diujung atas pipa, dan menjadi kabut yang menyemprot keluar.

Keuntungan utama dari cairan pada pemotongan adalah untuk mengurangi panas dan gesekan yang ditimbulkan sepanjang daerah pemotongan serta juga bermanfaat untuk membersihkan serpihan dari daerah pemotongan. Jika cairan pemotongan tidak digunakan pada proses pemesinan maka kedua keuntungan di atas tidak diperoleh mengakibatkan koefisien gesekan serta suhu pemotongan meningkat sehingga akan menimbulkan keausan pada pahat yang disebabkan difusi pahat. Mekanisme keausan pahat ditunjukkan dalam pemotongan kering beban kerja tinggi (beban termal) Sebaliknya dalam perspektif pahat sebagai material yang rapuh, pemotongan kering memberikan manfaat untuk menghindari tegangan termal yang umumnya diindikasikan oleh keretakan sisir (*comb crack*) pada permukaan pahat potong (Haron 2001).

2.14 Cairan Pelumas Dalam Penelitian Dasar Pemilihan Minyak Pelumas

Minyak mineral banyak digunakan sebagai pelumas. Minyak mineral yang dimurnikan sebagai pelumas dasar karena mempunyai ketahanan termal dan oksidasi yang lebih baik dibandingkan dengan minyak nabati atau hewani. Dengan perkembangan teknologi, minyak mineral yang dimurnikan tidak

mampu melayani mesin-mesin dengan teknologi baru, maka perlu ditambahkan aditif untuk mendapatkan apa yang diinginkan. Teknologi aditif berkembang sejak awal tahun 1950 (Gunstone, 1998). Langkah selanjutnya adalah menggunakan pelumas dari bahan kimia yang mempunyai kemampuan lebih unggul dibandingkan dengan minyak mineral yang dimurnikan dalam semua sifat dasarnya. Maka muncul pelumas sintesis yang mempunyai sifat lebih unggul dibandingkan dengan minyak konvensional. Harga pelumas dasar sintesis lebih mahal, tetapi dewasa ini lebih banyak digunakan karena umur pemakaian lebih lama, mengurangi konsumsi oli, mempunyai spesifikasi yang dibutuhkan pemakai, pengoperasian lebih aman, dan sifat – sifat dapat diprediksi karena karakteristik produknya seragam (Mulyana, 2013).

Sebagian besar pelumas yang berasal dari petroleum bersifat toksik terhadap lingkungan. Minyak nabati dengan kandungan oleat yang tinggi mempunyai potensi untuk menggantikan minyak pelumas dasar konvensional yang berasal dari minyak mineral dan ester sintetik (Adhvaryu, 2005). Minyak nabati sebagai pelumas mempunyai sifat yang lebih baik dibandingkan dengan pelumas dasar dari minyak mineral, karena minyak nabati bisa bersifat terdegradasi dan non toksik, pada sisi lain minyak nabati mempunyai stabilitas oksidasi dan ketahanan korosi yang rendah (Adhvaryu, 2005), maka perlu ditambah bahan aditif atau dilakukan pengolahan terhadap minyak nabati untuk meningkatkan stabilitas oksidasinya, Salah satu usaha yang dilakukan untuk meningkatkan stabilitas oksidasi dengan memodifikasi

minyak kedelai menjadi epoksi minyak kedelai dan alcohol polihidrat (Hwang, 2003). Jenis minyak nabati lain biasa digunakan adalah minyak kelapa sawit dan minyak kedelai. Beberapa kelebihan penggunaan pelumas dasar biosintetis adalah rendahnya emisi karena rentang titik didih tinggi dan kandungan toksinnya rendah (Askew, 2004)

1. Minyak sintetis

Minyak sintetis dibuat melalui rekayasa kimia untuk menciptakan pelumas dengan kualitas tinggi, dengan rantai hidrokarbon berikatan kuat (tidak terpengaruh temperatur rendah maupun tinggi), serta ukuran molekul yang seragam. Pelumas semacam ini secara alami tidak tersedia di alam, maka dari itu disebut produk hasil sintesa/*synthetic* atau minyak sintetis. Titik leleh pada -18° - -9° , viskositas untuk SAE 30 adalah 102, SAE 50 adalah 98, sedangkan masa jenis pada suhu 15° adalah 0,8942 untuk SAE 10 dan 0,9013 untuk SAE 50 (Bird, 1987).

Minyak sintetis mampu bekerja dengan baik pada temperatur kerja tinggi atau sangat rendah, serta memiliki kemampuan menghasilkan endapan / *deposit* yang sangat kecil, mengingat tingkat kemurniannya yang sangat tinggi. Kemampuan minyak sintetis yang tinggi, menyebabkan tidak diperlukannya lagi zat-zat aditif, misalnya deterjen. Dengan demikian dapat menjamin keawetan mesin yang lebih baik, sebanding dengan harganya yang jauh lebih mahal.

Air adalah sebuah konduktor yang baik dari panas tetapi mempunyai kekurangan sebagai cairan potong (*cutting fluid*), mudah mendidih, mempermudah terjadinya karat pada bagian mesin, dan tidak berfungsi sebagai pelumasan yang baik. Maka dari itu, perlu komponen lain yang ditambahkan untuk menjadikan sebuah cairan potong yang optimal.

2. Minyak kelapa sawit

Minyak kelapa sawit bersifat semi solid. Hal ini dikarenakan minyak kelapa sawit memiliki titik leleh yang cukup tinggi yaitu $25^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$. Nilai densitas minyak kelapa sawit berkisar antara $0,909 - 0,917 \text{ g/ml}$ pada suhu ruang. Suhu dapat mempengaruhi nilai densitas minyak kelapa sawit, dimana semakin tinggi suhu maka nilai densitas minyak menurun (Wulandari et al, 2011).

3. Minyak kedelai

Titik cair yang dimiliki minyak kedelai sangat tinggi, yaitu sekitar -16°C dan biasanya berbentuk padat (*solid*) pada ruang yang mempunyai suhu tinggi. Nilai densitas minyak kedelai adalah $0,916 - 0,922 \text{ g/ml}$ pada suhu 25° , dan $0,924 - 0,928 \text{ g/ml}$ pada suhu 15° . Hal ini berarti minyak kedelai dimungkinkan dalam penelitian ini untuk dicoba sebagai media pendingin. Ketaren.et.al (1986).

2.15 Magnesium dan Proses Pemesinannya

Pemesinan magnesium secara normal dikerjakan tanpa *cooling* apapun. Jika perlu penggunaan *coolant*, suatu minyak mineral ringan akan mencukupi.

Tidak menggunakan *coolant* yang intinya dari air karena akan beresiko dan muncul reaksi dengan geram selama penyimpanan (Klocke,F.1997).

Perkakas kecepatan tinggi (*High-speed tools*) atau *tip carbide* lebih disukai untuk pemesinan magnesium . Hal itu penting menjaga ketajaman perkakas potong untuk menghindari panas lebih. Pengalaman dengan perkakas diamond sangat baik tetapi dengan biaya yang relative tinggi. Produk pemesinan perlu disimpan dalam kondisi kering dan ketika ada kesempatan kondensasi (pengembunan), pengamanan lebih diperlukan. Mesin harus selalu dijaga bersih.

Produk magnesium tidak akan mudah terbakar. Magnesium harus dipanaskan ketitik lebur dan selama pemesinan normal yang itu hampir tidak mungkin. Geram dapat menyala tetapi metoda berjaga akan menghindari resiko ini. Debu magnesium sekecil apapun mempunyai derajat kemampuan terbakar dan persiapan awal diperlukan untuk meminimalkan resiko ini:

1. Pemesinan kering atau menggunakan minyak berbasis mineral
2. Menjaga perkakas potong tajam
3. Sering mengirim *chip – chip* dan menyimpannya didekatkan dengan *container*
4. Tersedia pemadam kebakaran yang sesuai
5. Menggunakan udara bertekanan dengan mesin otomatis keepatan tinggi ketika pencukuran dihasilkan.

Jika muncul api , akan merambat secara pelan. Jangan sekali-kali menggunakan air untuk memadamkan magnesium karena magnesium yang terbakar akan mengurai air kebentuk hydrogen yang mudah terbakar. Pemadam serbuk api potasium chloride adalah pemadam yang paling baik, juga pemadam umum semacam serbuk besi tuang dan pasir kering.

2.16 Magnesium dan Paduan Magnesium

Magnesium adalah logam yang ringan ($1,74 \text{ g/cm}^3$), 1,6 kali lebih ringan dari Al dan 4,5 kali lebih ringan dari baja. Ketangguhan patahnya lebih besar dari biomaterial keramik dan modulus elastisnya adalah 45 GPa yang mendekati modulus elastis tulang manusia (10-40 GPa) (Witte, 2008).Magnesium sangat bermanfaat untuk tubuh manusia, dimana ion Mg^{2+} adalah elemen yang dibutuhkan dalam jumlah yang besar untuk digunakan sebagai reaksi metabolisme dan mekanisme biologis. Kebutuhan Mg setiap hari untuk orang dewasa adalah sekitar 300-400 mg dan jika berlebih semestinya dikeluarkan melalui urin atau kotoran (Zhang, 2012).

Seperti yang diterangkan oleh Harwig bahwa di dalam 70 kg tubuh manusia tersimpan 1 ml magnesium, dengan perkiraan setengah jumlah magnesium tersebut terdapat dalam jaringan tulang. Sebagai tambahan, magnesium merupakan faktor ke dua memperbanyak enzim dan dapat menstabilkan struktur DNA dan RNA. (Harwig, 2001).

