

**ANALISA KEAUSAN PAHAT PUTAR
PADA PEMBUBUTAN MAGNESIUM AZ31
MENGUNAKAN UDARA DINGIN BERTEKANAN**

(Skripsi)

Oleh

Dhika Arifian



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

ANALISA KEAUSAN PAHAT PUTAR PADA PEMBUBUTAN MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN UDARA DINGIN BERTEKANAN

Oleh

DHIKA ARIFIAN

Paduan magnesium merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan di industri manufaktur karena sifatnya yang ringan, tahan korosi dan penghantar panas yang baik. Namun magnesium juga dikenal sebagai bahan logam yang memiliki titik nyala yang rendah sehingga mudah terbakar. Suhu pemotongan yang tinggi dianggap merugikan karena dapat menyebabkan pahat menjadi cepat aus, sehingga efisiensi proses pemesinan menurun dan meningkatnya biaya produksi. Salah satu metode untuk menurunkan suhu pemotongan dengan menggunakan pahat potong berputar, dimana pahat akan mengalami pendinginan selama periode putaran tanpa pemotongan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai aus pahat potong berputar (*rotary tool*) dan mengimplimentasikan metode pahat putar dan udara dingin untuk meminimumkan keausan pahat potong. Pemesinan menggunakan pahat *insert carbide* berdiameter 16 mm serta magnesium AZ31 dan udara dingin bertekanan 6 bar pada parameter kecepatan benda kerja (V_w) 80, 120, 180 m/min, gerak makan (f) 0.10, 0.15, 0.20 mm/rev, kecepatan potong pahat putar (V_t) 25, 50, 75 mm/min, serta kedalaman potong 0,3 mm. Hasil pengukuran aus menggunakan mikroskop USB didapat nilai aus minimum 0.286 mm dengan nilai laju keausan rata – rata 5.6 % pada putaran benda kerja (V_w) 80 m/min pada gerak makan 0.1 mm/rev dengan kecepatan potong pahat putar (V_t) 50 m/min dan kedalaman potong 0.3 mm dan nilai aus maksimum 0.448 mm dengan nilai laju keausan rata – rata 13.5 % pada putaran benda kerja (V_w) 160 m/min pada gerak makan 0.15 mm/rev dengan kecepatan potong pahat putar (V_t) 75 m/min dan kedalaman potong 0.3 mm. Demikian juga pengaruh dari variasi parameter yang digunakan. Semakin tinggi kecepatan putar pahat (V_t), kecepatan putar benda kerja (V_w) serta gerak makan (f) maka keausan semakin meningkat. Progres aus pahat putar relatif cepat di awal pemotongan diikuti pertumbuhan linier yang setara dengan bertambahnya waktu pemotongan dan keausan terlihat disisi pahat potong.

Kata Kunci : Keausan, *insert carbide*, magnesium AZ31, pahat potong berputar, udara dingin bertekanan.

ABSTRACT

ANALYSIS OF TOOL WEAR ON ROTARY CUTTING WITH TURNING MAGNESIUM AZ31 USING COOLING AIR PRESSURE

By

DHIKA ARIFIAN

Magnesium alloy is one of the materials that worldwide used in the manufacturing industry because of its light weight, corrosion resistance and a good thermal conductivity. Nevertheless, magnesium is also known as a metal material that has a low melting point so easy to burned. Cutting high temperature considered harmful because it can cause faster wear tool, so the efficiency of the machining process decreases and increased production costs. One method to decrease the cutting temperature by using a rotary cutting tool, which the tool will be colling during the period of rotatian without cutting. The purpose of this study is to obtain the value of rotary cutting tool wear and implement methods of rotary cutting tool and air cooling to minimize tool wear. Machining using a tool *insert carbide* diameter of 16 mm and magnesium AZ31 and air cooling pressure 6 bar on the parameters of the speed of the workpiece (VW) 80, 120, 180 m/min, feed rate of (f) 0.10, 0.15, 0.20 mm/rev, cutting speed of rotary tool (Vt) 25, 50, 75 mm/min, and depth of cut 0.3 mm. The measurement results wear using USB microscope obtained value of the wear minimum of 0.286 mm with average wear rate of 5.6% on the workpiece speed (VW) 80 m/min on the feed rate of 0.1 mm/rev with a cutting speed of rotary tool (Vt) of 50 m/min and depth of cut 0.3 mm and the value wear maximum of 0.448 mm with average wear rate of 13.5% on the workpiece speed (Vw) 160 m/min on the feed rate 0.15 mm/rev with a cutting speed of rotary tool (Vt) 75 m/min and depth of cut 0.3 mm. Likewise, the effect of variations in the parameters used. The higher cutting speed of rotary tool (Vt), workpiece speed (Vw) and feed rate (f) the wear increases. The wear progression is relatively faster at the beginning of cutting followed by an equivalent linear progress with increasing time of cutting and wear observed on the flank wear.

Keywords: wear, *insert carbide*, magnesium AZ31, a rotating cutting tool, cooling air pressure.

**ANALISA KEAUSAN PAHAT PUTAR PADA PEMBUBUTAN
MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN UDARA DINGIN
BERTEKANAN**

**Oleh
DHIKA ARIFIAN**

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **ANALISA KEAUSAN PAHAT PUTAR PADA
PEMBUBUTAN MAGNESIUM AZ31
MENGGUNAKAN UDARA DINGIN
BERTEKANAN**

Nama Mahasiswa : **Dhika Arifian**

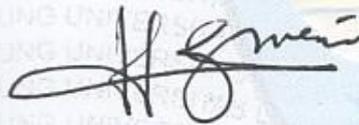
Nomor Pokok Mahasiswa : 1215021029

Program Studi : Teknik Mesin

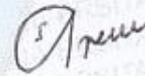
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

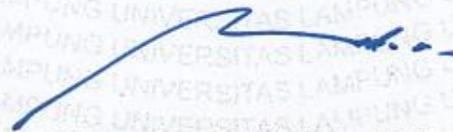


Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.
NIP 19710817 199802 1 003



Ir. Arinal Hamni, M.T.
NIP 19641228 199603 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin



Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP 19740816 200012 1 001

MENGESAHKAN

I. Tim Penguji

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

Anggota : Ir. Arinal Hamni, M.T. 

Penguji Bukan Pembimbing : Achmad Yahya TP, S.T., M.T. 

2. Dekan Fakultas Teknik


Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002 

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 September 2017

PERNYATAAN PENULIS

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR NO. 3187/H26/DT/2010 .

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



DHIKA ARIFIAN

NPM 1215021029

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Cirebon pada tanggal 09 Januari 1994, sebagai anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Dedi Suyatno dan Ibu Irma Mirawati. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Sukarame pada tahun 2006, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 5 Bandar Lampung pada tahun 2009 dan Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK 2 MEI Bandar Lampung pada tahun 2012. Semasa sekolah penulis memiliki pengalaman kerja praktek lampung di PT. AGIS Tbk Bandar Lampung.

Dan pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi internal kampus, yaitu sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Bidang Penelitian Dan Pengembangan 2013 – 2014, menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Kepala Bidang Penelitian Dan Pengembangan 2014 - 2015. Pada bidang akademik, pada tahun 2015 penulis melaksanakan kerja praktek di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI serpong. Dan pada tahun 2016 penulis melakukan penelitian pada bidang konsentrasi Produksi sebagai Tugas Akhir “Analisa Keausan Pahat Putar Pada Pembubutan Magnesium AZ31 Menggunakan Udara Dingin Bertekanan “ dibawah Bimbingan Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim S.T.,M.T. dan Ibu Ir. Arinal Hamni, M.T.

MOTTO

“Dan Allah Mengeluarkan kamu dari perut Ibumu dalam keadaan tidak mengetahui sesuatupun, dan dia memberi kamu pendengaran, penglihatan, dan hati, agar kamu bersyukur”

(QS. An Nahl: 78)

“Kau tak akan pernah mampu menyebrangi lautan sampai kau berani berpisah dengan daratan”

(Christopher Colombus)

“Cara terbaik meramalkan masa depan Anda adalah dengan menciptakan masa depan itu sendiri.”

(Abraham Lincoln)

“Bekerja lebih keras tidak lebih efektif dari bekerja lebih pintar”

(Peter F. Drucker)

*“Konsentrasikan pikiran Anda pada sesuatu yang Anda lakukan
Karena sinar matahari juga tidak dapat membakar sebelum difokuskan”*

(Alexander Graham Bell)

“Jangan takut gagal selagi masih muda karena masih ada waktu untuk sukses”

(Penulis)

PERSEMBAHKAN

*Dengan Kerendahan Hati meraih Ridho Illahi Robbi Kupersembahkan karya
Kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi*

Ibu dan ayahku

*Atas Segala pengorbanan yang tak terbalaskan, doa,
kesabaran, keikhlasan, cinta dan kasih sayangnya*

Adikku

Sumber inspirasi, semangat, keceriaan dan kebanggaan

Dosen Teknik Mesin

*Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran serta saran baik
secara akademis maupun non akademis*

Sahabat Mesin '12

*Yang selalu memberi semangat dan berdiri tegap disampingku saat suka
maupun duka, berbagi nasihat dan keceriaan*

Almamater Tercinta Teknik Mesin Universitas Lampung

Republik Indonesia

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirobbilalamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan mempersembahkan judul *“Analisa Keausan Pahat Putar Pada Pembubutan Magnesium AZ31 Menggunakan Udara Dingin Bertekanan”* dengan sebaik-baiknya.

Shalawat beriring salam selalu tercurah kepada junjungan Nabi besar kita Muhammad SAW, sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari ajal menjemput.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bimbingan, motivasi dan bantuan baik moral maupun materi oleh banyak pihak. Untuk itu dengan sepuh ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, yang telah membantu kelancaran selama penyelesaian tugas akhir penulis.
3. Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T.,M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir, terima kasih atas semua arahan, bimbingan, segala nasehat dan juga motivasinya terhadap penulis serta ilmu yang diberikan selama penyelesaian tugas akhir penulis.

4. Ibu Ir. Arinal Hamni, M.T. selaku dosen pembimbing pendamping tugas akhir, terima kasih atas semua saran-saran, bimbingan, dan juga atas segala kelancaran selama penyelesaian tugas akhir penulis.
5. Bapak Achmad Yahya TP, S.T.,M.T. selaku dosen pembahas tugas akhir, terima kasih atas semua saran-saran, perbaikan yang sangat membangun.
6. Bapak Harnowo Supriadi, S.T.,M.T selaku dosen kordinator Tugas Akhir yang selalu membantu dan memotivasi penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesinasat ilmu yang diberikan selama penulis melaksanakan studi, baik materi akademik maupun teladan dan motivasi untuk masa yang akan datang.
8. Mas Marta, Mas Dadang dan Mas Nanang yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin.
9. Mas Agus, A.Md dan Mas Joko, S.T. selaku asisten Lab Produksi dan SMI yang telah banyak membantu dalam proses penelitian.
10. Kedua orang tuaku tercinta Bapak Dedi Suyatno dan Ibu Irma Mirawati yang selalu memberikan kasih sayang, sabar menunggu dan mendoakan atas harapan akan kesuksesan penulis hingga dapat menyelesaikan studi S-1.
11. Kepada Adikku : Ivan Setiawan kasih atas dukungan, motivasi, pengertian, doa dan kasih sayangnya.
12. Kepada Nurfitri Handayani, A.Md yang selalu sabar dan selalu memberikan semangat pada penulis agar tidak bermalas-malasan dalam mngerjakan skripsi ini.

13. Rekan satu penelitian Tugas Akhir saya : Bagus Purnomo, Wafda Nadhira, dan Opi Sumardi yang selalu menemani dan saling membantu dalam melakukan penelitian.
14. Rekan-rekan Teknik Mesin 2012 semua yang tidak bisa disebut namanya satu persatu terima kasih atas partisipasinya dalam kelancaran skripsi ini. Semoga kebersamaan ini tetap terjaga hingga akhir hayat, “SOLIDARITY FOREVER”.
15. Dan seluruh rekan-rekan Teknik Mesin seluruh angkatan.
18. Dan kepada semua pihak yang tidak disebutkan yang telah membantu saya selama rentang hidup saya hingga saat ini.

Terimakasih penulis ucapkan atas bantuan yang diberikan sehingga terselesaikannya skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bandar Lampung, September 2017

Penulis

Dhika Arifian
NPM. 1215021029

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
HALAMAN JUDUL.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN PENULIS.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
MOTTO.....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
SANWACANA.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 . Latar Belakang.....	1
1.2 . Tujuan Penelitian.....	4
1.3 . Batasan Masalah.....	4
1.4 . Sistematika Penulisan.....	5

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 . Pemesinan.....	7
2.1.1 Mesin Bubut.....	9
2.1.2 Proses Bubut.....	10
2.1.3 Parameter Proses Bubut.....	11
2.1.4 Permesinan Kering Dan Cairan Pada Pemesinan.....	15
2.1.5 Permesinan Menggunakan <i>Vortex</i>	16
2.2 . Alat – Alat Potong Pada Mesin Bubut.....	18
2.2.1 Jenis Dan Tipe Pahat Bubut.....	18
2.2.2 Geometri Pahat Bubut.....	19
2.2.3 Material Pahat.....	21
2.2.3.1 HSS (<i>High Speed Steel</i>).....	23
2.2.3.2 Pahat Karbida.....	23
2.2.3.3 Pahat Karbida tungsten.....	24
2.2.4 Umur Pahat.....	25
2.2.5 Keausan Pahat.....	27
2.2.6 Pengaruh Cairan pendingin terhadap umur pahat.....	28
2.2.7 Permesinan Tinggi Dengan Pahat Putar.....	30
2.2.8 <i>Run Out</i> Pahat Putar.....	31

2.2.9	Suhu Pemotongan Dalam Proses Permesinan Dengan Pahat Putar.....	32
2.3	Magnesium Dan Paduannya.....	35
2.3.1	Sifat – sifat Magnesium.....	37
2.3.2	Permesinan Magnesium.....	39
2.3.3	Penyalaan Paduan Magnesium.....	40

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	. Waktu Dan Tempat.....	42
3.2	. Diagram Alir Penelitian.....	43
3.3	. Alat Dan Bahan.....	44
3.4	. Prosedur Penelitian.....	54

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	. Hasil	61
4.1.1	Nilai laju keausan pada kecepatan putar benda kerja 80 m/min dan 160 m/min.....	62
4.1.2	Nilai laju keausan pada gerak makan 0,1m/rev dan 0,2m/rev.....	69
4.1.3	Nilai laju keausan pada kecepatan potong pahat putar 25 m/min dan 75 m/min.....	76
4.2	. Progress Aus Pahat Putar.....	83
4.3	. Pengaruh Kondisi Variable Pemotongan.....	86
4.4	. Aus Muka Disekeliling Mata Pahat.....	87

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan.....	89
5.2. Saran.....	90

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Proses pemesinan.....	8
Gambar 2.2. Mesin bubut dengan bagian-bagian utamanya.....	9
Gambar 2.3. Proses bubut rata, bubut permukaan, dan bubut tirus.....	11
Gambar 2.4. Gambar skematis proses bubut.....	11
Gambar 2.5. Ilustrasi gambar <i>Ranque-Hilsch vortex tube</i>	17
Gambar 2.6. Pahat Bubut.....	18
Gambar 2.7. Pahat bubut menggunakan pegangan (tool holder).....	19
Gambar 2.8. Geometri pahat bubut HSS.....	19
Gambar 2.9. Geometri pahat bubut sisipan (insert).....	20
Gambar 2.10. Pahat bubut sisipan (insert).....	20
Gambar 2.11. Pahat sisipan yang dipasang pada pemegang pahat.....	21
Gambar 2.12. Bentuk aus sesuai standar.....	28
Gambar 2.13. Ilustrasi pemesinan bubut menggunakan pahat potong berputar.....	31
Gambar 2.14. Run Out Pahat.....	32
Gambar 2.15. Aliran panas selama proses pemesinan bubut dengan pahat berputar.....	33

