



**PENGARUH *SPINDLE SPEED* DAN *FEED RATE*  
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN AL 6061  
MELALUI PROSES CNC *MILLING SINUMERIC TYPE***

**802S**

**Skripsi**

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

Oleh

**Dhanu Widhiantoro**

**NIM.5201412022**

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

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

**PERSETUJUAN PEMBIMBING**

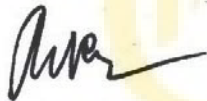
Nama : Dhanu Widhiantoro  
NIM : 5201412022  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin, S1  
Judul : PENGARUH *SPINDLE SPEED* DAN *FEED RATE*  
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN AL 6061  
MELALUI PROSES CNC *MILLING* SINUMERIC 802S

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

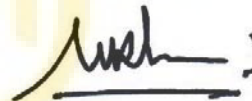
Semarang, 04 April 2017

Pembimbing 1,

Pembimbing 2,



Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.  
NIP. 19660105 1990021002



Dr. Muhammad Khumaedi, M.Pd.  
NIP. 19620913 1991021001

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## PENGESAHAN

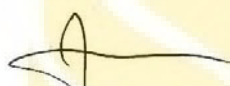
Skripsi dengan judul “Pengaruh *Spindle Speed* Dan *Feed Rate* Terhadap Kekasaran Permukaan Al 6061 Melalui Proses *CNC Milling Sinumeric Type 802S*” telah dipertahankan didepan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 11 bulan April tahun 2017.

Oleh

Nama : Dhanu Widhiantoro  
NIM : 5201412022  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin, S1

Panitia

Ketua



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

Sekretaris



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

Penguji Utama



Dr. Rahmat Doni Widodo,  
S.T., M.T.  
NIP. 197509272006041002

Penguji 2/Pembimbing I



Dr. Wirawan Sumbodo,  
M.T.  
NIP. 19660105199021002

Penguji 3/Pembimbing II



Dr. Muhammad Khumaedi,  
M.Pd.  
NIP. 196209131991021001

Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik UNNES



UNNES  
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

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

### PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama Mahasiswa : Dhanu Widhiantoro  
NIM : 5201412022  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1  
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Spindle Speed Dan Feed Rate Terhadap Kekasaran Permukaan AL 6061 Melalui Proses CNC Milling SINUMERIC Type 802S**" ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu 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, 4 April 2017

Yang membuat pernyataan



Dhanu Widhiantoro

NIM 5201412022

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## MOTO DAN PERSEMBAHAN

“Apa yang kamu berikan ketika hidup, kelak akan kamu terima balasanya”

“Rasa nikmat sekarang ini berkat perjuangan masa lalu, dan nikmat masa depan harus dibayar sekarang dengan berusaha sekuat tenaga”

“Pantang mengucap menyerah untuk seorang pejuang!”

“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan? (Q.S Ar-Rahman: 13)”

“OJO DUMEH”

### PERSEMBAHAN

Karya ilmiah ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Bapak dan Ibuku tercinta, yang selalu memberikan semangat, bimbingan, doa, finansial dan kasih sayang selalu.
- ❖ Kakak, Mas, mbak dan Saudara - saudaraku yang selalu menghibur, memberi semangat dan motivasi.
- ❖ Wanitaku Retno Kusumaningtyas, yang setia menemani langkahku dalam penyelesaian karya ilmiah ini.
- ❖ Teman – teman Teknik Mesin.
- ❖ Semua teman - temanku yang baik.

## ABSTRAK

**Dhanu Widhiantoro, 2017.** Pengaruh *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap Kekasaran Permukaan Al 6061 Melalui Proses CNC *Milling* Sinumeric *Type* 802s. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Wirawan Sumbodo, M. Khumaedi.

Seiring dengan kemajuan teknologi, banyak produk yang semakin sulit dikerjakan menggunakan mesin perkakas konvensional. Banyak sekali poin yang perlu diperhatikan seperti kualitas kekasaran permukaan, serta kepresisian geometri produk yang tinggi, geometri benda kerja yang semakin kompleks juga menjadi kendala yang harus dipecahkan. Semakin besar gerak makan semakin besar nilai kekasarannya. Semakin tinggi kecepatan putar maka semakin rendah tingkat kekasarannya. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji pengaruh variasi *spindle speed* (1000 rpm, 2000 rpm dan 3000 rpm) dan variasi *feed rate* (20 mm/min, 40 mm/min dan 60 mm/min) dan menguji Interaksi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061 pada proses CNC *Milling*.

Penelitian ini termasuk penelitian eksperimen. Benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aluminium 6061 dengan panjang 50 mm, lebar 16 mm, dan tebal 16 mm total 30 spesimen. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja tersebut adalah *surfscorder* Kosaka SE 300. Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode statistik deskriptif dan *Analysis Of Varians* (ANOVA) *two-way* ANOVA dengan interaksi.

Hasil analisis penelitian ini dapat disimpulkan bahwa: (1) Tidak ada pengaruh *spindle speed* terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061. (2) Ada pengaruh variasi *feed rate* terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061 dihasilkan nilai kekasaran permukaan Al 6061 terendah yaitu 0,101  $\mu\text{m}$ , karena semakin besar *feed rate*, maka semakin rendah nilai kekasaran permukaan Al 6061. (3) Tidak ada pengaruh interaksi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061.

**Kata kunci:** *Spindle speed*, *feed rate*, kekasaran permukaan, Al 6061, *milling*.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Pengaruh *Spindle Speed* Dan *Feed Rate* Terhadap Kekasaran Permukaan AL 6061 Melalui Proses CNC *Milling* SINUMERIC *Type* 802S. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan syafaat Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

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

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto S..Pd.,M.T, Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Ketua Prodi Pendidikan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Drs. Wirawan Sumbodo, M.T. dan Dr. Muhammad Khumaedi, M.Pd, Pembimbing I dan II yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.

4. Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T, M.T, Penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Bapak Kriswanto S.Pd., M.T. selaku dosen pembimbing praktikum dalam pelaksanaan penelitian di Laboratorium.
6. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT. UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
7. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berusaha semaksimal mungkin dalam mencapai kesempurnaan penyusunan skripsi ini, ibarat pepatah tiada gading yang tak retak, dalam skripsi ini masih terdapat kesalahan diluar kendali penulis, untuk menunjang kesempurnaan karya ilmiah ini sangat dibutuhkannya masukan dan saran yang membangun. Semoga Allah SWT memberikan pahala berlipat ganda atas bantuan dan kebaikannya. Amin.

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semarang, 7 April 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	i
PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN .....	iv
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Rumusan Masalah .....	6
1.5 Tujuan Penelitian.....	7
1.6 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.1 Kajian Teori.....	9
2.1.1 <i>Spindle speed</i> .....	9
2.1.2 <i>Feed rate</i> (Laju pemakanan) .....	11

2.1.3	Permukaan.....	13
2.1.4	Toleransi Harga Ra .....	14
2.1.5	Penulisan Spesifikasi Permukaan dalam Gambar Teknik.....	16
2.1.6	Jenis Pisau ( <i>Ball Nose Endmill</i> ) .....	20
2.1.7	Metode Proses Frais .....	23
2.1.8	Alur Pemakanan .....	24
2.1.9	Aluminium (Al).....	24
2.1.10	<i>Metal Injection Molding</i> .....	36
2.1.11	Parameter Kekasaran Permukaan.....	38
2.1.12	Mesin Frais CNC .....	40
2.1.13	CNC Sinumerik 802S.....	43
2.1.14	Cairan Pendingin.....	44
2.2	Penelitian yang Relevan .....	46
2.3	Kerangka Berfikir.....	51
2.4	Hipotesis .....	52
BAB III METODE PENELITIAN .....		53
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	53
3.2	Desain Penelitian.....	53
3.3	Alat dan Bahan Penelitian .....	54
3.3.1	Alat Penelitian.....	54
3.3.2	Bahan Penelitian.....	56
3.4	Kalibrasi Alat Penguji ( <i>Surfcorder</i> Kosaka SE 300).....	57
3.5	Parameter Penelitian.....	59
3.5.1	Variabel Independen ( Variabel Bebas) .....	59

3.5.2	Variabel Dependen (Variabel Terikat).....	60
3.5.3	Variabel Kontrol.....	60
3.6	Teknik Pengumpulan Data .....	61
3.6.1	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	62
3.7	Proses Penelitian.....	63
3.8	Teknik Analisis Data .....	64
3.8.1	Analisis Data .....	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		68
4.1.	Hasil Analisis Data .....	68
4.1.1.	Uji Normalitas .....	68
4.1.2.	Uji Homogenitas .....	68
4.1.3.	Uji <i>two-way</i> ANOVA ( <i>Analysis Of Variances</i> ) .....	69
4.2.	Hasil Analisis Pengaruh <i>Spindle Speed</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Al 6061 pada proses <i>CNC Milling</i> . .....	70
4.3.	Hasil Analisis Pengaruh <i>Feed Rate</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Al 6061 pada proses <i>CNC Milling</i> . .....	72
4.4.	Hasil Analisis Interaksi <i>Spindle Speed &amp; Feed Rate</i> terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061 pada proses <i>CNC Milling</i> .....	72
4.5.	Hasil Uji Kekasaran Raw material .....	73
4.5.1.	Hasil Uji Kekasaran Permukaan menggunakan <i>Surface Roughnes</i> .....	74
4.5.2.	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 2000 Rpm.....	79
4.5.3.	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada 3000 Rpm.....	81
4.5.4.	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada <i>Feed rate</i> 20 mm/min.....	83
4.5.5.	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada <i>Feed rate</i> 40 mm/min.....	85
4.5.6.	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada <i>Feed Rate</i> 60 mm/min.....	87

4.6. Pembahasan Hasil Analisis Pengaruh <i>Spindle Speed</i> dan <i>Feed Rate</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Al 6061 pada proses <i>CNC Milling</i> . ....	89
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	91
5.1. Kesimpulan.....	91
5.2. Saran .....	92
DAFTAR PUSTAKA .....	94
DAFTAR LAMPIRAN.....	97
Lampiran 1. Surat Tugas Dosen .....	97
Lampiran 2. Surat Ijin Melakukan Penelitian .....	98
Lampiran 3. Data Hasil Penelitian.....	99
Lampiran 4. Output SPSS Analisis Univariat .....	101
Lampiran 5. NC CODE Penelitian pada Master CAM .....	106
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian .....	107



## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol	Arti
$\mu\text{m}$	mikro meter
$\mu\text{in}$	mikro inch
mm	milimeter
mm/min	milimeter per menit
$V_c$	Kecepatan potong
d	diameter pisau
n	<i>spindle speed</i>
$\pi$	pi
$V_f$	<i>feed rate</i>
$F_z$	<i>feed per gigi</i>
zn	jumlah mata pisau
mm/tooth	millimeter per gigi
Volt	<i>voltage</i>
Mpa	Mega pascal
NC	<i>Numerically Control</i>
N	Tingkat Kekasaran
$R_t$	Kekasaran Total
$R_p$	Kekasaran perataan
$R_a$	Kekasaran rata-rata aritmetik
$R_q$	Kekasaran rata-rata kuadratik

Rz	Kekasaran total rata-rata
<b>Singkatan</b>	<b>Arti</b>
ANOVA	<i>Analysis Of Variance</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CNC	<i>Computer Numerically Control</i>
Al	Aluminium
SP	<i>Spindle Speed</i>
FR	<i>Feed Rate</i>
Rpm	<i>Rotation per minute</i>
ISO	<i>International Standar Organization</i>
ASA	<i>American Standar Association</i>
AA	Aluminium Association
Alcoa	<i>Aluminium Company of America</i>
EPS	<i>External Progaming System</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
Al-Cu	Aluminium-Tembaga
Al-Mn	Aluminium-Mangan
Al-Mg-Si	Aluminium-Magnesium-Silikon
Al-Mg	Aluminium-Magnesium
Al-ZN	Aluminium-Seng

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Kecepatan Potong ( $V_c$ ) dengan Pahat HSS untuk Proses Frais (mm/s).....	10
2.2 Gerak makan ( <i>feed</i> ) pergigi yang disarankan untuk pahat CARBIDE (dalam satuan <i>inchi</i> ).....	12
2.3 Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra.....	15
2.4 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya.....	16
2.5 Kemampuan Proses Mesin untuk Kekasaran Permukaan .....	16
2.6 <i>Typical composition of aluminium alloy 6061</i> .....	27
2.7 <i>Chemical Composition of Aluminium Alloys</i> .....	28
2.8 Sifat - sifat fisik aluminium .....	32
2.9 Produk yang dibuat dengan proses MIM.....	37
2.10 Nilai Kekasaran Permukaan menurut ISO.....	38
3.1 Desain Penelitian <i>two-way</i> ANOVA (3x3).....	53
3.2 Desain Penelitian .....	54
3.3 Analisis ragam bagi Klasifikasi Dua-Arah dengan Interaksi .....	67
4.1 Hasil <i>Tests of Normality layout from</i> program SPSS .....	68
4.2 <i>Test of Homogeneity of Variances</i> .....	69
4.3 <i>Two-way ANOVA layout from SPSS Tests of Between-Subjects Effects</i> .....	71
4.4 Hasil Uji kekasaran permukaan (Ra) pada <i>raw material</i> .....	74
4.5 Hasil Uji Kekasaran Permukaan menggunakan <i>Surface Roughnes</i> ( $\mu\text{m}$ ) .....	75
4.6 Hasil Uji kekasaran permukaan pada 1000 rpm .....	77
4.7 Hasil Uji kekasaran permukaan pada 2000 rpm .....	79

4.8	Hasil Uji kekasaran permukaan pada 3000 rpm .....	81
4.9	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada <i>Feed rate</i> 20 mm/min .....	83
4.10	Hasil Uji kekasaran permukaan Pada <i>Feed rate</i> 40 mm/min .....	85
4.11	Hasil Uji kekasaran permukaan pada kecepatan pemakanan 60 mm/min.....	87





## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Bidang dan Profil pada penampang permukaan .....	14
2.1 Simbol Spesifikasi Permukaan .....	17
2.3 Simbol penulisan spesifikasi permukaan dapat parameter-parameternya menurut ASA B46.1 – 1962 .....	19
2.4 Pahat frais identik dengan beberapa pahat bubut .....	20
2.5 Berbagai jenis bentuk pahat frais untuk mesin .....	21
2.6 Jalur pisau frais menunjukkan perbedaan antara gerak makan per gigi (ft) dan gerak makan per putaran (fr) .....	22
2.7 Spesifikasi <i>Ball nose Endmill</i> .....	22
2.8 (a) frais naik ( <i>up milling</i> ) dan (b) frais turun .....	23
2.9 Mesin Frais CNC tipe bed ( <i>bed type CNC milling machine</i> ) .....	41
2.10 Berbagai macam asesoris yang digunakan pada Mesin Frais .....	42
2.11 Cara pengekaman benda kerja, bagian kanan pengekaman yang salah ( <i>incorrect</i> ) dan bagian kiri pengekaman yang benar ( <i>correct</i> ) .....	43
2.12 Display CNC Sinumerik 802S .....	44
2.13 Tipe pahat yang digunakan flat, toroid, dan ball-nose .....	46
2.14 <i>Experimental setup</i> .....	48
2.15 <i>Experimental set-up for thin-wall machining</i> .....	48
2.16 <i>3D surface profilometry of thin wall-trial 6 &amp; Surface roughness (Ra) for thin wall machining</i> .....	49
2.17 <i>MQL machining dan Wet machining</i> .....	49

3.1	<i>Ball nose End mill</i> DLC2MB .....	55
3.2	<i>Recomended Cutting tool</i> .....	56
3.3	Ukuran Benda kerja .....	56
3.4	<i>Surfcorder</i> Kosaka SE 300 .....	57
3.5	<i>Surfcorder</i> .....	58
3.6	Diagram Alir Penelitian.....	62
3.7	Titik-titik Pengujian Pada Benda Kerja.....	63
4.1	Grafik Variasi <i>Spindle Speed</i> 1000 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm .....	76
4.2	Grafik Variasi <i>Feed Rate</i> 20 mm/min, 40 mm/min, 60 mm/min .....	76
4.3	Grafik nilai kekasaran permukaan dengan <i>Spindle speed</i> 1000 rpm.....	78
4.4	Grafik nilai kekasaran permukaan dengan <i>spindle speed</i> 2000 rpm. ....	80
4.5	Grafik nilai kekasaran permukaan dengan <i>spindle speed</i> 3000 rpm. ....	82
4.6	Grafik hasil uji kekasaran pada <i>feed rate</i> 20 mm/min.....	84
4.7	Grafik hasil uji kekasaran pada <i>Feed rate</i> 40 mm/min.....	86
4.8	Grafik hasil uji nilai kekasaran pada <i>feed rate</i> 60 mm/min.....	88



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1 Surat Tugas Dosen.....	96
2 Surat Ijin Melakukan Penelitian .....	97
3 Data Hasil Penelitian .....	98
4 <i>Output</i> SPSS Analisis <i>Univariat</i> .....	100
5 NC <i>CODE</i> Penelitian pada Master CAM .....	105
6 Dokumentasi Penelitian.....	106
7 Rumus Perhitungan Feed Rate.....	113



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi, banyak produk yang semakin sulit dikerjakan menggunakan mesin perkakas konvensional. Banyak sekali poin yang semakin diperhatikan seperti kualitas kekasaran permukaan, serta kepresisian geometri produk yang tinggi, geometri benda kerja yang semakin kompleks juga menjadi kendala yang harus dipecahkan. Hasil dan kesimpulan dari penelitian adalah gerak makan (*feeding*) dan kecepatan putar mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan. Semakin besar gerak makan semakin besar nilai kekasarannya. Semakin tinggi kecepatan putar maka semakin rendah tingkat kekasarannya (Zubaidi. 2012).

Untuk mengatasi kendala tersebut digunakan salah satunya adalah mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*), *milling* dengan *ball nose endmill* merupakan proses permesinan yang mampu dikerjakan oleh mesin CNC. Produktivitas yang dihasilkan oleh mesin CNC yang memakai sistem komputer lebih besar dibandingkan dengan produktivitas yang dihasilkan mesin konvensional. Pernyataan ini didukung oleh Joko Darmanto (2007:3), sistem CNC (*Computer Numerically Controlled*) digunakan untuk mengendalikan mesin dengan jumlah produk massal, ketelitian tinggi dan kecepatan yang tinggi (Adhi. 2015).

Mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) mempunyai banyak keunggulan bila dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setara dan sejenis. Adapun keunggulan Mesin perkakas CNC adalah dapat menghasilkan benda yang memiliki kualitas sama antara benda yang satu dengan yang lainnya, lebih teliti

(akurat), lebih tepat (presisi), luwes (fleksibel) dan cocok untuk menghasilkan produk dalam kuantitas besar dalam waktu yang relatif lebih singkat. Menurut pendapat (Alfian. 2014) mengungkapkan bahwa mesin *Computer Numerically Controlled* (CNC) sangat cocok untuk digunakan memproduksi berskala besar.

Eksperimen merupakan modifikasi kondisi yang dilakukan secara sengaja dan terkontrol dalam menentukan peristiwa atau kejadian, serta pengamatan terhadap perubahan yang terjadi pada peristiwa itu sendiri (Moch. Ali, 1993: 134). Dalam penelitian ini akan membuat eksperimen dengan memvariasikan *spindle speed*, dan *feed rate* pada proses *milling* dengan mesin CNC. CNC (*Computer Numerically Controlled*) merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan sistem kontrol berbasis komputer yang mampu membaca instruksi kode N dan G (G-kode) yang mengatur kerja sistem peralatan mesinnya, yakni sebuah alat mekanik bertenaga mesin yang digunakan untuk membuat komponen/benda kerja (Sumbodo, 2008: 402).

Benda kerja hasil proses pemesinan mempunyai nilai kekasaran permukaan akibat berbagai faktor yang mempengaruhinya. Saat proses dilakukan faktor tersebut adalah variabel proses pemesinan seperti *spindle speed*, *feed rate*, jenis pendingin yang dipakai, *depth of cut*, jenis *endmill*, dan hal lainnya. Kedalaman pemakanan terbaik yang menghasilkan kekasaran permukaan paling rendah adalah kedalaman pemakanan 0,2 mm (Adhi. 2015). Pada proses pemotongan logam ada dua jenis pengerjaan yang dilakukan sebelum mendapatkan produk akhir yang bagus (*finished goods*) yaitu proses pemakanan kasar (*roughing*) dan penghalusan (*finishing*). Dalam penelitian ini hanya diperhatikan proses penghalusan (*finishing*). Pada proses penghalusan ini kecepatan putaran mesin (*spindle speed*), dan laju pemakanan (*feed*

*rate*) telah ditentukan sebagai variabel bebas, dan kekasaran permukaan aluminium 6061 sebagai variabel terikat.

Menurut kesimpulan penelitian sebelumnya oleh Bambang Rianto (2006) menyatakan bahwa “ada pengaruh yang berarti dari faktor ketebalan dan kedalaman pemakanan, semakin besar ketebalan dan kedalaman pemakanan yang digunakan semakin besar pula harga nilai kekasaran”. Pada saat proses pengerjaan logam dengan proses *milling* akan terjadi gesekan antara *endmill* dengan benda kerja, jenis *endmill* yang digunakan, ketajaman mata *endmill*, pendinginan dan operator menimbulkan panas, terutama pada bagian benda kerja yang bergesekan langsung dengan pahat.

Zulhendri, dkk (2007), telah meneliti analisa pengaruh tipe pahat dan arah pemakanan permukaan berkontur pada pemesian *milling* awal dan akhir terhadap kekasaran permukaan. Jenis pahat yang digunakan yaitu profil rata (*flat end*), *toroid*, dan radius (*ballnose*), serta arah pemakanan sejajar dan melintang. Setelah itu dilakukan pengukuran kekasaran dengan *Surface Tester SURFCOM 120A*. Hasil penelitian adalah arah pemakanan *finishing* yang lebih halus adalah arah pemakanan searah dengan arah *roughing*. Sedangkan yang paling halus diperoleh menggunakan *ballnose endmill* pada arah searah dengan arah *roughing* yaitu sebesar 0,279 mm. Tipe pahat *finishing ballnose* dan arah sejajar menghasilkan Ra yang lebih halus dibandingkan dengan tipe pahat *finishing ball-nose* dan arah melintang.

Aplikasi Al 6061 : *Aircraft and aerospace components, Marine fittings, Transport, Bicycle frames, Camera lenses, Driveshafts, Electrical fittings and connectors, Brake components, Valves, Couplings*. Aluminium merupakan unsur *non*

*ferrous* yang paling banyak terdapat di bumi yang merupakan logam ringan yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik melalui proses pembentukan maupun permesinan, dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam (Yustiasih. 2013).

*Metal injection molding* (MIM) merupakan gabungan dari proses metalurgi serbuk dan plastik *injection molding*. Proses *metal injection molding* diaplikasikan untuk pembuatan produk-produk yang memerlukan sifat yang baik (performa tinggi), bentuk yang kompleks dan jumlah produksi yang besar. Karakteristik dari proses MIM adalah *near net shape* dimana memiliki dimensi yang mendekati dimensi akhir (tidak memerlukan proses pemesinan lanjut), penggunaan material yang efisien (tidak ada yang terbuang dalam proses pemesinan/ pengecoran), dapat diaplikasikan pada jenis material maju (titanium, nikel, tungsten) yang sulit diproses dengan teknologi yang lain seperti pengecoran dan pemesinan (Pujiyanto 2014).

Pengaplikasian dari penelitian ini adalah pada industri *moulding*. *Metal Injection Molding* (MIM) adalah pengembangan dari proses plastik *injection molding*. *Metal Injection Molding* (MIM) merupakan proses manufaktur dari komponen presisi yang memiliki bentuk yang kompleks/rumit dengan biaya rendah dan pengerjaan akhir (*finishing*) yang minimal. Pembuatan komponen menggunakan proses MIM dapat mengurangi secara signifikan biaya manufaktur, peningkatan *fleksibilitas* desain dan material, memiliki sifat mekanis yang tinggi, permukaan akhir yang baik dan jumlah produksi yang tinggi (Viridhian. 2014).

Penelitian kekasaran permukaan sangat penting dilakukan untuk mengetahui variasi perlakuan permesinan terbaik membuat suatu cetakan, dimana cetakan

tersebut diharapkan memberikan suatu keuntungan. Keuntungan lain dari proses MIM adalah dimensi dan bentuk produk yang dihasilkan mendekati produk akhir (*near net shape*), sehingga proses lanjutan (pemesinan) dapat diminimalisir sehingga mengurangi biaya produksi (Pujiyanto. 2014). Aplikasi software CAD/CAM dalam pemakaian mesin CNC akan lebih efektif, waktu produksi lebih singkat, kapasitas produksi lebih tinggi, biaya pembuatan produk lebih rendah (Bosan C.B., 1998).

## 1.2 Identifikasi Masalah

1. Adakah pengaruh *spindle speed*, dan *feed rate* melalui proses optimasi *Master CAM Milling* terhadap kekasaran permukaan aluminium.
2. Besar perbedaan nilai kekasaran permukaan aluminium setelah melalui proses *milling* dengan *spindle speed*, dan *feed rate* yang berbeda.
3. Mendapatkan parameter *spindle speed*, dan *feed rate* berapa yang tepat digunakan untuk menentukan kekasaran terendah pada *milling* permukaan aluminium 6061.
4. Mengetahui informasi secara mendetail mengenai kekasaran permukaan Al 6061 melalui proses *milling* CNC, untuk kemudian dijadikan rujukan industri guna menunjang spesifikasi hasil produk berbahan dasar Al 6061.



### 1.3 Batasan Masalah

1. Perbedaan kerataan permukaan aluminium dengan menggunakan *spindle speed* 1000 rpm, 2000 rpm, dan 3000 rpm, dan *feed rate* 20 mm/min, 40 mm/min, dan 60 mm/min.
2. Kedalaman pemakanan (*depth of cuts*) 0,2 mm.
3. *Coolant Dromus* + air (20 : 1).
4. Material Al 6061 dimensi 50x16x16 mm.
5. *Ball nose endmill carbide* diameter 12 mm.
6. *Surface tester* Mitutoyo.
7. CNC MILLING SINUMERIC 802S

### 1.4 Rumusan Masalah

1. Apakah ada pengaruh *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan benda kerja aluminium 6061?
2. Apakah ada pengaruh *feed rate* terhadap kekasaran permukaan benda kerja aluminium 6061?
3. Apakah ada interaksi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061?
4. Menggunakan parameter *spindle speed*, dan *feed rate* berapa yang tepat digunakan untuk menentukan kekasaran terendah pada permukaan aluminium 6061?

### 1.5 Tujuan Penelitian

1. Untuk menguji pengaruh variasi *spindle speed* 1000 rpm, 2000 rpm dan 3000 rpm terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061 pada proses CNC Milling.
2. Menguji pengaruh variasi *feed rate* 20 mm/min, 40 mm/min dan 60 mm/min terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061 pada proses CNC Milling.
3. Menguji Interaksi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061 pada proses CNC Milling.
4. Mengetahui parameter *spindle speed*, dan *feed rate* berapa yang tepat digunakan untuk menentukan kekasaran terendah pada permukaan aluminium 6061.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberi manfaat dan informasi kepada pihak lain, diantaranya :

1. Mengetahui besar pengaruh variasi *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan Al 6061 pada proses CNC Milling.
2. Mengetahui besar pengaruh variasi *feed rate* terhadap kekasaran permukaan Al 6061 pada proses CNC Milling.
3. Secara umum hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan kepada laboratorium pemesinan, utamanya pada pengetahuan mendalam tentang *milling* dan pengaruh *spindle speed*, dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan aluminium 6061.
4. Menemukan parameter *spindle speed*, dan *feed rate* yang tepat digunakan untuk menentukan nilai kekasaran terendah pada permukaan aluminium 6061.

