

**ANALISIS KEAUSAN DAN PEMANTAUAN DISTRIBUSI PANAS
PADA PAHAT POTONG PROSES PEMESINAN *MILLING*
MAGNESIUM AZ31 TANPA PENDINGIN**

(Skripsi)

Oleh
WAHYUDYATAMA



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2019

ABSTRAK

ANALISIS KEAUSAN DAN PEMANTAUAN DISTRIBUSI PANAS PADA PAHAT POTONG PROSES PEMESINAN *MILLING* MAGNESIUM AZ31 TANPA PENDINGIN

Oleh

WAHYUDYATAMA

Seiring perkembangan zaman pertumbuhan produksi industri manufaktur semakin tinggi dan meningkat. Proses pembuatan suatu produk mekanik yang ada di dunia memerlukan proses pemesinan salah satunya adalah proses *milling*. Produk-produk mekanik tersebut diantaranya banyak yang menggunakan bahan magnesium. Meningkatnya produksi tersebut mengakibatkan peningkatan terhadap waktu pengoperasian mesin yang berpengaruh pada kinerja mesin dan pahat menjadi cepat aus. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang magnesium pada proses pemesinan *milling*. Pada penelitian ini parameter yang digunakan yaitu kecepatan spindel, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan dan diameter pahat. Pengambilan data pada pengujian ini dilakukan berdasarkan rancangan dan analisis eksperimen menggunakan Metode Taguchi L9 (3^4) kemudian dilakukan ANOVA. Pengambilan data keausan menggunakan Mikroskop USB dan pemantauan distribusi panas menggunakan kamera thermal. Dari hasil eksperimen diperoleh nilai keausan tertinggi pada Run Order 8 sebesar 0,316 mm dengan diameter pahat 10 mm, kedalaman makan 1.5 mm, kecepatan putar spindel 910 rpm dan kecepatan pemakanan 220 mm/menit. Sedangkan suhu pemotongan tertinggi pada Run Order 9 yaitu $45,4^{\circ}\text{C}$ dengan diameter pahat 10 mm, kedalaman makan 2 mm, kecepatan putar spindel 910 rpm dan kecepatan pemakanan 75 mm/menit. Setelah dilakukan ANOVA dapat disimpulkan bahwa faktor yang memberikan pengaruh paling signifikan terhadap terjadinya keausan yaitu kecepatan pemakanan.

Kata Kunci: Magnesium, *Milling*, Keausan, Distribusi Panas, *Metode Taguchi*.

ABSTRACT

ANALYSIS OF TOOL WEAR AND HEAT DISTRIBUTION ON CUTTING TOOLS IN THE MILLING MACHINING PROCESS OF MAGNESIUM AZ31 WITHOUT COOLING

By

WAHYUDYATAMA

The growth of manufacturing industry production is higher and increasing. The process of making a mechanical product in the world requires machining processes, one of which is the milling machining process. Many of these mechanical products use magnesium. The increase in production has resulted in an increase in engine operating time which affects the performance of the machine and the tool wears out quickly. For this reason, it is necessary to conduct research on magnesium in the milling machining process. In this experiment the parameters used are spindle speed, feed rate, depth of cut and tool size. The result data on this experiment was conducted based on experimental design and analysis using the Taguchi L9 Method (3⁴) then an Analysis of Variance was performed. Measuring wear values using a USB microscope and monitoring heat distribution using a thermal camera. The experimental results obtained the highest wear value on Run Order 8 of 0.316 mm with operation using a 10 mm of tool diameter, 1.5 mm of depth of cut, 910 rpm of spindle speed and 220 mm/minute of feed rate. The highest cutting temperature is Run Order 9 with a value of 45.4 ° C, operating using a 10 mm of tool diameter, 2 mm depth of cut, 910 rpm of spindle speed and 75 mm/min feed rate. After using the ANOVA, it can be concluded that the most significant factor in the occurrence of wear is the feed rate.

Keywords: Magnesium, Milling, Wear, Heat Distribution, Taguchi Method.

**ANALISIS KEAUSAN DAN PEMANTAUAN DISTRIBUSI PANAS
PADA PAHAT POTONG PROSES PEMESINAN *MILLING*
MAGNESIUM AZ31 TANPA PENDINGIN**

**Oleh
Wahyudyatama**

Skripsi

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

pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2019

Judul Skripsi : **ANALISIS KEAUSAN DAN PEMANTAUAN
DISTRIBUSI PANAS PADA PAHAT
POTONG PROSES PEMESINAN *MILLING*
MAGNESIUM AZ31 TANPA PENDINGIN**

Nama Mahasiswa : **Wahyudyatama**

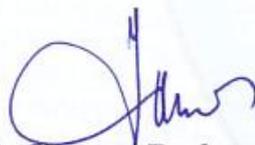
Nomor Pokok Mahasiswa : 1315021066

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



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



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

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

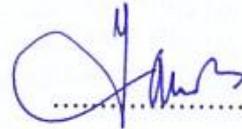


Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP 19740816 200012 1 001

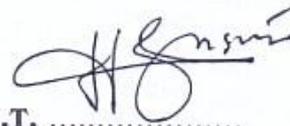
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

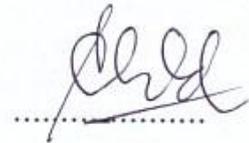
Ketua : **Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.**



Anggota Penguji : **Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.**



Penguji Utama : **Tarkono, 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 : **13 Agustus 2019**

PERNYATAAN PENULIS

BAHWA BENAR SKRIPSI 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




WAHYUDYATAMA
NPM. 1315021066

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung pada tanggal 04 Oktober 1995 sebagai anak ke lima dari lima bersaudara dari pasangan Samsul Bahri dan Sumyati.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 3 Labuhan Ratu, Kecamatan Kedaton, Bandar Lampung pada tahun 2007. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 8 Bandar Lampung pada tahun 2010, dan menyelesaikan pendidikan di Sekolah Menengah Atas di SMK Negeri 2 Bandar Lampung pada tahun 2013.

Pada tahun 2013 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur penerimaan Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) Universitas Lampung sebagai anggota kerohanian periode 2014-2015, dan periode 2015-2016. Penulis juga mengikuti organisasi unit kegiatan mahasiswa Futsal Universitas Lampung (UKM Futsal). Penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di

PT. Cilegon Fabrikators yang bertempat di Jl. Raya Bojonegara-Salira, kab. Serang Banten pada tahun 2016. Pada tahun 2017 penulis melakukan penelitian pada bidang teknik produksi dengan judul “Analisis Keausan dan Pemantauan Distribusi Panas Pada Pahat Potong Pemesinan *Milling* Magnesium AZ31 Tanpa Pendingin.” dibawah bimbingan Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. dan Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.

MOTTO

Jujur Itu Baik

Jadi Apa Adanya Juga Baik

Tapi....

Jaga Perasaan Orang Lain Itu

Jauh Lebih Baik

PERSEMBAHAN

Segala Puji dan Syukur kepada Allah SWT.

Karena berkat rahmat dan karunianya yang telah diberikan kepada Umatnya.

Bapak dan Ibu yang kusayangi: Bapak Samsul Bahri dan Ibu Sumyati, yang telah membesarkan dan memberikan didikan setra tak henti memberikan do'a, semangat, dan dukungan kepada anak-anaknya.

Saudara-saudaraku, Dyan Haditama, Indah Setyawati dan Mayda Kurniati.

Para Pendidik yang telah mengajar dengan penuh kesabaran

Teman Seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2013

Almamatrku tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbalalamin, Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan mempersembahkan judul "*Analisis Keausan dan Pemantauan Distribusi Panas Pada Pahat Potong Proses Pemesinan Milling Magnesium AZ31 Tanpa Pendingin*" dengan sebaik-baiknya. Salawat beriring salam selalu tercurah kepada junjungan seluruh alam Nabi Muhammad SAW, sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam.

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

1. Prof. Suharno, M.S., 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.
3. Bapak Harnowo Supriadi, S.T, M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

4. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. selaku dosen pembimbing utama tugas akhir, atas banyak waktu untuk membantu dan ide pemikiran yang telah diberikan untuk membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak memberikan waktu dan pemikiran serta saran bagi penulis.
6. Bapak Tarkono, S.T., M.T. selaku dosen pembahas yang telah memberikan waktu, ide pemikiran dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
8. Staf Akademik serta Asisten Laboratorium yang telah banyak membantu penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Kedua Orang Tua dan Keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik berupa doa maupun materil dan sekaligus menjadi inspirator bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Teman-teman seperjuangan di kampus Aufadhia, Alan Suseno, Armando, Bagas, Kelvin, Kadek, Nuril, Mursani, Oki, Prahara, Riduan, Rio, Yogie yang telah banyak memberikan inspirasi dan bantuan terhadap penulis.
11. Semua rekan di teknik mesin khususnya teman-teman angkatan 2013 untuk kebersamaan yang telah dijalani. “Salam *Solidarity Forever*”.
12. Ajeng Fadiyah Yasya S yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

13. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung,

Penulis,

WAHYUDYATAMA
NPM. 1315021066

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| SANWACANA | i |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR TABEL | vi |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| | |
| I. PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan | 4 |
| 1.3 Batasan Masalah | 4 |
| 1.4 Sistem Penulisan | 4 |
| | |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| A. Pemesinan | 6 |
| B. Mesin Frais/ <i>Milling</i> | 7 |
| 1. Bagian-bagian Utama Mesin Frais | 7 |
| 2. Proses Pemesinan Frais..... | 11 |
| 3. Parameter Pemesinan Frais..... | 11 |
| C. Magnesium..... | 14 |
| 1. Sifat Kimia Magnesium | 15 |
| 2. Karakteristik Magnesium..... | 15 |
| 3. Pemesinan Magnesium | 16 |
| D. Pemesinan Kering (<i>Dry Machining</i>)..... | 17 |
| E. Keausan..... | 18 |
| F. Pengukuran Keausan Pahat End Milling (ISO 8868-2) | 19 |
| 1. Kriteria Umur Pahat yang Direkomendasikan..... | 20 |
| 2. Fenomena Kerusakan Pahat..... | 20 |
| G. Suhu Pemesinan | 21 |
| H. <i>Thermography</i> | 22 |
| I. Desain Eksperimen | 24 |
| 1. Tujuan Eksperimen | 24 |
| 2. Metode Taguchi | 25 |

III. METODOLOGI PENELITIAN

| | |
|---|----|
| A. Tempat dan Alat Peneliiian..... | 26 |
| B. Prosedur Penelitian | 31 |
| C. Perhitungan Parameter..... | 33 |
| D. Pemantauan Suhu pada Proses Pemotongan | 35 |
| E. Pengukuran Keausan Pahat..... | 36 |
| F. Rancangan dan Analisis Eksperimen..... | 37 |
| G. Diagram Alir Penelitian | 39 |

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| A. Data dan Hasil | 40 |
| B. Analisis dan Pembahasan | 41 |
| 1. Keausan Mata Sayat Pahat..... | 41 |
| 2. Analisis Taguchi Pada Keausan Pahat (Vb) | 46 |
| 3. ANOVA Pada Keausan Pahat..... | 51 |
| 4. Keausan Optimum..... | 53 |
| 5. Distribusi Panas Pada Pemesinan | 54 |
| 6. Analisis Taguchi Pada Suhu Pemotongan | 65 |

V. SIMPULAN DAN SARAN

| | |
|------------------|----|
| A. Simpulan..... | 71 |
| B. Saran..... | 72 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1. Tabel Kecepatan Potong Untuk Beberapa Jenis Bahan | 14 |
| Tabel 2.2. Komposisi Kimia Magnesium | 17 |
| Tabel 2.3. Karakteristik Magnesium..... | 18 |
| Tabel 3.1. Karakteristik fisik dan <i>thermal</i> paduan magnesium | 26 |
| Tabel 3.2. Parameter Pengujian | 35 |
| Tabel 3.3. Taguchi L9 (3 ⁴)..... | 37 |
| Tabel 3.4. Variabel Bebas dan Pengaturan Level | 38 |
| Tabel 4.1. Data Pengujian | 41 |
| Tabel 4.2. <i>Respons Table for SN Ratios</i> untuk Keausan..... | 47 |
| Tabel 4.3. <i>Respons Table for Means</i> untuk Keausan..... | 49 |
| Tabel 4.4. <i>Analysis Of Variance</i> Keausan Pahat (Vb) | 51 |
| Tabel 4.5. Respon Optimasi Keausan Pahat | 53 |
| Tabel 4.6. <i>Respons Table for SN ratios</i> untuk Suhu Pemotongan | 65 |
| Tabel 4.7. <i>Respons Table for Means</i> untuk Suhu Pemotongan..... | 68 |
| Tabel 4.8. Level Faktor untuk Pemesinan Optimum | 70 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. Mesin Frais | 7 |
| Gambar 2.2. Proses Kerja <i>Milling</i> | 11 |
| Gambar 2.3. Magnesium | 14 |
| Gambar 2.4. Bentuk Aus Sesuai Standar ISO 3685-1977 | 19 |
| Gambar 2.5. Pengukuran Keausan Pahat | 20 |
| Gambar 3.1. Mesin Frais/ <i>Milling</i> | 27 |
| Gambar 3.2. Pisau <i>Milling Endmill HSS</i> | 29 |
| Gambar 3.3. Kamera Thermal Digital FLIR C2 | 29 |
| Gambar 3.4. Mikroskop USB | 30 |
| Gambar 3.5. Jangka Sorong | 30 |
| Gambar 3.6. Penentuan <i>Orthogonal Array</i> | 32 |
| Gambar 3.7. Pemantauan Distribusi Panas pada Proses Pemotongan | 35 |
| Gambar 3.8. Pengukuran Keausan Pahat | 36 |
| Gambar 4.1. Pengukuran Aus Mata Pahat <i>Endmill</i> 6 mm | 42 |
| Gambar 4.2. Pengukuran Aus Mata Pahat <i>Endmill</i> 8 mm | 44 |
| Gambar 4.3. Pengukuran Aus Mata Pahat <i>Endmill</i> 10 mm | 45 |
| Gambar 4.4. Grafik <i>Main Effects Plot for S/N Ratios</i> Keausan | 47 |
| Gambar 4.5. Grafik <i>Main Effects Plot for Means</i> Keausan | 50 |
| Gambar 4.6. Grafik Nilai Keausan Pahat | 53 |
| Gambar 4.7. Plot Titik Optimum | 54 |
| Gambar 4.8. Pemantauan Distribusi Suhu Run Order 1 | 56 |
| Gambar 4.9. Pemantauan Distribusi Suhu Run Order 2 | 57 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.10. Pemantauan Distribusi Suhu Run Order 3 | 58 |
| Gambar 4.11. Pemantauan Distribusi Suhu Run Order 4 | 59 |
| Gambar 4.12. Pemantauan Distribusi Suhu Run Order 5 | 60 |
| Gambar 4.13. Pemantauan Distribusi Suhu Run Order 6 | 61 |
| Gambar 4.14. Pemantauan Distribusi Suhu Run Order 7 | 62 |
| Gambar 4.15. Pemantauan Distribusi Suhu Run Order 8 | 63 |
| Gambar 4.16. Pemantauan Distribusi Suhu Run Order 9 | 64 |
| Gambar 4.17. Grafik <i>Main Effects Plot for S/N Ratios</i> Suhu..... | 66 |
| Gambar 4.18. Grafik <i>Main Effects Plot for Means</i> Suhu..... | 69 |

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman pertumbuhan produksi industri manufaktur semakin tinggi dan meningkat. Peningkatan tersebut tentu berbanding lurus dengan permintaan konsumen akan produk-produk jadi. Hal ini tentunya menuntut sebuah perusahaan manufaktur untuk dapat memproduksi barang dengan jumlah, variasi dan kualitas yang diinginkan oleh konsumen. Salah satunya adalah dengan melakukan proses produksi sesering mungkin.

Proses pembuatan suatu produk mekanik yang ada di dunia memerlukan proses pemesinan. Produk-produk mekanik tersebut diantaranya banyak yang menggunakan bahan magnesium. Alasan utama menggunakan magnesium yaitu kepadatan yang rendah dengan bobot yang ringan. Paduan berbasis magnesium kepadatannya sepertiga paduan berbasis titanium dan hanya seperlima baja tahan karat (*stainless steel*) dan paduan krom-kobalt, sehingga magnesium memiliki potensi sebagai implan bedah ringan (Zulhendri, 2007). Oleh karena itu banyak sekali dilakukan pengujian-pengujian terhadap magnesium dengan metode yang beragam, salah satunya yaitu pengujian yang dilakukan pada pemesinan *milling*.. Seperti halnya yang lakukan oleh Seal (2011), yaitu melakukan penelitian mengenai pemesinan magnesium untuk aplikasi kedokteran (bedah implan). Dalam pemesinan magnesium terdapat resiko kebakaran dan pembentukan *Built-*

up Edge (BUE). Magnesium terbakar jika dipanaskan sampai suhu lelehnya. Api sangat mungkin terjadi jika geram tipis atau halus dengan perbandingan luas permukaan terhadap volume yang tinggi dan dibiarkan menumpuk. Sumber penyalaan mungkin juga terjadi karena pemanasan akibat gesekan yang disebabkan oleh pahat tumpul, rusak, diasah secara salah atau dibiarkan berhenti sebentar pada akhir pemotongan terutama pada proses pemesinan kering. Pemesinan kering terhadap paduan magnesium dengan kecepatan tinggi besar kemungkinan terjadinya resiko kebakaran serta menimbulkan masalah pada aus pahat dan panjang umur pahat potong. Kenaikan kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman potong akan menaikkan suhu pemesinan. Semakin tinggi suhu pemotongan itu pula akan memperpendek umur pahat dan pahat menjadi cepat aus. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui distribusi panas pada pemesinan magnesium kecepatan tinggi dalam keadaan tanpa pendingin. Pemakaian termograf inframerah dapat menangkap citra suhu pahat potong dan geram magnesium. Visualisasi suhu dalam bentuk warna menunjukkan distribusi suhu sesuai dengan tinggi rendahnya suhu (Seal, 2011).

