



**ANALISIS PENGARUH *FEEDING* PADA PROSES
END MILLING SURFACE FINISH TERHADAP
TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN
BAJA KARBON RENDAH**

SKRIPSI

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

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

oleh

Andika Heri Wibowo
5201412072

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



**ANALISIS PENGARUH *FEEDING* PADA PROSES
END MILLING SURFACE FINISH TERHADAP
TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN
BAJA KARBON RENDAH**

SKRIPSI

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

UNNES
oleh
Andika Heri Wibowo
5201412072

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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Andika Heri Wibowo

NIM : 5201412072

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin, S1

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh *Feeding* pada Proses *End Milling Surface Finish* terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah

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

() 1-5-2016

Sekretaris : Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T.

NIP.197509272006041002

() 4-5-2016

Dewan Penguji

Pembimbing : Drs. Masugino, M.Pd.

NIP.195207211980121001

() 2-5-2016

Penguji Utama 1 : Dr. Heri Yudiono, S.Pd. M.T.

NIP.196707261993031003

() 2-5-2016

Penguji Utama 2 : Rusiyanto, S.Pd., M.T.

NIP.197403211999031002

() 2-5-2016

Penguji Pendamping : Drs. Masugino, M.Pd.

NIP.195207211980121001

() 2-5-2016

Ditetapkan tanggal:

di Semarang,

di Fakultas Teknik



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Andika Heri Wibowo

NIM : 5201412072

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Analisis Pengaruh Feeding pada Proses End Milling Surface Finish terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah**" 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, 23 Februari 2016

Yang membuat pernyataan



Andika Heri Wibowo

NIM. 5201412072

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

1. Bersama kesulitan ada kemudahan (Al Insyirah)
2. Jika kamu tidak dapat menahan lelahnya belajar, maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan (Imam Syafii)
3. Keajaiban itu berpihak pada yang berani (Mario Teguh)

Persembahan

Skripsi ini kupersembahkan untuk:

1. Ayah dan ibu tercinta
2. Adik-adikku yang senantiasa aku sayangi.
3. Teman-teman PTM Unnes 2012
4. Almameterku Teknik Mesin Unnes



ABSTRAK

Wibowo, Andika Heri. Analisis Pengaruh *Feeding* pada Proses *End Milling Surface Finish* terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Drs. Masugino, M.Pd.

Kata Kunci: *Feeding*, *End Milling*, Kekasaran

Penelitian di bidang pemesinan dalam menguji tingkat kekasaran perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang baik dalam proses pemesinan. Tujuan Penelitian ini adalah: untuk menganalisis pengaruh *feeding* pada proses *end milling surface* terhadap tingkat kekasaran, untuk mengetahui bentuk tatal yang dihasilkan, serta mengetahui pengaruh *feeding* terhadap gaya potong dalam proses penyayatan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi *feeding* dimana nilai *feeding* yang diambil adalah 0,05 mm/gigi, 0,10 mm/gigi, dan 0,15 mm/gigi. Variabel terikatnya adalah tingkat kekasaran, sedangkan variabel kontrol adalah *depth of cut* dan kecepatan spindel. Sedangkan proses yang digunakan adalah proses *end milling surface finish*. Pengujian kekasaran menggunakan *surface roughness tester* TR 100. Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif. Dimana data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Tatal dari setiap *feeding* dan gaya potong juga dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap tingkat kekasaran.

Hasil pengujian kekasaran dari *feeding* 0,05 mm/gigi, 0,10 mm/gigi, dan 0,15 mm/gigi masing-masing menunjukkan nilai kekasaran rata-rata sebesar 1,55 μm , 1,90 μm , dan 4,31 μm . Tatal yang terbentuk dari masing-masing *feeding* menunjukkan bahwa semakin besar nilai *feedin*, tatal yang dihasilkan semakin tebal dan kaku sehingga kekasaran semakin tinggi. Tatal yang tipis lebih elastis dan mudah terpilin sehingga tingkat kekasarnya lebih halus. Tatal yang tebal dan kaku mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan. Hal ini diakibatkan karena gaya potong yang diperlukan untuk melawan tegangan bengkok dalam proses penyayatan. Semakin tinggi nilai *feeding*, maka gaya potong yang diperlukan untuk melawan tegangan bengkok semakin besar. Gaya potong dari *feeding* 0,05 mm/gigi, 0,10 mm/gigi, dan 0,15 mm/gigi yang telah dihitung didapat nilai 2942 N, 4904 N, dan 6647 N.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, *feeding* yang paling kecil memberikan hasil kekasaran yang baik. Sehingga dalam proses *finishing* sebaiknya menggunakan *feeding* paling kecil dan pada proses *roughing* sebaiknya menggunakan *feeding* paling besar agar mengefisienkan biaya dan waktu proses frais. Pemilihan *feeding* juga harus didasarkan pada tabel *feeding* yang telah disesuaikan dengan jenis bahan dan pisau frais.

PRAKATA

Puji syukur peneliti panjatkan kepada Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh *Feeding* pada Proses *End Milling Surface Finish* terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah”.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan hambatan, akan tetapi berkat bimbingan serta kerjasama dari semua pihak sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu peneliti sampaikan hormat dan terimakasih kepada:

1. Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
2. Drs. Masugino, M.Pd. Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya skripsi ini.
3. Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T. Dosen Penguji I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya skripsi ini.
4. Rusyanto, S.Pd., M.T. Dosen Penguji II yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya skripsi ini.
5. Candra Suryani, S.Pd. Guru Kompetensi Keahlian Teknik Pemesinan SMK Negeri 7 Semarang yang telah membantu dalam pembuatan spesimen.

6. Imam Syafaat Ketua Laboratorium jurusan Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang yang telah memberikan izin pengujian kekasaran.
7. Kepala Bagian Pengujian Material Politeknik Manufakturing Ceper Klaten yang telah memberikan izin pengujian komposisi.
8. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Unnes yang telah memberikan ilmu selama ini.
9. Semua pihak tanpa terkecuali yang telah banyak membantu selesainya penulisan skripsi ini.

Akhirnya peneliti berharap semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca.

Semarang, Februari 2016

Peneliti

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Pembatasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan	5
F. Manfaat	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
A. Kajian Teori	7
B. Kajian Penelitian yang Relevan	27

C. Kerangka Pikir Penelitian	29
BAB III METODE PENELITIAN	32
A. Desain Penelitian	32
B. Alat dan Skema Peralatan Penelitian	34
C. Bahan Penelitian	35
D. Waktu dan Tempat Penelitian	36
E. Prosedur Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
A. Hasil Penelitian	45
B. Pembahasan	52
BAB V PENUTUP	56
A. Simpulan	56
B. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN-LAMPIRAN	60



DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol	Arti
A	penampang rata-rata sebelum terpotong (mm ²)
a	lebar pemotongan (mm)
D	diameter pisau (mm)
F _t	gaya potong (N)
h	tebal tatal (mm)
k _s	gaya potong spesifik (N/mm ²)
k _{s1.1}	gaya potong spesifik referensi (N/mm ²)
K _r	sudut potong utama
n	kecepatan putaran (rpm)
N	kelas kekasaran
f _z	<i>feeding</i> mm/gigi
f _n	<i>feeding</i> mm/putaran
p	pangkat untuk tebal tatal rata-rata, dipengaruhi benda kerja
R _a	kekasaran aritmatik
V _c	kecepatan potong (m/menit)
V _f	<i>feed rate</i> (mm/menit)
z _n	jumlah mata pisau
∅	sudut posisi
σ _b	tegangan tekan
σ _t	tegangan tarik

