

**PENGARUH *TOOL OVERHANG* TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN BENDA KERJA DENGAN VARIASI GERAK  
MAKAN PADA PROSES PEMBUBUTAN**

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Produksi**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**HENDRO SETIAWAN**

**NIM 0110620073**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN MESIN**

**MALANG**

**2007**

**PENGARUH *TOOL OVERHANG* TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN BENDA KERJA DENGAN VARIASI GERAK  
MAKAN PADA PROSES PEMBUBUTAN**

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Produksi**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun oleh:**

**HENDRO SETIAWAN  
NIM. 0110620073**

**DOSEN PEMBIMBING I**

**DOSEN PEMBIMBING II**

**Ir. Imam Zaky, MT.**

**NIP. 130 604 494**

**Ir. Endi Sutikno, MT.**

**NIP. 131 756 002**

**PENGARUH *TOOL OVERHANG* TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN BENDA KERJA DENGAN VARIASI GERAK  
MAKAN PADA PROSES PEMBUBUTAN**

Disusun oleh :

**HENDRO SETIAWAN**  
**NIM. 0110620073**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 7 Juni 2007

**DOSEN PENGUJI**

Skripsi 1

Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.  
NIP. 131 286 308

Skripsi 2

Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc  
NIP. 131 414 121

Komprehensif

Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.  
NIP. 131 756 003

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Bambang Indrayadi, MT  
NIP. 131 653 469



## KATA PENGANTAR

Puji syukur paling tulus terucap kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya. Skripsi ini berjudul "Pengaruh *Tool Overhang* terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja dengan Variasi Gerak Makan pada Proses Pembubutan" yang merupakan sebagian dari persyaratan akademik untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Atas segala bantuan dan semangat yang telah diberikan, maka pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluargaku tercinta yang telah memberikan dorongan dan semangat serta selalu mendo'akanku.
2. Bapak Ir. Bambang Indrayadi, MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Imam Zaky, MT., selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT., selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Ir. Djarot B Darmadi, MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi.
7. Staf Administrasi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang banyak membantu kelancaran dalam urusan administrasi.
8. Seluruh teman-teman dan semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung khususnya Mesin angkatan 2001 yang telah membantu dan berpartisipasi dalam pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini tentunya ada kekurangan, maka diharapkan adanya saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan skripsi ini.

Malang, Mei 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	i
Daftar Isi .....	ii
Daftar Gambar .....	v
Daftar Tabel .....	vi
Daftar Lampiran .....	vii
Ringkasan .....	viii

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1. Latar belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1. Penelitian Terdahulu .....	4
2.2. Proses Permesinan .....	5
2.3. Proses Pembubutan .....	5
2.3.1. Elemen Dasar Proses Pembubutan .....	6
2.3.2. Proses Pembentukan Geram .....	8
2.3.3. Macam-Macam Bentuk Geram .....	9
2.3.4. Gaya Pemoangan .....	10
2.4. Pahat Potong .....	11
2.4.1. Geometri Pahat .....	11
2.4.2. Pengaruh Posisi Pahat .....	13
2.4.3. <i>Tool Overhang</i> .....	13
2.5. Kekasaran Permukaan .....	15
2.5.1. Kekasaran Permukaan Ideal .....	15
2.5.2. Kekasaran Permukaan Natural .....	18
2.5.3. Pengaruh Kekasaran Permukaan terhadap Komponen .....	18
2.5.4. Metode Pemeriksaan Kekasaran Permukaan .....	19
2.5.5. Metode Pengukuran Kekasaran Permukaan .....	20

2.5.6. Representasi Kekasaran Permukaan .....	22
2.6. Getaran Pahat Potong .....	22
2.6.1. Getaran Paksa ( <i>Forced Vibration</i> ) .....	22
2.6.1. Chatter .....	23
2.7. <i>Cutting Fluid</i> .....	23
2.7.1. Jenis <i>Cutting Fluid</i> .....	24
2.7.2. Cara Penggunaan <i>Cutting Fluid</i> .....	24
2.8. Hipotesis .....	25

**BAB III METODOLOGI**

3.1. Metode Penelitian .....	26
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian .....	26
3.2.1 Waktu Penelitian .....	26
3.3.1. Tempat Penelitian .....	26
3.3. Alat dan Bahan yang Digunakan .....	26
3.3.1. Alat yang digunakan .....	26
3.3.2. Bahan yang digunakan .....	27
3.4. Variabel Penelitian .....	27
3.5. Rancangan Penelitian .....	28
3.6. Proses Penelitian .....	29
3.7. Analisa Statistik .....	30
3.7.1. Analisis Varian .....	30
3.7.2. Interval Penduga .....	31
3.7.3. Analisa Regresi .....	32
3.8. Diagram Alir Penelitian .....	33

**BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1. Data Kekasaran Permukaan .....	34
4.2. Analisa Statistik .....	34
4.2.1. Interval Penduga Kekasaran Permukaan .....	34
4.2.2. Analisa Varian .....	35
4.2.3. Analisa Regresi .....	38
4.2.3.1 Analisa Regresi Linier .....	38
4.2.3.2 Analisa Regresi Multi Linier .....	40