5. Mengetahui hasil analisis kekasaran permukaan Al 6061, sehingga data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai rujukan atau referensi untuk bahan penelitian yang sejenis.
6. Memberikan informasi untuk menunjang kualitas dan detail spesifikasi lebih lengkap tentang kekasaran permukaan pada suatu produk berbahan Al 6061 pada industri.
7. Pengaplikasian Master CAM sebagai media untuk mendesign dan melakukan simulasi CNC *Milling*, kemudian menganalisis pengaruh *Spindle speed*, dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan benda kerja Aluminium.
8. Untuk menganalisis kekasaran permukaan Al 6061, sehingga data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai acuan penelitian terkait berikutnya.
9. Menemukan parameter *spindle speed*, dan *feed rate* yang tepat digunakan untuk menentukan nilai kekasaran terendah dengan kedalaman 0,2 mm pada permukaan benda kerja aluminium 6061.

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Kajian Teori**

**2.1.1 Spindle speed**

Putaran *spindel* (n) ditentukan berdasarkan kecepatan potong. Kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pahat dan material benda kerja. Kecepatan potong adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik (dalam satuan meter) pada selubung pahat dalam waktu satu menit (Rahdiyanta, 2008:08).

Rumus kecepatan potong identik dengan rumus kecepatan potong pada mesin bubut. Pada proses frais besarnya diameter yang digunakan adalah diameter pahat.

Rumus kecepatan potong :

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000} \dots\dots\dots(2.1.)$$

- dimana :
- V<sub>c</sub> = kecepatan potong (m/menit)
  - d = diameter pisau (mm)
  - n = *spindle speed* (rpm)
  - π = 3,14

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

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

Sebelum menentukan proses pekerjaan pemesinan, maka kita harus mengetahui jenis bahan yang akan dikerjakan serta jenis *endmill* yang akan digunakan. Setelah mengetahui jenis bahan dan jenis *endmill* 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 *endmill* tertentu. Berikut adalah tabel kecepatan potong yang dianjurkan pada proses pemesinan *milling* dalam memotong material dengan menggunakan beberapa jenis bahan dan jenis *endmill*.

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 spindle (n) dengan ketentuan sebagai berikut :

- 1) Untuk pisau karbida harga kecepatan potong angka pada tabel dikalikan 2.
- 2) Apabila satuan kecepatan potong (*cutting speed* diubah menjadi m/menit angka pada tabel dibagi 3,28).

### 2.1.2 *Feed rate* (Laju pemakanan)

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:

$$V_f = n \times f_z \times z_n \quad \dots\dots\dots (2.3.)$$

dimana:  $V_f$  : *feed rate* (mm/menit)

$n$  : kecepatan putaran *spindel speed* (rpm)

$f_z$  : *feed* per gigi (mm)

$z_n$  : jumlah mata pisau

Pemakanan per gigi ( $fz$ ) diukur dalam  $mm/tooth$  adalah nilai proses pengefraisan untuk menghitung  $table\ feed$ . Jika  $cutter\ milling$  mempunyai banyak mata potong nilai  $fz$  dibutuhkan untuk menjamin setiap mata  $cutter$  berada dalam kondisi aman. Nilai  $feed/tooth$  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.

Tabel 2. 2 Gerak makan ( $feed$ ) pergigi yang disarankan untuk pahat CARBIDE (dalam satuan  $inchi$ )

Type Of Cutter CARBIDE	Materials				
	Alumun ium	Bronze	Cast Iron	Free Machining Steel	Alloy Steel
Face Mills	,007 to ,020	,004 to ,012	,006 to ,020	,004 to ,016	,003 to ,014
Helical Mills	,006 to ,016	,004 to ,010	,002 to ,018	,003 to ,013	,003 to ,012
Side Cutting Mills	,004 to ,012	,003 to ,007	,003 to ,012	,003 to ,009	,002 to ,008
End Mills	,003 to ,010	,002 to ,006	,003 to ,010	,002 to ,008	,002 to ,007
Form Relieved Cutters	,002 to ,006	,001 to ,004	,002 to ,006	,002 to ,005	,001 to ,004
Circular Saws	,002 to ,005	,001 to ,003	,002 to ,006	,001 to ,004	,001 to ,004

(Widarto et al, 2008: 216)

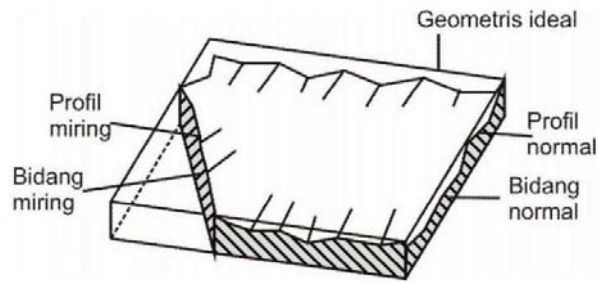
### 2.1.3 Permukaan

Menurut istilah keteknikan, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Dalam prakteknya, bahan yang digunakan untuk benda kebanyakan dari besi atau logam. Oleh karena itu, benda-benda padat yang bahannya terbuat dari tanah, batu, kayu dan karet tidak akan disinggung dalam pembicaraan mengenai karakteristik permukaan dan pengukurannya.

Kadang-kadang ada pula istilah lain yang berkaitan dengan permukaan yaitu profil. Istilah profil sering disebut dengan istilah lain yaitu bentuk. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Untuk mengukur dan menganalisis suatu permukaan dalam tiga dimensi adalah sulit.

Oleh karena itu, untuk mempermudah pengukuran maka penampang permukaan perlu dipotong. Cara pemotongan biasanya ada empat cara yaitu pemotongan normal, serong, singgung dan pemotongan singgung dengan jarak kedalaman yang sama. Garis hasil pemotongan inilah yang disebut dengan istilah profil, dalam kaitannya dengan permukaan. Dalam analisisnya hanya dibatasi pada pemotongan secara normal. Gambar 2.1. menunjukkan perbedaan antara bidang dan profil.





Gambar 2. 1 Bidang dan Profil pada penampang permukaan  
(Dasar-Dasar Metrologi Industri.224)

Dengan melihat profil ini maka bentuk dari suatu permukaan pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu permukaan yang kasar (*roughness*) dan permukaan yang bergelombang (*waviness*). Permukaan yang kasar berbentuk gelombang pendek yang tidak teratur dan terjadi karena getaran pisau (pahat) potong atau proporsi yang kurang tepat dari pemakanan (*feed*) pisau potong dalam proses pembuatannya.

#### 2.1.4 Toleransi Harga Ra

Seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros), harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N1 sampai N12. Besarnya toleransi untuk Ra biasanya diambil antara 50% ke atas dan 25% ke bawah. Tabel 2.3 menunjukkan harga kekasaran rata-rata beserta toleransinya.

Tabel 2. 3 Toleransi harga kekasaran rata-rata  $R_a$ 

Kelas Kekasaran	Harga C.L.A ( $\mu\text{m}$ )	Harga $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Toleransi N	$\frac{+50\%}{-25\%}$	Panjang sampel (mm)
N1	0,1	0,0025	0,02 – 0,04		0,08
N2	0,2	0,05	0,04 – 0,08		
N3	0,4	0,1	0,08 – 0,15		0,25
N4	0,8	0,2	0,15 – 0,3		
N5	1,6	0,4	0,3 – 0,6		
N6	3,2	0,8	0,6 – 1,2		
N7	6,3	1,6	1,2 – 2,4		
N8	12,5	3,2	2,4 – 4,8		0,8
N9	25	6,3	4,8 – 9,6		
N10	50	12,5	9,6 – 18,75		2,5
N11	1000	25,0	18,75 – 37,5		
N12	2000	50,0	37,5 – 75,0		8

(Sumber: Dasar-Dasar Metrologi Industri. 230)

Toleransi harga kekasaran rata-rata,  $R_a$  dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda sudah tentu lebih halus dari pada dengan menggunakan mesin bubut. Tabel 2.4 berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2. 4 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga Ra
<i>Flat and cylindrical lapping, Superfinishing Diamond turning</i>	N1 – N4 N1 – N6	0,025 – 0,2 0,025 – 0,8
<i>Flat cylindrical grinding Finishing</i>	N1 – N8 N4 – N8	0,025 – 3,2 0,1 – 3,2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming Drilling</i>	N5 – N12 N7 – N10	0,4 – 50,0 1,6 – 12,5
<i>Shapping, planning, horizontal milling Sandcasting and forging</i>	N6 – N12 N10 – N11	0,8 – 50,0 12,5 – 25,0
<i>Extruding, cold rolling, drawing Die casting</i>	N6 – N8 N6 – N7	0,8 – 3,2 0,8 – 1,6

(Sumber: Dasar-Dasar Metrologi Industri. 230)

Tabel 2. 5 Kemampuan Proses Mesin untuk Kekasaran Permukaan

Operation	Kekasaran permukaan (mikron)											
	25	12.5	6.25	3.2	1.6	0.8	0.4	0.20	0.10	0.05	0.025	
Gergaji, Pemotongan las	■											
Gerinda tangan	■	■										
Pengikiran, amplas	■	■	■									
Bubut, Shaping, Milling	■	■	■	■								
Pengeboran	■	■	■	■	■							
Surface grinding	■	■	■	■	■	■						
Cylindrical Grind.	■	■	■	■	■	■	■					
Honing, Lapping	■	■	■	■	■	■	■	■				
Polishing	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Super Finishing	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Bulfining	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

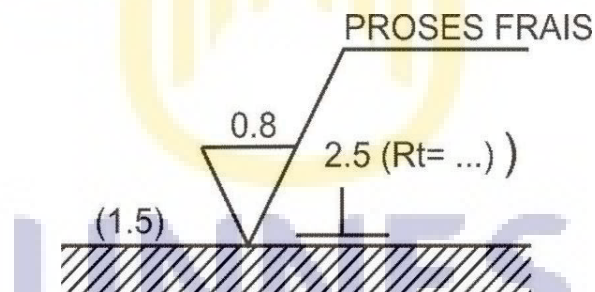
(Purnami et al., n.d. 3)

### 2.1.5 Penulisan Spesifikasi Permukaan dalam Gambar Teknik

Meskipun tidak ada satu parameter pun yang bisa digunakan untuk menjelaskan ketidak teraturan suatu permukaan secara sempurna, namun salah satu atau beberapa parameter permukaan masih tetap digunakan orang. Hal ini dilakukan

untuk mendapatkan suatu persyaratan yang diinginkan dalam usaha mendapatkan suatu produk dengan tingkat kehalusan semaksimal mungkin sesuai dengan kualitas fungsional dari komponen yang dibuat. Untuk mendapatkan informasi yang jelas mengenai bentuk permukaan yang harus dibuat maka beberapa simbol harus dicantumkan dalam gambar teknik. Agar diperoleh suatu keseragaman bahasa dalam menterjemahkan simbol tersebut maka badan standar internasional ISO dengan rekomendasinya R 1302 telah menganjurkan cara penulisan spesifikasi permukaan.

Simbol untuk pengerjaan permukaan menurut ISO R 1302 pada dasarnya berupa segitiga sama sisi yang salah satu ujungnya tepat pada permukaan yang bersangkutan. Salah satu contoh penulisan spesifikasi dari permukaan dapat dilihat pada Gambar 2.2. Beberapa keterangan singkat dari simbol penulisan spesifikasi permukaan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2. 2 Simbol Spesifikasi Permukaan  
(Sumber: Dasar-Dasar Metrologi Industri, 235)

Keterangan:

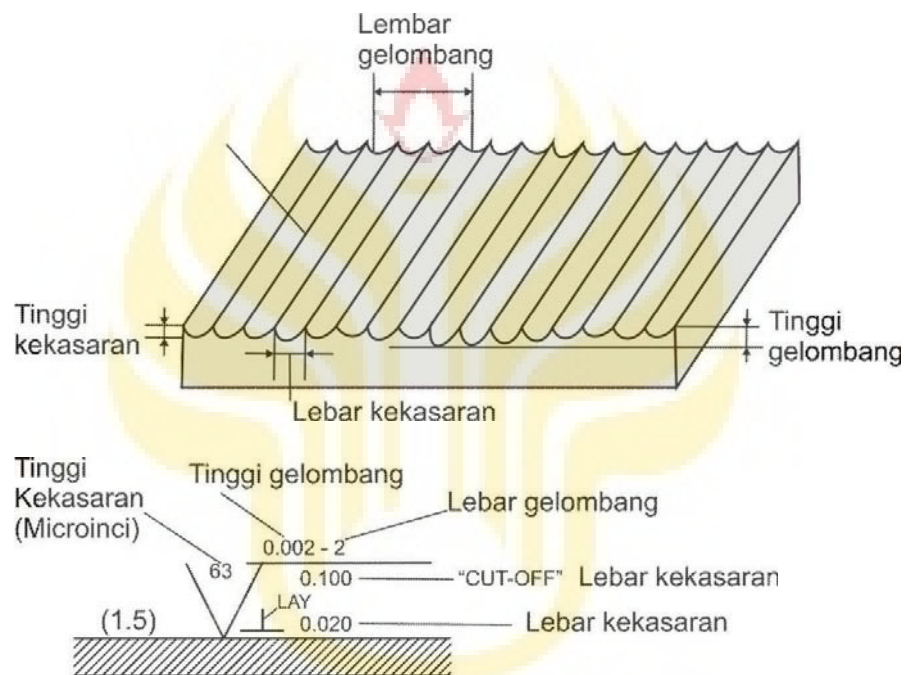
1. Angka (1,5) menunjukkan bahwa dimensi permukaan yang akan dikerjakan harus diberi kelonggaran sebesar 1,5 milimeter sebelum dilakukan penyelesaian akhir (*finishing*) melalui permesinan. Dalam prakteknya, pencantuman angka kelonggaran ini tidak diharuskan ada karena biasanya sudah diketahui bahwa

untuk pemrosesan kembali suatu permukaan sudah tentu harus ada kelebihan dimensi ukuran dari permukaan tersebut. Dalam gambar kerja, biasanya dicantumkan angka kelonggaran, tetapi angka kelonggaran untuk permesinan.

