



**PENGARUH JENIS MATERIAL PAHAT POTONG DAN
ARAH PEMAKANAN TERHADAP KEKASARAN
PERMUKAAN BAJA EMS 45 PADA PROSES CNC
*MILLING***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh
Ana Wilda Widiatoro
NIM.5201413092
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2017**

PENGESAHAN

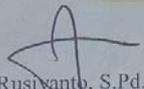
Skripsi dengan judul Pengaruh Jenis Material Pahat Potong dan Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses CNC Milling telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 19 Juli 2017.

Oleh

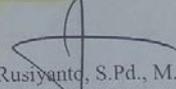
Nama : Ana Wilda Widianoro
NIM : 5201413092
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Panitia

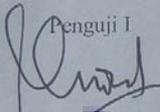
Ketua Panitia


Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

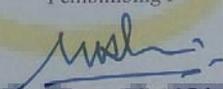
Sekretaris


Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

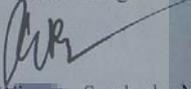
Penguji I


Dr. Murdani, M.Pd.
NIP. 195306081980121001

Pembimbing I


Dr. M. Khumaedi, M.Pd.
NIP. 19620913199102100

Pembimbing II


Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.
NIP. 196601051990021002

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

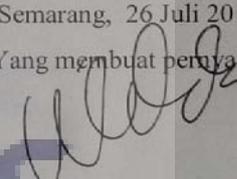
PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama Mahasiswa : Ana Wilda Widianoro
NIM : 5201413092
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Variasi Jenis Material Pahat Potong Dan Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses CNC Milling**" ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 26 Juli 2017
Yang membuat pernyataan


Ana Wilda Widianoro
NIM. 5201413092

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Beribadahlah seakan-akan ajal menjemputmu besok.
2. Dunia itu hanya 3 hari:
 - a. Kemarin : Yang tak akan terulang.
 - b. Besok : Yang belum tentu menemuinya.
 - c. Hari ini : Tempat menabung amalan kita.

(Hasan Al Basri)

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya ini untuk :

1. Kedua Orangtua yang selalu memberikan motivasi dalam hidup.
2. Keluarga Besar Teknik Mesin UNNES 2013.
3. Teman-teman yang saya kenal selama kuliah di Jurusan Teknik Mesin UNNES.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ABSTRAK

Widiantoro , Ana Wilda. 2017. Pengaruh Jenis Material Pahat Potong Dan Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses CNC *Milling*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Dr. M.Khumaedi, M.Pd., Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.

Kata Kunci : Pengaruh kekasaran permukaan, material pahat potong, arah pemakanan

Penelitian ini bertujuan untuk : (1) Menguji pengaruh jenis material pahat potong terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*, (2) Menguji pengaruh arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*, (3) Menguji pengaruh jenis material pahat potong dan arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*.

Desain eksperimen yang digunakan adalah desain faktorial AxB dimana A adalah variasi jenis material alat potong yaitu *endmill* HSS, dan *endmill* Karbida. Sedangkan faktor B adalah variasi arah pemakanan yaitu, searah 90°, searah 45°, dan berputar sumbu Z. Penelitian ini terdapat 6 perlakuan dimana setiap perlakuan dilakukan replikasi sebanyak 3 kali sehingga terdapat 18 data. Analisis data menggunakan analisis varian dua jalan dengan interaksi, setelah sebelumnya dilakukan uji prasyarat analisis yaitu uji normalitas data (Uji *Shapiro-Wilk*) dan uji homogenitas (Uji *Lavene Statistic*) dalam program aplikasi statistik SPSS 16.

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa : (1) Terdapat pengaruh antara jenis material alat potong terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*, karena hasil uji analisis data yaitu nilai Sig. $0.00 \leq 0.05$. (2) Terdapat pengaruh antara variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*, karena hasil uji analisis data yaitu nilai Sig. $0.00 \leq 0.05$. (3) Tidak ada pengaruh antara jenis material alat potong dan variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*, karena hasil uji analisis data yaitu nilai Sig. $0.419 \geq 0.05$. Hasil dari uji lanjut *Post Hoc Test* yaitu : a) Ada pengaruh signifikan antara arah pemakanan searah 90° dengan arah berputar sumbu Z. b) Ada pengaruh signifikan antara arah pemakanan searah 45° dengan searah 90° dan berputar sumbu Z. c) Ada pengaruh signifikan antara arah pemakanan berputar sumbu Z dengan searah 90° dan searah 45°

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disampaikan saran sebagai berikut, (1) Dapat digunakan sebagai pertimbangan perusahaan agar lebih mempertimbangkan bahan material alat potong dan arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan pada proses *milling*. (2) Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis sangat baik jika dianalisa faktor lain yang mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *milling*. (3) Untuk menghasilkan harga kekasaran yang rendah dapat dilakukan dengan memilih material alat potong yang memiliki kekerasan tinggi seperti jenis karbida dengan arah pemakanan searah 45°.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahuwata'ala yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi/TA yang berjudul Pengaruh Jenis Material Alat Potong dan Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses CNC *Milling*. Skripsi/TA ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

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

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik. Rusiyanto, S.Pd, M.T., yang merangkap jabatan sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1 atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dr. Muhammad Khumaedi, M.Pd. dan Dr. Wirawan Sumbodo, M.T., Pembimbing I dan Pembimbing II yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber relevan dengan penulisan karya ini.
4. Dr. Murdani, M.Pd., Penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak disebutkan satu persatu..

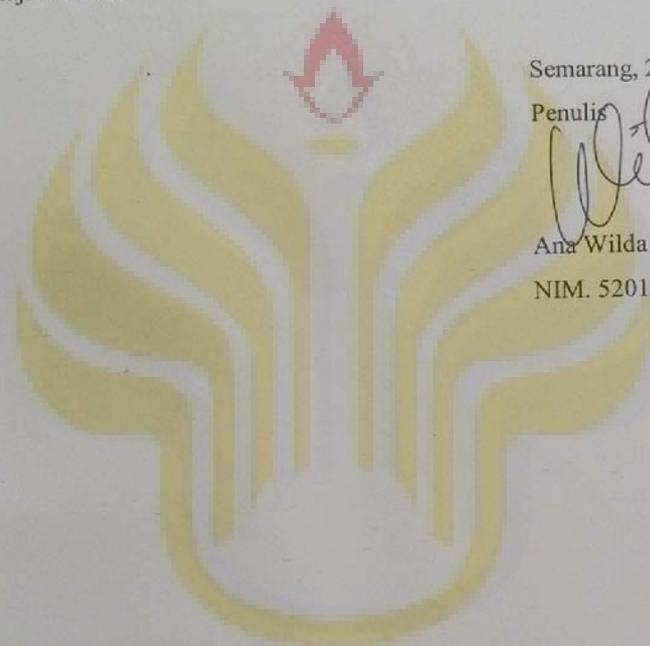
Penulis berharap semoga Skripsi/TA ini dapat bermanfaat untuk pelaksanaan pembelajaran di SMK.

Semarang, 26 Juli 2017

Penulis

Ana Wilda Widiatoro

NIM. 5201413092



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Pembatasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II. KAJIAN PUSTAKA.....	7
A. Kajian Teori.....	7
a) Proses Pemesinan.....	7

b) Klasifikasi Proses Pemesinan.....	8
c) Mesin Frais.....	9
d) Mesin CNC Frais (<i>CNC Milling</i>).....	12
e) Prinsip Kerja <i>CNC Milling</i>	14
f) Pemrograman CNC	15
g) Parameter Pengoperasian Mesin Frais (<i>Milling</i>).....	18
h) Pahat Mesin Frais (<i>Milling</i>)	21
i) Baja (<i>Steel</i>).....	25
j) Baja Karbon	26
k) Baja EMS 45	28
l) Kekasaran Permukaan.....	28
B. Kajian Penelitian Yang Relevan	31
C. Kerangka Berpikir Penelitian.....	37
D. Hipotesis atau Pertanyaan Penelitian	37
BAB III. METODE PENELITIAN.....	39
A. Desain Penelitian.....	39
B. Variabel Penelitian.....	40
C. Bahan Penelitian.....	41
D. Alat Dan Skema Peralatan Penelitian.....	42
E. Kalibrasi Alat Uji	46
F. Prosedur Penelitian.....	48
1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	48

2. Proses Penelitian	49
3. Data Penelitian	51
4. Analisis Data	51
a. Uji Prasyarat Analisis	52
a) Uji Normalitas	52
b) Uji Homogenitas	53
b. Uji Hipotesis anava dua jalan	53
BAB IV. HASIL PENELITIAN	58
A. Deskripsi Data	58
B. Uji Prasyarat Analisis	61
C. Pengujian Hipotesis	63
D. Pembahasan Hasil Analisis Data	66
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	76
A. Simpulan	76
B. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	89

