



**PENGARUH KECEPATAN PUTARAN SPINDEL
DAN KECEPATAN PEMAKANAN TERHADAP
KEKASARAN PERMUKAAN BAJA EMS 45
PADA PROSES *END MILLING SURFACE***

SKRIPSI

**Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

UNNES
oleh
Mujiono
5201412034
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2016**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Mujiono

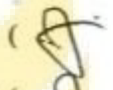

NIM : 5201412034

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1




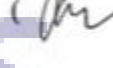
Judul Skripsi : Pengaruh Kecepatan Putaran Spindel Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses *End Milling Surface*.

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

		Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002	()
Sekretaris	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002	()

Dewan Penguji

Pembimbing	: Dr. Wirawan Sumbodo, M.T. NIP. 196601051990021002	()
Penguji I	: Drs. Sunyoto, M.Si. NIP. 196511051991021001	()	15/8/2016
Penguji II	: Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. NIP. 197509272006041002	()	15/8/2016
Penguji Pendamping	: Dr. Wirawan Sumbodo, M.T. NIP. 196601051990021002	()

Ditetapkan tanggal:

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Mujiono

NIM : 5201412034

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Kecepatan Putaran Spindel dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses *End Milling Surface***" 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.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semarang, 01 Agustus 2016

Yang membuat pernyataan



Mujiono

NIM 5201412034

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

1. Ikhtiar, do'a dan tawakal adalah kunci keberhasilan (Penulis)
2. Manusia yang berakal ialah manusia yang suka menerima dan meminta nasihat. (Umar bin Khatab)

Persembahan

Dengan mengucapkan Alhamdulillah kupersembahkan skripsi ini untuk:

1. Kedua orang tua yaitu Bapak Suwardi dan Ibu Munti'ah
2. Adikku Siti Nur Asih dan saudara-saudara saya.
3. Kekasihku Erna Erviana Eka Ariyanti
4. Guru dan dosen yang pernah membimbing saya.
5. Sahabat dan teman-teman PTM'12 yang selalu memberi semangat.
6. UKM Pencak Silat Unnes dan Almamaterku.

ABSTRAK

Mujiono. 2016. Pengaruh Kecepatan Putaran Spindel dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses *End Milling Surface*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.

Kata kunci: kekasaran permukaan, kecepatan putaran spindel, kecepatan pemakanan, *end milling surface*.

Sistem manufaktur pembuatan produk yang berkualitas tentunya harus didukung oleh pemesinan yang baik. Suatu produk pemesinan harus memenuhi kekasaran permukaan yang diinginkan sebagai salah satu syarat produk tersebut dapat diterima. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putaran spindel (*spindel speed*) dan variasi kecepatan pemakanan (*feed rate*) terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses *end milling surface*.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Pada penelitian ini, perlakuan yang diberikan adalah variasi kecepatan putaran spindel yaitu 280 rpm, 410 rpm, 660 rpm dan variasi kecepatan pemakanan yaitu 18 mm/min, 37 mm/min, 63 mm/min, 97 mm/min pada proses *end milling surface*. Selanjutnya dilakukan uji kekasaran permukaan dan foto mikro pada masing-masing spesimen. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah statistik deskriptif.

Hasil uji kekasaran menghasilkan nilai kekasaran permukaan pada variasi kecepatan putaran spindel 280 rpm, 410 rpm dan 660 rpm mengalami fluktuatif. Begitu pula nilai kekasaran permukaan pada variasi kecepatan pemakanan 18 mm/min, 37 mm/min, 63 mm/min dan 97 mm/min juga menunjukkan grafik yang fluktuatif. Hasil menunjukkan fluktuatif dikarenakan pemberian pendingin saat proses penyayatan tidak sama dan sifat dari baja EMS 45 setiap titiknya tidak homogen. Nilai kekasaran permukaan terendah (paling halus) yaitu 1,46 μm pada *spindel speed* 660 rpm dengan *feed rate* 18 mm/min, sedangkan nilai kekasaran permukaan tertinggi (paling kasar) yaitu 3,38 μm terjadi pada *spindel speed* 280 dengan *feed rate* 97 mm/min.

Diharapkan untuk penelitian selanjutnya bisa menganalisis dengan kecepatan potong (V_c) diluar *range* yang direkomendasikan (<20 atau >70). Bagi operator *milling* untuk mendapatkan kekasaran paling rendah baja EMS 45 yaitu 1,46 μm dapat dikerjakan dengan *spindel speed* 660 rpm dan *feed rate* 18 mm/min.

PRAKATA

Segala Puji bagi Allah, Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta doa dari orang kedua tua sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Kecepatan Putaran Spindel dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses *End Milling Surface*”.

Skripsi ini disusun dalam rangka menyelesaikan studi Strata 1 sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas negeri Semarang. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, serta penyusunan skripsi ini tidak luput dari bantuan dan partisipasi dari semua pihak. Untuk itu pada kesempatan ini dengan segala hormat penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Rusiyanto, S.Pd., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Ketua Program Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Wirawan Sumbodo, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Drs. Sunyoto, M.Si., selaku dosen penguji 1 yang telah memberikan arahan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini.
4. Dr. Rahmat Doni, W. S.T., M.T., selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan arahan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini.

5. Kedua orang tua yang selalu memberikan semangat, mendoakan serta memberikan motivasi.
6. Teman-teman Pendidikan Teknik Mesin angkatan 2012 yang sudah berjuang bersama serta memberikan motivasi
7. Teman-teman yang sudah banyak membantu, yang tidak bisa disebutkan satu per-satu.

Penulis mengharapkan segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun demi sempurnanya skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semuanya, khususnya Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 08 Agustus 2016

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Pembatasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	7
A. Kajian Teori	7
1. Mesin Frais	7
2. Proses Frais (<i>Milling</i>)	8
3. Kecepatan Putaran Spindel (<i>Spindle Speed</i>)	11
4. Kecepatan Pemakanan (<i>Feed Rate</i>)	13

5. Kedalaman Pemakanan	14
6. Kekasaran Permukaan (<i>Surface Roughness</i>)	15
7. Baja Karbon Sedang	17
B. Kajian Penelitian yang Relevan	21
C. Kerangka Pikir Penelitian	23
BAB III. METODE PENELITIAN	25
A. Jenis Penelitian	25
B. Bahan Penelitian	25
C. Waktu dan Tempat Penelitian	26
D. Variabel Penelitian	26
E. Alat dan Skema Peralatan Penelitian	27
1. Alat Penelitian	27
2. Skema Peralatan Penelitian	28
F. Prosedur Penelitian	28
1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	28
2. Proses Penelitian	31
G. Teknik Pengumpulan Data	35
H. Analisis Data	36
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
A. Hasil penelitian	37
1. Hasil Uji Kekasaran <i>Raw Material</i>	37
2. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 280 rpm	38
3. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 410 rpm	40
4. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 660 rpm	42

5. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 12 mm/min	44
6. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 32 mm/min	46
7. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 63 mm/min	48
8. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 108 mm/min	50
9. Hasil Foto Mikro	52
B. Pembahasan	57
BAB V. PENUTUP	64
A. Simpulan	64
B. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	69