DAFTAR TABEL

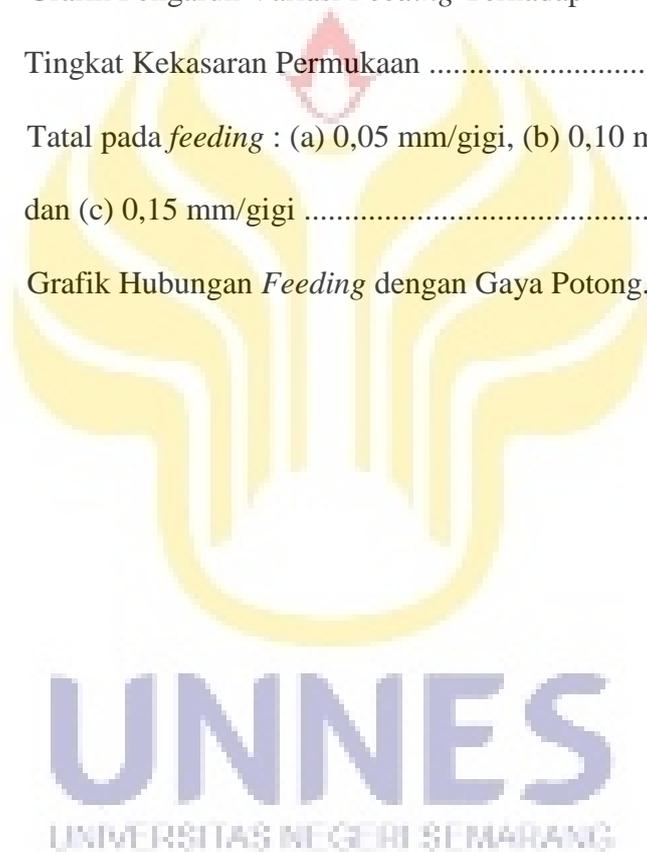
Tabel		Halaman
Tabel 2.1	Gaya Potong Spesifik Refensi.....	13
Tabel 2.2	Kecepatan Potong (V_c) dengan pahat HSS dan Karbida	17
Tabel 2.3	<i>Feeding</i> per Gigi yang Disarankan dengan Pahat HSS	19
Tabel 2.4	Kemampuan Mesin untuk Kekasaran Permukaan	23
Tabel 2.5	Harga Kekasaran	24
Tabel 2.6	Klasifikasi Baja Karbon	26
Tabel 3.1	Hasil Uji Komposisi Baja Karbon Rendah	38
Tabel 4.1	Nilai Kekasaran pada <i>Feeding</i> 0,05 mm/gigi	45
Tabel 4.2	Nilai Kekasaran pada <i>Feeding</i> 0,10 mm/gigi	46
Tabel 4.3	Nilai Kekasaran pada <i>Feeding</i> 0,15 mm/gigi	47
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Gaya Potong.....	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
Gambar 2.1	Klasifikasi Proses Frais	10
Gambar 2.2	Macam-Macam <i>End Mill</i> Berdasarkan Jumlah Mata Potong	11
Gambar 2.3	Proses Pembentukan Tatal pada Frais Tegak	14
Gambar 2.4	Ilustrasi Tegangan pada Penampang Tatal.....	16
Gambar 2.5	Parameter Permukaan	21
Gambar 2.6	Tanda Pengerjaan	22
Gambar 3.1	Mesin CNC Vertikal	33
Gambar 3.2	Mesin Uji Komposisi	34
Gambar 3.3	<i>Surface Roughness Tester</i> TR 100	35
Gambar 3.4	Skema Peralatan Penelitian	35
Gambar 3.5	Spesimen Uji Kekasaran.....	36
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.7	Skema Proses Penyayatan	39
Gambar 3.8	Program Kerja di Master CAM.....	40
Gambar 3.9	Program Proses Penyayatan pada Mesin CNC	41
Gambar 3.10	Proses Pembuatan Spesimen Uji Kekasaran	41
Gambar 3.11	Proses Pengujian Kekasaran	42
Gambar 4.1	Grafik Nilai Kekasaran Tiap Spesimen pada <i>Feeding</i> 0,05 mm/gigi	46

Gambar 4.2	Grafik Nilai Kekasaran Tiap Spesimen pada <i>Feeding</i> 0,10 mm/gigi	47
Gambar 4.3	Grafik Nilai Kekasaran Tiap Spesimen pada <i>Feeding</i> 0,15 mm/gigi	48
Gambar 4.4	Grafik Nilai Kekasaran Rata-Rata Seluruh Spesimen	49
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Variasi <i>Feeding</i> Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan	49
Gambar 4.6	Tatal pada <i>feeding</i> : (a) 0,05 mm/gigi, (b) 0,10 mm/gigi, dan (c) 0,15 mm/gigi	50
Gambar 4.7	Grafik Hubungan <i>Feeding</i> dengan Gaya Potong.....	51



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1 Surat Tugas Dosen Pembimbing	61
2 Surat Ijin Penelitian	62
3 Dokumen Hasil Uji Komposisi	63
4 Dokumen Hasil Uji Kekasaran	64
5 Perhitungan Kalibrasi <i>Surface Roughness Tester</i> TR 100	65
6 Perhitungan Gaya Potong	67
7 Perhitungan Kecepatan Putaran Mesin dan Kecepatan Pemakanan Meja.....	70
8 Perhitungan Waktu Pemotongan	71
9 Foto-Foto Penelitian.....	72
10 NC Kode Proses Pembuatan Spesimen.....	77

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini telah berkembang sangat pesat. Sejalan dengan hal ini maka suatu hasil produksi harus diimbangi dengan peningkatan kualitas hasil produksi, tidak terkecuali pada proses pemesinan yang menggunakan mesin-mesin perkakas seperti mesin frais, mesin bubut, mesin sekrap, dan gerinda. Proses pemesinan yang membuat beberapa komponen mesin sering didominasi dengan menggunakan material logam. Material logam ini setelah dikerjakan dengan mesin menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang berbeda-beda. Proses pemesinan *milling* merupakan salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan untuk membuat suatu komponen. Dalam proses pemesinan *milling*, waktu yang dibutuhkan untuk membuat komponen harus seminimal mungkin agar tercapai kapasitas produksi yang tinggi, akan tetapi dalam prosesnya juga harus memperhatikan faktor kualitas yaitu tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan.

Penelitian di bidang operasi mesin perkakas telah dimulai pada awal abad XIX oleh Taylor yang melakukan eksperimen selama 26 tahun dengan lebih dari 30.000 eksperimen menghasilkan 400 ton beram. Eksperimen tersebut bertujuan menghasilkan solusi sederhana atas permasalahan intrinsik dalam menentukan kondisi pemotongan yang aman dan efisien.

Taylor percaya bahwa dalam eksperimennya mekanik-mekanik yang telah berpengalaman mampu menyelesaikan pekerjaan dengan cepat. Mekanik-mekanik tersebut melakukan *trial and error* dalam mengatur parameter-parameter pemotongan seperti kecepatan potong, laju pemakanan, dan kedalaman pemakanan (Jerard *et al.* 2001: 1).

Parameter pemotongan berperan besar dalam menentukan tingkat kekasaran permukaan. Alessandro *et al.* (2010: 43) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa proses *milling* pada permukaan benda kerja yang berfokus pada kekasaran dan kekerasan permukaan, menunjukkan bahwa operasi pemotongan *finishing* secara signifikan mampu menurunkan kekasaran permukaan mencapai 43%. Proses *finishing* itu dilakukan dengan mengubah parameter pemotongan sehingga didapatkan hasil proses pemesinan *milling* yang halus. Proses *finishing* merupakan tahap akhir setelah dilakukan beberapa kali proses *roughing*. Proses *roughing* dilakukan agar menghemat waktu produksi dan menghemat biaya penggunaan mesin.

