



**PENGARUH VARIASI JENIS BAJA TERHADAP  
KEAUSAN *END MILL CUTTER* HSS PADA PROSES  
PEMESINAN *CNC MILLING***

**Skripsi**

**Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

**Oleh**

**Friska Ari Yessika**

**NIM. 5201415021**

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

### PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Friska Ari Yessika  
NIM : 5201415021  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1  
Judul : PENGARUH VARIASI BAJA BAHAN TERHADAP  
KEAUSAN *CUTTER END MILL HSS* PADA PROSES  
PEMESINAN *CNC MILLING*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Oktober 2019  
Pembimbing,



Dr. Heri Yudianto, S.Pd., M.T.  
NIP. 196707261 9930310 03

**PENGESAHAN**

Skripsi/TA dengan judul "PENGARUH VARIASI JENIS BAJA TERHADAP KEAUSAN *END MILL CUTTER HSS* PADA PROSES PEMESINAN *CNC MILLING*" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada tanggal ... bulan ... tahun ...

Oleh

Nama : Friska Ari Yessika  
NIM : 5201415021  
Prodi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Mengetahui,

Ketua




Rusiyanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 19740321 19990310 02

Sekretaris




Rusiyanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 19740321 19990310 02

Penguji 1



Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.  
NIP. 19660105 19900210 02

Penguji 2



Drs. Sunyoto, M.Si.  
NIP. 196511051 9910210 01

Dosen Pembimbing



Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T.  
NIP. 196707261 9930310 03

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Gudus, M.T., IPM.  
NIP. 19691113019940310 01

## PERNYATAAN KEASLIAN

### PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang,



Friska Ari Yessika  
NIM. 5201415021

## **MOTTO**

Aku tidak menjanjikan kekayaan untuk orang yang aku sayang, tetapi aku akan berusaha membuatnya bahagia (Friska Ari Yessika)

Bermimpilah seakan kau akan hidup selamanya. Hiduplah seakan kau akan mati hari ini (James Dean)

## **PERSEMBAHAN**

Kepada kedua orang tua penulis Bapak Yasmianto dan Ibu Jumirah, Kakak saya Joko Ari Bowo, dan Adik saya Putra Ari Satria, yang selalu memberikan dukungan demi kesuksesan penulis dimasa depan dan selalu mendukung dalam terselesaikannya skripsi ini.

## SARI

Yessika Ari. F, 2019. Pengaruh Variasi Jenis Baja Terhadap Keausan *End Mill Cutter* HSS Pada Proses Pemesinan CNC *Milling*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T.

Pada penelitian mengenai variasi bahan dan keausan pada alat potong terhadap proses pemesinan *milling* masih jarang, maka peneliti melakukan penelitian tentang jenis baja pada keausan pahat dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi baja terhadap keausan *end mill cutter* HSS pada proses pemesinan CNC *milling*.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen, desain yang digunakan adalah desain *Pre - Eksperimental Design* dengan menggunakan tipe *intac-group comparison*, terdapat dua kelompok pada penelitian yaitu kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Percobaan dilakukan untuk mengetahui keausan *end mill cutter* dengan menggunakan variasi bahan yaitu baja.

Hasil penelitian pengaruh variasi baja terhadap keausan *end mill cutter* menunjukkan, semakain tinggi atau banyak unsur komposisi Cr (*chromium*) atau kromium pada baja yang digunakan maka semakin cepat *end mill cutter* mengalami keausan. Variasi bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ST 37, ST 60, dan ST 90. Spesimen uji menggunakan *end mill cutter* HSS dengan diameter 12 mm. Dalam penelitian ini ciri – ciri yang menggambarkan *end mill cutter* aus adalah adanya kenaikan suhu, pengurangan berat, dan perbedaan nilai keausan, dan jenis keausannya, terdapat juga jenis keausan yang diperoleh pada setiap spesimennya seperti *Flank Wear*, *Chipping*, *Deformasi Plastis*, *Nose Wear*, *Cracking*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa jenis bahan mempunyai pengaruh yang sangat besar dalam menentukan jenis produksi yang akan kita buat dalam proses pemesinan.

**Kata kunci :** Variasi Jenis Baja, *milling*, CNC *milling*, *End mill cutter*

## PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi/TA yang berjudul “Pengaruh Variasi Material Baja Terhadap Keausan *End Mill Cutter HSS* pada Proses Pemesinan *CNC Milling*”. Skripsi/TA ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1 Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis meyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Dr. Nur Qudus, M.T. , Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, dan Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1 atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
2. Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T. , sebagai pembimbing yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu - waktu disertai kemudahan menunjukan sumber - sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
3. Dr. Wirawan Sumbodo, M.T. dan Drs. Sunyoto, M.Si. , sebagai Penguji, yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
4. Semua dosen jurusan Teknik Mesin FT UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
5. Ibu, Bapak, Kakak, Adik dan keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa, semangat dan tak hentinya membantu baik dalam hal finansial maupun mental kepada penulis sampai saat ini.
6. Teman-teman HIMPRO Teknik Mesin 2015, 2016 dan 2017 yang selalu memberikan dukungan untuk tetap melangkah bersama.
7. Teman-teman PTM dan PTO angkatan 15 yang telah menemani, menginspirasi penulis untuk tetap maju.

8. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi/TA ini dapat bermanfaat untuk dunia Industri maupun pendidikan.

Semarang, 16 Oktober 2019

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Friska Ari Yessika', written over a faint, illegible background.

Friska Ari Yessika



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
SARI .....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	3
1.4 Rumusan Masalah .....	4
1.5 Tujuan .....	4
1.6 Manfaat.....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....</b>	<b>6</b>
2.1 Kajian Pustaka.....	6
2.2 Landasan Teori .....	8
2.2.1 Pemesinan.....	8
2.2.2 Mesin CNC <i>Milling</i> .....	8

2.2.3 Pendingin .....	15
2.2.4 Material <i>End Mill Cutter</i> .....	17
2.2.5 Keausan Pahat.....	20
2.2.6 Material Bahan .....	26
2.2.6 <i>Microscope Metalografi Infinity 2</i> .....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	33
3.2 Desain Penelitian .....	33
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	34
3.4. Dimensi Spesimen .....	39
3.5 Alur Penelitian. ....	40
3.6 Urutan Langkah atau Cara Penelitian.....	41
3.7 Parameter Penelitian .....	46
3.8 Teknik Pengumpulan Data .....	47
3.9 Teknik Analisis Data .....	49
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>50</b>
4.1 Hasil Penelitian.....	50
4.2 Pembahasan.....	69
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>75</b>
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN LAMPIRAN.....</b>	<b>80</b>

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<b>Simbol</b>	<b>Arti</b>
$V_c$	Kecepatan Potong
$\pi$	Jari – jari
$d$	Diameter
$n$	Spindel Speed
$V_f$	Kecepatan Pemakanan
$z_n$	Jumlah Mata Pisau
$a$	Kedalaman Pemakanan
$L_o$	Ukuran/Panjang Awal
$L_i$	Ukuran/Panjang Akhir
C	Carbon (karbon)
Cr	Chromium (kromium)
Co	Kobalt
W	Wolfram (tungsen)
Mn	Mangan
Mg	Magnesium
V	Vanadium
S	Sulfur (belerang)
Si	Silikon
P	Posfor
Cu	Cuprum (tembaga)
Al	Alumunium
Fe	Ferrum (besi)
$\text{mm}^2$	Milimeter Persegi (Luas)
$\mu\text{m}^2$	Micrometer Persegi (Luas)

<b>Singkatan</b>	<b>Arti</b>
CNC	<i>Computer Numerically Controll</i>
NC	<i>Numerically Controll</i>
EDM	<i>Electrical Disharge Machining</i>
TU	<i>Training Unit</i>
PU	<i>Production Unit</i>
HSS	<i>High Speed Steel</i>
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
JIS	<i>Japan Industrial Standards</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
HSS	<i>High Speed Steel</i>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1. Kecepatan Potong dengan Pahat HSS Proses Frais .....	13
Tabel 2.2. Gerak Makan Pergigi .....	15
Tabel 3.1. Hasil Pengukuran Berat <i>End Mill Cutter</i> .....	48
Tabel 3.2. Hasil Pengukuran Suhu <i>End Mill Cutter</i> .....	48
Tabel 3.3. Jenis Keausan <i>End Mill Cutter</i> .....	49
Tabel 3.4. Hasil Pengukuran Luas Bidang Aus <i>End Mill Cutter</i> .....	49
Tabel 4.1. Data Hasil Pengukuran Nilai Berat <i>End Mill Cutter</i> Sebelum dan Sesudah Proses Pemesinan <i>CNC Milling</i> .....	51
Tabel 4.2. Data Hasil Pengukuran Suhu <i>End Mill Cutter</i> Sebelum dan Sesudah Proses Pemesinan <i>CNC Milling</i> .....	55
Tabel 4.3. Data Hasil Pengukuran Luas Bidang Aus <i>End Mill Cutter</i> pada Proses Pemesinan <i>CNC Milling</i> .....	60
Tabel 4.4. Data Jenis Keausan <i>End Mill Cutter</i> .....	64
Tabel 4.5. Perbandingan Unsur Komposisi Baja .....	73