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Kecepatan Potong (Vc) Dengan Pahat HSS Untuk Proses Frais	12
2.2. Gerak Makan Pergigi Yang Disarankan Untuk Pahat HSS	14
2.3. Harga Kekasaran Permukaan	17
2.4. Kelas Kekasaran Permukaan Menurut Proses Pengerjaan	17
2.5. Ciri Khas Kandungan Beberapa Material Logam	20
2.6. Kandungan Baja AISI 1045 atau EMS 45	21
3.1 Penandaan Spesimen Uji	30
3.2. Lembar Pengumpulan Data Uji Kekasaran Setelah Difrais	35
4.1. Hasil Uji Kekasaran Permukaan <i>Raw Material</i>	37
4.2. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 280 rpm	38
4.3. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 410 rpm	40
4.4. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 660 rpm	42
4.5. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 18 mm/min	44
4.6. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 37 mm/min	46
4.7. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 63 mm/min	48
4.8. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 97 mm/min	50
4.9. Konversi nilai kekasaran permukaan terhadap kelas kekasaran	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Mesin Frais Vertikal dan Horizontal	8
2.2. Proses Frais (<i>Milling</i>)	8
2.3. Skeme Proses <i>Down dan Cut Milling</i>	11
2.4. Tanda Pengerjaan Kekasaran Permukaan	16
2.5. Diagram <i>Phase</i> Besi Karbon	19
2.6. Kerangka Pikir Penelitian	24
3.1. Spesimen Uji	26
3.2. Skema Peralatan Penelitian	28
3.3. Diagram Alir Penelitian	29
3.4. Mesin Frais Vertikal FIRST	32
3.5. Alat Uji Foto Mikro	33
3.6. Titik Pengujian Kekasaran Permukaan	34
3.7. <i>Roughing Tester</i> TR100	34
4.1. Grafik Hasil Uji Kekasaran Pada 280 Rpm	39
4.2. Grafik Hasil Uji Kekasaran Pada 410 Rpm	41
4.3. Grafik Hasil Uji Kekasaran Pada 660 Rpm	43
4.4. Grafik Hasil Uji Kekasaran Pada 18 mm/min	45
4.5. Grafik Hasil Uji Kekasaran Pada 37 mm/min	47
4.6. Grafik Hasil Uji Kekasaran Pada 63 mm/min	49
4.7. Grafik Hasil Uji Kekasaran Pada 97 mm/min	51
4.8. Hasil Foto Mikro <i>Raw Material</i>	52

4.9. Perbedaan Hasil Foto Mikro Spesimen Pada 280 Rpm	53
4.10. Perbedaan Hasil Foto Mikro Spesimen Pada 410 Rpm	54
4.11. Perbedaan Hasil Foto Mikro Spesimen Pada 660 Rpm	56
4.12. Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan	57
4.13. Grafik Pengaruh Pemberian Pendingin Dengan Variasi <i>Feeding</i> Terhadap Kekasaran Permukaan	59
4.14. Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan	60



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Surat Keputusan Dosen Pembimbing	69
2. Surat Tugas Dosen Penguji Seminar Proposal Skripsi	70
3. Berita Acara Seminar Proposal Skripsi.....	71
4. Daftar Hadir Seminar Proposal Skripsi	72
5. Lembar Selesai Revisi Proposal Skripsi	73
6. Surat Ijin Penelitian di BLKI Semarang	74
7. Surat Ijin Penelitian di Laboratorium Perancangan UNWAHAS	75
8. Surat Ijin Penelitian di Laboratorium Material UNWAHAS	76
9. Sertifikat Baja EMS 45 (AISI 1045)	77
10. Surat Keterangan Selesai Penelitian di BLKI Semarang	78
11. Surat Keterangan Selesai Penelitian Di UNWAHAS	79
12. Surat Tugas Dosen Penguji	80
13. Perhitungan <i>Spindle Speed</i> dan <i>Feed Rate</i>	81
14. <i>Catalog End Mill HSS Medium Cut Length</i>	83
15. Dokumen Proses Penelitian	85

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem manufaktur pembuatan produk yang berkualitas tentunya harus didukung oleh pemesinan yang baik. Proses pemesinan adalah suatu proses manufaktur dimana proses utamanya adalah melepaskan atau menghilangkan sebagian material dari suatu bahan dasar yang dapat berupa blok sehingga memenuhi bentuk dan kualitas yang diinginkan (Romiyadi dan Yudi, 2012). Proses pemesinan ini merupakan salah satu proses manufaktur yang sangat kompleks karena harus mempertimbangkan banyak faktor agar produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi kualitas yang ditetapkan. Salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan untuk membuat suatu komponen adalah proses frais (*milling*).

Pengoperasian mesin frais tidak terlepas dari parameter proses pemesinan (Romiyadi dan Azriadi, 2012). Karena parameter proses pemesinan frais seperti kecepatan putaran spindle, kecepatan potong, kedalaman potong, kecepatan pemakanan, sudut pemotongan, gerak makan per gigi, jenis bahan material, dan pahat yang digunakan sangat mempengaruhi kualitas yang dihasilkan. Disamping itu faktor yang sering terjadi di lapangan seperti *setting* alat potong, pencekaman benda kerja, kondisi mesin dan *skill* operator juga berpengaruh terhadap proses *milling*. Selain *skill*, tindakan *trial and error* yaitu tindakan coba-coba mengubah parameter pemotongan frais misalnya mengubah kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan juga sering dilakukan operator sebagai upaya untuk mendapatkan hasil proses pemesinan yang lebih berkualitas sesuai spesifikasi produk yang diharapkan.

Pada proses pemesinan ukuran kualitas produk banyak dilihat dari kekasaran/kehalusan permukaan yang dihasilkan. Kekasaran permukaan merupakan faktor utama untuk evaluasi produk pemesinan dapat diterima atau tidak (Hernadewita et al., 2006). Selain itu, kekasaran permukaan juga berpengaruh terhadap usia komponen, karena komponen yang tidak halus lebih mudah terjadi perubahan struktur. Kekasaran permukaan pada hakekatnya merupakan ketidakaturan konfigurasi permukaan yang bisa berupa guratan atau kawah kecil pada permukaan. Guratan atau kawah kecil tersebut akan menjadi takikan yang merupakan tempat konsentrasi tegangan, sehingga apabila dikenai beban tinggi akan berakibat keretakan. Selain itu proses pengkaratan selalu dimulai dari titik inti karat. Pada permukaan kasar lebih besar timbulnya inti karat dari pada permukaan yang lebih halus (Syah et al., 2015).

Perubahan parameter pemotongan pada proses *milling* tentunya akan menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang berbeda-beda. Di antaranya yaitu parameter kecepatan pemakanan (*feed rate*) dan kecepatan putaran spindel (*spindle speed*). Dimana harga kecepatan pemakanan (*feed rate*) semakin besar maka semakin tinggi pula tingkat kekasarannya, sedangkan apabila kecepatan putaran spindel semakin tinggi maka tingkat kekasaran semakin rendah (Zubaidi, 2012). Peningkatan *feed rate* pada proses frais jari (*end milling*) akan mengakibatkan semakin besar gaya gesekan yang diterima oleh benda kerja. Semakin besar gesekan yang diterima oleh benda benda kerja, maka distribusi panas yang terjadi pada permukaan benda kerja akan meningkat. Sedangkan *spindle speed* yang semakin besar mengakibatkan amplitudo getaran mesin saat beroperasi cenderung

menurun (Abbas et al., 2013). Dimana jika semakin tinggi amplitudo getaran maka akan mengakibatkan kualitas benda kerja menjadi kurang bagus, umur pahat menjadi lebih rendah dan mesin tidak tahan lama (Romiyadi dan Yudi, 2012).

Baja merupakan bahan yang masih memiliki peranan penting dalam mesin bangunan industri. Baja memiliki banyak jenis, salah satunya adalah baja karbon sedang yang memiliki kadar karbon 0,3% sampai 0,55% (Ashby dan David, 1998: 4). Baja karbon sedang memiliki tegangan tarik maksimum yang tinggi, sehingga sifatnya mudah menjadi keras. Jenis baja ini dapat ditemukan pada komponen mesin misalnya poros, roda gigi dan *clamp* (Arifin, 1976: 112). Poros merupakan elemen mesin yang cocok untuk mentransmisikan daya yang kecil hal ini dimaksudkan agar terdapat kebebasan bagi perubahan arah. Sehingga poros harus memiliki permukaan yang halus agar gaya gesek yang ditimbulkan semakin kecil sehingga mengurangi keausan. Rata-rata dalam pembuatan poros baja dengan *milling* dihasilkan kekasaran permukaan antara N7-N8 (Rahmadianto, 2015).

Dari uraian permasalahan tersebut maka peneliti bermaksud untuk menganalisa pengaruh parameter pemotongan frais terhadap kekasaran permukaan. Maka peneliti hanya menfokuskan pada variasi parameter pemotongan kecepatan pemakanan (*feed rate*) dan kecepatan putaran spindle (*spindle speed*) pada proses *end milling surface* baja EMS 45 dengan menggunakan mesin frais vertikal.