Penelitian tentang parameter pemotongan selama ini hanya sebatas meneliti tentang pengaruh parameter pemotongan terhadap tingkat kekasaran permukaan. Bahwasanya beberapa penelitian tersebut mengatakan bahwa semua parameter pemotongan dari kecepatan putaran, laju pemakanan (*feeding*), kedalaman pemakanan, serta jenis pahat berpengaruh terhadap tingkat kekasaran. Parameter pemotongan itu juga diteliti nilai signifikan pengaruhnya serta dicari urutan parameter

pemotongan yang paling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran (Rachmanta *et a.* 2015).

Permasalahan yang terjadi di lapangan adalah para operator mesin perkakas termasuk operator *milling*, mereka kesulitan menularkan pengetahuannya secara sistematis dan kuantitatif kepada orang lain. Tindakan *trial and error* merupakan tindakan coba-coba dengan mengubah parameter-parameter pemotongan untuk mendapatkan tingkat kekasaran tertentu. Anggapan dari mereka juga kualitas pisau yang bagus paling utama menentukan tingkat kekasaran permukaan. Rochim (1993: 179) mengatakan bahwa dalam proses penyayatan memerlukan gaya potong tertentu, gaya potong ini berpengaruh terhadap kekasaran dan umur pahat.

Dari permasalahan tersebut, analisis terhadap salah satu parameter pemotongan perlu dilakukan agar dapat memberikan informasi analitik dan kuantitatif. Analisis terhadap salah satu parameter pemotongan diperlukan juga untuk mengetahui kondisi optimal dari proses pemesinan *milling*. Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa *feeding* paling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran, maka penelitian ini menganalisis pengaruh *feeding* terhadap tingkat kekasaran sebagai penelitian tindak lanjut dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi di lapangan bagi para operator mesin perkakas serta bermanfaat bagi dunia pendidikan.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil produksi harus diimbangi dengan kualitas produksi.
2. Semakin halus permukaan benda kerja maka kualitas semakin baik.
3. Secara teori parameter pemotongan berpengaruh terhadap tingkat kekasaran, namun penelitian sebelumnya hanya menguji signifikansi dan mencari urutan parameter pemotongan yang paling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran.
4. Kondisi yang terjadi di lapangan adalah operator mesin perkakas kesulitan dalam menyampaikan pengetahuannya secara sistematis dan kuantitatif kepada orang lain.
5. Operator mesin perkakas melakukan *trial and error* untuk mendapatkan tingkat kekasaran permukaan tertentu.
6. Operator mesin perkakas masih beranggapan bahwa jika pisaunya baik maka hasil kekasarannya juga baik.
7. Ada kesenjangan antara teori, beberapa hasil penelitian, dan kondisi di lapangan yang memerlukan penelitian tindak lanjut dengan menganalisis salah satu parameter pemotongan untuk memberikan informasi kuantitatif dan analisis.

C. Pembatasan Masalah

Mengingat banyaknya klasifikasi proses dan berbagai macam pisau frais yang digunakan dalam proses penyayatan, maka penelitian ini dibatasi pada proses frais *end milling* dengan proses penyayatan *surface finish*. Pisau frais dibatasi dengan menggunakan pisau frais *end mill cutter* HSS Nachi 2 mata potong diameter 20 mm.

D. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis pengaruh *feeding* pada proses penyayatan *end milling surface finish* terhadap tingkat kekasaran permukaan baja karbon rendah?
2. Bagaimana bentuk tatal yang dihasilkan dari setiap variasi *feeding*?
3. Bagaimana pengaruh gaya potong terhadap tingkat kekasaran?

E. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis pengaruh *feeding* pada proses penyayatan *end milling surface finish* terhadap tingkat kekasaran permukaan baja karbon rendah.
2. Untuk mengetahui bagaimana bentuk tatal yang dihasilkan dari setiap variasi *feeding*.

3. Untuk mengetahui pengaruh gaya potong terhadap tingkat kekasaran.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Secara Teoritis
 - a. Dapat digunakan sebagai acuan dalam proses pemesinan *milling*.
 - b. Dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mencari tingkat kekerasan yang baik dalam proses *milling*.
2. Secara Praktis
 - a. Bagi ilmu pengetahuan
 - 1) Memberikan informasi analitik tentang variasi *feeding* pada proses penyayatan *end milling surface* terhadap kekasaran permukaan.
 - 2) Memberikan motivasi bagi para peneliti untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai analisis *feeding*.
 - b. Bagi Instansi
 - 1) Menambah pustaka keilmuan dalam dunia pendidikan.
 - 2) Sebagai referensi dalam meneliti parameter pemotongan *feeding*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Mesin Frais

Proses pemesinan frais (*milling*) merupakan suatu proses pemotongan benda kerja dengan menggunakan mata potong yang berputar. Proses pemotongan dengan menggunakan gigi potong yang banyak mengitari pisau ini dapat menghasilkan proses pemesinan yang lebih cepat. Menurut Krar *et al.* (1985: 253) menjelaskan bahwa mesin frais merupakan mesin yang paling mampu melakukan banyak tugas dari segala mesin perkakas. Permukaan yang datar dan berlekuk dapat dimesin dengan penyelesaian dan ketelitian yang baik. Benda kerja dapat dibentuk dengan menggunakan satu atau lebih sisi potong untuk melakukan pekerjaan-pekerjaan seperti operasi rata, miring, maupun pembuatan roda gigi.

Sedangkan menurut Daryanto (2006: 33), mengatakan bahwa “mesin frais adalah mesin perkakas untuk mengerjakan atau menyelesaikan suatu benda kerja dengan mempergunakan pisau frais (*cutter*) sebagai pahat penyayat yang berputar pada sumbu mesin”. Prinsip kerja dari mesin frais ini adalah kebalikan dari prinsip kerja mesin bubut. Prinsip kerja mesin bubut adalah benda kerja yang berputar kemudian menerima sayatan dari pahat, sedangkan untuk mesin prinsip kerja dari mesin frais adalah pahat

yang berputar kemudian benda kerja bergerak pada meja frais untuk melakukan penyayatan.

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. Lilih *et al.* (2000: 1) mengatakan “mesin frais CNC (*Computer Numerical Control*) adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik atau perintah gerakan dengan menggunakan kode angka dan huruf”. Mesin CNC dibuat dengan tujuan dapat mengurangi campur tangan operator selama operasi mesin berlangsung, sehingga mempermudah pekerjaan.

Mesin frais CNC secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua yaitu mesin frais CNC *training unit* dan mesin frais CNC *production unit*. Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua tipe tersebut adalah penggunaannya di lapangan. Widarto (2008b: 361) mengatakan “mesin frais CNC *training unit* dipergunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoperasian CNC, sedangkan mesin frais CNC *production unit* dipergunakan untuk produksi massal”. Mesin frais CNC *training unit* biasanya digunakan dalam dunia pendidikan seperti sekolah menengah kejuruan dan di bangku perkuliahan, sedangkan mesin frais CNC *production unit* sering digunakan dalam dunia industri untuk memproduksi komponen-komponen tertentu.