Aplikasi senyawa Magnesium digunakan sebagai bahan tahan api dalam lapisan dapur api untuk menghasilkan logam (besi dan baja, logamnonferrous), kaca, dan semen. Dengan kepadatan hanya dua pertiga dari aluminium, magnesium memiliki banyak aplikasi dalam kasus di mana berat yang ringan sangat penting, yaitu dalam konstruksi pesawat terbang dan rudal. Ia juga memiliki banyak kegunaan kimia dan sifat metalurgi yang baik, sehingga membuatnya sesuai untuk berbagai aplikasi non-struktural lainnya.

Untuk aplikasi teknik, magnesium memiliki ketahanan korosi yang rendah, khususnya dalam larutan elektrolit dan lingkungan cair sehingga sesuai untuk aplikasi biomaterial. Bila magnesium berada dalam kondisi cair, maka oksida beracun yang membahayakan akibat larutan korosi dapat diekskresikan dalam urin. Namun sifat kelarutan yang tinggi juga menjadi kelemahan untuk magnesium murni, dimana dapat menimbulkan korosi yang cepat dalam pH fisiologis (7,4-7,6) dan di lingkungan fisiologis klorida tinggi, sehingga sifat mekanik menurun sebelum penyembuhan dan pertumbuhan jaringan baru. Inilah menjadi pendorong untuk memadukan magnesium dengan unsur-unsur lain, diharapkan nantinya menjadi material implant yang tidak beracun dan biokompatibilitas yang baik, mampu digunakan pada bagian-bagian yang sering kena beban dan mampu bertahan sampai 12-18 minggu sampai jaringan tulang sembuh dan tumbuh (Witte, 2005 dan Wen, 2001).

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki symbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Magnesium adalah elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang sering disebut "magnalium" atau "magnelium".

Magnesium merupakan salah satu jenis logam ringan dengan karakteristik sama dengan aluminium tetapi magnesium memiliki titik cair yang lebih rendah dari pada aluminium. Seperti pada aluminium, magnesium juga sangat mudah bersenyawa dengan udara (Oksigen). Perbedaannya dengan aluminium ialah dimana magnesium memiliki permukaan yang keropos yang disebabkan oleh serangan kelembaban udara karena *oxid film* yang terbentuk pada permukaan magnesium ini hanya mampu melindunginya dari udara yang kering.

Unsur air dan garam pada kelembaban udara sangat mempengaruhi ketahanan lapisan oxid pada magnesium dalam melindunginya dari gangguan korosi. Untuk itu benda kerja yang menggunakan bahan magnesium ini diperlukan lapisan tambahan perlindungan seperti cat atau meni. Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar 110 N/mm² dalam bentuk hasil pengecoran (*Casting*), angka kekuatan tarik ini dapat ditingkatkan melalui proses pengerjaan. Magnesium bersifat lembut dengan modulus elastis yang sangat rendah. Magnesium memiliki perbedaan dengan logam-logam lain termasuk

dengan aluminium, besi tembaga dan nikel dalam sifat pengerjaannya dimana magnesium memiliki struktur yang berada didalam kisi hexagonal sehingga tidak mudah terjadi slip. Disamping itu, presentase perpanjangannya hanya mencapai 5 % dan hanya mungkin dicapai melalui pengerjaan panas.

1. Sifat fisik magnesium

Tabel 2.5. Sifat fisik Magnesium

| Sifat fisik | Magnesium paduan |
|----------------------------|------------------------|
| Titik Cair | K 922 K |
| Titik Didih | K 1380 K |
| Energi Ionisasi I | 738 kJ/mol |
| Energi Ionisasi II | 1450 kJ/mol |
| Kerapatan massa (ρ) | 1,74 g/cm ³ |
| Jari-jari atom | 1,60 A |
| Kapasitas Panas 1,02 J/gK | 1,02 J/gK |
| Potensial Ionisasi | 7,646 Volt |
| Konduktivitas Kalor | 156 W/mK |
| Entalpi Penguapan | 127,6 kJ/mol |
| Entalpi Pembentukan | 8,95 kJ/mol |

Sumber: www.digilib.its.com

<http://digilib.unila.ac.id/1150/4/BAB%20II.pdf>

2. Sifat kimia magnesium

Adapun sifat kimia dari magnesium adalah sebagai berikut :

- a. Magnesium oksida merupakan oksida basa sederhana.

- b. Reaksi dengan air: $MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$
- c. Reaksi dengan udara: Menghasilkan MO dan M₃N₂ jika dipanaskan.
- d. Reaksi dengan Hidrogen: tidak bereaksi
- e. Reaksi dengan klor: $M + X_2 \rightarrow$ (dipanaskan) $\rightarrow MX_2$ (garam)

Tabel 2.6 Sifat kimia Magnesium AZ 31 B

| Weight | Al | Zn | Mn | Si | Cu | Ca | Fe | Ni | Others | Mg |
|-----------|-----|-----|-----|------|------|------|-------|-------|--------|-----|
| Magnesium | 2,5 | 0,7 | 0,2 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,005 | 0,005 | 0,3 | bal |
| AZ31B | – | – | min | min | max | max | max | max | max | |
| | 3,5 | 1,3 | | | | | | | total | |

Sumber: www.sciencedirect.com/science/article/.../S026322411400281...

3. Sifat mekanik magnesium

Rapat massa magnesium adalah 1,738 gram/cm³. Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar 110 N/mm² dalam bentuk hasil pengecoran (*Casting*). (Yunus, 2012). Paduan magnesium adalah material yang mampu luruh (*degradable*) sehingga perkembangannya sebagai biomaterial sangat pesat. Magnesium merupakan material yang secara alami dibutuhkan dalam tubuh manusia dan digunakan untuk pertumbuhan tulang darah. Namun kelemahan magnesium adalah laju degradasinya sangat tinggi sehingga perlu pengontrolannya agar sesuai dengan pertumbuhan jaringan baru. Faktor-faktor yang menjadi pertimbangan magnesium, sebagai biomaterial adalah (Witte, 2008):

- a. Larutan produk korosi magnesium yang terjadi dalam tubuh tidak memberikan efek yang berbahaya bahkan diperlukan untuk metabolisme tubuh dan mekanisme biologis.
- b. Salah satu karakteristik korosi paduan magnesium adalah bahwa paduan ini terkorosi hanya dibagian yang terkena cairan.
- c. Pengaruh temperatur tubuh sekitar 37°C adalah temperatur yang cocok untuk paduan magnesium sehingga degradasi magnesium mudah untuk dikontrol.
- d. Pengaruh protein dalam larutan tubuh dapat juga mengontrol degradasi paduan Mg.

Magnesium pertama sekali diperkenalkan sebagai biomaterial ortopedik pada tahun 1907. (Lambotte, 1932) melaporkan bahwa logam magnesium digunakan pada tulang kaki bagian bawah. Namun penggunaan logam magnesium tersebut terkorosi dengan cepat dalam in vivo, dimana hanya dalam waktu 8 hari setelah pembedahan ditemukan sejumlah gas dibawah kulit. Salah satu usaha memperbaiki ketahanan korosi magnesium adalah penambahan unsur paduan.

2.17 Proses Pembuatan Magnesium

Magnesium adalah elemen logam terbanyak ketiga (2%) di kerak bumi setelah besi dan aluminium. Kebanyakan magnesium berasal dari air laut yang mengandung 0,13% magnesium dalam bentuk magnesium klorida. Pertama kali diproduksi pada tahun 1808, logam magnesium dapat didapat

dengan cara elektrolitik atau reduksi termal. Pada metode elektrolisis, air laut dicampur dengan kapur (kalsium hidroksida) dalam tangka pengendapan. Magnesium hidroksida presipitat mengendap, disaring dan dicampur dengan asam klorida. Larutan ini mengalami elektrolisis (seperti yang dilakukan pada aluminium); agar eksploitasi menghasilkan logam inersia dalam komponen berkecepatan tinggi. Karena tidak cukup kuat dalam bentuk yang murni, magnesium dipadukan dengan berbagai elemen untuk mendapatkan sifat khusus tertentu, terutama kekuatan untuk rasio berat yang tinggi (Baker, Hugh, D. 1999). Berbagai paduan magnesium memiliki pengecoran, pembentukan, dan karakteristik permesinan yang baik. Karena magnesium mengoksidasi dengan cepat (*pyrophoric*), ada resiko/bahaya kebakaran, dan tindakan pencegahan yang harus diambil ketika proses permesinan, grinding, atau pengecoran pasir magnesium. Meskipun demikian produk yang terbuat dari magnesium dan paduannya tidak menimbulkan bahaya kebakaran selama penggunaannya normal.

Sifat-sifat mekanik magnesium terutama memiliki kekuatan tarik yang sangat rendah. Oleh karena itu magnesium murni tidak dibuat dalam teknik. Paduan magnesium memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik serta banyak digunakan. Unsur-unsur paduan dasar magnesium adalah aluminium, seng dan mangan. (Lukman, 2008). Penambahan Al di atas 11%, meningkatkan kekerasan, kuat tarik dan *fluidity* (keenceran). Penambahan seng meningkatkan *ductility* (perpanjangan relative) dan *castability* (mampu tuang). Penambahan 0,1 – 0,5 % meningkatkan ketahanan korosi.

Penambahan sedikit cerium, zirconium dan beryllium dapat membuat struktur butir yang halus dan meningkatkan *ductility* dan tahan oksidasi pada peningkatan suhu (Linberg,1990). Berdasarkan hasil analisis terhadap diagram keseimbangan paduan antara magnesium-aluminium dan magnesium-zincum, mengindikasikan bahwa larutan padat dari magnesium-aluminium maupun magnesium-zincum dapat meningkat sesuai dengan peningkatan temperaturnya dimana masing-masing berada pada kadar yang sesuai sehingga dapat “*strengthening-heat treatment*” melalui metoda pengendapan.

Hanya sedikit kadar “*rare metal*” (logam langka) dapat memberikan pengaruh yang sama kecuali pada silver yang sedikit membantu termasuk pada berbagai jenis logam paduan lain melalui “*ageing*”. (Lukman, 2008).