Gambar 2.16. Magnesium dan rumus kimianya.....	35
Gambar 2.17. Penamaan paduan magnesium	36
Gambar 3.1. Diagram alir (<i>flow chart</i>) penelitian	43
Gambar 3.2. Material Magnesium AZ31.....	44
Gambar 3.3. Mesin bubut konvensional	45
Gambar 3.4. Sistem pahat putar modular	47
Gambar 3.5. Pahat <i>insert</i> RCMT Dan Tampak 2D <i>Insert</i> RCM.....	48
Gambar 3.6. Mikroskop USB	49
Gambar 3.7. <i>Vortex tube</i>	50
Gambar 3.8. Kompresor SWAN SD-205.....	51
Gambar 3.9. Termometer.....	52
Gambar 3.10. Stopwatch.....	53
Gambar 3.11. Jangka Sorong	53
Gambar 3.12. Pengukuran diameter awal Magnesium	54
Gambar 3.13. <i>Set-up</i> Pemesinan Magnesium	55
Gambar 3.14. Instalasi <i>Vortex Tube</i>	56
Gambar 3.15. Proses pemesinan bubut menggunakan pahat putar	57
Gambar 3.16. Cara melihat laju keausan menggunakan mikroskop usb..	59
Gambar 4.1. Grafik perbandingan kecepatan putar benda kerja 80 m/min dan 160 m/min pada gerak makan (f) 0,1 m/rev, kedalaman potong 0,3 mm dan kecepatan pahat putar 50 m/min.....	64

Gambar 4.2. Grafik perbandingan kecepatan putar benda kerja 80 m/min dan 160 m/min pada gerak makan (f) 0,15 m/rev, kedalaman potong 0,3 mm dan kecepatan pahat putar 25 m/min.....	65
Gambar 4.3. Grafik perbandingan kecepatan putar benda kerja 80 m/min dan 160 m/min pada gerak makan (f) 0,15 m/rev, kedalaman potong 0,3 mm dan kecepatan pahat putar 75 m/min.....	66
Gambar 4.4. Grafik perbandingan kecepatan putar benda kerja 80 m/min dan 160 m/min pada gerak makan (f) 0,2 m/rev, kedalaman potong 0,3 mm dan kecepatan pahat putar 50 m/min.....	67
Gambar 4.5. Grafik perbandingan gerak makan 0,1 m/rev dan 0,2 m/rev pada kecepatan putar benda kerja 80 m/min, kedalaman potong 0,3 mm dan kecepatan pahat putar 50 m/min.....	71
Gambar 4.6. Grafik perbandingan gerak makan 0,1 m/rev dan 0,2 m/rev pada kecepatan putar benda kerja 120 m/min, kedalaman potong 0,3 mm dan kecepatan pahat putar 25 m/min.....	72

Gambar 4.7. Grafik perbandingan gerak makan 0,1 m/rev dan 0,2 m/rev pada kecepatan putar benda kerja 120 m/min, kedalaman potong 0,3 mm dan kecepatan pahat putar 75 m/min.....	73
Gambar 4.8. Grafik perbandingan gerak makan 0,1 m/rev dan 0,2 m/rev pada kecepatan putar benda kerja 160 m/min, kedalaman potong 0,3 mm dan kecepatan pahat putar 50 m/min.....	74
Gambar 4.9. Grafik perbandingan kecepatan potong pahat putar 25 m/min dan 75 m/min pada kecepatan putaran benda kerja (V_w) 80 m/min, gerak makan (f) 0,15 m/rev dan kedalaman potong (d) 0,3 mm.....	78
Gambar 4.10. Grafik perbandingan kecepatan potong pahat putar 25 m/min dan 75 m/min pada kecepatan putaran benda kerja (V_w) 120 m/min, gerak makan (f) 0,1 m/rev dan kedalaman potong (d) 0,3 mm.....	79
Gambar 4.11. Grafik perbandingan kecepatan potong pahat putar 25 m/min dan 75 m/min pada kecepatan putaran benda kerja (V_w) 120 m/min, gerak makan (f) 0,2 m/rev dan kedalaman potong (d) 0,3 mm.....	80

Gambar 4.12. Grafik perbandingan kecepatan potong pahat putar 25 m/min dan 75 m/min pada kecepatan putaran benda kerja (V_w) 160 m/min, gerak makan (f) 0,15 m/rev dan kedalaman potong (d) 0,3 mm.....	81
Gambar 4.13. Bagian Pahat Putar.....	83
Gambar 4.14. Progress Aus Tertinggi.....	84
Gambar 4.15. Progress Aus Terendah.....	85
Gambar 4.16. Aus Muka Disekeliling Pahat Putar.....	87

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1. Contoh batas keausan kritis.....	25
Tabel 2.2. Komposisi magnesium pada paduan magnesium	36
Tabel 2.3. Sifat Fisik Magnesium.....	38
Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian	42
Tabel 3.2 Karakteristik fisik dan thermal paduan magnesium	44
Tabel 3.3 Spesifikasi Mesin bubut Konvensional.....	46
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Rotary Tool</i>	47
Tabel 3.5 Tabel spesifikasi pahat	48
Tabel 3.6 Spesifikasi Kamera Mikroskop USB	49
Tabel 3.7 Spesifikasi Kompresor	52
Tabel 3.8 Spesifikasi termometer	52
Tabel 3.9 Spesifikasi Jangka Sorong.....	53
Tabel 3.10 Parameter pemotongan	57
Tabel 3.11 Design penelitian dan jumlah sampel tipe box behnken	58
Tabel 3.12 Data pengujian	60

Tabel 4.1	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan gerak makan 0,1 m/rev, kedalaman potong 0,3 mm, dan kecepatan potong pahat putar 50 m/min.....	62
Tabel 4.2	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan gerak makan 0,15 m/rev, kedalaman potong 0,3 mm, dan kecepatan potong pahat putar 25 m/min.....	62
Tabel 4.3	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan gerak makan 0,15 m/rev, kedalaman potong 0,3 mm, dan kecepatan potong pahat putar 75 m/min.....	63
Tabel 4.4	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan gerak makan 0,2 m/rev, kedalaman potong 0,3 mm, dan kecepatan potong pahat putar 50 m/min.....	63
Tabel 4.5	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan kecepatan putaran benda kerja 80 m/min, kedalaman potong 0,3 mm, dan kecepatan potong pahat putar 50 m/min.....	69
Tabel 4.6	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan kecepatan putaran benda kerja 120 m/min, kedalaman potong 0,3 mm, dan kecepatan potong pahat putar 25 m/min.....	69
Tabel 4.7	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan kecepatan putaran benda kerja 120 m/min, kedalaman potong 0,3 mm, dan kecepatan potong pahat putar 75 m/min.....	70

Tabel 4.8	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan kecepatan putaran benda kerja 160 m/min, kedalaman potong 0,3 mm, dan kecepatan potong pahat putar 50 m/min.....	70
Tabel 4.9	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan kecepatan putaran benda kerja 80 m/min, gerak makan 0,15 m/rev dan kedalaman potong 0,3 mm.....	76
Tabel 4.10	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan kecepatan putaran benda kerja 120 m/min, gerak makan 0,1 m/rev dan kedalaman potong 0,3 mm.....	76
Tabel 4.11	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan kecepatan putaran benda kerja 120 m/min, gerak makan 0,2 m/rev dan kedalaman potong 0,3 mm.....	77
Tabel 4.12	Data hasil pengukuran nilai keausan dengan kecepatan putaran benda kerja 120 m/min, gerak makan 0,15 m/rev dan kedalaman potong 0,3 mm.....	77

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan material paduan logam, penggunaannya semakin hari semakin meningkat tajam. Hal ini dikarenakan perkembangan industri logam semakin cepat terutama di bidang manufaktur. Salah satu material yang banyak digunakan dibidang industri manufaktur yaitu paduan magnesium. Material magnesium dijadikan sebagai bahan alternatif pengganti besi dan baja karena magnesium memiliki sifat yang menguntungkan antaranya ringan, tahan karat dan penghantar panas yang baik. Di samping itu magnesium dan paduannya memiliki rasio berat terhadap ringan yang bagus (Padmanaban, 2011; Ibrahim, 2014).

Aplikasi paduan magnesium di bidang manufaktur di antaranya adalah penggunaan di bidang otomotif, elektronik dan biomedik. Di bidang otomotif, magnesium biasanya digunakan pada mesin yang terletak di bagian depan kendaraan karena memiliki sifat yang ringan sehingga mengurangi berat mesin. Hal ini dapat meningkatkan performa dan kesetimbangan berat. (Mahrudi, 2013). Penggunaan magnesium lainnya adalah pada produk elektronik seperti laptop, notebook, kamera dll.

Magnesium digunakan sebagai pengganti bahan – bahan komponen seperti aluminium dan titanium yang saat ini memiliki harga yang relatif mahal. Sehingga penggunaan magnesium tersebut dapat mengurangi biaya bahan baku komponen pada produksi alat – alat elektronik (Harun, 2009). Bahkan dewasa ini perkembangan penggunaan paduan magnesium di fokuskan pada bidang material biomedik. Karena sifatnya yang mirip dengan tulang dan tidak berbahaya di dalam tubuh dan material ini bisa luluh dalam tubuh maka paduan magnesium dikembangkan sebagai material pengganti tulang (Seal dkk, 2009 ; wan dkk, 2016).

Namun peningkatan produktifitas melalui peningkatan kecepatan potong dan kecepatan makan terkendala oleh sifat ketermesinan (*machineability*) magnesium yang memiliki titik nyala yang rendah yaitu pengapian pada geram (400-600°C) (Mahrudi, 2013 ; Ibrahim ddk, 2014). Dengan menaikinya kecepatan potong dan kecepatan pemakanan, maka akan semakin meningkatnya suhu pemotongannya (Harun, 2012).

Suhu pemotongan yang tinggi dianggap merugikan karena dapat menyebabkan pahat menjadi cepat aus, sehingga efisiensi proses pemesinan menurun, hasil permukaan benda kerja dan meningkatnya biaya produksi. Salah satu metode untuk menurunkan suhu pemotongan serta untuk meningkatkan produktivitas pemesinan yang telah dicoba adalah dengan menggunakan pahat potong berputar (*Rotary Cutting Tool*) pada proses pemesinan bubut (Harun et al., 2009).

Pengamatan suhu magnesium pada mesin bubut dilaksanakan oleh Tonshoff (2011), dalam penelitian magnesium dengan parameter $V_c = 2100$ m/min, $f = 0.01-0.5$ mm serta $d = 0.2$ mm, Tonshoff mengutarakan bahwa semakin kecil gerak makan yang diberikan maka suhu geram akan mendekati titik penyalan. Penelitian lainnya dilakukan oleh Baron (2015) dalam penelitiannya tentang kajian suhu pemotongan magnesium menggunakan pahat potong berputar, mendapatkan nilai maksimum sebesar $176,235^{\circ}\text{C}$ dan suhu minimum yang didapatkan sebesar $83,5882^{\circ}\text{C}$. Baron juga menyatakan Suhu pemotongan menggunakan pahat potong berputar pada material magnesium mengalami penurunan suhu dibandingkan dengan menggunakan pahat diam sebesar kurang lebih 45 %.

Dalam penelitian Ibrahim dkk, (2013) yang bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja *vortex tube cooler* pada pembubutan baja ST41 menggunakan pahat HSS, di dapat umur pahat tertinggi diperoleh pada suhu udara $14,67^{\circ}\text{C}$ dengan kecepatan potong $88,39$ m/min yaitu selama 6,29 menit sedangkan umur pahat terendah diperoleh pada saat pemotongan tanpa menggunakan pendingin dengan kecepatan potong $88,39$ m/mm yaitu selama 2,86 menit. Ibrahim dkk menyatakan bahwa menggunakan media pendingin *vortex tube* dapat meningkatkan umur pahat HSS hingga mencapai 52,76%.

Hasil penelitian yang telah diuraikan diatas menyimpulkan bahwa suhu pemotongan yang tinggi dapat membuat pahat menjadi cepat aus. Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan analisa keausan pahat putar menggunakan udara dingin bertekanan, metode ini diharapkan akan mampu menurunkan

suhu pemotongan dan memperpanjang umur pahat serta mampu meningkatkan produktivitas pemesinan magnesium.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan nilai aus pahat potong dari pemesinan magnesium menggunakan metode pahat putar dan udara dingin bertekanan.
2. Mengidentifikasi jenis aus pahat yang berlaku pada pemesinan magnesium AZ31.
3. Mengimplimentasikan metode pahat putar dan udara dingin untuk meminimumkan keausan pahat potong.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diberikan agar pembahasan dari hasil yang didapat lebih terarah. Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini yaitu :

1. Pahat yang digunakan yaitu *insert* jenis RCMT *Cemented Carbide* atau *Coating Carbide* dengan diameter 16 mm.
2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin bubut konvensional merk PINACHO type S-90/200.
3. Proses pemesinan dilakukan menggunakan udara dingin melalui alat *air cooling* tipe *vortex tube cooler*.
4. Bahan yang digunakan adalah magnesium AZ31.

5. Pengamatan keausan pahat setelah proses pembubutan dengan menggunakan mikroskop USB.

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika penulisan yang terdapat pada laporan penelitian ini terdiri dari:

Bab I. Pendahuluan yang menjelaskan secara garis besar kajian keausan pahat potong, latar belakang, tujuan melakukan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II. Tinjauan Pustaka yang berisikan teori mengenai hal-hal yang dijadikan sebagai landasan teori untuk mendukung penelitian ini.

Bab III. Metodologi Penelitian yang menerangkan tentang hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan, dan prosedur pengujian.

Bab IV. Data Dan Pembahasan yang berisikan hasil nilai aus pahat potong dari pemesian magnesium, jenis aus pahat potong dan pembahasan dari nilai serta jenis aus yang diperoleh saat pengujian dilaksanakan.

Bab V. Penutup dimana pada bab ini berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

Daftar Pustaka yang berisikan referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.

LAMPIRAN

Berisikan perlengkapan laporan penelitian.

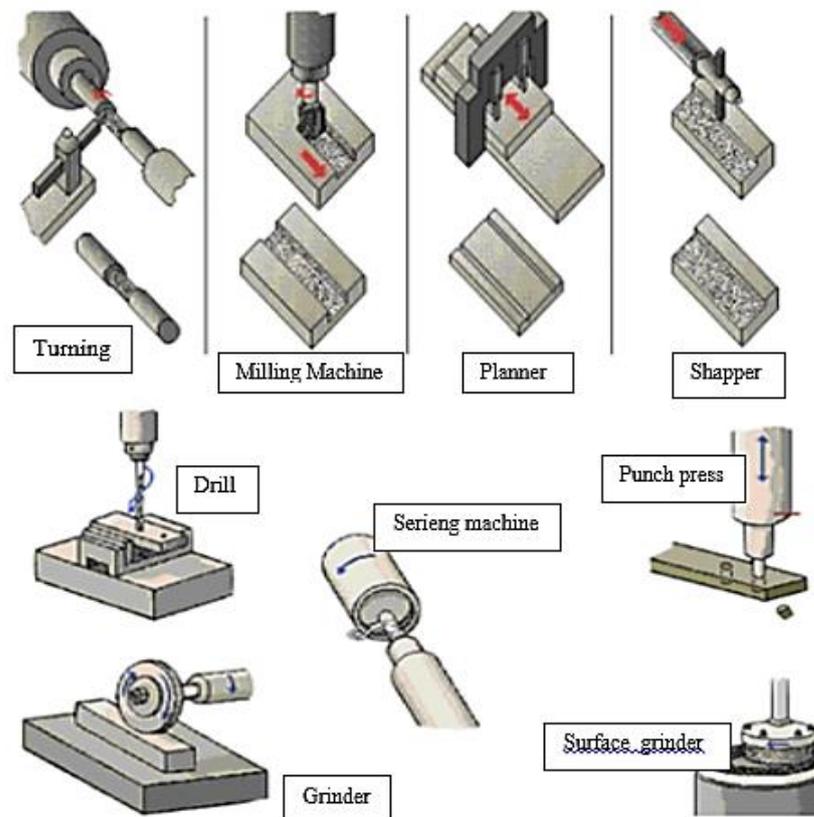
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemesinan

Pemesinan adalah suatu proses produksi dengan menggunakan mesin perkakas dengan memanfaatkan gerakan relatif antara pahat dengan benda kerja sehingga menghasilkan suatu produk sesuai dengan hasil geometri yang diinginkan. Pada proses ini tentu terdapat sisa dari pengerjaan produk yang biasa disebut geram (Widarto,2008).