2. Klasifikasi Proses Frais

Proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pisau dan posisi relatif pisau terhadap benda kerja (Widarto, 2008a: 191). Klasifikasi proses frais tersebut antara lain:

a. Frais Periperal (*slab milling*)

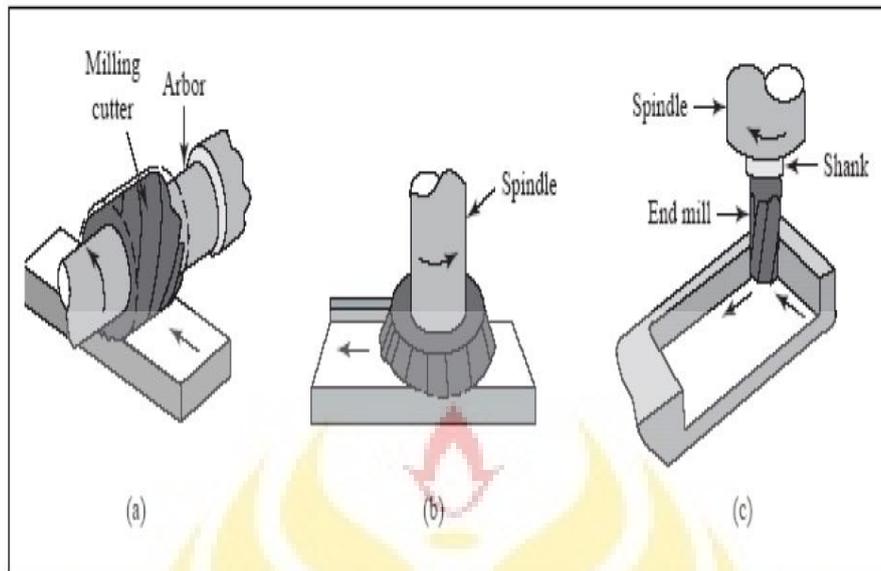
Proses frais ini disebut juga *slab milling*, permukaan yang difrais dihasilkan oleh gigi pisau yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pisau biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat. Proses periperal (*slab milling*) menggunakan mesin frais horizontal atau mendatar.

b. Frais muka (*face milling*)

Pada frais muka, pisau 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 pisau. Proses frais muka (*face milling*) menggunakan mesin frais vertikal dimana pisau dipasangkan dengan adaptor yang dipasang dengan posisi tegak.

c. Frais Jari (*end milling*)

Pisau pada proses frais jari biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pada proses jari (*end milling*) pisau yang digunakan adalah *end mill cutter*. Gerakan pisau dapat menyayat permukaan (*surface*) dan menyayat sisi samping (*side*). Pisau dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pisau terletak pada selubung pisau dan ujung badan pisau.



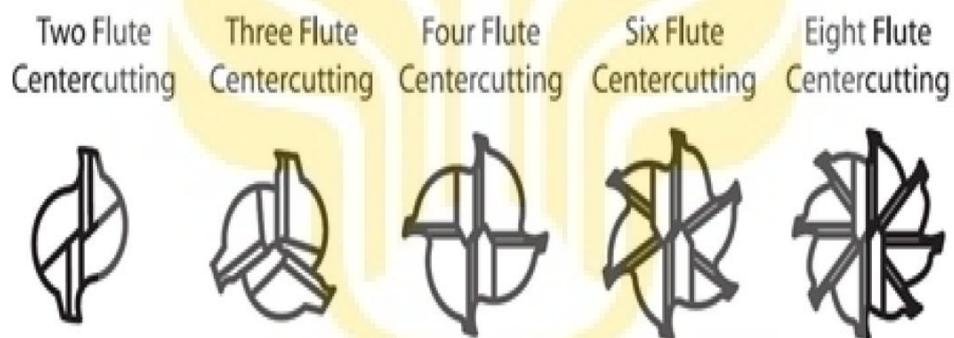
Gambar 2.1 Klasifikasi Proses Frais
sumber: Widarto, 2008a: 191

Keterangan:

- (a) Proses *slab milling*
- (b) Proses *face milling*
- (c) Proses *end milling*

Masing-masing proses frais mempunyai kekurangan dan kelebihan masing-masing. Pemilihan proses dilakukan berdasarkan benda kerja yang akan dikerjakan. Proses frais *slab milling* lebih cocok digunakan untuk benda kerja yang lebar karena diameter dan lebar pahat lebih besar dibanding proses *face milling* dan *end milling*. Schonmetz *et al.* (1985: 170) mengatakan bahwa perautan (pengefraisian) muka lebih ekonomis dan menghasilkan kondisi penyerpihan yang baik dari pada perautan (pengefraisian) giling (*slab milling*). Proses perautan ini dapat dilakukan dengan baik pada mesin frais tegak dan berlaku pada proses *end milling* karena penampang serpih (tatal) tetap kira-kira sama untuk setiap gigi peraut selama penyayatan.

Proses *end milling* menggunakan pisau jari (*end mill*) dimana pisau ini merupakan salah satu pisau yang paling banyak digunakan dalam proses *milling*. Biasanya pisau ini terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida, dan memiliki satu atau lebih alur (*flute*). Pisau ini digunakan untuk menyayat permukaan (*surface*), membuat alur, atau digunakan untuk menyayat posisi miring. Menurut Rachmanta (dalam Daryanto, 2007) mengatakan bahwa pisau *end mill* memiliki berbagai macam bentuk berdasarkan jumlah mata potong atau alur (*flute*). Pahat *end mill* biasanya terdiri dari dua mata potong, tiga, empat, enam, dan delapan mata potong.



Gambar 2.2 Macam-Macam *End Mill* Berdasarkan Jumlah Mata Potong

3. Proses Penyayatan

Dalam proses pemesinan, untuk membuat suatu komponen atau benda kerja yang diinginkan tidak langsung dalam satu kali proses, melainkan dilakukan beberapa tahapan proses pengerjaan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Menurut Groover (2010: 486), operasi pemesinan biasanya dibagi menjadi dua kategori, yaitu penyayatan kasar (*roughing cuts*) dan penyayatan akhir (*finishing cuts*). Penyayatan kasar (*roughing cuts*) adalah penyayatan penyayatan awal untuk mengurangi

ukuran benda kerja sehingga mendekati bentuk yang diinginkan, namun menyisakan bagian untuk dilakukan proses penyayatan akhir, sedangkan penyayatan akhir (*finishing cuts*) adalah penyayatan untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan, toleransi, serta kekasaran yang diinginkan. Groover (2010: 486) juga menambahkan bahwa untuk operasi penyayatan kasar (*roughing cuts*) dilakukan penyayatan pada *depth of cut* 2,5 – 20 mm. Sedangkan untuk proses penyayatan akhir (*finishing cuts*) penyayatan pada *depth of cut* umumnya adalah 0,75 – 2,0 mm, namun memungkinkan untuk operasi penyayatan akhir kurang dari 0,75 mm agar hasil penyayatan lebih halus.

Proses penyayatan bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan sebagian benda kerja agar sesuai dengan ukuran dan bentuk yang diinginkan. Selama proses penyayatan berlangsung diperlukan gaya potong tertentu untuk melawan tegangan tarik dan tegangan tekan pada proses pembentukan tatal. Muin (1989: 89) menjelaskan “gaya potong adalah gaya tangensial yang bekerja pada mata potong (*cutting edge*) dengan arah sama dengan arah gerak potong”. Pada proses faris tegak, gaya-gaya yang ditimbulkan pada gigi pemotong yang paling utama adalah gaya potong dan komponen lain yang berhimpit dengan jari-jari lingkaran *cutter*. Komponen gaya-gaya tersebut mempunyai arah melintang dan memanjang terhadap sayatan proses benda kerja.