Pemesinan magnesium menggunakan proses *milling* sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Yang pertama penelitian yang dilakukan oleh Buldum, dkk (2011) yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana kemampuan pemesinan (*machine ability*) dari magnesium dalam proses pemesinan, yaitu pembubutan, frais dan pengeboran. Dalam penelitiannya Buldum, dkk merekomendasikan penggunaan kecepatan potong yang lebih rendah jika digunakan pada pemotongan magnesium. Peningkatan kecepatan potong akan mengakibatkan suhu permukaan benda kerja meningkat. Semakin rendah kecepatan potong maka geram akan semakin besar dan temperatur permukaan

benda kerja juga akan rendah. Penelitian lain seperti yang dilakukan Setiawan (2014), menyatakan bahwa semakin besar penambahan kecepatan pemotongan dan gerak pemakanan berakibat pula terhadap kenaikan temperatur pemotongan.

Dalam melakukan proses pemesinan *milling* terhadap magnesium, waktu yang dibutuhkan untuk membuat komponen harus sesingkat mungkin agar dapat mencapai kapasitas produksi yang tinggi. Akan tetapi pada saat proses pengerjaan *milling* ini terdapat masalah yang sering terjadi yaitu pada keausan mata pisau atau pahat *milling* tersebut. Penelitian Sudianto (2015), menyebutkan bahwa ketiga parameter pemotongan yaitu kecepatan potong, gerak makan, dan diameter pahat berpengaruh terhadap laju keausan pahat, tetapi parameter yang paling berpengaruh adalah kecepatan potong (v). Faktor kecepatan potong yang tinggi dapat mengakibatkan laju keausan pahat yang tinggi. Beberapa penelitian tentang *milling* dengan pahat *endmill* sebelumnya, saat pengoperasian *milling* suhu pemotongannya tidak dipantau sehingga tidak diketahui nilai suhu tertinggi pada saat pemotongan hingga pahat mencapai titik aus. Untuk itu sangat diperlukan cara penanggulangan pada masalah tersebut. Dengan adanya penelitian pada keausan pahat ini diharapkan agar dapat menangani masalah yang sering terjadi pada proses *milling* tersebut guna mengurangi biaya produksi dan agar kualitas pengefraisan lebih baik.

Oleh sebab itu pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan pengujian pada proses pemesinan menggunakan mesin *milling* terhadap material magnesium AZ31 dengan melakukan pemantauan aus pahat dan distribusi panas yang dilakukan pada kondisi pemesinan kering (*dry machining*). Ada 4 faktor yang divariasikan pada penelitian ini yaitu, kecepatan potong, kecepatan pemakanan,

kedalaman pemakanan, dan diameter pahat. Pengukuran keausan pahat *endmill* menggunakan mikroskop USB, sedangkan pemantauan distribusi suhu menggunakan kamera termografi *infrared* dan optimasi analisis keausan pahat menggunakan metode Taguchi.

B. Tujuan

Adapun tujuan dari dilakukanya penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis tingkat keausan pahat pada saat proses *milling* magnesium.
2. Menganalisis suhu pemotongan yang terjadi pada pemesinan *milling* magnesium.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin frais/*milling* konvensional dengan material magnesium AZ31.
2. Rancangan dan analisis eksperimen faktor pada pemesinan *milling* menggunakan metode Taguchi L9 dengan 3 level untuk setiap faktor.
3. Pemantauan suhu dilihat dengan menggunakan kamera termografi.

D. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini disusun menjadi lima bab. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

1. Bab I adalah pendahuluan yang berisikan uraian latar belakang penelitian, tujuan penelitian tugas akhir, batasan masalah dan sistematika penulisan.

2. Bab II adalah tinjauan pustaka yang berisikan uraian tinjauan pustaka yang dijadikan sebagai landasan teori untuk mendukung penelitian ini, seperti definisi tentang mesin miling, pemesinan miling, parameter pemesinan miling, karakteristik magnesium, dan teori yang membahas tentang Metode Taguchi.
3. Bab III adalah metodologi yang berisikan uraian metode tentang langkah-langkah, alat dan bahan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang diharapkan dalam penelitian ini.
4. Bab IV adalah hasil dan analisa yang berisikan uraian hasil dan membahas yang diperoleh dari penelitian ini.
5. Bab V adalah simpulan dan saran yang berisikan uraian kesimpulan dari hasil dan pembahasan sekaligus memberikan saran yang dapat menyempurnakan penelitian ini.
6. Daftar Pustaka adalah berisikan literatur-literatur atau referensi yang diperoleh penulis untuk mendukung penyusunan laporan penelitian ini. Serta Lampiran yang berisikan beberapa hal yang mendukung penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. 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 (*sloting*), proses menggergaji (*sawing*), dan proses pemotongan roda gigi (*gear cutting*) (Widarto, 2008).

B. Mesin Frais/*Milling*

Mesin frais/*milling* merupakan salah satu mesin perkakas yang biasa digunakan untuk pengerjaan proses permesinan. Secara umum, mesin frais dapat didefinisikan sebagai mesin perkakas yang berfungsi untuk pengerjaan datar atau perataan permukaan suatu benda kerja. (Cristian, 2011)



Gambar 2.1. Mesin *Milling*

Mesin *Milling* ada yang dikendalikan secara mekanis atau konvensional manual (seperti pada gambar 2.1) dan ada yang dengan bantuan CNC. Mesin konvensional manual posisi spindelnya ada dua macam yaitu horizontal dan vertical. Sedangkan Mesin *milling* dengan kendali CNC hampir semuanya adalah mesin *milling* vertical. (Widarto, 2008)

1. Bagian-bagian Utama Mesin *Milling*/Frais

Berikut ini adalah bagian utama yang terdapat di mesin frais:

1. Spindel utama

Spindel merupakan bagian yang terpenting dari mesin *milling*. Spindel digunakan untuk menahan, dan mendorong pahat atau benda kerja. Spindel ini memiliki kekakuan, akurasi rotasi, dan ketahanan aus

tingkat tinggi. Pada spindel, kekakuan dan akurasi merupakan syarat utama. Spindel biasanya dibuat berongga dan dilengkapi dengan internal lancip di ujung untuk mengakomodasi pusat dari alat pemotong. Baja karbon sedang mengandung 0,5% C digunakan untuk membuat spindel di mana pengerasan diikuti dengan tempering untuk menghasilkan kekerasan permukaan sekitar 40 *Rockwell* (HRC). (Youssef & El-Hofy, 2008)

2. Meja / *table*

Meja melekat di bagian atas *knee*. Meja dapat dipindahkan dari kiri ke kanan, maju dan mundur. Pada mesin frais universal, meja juga dapat berputar 45⁰ ke kiri atau kanan. Meja digunakan untuk memegang benda kerja saat sedang dilakukan proses pemesinan. Benda kerja dapat dijepit langsung ke permukaan meja atau dengan menggunakan perangkat lain yang telah melekat pada meja. Pada permukaan meja ada *tee-slot* yang digunakan untuk menjepit perangkat penggenggam benda kerja, seperti *fixtures*, kepala pembagi dll. Meja terbuat dari besi cor.

3. Motor *drive*

Merupakan bagian mesin yang berfungsi menggerakkan bagian-bagian mesin seperti spindel utama, meja (*feeding*) dan pendingin (*cooling*). Pada mesin *milling* sedikitnya terdapat 3 buah motor :

- a. Motor spindle utama
- b. Motor gerakan pemakanan (*feeding*)
- c. Motor pendingin (*cooling*)

Sebagian besar motor mesin perkakas beroperasi pada tiga fase standar 50 Hz, 400/440 V suplai ac. Pemilihan motor untuk mesin perkakas tergantung pada hal berikut:

- a. Motor listrik
- b. *Power supply* yang digunakan (ac / dc)
- c. Karakteristik kelistrikan motor
- d. Fitur mekanis yang meliputi pemasangan, transmisi drive, tingkat kebisingan, dan jenis pendinginan
- e. Kapasitas *Overload*

Motor induksi *squirrel-cage* paling populer karena sederhana dan ketahanan dengan berbagai karakteristik operasi, dan murah. motor *alternating current (ac)* dapat memberikan variabel yang tidak terbatas atas berbagai kecepatan, Namun, biaya mereka tinggi. motor *shunt Direct current (dc)* biasanya digunakan untuk *drive* utama. (Youssef & El-Hofy, 2008)

4. Tranmisi

Merupakan bagian mesin yang menghubungkan motor penggerak dengan yang digerakkan. Berdasarkan bagian yang digerakkan dibedakan menjadi 2 macam yaitu :

- a. Transmisi *spindle* utama
- b. Transmisi *feeding*

Berdasarkan sistem tranmisinya dibedakan menjadi 2 macam yaitu :

- a. Transmisi *gear box*
- b. Transmisi *v-belt*

5. *Knee*

Knee adalah unit yang terpasang di depan *Column* dan dirancang untuk dapat dipindahkan ke atas atau bawah dengan cara digeser melalui sebuah sekrup. Merupakan bagian mesin untuk menopang / menahan meja mesin. *Knee* juga berfungsi untuk menutup *gear* dan pada bagian ini terdapat transmisi gerakan pemakanan (*feeding*).

6. *Column* / tiang

Merupakan badan dari mesin. Tempat menempelnya bagian – bagian mesin yang lain. *Column* ini membentuk bagian utama dari mesin frais, memberikan dukungan untuk bagian lain seperti *knee*, *sadle* dan meja. Badan dibuat *column* berongga dengan ruang bagian dalam mesin digunakan sebagai rumah motor penggerak yang memasok daya dan deretan *gear* yang menyediakan perubahan kecepatan dan beberapa gerakan spindel .