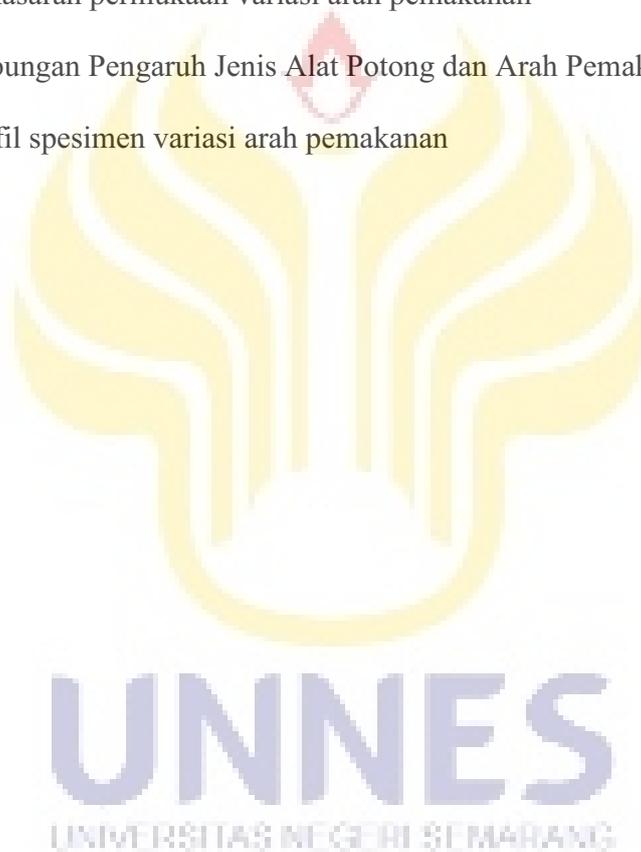
DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
Tabe.1.	Penentuan jenis pahat, geometri pahat, f , dan vc	20
Tabel.2.	Kecepatan potong untuk proses frais	21
Tabel.3.	Klasifikasi Baja Karbon	26
Tabel.4.	Toleransi Nilai Kekasaran (R_a)	30
Tabel.5.	Tingkat kekasaran berdasarkan pengerjaan	30
Tabel.6.	Desain faktorial	39
Tabel.7.	Form data penelitian nilai kekasaran	51
Tabel.8.	Anava dua jalur dengan interaksi	57
Tabel.9.	Data Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan	58
Tabel.10.	Data deskriptif statistik angka kekasaran	59
Tabel.11.	Hasil Rata-rata Pengukuran Tingkat Kekasaran Permukaan	60
Tabel.12.	<i>Tests of Normality</i> Shapiro-Wilk dalam SPSS 16	61
Tabel.13.	<i>Test of Homogeneity of Variance</i>	62
Tabel.14.	<i>Test of Between-Subjects Effects</i>	63
Tabel.15.	Hasil pengujian lanjut <i>Post Hoc Test</i>	64
Tabel.16.	<i>Multiple Comparisons</i>	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1.1	Proses pemesinan	8
2.2	Prinsip pemotongan mesin frais	9
3.3	Klasifikasi Proses Frais	11
4.4	Mesin frais CNC TU 3A EMCO	13
5.5	Mesin frais CNC PU	13
6.6	Sistem koordinat <i>cartesius</i>	14
7.7	Skema pergerakan mesin <i>milling</i> CNC	14
8.8	Struktur program CNC	17
9.9	Perbedaan pahat HSS dan Karbida	25
10	Kerangka Berpikir Penelitian	37
11	Dimensi benda kerja baja EMS 45	41
12	Mesin CNC <i>Siemens Sinumerik 802C Base Line</i>	42
13	Endmill HSS-CO-8 Sutton 4 FLUTE	43
14	Endmill Carbide 8 mm 4 flute	44
15	Jangka sorong ketelitian 0,05 mm	45
16	<i>Surfcorder</i> SE300	46
17	Kalibrasi dengan alat ukur	47
18	Diagram alir penelitian	48
19	Arah pemakanan pemotongan frais	49

20	Titik permukaan yang diuji kekasaran	50
21	Histogram Hasil Uji Kekasaran Permukaan Baja EMS 45	61
22	Grafik kekasaran rata-rata jenis material pahat	67
23	Grafik kekasaran rata-rata variasi arah pemakanan	70
24	Kekasaran permukaan variasi arah pemakanan	71
25	Hubungan Pengaruh Jenis Alat Potong dan Arah Pemakanan	73
26	Profil spesimen variasi arah pemakanan	74



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
Lampiran 1	SK Pembimbing	80
Lampiran 2	Surat Ijin Penelitian Di BLKI	81
Lampiran 3	Surat Ijin Pengujian dan Peminjaman Alat Uji	82
Lampiran 4	Surat Selesai Penelitian	83
Lampiran 5	Dokumentasi Penelitian	84
Lampiran 6	Data Hasil Pengujian Laboratorium	89
Lampiran 7	Sertifikat Baja EMS 45	91
Lampiran 8	Analisis Data Dengan Program SPSS 16	92



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Teknologi dalam dunia pemesinan saat ini mengalami kemajuan dan perkembangan yang sangat pesat. Kebutuhan dalam dunia industri yang semakin meningkat, memicu berkembangnya teknologi dalam proses pemesinan. Dalam dunia pemesinan, macam-macam proses pengerjaan pemesinan meliputi pembubutan, pengefraisan, penggerindaan, proses sekrap, dan lain-lain. Yang membedakan dari proses pemesinan tersebut terletak pada cara kerja dan hasilnya. Permasalahan yang dialami pada industri pemesinan, yaitu bagaimana menghasilkan produk yang berkualitas, serta mempertimbangkan efisiensi pengerjaan dan biaya yang dikeluarkan selama proses produksi.

Peralihan fungsi mesin konvensional ke mesin non-konvensional menjadi alasan utama ketika proses pengerjaan tidak dapat lagi dikerjakan dengan mesin konvensional. Tuntutan akan proses pengerjaan yang memiliki kepresisian yang tinggi, kemudian bahan yang dikerjakan sangat keras, bentuk produk yang dibuat rumit, maka untuk mengatasi permasalahan semua itu digunakanlah mesin non-konvensional. Mesin non-konvensional yang digunakan dalam dunia pemesinan yaitu mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*). Mesin CNC merupakan mesin yang dioperasikan dengan menggunakan bahasa program numeric yang berbasis kontrol computer. Dalam dunia industri, mesin CNC digunakan untuk

pengerjaan produk yang memiliki akurasi atau ketelitian yang tinggi, serta memiliki bentuk permukaan yang kompleks yang tidak dapat dikerjakan dengan mesin konvensional.

Dalam melakukan pengerjaan dengan pemesinan, waktu dalam pembuatan suatu produk harus dikerjakan dengan waktu yang tepat sesuai dengan perencanaan. Untuk memperoleh efisiensi waktu dan pengerjaan yang maksimum pada produk yang dikerjakan dengan menggunakan mesin CNC, maka mesin CNC harus diatur parameternya pada kondisi maksimum. Untuk memperoleh hasil yang maksimal terhadap produk yang dihasilkan pada mesin CNC terutama pada pencapaian ukuran yang ditentukan serta memiliki kualitas sesuai dengan standar yang ditentukan, biasanya operator mesin CNC hanya mengubah dan mengatur *setting* menurut buku manual atau menurut pengalaman yang terkadang belum memuaskan hasilnya. Bahkan seringkali mengulangi proses pengerjaannya untuk mencapai kriteria produk yang diharapkan.

Dalam proses pengefraisan (*milling*), hasil yang dicapai selain ukuran yang presisi adalah harga kekasaran. Harga kekasaran merupakan harga yang paling penting terutama untuk benda yang bergesekan. Dari harga kekasaran permukaan ini dapat dilakukan evaluasi apakah produk yang dibuat tersebut diterima atau tidak. Semakin rendah harga kekasaran yang dihasilkan, maka kriteria benda tersebut semakin baik. Jika harga kekasaran yang diperoleh semakin tinggi maka akan berdampak kepada komponen atau elemen mesin yang saling bergesekan. Gesekan akan meningkat jika kualitas permukaan tidak halus.

Kualitas permukaan yang halus akan membuat sedikit gesekan dari pada permukaan yang kasar. Usaha yang dilakukan untuk memperkecil gesekan yaitu, (a) permukaan yang dikenai beban saling gesek dibuat halus permukaannya, (b) memberi pelumas pada bidang permukaan yang saling gesek, (c) dengan menggunakan bantalan rol atau anti fiksi. Namun tingkat kekasaran permukaan juga menyesuaikan dengan kebutuhan komponen yang dibuat sesuai dengan fungsinya. Keausan terjadi apabila gaya gesek yang terjadi lebih besar, maka dari itu halusnya permukaan dapat mengurangi keausan dan memperpanjang umur komponen tersebut. Komponen yang memiliki fungsi kerja saling bergesekan yaitu roda gigi, poros engkol. Komponen tersebut dibuat dari bahan baja yang memiliki karbon sedang. Salah satu jenis bahan yang memiliki kandungan karbon sedang yaitu baja EMS 45 yang memiliki kandungan karbon sebesar 0.48%. Selain itu baja EMS 45 mudah didapatkan dan sering dipakai dalam pembuatan komponen mesin tersebut.

