

**PENGARUH PARAMETER DAN PERBEDAAN PROSES
PEMOTONGAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
PADA PEMOTONGAN *END MILL***

**SKRIPSI
KOSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**FIKRI FAKHRUDDIN M.
NIM. 0910620050-62**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PARAMETER DAN PERBEDAAN PROSES
PEMOTONGAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
PADA PEMOTONGAN *END MILL***

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

FIKRI FAKHRUDDIN M.

NIM. 0910620050 – 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.

NIP. 19591128 198710 1 001

Purnami., ST., MT

NIP. 19770707 200812 1 005

PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan YME, atas anugerah yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan benar. Atas kebesaran dan keagungan-Nya, penulis selalu termotivasi dan bersyukur dalam penyusunan skripsi ini.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Dr. Eng, Anindito Purnowidodo, ST., M. Eng, selaku Skretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. CSE. selaku Ketua Kelompok Kosentrasi Produksi.
4. Ir. Suharto, MT. selaku Dosen Wali.
5. Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief., MT. selaku Dosen Pembimbing I.
6. Purnami., ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II.
7. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin.
8. Kedua orang tua yang tercinta Bapak Abdullah Mas'ud dan ibu Puji Harti.
9. Saudara-saudara penulis Lia Muspika Wati dan Putri Elfa Mas'udia yang selalu menjadi inspirasi bagi penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
10. Staf dan Asisten Lab. Otomasi Manufaktur (NC/CNC).
11. Teman-teman saya khususnya angkatan 2009, Black Mamba.

Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, masyarakat pada umumnya dan mahasiswa Teknik Mesin pada khususnya.

Malang, Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Pemotongan Logam.....	6
2.3 Mesin <i>Milling</i>	7
2.3.1 Klasifikasi Mesin <i>Milling</i>	8
2.3.2 Mekanisme <i>Milling</i>	9
2.4 Mekanisme Pembentukan Geram.....	10
2.5 <i>End Mill</i>	12
2.5.1 Bentuk Pahat <i>End Mill</i>	12
2.5.2 Fitur <i>End Mill</i>	13
2.6 Parameter Pemotongan.....	15
2.6.1 Kecepatan Potong (<i>Cutting Speed</i>).....	15
2.6.2 Kecepatan Pemakanan (<i>Feed Rate</i>).....	17
2.6.3 Kedalaman Pemakanan (<i>Dept of Cut</i>).....	17
2.7 Material Benda Kerja.....	18
2.8 Kekasaran Permukaan.....	19
2.8.1 Alat Ukur Kekasaran Permukaan.....	21
2.9 Hipotesa Penelitian.....	23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian.....	24
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan.....	24
3.3 Variabel Penelitian	24
3.4 Spesifikasi Mesin, Material Benda Kerja dan Pahat	25
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	26
3.6 Pengolahan Data.....	28
3.7 Analisa Grafik.....	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian	30
4.2 Analisa dengan Metode Regresi Berganda.....	31
4.2.1 Metode Regresi Berganda pada Proses Pemotongan <i>Climbing</i>	31
4.2.2 Metode Regresi Berganda pada Proses Pemotongan <i>Conventional</i>	34
4.3 Analisa Grafik.....	37
4.3.1 Analisa Grafik Hubungan antara Kecepatan Pemakanan dan Kecepatan Putar Spindel dengan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan <i>Climbing</i>	37
4.3.2 Analisa Grafik Hubungan antara Kecepatan Pemakanan dan Kecepatan Putar Spindel dengan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan <i>Conventional</i>	38
4.3.3 Analisa Grafik Hubungan antara Kekasaran Permukaan dengan Proses Pemotongan <i>Climbing</i> dan <i>Conventional</i>	40

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Data untuk Mesin <i>Milling</i>	16
Tabel 2.2	Karakteristik Aluminium	18
Tabel 2.3	Nilai Kekasaran Permukaan.....	22
Tabel 2.4	Kemampuan Proses Mesin untuk Kekasaran Permukaan.....	23
Tabel 4.1	Tabel Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (μm) pada Pemakanan <i>Climbing</i>	30
Tabel 4.2	Tabel Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (μm) pada Pemakanan <i>Conventional</i>	30
Tabel 4.3	Multiple Linear Regression : <i>Model Summary</i> pada proses <i>Climbing</i> (hasil SPSS)	31
Tabel 4.4	Hasil Tes ANOVA (Hasil SPSS).....	31
Tabel 4.5	<i>Multiple Linear Regression :Coefficients</i> pada proses <i>Climbing</i> (Hasil SPSS).....	32
Tabel 4.6	<i>Multiple Linear Regression : Model Summary</i> pada proses <i>Conventional</i> (Hasil SPSS)	34
Tabel 4.7	Hasil Tes ANOVA (Hasil SPSS).....	34
Tabel 4.8	Multiple Linear Regression : <i>Coefficients</i> pada Proses <i>Conventional</i> (Hasil SPSS).....	35

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Mesin Milling	7
Gambar 2.2	Dasar operasi milling (a) slab milling, (b) face milling, (c) and milling.	8
Gambar 2.3	Pahat <i>Slab Mill</i>	8
Gambar 2.4	Pahat <i>Face Mill</i>	9
Gambar 2.5	Pahat <i>End Mill</i>	9
Gambar 2.6	<i>Up Milling</i>	10
Gambar 2.7	<i>Down Milling</i>	10
Gambar 2.8	Pahat <i>End Mill</i>	13
Gambar 2.9	Desain Pahat <i>End Mill</i>	13
Gambar 2.10	Penampang <i>End Mill</i>	14
Gambar 2.11	Pahat <i>End Mill</i>	14
Gambar 2.12	<i>Dept of Cut</i>	17
Gambar 2.13	Profil Kekasaran Permukaan	19
Gambar 2.14	Mitutoyo Surfetest SJ-301.....	22
Gambar 3.1	Rencana Grafik Hubungan antara Kecepatan Pemakanan dan Kecepatan Putar Spindel dengan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan <i>Climbing</i> maupun <i>Conventional</i>	29
Gambar 3.2	Grafik Hubungan antara Kekasaran Permukaan dengan Proses Pemotongan <i>Climbing</i> dan <i>Conventional</i>	29
Gambar 4.1	Perbandingan antara Kekasaran Permukaan dengan Parameter Pemotongan pada Proses <i>Climbing</i>	33
Gambar 4.2	Perbandingan antara kekasaran permukaan dengan parameter pemotongan pada proses <i>Conventional</i>	36
Gambar 4.3	Grafik hubungan antara kecepatan pemakanan dan kecepatan putar spindel terhadap kekasaran permukaan pada pemotongan <i>Climbing</i>	37

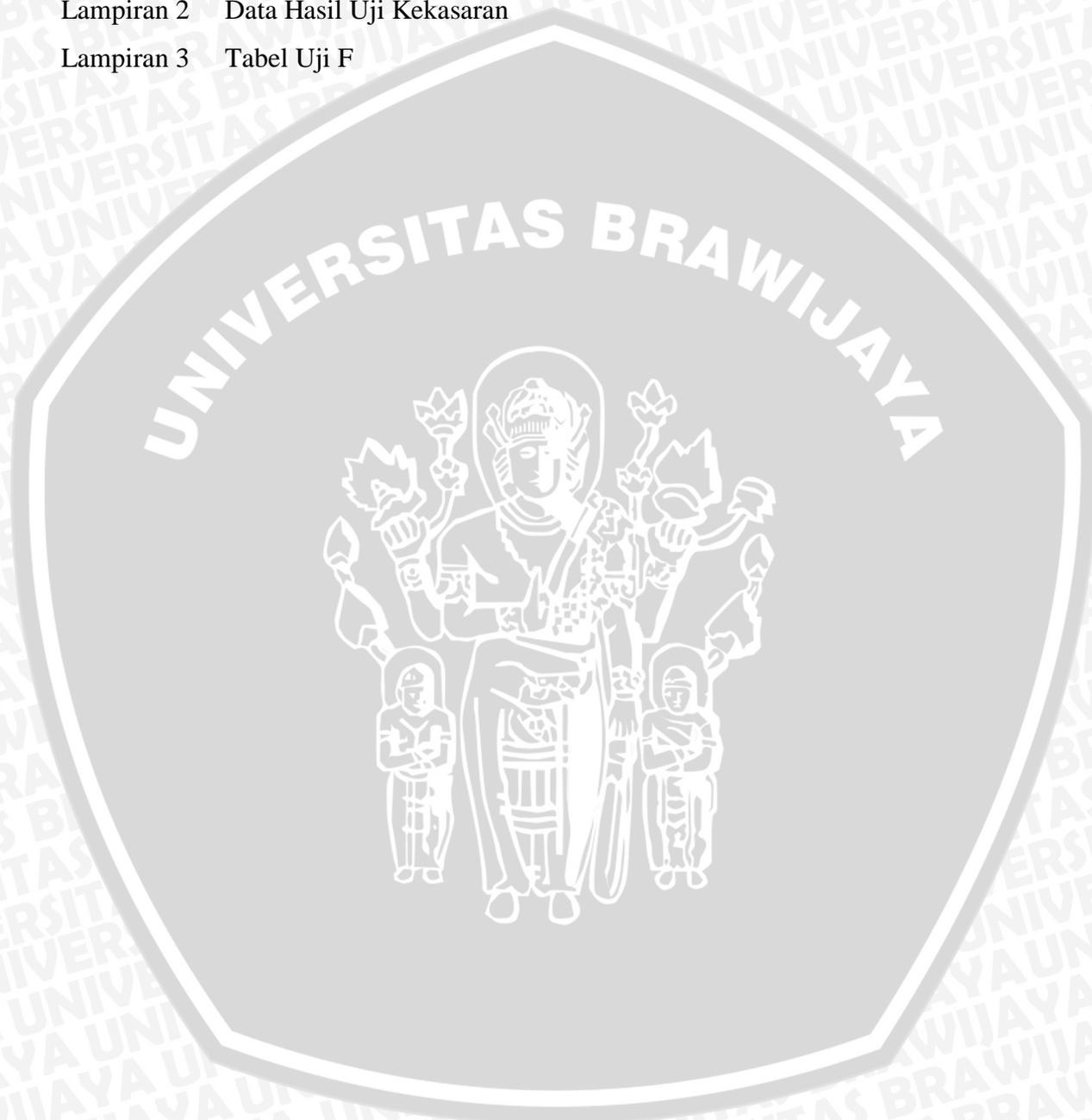
Gambar 4.4 Hubungan antara kecepatan pemakanan dan kecepatan putar spindel terhadap kekasaran permukaan pada pemotongan *Conventional*..... 38

Gambar 4.5 Hubungan antara kekasaran permukaan dengan proses pemotongan *Climbing* dan *Conventional*..... 40



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Hasil <i>Print Out</i> Mitutoyo <i>Surftest</i>
Lampiran 2	Data Hasil Uji Kekasaran
Lampiran 3	Tabel Uji F



RINGKASAN

FIKRI FAKHRUDDIN M., Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Pengaruh Parameter dan Proses Pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan pada Pemotongan End Mill*, Dosen Pembimbing: Achmad As'ad Sonief dan Purnami.

Proses *milling* merupakan salah satu proses perautan yang sering digunakan. Sejalan dengan semakin seringnya penggunaan proses *milling*, permasalahan akan kekasaran permukaan hasil proses *milling* tidak dapat dihindari karena kekasaran permukaan akan mempengaruhi kualitas serta keandalan benda kerja yang dihasilkan.

Pada penelitian kali ini menggunakan pahat *End Mill* dari bahan HSS dengan pemakanan *vertical milling* pada benda kerja Aluminium 6061. Menggunakan 3 variasi kecepatan pemakanan 100,200 dan 300 mm/menit dan 3 variasi kecepatan putar spindle 700,800 dan 900 rpm pada proses pemakanan *Climbing* dan *Conventional*. Masing-masing spesimen diuji kekasaran permukaannya (R_a).

Hasil dari penelitian diolah menggunakan *Multiple Regression Linear* untuk mendapatkan model matematis dari proses permesinan yang dilakukan. Hasil yang didapatkan berupa 2 persamaan yaitu pada proses *Climbing* $R_a = 1,171 + 0,002x_1 - 0,001x_2$ dan pada proses *Conventional* $R_a = 1,699 + 0,003x_1 - 0,002x_2$. dimana x_1 adalah Kecepatan Pemakanan dan x_2 adalah Kecepatan Putaran Spindel, dengan koefisien regresi kesesuaian terhadap data hasil pengujian masing-masing proses sebesar 90% dan 92%. Hal ini dapat digunakan untuk memprediksi nilai kekasaran permukaan untuk memilih parameter pemotongan yaitu kecepatan Putaran Spindel dan Kecepatan Pemakanan. Kecepatan pemakanan x_1 berpengaruh positif terhadap kekasaran permukaan, sedangkan kecepatan putar spindle x_2 berpengaruh negatif. Nilai kekasaran permukaan pada proses *Climbing* lebih rendah dibandingkan dengan *Conventional*.

Kata kunci : proses pemotongan logam, *end mill*, kekasaran permukaan, *multiple regression linier*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin *milling* adalah suatu mesin perkakas yang menghasilkan sebuah bidang datar dimana pisau berputar dan benda bergerak melakukan langkah pemakanan, sedangkan proses *milling* adalah suatu proses permesinan yang pada umumnya menghasilkan bentukan bidang datar (bidang datar ini terbentuk karena pergerakan dari meja mesin) dimana proses pengurangan material benda kerja terjadi karena adanya kontak antara alat potong (*cutter*) yang berputar pada *spindle* dengan benda kerja yang tercekam pada meja mesin. Mesin *milling* jika dikolaborasikan dengan suatu alat bantu atau alat potong pembentuk khusus, akan dapat menghasilkan beberapa bentukan-bentukan lain yang sesuai dengan tuntutan produksi, misal : Uliran , *Spiral* ,Roda gigi, *Cam*, *Drum Scale*, Poros bintang, Poros cacing,dll.

Pada Tahun 1818 mesin *milling* pertama kali ditemukan di New Heaven Conecticut oleh Eli Whitney. Pada tahun 1952 John Parson mengembangkan *milling* dengan kontrol basis angka (*Milling Numeric Control*) dalam perkembangannya mesin *milling* mengalami berbagai perkembangan baik secara mekanis maupun secara teknologi pengoperasiannya. Proses *milling* merupakan salah satu proses perautan yang sering digunakan. Sejalan dengan semakin seringnya penggunaan proses *milling*, permasalahan akan kekasaran permukaan tidak dapat dihindari karena kekasaran permukaan akan mempengaruhi kualitas serta keandalan benda kerja yang dihasilkan.

Kekasaran permukaan pada hakekatnya merupakan ketidak teraturan konfigurasi permukaan yang bisa berupa guratan atau kawah kecil pada permukaan. Guratan atau kawah kecil tersebut akan menjadi takikan (*notch*) yang merupakan tempat konsentrasi tegangan sehingga apabila dikenai beban tinggi terutama bila beban tersebut berfluktuasi akan berakibat keretakan. Jika pembebanan dilakukan terus-menerus pada material tersebut akan dapat mengakibatkan terjadinya patah.