7. *Base* / dasar

Merupakan bagian bawah dari mesin milling. Bagian yang menopang badan / tiang. Tempat cairan pendingin.

8. *Control*

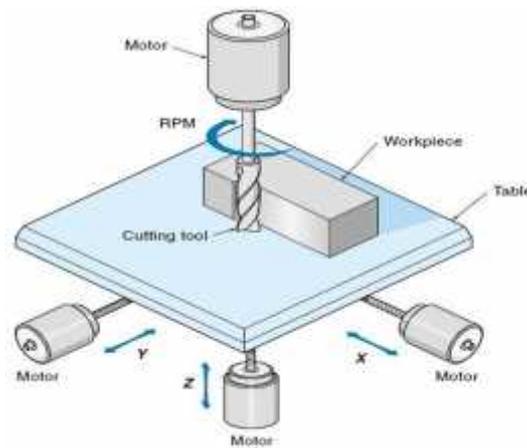
Merupakan pengatur dari bagian – bagian mesin yang bergerak.

Ada 2 sistem kontrol yaitu :

- a. Mekanik
- b. Elektrik

2. Proses Pemesinan *Milling*

Proses pemesinan *milling* adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung.



Gambar 2.2. Proses Kerja *Milling* (Sumber: Fajar,2015)

3. Parameter Pemesinan Frais

Ada beberapa parameter utama yang perlu diperhatikan pada proses pemesinan *milling*. Dengan menggunakan persamaan berikut kita dapat menentukan beberapa parameter utama yaitu:

a. Diameter Pahat

Pada proses *milling* ada berbagai macam jenis dan ukuran pisau potong, ukuran atau diameter tersebut ditentukan sesuai dengan kebutuhan pemakaian sebelum melakukan proses pengefraisan. Pada jenis pisau *endmill* sendiri memiliki diameter yang beragam, maka sebelumnya harus menentukan diameter pisau yang akan digunakan.

b. Kecepatan potong

Kecepatan potong untuk pemesinan frais dapat didefinisikan sebagai kerja rata-rata pada sebuah titik benda kerja 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 pahat potong dikalikan dengan kecepatan putar. Kecepatan potong biasanya dinyatakan dalam unit satuan m/menit (Widarto, 2008). Kecepatan potong ditentukan oleh diameter pahat dan putaran poros utama.

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

Dimana:

V_c = Kecepatan Potong (m/menit)

d = Diameter Pahat

n = Putaran poros utama (rpm)

c. Kecepatan Pemakanan

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).

$$F = f \times n \quad ; \text{ mm/menit} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

f = gerak makan, mm/put

n = putaran poros utama, putaran/menit

d. Kedalaman Pemakanan

Kedalaman potong didefinisikan sebagai kedalaman geram yang diambil oleh pahat potong. Dalam pengefraisan, kedalaman potong maksimum tergantung pada kondisi dari mesin, tipe pahat potong yang digunakan, dan ketermesinan dari benda kerja (Rochim,1993).

Rumus kedalaman potong adalah:

$$a = l_0 - l_m \quad ; \text{ mm} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

l_0 = Tebal awal, mm

l_m = Tebal akhir, mm

Tabel 2.1 Tabel Kecepatan Potong Untuk Beberapa Jenis Bahan

| Bahan | Cutter HSS | | Cutter Karbida | |
|----------------------|------------|-------|----------------|---------|
| | Halus | Kasar | Halus | Kasar |
| Baja Perkakas | 75-100 | 25-45 | 185-230 | 110-140 |
| Baja Karbon Rendah | 70-90 | 25-40 | 170-215 | 90-120 |
| Baja Karbon Menengah | 60-85 | 20-40 | 140-185 | 75-110 |
| Besi Cor Kelabu | 40-45 | 25-30 | 110-140 | 60-75 |
| Kuningan | 85-110 | 45-75 | 185-215 | 120-150 |
| Alumunium | 70-110 | 30-40 | 140-215 | 60-90 |

Sumber : Fadly Bachtiar, 2011

C. Magnesium

Magnesium adalah logam berwarna putih keperakan dan sangat ringan. magnesium memiliki titik didid 1107°C dan titik lebur 650°C. Magnesium dikenal untuk waktu lama sebagai logam ringan struktural dalam industri, karena bobotnya yang ringan serta kemampuannya membentuk paduan logam kuat. Seiring perkembangan zaman material magnesium banyak digunakan untuk keperluan dibidang rekayasa dan pada proses pemesinan. Magnesium merupakan unsur kimia yang memiliki simbol Mg dengan nomor atom 12 serta berat atom 24,31 gr/mol. Magnesium merupakan salah satu unsur yang paling luas penyebarannya dan penyusun 2% dari kerak bumi serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut.



Gambar 2.3. Magnesium

Magnesium merupakan logam yang memiliki sifat yang dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan ekstruksi menjadi batangan dengan bermacam – macam penampang. Dari segi resistansi korosi, magnesium memiliki tingkat ketahanan korosi yang tinggi, sehingga magnesium dapat digunakan untuk pelindung pipa yang berada dalam tanah yang mudah mengalami korosi. Sifat – sifat yang kurang pada magnesium murni diperbaiki dengan memberi paduan unsur – unsur tertentu. Hal ini akan meningkatkan daya guna dari magnesium

sebagai material dalam pembuatan suatu produk. Penggunaan paduan magnesium dalam kehidupan sehari – hari cukup luas mulai dari sebagai pelapis tungku hingga konstruksi pesawat terbang (Padmanaban, 2011).

1. Sifat Kimia Magnesium

1. Magnesium oksida merupakan oksida basa sederhana.

2. Reaksi dengan air :



3. Reaksi dengan udara :

Menghasilkan MO dan M_3N_2 jika dipanaskan.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Magnesium

| Unsur | Mg | Si | Cu | Al | Mn | Cl | Na | Other Impurities | Total Impurities |
|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|------------------|------------------|
| % | 99.94 | 0.0017 | 0.003 | 0.003 | 0.0017 | 0.001 | 0.003 | 0.016 | 0.06 |

Sumber : Andriansyah, 2013

2. Karakteristik Magnesium

Tabel 2.3 Karakteristik Magnesium

| Sifat | Keterangan |
|----------------------|--------------------------------------|
| Konfigurasi Elektron | $[\text{Ne}]3s^2$ |
| Massa Atom | 24,3050 gr/mol |
| Densitas | $1,74 \text{ gr/cm}^3(20^0\text{C})$ |
| Titik Lebur | $650^0\text{C} (1193^0\text{F})$ |
| Titik Didih | $1107^0\text{C} (2024^0\text{F})$ |
| Kalor Peleburan | 8,48 KJ/mol |

| | |
|---------------------|---|
| Kalor Penguapan | 128 KJ/mol |
| Kapasitas Kalor | 24,869 J/mol K (pada 25 ⁰ C) |
| Elektronegativitas | 1,31 (skala pauling) |
| Jari – jari Atom | 150 pm |
| Kapasitas Panas | 1,01 J/Gk |
| Konduktivitas Kalor | 156 W/mK (pada 27 ⁰ C) |
| Daya Hambat Listrik | 4,46 mikrom |
| Modulus Young | 45 Gpa |
| Modulus Elastisitas | 6,25 10 ⁶ psi |
| Modulus Geser | 17 Gpa |
| Kekuatan Tarik | 10 N/mm ² (magnesium murni) |
| Kekerasan | 33 Brinel (500 kg.Load, 10 mm. Ball) |

Sumber : Andriansyah, 2013

3. Pemesinan Magnesium

Ada dua hal penting dalam pemesinan magnesium yaitu resiko kebakaran dan pembentukan *Built-up Edge* (BUE). Magnesium 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 terjadi karena pemanasan akibat gesekan yang disebabkan oleh pahat tumpul, rusak, diasah secara salah atau dibiarkan berhenti sebentar pada akhir pemotongan. Untuk meminimumkan resiko kebakaran, hal-hal berikut harus diperhatikan:

- a. Pahat yang tajam dengan sudut relief sebesar mungkin.
- b. Secepatnya pahat dijauhkan dari benda kerja ketika pemotongan berakhir.
- c. Geram-geram harus sering dikumpulkan dan dibuang.

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 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 (Dow Chemical, 1982).

D. Pemesinan Kering (*Dry Machining*)

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):

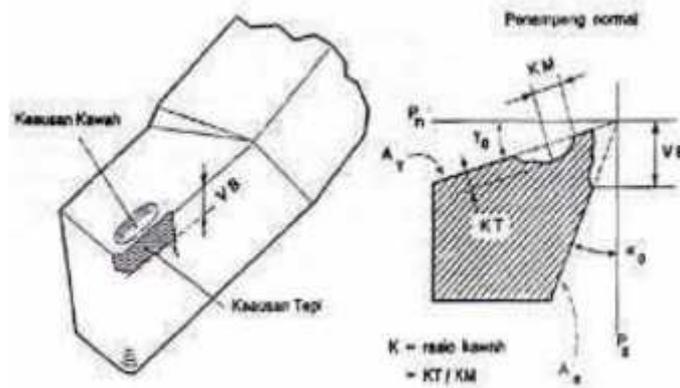
- a. Mengurangi resiko kesehatan yang mungkin terjadi terhadap operator seperti keracunan, iritasi kulit, gangguan pernafasan dan infeksi mikroba.
- b. Mengurangi biaya pemesinan. Sebuah kajian yang dilakukan sebuah perusahaan otomotif menunjukkan bahwa cairan pendingin memberikan kontribusi 16% dari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

Alasanya 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).