Untuk memperoleh kualitas permukaan yang baik, salah satu faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah parameter pada mesin seperti, putaran *spindle*, kecepatan potong, dan kedalaman pemakanan, ketepatan pemilihan gerak makan, jenis pahat, dan pemotongan. Kecepatan spindel dipengaruhi antara lain, (a) kecepatan potong pisau, (b) diameter pisau, (c) kekerasan bahan, (d) bahan pisau. Kemudian kecepatan potong juga dipengaruhi oleh, (a) jenis bahan yang dikerjakan, (b) jenis material pisau, (c) ketahanan pisau, (d) pergantian pisau dengan pemakaian yang sebanding. Arah pemakanan

dalam proses pengerjaan juga berpengaruh terhadap hasil profil permukaan komponen yang dibuat. Pada pengerjaan mesin frais (*milling*) tahap *finishing*, parameter gerakan pemakanan diatur kecil, putaran spindle yang tinggi, serta tebal pemotongan yang kecil. Performa alat potong yang digunakan harus mampu menghasilkan yang terbaik. Maka dari itu material alat potong yang digunakan adalah pahat potong dengan material HSS dan Karbida, serta arah pemakanan yang digunakan untuk mengetahui profil dengan kekasaran yang baik digunakan antara lain, gerakan pemakanan searah 90° , searah 45° , dan berputar konstan sumbu Z.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, berbagai masalah yang teridentifikasi adalah sebagai berikut :

1. Gesekan antara bidang permukaan dipengaruhi oleh kekasaran permukaan.
2. Gesekan yang besar pada dua bidang permukaan akan mengakibatkan keausan dan mengurangi umur ketahanan komponen.
3. Parameter mesin yaitu laju pemakanan (*feedrate*), kedalaman pemakanan mempengaruhi harga kekasaran.
4. Profil yang terbentuk pada permukaan benda kerja yang menyebabkan tingkat kekasaran dipengaruhi oleh arah pemakanan.
5. Jenis material pada alat potong frais (*milling*) berpengaruh pada performa penyayatan.

C. Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah diatas, diuraikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Baja karbon sedang yang digunakan adalah baja EMS 45.
2. Laju pemakanan (*feedrate*), kedalaman pemakanan yang digunakan adalah konstan.
3. Jenis pahat yang digunakan adalah Endmill HSS dan Endmill Karbida.
4. Arah pemakanan divariasikan menjadi 3, yaitu searah 90° , searah 45° , dan berputar konstan sumbu Z, agar dapat diketahui hasil permukaan benda kerja yang memiliki kekasaran yang rendah.
5. Mesin frais (*Milling machine*) untuk memproses penyayatan permukaan benda kerja adalah mesin CNC *Milling*.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pembatasan masalah diatas, diperoleh rumusan masalah penelitian yaitu :

1. Apakah ada pengaruh jenis material pahat potong terhadap tingkat kekasaran baja EMS 45 pada mesin *Milling* CNC?
2. Apakah ada pengaruh arah pemakanan terhadap tingkat kekasaran baja EMS 45 pada mesin *Milling* CNC?
3. Apakah ada pengaruh jenis material pahat potong dan arah pemakanan terhadap tingkat kekasaran baja EMS 45 pada mesin *Milling* CNC?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menguji pengaruh jenis material pahat potong terhadap tingkat kekasaran baja EMS 45 pada mesin *Milling* CNC.
2. Untuk menguji pengaruh arah pemakanan terhadap tingkat kekasaran baja EMS 45 pada mesin *Milling* CNC.
3. Untuk menguji pengaruh jenis material pahat potong dan arah pemakanan terhadap tingkat kekasaran baja EMS 45 pada mesin *Milling* CNC.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

- a. Sebagai tolak ukur untuk memilih jenis material pahat potong dalam pengerjaan benda kerja pada proses *CNC Milling*.
- b. Sebagai tolak ukur untuk memilih metode arah pemakanan untuk tahap *finishing* benda kerja pada proses *CNC Milling*.
- c. Sebagai masukan kepada operator mesin *CNC Milling* untuk menentukan parameter mesin dalam praktikum dilaboratorium maupun di industri.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

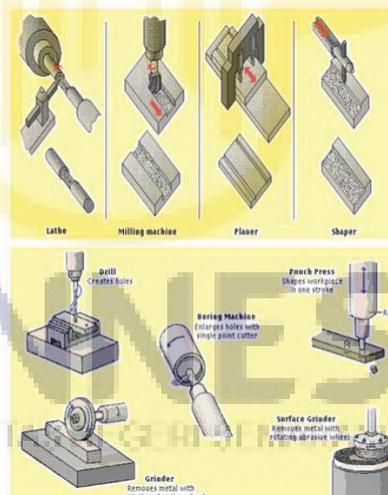
a. Proses Pemesinan

Proses pemesinan merupakan bagian dari dunia manufaktur yang mengolah bahan baku menjadi barang jadi dengan melalui tahap perencanaan, proses pengolahan, finishing, serta tahap *quality control* untuk mengecek apakah barang yang sudah dibuat sesuai dengan kriteria yang sudah direncanakan atau tidak. Menurut Widarto (2008:36) proses pemesinan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi menjadi tiga, yaitu: pemotongan dengan mesin press, menggunakan mesin konvensional, dan menggunakan mesin non konvensional.

Proses pemotongan dengan mesin konvensional meliputi proses pembubutan (*turning*), pengefraisan (*milling*), penyekrapan (*shaping*). Proses pemotongan logam dengan cara-cara tersebut disebut dengan proses pemesinan dimana penyayatan bagian dari logam yang tidak digunakan yang disebut dengan tatal atau beram, sampai membentuk barang yang diinginkan. Jadi kesimpulannya adalah proses pemesinan merupakan proses yang banyak dilakukan untuk mengubah bahan baku dasar yaitu dari logam menjadi produk. Hampir 80 % semua komponen mesin dikerjakan melalui proses pemesinan. (Widarto, 2008:36).

b. Klasifikasi Proses Pemesinan

Menurut Widarto (2008:36) menyatakan bahwa klasifikasi proses pemesinan dibagi menjadi dua yaitu proses pemesinan untuk membuat benda kerja silindris dengan cara benda kerja yang berputar dan proses pemesinan untuk membuat permukaan datar benda kerja dengan tidak memutar benda kerja. Klasifikasi yang pertama adalah proses pembentukan dengan mesin bubut (*turning*), frais (*milling*), mesin bor (*drilling*), dan mesin gerinda (*grinding machine*). Sedangkan klasifikasi yang kedua yaitu meliputi proses sekrap (*shaping*), proses menggergaji (*shaving*), proses slot (*slotting*), dan proses pemotongan roda gigi (*gear cutting*).



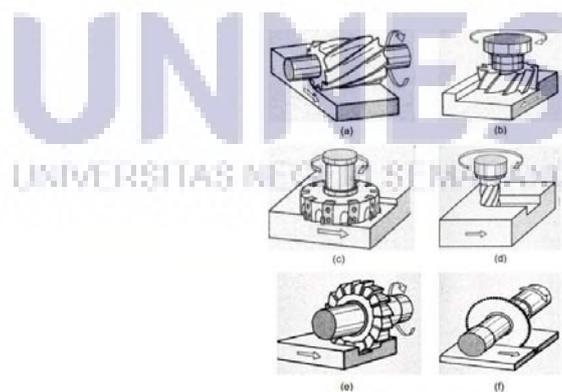
Gambar.1. Proses pemesinan : Bubut (*turning*), frais (*milling*), sekrap (*shaping*), bor (*boring*), gurdi (*drilling*), gerinda (*grinding*).

(Sumber: Widarto, 2008:37)

c. Mesin Frais

a) Definisi dan Fungsi Mesin Frais

Mesin frais merupakan jenis mesin perkakas yang mempunyai tiga sumbu gerakan dengan prinsip kerja pahat yang diam berputar dan benda kerja yang bergerak. Sumbodo, W, dkk (2008:278) menyatakan bahwa “proses pemesinan frais (*milling*) adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar.”. Bentuk profil mata potong yang jumlahnya jamak dapat melakukan proses penyayatan dengan cepat. Profil permukaan yang dapat dikerjakan pada mesin frais yaitu berbentuk datar, bidang miring atau bidang bersudut, serta bidang melengkung. Hal ini tentu menjadi keunggulan mesin frais yang memiliki gerakan tiga sumbu yaitu gerakan horizontal (X), vertikal (Y), dan gerakan naik turun (Z). Prinsip pemotongan pada mesin frais adalah seperti berikut :



Gambar.2. Prinsip pemotongan mesin frais.
(Sumber: Widarto, 2008:194)

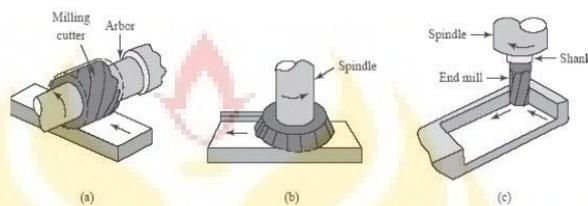
Pada prinsip pemotongan tersebut menunjukkan proses pengefraisan pada bagian benda kerja dimana benda kerja bergerak melawan arah putaran pisau tersebut. Bentuk dari profil benda kerja dapat disesuaikan dengan jenis mata sayatnya. Berikut adalah bentuk atau profil yang dapat dikerjakan dengan menggunakan mesin frais (*milling*). Ananda, Arif F (2014:38).