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1. Sistem Persumbuan pada CNC <i>Milling</i> .....	10
Gambar 2.2. Desain <i>End Mill Cutter</i> .....	17
Gambar 2.3. Desain Sisi Potong <i>End Mill Cutter</i> .....	18
Gambar 2.4. Geometri Sisi Potong <i>End Mill Cutter</i> .....	19
Gambar 2.5. Contoh Foto Makro <i>End Mill Cutter</i> Hasil Pemesinan CNC <i>Milling</i> .....	24
Gambar 3.1. CNC <i>Milling</i> FOCUS ESEMKA VMC – L540.....	34
Gambar 3.2. <i>End Mill Cutter</i> HSS .....	34
Gambar 3.3. Mesin Gergaji Potong.....	35
Gambar 3.4. Jangka Sorong Digital .....	35
Gambar 3.5. Timbangan Digital.....	36
Gambar 3.6. <i>Infrared Thermometer</i> .....	37
Gambar 3.7. <i>Microscope Metalografi Infinity 2</i> .....	37
Gambar 3.8. Baja ST 37.....	38
Gambar 3.9. Baja ST 60.....	38
Gambar 3.10. Baja ST 90.....	39
Gambar 3.11. Pendingin Dromus.....	39
Gambar 3.12. Diagram Alir Penelitian .....	40
Gambar 3.13. Potongan Material Benda Kerja .....	41
Gambar 3.14. Hasil <i>Milling</i> Awal Benda Kerja.....	44
Gambar 3.15. Benda Kerja Proses <i>Milling</i> .....	44
Gambar 3.16. Hasil <i>Milling</i> Akhir Benda Kerja .....	45
Gambar 4.1. Grafik Jumlah Selisih Berat <i>End Mill Cutter</i> Sebelum dan Sesudah pada Proses Pemesinan CNC <i>Milling</i> .....	53

Gambar 4.2. Grafik Rata - rata Selisih Berat <i>End Mill Cutter</i> Sebelum dan Sesudah pada Proses Pemesinan <i>CNC Milling</i> .....	54
Gambar 4.3. Grafik Jumlah Selisih Suhu <i>End Mill Cutter</i> Sebelum dan Sesudah pada Proses Pemesinan <i>CNC Milling</i> .....	57
Gambar 4.4. Grafik Rata - rata Selisih Berat <i>End Mill Cutter</i> Sebelum dan Sesudah pada Proses Pemesinan <i>CNC Milling</i> .....	58
Gambar 4.5. Grafik Jumlah Luas Bidang Aus <i>End Mill Cutter</i> .....	61
Gambar 4.6. Grafik rata - rata Luas Bidang Aus <i>End Mill Cutter</i> .....	62
Gambar 4.7. Jenis Kausan <i>End Mill Cutter</i> Setelah Proses Pemesinan <i>CNC Milling</i> dengan Bahan Baja ST 37.....	65
Gambar 4.8 Jenis Kausan <i>End Mill Cutter</i> Setelah Proses Pemesinan <i>CNC Milling</i> dengan Bahan Baja ST 60.....	66
Gambar 4.9 Jenis Kausan <i>End Mill Cutter</i> Setelah Proses Pemesinan <i>CNC Milling</i> dengan Bahan Baja ST 90.....	68

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Lampiran 1. Form Usul Topik Skripsi .....	81
2. Lampiran 2. Usulan Pembimbing Skripsi.....	82
3. Lampiran 3. Surat Tugas Dosen Pembimbing .....	83
4. Lampiran 4. Surat Tugas Dosen Penguji .....	84
5. Lampiran 5. Persetujuan Seminar Proposal Skripsi.....	85
6. Lampiran 6. Undangan Seminar Proposal Skripsi .....	86
7. Lampiran 7. Berita Acara Seminar Proposal Skripsi .....	87
8. Lampiran 8. Presensi Seminar Proposal Skripsi .....	88
9. Lampiran 9. Lembar Pernyataan Selesai Revisi Proposal Skripsi.....	89
10. Lampiran 10. Laporan Selesai Bimbingan Skripsi .....	90
11. Lampiran 11. Lembar Persetujuan Sidang Skripsi.....	92
12. Lampiran 12. Surat Izin Observasi .....	93
13. Lampiran 13. Surat Izin Penelitian .....	94
14. Lampiran 14. Surat Keterangan Selesai Penelitian.....	96
15. Lampiran 15. Surat Tugas Panitia Siding Skripsi .....	98
16. Lampiran 16. Dokumentasi Proses Penelitian .....	99
17. Lampiran 17. Dokumen Laporan Pengujian Bahan.....	100
18. Lampiran 18. Dokumen Data Penelitian.....	103
19. Lampiran 19. Gambar Spesimen Dan Produk Yang Digunakan .....	105
<b>20. Lampiran 20. Dokumentasi Proses Penelitian.....</b>	<b>106</b>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan proses pemesinan dalam industri manufaktur saat ini berlangsung sangat pesat. Kebutuhan manusia yang semakin meningkat dan beranekaragam memicu berkembangnya teknologi, salah satunya di bidang industri pemesinan. Salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan itu adalah membuat suatu produk dengan proses pemesinan sesuai dengan bentuk produk yang akan dibuat, salah satu diantaranya menggunakan proses *milling*. Hasil pengerjaan mesin CNC *milling* sangat bergantung pada parameter pemesinan yang digunakan, seperti kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan pemakanan (*feedrate*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*), jenis bahan, karakteristik pahat atau pisau potong, pendinginan dan sebagainya.

Diantara parameter – parameter tersebut yang mempunyai peran penting dalam pemesinan adalah karakteristik pahat dalam bekerja, selain itu pahat juga menentukan kualitas produk yang dihasilkan seperti, tingkat kekasaran, ketelitian, dan kepresisian produk. Penggunaan pahat yang tepat dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi proses pemesinan terutama dalam hal waktu dan biaya produksi.

Dalam proses pemesinan logam, terdapat keausan mata potong pahat yang terjadi akibat gesekan antara mata pahat dengan benda kerja. Keausan pada alat potong adalah fenomena yang sangat kompleks dengan banyak variabel dan mekanisme keausan yang berbeda. Keausan pahat dapat mencakup satu

atau lebih dari beberapa mekanisme. Penggunaan parameter yang tidak tepat akan menyebabkan pahat mudah aus, sehingga mempengaruhi proses produksi, karena pahat akan sering diganti dan biaya produksi menjadi lebih tinggi. Secara umum mekanisme keausan pahat berupa *Abrasion, Diffusion, Attrition, Thermal Fatigue, Plastic Deformation*. Dalam aplikasinya pahat digunakan untuk memotong berbagai macam benda kerja, jadi untuk setiap pahat dan setiap bahan harus mempunyai data keausan pahat dan kondisi pemotongan tertentu dalam setiap perencanaan proses pemesinan. Disamping penggunaan pahat, parameter lain yang harus diperhitungkan adalah jenis bahan. Jenis bahan dan karakteristiknya yang berbeda akan memberikan keausan pahat yang berbeda juga.

Keausan pahat ini sangat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor proses, yaitu jenis bahan, geometri pahat, kondisi pemesinan / pemotongan, dan cairan pendingin (*coolant*) yang digunakan. Temperatur dan tekanan yang sangat tinggi pada permukaan pahat dan ujung tombak dapat menyebabkan pengembangan pola keausan yang berbeda dalam kondisi pemotongan yang berbeda. Mode keausan pahat ini biasanya dikenal sebagai keausan sisi pada permukaan sisi pahat, keausan kawah pada bagian muka alat dan pembulatan pada bagian hidung alat. Lokasi dan konfigurasi mode keausan pahat ini umumnya dipengaruhi oleh distribusi panas yang dihasilkan selama pemotongan dan gradien dari gesekan dan tekanan, karena hal ini akan mempengaruhi fungsi dari komponen yang dikerjakan dan dapat menurunkan nilai jual dari produk tersebut. Tingkat keausan pahat menentukan akhir masa

pakai pahat, yang ditentukan oleh keausan pahat yang berlebihan, kerusakan atau deformasi hidung pahat. Penelitian mengenai variasi bahan terhadap keausan pahat pada proses pemesinan *milling* masih jarang diteliti maka peneliti melakukan penelitian untuk mengetahui “Pengaruh Variasi Jenis Baja Terhadap Keausan *End Mill Cutter* HSS Pada Proses Pemesinan CNC *Milling*”. Penelitian ini melakukan pengujian pemesinan *milling* dengan variasi bahan yaitu baja ST 37, baja ST 60 dan baja ST 90. Dalam penelitian ini hanya bahan yang divariasikan sedangkan variabel proses yang lain tetap.

### **1.1 Identifikasi Masalah**

1. Kebutuhan akan material bahan yang semakin hari kian meningkat.
2. Diperlukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi jenis baja pada tingkat keausan *end mill cutter* HSS pada proses CNC *milling*.
3. Kualitas dan keakuratan dari hasil *manufactur* didasarkan pada nilai tingkat keausan pahat.
4. Pengaruh tingkat keausan *end mill cutter* HSS sebagai pahat potong pada proses pemesinan CNC *milling*.