2. Angka 0,8 menunjukkan bahwa kekasaran rata-rata maksimum yang diijinkan adalah 0,8  $\mu\text{m}$ . Pada Tabel 2.3 dapat dilihat angka-angka kekasaran  $R_a$  dari 12 kelas kekasaran. Ada pula satuan lain yang biasa digunakan untuk menyatakan harga kekasaran rata-rata selain  $\mu\text{m}$  yaitu *microinch* atau  $ru$ ,  $1 ru = 0,025 \mu\text{m}$ .
3. Pada bagian atas dari tanda segitiga terdapat tulisan yang berbunyi proses frais, artinya: penyelesaian akhir dari permukaan (*finishing*) dilakukan dengan menggunakan mesin frais (*milling machine*). Kadang-kadang dicantumkan pula keterangan lain dalam penyelesaian permukaan, misalnya proses pengerasan, proses pelapisan, proses pancaran pasir, dan sebagainya.
4. Angka 2,5 menunjukkan angka panjangnya sampel pengukuran yang harus diambil dalam pemeriksaan kekasaran permukaan dari komponen yang dibuat tersebut. Jadi, angka 2,5 pada contoh di atas artinya adalah panjang sampel untuk pemeriksaan kekasaran sama dengan 2,5 milimeter.
5. Tanda ( $R_t = \dots$ ) menunjukkan bahwa harga parameter yang lain selain  $R_a$  perlu diperhatikan dalam proses akhir permesinan dari suatu permukaan.
6. Tanda  $\perp$  menunjukkan bahwa arah bekas pengerjaan harus tegak lurus pada bidang proyeksi dari penampang tepat tanda dipakai.

*American Standard Association* (ASA) juga telah memberikan rekomendasinya dalam kaitannya dengan penulisan spesifikasi permukaan dan parameter-parameter yang digunakan dalam menjelaskan karakteristik permukaan. Gambar 2.3.

menunjukkan contoh penulisan spesifikasi permukaan berdasarkan ASA. B46.1-1962. Simbol yang digunakan oleh ASA. B46.1-1962 untuk mengkomunikasikan standard permukaan melalui gambar teknik ternyata tidak jauh berbeda dengan yang dikemukakan oleh ISO R 1302. Yang berbeda adalah pada sistem satuannya, yaitu dalam *microinch* untuk ASA B46.1 dan *micrometer* ( $\mu\text{m}$ ) untuk ISO 1302.



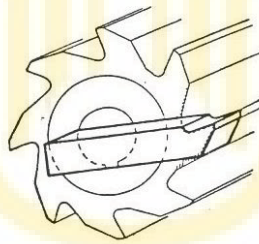
Gambar 2. 3 Simbol penulisan spesifikasi permukaan dapat parameter-parameternya menurut ASA B46.1 - 1962  
(Sumber: Dasar-Dasar Metrologi Industri. 237)

Dalam pemakanan logam, cakram ini mungkin memiliki karakteristik tidak stabil dan sisi luar bisa terjadi getaran, tergantung pada struktur dinamis dan kepekaan getaran pemotongan logam (Mahdi Eynian. 2014). Jadi dalam pengeakan benda kerja haruslah benar-benar kuat, agar tidak terjadi pergeseran benda kerja pada saat pemakanan

### 2.1.6 Jenis Pisau (*Ball Nose Endmill*)

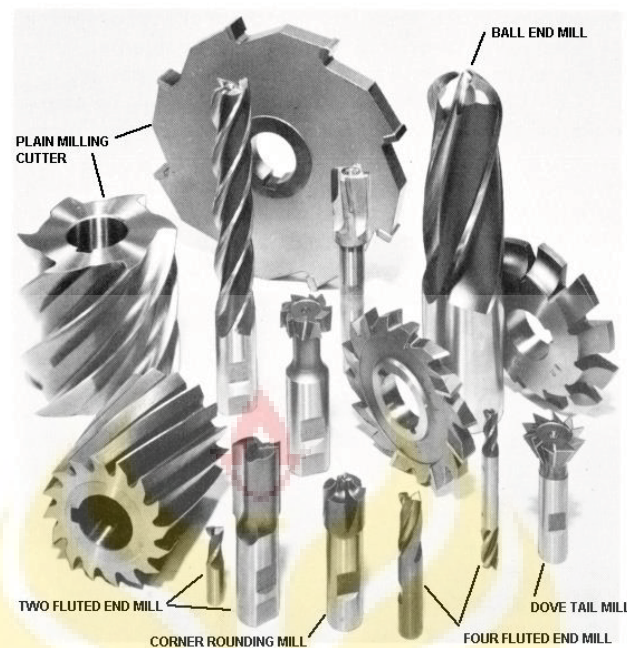
Untuk proses *finishing* pisau yang digunakan dipilih pisau yang memiliki gigi yang relatif kecil dengan kecepatan potong dipilih harga terbesar dari kecepatan potong yang diijinkan (Widarto, 2008).

Proses pemesinan dengan mesin frais merupakan proses penyayatan benda kerja yang sangat efektif, karena pahat frais memiliki sisi potong jamak. Apabila dibandingkan dengan pahat bubut, maka pahat frais analog dengan beberapa buah pahat bubut (Gambar 2.4). Pahat frais dapat melakukan penyayatan berbagai bentuk benda kerja, sesuai dengan pahat yang digunakan. Proses meratakan bidang, membuat alur lebar sampai dengan membentuk alur tipis bisa dilakukan dengan mesin frais (Gambar 2.5).



Gambar 2. 4 Pahat frais identik dengan beberapa pahat bubut  
(Rahdiyanta, 2010:5)

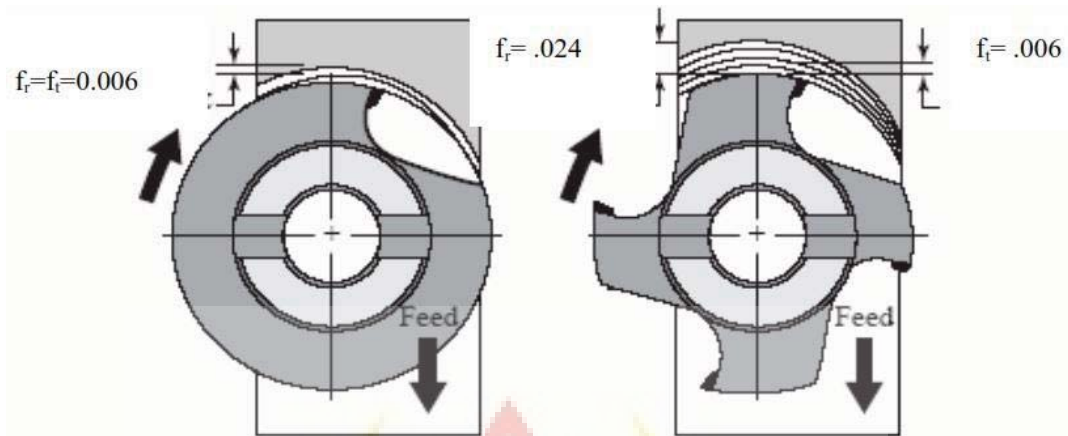




Gambar 2. 5 Berbagai jenis bentuk pahat frais untuk mesin frais *horizontal* dan *vertical* (Rahdiyanta, 2010:5)

Kedalaman potong ( $a$ ) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir. Untuk kedalaman potong yang relatif besar diperlukan perhitungan daya potong yang diperlukan untuk proses penyayatan. Apabila daya potong yang diperlukan masih lebih rendah dari daya yang disediakan oleh mesin (terutama motor listrik), maka kedalaman potong yang telah ditentukan bisa digunakan.





Gambar 2. 6 Jalur pisau frais menunjukkan perbedaan antara gerak makan per gigi (ft) dan gerak makan per putaran (fr) (Widarto, 2008:203)

**DLC END MILLS**  
**DLC2MB**  
 Ball nose, Medium cut length, 2 flute

UWG DLC 30° CARBIDE

Copper Alloy Aluminum Alloy Graphite GFRP CFRP Machineable Ceramics

PRFRAD APMX LF DCON(h) Type1  
 PRFRAD APMX LF DCON(h) Type2

R	PRFRAD ≤ 0.1	PRFRAD > 0.1		
DC	DC ≤ 12	DC > 12		
h6	4 ≤ DCON ≤ 6	8 ≤ DCON ≤ 10	12 ≤ DCON ≤ 16	DCON = 20
	0 - 0.005	0 - 0.009	0 - 0.011	0 - 0.013

2 flute ball nose end mill with new high welding resistance DLC coating, ideal for machining non-ferrous materials.

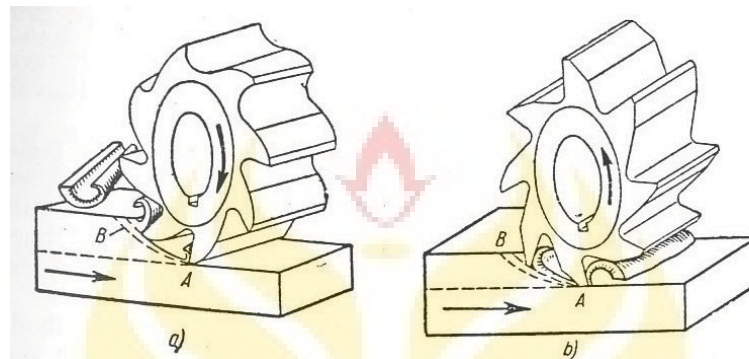
Unit : mm

Order Number	PRFRAD	DC	APMX	LF	DCON	No. of Flutes	Stock	Type
DLC2MBR0010	0.1	0.2	0.4	40	4	2	●	1
DLC2ME R0015	0.15	0.3	0.6	40	4	2	●	1
DLC2ME R0020	0.2	0.4	0.8	40	4	2	●	1
DLC2ME R0025	0.25	0.5	1	40	4	2	●	1
DLC2ME R0030	0.3	0.6	1.2	40	4	2	●	1
DLC2ME R0040	0.4	0.8	1.6	40	4	2	●	1
DLC2ME R0050	0.5	1	2.5	40	4	2	●	1
DLC2ME R0075	0.75	1.5	4	40	4	2	●	1
DLC2ME R0100	1	2	6	60	6	2	●	1
DLC2ME R0125	1.25	2.5	6	60	6	2	●	1
DLC2ME R0150	1.5	3	8	70	6	2	●	1
DLC2ME R0200	2	4	8	70	6	2	●	1
DLC2ME R0250	2.5	5	12	80	6	2	●	1
DLC2ME R0300	3	6	12	80	6	2	●	2
DLC2ME R0400	4	8	14	90	8	2	●	2
DLC2ME R0500	5	10	18	100	10	2	●	2
DLC2ME R0600	6	12	22	110	12	2	●	2
DLC2ME R0800	8	16	30	140	16	2	●	2
DLC2ME R1000	10	20	38	160	20	2	●	2

Gambar 2. 7 Spesifikasi Ball nose Endmill (Catalog endmill. J265)

### 2.1.7 Metode Proses Frais

Metode proses frais ditentukan berdasarkan arah relative gerak makan meja mesin frais terhadap putaran pahat (Gambar 2.8). Metode proses frais ada dua yaitu frais naik dan frais turun.



Gambar 2. 8 (a) frais naik (*up milling*) dan (b) frais turun (Rahdiyanta, 2010:4)

#### 2.1.7.1 Frais naik (*Up Milling*)

Frais naik biasanya disebut frais konvensional (*conventional milling*). Gerak dari putaran pahat berlawanan arah terhadap gerak makan meja mesin frais. Sebagai contoh, pada proses frais naik apabila pahat berputar searah jarum jam, benda kerja disayat ke arah kanan. Penampang melintang bentuk beram (*chips*) untuk proses frais naik adalah seperti koma diawali dengan ketebalan minimal kemudian menebal. Proses frais ini sesuai untuk mesin frais konvensional/manual, karena pada mesin konvensional *backlash* ulir transportirnya relatif besar dan tidak dilengkapi *backlash compensation* (Rahdiyanta, 2014:4).

### 2.1.7.2 Frais turun (*Down Milling*)

Proses frais turun dinamakan juga *climb milling*. Arah dari putaran pahat sama dengan arah gerak makan meja mesin frais. Sebagai contoh jika pahat berputar berlawanan arah jarum jam, benda kerja disayat kekanan. Penampang melintang bentuk beram (*chips*) untuk proses frais naik adalah seperti koma diawali dengan ketebalan maksimal kemudian menipis. Proses frais ini sesuai untuk mesin frais CNC, karena pada mesin CNC gerakan meja dipandu oleh ulir dari bola baja, dan dilengkapi *backlash compensation*. Untuk mesin frais konvensional tidak direkomendasikan melaksanakan proses frais turun, karena meja mesin frais akan tertekan dan ditarik oleh pahat.