Selain itu proses pengkaratan selalu dimulai dari titik inti karat. Pada permukaan yang lebih kasar, kemungkinan timbulnya titik inti karat lebih besar dari pada permukaan yang lebih halus. Hal itu disebabkan karena permukaan yang kasar terdapat lebih banyak guratan dan kawah kecil yang merupakan tempat yang mudah digenangi oleh cairan yang tidak dikehendaki. Apabila cairan yang tidak dikehendaki tersebut bersifat korosif, akan berakibat menurunnya kekuatan mekanisnya.

Beberapa faktor dari sistem pemotongan yang dapat mempengaruhi kekasaran pada permukaan benda kerja yang dihasilkan antara lain adalah parameter pemotongan, geometri pahat dan proses permesinan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan kekasaran permukaan yang baik dengan didapatkannya parameter pemotongan yang tepat. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa kekasaran permukaan tergantung pada putaran spindel, kecepatan pemakanan (*feed rate*) dan kedalaman pemakanan [Handoko dkk.,2009]. Selain itu proses pemakanan juga berpengaruh terhadap kekerasan permukaan. Pengaruh pemakanan pada proses *up (conventional)* dan *down (climb) milling* menggunakan pahat *end mill* telah dilakukan. Hasil penelitian tersebut didapatkan perbedaan kekasaran permukaan pada tiap proses pemakanan. [Alfatih,2010]

Penelitian lainnya telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses pemakanan *up* dan *down milling* terhadap dimensi benda kerja menggunakan pahat *end mill*. Hasil yang diperoleh bahwa dimensi benda kerja hasil potong dengan cara *climbing* akan lebih besar dari dimensi yang diharapkan, tetapi pada cara *conventional* maka dimensi yang didapat lebih kecil [Subagio,2006]. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh parameter dan perbedaan pemotongan khususnya menggunakan pahat *end mill* pada pemakanan *vertical milling* terhadap kekasaran pada permukaan samping.

Parameter pemotongan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pengaruh kecepatan spindel dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan. Untuk mengetahui sejauh mana perbedaan proses pemakanan *up* dan *down milling* terhadap kekasaran permukaan, maka akan dilakukan pemakanan dengan benda

kerja dan parameter yang sama. Dari sini didapat pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada proses pemotongan *End Mill*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh Kecepatan Putaran Spindel dan Kecepatan Pemakanan terhadap nilai Kekasaran Permukaan samping pada proses pemakanan *End Mill* dengan pahat jenis HSS terhadap Aluminium 6061.
2. Bagaimana perbedaan nilai Kekasaran Permukaan jika dibandingkan proses pemakanan *End Mill* menggunakan pahat jenis HSS terhadap Aluminium 6061 dengan cara *Climbing* dan cara *Conventional*.
3. Bagaimana cara memprediksi nilai Kekasaran Permukaan dalam menentukan parameter permesinan.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjawab rumusan masalah di atas dan menghindari meluasnya permasalahan yang ada, maka dalam penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Parameter penelitian meliputi Kecepatan Putaran Spindel 600, 800 dan 900 rpm dan Kecepatan Pemakanan 100, 200 dan 300 mm/menit.
2. Proses permesinan yang dilakukan adalah *vertical milling*
3. Penelitian dilakukan dalam batasan kemampuan mesin CNC yang ada di Laboratorium Otomasi Manufaktur NC/CNC Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Benda kerja yang digunakan adalah Aluminium 6061
5. Pahat *End Mill* HSS dengan diameter 10 mm dan jumlah gigi sebanyak 2
6. Kedalaman pemotongan dioperasikan pada 1,5 mm
7. Perbedaan proses yang dilakukan yaitu proses *Climbing* dan proses *Conventional*
8. Pengujian kekasaran dilakukan pada sisi samping setelah proses pemotongan dengan pahat *End Mill*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh nilai Kecepatan Putaran Spindel dan Kecepatan Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan samping pada proses pemakanan *End Mill* dengan pahat jenis HSS terhadap Aluminium 6061.
2. Mengetahui perbedaan nilai Kekasaran Permukaan jika dibandingkan proses pemakanan *End Mill* menggunakan pahat jenis HSS terhadap Aluminium 6061 dengan cara *Climbing* dan cara *Conventional*.
3. Untuk dapat memprediksi nilai Kekasaran Permukaan dalam pemilihan Parameter Pemotongan yaitu Kecepatan Putaran Spindel dan Kecepatan Pemakanan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Sebagai masukan bagi industri manufaktur dalam proses pemotongan logam khususnya pada mesin milling guna meningkatkan produktifitas dan kualitas produk yang dihasilkan
2. Dapat dijadikan sebagai referensi tambahan bagi peneliti lebih lanjut mengenai pemotongan logam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Handoko,dkk.(2009), melakukan penelitian mengenai parameter permesinan optimum pada operasi CNC End Milling. Penelitian tersebut dilakukan dengan pemotongan flat mill 16 mm pada bahan AISi dengan pahat end mill HSS empat fluet. Hasil penelitian didapatkan bahwa kekasaran permukaan (R_a) terbukti tergantung pada *spindle speed* (n), *federate* (f) serta *depth of cut* (t). produktifitas tertinggi dapat diraih pada *feedrate* = 500 mm/menit, *depth of cut* = 1,5 mm serta *spindle speed* = 1800-2000 rpm.

Alfath (2010), telah melakukan penelitian pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada proses *up* dan *downmilling* dengan pendekatan *vertical milling*. Penelitian tersebut menggunakan mesin milling EMCO MAXIMAT SUPER 11 dengan kemampuan feed rate 0,003-0,30 mm/putaran dan putaran mesin 120-2000 rpm dan bahan material yang digunakan dalam percobaan ini adalah SS42 dengan kekerasan 80 HB. Pahat yang dipakai dalam penelitian ini adalah pahat End Mill HSS dengan diameter 14 mm dan jumlah gigi sebanyak 4. Penelitian ini menghasilkan bahwa kedalaman pemotongan dan kecepatan pemakanan mempunyai pengaruh yang positif terhadap kekasaran permukaan, sedangkan kecepatan potong berpengaruh negatif. didapat juga persamaan regresi pada proses down milling yaitu $R_a = 1,87V_c^{-0,152} \cdot V_f^{0,120} \cdot a^{0,274}$ sedangkan pada proses up milling $R_a = 2,36V_c^{-0,161} \cdot V_f^{0,086} \cdot a^{0,20}$ sehingga didapat kekasaran permukaan yang lebih halus pada proses down milling dari pada proses up milling.

Subagio (2006), melakukan penelitian terhadap perbedaan hasil potong dari kedua cara pemotongan pahat yang digunakan yaitu cara *climbing* dan cara *conventional*. Dalam penelitian ini menggunakan *Milling CNC* dengan kontrol *Fanuc* dan bahan St. 37 (baja lunak) dengan pahat *end mill* dengan diameter 16 mm, 4 mata dengan kecepatan potong 21.000 mm/mnt, putaran spindle 418 put/menit, *feeding* 133 mm/menit. Hasil yang didapatkan dimensi benda

kerja hasil potong cara *climbing* akan lebih besar dari dimensi yang diharapkan yaitu sebesar 0,094 mm, tetapi dengan cara *conventional* maka dimensi yang didapat lebih kecil yaitu sebesar – 0,116 mm. data ini berlaku hanya untuk proses pengasaran. Penggabungan yang didapat dari hasil penggabungan kedua cara tersebut adalah antara 0,0064 mm sampai 0,0058 mm.

Chen, C. H.,dkk. (2012), telah melakukan penelitian tentang pengaruh kekasaran permukaan pada *end mill* dalam pemotongan optimal untuk mesin berkecepatan tinggi. Penelitian ini menggunakan mesin HSC untuk pemakanan benda kerja *DIN 1.2344 tool steel*. Penelitian ini mampu menghasilkan kekasaran permukaan sebesar $0,23 \pm 0,03 \mu\text{m}$, dengan kecepatan pemotongan 251,32 m/mnt, *feed per tooth* 0,1 mm/tooth, *axial cutting depth* 1,0 mm dan *radial cutting depth* 0,75 mm.

Pada penelitian kali ini menggunakan proses pemakanan benda kerja menggunakan *up* dan *down milling*. Parameter yang digunakan dalam proses pemakanan yaitu kecepatan putaran spindle dan kecepatan pemakanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukaan dengan parameter pemakanan dan proses yang berbeda. Penelitian ini menggunakan 3 variasi kecepatan putaran spindle dan 3 variasi kecepatan pemakanan. Kemudian dilakukan percobaan menggunakan dua proses yang berbeda yaitu *up* dan *downmilling*.

2.2. Pemotongan Logam

Pemotongan logam dalam kaitannya dengan permesinan merupakan suatu pengerjaan yang digunakan untuk mengubah suatu produk dari logam antara lain dengan cara memotong menggunakan mesin gergaji, mesin bubut atau mesin milling. Dari beberapa pemotongan logam, proses pembentukan dengan mesin perkakas merupakan cara yang banyak digunakan dalam pembuatan produk.

Permesinan merupakan salah satu teknologi proses produksi yang banyak digunakan dalam industri pembuatan komponen-komponen mesin, untuk itu tidaklah mengherankan apabila sampai saat ini penelitian mengenai permesinan tetap dilakukan, disamping untuk menghasilkan kualitas hasil pemotongan (*surface finish*) yang semakin baik, juga untuk mengetahui lebih jauh hubungan

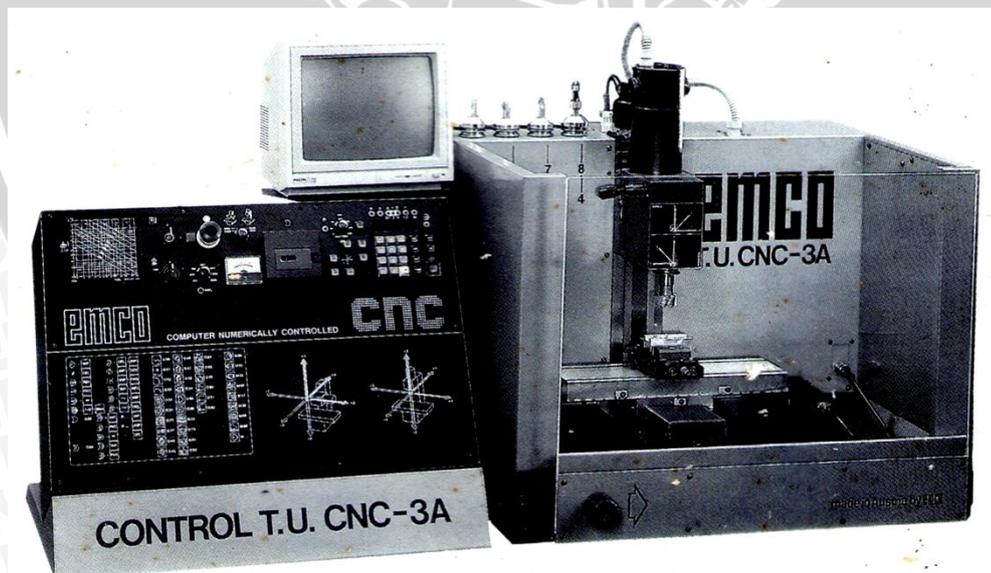
antara beberapa parameter-parameter pemotongan yang menjadi dasar pengembangan perencanaan permesinan yang optimum. Untuk menghasilkan mutu suatu produk yang baik dalam proses permesinan sangat dipengaruhi oleh parameter pemotongan.

2.3. Mesin *Milling*

Mesin *milling* adalah suatu proses dimana alat potong berputar pada sumbunya dan melakukan pemakanan terhadap benda kerja. Mesin *milling* dilakukan untuk pemakanan permukaan benda kerja dengan akurasi yang tinggi. Proses pemakanan dilakukan satu kali atau dua kali putaran dengan satu atau lebih mata pahat. Benda kerja di letakkan diam dan dijepit pada ragum, kemudian dimakan dengan pahat yang berputar. Mesin *milling* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.1.

Adapun macam-macam mesin *milling* dapat dibedakan menurut posisi spindelnya:

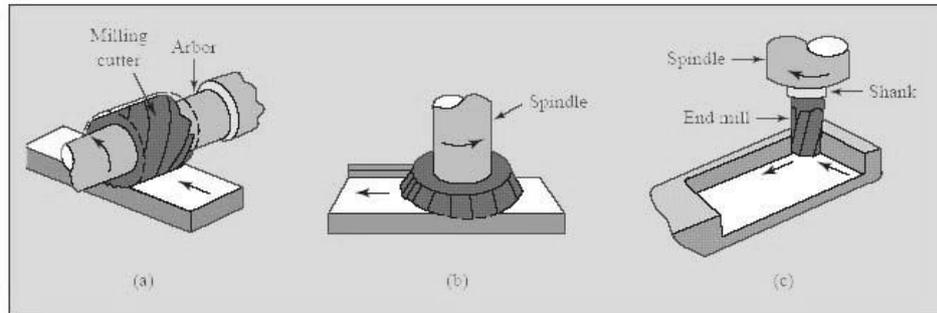
- Mesin *milling horizontal*
- Mesin *milling vertical*
- Mesin *milling universal*



Gambar 2.1 Mesin Milling
Sumber :Emco Maier & Co. 1988.

2.3.1 Klasifikasi Mesin *Milling*

Klasifikasi mesin *milling* dibagi menjadi tiga, yaitu *slab milling*, *face milling* dan *end milling* seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Dasar operasi *milling* (a) *slab milling*, (b) *face milling*, (c) dan *milling*.

Sumber : <http://www.endmill.com/pages/training/design.html>

a. *Slab Milling*

Pemakanan *slab milling*, atau juga disebut *peripheral milling*, sumbu rotasi pahat sejajar dengan permukaan benda kerja. Pahat pada *slab milling* memiliki mata pahat yang lurus atau heliks. Pahat dengan gigi yang heliks lebih sering digunakan dari pada mata gigi lurus, dikarenakan beban pada mata gigi yang lebih rendah saat operasi, sehingga permukaan benda kerja lebih halus dan juga mengurangi gaya pada pahat.

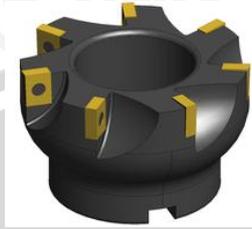


Gambar 2.3 Pahat *Slab Mill*

Sumber : <http://temonsoejadi.com/2012/12/02/turning-and-milling/#more-4875>

b. *Face Milling*

Pada *face milling* pahat dipasang pada poros yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap benda kerja. Pahat memiliki mata tajam pada bagian tepi.



Gambar 2.4 Pahat *Face Mill*

Sumber :<http://temonsoejadi.com/2012/12/02/turning-and-milling/#more-4875>

c. *End Milling*

Permukaan rata serta berbagai profil dapat dihasilkan menggunakan proses *end milling*. Pahat pada proses *end milling* memiliki tangkai yang lurus dan meruncing dengan berbagai ukuran. Pahat berputar pada sumbu tegak lurus terhadap benda kerja, tetapi juga dapat dimiringkan untuk melakukan *machine-tapered surface*.