B. Identifikasi Masalah

1. Kekasaran permukaan merupakan faktor utama untuk evaluasi produk pemesinan dapat diterima atau tidak.

2. Peningkatan *feed rate* pada proses frais jari (*end milling*) akan mengakibatkan semakin besar gaya gesekan yang diterima oleh benda kerja.
3. Semakin rendah putaran spindel menyebabkan kualitas benda kerja menjadi kurang bagus, umur pahat menjadi lebih rendah dan mesin tidak tahan lama.
4. Banyak operator *milling* memilih tindakan *trial and error* yaitu tindakan coba-coba mengubah *feed rate* dan *spindle speed* sebagai upaya untuk mendapatkan kekasaran permukaan yang serendah mungkin.
5. Kekasaran permukaan berpengaruh terhadap usia komponen, karena komponen yang tidak halus lebih mudah terjadi perubahan struktur.
6. Pada permukaan kasar lebih besar timbulnya inti karat dari pada permukaan yang lebih halus.
7. Baja karbon sedang memiliki tegangan tarik maksimum yang tinggi, sehingga sifatnya mudah menjadi keras.

C. Pembatasan Masalah

Mengingat banyak faktor yang mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan proses *milling* seperti kecepatan pemakanan, kecepatan putaran spindel, jenis pahat, jenis material yang digunakan, jenis mesin, dan kedalaman pemakanan, maka penelitian ini hanya dibatasi pada parameter kecepatan putaran spindel (*spindle speed*) dan kecepatan pemakanan (*feed rate*). Adapun batasan penelitiannya adalah sebagai berikut:

1. Variasi kecepatan putaran spindel (*spindle speed*) dalam penelitian ini yaitu 280 rpm, 410 rpm dan 660 rpm.

2. Variasi kecepatan pemakanan (*feed rate*) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 18 mm/min, 37 mm/min, 63 mm/min dan 97 mm/min.
3. Kedalaman pemakanan (*depth of cut*) adalah 0,2 mm.
4. Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu baja karbon sedang EMS 45 (AISI 1045).
5. *Cutting fluid* yang digunakan adalah dromus.
6. Mesin frais yang digunakan pada penelitian ini yaitu mesin frais vertikal merk FIRST.
7. Teknik penyayatan *end milling surface* dengan gerak pemakanan *up cut milling*.
8. Pahat yang digunakan pada penelitian ini yaitu *flat end mill 2 flute* HSS diameter 12 mm yang diasumsikan baru.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah di atas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan putaran spindel (*spindle speed*) terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses *end milling surface* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan pemakanan (*feed rate*) terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses *end milling surface* ?

E. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putaran spindle (*spindle speed*) terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses *end milling surface* ?
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan pemakanan (*feed rate*) terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses *end milling surface* ?

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi para operator *milling* sebagai referensi dan bahan pertimbangan khususnya pada proses *end milling surface* untuk mendapatkan kekasaran permukaan yang diharapkan.
2. Memberikan motivasi bagi para peneliti untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai analisis proses *milling*.
3. Menambah pustaka keilmuan dalam dunia pendidikan khususnya Pendidikan Teknik Mesin.
4. Sebagai referensi dalam meneliti parameter pemotongan proses *end milling* selanjutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

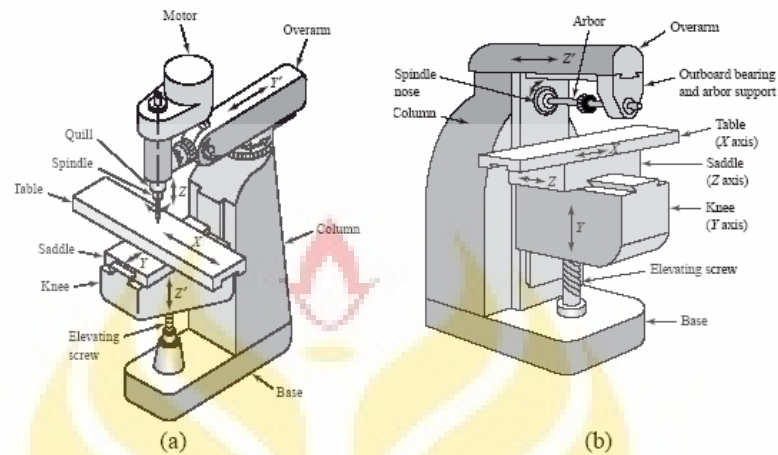
A. Kajian Teori

1. Mesin Frais

Menurut Sumbodo (2008: 278) “mesin frais (*milling machine*) adalah mesin perkakas yang dalam proses kerja pemotongannya dengan menyayat/memakan benda kerja menggunakan alat potong bermata banyak yang berputar (*multipoint cutter*)”. Mesin frais ada yang dikendalikan secara mekanis maupun secara otomatis menggunakan pemrograman. Mesin frais yang digerakkan secara manual sering disebut mesin frais konvensional, sedangkan mesin frais yang digerakkan secara otomatis menggunakan pemrograman disebut mesin frais CNC. Pada mesin frais konvensional sangat dituntut kemampuan dan keterampilan dari operatornya.

Mesin frais konvensional posisi *spindel* ada dua macam yaitu horizontal dan vertikal. Yang membedakan dari keduanya adalah pada mesin frais vertikal kepala *spindelnya* dapat diputar yang memungkinkan penyetelan *spindel* dalam bidang vertikal pada setiap sudut dari vertikal sampai horizontal. Perbedaan lainnya yaitu “mesin frais vertikal mempunyai perjalanan *spindel* aksial yang pendek untuk memudahkan pengefraisan bertingkat” (Priambodo, 1979: 169). Proses pemotongan dengan menggunakan gigi potong yang banyak mengitari pisau ini dapat menghasilkan proses pemesinan yang lebih cepat dan efisien. Daryanto (2007: 63) mengatakan “pahat mesin frais berbentuk melingkar dan dipasang pada

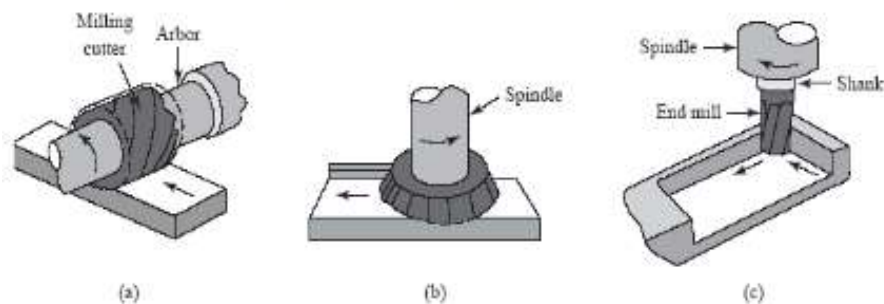
sumbu utama yang berputar bersama gerakan mesin, ia berputar dan memakan atau menyayat benda kerja, sedang benda kerjanya berjalan sepanjang alas mesin”.



Gambar 2.1. (a) Mesin Frais Vertikal, (b) Mesin Frais Horizontal (Widarto et al, 2008: 195)

2. Proses Frais (*Milling*)

Pengerjaan proses pemesinan dengan mesin frais merupakan proses pemotongan benda kerja yang sangat efektif, karena pisau frais memiliki sisi potong jamak. Jika dibandingkan dengan pisau bubut, maka pisau frais analog dengan beberapa buah pisau bubut lebih efisien. Proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, dan posisi relatif pahat terhadap benda kerja (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Proses frais (a) frais periperal/*slab milling*, (b) frais muka/*face milling*, (c) frais jari/*end milling* (Rahdiyanta, 2010: 3)

a. Frais Periperal (*Peripheral Milling*)

Proses frais ini disebut juga *slab milling*, permukaan yang difrais dihasilkan oleh gigi pahat yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pahat biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat.

b. Frais muka (*Face Milling*)

Pada frais muka, pahat dipasang pada spindel yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses frais dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pahat.

c. Frais jari (*End Milling*)

Pahat pada proses frais ujung biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pahat dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pahat terletak pada selubung pahat dan ujung badan pahat untuk menyayat permukaan benda (*end milling surface*).