### **1.2 Pembatasan Masalah**

1. Bahan uji yang digunakan adalah baja ST 37, ST 60 dan ST 90, karena memiliki karakteristik yang berbeda – beda pada setiap komposisinya.
2. Media pendingin yang digunakan adalah menggunakan minyak dromus, karena dalam kadar minyak dromus mempunyai kelarutan tingkat tinggi terhadap air.

3. Percobaan dilakukan sebanyak 12 (dua belas) kali percobaan pada setiap parameter, dengan kedalaman potong 0,5 mm dan kecepatan potong 928 rpm, dan kecepatan pemakanan sebesar 203,2 mm/rev, agar nilai keausan pada pahat lebih cepat terlihat dan dapat di capai dengan konsisten nilai rata - ratanya.
4. Pahat yang digunakan adalah *end mill cutter* HSS 4 *fluet* dengan diameter 12 mm karena sifat keuletannya relatif baik.
5. Penelitian ini tidak menganalisis optimasi waktu pengerjaan dan perbandingan pendingin.
6. Tidak membahas masalah hubungan dengan biaya – biaya dalam penerapan mesin CNC *milling*.
7. Dalam penelitian ini menganalisis pengaruh variasi baja dan uji keausan pahat pada proses pemesinan *milling*.
8. Proses CNC *milling* yang dilakukan hanya putaran *spindle*, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan.

### **1.3 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

Bagaimana pengaruh variasi jenis baja terhadap keausan *end mill cutter* HSS pada proses pemesinan CNC *milling* ?

### **1.4 Tujuan**

Berdasarkan dari rumusan masalah yang ada, tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah :

Untuk mengetahui pengaruh variasi jenis baja terhadap keausan *end mill cutter* HSS pada proses pemesinan CNC *milling*.

### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang diharapkan dari pembuatan skripsi ini antara lain :

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi jenis baja terhadap keausan *end mill cutter* HSS pada proses pemesinan CNC *milling*.
2. Dapat memberi informasi kepada dunia industri *manufactur* untuk meningkatkan kualitas hasil pemesinan CNC *milling*.
3. Sebagai bahan masukan bagi pengguna atau operator mesin CNC *milling* dalam peningkatan kualitas dan kuantitas produk pemesinan.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Kajian – kajian tentang penelitian keausan pahat belakang ini sudah dilakukan oleh para peneliti yang mencermati hal – hal yang layak diteliti. Beberapa kajian yang telah dilakukan telah dapat memberikan sumbangan pemikiran secara ilmiah untuk menunjang khasanah keilmuan. Aspek yang diteliti juga mencerminkan hal – hal yang bervariasi atau melihat permasalahan dari berbagai sudut pandang dan berbagai disiplin ilmu. Adapun kajian pustaka yang diambil dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

Ribowo dan Sunyoto (2018), menyatakan bahwa pada penelitiannya tentang pengaruh sudut penyayatan *end mill cutter* dan arah pemakanan terhadap keausan *end mill cutter* pada pengefraisan baja ST 40, menghasilkan rata – rata keausan yang terjadi adalah keausan tepi (*flank wear*), sudut penyayatan pisau yang besar, akan menyebabkan mata potong lancip. Mata potong menjadi tidak tajam karena waktu pemakanan selalu bertambah dan sudut penyayatan pisau yang kecil. Keausan akan tumbuh jika terdapat gaya pemotongan yang besar antara benda kerja dengan *end mill cutter*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Budiman dan Richard (2017) dengan judul “Analisis Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan *Metoda Variable Speed Machining Test*”. Berdasarkan analisis pada keseluruhan tahap penelitian tersebut bahwa keausan

terjadi adanya pengaruh kecepatan potong rendah dan kecepatan potong tinggi pada umur pahat. Pada kecepatan potong yang sama pertumbuhan keausan tepi ( $V_b$ ) akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pemotongan. Semakin lama pahat kita gunakan maka akan mengalami keausan yang ditandai dengan permukaan benda kerja yang dipotong bertambah kasar, gaya pemotongan yang terjadi bertambah besar.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Soegiarto dan Setyawan (2008), tentang analisa pengaruh pemberian cairan pendingin (*Ethyl Alcohol*) pengucuran langsung dan pengabutan (*Spray*) terhadap umur dan keausan pahat HSS pada poses *milling vertical* baja ST 42 dengan variasi kecepatan potong. Dalam penelitian ini umur dan keausan pahat dipengaruhi oleh kecepatan potong, terdapat kenaikan kecepatan potong ( $V_c$ ) yang akan mempercepat terjadinya keausan tepi (*flank wear*) pada pahat yang menyebabkan umur pahat akan menurun.

Penelitian yang dilakukan oleh Jae Lee, dkk (2007) tentang sistem pemantauan keausan pahat untuk penggilingan akhir CNC menggunakan hibrida dengan pendekatan untuk memotong regulasi kekuatan. Pada penelitian ini sistem pemantauan keausan pahat sangat diperlukan untuk produktivitas pemesinan yang lebih baik, dengan jaminan pemberian waktu keselamatan yang akan datang saat proses pemesinan. Dalam penelitian ini terdapat parameter yang berbeda yaitu arus spindel, dimana tingkat keausan diverifikasi dengan laju gerak waktu pemakanan dan mengaturnya pada komponen gaya dari alat yang dipakai.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Dolinsek dan Kopac (2006 : 13 – 16) tentang mekanisme dan jenis keausan pahat, kekhasan dalam pemotongan lanjutan bahan, bahwa kecepatan potong tidak lagi menjadi faktor utama yang berpengaruh pakai, tetapi lebih cenderung pada kecepatan tinggi pergerakan alat (laju umpan). Suhu di daerah kontak antara pahat dan benda kerja akan meningkat hingga melebihi batas tingkat ketahanan material pahat, yang akan menghasilkan peningkatan keausan kawah (*crater wear*), penyerpihan (*chipping*) pada mata sayat pahat atau bahkan kerusakan pahat. Semakin tinggi suhu *end mill cutter*, maka akan semakin mudah mengalami keausan.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Pemesinan**

Proses pemesinan adalah suatu proses manufaktur dimana proses utamanya adalah melepaskan atau menghilangkan sebagian material dari suatu bahan dasar yang dapat berupa blok atau silinder pejal sehingga memenuhi bentuk dan kualitas yang diinginkan. Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu : proses pemotongan dengan mesin press, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional. Proses pemotongan dengan menggunakan mesin press meliputi pengguntingan (*shearing*), pengepresan (*pressing*) dan penarikan (*drawing, elongating*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*), dan sekrap (*shaping*). Proses pemotongan non konvensional contohnya dengan mesin EDM (*Electrical Discharge Machining*),



WJM (*Water Jet Machining*), dan LBM (*Laser Beam Machining*), (Widarto, 2008: 35).

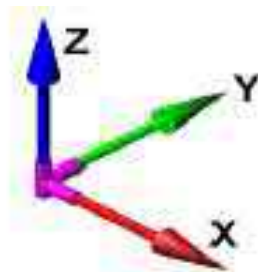
### **2.2.2 Mesin CNC *Milling***

Mesin CNC (*Computer Numerically Control*) adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (perintah gerakan yang menggunakan angka dan huruf), (Widarto, 2008 : 311). Mesin CNC dioperasikan dengan memasukkan program yang selanjutnya akan bekerja secara otomatis. Pada pengerjaan produk yang sama hanya diperlukan satu program saja, namun jika dilanjutkan dengan produk lain maka dilakukan penggantian atau pengubahan program. Sistem CNC ini digunakan untuk mengendalikan mesin dengan jumlah produk masal, ketelitian tinggi, dan kecepatan yang tinggi pula. Nama - nama pengendali (*controller*) mesin CNC yang bisa dijumpai, misalnya *Emoctronic* (Austria), *Sinumeric* (Jerman), *Fanuc* (Jepang), dan *Cincinnati* (Amerika). Secara umum cara mengoperasikan mesin CNC adalah dengan memasukkan perintah numerik melalui tombol – tombol yang tersedia pada panel instrumen mesin dan dapat dilakukan dengan dua macam cara, yaitu sistem *absolut* dan sistem *incremental*.

Mesin CNC *milling* adalah mesin *milling* yang pergerakan meja mesin dikendalikan oleh suatu program. Program berisi langkah – langkah atau perintah berupa (huruf per huruf atau angka per angka) yang disebut dengan program NC (*Numerically Control*). Mesin CNC *milling* dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan akan berjalan secara otomatis sesuai dengan perintah program yang diberikan. Oleh karena itu, dengan program yang sama

mesin ini dapat diperintahkan untuk mengulangi proses pelaksanaan program secara terus – menerus.