- a) Bidang rata datar
- b) Bidang miring berusudut
- c) Bidang siku
- d) Bidang sejajar
- e) Profil alur
- f) Bentuk segi beraturan maupun tidak beraturan
- g) Pengeboran lubang atau memperbesar lubang
- h) Roda gigi lurus, helik, payung, cacing.

Selain bentuk profil diatas yang dapat dikerjakan menggunakan mesin frais, dapat juga membentuk profil yang lebih detail seperti halnya pembuatan berbagai macam jenis roda gigi. Akan tetapi dalam pembuatannya harus terdapat peralatan pendukung atau pembantu untuk pengerjaan kompleks tersebut.

b) Klasifikasi Proses Frais

Widarto (2008:196), Klasifikasi proses frais dapat dibagi menjadi tiga jenis yang berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, serta posisi relatif pahat terhadap benda kerja.



Gambar.3.Klasifikasi proses frais: (a) frais periperal/ *slab milling*, (b) frais muka/ *face milling*, (c) frais jari/ *end milling*.
(Sumber: Widarto, 2008:196)

1. Frais periperal (*peripheral milling*)

Proses ini disebut juga dengan *slab milling*. Permukaan yang dilakukan pengefraisan oleh gigi pahat yang terletak pada permukaan luar alat potong tersebut. Sumbu putaran pahat tersebut biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat.

2. Frais muka (*face milling*)

Pahat pada pengefraisan muka dipasang pada spindle yang memiliki sumbu putar vertikal terhadap permukaan benda kerja. Hasil pengefraisan permukaan dihasilkan oleh penyayatan ujung selubung pahat.

3. Frais jari (*end milling*)

Pada proses pengefraisan, ujung pahat berputar pada sumbu yang tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Pahat dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan yang menyudut. Gigi potong pada pahat terletak pada selubung pahat.

c) Mesin CNC Frais (*CNC Milling Machine*)

Menurut Wijanarka, Bernardus S (20013:6) mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan komputer yang digerakkan menggunakan bahasa pemrograman yaitu numerik. Dengan kata lain mesin CNC dioperasikan dengan menggunakan bahasa pemrograman untuk pengoperasian semua parameter yang ada pada mesin CNC. Keunggulan mesin CNC dari pada mesin konvensional adalah dapat mengerjakan benda kerja secara massal yang berjumlah banyak dalam bentuk yang sama, menghemat waktu, hasil yang diperoleh mempunyai kepresisian yang tinggi, dan dapat juga menghemat biaya produksi. Jenis-jenis mesin frais CNC (*CNC Milling*) digolongkan menjadi dua, yaitu:

1. Mesin frais CNC *Training Unit* (TU)

Mesin frais CNC TU merupakan mesin dengan tiga sumbu gerakan yaitu sumbu X (horizontal), sumbu Y (melintang), dan sumbu Z (vertikal) yang digunakan dalam pekerjaan ringan dengan material benda kerja yang relatif lunak dan digunakan untuk uji coba latihan dan

tidak digunakan dalam produksi masal, serta dimensi mesinnya lebih kecil.



Gambar.4. Mesin frais CNC TU 3A EMCO

2. Mesin frais CNC *Production Unit* (PU)

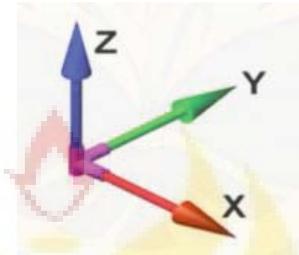
Mesin frais CNC PU merupakan mesin yang digunakan untuk produksi masal, yang dilengkapi dengan peralatan yang mendukung seperti system pembuka otomatis dengan hidrolis, pembuangan tatal, serta tempat penyimpanan *tool*, dan sebagainya. Dimensi mesin frais CNC PU lebih besar dari pada mesin frais CNC TU.



Gambar.5. Mesin frais CNC PU.

d) Prinsip Kerja Mesin Frais CNC (*CNC Milling*)

Sistem koordinat pada mesin CNC frais yaitu menggunakan system koordinat *cartesius*.



Gambar.6. Sistem koordinat *cartesius*.

Arah gerak persumbuan pada mesin frais diberi lambang sebagai berikut:

1. Sumbu X untuk arah gerakan horizontal.
2. Sumbu Y untuk arah gerakan melintang.
3. Sumbu Z untuk arah gerakan vertikal.



Gambar.7. Skema pergerakan mesin *milling* CNC.

Semua gerakan diatur dalam sebuah program. Program tersebut dinamakan dengan NC kode, yang berisikan angka-angka koordinat serta perintah G kode untuk parameter mesin CNC tersebut. Urutan program yang dibuat logis sesuai dengan tahapan pengerjaannya. Pada dasarnya

pemrograman mesin CNC ada dua metode untuk proses pembentukan/ penyayatan benda kerja, yaitu metode pemrograman absolut dan metode pemrograman inkremental. Metode pemrograman absolut merupakan gerakan alat potong yang bergerak dengan acuan pada satu titik nol (awal). Sedangkan metode pemrograman inkremental merupakan gerakan alat potong yang bergerak dengan didasarkan beberapa titik nol (awal), dimana titik terakhir pahat berhenti menjadi titik awal untuk pergerakan selanjutnya alat potong tersebut. Jadi yang membedakan metode pemrograman tersebut hanya terletak pada referensi titik nol (awal) gerakan pisau.

e) Pemrograman CNC

Pemrograman CNC merupakan urutan langkah yang logis dalam pembuatan kontur benda kerja yang dibuat. Menurut jurnal Wirawan Sumbodo,dkk yang berjudul "*The Making of Workpieces Using Autocad Software Based Siemens Sinumerik 802C Base Line Frais Machine*" pembuatan program cnc dapat menggunakan alat bantu software yang kemudian ditransfer kedalam mesin CNC sehingga dapat diatur parameter pengerjaannya. Dalam pembuatan program CNC diperlukan tiga langkah utama yaitu:

1. Langkah persiapan

Mempelajari gambar kerja yang akan dibuat dari segi dimensi dan merencanakan pengerjaan benda kerja dari benda kerja mentah (*raw*

material) menjadi benda kerja jadi. Cara atau urutan proses permesinan harus ditentukan sebaik mungkin, seperti cara penjepitan benda kerja, perhitungan parameter mesin, penentuan material pahat potong dan sebagainya, sehingga dapat tercapainya kondisi pemotongan yang optimum.

2. Langkah pelaksanaan

Pembuatan program untuk pengerjaan yang dibuat sesuai dengan bentuk benda kerja. Pembuatan program dapat juga dilakukan dengan cara manual, atau pun juga bisa menggunakan *software* khusus untuk pemrograman CNC. Program tersebut mencakup keseluruhan proses pengerjaan dan proses kontrol mesin, serta perhitungan parameter mesin.

3. Langkah Percobaan

Setelah program dibuat, maka harus melalui tahap percobaan apakah program tersebut mengalami kesalahan dalam proses pengerjaan. Langkah percobaan dapat juga dilakukan pada mesin CNC dengan menampilkan kontur gerakan pisau dari program yang diuji coba. Selain itu dapat dilakukan pada *software* simulasi CNC. Dengan adanya uji coba program dapat mengetahui program tersebut siap digunakan dilapangan tanpa adanya kesalahan yang terjadi sehingga produk yang dikerjakan sesuai dengan perencanaan.

Struktur pemrograman CNC terdiri dari tiga bagian utama yaitu, bagian pembuka (kepala program), bagian isi, dan bagian penutup. Bagian awal program merupakan program yang berisikan kontrol parameter mesin yang digunakan dalam pengerjaan seperti, putaran spindel (n), kecepatan potong (f), perintah menghidupkan mesin, pendingin, kemudian setting awal pahat. Kemudian bagian isi merupakan program yang berisikan urutan proses pengerjaan pada benda kerja yang berupa gerak koordinat pahat selama penyayatan. Dan yang terakhir bagian penutup merupakan program yang berisikan perintah untuk mematikan semua parameter yang dipakai diawal program seperti, mematikan spindel, pendingin, serta mengembalikan pahat pada *home position*. Berikut adalah struktur program CNC.