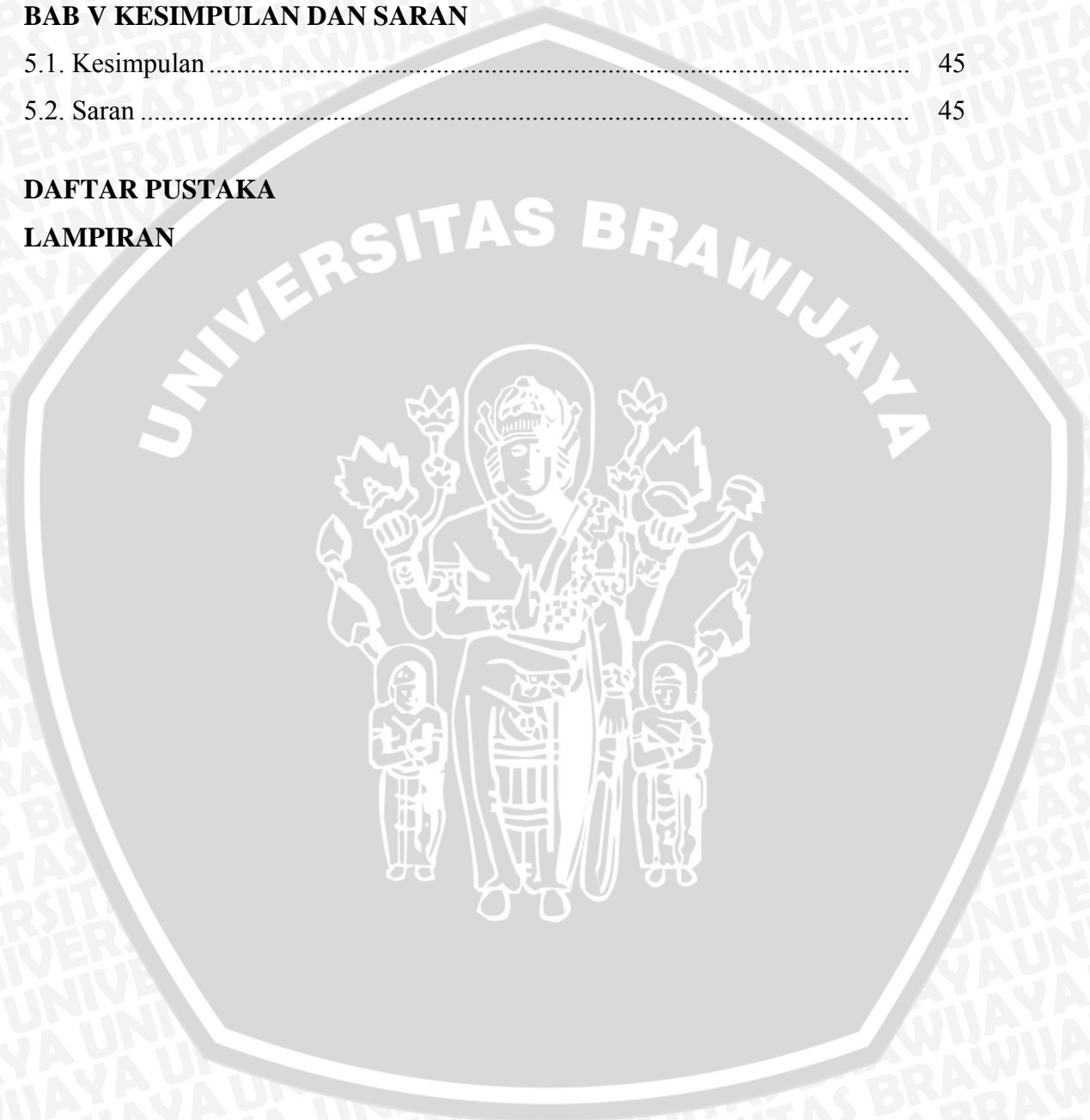
4.3. Grafik Dan Pembahasan .....	41
4.3.1. Hubungan <i>tool overhang</i> terhadap kekasaran permukaan dengan variasi gerak makan ( <i>feeding</i> ) .....	41
4.3.2. Hubungan interaksi perubahan <i>tool overhang</i> dan gerak makan ( <i>feeding</i> ) terhadap kekasaran permukaan .....	43

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan .....	45
5.2. Saran .....	45

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



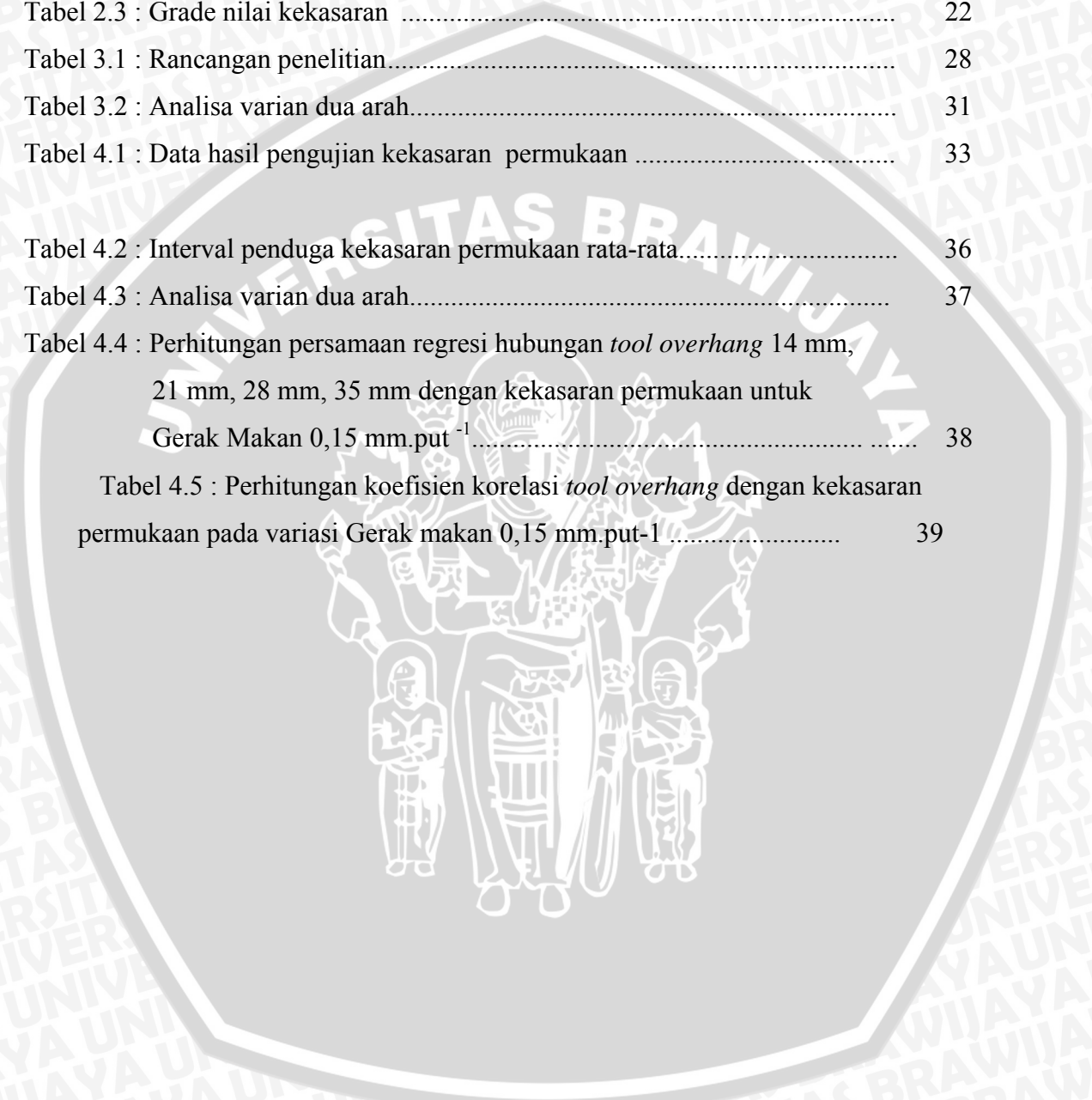
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Skema proses pembubutan.....	6
Gambar 2.2	: Proses bubut.....	7
Gambar 2.3	: Skema proses pembentukan geram.....	8
Gambar 2.4	: Jenis geram .....	10
Gambar 2.5	: Skema gaya pemotongan.....	11
Gambar 2.6	: Geometri pahat.....	12
Gambar 2.7	: Posisi pahat .....	13
Gambar 2.8	: <i>Tool Overhang</i> .....	13
Gambar 2.9	: Defleksi pahat.....	14
Gambar 2.10	: Terminologi ketidakrataan permukaan.....	15
Gambar 2.11	: Permukaan akhir ideal dengan pahat ujung tajam.....	17
Gambar 2.12	: Permukaan akhir ideal dengan pahat berujung radius.....	17
Gambar 3.1	: Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 4.1	: Grafik pengaruh tool overhang terhadap kekasaran permukaan.....	41
Gambar 4.2	: Grafik hubungan interaksi tool overhang dan gerak makan terhadap kekasaran permukaan.....	43