Gambar 2.5 Pahat *End Mill*

Sumber

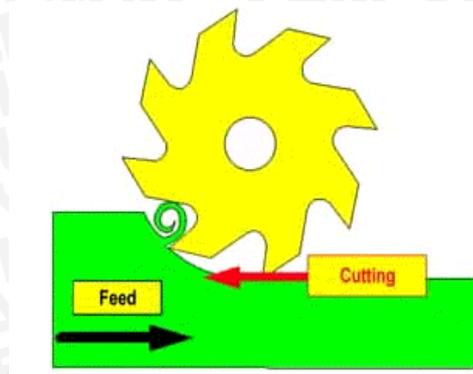
:<http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/961.09/people/jonathan/machining.htm>

1

2.3.2 Mekanisme *Milling*

Proses *milling* dapat dibedakan berdasarkan arah rotasi pahat, yaitu *up milling* dan *down milling*. Masing-masing dari proses tersebut memiliki perbedaan-perbedaan dan ciri khas tersendiri. Untuk dapat memahami proses ini, dapat dilihat Gambar 2.6 dan Gambar 2.7:

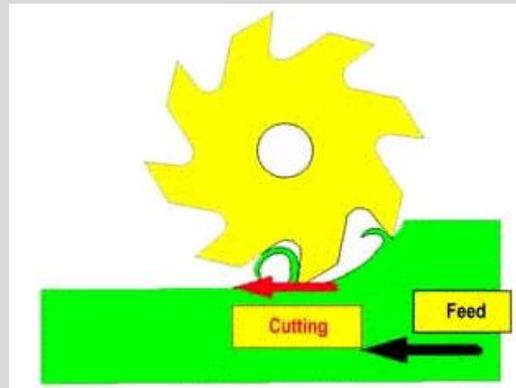
- a. *Up Milling (Conventional milling)*, arah gerak gigi pahat berlawanan arah dengan umpan (*feed*) saat terjadi pemotongan.



Gambar 2.6 Up Milling

Sumber :<http://animah.freehostia.com/nce/workshop/machining.htm>

- b. *Down Milling (Climb milling)*, arah gerak gigi pahat searah dengan umpan (*feed*) saat terjadi pemotongan.



Gambar 2.7 Down Milling

Sumber :<http://animah.freehostia.com/nce/workshop/machining.htm>

2.4. Mekanisme Pembentukan Geram

Mekanisme pembentukan geram terjadi karena logam mendapat tekanan, kemudian akan timbul tegangan di daerah sekitar konsentrasi gaya penekanan dari mata potong pahat. Tegangan pada benda kerja tersebut mempunyai orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser (*shear stress*) yang maksimum. Jika tegangan geser ini melebihi kekuatan benda kerja maka akan terjadi deformasi plastis yang menggeser dan memutuskan material benda kerja diujung pahat pada suatu bidang geser (*shear plane*).

Geram yang dihasilkan pada proses *milling* memiliki ketebalan yang berbeda-beda. Tebal geram yang dihasilkan dipengaruhi oleh gerak makan gigi dan sudut posisi yang pada setiap saat berubah harganya karena perubahan posisi mata potong. Hasil geram dari proses pemotongan memiliki bentuk beragam tergantung dari jenis material benda kerja dan kondisi pemotongan yang digunakan. Bentuk geram secara garis besar dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu:

- Geram kontinyu (*countinous chips*)
- Geram kontinyu dengan *build up edge*
- Geram tak kontinyu (*discontinous chips*)

a. Geram kontinyu (*continous chips*)

Bentuk geram ini timbul pada proses permesinan material yang ulet (berbagai jenis baja, tembaga dan aluminium) yang mempunyai koefisien gesek rendah. Dalam hal ini logam diubah bentuknya secara kontinyu dan meluncur di permukaan pahat tanpa retak. Geram kontinyu akan timbul pada kecepatan pemotongan tinggi

b. Geram kontinyu dengan *build up edge*

Bentuk geram ini timbul dari proses permesinan bahan yang ulet yang koefisien geseknya agak tinggi yang akan menimbulkan penempelan geram pada mata potong yang berlapis-lapis. Geram jenis ini dapat menyebabkan benda kerja yang dipotong menjadi kasar.

c. Geram tak kontinyu (*discontinous chips*)

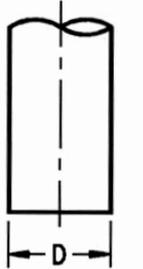
Bentuk geram ini didapatkan dalam proses permesinan bahan yang rapuh seperti besi cor. Saat geram ini ditimbulkan, tepi potong menghaluskan ketidakrataan dan diperoleh penyelesaian yang cukup baik. Umur pahat cukup panjang dan kerusakan biasanya terjadi akibat dari aksi penggerusan pada permukaan singgung pahat. Geram tak kontinyu dapat juga berbentuk pada beberapa bahan ulet kalau koefisien geseknya tinggi tetapi geram semacam ini pada bahan ulet menunjukkan kondisi pemotongan yang buruk.

2.5. End Mill

Pahat *End Mill* digunakan dalam operasi mesin *milling*. Pahat *End Mill* memiliki diameter kecil (*Tapered Shank*) dan juga diameter yang besar (*Straight Shank*) yang terpasang pada poros dari mesin *milling*. Pahat *End Mill* dibuat dari *high-speed steel* (HSS) dan juga ada yang terbuat dari karbida. Pahat biasanya bergerak pada sumbu tegak lurus terhadap permukaan benda kerja, dan juga dapat dilakukan pemakanan miring, dengan pemakanan meruncing atau melengkung. Pahat *end mill* juga tersedia dengan ujung pahat setengah bola (*Ball Nose Mills*). Untuk pemakanan permukaan dengan bentuk benda kerja yang diinginkan berupa permukaan silinder. Pemakanan dengan pahat *End Mill* dapat menghasilkan pemotongan secara setengah lingkaran maupun pemakanan kantong. Pahat *End Mill* dapat bekerja pada permukaan pahat maupun pada tepian pahat. Dengan pahat *End Mill* dapat menghasilkan benda kerja dengan variasi ukuran dan bentuk.

2.5.1 Bentuk Pahat *End Mill*

End Mill dapat melakukan pemakanan dengan berbagai jenis bentuk permukaan, jenis pahat *End Mill* yang paling umum digunakan yaitu pahat dengan permukaan bawah yang rata (*Flat Bottom End Mill*), *End Mill* dengan setengah lingkaran (*Ball Nose End Mill*), dan *end mill* dengan radius sudut (*Bull Nose End Mill*). Setiap jenis *end mill* masing-masing digunakan berdasarkan tipe pemakanan dalam operasi mesin. Pahat *End Mill* dengan ujung mata pahat yang rata digunakan dalam operasi pemakanan permukaan yang datar dengan sudut tajam antara permukaan bawah dan dinding. Sedangkan *End Mill* dengan ujung pahat setengah lingkaran digunakan untuk *3D machining* dengan variasi permukaan. *End Mill* dengan radius sudut digunakan dalam pemakanan permukaan yang datar yang membutuhkan sudut antara dinding dan bagian bawah.

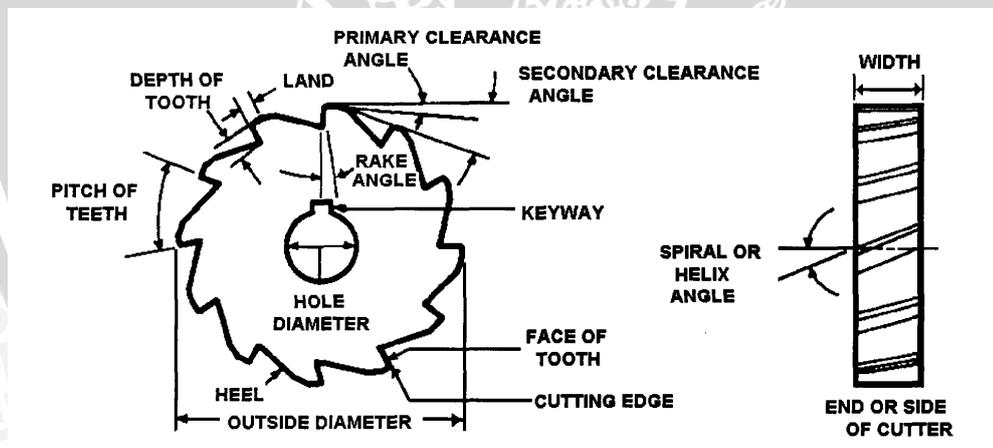
STANDARD FLAT END MILL	BALL NOSE END MILL	BULL NOSE END MILL
		
$R = 0$	$R = D/2$	$R < D/2$

Gambar 2.8 Pahat *End Mill*

Sumber :<http://www.endmill.com/pages/training/design.html>

2.5.2 Fitur *End Mill*

Menyangkut pemotongan logam, hal yang berpengaruh pada *configuration cutting edge* adalah sudut yang bersangkutan, orientasi permukaan gigi dan bentuk mata pahat yang berfungsi memotong benda kerja. Istilah-istilah yang digambarkan dibawah pada gambar 2.9 adalah hal yang penting dan mendasar dalam *milling cutter* konfigurasi.



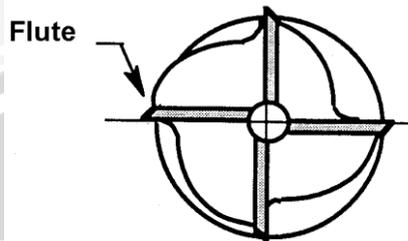
Gambar 2.9 Desain Pahat *End Mill*

Sumber :<http://www.endmill.com/pages/training/design.html>

Diameter luar (*Outside diameter*) : Diameter luar dari pahat *milling* adalah diameter lingkaran yang melakukan pemakanan samping. Diameter ini yang hubungannya dengan kecepatan putar spindel untuk menentukan kecepatan potong.

Gigi (Tooth) :gigi adalah bagian dari pahat yang dimulai dari bagaian samping sampai bagian permukaan bawah pahat. Gigi pahat yang dapat diganti biasa disebut pahat insert.

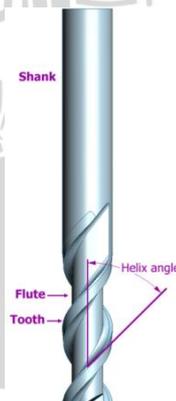
Tooth Face:*tooth face* adalah permukaan gigi antara *fillet* dan *cutting edge*, dimana terjadinya pembentukan chip.



Gambar 2.10 Penampang *End Mill*

Sumber :<http://www.endmill.com/pages/training/design.html>

Flute/Alur/Jumlah gigi: *Flute* dalam gambar diatas adalah alur *heliks* sepanjang pisau *end mill*, sedangkan bagian tajam sepanjang tepi pisau dikenal sebagai gigi. Gigi memotong bahan, dan gram dari bahan ini tertarik ke alur oleh rotasi dari pisau. Hampir selalu ada satu gigi per *flute*, tetapi beberapa pemotong memiliki dua gigi per *flute*. Pisau milling mungkin memiliki satu sampai banyak gigi, dengan 2, 3 dan 4 yang paling umum. Biasanya, lebih banyak jumlah giginya lebih cepat proses pemotongan bahannya. Jadi, pemotong 4-gigi dapat memakan materi dua kali lipat dibanding pisau 2-gigi.



Gambar 2.11 Pahat *End Mill*

Sumber :<http://temonsoejadi.com/2012/12/02/turning-and-milling/#more-4875>

Sudut Helix: Alur dari pisau pemotong *end mill* hampir selalu heliks. Jika alurnya adalah lurus, seluruh gigi akan melakukan pemakanan material sekaligus/serentak, menyebabkan getaran dan mengurangi akurasi dan kualitas permukaan. Biasanya, pemotong finishing memiliki sudut rake yang lebih tinggi (heliks ketat) untuk memberikan hasil akhir yang lebih baik.

Pemegang (*Shank*): *Shank* adalah bagian silinder yang tidak beralur dari alat yang digunakan untuk memegang ke catok. Kadang diameternya mungkin berbeda dari diameter bagian pemotongan pahat ini, sehingga bisa dipegang oleh pemegang pahat standar.

Pusat pemotongan: Beberapa pisau milling dapat mememakan lurus ke bawah (tembus) melalui material, sementara yang lain tidak bisa. Hal ini karena beberapa gigi pemotong tidak memiliki kemiringan ke pusat senternya. Pisau dapat memotong ke bawah pada sudut 45 derajat atau lebih.

Coating/Pelapis: Pelapisan yang tepat dapat memiliki pengaruh yang besar pada proses pemotongan dengan meningkatkan kecepatan potong dan umur pahat, dan meningkatkan kehalusan permukaan akhir. *Polycrystalline Diamond* (PCD) adalah lapisan sangat keras digunakan pada pemotong yang harus tahan aus abrasif tinggi. Sebuah pahat dilapisi PCD bisa berlangsung hingga 100 kali lebih lama dari alat uncoated. Namun lapisan tidak dapat digunakan pada suhu di atas 600 derajat C, atau pada logam besi. Pahat untuk Aluminium kadang-kadang diberi lapisan dari TiAlN. Aluminium merupakan logam yang relatif lengket, dan dapat lengket sendiri ke gigi pahat, menyebabkan mereka tumpul. Namun ia cenderung untuk tidak menempel TiAlN, yang memungkinkan pahat ini untuk digunakan lebih lama dalam Aluminium.

2.6. Parameter Pemotongan

2.6.1 Kecepatan Potong (*Cutting Speed*)

Kecepatan potong adalah kecepatan gerakan utama pahat dalam proses menyayat benda kerja. Kecepatan potong yang digunakan dan diameter pahat akan menentukan putaran mesin milling. Kecepatan potong dipengaruhi oleh : kekerasan material benda kerja, material pahat yang digunakan, geometri pahat dan tingkat kehalusan yang dikehendaki. Rekomendasi dalam pemilihan

parameter kecepatan potong untuk pahat HSS dan karbida dijelaskan pada Tabel 2.1.

Pada pemotongan yang kasar digunakan putaran rendah dan kecepatan pemakanan yang besar (cepat). Pemotongan tingkat *finishing* (penyelesaian) putaran dipertinggi, keruncingan pahat dikurangi dan kecepatan pemakanan diperlambat. Hasil dan mutu dari permukaan benda kerja tersebut pasti lebih baik.

Persamaan untuk mencari kecepatan potong (*cutting speed*) adalah :

$$Cs = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad (\text{Smid, 2003:86})$$

Keterangan :

Cs = Kecepatan Potong (m/menit)

d = Diameter Pahat (mm)

n = Putaran Spidel (rpm)

Tabel 2.1 Data untuk Mesin *Milling*

Material	Kekerasan BHN	HSS		Carbide	
		Speed m/min	Feed mm/tooth	Speed m/min	Feed mm/tooth
C 20 Steel	110 – 160	20	0,13	90	0,18
C 35 Steel	120 – 180	25	0,13	80	0,18
C 50 Steel	160 – 200	20	0,13	60	0,18
Alloy Steel	180 – 200	30	0,10	60	0,18
Alloy Steel	220 – 300	18	0,08	90	0,18
Alloy Steel	220 – 300	14	0,08	60	0,15
Alloy Steel	300 – 400	14	0,05	60	0,13
Stainless Steel	200 – 300	20	0,10	85	0,13
Cast Iron	180 – 220	16	0,18	58	0,20
Malleable iron	160 – 240	27	0,15	85	0,18
Cast steel	140 – 200	16	0,15	50	0,18
Copper	120 – 160	38	0,15	180	0,15
Brass	120 – 180	75	0,28	240	0,25
Bronze	160 – 200	38	0,18	180	0,15
Alumunium	70 – 105	120	0,28	240	0,25
Magnesium	40 – 60	210	0,28	380	0,25

Sumber : (Rao, 2009)

2.6.2 Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*)

Kecepatan pemakan dihitung berdasarkan ketebalan geram yang dapat dipotong oleh setiap gigi pahat, yang disebut pemakanan per gigi. Besarnya pemakanan tiap gigi tergantung oleh beberapa faktor yaitu : jenis material yang dipotong, jenis pahat yang digunakan, kedalaman pemotongan dan hasil akhir yang diinginkan.