Sedangkan teknik penyayatan dalam proses *milling* dibagi menjadi dua yaitu proses pemakanan berlawanan arah (*up cut milling*) dan pemakanan searah (*down cut milling*). *Up cut milling* (frais naik) dinamakan juga frais konvensional. Arah dari putaran pisau berlawanan dengan dengan arah gerak makan meja mesin frais. Rahdiyanta (2010: 4) mengatakan bahwa “penampang melintang bentuk tatal (*chips*) untuk frais naik adalah seperti koma diawali dengan ketebalan minimal kemudian menebal”. Proses ini sesuai untuk mesin frais konvensional/manual, karena pada mesin konvensional *backlash* ulir transpotirnya relatif besar dan tidak dilengkapi *backlash compensation*. Sedangkan untuk teknik penyayatan *down cut*

milling biasanya disebut juga *climb milling*. Arah dari putaran pahat sama dengan arah gerak makan meja mesin frais. Penampang melintang bentuk beram (*chips*) untuk proses frais turun adalah seperti koma diawali dengan ketebalan maksimal kemudian menipis (Rahdiyanta, 2010: 4)

Muin (1989: 92) juga menjelaskan “secara skematis gaya-gaya yang ditimbulkan pada gigi pemotong yang paling utama adalah gaya potong P dan komponen lain yang berhimpit dengan jari-jari lingkaran *cutter* yang disebut komponen radial Pr”. Gaya potong adalah gaya tangensial yang bekerja pada mata potong (*cutting edge*) dengan arah sama dengan arah gerak potong. Gaya potong mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan. Semakin besar gaya potong yang dibutuhkan pada waktu tertentu membuat gesekan antara pahat dengan benda kerja semakin besar, sehingga benda kerja semakin kasar. Adapun rumus dari gaya potong pada proses pemesinan *milling* adalah:

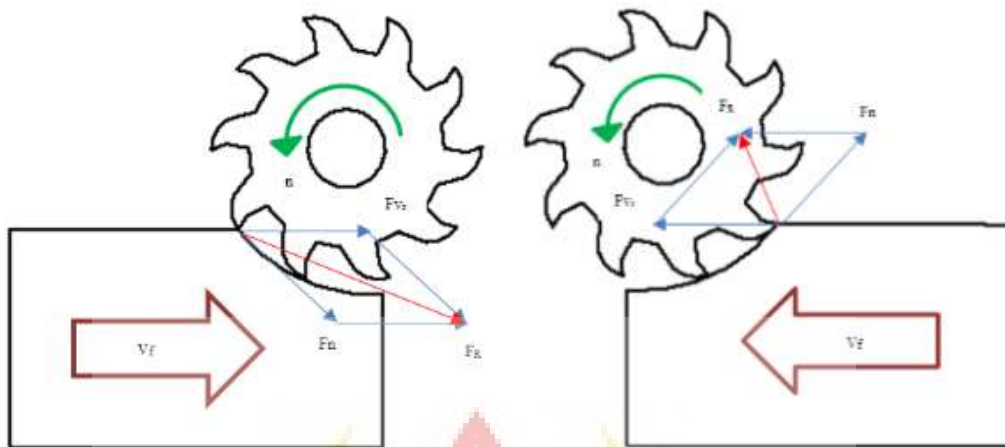
$$F_c = k \times q \quad \dots\dots\dots (2.1.)$$

dimana : F_c = Gaya Potong (kg)

q = penampang *chips* rata-rata (mm²)

k = tekanan potong spesifik (kg/mm²)

Komponen radial Pr mempunyai komponen resultan untuk gaya horizontal Ph dan gaya vertikal Pv. Pada proses *up cut milling* komponen Pv mengarah ke atas cenderung mengangkat benda kerja mengakibatkan mesin bergetar sehingga ketebalan *chip* diawali dari ketebalan tipis menuju ketebalan maksimum. Oleh sebab itu mekanisme kecepatan meja akan melawan gaya Ph. Secara skematis arah-arah dan pembentukan gaya-gaya yang terjadi pada proses *up cut milling* dan *down cut milling* dapat dijelaskan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Skema proses *Down Cut* dan *Up Cut Milling*
(Yudistria et al, 2015)

keterangan:

V_f = Kecepatan pemakanan

n = Putaran milling cutter

F_R = Gaya resultan

F_{Vf} = Gaya akibat gerakan pemakanan

F_n = Gaya akibat putaran milling cutter

3. Kecepatan Putaran Spindel (*Spindle Speed*)

“Kecepatan putaran spindel (*spindle speed*) ditentukan berdasarkan kecepatan potong” (Rahdiyanta, 2010:8). Dalam menentukan kecepatan potong beberapa faktor yang dipertimbangkan antara lain jenis bahan yang akan dikerjakan, jenis pahat, diameter pisau, dan hasil kehalusan permukaan yang diinginkan. “Kecepatan potong (V_c) adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik dalam satuan meter pada selubung pisau dalam waktu satu menit” (Widarto, 2008a: 196). Adapun rumus kecepatan potong untuk mesin frais sama dengan rumus kecepatan potong untuk mesin bubut yang dijelaskan di bawah.

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000} \dots\dots\dots (2.2.)$$

dimana : V_c = kecepatan potong (m/menit)
 d = diameter pisau (mm)
 n = *spindle speed* (rpm) dan $\pi = 3,14$

Dari rumus tersebut dapat dicari kecepatan putaran spindel (n) yang digunakan adalah:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi d} \quad \dots\dots\dots (2.3.)$$

Sebelum menentukan proses pekerjaan pemesinan, maka kita harus tahu jenis bahan yang akan dikerjakan serta jenis pahat yang akan digunakan. Setelah mengetahui jenis bahan dan jenis pahat yang akan digunakan maka langkah selanjutnya adalah mencari kecepatan potong. Kecepatan potong dari beberapa penelitian untuk beberapa jenis bahan telah distandarkan dalam tabel. Beberapa jenis bahan terbagi dalam beberapa golongan logam dan non logam yang menggunakan jenis pahat tertentu. 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 (Vc) dengan Pahat HSS untuk Proses Frais (mm/s)

Material	<i>Cutting Speed</i>			
	<i>Plain Milling Cutter</i>		<i>End Milling Cutter</i>	
	<i>Roughing</i>	<i>Finishing</i>	<i>Roughing</i>	<i>Finishing</i>
<i>Aluminium</i>	400 - 1.000	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>Cas 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 et al, 2008: 216)

Tabel 2.1 dapat digunakan untuk menghitung kecepatan putaran spindel (n) dengan ketentuan sebagai berikut :

- 1) Untuk pisau karbida harga kecepatan potong angka pada tabel dikalikan 2.

- 2) Apabila satuan kecepatan potong diubah menjadi m/mnt angka pada tabel dibagi 3,28.

4. Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*)

Selain istilah kecepatan potong, terdapat juga istilah kecepatan pemakanan (*feed rate*). Sumbodo (2008: 304) berpendapat bahwa “yang dimaksud dengan kecepatan pemakanan adalah jarak tempuh gerak maju benda kerja dalam satuan milimeter permenit atau *feed* permenit”. Hal ini menyatakan bahwa kecepatan pemakanan berbeda dengan kecepatan potong. Kecepatan potong disimbolkan dengan V_c lebih menekankan kepada istilah kecepatan potong yang diijinkan atau distandarkan yang sudah ditetapkan dalam tabel untuk masing-masing jenis bahan. Kecepatan potong yang diijinkan (V_c) digunakan untuk menentukan rpm atau kecepatan putaran mesin. Sedangkan hantaran atau *feed rate* (V_f) lebih menekankan pada pengertian kecepatan laju pemakanan meja frais pada saat melakukan proses penyayatan benda kerja.