1. Magnesium paduan tempa (*wrought alloys*) Magnesium paduan tempa dikelompokkan menurut kadar serta jenis unsur paduannya yaitu :

- a. Magnesium dengan 1,5 % Manganese
- b. Paduan dengan aluminium , Seng serta manganese
- c. Paduan dengan zirconium (paduan jenis ini mengandung kadar seng yang tinggi sehingga dapat dilakukan proses perlakuan panas.
- d. Paduan dengan Seng, zirconium dan thorium (*creep resisting-alloys*)

2. Penandaan paduan magnesium

Paduan Magnesium ditetapkan sebagai berikut:

- a. Satu atau dua huruf awalan, menunjukkan elemen paduan utama.

- b. Dua atau tiga angka, menunjukkan persentase unsur paduan utama dan dibulatkan ke desimal terdekat.
- c. Huruf abjad (kecuali huruf I dan O) menunjukkan standar paduan dengan variasi kecil dalam komposisi.
- d. Simbol untuk sifat material, mengikuti sistem yang digunakan untuk paduan aluminium
- e. Sebagai contoh, ambil paduan AZ91C-T6:
 - 1.1 Unsur-unsur paduan utama adalah aluminium (A sebesar 9%,) dan seng (Z sebesar 1%).
 - 1.2 Huruf C, huruf ketiga dari alfabet, menunjukkan bahwa paduan ini adalah yang ketiga dari satu standar (kemudian dari A dan B, yang merupakan paduan pertama paduan pertama dan kedua yang standar,berturut-turut).
 - 1.3 T6 paduan menunjukkan bahwa larutan ini telah direaksikan dan masa artifisial.

3. Magnesium paduan cor (*cast alloys*)

Paduan ini dapat dikelompokkan kedalam:

- a. Paduan dengan aluminium, zincum dan manganese. Paduan cor ini merupakan paduan yang yang bersifat “*heat treatable – alloys*”.
- b. Paduan dengan zirconium, zincum dan thorium, paduan dengan unsur zirconium dan thorium merupakan paduan cor yang bersifat *heattreatable* dan *creep resisiting*.
- c. Paduan dengan zirconium dengan *rare earth metal* serta *Silver* merupakan paduan cor yang dapat di-heat treatment. Paduan dengan

zirconium, beberapa dari paduan cor ini dapat di-*heattreatment*.

(digilib.its.ac.id)

2.18 Hubungan Dasar Implan Biomedis dan Biomaterial

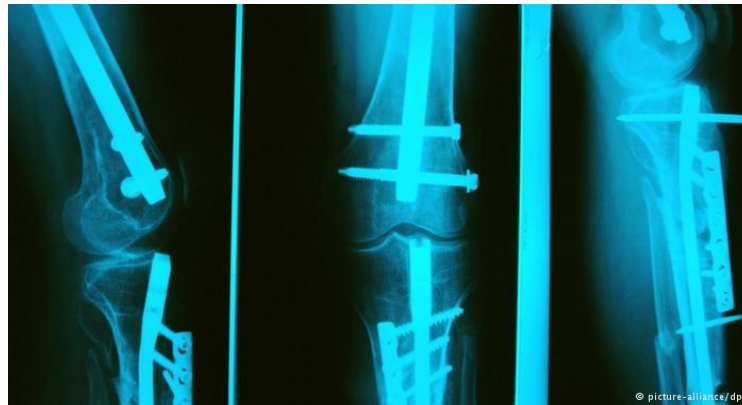
1. Ortopedi

Ortopedi atau bedah ortopedi merupakan salah satu cabang ilmu kedokteran yang mempelajari tentang cedera akut, kronis, dan trauma serta gangguan lain sistem muskuloskeletal (Wikipedia, 2014). Dalam kamus kesehatan ortopedi juga dapat diartikan sebagai spesialisasi medis yang berkaitan dengan koreksi cacat yang disebabkan oleh penyakit atau kerusakan (termasuk trauma) tulang dan sendi dari sistem kerangka.

2. Implan biomedis

Implan biomedis adalah salah satu jenis peralatan bedah yang digunakan oleh dokter bedah ortopedi untuk menangani beberapa kasus yang berhubungan dengan tulang. Implan biomedis dapat didefinisikan sebagai organ buatan yang digunakan untuk membantu memulihkan fungsi organ atau jaringan tubuh yang rusak secara alami. Berbagai pertimbangan dilakukan sebelum dilakukannya pembuatan implan. Selain harus bertindak sebagai pengganti fungsi alami tubuh, persyaratan lain dalam pembuatan implan adalah biokompatibilitas dan biodegradabilitas dari bahan yang digunakan. Biokompatibilitas dan biodegradabilitas bertujuan untuk mencegah terjadinya penolakan terhadap sistem kekebalan tubuh pada saat aplikasi digunakan (Batchelor, 2004).

Beberapa reaksi yang merugikan jaringan disekitar implan biomedis yang tidak dapat terelakkan adalah trauma karena pembedahan selama penyisipan implan. Definisi lain dari biokompatibilitas tergantung pada tujuan dari penggunaan implan. Istilah-istilah seperti bioinert atau bioaktif lebih akurat menggambarkan fitur yang lebih ideal untuk perangkat biomaterial (Hao, 2005).



Gambar 2.7. Berbagai jenis implan biomedis (<http://www.orthopaedic-implants.com>)

3. Biomaterial

Pada tahun 1987, Williams mendefinisikan sebuah material yang disebut sebagai biomaterial. Gagasan ini muncul sebagai perkembangan pemahaman tentang ilmu biologi dan struktur jaringan. Secara umum, biomaterial dapat didefinisikan sebagai suatu material tak hidup yang digunakan sebagai perangkat medis dan mampu berinteraksi dengan sistem biologis. Kemampuan material yang relatif *inert* didalam tubuh dan berkembang menjadi material yang bioaktif dan tidak menghalangi regenerasi sel didalam tubuh (Enderle & Bronzino, 2000).

Aluminium (Al) sebagai unsur paduan dalam magnesium dapat memberikan penguatan larutan padat dan pengerasan pengendapan. Namun fasa $Mg_{17}Al_{12}$ dalam system Mg-Al mempunyai titik lebur yang rendah sehingga tidak dapat digunakan untuk memperbaiki kekuatan temperatur tinggi. Paduan magnesium-aluminium telah banyak digunakan sebagai biomaterial, antara lain AZ91(Mg-9Al-1Zn) dan AZ31(Mg-3Al-1Zn), yang mengandung Zn sebagai unsur tambahan (Kirkland, 2010). Paduan ini memiliki kekuatan sebagai material implant, namun dapat menghasilkan ion Al^{3+} yang menurunkan biokompatibilitas. Ion Al^{3+} dapat berkombinasi dengan fosfat inorganik yang menyebabkan kekurangan fosfat dalam tubuh yang mengakibatkan kerusakan otot.

Hal yang sama juga dilaporkan oleh (Znamenski dan Bride ,1945) bahwa paduan magnesium dan aluminium adalah paduan yang dapat menginisiasi pertumbuhan tulang, namun paduan ini terkorosi sangat cepat sehingga tidak memberi kesempatan jaringan baru untuk tumbuh sebagai pengganti tulang yang patah Witte (2008), mengkaji paduan magnesium, dengan membandingkan empat paduan. Dua paduan yang pertama berisi aluminium dan seng dan dua paduan yang lain berisi unsur-unsur tanah jarang. Paduan 3% Al dan 1 % Zn dikenal sebagai AZ31 dan 9% Al dan 1 % Zn dikenal sebagai AZ91 adalah dua paduan pertama.

Lebih jauh, paduan magnesium memiliki keuletan yang rendah pada temperatur kamar, karena strukturnya yang hexagonal close-packed (hcp) memiliki sistem slip terbatas dan anisotropi yang kuat. Keuletan yang rendah sangat membatasi aplikasi magnesium sebagai implan, khususnya dalam proses pembentukan. Untuk mengatasi keuletan paduan magnesium yang rendah, salah satunya adalah dengan modifikasi unsur paduan karena unsur tunggal tidak mampu memenuhi sifat-sifat mekanik yang akan digunakan sebagai material implan. (Stanford, et.al, 2008) Stanford, menerangkan bahwa penambahan unsur-unsur tanah jarang pada magnesium seperti cerium, lanthanum dan gadolinium setelah di ekstrusi menghasilkan perubahan ukuran butir dan meningkatkan kekuatan pada paduan. Stanford juga menjelaskan bahwa melalui unsur-unsur di atas dapat meningkatkan keuletan pada paduan tersebut.

Karena kompleksitas sel dan jaringan terhadap reaksi biomaterial, dilakukan pendekatan untuk mengembangkan material jenis ini. Pendekatan ini biasanya disebut dengan biomimetika. Dalam disiplin ilmu biomaterial, biomimetika merupakan aspek meniru bahan – bahan alami atau jaringan hidup seperti kimia, mikro, atau metode fabrikasinya. Sifat yang diinginkan atau optimisasi biomaterial bergantung pada kegunaannya didalam tubuh.

Penggunaan magnesium dan paduan sebagai material implan menjadi perhatian karena mempunyai sifat degradasi yang tinggi, sehingga tidak

diperlukan lagi pembedahan setelah pemakaian yang cukup lama. Namun proses degradasinya perlu di kontrol agar dalam waktu tertentu tidak merusak jaringan tulang yang baru tumbuh dan juga aman dalam lingkungan fisiologis. Penambahan unsur-unsur paduan adalah sebuah cara yang terbaik untuk mengatasi permasalahan tersebut. Variasi unsur-unsur dipadukan dengan magnesium (antara lain : Al, Zn, Mn, Zr dan Cd) telah dilakukan untuk dapat digunakan sebagai material seperti AZ31, AZ91 dan AZ61. Perkembangan terkini bahwa paduan magnesium menggunakan unsur-unsur tanah jarang (antara lain : Ce, La, Pr, Y dan Nd) menghasilkan biokompatibilitas yang baik. Namun masih ditemukan unsur-unsur yang berbahaya akibat material implan yang terlarut. Paduan magnesium-gadolinium menjadi menarik perhatian sebagai material implant karena penambahan sedikit gadolinium mampu mengubah sifat mekanik dan ketahanan korosi.