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 : Klasifikasi proses permesinan menurut jenis gerakan pahat terhadap benda kerja .....	5
Tabel 2.2 : Nilai gaya potong spesifik dan gerak makan .....	15
Tabel 2.3 : Grade nilai kekasaran .....	22
Tabel 3.1 : Rancangan penelitian.....	28
Tabel 3.2 : Analisa varian dua arah.....	31
Tabel 4.1 : Data hasil pengujian kekasaran permukaan .....	33
Tabel 4.2 : Interval penduga kekasaran permukaan rata-rata.....	36
Tabel 4.3 : Analisa varian dua arah.....	37
Tabel 4.4 : Perhitungan persamaan regresi hubungan <i>tool overhang</i> 14 mm, 21 mm, 28 mm, 35 mm dengan kekasaran permukaan untuk Gerak Makan 0,15 mm.put <sup>-1</sup> .....	38
Tabel 4.5 : Perhitungan koefisien korelasi <i>tool overhang</i> dengan kekasaran permukaan pada variasi Gerak makan 0,15 mm.put-1 .....	39



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data kekasaran permukaan

Lampiran 2 : Standar ISO Pahat Karbida

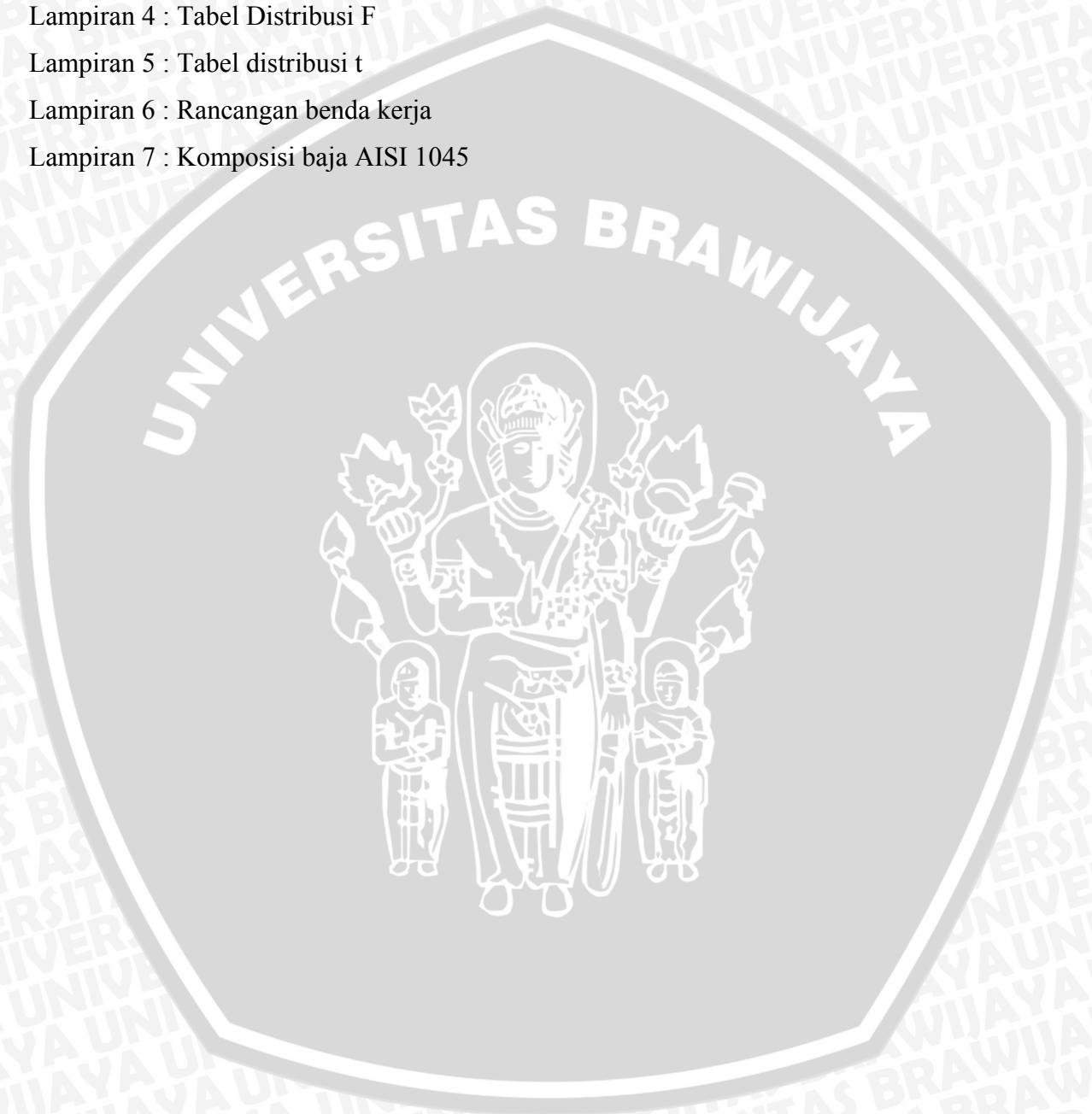
Lampiran 3 : Peralatan penelitian

Lampiran 4 : Tabel Distribusi F

Lampiran 5 : Tabel distribusi t

Lampiran 6 : Rancangan benda kerja

Lampiran 7 : Komposisi baja AISI 1045



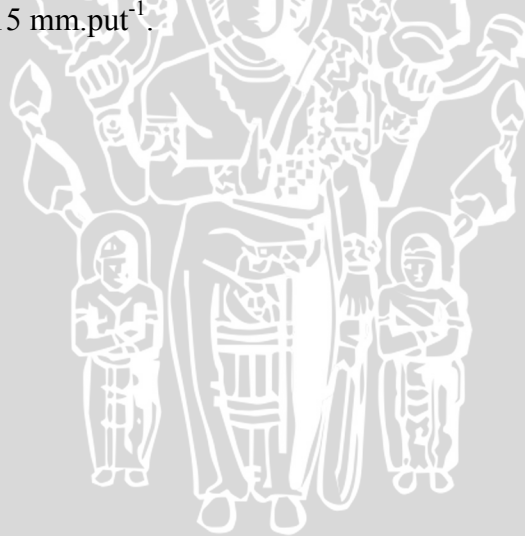
## RINGKASAN

Hendro Setiawan, Mei 2007. Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, *Pengaruh Tool Overhang Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja dengan Variasi Gerak Makan pada Proses Pembubutan*. Dosen Pembimbing : Ir. Imam Zaky, MT dan Ir. Endi Sutikno, MT.

Pembubutan merupakan suatu proses untuk mendapatkan bentuk benda kerja silindris dengan cara memutar benda kerja pada *spindle* dan menggerakkan pahat ke arah benda kerja. Untuk bisa meraut benda kerja pahat harus menggantung dan memanjang dari *turet*. Panjang pahat yang menggantung ini dinamakan *tool overhang* (Zelinski,2005:1). Belum ada petunjuk pasti pengaturan *tool overhang* dan hanya disesuaikan antara kedudukan turet dan benda kerja. Untuk mencapai kekasaran permukaan yang baik biasanya *tool overhang* diusahakan diatur seminimal mungkin.

Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah *tool overhang* sebesar 14 mm, 21 mm, 28 mm, 35mm dan gerak makan (*feeding*) 0,15 mm putaran<sup>-1</sup>, 0,25 mm putaran<sup>-1</sup>, 0,35 mm. putaran<sup>-1</sup>. Variabel terikat yang diukur adalah kekasaran permukaan benda kerja.

Dari hasil pengujian serta analisis data dapat disimpulkan bahwa *Tool overhang* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pembubutan dalam berbagai variasi gerak makan (*feeding*). Semakin panjang *tool overhang* dan semakin besar gerak makan akan menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin besar. Kekasaran permukaan terendah didapatkan dari *tool overhang* sepanjang 14 mm dan gerak makan (*feeding*) 0,15 mm.put<sup>-1</sup>.