N0000	G54	Pembuka
N0010	G92 X0.000 Y-50.000 Z10.000	
N0020	G59	
N0030	T0101 S1.200 F250 G94 M03 M08	
N0040	G00 X-21.000 Y10.000 Z10.000	Isi Program
N0050	Z-0.500	
N0060	G01 X40.000	
N0070	Y40.000	
N0080	X-21.000	
N0090	T0202 S2.500 F100 G94 M03	
N0100	G56	
N0110	G92 X0.000 Y-50.000-Z10.000	
N0120	G59	
N0130	G00 X-60.000 Y0.000 Z-10.000	
N0140	G01 X50.000	
N0150	Y50.000	
N0160	X0.000	
N0170	M09 M05	Penutup
N0180	T0101 G53 G56	
N0190	M30	

Gambar.8. Struktur program CNC.

i) Parameter Pengopeasian Mesin Frais (*Milling*)

Parameter ditentukan pada saat sebelum melakukan proses pemesinan yang diperhitungkan oleh operator sebagaimana parameter tersebut sudah ada ketentuannya. Parameter yang diatur adalah putaran *spindle* (n), gerak makan (f), dan kedalaman pemotongan (a). Pada mesin frais terdapat tuas – tuas untuk mengatur putaran *spindle*, sedangkan pada mesin CNC kita hanya menuliskan besaran putaran rpm yang sudah diperhitungkan dengan kondisi material benda kerja dan diameter pisau. Kemudian gerak makan juga dapat diatur sengan tuas pada mesin frais sesuai dengan table gerak makan (f), gerak makan pada mesin frais ada dua macam yaitu gerak makan per gigi (mm/gigi), dan gerak makan per putaran (mm/putaran). Sedangkan pada mesin CNC kita langsung menulis program untuk gerak makan tersebut. Kedalaman pemakanan pada mesin frais konvensional dapat dilakukan dengan cara menaikkan benda kerja, atau juga menurunkan pisau pahat. Berikut adalah perhitungan parameter pada pengoperasian mesin frais (*milling*).

a. Putaran *spindle* (n)

Putaran *spindle* ditentukan berdasarkan kecepatan potong. Sedangkan kecepatan potong diperhitungkan dari jenis material benda kerja dan jenis material alat potong. Rumus untuk menghitung putaran *spindle* yaitu: (Rahdiyanta, Dwi,2010:8).

$$n = \frac{v \times 1000}{\pi d} = \text{rpm atau put/menit}$$

Kecepatan potong merupakan jarak yang ditempuh oleh satu titik (satuan meter) pada pahat dalam satu menit ($V_c = \text{m/menit}$). Rumus kecepatan potong sama halnya rumus pada mesin bubut. Pada mesin frais besarnya diameter yang digunakan adalah diameter pisau. Rumus untuk menentukan kecepatan potong yaitu: (Rahdiyanta, Dwi,2010:8)

$$v = \frac{\pi \times d \times n}{1000} = (\text{m/menit})$$

Keterangan :

n = putaran *spindle* (put/menit)

V_c = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter pisau (mm)

b. Kecepatan pemakanan (*federate*)

Satuan kecepatan pemakanan atau *feeding* adalah mm/menit. Semakin kecil kecepatan pemakanan maka semakin rendah kekasaran pada permukaan. Rumus kecepatan pemakanan yaitu : (Teknologi Mekanik, 2014:43)

$$F = Z_n \times z \times n \quad (\text{mm/menit})$$

Keterangan :

F = kecepatan pemakanan (mm/menit)

Z_n = asutan per mata potong (mm/mata potong)

n = putaran *spindle*

z = jumlah mata potong

c. Kedalaman pemotongan (*depth of cut*)

Sunyapa, B (2016:19) Kedalaman potong (a) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap benda kerja akhir. Apabila kedalaman potong yang digunakan relative besar, maka harus memperhitungkan daya motor yang digunakan untuk penyayatan. Apabila daya potong yang diperlukan masih dibawah daya motor pada mesin maka kedalaman pemotongan yang sudah ditentukan bisa digunakan. Berikut adalah Tabel penentuan jenis pahat, geometri pahat, f , dan vc .

Tabel.1. Tabel penentuan jenis pahat, geometri pahat, f , dan vc .

Material	Tensile strength in kp/mm^2	Pahat	Cutting angle clearance/top		Feeding (mm/rev)			
			<	<	0,1	0,2	0,4	0,8
			°	°	Cutting speed, v (m/min)			
Steel St 34, St 37, St 42	Up to 50	HSS	8	14	280	60	45	34
		Karbida	5	10				
St 50, St 60	50 ... 70	HSS	8	14	240	44	32	24
		Karbida	5	10				
St 70	70 ... 85	HSS	8	14	200	32	24	18
		Karbida	5	10				
Cast steel	50 ... 70	HSS	8	10	118	34	25	19
		Karbida	5	6				

(Sumber: Teknik pemesinan, 2008)

Tabel.2. 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	45–70	185–215	120–150
Aluminium	70–110	30–45	140–215	60–90

Sumber: Wirawan Sumbodo (2008:348)

j) Pahat Mesin Frais (*Milling Cutter*)

Menurut Rodian , S (2015:12), pahat mesin frais merupakan alat potong dengan jumlah sisi potong yang mempunyai mata sayat ganda atau lebih dari satu (*multi point*). Bentuk geometris pahat yang memiliki mata pisau lebih dari satu lebih rumit dari pada alat potong yang mempunyai mata potong tunggal. Proses pembentukan profil alat potong frais lebih rumit dan begitu juga pengasahannya. Maka dari itu harga jual pisau frais mempunyai harga jual yang cukup tinggi dari pada pisau lainnya.

Berkembangnya dunia teknologi dalam manufaktur untuk meningkatkan kualitas produk, berbagai cara pengolahan jenis material alat potong sangat beragam. Campuran-campuran bahan dasar dan tambahan dipadukan untuk memperoleh kekuatan material pada alat potong untuk memperoleh sifat yang tahan aus pada alat potong tersebut, sehingga dapat menghasilkan kualitas produk pemesinan yang diinginkan. Pada awalnya alat potong hanya memiliki kecepatan potong sebesar 10 m/menit. Karena kemajuan teknologi

alat potong sekarang memiliki kecepatan potong hingga 700 m/menit misalnya alat potong CBN (Cubic Boron Nitride). Santoso, Joko (2013:37) menguraikan jenis material alat potong dari yang paling lunak hingga paling keras yaitu:

1. Baja karbon (High Carbon Steel; Carbon Tool Steel; CTS)

Baja dengan kandungan karbon yang relatif tinggi antara (0,7% - 1,4% C) tanpa unsur lain yang rendah (2% Mn, W, Cr) mampu menghasilkan kekasaran yang cukup tinggi. Dibuat dengan perlakuan panas yang tinggi (500 – 1000 HV) dapat dicapai karena transformasi martensitik. Karena pada proses tersebut akan dapat melunak pada temperature 250°C, maka baja karbon tersebut hanya dapat memotong pada kecepatan yang rendah misalnya untuk memotong baja yang relatif lunak ataupun kayu.

2. HSS (High Speed Steels; Tool Steels)

Baja dengan paduan krom (Cr) dan *tungsten wolfram* (W) yang ditempa dan dipanaskan kemudian dibentuk melalui proses pemesinan hingga membentuk batang. Baja tersebut memiliki kecepatan potong hingga tiga kali dari kecepatan potong pahat CTN yang memiliki sekitar 10 m/menit.

HSS menurut komposisinya dikategorikan menjadi:

- HSS Konvensional, yaitu Molibdenum HSS dan Tungsten HSS.
- HSS Spesial, yaitu Cobalt Added HSS, High Vandium HSS, High Hardness Co HSS, Cast HSS, Powdered HSS, dan Coated HSS.

3. Paduan cor nonferro (cast nonferrous alloys; cast carbides)

Sifat paduan cor nonferro adalah diantara HSS dan Karbida digunakan hal khusus dimana karbida terlalu rapuh dan HSS mempunyai daya tahan panas yang terlalu rendah. Paduan cor nonferro terdiri dari bahan utama yaitu:

- a) Cobalt
- b) Krom (Cr) : (10% s.d 35% berat) yang membentuk karbida
- c) Tungsten/Wolfram (W) : (10% s.d 25% berat)
- d) Karbon : (1% C = membentuk jenis yang relative lunak, 3% C menghasilkan jenis yang keras dan tahan aus).

4. Karbida (cemented carbides; hard metals)

Karbida terbuat dari bahan umumnya yaitu serbuk karbida (Nitrida, Oksida) dengan bahan pengikat yaitu *Cobalt* (Co) dengan cara melalui proses *carburizing* antara campuran serbuk *Tungsten* (Wolfram, W), *Titanium* (Ti) dan *Tantalum* (Ta), kemudian dilakukan proses presintering (pemanasan mula 1000°C untuk menguapkan bahan pelumas) dan kemudian sintering (1600°C sehingga membentuk kepingan. Karbida terbagi menjadi tiga jenis yaitu:

- a) Karbida Tungsten (WC + Co) merupakan jenis karbida untuk memotong besi tuang.
- b) Karbida Tungsten Paduan (WC – TiC + Co; WC – TaC –TiC + Co) merupakan jenis karbida pemotongan baja.
- c) Karbida Lapis, merupakan karbida tungsten yang dilapis (karbida, nitride, oksida lain) sehingga memiliki kekerasan tinggi tapi rapuh.