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*) (Widarto, 2008).



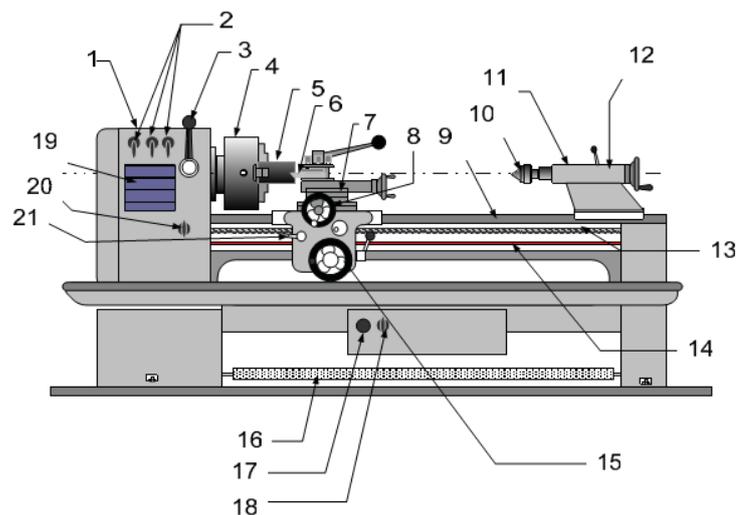
Gambar 2.1 Beberapa proses pemesinan : Bubut (*Turning/Lathe*), Frais (*Milling*), Sekrap (*Planning, Shaping*), Gurdi (*Drilling*), Gerinda (*Grinding*), Bor (*Boring*), Pelubang (*Punching Press*), Gerinda Permukaan (*Surface Grinding*).

(Sumber : Widarto, 2008)

Manufaktur dengan pemisahan beberapa bagian bahan dikenal sebagai pemesinan. Material dalam bentuk chip dipisahkan dari bahan benda kerja secara mekanik, menggunakan satu (bubut), dua (milling), atau beberapa (pengikisan) mata potong. Jumlah pemotongan tepi, bentuk lekuk mata potong, dan posisi pemakanan untuk benda kerja diketahui pada Gambar 2.1

2.1.1 Mesin Bubut

Mesin bubut adalah salah satu mesin perkakas yang paling banyak digunakan dibengkel-bengkel karena memiliki fungsi yang bervariasi dalam pengerjaan berbagai bentuk benda kerja, seperti membentuk benda bulat, membentuk bidang datar, mengebor, mengulir, membentuk tirus, memotong mengartel, serta membentuk benda-benda bersegi. Setiap mesin memiliki prosedur pengoperasian yang berbeda-beda walaupun bagian-bagian utama dari mesin di hampir semua merek mesin bubut memiliki bagian yang sama, setiap pabrik pembuat mesin berusaha memberikan kemudahan dalam pengoperasian dari mesin yang dibuatnya, sistem palayanan dan pengendalian proses kerja mesin ditempatkan sedapat mungkin ditempat yang mudah dijangkau. Perhatikan salah satu konstruksi dan bagianbagian utama dari mesin bubut pada gambar 2.2 berikut (Sudjana,2008)



Gambar 2.2 Mesin bubut dengan bagian-bagian utamanya

(Sumber : Sudjana,2008)

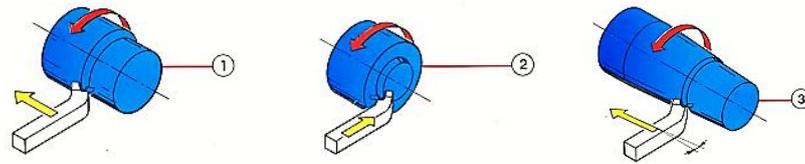
Keterangan :

No	Nama bagian	No	Nama bagian
1	Head stock	11	Tail stock
2	Knob pengatur kecepatan putaran	12	Pengunci barel
3	Handle pengatur putaran	13	Lead screw
4	Chuck	14	Feeding shaft
5	Benda kerja	15	Roda pemutar
6	Pahat (tool)	16	Rem mesin
7	Tool post dan eretan atas	17	Main swich
8	Eretan lintang	18	Coolant motor switch
9	Bed Mesin	19	Tabel Mesin
10	Senter jalan	20	Pengatur arah feeding Shaft
		21	Handle lead screw.

2.1.2 Proses Bubut

Proses bubut adalah proses pemesinan untuk menghasilkan bagianbagian mesin berbentuk silindris yang dikerjakan dengan menggunakan Mesin Bubut. Prinsip dasarnya dapat didefinisikan sebagai proses pemesinan permukaan luar benda silindris atau bubut rata :

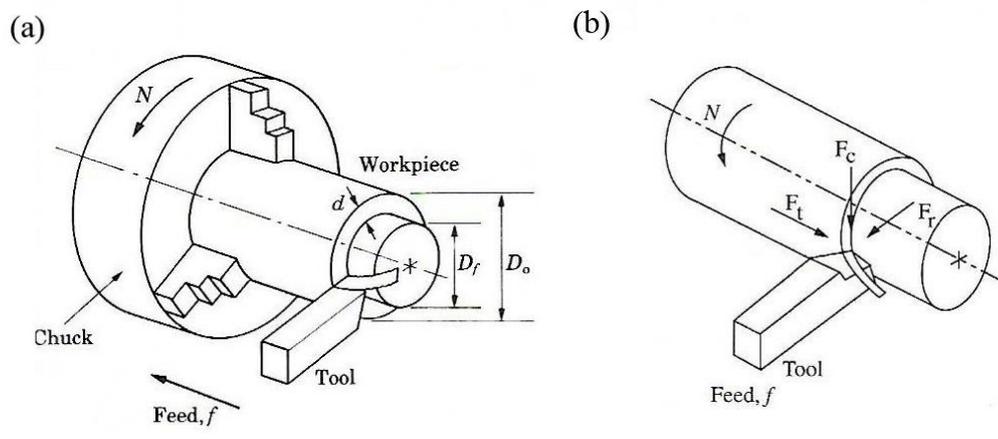
- a. Dengan benda kerja yang berputar
- b. Dengan satu pahat bermata potong tunggal (*with a single-point cutting tool*)
- c. Dengan gerakan pahat sejajar terhadap sumbu benda kerja pada jarak tertentu sehingga akan membuang permukaan luar benda kerja (lihat Gambar 2.3 no. 1)



Gambar 2.3 (1) Proses bubut rata, (2) bubut permukaan, dan (3) bubut tirus. (Sumber : Widarto, 2008)

2.1.3 Parameter Proses Bubut

Ada beberapa parameter utama yang perlu diperhatikan pada proses pemesinan, terutama pada proses bubut. Dengan menggunakan persamaan berikut kita dapat menentukan beberapa parameter utama dan Gambar 2.4 menunjukkan skema proses bubut.



Gambar 2.4 Gambar skematis proses bubut
(Sumber: Kalpakjian, 1995)

Keterangan :

- Benda kerja :

d_o = diameter mula (mm)

d_f = diameter akhir (mm)

l_t = panjang pemotongan (mm)

- Mesin bubut :

d = kedalaman potong (mm)

f = gerak makan (mm/putaran)

n = putaran poros utama (putaran/menit)

a. Kecepatan potong

Kecepatan potong untuk proses bubut dapat didefinisikan sebagai kerja rata-rata pada sebuah titik lingkaran pada pahat potong dalam satu menit. Kecepatan putar (*speed*), selalu dihubungkan dengan sumbu utama (*spindle*) dan benda kerja. Secara sederhana kecepatan potong diasumsikan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar. Kecepatan potong biasanya dinyatakan dalam unit satuan m/menit (Widarto, 2008). Kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda dan putaran poros utama.

$$Vc = \frac{\pi dn}{1000} ; \text{m/menit} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

b. Kecepatan makan

Gerak makan, f (*feeding*) adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali sehingga satuan f adalah mm/rev. Gerak makan pula ditentukan oleh kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan yang diinginkan. Sehingga kecepatan makan didefinisikan sebagai jarak dari pergerakan pahat potong sepanjang jarak kerja untuk setiap putaran dari spindel (Widarto, 2008).

$$v_f = f.n \quad ; \text{ mm/menit} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

c. Waktu pemotongan

Waktu pemotongan adalah waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk (Rochim, 1993). Rumus waktu pemotongan adalah :

$$t_c = \frac{lt}{vf} \quad ; \text{ menit} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

d. Kedalaman potong

Kedalaman potong didefinisikan sebagai kedalaman geram yang diambil oleh pahat potong. Dalam pembubutan kasar, kedalaman potong maksimum tergantung pada kondisi dari mesin, tipe pahat potong yang digunakan, dan ketemesinan dari benda kerja (Rochim,1993). Rumus kedalaman potong adalah:

$$a = \frac{do}{dm} \quad ; \text{ mm} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

e. Kecepatan penghasilan geram

Setiap proses pembubutan pasti menghasilkan geram (*chip*). Geram adalah potongan dari material yang terlepas dari benda kerja oleh pahat potong.

Bentuk geram yang baik adalah geram yang kontinyu.

$$Z = A.V_c ; \text{cm}^3/\text{menit} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$A = a.f \text{ (mm)}$$

$$\text{maka } Z = f . a . V_c ; \text{cm}^3/\text{min}$$

Sudut potong utama (K_r , *Principal cutting edge angle*) merupakan sudut antara mata potong mayor (proyeksinya pada bidang referensi) dengan kecepatan makan V_f . Besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pahat pada mesin perkakas (orientasi pemasangannya). Untuk harga a dan f yang tetap maka sudut ini menentukan besarnya lebar pemotongan (b , *width of cut*) dan tebal geram sebelum terpotong (h , *undeformed chip thickness*) sebagai berikut :

a. Lebar pemotongan: $b = a / \sin K_r ; \text{mm}$

b. Tebal geram sebelum terpotong: $h = f \sin K_r ; \text{mm}$

Dengan demikian, penampang geram sebelum terpotong dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = f.a = b.h ; \text{mm}^2 \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Tebal geram sebelum terpotong (h) belum tentu sama dengan tebal geram setelah terpotong (h_c , *chip thickness*) dan hal ini antara lain dipengaruhi oleh sudut geram (γ_0), kecepatan potong dan material benda kerja.

2.1.4 Pemesinan Kering Dan Cairan Pada Pemesinan

Pemesinan kering (*Dry Machining*) adalah proses pemesinan yang tidak menggunakan fluida pendingin dalam proses pemotongannya. Berdasarkan ulasan dari beberapa pihak, minat dalam pengurangan atau menghilangkan penggunaan cairan pendingin dalam pemesinan semakin meningkat (Sreejith dan Ngoi, 2000). Meskipun dengan menggunakan cairan pendingin dapat menurunkan suhu pemotongan dan melumasi bagian-bagian pemesinan sehingga diharapkan permukaan pemesinan memiliki suatu keutuhan permukaan (*surface integrity*) yang baik. Namun pada pemesinan yang menggunakan cairan pendingin atau pelumas pada proses pengerjaannya dapat memberikan dampak kurang baik terhadap operator maupun lingkungan. Ada dua hal mengapa minat akan penggunaan pemesinan kering meningkat (Burhanudin.dkk, 2012):

- a. Mengurangi atau menghilangkan terbukanya operator terhadap resiko-resiko kesehatan yang mungkin akan terjadi seperti keracunan, iritasi kulit, gangguan pernafasan dan infeksi mikroba.
- b. Mengurangi biaya pemesinan. Sebuah kajian yang dilakukan sebuah perusahaan otomotif menunjukkan bahwa cairan pendingin memberikan kontribusi 16% dari biaya komponen yang dimesin.

Alasannya karena cairan pemotongan bekas ini biasanya hanya dimasukkan ke dalam kontainer dan di timbun di bawah tanah. Selain itu, masih banyak praktek yang membuang cairan pemotongan bekas langsung ke alam bebas. Hal ini tentu berdampak merusak terhadap lingkungan sekitar (Mahayatra, 2013).

2.1.5 Pemesinan Menggunakan *Vortex Tube*

Peningkatan efektifitas penggunaan udara sebagai pendingin secara teoritis dapat dilakukan dengan menurunkan temperatur udara yang digunakan sebagai media pendingin. Penurunan temperatur udara akan meningkatkan delta temperatur antara temperatur pahat/geram dengan media pendingin. Sehingga penggunaan udara bertemperatur rendah akan mampu meningkatkan efektifitas proses pendinginan. Cara paling efektif untuk menghasilkan udara-dingin adalah dengan menggunakan *vortex tube* (tabung vortek) (Paryanto, 2011).

Udara-dingin yang diperoleh dengan menggunakan prinsip dari Ranque Hilsch *vortex tube*, metode ini dikembangkan pada tahun 1930an oleh Georges J. Ranque dan kemudian yang disempurnakan oleh Rudolf Hilsch. Dengan menggunakan prinsip kerja tabung vortek, akan dihasilkan dua keluaran udara yang berbeda temperatur, satu bertemperatur tinggi dan satu lagi bertemperatur rendah. Tabung vortek merupakan alat yang sangat sederhana dan tidak ada komponen yang bergerak. Sampai sekarang tidak ada penjelasan yang pasti tentang prinsip kerja alat ini. Alat ini hanya memanipulasi kecepatan dan arah aliran untuk menghasilkan keluaran udara panas dan dingin (Boswell & Chandratilleke, 2009).

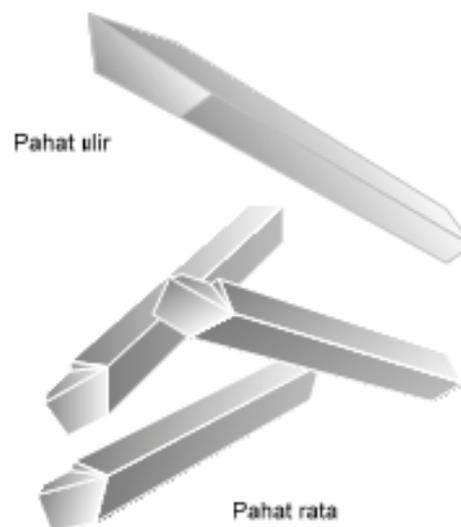
Gambaran secara umum alat ini adalah sebagai berikut: udara bertekanan masuk kedalam *vortex chamber* melewati nosel secara tangensial, sehingga terjadi pusaran udara didalam *vortex chamber*. Udara tersebut kemudian dipaksa untuk berputar dengan kecepatan yang tinggi disepanjang dinding

2.2 Alat – Alat Potong Pada Mesin Bubut

Salah satu alat potong utama yang digunakan pada mesin bubut yakni pahat bubut, karena sebagaimana fungsi mesin bubut dalam pembentukan benda kerja tersebut sangat kompleks dan bervariasi, tentu saja untuk melakukan fungsi-fungsi tersebut diperlukan alat potong yang bervariasi pula, namun pahat bubut ini merupakan alat potong utama dalam pekerjaan bubut (Sudjana,2008)

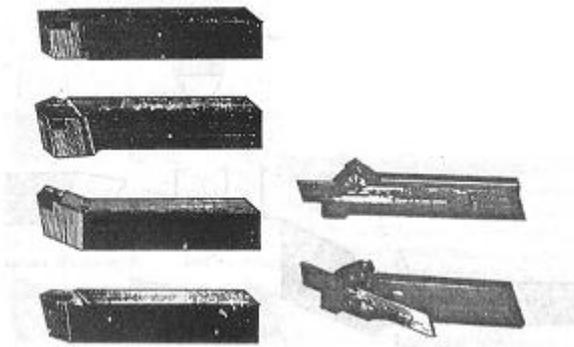
2.2.1 Jenis dan tipe pahat bubut

Secara umum tipe pahat bubut dapat dibedakan menjadi dua tipe yakni : *Solid tool*, dan *Tool bits*. *Solid tool* ialah pahat bubut yang berukuran besar dibuat dari baja perkakas paduan (*alloy tool steel*) atau *High Speed Steel* (HSS). Seperti pada gambar 2.6.1 Pahat dari jenis ini digunakan dalam pekerjaan penyayatan bahan-bahan lunak (seperti baja lunak /*Mild Steel*).