Rochim (1993: 210) mengatakan bahwa gaya potong (*cutting force*) dipengaruhi oleh penampang *chips* rata-rata yang dihasilkan dari proses

penyayatan dan gaya potong spesifik yang besarnya berbeda-beda untuk beberapa jenis material. Rumus mencari besar gaya potong adalah sebagai berikut:

$$F_t = A \times k_s \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana : F_t = Gaya Potong (N)

A = penampang *chips* sebelum terpotong rata-rata (mm²)

k_s = gaya potong spesifik (N/mm²)

Rochim (1993: 214) telah melakukan penelitian dan menentukan harga tahanan potong spesifik untuk proses frais dengan $f \cdot a = 1 \text{ mm}^2$ dan berlaku bagi sudut potong utama $Kr = 90^\circ$. Gaya potong spesifik tersebut dinamakan dengan gaya potong spesifik referensi ($k_{s1.1}$), hubungannya dengan gaya potong spesifik adalah $k_s = k_{s1.1} \cdot h^{-p}$. Berikut adalah tabel gaya potong spesifik referensi ($k_{s1.1}$) untuk beberapa jenis material.

Tabel 2.1 Gaya Potong Spesifik Referensi (N/mm²)

Jenis Benda Kerja	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Harga Tahanan Potong Spesifik		p
		Referensi $k_{s1.1}$ (N/mm ²)		
Baja Struktural (<i>structural steels</i>)	520	1990		0,25
	620	2110		0,16
Baja Mampu Laku Panas (<i>Heat Treable Steels</i>)	670	2220		0,14
	770	2130		0,17
	770	2100		0,27
	630	2260		0,30
Baja Sementasi (<i>Sementation Steels</i>)	730	2500		0,26
	600	2240		0,21
	600	2220		0,27
	590	2290		0,17
Baja Perkakas Panas (<i>Hot Work Tool Steels</i>)	940	1740		0,25
	(352 BHN)	1920		0,24
Baja Perkakas Ekstrusi (<i>Cold Ekxtrution T.S</i>)	-	2100		0,26
Besi Tuang (<i>Cast Iron</i>)	(200 BHN)	1160		0,26

sumber: Rochim, 1993: 214

Gaya potong per gigi rata-rata dirumuskan dengan:

$$F_{tm} = A_m \times k_s \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Nilai } k_s = k_{s1.1} \cdot h^{-p} \dots\dots\dots (2.3)$$

Pada proses frais tegak, untuk mencari penampang total rata-rata sebelum terpotong adalah sebagai berikut:

$$A_m = h_m \cdot a (\sin Kr) \dots\dots\dots (2.4)$$

Nilai h_m didapat dari rumus:

$$h_m = fz \sin Kr \sin \phi_m \dots\dots\dots (2.5)$$

Besar sudut posisi rata-rata dirumuskan dengan:

$$\phi_m = \arcsin \frac{\cos \phi_1 - \cos \phi_2}{\phi_c} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\phi_c = \phi_2 - \phi_1 \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana : F_{tm} = gaya potong rata-rata per gigi (N)

$k_{s1.1}$ = gaya potong spesifik referensi (N/mm²)

p = pangkat untuk tebal tatal rata-rata, dipengaruhi benda kerja

A_m = penampang tatal rata-rata sebelum terpotong (mm²)

a = lebar tatal sebelum terpotong (mm)

h_m = tebal tatal sebelum terpotong rata-rata (mm)

Kr = sudut potong utama

ϕ_m = sudut posisi rata-rata

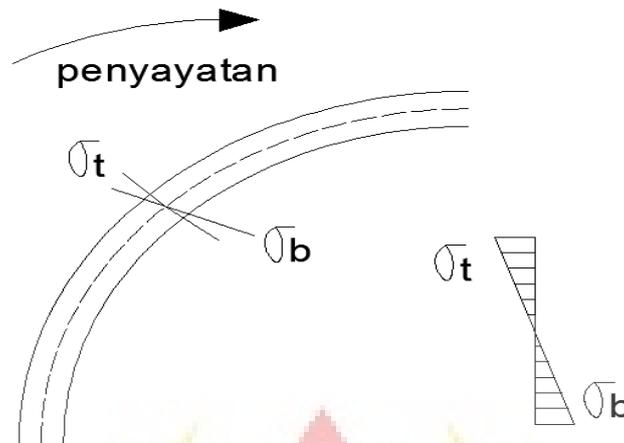
fz = *feeding* (mm/gigi)

Dari rumus di atas, didapatkan rumus gaya potong rata-rata per gigi adalah sebagai berikut:

$$F_{tm} = k_{s1.1} a fz^{1-p} (\sin Kr)^{-p} (\sin \phi_m)^{1-p} \dots\dots\dots (2.8)$$



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 2.4 Ilustrasi Tegangan pada Penampang Tatal

4. Feeding

Kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pisau dan material benda kerja. “Kecepatan potong adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik dalam satuan meter pada selubung pisau dalam waktu satu menit” (Widarto, 2008a: 196). Beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan potong antara lain jenis bahan yang akan dikerjakan, jenis pahat, dan kedalaman pemakanan. Adapun rumus kecepatan potong untuk mesin frais sama dengan rumus kecepatan potong untuk mesin bubut yang dijelaskan di bawah.

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad (2.9)$$

dimana :

- V_c = kecepatan potong (m/menit)
- D = diameter pisau (mm)
- n = putaran mesin (rpm)
- π = 3,14

Dari rumus tersebut dapat dicari kecepatan putaran yang digunakan adalah:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi D} \quad \dots \dots \dots (2.10)$$

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 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 2.2 Kecepatan Potong (V_c) dengan Pahat HSS dan Karbida

No	Bahan Benda Kerja	Vc (m/menit)	
		Pahat HSS	Pahat Karbida
1	Baja Karbon	15 – 30	50 – 125
2	Besi Tuang (cor)	10 – 15	40 – 60
3	Logam Ringan (<i>light alloy</i>)	200 - 400	400 – 600

sumber: Muin, 1989: 256

Selain istilah kecepatan potong, terdapat juga istilah *feeding*. Priambodo (1981: 95) mengatakan “istilah hantaran (*feeding*) menunjukkan kecepatan dari pahat pemotong atau roda gerinda maju sepanjang atau ke dalam permukaan benda kerja”. Priambodo menyatakan bahwa hantaran (*feeding*) 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 *feeding* adalah kecepatan gerakan pahat atau meja saat proses penyayatan.

Feeding untuk proses *milling* dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu: kecepatan pemakanan meja (V_f), pemakanan per gigi (f_z), dan pemakanan per putaran (f_n). Lilih *et al.* (2000: 16) menjelaskan bahwa kecepatan pemakanan meja atau yang biasa disebut juga kecepatan pemakanan (*feed rate*) biasanya diukur dalam mm/menit, yang merupakan pemakanan pahat yang berkaitan dengan jarak benda kerja per *time-unit* dengan pemakanan per gigi dan jumlah gigi pada *cutter*. Rumus kecepatan pemakanan meja adalah :

$$V_f = n \times f_z \times z_n \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana: V_f = kecepatan pemakanan meja (mm/menit)
 n = kecepatan putaran (rpm)
 f_z = *feeding* (mm/gigi)
 z_n = jumlah mata pisau

Pemakanan per putaran diukur dalam mm/rev adalah besaran yang digunakan secara khusus untuk menghitung pemakanan dan sering digunakan untuk menghitung kemampuan *finishing* suatu *cutter*. *Feed per revolution* adalah besaran pelengkap untuk mengindikasikan seberapa jauh pahat bergerak selama berotasi. Rumus pemakanan per putaran adalah sebagai berikut:

$$f_n = \frac{V_f}{n} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana : f_n = pemakanan per putaran (mm/rev)
 V_f = kecepatan pemakanan meja (mm/menit)

n = kecepatan putaran (rpm)

Sedangkan waktu pemotongan dirumuskan dengan:

$$t_c = \frac{lt}{Vf} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana: lt = panjang pemotongan (mm)

t_c = waktu pemotongan (menit)

Pemakanan per gigi (fz) diukur dalam mm/gigi adalah nilai proses pemilinan untuk menghitung *table feed*. Jika *cutter milling* mempunyai banyak mata potong nilai nilai fz dibutuhkan untuk menjamin setiap mata *cutter* berada dalam kondisi aman. Nilai *feed per gigi* 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 *feed per gigi* pada proses pemesinan *milling* dengan pahat HSS.