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Era modern diikuti dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, tidak terkecuali dengan teknologi proses permesinan. Proses permesinan berguna untuk memotong atau mengurangi benda kerja sampai mencapai ukuran yang dikehendaki. Pada dasarnya perkembangan proses permesinan untuk mencapai ketelitian dimensi, toleransi dan kekasaran permukaan akhir yang lebih baik.

Salah satu proses permesinan yang banyak digunakan adalah pembubutan. Pembubutan merupakan suatu proses untuk mendapatkan bentuk benda kerja silindris dengan cara memutar benda kerja pada *spindle* dan menggerakkan pahat ke arah benda kerja. Proses pembubutan memiliki lima elemen dasar yaitu kecepatan potong, kecepatan makan, kedalaman pemotongan, waktu pemotongan dan kecepatan penghasilan geram (Rochim,1993:13). Selain itu juga dipengaruhi oleh geometri pahat serta material benda kerja yang digunakan. Elemen-elemen tersebut dipadukan hingga mendapatkan hasil permesinan yang baik. Salah satu kriteria hasil permesinan yang baik adalah kekasaran permukaan yang sesuai dengan yang dikehendaki.

Namun sering kali pada proses pembubutan kurang memperhatikan pemasangan pahat. Untuk bisa meraut benda kerja pahat harus menggantung dan memanjang dari *turet*. Panjang pahat yang menggantung ini dinamakan *tool overhang* (Zelinski,2005:1). Belum ada petunjuk pasti pengaturan *tool overhang* dan hanya disesuaikan antara kedudukan turet dan benda kerja. Untuk mencapai kekasaran permukaan yang baik biasanya *tool overhang* diusahakan diatur seminimal mungkin dan maksimal 1,5 kali tinggi *tool holder* terpasang (Sharma,2005:541). *Tool overhang* dikurangi sebisa mungkin untuk menghindari kemungkinan defleksi pahat saat proses pemotongan. Apabila defleksi yang terjadi terlalu besar maka dapat menyebabkan *chatter* dan dapat merusak baik benda kerja maupun pahat (Drew,1993:24). *Chatter* adalah getaran yang terjadi saat *pahat* bergerak ke arah benda kerja pada proses pemotongan. Getaran ini menimbulkan permukaan yang bergelombang, yang menyebabkan proses pemotongan berikutnya mengalami pembebanan yang bervariasi. Dan ketika hal itu terjadi, variasi pembebanan tadi memperburuk getaran yang sudah ada (Zelinski,2005:1). *Tool overhang* termasuk dalam variabel *pahat* yang mempengaruhi kekasaran permukaan

pada *Hard Turning* (Vernon,2003:13) ). *Tool overhang* tidak mempengaruhi gaya pemotongan yang terukur (Failli,2000:4).

Panjang pahat (*Tool length*) digunakan sebagai salah satu variabel penelitian yang dicurigai sebagai sumber getaran pahat yang mempengaruhi kekasaran permukaan akhir yang dihasilkan. Semakin panjang *tool length* maka kekasaran permukaan juga makin meningkat, kecuali untuk kedalaman pemotongan yang besar atau menggunakan pojok radius pahat yang kecil dikombinasikan dengan kedalaman pemotongan yang kecil (Thomas,M,1997:24). *Tool length* yang pendek menghasilkan kekasaran permukaan yang buruk ketika dikombinasikan dengan radius pojok pahat kecil sedangkan *pahat* yang panjang mengurangi kekakuan *pahat* (Thomas,2003:12).