E. Keausan

Keausan adalah sebuah fenomena yang sering terjadi pada proses pemesinan. Kompleksitas proses keausan dapat dibaca dengan mengetahui berbagai variabel yang terlibat yaitu kekasaran, ketangguhan, kelenturan modulus elastisitas, kekuatan tarik, kelelahan, dan temperatur dari permukaan yang aus. Keausan juga berpengaruh pada hasil pengerjaan pemesinan, karena apabila terjadi fenomena keausan tersebut maka akan mengakibatkan hasil pengerjaan pemesinan yang kurang baik.

Keausan (*wear*) adalah hilangnya materi dari permukaan benda padat sebagai akibat dari gerakan mekanik. Keausan umumnya dianalogikan sebagai hilangnya materi sebagai akibat interaksi mekanik dua permukaan yang bergerak *slidding* dan dibebani. Ini merupakan fenomena normal yang terjadi jika dua permukaan saling bergesekan, maka akan ada keausan atau perpindahan materi yang terjadi antara dua benda yang bergesekan (Wijayanto, 2012).



Gambar 2.4. Bentuk aus sesuai standar ISO 3685-1977

Sumber : Kalpakjian, S. *Manufacturing Engineering and Technology*, 3rd Ed. Addison – Wesley Publishing Company, 1995.

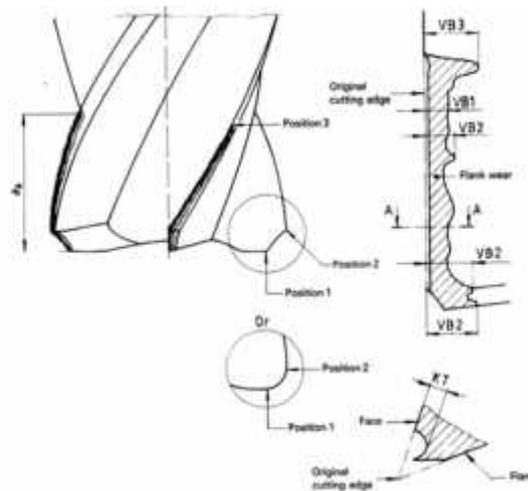
F. Pengukuran Keausan Pahat End Milling (ISO 8868-2)

Bagian mengenai ISO 8688 ini telah dikembangkan atas prakarsa Lembaga Internasional untuk Riset Teknik Produksi (CIRP) dan berlaku untuk operasi *end milling* dengan pahat baja berkecepatan tinggi (*high speed steel*). Rekomendasi yang terkandung dalam ISO 8688 ini berlaku untuk laboratorium dan pabrik yang bertujuan untuk meningkatkan *reliability* dan *comparability* dari hasil pengujian ketika membuat perbandingan dengan alat pemotong, bahan kerja, parameter pemotongan atau cairan pemotongan. Selain itu juga agar dapat digunakan untuk membantu dalam menetapkan data pemotongan yang direkomendasikan, atau untuk menentukan faktor pembatas dan karakteristik pemesinan seperti gaya potong, karakteristik permukaan mesin, bentuk chip, dan lain-lain. Kondisi pengujian yang direkomendasikan dalam ISO 8688 ini telah dirancang untuk pengujian *end milling* menggunakan baja dan benda kerja dari besi cor berstruktur mikro normal. Namun dengan modifikasi yang telah dilakukan, ISO 8688 ini dapat diterapkan untuk pengujian end milling pada benda kerja lain atau dengan pahat potong yang dikembangkan untuk pengaplikasian yang lebih spesifik.

1. Kriteria Umur Pahat yang Direkomendasikan

Kriteria usia pemakaian pahat yang dianjurkan dapat didefinisikan sebagai nilai numerik yang ditentukan dari jenis keausan pahat tertentu. Lebar tertentu dari daerah aus (V_b) adalah kriteria yang paling umum digunakan. Titik akhir yang direkomendasikan untuk umur pahat adalah sebagai berikut:

- Uniform wear: 0,3 mm rata-rata untuk semua gigi.
- Localized wear: maksimal 0,5 mm pada setiap gigi.



Gambar 2.5 Pengukuran Keausan Pahat

2. Fenomena Kerusakan Pahat yang Digunakan Sebagai Kriteria Umur Pahat

Untuk dapat menentukan masa pakai pahat dan membandingkan pengaruh berbagai parameter pengujian, perlu untuk memilih satu jenis kerusakan yang ditentukan pada bagian pemotong sebagai kriteria. Kriteria *tool-life* dapat berupa nilai numerik yang ditentukan sebelumnya dari semua jenis kerusakan alat yang dapat diukur. Di mana lebih dari satu bentuk deteriorasi menjadi terukur, masing-masing harus dicatat dan

ketika salah satu dari batas fenomena deteriorasi telah tercapai, maka akhir dari umur pahat telah tercapai.

G. Suhu Pemesinan

Dalam proses pemesinan, suhu dalam pemotongan logam sangatlah penting. Contohnya, suhu pada bidang geser sangat penting pengaruhnya terhadap tegangan alir dan karena itu memiliki pengaruh besar terhadap suhu pada muka pahat dan permukaan sayatan. Suhu pada muka alat juga memainkan peran utama relatif terhadap ukuran dan stabilitas *Built-up Edge* (BUE) tersebut. Suhu lingkungan kerja yang mendekati zona pemotongan juga penting karena secara langsung dapat mempengaruhi suhu pada bidang geser, muka pahat dan permukaan sayatan. Energi yang digunakan dalam pemesinan terkonsentrasi pada suatu kawasan yang sangat kecil. Hanya sebagian dari energi ini yang tersimpan dalam benda kerja dan pahat dalam bentuk kerapatan dislokasi yang meningkat, sedangkan sebagian besar energi lainnya diubah menjadi panas. Pemesinan pada dasarnya memanfaatkan energi dari gerakan mekanik yang diubah menjadi energi panas yang digunakan untuk memotong benda kerja.

Tansfer energi panas yang dibutuhkan untuk memotong benda kerja disesuaikan agar dapat terjadi pemotongan dengan memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari pergerakan makan pahat. Karena kawasan pemotongan terus bergerak pada benda kerja maka tingkat pemanasan di depan alat menjadi kecil dan setidaknya pada kecepatan potong yang tinggi sebagian besar panas (lebih dari 80%) terbawa oleh geram (Shaw, 1984).

H. *Thermography*

Temperatur merupakan variabel yang paling mudah dipantau. Hampir semua fenomena alam akan mengakibatkan terjadinya perubahan temperatur. Panas tersebut secara harfiah tidak dapat kita saksikan langsung dengan mata kita melainkan hanya dapat dirasakan saja keberadaannya. Untuk dapat melihat keadaan panas pada suatu benda, kita memerlukan peralatan tambahan yang dapat menangkap sinyal panas yang dipancarkan (Aulia, 2008).

Pengukuran temperatur dapat dilakukan baik secara kontak maupun non-kontak. Sebagian besar pengukuran dengan metode kontak dilakukan dengan menggunakan termometer dan termokopel. Sedangkan pengukuran non-kontak menggunakan sensor infra merah yang semakin banyak dikembangkan dan mulai banyak digunakan. Pengukuran non-kontak didasarkan pada teori Plank, bahwa semua benda yang bertemperatur di atas 0 K memancarkan sinar infra merah. Besarnya intensitas terutama bergantung pada temperatur material. Namun demikian lingkungan sekitar, sifat-sifat permukaan bahan, jenis bahan dan lain-lain turut memberikan kontribusi pada intensitas pancaran infra merah. Parameter-parameter tersebut bersifat *noise*, sehingga harus turut diperhatikan pada waktu menganalisis pola distribusi temperatur. Karena *noise* tersebut sangat sulit untuk dikoreksi secara numerik, pola distribusi temperatur yang dihasilkan lebih bersifat kualitatif. Dibanding model kontak, pengukuran nonkontak mempunyai keunggulan-keunggulan berupa tidak mengganggu pengoperasian, memonitor dari jarak jauh, akuisisi lebih cepat dan menghasilkan distribusi atau pola panas pada permukaan sebuah benda. Sekarang ini, telah tersedia kamera yang dapat merekam pancaran *infra red* dari suatu permukaan benda. Dengan demikian

distribusi atau pola temperatur pada suatu permukaan benda dapat dimonitor (Satmoko,2007).

Dengan mendeteksi anomali *thermal* (yaitu daerah yang lebih panas atau dingin daripada daerah lainnya) seorang teknisi yang berpengalaman dapat mencari dan menentukan masalah yang terjadi pada alat tersebut. teknologi infra merah didasarkan pada fakta bahwa semua benda memiliki suhu diatas nol dan memancarkan energi atau radiasi. Radiasi infra merah adalah panjang gelombang terpendek dari semua pancaran energi radiasi dan tidak terlihat tanpa instrument khusus. Intensitas radiasi infra merah dari obyek merupakan fungsi dari suhu permukaannya, namun pengukuran suhu menggunakan metode inframerah rumit karena tiga sumber energi panas dapat dideteksi dari objek ataupun energi tersebut adalah:

1. Energi yang dipancarkan dari obyek itu sendiri.
2. Energi yang dipantulkan dari objek dan
3. Energi ditransmisikan oleh objek

Hanya energi yang dipancarkan yang penting dalam program pemeliharaan prediktif. pemantulan dan energi yang ditransmisikan yang akan mendistorsi data mentah inframerah. Oleh karena itu pemantulan dan energi yang ditransmisikan harus disaring dari data yang diperoleh sebelum analisis diselesaikan (*Keith mabley,2002*).