2.19 Metode Taguchi

1. Pendekatan taguchi

Metode Taguchi dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi. Metode ini berisi tiga *stages* , disain *system*, disain parameter, dan disain toleransi. Metode Taguchi adalah sebuah metode statistic yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produk. Proses Taguchi membantu pemilihan dan penentuan kondisi potong optimal untuk proses pengeboran. Taguchi mengembangkan sebuah disain khusus dari *orthogonal array* untuk mempelajari seluruh ruang parameter dengan hanya menggunakan sejumlah kecil percobaan. Hasil percobaan ditransformasikan kedalam

rasio signal-to ratio (S/N). Kemudian dengan menggunakan rasio S/N sebagai pengukur penyimpangan sifat kualitas dari pendekatan ke nilai yang diharapkan. Ada tiga kategori dari sifat kualitas dalam analisa dari rasio S/N, misalnya yang lebih rendah yang lebih baik, yang lebih tinggi yang lebih baik, dan yang nominal yang lebih baik. Rumus yang digunakan untuk menghitung rasio S/N diberikan dibawah. Yang lebih kecil lebih baik. Hal ini digunakan ketika nilai yang lebih kecil yang diharapkan.

$$\text{Rasio S/N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y^2 \right) \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

y = nilai tanggapan yang diobservasi, dan

n = angka pengulangan

Yang paling baik yang nominal. Ini digunakan dimana nilai nominal atau target yang nilainya adalah minimum.

$$\text{Rasio S/N} = -10 \log \frac{\mu^2}{\sigma^2} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

μ = mean dan,

σ = variance

Lebih tinggi lebih baik. Ini digunakan dimana nilai yang lebih besar adalah yang diharapkan.

$$\text{Rasio S/N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1/y_i^2) \right) \dots\dots\dots (5)$$

Taguchi menyatakan suatu prosedur atandar untuk mengoptimalkan parameter – parameter proses.

2.20 ANOVA (Analysis of Variance)

ANOVA adalah teknik statistik untuk menentukan derajat perbedaan atau persamaan antara dua atau lebih kelompok data. Berdasar pada perbandingan nilai rata-rata dari sebuah komponen biasa. Pareto ANOVA digunakan untuk mengukur pentingnya parameter proses untuk proses – 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. Dengan 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.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Lab. Produksi Mekanik Politeknik Sugar Group Companies Lampung Tengah untuk mengaplikasikan proses permesinan terhadap pengaruh point angle mata bor untuk kualitas lubang dan tingkat penggunaan media pendingin sintesis dan nabati dengan mesin CNC.

Penelitian dilakukan pula di Lab. Measuring Tool Politeknik ATMI Surakarta untuk mengukur kekasaran permukaan dengan Mitutoyo SURFTEST SJ-201PM serta kesilindrisan (*roundness*), ketelitian dan ketegak lurus hasil pelubangan dengan CMM. Penelitian dilakukan juga di Lab. Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung untuk mengetahui kekasaran permukaan dengan Kamera Mikroskop USB. Penelitian dilakukan pula di Lab. Polman Ceper untuk menguji material Magnesium.

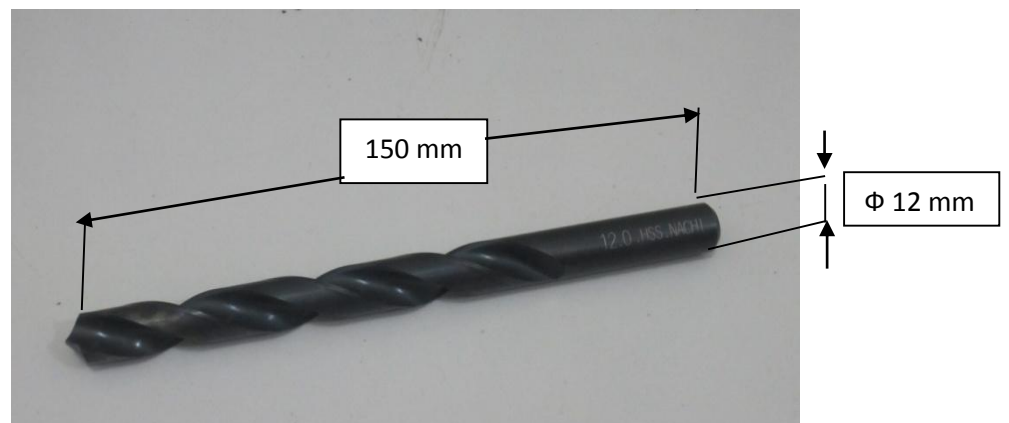
3.2 Bahan

1. Perkakas pemotong

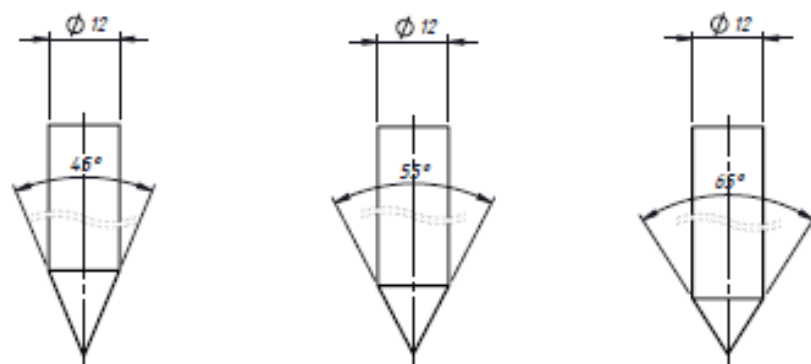
Drill (Mata Bor) adalah perkakas pembuat lubang atau alur yang efisien.

Mata bor yang paling sering digunakan adalah bor spiral, karena penyaluran serpih (geram) yang baik karena alur-alurnya yang berbentuk sekrup, sudut-sudut sayat yang menguntungkan dan bidang potong dapat

diasah tanpa mengubah diameter bor. Bidang–bidang potong bor spiral tidak radial tetapi digeser sehingga membentuk garis-garis singgung pada lingkaran kecil yang merupakan hati bor. Pahat bor *High Speed Steels* (HSS) merupakan paduan dari 0,75%-1,5% Carbon (C), 4%-4,5% Chromium (Cr), 10%-20% Tungsten (W) dan Molybdenum (Mo), 5% lebih Vanadium (V), dan Cobalt (Co) lebih dari 12% (Childs, dkk, 2000).