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan, dapat ditarik rumusan masalah yaitu :  
Bagaimana pengaruh *tool overhang* terhadap kekasaran permukaan pada benda kerja dengan gerak makan (*feeding*) yang divariasikan ?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk membahas permasalahan yang ada agar sesuai dengan tujuan yang diinginkan maka dilakukan pembatasan agar tidak terlalu meluas. Adapun pembatasan masalah tersebut adalah :

1. Mesin yang digunakan adalah mesin bubut CNC ET-242
2. Benda kerja yang digunakan adalah baja AISI 1045
3. Alat ukur kekasaran permukaan yang digunakan adalah Mitutoyo *Surface Tester 301*
4. Pahat potong yang digunakan adalah jenis karbida merk SECO TOOL tipe CCMT 120408 F2TP30
5. *Tool holder* yang digunakan adalah *tool holder* tipe SCACL 1212M09
6. Parameter pemotongan yang digunakan sesuai dengan spesifikasi pahat potong pada katalog
7. Permasalahan yang ditinjau adalah kekasaran permukaan benda kerja
8. Tidak membahas *chatter*



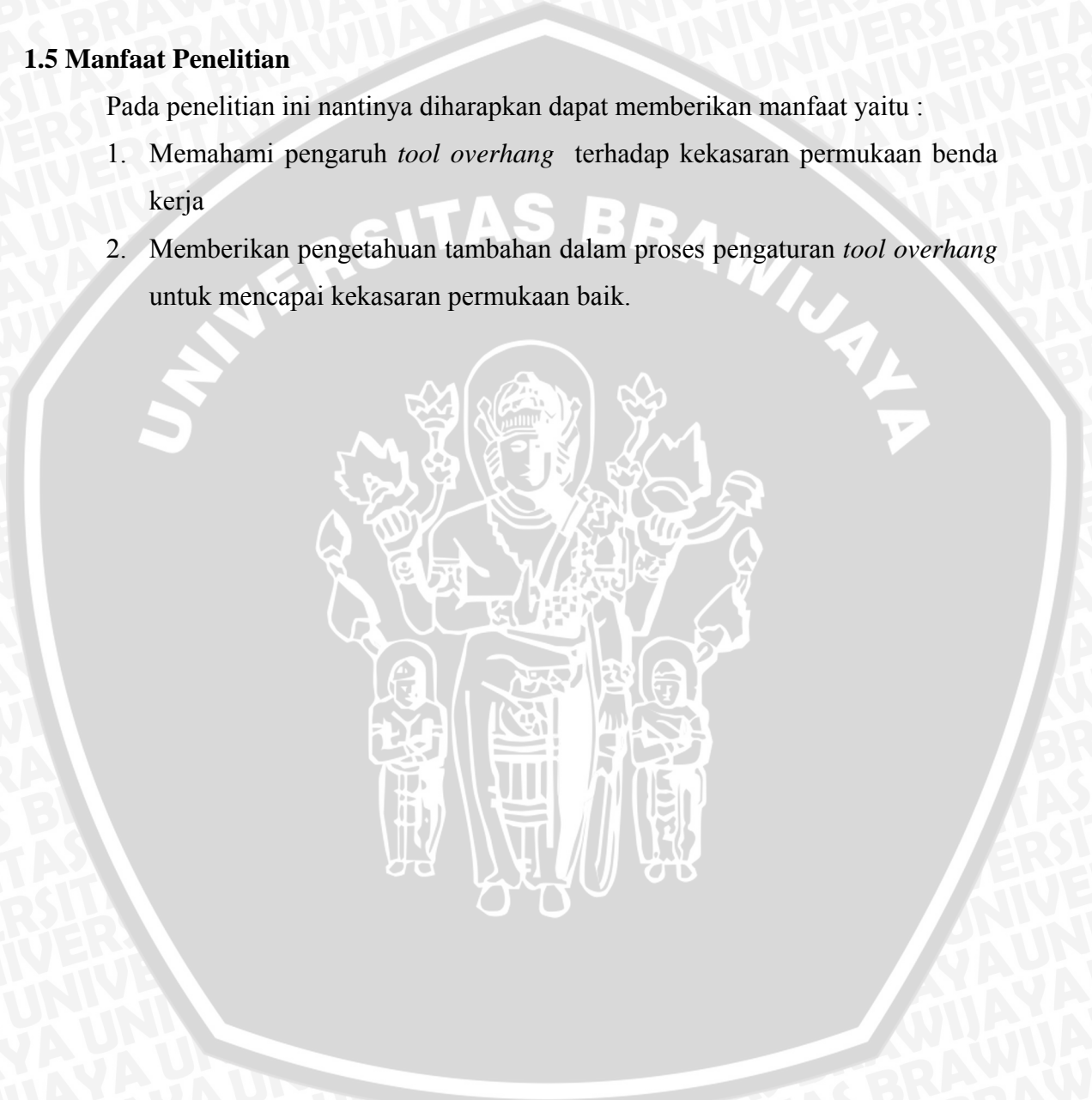
#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui adanya perubahan kekasaran permukaan benda kerja dengan *tool overhang* dan gerak makan (*feeding*) yang divariasikan.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini nantinya diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu :

1. Memahami pengaruh *tool overhang* terhadap kekasaran permukaan benda kerja
2. Memberikan pengetahuan tambahan dalam proses pengaturan *tool overhang* untuk mencapai kekasaran permukaan baik.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Aaron Vernon, et al (2003) meneliti faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada proses *hard turning* dan menyatakan bahwa *tool overhang* merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi kekasaran permukaan.

J N Keraita, et al (2001) meneliti kestabilan proses pembubutan dan menyatakan bahwa *tool overhang* merupakan faktor yang mempengaruhi *chatter*, yang merupakan tanda ketidakstabilan proses pembubutan.

M. Thomas, et al (1997) melakukan penelitian mengenai kekasaran permukaan dan formasi BUE pada proses *dry cutting*, didapatkan bahwa *tool length* semakin panjang maka kekasaran permukaan akan semakin meningkat kecuali bila dipadukan dengan kedalaman pemotongan yang besar atau radius ujung pahat kecil dengan kedalaman pemotongan kecil. *Tool length* pendek dipadukan dengan radius ujung pahat besar menghasilkan kekasaran permukaan yang baik

M Thomas, et al (2003) melakukan penelitian statistik mengenai parameter bantu *cutting tool* pada proses *dry turning*, didapatkan bahwa *tool length* pendek menghasilkan kekasaran permukaan yang buruk bila dikombinasikan dengan radius ujung pahat kecil.

F Faili, et al (1998) mendesain *dynamometer* untuk mengukur gaya pemotongan dan mendapatkan bahwa *tool overhang* tidak mempengaruhi gaya pemotongan yang terukur.