### 2.1.8 Alur Pemakanan

Alur pemakanan *one way* (alur sekali pemakanan) pergerakan pemakanan *endmill* terhadap benda kerja yang dilakukan satu kali pemakanan secara *climb (down cut mill)/ conventional (up cut mill)*. Kerataan terendah yang dihasilkan oleh masing-masing kedalaman pemakanan secara berturut-turut adalah sebagai berikut : Kedalaman 0,2 mm=0,033 mm, Kedalaman 0,4 mm=0,038 mm Kedalaman 0,6 mm=0,040 mm. Pada hasil tersebut dapat diketahui, dengan memberikan perlakuan kedalaman pemakanan 0,2 mm terhadap benda kerja memiliki tingkat kerataan permukaan yang terendah, semakin rendah kedalaman pemakanan maka gesekan antara pahat dengan benda kerja akan semakin rendah (Navy. 2014)

### 2.1.9 Aluminium (Al)

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik

unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Di dalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida ( $Al_2O_3$ ) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa. Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. (Surdia, T. 2006)

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted, tahun 1825. Secara Industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah urutan kedua setelah besi dan baja yang tertinggi diantara logam *non ferrous*. Aluminium adalah unsur *non ferrous* yang merupakan logam ringan yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk melalui proses pembentukan maupun pemesinan, dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Memadukan aluminium dengan unsur lainnya merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat aluminium. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya dengan penambahan unsur Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, secara satu persatu atau bersama-sama. Dalam memadukan aluminium dengan logam lain diusahakan sedapat mungkin untuk tetap mempertahankan atau memperbaiki sifat aluminium murni yang baik seperti berat jenis yang rendah, ketahanan korosi dan daya hantar listrik dan panas yang baik.

Bahan-bahan aluminium yang khas untuk komponen struktural yang besar. Deformasi dihasilkan karena efek *thermo*-elastis secara signifikan dapat mempengaruhi operasi *finishing*. Untuk menjamin bebas dari kesalahan produk, sebuah simulasi *milling*, yang memperhitungkan pergerakan, dapat digunakan untuk memprediksi kesalahan (R. Joliet. 2013).

#### **2.1.9.1 Klasifikasi paduan Aluminium**

Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang sangat terkenal dan sempurna adalah standar *Aluminium Association di Amerika* (AA) yang didasarkan atas standar terdahulu dari Alcoa (*Aluminium Company of America*). Paduan tempaan dinyatakan dengan satu atau dua angka "S", sedangkan paduan coran dinyatakan dengan angka 3 angka. Standar AA menggunakan penandaan

### 2.1.9.2 Composition

Tabel 2. 6 *Typical composition of aluminium alloy 6061*

<i>Component</i>	<i>Amount (wt.%)</i>
<i>Aluminium</i>	<i>Balance</i>
<i>Magnesium</i>	0.8-1.2
<i>Silicon</i>	0.4-0.8
<i>Iron</i>	Max. 0.7
<i>Copper</i>	0.15-0.40
<i>Zinc</i>	Max. 0.25
<i>Titanium</i>	Max. 0.15
<i>Manganese</i>	Max. 0.15
<i>Chromium</i>	0.04-0.35
<i>Others</i>	0.05

(Metalweb, 2006:1)

#### *Key Properties*

*Typical properties of aluminium alloy 6061 include:*

- *Medium to high strength*
- *Good toughness*
- *Good surface finish*
- *Excellent corrosion resistance to atmospheric conditions*
- *Good corrosion resistance to sea water*
- *Can be anodized*
- *Good weldability and brazability*
- *Good workability*
- *Widely available*

(Metalweb, 2006:1)

### 2.1.9.3 Applications

Typical applications for aluminium alloy 6061 include:

- Aircraft and aerospace components
- Marine fittings
- Transport
- Bicycle frames
- Camera lenses
- Driveshafts
- Electrical fittings and connectors
- Brake components
- Valves dan Couplings

Tabel 2. 7 Chemical Composition of Aluminum Alloys

Alloy	SI	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
5059	0,45	0,50	0,25	0,60-1,2	5,0-6,0	0,25	0,40-0,90	0,20
5083	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	0,25	0,15
5086	0,40	0,50	0,10	0,20-0,70	3,5-4,5	0,05-0,25	0,25	0,15
5383	0,25	0,25	0,20	0,7-1,0	4,0-5,2	0,25	0,40	0,15
5454	0,25	0,40	0,10	0,50-1,00	2,4-3,0	0,05-0,20	0,25	0,20
5456	0,25	0,40	0,10	0,50-1,00	4,7-5,5	0,05-0,20	0,25	0,20
6005A	,50-,90	0,35	0,3	0,5	,40-,70	0,3	0,2	0,1
6061	,40-,80	0,7	,15-,40	0,15	,80-1,20	0,04-0,35	0,25	0,15
6063	0,20-0,60	0,35	0,10	0,10	0,45-0,90	0,10	0,10	0,10
6082	0,7-1,3	0,50	0,1	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	0,20	0,10

(ALUMINUM STRUCTURE DESIGN AND FABRICATION GUIDE.2007)

#### 2.1.9.4 Sifat-Sifat Mekanik Aluminium

Sifat dari bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut. Aluminium dikenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yakni proses pembentukan lapisan aluminium oksida di permukaan logam aluminium setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium. Adapun sifat-sifat Aluminium antara lain sebagai berikut:

a. Ringan

Logam Aluminium Memiliki bobot sekitar 1/3 dari bobot besi dan baja, atau tembaga. Logam aluminium banyak digunakan didalam industri, alat berat dan transportasi.

b. Mudah dibentuk

Proses pengerjaan Aluminium mudah dibentuk karena dapat disambung dengan logam/material lainnya dengan pengelasan, *brazing*, *solder*, *adhesive bonding*, sambungan mekanis, atau dengan teknik penyambungan lainnya.

c. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah besar tegangan yang didapatkan ketika dilakukan pengujian tarik. Kekuatan tarik ditunjukkan oleh nilai tertinggi dari tegangan pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian, dan biasanya terjadi ketika terjadinya *necking*. Kekuatan tarik bukanlah ukuran kekuatan yang sebenarnya dapat terjadi di lapangan, namun dapat dijadikan sebagai suatu acuan terhadap kekuatan bahan.



Kekuatan tarik pada aluminium murni pada berbagai perlakuan umumnya sangat rendah, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium perlu dipadukan.

d. Modulus Elastisitas

Aluminium memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan baja maupun besi, tetapi dari sisi *strength to weight ratio*, aluminium lebih baik. Aluminium yang memiliki titik lebur yang lebih rendah dan kepadatan. Dalam kondisi yang dicairkan dapat diproses dalam berbagai cara. Hal ini yang memungkinkan produk-produk dari aluminium yang akan dibentuk, pada dasarnya dekat dengan akhir dari desain produk.

e. *Recyclability* (Mampu untuk didaur ulang)

Aluminium adalah 100% bahan yang didaur ulang tanpa penurunan dari kualitas awalnya, peleburannya memerlukan sedikit energi, hanya sekitar 5% dari energi yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang pada awalnya diperlukan dalam proses daur ulang.

f. *Ductility* (Liat)

*Ductility* didefinisikan sebagai sifat mekanis dari suatu bahan untuk menerangkan seberapa jauh bahan dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadinya retakan. Dalam suatu pengujian tarik, *ductility* ditunjukkan dengan bentuk *necking*nya, material dengan *ductility* yang tinggi akan mengalami *necking* yang sangat sempit, sedangkan bahan yang memiliki *ductility* rendah, hampir tidak mengalami *necking*. Pada logam aluminium paduan memiliki *ductility* yang

bervariasi, tergantung konsentrasinya, namun pada umumnya memiliki *ductility* yang lebih rendah dari pada aluminium murni.

g. Kuat

Aluminium memiliki sifat yang kuat terutama bila dipadukan dengan logam lain. Digunakan untuk pembuatan komponen yang memerlukan kekuatan tinggi seperti: pesawat terbang, kapal laut, bejana tekan, komponen mesin dan lain-lain.

h. *Reflectivity* (Mampu pantul)

Aluminium adalah reflektor yang baik dari cahaya serta panas, dan dengan bobot yang ringan, membuatnya ideal untuk bahan reflektor.

i. Tahan terhadap korosi

Aluminium memiliki sifat *durable*, sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh unsur-unsur seperti air, udara, suhu dan unsur-unsur kimia. Aluminium memiliki sifat – sifat fisik seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.8 berikut ini:

Tabel 2. 8 Sifat - sifat fisik aluminium

<b>Aluminium</b>	<b>Hasil Fisik Aluminium</b>
Jari Jari atom	125 pm
<i>Density</i>	(20°C) 2,6989 gr/cm <sup>3</sup>
Kapasitas panas	(25°C) 5,38 cal/mol °C
<i>Tensile strength</i>	(20°C) 2,6989 gr/cm <sup>3</sup>
Hantaran Panas	(25°C) 0,49 cal/det °C
Panas Peleburan	10,71 kJ•mol-1
Massa atom	26,98 gr/mol
<i>Density</i>	(660°C) 2,368 gr/cm <sup>3</sup>
Potensial elektroda	(25°C) -1,67 volt
Panas pembakaran	399 cal/gr mol
Kekerasan <i>brinell</i>	245 Mpa
Kekentalan	(700°C) 0,0127 poise
Panas uap	294,0 kJ•mol-1
Titik lebur	660°C
Struktur kristal kubus	FCC

(Sumber: Douglas M. Considin P. E., 1983)

Aluminium memiliki kelas atau *Grade* yang tergantung pada unsur paduan dan perlakuan panas yang dilakukan terhadap paduan aluminium tersebut. *Grade* (kelas) dari aluminium dapat menunjukkan berbagai sifat mekanik dari aluminium tersebut dari penampilan yang baik, kemudahan fabrikasi, ketahanan korosi yang baik, mampu las yang baik dan ketangguhan retak tinggi. Pemilihan *grade* (kelas) aluminium yang tepat tergantung pada aplikasi yang diperlukan dan kondisi kerja

a. *Grade* aluminium Seri 1xxx

*Grade* dari aluminium ini (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350 dll) ditandai dengan ketahanan korosi yang sangat baik, konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi, sifat mekanik yang rendah, dan kemampuan kerja yang sangat baik. *Grade* aluminium ini memiliki kandungan Besi dan *silicon* yang besar.

b. *Grade* aluminium Seri 2xxx

Paduan aluminium ini (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201,0; 203,0; 206,0; 224,0; 242,0 dll) memerlukan solution *heat treatment* untuk mendapatkan sifat yang optimal, didalam kondisi solution *heat treatment* , sifat mekanik yang mirip dengan baja karbon rendah dan kadang-kadang melebihi sifat mekanik baja karbon rendah. Dalam beberapa contoh, proses perlakuan panas digunakan untuk lebih meningkatkan sifat mekanik. Paduan aluminium dalam seri 2xxx tidak memiliki ketahanan korosi yang baik ketimbang kebanyakan paduan aluminium lainnya, dan dalam kondisi tertentu paduan ini mungkin akan terjadi korosi pada antar butir. *Grade* aluminium dalam seri 2xxx ini baik untuk bagian yang membutuhkan kekuatan yang bagus yaitu pada suhu sampai 150 °C (300 °F). Kecuali untuk kelas 2219, paduan aluminium ini sudah memiliki mampu las tetapi masih terbatas. beberapa paduan dalam seri ini memiliki kemampuan mesin yang baik.

c. *Grade* aluminium Seri 3xxx

Paduan aluminium ini (3003, 3004, 3105, 383,0; 385,0; A360; 390,0) umumnya memiliki ketidakmampuan panas tetapi memiliki kekuatan sekitar 20% lebih dari paduan aluminium seri 1xxx karena hanya memiliki presentase mangan yang sedikit (sampai sekitar 1,5%) yang dapat ditambahkan ke aluminium. mangan digunakan sebagai elemen utama dalam beberapa paduan.

d. *Grade* aluminium Seri 4xxx

Unsur paduan utama dalam paduan seri 4xxx (4032, 4043, 4145, 4643 dll) adalah silikon, yang dapat ditambahkan dalam jumlah yang cukup (hingga 12%) menyebabkan substansial menurunkan rentang lebur. Untuk alasan ini, paduan aluminium-silikon yang digunakan dalam kawat las dan sebagai paduan untuk menyolder digunakan untuk menggabungkan aluminium, di mana titik lebur lebih rendah dari logam dasar yang digunakan.

e. *Grade* aluminium Seri 5xxx

Unsur paduan utama *grade* aluminium ini adalah magnesium, bila digunakan sebagai elemen paduan utama atau digabungkan dengan mangan, hasilnya adalah paduan yang memiliki kekerasan sedang hingga kekuatan yang tinggi. Magnesium jauh lebih efektif daripada mangan sebagai penguat - sekitar 0,8% Mg sama dengan 1,25% Mn dan dapat ditambahkan dalam jumlah yang jauh lebih tinggi. Paduan aluminium dalam seri ini (5005, 5052, 5083, 5086, dll) memiliki karakteristik pengelasan yang baik dan ketahanan yang relatif baik terhadap korosi dalam atmosfer laut. Namun, pada pekerjaan dingin harus dilakukan pembatasan dan suhu operasi

(150 ° F) diperbolehkan untuk paduan aluminium yang memiliki magnesium tinggi untuk menghindari kerentanan terhadap korosi retak.

f. *Grade* aluminium Seri 6xxx

Paduan aluminium dalam seri 6xxx (6061, 6063) mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silisida ( $Mg_2Si$ ), sehingga membuat paduan ini memiliki mampu perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

g. *Grade* aluminium Seri 7xxx

Zinc jumlah dari 1% sampai 8% merupakan unsur paduan utama dalam paduan aluminium seri 7xxx (7075, 7050, 7049, 710,0; 711,0 dll) dan ketika digabungkan dengan persentase magnesium yang lebih kecil didalam perlakuan panas yang cukup maka paduan ini akan memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Biasanya unsur-unsur lain, seperti tembaga dan kromium, juga ditambahkan dalam jumlah kecil. paduan seri 7xxx digunakan dalam struktur badan pesawat, peralatan besar yang bergerak dan bagian lainnya memiliki tekanan yang sangat tinggi.

h. *Grade* aluminium Seri 8xxx

Seri 8xxx (8006; 8111; 8079; 850,0; 851,0; 852,0) dicadangkan untuk paduan unsur selain yang digunakan untuk seri 2xxx sampai 7xxx. Besi dan nikel yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanpa kerugian yang signifikan dalam konduktivitas listrik, dan begitu juga berguna dalam paduan konduktor seperti 8017. Aluminium-lithium paduan 8090, yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang sangat

tinggi, dikembangkan untuk aplikasi ruang angkasa. Paduan aluminium dalam seri 8000 sesuai dengan Sistem Penomoran A98XXX dll.