Tabel 2.3 *Feeding per Gigi yang Disarankan dengan Pahat HSS*

Material	Inchi	Milimeter
Baja Mesin	0,06	0,15
Baja Perkakas	0,04	0,10
Besi Cor	0,07	0,18
Bronze	0,09	0,23
Aluminium	0,11	0,28

sumber: Krar *et al.* 1985: 271

5. Tingkat Kekasaran

Dalam proses pemesinan, konfigurasi permukaan mempunyai peranan penting dalam membuat suatu komponen mesin atau benda kerja. Menurut Rochim dan Soetarto (1980: 60), yang dimaksud dengan “permukaan adalah batas yang memisahkan benda padat dengan

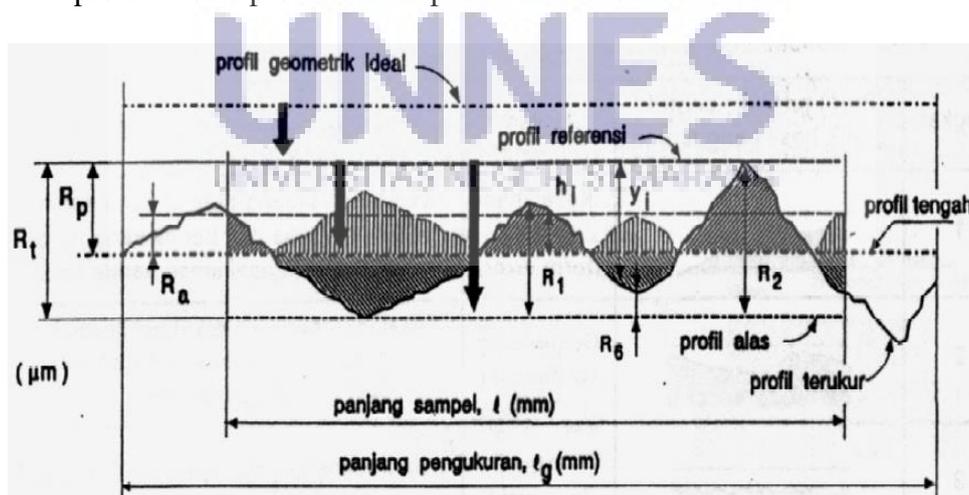
sekelilingnya”. Pada dasarnya konfigurasi permukaan pada elemen mesin merupakan karakteristik geometris, yang dalam hal ini dapat berupa suatu mikrogeometri. Konfigurasi permukaan ini selalu dihubungkan dengan tingkat kekasaran. Dimana kekasaran permukaan merupakan salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses pemesinan.

Salah satu karakteristik geometris yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus. Munadi (1988: 303) mengatakan “tingkat kekasaran suatu permukaan memang peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya”. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan pembuatannya harus dipertimbangkan terlebih dulu mengenai peralatan mesin yang mana harus digunakan untuk membuatnya serta berapa ongkos yang harus dikeluarkan. Agar proses pembuatannya tidak terjadi penyimpangan yang berarti maka karakteristik permukaan ini harus dapat dipahami oleh perencana lebih-lebih lagi oleh operator.

Parameter yang sering digunakan dalam menentukan tingkat kekasaran adalah kekasaran rata-rata aritmatik (R_a) dan kekasaran total rata-rata (R_z). Sato dan Hartanto (2013: 181) mengatakan “penyimpangan rata-rata aritmatik (R_a) adalah harga rata-rata dari ordinat-ordinat profil efektif garis rata-ratanya”. Selanjutnya Sato dan Hartanto menambahkan bahwa “kekasaran total rata-rata (R_z) adalah jarak rata-rata antara lima puncak

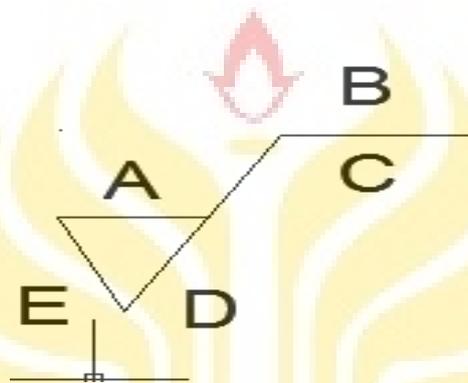
tertinggi dan lima lembah terdalam". Parameter permukaan yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah melintang dapat didefinisikan dalam beberapa pengertian kekasaran. Untuk arah tegak dikenal beberapa parameter:

- Kekasaran total R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- Kekasaran perataan R_p (μm) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil terukur.
- Kekasaran rata-rata aritmatik R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
- Kekasaran rata-rata kuadratik R_g (μm) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.
- Kekasaran total rata-rata R_z (μm), merupakan jarak antara profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.



Gambar 2.5 Parameter Permukaan
sumber: Rochim dan Soetarto, 1980: 65

Komunikasi karakteristik permukaan biasanya dilakukan dalam gambar teknik. Pada gambar teknik kekasaran permukaan biasanya dilambangkan dengan simbol yang berupa segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan. Pada segitiga ini juga terdapat beberapa angka dan simbol yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.6 Tanda Pengerjaan
sumber: Sato dan Hartanto, 2013: 187

Keterangan :

- A = Nilai kekasaran permukaan (R_a).
- B = Cara pengerjaan produksi.
- C = Panjang sampel.
- D = Arah pengerjaan.
- E = Kelebihan ukuran yang dikehendaki.

Kemampuan proses permesinan dalam menghasilkan nilai kekasaran pada benda hasil proses mesin menghasilkan tingkat kekasaran yang berbeda-beda. Kemampuan proses permesinan menjadi pertimbangan dalam menentukan proses pemesinan yang akan dipilih untuk mendapatkan hasil kekasaran yang diinginkan dalam proses pemesinan. Berikut adalah tabel kemampuan proses mesin untuk kekasaran permukaan dijelaskan di halaman selanjutnya.

Tabel 2.4 Kemampuan Mesin untuk Kekasaran Permukaan

Surface Roughness Average Obtainable By Common Production Methods

<i>Process</i>	<i>Roughness Height Rating Micrometers (μm)</i>											
	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	
<i>Flame Cutting</i>												
<i>Sangging</i>												
<i>Sawing</i>												
<i>Planing, shaping</i>												
<i>Drilling</i>												
<i>Chemical Milling</i>												
<i>Elect, discharge mach</i>												
<i>Milling</i>												
<i>Broaching</i>												
<i>Reaming</i>												
<i>Electron Beam</i>												
<i>Laser</i>												
<i>Electrochemical</i>												
<i>Boring, Turning</i>												
<i>Barel Finishing</i>												
<i>Electrolitic Grinding</i>												
<i>Roller Burnishing</i>												
<i>Grinding</i>												
<i>Honing</i>												
<i>Electropolish</i>												
<i>Polishing</i>												

sumber: Jensen dan Helsel, 1985: 111

Simbol nilai kekasaran yang ditunjukkan dengan huruf A dituliskan dengan kelas kekasaran dari N1 sampai N12. Dimana kelas kekasaran dari N1 sampai N12 ini mempunyai nilai kekasaran masing-masing. Semakin tinggi kelas kekasaran maka semakin kasar permukaan benda kerja. Angka yang ada pada simbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (Ra). Nilai Ra telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada tabel di halaman selanjutnya.