Gambar 2.6 Pahat bubut (Sudjana, 2008)

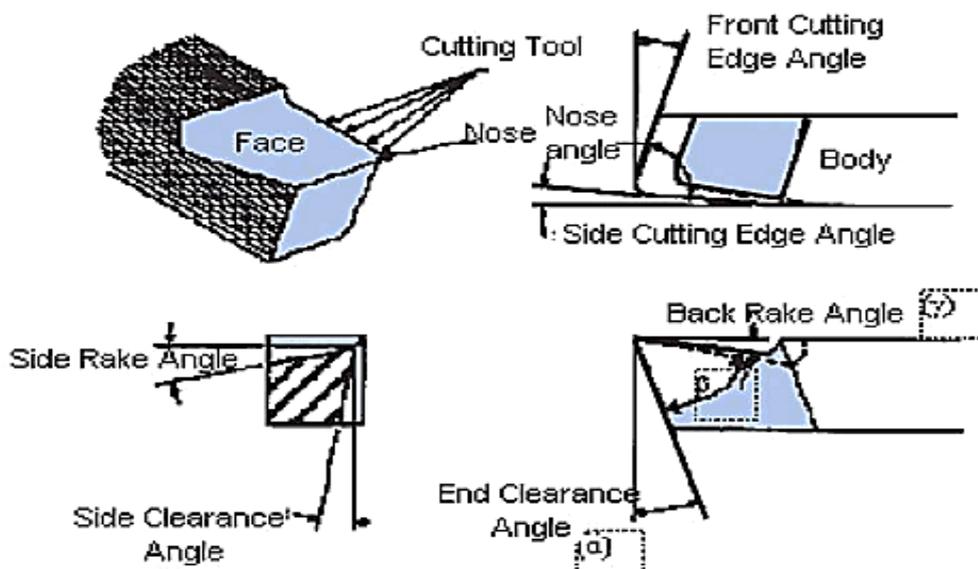
Tool bit ialah pahat yang hanya terdiri atas mata potongnya dan harus menggunakan *tool holder*, dengan spesifikasi khusus sesuai dengan bentuk *tool bit* itu sendiri, atau di *brazing* pada tangkainya (lihat gambar 2.7)



Gambar 2.7 Pahat bubut menggunakan pegangan (*tool holder*) (a) *Tool bit* (b) Pahat potong (Sudjana, 2008)

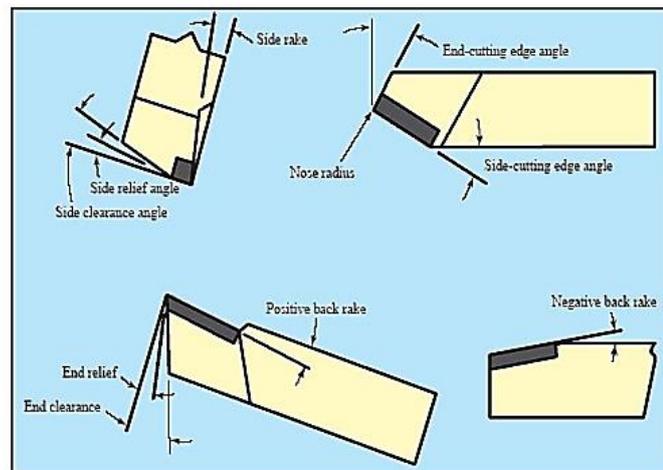
2.2.2 Geometri pahat bubut

Geometri/bentuk pahat bubut terutama tergantung pada material benda kerja dan material pahat. Terminologi standar ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Geometri pahat bubut HSS (pahat diasah dengan mesin gerinda pahat) (Widarto, 2008)

Untuk pahat bubut bermata potong tunggal, sudut pahat yang paling pokok adalah sudut beram (*rake angle*), sudut bebas (*clearance angle*), dan sudut sisi potong (*cutting edge angle*). Sudut-sudut pahat HSS dibentuk dengan cara diasah menggunakan mesin gerinda pahat (*Tool Grinder Machine*) sedangkan bila pahat tersebut adalah pahat sisipan (*insert*) yang dipasang pada tempat pahatnya.



Gambar 2.9 Geometri pahat bubut sisipan (*insert*) (Widarto, 2008)

Untuk pahat yang berbentuk sisipan (*inserts*) (lihat Gambar 2.10, pahat tersebut dipasang pada tempat pahat yang sesuai, (lihat Gambar 2.11).



Gambar 2.10 Pahat bubut sisipan (*insert*) (Sumber : Anonim, 2016)



Gambar 2.11 Pahat sisipan yang dipasang pada pemegang pahat (*tool holders*)

(Sumber : Anonim, 2016)

2.2.3 Material Pahat

Pemilihan material yang benar akan memperpanjang umur pahat dan menentukan hasil suatu proses (Rochim, 1993). Pahat yang baik harus memiliki sifat-sifat tertentu, sehingga nantinya dapat menghasilkan produk yang berkualitas baik (ukuran tepat) dan ekonomis (waktu yang diperlukan pendek). Kekerasan dan kekuatan pahat harus tetap bertahan meskipun pada temperatur tinggi, sifat ini dinamakan hot hardness. Ketangguhan (*toughness*) dari pahat diperlukan, sehingga pahat tidak akan pecah atau retak terutama pada saat melakukan pemotongan dengan beban kejut. Ketahanan aus sangat dibutuhkan yaitu ketahanan pahat melakukan pemotongan tanpa terjadi keausan yang cepat. (Widarto, 2008)

Proses pembentukan geram dengan cara pemesinan berlangsung dengan mempertemukan dua jenis material. Untuk menjamin kelangsungan proses ini

maka jelas diperlukan material pahat yang lebih unggul daripada material benda kerja. Keunggulan tersebut dilihat dari segi (Rochim, 1993):

- a. Kekerasan: Melebihi kekerasan benda kerja tidak saja pada temperatur ruang melainkan juga pada temperatur tinggi saat proses pembentukan geram berlangsung.
- b. Keuletan: Cukup untuk menahan beban kejut yang terjadi sewaktu pemesinan dengan interupsi maupun sewaktu memotong benda kerja yang mengandung pertikel / bagian yang keras.
- c. Ketahanan beban kejut termal: Keunggulan yang dibutuhkan jika terjadi perubahan temperatur yang cukup besar secara berkala.
- d. Sifat adhesi yang rendah: Sifat ini mengurangi afinitas benda kerja terhadap pahat, mengurangi laju keausan, serta penurunan gaya pemotongan.
- e. Daya larut elemen / komponen material pahat yang rendah: Kemampuan yang dibutuhkan demi memperkecil keausan akibat mekanisme difusi.

Kekerasan yang rendah dan daya adhesi yang tinggi tidak diinginkan sebab mata potong akan terdeformasi, terjadi keausan *flank* dan *crater* yang besar. Keuletan yang rendah serta ketahanan beban kejut termal yang kecil mengakibatkan rusaknya mata potong maupun retak mikro yang menimbulkan kerusakan fatal. Berikut merupakan urutan material pahat dari yang paling lunak tetapi ulet sampai paling keras tetapi getas (Rochim, 1993):

- a. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel; Carbon Tool Steels*)
- b. HSS (*High Speed Steels; Tool Steels*)

- c. Paduan Cor Nonferro (*Cast Nonferrous Alloys; Cast Carbides*)
- d. Karbida (*Cemented Carbides; Hardmetals*)
- e. Keramik (*Ceramics*)
- f. CBN (*Cubic Boron Nitrides*)
- g. Intan (*Sintered Diamonds dan Natural Diamond*)

2.2.3.1 HSS (*High Speed Steel*)

Pada tahun 1898 ditemukan jenis baja paduan tinggi dengan unsur paduan Krom (Cr) dan Tungsten / Wolfram (W). Mulai proses penuangan (*Molten Metallurgy*) kemudian diikuti pengerolan atau penempaan baja ini dibentuk menjadi batang, atau silinder. Setelah proses perlakuan panas dilaksanakan, kekerasannya akan cukup tinggi sehingga dapat digunakan pada kecepatan potong yang tinggi (sampai 3 kali kecepatan potong untuk pahat CTS yang dikenal pada saat itu sekitar 10 m/min, sehingga dinamakan dengan Baja kecepatan tinggi, HSS). Pahat ini apabila mengalami aus dapat diasah sehingga tajam kembali. Jenis pahat ini mempunyai *Resistance* dan *Abrasive resistance* yang tinggi.

2.2.3.2 Pahat Karbida

Cemented carbide atau karbida yang disemen merupakan material pahat yang dibuat melalui sintering serbuk karbida yang terdiri dari nitrida dan oksida dengan bahan pengikat berupa Cobalt (Co). Melalui *carburizing* masing-masing serbuk Tungsten, Titanium, Tantalum dibuat menjadi Karbida yang kemudian digiling dan disaring. Salah satu atau campuran

sebuk Karbida tersebut kemudian dicampur dengan bahan pengikat Co dan dicetak dengan memakai bahan pelumas.

Setelah itu dilakukan presintering (1000°C pemanasan mula untuk menguapkan bahan pelumas) dan kemudian sintering (1600°C) sehingga bentuk sisipan hasil proses cetak tekan akan menyusut menjadi sekitar 80% dari volume semula. Semakin besar prosentase pengikat Co maka kekerasannya menurun dan sebaliknya keuletannya membaik. Tiga jenis utama pahat karbida sisipan, yaitu: (Rochim, 1993)

- a. Karbida Tungsten ($\text{WC} + \text{Co}$) merupakan jenis pahat karbida untuk memotong besi tuang.
- b. Karbida Tungsten Paduan ($\text{WC} - \text{TiC} + \text{Co}$; $\text{WC} - \text{TaC} - \text{TiC} + \text{Co}$; $\text{WC} - \text{TaC} + \text{Co}$; $\text{WC} - \text{TiC} - \text{TiN} + \text{Co}$; $\text{TiC} + \text{Ni, Mo}$) merupakan jenis pahat karbida yang digunakan untuk pemotongan baja.
- c. Karbida lapis (*Coated Cemented Carbides*) merupakan jenis pahat Karbida Tungsten yang dilapis karbida, nitrida, atau oksida lain yang lebih rapuh tetapi *hot hardnessnya* tinggi.

2.2.3.3 Pahat Karbida tungsten

Karbida tungsten murni merupakan jenis yang paling sederhana dimana hanya terdiri atas dua elemen yaitu karbida Tungsten (WC) dan pengikat Cobalt (Co). Jenis yang cocok untuk pemesinan dimana mekanisme keausan pahat terutama disebabkan oleh proses abrasi seperti pada pemesinan berbagai jenis besi tuang. Apabila digunakan pada benda kerja baja akan terjadi keausan kawah yang berlebihan (Rochim, 1993).

2.2.4 Umur Pahat

Umur pahat dapat didefinisikan sebagai lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai batas keausan yang ditetapkan. Keausan pahat akan menimbulkan efek samping diantaranya yaitu : (Rochim, 1993)

- a. Adanya kenaikan gaya potong,
- b. Terjadinya getaran/*chatter*,
- c. Penurunan kehalusan permukaan hasil pemesinan
- d. Perubahan dimensi/geometri produk.

Untuk menghindari hal tersebut ditetapkan suatu batas harga keausan yang dianggap sebagai batas kritis dimana pahat tidak boleh digunakan. Sebagai contoh, berdasarkan pengalaman batas keausan yang diijinkan bagi suatu jenis pahat yang digunakan untuk memotong suatu jenis benda kerja adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Contoh batas keausan kritis (Rochim, 1993)

Pahat	Benda Kerja	VB (mm)	K
HSS	Baja & Besi tuang	0.3 - 0.8	-
Karbida	Baja	0.2 – 0.6	0.3
Karbida	Besi tuang & non Ferrous	0.4 – 0.6	0.3
Keramik	Baja & Besi tuang	0.3	-

Dengan menentukan kriteria saat habisnya umur pahat, maka umur pahat dapat ditentukan yaitu mulai dengan pahat baru (setelah diasah atau *insert* telah

diganti) sampai pahat yang bersangkutan dianggap tidak bisa digunakan lagi. Dimensi umur dapat merupakan besaran waktu, yang dapat dihitung secara langsung maupun secara tidak langsung dengan mengkorelasikan terhadap besaran lain. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah prosedur perhitungan sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan.

Saat dimana pertumbuhan keausan cepat mulai berulang lagi dianggap sebagai batas umur pahat, dan hal ini umumnya terjadi pada harga keausan tepi (VB) yang relatif sama untuk kecepatan potong yang berbeda. Sampai saat batas ini, keausan tepi (VB) dapat dianggap merupakan fungsi pangkat (*power function*) dari waktu pemotongan (t_c) dan bila digambarkan pada skala dobel logaritma maka mempunyai hubungan linier.

Persamaan yang menunjukkan hubungan kecepatan potong dengan umur pahat pertama kali dikemukakan oleh F.W Taylor pada tahun 1907. Untuk harga yang tetap bagi batas dimensi keausan serta kombinasi pahat dan benda kerja tertentu, maka hubungannya sebagai berikut: (Braucke, 2004)

$$V_c \cdot T^n = C \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

V_c = kecepatan potong (m/min)

C = konstanta umur pahat Taylor

n = harga eksponen

T = Umur pahat (menit)

Persamaan di atas dikenal dengan nama *Persamaan Umur Pahat Taylor*. Harga Konstanta C dan eksponen n diperoleh dengan melakukan praktek

pemotongan / pemesinan material benda kerja. Semakin kecil harga eksponen n , maka umur pahat yang bersangkutan sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong.

Semakin besar keausan pahat maka kondisinya akan semakin kritis. Jika pahat tersebut masih tetap digunakan maka pertumbuhan keausan akan semakin cepat dan pada suatu ujung pahat sama sekali rusak. Kerusakan fatal seperti ini tidak boleh terjadi sebab gaya pemotongan akan sangat tinggi sehingga dapat merusak seluruh pahat, mesin perkakas, benda kerja, dan dapat membahayakan operator.