Untuk menghitung kecepatan pemakanan dapat digunakan satuan mm/menit.

$$S_m = S_z \cdot Z \cdot n \quad (\text{Smid, 2003:90})$$

Keterangan :

S_z = Pemakanan tiap Gigi (mm/gigi)

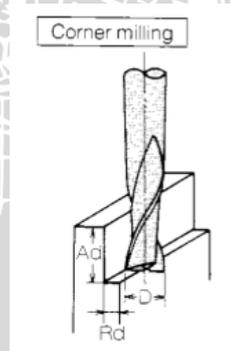
Z = Jumlah Gigi Potong Pahat

n = Kecepatan Putar Spindel (rpm)

S_m = Kecepatan Pemakanan (mm/mnt)

2.6.3 Kedalaman Pemakanan (*Dept of Cut*)

Besarnya kedalaman pemakanan berhubungan erat dengan kecepatan pemakanan dan juga dari diameter pahat tersebut. Semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka pahat yang digunakan semakin kecil diameternya dan kedalaman pemakanan pada benda kerja menjadi kecil.



Gambar 2.12 *Dept of cut*

Sumber : <http://johnmallenco.ning.com/page/end-mills>

Keterangan gambar :

D = diameter pahat

Ad = Axial Depth of cut

Rd = Radial width of cut

2.7. Material Benda Kerja

Dari sekian banyak logam yang potensial, Komposit Matrik Logam (MMCs) paduan Al 6061 (tersusun atas Al, Mg, Si, Cr, Cu) telah menjadi obyek dari banyak riset, terutama oleh keringannya, murah dan kemudahan untuk difabrikasi (Schwartz, 1992). Al 6061 memiliki ketahanan korosi yang tinggi, karena logam ini sangat reaktif, karena terbentuk lapisan oksida tipis pada permukaannya, sehingga jika bersentuhan dengan udara dan lapisan ini terkelupas maka akan segera terbentuk lapisan baru.

Al 6061 mempunyai titik cair (*melting point*) 660°C . kekuatan tarik 12,6 kgf/mm, berat jenis (*density*) $2,70\text{ g/cm}^3$, ekspansi thermal (*linier coefficient of thermal*) $13,1.10^{-6}\text{ in/in}^{\circ}\text{F}$ dan *thermal conductifity* pada 25°C , $23\text{ w/cm}^{\circ}\text{C}$ (Schwartz, 1992).

Tabel 2.2 Karakteristik Aluminium

<i>Alloy</i>	<i>Temper</i>	<i>Tensile strength, psi</i>	<i>Tensile yield strength psi</i>	<i>Elongation & in 2 in</i>	<i>Hardness Bhn</i>	<i>Shear strength psi</i>	<i>Fatigue limit psi</i>
6050	0	16.000	8.000	35	26	11.000	8.000
	T6	37.000	32.000	13	80	23.000	13.000
6061	0	18.000	8.000	25	30	12.000	9.000
	T4,T451	35.000	21.000	22	65	24.000	13.000
	T6,T651	45.000	40.000	12	95	30.000	14.000
	T81	55.000	52.000	15		32.000	
	T91	59.000	57.000	12		33.000	14.000
	T913	67.000	66.000	10		35.000	
6066	0	22.000	12.000	18	43	14.000	
	T4,T451	52.000	30.000	18	90	29.000	
	T6,T651	57.000	52.000	12	120	34.000	16.000
6070	0	21.000	10.000	20	35	14.000	9.000
	T6	57.000	52.000	12	120	34.000	14.000
6101	T6	32.000	28.000	15	71	20.000	
6151	T6	48.000	43.000	17	100	32.000	12.000
6201	T81	48.000		6			15.000
6262	T9	58.000	55.000	10	120	35.000	13.000
6351	T4,T451	42.000	27.000	20	60	22.000	13.000
	T6,T651	49.000	43.000	13	95	29.000	13.000
6951	0	16.000	6.000	30	28	11.000	
	T6	39.000	33.000	13	82	26.000	

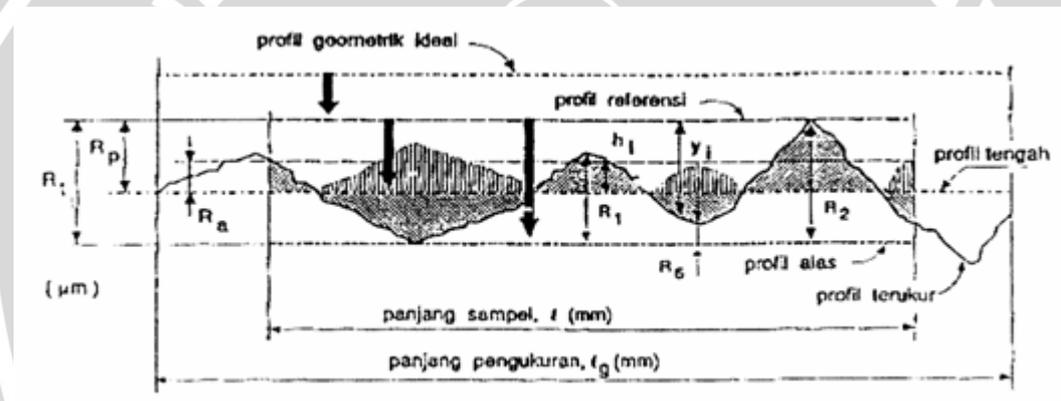
Sumber :Schwartz, 1992

2.8. Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan salah satu bentuk dari ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan yang kemungkinannya dapat berupa goresan atau lekuk-lekuk kecil pada suatu permukaan.

Nilai kekasaran permukaan berpengaruh pada kualitas dan keandalan suatu benda kerja dari proses permesinan, disebabkan karena nilai kekasaran dapat juga mempengaruhi kemampuan benda kerja dalam mengeleminasi terjadinya korosi pada permukaan. Guratan-guratan atau kawah-kawah yang ada dapat menampung zat ataupun material yang bersifat korosif sehingga menyebabkan karat pada permukaan benda kerja tersebut.

Beberapa istilah profil dan parameter permukaan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.13 Profil Kekasaran Permukaan
Sumber : Rochim (1993:56)

Keterangan gambar :

- Profil geometri ideal (*geometrically ideal profile*).
Merupakan profil permukaan geometris ideal yang dapat berupa garis lurus ataupun garis lengkung
- Profil terukur (*measured profile*).
Merupakan profil permukaan yang terukur oleh alat ukur.
- Profil referensi (*reference profile*)
Merupakan profil yang digunakan sebagai referensi untuk menganalisa ketidakteraturan konfigurasi permukaan. Profil ini dapat berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometri ideal, serta

meyinggung puncak tertinggi dari profil geometri ideal, serta menuinggung puncak tertinggi dari profil terukur dalam suatu panjang sampel. Profil referensi biasanya disebut juga sebagai profil puncak (*cust-line*)

- Profil dasar (*root profile*)
Merupakan profil yang digeser ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal pada suatu panjang sampel) hingga menyinggung titik terendah dari profil terukur.
- Profil tengah (*center profile*)
Merupakan profil referensi yang digeser ke bawah sedemikian rupa, sehingga jumlah luas dari daerah-daerah diatas profil tengah sampai ke profil terukur adalah sama dengan jumlah luas dari daerah di bawah profil tengah sampai ke profil terukur. Pada gambar ditunjukkan oleh daerah yang diarsir tegak dan datar.

Beberapa parameter permukaan yang lain yaitu:

- Kedalaman total (*peak to valley height*), R_t
Adalah jarak rata-rata antara profil referensi dan profil dasar.
- Kedalaman perataan (*peak to mean line*), R_p
Adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur, atau R_p ini juga sama dengan jarak profil referensi ke profil tengah.
- Kekasaran rata-rata aritmetis (*mean roughness index*), R_a
Adalah harga rata-rata aritmetis dari harga absolute antara profil terukur dengan profil tengah.
- Kekasaran rata-rata kuadrat (*root mean square height*), R_g
Adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

Menurut profilnya, ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan dapat dibagi dalam beberapa tingkatan, yaitu:

1. Tingkatan pertama adalah ketidakteraturan makrogeometri yang berupa kesalahan bentuk (*form error*). Hal tersebut disebabkan oleh adanya

lenturan yang terjadi pada mesin perkakas maupun benda kerja serta kesalahan posisi pada pencekaman benda kerja.

2. Tingkatan kedua adalah ketidakteraturan yang menyerupai gelombang (*waviness*). Hal ini disebabkan oleh terjadinya getaran sewaktu pemotongan. Kemungkinan terjadinya ketidakteraturan ini karena kesalahan bentuk perkakas, kesalahan pententeran perkakas dan terjadinya getaran pada saat proses pemotongan.
3. Tingkatan ketiga, disebut sebagai alur (*grooves*), adalah ketidakteraturan permukaan karena adanya guratan yang disebabkan adanya jejak dari pahat.
4. Tingkat keempat adalah serpihan (*flake*), yang terjadi karena proses pembentukan geram.
5. Tingkatan kelima merupakan kombinasi dari ketidakteraturan dari tingkatan satu sampai empat.

Faktor-faktor lain yang menyebabkan terjadinya kekasaran permukaan pada proses permesinan *millling* adalah :

1. Terjadinya getaran (*chatter*) saat pemotongan berlangsung
2. Ketidaktepatan gerakan pahat
3. Ketidak teraturan mekanisme pemakanan (*feeding*)
4. Kerusakan pada struktur mesin perkakas.

2.8.1 Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Alat yang digunakan pada percobaan ini adalah alat ukur jenis Mitutoyo Surfptest SJ-301 terlihat pada gambar 2.14. Dalam penggunaan alat ukur Mitutoyo Surfptest SJ-301, prinsip kerjanya adalah :

1. *Detector stylus* akan mendeteksi permukaan benda kerja yang akan diukur.
2. *Detector stylus* merubah gerakan mekanik yang terdeteksi menjadi sinyal elektrik.
3. Sinyal elektrik ini akan dimasukkan dalam proses perhitungan.
4. Hasil perhitungan akan ditampilkan pada layar monitor (*display*)
5. Data dicetak



Gambar 2.14 : Mitutoyo SurfTest SJ-301

Sumber : http://mq5.co.uk/shopping_admin/images/prod_img/SJ301.jpg

Untuk mempermudah penulisan nilai kekasaran permukaan maka ditetapkan nilai kekasaran permukaan sesuai standar ISO yang dapat dilihat pada tabel 2.3 dan tabel 2.4 merupakan nilai interval kekasaran permukaan proses pemotongan dari beberapa permesinan. Interval nilai kekasaran ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam memproduksi barang.

Tabel 2.3 Nilai Kekasaran Permukaan

<i>Roughness Values/</i>	<i>Roughness Grade</i>
R_a (μm)	<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

Sumber : <http://suryaputra2009.wordpress.com/2012/01/28/konfigurasi-permukaan>

Tabel 2.4 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							■	■	■	■	■	■
Bulfin								■	■	■	■	■

Sumber : (Rao, 2009:79)

2.9. Hipotesa Penelitian

Dalam proses pemakanan *End Mill* menggunakan *Vertical Milling* didapatkan hasil sebagai berikut :

- Parameter dan perbedaan proses pemotongan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- Kekasaran yang paling halus terjadi pada cara *Climbing* dibandingkan dengan cara *Conventional*.
- Kecepatan putar spindle berbanding terbalik terhadap kekasaran permukaan sedangkan kecepatan pemakanan berbanding lurus terhadap kekasaran permukaan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh putaran spindle dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan dan parameter pemotongan pada proses pemotongan dengan cara *Conventional* dan *Climbing* menggunakan pahat *End Mill*. Untuk menganalisis dan menginterpretasikan data digunakan Analisis dengan model regresi berganda (*Multiple Regressin Model*) dengan uji persyaratan dengan menggunakan program SPSS versi 16,0.

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium CNC Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Juni 2013, dan untuk pengukuran kekasaran permukaan dilaksanakan di Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Mesin Universitas Brawijaya pada bulan Juni 2013.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variable bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variable yang lain.

Variable bebas dalam penelitain ini adalah:

- Spindle Speed (n) : 700, 800, 900 rpm
- Kecepatan pemakanan : 100, 200, 300 mm/mnt
- Arah pemakanan *Climbing* dan *Convensional*

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variable yang dipengaruhi oleh veriabel bebas yang telah ditentukan dalam penelitian ini. Variable terikatnya adalah :

- Kekasaran permukaan (R_a)
3. Variabel terkontrol

Variable terkontrol adalah variable yang nilainya dijaga konstan selama pengujian berlangsung. Variable terkontrolnya adalah :

- Radial width of cut : 0,5 mm
- Axial Dept of cut : 5 mm
- Diameter pahat : 10 mm

3.4 Spesifikasi Mesin, Material Benda Kerja dan Pahat

Spesifikasi Mesin *Milling*

1. Merk : EMCO (Austria)
2. Jenis : *Milling*
3. Model : Tu CNC-3A
4. Spindel utama : Putaran 50-3300 rpm
Daya 300 watt
5. Jarak pahat
 - Jarak sumbu x : 0-199,999 mm
 - Jarak sumbu y : 0-99,999 mm
 - Jarak sumbu z : 0-199,999 mm
6. Feed
 - Z-499 mm/min
7. Feed overik : 0-120%
8. Ketelitian : 0,01 mm

Spesifikasi benda kerja Aluminium 6061

1. Mempunyai titik cair (*melting point*) 660°C
2. Kekuatan tarik 12,6 kgf/mm
3. Berat jenis (*density*) $2,70 \text{ g/cm}^3$, ekspansi thermal (*linier coefficient of thermal*) $13,1 \cdot 10^{-6} \text{ in/in}^{\circ}\text{F}$
4. *Thermal conductifity* pada 25°C , $23 \text{ w/cm}^{\circ}\text{C}$