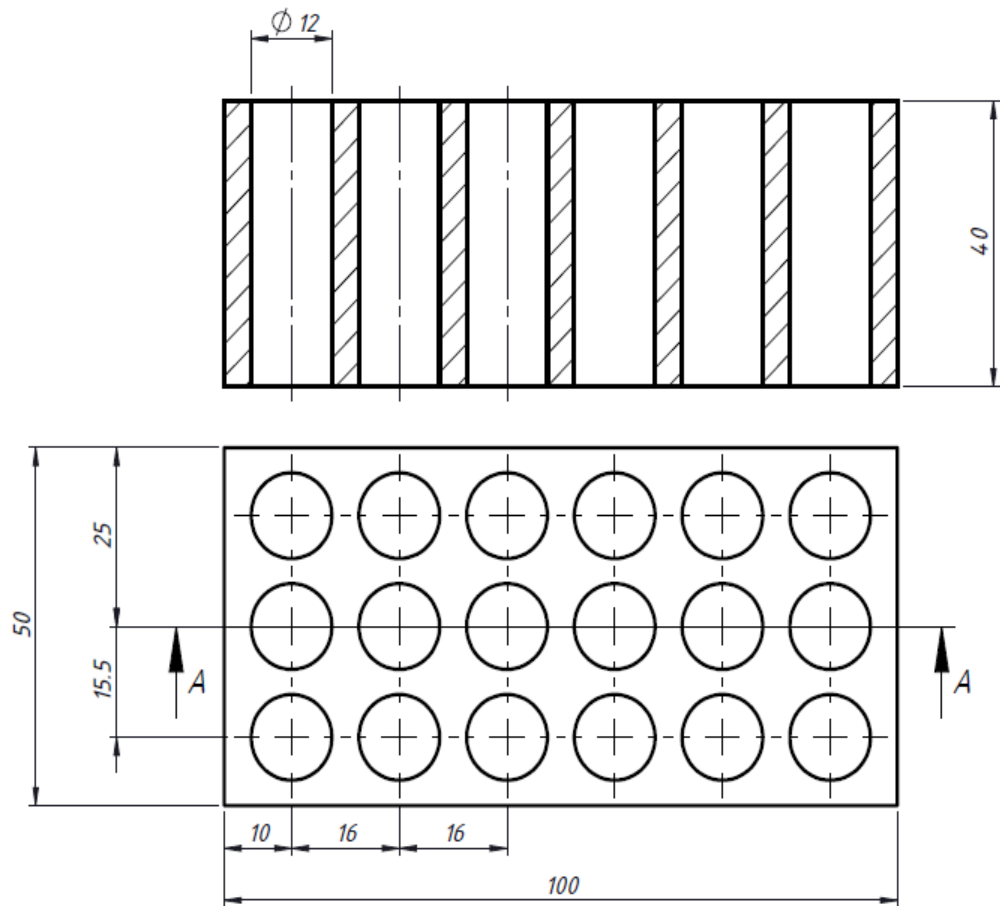


Gambar 3.1 Bor diameter 12 mm sebagai alat penelitian

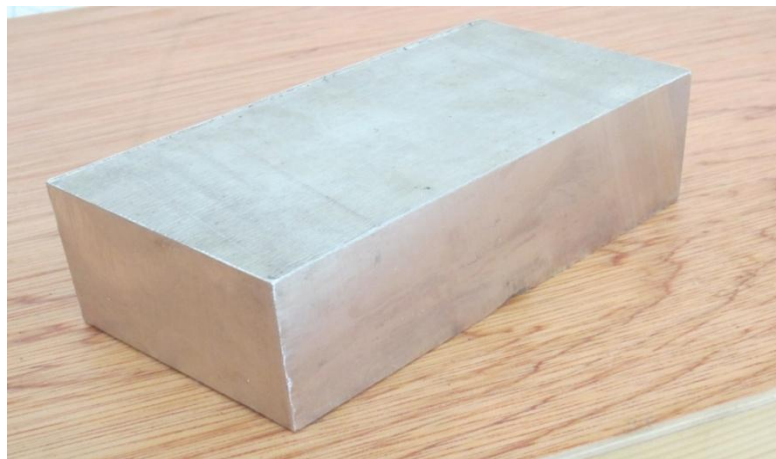


Gambar 3.2 Bor dengan perubahan *point angle* yang berbeda

2. Bahan benda kerja



Gambar 3.3 Material uji dengan ukurannya



Gambar 3.4 Material uji

Tabel 3.1 Urutan proses pengerjaan material uji

| NO | PROSES | KETERANGAN | JUMLAH |
|----|--------|--|--------|
| 1 | SAW | Digergaji dengan ukuran 2 mm lebih besar dari ukuran gambar dan siku | 1 |
| 2 | MILL | Dimilling untuk membentuk balok dengan ukuran 100 x 50 x 40 mm Dibor menggunakan CNC Vertical Machining Center dengan 3 jenis mata bor yang sudut potongnya berbeda (45 ⁰ , 55 ⁰ , dan 65 ⁰) | 1 |
| 3 | SAW | Digergaji 3 lubang (dengan cara pengeboran yang tidak sama) untuk mengetahui kehalusan permukaan hasil pengeboran (surface roughness) | 1 |

3. Bahan pelumas

Cutting fluid (cairan potong) adalah sejenis *coolant* (cairan pendingin) dan pelumas yang secara khusus ditujukan untuk proses pengerjaan logam seperti permesinan dan pencetakan (*stamping*) .Ada beberapa jenis cairan potong termasuk oli, larutan / emulsi oli – air (*oil-water emulsions*) , pasta , gel, kabut aerosol (*aerosols mists*), dan udara atau gas lain. Mereka dibuat dari distilasi minyak (*petroleum distillates*), lemak hewan, minyak dari tanaman , air dan udara , atau kandungan bahan baku lainnya.

Pada penelitian ini menggunakan cutting fluid dari minyak sintetis , minyak kelapa sawit dan minyak kedelai.

a. Minyak sintetis:

Umumnya ada 3 jenis cairan : *mineral*, *semi-synthetic*, dan *synthetic*. *Semi-synthetic* dan *synthetic cutting fluids* mewakili usaha untuk menggabungkan sifat yang paling baik dari oli dengan sifat yang paling baik dari air dengan menggantungkan emulsi oli dalam sebuah basis air. Sifat – sifat ini termasuk : pencegahan karat , toleransi dari jangkauan yang luas dari kekerasan air (*wide range of water hardness*) (mempertahankan pH yang stabil disekitar 9 to 10), kemampuan kerja dengan berbagai logam , melawan kerusakan karena panas, dan keamanan lingkungan.

Air adalah sebuah konduktor yang baik dari panas tetapi mempunyai kekurangan sebagai cairan potong (*cutting fluid*), mudah mendidih , mempermudah terjadinya karat pada bagian mesin , dan tidak berfungsi sebagai lubrikan yang baik. Maka dari itu, perlu komponen lain yang ditambahkan untuk menjadikan sebuah cairan potong yang optimal.

b. Minyak kelapa sawit

Minyak kelapa sawit bersifat semi solid. Hal ini dikarenakan minyak kelapa sawit memiliki titik leleh yang cukup tinggi yaitu 250C – 500C. Nilai densitas minyak kelapa sawit berkisar antara 0,909 – 0,917 g/ml pada suhu ruang. Suhu dapat mempengaruhi nilai densitas

minyak kelapa sawit, dimana semakin tinggi suhu maka nilai densitas minyak menurun . (Wulandari, et.al, 2011).

c. Minyak kedelai

Titik cair yang dimiliki minyak kedelai sangat tinggi, yaitu sekitar -16°C dan biasanya berbentuk padat (*solid*) pada ruang yang mempunyai suhu tinggi. Hal ini berarti minyak kedelai dimungkinkan dalam penelitian ini untuk dicoba sebagai media pendingin . (Ketaren.et.al, 1986)



Gambar 3.5 Proses milling pada aluminium tebal menggunakan suatu cairan potong berdasar air (*water-based cutting fluid*) pada *milling cutter* . ([https://en.wikipedia.org/wiki/File:Makino-S33-](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Makino-S33-milling_cutter)

[Machining](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Makino-S33-milling_cutter) Center-example.jpg)

3.3 Peralatan

Peralatan – peralatan yang digunakan untuk mencapai keberhasilan penelitian dapat diuraikan sebagai berikut :

1. CNC *vertical machining*



Gambar 3.6 CNC *Vertical Machining* menggunakan program Fanuc.

Tabel 3.2 Data CNC *vertical machining*

| No | Deskripsi | |
|----|-----------------|--------------------------------------|
| 1 | Jenis | CNC <i>Vertical Machining Center</i> |
| 2 | Merk | FEELER |
| 3 | Tipe | VMP – 30(A) |
| 4 | X – axis travel | 760 mm |
| 5 | Y – axis travel | 420 mm |
| 6 | Z – axis travel | 510 mm |

| | | |
|----|----------------------------------|-------------------|
| 7 | <i>Diameter bor maximum</i> | 80 mm |
| 8 | <i>Spindle speed max</i> | 10.000rpm |
| 9 | <i>Spindle power</i> | 7,5/11 kw |
| 10 | <i>Vertical displacement max</i> | 510 mm |
| 11 | Sistem | Manual / otomatis |
| 12 | Buatan | Taiwan |

Sumber :Lab. Produksi Mekanik Politeknik Sugar Group Companies

Adapun prinsip kerja mesin *Vertical Machining Center (VMC)* adalah putaran motor listrik diteruskan ke poros mesin sehingga poros berputar. Selanjutnya poros berputar yang sekaligus sebagai pemegang mata bor . Gerakan meja kekiri maupun kekanan mengikuti sumbu X, gerakan kedepan kebelakang dengan sumbu Y, sedangkan gerakan naik turun mengikuti sumbu Z. Mesin VMC ini akan digunakan untuk mengebor benda kerja Magnesium AZ 31 , dengan menggunakan twist drill HSS berdiameter 12 mm.

2. *Coordinate measuring machine (CMM)*

Coordinate Measuring Machine(CMM) (mesin pengukur kordinat) adalah sebuah alat pengukur multi fungsi berkecepatan tinggi yang menghasilkan akurasi dan efisiensi pengukuran yang tinggi. Pada prinsipnya CMM adalah kebalikan dari CNC.Pada CNC kordinat yang dimasukkan menghasilkan gerakan pahat pada sumbu X, Y dan Z. Sedangkan pada CMM kontak antara probe dengan benda kerja

menghasilkan kordinat.Selain itu jika pada mesin CNC menggunakan bantalan peluru bersirkulasi (*circulated ball bearing*) maka pada mesin CMM menggunakan batalan udara (*air pad bearing*) sehingga gerakannya sangat halus.Untuk menjamin keakuratan konstruksi CMM dibuat sangat kaku (rigid). Salah satu caranya dengan menggunakan granit sebagai meja atau bidang acuan.



Gambar 3.7 *Coordinate Measuring Machine* (CMM) Sumber :Lab.

Measuring Tool Politeknik ATMI Surakarta

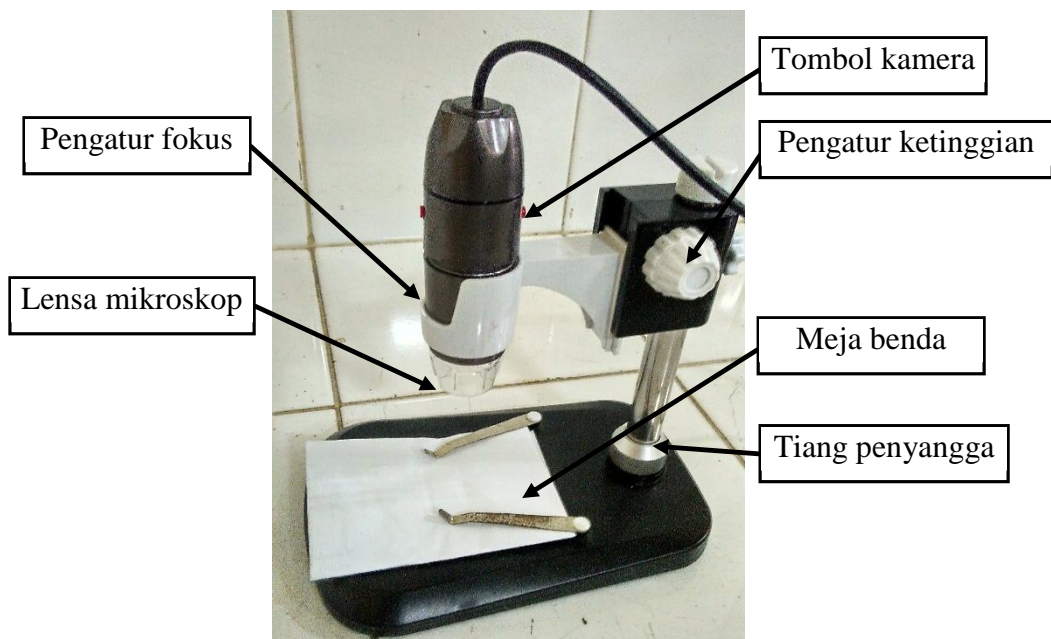
3. Kamera mikroskop USB

Kamera Mikroskop USB digunakan untuk mengambil gambar profil permukaan dari material magnesium yang sudah dilakukan proses

permesinan. Kamera Mikroskop USB ini memiliki pembesaran hingga 1000 kali.