#### **2.1.10 Metal Injection Molding**

*Injection Molding* adalah proses pembentukan material *thermoplastic* yang dilelehkan dan diinjeksi oleh *plunger* ke dalam sebuah cetakan logam. Proses *injection molding* merupakan proses yang berbiaya rendah skala produksi massal, dan banyak digunakan pada pembentukan material berbahan plastik. Dalam kehidupan sehari-hari hampir di semua tempat terdapat barang-barang yang diproduksi dengan proses *injection molding* seperti pesawat telepon, printer, keyboard, mouse, rumah lampu mobil, *dashboard*, roda furnitur, telepon seluler, dan masih banyak lagi yang lain.

*Metal Injection Molding* (MIM) adalah pengembangan dari proses plastik *injection molding*. *Metal Injection Molding* (MIM) merupakan proses manufaktur dari komponen presisi yang memiliki bentuk yang kompleks/rumit dengan biaya rendah dan pengerjaan akhir (*finishing*) yang minimal. Proses ini dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material termasuk material yang baik itu logam maupun keramik seperti *superalloy*, baja tahan karat, titanium, karbida, zirconia dan lain-lain. Pembuatan komponen menggunakan proses MIM dapat mengurangi secara signifikan biaya manufaktur, peningkatan fleksibilitas desain dan material, memiliki sifat mekanis yang tinggi, permukaan akhir yang baik dan jumlah produksi yang tinggi.

Keuntungan lain dari proses MIM adalah dimensi dan bentuk produk yang dihasilkan mendekati produk akhir (*near net shape*), sehingga proses lanjutan (pemesinan) dapat diminimalisir sehingga mengurangi biaya produksi.

Tabel 2. 9 Produk yang dibuat dengan proses MIM

<i>Attribute</i>	<i>MIM</i>	<i>Powder Metallurgy</i>	<i>Casting</i>	<i>Machining</i>
<i>Density</i>	98%	85%	95%-99%	100%
<i>Strength</i>	100%	50%	98%	100%
<i>Magnetic response</i>	100%	70%	95%	98%
<i>Surface finish</i>	0,4-0,8 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$	3 $\mu\text{m}$	0,2-2 $\mu\text{m}$
<i>Wall thickness</i>	10-0,1 mm	2 mm	5 mm	2 mm
<i>Complexity</i>	High	Low	Medium	High
<i>Design flexibility</i>	High	Medium	Medium	Low
<i>Production rate</i>	High volume	High volume	Low volume	Low volume
<i>Material range</i>	High	Medium	Medium	Medium
<i>Nominal mass range</i>	0,003 g-1 kg	0,1 g-10 kg	1 g up	0,1 g

Sumber: Shinta Virhdian, dkk (2014).

Berikut produk-produk yang dibuat dengan proses MIM (*Metal Injection Molding*) yang sudah berada di pasaran:

- Otomotif: *engine timing component, fuel injector, turbocharger vanes, steering* komponen
- Konsumer: jam, engsel kacamata, *frame* kacamata, engsel telepon selular, komponen sikat gigi *elektric*.
- Dental: *orthodontic braket, implant*, alat pembersih.
- Komponen elektronik.
- Komponen senjata.
- Medis: alat bedah, implan.
- *Aerospace* dll.

Sumber: Virhdian, dkk (2014)



### 2.1.11 Parameter Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan salah satu bentuk ketidakraturan konfigurasi suatu permukaan yang kemungkinannya dapat berupa goresan atau lekuk-lekuk kecil pada suatu permukaan. Alat yang digunakan dalam pengukuran kekasaran permukaan adalah alat ukur Mitutoyo *Surface test* SJ-301. Penulisan nilai kekasaran permukaan dapat dipermudah dengan ditetapkan nilai kekasaran permukaan sesuai standar ISO yang dapat dilihat pada Tabel 2.10. dan untuk melihat nilai kekasaran permukaan dari hasil proses pemotongan dari beberapa permesinan dengan interval nilai kekasaran yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam memproduksi barang dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Nilai Kekasaran Permukaan menurut ISO

<i>Roughness Values</i> / $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	<i>Roughness Grade</i> <i>Numbers</i>
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

(Purnami,2010:2)

Parameter proses pemesinan dengan menggunakan pilihan kedalaman potong (d), kecepatan pemotongan (S) dan kecepatan pemakanan(f). Sementara, faktor yang

diukur adalah kekasaran permukaan dari permukaan komposit mesin dan gaya potong (J.S. Pang. 2014).

Terlalu rendah tingkat pemakanan yang mengarah pada pembentukan panjang alur *spiral* mengubah operasi, yang tidak diinginkan. Nilai kecepatan pemakanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan panas berlebihan (Eberhard Abele. 2015).

#### **2.1.11.1 Pengukuran Kekasaran Permukaan Secara Tidak Langsung**

Dalam pemeriksaan permukaan secara tidak langsung atau membandingkan ini ada beberapa cara yang bisa dilakukan, antara lain yaitu dengan meraba (*touch inspection*), dengan melihat/ mengamati (*visual inspection*), dengan menggaruk (*scratch inspection*), dengan mikroskop (*microscopic inspection*) dan dengan potografi permukaan (*surface photographs*).

#### **2.1.11.2 Pemeriksaan Kekasaran Permukaan Secara Langsung**

Telah dikemukakan sebelumnya bahwa pemeriksaan permukaan secara langsung adalah dengan menggunakan peralatan yang dilengkapi dengan peraba yang disebut *stylus*. Pada pembahasan alat ukur *MECRIN* dan *Dial Depth* juga telah disinggung adanya kata *stylus*. *Stylus* merupakan peraba dari alat ukur kekasaran permukaan yang bentuknya *konis* atau piramida. Bagian ujung dari *stylus* ini ada yang berbentuk rata dan ada pula yang berbentuk radius. Untuk ujung *stylus* yang berbentuk radius, jari-jari keradiusannya biasanya sekitar 2  $\mu\text{m}$ .

Bila *stylus* bergeser maka setiap perubahan yang dialami oleh *stylus* karena permukaan yang tidak halus akan nampak pada kertas grafik dari peralatan ukurnya karena perubahan ini terekam secara otomatis. Dengan adanya bagian pembesar pada peralatan ukurnya (*amplifier*) kekasaran permukaan yang tidak jelas dilihat dengan

mata akan nampak lebih jelas tergambar pada kertas di bagian *recorder* (perekam) jalannya *stylus*. Pada bagian daerah *stylus* biasanya dilengkapi dengan *skid* atau *datum attachment*. Fungsi *skid* ini pada dasarnya adalah penahan dan pengatur menyentuhnya *stylus* terhadap permukaan ukur. Bentuk *skid* ini ada yang berbentuk *kurve* dan ada pula yang rata. Jadi, perlengkapan secara umum dari peralatan ukur kekasaran permukaan dengan *stylus* yang bekerjanya berdasarkan prinsip kelistrikan adalah peraba (*stylus*), *skid*, *amplifier*, perekam (*recorder*) dan bagian pencatat semua profil kekasaran yang direkam.

Beberapa peralatan ukur permukaan yang menggunakan *stylus* ini antara lain adalah *profilometer*, *The Tomlinson Surface Meter* dan *The Taylor-Hobson Taysurf*.

#### **2.1.12 Mesin Frais CNC**

Mesin Frais CNC secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua, yaitu :

- a) Mesin Frais CNC *Training Unit*
- b) Mesin Frais CNC *Production Unit*

Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua tipe mesin tersebut adalah penggunaannya di lapangan. CNC Frais *Training Unit* dipergunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoperasian CNC yang dilengkapi dengan EPS (*External Programing System*). Mesin CNC jenis *Training Unit* hanya mampu dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan ringan dengan bahan yang relatif lunak.

Sedangkan Mesin Frais CNC *Production Unit* dipergunakan untuk produksi massal, sehingga mesin ini dilengkapi dengan assesoris tambahan seperti sistem

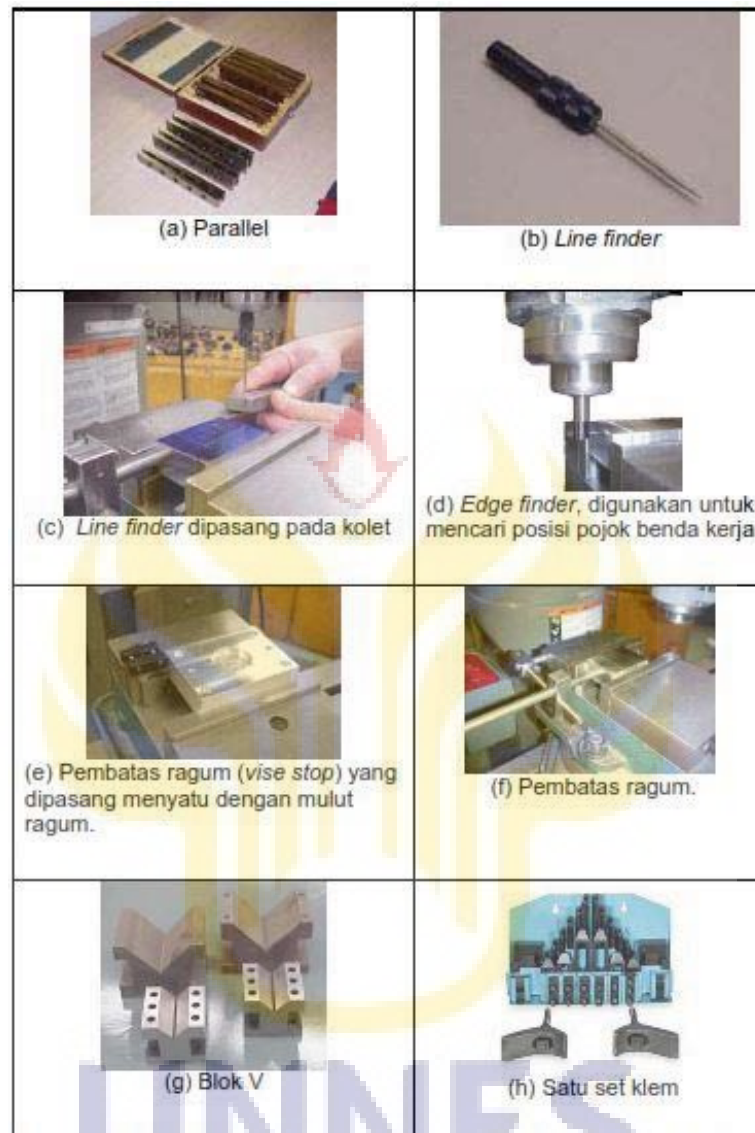
pembuka otomatis yang menerapkan prinsip kerja hidrolis, pembuangan tatal, dan sebagainya.

Gerakan Mesin Frais CNC dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini adalah mesin memungkinkan untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama pula.

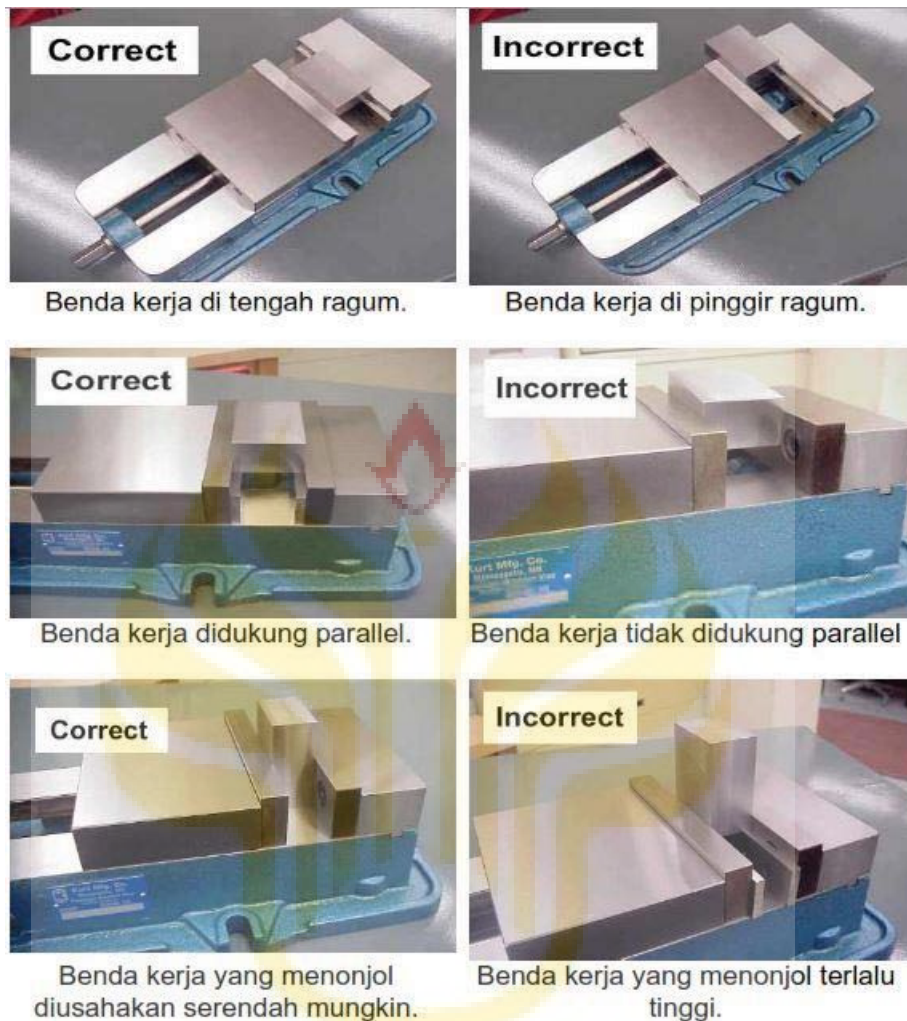


Gambar 2. 9 Mesin Frais CNC tipe bed (bed type CNC *milling machine*).  
(Sumber. Widarto, 2008:201)

Selain Mesin Frais manual, pada saat ini telah dibuat Mesin Frais dengan jenis yang sama dengan mesin konvensional tetapi menggunakan kendali CNC (*Computer Numerically Controlled*). Dengan bantuan kendali CNC (Gambar 2.9), maka Mesin Frais menjadi sangat fleksibel dalam mengerjakan berbagai bentuk benda kerja, efisien waktu dan biaya yang diperlukan, dan produk yang dihasilkan memiliki ketelitian tinggi.