Secara garis besar mesin CNC *milling* digolongkan menjadi dua, yaitu CNC *milling* TU (*Training Unit*) untuk pelatihan dan PU (*Production Unit*) untuk layanan produksi yang umum digunakan pada bidang manufaktur seperti perindustrian suku cadang, peralatan mesin, bengkel pengerjaan logam dan sebagainya. Keduanya mempunyai prinsip kerja yang sama, namun berbeda dalam penggunaannya. Mesin CNC *milling* TU (*Training Unit*) digunakan untuk mengerjakan pekerjaan ringan atau tidak terlalu rumit, sedangkan mesin CNC *milling* PU (*Production Unit*) digunakan untuk mengerjakan pekerjaan masal karena dilengkapi dengan aksesoris yang lebih kompleks seperti *chuck* otomatis dan *toolpost* otomatis. Mesin CNC *milling* menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat kartesius. Sistem persumbuan pada mesin CNC sudah diatur berdasarkan standar ISO.



Gambar 2.1 Sistem Persumbuan pada CNC *Milling*  
(Sumber : Widarto, 2008: 363)

Prinsip kerja mesin CNC *milling* adalah gerak utama berputar dilakukan oleh alat potong atau *cutter*, sedangkan gerak makannya dilakukan oleh benda kerja yang terpasang pada meja kerja. Arah gerakan persumbuan mesin CNC *milling* yaitu sumbu X untuk arah memanjang meja, sumbu Y untuk arah melintang meja, dan sumbu Z untuk vertikal spindel. Pada dasarnya ada dua metode pemrograman untuk menyatakan jalannya alat potong dalam pembentukan / pemesinan benda kerja, yakni *absolut* dan *incremental*. *Absolut* merupakan metode penyampaian informasi dalam penyusunan program CNC tentang jalannya alat potong yang berpedoman pada satu titik nol. Sedangkan *incremental* merupakan metode penyampaian informasi dalam penyusunan program CNC tentang jalannya alat potong yang didasarkan pada beberapa titik awal, dimana titik terakhir terdahulu menjadi titik awal untuk langkah berikutnya. Kedua metode ini titik hanya ditemukan dalam pemograman CNC, tetapi juga dalam penempatan ukuran dalam gambar kerja. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan mesin CNC *Milling Focus ESEMKA VMC – L540*, mesin ini biasanya digunakan di industri untuk proses pembuatan produk yang dilakukan dengan sistem otomatis dan membutuhkan seorang operator untuk melaksanakan pekerjaan pemesinan dengan menggunakan mesin CNC.

1. Bagian – bagian Utama Mesin CNC *Milling*, di antaranya :

- a. Motor Utama, motor penggerak rumah alat potong yang berfungsi memutar alat potong (*cutting tool*). Motor ini menggunakan jenis arus searah (DC).

- b. Motor Step, motor penggerak eretan, yang merupakan gerak persumbuan jalannya mesin.
  - c. Meja Mesin, meja mesin CNC *milling* bisa bergerak dalam dua sumbu yaitu sumbu X dan sumbu Y yang dilengkapi dengan motor penggerak, *ball screw plus bearing* dan *guide way slider* untuk akurasi pergerakannya.
  - d. Rumah Alat Potong (*Spindle*), rumah alat potong digunakan untuk menjepit *tool holder* pada saat proses pengerjaan benda kerja.
  - e. Ragum, ragum pada mesin CNC *milling* digunakan untuk menjepit benda kerja, dilengkapi dengan *stopper* untuk batas pegangan benda kerja.
  - f. *Coolant Hose*, setiap mesin dilengkapi dengan sistem pendinginan untuk *cutter* dan benda kerja. Pendingin yang paling umum digunakan yaitu *coolant* dan udara bertekanan melalui selang yang dipasang pada *block spindle*.
  - g. Bagian Pengendali (*Controll*), merupakan panel kontrol mesin yang dilengkapi dengan monitor. Panel kontrol adalah kumpulan tombol – tombol panel pada bagian depan mesin dan berfungsi untuk memberikan perintah - perintah khusus pada mesin, seperti memutar spindel, menggerakkan meja, dan mengubah seting parameter.
2. Parameter – Parameter dari Mesin CNC *Milling*, di antaranya :
- a. Kecepatan Potong, kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada proses penyayatan atau pemotongan

benda kerja (Widarto, 2008: 373). Harga kecepatan potong ditentukan oleh jenis dan ukuran alat potong, seperti pada rumus berikut :

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} ; \text{ m/menit..... (2.1)}$$

Keterangan:

$V_c$  = kecepatan potong (m/menit)                       $\pi = 3,14$

$d$  = diameter *cutter* (mm)                                       $n$  = *spindel speed* (rpm)

Berikut adalah tabel kecepatan potong yang dianjurkan pada proses pemesinan *frais* dalam memotong material dengan menggunakan beberapa jenis bahan dan jenis pahat untuk memotong.

Tabel 2.1 Kecepatan Potong ( $V_c$ ) dengan Pahat HSS Proses Frais (mm/s)

Material	Cutting Speed			
	Plain Milling Cutter		End Milling Cutter	
	Roughing	Finishing	Roughing	Finishing
<i>Aluminium</i>	400 – 1000	400 – 1000	400 – 1000	400 – 1000
<i>Brass, Composition</i>	125 – 200	90 – 200	90 - 150	90 – 150
<i>Brass, yellow</i>	150 – 200	100 – 250	100 - 200	100 – 200
<i>Cast iron (hard)</i>	25 – 40	10 – 30	25 – 40	30 – 45
<i>Cast iron (soft and medium)</i>	40 – 75	25 – 80	35 – 65	30 – 80
<i>Monel metal</i>	50 – 75	50 – 75	40 – 60	40 – 60
<i>Steel, hard</i>	25 – 50	25 – 70	25 – 50	25 – 70
<i>Steel, soft</i>	60 – 120	45 – 110	50 – 85	45 – 100

Sumber : Widarto, 2008 : 206

- b. Kecepatan Putaran Spindel (*Spindle Speed*), kecepatan putaran spindel adalah kemampuan kecepatan putaran mesin dalam satu menit, jika harga kecepatan potong benda kerja diketahui maka jumlah putaran sumbu utama dapat dihitung dengan ketentuan :

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d} \text{ putaran/menit..... (2.2)}$$

Keterangan:

$n$  = jumlah putaran dalam put/menit

$d$  = diameter *cutter* (mm)

$V_c$  = kecepatan potong (m/menit)

- c. Kecepatan Pemakanan (*Feed rate*), gerak makan ( $f$ ) adalah jarak lurus yang ditempuh pisau dengan laju konstan. Sumbodo (2008: 304) berpendapat bahwa kecepatan pemakanan adalah jarak tempuh gerak maju benda kerja dalam satuan milimeter permenit atau *feed* permenit. Penentuan *feedrate* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_f = n \times f_z \times z_n \text{ mm/rev} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

$z_n$  = jumlah mata pisau                       $f_z$  = kecepatan makan pergigi (mm)

$n$  = kecepatan putaran spindel (rpm)  $V_f$  = kecepatan makan (mm/menit)

Pemakanan pergigi ( $f_z$ ) diukur dalam mm/*tooth* adalah nilai proses pemilinan untuk menghitung *table feed*. Jika *cutter milling* mempunyai banyak mata potong nilai  $f_z$  dibutuhkan untuk menjamin setiap mata *cutter* berada dalam kondisi aman. Berikut adalah tabel gerak makan pergigi yang disarankan pada proses pemesinan *milling* menggunakan pahat HSS.

Tabel 2.2 Gerak Makan (*feed*) Pergigi yang disarankan untuk Pahat HSS (satuan dalam *inchi*)

Type Of Cutter HSS	Materials				
	Alumunium	Bronze	Cast Iron	Free Machining Steel	Alloy Steel
Face Mills	,007 to ,022	,005 to ,014	,004 to ,016	,003 to ,012	,002 to ,008
Helical Mills	,006 to ,018	,003 to ,011	,004 to ,018	,002 to ,010	,002 to ,007
Side Cutting Mills	,004 to ,013	,003 to ,008	,002 to ,009	,002 to ,007	,001 to ,005
End Mills	,003 to ,011	,003 to ,007	,002 to ,008	,001 to ,008	,001 to ,004
Form Relived Cutters	,002 to ,007	,001 to ,004	,002 to ,006	,001 to ,004	,001 to ,003
Circular Saws	,002 to ,005	,001 to ,003	,001 to ,004	,001 to ,003	,002 to ,006

Sumber : Widarto, 2008 : 206

- d. Kedalaman Pemakanan (*Depth of Cut*), kedalaman pemakanan (*depth of cut*) merupakan ketebalan pemakanan yang dilakukan oleh *cutter* dalam satuan mm atau inchi.

$$a = Lo - Li \text{ mm} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

Lo = ukuran atau panjang awal (mm)

Li = ukuran atau panjang akhir (mm)

a = kedalaman pemakanan (mm)

### 2.2.3 Media Pendingin (*Coolant*)

Aplikasi pendingin adalah memperbaiki kualitas benda kerja selama mengalami proses pemotongan (*material removal*) secara terus menerus oleh *cutter* dan memperbaiki umur *cutter*. Pada pemesinan dikenal adanya dua macam kondisi pemotongan yaitu kondisi kering (*dry machining*) dan kondisi

basah (*wet machining*). Cairan pendingin punya kegunaan dalam proses pemesinan, selain untuk memperpanjang umur pahat cairan pendingin dalam beberapa kasus mampu menurunkan gaya potong & memperhalus permukaan produk hasil pemesinan. Selain itu cairan pendingin juga berfungsi sebagai pembersih / pembawa geram. Media pendingin dalam proses pemesinan mayoritas berbentuk cairan atau emulsi, cairan pendingin dalam proses pemesinan khususnya mesin bubut, memiliki beberapa jenis yang pada umumnya sering digunakan, antara lain : minyak murni (*straight oils, soluble oils, semisynthetic fluids* (cairan semi sintetis), dan *synthetic fluids* (cairan sintesis) (Widarto, 2008: 300).