Tabel 3.3 Spesifikasi Mikroskop USB

| <i>Merk</i> | <i>OEM (Original Equipment Manufacturing)</i> |
|----------------------|--|
| <i>Image Server</i> | 2,0 MP |
| <i>Magnification</i> | 1000X |
| <i>Focusing</i> | Manual dari 0 – 100 mm |
| <i>Photo format</i> | JPEG atau BMP |
| <i>Video format</i> | AVI |
| <i>Light Source</i> | 8 LEA |



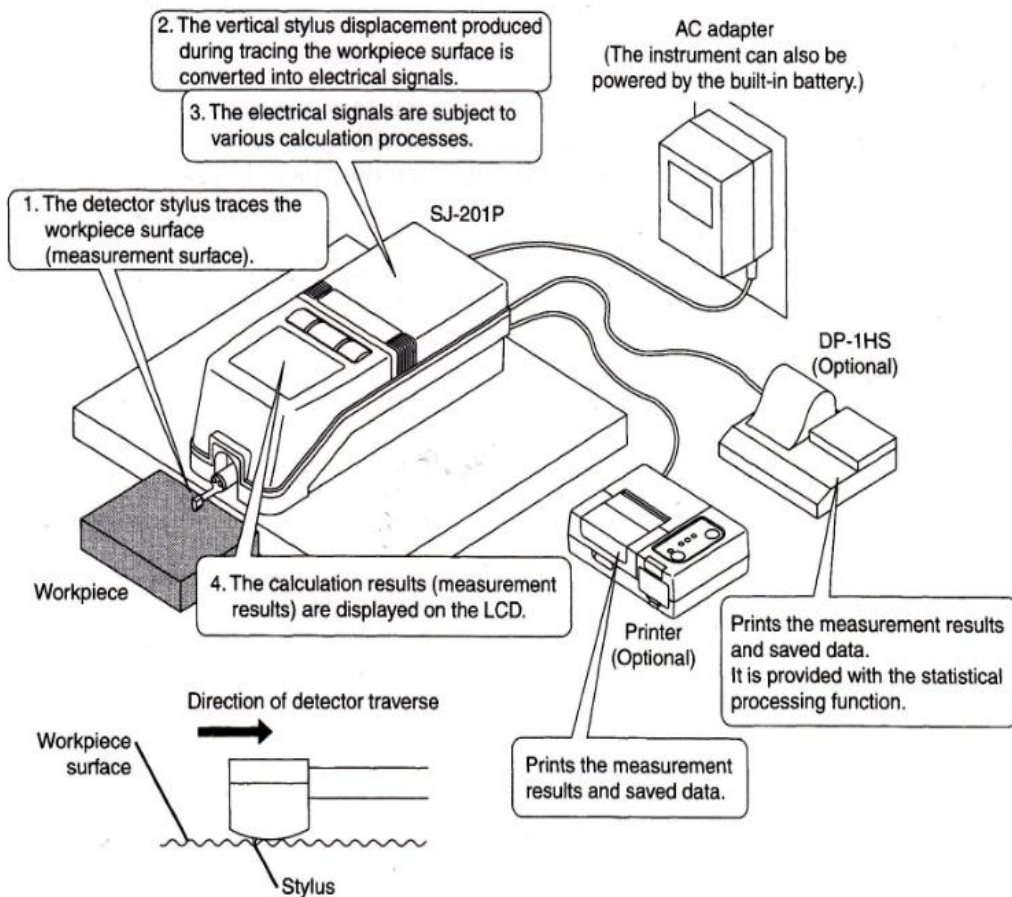
Gambar 3.8. Mikroskop USB

4. Mitutoyo SURFTEST SJ-201PM



Gambar 3.9. Proses pengukuran material uji dengan Surface Test SJ-

201 PM



Gambar 3.10. Mekanisme penggunaan Mitutoyo SJ-201 PM

Mekanisme kerja Mitutoyo SJ-201 PM adalah sebagai berikut :

- a. Stylus pendeteksi meraba permukaan benda kerja (mengukur permukaan).
- b. Perubahan stylus *vertical* yang dihasilkan selama perabaan pada permukaan benda kerja dikonversikan kedalam sinyal elektrik.
- c. Sinyal – sinyal elektrik ditujukan untuk memproses berbagai perhitungan.
- d. Hasil – hasil perhitungan (hasil pengukuran) ditunjukkan pada LCD.

Tabel 3.4. Spesifikasi *Surface Tester*

| | |
|------------|----------------------|
| Merk | Mitutoyo SJ – 201 PM |
| Fabrikasi | Japan |
| Ketelitian | 0,01 mm |

3.4 Pengujian Pemesinan

1. Penelitian lanjut pada pengaruh sudut lancip (*point angle*) yang bervariasi 45° , 55° , dan 65° pada kekasaran permukaan dengan mengacu pada penelitian Kwo Zong dan Teng Shih (2002), dimana sudut yang diteliti 35° , 55° dan 85° dan menghasilkan optimum *point angle* terletak pada penelitian *point angle* 55° .
2. Pengujian dengan penggunaan pelumas yang berbeda antara pelumas sintesis , minyak kelapa sawit dan minyak kedele yang akan berpengaruh pada hasil kualitas permukaan lubang pengeboran dan juga pengaruhnya

pada penggunaan Pelumas Berkuantitas Minimum (*Minimum Quantity Lubrication*).

3. Pengujian pada kekasaran permukaan (R_a), *roundness* (kesilindrisan) dan *perpendicular* (kesikuan) dari lubang bor terhadap permukaan rata.

3.5 Pengujian dengan Taguchi

Metode disain eksperimen Taguchi meminimalkan jumlah penelitian dengan tujuan mengarahkan eksperimen dengan jalan yang lebih pendek dan lebih mudah. Metode ini diperkenalkan oleh DR. Genichi Taguchi, seorang insinyur Jepang. Metode ini mengurangi jumlah penelitian yang akan berakibat pada waktu yang lama dan dengan biaya yang tinggi. Analisa varian adalah metode statistik yang predominant digunakan untuk menginterpretasikan data eksperimen dan membuat keputusan penting pada apakah metode ini yang paling obyektif .

Pengaruh kolom digunakan Taguchi untuk menyederhanakan Anova yang pada dasarnya kolom mempunyai pengaruh besar pada jawabannya. Tujuan utama dari analisa varian adalah untuk mengevaluasi secara nyata dari cutting parameter pada *surface roughness* untuk penelitian ini. Hal ini akan memberikan gambaran yang jelas, bagaimana cutting parameter berpengaruh pada jawaban dan tingkat kenyataan dari faktor- faktor yang dipertimbangkan. Secara statistik, ada sebuah alat yang disebut F-Tes mengikuti dan melihat disain parameter yang sma akan berpengaruh secara nyata pada sifat mutu.

Tabel 3.5 Data *Run Order* penelitian

| Kode (<i>Symbol</i>) | Parameter Potong (<i>Cutting Parameter</i>) | unit | <i>Level / tingkatan</i> | | |
|---------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------|---------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| A | Putaran (n) | min ⁻¹ | 405 | 890 | - |
| B | Pemakanan (f) | mm | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| C | Sudut Pahat (<i>point angle</i>) | ° | 45 | 55 | 65 |
| D | Pelumas | - | Sintetis | Kelapa Sawit | Kedelai |

L18 .Orthogonal Array L18(2². 3³)

L 18 (2²⁻¹. 3³⁻¹)