I. Desain Eksperimen

Suatu desain eksperimen adalah evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata

atau variabilitas hasil gabungan dan karakteristik produk atau proses tertentu. Untuk mencapai hal ini secara efektif dan sesuai secara statistik, level dari faktor kontrol dibuat secara bervariasi, hasil dari kombinasi pengujian tertentu diamati dan kumpulan hasil selengkapnya dianalisa untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh dan tingkatan yang baik, dan apakah peningkatan atau pengurangan tingkatan-tingkatan tersebut akan menghasilkan perbaikan lebih lanjut. (Soejanto, 2009)

1. Tujuan Eksperimen

Tujuan eksperimen adalah memahami bagaimana mengurangi dan mengendalikan variasi suatu produk atau proses, berikutnya harus diambil keputusan berkaitan dengan parameter-parameter yang mempengaruhi performansi suatu produk atau proses. Tujuan pengembangan suatu produk atau proses adalah untuk memperbaiki karakteristik performansi dari produk relatif terhadap kebutuhan dan harapan pelanggan. Dengan melakukan penyesuaian terhadap rata-rata dan mengurangi variasi secara tepat, maka kerugian-kerugian atau kehilangan-kehilangan produk atau proses akan dapat diminimumkan.

2. Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran itu dengan menjadikan produk atau proses "tidak sensitif" terhadap berbagai faktor seperti misalnya material,

perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai perancangan kokoh (*robust design*). (Soejanto, 2009)

Metode Taguchi sering digunakan pada pengujian-pengujian terhadap pemesinan. Penerapan metode Taguchi pada pemesinan *milling* diharapkan dapat memperbaiki kualitas produksi suatu proses pemesinan. Dengan melakukan penerapan metode Taguchi ini juga biasanya digunakan untuk mencari nilai optimum suatu pemesinan dengan menganalisa berbagai parameter yang dianggap baik terhadap kualitas pemesinan seperti pemesinan *milling*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Alat Penelitian

Kegiatan ini dilakukan di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Benda Kerja

Benda kerja yang digunakan yaitu material magnesium berbentuk balok dengan lebar 50 mm panjang 100 mm dan tebal 50 mm. Benda kerja tersebut akan dilakukan pengefraisan pada bagian permukaan dengan kedalaman yang bervariasi. Dengan sifat-sifat fisik seperti yang terdapat pada Tabel 3.2

Tabel 3.1 Karakteristik fisik dan *thermal* paduan magnesium

| | |
|--|-----------------------|
| Density [kg/mm ³] | $1,77 \times 10^{-6}$ |
| 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] | 2.48×10^{-5} |

(Sumber : Jawahir, 2011; Doni 2015)

2. Mesin Frais

Mesin frais (*milling machine*) adalah mesin perkakas yang dalam proses kerja pemotongannya dengan menyayat atau memakan benda kerja menggunakan alat potong bermata banyak yang berputar (*multipoint cutter*). Pisau frais dipasang pada sumbu atau arbor mesin yang didukung dengan alat pendukung arbor. Pisau tersebut akan terus berputar apabila arbor mesin diputar oleh motor listrik, agar sesuai dengan kebutuhan, gerakan dan banyaknya putaran arbor dapat diatur oleh operator mesin frais (*Rasum, 2006*).



Gambar 3.1 Mesin Frais

Merk : *Milko*
Type : *Milko 12*
Buatan : *Spain*

SPESIFIKASI

Working Surface : *800 X 225*
T Slot (3) : *14mm*
Both Sides Swivel : *45°*

Traverses:

| | | |
|---------------------|---|--------------|
| <i>Longitudinal</i> | : | <i>525mm</i> |
| <i>Cross</i> | : | <i>230mm</i> |
| <i>Vertical</i> | : | <i>400mm</i> |

SPINDEL:

| | | |
|-------------------------|---|----------------------|
| <i>Standard Taper</i> | : | <i>ISO – 40</i> |
| <i>Number Of Speeds</i> | : | <i>12</i> |
| <i>Range</i> | : | <i>50 – 1700 Rpm</i> |

WORK FEED:

| | | |
|------------------------|---|------------------------|
| <i>Number Of Feeds</i> | : | <i>8</i> |
| <i>Longitudinal</i> | : | <i>18 – 550 mm/min</i> |

RAPID FEEDS:

| | | |
|---------------------|---|-------------------|
| <i>Longitudinal</i> | : | <i>800 mm/min</i> |
|---------------------|---|-------------------|

MOTORS:

| | | |
|----------------------|---|----------------|
| <i>Main Motor</i> | : | <i>1,5 kW</i> |
| <i>Feeds Motor</i> | : | <i>0,55 kW</i> |
| <i>Coolant Motor</i> | : | <i>0,07 kW</i> |

3. Pahat End Milling 2 Flute HSS (high speed steel)

Pisau *endmill* adalah mata pisau *milling* yang digunakan untuk memotong bahan di satu sisi, serta di ujungnya. Pisau *milling* umumnya digunakan untuk merujuk kepada pemotong dasar rata. Pisau *endmill* yang sering digunakan biasanya terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida, dan memiliki satu atau lebih alur/*flute*. Pahat jenis HSS merupakan salah satu pahat yang mempunyai kekerasan cukup tinggi. Pahat bubut *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). Pada penelitian ini pahat potong yang digunakan yaitu pahat jenis *endmill 2 flute* HSS dengan diameter 6 mm, 8 mm dan 10 mm.



Gambar 3.2 Pisau *Milling Endmill 2 Flute HSS*

4. Kamera Termografi

Thermography infrared adalah teknik yang menggunakan pencitraan inframerah dan kamera pengukuran untuk "melihat" dan "ukuran" energi infra merah tak terlihat yang dipancarkan dari suatu objek. Dalam lingkungan industri / komersial, berupaya meningkatkan efisiensi produksi, mengelola energi, meningkatkan kualitas produk, dan meningkatkan keselamatan pekerja, aplikasi baru untuk kamera inframerah terus muncul guna membantu agar produksi lebih efisien. Pada penelitian ini kamera termal yang digunakan untuk memantau suhu yang terjadi pada saat proses pemesinan yaitu menggunakan kamera termal digital FLIR C2.



Gambar 3.3 Kamera Termal Digital FLIR C2

6. Mikroskop USB

Untuk mendapatkan nilai keausan pahat harus dilakukan pengukuran terhadap pahat potong yang telah digunakan. Untuk mengetahui nilai keausan yang didapat dari hasil proses pemotongan magnesium AZ31, pada pengujian ini keausan pahat dilihat dengan menggunakan mikroskop USB yang dapat mencapai 40x-1000x zoom.



Gambar 3.4 Mikroskop USB

5. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter atau ukuran benda kerja sebelum dan setelah pemesinan agar mendapatkan hasil yang presisi.



Gambar 3.5 Jangka Sorong

B. Prosedur Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk memulai pengujian. Adapun persiapan bahan yang dilakukan sebelum memulai pengujian adalah :

1. Mempersiapkan alat-alat dan bahan yang dibutuhkan seperti, pisau *endmill*, alat ukur presisi, kamera termografi, benda kerja, kunci atau tuas handle mesin frais, dan lain lain.
2. Melakukan seting pada mesin frais seperti, pemasangan pisau, ragum, dan kunci-kunci lain.
3. Menentukan nilai parameter pemesinan yang akan dilakukan, adapun parameter yang digunakan yaitu:

- a. Kecepatan putaran spindel

Level 1 = 910 rpm

Level 2 = 1280 rpm

Level 3 = 1700 rpm

- b. Kecepatan Pemakanan

Level 1 = 75 mm/menit

Level 2 = 145 mm/menit

Level 3 = 220 mm/menit

- c. Kedalaman Pemakanan

Level 1 = 1 mm

Level 2 = 1.5 mm

Level 3 = 2 mm

d. Diameter Pahat

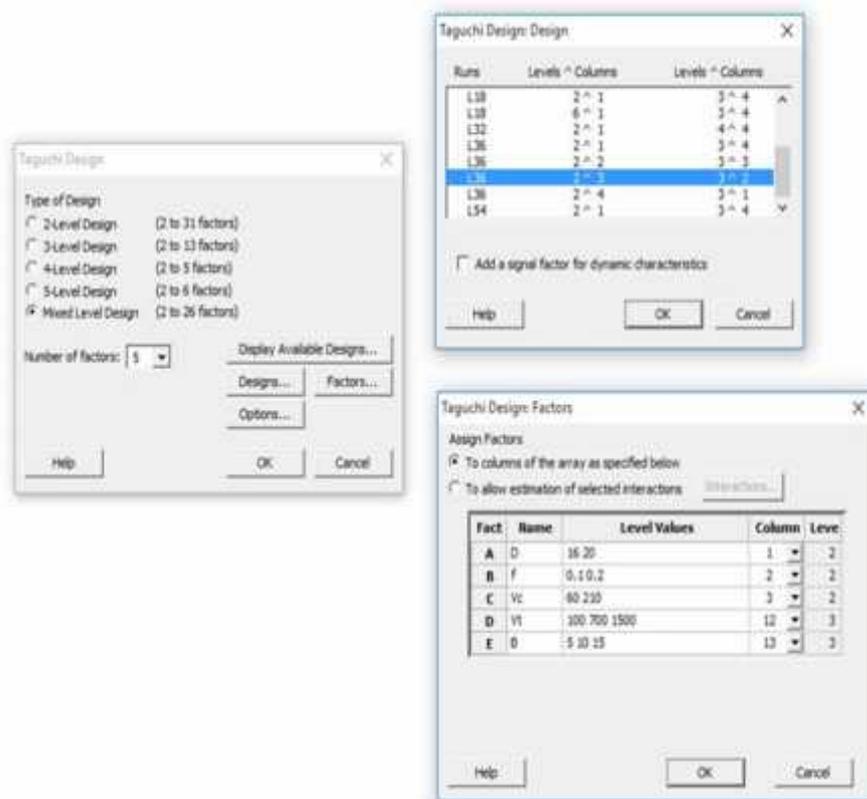
Pahat potong *end milling* HSS : $d = 6 \text{ mm}$