5. Keramik (ceramics)

Keramik merupakan paduan antara bahan metalik dan nonmetalik. Seperti berbagai jenis karbida, nitride, oksida, *boride* dan *silicon* serta karbon. Keramik dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

- a) Keramik tradisional, merupakan barang yang ada di rumah tangga.
- b) Keramik industri merupakan bahan yang dipakai dalam komponen peralatan mesin, mesin perkakas, termasuk alat potong.

6. CBN (Cubic Boron Nitrides)

CBN digolongkan kedalam jenis keramik. Dibuat dengan cara sinterisasi serbuk BN tanpa atau dengan material pahat seperti TiN atau Co. Ketahanan panas pada CBN ini sangat tinggi dibandingkan pahat yang lain.

7. Intan (sintered diamonds & natural diamond)

Bahan merupakan hasil proses sintering antara serbuk intan tiruan dengan pengikat Co (5% - 10%). Sifat intan yang apabila terkena temperature tinggi akan berubah menjadi graphit dan mudah terdifusi oleh atom-atom besi maka cocok untuk mengerjakan benda kerja nonferro.

Dalam proses pemesinan umumnya menggunakan pahat HSS dan Krbida. Perbedaannya adalah sebagai berikut.

No	Perbedaan	HSS	Karbida
1	Konstruksi	Batangan	Sisipan
2	Ketahanan terhadap suhu tinggi	Tidak baik	Baik
3	Jenis <i>coolant</i>	Cairan	Udara / <i>air blow</i>
4	Sifat material	Ulet, cepat aus	Getas, tidak mudah aus
5	Kecepatan potong	$V_c = 10-20$ m/min	$V_c = 80 - 120$ mm/min
6	Harga	Murah	Mahal
7	Konversi energi	Sulit melepaskan panas	Mudah melepaskan panas

Gambar.9. Perbedaan Pahat HSS dan Karbida. (Sumber: Santoso, Joko 2013:42)

k) Baja (*steel*)

Menurut B.H. Amstear (1993) bahan dikelompokkan menjadi dua macam yaitu logam dan non logam. Logam dibagi menjadi logam ferro dan non ferro. Logam ferro merupakan material yang mengandung unsur utama yaitu besi (Fe) yang paling banyak digunakan dalam berbagai bidang konstruksi. Logam ferro dibagi menjadi dua, yaitu besi tuang (*cast iron*) dengan kadar karbon 2,0 – 4,5 % dan baja (*steel*) dengan kadar karbon 0,05 – 2,0 %. Baja karbon sering digunakan dalam bidang konstruksi, industri dan automobile. Secara garis besar baja dikelompokkan sebagai berikut:

1. Menurut struktur mikronya, terdiri dari: batu *eutectoid*, batu *hypoeutectoid*, baja *hypereutectoid*, baja *austenitic*, dan baja *ferritik*.
2. Menurut komposisinya, terdiri dari: baja karbon dan baja paduan.
3. Menurut penggunaannya, terdiri dari baja konstruksi, baja perkakas dan baja ketel.

l) Baja Karbon

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (1996), baja karbon yaitu perpaduan antara besi dan karbon dengan tambahan unsur lain seperti Si, Mn, P, S, dan Cu. Baja karbon dikelompokkan menjadi:

1. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja yang mengandung karbon kurang dari 0,30%. Dalam penjualannya baja karbon rendah biasanya dibuat dalam bentuk plat, profil, batangan untuk keperluan tempa, pekerjaan mesin, dan sebagainya.

Tabel.3. Klasifikasi Baja Karbon.

Jenis dan Kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (Kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan (Brinell)	Penggunaan
Baja karbon rendah						
- Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Pelat tipis
- Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang, kawat
- Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
- Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-2	112-145	Alat-alat
Baja karbon sedang						
- Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Mesin
- Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas
Baja karbon tinggi						
- Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Rel, pegas, dan kawat piano
- Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	

Sumber: Sundia, T & Saito, S, (2000)

2. Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah merupakan baja yang mengandung kadar karbon sebesar 0,30% - 0,50%. Baja karbon menengah biasanya digunakan untuk keperluan mesin perkakas atau bagian-bagian mesin. Kegunaan baja karbon menengah sebagai berikut:

- a) Karbon dengan kandungan sebesar 0,40% karbon, digunakan dalam industri kendaraan, missal mur, baut, poros engkol, batang torak.
- b) Baja karbon yang mengandung 0,50% karbon, digunakan untuk membuat roda gigi, palu, atau ragum.
- c) Baja karbon yang mengandung 0,40% karbon, digunakan untuk membuat pegas.

3. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja yang mengandung karbon antara 0,6% - 2,1%. Baja ini digunakan untuk kontruksi yang memiliki ketahanan panas yang tinggi. Misalnya pahat, gergaji, kikir, bor, dan sebagainya. Berikut adalah jenis baja karbon tinggi:

- a) Baja kontruksi umum

Baja ini terdiri dari baja karbon dan baja yang kualitasnya tinggi tanpa paduan yang memiliki tegangan tarik tinggi. Baja ini banyak digunakan dalam kontruksi bangunan, gedung, poros mesin dan roda gigi.

b) Baja otomatis

Baja otomatis terdiri dari baja paduan tinggi yang mengandung 0,07 % - 0,65 % karbon, 0,6% - 1,5% Mangan, 0,18 % Belerang, 0,04% - 0,4% Silisium.

c) Baja *case hardening*

Baja ini dihasilkan dengan cara menaruh baja karbon rendah dalam bahan yang memiliki kandungan karbon yang dipanaskan dalam oven dengan suhu kritis atas.

m) Baja EMS 45

Dari klarifikasi di atas maka baja EMS 45 dapat dikategorikan dalam baja kategori sedang. Baja EMS 45 adalah baja yang mengandung kandungan karbon sebesar 0,48%, Silicon sebesar 0,30%, kadar Mangan sebesar 70%. Untuk suhu pada proses annealing (*annealing temperature*) sekitar 680° – 710°, untuk kekerasan setelah proses annealing (*hardness after annealing*) sekitar 910°, kemudian suhu untuk kekerasan (*hardness temperature*) sekitar 800° – 830°. Dilihat dari komposisi baja tersebut, baja EMS 45 digunakan dalam alat-alat perkakas, baut, poros engkol, roda gigi, ragum, pegas, dan lain-lain, maka dalam pengerjaan melalui proses pemesinan memerlukan kualitas permukaan yang baik.

n) Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan suatu nilai yang dicapai pada hasil dari proses pemesinan. Setiap bidang permukaan pada benda kerja setelah melalui

proses permesinan akan membentuk tingkat kekasaran pada permukaan tersebut. Kekasaran permukaan merupakan ketidak teraturan konfigurasi dan penyimpangan karakteristik permukaan berupa guratan yang nantinya akan terlihat pada profil permukaan. Penyebabnya yaitu terdiri dari berbagai macam faktor, diantaranya yaitu ; parameter pemotongan, geometri dan dimensi pahat, cacat pada material benda kerja dan kerusakan pada aliran geram atau tatal.

Alat ukur yang digunakan dalam mengukur tingkat kekerasan pada permukaan adalah *Surface Roughness Tester*. Pengukuran kekerasan permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan *stylus* berbentuk *diamond* untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat indicator pengukuran kekerasan benda yang diujikan. Nilai kekasaran permukaan dinyatakan dalam *Roughness Average* (Ra). Ra merupakan parameter kekasaran yang dipakai secara internasional. Harga kekasaran rata-rata (Ra) maksimal yang diijinkan ditulis dengan simbol segitiga. Satuan yang digunakan harus sesuai dengan panjang yang digunakan pada gambar teknik (metrik atau inchi). Angka kekasaran Ra dapat di klarifikasikan menjadi 12 angka kelas kekasaran seperti berikut.

Tabel.4. Toleransi Nilai Kekasaran (Ra)

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi	Panjang sampel (mm)
N1	1	0.0025	0.02 – 0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04 – 0.08	
N3	4	0.1	0.08 – 0.15	
N4	8	0.2	0.15 – 0.3	
N5	16	0.4	0.3 – 0.6	
N6	32	0.8	0.6 – 1.2	
N7	63	1.6	1.2 – 2.4	
N8	125	3.2	2.4 – 4.8	
N9	250	6.3	4.8 – 9.6	0.8
N10	500	12.5	9.6 – 18.75	2.5
N12	2000	50.0	37.5 – 75.0	8

(Sumber: Bimbing Atedi dan Djoko Agustono,2005)

Nilai kekasaran dapat diperoleh tergantung dari hasil proses pengerjaannya. Hasil pengerjaan mesin gerinda lebih halus dari pada pengerjaan pada mesin bubut.