Gambar 2. 10 Berbagai macam asesoris yang digunakan pada Mesin Frais  
(Widarto.2008:211)



Gambar 2. 11 Cara pengekaman benda kerja, bagian kanan pengekaman yang salah (incorrect) dan bagian kiri pengekaman yang benar (correct).  
(Widarto, 2008:215)

### 2.1.13 CNC Sinumerik 802S

Garis dasar SINUMERIK 802S adalah kontrol CNC yang dikembangkan untuk operasi dengan *drive stepper* hingga 3 dan satu analog.





Gambar 2. 12 Display CNC Sinumerik 802S

#### 2.1.14 Cairan Pendingin

Apabila selama proses pengerjaan dengan menggunakan mesin *milling* terjadi perubahan suhu panas maka akan mengurangi kualitas dari hasil benda kerja. Babic (2000) menjelaskan “masuknya panas yang tinggi adalah penyebab utama terjadinya *overheating* dan kerusakan permukaan benda kerja”. Untuk mengantisipasi terjadinya hal tersebut maka diberikan pendingin (*coolant*) fungsi dari *coolant* adalah untuk mendinginkan benda kerja yang diakibatkan dari gesekan antara permukaan benda kerja dengan pahat mesin *milling* metode ini disebut juga dengan nama *Wet Machining* yang umum digunakan pada proses pengerjaan permesinan. Jenis cairan pendingin (*drumus*) menghasilkan kekasaran dan kekerasan permukaan benda kerja hasil pembubutan rendah, sedangkan cairan pendingin (*Cutting APX dan Cutsol SP*) menghasilkan kekasaran dan kekerasan permukaan benda kerja hasil pembubutan lebih tinggi (Bima. 2012).

Untuk mengatur temperatur kerja dan tekanan *cutting tool* pada benda kerja,

maka perlu digunakan media pendingin. Menurut Rochim (2001:118) cairan pendingin yang biasa dipakai dalam proses permesinan dapat dikategorikan menjadi empat jenis yaitu :

a. *Soluble Oil*

*Cutting fluid* ini terbuat dari hasil pengolahan minyak bumi atau minyak nabati yang ditambahkan aditif yang diemulsikan dengan air sehingga partikel minyak tersebar secara merata dan stabil didalam air.

b. *Straight Oil*

*Straight oil* adalah cairan pemotongan yang terbuat dari hasil pengolahan minyak bumi atau minyak nabati ditambahkan aditif tanpa memiliki kandungan air.

c. Minyak *Sintetis*

Minyak *sintetis* adalah minyak *cutting fluid* yang tidak mengandung minyak-minyak *sintetis* ini terbuat dari bahan-bahan kimia yang terdiri dari bahan kimia pelumas, pencegah korosi, dan aditif lain. Minyak *sintetis* dapat diemulsikan dengan air.

d. Minyak Semi *Sintetis*

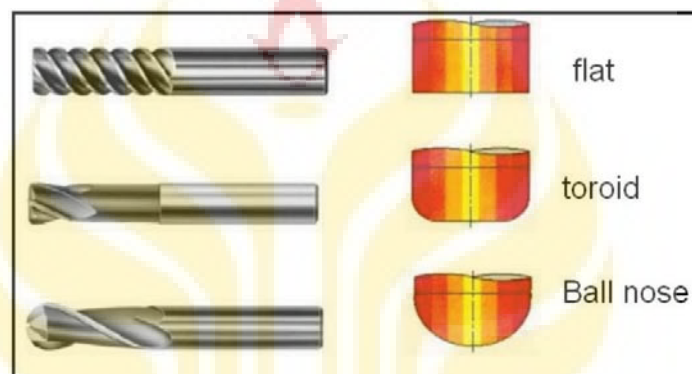
Minyak semi *sintetis* adalah cairan pemotongan yang terbuat dari bahan kimia yang terdiri dari bahan kimi pelumas, pencegah korosi, dan aditif lain serta mengandung minyak.



## 2.2 Penelitian yang Relevan

Beberapa hasil penelitian yang relevan dengan penelitian ini adalah :

- a. Hasil penelitian Zulhendri (2007) mengungkapkan bahwa tipe pahat *finishing* berpengaruh terhadap *roughness* dengan tingkat sig  $F_{uji} = 6,92 > F_{tabel} = 5,987$ , dimana penggunaan pahat *ball nose* pada proses *finishing* menghasilkan *roughness* yang lebih halus dibandingkan dengan penggunaan pahat *toroidal*.

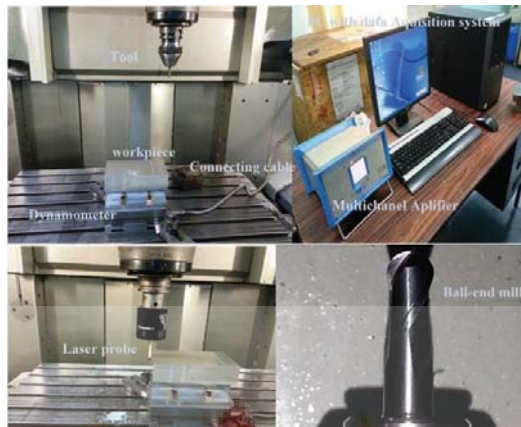


Gambar 2. 13 Tipe pahat yang digunakan flat, toroid, dan ball-nose  
Sumber: Zulhendri, dkk., (2007)

- b. Hasil penelitian Zubaidi (2012) menyimpulkan bahwa harga *feeding* berpengaruh pada tingkat kekasaran permukaan, semakin besar harga *feeding* semakin besar tingkat kekasarannya. Kecepatan putar juga mempengaruhi tingkat kekasaran semakin cepat putarannya maka semakin rendah tingkat kekasarannya.
- c. Hasil penelitian Dhiah Purbosari (2012) mengungkapkan bahwa dengan *feed rate* yang besar maka pergerakan pahat untuk melakukan pemakanan pada permukaan benda kerja akan semakin besar, sehingga akan meninggalkan alur pengerjaan yang besar dan akan semakin kasar.
- d. Hasil penelitian Jaknarin Chatthong (2013) menyimpulkan bahwa kekasaran permukaan semi aluminium 2024 proses pemakanan oleh mesin CNC *milling*

dan menggunakan alat pemotong permukaan *endmill* dengan 2 *flute* adalah untuk mengidentifikasi kekasaran permukaan hasil proses *milling*.

- e. Hasil penelitian Omar S. Zaroog (2013) menyimpulkan bahwa Untuk Pemakanan *finishing* permukaan terbaik, A1-B3-C3 ( $d = 0.4$  mm,  $S = 1500$  rpm,  $f = 60$  mm/m) ditemukan untuk menjadi kombinasi yang optimal dari semua tingkat untuk tiga faktor kontrol dari hasil analisis.
- f. Hasil penelitian Kumar (2014) mengungkapkan bahwa dalam penelitiannya, upaya telah dilakukan untuk eksperimen menyelidiki efek parameter pemakanan permukaan kasar pada proses *milling* dengan alat AISI H13 karbida yang dilapisi baja. Berdasarkan tiga faktor (kecepatan *spindle*, kecepatan pemakanan dan kedalaman potong) dan tiga tingkat percobaan dikerjakan menggunakan *software* statistik. Hal ini ditemukan bahwa kecepatan *spindle* dan *feed rate* adalah dua faktor dominan yang mempengaruhi kekasaran permukaan.
- g. Hasil penelitian Mithilesh Kumar Dikshit (2014) menyimpulkan bahwa teknik untuk memprediksi kekuatan pemotongan komponen di akhir pemakanan pada kedalaman pemakanan *aksial* adalah parameter dominan yang mempengaruhi kekuatan pemotongan *tangensial*, *aksial* dan *radial*.

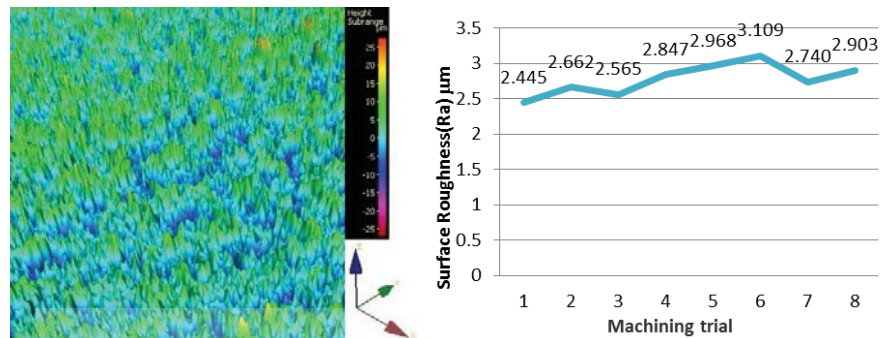


Gambar 2. 14 *Experimental setup*  
Sumber: Mithilesh Kumar Dikshit (2014)

- h. Hasil penelitian Ashwin Polishetty (2014) menyimpulkan bahwa untuk kecepatan pemakanan yang lebih rendah dari ketentuan dimensi lebih baik dan sebaliknya untuk kecepatan yang lebih tinggi. Dimensi akurasi dalam 6 percobaan, kekasaran permukaan ( $R_a$ ) adalah untuk percobaan 6 terakhir, dilakukan pada kecepatan 120 mm/min pemakanan 0,25 mm dan kedalaman pemakanan 0,3 mm.



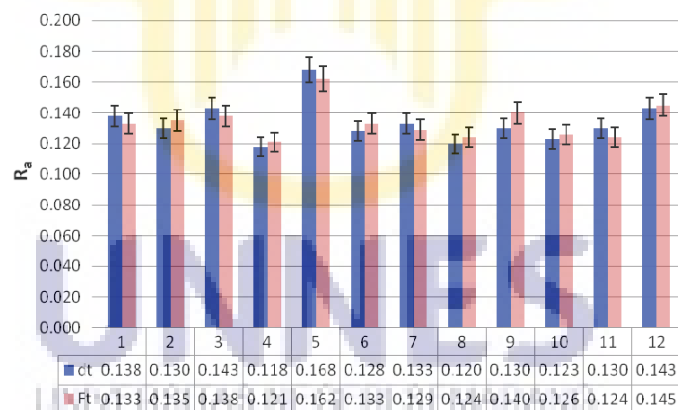
Gambar 2. 15 *Experimental set-up for thin-wall machining*  
Sumber: Ashwin Polishetty (2014)



Gambar 2. 16 3D surface profilometry of thin wall-trial 6 & Surface roughness (Ra) for thin wall machining.

Sumber: Ashwin Polishetty (2014)

- i. Hasil penelitian Surasit Rawangwong (2014) menyimpulkan bahwa putaran mesin dan kecepatan pemakanan secara signifikan mempengaruhi kekasaran permukaan semi padat 7075 AA. Hasilnya juga menunjukkan bahwa nilai kecepatan mesin yang lebih tinggi dan kecepatan pemakanan rendah akan cenderung kekasaran permukaannya berkurang.



Gambar 2. 17 Comparison of the surface roughness.

Sumber: Surasit Rawangwong (2014)

- j. Hasil penelitian Adhi Budi R (2015) mengungkapkan bahwa ada pengaruh variasi kecepatan spindel, yaitu pada kecepatan 1900 rpm, 2900 rpm dan 2400 rpm dihasilkanktingkat kekasaran permukaan benda kerja terendah yaitu 0.54  $\mu\text{m}$  dan tingkat kerataan terendah yaitu 0.02  $\mu\text{m}$  pada kecepatan spindel 2900 rpm.

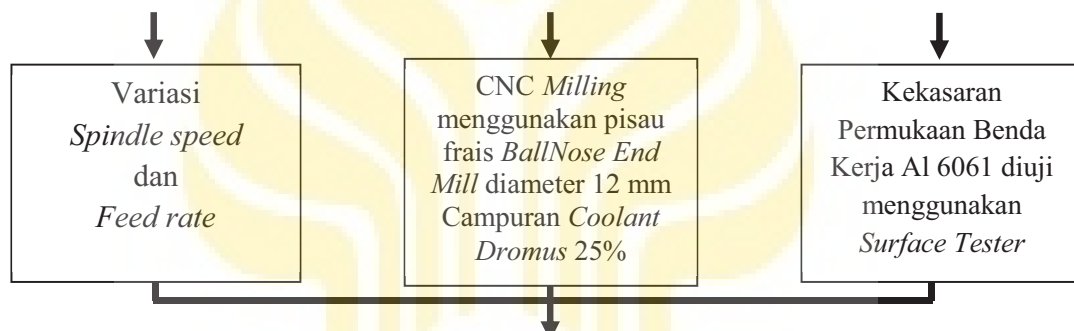
Karena semakin tinggi kecepatan spindle, maka semakin rendah tingkat kekasaran dan kerataan permukaan benda kerja.