Spesifikasi Pahat

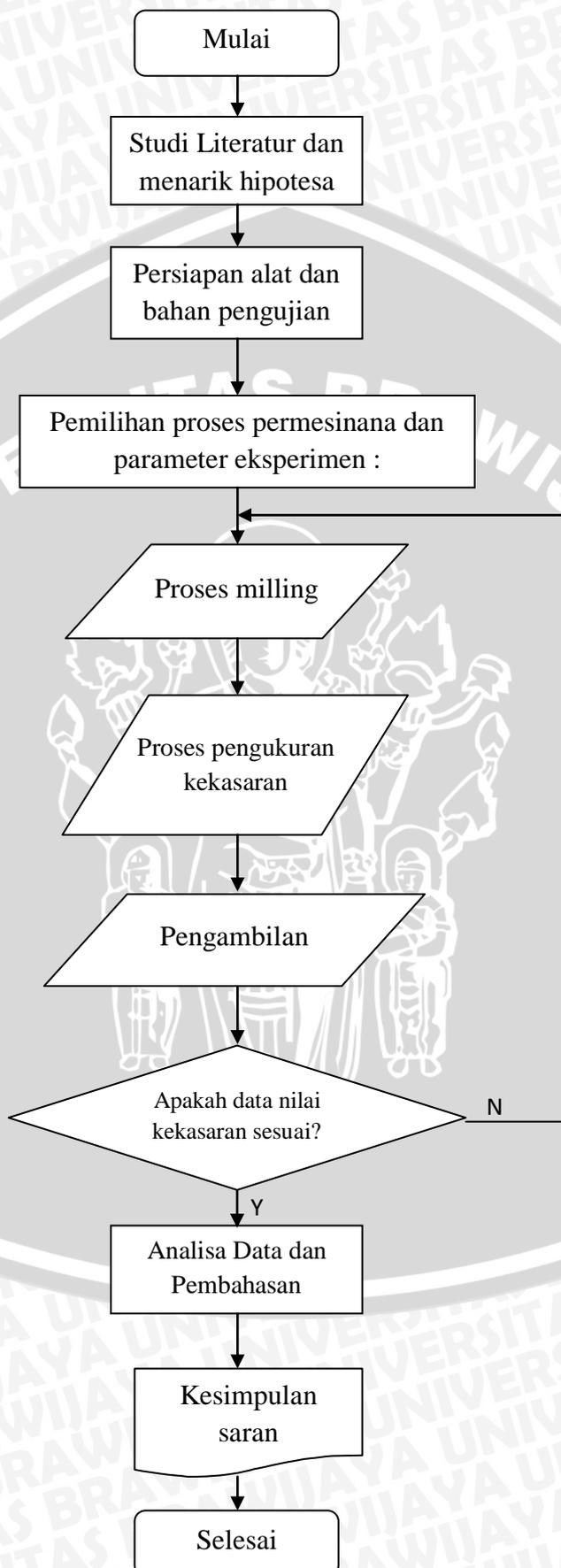
1. Jenis : Pahat *End Mill*
2. Bahan : HSS
3. Diameter pahat : 10 mm
4. Jumlah gigi : 2

3.5 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan seperti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu pahat *End Mill* diameter 10 mm dan Aluminium 6061.
2. Pemotongan benda kerja sesuai dengan ukuran yaitu panjang, lebar 4x5 mm dengan tebal 1 mm.
3. Mempersiapkan mesin milling CNC dengan langkah sebagai berikut :
 - a. Mencari titik koordinat benda kerja dengan tujuan mencari titik nol benda kerja untuk kode bahasa yang akan dimasukkan.
 - b. Memasukkan kode bahasa pemrograman untuk melaksanakan proses pemotongan
4. Proses pemotongan berlangsung sesuai parameter yang ditentukan dengan cara pemakanan *climbing*, kemudian dengan parameter yang sama dengan cara pemakanan *convensional* berdasarkan spesifikasi material benda kerja, pahat dan mesin milling CNC.
5. Pengukuran kekasaran permukaan dengan menggunakan *Surface Tester* Mitutoyo SJ301.
6. Analisis grafik dan pengolahan data dengan menggunakan regresi berganda (*Multiple Regression Model*)
7. Penarikan kesimpulan terhadap hasil yang didapatkan.

Secara Algoritma penelitian dilakukan seperti diagram alir pada Gambar 3.1 :



3.6 Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan model regresi berganda (*Multiple Regression Linear*) digunakan untuk menjelaskan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat untuk menjawab hipotesis yang dinyatakan dengan fungsi sebagai berikut :

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$$

dimana :

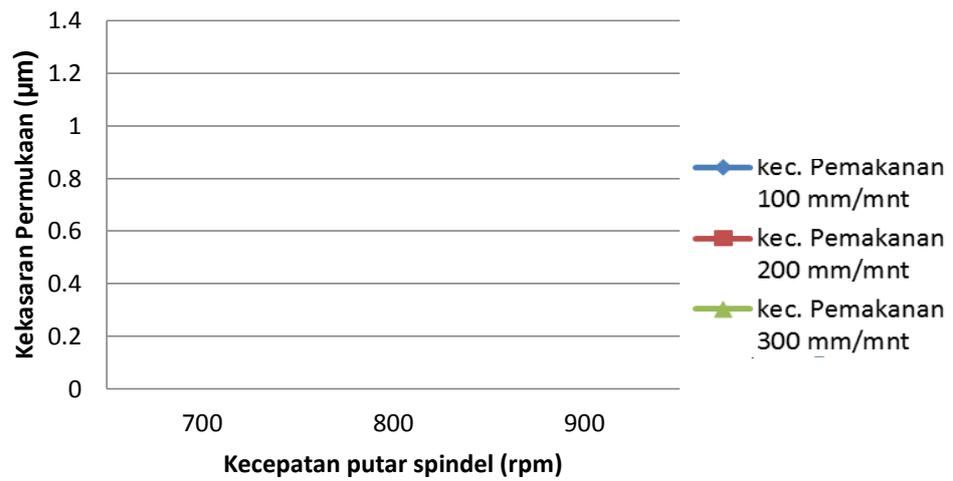
- Y = Kekasaran Permukaan
- b_0 = Intercept
- b_1, b_2 = Koefisien masing-masing variabel bebas
- x_1 = Variabel Kecepatan Pemakanan
- x_2 = Variabel Kecepatan Putar Spindel

Instrumen untuk menganalisis digunakan *software SPSS* versi 16.00 .

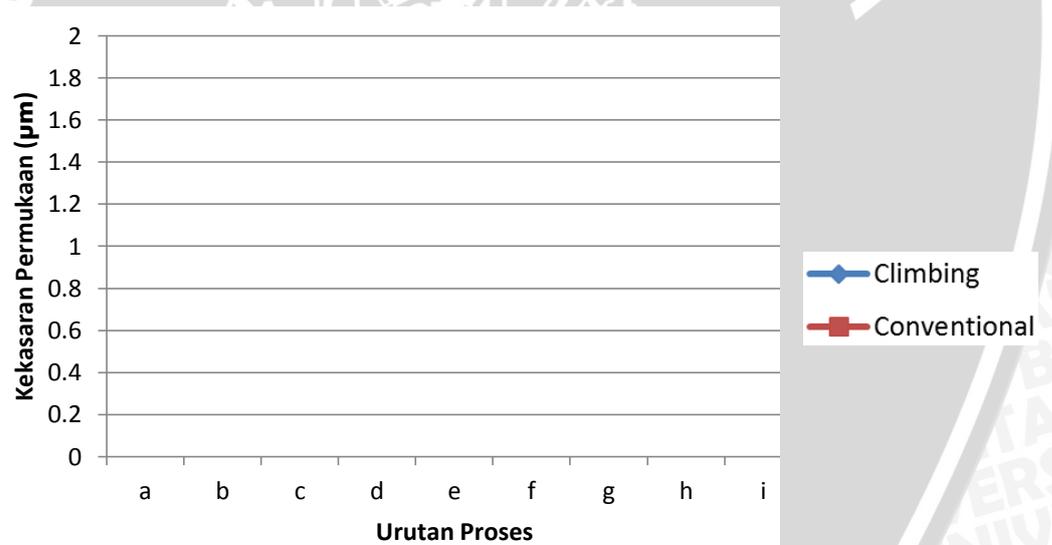
3.7 Analisa Grafik

Data yang telah diperoleh dari pengukuran kekasaran permukaan kemudian data diplot menjadi grafik dan dilakukan pembahasan. Adapun grafik yang akan dibuat adalah :

- a. Grafik Hubungan antara Kecepatan Pemakanan dan Kecepatan Putar Spindel dengan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan *Climbing*.
- b. Grafik Hubungan antara Kecepatan Pemakanan dan Kecepatan Putar Spindel dengan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan *Conventional*.
- c. Grafik Hubungan antara Kekasaran Permukaan dengan Proses Pemotongan *Climbing* dan *Conventional*.



Gambar 3.1 Rencana Grafik Hubungan antara Kecepatan Pemakanan dan Kecepatan Putar Spindel dengan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan *Climbing* maupun *Conventional*



Gambar 3.2 Grafik Hubungan antara Kekasaran Permukaan dengan Proses Pemotongan *Climbing* dan *Conventional*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah kecepatan pemakanan dan kecepatan putar spindel dengan masing-masing 3 variasi yaitu 100 mm/mnt, 200 mm/mnt, 300 mm/mnt dan 700 rpm, 800 rpm, 900 rpm. Dengan 2 kali proses pemotongan yaitu menggunakan *Climbing* dan *Conventional*. Selanjutnya dilakukan pengukuran kekasaran permukaan dengan dilakukan 3 kali pengambilan data. Data hasil penelitian bisa dilihat pada tabel 4.1, dan tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.1 Tabel data hasil pengujian kekasaran permukaan (μm) pada pemakanan *Climbing*

Varibel		Kecepatan Pemakanan (mm/mnt)		
		100	200	300
Kecepatan Putar Spindel (rpm)	700	0.68	0.876667	1.24
	800	0.673333	0.753333	1.013333
	900	0.606667	0.736667	0.9

Tabel 4.2 Tabel data hasil pengujian kekasaran permukaan (μm) pada pemakanan *Conventional*

Varibel		Kecepatan Pemakanan (mm/mnt)		
		100	200	300
Kecepatan Putar Spindel (rpm)	700	0.94	1.2	1.79
	800	0.74	1.12	1.336667
	900	0.646667	1.093333	1.246667

4.2 Analisis dengan Metode Regresi Berganda

4.2.1 Metode Regresi Berganda pada Proses Pemotongan *Climbing*

Tabel 4.3 Multiple Linear Regression :*Model Summary* pada proses *Climbing* (hasil SPSS)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.949 ^a	.900	.867	.07293664

a. Predictors: (Constant), Spindel, Pemakanan

Dari Table 4.3 diketahui bahwa nilai Multiple R sebesar 0,949 dan $R^2 = 0,900$. Data tersebut mengindikasikan bahwa kemampuan variabel independen untuk menjelaskan variasi pada variabel dependen R_a adalah sebesar 90 persen.

Tabel 4.4 Hasil Tes ANOVA (Hasil SPSS)

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.288	2	.144	27.104	.001 ^a
	Residual	.032	6	.005		
	Total	.320	8			

a. Predictors: (Constant), Spindel, Pemakanan

b. Dependent Variable: climb

Hasil olah data dengan ANOVA (*analysis of variance*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Dalam menguji ada tidaknya pengaruh variabel independen (variabel bebas) terhadap variabel dependen (variabel terikat) dikemukakan hipotesis yang dinyatakan sebagai berikut :

H_0 = Tidak terdapat pengaruh variabel independen X_1 dan X_2 secara signifikan dan positif terhadap variabel dependen Y .

H_1 = Terdapat pengaruh variabel independen X_1 dan X_2 secara signifikan dan positif terhadap variabel dependen Y .

Harga koefisien F harus dibandingkan dengan harga F tabel untuk tingkat alpha yang telah ditetapkan dengan df1 sebagai pembilang dan df2 sebagai penyebut yang sesuai dengan perhitungan. Kriteria yang digunakan, akan menolak

H_0 dan menerima H_1 apabila F hitung $\geq F$ tabel serta menerima H_0 dan menolak H_1 apabila F hitung $< F$ tabel.

Berdasarkan tabel output Model Summary dan ANOVA di atas diperoleh harga koefisien korelasi atau $R = 0,949$ dan $F = 27,104$, sedangkan tingkat alpha yang ditetapkan adalah 5%. Degree of freedom yang ditampilkan dalam perhitungan tersebut yaitu $df_1 = 2$ dan $df_2 = 6$. Oleh karena itu didapatkan nilai F tabel sebesar 5,14.

Karena F hitung $> F$ tabel, yaitu $27,104 > 5,14$, maka H_0 yang menyatakan tidak ada pengaruh ditolak. Sebagai konsekuensinya harus menerima H_1 , yang berarti terdapat pengaruh.

Tabel 4.5 *Multiple Linear Regression : Coefficients* pada proses *Climbing* (Hasil SPSS)

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	1.171	.247		4.746	.003	.567	1.775
	Pemakanan	.002	.000	.861	6.679	.001	.001	.003
	Spindel	.001	.000	-.399	-3.097	.021	-.002	.000

a. Dependent Variable: climb

Berdasarkan Tabel 4.5 yang digunakan untuk membuat persamaan garis regresinya adalah besaran koefisien beta (lihat tabel *Coefficients* di atas pada kolom *Unstandardized Coefficients* B) dikemukakan nilai konstan $b_0 = 1,171$; nilai $b_1 = 0,002$ dan $b_2 = -0,001$. Dengan demikian dapat ditentukan bahwa *Estimated Regression Equation* untuk seluruh data adalah :

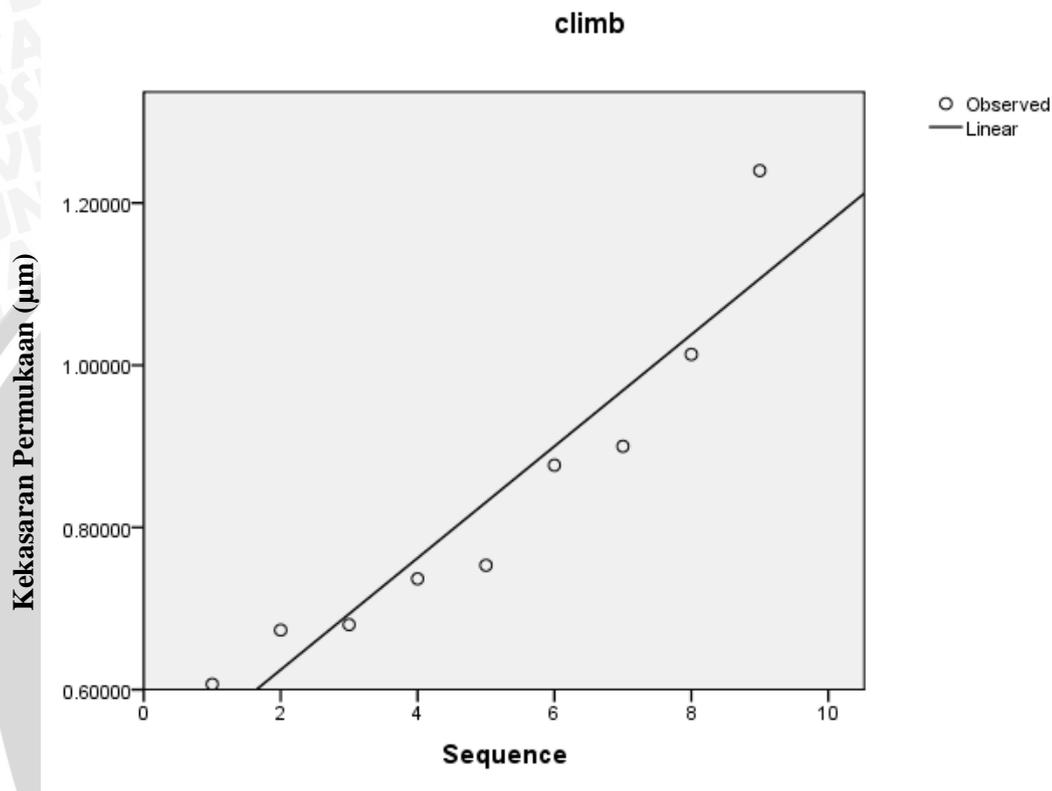
$$R_a = 1,171 + 0,002x_1 - 0,001x_2$$

Sesuai dengan persamaan garis regresi yang diperoleh, maka model regresi tersebut dapat diinterpretasikan sebagai berikut.