Tabel 2.5 Harga Kekasaran

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	2,5
N10	12,5	9,6 – 18,75	
N11	25	18,5 – 37,5	8
N12	50	37,5 – 75,0	

sumber : Munadi, 1988: 311

6. Baja Karbon Rendah

Aktivitas proses pemesinan tidak dapat terlepas dari bahan teknik. Sudjana (2008: 1) mengatakan “yang dimaksud dengan bahan-bahan teknik ialah bahan (material) yang dapat digunakan baik secara langsung maupun melalui proses pengolahan dan berfungsi sebagai bahan baku suatu produk yang bermanfaat”. Bahan teknik dibagi menjadi bahan logam dan bahan bukan logam. Sudjana (2008: 10) juga menambahkan bahwa pembagian bahan logam sendiri dibagi menjadi bahan logam ferro dan logam non ferro. Logam ferro adalah logam yang secara kimiawi mempunyai unsur besi (fe), sedangkan logam non ferro adalah logam yang secara kimiawi tidak mempunyai unsur besi (fe). Logam ferro pun kembali dibedakan lagi menjadi besi tempa, besi tuang, dan baja paduan. Untuk bahan logam non ferro terdiri dari logam berat, logam ringan, dan logam

mulia. Adapun untuk bahan-bahan non logam adalah bahan-bahan yang sudah tersedia di alam dan terdiri dari beberapa bahan tiruan.

Besi dan baja sampai saat ini merupakan bahan teknik yang paling banyak digunakan dalam proses pemesinan. “Besi dan baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonomisnya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi” (Tata, 2000: 69). Sifat-sifat itu bervariasi dari yang paling lunak sampai yang paling keras. Baja dengan sifat lunak digunakan sebagai bahan pemesinan yang dipergunakan untuk membuat suatu komponen mesin. Sedangkan baja dengan sifat keras digunakan sebagai pisau pemotong dalam proses pemesinan.

Menurut Rohyana (1999: 44) “baja karbon adalah paduan besi karbon dimana unsur karbon sangat menentukan sifat-sifatnya”. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Ambiyar (2008: 75) menjelaskan bahwa baja karbon dikelompokkan menjadi : Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*), Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*), Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*), dan Baja Karbon Tinggi dengan Paduan. Baja karbon rendah sering juga disebut baja lunak. Kadar karbon dari baja karbon rendah yaitu 0 % sampai 0,3 % C yang mempunyai sifat liat dan mudah ditempa. Karena sifatnya yang liat dan mudah ditempa itulah baja karbon rendah menjadi pilihan dalam pembuatan beberapa komponen mesin maupun konstruksi seperti mur, baut, sekrup, dan

keperluan lain dalam proses pembangunan. Berikut adalah tabel klasifikasi baja karbon di halaman selanjutnya.

Tabel 2.6 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis dan kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Kekerasan (Brinell)
Baja Karbon rendah				
- Baja lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100
- Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120
- Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	100-130
- Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	112-145
Baja Karbon Sedang				
- Baja Setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	140-170
- Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	160-200
Baja karbon Tinggi				
- Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	160-200
- Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	180-235

sumber: Ambiyar, 2008: 76

Selain sebagai komponen mesin, baja karbon juga sering digunakan sebagai bahan bangunan. Istilah baja karbon dalam dunia teknik sipil sering disebut dengan baja struktural. Menurut standar PPBBI (Penentuan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia), yang dimaksud baja struktural adalah suatu jenis baja berupa batangan dan pelat, yang berdasarkan pertimbangan ekonomi, kekuatan dan sifatnya, cocok untuk memikul beban.

Baja struktural mempunyai keuntungan kekuatan cukup tinggi serta merata, kekuatan tarik dan tekan tidak banyak berbeda. Menurut PPBBI, baja struktural dapat dibedakan berdasarkan kekuatannya menjadi beberapa jenis, yaitu ST 34, ST 37, ST 41, ST 44, ST 50, dan ST 52.

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini, pertama adalah penelitian yang dilakukan oleh Handoko dan Prayoga, 2008 dari Universitas Gadjah Mada. Penelitian mereka berjudul “Studi Parameter Pemesinan Optimum pada Operasi CNC *End Milling Surface Finish* Bahan Aluminium”. Penelitian ini menitikberatkan pada proses penyayatan akhir (*finishing*) dengan tujuan untuk mengetahui parameter-parameter pemesinan yang berpengaruh terhadap tingkat kekasaran. Dimana hasil penelitiannya mengatakan bahwa kekasaran permukaan tergantung pada *spindle speed* (n), *feed rate* (V_f), serta *depth of cut*.

Penelitian terdahulu yang relevan selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Arifin *et al.*, 2011 dari Universitas Brawijaya Malang. Penelitiannya berjudul “Pengaruh Parameter Proses Freis Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Fasa Ganda”. Penelitiannya mengambil dua variasi parameter pemotongan yaitu dari variasi *depth of cut* dan variasi *feeding*. Variasi *depth of cut* yang digunakan adalah pada penyayatan 0,4 mm dan 0,8 mm dengan menggunakan *feeding* yang sama. Selanjutnya variasi yang diubah yaitu dengan variasi *feeding* 0,12 mm/put, 0,16 mm/put,

dan 0,2 mm/put. Hasil penelitiannya mengatakan bahwa *depth of cut* dan *feeding* berbanding lurus tingkat tingkat kekasaran permukaan.

Penelitian yang hampir serupa dengan menambahkan variabel lain dari parameter pemotongan adalah penelitian yang dilakukan oleh Rachmanta *et al.*, 2015, dari Universitas Brawijaya Malang. Penelitiannya berjudul “Pengaruh Parameter Pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah pada Proses *Conventional Milling* Menggunakan Pahat *End Mill*”. Penelitian mereka menggunakan tiga parameter pemotongan yaitu *feeding*, kecepatan spindle, dan *depth of cut*. Penelitiannya merupakan penelitian tindak lanjut untuk mengetahui urutan parameter pemotongan yang paling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran. Data hasil penelitiannya dianalisis menggunakan statistik inferensial untuk mengetahui signifikansi pengaruh parameter pemotongan terhadap tingkat kekasaran. Kesimpulan dari penelitian mereka adalah Parameter pemotongan yang paling berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan berturut-turut adalah *Feed rate*, *Spindle speed* dan *Depth of cut*.

Dari ketiga penelitian terdahulu yang relevan, dapat disimpulkan bahwa penelitian-penelitian sebelumnya hanya mencari parameter-parameter yang berpengaruh terhadap tingkat kekasaran. Selanjutnya dari parameter-parameter tersebut diuji signifikansinya untuk mengetahui urutan parameter pemotongan yang paling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran. Masalah yang perlu digali untuk melakukan penelitian tindak lanjut adalah analisis yang lebih mendalam terhadap parameter pemotongan tersebut.

Maka posisi penelitian ini adalah sebagai penelitian tindak lanjut dalam hal menganalisis parameter pemotongan frais yang berpengaruh terhadap tingkat kekasaran. Penelitian ini mengambil salah satu parameter pemotongan yaitu *feeding* untuk dianalisis dari segi gaya potong dan bentuk tatal akibat variasi *feeding*, sehingga dapat dicari penyebab *feeding* berpengaruh terhadap tingkat kekasaran.