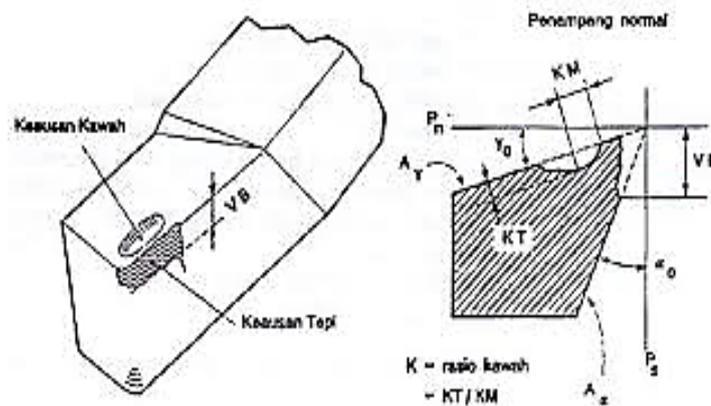
2.2.5 Keausan Pahat

Keausan didefinisikan oleh ASTM sebagai kerusakan permukaan benda yang secara umum berhubungan dengan peningkatan hilangnya material yang disebabkan oleh pergerakan relatif benda dan sebuah substansi kontak. Jenis kerusakan yang terakhir di atas jelas disebabkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama dengan naiknya temperatur. Keausan dapat terjadi pada bidang geram dan / atau pada bidang utama pahat. Karena bentuk dan letaknya yang spesifik, keausan pada bidang geram disebut dengan keausan kawah (*crater wear*) dan keausan pada bidang utama dinamakan sebagai keausan tepi (*flank wear*).

a. Aus tepi (*flank wear*)

Aus tepi adalah bentuk aus pada sisi (*flank*) pahat potong disebabkan perubahan bentuk radius ujung pahat oleh gesekan antara permukaan pemesinan benda kerja dengan sisi pahat karena kekakuan benda kerja.

Bidang aus didasarkan pada tebal bidang aus (*flank wear land*), harus sejajar terhadap resultan arah potong. Tebal bidang aus merupakan ukuran dari besarnya aus sisi. Bentuk aus sisi pengukurannya ditentukan sesuai standar ISO 3685-1977 seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.12 Bentuk aus sesuai standar ISO 3685-1977

Sumber : Kalpakjian, 1991

b. *Crater Wear* (Keausan Kawah)

Crater merupakan keausan pahat yang berbentuk seperti kawah atau lubang, lokasinya dimulai dari beberapa jarak dari tepi potong sampai area kontak geram. Jika keausan ini semakin lama semakin bertambah, *crater* menjadi makin lebar, panjang, dan dalam, bahkan bisa mencapai tepi pahat. *Crater* menyebabkan tepi potong pahat menjadi lemah dan rusak. Keausan jenis ini lebih cepat terjadi pada pahat dengan material ulet (Viktor, 2008).

2.2.6 Pengaruh Cairan pendingin terhadap umur pahat

Dalam proses pemesinan dikenal adanya dua macam kondisi pemotongan yaitu kondisi kering atau *dry machining* dan kondisi basah atau *wet machining*. Pada pemesinan kering proses pemotongan benda kerja dilakukan dengan tanpa

menggunakan cairan pendingin. Sedangkan pada proses basah proses pemotongan dilakukan dengan penambahan cairan pendingin pada permukaan pahat dan benda kerja.

Secara umum fungsi utama dari cairan pendingin adalah untuk menurunkan temperatur pemotongan, pelumasan dan membersihkan permukaan benda hasil pemotongan dari sisa geram yang dapat merusak permukaan hasil pemotongan (Cakir, 2007). Penggunaan cairan pendingin pada proses pemesinan akan menurunkan laju keausan pahat karena cairan pendingin ini dapat berfungsi sebagai pembersih geram, mengurangi gesekan sehingga temperatur yang terjadi pada bidang aktif pahat juga akan berkurang. Dengan demikian pahat tidak akan cepat aus dibanding dengan proses pemesinan secara kering atau tanpa menggunakan cairan pendingin. Di bawah ini adalah fungsi cairan pendingin, yaitu :

- a. Menurunkan gaya potong
- b. Melumasi proses pemotongan
- c. Memperhalus kualitas permukaan hasil pemesinan
- d. Membersihkan geram dan bidang geram pada saat pemotongan
- e. Proteksi korosi pada permukaan benda kerja yang baru terbentuk

Dalam perkembangan selanjutnya proses pemesinan dengan menggunakan cairan pendingin berusaha untuk diminimalisir hal ini berkaitan dengan adanya isu lingkungan, kesehatan operator dan biaya operasional (Kauppinen, 2002). Proses pemesinan saat ini memiliki kecenderungan menggunakan proses kering dan menggunakan udara sebagai media pendingin.

2.2.7 Pemesinan tinggi dengan pahat putar

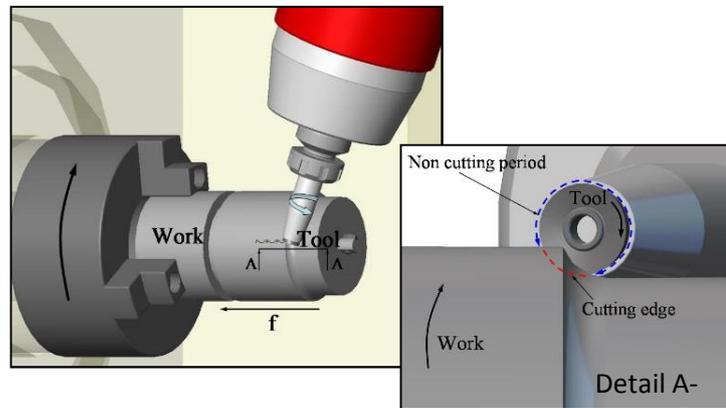
Pada pemesinan bubut konvensional biasanya dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan mata potong (*tool*) sebagai alat untuk menyayat benda kerja tersebut. Umumnya pahat bubut dalam keadaan diam dan benda kerja yang berputar, namun pada proses pembubutan ini memiliki beberapa kekurangan terutama pada saat kecepatan tinggi yang menyebabkan : (Rochim, 1993)

- a. Keausan yang secara bertahap memperbesar pada bidang aktif pahat.
- b. Retak yang menjalar menimbulkan patahan pada mata potong pahat.
- c. Deformasi plastik yang akan mengubah bentuk / geometri pahat.

Kerusakan diatas jelas disebabkan oleh penggunaan parameter pemotongan yang tinggi sehingga menimbulkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersamaan dengan naiknya temperatur. Keausan dapat terjadi pada bidang utama pahat dikarenakan naiknya tekanan temperatur tersebut akan lebih cepat mengurangi umur pakai dari pahat diam yang menyebabkan tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan akan tinggi.

Salah satu metode untuk menurunkan suhu pemotongan pada saat pemesinan serta untuk meningkatkan produktivitas pemesinan adalah dengan menggunakan pahat potong berputar (*rotary cutting tool*) dalam proses pemesinan bubut (Harun et al., 2009). Gambar 2.13 mengilustrasikan prinsip dari proses pemesinan bubut menggunakan pahat potong berputar. Terlihat pada gambar, dalam metode

pemotongan ini, dengan pahat potong yang berputar maka mata pisau (*cutting edge*) akan mengalami proses pendinginan selama periode tanpa pemotongan (*non cutting period*) dalam satu putaran pahat potong dalam pemesinan bubut.



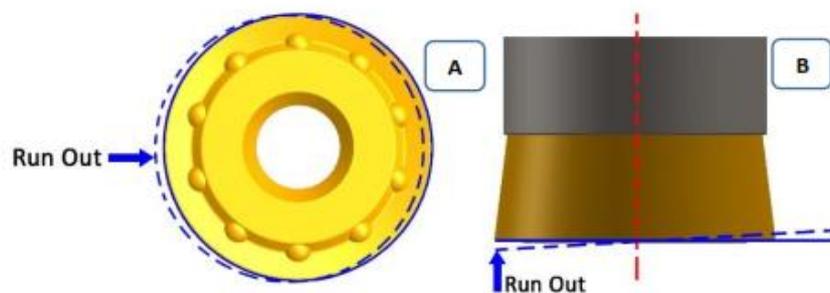
Gambar 2.13 Ilustrasi pemesinan bubut menggunakan pahat potong berputar (Harun, 2009)

Dalam metode ini diharapkan bahwa suhu pahat potong akan menurun dibandingkan dengan proses pemesinan bubut konvensional yang menggunakan pahat yang diam. Dan dengan metode ini juga diharapkan bahwa proses pemesinan bubut dengan pahat berputar ini dapat menghasilkan tingkat kekasaran yang rendah pada permukaan benda kerja serta dapat digunakan untuk pemotongan kecepatan tinggi (*high speed cutting*) untuk material Magnesium (*Magnesium Alloy*) dan material yang sulit dipotong (*difficult to-cut materials*) seperti paduan Nikel (*Nickel Alloy*) dan paduan Titanium (*Titanium Alloy*).

2.2.8 *Run Out* Pahat Putar

Run out merupakan penyimpangan suatu komponen terhadap sumbu putar. Pada pahat potong simpangan putar merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas dan dimensi permukaan hasil pemesinan. Pengukuran

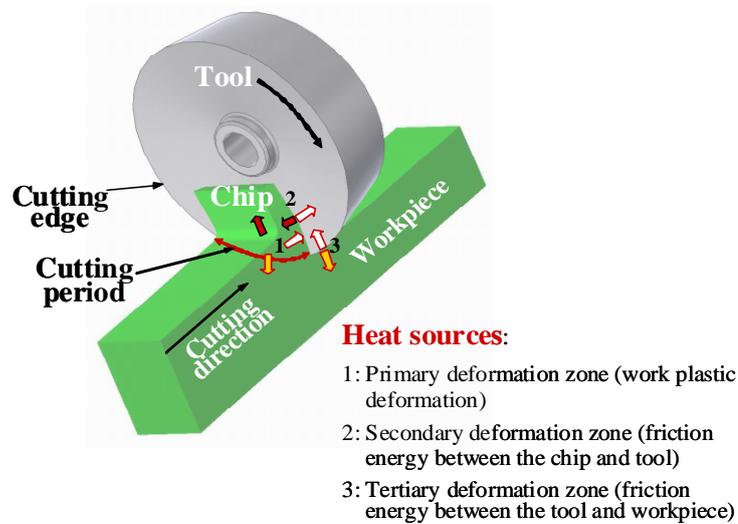
dilakukan dengan menggunakan *dial gauge* atau *dial indicator* sebagai alat ukur. Pengukuran pahat putar dilakukan dari dua arah yang berbeda yaitu arah aksial dan arah radial. Pada gambar 4.1 dapat dilihat skema pengukuran kebulatan dari arah aksial dan radial. Pengukuran arah radial dilakukan pada sisi samping pahat, sedangkan pengukuran arah aksial dilakukan pada sisi datar pahat yang tegak lurus sumbu poros (Fariza, 2015).



Gambar 2.14 *Run out* pahat (a) arah radial dan (b) arah aksial.

2.2.9 Suhu pemotongan dalam proses pemesinan dengan pahat putar

Pada saat proses pemesinan dengan bubut akan menghasilkan panas, panas ini dihasilkan akibat deformasi geram selama proses pemesinan bubut dengan pahat berputar berpotensi dihasilkan dari sumber panas (*heat source*). Sumber panas ini terdiri atas tiga zona deformasi yang dekat dengan mata pisau pahat (*tool cutting edge*) seperti terlihat pada gambar 2.14 , dimana biasanya disebut masing – masing dengan zona deformasi utama (*primary*), kedua (*secondary*) dan ketiga (*tertiary*). Selain itu, sumber panas yang lain adalah akibat akumulasi panas pada mata pisau pahat.



Gambar 2.15 Aliran panas selama proses pemesinan bubut dengan pahat berputar (Harun, 2009)

Pada daerah deformasi plastik (*primary deformation zone*), mata pisau (*cutting edge*) pahat berbentuk lingkaran berputar dan secara kontinyu memotong material benda kerja sehingga menyebabkan terjadinya deformasi plastik material benda kerja menjadi geram (*chip*). Usaha untuk mendeformasi material benda kerja menjadi geram membutuhkan deformasi yang besar dengan laju regangan yang tinggi sehingga menyebabkan timbulnya panas pada daerah deformasi geser (Trent et al., 2000). Harun (2008) dalam penelitiannya melakukan eksperimen pengaruh kecepatan putar pahat terhadap gaya potong pada pemesinan bubut material baja S45C dengan pahat berputar. Dari eksperimen tersebut diperoleh hasil yaitu peningkatan kecepatan putar pahat menyebabkan suatu penurunan kecepatan potong sehingga diharapkan dapat memicu reduksi daya geser. Hal ini dapat menyebabkan penurunan energi geser spesifik dan selanjutnya penurunan panas yang dihasilkan selama deformasi geser.

Material yang digeser kemudian terdeformasi menjadi geram selanjutnya mengalir di atas permukaan geram pahat pada daerah deformasi kedua (*secondary deformation zone*). Panas yang timbul dari daerah deformasi kedua adalah dihasilkan akibat deformasi plastik material benda kerja dan energi gesek antara pahat potong dan geram. Oleh karena itu panas yang tinggi biasanya terjadi pada daerah deformasi kedua ini (Dudzinski, 2004). Panas yang timbul pada daerah deformasi ini dialirkan menuju geram dan pahat potong.

Selanjutnya pada daerah deformasi ketiga (*tertiary deformation zone*), panas yang dihasilkan pada daerah antarmuka (*interfece*) antara pahat dan benda kerja, dimana tepi pahat (*flank tool*) berputar sambil bergerak sepanjang permukaan benda kerja dan menghasilkan panas melalui energi gesek antara pahat dan benda kerja. Suhu yang meningkat akibat panas yang timbul oleh pembentukan permukaan baru benda kerja pada daerah deformasi ketiga adalah dialirkan kedalam benda kerja.

Pada pemesinan bubut dengan pahat berputar, periode tanpa pemotongan (*non cutting period*) menjadi pendek dengan peningkatan kecepatan putar pahat, hal ini mengartikan bahwa periode pendinginan pahat menjadi pendek. Oleh karena itu pada batas kecepatan tertentu, suhu mata pisau pahat pada ujung periode pendinginan belum cukup dingin ketika masuk kembali kedalam daerah pemotongan sehingga suhu mata pisau pahat terus meningkat akibat akumulasi panas.

2.3 Magnesium Dan Paduannya

Magnesium merupakan elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Di dalam unsur kimia pada tabel periodik magnesium memiliki simbol Mg dan memiliki nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang sering disebut "magnalium" atau "magnelium" (Anonim, 2014).



Gambar 2.15 Magnesium dan rumus kimianya
(Sumber: <http://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium>, 2014)

Kekuatan tarik yang dimiliki bahan magnesium murni sebesar 110 N/mm^2 dalam bentuk hasil pengecoran (*Casting*), angka kekuatan tarik ini dapat ditingkatkan melalui proses pengerjaan. Magnesium bersifat lembut dengan modulus elastis yang sangat rendah, magnesium tidak mudah dibentuk dengan pengerjaan dingin. Disamping itu, presentase perpanjangannya hanya mencapai 5% dan hanya mungkin dicapai melalui pengerjaan panas (Andriyansyah, 2013). Magnesium biasa dicampur dengan bahan lain seperti aluminium,

Penggunaan campuran magnesium dengan bahan lain pada aplikasi otomotif seperti pada pembuatan komponen kendaraan bermotor, pesawat terbang dan *hardware* komputer sering digunakan karena memiliki kekuatan spesifik yang tinggi (Buldum, 2011).

Paduan magnesium mempunyai kelebihan yaitu paduan magnesium memiliki masa jenis terendah dibanding material struktur lain. Mampu cor yang baik sehingga cocok untuk dilakukan pengecoran bertekanan tinggi. Karena memiliki sifat yang ringan dan lunak, maka paduan magnesium dapat dilakukan proses pemesinan pada kecepatan tinggi. Dibanding dengan material *polymer*, magnesium memiliki sifat mekanik yang lebih baik, tahan terhadap penuaan, sifat konduktor listrik dan panas yang lebih baik dan juga dapat didaur ulang. Namun dibalik kelebihan yang dimiliki, paduan magnesium juga memiliki kelemahan yaitu modulus elastisitas yang rendah, terbatasnya ketahanan mulur dan kekuatan pada suhu tinggi dan reaktif pada beberapa senyawa.