- k. Hasil penelitian tentang analisis kekasaran permukaan benda kerja hasil proses *milling horizontal* pada baja st 37 akibat variasi kecepatan potong, kecepatan makan dan kedalaman pemakanan yang disampaikan oleh Eko Fridayadi (2013:85) sebagai berikut:

Dari hasil penelitian parameter pemotongan *milling horizontal* terhadap kekasaran permukaan dapat diketahui ... Nilai kekasaran paling rendah didapat dari variabel kecepatan potong ( $v$ ) 25 m/min, kecepatan makan ( $v$ ) 58 mm/min, dan kedalaman pemakanan ( $a$ ) 0,6 mm dengan nilai kekasaran ( $R_a$ ) sebesar 1,23  $\mu\text{m}$  dan nilai kekasaran paling tinggi didapat dari variabel kecepatan potong ( $v$ ) 40 m/min, kecepatan makan ( $v$ ) 32 mm/min, dan kedalaman pemakanan ( $a$ ) 0,2 mm dengan nilai kekasaran ( $R_a$ ) sebesar 0,71  $\mu\text{m}$ . Nilai R square adalah 0.891 atau 89,1% Hal ini menunjukkan bahwa prosentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat sebesar 89,1%.

## 2.3 Kerangka Berfikir

1. Kekasaran permukaan merupakan faktor terpenting dalam pembuatan cetakan (*moulding*) karena kekasaran permukaan cetakan sangat berpengaruh terhadap hasil pengecoran, faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan cetakan yang akan diteliti adalah *spindle speed* dan *feed rate*.
2. *Roughness* didefinisikan sebagai bagian pemakanan permukaan benda kerja yang relatif kecil dan umumnya terdiri dari pemakanan setelah dilakukan proses pengerjaan manufaktur dan ditentukan oleh faktor-faktor lain.
3. Sistem manufaktur dalam dunia industri pembuatan produk yang berkualitas tentu harus didukung dengan sarana permesinan yang memadai (baik).
4. Pada parameter *spindle speed*, dan *feed rate* berapa yang tepat digunakan untuk menentukan kekasaran terendah pada permukaan benda kerja aluminium.



1. Apakah ada pengaruh *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan aluminium 6061 ?
2. Apakah ada pengaruh *feed rate* terhadap kekasaran permukaan aluminium 6061 ?
3. Apakah ada interaksi antara *spindle speed* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan aluminium 6061 ?

1. Pengaplikasian Mastercam sebagai media untuk *mendesign* dan melakukan simulasi *CNC Milling*. Menganalisis pengaruh *Spindle speed*, dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan benda kerja Aluminium.
2. Untuk menganalisis kekasaran permukaan benda kerja, sehingga data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai acuan penelitian terkait berikutnya.
3. Mengetahui parameter *spindle speed*, dan *feed rate* yang tepat digunakan untuk menentukan kekasaran terendah dengan kedalaman 0,2 mm pada permukaan aluminium 6061.

## 2.4. Hipotesis

Hipotesis adalah suatu jawaban yang sifatnya sementara terhadap permasalahan penelitian, sampai terbukti melalui data yang terkumpul (Suharsimi Arikunto, 2010 : 110). Berdasarkan teori yang telah diuraikan di atas, maka diajukan hipotesis sebagai berikut :

a) Pengaruh *Spindle Speed* (A)

$H_0$  : *Spindle Speed* tidak mempengaruhi nilai kekasaran permukaan.

$H_a$  : *Spindle Speed* mempengaruhi nilai kekasaran permukaan.

b) Pengaruh *Feed Rate* (B)

$H_0$  : *Feed Rate* tidak mempengaruhi nilai kekasaran permukaan.

$H_a$  : *Feed Rate* mempengaruhi nilai kekasaran permukaan.

c) Interaksi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* (AxB)

$H_0$  : Nilai kekasaran permukaan karena *Spindle Speed* tidak tergantung pada *Feed Rate* dan nilai kekasaran karena *Feed Rate* tidak tergantung pada *Spindle Speed*.

$H_a$  : Nilai kekasaran permukaan karena *Spindle Speed* tergantung pada *Feed Rate* dan nilai kekasaran karena *Feed Rate* tergantung pada *Spindle Speed*.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pengaruh variasi *spindle speed* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan Al 6061 pada proses *surface milling* yang dilakukan dan mengacu pada rumusan masalah, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Tidak ada pengaruh *Spindle speed* terhadap kekasaran permukaan (Ra) Al 6061 pada proses *surface milling*. Nilai kekasaran permukaan pada variasi *spindle speed* 1000 rpm, 2000 rpm dan 3000 rpm secara berturut mengalami *trend* fluktuatif, yaitu terjadinya penurunan pada 3000 rpm, *feed rate* 60 mm/min dan peningkatan kekasaran permukaan pada 3000 rpm, *feed rate* 40 mm/min. Kekasaran permukaan terendah yaitu 0,101  $\mu\text{m}$  terjadi pada kecepatan putaran spindel 1000 rpm dengan *Feed Rate* 20 mm/min.
2. Ada pengaruh *Feed rate* terhadap kekasaran permukaan (Ra) Al 6061 pada proses *surface milling*. Nilai kekasaran permukaan pada variasi kecepatan pemakanan 20 mm/min, 40 mm/min, dan 60 mm/min secara berturut mengalami *trend* fluktuatif, yaitu terjadinya peningkatan kekasaran permukaan pada *feed rate* 40 mm/min, *spindle speed* 3000 rpm dan mengalami penurunan kekasaran permukaan pada *feed rate* 60 mm/min, *spindle speed* 3000 rpm. Kekasaran permukaan terendah yaitu



0,101  $\mu\text{m}$  terjadi pada *feed rate* 20 mm/min dengan *spindle speed* 3000 rpm.

3. Tidak ada interaksi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061, hasil pengujian Interaksi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap nilai kekasaran permukaan Al 6061 pada proses CNC *Milling* adalah Nilai kekasaran permukaan karena *Spindle Speed* tidak tergantung pada *Feed Rate* dan nilai kekasaran karena *Feed Rate* tidak tergantung pada *Spindle Speed*.
4. Parameter *spindle speed*, dan *feed rate* yang tepat digunakan untuk menentukan nilai kekasaran terendah pada permukaan aluminium 6061 menggunakan *Spindle Speed* 1000 rpm dan *Feed Rate* 20 mm/min menghasilkan rata-rata kekasaran permukaan spesimen Al 6061 0,101  $\mu\text{m}$ . Hasil analisis data kekasaran permukaan Al 6061 dapat digunakan sebagai rujukan atau referensi untuk bahan penelitian yang sejenis.

## 5.2. Saran

1. Bagi pihak Jurusan Teknik Mesin UNNES agar lebih melengkapi fasilitas untuk uji kekasaran permukaan (*surface tester*) agar mahasiswa tidak harus melakukan pengujian diperguruan tinggi lain.
2. Mempersiapkan segala kebutuhan penelitian secara terstruktur dan sangat diperlukan kalibrasi alat uji untuk keakuratan data.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhi Budi Ramadhani, Mochamad Arif 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*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Arikunto, S. 2006. *Prosedur penelitian: Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Ashwin Polishetty, Moshe Goldberg, Guy Littlefair, Mahesh Puttaraju, Prasad Patil Akshay Kalra. 2014. A PRELIMINARY ASSESSMENT OF MACHINABILITY OF TITANIUM ALLOY TI 6AL 4V DURING THIN WALL MACHINING USING TROCHOIDAL MILLING. *Procedia Engineering*, 97 (online), (<http://www.sciencedirect.com>), diakses 13 Juni 2015.
- Assegaf Navy A'ang dan Arya Mahendra Sakti. 2014. *Pengaruh Jenis Pahat, Kedalaman Pemakanan, Dan Jenis Cairan Pendingin Terhadap Tingkat Kekasaran Dan Kerataan Permukaan Baja St. 41 Pada Proses Milling Konvensional*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Bosan C.B., 1998 ,” Computer Aided Design and Manufacture ”, John Wiley dan Sons.
- Darmanto, Joko. (2007). *Modul CNC Milling*. Surakarta: Yudhistira.
- Eberhard Abele, Steffen Braun, Philipp Schraml. 2015. Holistic Simulation Environment for Energy Consumption Prediction of Machine Tools. *Procedia CIRP*, 29 (online), (<http://www.sciencedirect.com>), diakses 13 Juni 2015.
- Fridayadi Eko. 2013. *Analisis Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Proses Milling Horizontal Pada Baja St 37 Akibat Variasi Kecepatan Potong, Kecepatan Makan Dan Kedalaman Pemakanan*. Jember: Universitas Jember.
- Hariyanto Alfian Eko, Moch. Arif Irfa'i. 2014. Pengaruh Jenis Pahat, Jenis Pendingin Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja St 42 Menggunakan *Software Mastercam* Pada Mesin Cnc Mori Seiki C12000. *JTM*, Volume 03 Nomor 01 Tahun 2014, 155-160. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- J.S. Pang, M.N.M. Ansari, Omar S. Zaroog, Moaz H. Ali, S.M. Sapuan. 2014. Taguchi design optimization of *machining* parameters on the CNC end *milling*

- process of halloysite nanotube with aluminium reinforced epoxy matrix (HNT/Al/Ep) hybrid composite. *Housing and Building National Research Center*, 10 (online), (<http://ees.elsevier.com/hbrej>), diakses 13 Juni 2015.
- M. Kumermanis, J. Rudzitis, N. Mozga, A. Ancans, A. Grislis. 2014. "Investigation into the accuracy of 3D *surface* roughness characteristics", *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Nr. 2, DOI: 10.2478/lpts-2014-0013, 2014. (online), (<http://www.sciencedirect.com>), diakses 13 Juni 2015.
- Mahdi Eynian. 2014. Frequency Domain Study of Vibrations Above and Under Stability Lobes in *Machining* Systems. *Procedia CIRP*, 14 (online), (<http://www.sciencedirect.com>), diakses 13 Juni 2015.
- Mithilesh Kumar Dikshit, Asit Baran Puri, Atanu Maity. 2014. Experimental Study of Cutting Forces in Ball End *Milling* of Al2014-T6 Using Response *Surface* Methodology. *Procedia Materials Science*, 6 (online), (<http://www.sciencedirect.com>), diakses 13 Juni 2015.
- Mohamad Syahmi Shahrom, Nafrizuan Mat Yahya, dan Ahmad Razlan Yusoff. 2013. Taguchi Method Approach on Effect of Lubrication Condition on *Surface* Roughness in *Milling* Operation. *Procedia Engineering*, 53 (online), (<http://www.sciencedirect.com>), diakses 13 Juni 2015.
- Purbosari Dhiah, Saputro Herman. 2012. *Karakterisasi Tingkat Kekasaran Permukaan Baja ST 40 Hasil Pemesinan CNC Milling ZK 7040 Efek Dari Kecepatan Pemakanan (Feed Rate) Dan Awal Waktu Pemberian Pendingin*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Purwaningrum Yustiasih, M. Fatchan. 2013. *Pengaruh Arus Listrik Terhadap karakteristik Fisik-Mekanik Sambungan Las Titik Logam Dissimilar Al-Steel*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- R. Joliet, A. Byfut, T. Surmann, A. Schröder. 2013. Incremental generation of hierarchical meshes for the thermo mechanical simulation of NC-*milling* processes. *Procedia CIRP*, 12. (online), (<http://www.sciencedirect.com>), diakses 13 Juni 2015.
- Ristanto Bambang. 2006. *Pengaruh Feeding Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Pada Proses Penyekrapan Rata Dengan Spesimen Baja Karbon*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

- Saputra Bima Aditya, Arya Mahendra. 2012. *Pengaruh Kedalaman Dan Cairan Pendingin Terhadap Kekasaran Dan Kekerasan Permukaan Pada Proses Bubut Konvensional*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Sumbodo, W. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2*. Departemen Pendidikan Nasional.
- Surasit Rawangwong, Jaknarin Chatthong, Romadorn Burapa, Worapong Boonchouytan. 2013. An Investigation of Optimum Cutting Conditions in Face Milling Aluminum Semi Solid 2024 Using Carbide Tool. *Energy Procedia*, 34 (online), (<http://www.sciencedirect.com>), diakses 13 Juni 2015.
- Surasit Rawangwong, Jaknarin Chatthong, Worapong Boonchouytan, Romadorn Burapa. 2014. Influence of Cutting Parameters in Face Milling Semi-Solid AA 7075 Using Carbide Tool Affected the Surface Roughness and Tool Wear. *Energy Procedia*, 56 (online), (<http://www.sciencedirect.com>), diakses 13 Juni 2015.
- Suryabrata, Sumadi. 2012. *Metodologi Penelitian cetakan ke-23*. Penerbit: PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Virdhian Shinta, Pujiyanto. 2014. *Pengembangan Komponen Near Shape Berbiaya Rendah Dengan Proses Metal injection Moulding*. Bandung: Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian.
- Walpole, Ronald E. 1995. *Pengantar Statistika Edisi ke-3*. Penerbit: PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Zubaidi, A., Syafa'at, I., dan Darmanto, 2012, *Pengaruh Kecepatan Putar dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Material FCD 40 pada Mesin Bubut CNC*, Jurnal Momentum Fakultas Teknik, Vol.8, 2012, 40-47, Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Zulhendri, Kiswanto, G., dan Rosa, Y., 2007, *Pengaruh Tipe Pahat Dan Arah Pemakanan Permukaan Berkontur pada Pemesinan Milling Awal dan Akhir Terhadap Kekasaran Permukaan*. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 4, No.1, Juni 2007, ISSN 1829-8958, Politeknik Negeri Padang.