Wibowo, wahyu (2000) melakukan meneliti pengaruh kondisi pemotongan pada kecepatan potong yang konstan terhadap getaran pahat potong untuk bahan S45C dalam proses *roughing turning*, didapatkan bahwa semakin besar gerak makan (*feeding*) maka amplitudo getaran pahat yang dihasilkan semakin besar

## 2.2 Proses Permesinan

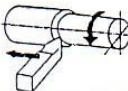


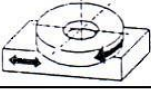

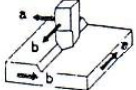
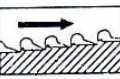
Proses permesinan adalah penghilangan logam dari benda kerja dalam bentuk geram sehingga didapatkan produk akhir dengan ukuran, bentuk dan kehalusan sesuai rancangan (Degarmo, et al, 1988:516 ).

Proses permesinan yang dilakukan bermacam-macam tergantung pada bentuk benda kerja yang dikerjakan. Berdasarkan permukaan yang terbentuk proses permesinan dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu :

- generasi permukaan silindris atau konis
- generasi permukaan rata atau lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja

selanjutnya berdasarkan gerakan relatif pahat terhadap benda kerja dapat dibagi tujuh (Rochim, 1993:5) sebagaimana terlihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi proses permesinan menurut jenis gerakan pahat terhadap benda kerja

Jenis proses		Gerak potong	Gerak makan
Bubut		benda kerja m/min	pahat mm/min
Gurdi		pahat m/min	pahat mm/min
Freis		pahat m/min	benda kerja mm/min
Gerinda rata		pahat m/s	benda kerja
Gerinda silindrik		pahat m/s	benda kerja 1&2
Sekrap meja (a) Sekrap (b)		a benda kerja b pahat m/min	a pahat b benda kerja m/min
Parut dan Gergaji		pahat m/min	

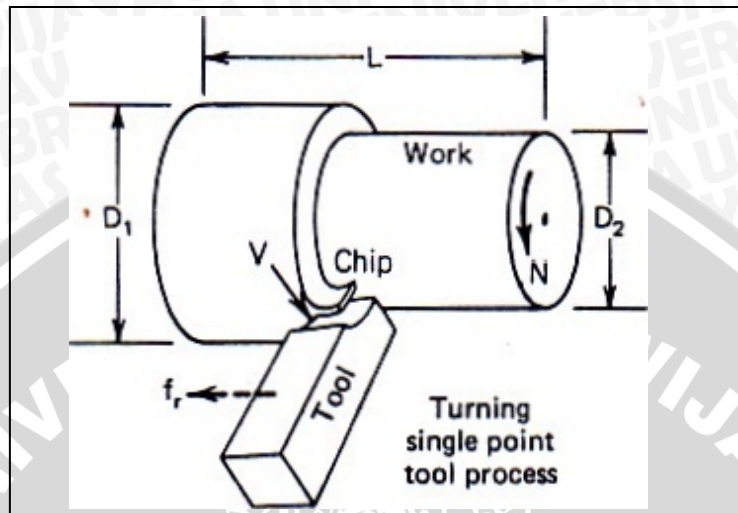
Sumber : Rochim, 1993 : 6

## 2.3 Proses Pembubutan

Proses pembubutan adalah proses pengurangan material dari benda kerja untuk memperoleh permukaan silindris dengan menggunakan pahat potong tunggal.



Pembubutan merupakan penggabungan dua gerakan yaitu gerakan rotasi benda kerja pada *spindel* dan gerakan pemakanan pahat potong baik secara transversal maupun longitudinal terhadap sumbu benda kerja (Degarmo, et al., 1988:516). Skema proses pembubutan dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Skema Proses Pembubutan  
Sumber : Degarmo, et al., 1983 : 586

### 2.3.1 Elemen Dasar Proses Pembubutan

Elemen dasar dari proses bubut dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan dengan memperhatikan gambar 2.2. Kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut :

Benda kerja :  $d_o$  = diameter mula (mm)

$d_m$  = diameter akhir (mm)

$l_t$  = panjang permesinan (mm)

Pahat :  $kr$  = sudut potong utama

$\gamma_o$  = sudut geram (*rake angle*)

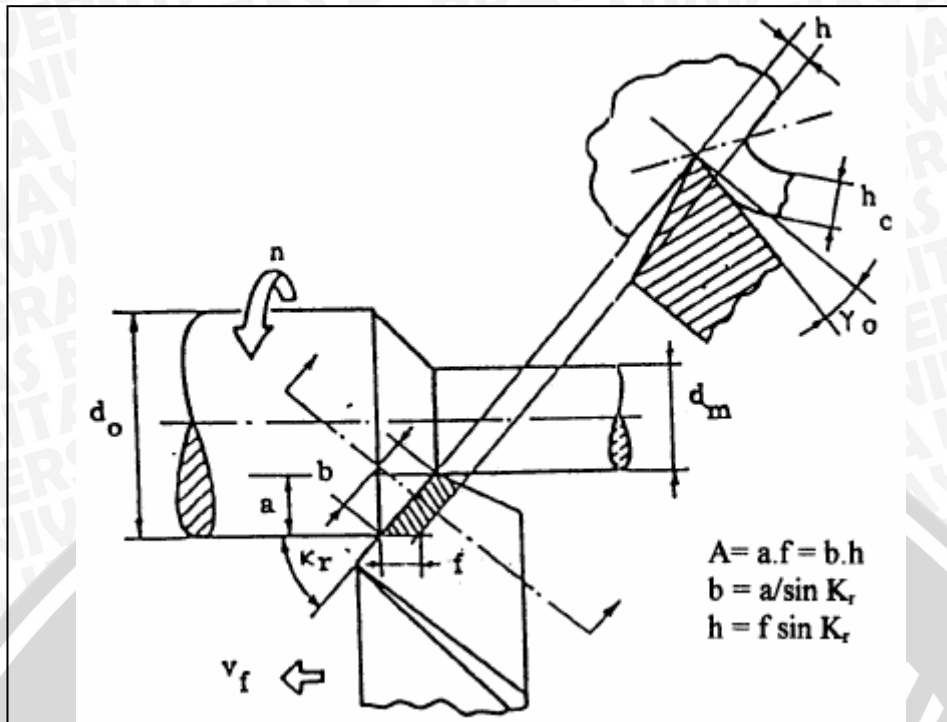
mesin bubut :  $a = \frac{(d_o - d_m)}{2}$  (mm) (2-1)

$a$  = kedalaman pemotongan (mm)

$f$  = gerak makan ( $\text{mm.put}^{-1}$ )

$n$  = putaran poros utama (rpm)





Gambar 2.2 Proses Bubut  
Sumber : Rochim,1994:15

Elemen dasar dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus berikut :