Tabel.5. Tingkat kekasaran berdasarkan pengerjaan

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga Ra
<i>Flat and cylindrical lapping,</i>	N1 – N4	0.025 – 0.2
<i>Superfinishing Diamond turning</i>	N1 – N6	0.025 – 0.8
<i>Flat cylindrical grinding</i>	N1 – N8	0.025 – 3.2
<i>Finishing</i>	N4 – N8	0.1 – 3.2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	N5 – N12	0.4 – 50.0
<i>Drilling</i>	N7 – N10	1.6 – 12.5
<i>Shapping, planing, horizontal milling</i>	N6 – N12	0.8 – 50.0
<i>Sandcasting and forging</i>	N10 – N11	12.5 – 25.0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6 – N8	0.8 – 3.2
<i>Die casting</i>	N6 – N7	0.8 – 1.6

(Sumber: Sudji Munadi,1980)

B. Kajian Penelitian Yang Relevan

- a. Penelitian yang dilakukan oleh Mohammed T. Hayajneh, Montasser S. Tahat, Joachim Bluhm (2007), *Jordan Journal Of Mechanical Industrial Engineering*, Jordan University of Science and Technology. Vol 1, No.1, yang berjudul “*A Study of The Effects of Machining Parameters on the Surface Roughness in the End-Milling Process*”. Adapun hasil penelitian yang dilakukan adalah parameter mesin (*spindel speed*, *feed rate* dan *depth of cut*) memiliki pengaruh terhadap harga kekasaran. Interaksi antara kecepatan spindel dan kecepatan potong memiliki pengaruh yang signifikan yaitu sebesar (-3,24). Hal ini menandakan bahwa untuk pengerjaan *finishing* penambahan kecepatan spindel dan pengurangan kedalaman pemakanan dapat menghasilkan kualitas permukaan yang halus. Kemudian interaksi antara kedalaman pemotongan dan kecepatan spindel tidak memberikan pengaruh signifikansi yang besar, karena untuk menghasilkan kualitas permukaan yang halus parameter yang diatur adalah penambahan kecepatan potong dan pengurangan kedalaman pemakanan pada proses *finishing*.
- b. Penelitian yang dilakukan oleh D.V.V. Krishan Prasad (2013), R.V.R. and J.C. College of Engineering Guntur INDIA, yang berjudul “*Influence of Cutting Parameters on Turning Process Using Anova Analisis*”. Adapun hasil penelitian yang dilakukan terdapat pengaruh yang sangat signifikan mengenai parameter pada proses pembubutan mengenai kecepatan potong (*cutting speed*), laju pemakanan (*feedrate*), serta putaran *spindle* (rpm).

Dengan hasil yang diperoleh pada pemakanan kasar permukaan dalam skala kecil dengan putaran *spindle* 550 rpm, feed of 0.1 mm/rev, *depth of cut* of 1 mm, kemiringan sudut potong pahat 18° , dan kemiringan sudut bebas pahat 14° menghasilkan nilai kekasaran (Ra) 1.465 *micron*.

- c. Penelitian yang dilakukan oleh C.R. Barik, dan M.K. Mandal (2012). *International Journal of Lean Thinking* Vol. 3, yang berjudul “*Parametric Effect and Optimization of Surface Roughness of EN 31 in CNC Dry Turning*”. Adapun hasil penelitian yang dilakukan yaitu optimalisasi pada pembubutan muka yang dikerjakan dengan mesin CNC memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan permukaan. Parameter pada mesin CNC sama halnya dengan mesin konvensional sehingga yang menjadi bagian tolak ukur tidak berubah. Akan tetapi efek yang ditimbulkan berbeda antara konvensional dengan CNC.
- d. Penelitian yang dilakukan oleh Aji Wibowo (2010). Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret Surakarta, dalam skripsinya yang berjudul “*Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Spindel Dan Bahan Pahat Terhadap Kehalusan Permukaan Baja EMS 45 Pada Mesin CNC TU-2A Dengan Program Absolut*”. Adapun hasil penelitian yang dilakukan adalah (1) ada pengaruh negative antara variasi kecepatan putar spindel terhadap kehalusan baja EMS 45 pada mesin CNC TU-2A dengan program absolut. Hal itu ditunjukkan oleh hasil analisis data yang menyatakan bahwa $F_{obs} = 30,07$ lebih besar dari $F_{tabel} = 6,93$ pada taraf signifikansi 1%. (2) Ada pengaruh

yang signifikan antara variasi bahan pahat terhadap kehalusan permukaan baja EMS 45 pada mesin CNC TU-2A dengan program absolut. Hal tersebut ditunjukkan oleh hasil analisis data yang menyatakan bahwa $F_{obs} = 13,06$ lebih besar dari $F_{tabel} = 9,33$ pada taraf signifikansi 1%. (3) Ada pengaruh negatif antara variasi kecepatan putar spindel dan variasi bahan pahat terhadap kehalusan permukaan baja EMS 45 pada mesin CNC TU-2A dengan program absolut. Hal tersebut ditunjukkan pada analisis data yang menyatakan bahwa $F_{obs} = 7,22$ lebih besar dari $F_{tabel} = 6,93$ pada taraf signifikansi 1%.

- e. Penelitian yang dilakukan oleh Imam Syafa'at, M. Abdul Wahid dan S.M. Bondan Respati (2016), Jurnal Penelitian Momentum, Vol. 12, No. 1, Hal. 1-8, yang berjudul "*Pengaruh Arah Pemakanan dan Sudut Permukaan Bidang Kerja Terhadap Kekasaran Permukaan Material S45C Pada Mesin Frais CNC Menggunakan Ballnose Endmill*". Adapun hasil penelitian yang dilakukan yaitu nilai kekasaran yang paling kecil (halus) adalah sebesar 0,85 μm terjadi pada arah pemakanan searah 45° bertemu dengan sudut bidang permukaan kerja 30°. Pada arah pemakanan searah 90° dan searah 45° nilai kekasaran semakin meningkat (semakin kasar) sebanding dengan bertambahnya sudut permukaan bidang kerja sedangkan pada arah pemakanan berputar konstan sumbu Z nilai kekasaran semakin menurun (semakin halus) berbanding terbalik dengan bertambahnya sudut permukaan bidang kerja.

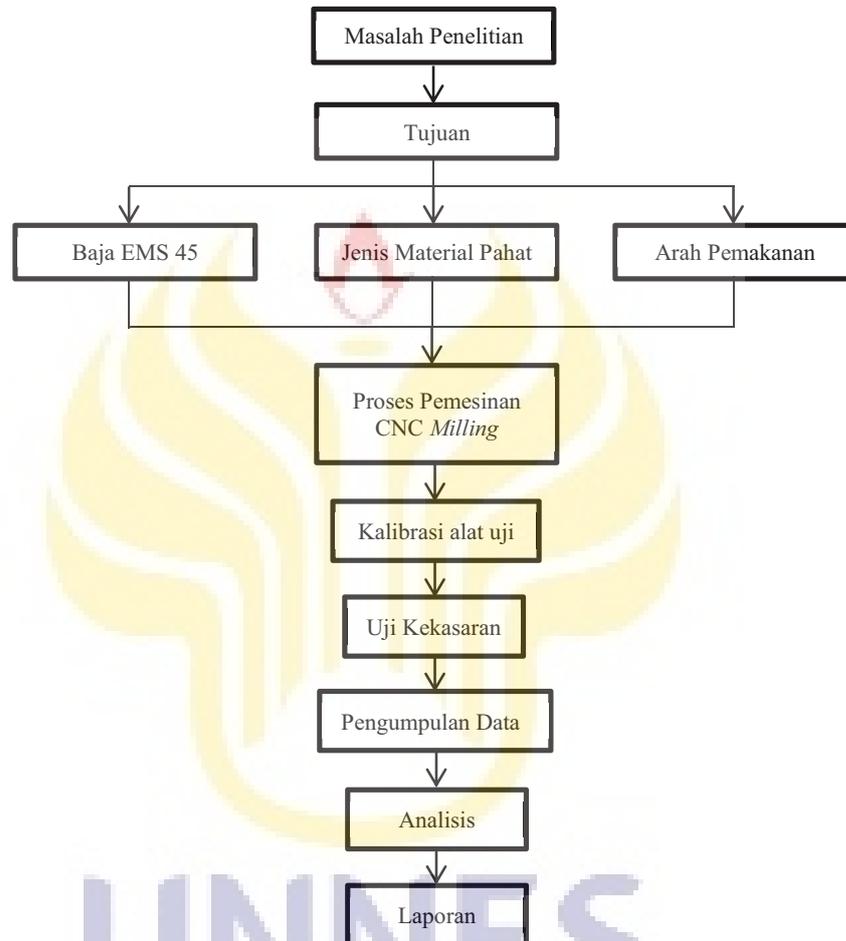
- f. Penelitian yang dilakukan oleh Andri Mardiansyah (2014). Program Studi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, dalam skripsinya yang berjudul “*Analisis Kekasaran Permukaan Benda Kerja Dengan Variasi Jenis Material Dan Alat Potong*”. Adapun hasil penelitian yang dilakukan yaitu nilai kekasaran permukaan terendah adalah $3,166 \mu\text{m}$ pada sudut 225° dikedalaman potong (a) $0,25 \text{ mm}$, menggunakan pahat potong *widia* pada material benda kerja baja AISI 1045. Kemudian nilai kekasaran permukaan terbesar adalah $7,610 \mu\text{m}$ pada sudut 45° dikedalaman potong (a) $0,75 \text{ mm}$, menggunakan pahat potong yang sama dengan material benda kerja baja VCN. Sedangkan kekasaran terendah menggunakan pahat bubut *sandvik* adalah $3,814 \mu\text{m}$ pada sudut 0° dikedalaman potong (a) $0,75 \text{ mm}$ pada material benda kerja VCN. Sememntara itu kekasaran terbesar adalah $7,551 \mu\text{m}$ pada sudut 90° dikedalaman potong (a) $0,25 \text{ mm}$ dengan material alat potong *sandvik* pada material baja AISI 1045.
- g. Penelitian yang dilakukan oleh Bijak Sunyapa (2016), Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember, dalam skripsinya yang berjudul “*Analisis Variasi Proses Milling CNC Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST41 Dengan Metode Taguchi*”. Adapun hasil penelitian yang dilakukan adalah hasil analisis statistic membuktikan bahwa putaran *spindle* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran sebesar $53,10\%$. Kemudian pada variable kecepatan pemakanan dalam hasilnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja dengan