1. Harga koefisien $b_1 = 0,002$, berarti bahwa, apabila nilai X_1 Kecepatan Pemakanan mengalami kenaikan sebesar satu poin, sementara variabel

independen lainnya bersifat tetap, maka tingkat R_a kekasaran permukaan tersebut akan meningkat sebesar 0,002 persen.

2. Harga koefisien $b_2 = 0,001$, harga koefisien ini berarti bahwa, tingkat variabel R_a Kekasaran Permukaan pada penelitian ini meningkat sebesar 0,001 persen.



Gambar 4.1 Perbandingan antara Kekasaran Permukaan dengan Parameter Pemotongan pada Proses *Climbing*

Hasil olah data *multiple regression* berupa sebuah model matematik yang diharapkan dapat memprediksi kekasaran permukaan. Model tersebut sebagaimana dijabarkan pada persamaan diatas dan dapat dinyatakan secara grafis seperti pada Gambar 4.1.

Adapun batasan dalam memasukkan parameter pada persamaan diatas harus berdasarkan kemampuan mesin dimana kecepatan pemakanan 5-400 mm/menit dan kecepatan putar spindel 300-2000 rpm.

4.2.2 Metode Regresi Berganda pada Proses Pemotongan *Conventional*

Tabel 4.6 *Multiple Linear Regression : Model Summary* pada proses *Conventional* (Hasil SPSS)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.959 ^a	.920	.894	.11050436

a. Predictors: (Constant), Spindel, Pemakanan

Dari Tabel 4.6 diketahui bahwa nilai Multiple R sebesar 0,959 dan $R^2 = 0,920$. Data tersebut mengindikasikan bahwa kemampuan variabel independen untuk menjelaskan variasi pada variabel dependen R_a adalah sebesar 92 persen.

Tabel 4.7 Hasil Tes ANOVA (Hasil SPSS)

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.846	2	.423	34.659	.001 ^a
	Residual	.073	6	.012		
	Total	.920	8			

a. Predictors: (Constant), Spindel, Pemakanan

b. Dependent Variable: conventional

Hasil olah data dengan ANOVA (*analysis of variance*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Berdasarkan tabel output Model Summary dan ANOVA di atas diperoleh harga koefisien korelasi atau $R = 0,959$ dan $F = 34,659$, sedangkan tingkat alpha yang ditetapkan adalah 5%. Degree of freedom yang ditampilkan dalam perhitungan tersebut yaitu $df_1 = 2$ dan $df_2 = 6$. Oleh karena itu didapatkan nilai F tabel sebesar 5,14.

Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, yaitu $34,659 > 5,14$, maka H_0 yang menyatakan tidak ada pengaruh ditolak. Sebagai konsekuensinya harus menerima H_a , yang berarti terdapat pengaruh.

Tabel 4.8 *Multiple Linear Regression : Coefficients* pada Proses *Conventional* (Hasil SPSS)

Model		Coefficients ^a						
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	1.699	.374		4.546	.004	.785	2.614
	Pemakanan	.003	.000	.871	7.561	.000	.002	.005
	Spindel	-.002	.000	-.402	-3.485	.013	-.003	.000

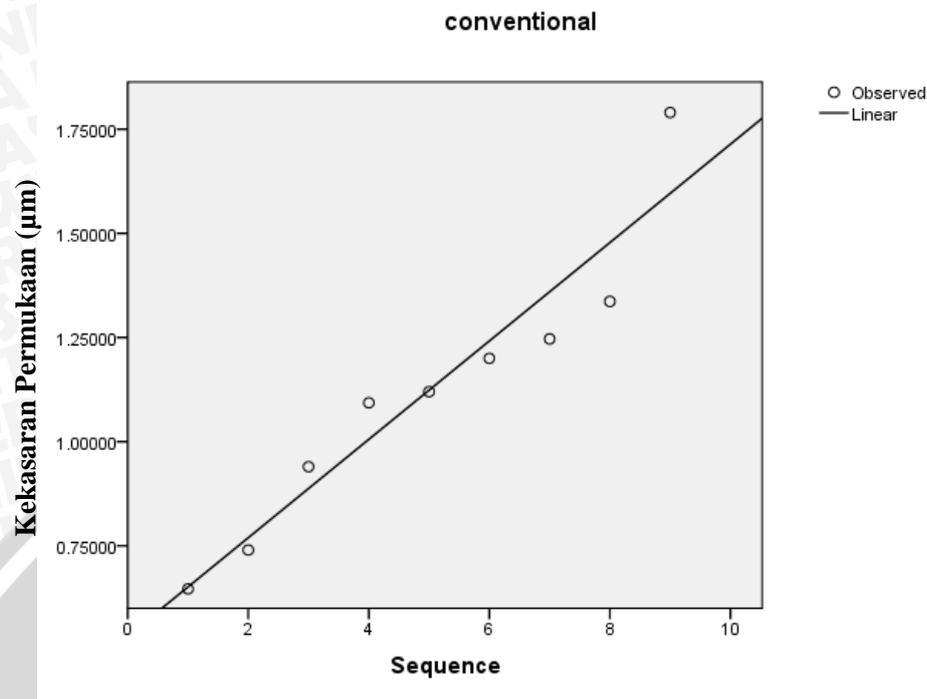
a. Dependent Variable: conventional

Berdasarkan Tabel 4.8 yang digunakan untuk membuat persamaan garis regresinya adalah besaran koefisien beta (lihat tabel *Coefficients* di atas pada kolom *Unstandardized Coefficients B*) dikemukakan nilai konstan $b_0 = 1,699$; nilai $b_1 = 0,003$ dan $b_2 = -0,002$. Dengan demikian dapat ditentukan bahwa *Estimated Regression Equation* untuk seluruh data adalah :

$$R_a = 1,699 + 0,003x_1 - 0,002x_2$$

Sesuai dengan persamaan garis regresi yang diperoleh, maka model regresi tersebut dapat diinterpretasikan sebagai berikut.

1. Harga koefisien $b_1 = 0,003$, berarti bahwa, apabila nilai X_1 Kecepatan Pemakanan mengalami kenaikan sebesar satu poin, sementara variabel independen lainnya bersifat tetap, maka tingkat R_a kekasaran permukaan tersebut akan meningkat sebesar 0,003 persen.
2. Harga koefisien $b_2 = -0,002$, harga koefisien ini berarti bahwa, tingkat variabel R_a Kekasaran Permukaan pada penelitian ini meningkat 0,002 persen sesuai pertambahan nilai X_2 Kecepatan Putar Spindel.



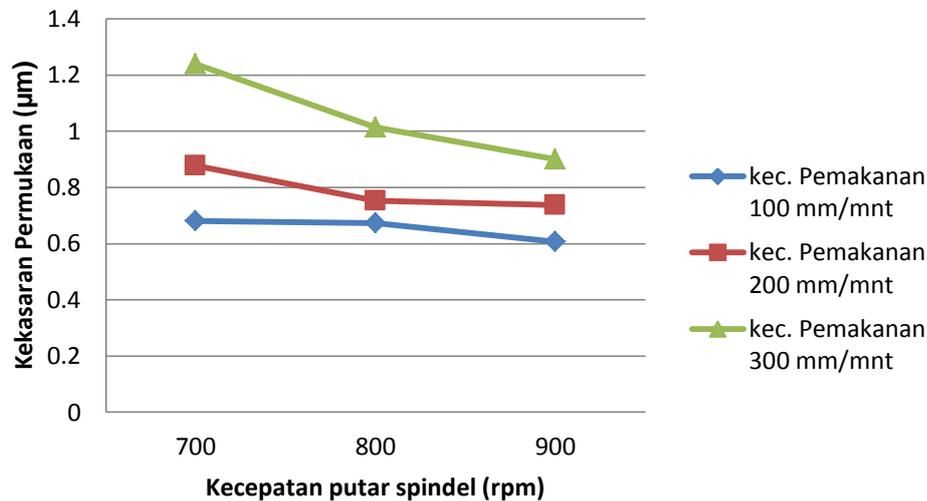
Gambar 4.2 Perbandingan antara kekasaran permukaan dengan parameter pemotongan pada proses *Conventional*

Hasil olah data *multiple regression* berupa sebuah model matematik yang diharapkan dapat memprediksi kekasaran permukaan. Model tersebut sebagaimana dijabarkan pada persamaan diatas dan dapat dinyatakan secara grafis seperti pada Gambar 4.2.

Adapun batasan dalam memasukkan parameter pada persamaan diatas harus berdasarkan kemampuan mesin dimana kecepatan pemakanan 5-400 mm/menit dan kecepatan putar spindel 300-2000 rpm.

4.3 Analisa Grafik

4.3.1 Analisa Grafik Hubungan antara Kecepatan Pemakanan dan Kecepatan Putar Spindel dengan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan *Climbing*



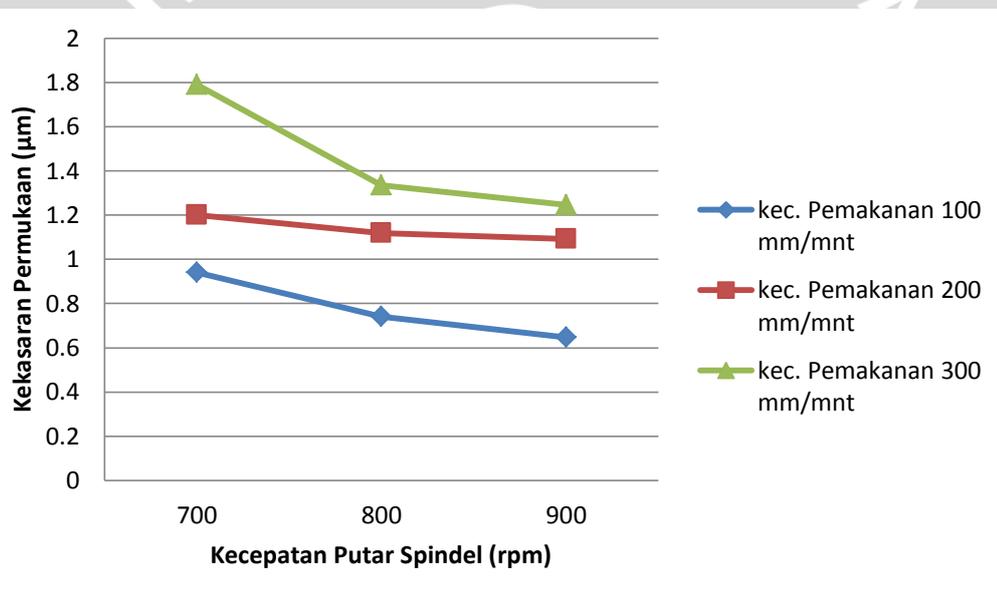
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara kecepatan pemakanan dan kecepatan putar spindel terhadap kekasaran permukaan pada pemotongan *Climbing*

Pada grafik hubungan antara kecepatan pemakanan dan kecepatan putar spindel terhadap kekasaran permukaan pada pemotongan *Climbing* dapat dilihat bahwa dengan seiring bertambahnya kecepatan putar spindel, maka akan mempengaruhi kekasaran permukaan pada benda kerja hasil pemakanan *Climbing*. Terlihat pada grafik semakin kekanan dari kecepatan putar spindel dari 700 rpm menuju 800 rpm kemudian 900 rpm grafik semakin menurun. Hal ini terjadi pada setiap kecepatan pemakanan yang dilakukan. Maka dapat dinyatakan semakin cepat putaran spindel maka semakin kecil nilai kekasaran pada permukaan benda kerja hasil pemakanan *Climbing*. Hal ini dikarenakan dengan semakin cepat putaran spindel maka semakin banyaknya pemakanan yang terjadi pada tiap giginya, dengan tingginya kecepatan putar spindel hal ini mengakibatkan permukaan yang semakin halus.

Pada grafik diatas juga terlihat adanya perubahan kecepatan pemakanan dengan variasi 100 mm/mnt, 200 mm/mnt dan 300 mm/mnt. Pada hasil proses pemakanan dengan kecepatan pemakanan 100 mm/mnt memiliki kekasaran yang paling rendah berkisar 0,60 - 0,68 μm apabila dibandingkan dengan kecepatan

pemakanan 200 mm/mnt dengan nilai kekasaran antara 0,73 – 0,87 μm dan pada kecepatan pemakanan 300 mm/mnt didapat kisaran nilai kekasaran permukaan antara 0,9 – 1,24 μm , dimana semakin tinggi kecepatan pemakanan semakin tinggi pula kekasaran yang dihasilkan dari proses pemotongan *Climbing*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pemakanan maka tebal geram yang dihasilkan semakin tebal, hal ini terbukti mempengaruhi kekasaran pada permukaan benda kerja hasil pemakanan, dimana semakin tinggi kecepatan pemakanan semakin tinggi pula kekasaran permukaan yang dihasilkan.

4.3.2 Analisa Grafik Hubungan antara Kecepatan Pemakanan dan Kecepatan Putar Spindel dengan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan *Conventional*



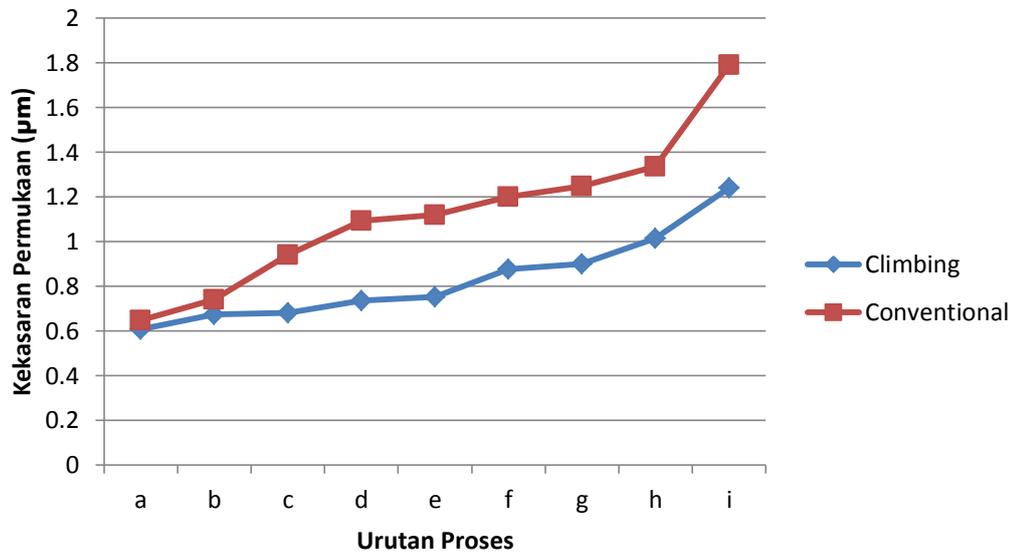
Gambar 4.4 Hubungan antara kecepatan pemakanan dan kecepatan putar spindel terhadap kekasaran permukaan pada pemotongan *Conventional*

Pada grafik 4.4 hubungan antara kecepatan pemakanan dan kecepatan putar spindel terhadap kekasaran permukaan pada pemotongan *Conventional* dapat dilihat bahwa dengan seiring bertambahnya kecepatan putar spindel, maka akan mempengaruhi kekasaran permukaan pada benda kerja hasil pemakanan *Conventional*. Terlihat pada grafik semakin kekanan dari kecepatan putar spindel dari 700 rpm menuju 800 rpm kemudian 900 rpm grafik semakin menurun. Hal ini terjadi pada setiap kecepatan pemakanan yang dilakukan. Pada kecepatan

pemakanan 100 mm/mnt nilai kekasarannya 0,64; 0,74 dan 0,94 μm dan pada kecepatan pemakanan 200 mm/mnt nilai kekasaran yaitu 1,09; 1,12 dan 1,2 μm sedangkan pada kecepatan pemakanan 300 mm/mnt nilai kekasaran permukaannya 1,24; 1,33 dan 1,79 μm . Maka dapat disimpulkan semakin cepat putaran spindel maka semakin kecil nilai kekasaran pada permukaan benda kerja hasil pemakanan *Conventional*. Hal ini dikarenakan dengan semakin cepat putaran spindel maka semakin banyaknya pemakanan yang terjadi pada tiap giginya, dengan tingginya kecepatan putar spindel hal ini mengakibatkan permukaan yang semakin halus.