Pada mesin frais, kecepatan pemakanan dinyatakan dalam satuan millimeter permenit di mana dalam pemakaiannya perlu disesuaikan dengan jumlah mata potong pisau yang digunakan. Kecepatan pemakanan tiap mata potong pisau frais (f_z) untuk setiap jenis pisau dan setiap jenis bahan sudah dibakukan tinggal dipilih mana yang sesuai dengan kebutuhan. Dengan demikian rumus kecepatan pemakanan (*feed rate*) adalah:

$$V_f = n \times f_z \times z_n \quad \dots\dots\dots (2.4.)$$

dimana: V_f : *feed rate* (mm/menit)
 n : kecepatan putaran spindel (rpm)

fz : *feed* per gigi (mm)
 zn : jumlah mata pisau

Pemakanan per gigi (fz) diukur dalam mm/*tooth* adalah nilai proses pemilinan untuk menghitung *table feed*. Jika *cutter milling* mempunyai banyak mata potong nilai fz dibutuhkan untuk menjamin setiap mata *cutter* berada dalam kondisi aman. Nilai *feed per tooth* dihitung berdasarkan ketebalan *chips* yang direkomendasikan. Penentuan harga *feeding* harus dihitung dengan rumus mencari *feeding* dan disesuaikan dengan besar pahat serta jumlah mata pahat yang akan digunakan. 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				
	Alumun ium	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 Relieved 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

(Widarto et al, 2008: 216)

5. Kedalaman Pemakanan (*Depth Of Cut*)

Tebal pemakanan dapat disebut juga dengan kedalaman potong. Menurut Rahdiyanta (2010: 8) “kedalaman potong ditentukan berdasarkan selisih tebal

benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir”. Tebal pemakanan dapat dipilih berdasarkan bahan benda kerja, pisau yang digunakan, mesin, sistem pencekaman, dan kecepatan potong.

Pisau yang digunakan untuk proses *finishing* sebaiknya dipilih pisau frais yang ukuran giginya relatif kecil, dengan kecepatan potong dipilih yang maksimal dari kecepatan potong yang diijinkan untuk pasangan pisau dan benda kerja yang dikerjakan. Untuk jenis pisau frais dapat dipilih pada *catalog end mill*. Sedangkan untuk kedalaman potong digunakan yang paling minimal agar permukaan yang didapatkan lebih halus.

Untuk kedalaman potong yang digunakan pada proses *milling* bervariasi. Variasi kedalaman potong pada proses *finishing* biasanya dirancang sebanyak lima yaitu 0,2 mm; 0,4 mm; 0,6 mm; 0,8 mm dan 1 mm (Abbas et al., 2013). Dari kelima variasi tersebut kedalaman pemakanan yang sering digunakan untuk mendapatkan kekasaran yang paling minimal pada proses *milling* adalah 0,2 mm.

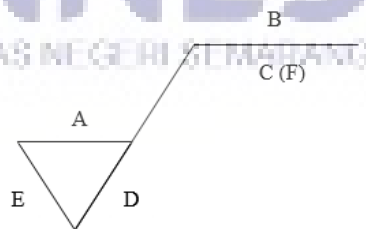
6. Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)

Kualitas geometris dapat dicapai jika benda kerja memenuhi persyaratan spesifikasi geometris yang meliputi ukuran/dimensi (*dimension*), bentuk (*form*), dan kekasaran permukaan (*surface roughness*) (Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2014: 40). Salah satu karakteristik geometri yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus, tetapi pada kenyataannya tidak ada suatu komponen dengan permukaan yang sangat halus. Setiap bidang permukaan juga tidak selalu diperlukan bidang yang sangat halus atau bahkan licin sekali,

karena besar kecilnya kekasaran permukaan tergantung dari pelaksanaan suku cadang (Anwir, 1981: 1).

Kekasaran permukaan adalah salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses pemesinan. Munadi (1988: 305) menjelaskan bahwa “permukaan yang kasar berbentuk gelombang pendek yang tidak teratur dan terjadi karena getaran pahat atau proporsi yang kurang tepat dari pemakanan (*feed*) pahat ketika proses pembuatannya”. Oleh karena itu, dalam perencanaan serta pembuatannya harus dipertimbangkan terlebih dulu mengenai peralatan mesin dan parameter pemesinan yang digunakan untuk proses pembuatannya serta berapa biaya yang harus dikeluarkan.

“Parameter yang sangat cocok untuk digunakan dalam pemeriksaan kekasaran permukaan dari komponen mesin yang proses pengerjaannya dengan proses permesinan tertentu adalah parameter Ra” (Munadi, 1988: 317). Kekasaran rata-rata (Ra) merupakan harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan profil tengah. Kekasaran permukaan biasanya dilambangkan dengan simbol yang berupa segitiga sama sisi seperti Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Tanda pengerjaan kekasaran permukaan

Keterangan:

A : Nilai kekasaran permukaan (Ra)

B : Cara pengerjaan produksi

C : Panjang sampel, dan (F) : Nilai kekasaran lain jika diperlukan

D : Arah pengerjaan

E : Kelebihan ukuran yang dikehendaki

Angka yang ada pada simbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (Ra). Simbol nilai kekasaran yang ditunjukkan dengan huruf A dituliskan dengan kelas kekasaran dari N1 sampai N12.

Tabel 2.3. Harga Kekasaran Permukaan

Kelas Kekasaran	Harga Ra (μm)	Toleransi (μm)	Panjang Sampel (mm)
N1	0,025	0,02 – 0,04	0,08
N2	0,05	0,04 – 0,08	
N3	0,1	0,08 – 0,15	0,25
N4	0,2	0,15 – 0,3	
N5	0,4	0,3 – 0,6	
N6	0,8	0,6 – 1,2	0,8
N7	1,6	1,2 – 2,4	
N8	3,2	2,4 – 4,8	
N9	6,3	4,8 – 9,6	
N10	12,5	9,6 – 18,75	2,5
N11	25	18,5 – 37,5	
N12	50	37,5 – 75,0	8

(Sumber : Munadi, 1988: 311)

Toleransi harga kekasaran rata-rata (Ra) dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil pengerjaan permukaan dengan mesin frais tentu lebih kasar jika dibandingkan dengan mesin gerinda. Tabel 2.4 berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2.4. Tingkat kekasaran rata-rata (Ra) permukaan menurut proses pengerjaannya

Proses pengerjaan	Kelas kekasaran	Harga Ra (μm)
<i>Flat and cylindrical lapping,</i> <i>Diamond turning</i>	$N_1 - N_4$	0,025 – 0,2
<i>Flat and cylindrical grinding</i> <i>Finishing</i>	$N_1 - N_8$ $N_4 - N_8$	0,025 – 3,2 0,1 – 3,2
<i>Face and cylindrical turning, milling</i> <i>dan reaming</i>	$N_5 - N_{12}$	0,4 – 50,0
<i>Drilling</i>	$N_7 - N_{10}$	1,6 – 12,5