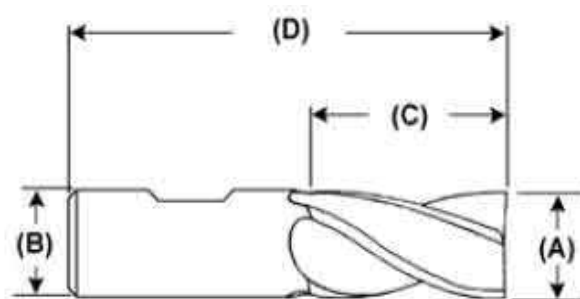
Cairan pendingin pada proses pemesinan memiliki fungsi langsung dan tidak langsung. Fungsi langsung pendingin yaitu fungsi yang dikehendaki oleh perencanaan pemesinan atau operator mesin perkakas, fungsi tak langsung pendingin yaitu fungsi yang menguntungkan dengan adanya penerapan cairan pendingin tersebut. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan pendingin dromus dengan perbandingan 1 : 20. Berdasarkan penelitian tentang Pengaruh Jenis *Coolant* dan Variasi *Side Cutting Edge Angle* terhadap Kekasaran Permukaan Bubut Tirus Baja EMS 45 oleh Mujahid, dkk (2017) jenis *coolant* yang menghasilkan nilai rerata kekasaran terendah adalah jenis *coolant* dromus maka peneliti mencoba untuk menerapkannya pada pengujian terhadap tingkat keausan pahat *end mill*. Minyak dromus adalah mineral minyak yang menyuling dan adaptif. Minyak dromus memberikan pendingin yang sangat baik, pelumasan dan perlindungan karat digunakan dalam berbagai pekerjaan



mesin. Minyak dromus mempunyai kelarutan tingkat tinggi terhadap air dengan rasio 20 : 1 sampai 40 : 1 , (Karim dan Ginting : 2012). Komposisi kimia minyak dromus terdiri dari *Natrium sulfonat*, *Poliiolefin eter*, *Alkil amida*, dan *borat alkenil amida* rantai panjang. (Puspitasari, dkk, 2016).

#### 2.2.4 Material *End Mill Cutter*

*End Mill Cutter* atau alat potong mesin CNC *milling* adalah alat yang mempunyai sisi sayat pada satu sisi, pisau ini biasanya terbuat dari HSS atau *carbide*, dan mempunyai satu atau lebih alur miring (*flutes*). Kata *end mill* umumnya digunakan untuk pisau yang bawahnya rata, tetapi juga termasuk pisau yang ujungnya bulat (*ballnose*) atau pisau radius (Pisau ini terdiri dari beberapa bentuk dan berbagai ukuran, ada yang memiliki pelapis, serta bersudut pembuang geram dan jumlah sisi potong yang banyak. Pemilihan *cutter* dilakukan berdasarkan pada bentuk benda kerja, serta mudah atau kompleksnya benda kerja yang akan dibuat. *Cutter* atau alat potong mesin CNC *milling* terdiri dari beberapa bentuk dan berbagai ukuran yang memiliki pelapis, dan jumlah sisi potong yang banyak. (Zainuddin, dkk, 2013).



Gambar 2.2 Desain *End Mill Cutter*  
(Sumber : Zainuddin, dkk, 2013)

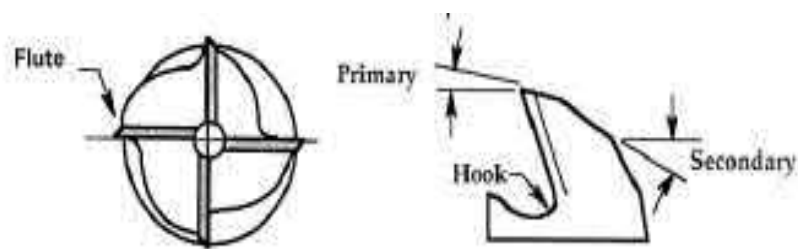
Keterangan :

A : ukuran diameter pemotongan

B : diameter batang *cutter*

C : panjang sisi potong atau panjang *flute*

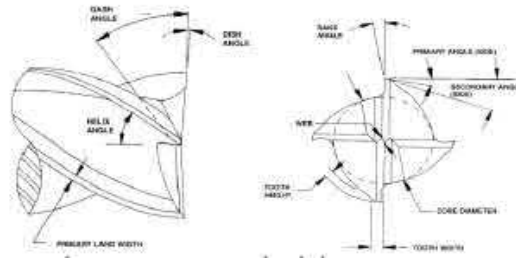
D : panjang keseluruhan



Gambar 2.3 Desain Sisi Potong *End Mill Cutter*  
(Sumber : Zainuddin, dkk, 2013)

Keterangan :

1. *Flute*, ruang antara gigi pemotong *chip* dan *regrinding capabilities*. *Flute* mempunyai alur *heliks* sepanjang *cutter*, sedangkan bagian tajam sepanjang tepi *cutter* dikenal sebagai gigi. Hampir selalu ada satu gigi per *flute*, tetapi beberapa pemotong memiliki dua gigi per *flute*.
2. *Angle Clearance*, sudut yang dibuat untuk pembersih permukaan dari geram dan garis singgung ke tepi pemotongan.
3. *Primary Angle* ( $5^{\circ}$  s/d  $9^{\circ}$ ), sudut pada gigi/ujung potong.
4. *Secondary Angle* ( $14^{\circ}$  s/d  $17^{\circ}$ ), sudut dekat dengan gigi/ujung potong.
5. *Hook*, bagian ujung pemotong yang dibentuk untuk membantu pembersihan dan berdekatan dengan sudut *secondary*.



Gambar 2.4 Geometri Sisi Potong *End Mill Cutter*  
 Sumber : Zainuddin, dkk, 2013

6. *Dish Angle*, sudut yang dibentuk oleh tepi pemotongan dan tegak lurus dengan sumbu pemotong. *Dish angle* digunakan untuk menghasilkan permukaan datar.
7. *Gash Angle*, sudut yang digunakan untuk menghilangkan fitur bekas sayatan pada benda kerja.
8. *Helix Angle*, sudut yang dibentuk oleh garis singgung *heliks* dan sisi potong *primary*. Alur pisau pemotongan CNC *milling* hampir selalu *heliks*. Jika alurnya lurus, maka akan berdampak pada pemakanan material sekaligus atau serentak yang menyebabkan getaran dan mengurangi akurasi kualitas permukaan.
9. *Rake Angle*, sudut pemotong antara muka gigi atau bersinggungan dengan muka gigi dengan suatu titik referensi.
10. *Core Diameter*, diameter inti dari *end mill cutter*.
11. *Tooth Width*, lebar gigi/ujung potong *end mill cutter*.
12. *Tooth Height*, tinggi gigi/ujung potong *end mill cutter*.

Menurut Svetlik, dkk (2017) ketelitian pahat mesin adalah properti dari pahat mesin yang memungkinkannya memproduksi bagian – bagian dari bentuk

dan dimensi yang ditentukan dalam batas toleransi yang disyaratkan dan dengan kualitas permukaan yang disyaratkan dari area pemesinan. Persyaratan yang ditempatkan pada alat mesin timbul dari ketepatan bagian yang diproduksi oleh mesin tertentu. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan *end mill cutter* (pisau jari) dengan bahan HSS. Keunggulan mata pahat HSS dibandingkan dengan bahan pahat yang lain adalah karena sifat keuletannya relatif baik dan apabila telah aus pahat mata pahat HSS masih dapat diasah sehingga daya potongnya tajam kembali.

Keunggulan tersebut dapat dicapai karena pahat dibuat dengan memperhatikan berbagai sifat mata pahat yaitu kekerasan, keuletan, ketahanan beban *thermal*, sifat *adhesi* yang rendah, dan daya larut elemen / komponen material pahat yang rendah. Pada buku *Metal Cutting* oleh E. M. Trent mengatakan bahwa alat ini dikembangkan sesaat sebelumnya pada tahun 1900, insentifnya adalah untuk peningkatan pada produktifitas toko mesin. Pengembangan material pahat untuk aplikasi pemotongan telah dilakukan dengan sangat besar oleh orang ahli mesin. Pada tahun 1898 ditemukan jenis baja paduan tinggi yang diberi nama *High Speed Steels* (HSS). HSS merupakan paduan dari 0,75 % Carbon (C), 4 % Chromium (Cr), 18,0 % Tungsten (W) dan 0,6 % Mangan (Mn), 1 % Vanadium (V). (Trent, 2013 : 73).