1. Kecepatan potong :

$$v = \frac{\pi.d.n}{1000} \text{ (m.min}^{-1}\text{)} \quad (2-2)$$

2.Kecepatan makan :

$$v_f = f.n \text{ (mm.min}^{-1}\text{)} \quad (2-3)$$

3. Waktu pemotongan :

$$tc = \frac{lt}{v_f} \text{ (min)} \quad (2-4)$$

4. Kecepatan penghasilan geram:

$$Z = AV \text{ (cm}^3\text{.min}^{-1}\text{)} \quad (2-5)$$

Dimana penampang geram sebelum terpotong  $A = f.a \text{ (mm}^2\text{)}$  (2-6)

Maka  $Z = f.a.v \text{ (cm}^3\text{.min}^{-1}\text{)}$  (2-7)

Pada gambar 2.2 diperlihatkan sudut potong utama yaitu sudut antara mata potong mayor dengan kecepatan makan ( $v_f$ ). Besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pahat pada mesin perkakas (orientasi pemasangannya). Untuk harga kedalaman pemotongan ( $a$ ) dan gerak makan ( $f$ ) yang

tetap maka sudut ini menentukan besarnya lebar pemotongan ( $b$ ) dan tebal geram sebelum terpotong ( $h$ ) sebagai berikut (Rochim,1993:15) :

Lebar pemotongan :

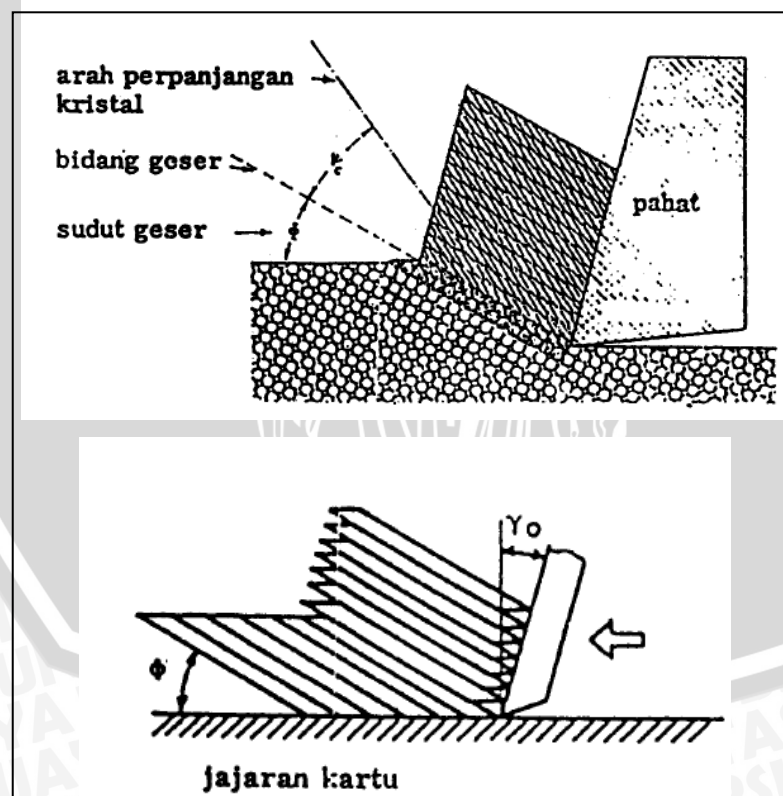
$$b = \frac{a}{\sin k_r} \quad (\text{mm}) \quad (2-8)$$

Tebal geram sebelum terpotong :

$$h = f \cdot \sin k_r \quad (\text{mm}) \quad (2-9)$$

### 2.3.2 Proses Pembentukan Geram

Logam yang pada umumnya bersifat ulet (*ductile*) apabila mendapat tekanan akan timbul tegangan (*stress*) di daerah sekitar konsentrasi gaya penekanan dari mata potong pahat. Tegangan pada logam (benda kerja) tersebut mempunyai orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser (*shearing stress*) yang maksimum. Apabila tegangan geser ini melebihi kekuatan logam yang bersangkutan maka akan terjadi deformasi plastis yang menggeser dan memutuskan benda kerja di ujung pahat pada suatu bidang geser (*shear plane*), lihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema proses pembentukan geram  
Sumber : Rochim,1993 : 25

Bidang geser mempunyai lokasi tertentu yang mempunyai sudut terhadap vektor kecepatan potong dinamakan sudut geser (*shear angle*,  $\Phi$ ). Proses terbentuknya geram



dapat diterangkan melalui analogi tumpukan kartu. Bila setumpuk kartu dijajarkan dan diatur sedikit miring (sesuai dengan sudut geser) kemudian didorong dengan penggaris yang membuat sudut dengan garis vertikal (sesuai dengan sudut geram  $\gamma_0$ ) maka kartu bergeser ke atas relatif terhadap kartu dibelakangnya. Pergeseran tersebut berlangsung secara berurutan dan kartu terdorong melewati bidang atas penggaris. Analogi kartu tersebut menerangkan keadaan sesungguhnya dari kristal logam yang terdeformasi sehingga merupakan lapisan tipis yang bergeser pada bidang geser.

### 2.3.3 Macam-macam Bentuk Geram

Bentuk dan ukuran geram yang didapatkan dari proses permesinan menandakan jenis dan kualitas proses tersebut. Jenis geram dibagi menjadi tiga sebagai berikut :

#### 1. Geram kontinyu

Geram kontinyu (*continous chip*) dihasilkan ketika material di depan pahat terdeformasi tanpa patah dan mengalir di atas mata potong dalam bentuk pita. Dapat diasumsikan bahwa tiap lapisan material melekat (seperti dilas) pada lapisan sebelumnya akibat temperatur tinggi sehingga menghasilkan geram kontinyu. Geram ini dihasilkan saat melakukan permesinan baja atau logam ulet pada kecepatan potong tinggi. Walaupun umumnya geram jenis ini menghasilkan permukaan akhir yang baik, geram kontinyu tidak selalu diinginkan terutama pada mesin perkakas otomatis karena cenderung melilit pada *tool holder*. Sehingga operasi harus dihentikan untuk membuangnya. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan *chip breaker* pada pahat. Bentuk geram ini terlihat pada gambar 2.4 b