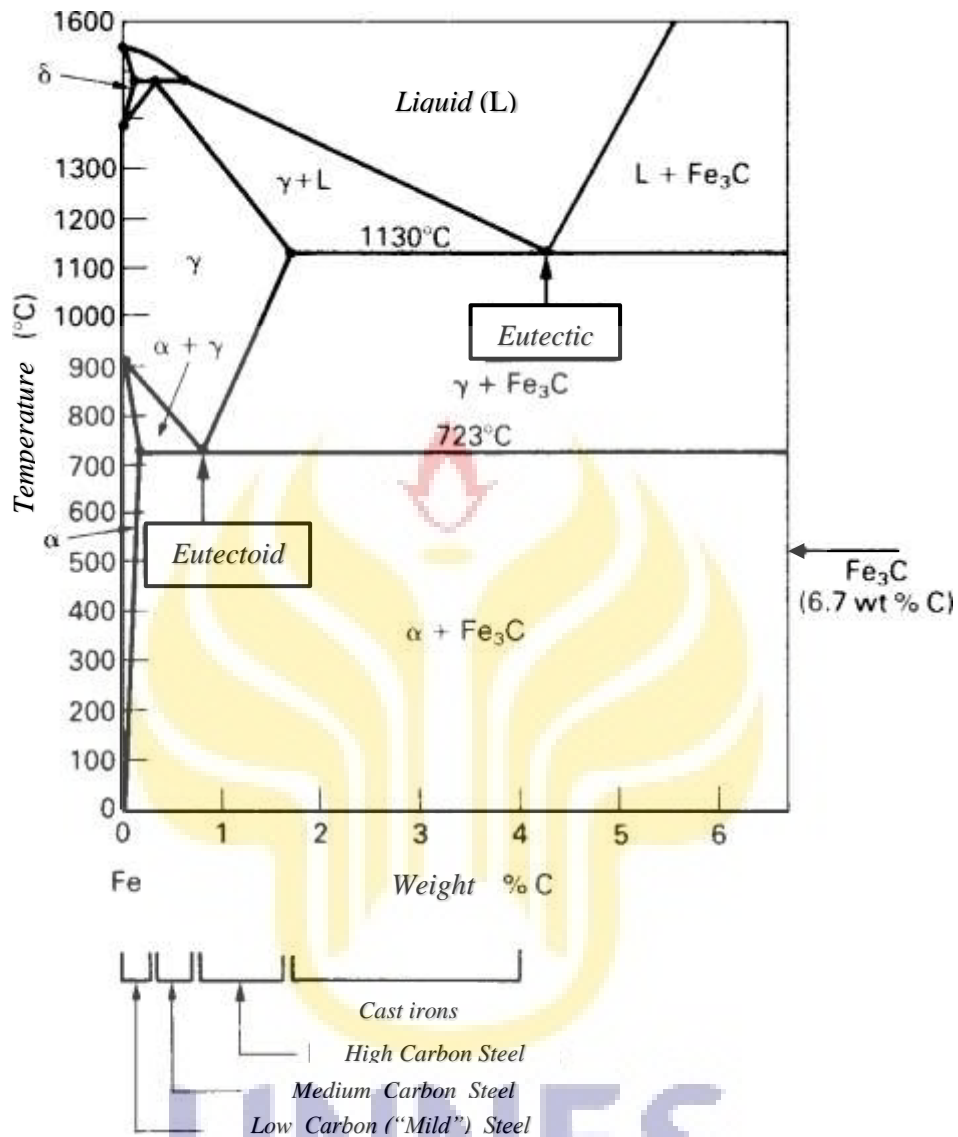
(Sumber : Munadi, 1988: 312)

Tingkat kekasaran dapat diukur melalui beberapa cara. Selain dengan membandingkan secara visual dengan standar yang ada, cara lain yaitu dengan perbandingan mikroskop (Amstead, 1979: 272). Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan mikroskop ini termasuk juga salah satu pengukuran dengan cara membandingkan, yaitu membandingkan hasil pemeriksaan permukaan mikroskop yang diukur dengan permukaan dari pembanding. Pengukuran dengan cara ini adalah mengambil gambar (foto) kekasaran permukaan yang akan diperiksa. Kemudian gambar permukaan tersebut diperbesar dengan perbesaran secara vertika. Dengan membandingkan hasil perbesaran foto kekasaran permukaan ini akan dapat dianalisis ketidakrataan dari permukaan yang diperiksa (Munadi, 1988: 324). Adanya perbesaran vertikal maka bekas sayatan akan nampak jelas seperti adanya puncak dan lembah.

7. Baja Karbon Sedang EMS 45

Menurut Ambiyar (2008: 75) “baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu”. Baja karbon mengandung karbon sampai/maksimum kira-kira 1,7% C. Baja karbon dikelompokkan menjadi tiga kategori berdasarkan presentasi karbonnya, yaitu: baja karbon rendah (0,1% - 0,3% C), baja karbon sedang (0,3% - 0,6% C) dan baja karbon tinggi (0,7% - 1,3% C) (Arifin, 1976: 111-112)

Di bawah ini dijelaskan kandungan karbon pada beberapa logam oleh Ashby dan David (1998: 4).



Gambar 2.5. Diagram *phase* baja karbon (Ashby dan David, 1998: 114)

Berdasarkan pada Gambar 2.5., baja karbon rendah dan baja karbon sedang memiliki kandungan karbon di bawah 0,8%, baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,7-1,7%, dan besi tuang memiliki kandungan karbon 1,8-4%. Baja karbon sedang memiliki tegangan tarik maksimum yang tinggi di bawah baja paduan, yaitu 6000 kg/cm^2 (Suharto, 1995: 174). Sedangkan unsur ciri khas kandungannya baja karbon sedang mengandung Mn sebesar 0,8 %. Ciri khas kandungan beberapa material logam dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Ciri khas kandungan beberapa material logam

Logam	Ciri khas kandungan (% berat)	Ciri khas penggunaan
Baja karbon rendah ("mild")	Fe +0,04-0,3 C (+≈0,8 Mn)	Penggunaan tegangan tarik rendah: konstruksi umum baja, cocok untuk pengelasan.
Baja karbon sedang	Fe +0,3-0,7 C (+≈0,8 Mn)	Penggunaan tegangan tarik sedang: bagian-bagian mesin, mur baut, poros, dan roda gigi.
Baja karbon tinggi	Fe +0,7-1,7 C (+≈0,8 Mn)	Penggunaan tegangan tarik tinggi: pegas, alat potong, lokomotif.
Baja paduan rendah	Fe +0,2 C; 0,8 Mn; 1 Cr; 2 Ni	Penggunaan tegangan tarik tinggi: tempat bertekanan, bagian-bagian pesawat terbang.
Baja paduan tinggi ("stainless")	Fe +0,1 C; 0,5 Mn; 18 Cr, 8 Ni	Penggunaan anti karat atau temperatur tinggi: bangunan bahan kimia atau bangunan yang bertekanan.
Besi tuang	Fe +1,8-4 C (+≈0,8 Mn; 2 Si)	Penggunaan tegangan tarik rendah: blok silinder, saluran pipa.

(Ashby dan David (1998: 4)

Berdasarkan Tabel 2.5., dijelaskan juga bahwa kandungan kadar karbon pada baja karbon sedang yaitu 0,3%-0,7%. Baja karbon sedang dan baja karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat meningkatkan kekerasan baja (Wiryosmarto dan Toshie, 1981: 92). Baja jenis ini biasanya digunakan sebagai alat-alat perkakas, roda gigi, pegas, ragum, dan lain-lain.

Baja EMS 45 (AISI 1045) merupakan golongan baja karbon sedang karena memiliki kandungan karbon 0,3 % - 0,56 %. Baja ini memiliki karakteristik sifat mampu mesin yang baik, *wear resistance*-nya baik, dan sifat mekaniknya menengah. Berdasarkan sertifikat baja AISI 1045 dari PT. Bhineka Bajas terdapat kandungan unsur selain *carbon* (C) dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Kandungan baja AISI 1045 atau EMS 45

C	Si	Mn	P	S
0,51	0,21	0,56	0,008	0,015

(Sertifikat baja AISI 1045/EMS 45 PT. Bhineka Bajas)

B. Kajian Penelitian yang Relevan

- Aditya et al., (2015) telah melakukan penelitian tentang Pengaruh *Spindle Speed, Feed Rate* dan Jumlah Mata Pahat *Ball Nose End Mill* Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium Pada Proses *Convencional Milling*. Hasil penelitiannya mengatakan bahwa semakin tinggi *feed rate* maka kekasaran permukaan semakin besar, sedangkan semakin tinggi *spindle speed* dan semakin banyak jumlah mata pahat maka kekasaran permukaan semakin kecil. Persamaan regresi untuk kekasaran permukaan dalam menentukan nilai parameter pemotongan khususnya *spindle speed, feed rate* dan jumlah mata pahat yaitu: $Ra = 1,665 - 0,002x_1 + 0,007x_2 - 0,088x_3$.
- Yudistria et al., (2015) telah melakukan penelitian tentang Pengaruh Parameter Pemotongan Menggunakan Pahat *End Mill* Pada Proses *Climb Milling* Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah. Dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa parameter pemotongan (t' , v_f , n) memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan pada baja karbon rendah. Parameter pemotongan paling berpengaruh signifikan secara berturut-turut adalah kecepatan pemakanan, kecepatan spindle dan kedalaman pemotongan. Persamaan regresi untuk kekasaran permukaan dalam menentukan nilai parameter pemotongan dengan variabel *feed rate, spindle speed* dan *depth of cut*