C. Kerangka Pikir Penelitian

Menurut Sugiyono (2011: 60) mengemukakan bahwa “kerangka berpikir merupakan model konseptual tentang bagaimana teori berhubungan dengan berbagai faktor yang telah diidentifikasi sebagai hal yang penting, jadi dengan demikian maka kerangka berpikir adalah sebuah pemahaman yang melandasi pemahaman-pemahaman yang lainnya”. Suatu komponen membutuhkan kekasaran tertentu agar memiliki kualitas yang baik. Penelitian untuk mendapatkan kekasaran yang baik telah dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kekasaran. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kekasaran didominasi oleh parameter pemotongan seperti *feeding*, *spindle speed*, dan *depth of cut*.

Meski demikian, kondisi di lapangan yang terjadi adalah para operator mesin termasuk operator mesin frais kurang memahami parameter pemotongan tersebut, mereka melakukan *trial and error* untuk mendapatkan tingkat kekasaran yang baik. Alessandro *et al.* (2010: 43) mengatakan bahwa proses *milling* pada permukaan benda kerja yang berfokus pada

kekasaran dan kekerasan permukaan, menunjukkan bahwa operasi pemotongan *finishing* secara signifikan mampu menurunkan kekasaran permukaan mencapai 43%. Proses *finishing* itu dilakukan dengan mengubah parameter pemotongan sehingga didapatkan hasil proses pemesinan *milling* yang halus. Proses finishing itu dilakukan dengan mengubah parameter pemotongan seperti kecepatan spindle, kecepatan pemakanan (*feeding*), dan kedalaman pemakanan.

Menurut Rachmanta *et al.* (2015), urutan parameter pemotongan yang paling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran berturut-turut adalah kecepatan pemakanan (*feeding*), kecepatan spindle (*spindle speed*), kemudian kedalaman pemakanan (*depth of cut*). Hasil penelitian ini bila dihubungkan dengan teori menurut Rochim (1993) bahwasanya dalam proses penyayatan memerlukan suatu gaya potong untuk menghasilkan tatal. Rochim menjelaskan bahwa gaya potong dipengaruhi oleh tahanan potong spesifik yang harganya berbeda-beda sesuai jenis material dan penampang rata-rata tatal sebelum terpotong. Pada proses frais tegak, penampang tatal dipengaruhi oleh tebal tatal yang nilainya didapat dari nilai pemakanan per gigi dikalikan dengan nilai sinus sudut potong utama ($h = fz \sin Kr$).

Dari hasil penelitian dan teori itulah dapat dianalisis, ketika nilai pemakanan per gigi (fz) semakin besar maka tebal tatal semakin besar. Tebal tatal semakin besar mengakibatkan gaya potong semakin besar. Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad *et al.* (2011) mengatakan bahwa

gaya potong berpengaruh terhadap tingkat kekasaran. Hal ini dikarenakan gaya potong yang besar menghasilkan tatal yang tebal, sehingga tatal yang tebal menghasilkan kekasaran yang besar. Analisis yang diberikan sebagai kerangka berpikir dalam penelitian ini nilai *feeding* yang semakin besar mengakibatkan tatal semakin tebal. Tatal yang tebal mengakibatkan gaya potong semakin besar sehingga tingkat kekasarannya semakin tinggi.



BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Feeding* berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan baja karbon rendah pada proses *end milling surface*. Semakin tinggi nilai *feeding* semakin tinggi tingkat kekasaran yang dihasilkan dari proses penyayatan.
2. *Feeding* berpengaruh terhadap pembentukan tatal (*chips*). Pada *feeding* rendah tatal (*chips*) yang dihasilkan lebih tipis dan mudah terpinil. Sedangkan pada *feeding* tinggi tatal (*chips*) yang dihasilkan lebih tebal dan kaku. Tatal yang tipis lebih elastis sehingga membentuk profil kekasaran yang lebih rendah dari pada tatal yang tebal dan kaku.
3. *Feeding* berpengaruh terhadap gaya potong (Ft). Semakin tinggi nilai *feeding* semakin tinggi gaya potong (Ft) yang diperlukan untuk melawan tegangan bengkok pada proses penyayatan. Sehingga gaya potong yang besar ini mengakibatkan kekasaran permukaan semakin tinggi.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka beberapa saran dapat diberikan guna penelitian selanjutnya yaitu:

1. Untuk mendapatkan hasil kekasaran yang baik (paling rendah) sebaiknya dalam proses *finishing* menggunakan *feeding* paling kecil.
2. Untuk proses *roughing* sebaiknya digunakan *feeding* lebih besar karena untuk mengefisiensikan waktu dan biaya dalam proses pemesinan frais.
3. Untuk penelitian tindak lanjut, sebaiknya digunakan pisau yang baru, karena pisau yang telah diasah mengalami penurunan kualitas hasil kekasaran pada *feeding* yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. S. *et al.* 2015. Pengaruh *Feed Rate* dan *Depth of Cut* terhadap *Surface Roughness* pada Proses Milling dengan Bantuan 4 AXIS CNC Machine. *Jurnal Teknik Mesin*. Hal 1-9.
- Alessandro, R. *et al.* 2010. *Effects of Milling Condition on the Surface Integrity of Hot Forged Steel*. *Journal of the Braz. Soc. Of mech. Sci. & Eng. International Journal of Mechanical Engineering*. Vol 32 (1) Hal: 37-43
- Arifin, N. M. *et al.* 2011. Pengaruh Parameter Proses Frais Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Fasa Ganda. *Jurnal Rekayasa Teknik Mesin*. Vol 2 (3) Hal: 182-192
- Ambiyar. 2008. *Teknik Pembentukan Plat Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Daryanto. 2006. *Mesin Perkakas Bengkel*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Groover, M. P. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems, 4th ed.* United State of Amerika: Wiley
- Handoko dan Prayoga. 2008. Studi Parameter Pemesinan Optimum pada Operasi CNC End Milling Surface Finish Bahan Aluminium. Yogyakarta: *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Mesin*.
- Jensen dan Helsel. 1985. *Engineering Drawing and Design Third Edition*. United Stated of America: McGraw-Hill
- Jerard, R. B. *et al.* 2001. *On-Line Optimization of Cutting Conditions for NC Machining*. NSF Design, Manufacturing & Industrial Innovation Research Conference. Tampa, Florida.
- Krar, S. F. *et al.* 1987. *Machine Tool Operations*. London: *International Student Edition*

- Lilih. *et al.* 2000. *Mesin Milling CNC TU 3A*. Surabaya: Laboratorium CNC Balai Latihan Pendidikan Teknik.
- 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. Terjemahan dari *Manufacturing Process 7th Edition*. Jakarta, Erlangga: *Teknologi Mekanik Jilid 2*
- Rachmanta, I. A. *et al.* 2015. Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah pada Proses *Conventional* Menggunakan Pahat *End Mill*. *Jurnal Teknik Mesin*. Hal: 1-13
- Rochim, T. 1993. *Teknik Pemesinan*. Bandung: ITB
- Rochim dan Soetarto. 1980. *Teknik Pengukuran (Metrology Industri)*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan kebudayaan Direktorat Pendidikan Menengah dan Kejuruan.
- Rohyana, S. 1999. *Pengetahuan & Pengolahan Bahan*. Jakarta: Direktorat Pendidikan Dasar dan Menengah Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.
- Schonmetz, A. *et al.* 1985. *Pengerjaan Logam dengan Mesin*. Bandung: Angkasa
- Sato, G. T. dan Hartanto, N. S. 2013. *Menggambar Mesin Menurut Standa ISO*. Cetakan Ke 13. Jakarta: Balai Pustaka
- Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta

Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta

Tata, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradya Paramita

Widarto. 2008a. *Teknik Pemesinan Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Widarto. 2008b. *Teknik Pemesinan Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