Pada grafik diatas juga terlihat adanya perubahan kecepatan pemakanan dengan variasi 100 mm/mnt, 200 mm/mnt dan 300 mm/mnt. Pada kecepatan putar spindel yang sama terlihat beda kekasaran permukaan pada tiap kecepatan pemakanan, pada kecepatan putar spindel 700 rpm nilai kekasarannya yaitu 0,94; 1,2 dan 1,79 μm dan pada kecepatan putar spindel 800 nilai kekasarannya 0,74; 1,12 dan 1,33 μm sedangkan pada kecepatan putar spindel 900 nilai kekasarannya yaitu 0,64; 1,09 dan 1,24 μm , hal ini sesuai dengan bertambahnya kecepatan pemakanan pada proses pemotongan. Dimana semakin tinggi kecepatan pemakanan semakin tinggi pula kekasaran yang dihasilkan dari proses pemotongan *Conventional*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pemakanan maka tebal geram yang dihasilkan semakin tebal, hal ini terbukti mempengaruhi kekasaran pada permukaan benda kerja hasil pemakanan, dimana semakin tinggi kecepatan pemakanan semakin tinggi pula kekasaran permukaan yang dihasilkan.

4.3.3 Analisa Grafik Hubungan antara Kekasaran Permukaan dengan Proses Pemotongan *Climbing* dan *Conventional*



Gambar 4.5 Hubungan antara kekasaran permukaan dengan proses pemotongan *Climbing* dan *Conventional*

Gambar 4.5 merupakan hubungan antara urutan proses dan kekasaran permukaan dimana sumbu x adalah urutan proses parameter pemakanan sedangkan sumbu y adalah kekasaran permukaan hasil proses pemakanan. Urutan proses tersebut dimulai dari (a) dimana kecepatan pemakanannya 100 mm/mnt dengan kecepatan putar spindel 900 rpm, sedangkan (b) dengan kecepatan pemakanan 100 mm/mnt dengan kecepatan putar spindel 800 rpm, dan (c) urutan proses dengan kecepatan pemakanan 100 mm/mnt dengan kecepatan putar spindel 900 rpm, (d) dengan kecepatan pemakanan 200 mm/mnt dan kecepatan putar spindel 900 rpm, (e) dengan kecepatan pemakanan 200 mm/mnt dan kecepatan putar spindel 800 rpm, (f) dengan kecepatan pemakanan 200 mm/mnt dan kecepatan putar spindel 700 rpm, sedangkan pada (g) memiliki kecepatan pemakanan 300 mm/mnt dan kecepatan putar spindel 900 rpm, pada (h) menggunakan kecepatan pemakanan 300 mm/mnt dengan kecepatan putar spindel 800 rpm, dan pada urutan proses (i) menggunakan kecepatan pemakanan 300 mm/mnt dan kecepatan putar spindel 700 rpm.

Pada grafik hubungan antara kekasaran permukaan dengan proses pemotongan *Climbing* dan *Conventional* pada perlakuan kecepatan putar spindel

dan kecepatan pemakanan yang sama memiliki perbedaan nilai kekasaran. Proses *Climbing* memiliki nilai kekasaran yang lebih rendah dibandingkan proses *Conventional*. Pada grafik juga terlihat semakin ke kiri selisih kekasaran antara proses pemakanan *Climbing* dan *Conventional* semakin kecil yakni 0,04. Semakin ke kanan semakin meningkat pula selisihnya mencapai 0,55. Hal ini dipengaruhi karena pada proses pemotongan *Conventional* banyak terdapat gram yang menempel pada benda kerja hasil pemotongan dikarenakan pembuangan geram susah kedepan pahat dan terkadang terbawa oleh pahat. Sedangkan pada proses pemotongan *Climbing* pembuangan geram kebelakang pahat dan sedikit geram yang terbawa oleh pahat. Selain itu pada proses pemotongan *Conventional* arah pemakanannya berlawanan dengan arah putar pahat dan menghasilkan gaya keatas untuk mengangkat benda kerja, hal ini mengakibatkan gaya yang lebih besar dibandingkan proses pemakanan *Climbing* yang arah pemakanannya searah dengan arah putar pahat. Oleh karena itu nilai kekasaran yang dihasilkan dengan proses pemakanan *Conventional* lebih tinggi dibandingkan dengan proses pemakanan *Climbing*. Akan tetapi pada saat proses pemotongan tidak hanya menggunakan *Climbing* saja, ada beberapa pemotongan yang mengharuskan menggunakan *Conventional* saat pemakanannya. Proses *Conventional* juga dapat mendapatkan kekasaran yang baik bila memilih parameter pemotongan dengan tepat.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kecepatan Pemakanan mempunyai pengaruh yang positif (berbanding lurus) terhadap kekasaran permukaan, sedangkan Kecepatan Putar Spindel berpengaruh negatif (berbanding terbalik).
2. Proses pemakanan *Climbing* menghasilkan Kekasaran Permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan proses pemakanan *Conventional*.
3. Persamaan regresi untuk kekasaran permukaan dalam menentukan nilai parameter pemotongan khususnya kecepatan putar spindel dan kecepatan pemakanan, yaitu:

Proses *Climbing*

$$R_a = 1,171 + 0,002x_1 - 0,001x_2$$

Proses *Conventional*

$$R_a = 1,699 + 0,003x_1 - 0,002x_2$$

Dimana :

x_1 = Kecepatan Pemakanan (mm/menit)

x_2 = Kecepatan Putar Spindel (rpm)

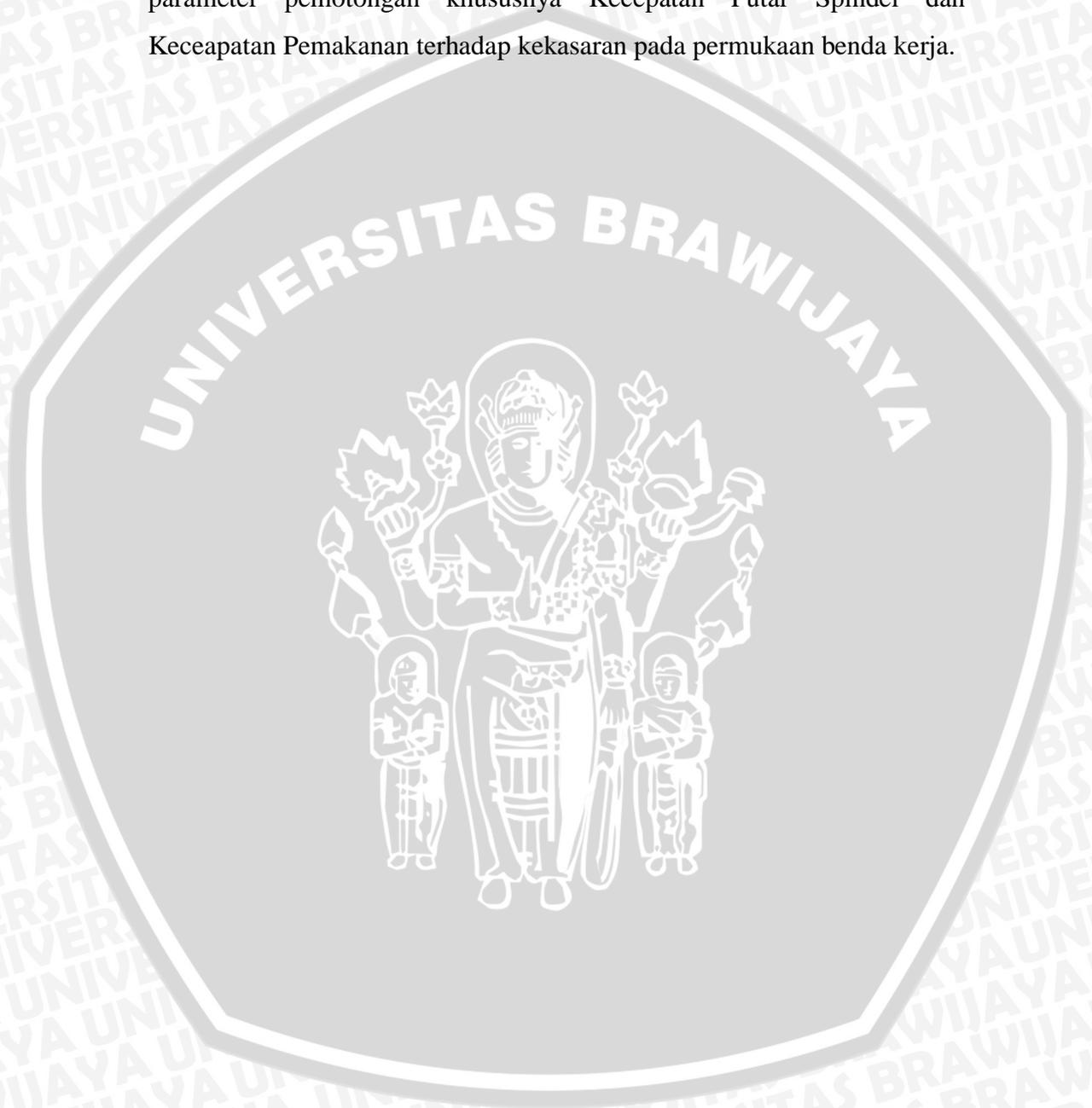
R_a = Kekasaran Permukaan (μm)

5.2 Saran

Saran-saran yang dapat disampaikan setelah melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian dalam membandingkan kekasaran permukaan pada hasil pemotongan sisi samping *End Mill* bagian atas dan bagian bawah. Karena pada penelitian saya terlihat perbedaan kekasaran pada kedua bagian pada pemotongan sisi samping *End Mill*.

2. Perlu dilakukan penelitian dalam menganalisa gaya dan getaran yang terjadi akibat proses pemotongan *End Mill* guna mengetahui lebih lanjut pengaruh parameter pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan. Karena pada penelitian saya tidak diketahui sejauh lebih lanjut hubungan parameter pemotongan khususnya Kecepatan Putar Spindel dan Kecepatan Pemakanan terhadap kekasaran pada permukaan benda kerja.



DAFTAR PUSTAKA

- Alfatih, M. 2010. *Studi Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Up dan Down Milling dengan Pendekatan Vertical Milling*. Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Banasthali. *Metal Cutting Process – Milling*. <http://animah.freehostia.com/nce/workshop/machining.htm> (diakses 18 April 2013)
- Chen, C.H., Wang, Y.C., Lee, B.Y. 2012. *The Effect of End-Mills on Optimal Cutting Performance for High Speed Machining*. Universitas National Formosa, Taiwan.
- Emco Maier & Co. 1988. *Petunjuk Pemrograman – Pelayanan EMCO TU – 3A*. A-5400 Hallein, Austria
- Handoko, Prayoga, B.T. 2008. *Studi Parameter Permesinan Optimum pada Operasi CNC End Milling Surface Finish Bahan Aluminium*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- John M. Allen Co. *End Mills*. <http://johnmallenco.ning.com/page/end-mills>. (diakses 18 April 2013)
- Melin Tool Co. *End Mill Training – End Mill Design Criteria and Technical Features*. <http://www.endmill.com/pages/training/design.html>. (diakses 18 April 2013)
- Metrology & Quality Service. *Mitutoyo-Series 178 SJ 301 Surf test*. http://mqs.co.uk/shopping_admin/images/prod_img/SJ301.jpg (diakses 18 April 2013)
- Rao, P N. 2009. *Manufacturing Technology Metal Cutting and Machine Tool Second Edition*. New Delhi : Tata McGraw-Hill.
- Rochim, T. 2001. *Spesifikasi, Metrologi & Kontrol Kualitas Geometrik*. Bandung : Penerbit ITB.
- Schwartz, M.M. 1997. *Composite Material: Properties, nondestructive testing and repair*. Prentice Hall PTR.
- Smid, Peter. 2003. *CNC Programming Hand Book Second Edition*. New York : Industrial Press Inc.
- Sherry Lassiter. *Spindel Design Progress*. <http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/961.09/people/jonathan/machining.html> (diakses 18 April 2013)
- Subagio, D.G. 2006. *Pengaruh Proses Pemotongan End Mill Terhadap Hasil Potong*. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.