2.3.1 Sifat - sifat Magnesium

Adapun sifat – sifat yang dimiliki magnesium yaitu :

a. Sifat Kimia

Magnesium dapat bereaksi kimia, salah satunya bereaksi dengan air. Bila magnesium bereaksi dengan air maka akan menghasilkan larutan yang bersifat basa serta adanya pembebasan gas hidrogen.

1. Magnesium oksida merupakan oksida basa sederhana.
2. Reaksi dengan air: $\text{Mg}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \longrightarrow \text{Mg}(\text{OH}) + \text{H}_{2(g)}$

3. Reaksi dengan udara: menghasilkan MO dan M₃N₂ jika dipanaskan.
4. Reaksi dengan Klor: $Mg + X_2 \rightarrow$ (dipanaskan) $\rightarrow MgX_2$
(garam)

b. Sifat Mekanik

Rapat massa magnesium adalah 1,738 gr/cm³. Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar 110 N/mm² dalam bentuk hasil pengecoran (*casting*) (Yunus, 2012).

c. Sifat Fisik

Adapun sifat fisik yang dimiliki magnesium seperti pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Sifat Fisik Magnesium (Andriyansyah, 2013)

Sifat fisik	
Nomor Atom	12
Konfigurasi Elektron	[Ne] 3s ²
Titik Cair, K	922
Titik Didih, K	1380
Rapatan (densitas), gr/cm ³	1.74
Energi Ionisasi I, kJ/mol	738
Energi Ionisasi II, kJ/mol	1450
Elektronegatifitas	1.31
Potensial Reduksi Standar	-2.38
Jari-jari atom, A	1.60
Kapasitas Panas, J/gK	1.02
Potensial Ionisasi, Volt	7.646
Konduktivitas Kalor, W/mK	156
Entalpi Pembentukan, kJ/mol	8.95
Entalpi Penguapan, kJ/mol	127.6

2.3.2 Pemesinan Magnesium

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemesinan magnesium yaitu resiko kebakaran dan pembentukan *Built-up Edge* (BUE). Magnesium akan terbakar jika dipanaskan sampai suhu lelehnya. Dalam pemesinan magnesium, api sangat mungkin terjadi jika geram tipis atau halus dengan perbandingan luas permukaan-terhadap-volume yang tinggi dihasilkan dan dibiarkan menumpuk. Sumber penyalaan mungkin juga pemanasan gesekan disebabkan pahat tumpul, rusak, diasah secara salah atau dibiarkan berhenti sebentar pada akhir pemotongan. Untuk meminimumkan resiko kebakaran, praktek-praktek berikut harus diperhatikan:

- a. Pahat yang tajam dengan sudut relief sebesar mungkin.
- b. Kecepatan makan yang besar harus digunakan.
- c. Secepatnya pahat dijauhkan dari benda kerja jika pemotongan berakhir
- d. Geram-geram harus sering dikumpulkan dan dibuang.
- e. Menggunakan pendingin yang tepat pada pemesinan kecepatan makan dan kedalaman potong sangat kecil.

Karena geram magnesium bereaksi dengan air dan membentuk magnesium hidroksida dan gas hidrogen bebas, pendingin berbasis air harus dihindarkan. Praktek yang diterima adalah pemotongan kering bila mungkin dan menggunakan pendingin minyak mineral bila perlu. Pemesinan kering komponen magnesium dalam volume besar menimbulkan masalah pemeliharaan kebersihan terutama untuk proses gurdi dan pengetapan yang menghasilkan geram halus.

Pembentukan BUE diamati ketika pemesinan kering paduan magnesium-aluminium cor dengan pahat Baja Kecepatan Tinggi (HSS) atau Karbida. Pembentukan BUE dapat dikurangi atau dihilangkan dengan pemakaian pendingin minyak mineral atau penggantian dengan pahat intan. Jelas pemakaian pendingin minyak mineral akan mencemari lingkungan sedangkan pemakaian pahat intan akan menaikkan biaya produksi (Tomac dan Tonnessen, 1992).

2.3.3 Penyalaan Paduan Magnesium

Penyalaan (*ignition*) dapat diketahui dimulai dengan pembentukan “bunga kol” oksida dan terjadinya api pada permukaan paduan (Hongjin dkk, 2008). Berbagai prosedur telah dikembangkan pada masa lalu untuk menyelidiki perilaku penyalaan paduan magnesium. Prosedur-prosedur ini berbeda terutama mengenai metoda pemanasan dan definisi suhu penyalaan, T (Blandin, 2004).

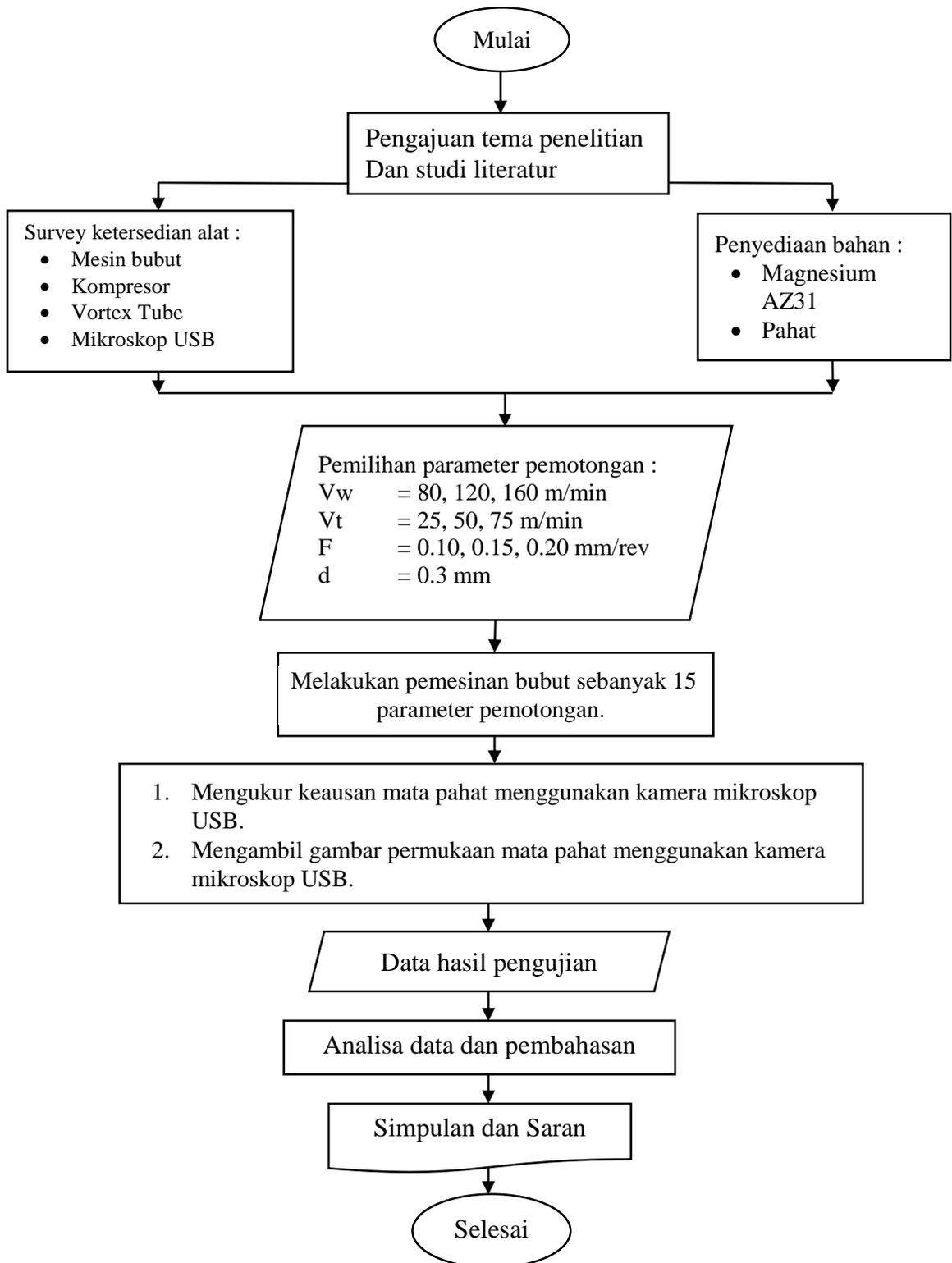
Dua definisi penyalaan diusulkan, bersesuaian dengan suhu terendah ketika nyala terlihat atau pada suhu dimana reaksi oksida eksotermik berkelanjutan pada kelajuan yang menyebabkan peningkatan suhu signifikan. Karena kaitan kuat antara penyalaan dan oksidasi, usaha-usaha telah dibuat pada masa lalu untuk mempelajari oksidasi magnesium pada suhu tinggi (Blandin, 2004).

Suhu penyalaan magnesium pada tekanan atmosfer sedikit di bawah titik cairnya yaitu 623°C. Pada tekanan 500 Psi, suhu penyalaan mendekati titik cairnya yaitu 650°C. Titik nyala sejumlah paduan magnesium dengan logam lain telah diselidiki, suhu penyalaan berkisar antara 500°C sampai 600°C. Semata-mata bersentuhan dengan beberapa logam lain juga mengubah suhu penyalaan magnesium.

Bersentuhan dengan nikel, kuningan dan aluminium memperendah suhu penyalaan, sedangkan bersentuhan dengan baja dan perak tidak mempengaruhinya (White & Ward, 1966).

Magnesium masih menunjukkan akan menyala di udara pada suhu yang sama sebagaimana nyala dalam oksigen. Serbuk magnesium di udara menyala pada suhu 620°C . Penyelidikan lain menunjukkan bahwa kepadatan partikel-partikel mempengaruhi suhu penyalaan. Partikel-partikel yang kurang padat memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk menyala berkisar antara 700°C sampai 800°C jauh diatas titik cair. Suhu nyala serbuk dalam oksigen adalah sama kisaran sebagaimana udara. Namun kajian impak menunjukkan magnesium sensitif terhadap perubahan beban atau tumbukkan massa (White & Ward, 1966).

3.2 Diagram Alir Penelitian

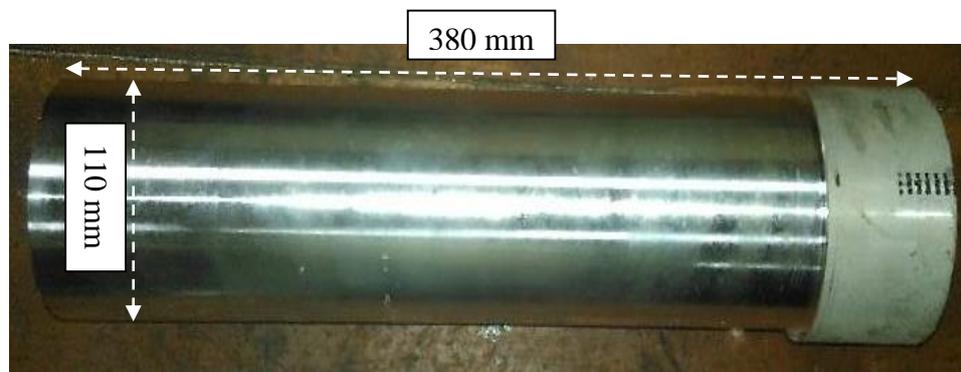


Gambar 3.1. Diagram alir (*flow chart*) penelitian

3.3 Alat Dan Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan paduan magnesium AZ31 yang sebelumnya berbentuk balok memanjang sehingga dilakukan pembubutan rata sehingga bentuknya menjadi bar dengan diameter 110 mm dan panjang 380 mm seperti pada gambar 3.2. Dengan sifat-sifat fisik seperti yang terdapat pada Tabel 3.2.



Gambar 3.2 Material Magnesium AZ31

Tabel 3.2 Karakteristik fisik dan *thermal* paduan magnesium AZ31

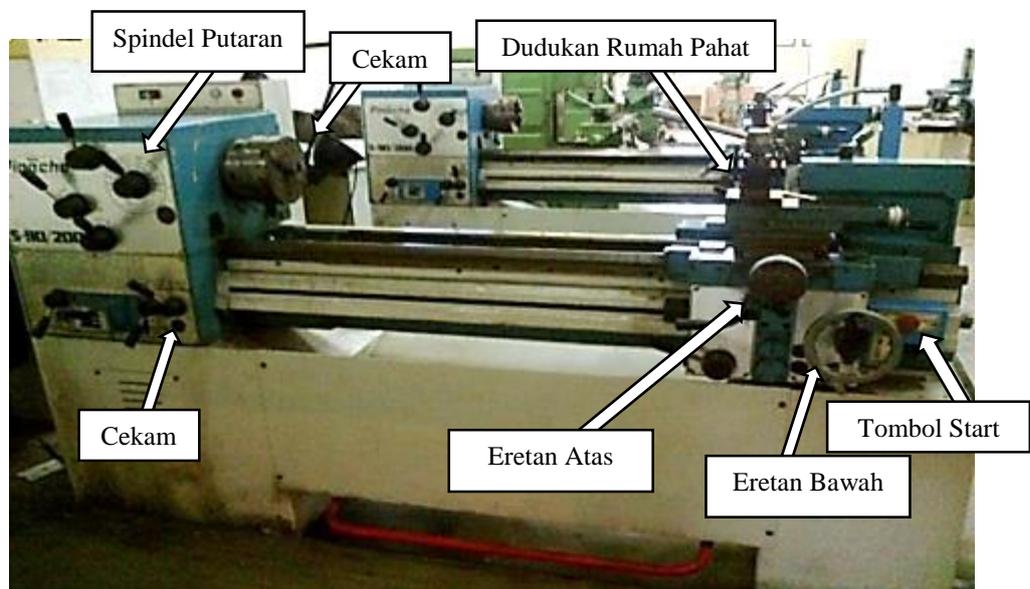
Density [kg/mm ³]	1,77 x 10 ⁻⁶
Young's Modulus [kN/mm ²]	45,000
Possion's ratio	0.35
Melting temperature [K]	891
Konduktifitas thermal [w/(mK)]	77 + 0.096T
Kapasitas Spesifik panas [J/(kgK)]	1000 + 0.666T
Koefisien muai panas[K ⁻¹]	2.48 x 10 ⁻⁵

(Sumber : Jawahir, 2011; Doni 2015)

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin bubut konvensional

Mesin bubut (*turning*) merupakan sebuah mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda kerja yang diputar. Mesin bubut yang digunakan memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 di bawah ini dan pada Tabel 3.3.



Gambar 3.3 Mesin bubut konvensional

Mesin bubut yang digunakan dalam penelitian ini terletak di laboratorium produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Mesin ini digunakan sebagai tempat untuk memutar benda kerja dan sebagai tempat peletakan *active driven rotary tool*. Pada proses fabrikasi sistem pahat putar aktiftergerak, mesin ini digunakan untuk proses pembuatan gear dan poros.