### **2.2.5 Keausan Pahat**

Keausan pahat merupakan suatu data pemesinan yang sangat penting dalam perencanaan pemesinan. Keausan pahat dapat dipengaruhi oleh berbagai macam variabel proses, seperti jenis proses pemesinan, material benda kerja

dan pahat, geometri pahat, kondisi pemotongan, dan cairan pendingin yang digunakan. Pada proses pemesinan berlangsung, mata pahat mengalami gesekan dengan permukaan benda kerja, akibat dari gesekan tersebut, pahat mengalami keausan dan semakin membesar hingga mata pahat tidak dapat digunakan lagi atau mengalami kerusakan. Selama proses pemesinan berlangsung pahat dapat mengalami kegagalan seperti keausan yang secara bertahap membesar (tumbuh) pada bidang aktif pahat, retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat, dan deformasi plastis yang akan mengubah bentuk / geometri pahat.

Keausan dapat terjadi pada bidang geram 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*). Ada beberapa contoh kasus keausan yang sering terjadi diantaranya :

1. 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.
2. *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

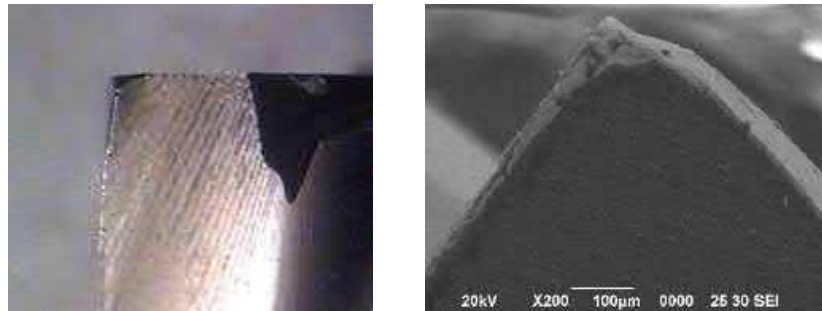
lemah dan rusak. Keausan jenis ini lebih cepat terjadi pada pahat dengan material ulet.

3. Deformasi Plastis (*Plastic Deformation*), aus pahat berupa deformasi plastis disebabkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat, dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama dengan naiknya temperatur.
4. Pengelupasan (*Flaking*), pengelupasan merupakan bentuk aus pahat yang letaknya sama dengan aus tepi (*flank wear*), tetapi bentuknya lebih kecil dan halus.
5. Penyerpihan (*Chipping*), penyerpihan merupakan bentuk cacat kecil pada pahat yang terletak pada sisi mata pahat (*Cutting Edge*).
6. *Built Up Edge*, terjadi karena material benda kerja menyatu dengan mata pahat.
7. Aus Takikkan (*Notch Wear*), terjadi akibat takikkan pada dalamnya pemotongan yang dapat menyebabkan terjadinya memicu terjadinya kawah pada bagian pahat. Aus ini terjadi pada bidang kontak (*Side Cutting Edge end Cutting Edge*) antara benda kerja dan pahat.
8. Aus Ujung Pahat (*Nose Wear*), saat pemesinan dilakukan, abrasif dan deformasi pada ujung pahat dapat terjadi. Pada aus ujung pahat ukuran berubah dan permukaan *finishing* benda kerja memburuk.
9. Retak (*Cracking*), perbedaan suhu yang tinggi antara sudut potong (*Cutting Edge*) menyebabkan meratanya tempat retak melingkar pada sudut potong

pahat. Retak berkelanjutan perlahan, mengarah terjadinya penyerpihan (*Chipping*) dan selanjutnya akan menyebabkan pahat menjadi patah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Nugroho, dkk (2019) keausan alat potong dapat terjadi melalui beberapa mekanisme yang berbeda seperti adhesi, abrasi atau oksidasi. Selain itu, keausan juga mempengaruhi kualitas permukaan yang mengalami proses pemesinan secara signifikan. Aus terjadi karena adanya perubahan energi mekanik pemotongan menjadi energi panas. Berdasarkan hasil – hasil penelitian mengenai keausan pahat, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya aus pahat diantaranya adalah proses kimiawi, oksidasi, adhesi, dan beberapa proses lainnya. Faktor ini sangat berpengaruh dan hal ini dipicu oleh beban mekanik atau termal sehingga terjadi keausan tepi (*Flank Wear*), aus kawah (*Crater Wear*), maupun terjadinya penumpukan geram.

Menurut Dolinsek dan Kopac (2006: 13), suhu di daerah kontak antara pahat dan benda kerja akan meningkat hingga melebihi batas tingkat ketahanan material pahat, yang akan menghasilkan peningkatan keausan kawah (*crater wear*), penyerpihan (*chipping*) pada mata sayat pahat, atau bahkan kerusakan pahat. Semakin tinggi suhu *end mill cutter*, maka akan semakin mudah mengalami keausan. Selanjutnya adanya pengaruh berat *cutter* yang hilang atau aus karena bergesekan dengan benda kerja. Pengukuran berat *cutter* dilakukan sebelum dan sesudah pemesinan dengan timbangan digital. Berikut contoh foto mikro sisi potong *end mill cutter* hasil pemesinan CNC *milling* yang mengalami keausan.



Gambar 2.5 Contoh Foto Mikro Sisi Potong *End Mill Cutter* Hasil Pemesinan *CNC Milling* yang Mengalami Keausan  
Sumber : Nugroho, dkk (2019)

Selanjutnya adanya perubahan sudut pada mata *end mill cutter* pada penelitian yang dilakukan oleh Ansyori, (2015) tentang pengaruh kecepatan potong dan makan terhadap umur pahat pada pemesinan frais paduan magnesium. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, kenaikan sudut meningkatkan umur pahat, semakin besar kecepatan potong ( $V_c$ ) maka semakin cepat laju keausan pahat yang terjadi, yang disebabkan oleh suhu tinggi sebagai hasil dari gesekan antara pahat dan benda kerja.

Secara umum mekanisme keausan pahat berupa *Abrasion, Diffusion, Attrition, Thermal Fatigue, Plastic Deformation*. Sebagian penulis menjelaskan seperti (Shaw, 1984 dan Trent, 2000) sebagian besar menjelaskan mekanisme keausan pahat akan meningkat dengan bertambahnya kecepatan pemotongan yang lebih tinggi dan naiknya temperatur pemotongan. Menurut buku *Metal Cutting*, 2013 dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### 1. *Diffusion Wear*

Proses difusi atau peresapan terjadi karena ada penambahan suhu pada pahat, ketika memotong baja dengan kecepatan tinggi dan laju umpan,



sebuah *carter* dibentuk pada permukaan *rake* pada alat tungsan karbida-kobalt, dengan flat yang tidak rata pada tepi pahat, pengukuran suhu pada alat karbida tidak dimungkinkan dengan teknik ini.

## 2. *Attrition Wear*

*Attrition Wear* terjadi pada saat pemakaian alat potong pada baja dengan kecepatan pemakanan yang tinggi, dan dapat terjadi juga ketika pemotongan pada kecepatan yang relatif rendah, dimana suhu tidak cukup tinggi dan terjadi keausan. Selama pemotongan, tepi bawah terus berubah, sementara bagian tepi yang berdekatan dengan pahat tetap melekat dan tidak berubah, pahat terus memotong untuk jangka waktu yang lama tanpa aus.

## 3. *Abrasive wear*

Proses pengikisan atau efek gesekan antara material benda pada bidang geram dan utama pahat, karena kekerasan tungsan karbida yang tinggi, keausan abrasif jauh lebih kecil kemungkinannya untuk menjadi proses keausan yang signifikan dengan semen karbida dibandingkan dengan baja kecepatan tinggi.

## 4. *Thermal Fatigue*

Dimana pemotongan terputus sangat *frequently*, seperti dalam *milling*, retakan ini disebabkan oleh ekspansi bolak – balik dan kontraksi lapisan permukaan pahat saat dipanaskan selama pemotongan, dan didinginkan dengan konduksi ke dalam tubuh pahat selama interval antar pemotongan. Retakan biasanya dimulai pada posisi terpanas di permukaan menyapu agak

jauh dari *edge*, kemudian menyebar melintasi tepi dan menuruni sisi. Oleh karena itu, banyak manufaktur memilih karbida sebagai komposisi dan struktur yang paling tidak sensitif terhadap kelelahan termal sebagai dasar untuk kadar yang direkomendasikan untuk *milling*. Kelelahan adalah kegagalan yang terjadi pada suatu material pada keadaan beban dinamis. Kegagalan merupakan hal yang sangat membahayakan, karena terjadinya tanpa adanya petunjuk awal, Yudiono (2009).

#### 5. *Plastic Deformation*

Aus pahat berupa deformasi plastis disebabkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat, dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama dengan naiknya temperatur. Beban tekan dan beban geser yang tinggi pada bidang geram, hal ini sering terjadi pada keausan bawah, dan biasanya berpengaruh pada kecepatan potong yang tinggi.