L = rancangan bujur sangkar latin

18= banyak baris atau eksperimen

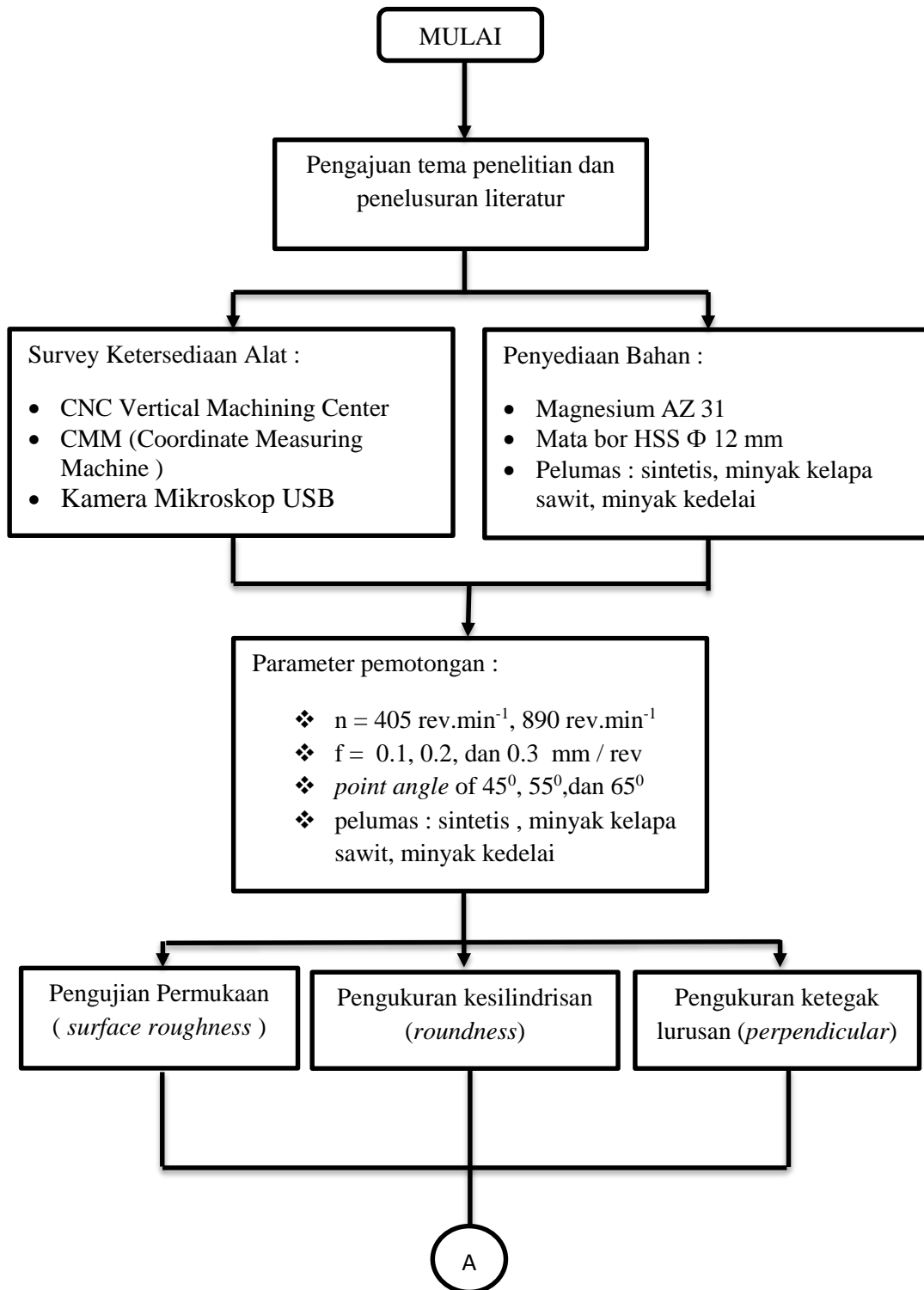
3 = banyak level

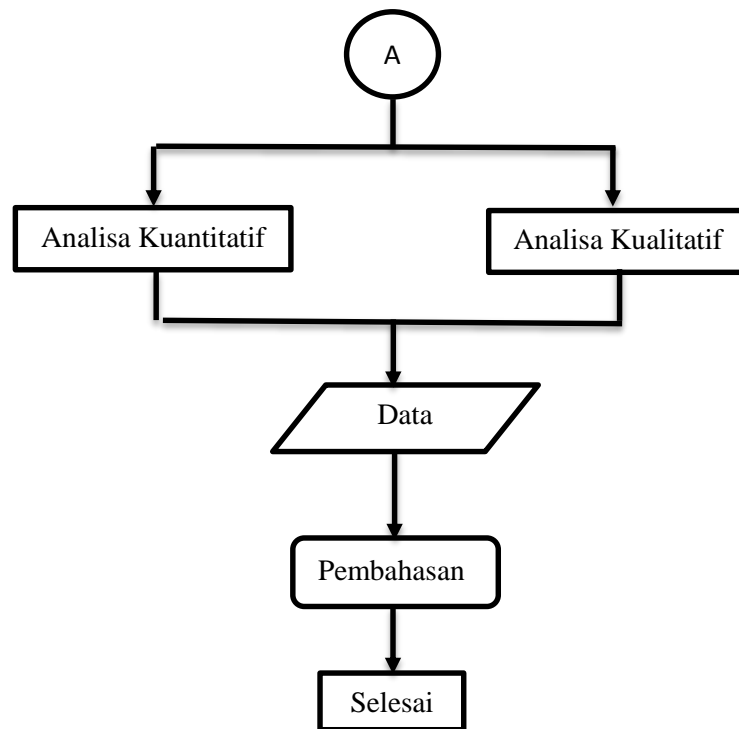
4 = banyak faktor

Tabel 3.6 Data Rumus Penelitian dengan Metode Taguchi

| No Uji | Putaran | Pemakanan | Sudut Pahat | Pelumas |
|--------|---------|-----------|-------------|---------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| 7 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 8 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| 10 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 12 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 3 |
| 17 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 18 | 2 | 3 | 3 | 2 |

3.6 Diagram Alir Penelitian





BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Nilai kekasaran permukaan magnesium AZ31 dalam proses pengeboran ini dipengaruhi oleh adanya kontribusi *point angle* 18,9% dan pelumas 14,5%, dimana *point angle* nya adalah 65^0 dengan pelumas sintetis. Hal ini sangat dipengaruhi pula oleh parameter pemotongan, terutama interaksi antara *point angle* dan pelumas yang menghasilkan $P = 0,02$, meskipun harus dilakukan dahulu proses *stepwise metode backward elimination* dimana P data 0,236 menjadi $P = 0,10$ terlebih dahulu. Mata bor dengan *point angle* yang kecil memunculkan *nose radius* yang lebih besar yang mempengaruhi kehalusan permukaan.
2. Nilai kesilindrisan magnesium AZ31 dalam proses pengeboran sangat dipengaruhi pula oleh parameter pemotongan *point angle* 45^0 yang menghasilkan signifikansi $P = 0,043$, sedangkan signifikansi terkuat terjadi jika ada interaksi antara *feeding* 0,2 mm dengan pelumas sintetis yaitu $P = 0,013$. Keakuratan sisi potong / *cutting edge* berakibat pada kesetimbangan gaya tangensial sehingga berpengaruh pada kestabilan putaran dan kesilindrisan hasil pengeboran.

3. Nilai ketegaklurusan magnesium AZ31 dalam proses pengeboran sangat dipengaruhi pula oleh parameter pemotongan *feeding* yang menghasilkan signifikansi $P = 0,044$, sedangkan signifikansi terkuat terjadi jika ada interaksi antara *feeding* 0,1 mm dengan pelumas sintesis pada $P = 0,041$.
4. Dari ketiga hal yang diteliti baik kekasaran permukaan, kesilindrisan dan ketegak lurusan ada beberapa parameter yang terkait dan sama.
 - a. Untuk kekasaran permukaan ada di *point angle* 65^0 dengan *feeding* 0,2 mm. *Point angle* 65^0 sudah memunculkan kecenderungan terbentuknya *nose radius* dibandingkan jika menggunakan *point angle* normal 118^0 .
 - b. Untuk kekasaran permukaan , kesilindrisan dan ketegaklurusan pelumas sintesis berpengaruh karena mempunyai indeks viskositas yang cukup tinggi yaitu 214 yang lebih besar dari minyak kelapa sawit 188, meski masih dibawah minyak kedelai yang 246. Sedangkan titik nyala minyak sintesis adalah pada suhu 285^0 cukup untuk menahan panas magnesium waktu dibor dengan putaran 890 rpm.

5.2 Saran

1. Material uji sebaiknya dicek terlebih dahulu terhadap komposisi kimia yang sesungguhnya , sehingga sifatnya valid seperti yang diharapkan.
2. Dari penelitian Chong,Shih 2002, digunakan mata bor dengan perbedaan *point angle* 35^0 , 55^0 dan 80^0 selisih masing – masing antara $20 - 25^0$, sedangkan pada penelitian ini digunakan *point angle* 45^0 , 55^0 , 65^0 dengan selisih sudut 10^0 . Penulis menyarankan pada peneliti berikut supaya

menggunakan selisih sudut yang lebih besar sehingga perbedaan akan menjadi kelihatan.

3. Penelitian menggunakan pelumas berbeda terutama untuk mencapai *Minimum Quantity Lubrication* yang ideal sangat diperlukan saat ini guna mengurangi pencemaran lingkungan dan menggunakan media pelumas dari minyak nabati . Penelitian menggunakan pelumas minyak nabati sangat perlu untuk diintensifkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhvaryu,A., Liu,Z., 2005 . *Synthesis of novel Alkoxilated Triacylglycerols and their lubricant base oil properties*. Journal Industrial Crops and Product 21:113-119
- A.Navanth, 2013. *A Study of Taguchi Method Based Optimization of Drilling Parameter in Drilling of Al 2014 Alloy at Low Speed*. International Journal of Engineering Science & Emerging Technologies, August 2013 volume 6, Issue 1, pp:65-75 @IJESET
- Anilchandra and Surappa, 2010. *Influence of Tool Rate on the Quality of Pure Magnesium Chip-Consolidated product*. Journal of Material Processing Technology, 210(3), pp. 423-428
- Askew,M.F.,2004. *Bio-Lubricants-Market Data Sheet* : IENICA-Inform Project.
- Baker, Hugh D. R.; Avedesian, Michael (1999). *Magnesium and magnesium alloys*. Materials Park, OH: Materials Information Society. hlm. 4. [ISBN 0-87170-657-1](#)
- Bargab Kalita, 2015. *A Review on Optimization of Cutting Parameter in Drilling Using Taguchi Method*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)- volume 29. Number 2 – November 2015
- Batchelor,AW , and Chandra Sekaran M 2004. *Service Characteristics of Biomedical Material and implants*. London:Imperial College Press.
- Biermann, D, Liu, Y, 2014. *Innovation Flow Drilling on Manufacture of leightweight Components*. El Sevier Academic Prosess Series . Procedia CIRP 18 (2014) 209 – 214
- Bird,Tony, 1987. *Kimia Fisik untuk Universitas*, Gramedia, Jakarta
- Boothroyd, 1975. *Fundamental of Metal machining and Machine Tool*. Hemisphere Publishing Co.