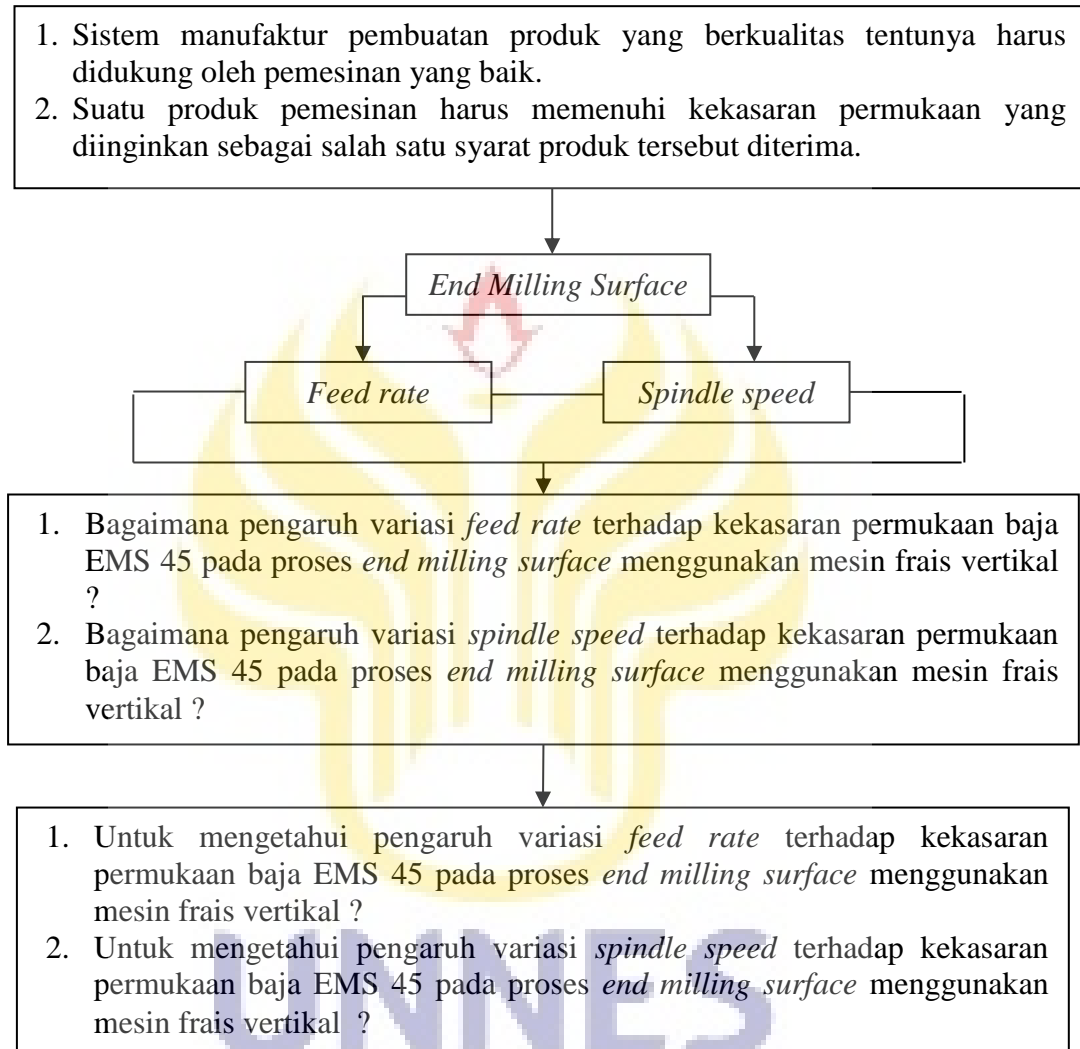
yaitu dengan tingkat kebenaran sebesar 89,9 % : $Ra = 0,552 + 0,023v_f - 0,0002n + 0,193t'$. Dimana *feed rate* dan *depth of cut* berbanding lurus dengan nilai kekasaran permukaan. Sedangkan *spindle speed* berbanding terbalik dengan nilai kekasaran permukaan. Hal ini dipengaruhi oleh pembentukan geram pada hasil pemotongan logam.

3. Abbas et al., (2013) melakukan penelitian tentang Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Operasi Pemotongan *Milling* Terhadap Getaran dan Tingkat Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*). Dari hasil penelitiannya pada proses pemotongan *up milling* diperoleh tingkat kekasaran permukaan terkecil terjadi pada material ST 42 sebesar 1.4 μm dengan amplitudo getaran 1.0 μm terjadi pada putaran spindle 240 rpm pada kedalaman potong 0.2 mm dengan gerak insut 12 mm/menit sedangkan kekasaran maksimum terjadi pada material ST 60 yaitu sebesar 11.0 μm pada putaran spindle 180 rpm, kedalaman potong 1.0 mm. Dengan gerak insut 38 mm/menit menghasilkan amplitudo getaran sebesar 17.0 μm .

C. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka berpikir yang baik akan menjelaskan secara teoritis hubungan antara variabel yang akan diteliti (Sujarweni., 2014: 60). Berdasarkan studi kepustakaan di atas, maka ada beberapa variabel yang berkaitan, yaitu kecepatan pemakanan (*feed rate*) dan kecepatan putaran spindle (*spindle speed*) sebagai variabel *independen* dan kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses *end*

milling surface sebagai variabel *dependen*. Secara singkat kerangka pikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.

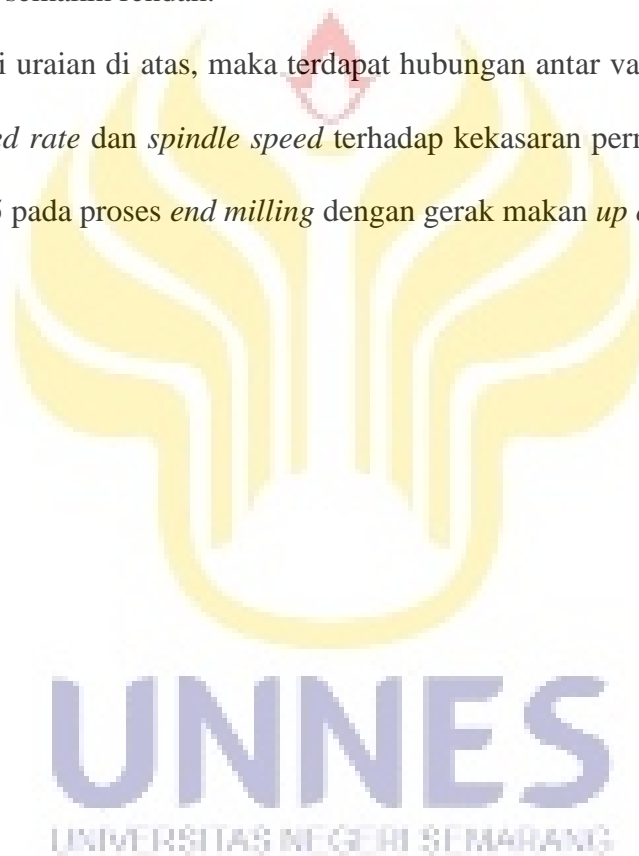


Gambar 2.6. Kerangka Pikir Penelitian

Suatu produk pemesinan harus memenuhi spesifikasi tertentu sebagai salah satu syarat produk tersebut memiliki kualitas yang baik sehingga dapat diterima oleh konsumen. Oleh karena itu, untuk mendapatkan spesifikasi yang diharapkan diperlukan proses pemesinan yang baik. Salah satu spesifikasi produk yang diharapkan adalah kekasaran permukaan (R_a) atau kehalusan. Kekasaran permukaan pada proses *end milling* dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya

kecepatan pemakanan (*feed rate*) dan kecepatan putaran spindle (*spindle speed*) (rpm). Kedua parameter tersebut dapat ditentukan sesuai material yang akan digunakan/dikerjakan. Semakin tinggi *feed rate* maka nilai kekasaran produk semakin meningkat. Sedangkan *spindle speed* yang tinggi dapat mengurangi tingkat getaran mesin yang terjadi sehingga memungkinkan didapatkan tingkat kekasaran produk yang semakin rendah.