#### **2.2.6 Material Bahan**

Material bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja. Baja merupakan paduan, yang terdiri dari besi, karbon dan unsur lainnya. Pada teori yang dikemukakan oleh Kirono dan Amri (2011 : 1) bahwa baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian atau penempaan, karena penggunaannya sangat luas maka berbagai pihak sering mengklarifikasikan baja antara lain menurut cara pembuatannya, penggunaannya, kekuatannya, menurut komposisi kimianya baja dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon dan baja paduan.

Baja atau besi yang dihasilkan dari dapur-dapur baja disebut baja atau besi karbon, yaitu campuran antara besi dengan zat arang (karbon). Sedangkan unsur lainnya seperti fosfor, belerang, dan sebagainya juga ada didalamnya, namun dalam presentase yang kecil sekali sehingga dianggap tidak mempengaruhinya. Apabila unsur lainnya itu sengaja dimasukkan kedalamnya, maka dikatakan sebagai baja paduan. Bahan yang digunakan dalam perancangan harus memperhatikan sifat – sifat logam seperti kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan (*hardness*) atau kekuatan luluh (*fatigue strength*). Sifat mekanik dapat didefinisikan sebagai ukuran kemampuan untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan.

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C) dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utama dengan kandungan kurang dari 2 %. Klasifikasi Baja Karbon terdiri baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) ( $C = 0,03 - 0,35$  %), baja karbon sedang (*Medium Carbon Steel*) ( $C = 0,35 - 0,55$  %) dan baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*) ( $C = 0,55 - 1,70$  %).

Pada makalah yang dibuat oleh Kristianingrum, baja paduan terdiri dari, baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*) merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5 % wt misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain – lain. Memiliki kadar karbon sama seperti baja karbon, tetapi ada sedikit unsur paduan. Baja paduan menengah (*Medium Alloy Steel*) merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5 % - 10 % wt misalnya Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain – lain. Baja paduan tinggi (*High Alloy Steel*) merupakan baja paduan

yang elemen paduannya lebih dari 10 % wt misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain – lain. Contohnya baja tahan karat, baja perkakas dan baja mangan. Pada umumnya, baja paduan mempunyai sifat yang unggul dibandingkan dengan baja karbon biasa diantaranya :

1. Keuletan yang tinggi tanpa pengurangan kekuatan tarik.
2. Tahan terhadap korosi dan keausan yang tergantung pada jenis paduannya.
3. Tahan terhadap perubahan suhu, ini berarti bahwa sifat fisisnya tidak banyak berubah.
4. Memiliki butiran yang halus dan homogen.

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan tiga jenis baja untuk mengukur tingkat keausan *end mill cutter*, klasifikasinya sebagai berikut :

#### 1. Baja ST 37

Baja ST 37 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah yang memiliki sifat mudah di tempa dan mudah di proses pemesinan. Baja ini mempunyai kekuatan tarik minimal  $37 \text{ kg/mm}^2$  dan maksimal  $45 \text{ kg/mm}^2$ , atau  $370 \text{ N/mm}^2$  hasil uji laboratorium untuk komposisi kimia menunjukkan unsur karbon (C) sebesar 0,044 % (Kuswanto, 2010). Baja ini mempunyai kandungan karbon (C) dibawah 0,35 %. Berikut kandungan unsur kimia baja ST 37, mengandung komposisi 0,12 % (C), 0,04 % (P), 0,05 % (S), 0,50 % (Mn), 0,10 % (Cu), 0,02 % (Al), Sisa (Fe) (Saputra, dkk, 2014).

Peneliti telah membuktikan dengan melakukan pengujian bahan di Laboratorium Logam Ceper Politeknik *Manufactur Ceper* bahwa baja ST 37

mengandung unsur 0,218 % (C), <0,0005 % (P), 0,0474 % (S), 0,316 % (Mn), 0,0220 % (Cu), 0,0356 (Al), 98,9 % (Fe), data tersebut setara dengan baja AISI 1020 yang dibuktikan pada *E-book Engineering Handbook* (Huyett, 2014) yaitu 0,18 – 0,23 % (C), 0,040 % (P (Max)), 0,050 % (S(Max)), 0,30 – 0,60 % (Mn), dengan data tersebut menandakan bahwa peneliti menggunakan bahan baja dengan klasifikasi baja karbon rendah.

#### 1. Baja ST 60

Baja St 60 termasuk baja karbon sedang. Pemilihan baja ST 60 didasarkan karena bahan tersebut sering digunakan dalam industri manufaktur. ST 60 merupakan baja struktural dengan kekuatan tarik sebesar  $60 \text{ kg/mm}^2$  atau  $600 \text{ N/mm}^2$ . Baja ST 60 merupakan golongan baja karbon sedang yang memiliki kandungan karbon 0,30 % - 0,45 %. Hal ini dibuktikan dengan pengujian komposisi yang dilakukan oleh Lagiyono (2011) di Divisi Laboratorium Analisa Logam CV. Prima Logam, diperoleh komposisi kimia 0,4243 % Karbon (C), 0,6980 % Mangan (Mn), 0,2247 % Silikon (Si), 0,0104 Chromium (Cr), 0,1054 Posfor (P), 0,0152 Tembaga (Cu).

Peneliti telah membuktikan dengan melakukan pengujian bahan di Laboratorium Logam Ceper Politeknik *Manufactur Ceper* bahwa baja ST 60 mengandung unsur 0,492 % (C), <0,0005 % (P), 0,0470 % (S), 0,654 % (Mn), 0,0247 % (Cu), 0,113 (Al), 97,9 % (Fe), data tersebut setara dengan baja AISI 1045 yang dibuktikan pada *E-book Engineering Handbook* (Huyett, 2014) yaitu 0,43 – 0,50 % (C), 0,040 % (P (Max)), 0,050 % (S(Max)), 0,60 – 0,90 % (Mn), dengan data tersebut menandakan bahwa peneliti menggunakan bahan baja

dengan klasifikasi baja karbon sedang atau medium. Dengan kadar karbon sedang yang dimiliki baja ST 60 menjadikan baja ini memiliki sifat - sifat pengerjaan dan kekuatan yang sangat baik. Apabila baja ini diberi perlakuan yang tepat maka akan didapatkan kekerasan dan keuletan sesuai dengan yang diinginkan.

## 2. Baja ST 90

Baja ST 90 merupakan paduan dari JIS SCM 447 – AISI 4340, yang merupakan salah satu jenis baja paduan rendah menurut standar AISI (*American Iron and Steel Institute*) dan DIN 1.65565, 40. NICKEL MO6, baja AISI 4340. ST 90 merupakan baja struktural dengan kekuatan tarik sebesar  $90 \text{ kg/mm}^2$  atau  $900 \text{ N/mm}^2$  (Putra, 2014). Peneliti telah membuktikan dengan melakukan pengujian bahan di Laboratorium Logam Ceper Politeknik *Manufactur Ceper* bahwa baja ST 90 mengandung unsur 0,208 % (C), <0,0005 % (P), 0,0479 % (S), 0,778 % (Mn), 0,0046 % (Cu), 0,0124 (Al), 96,1 % (Fe), data tersebut setara dengan baja AISI – SAE 8620 yang dibuktikan pada *E-book Engineering Handbook* (Huyett, 2014 ) yaitu 0,18 – 0,23 % (C), 0,035 % (P (Max)), 0,040 % (S(Max)), 0,70 – 0,90 % (Mn), 0,15 – 0,25 % (Mo), 0,40 – 0,40 % (Cr), 0,40 – 0,70 % (Ni), 0,15 – 0,35 % (Si), dengan data tersebut menandakan bahwa baja tersebut merupakan baja paduan (*Standard Alloy Steels*).

Menurut artikel dari logam ceper yang peneliti baca baja paduan adalah baja yang mengandung selain Fe dan C juga unsur – unsur paduan lainnya. Unsur – unsur paduan yang ditambahkan pada baja diantaranya Ni, Cr, Mo,

Ti, Mn dan lain – lain. Pada data tersebut tergolong dalam baja paduan rendah yang artinya baja paduan dengan jumlah unsur paduan <10 % dan memiliki kadar karbon sama seperti baja karbon tinggi, tetapi ada sedikit unsur paduan. Penambahan unsur paduan dapat meningkatkan kekuatan tanpa mengurangi keuletannya, kekuatan fisik selain itu daya tahan terhadap korosi dan panas lebih baik. Aplikasi baja paduan rendah digunakan untuk bahan kapal, jembatan, roda kereta api, kereta uap, tangki gas, dan masih banyak lagi. Berdasarkan sifatnya baja paduan rendah dapat dikelompokkan menjadi baja kuat, baja tahan suhu rendah dan baja tahan panas.

#### **2.2.7 *Microscope Metalografi Infinity 2***

Paket aplikasi *Infinity Analyze* dirancang untuk bekerja secara eksklusif dengan model kamera *Infinity Lumenera*. Ini menyediakan semua fungsi yang diperlukan untuk mengontrol semua pengaturan kamera yang tersedia, baik untuk pratinjau video langsung dan pengambilan gambar diam. Selain itu, *Analyze* menyediakan serangkaian pengukuran dan operasi analitis berguna dalam banyak operasi klinis, laboratorium, dan inspeksi.