- Boswell,B, Islam MN.2013. *The Challenge and Adopting Minimal Quantity of Lubrication for End Milling Aluminium*. In (eds) G-CYea, editor. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. AENG Transaction on Engineering Technologies.Australia : Springer Science + Business Media Dordrecht.
- Burhanuddin,Y,2012.” *Manufaktur Ramah Lingkungan Suatu Tinjauan Pemesinan Paduan Magnesium Menggunakan Termografi*.” Prosiding SENTRA PROBE
- Canter, N , 2009. *The Possibilities and Limitations of dry Machining* . *Tribology and Lubrication Technology*, March : 40-44
- Che Haroon, 2001. *Tool Life and Surface Integrity in Turning Titanium Alloy*. *Journal of Material processing and Technology*. 349-368
- Childs,T.,Maekawa, K., Obikawa, T., and Yamane, Y., 2000, “*Metal Machining Theory and Applications*”, by John Wiley & Sons Inc, New York Toronto
- Daryus Asyari, 2009 . *Diktat Kuliah Proses Produksi*, Jakarta : Fakultas Teknik Universitas Darma Persada.
- Edwards, B.J., Louthan, M. R., Jr., and Sisson, R. D.1985. Hydrogen Embrittlement of Zimalogy: *A Cobalt-Chromium-Molybdenum Orthopedic Implant Alloy*. In *Corrosion and Degradation of Implant Materials*; Second Symposium, ASTM STP 859., AC, Froker and C. D, Griffin, Eds. American Society for Testing and Materials Philadelphia, pp, 11-29.
- Enderle & Bronzino , 2000. *Introduction to Biomedical Engineering* . 2nd ed. Burlington,MA : El Sevier Academic Prosess Series.
- Gunstone,FD., Padlley,FB,. 1998. *Lipid technologies and Applications*. Marcel Dekker. Inc.New York. Basel : Hongkong
- Hanum, H , 2011.*Perbandingan Metode Stepwise, Best Subset Regression, dan Fraksi dalam Pemilihan Regresi Berganda Terbaik*, *Jurnal Penelitian Sains*.14(2A):1-6 .Sumatera Selatan :Universitas Sriwijaya

Hao, 2005. *Introduction to Manufacturing Process*. 3rd Ed. Mc Graw Hill Book.Co
Hao, 2005. *Soft Plasma Treated Surfaces : Tailoring of Structure and properties for Biomaterial Application*. John Willey & Sons. Inc.

Harris, J. W. and Stocker, H, 1998. *Handbook of Mathematics and Computational Science*. New York: Springer-Verlag, 1998

Harwig, A.2001. *Role of magnesium in genomic stability*. Mutation Research /Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis ;475, pp. 113-121.

Hendra, 2005. *Pengaruh Kondisi Pemotongan Pahat Gurdi terhadap keausan pahat*. Jakarta

Hofmann,D. 2009. *Knowledge-Based Approach toward Hydrolytic Degradation of Polymer-Based Biomaterial*.WILEY-VCH Verlag GmbH& Co.KGaA, Weinheim.

<http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/53478/Chapter%20II.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

<http://widhiarso.staff.ugm.ac.id/wp/berkenalan-dengan-metode-metode-analisis-regresi-melalui-spss/2010>

https://www.researchgate.net/publication/311843264/Bondan._Magnesium_dan_Paduan_Sebagai_Biomaterial_Sebuah_Kajian_Literatur [accessed Feb 08 2018].

Hwang,HS., Erhan,SZ.,2005. *Synthetic Lubricant Base stock from Epoxidized Soybean oil and Guerbet Alcohol*. Journal Industrial Crops and Products, 1-7

Ibrahim, G.A. 2014. *Analisa Kekasaran Permukaan pada Pemesinan Paduan Magnesium*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung

- Ibrahim, G.A. 2010. *Pengaruh Pemesinan Kering Terhadap Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Paduan Titanium*
- Jack W. Chaplin, 1976. *Metal Manufacturing Technology*.McKnight Publishing Company, Bloomington , Illinois
- Kalpakjian,S and Schmid,SR. 2001. *Manufacturing Engineering and Technology*. International edition ,Prentice Hall. New Jersey
- Kalpakjian,S and Schmid,SR. 2002. *Manufacturing Engineering and Technology*. International edition ,Prentice Hall. New Jersey
- Ketaren,S, 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta UI-Press
- Kirkland, N.T., Lespagnol, J., Birbilis, N., Staiger, M. P.2010. *A Survey of Bio-Corrosion Rates of Magnesium Alloys*. Corrosion Science :10;52, pp. 287-291.
- Klocke,F. and Eisenblaetter,G. 1997. *Dry Cutting*. Annals of CIRP Manufacturing TechnologyVol. 46(2), pp.519-526.
- Koenisberger, 1964.” Design Principles of Metal Cutting Machine tools”. Pegamon Press, Oxford.
- Kwo Zong Chong and Teng Shih Shih, 2002. *Optimizing Drilling Condition for AZ61A Magnesium Alloy*. Material Transaction, Vol.43, No.8. pp 2148 to 2156. The Japan Institute of metals
- Lambotte, A.1932. *L'utilisation du magnesium comme material perdu dans l'osteosynthese*. Bull Mem Soe Nat Cgir ;28, pp. 1325-34.
- Leslie,1983. *The Physical Metallurgy of Steels*.Mc Graw-Hill, Tokyo Japan

Lindberg JS; Zobitz MM; Poindexter JR; Pak CY (1990). "Magnesium bioavailability from magnesium citrate and magnesium oxide". *J Am Coll Nutr* 9 (1): 48–55. [PMID 2407766](#). [doi:10.1080/07315724.1990.10720349](#)

Makmur, 2010. *Analisa Pengaruh Kecepatan Potong Proses Pembubutan Baja Amutit K460 terhadap Umur Pahat HSS*.

Mulyana,A.,Tjahjono,EW.,*Penelitian Teknologi Proses Pembuatan Polyolester sebagai bahan dasar minyak pelumas sintesis. Makalah Seminar Teknologi untuk Negeri*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Industri Proses: BPPT

Nagel, J., Stokdijk, M., Rozing, PM. 2003.*Stress shielding and bone resorption in shoulder arthroplasty*. *Journal Shoulder Elbow Surgery*;12, pp. 35-39.

Naibaho, 1996. *Teknologi Pengelolaan Kelapa Sawit*. Medan: Pusat Pembibitan Kelapa Sawit.

Niinomi, M.,2002. *Recent Metallic Material for Biomedical Applications*. *Metallurgical and Material Transactions A*;33, pp. 477-486.

Papoulis, A. 1984."*Bayes' Theorem in Statistics" and "Bayes' Theorem in Statistics (Reexamined)*." §3-5 and 4-4 in *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 2nd ed.* New York: McGraw-Hill, pp. 38-39, 78-81, and 112-114..

Patel.J , 2014. *A Review on Effect of Cutting Parameter on Drilling Operation for Perpendicularity*. *IOSR Journal of mechanical and Civil Engineering (IOSR – JMCE)*, volume 11, Issue 6 Ver.VI (NOV-Dec 2014) pp 11-18

Rahdiyanto, 2010. *Proses Drilling (bor/gurdi*. PTM (FT-UNY)

Rahdiyanto,2010.*Teori Pemesinan Dasar Cairan Pendingin Cutting Fluid*. PTM (FT-UNY)

- Rochim Taufiq. 1993 . *Proses Permesinan.Higher Education Development Support Project*. Jakarta.
- Rochim ,Taufiq, 1993. *Teori dan Teknologi Proses Permesinan*, HEDS, Jakarta
- Schey,1983. *Introduction to Manufacturing Process*. 3rd ed.Mc Graw-Hill, Education
- Soejanto, Irwan, 2009. *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*. Graha Ilmu, Yogyakarta
- Sugiarto, 2009. *Struktur Modal, Struktur Kepemilikan Perusahaan, Permasalahan Keagenen & Informasi Asimetri*. Graha Ilmu, Yogyakarta
- SV. Alagarsamy, 2016. *Optimization of Drilling Proses Parameter on Surface Roughness & Material Removal Rate by Using Taguchi Method*. International Journal of Engineering Research and General Science Volume 4, Issue 2, March-Apriln 2016 ISSN 2091-2730
- Thelning,K.E, 1975. *Steel and Its Heattreatment*. AB. Bofors Butterworth, London and Boston.
- Tornshoff, HK and Brinkomeier, 1965. *Determination of the Mechanical and Thermal Influences on Machined Surface by Microhardness and Residual Stress Analysis*. Ann.EIRP 29, pp.519-532
- Tornshoff .HK, Mohlfeld,A.1997. *PVD Coating for new Protection in Dry Cutting Operations*. Institute for Production and Macchine Tools University of Hannover, Germany
- Trent, 2001. *Metal Cutting* . 3rd ed. Butterworth-Heinemann, Oxford
- Wen, CE., Mabuchi, M., Yamada, Y., Shimojima, K., Chino, Y..2001. *Processing of biocompatible porous Ti and Mg*. Scripta Material ;45, pp.1147-53.

Witte F, Hort N, Vogt C, Cohen S, Kainer KU, Willumeit R, I. 2008 .*Degradable Biomaterials Based on Magnesium Corrosion*. Current Opinion Solid State Materials Science ;12, pp. 63-72.

Wulandari, 2011. *Perkembangan Kelapa Sawit di Riau*.
<<https://www.academia.edu>>

www.stat.ualberta.ca/~hooper/teaching/misc/Pvalue.pdf

Yunus A, Cengel, 2002. *Heat Transfer a Practical Approach*. University of Nevada, Reno, Mc Graw Hill, Erlangga

Zhang, X., Yuan, G., Mao, L., Niu, J., Fu, P., Ding, W. 2012. *Effect of extrusion and Heat Treatment on the Mechanical Properties and Biocorrosion Behaviour of a Mg-Nd-Zn-Zr Alloy*. Journal of The Mechanical Behaviour of Biomedical Materials ;7, pp. 77- 86

Znamenskii, MS. *Metallic osteosynthesis by means of an apparatus made of resorbing metal*. Khirurgiia 1945;12, pp. 60-63.

Zwillinger, D, 1995. *CRC Standard Mathematical Tables and Formulae*. Boca Raton, FL: CRC Press.