Sujadi. *Turning and Milling*. <http://temonsoejadi.com/2012/12/02/turning-and-milling/#more-4875> . (diakses 18 April 2013)

Suryaputra, W. *Konfigurasi Permukaan*. <http://suryaputra2009.wordpress.com/2012/01/28/konfigurasi-permukaan/> (diakses 13 Mei 2013)

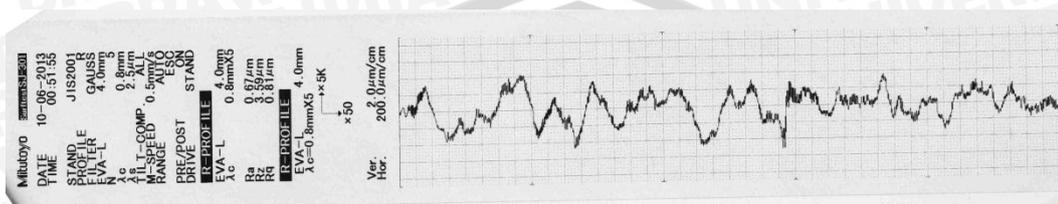


LAMPIRAN

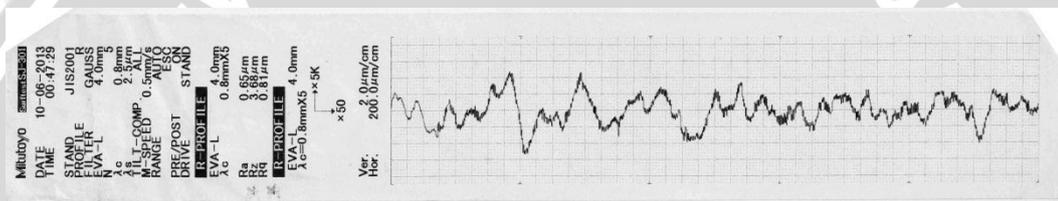
Lampiran 1 Hasil Print Out Mitutoyo Surftest

Hasil Uji Kekasaran Permukaan Climbing

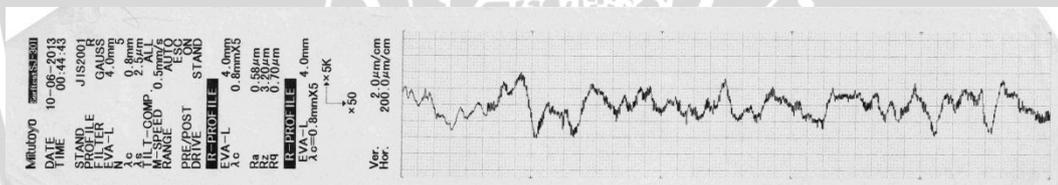
Kecepatan Pemakanan 100, Kecepatan Putar Spindel 700



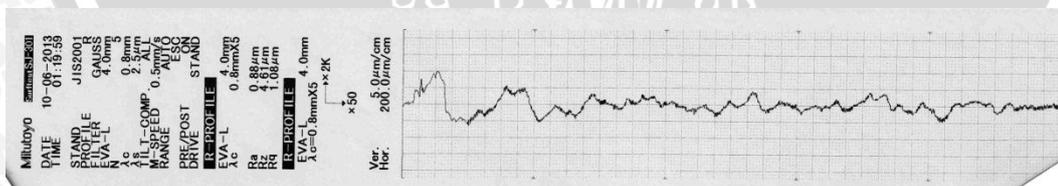
Kecepatan Pemakanan 100, Kecepatan Putar Spindel 800



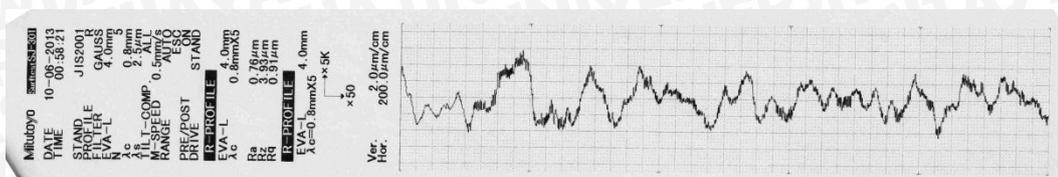
Kecepatan Pemakanan 100, Kecepatan Putar Spindel 900



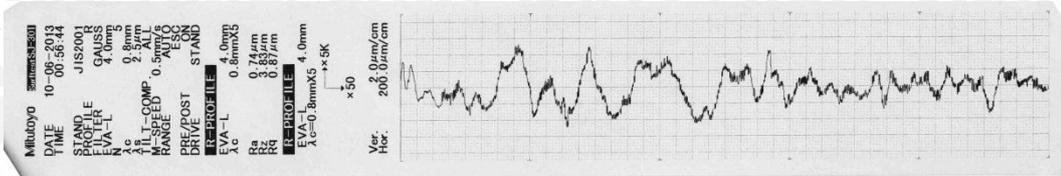
Kecepatan Pemakanan 200, Kecepatan Putar Spindel 700



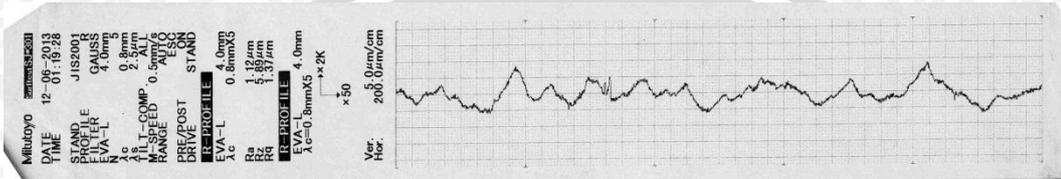
Kecepatan Pemakanan 200, Kecepatan Putar Spindel 800



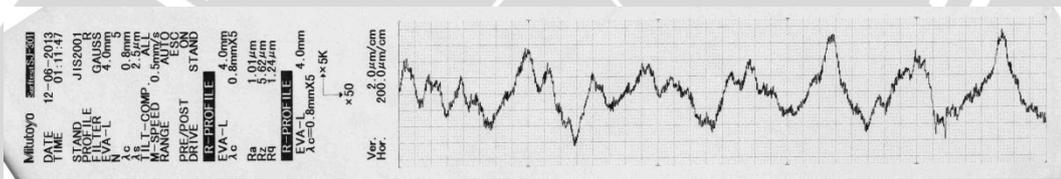
Kecepatan Pemakanan 200, Kecepatan Putar Spindel 900



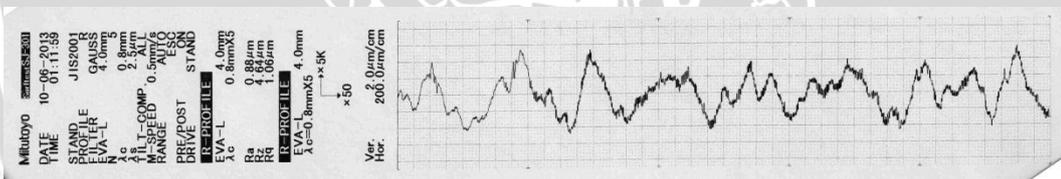
Kecepatan Pemakanan 300, Kecepatan Putar Spindel 700



Kecepatan Pemakanan 300, Kecepatan Putar Spindel 800

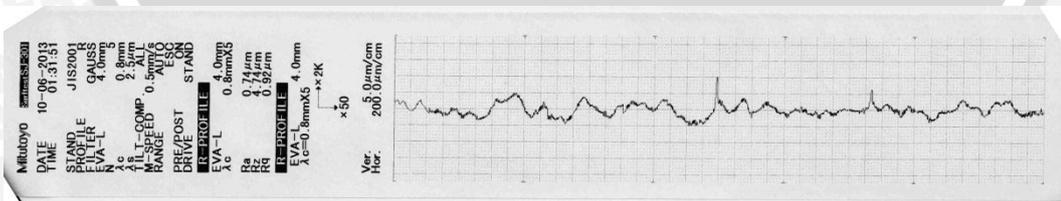


Kecepatan Pemakanan 300, Kecepatan Putar Spindel 900

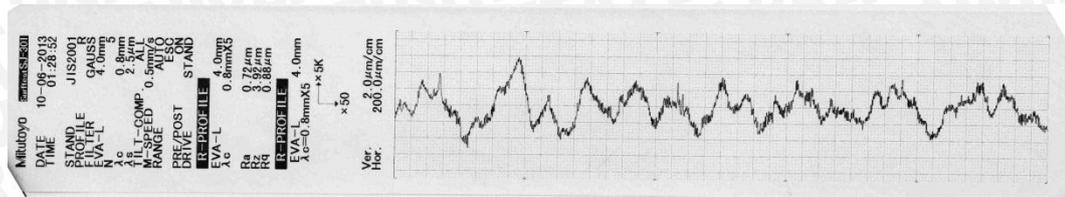


Hasil Uji Kekasaran Permukaan *Conventional*

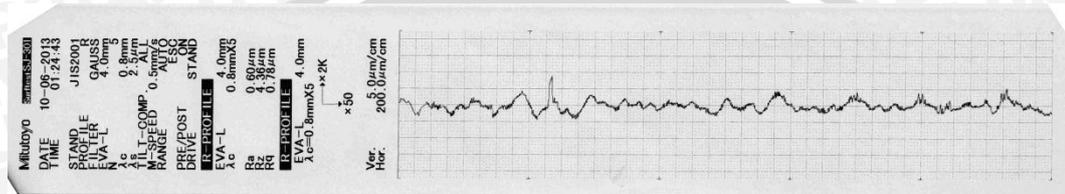
Kecepatan Pemakanan 100, Kecepatan Putar Spindel 700



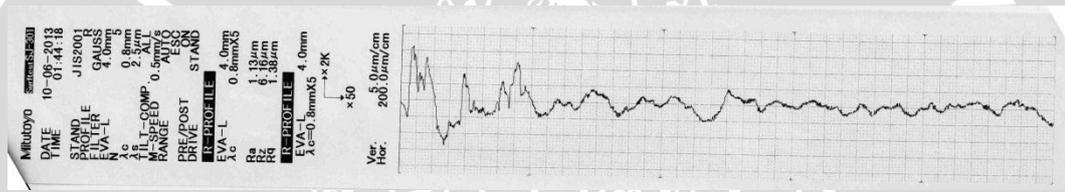
Kecepatan Pemakanan 100, Kecepatan Putar Spindel 800



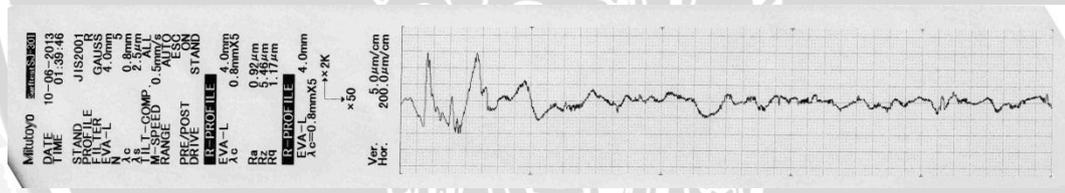
Kecepatan Pemakanan 100, Kecepatan Putar Spindel 900



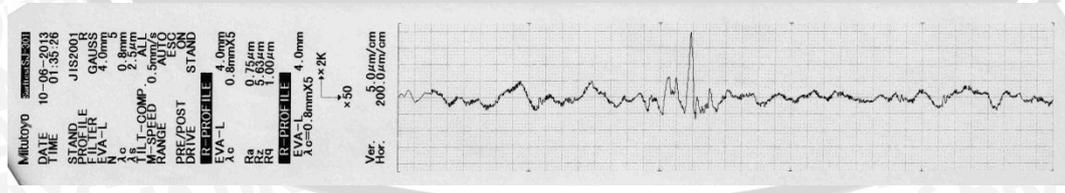
Kecepatan Pemakanan 200, Kecepatan Putar Spindel 700



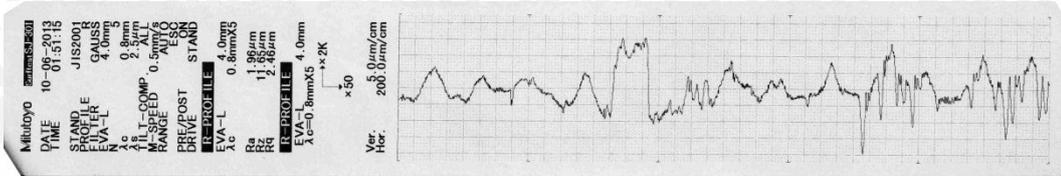
Kecepatan Pemakanan 200, Kecepatan Putar Spindel 800



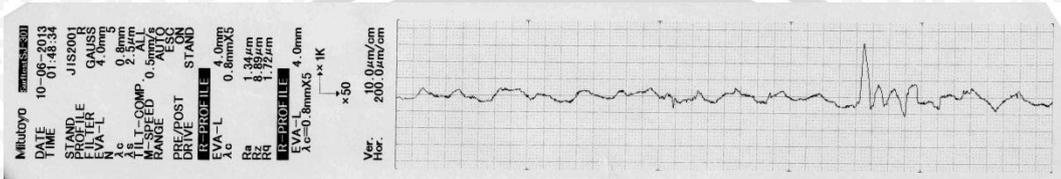
Kecepatan Pemakanan 200, Kecepatan Putar Spindel 900



Kecepatan Pemakanan 300, Kecepatan Putar Spindel 700



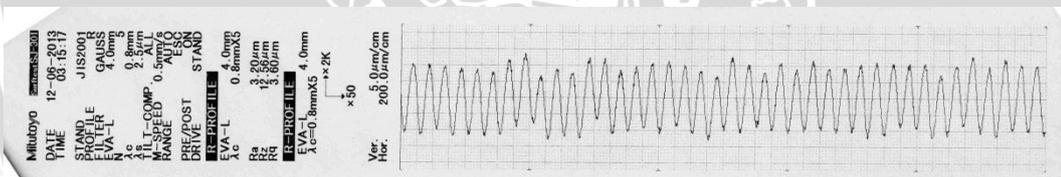
Kecepatan Pemakanan 300, Kecepatan Putar Spindel 800



Kecepatan Pemakanan 300, Kecepatan Putar Spindel 900



Hasil Uji Kekasaran Permukaan dengan Kalibrasi



Lampiran 2 Data Hasil Uji kekasaran

Data Pemakanan *Climbing*

No.	Kecepatan Pemakanan (mm/mnt)	Kecepatan Putar Spindel (rpm)	Kekasaran Permukaan (μm)			
			Ra 1	Ra 2	Ra 3	Rata-rata
a	100	900	0.58	0.66	0.58	0.606667
b	100	800	0.65	0.72	0.65	0.673333
c	100	700	0.67	0.78	0.59	0.68
d	200	900	0.74	0.83	0.64	0.736667
e	200	800	0.76	0.83	0.67	0.753333
f	200	700	0.88	0.87	0.88	0.876667
g	300	900	0.88	0.94	0.88	0.9
h	300	800	0.93	1.27	0.84	1.013333
i	300	700	0.94	1.65	1.13	1.24

Data Pemakanan *Conventional*

No.	Kecepatan Pemakanan (mm/mnt)	Kecepatan Putar Spindel (rpm)	Kekasaran Permukaan (μm)			
			Ra 1	Ra 2	Ra 3	Rata-rata
a	100	900	0.6	0.66	0.68	0.646667
b	100	800	0.72	0.85	0.65	0.74
c	100	700	0.74	1.42	0.66	0.94
d	200	900	0.75	1.85	0.68	1.093333
e	200	800	0.92	1.56	0.88	1.12
f	200	700	1.13	1.59	0.88	1.2
g	300	900	1.19	1.6	0.95	1.246667
h	300	800	1.34	1.78	0.89	1.336667
i	300	700	1.96	2.17	1.24	1.79

Lampiran 3 Tabel Uji F

F - Distribution ($\alpha = 0.05$ in the Right Tail)

df ₂	df ₁	Numerator Degrees of Freedom								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
2		18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385
3		10.128	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8123
4		7.7086	7.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.0410	6.9988
5		6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725
6		5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0990
7		5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870	3.7257	3.6767
8		5.3177	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881
9		5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789
10		4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204
11		4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.9480	2.8962
12		4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964
13		4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321	2.7669	2.7144
14		4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458
15		4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876
16		4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377
17		4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.8100	2.6987	2.6143	2.5480	2.4943
18		4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563
19		4.3807	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435	2.4768	2.4227
20		4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928
21		4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876	2.4205	2.3660
22		4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638	2.3965	2.3419
23		4.2793	3.4221	3.0280	2.7955	2.6400	2.5277	2.4422	2.3748	2.3201
24		4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002
25		4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.6030	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821
26		4.2252	3.3690	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883	2.3205	2.2655
27		4.2100	3.3541	2.9604	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732	2.3053	2.2501
28		4.1960	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593	2.2913	2.2360
29		4.1830	3.3277	2.9340	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463	2.2783	2.2229
30		4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107
40		4.0847	3.2317	2.8387	2.6060	2.4495	2.3359	2.2490	2.1802	2.1240
60		4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.0970	2.0401
120		3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2899	2.1750	2.0868	2.0164	1.9588
∞		3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096	1.9384	1.8799