presentase sebesar 21,21%. Sedangkan untuk variabel kedalaman pemakanan dalam hasilnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan dengan presentase sebesar 0,97%. Kemudian kombinasi yang optimum untuk tingkat kekasaran permukaan yang rendah dapat diperoleh dengan kombinasi faktor putaran *spindle* 1500rpm (faktor A level 3), kecepatan pemakanan 240 mm/menit (faktor B level 1), dan kedalaman pemakanan 0,25 mm (faktor C level 1).

- h. Penelitian yang dilakukan oleh Herry Syaifullah (2015). Jurnal penelitian Technologic, Vol 6, No. 2, Politeknik Manufaktur Astra, yang berjudul “*Analisis Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Proses Milling Pada Baja Karbon S45C Dengan Metode 3³ Desain Faktorial*”. Adapun hasil penelitian yang dilakukan yaitu bahwa faktor yang sangat berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan material baja karbon S45C pada proses milling menggunakan pahat HSS *cutter 4 flute finishing* sesuai urutan berikut, (a) putaran spindel, (b) kecepatan potong, dan (c) kedalaman potong. Untuk mendapatkan hasil kehalusan permukaan dengan nilai Ra sekitar 2,60 μm , parameter *setting* yang digunakan adalah putaran *spindle* 600 Rpm, kecepatan potong 220 m/min dan kedalaman potong 1 mm. Sedangkan untuk menghasilkan permukaan kasar sebesar Ra 5,11 μm , maka parameter *setting* yang digunakan adalah putaran *spindle* 600 Rpm, kecepatan potong 300 m/min dan kedalaman potong 0,5 mm.

- i. Penelitian yang dilakukan oleh Ramadhana Adinannda dan Arya Mahendra Sakti. Jurnal penelitian analisa jenis pahat dan kedalaman pemakanan pada mesin frais, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, yang berjudul "*Analisa Jenis Pahat Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Pada Benda Kerja Alumunium Dan Baja ST.37 Dengan Perlakuan Frais Vertikal*". Adapun penelitian yang dilakukan adalah bahwa jenis pahat berpengaruh pada kekasaran benda kerja Aluminium dan baja ST.37. Jenis pahat yang keras menimbulkan kekasaran yang rendah. Jenis pahat tersebut adalah pahat HSS (Japan) dengan kekasaran terendah pada alumunium sebesar $0,557 \mu\text{m}$ dan pada baja ST.37 sebesar $0,653 \mu\text{m}$. Kedalaman pemakanan juga berpengaruh pada alumunium dan baja ST.37. Kedalaman pemotongan yang memiliki kekasaran terendah yaitu $0,2 \text{ mm}$ pada alumunium dengan Ra $0,557 \mu\text{m}$ dan baja ST.37 dengan Ra $0,653 \mu\text{m}$.

C. Kerangka Berpikir Penelitian



Gambar.10. Kerangka Berpikir Penelitian

D. Hipotesis Penelitian

- a. Terdapat pengaruh antara jenis material alat potong terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses pengefraisan dengan menggunakan mesin CNC *Milling*.

- b. Terdapat pengaruh antara variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses pengefraisan dengan menggunakan mesin CNC *Milling*.
- c. Terdapat pengaruh antara jenis material alat potong dan arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses pengefraisan dengan menggunakan mesin CNC *Milling*.



BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Hasil dari penelitian kekasaran permukaan Baja EMS 45 pada proses CNC *Milling* akibat pengaruh variasi jenis material alat potong dan arah pemakanan yang dilakukan dan mengacu pada rumusan masalah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- d. Terdapat pengaruh antara jenis material alat potong terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*.
- e. Terdapat pengaruh antara arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*.
- f. Tidak ada pengaruh antara jenis material alat potong dan arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*.

B. Saran Pemanfaatan Hasil Penelitian

Berdasarkan dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat disampaikan saran pemanfaatan sebagai berikut:

- a. Jenis material pahat potong dalam pengerjaan benda kerja pada CNC *Milling* sebaiknya menggunakan material yang memiliki kekerasan tinggi seperti pahat karbida sehingga hasil yang dicapai pada permukaan memiliki kekasaran yang rendah.

- b. Untuk pemilihan metode pemakanan pada CNC Milling dapat digunakan arah pemakanan searah 45° dalam tahap finishing, karena memiliki hasil kekasaran yang rendah dibandingkan arah 90° dan berputar sumbu Z.
- c. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis sangat baik jika dianalisa faktor lain yang mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *milling* .misalnya pada permukaan benda kerja berkontur.



DAFTAR PUSTAKA

- Adinnandha, Ramadhana dan Mahendra Sakti, Arya. *Analisa Jenis Pahat dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Pada Benda Kerja Alumunium Dan Baja ST.37 Dengan Perlakuan Mesin Frais Vertikal*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya.
- Aji Wibowo. 2010. *Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Spindel Dan Bahan Pahat Terhadap Kehalusan Permukaan Baja EMS 45 Pada Mesin CNC TU-2A Dengan Program Absolut*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Amstear, B.H.1993. *Teknologi Mekanik*. Jakarta: Erlangga
- Barik, C.R. and Mandal, M.K. (2012). *Parametric Effect and Optimization of Surface Roughness of EN 31 in CNC Dry Turning*. International Journal of Lean Thinking Vol. 3, Issue 2.
- Krishan Prasad, D.V.V. (2013). *Influence of Cutting Parameters on Turning Process Using Anova Analysis*. Research Journal of Engineering Sciences. Vol. 2(9), pp. 1-6.
- Mardiansyah, Andri. 2014. *Analisis Kekasaran Benda Kerja Dengan Variasi Jenis Material Dan Pahat Potong*. Program Studi Teknik Mesin S1. Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu.
- Munadi, Sudji. 1988. *Dasar-Dasar Meterologi Industri*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Perguruan Tinggi.
- Rahdiyanta , Dwi. 2010. *Buku 3 Proses Frais (Milling)*. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Situmorang , Rodian . 2015. *Alat Potong Mesin Perkakas*. Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Bandung.
- Subagio Ganjar, Dalmasius. 2008. *Teknik Pemrograman Bubut dan Frais*. Jakarta: LIPI Press.
- Sudjana, Nana. 1989. *Metode Statistika*. Bandung : Tarsito.
- Sumbodo , Wirawan, dkk .2008. *Teknik Produksi Mesin Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar Dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.

- Sumbodo, Wirawan, Boenasir, Karsono, P. Agung. 2011. *The Making Workpieces Using Autocad Software Based Siemens Sinumerik 802C Base Line Frais Machine*. International Journal of Engineering and Industries. Vol.2, No. 2. Mechanical Engineering, Semarang State University.
- Sunyapa, Bijak. 2016. *Analisis Variasi Proses Milling CNC Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST41 Dengan Metode Taguchi*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember.
- Syafaat, Imam, Wahid, M. Abdul dan Respati, Bondan. 2016. *Pengaruh Arah Pemakanan Dan Sudut Permukaan Bidang Kerja Terhadap Kekasaran Permukaan Material S45C Pada Mesin Frais CNC Menggunakan Ballnose Endmill*. Jurnal Momentum, Vol. 12, No.1. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Wahid Hasyim.
- Hasan, Iqbal. 2006. *Analisis Data Penelitian dengan Statistik*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Hidayat, Anwar. 2016. *Pengertian Dan Rumus Uji Shapiro Wilk – Cara Hitung*. Artikel internet. (Sumber: <http://statistikian.com>: diakses pada tanggal 10 Juli 2017)
- Syaifullah, Herry. 2015. *Analisis Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Proses Milling Pada Baja Karbon S45C Dengan Metode 3³ Desain Faktorial*. Jurnal penelitian Technologic, Vol 6, No. 2, Politeknik Manufaktur Astra
- Widarto, dkk. 2008. *Teknik Pemesinan*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar Dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Wirjosumarto, Harsono dan Okumura. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.