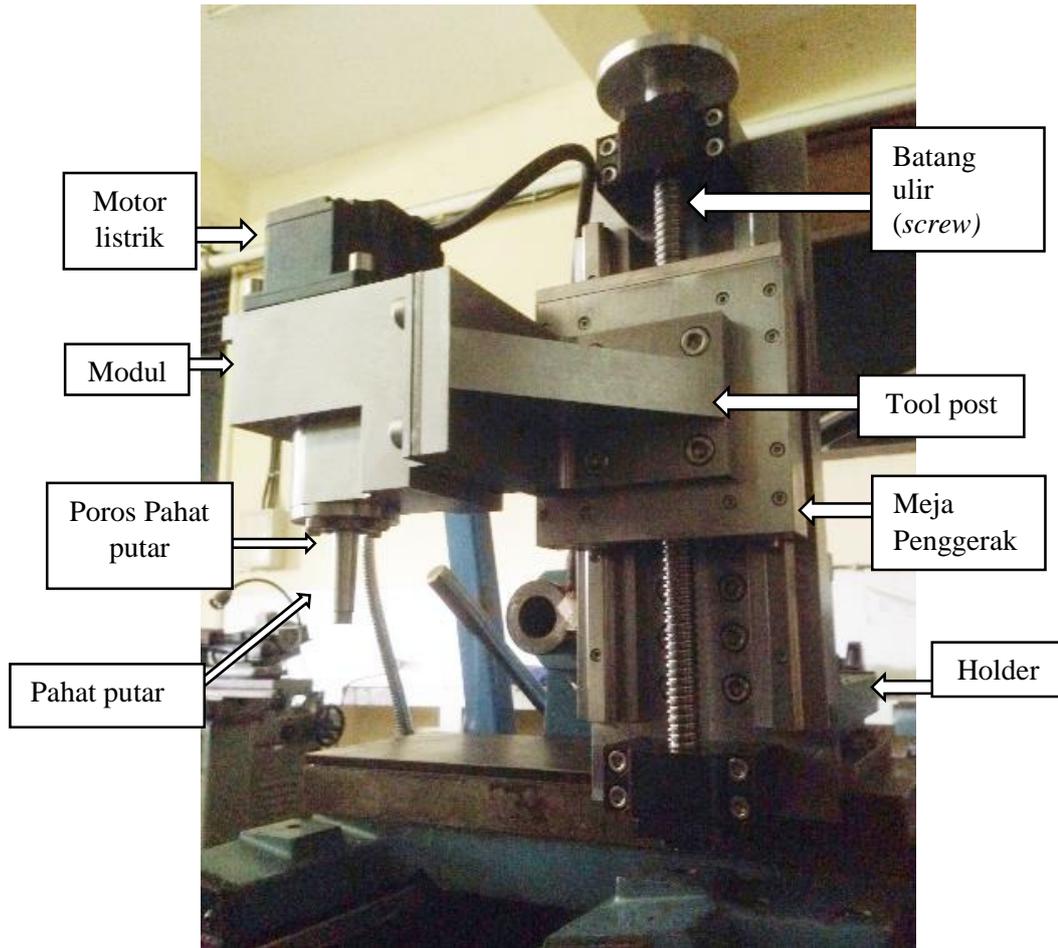
Adapun spesifikasi dari mesin bubut yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi Mesin bubut Konvensional

Merk	PHINACO
Type	S-90/200
Motor	Main Motor Power: 4 Kw
Central High	200 mm
Central Distance	750-1150 mm
Swing Over Bed	400 mm
Swing Over Grap	600 mm
Swing Over Carriage	370 mm
Swing Cross Slide	210 mm

2. Sistem Pahat Putar (*Rotary Tool System*)

Sistem pahat putar modular merupakan sistem pahat yang digunakan dalam penelitian ini, metode pemotongan pahat putar dengan pahat potong yang berputar ini mata pisau (*cutting edge*) akan didinginkan selama periode tanpa pemotongan (*non cutting period*) dalam satu putaran pahat potong. Hal ini diharapkan bahwa suhu pahat potong akan menurun dibandingkan dengan proses pemesinan bubut konvensional (pahat potong diam). Sistem pahat putar modular ini ditempatkan padaudukan pahat mesin bubut konvensional untuk menggantikan sistem pahat bubut konvensional (pahat diam).



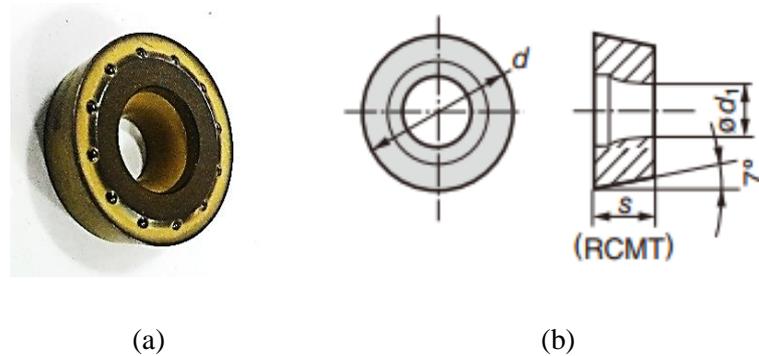
Gambar 3.4 Sistem pahat putar modular

Tabel 3.4 Spesifikasi *Rotary Tool*

Merk motor	VEXTA
Tipe/Seri	AXUM590-A
Jenis Pahat	<i>Insert-Propeller</i>
Kecepatan putaran pahat	0-2000 r/min
Arah putaran spindel	CW/CCW
Diameter insert	16 mm

3. Pahat

Pahat yang digunakan pada sistem pahat putar adalah pahat *insert* tipe RCMT dengan material *carbide*. RCMT merupakan tipe pahat yang berbentuk melingkar pada mata potongnya dengan diameter tertentu. Pada bagian samping, pahat ini memiliki sisi yang sedikit tirus yang memiliki fungsi untuk mempermudah aliran chip pada saat pemotongan. Spesifikasi lebih lengkap mengenai pahat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.5.



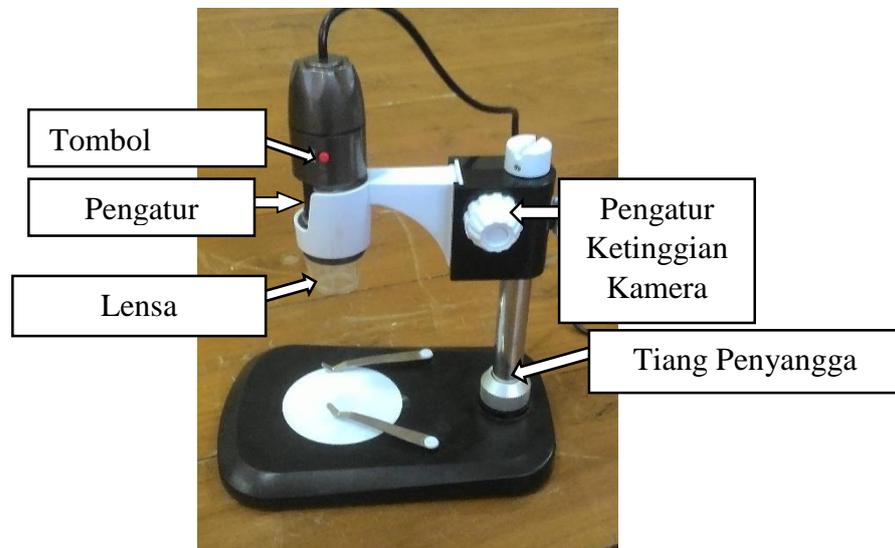
Gambar 3.5 (a) Pahat *insert* RCMT (b) Tampak 2D *Insert* RCMT

Tabel 3.5. Tabel spesifikasi pahat

Merk	Sumitomo
Tipe	RCMT
Seri	1606MON-RX
Jenis	Insert
Material	Carbide
Diameter Pahat	16 mm
Tebal pahat	6,35 mm

4. Kamera Mikroskop USB

Kamera Mikroskop USB digunakan untuk mengambil keuasan mata pahat putar. Cara kerja mikroskop ini yaitu dengan menghubungkan port usb dengan laptop, menggunakan software *CoolingTech* dapat dilihat mata pahat. Dimana fokus mikroskop USB dapat diatur dengan mengatur jarak lensa dengan mata pahat serta perbesaran 40X sampai 1000X. Kemudian gambar di simpan dengan *save as* di *software coolingtech*. Spesifikasi mikroskop yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.6.



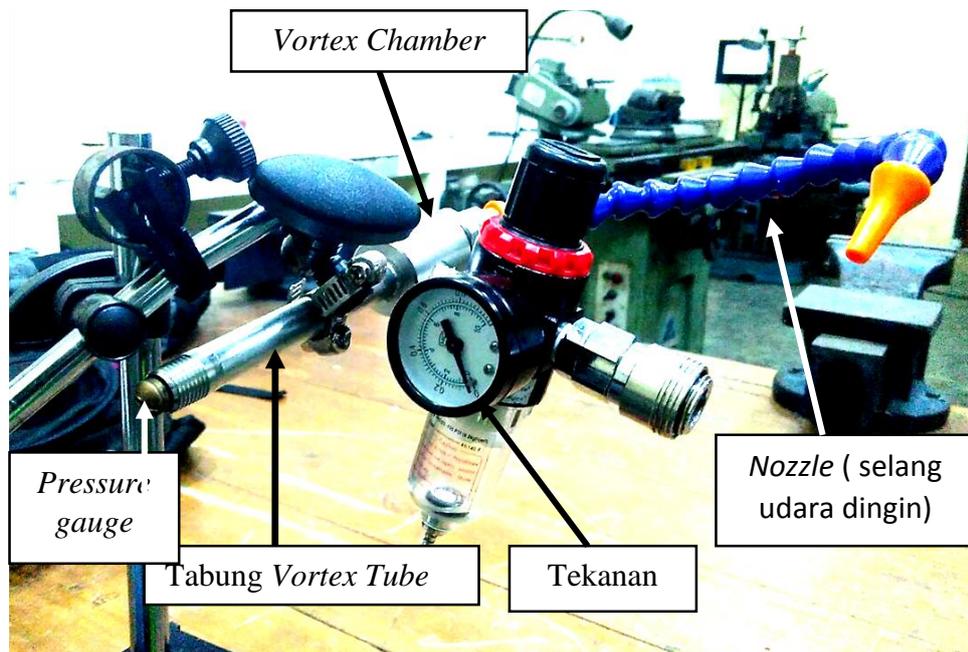
Gambar 3.6 Mikroskop USB

Tabel 3.6 Spesifikasi Kamera Mikroskop USB

Merk	Digital Microscope
Image Sensor	2.0 Mega Pixels
Fokus <i>Range</i>	0mm ~ 40mm
Perbesaran	40X – 1000X
Light source	8 LED
Foto format	JPEG, BMP, JPG
Bundle software	CoolingTech

5. *Vortex tube*

Vortex tube adalah alat yang dapat mengambil udara terkompresi normal dan mengkonversi menjadi dua aliran udara. Satu aliran udara panas dan aliran lainnya adalah udara dingin. Keuntungan dari tabung *vortex* adalah bahwa ia tidak memiliki bagian yang bergerak, yang diterjemahkan ke dalam tidak ada pemeliharaan.



Gambar 3.7 *Vortex tube*

Gambaran secara umum alat ini adalah udara bertekanan masuk kedalam *vortex chamber* melewati nosel secara tangensial, sehingga terjadi pusaran udara didalam *vortex chamber*. Udara tersebut kemudian dipaksa untuk berputar dengan kecepatan yang tinggi disepanjang dinding pipa, kemudian keluar melalui lubang kecil sebagai udara panas. Sebagian udara kemudian dipaksa untuk kembali dengan putaran rendah, udara inilah yang akan keluar sebagai udara dingin.

Dalam proses kedua putaran tadilah terjadi proses perpindahan panas yang menyebabkan terjadinya udara panas dan udara dingin. Tabung *Vortex* mengambil udara terkompresi dan mengkonversi ke udara dingin di satu ujung dan udara panas di lain. Suhu serendah -50°F (-46°C) dapat dicapai pada akhir dingin dan sampai 260°F (127°C) pada akhir panas.

6. Kompresor

Kompresor udara adalah mesin atau alat yang menciptakan dan mengaliri udara bertekanan, yang digunakan untuk menyuplai udara bertekanan masuk ke *vortex tube*, sehingga menghasilkan udara dingin. Adapun kompresor yang digunakan yaitu seperti pada gambar 3.8 dan spesifikasi pada tabel 3.7



Gambar 3.8 Kompresor SWAN SD-205

Tabel 3.7 Spesifikasi Kompresor

Merk	SWAN
Model	SDU - 205
Motor Power	5 HP
Working Pressure	114 psi
Flow	485 l/min

7. Termometer

Alat digital yang digunakan untuk pengukur suhu yang keluar dari *vortex tube*, spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 3.9



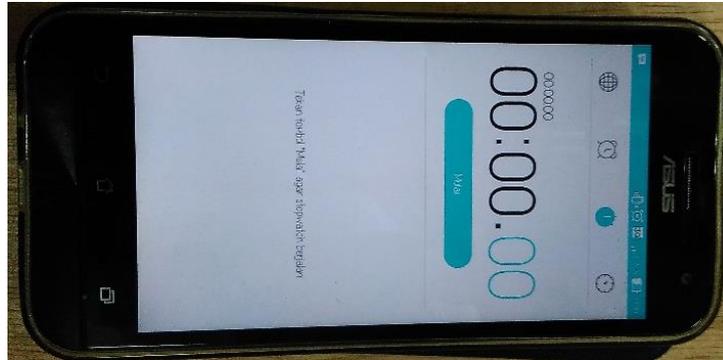
Gambar 3.9 Termometer

Tabel 3.8 Spesifikasi termometer

Merk	Lutron
Tipe	TM-2000
Tampilan	51mm x 32mm, 15mm (0.6")
Power Supply	baterai DC 9V
Suhu Operasi	0 hingga 50°C (32 hingga 122°F)
Kelembapan Operasi	Kurang dari 80% RH
Ukuran (H x W x D)	200mm x 68mm x 30mm
Berat	220

8. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu proses pemesinan .



Gambar 3.10 Stopwatch.

9. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter benda kerja sebelum dan setelah pemesinan dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.9



Gambar 3.11 Jangka Sorong.

Tabel 3.9 Spesifikasi Jangka Sorong

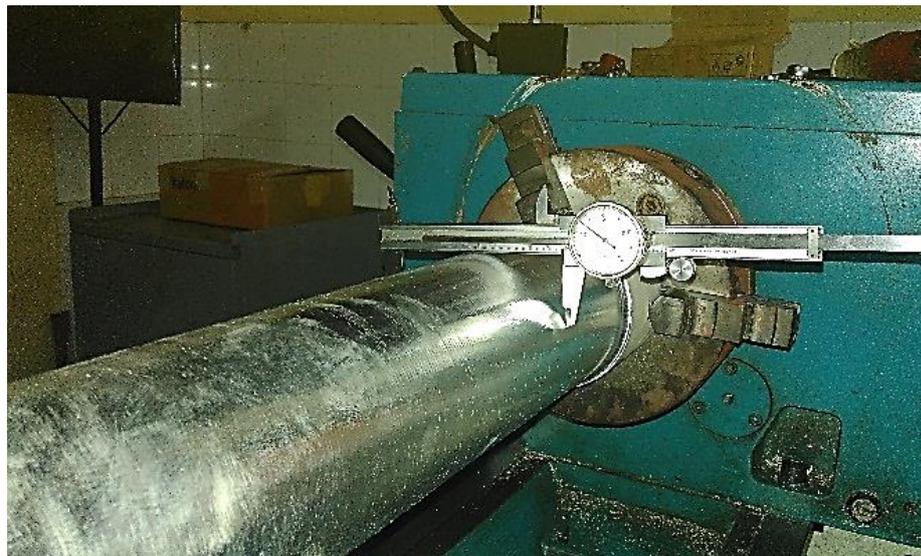
Merek	Mitutoyo
Jenis Ukuran	Metrik (mm) dan inch
Akurasi	+/-0,05 mm
Made in	Japan

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur dari penelitian memiliki beberapa tahapan diantaranya :

1. Persiapan bahan

Material paduan Magnesium AZ31 yang sebelumnya berbentuk balok memanjang oleh karena itu dilakukan pembubutan dengan merubah geometri paduan magnesium AZ31 menjadi bar dengan diameter 110 mm dan panjang 380 mm. Ketika akan melakukan pengujian benda kerja menggunakan mesin bubut maka benda kerja harus diberikan lubang *center* pada permukaan muka, *centering* dimaksudkan agar pengujian yang akan berlangsung pada magnesium menjadi lebih stabil.