Pahat potong *end milling* HSS : $d = 8 \text{ mm}$

Pahat potong *end milling* HSS : $d = 10 \text{ mm}$

4. Membuat *Orthogonal Array* (OA)

Orthogonal Array atau rancangan percobaan dibuat dengan metode Taguchi L_9 menggunakan minitab dengan parameter pada tabel 3.5. Dalam penelitian ini *Orthogonal Array* yang dipilih adalah $L_9 3^4$ yaitu ada 9 kali percobaan untuk 4 faktor 3 level. Cara untuk membuat *Orthogonal Array* pada Minitab adalah Klik **Stat** **DOE** **Taguchi** **Create Taguchi Design**. Berikut adalah hasil *Orthogonal Array* L_9 pada Minitab.



| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|----|----------------|-----------------|-------------------|---------------------|----|
| | Diameter Pahat | Kedalaman Makan | Kecepatan Spindel | Kecepatan Pemakanan | |
| 1 | 6 | 1.0 | 910 | 75 | |
| 2 | 6 | 1.5 | 1280 | 145 | |
| 3 | 6 | 2.0 | 1700 | 220 | |
| 4 | 8 | 1.0 | 1280 | 220 | |
| 5 | 8 | 1.5 | 1700 | 75 | |
| 6 | 8 | 2.0 | 910 | 145 | |
| 7 | 10 | 1.0 | 1700 | 145 | |
| 8 | 10 | 1.5 | 910 | 220 | |
| 9 | 10 | 2.0 | 1280 | 75 | |
| 10 | | | | | |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | |

Gambar 3.6 Penentuan *Orthogonal Array*

4. Mengatur putaran mesin dan kecepatan pemakanan sesuai dengan variasi parameter yang digunakan berdasarkan run order.
5. Memasang benda kerja di atas meja frais dengan menggunakan ragum.
6. Menentukan kedalaman pemakanan pada permukaan benda kerja.
7. Memasang dan mengatur posisi kamera.
9. Memulai pengoperasian pemesinan frais terhadap material magnesium berdasarkan run order yang diperoleh dari table taguchi.
10. Melakukan pengujian hingga mendapatkan data.
11. Pemantauan disribusi panas dengan menggunakan Kamera termal FLIR C2.
12. Melakukan pengukuran terhadap mata pahat menggunakan mikroskop USB.
13. Mengolah data yang diperoleh.

C. Perhitungan Parameter

- a. Kecepatan potong

$$\text{Level 1 : } V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$= 22,86 \text{ mm/menit}$$

$$\begin{aligned}\text{Level 2 : } V_c &= \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \\ &= 32,15 \text{ mm/menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Level 3 : } V_c &= \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \\ &= 42,7 \text{ mm/menit}\end{aligned}$$

b. Kedalaman Pemakanan

$$\begin{aligned}\text{Level 1 : } a &= l_o - l_m \\ &= 50 \text{ mm} - 49 \text{ mm} \\ &= 1 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Level 2 : } a &= l_o - l_m \\ &= 50 \text{ mm} - 48,5 \text{ mm} \\ &= 1,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Level 3 : } a &= l_o - l_m \\ &= 50 \text{ mm} - 48 \text{ mm} \\ &= 2 \text{ mm}\end{aligned}$$

c. Diameter Pahat

Pahat *end milling* HSS diameter = 6 mm

Pahat *end milling* HSS diameter = 8 mm

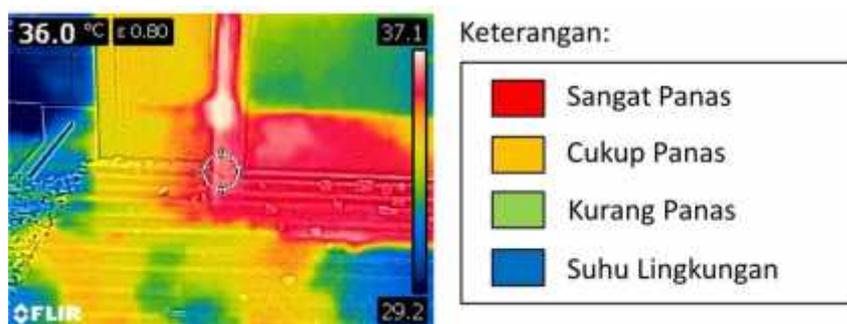
Pahat *end milling* HSS diameter = 10 mm

Tabel 3.2 Parameter Pengujian

| No | Kecepatan Putaran Spindel (n) | Kecepatan pemakanan (f) | Kedalaman Potong (a) | Diameter Pahat (d) |
|----|-------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| | (rpm) | (mm/menit) | (mm) | (mm) |
| 1 | 910 | 75 | 1 | 6 |
| 2 | 1280 | 145 | 1.5 | 8 |
| 3 | 1700 | 220 | 2 | 10 |

D. Pemantauan Suhu pada Proses Pemotongan

Pemantauan distribusi panas dilakukan dengan menggunakan Kamera termal FLIR C2 dengan temperatur yang dapat di tangkap oleh kamera yaitu kisaran -10°C sampai 150°C dan panjang fokus gambar termal minimum 0,15 m dan maksimal 1 m.. Kamera tersebut berfungsi untuk merekam dan membaca situasi terjadinya panas yang ada di area sekitar proses pemesinan dan kemudian mengkonversikannya kedalam bentuk gambar/JPEG.

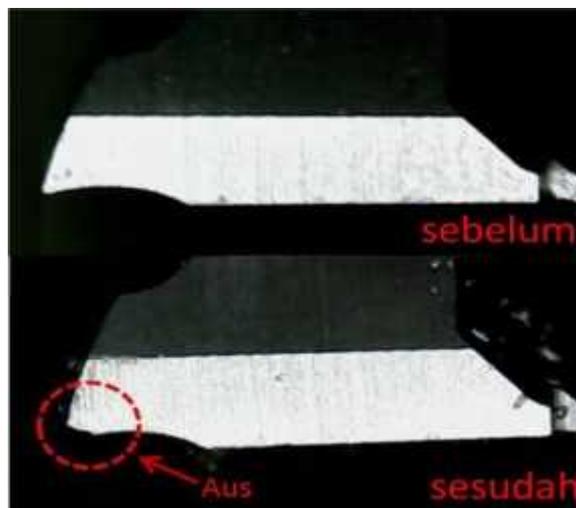


Gambar 3.7 Pemantauan Distribusi Panas pada Proses Pemotongan

Pemantauan suhu dilakukan pada saat proses pemotongan berlangsung dengan melakukan perekaman pada titik ujung mata pahat yang merupakan daerah penyayatan dengan jarak 0,5 meter. Pengambilan nilai temperatur pemotongan dilakukan pada saat akhir pemesinan seperti terlihat pada Gambar 3.7.

E. Pengukuran Keausan Pahat

Pengukuran keausan pahat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tingkat terjadinya aus pada pahat selama pemotongan berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Nilai keausan didapat dari hasil pengukuran menggunakan mikroskop USB dengan pembesaran mencapai 40x-1000x zoom. Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur dimensi pahat sebelum proses pemesinan dan dimensi pada kondisi setelah proses pemesinan.



Gambar 3.8 Pengukuran Keausan Pahat

Untuk mengetahui keausan pahat potong *endmill* yang didapat setelah proses pemotongan magnesium AZ31 yaitu diawali dengan mengukur mata potong *endmill* sebelum dilakukannya proses pemotongan untuk mengetahui dimensi awal dengan mikroskop USB lalu merekam gambar hasil pengukuran dalam bentuk JPEG. Kemudian setelah melakukan proses pemotongan, pahat diukur kembali untuk melihat dimensi pahat setelah pemotongan agar dapat mengetahui nilai keausan yang didapat pada pahat potong *endmill* seperti terlihat pada Gambar 3.8 dimana terjadi perbedaan pada pahat sebelum dan sesudah digunakan pemotongan.