Pada *Hanbook Infinity Manual*, analisis infinitas dapat digunakan untuk mikroskop majemuk dan *mikroskop stereo*, dan juga berisi beberapa fungsi yang dirancang khusus untuk pencitraan *fluoresens*. *Infinity Analyze* sesuai dengan Panduan antarmuka pengguna *Microsoft Windows* dan demikian juga serupa ke program lain dalam membuka file dan operasi *mouse*. Bagian ini memberikan latar belakang untuk pengambilan gambar dan analisis dengan *infinity* menganalisa. Dalam penelitian yang dilakukan untuk menentukan

luasan keausan yang terjadi pada *end mill cutter*, peneliti menggunakan bagian *polygon* untuk mengukurnya, perintah *polygon* untuk mengukur luas dan keliling poligon. Cara untuk mengukurnya sebagai berikut:

- 1) Klik untuk menentukan simpul poligon, setelah titik terakhir telah ditentukan.
- 2) Klik dua kali tombol kanan untuk memulai dan menyelesaikan pengukuran.
- 3) Poligon akan diletakkan pada lapisan *overlay* gambar.
- 4) Teks singkat yang menggambarkan area dan perimeter yang diukur akan muncul dalam objek penjelasan kotak teks.
- 5) Dua entri akan ditambahkan ke pengukuran jendela bantu, satu entri adalah area, yang lainnya adalah perimeter.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh variasi baja terhadap keausan *end mill cutter* HSS pada proses pemesinan CNC *milling* yang mengacu pada rumusan masalah dapat ditarik kesimpulan, pengaruh variasi baja terhadap keausan *end mill cutter* HSS pada proses pemesinan CNC *milling* yaitu adanya pengaruh jenis baja, pengaruh tersebut tidak semata – mata karena adanya unsur karbon (C), tetapi adanya unsur lain seperti kromium (Cr) , kobalt (Co), vanadium (V), mangan (Mn), besi (Fe), belerang (S) dan lain – lain, seperti yang terdapat pada baja ST 90 memiliki unsur karbon yang sangat rendah, tetapi pada unsur kromium memiliki nilai yang lebih tinggi, pada baja ST 60 memiliki unsur karbon sedang tetapi pada unsur tembagannya memiliki nilai yang paling tinggi, pada baja ST 37 memiliki unsur karbon rendah tetapi pada unsur besi memiliki nilai yang paling tinggi.

Adanya pengaruh pengurangan berat, kenaikan suhu, nilai keausan dan jenis keausannya pada setiap spesimennya. Dengan kecepatan potong, kedalaman pemakanan, dan kecepatan pemakanan yang sama dalam mengaplikasikannya pada bahan yang berbeda, berbeda juga jenis keausan yang terjadi dan nilai keausan yang didapat. Terdapat jenis keausan *end mill cutter* yang diperoleh dari 9 spesimen uji pada variasi bahan yang berbeda,

diantaranya *Flank Wear*, *Chipping*, *Crate Wear*, *Plastic Deformation*, *Nose Wear*, dan *Cracking*.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan saran yang dapat diberikan guna penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya diberikan pemakanan yang berbeda dan bisa dengan satu jenis bahan saja atau divariasikan kembali, dan lihat juga kondisi mesin yang digunakan sehingga penelitian dapat berjalan dengan maksimal.
2. Gunakan nilai – nilai parameter bahan dan pemesinan sesuai dengan kondisi bahan dan mesin yang dianjurkan.
3. Meneliti kembali perhitungan nilai luas bidang yang mengalami keausan dengan prosedur alat yang baik dan benar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ansyori. 2015. Pengaruh Kecepatan Potong dan Makan terhadap Umur Pahat pada Pemesinan Freis Paduan Magnesium. *Jurnal Mechanical* (6): 28- 35
- Budiman, Hendri., dan Richard. 2007. Analisis Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan Metode Variable Speed Machining Test. *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 9, No. 1, (31 – 39)
- Dolinsek, S., and Kopac. J. 2006. Mechanism and Types of Tool Wear; Particularities in Advanced Cutting Materials. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* Vol. 19 issue 1
- G.L Huyyet. 2014. *Engineering Handbook*. USA : P.O.Box 232, Minneapolis, Kansas
- Jae Lee Kang, Lee Taik-Min, Yang Min-Yang. 2007. Tool Wear Monitoring System for CNC End Milling Using a Hybrid Approach to Cutting Force Regulation. *Int J Adv Manuf Technol* (32) 8 : 17
- Karmin., dan G. Muchtar. 2012. Analisis Peningkatan Kekerasan Baja Amutit Menggunakan Media Pendingin Dromus. *Jurnal Austenit Volume 4, Nomor 1*, April 2012
- Kristianingrum, Susila. 2010. “Baja (Steel)”. Makalah pada staff Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta
- Kirono, Sasi., dan A. Azhari. 2011. Pengaruh Tempering Pada Baja ST 37 Yang Mengalami Karburasi Dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Jurnal Mesin Teknologi\_jurnal.umj.ac.id*. (1-10)
- Lagiyono, Suwandono, Masykur Mukhamad. 2011. Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanik Pada Baja Karbon sedang ST 60. <http://ejournal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/viewFile/107/113>
- Lumenera Corporation. 2003. Infinity Analyze User’s Manual. Canada : 7 Capella Court Ottawa, ON K2E 8A7
- H.Z Li, H. Zeng, X.Q. Chen . 2006. An Experimental Study of Tool Wear and Cutting Force Variation in the End Milling of Inconel 718 with Coated Carbide Inserts. *Journal of Materials Processing Technology, Volume 180, Issues 1–3, 1 December 2006*

- Mujahid, Ma'ruf., dan S. Wirawan. 2017. Pengaruh Jenis Coolant dan Variasi Side Cutting Edge Angle Terhadap Kekasaran Permukaan Bubut Tirus Baja EMS 45. *journal.unnes.ac.id.* (47-53)
- Putra, Toni Dwi. 2014. Variasi Bahan Material dan Ukuran Diameter Poros dengan menggunakan Metode Pengujian Puntir. *Widya Teknika Vol.22 No.2; Oktober 2014* ISSN 1411 – 0660: (116 – 121)
- Puspitasari, Poppy., D. Puspitasari., M. Ilman Nur Sansongko., Andoko., Heru Suryanto. 2016. Tensile Strength Differences And Type Of Fracture In Artificial Aging Process Of Duralium Against Cooling Media Variation. *Proceedings of the International Mechanical Engineering and Engineering Education Conferences (IMEEEEC 2016), AIP Conference Proceedings 1778, 030012*
- Ribowo., dan Sunyoto. 2018. Pengaruh Sudut Penyayatan End Mill Cutter dan Arah Pemakanan terhadap Keausan End Mill Cutter pada Pengerfaisan Baja ST 40. *Jurnal Kompetensi Teknik Vol. 10, No.1,* (52-53)
- Saputra, Hendi., A. Syarief., Maulana Yassyir. 2014. Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja St 37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam Vol. 03 No.2* (91-98)
- Sivasakthivel, V. Vel Murugan, R. Sudhakran. 2010. Prediction Of Tool Wear From Machining Parameters By Response Surface Methodology In End Milling. *International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(6), 2010, 1780-1789*
- Soegiarto, Totok., dan S. Andy. 2008. Analisa Pengaruh Pemberian Cairan Pendingin (Ethyl Alcohol) Pengucuran Langsung Dan Pengabutan (Spray) Terhadap Umur Dan Keausan Pahat Hss Pada Proses Milling Vertical Baja St 42 Dengan Variasi Kecepatan Potong. *Jurnal Flywheel, Volume 1, Nomor 2,*(60-71)
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D.* Bandung: CV. Alfabeta
- Sumbodo, Wirawan. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2.* Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional
- Svetlik, Jozef., Demec Peter., Kral Jan. 2017. CNC Milling Machine Precision Analysis Through Numerical Modelling. *Advances in Science and Technology Research Journal* Volume 11, Issue 2, June 2017: (212–219)

- Trent, Edward Moor. 2013. *Metal Cutting*. London : Butterworth
- Waluyo, Joko. 2010. Pengaruh Putaran Spindel Utama Mesin Bor Terhadap Keausan Pahat Bor dan Parameter Pengeboran Pada Proses Pengeboran Dengan Bahan Baja. *Jurnal Teknologi, Volume 3 Nomor 2, Desember 2010 : (138-144)*
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesin untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesin untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Jilid 2. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- Yudiono, H. 2009. Karakterisasi Ketahanan Lelah Ulir Metris Akibat Pembebanan Puntir Lentur Pada Material Baja Karbon Rendah. *Momentum, Vol. 5, No. 2, Oktober 2009 : 37 – 40*
- Zainuddin., Harjanto Budi., Wijayanto Dinar Susilo. 2013. Pengaruh Sudut Penyayatan Dan Jumlah Mata Sayat *Endmill Cutter* Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja St 40 Hasil Pemesinan Cnc *Milling Tosuro* Kontrol Gsk 983 Ma-H. *Jurnal Nosel, 2013 - jurnal.fkip.uns.ac.id*