Gambar 3.12 Pengukuran diameter awal Magnesium

2. *Set-up* Pemesinan

Pada tahapan ini dilakukan instalasi *set-up* mesin berupa penempatan *holder rotary* yang diletakkan pada dudukan pahat diam dengan cara melepaskannya dari eretan dengan melepas baut pengikatnya dan menggantikannya dengan *holder rotary* dan mengatur posisi dari *holder rotary* tersebut seperti tinggi pahat harus sejajar dengan senter. Hal ini sangat perlu dilakukan agar pada saat proses pemotongan pahat yang digunakan tidak cepat rusak. *Set-up* ditunjukkan pada gambar 3.13. Selanjutnya melakukan instalasi *vortex tube*, pada tahapan ini dilakukan instalasi *vortex tube* berupa penyambungan antara kompresor, *pressure gauge valve* dan *vortex chamber*. Ditunjukkan pada gambar 3.14.



Gambar 3.13 *Set-up* Pemesinan Magnesium.



Gambar 3.14 Instalasi *Vortex Tube*

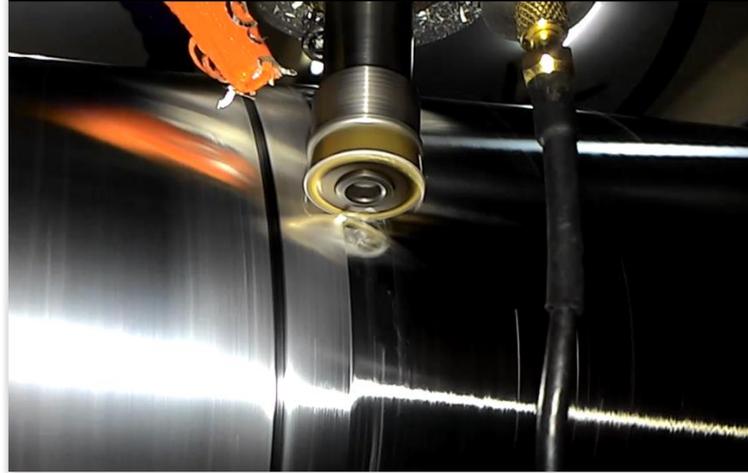
3. Proses pembubutan spesimen

Setelah mesin *diset-up*, maka proses pembubutan material magnesium AZ31 dilakukan menggunakan udara pendingin yang keluar dari *vortex tube* dengan tekanan 6 bar konstan. Pembubutan dilakukan sebanyak empat kali dengan satu parameter dimaksudkan agar mengetahui nilai laju keausan yang terjadi pada proses permesinan.

Pada proses permesinan menggunakan pahat insert berdiameter 16 mm untuk semua parameter pemesinan yang digunakan, dengan arah putaran pahat yang digunakan adalah berlawanan dengan jarum jam / CCW (*Center Clock Wise*).

Arah putaran pahat menggunakan CCW (*Center Clock Wise*) dengan alasan getaran yang ditimbulkan oleh sistem ini lebih rendah dibandingkan dengan getaran yang dihasilkan oleh putaran pahat

menggunakan sistem CW (*Clock Wise*) / searah jarum jam. Berikut adalah ilustrasi proses pemesinan bubut menggunakan pahat putar.



Gambar 3.15 Proses pemesinan bubut menggunakan pahat putar.

Adapun tahapan pelaksanaan awal untuk pemesinan sebagai berikut :

- a. Melakukan *set-up* mesin bubut seperti yang dilihat pada Gambar 3.13 dan 3.14.
- b. Mengukur diameter awal benda untuk menentukan rpm yang akan digunakan untuk pemesinan seperti pada Gambar 3.12.
- c. Menentukan parameter pemotongan sebagai berikut :

Tabel 3.10 Parameter pemotongan.

Kecepatan benda kerja V_c , m/min			Kecepatan makan f , mm/ref			Kedalaman Makan d , mm	Kecepatan potong pahat putar Potong m/menit			Suhu pendingin <i>vortex tube</i>
80	120	160	0,10	0,15	0,20	0,3	25	50	75	0 °C. 6 Bar

- d. Membuat design penelitian dan jumlah sampel yang diperlukan tipe box behnken, dengan tiga titik pusat sebagai berikut :

Tabel 3.11 Design penelitian dan jumlah sampel tipe box behnken

StdOrder	RunOrder	Kec. Potong (m/min)	Kadar Pemakanan (m/rev)	Kec. Pahat Putar (m/min)	Kedalaman Potong (mm)
1	1	80	0.1	50	0.3
8	2	160	0.15	75	0.3
11	3	120	0.1	75	0.3
13	4	120	0.15	50	0.3
6	5	160	0.15	25	0.3
5	6	80	0.15	25	0.3
4	7	160	0.2	50	0.3
2	8	160	0.1	50	0.3
3	9	80	0.2	50	0.3
10	10	120	0.2	25	0.3
9	11	120	0.1	25	0.3
15	12	120	0.15	50	0.3
12	13	120	0.2	75	0.3
7	14	80	0.15	75	0.3
14	15	120	0.15	50	0.3

Pengambilan data pada setiap parameter dilakukan sebanyak empat kali. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

4. Cara melihat keausan menggunakan Mikroskop USB

Setelah proses pemesinan dilakukan mikroskop diletakkan pada mesin bubut menggunakan *stand magnetic* sebagai dudukan mikroskop. Kemudian menyambungkan kabel USB dari kamera mikroskop ke laptop, dimana laptop digunakan untuk menampilkan hasil yang dilihat dari mikroskop usb dengan *software cooling tech*. Hasil kamera usb dapat dilakukan pembesaran gambar, pada penelitian ini digunakan

pembesaran 80 kali dan fokus kamera diatur dengan cara menaik turunkan kamera agar gambar terlihat jelas. Hasil gambar yang diperoleh dapat diberi *distance* atau panjang menggunakan software *cooling tech* sehingga kita dapat mengetahui laju keausan yang terjadi. Berikut ini adalah cara melihat menggunakan Mikroskop USB:



Gambar 3.16 Cara melihat laju keausan menggunakan mikroskop usb

5. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan empat kali dalam satu parameter yang didapatkan dilakukan dengan menggunakan mikroskop usb untuk melihat nilai laju keausan pada mata pahat dan keausan tiap-tiap parameter yaitu V_w (80, 120, dan 160 m/min); f (0,10, 0,15, dan 0,20 mm/rev); d (0,3mm); dan V_t (25, 50, dan 75 m/menit) yang dimasukkan kedalam Tabel acuan agar dapat dianalisa. Selanjutnya data yang telah dimasukkan kedalam table ditampilkan dalam bentuk grafik untuk melihat nilai laju keausan pada mata pahat putar dan melihat karakteristik tiap faktor yaitu kecepatan potong terhadap laju keausan pada berbagai gerak makan, kecepatan potong pahat putar dan kedalaman pemotongan.

Tabel yang digunakan sebagai acuan pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Data pengujian :

Parameter (ke-n)			
Kecepatan Benda Kerja V_w : m/min	Ke-	Aus (mm)	Waktu (t) (Minute)
Gerak Makan f : m/rev			
Kedalaman Potong d : 0.3 mm	1		
	2		
Kecepatan Potong Pahat Putar V_t : m/min	3		
	4		

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah :

1. Nilai keausan maksimum didapatkan pada parameter putaran benda kerja (V_w) 160 m/min pada gerak makan 0,15 mm/rev dengan kecepatan potong pahat putar (V_t) 75 m/min dan kedalaman potong 0,3 mm yaitu sebesar 0,448 mm dengan nilai laju keausan rata – rata 13,5 %. Sedangkan nilai keausan minimum didapatkan pada parameter putaran benda kerja (V_w) 80 m/min pada gerak makan 0,1 mm/rev dengan kecepatan potong pahat putar (V_t) 50 m/min dan kedalaman potong 0,3 mm yaitu sebesar 0,286 mm dengan nilai laju keausan rata – rata 5,6 % .
2. Fenomena yang terjadi pada pahat putar yaitu keausan di sekeliling pahat putar tidak seragam atau tidak sama.
3. Jenis aus pahat putar yang yang terjadi adalah dominan aus tepi (*Flank wear*) berupa aus karena gesekan pahat potong dan benda kerja.
4. Kecepatan potong pahat putar memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap aus pahat potong dibandingkan gerak makan.

5.2 Saran

Dalam penelitian menggunakan pahat potong berputar ini peneliti memasukkan beberapa saran yang diberikan untuk dikembangkan dan harapan mendapatkan hasil yang maksimal, diantaranya:

1. Secara visual, menggunakan mikroskop USB aus pahat didominasi aus abrasive tetapi untuk lebih jelas perlu dilakukan analisa lebih lanjut menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang memiliki ketelitian yang tinggi untuk menganalisa permukaan.
2. Perlu dilakukan kajian mengenai *run out* agar meminimalisir terjadinya keausan yang tidak merata.
3. Perlu dilakukan kajian mengenai perbandingan putaran pahat dan putaran benda kerja untuk mengetahui rasio putaran yang tepat untuk meminimalisir terjadinya keausan yang tidak merata.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. *Insert*. http://www.chinaseniorsupplier.com/Machinery/Machine_Tools_Accessory/50001519430/Japanese_carbide_cutting_tools_Mitsubishi_Sumitomo_Tungaloy_Kyocera_Hitachi_etc.html (diakses pada 20 Agustus 2016).
- Anonim. Magnesium. <https://id.wikipedia.org/wiki/Magnesium> (diakses pada 23 Agustus 2016).
- Anonim. *Mesin Cnc Bubut Atau Mesin Cnc Lathe*.
<http://mesinidamanku29.blogspot.co.id/2016/04/mesin-cnc-bubut-atau-mesin-cnc-lathe.html>. (diakses pada 20 Agustus 2016).
- Boswell, B., Chandratilleke, T.T., (2009), "Air-cooling used for metal cutting", *American Journal of Applied Sciences* 6 (2), pp. 251 – 262.
- Braucke, 2004. *Establishment of a Database for Tool Life Performance*. School of Engineering and Science Swinburne University of Technology, Australia.
- Burhanudin, Yanuar. Wardono, Herry. Su'udi, Ahmad. 2012. *Karakterisasi Penyalaan Geram Pada Pemesinan Kecepatan Tinggi Magnesium AZ31 dan Magnesium AZ91 Menggunakan Analisis Termografi dan Jaringan Syaraf Tiruan*. Laporan Penelitian Hibah Fundamental. Unila.
- Christopher Kingsley Seal, K Vince dan MA Hodgson. 2016. *Biodegradable Surgical Implants based on Magnesium Alloys*. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 4(1).

- D. Dudzinski, A. Devillez, A. Moufki, D. Larrouque`re, V. Zerrouki and J. Vigneau, *A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 439–456.
- E.L. White & J.J. Ward. 1966. *Ignition of Metals in Oxygen*. DMIC Report No. 224
- Fariza, Feri. 2017. *Evaluasi Dan Analisa Kinerja Sistem Pahat Putar Modular Untuk Pemesinan Peralatan Kesehatan Ortopedi Berbasis Material Titanium 6al-4v Eli*. Laporan Tugas Akhir. Universitas Lampung.
- G. Padmanaban, V. Balasubramaniana, G. Madhusudhan Redd. 2011. *Fatigue crack growth behaviour of pulsed current gas tungsten arc, friction stir and laser beam welded AZ31B magnesium alloy joints*. Centre for Materials Joining & Research (CEMAJOR), Department of Manufacturing Engineering, Annamalai University, Annamalai Nagar 608002, India.
- Hadi Surya, Lukman. 2008. *Proses Perolehan Magnesium*. Universitas Indonesia. Depok.
- Harun, Suryadiwansa. 2009. *Cutting Temperature Measurement in Turning with Actively Driven Rotary Tool*. *Key Engineering Materials*. Vols. 389-390, pp. 138-14.
- Harun, Suryadiwansa, dkk. 2012. *Peningkatan Produktifitas dan Pengendalian Suhu Pengapian Pemesinan Magnesium Dengan Sistem Pahat Putar (Rotary Tool System) dan Pendingin Udara (Air Cooling)*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Haryanto, Baron. 2015. Kajian Suhu Pemotongan Pemesinan Bubut Menggunakan Pahat Potong Berputar (*rotary cutting tool*) Pada Material Paduan Magnesium Az31. Laporan Tugas Akhir. Universitas Lampung.
- Ibrahim, G.A, Burhanuddin. Y, Che Haron C.H, Ghani J.A, Ariffin A. K, Yasir A, and El-Maghribi, N.H. 2008. "The Effects of CBN Cutting Tool Grades on the Tool Life and Wear Mechanism When Dry Turning of Titanium Alloy". *Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing*. Vol. 1, No.2, pp. 105-110
- Ibrahim, G.A. Pulungan, Akhmad Isnain. Burhanuddin, Yanuar. 2013. Unjuk Kerja Vortex Tube Cooler Pada Pemesinan Baja ST41. *Jurnal Fema vol 1, no4*.
- Ibrahim, G.Ahkyar. 2014. Identifikasi Nilai Kekasaran Permukaan pada Pemesinan Paduan Magnesium. *Jurnal Mechanical, Vol 5, no 1, 11*.
- Ibrahim, G.A. Arinal, Hamni. Jamiatul, Akmal. 2016. Keausan Mata Pahat Karbida Pada Pemesinan Inconel 718 Menggunakan Pelumas Berkwantitas Minimum. Proceeding Seminar Nasional Teknik Mesin XV. Bandung.
- Kalpakjian, S. *Manufacturing Process for Engineering and Technology*, third Edition, Addison Wesley Publishing Company.1995.
- Kauppinen, V., (2002), *Environmentally reducing of coolant in metal cutting*, proceedings University's Days 8th International Conference, Helsinki University of Technology.
- K. Tonnesen, N. Tomac dan F.O. Rasch. *Machining magnesium alloys with use of oil-water emulsions*. 8th Int. Colloquium, Tribology 2000 (1992).

Keiichi, Kawata. 2015. *Tool Wear in Turning of Inconel 718 with Rotary Cutting Tool. Proceedings Precision Engineering.*

Mahayatra, I Gde. 2013. *Pemesinan Kering Dry Machining*. Tugas Akhir. Universitas Lampung.

Mahrudi, Haris dan Burhanuddin, Yanuar. 2013. Rancang Bangun Aplikasi Thermovision Untuk Pemetaan Distribusi Suhu Dan Permulaan Penyalaan Magnesium Pada Pembubutan Kecepatan Tinggi. *Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.*

Paryanto. 2011. *Simulasi Proses Pemesinan menggunakan Udara Dingin Dengan Tabung Vortex*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2.

Peng Wan, Lili Tan dan Lili Tan. 2016. *Surface Modification on Biodegradable Magnesium Alloys as Orthopedic Implant Materials to Improve the Bio-Adaptability*. *Journal of Materials Science & Technology*.

Rochim, Taufiq. 1993. *Teori Dan Teknologi Proses Pemesinan*. Institut Teknologi Bandung: Bandung

Sreejith, P.S and Ngoi, B.K.A. *Dry machining, machining of the future*. Journal of Materials Processing Technology 2000.

Sudjana, Hardi. 2008. *Teknik Pengecoran Jilid 2 Untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta

Tonshoff H.K, Denkena B dkk. 2004. *Technology of magnesium and magnesium alloys*.

Widarto.2008. *Teknik Pemesinan Jilid I Untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.

X. Luo, K. Cheng, R. Holt dan X. Liu. *Modeling flank wear of carbide tool insert in metal cutting. 15th International Conference on Wear*. Vols. 259, pp. 1235-1240.

Yunus, M. 2012. . *Magnesium* en.wikipedia.org (Diakses 16 oktober 2016)