Dari uraian di atas, maka terdapat hubungan antar variabel, yaitu adanya pengaruh *feed rate* dan *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan benda kerja baja EMS 45 pada proses *end milling* dengan gerak makan *up cut milling*.



BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pengaruh variasi kecepatan putaran spindel dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses *end milling surface* dapat disimpulkan bahwa:

1. Kecepatan putaran spindel (*spindle speed*) mempengaruhi kekasaran permukaan (Ra) baja EMS 45 pada proses *end milling surface*. Nilai kekasaran permukaan pada variasi kecepatan putaran spindel 280 rpm, 410 rpm dan 660 rpm secara berturut mengalami *trend* fluktuatif, yaitu terjadinya penurunan pada 410 rpm dan peningkatan kekasaran permukaan pada 660 rpm. Kekasaran permukaan terendah yaitu 1,46 μm terjadi pada kecepatan putaran spindel 660 rpm dengan kecepatan pemakanan 18 mm/min.
2. Kecepatan pemakanan (*feed rate*) mempengaruhi kekasaran permukaan (Ra) baja EMS 45 pada proses *end milling surface*. Nilai kekasaran permukaan pada variasi kecepatan pemakanan 18 mm/min, 37 mm/min, 63 mm/min dan 97 mm/min secara berturut mengalami *trend* fluktuatif, yaitu terjadinya peningkatan kekasaran permukaan pada 37 mm/min, 97 mm/min dan mengalami penurunan kekasaran permukaan pada 63 mm/min. Kekasaran permukaan terendah yaitu 1,46 μm terjadi pada kecepatan pemakanan 18 mm/min dengan kecepatan putaran spindel 660 rpm.

B. Saran

1. Bagi para operator *milling* disarankan kondisi parameter pemotongan frais harus selalu diperhatikan sesuai dengan kebutuhan nilai kekasaran permukaan yang diharapkan.
2. Untuk mendapatkan nilai kekasaran yang terendah (terhalus) proses *end milling surface* baja EMS 45 yaitu 1,46 μm (N7) dapat dikerjakan pada kecepatan pemakanan 18 mm/min dengan kecepatan putaran spindel 660 rpm.
3. Untuk penelitian selanjutnya bisa meneliti kekasaran permukaan baja EMS 45 dengan menggunakan variasi kecepatan potong (V_c) diluar *range* yang direkomendasikan (<20 atau >70).
4. Bagi pihak Jurusan Teknik Mesin Unnes agar lebih melengkapi fasilitas untuk uji kekasaran agar mahasiswa tidak harus melakukan pengujian diperguruan tinggi lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, H. et al. 2013. *Penagruh parameter Pemotongan Pada Operasi Pemotongan Milling Terhadap Getaran dan Tingkat Kekasaran Permukaan (Surface Roughness)*. Proceeding SNTTM XII & Lomba Rancang Bangun Mesin Universitas Lampung.
- Aditya, A.Y. et al. 2015. *Pengaruh Spindel Speed, Feed Rate Dan Jumlah Mata Pahat Ball Nose End Mill Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium Pada Proses Conventional Milling*. Jurnal Teknik. Universitas Brawijaya.
- Ambiyar, et al. 2008. *Teknik Pembentukan Plat Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Amstead, B.H., dkk. 1979. *Teknologi Mekanik: Jilid 1*. Terjemahan Sriati Djaprie. 1981. Jakarta: Erlangga.
- Anwir, B.S. *Teknik Mekanik Mengukur Jilid II*. 1981. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Arifin, N.M. et al. 2011. *Pengaruh Parameter Proses Frais Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Fase Ganda*. Jurnal Rekayasa Mesin, Vol.2, No.3: 182-192.
- Arifin, S. 1976. *Ilmu Logam Jilid 1*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Ashby dan David. 1998. *Engineering Materials 2 An Introduction to Microstructures, Processing and Design*. UK: Butterworth-Heinemann.
- Daryanto. 2007. *Dasar-Dasar Teknik Mesin*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Hernadewita, et al. 2006. *Pengaruh Kondisi Pemotongan Benda Kerja (Panjang Penjuluran) Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Mesin Bubut Galllic 16N*. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 3(1): 55-61
- Mardika, A. et al. 2014. *Pengaruh Spindle Speed dan Feed Rate Pada Proses Climb Mill Miring Menggunakan Pahat Ball Nose End Mill Terhadap Kekasaran Permukaan Al 6061*. Jurnal Teknik. Universitas Brawijaya.
- Muin, S. A. 1989. *Dasar-dasar Perancangan Perkakas dan Mesin-Mesin Perkakas*. Jakarta : CV. Rajawali
- Munadi, S. 1988. *Dasar-Dasar Metrologi Industri*. Jakarta : Proyek Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan.
- Priambodo, B. 1981. *Teknologi Mekanik Jilid 2*. Jakarta : Erlangga.

- Purbosari, D. et al. 2012. *Karakteristik Tingkat Kekasaran Permukaan Baja ST 40 Hasil Pemesinan CNC Milling ZK 7040 Efek Dari Kecepatan Pemakanan (Feed Rate) Dan Awal Waktu Pemberian Pendingin*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Rahdiyanta, D. 2010. *Buku 3 Proses Frais (Milling)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rahmadiyanto, F. 2015. *Pengaruh Varisi Cutting Fuid Dan Variasi Feeding Pada Proses Pemotongan Oerthogonal Poros Baja Terhadap Kekasaran Permukaan*. Widya Teknika, Vol.23, No.2. ISSN 1411 – 0660: 1 – 9. Teknik Mesin Institut Nasilonal Malang.
- Ramdhani dan Irfa'i. 2015. *Analisis Kecepatan Putar Spindle, Jenis Pahat dan Variasi Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Dan Kerataan Permukaan Alumunium 6061 Pada Mesin Cnc Tu-3a Dengan Program Absolut G01*. Jurnal Teknik Mesin (online) 1(1) :118-125, (<http://www.ejournal.unnesa.ac.id>), diakses pada 29 Agustus 2015
- Romiyadi. dan Azriadi, E. 2014. *Pengaruh Kemiringan Spindel Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Getaran Mesin Frais Universal Knuth UFM 2*. Jurnal Teknobiologi, V(1): 31-36.
- Romiyadi. dan Yudi, D. 2012. *Pengaruh Parameter Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Getaran Mesin Perkakas Pada Proses Up Milling Dan Down Cut Milling Menggunakan Mesin Frais Universal KNUTH UFM 2*. Jurnal Sawit Indonesia, Vol. 2 No. 2.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suharto. 1995. *Teori Bahan dan Pengaturan Teknik*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Sujarweni, V.W. 2014. *Metodologi Penelitian*. Yogyakarta: Pustakabarupress.
- Sumbodo, W. et al. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Syah. A. A, et al. 2015. *Pengaruh Feed Rate dan Depth Of Cuts Terhadap Surface Rougness Pada Proses Milling Dengan Bantuan 4 Axis CNC Machine*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Teknik Dasar Instrumentasi*. 2014. Cimahi: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Widarto, et al. 2008a. *Teknik Pemesinan Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Wiryo-smarto, H. dan Toshie Okumoro. 1981. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Yudistira, T.M. et al. 2015. *Pengaruh Parameter Pemotongan Menggunakan Pahat End Mill Pada Proses Climb Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah*. Malang: Universitas Brawijaya.

Zubaidi, A. 2012. *Analisis Pengaruh Kecepatan Putar dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Material FCD 40 Pada Mesin Bubut CNC*. Jurnal Teknik Mesin (online) 8(1) : 40 - 47, http://undana.ac.id/jsmallfib_top/JURNAL/TEKNIK%20MESIN/TEKNIK%20MESIN%202012/ANALISIS%20PENGARUH%20KECEPATAN.pdf, diakses pada 28 Agustus 2015