F. Rancangan dan Analisis Eksperimen

Adapun metode yang digunakan dalam penelitian tersebut menggunakan Metode Taguchi. Metode Taguchi dikembangkan oleh Genichi Taguchi yang merupakan salah satu metode untuk meningkatkan kualitas dari suatu eksperimen atau pengujian. Pada penelitian yang akan dilakukan ini yaitu menggunakan Metode Taguchi dengan L9 (3^4) seperti terlihat pada Table 3.3 yang artinya adalah 9 tahap eksperimen dengan 3 level pengujian dan 4 faktor pengujian yaitu diameter pahat, kedalaman pemakanan, kecepatan putar spindel dan kecepatan pemakanan. Adapun alasan mengapa digunakannya Metode Taguchi dengan level pengujian L9 (3^4) adalah untuk meminimalkan penyimpangan karakteristik kualitas dan nilai target dari suatu proses produksi. Serta mencari nilai terbaik dari suatu pemesinan yang lebih optimum dengan parameter yang telah ditentukan.

Tabel 3.3 Taguchi L9 (3^4)

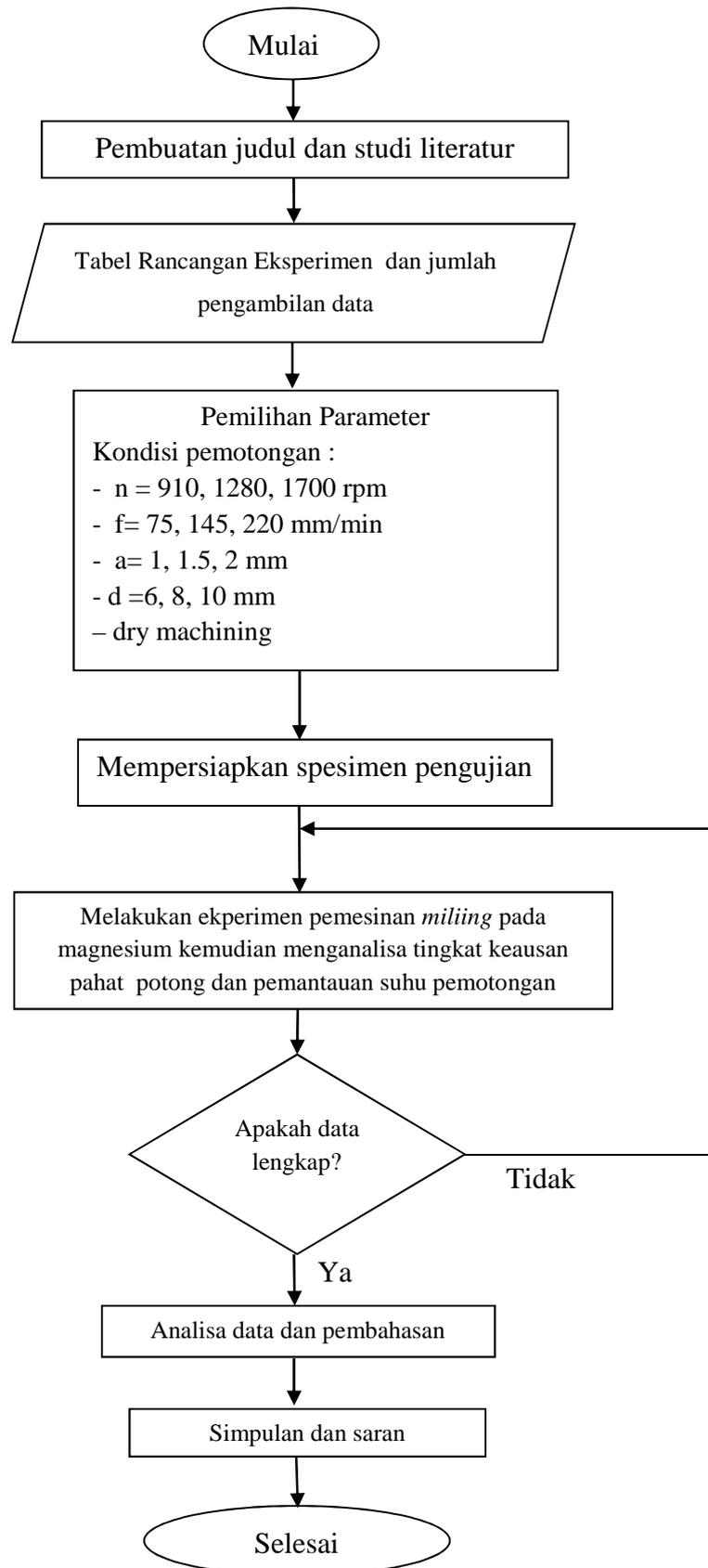
| Run Order | Diameter Pahat (mm) | Kedalaman Makan (mm) | Kecepatan Spindel (rpm) | Kecepatan Pemakanan (mm/menit) | Temperatur (°C) | Keausan (mm) |
|-----------|---------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | | |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | | |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | | |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | | |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | | |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | | |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | | |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | | |

Tabel 3.3 menunjukkan rancangan eksperimen dengan menggunakan Metode Taguchi L9 (3^4). Pada Tabel 3.3 terdapat 9 run order atau 9 kali pengambilan data dari masing-masing faktor terdapat 3 level pengujian yang memberikan respon terhadap temperatur pemotongan dan keausan pahat. Adapun Variabel bebas dan pengaturan level percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Variabel bebas dan pengaturan level

| No | Variabel bebas | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|----|-----------------------------------|---------|---------|---------|
| 1 | Kecepatan Putar Spindel (n) (rpm) | 910 | 1280 | 1700 |
| 2 | Kedalaman Pemakanan (a) (mm) | 1 | 1.5 | 2 |
| 3 | Gerak makan (f) (mm/rev) | 75 | 145 | 220 |
| 4 | Diameter Pahat (d) (mm) | 6 | 8 | 10 |

G. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram alir

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah :

1. Nilai keausan terbesar yaitu 0,316 mm dan yang terkecil yaitu 0,050 mm. Sedangkan nilai prediksi yang didapat dari hasil pemodelan menggunakan parameter optimum yaitu 0,0177 mm yang menyatakan nilai tersebut masih dibawah batas maksimal keausan. Dari analisis Taguchi dan ANOVA yang telah dilakukan pada pengujian ini dapat disimpulkan bahwa faktor yang paling signifikan terhadap terjadinya keausan yaitu yang pertama kecepatan pemakanan diikuti oleh kedalaman pemakanan dan diameter pahat.
2. Aplikasi Thermografi menunjukkan bahwa, distribusi suhu paling besar terjadi pada daerah geram. Suhu pemotongan tertinggi terjadi pada run Order ke 9 dimana suhu yang diperoleh dari hasil pemotongan pada parameter diameter pahat 10 mm, kedalaman makan 2 mm, kecepatan putar spindel 910 rpm dan kecepatan pemakanan 75 mm/menit yaitu diperoleh suhu sebesar 45,4°C

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis terhadap pengujian yang telah dilakukan adalah:

1. Aplikasi Thermografi perlu dilakukan pengembangan agar aplikasi thermografi dapat mengetahui nilai suhu secara langsung pada layar komputer tanpa harus melakukan konversi kedalam bentuk gambar.
2. Perlu dilakukan pengujian lanjutan dengan variasi kecepatan potong yang lebih tinggi dan gerak makan serta kedalaman potong yang berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap suhu yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriansyah. 2013. *Pengaruh pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Dalam Pengefraisan Magnesium Tersuplai Udara Dingin*. Universitas Lampung.
- B.B. Buldum, A. Sik, I. Ozkul. 2011. *Investigation of machining alloys machinability*. International Journal of Electronic: Mechanical and Mechatronics Engineering Vol.2 Num.3 pp.(261-268).
- 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.
- Cengel, Yunus A & Boles, Micheal A. 2006. *Thermodynamics an engineering approach*. McGraw-Hill Companies. Singapore.
- G. Padmanaban, V. Balasubramanian, G. Madhusudhan Redd. 2011. *Fatigue Crack Growth Behaviourof Pulsed Current Gas Tungsten arc, Friction Stir and Laser Beam Welded AZ31B Magnesium Alloy Joints*. Centre of Materials Joining & Research (CEMAJOR), Departement of Manufacturing Engineering, Annamalai University, Annamalai Nagar 608002, India.

- Nugroho, Ujan T. 2012. Pengaruh Kecepatan Pemakanan Dan Waktu Pemberian Pendingin Terhadap Tingkat Keausan *Cutteer End Mill* HSS Hasil Pemesinan CNC *Milling* Pada Baja ST 40
- Nurhadiyanto, Didik. 2002. *Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Keausan Pahat*, Skripsi. Online. http://www.slideshare.net/wijayoa/prosiding/seminar_nasional-jptm-uny-th2012
- Rochim, Taufiq. 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. ITB. Bandung.
- Seal, C.K. Vince, K. Hodgson, M.A. 2009. *Biodegradable Surgical Implants Based on Magnesium Alloys*. Journal Publishing series- Materials Science and Engineering 4 (2009) 012011.
- Setiawan, Feny. 2012. *Karakterisasi Penyalaan Magnesium AZ31 pada Proses Bubut Menggunakan Aplikasi Thermografi*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Lampung.
- Sudianto, Bondan. 2012. *Aus Pahat Potong Dan Struktur Mikro Magnesium Pada Kondisi Pengefraisan Kering*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Lampung.
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan Jilid I Untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- Wijanarko, Bambang. 2012. *Study Eksperimental Terjadinya Keausan Pahat Pada Proses Pemotongan End Milling Pada Lingkungan Cairan Pendingin*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Surakarta.