#### 2. Geram bersegmen atau geram diskontinyu

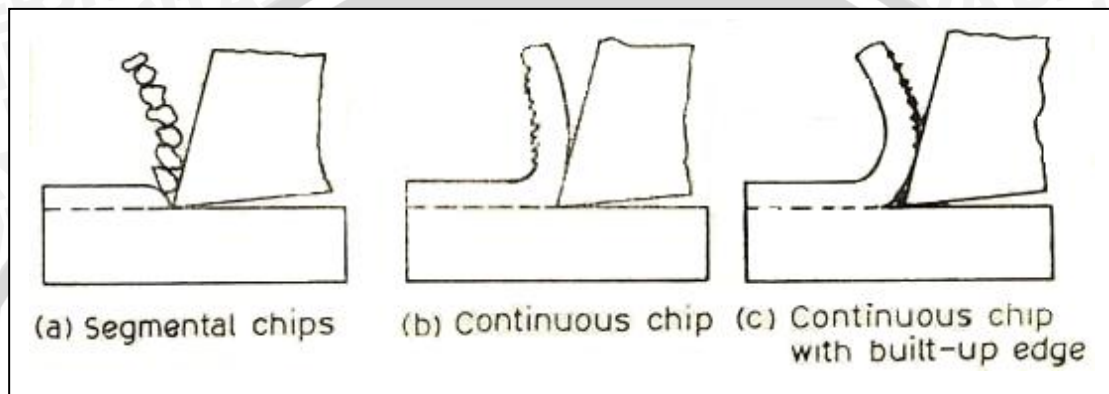
Geram diskontinyu terdiri dari segmen-segmen yang melekat satu sama lain atau terpisah-pisah. Geram ini dihasilkan ketika melakukan permesinan material yang getas karena material ini tidak memiliki kemampuan untuk melewati regangan yang besar dalam pemotongan. Atau ketika memotong material ulet pada kecepatan potong rendah dan kedalaman pemotongan yang besar. Bentuk geram ini terlihat pada gambar 2.4 a

#### 3. Geram kontinyu dengan *Build Up Edge (BUE)*

Jenis geram ini mirip dengan geram kontinyu hanya saja sebuah *BUE* terbentuk pada ujung pahat. *BUE* terbentuk akibat adanya pengelasan material geram pada mata potong karena besarnya gesekan antara geram dan mata potong. Adanya pengelasan ini semakin meningkatkan gesekan yang



mengakibatkan terbentuknya *BUE* berlapis pada mata potong. Seiring bertambahnya *BUE*, aliran geram memecahnya menjadi beberapa bagian. Sebagian menempel pada benda kerja dan sebagian terbawa geram. Geram seperti ini biasanya muncul ketika memotong material ulet pada kecepatan potong rendah. Geram dengan *BUE* tidak diharapkan karena menimbulkan konsumsi daya tinggi, permukaan akhir buruk dan keausan pahat yang lebih tinggi. Bentuk geram ini terlihat pada gambar 2.4 c

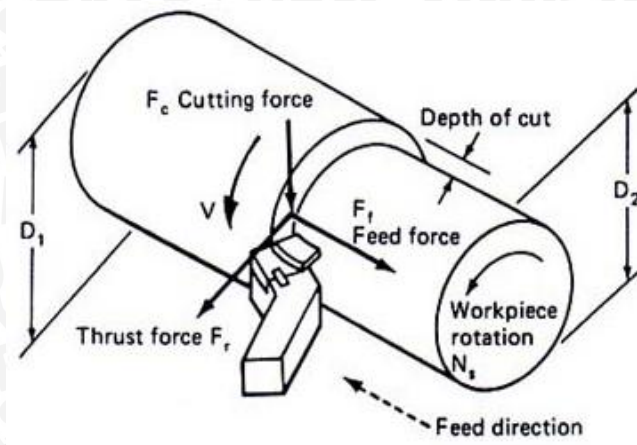


Gambar 2.4 Jenis geram  
Sumber : Bangalore, 1978:5

### 2.3.4 Gaya Pemotongan

Gaya pemotongan pada proses pembubutan secara skematis ditunjukkan pada gambar 2.5, memiliki tiga komponen (Degarmo, et al., 1988:535) :

1.  $F_c$  = Gaya potong utama bekerja pada arah vektor kecepatan potong, menentukan defleksi tool yang terjadi dan merupakan komponen gaya terbesar pada gaya pemotongan (Bangalore, 1978:87).
2.  $F_f$  = Gaya pemakanan adalah gaya yang bekerja melawan gerak makan pahat potong, bekerja pada arah pemakanan pahat
3.  $F_r$  = Gaya radial bekerja tegak lurus terhadap permukaan benda kerja.



Gambar 2.5 Skema Gaya Pemotongan  
Sumber: Degarmo, et al, 1988:535

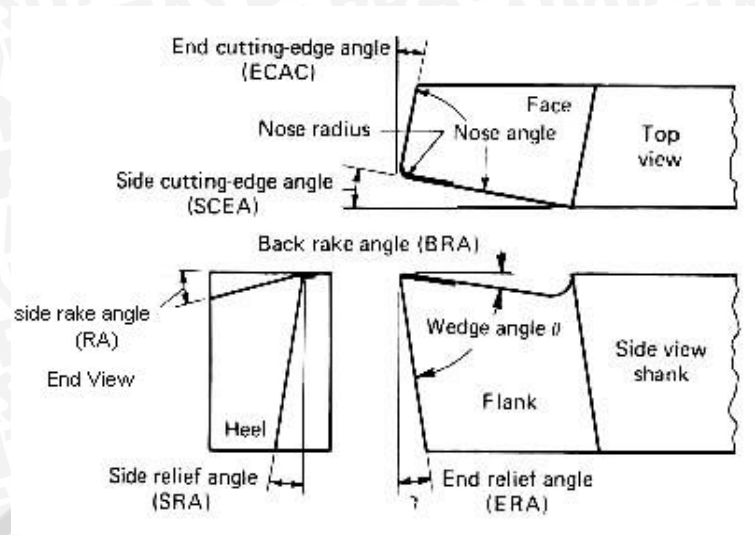
## 2.4 Pahat Potong

Keberhasilan pemotongan logam bergantung pada pemilihan pahat potong yang sesuai (material dan geometri). Berdasarkan mata potong, pahat dapat dibedakan menjadi dua yaitu pahat bermata potong tunggal dan pahat bermata potong jamak. Sedangkan berdasarkan konstruksinya, pahat potong digolongkan menjadi dua yaitu pahat solid dan pahat sisipan. Pada proses pembubutan pahat potong yang digunakan adalah pahat bermata potong tunggal.

### 2.4.1 Geometri Pahat

Pada dasarnya geometri pahat bermata potong tunggal dapat dibedakan menjadi: bagian-bagian pahat, sudut-sudut utama pahat (*basic tool angle*) dan radius ujung pahat (*nose radius*). Susunan sudut-sudut utama pahat dan radius ujung pahat dikenal dengan istilah *tool signature*.





Gambar 2.6 Geometri pahat  
Sumber : Degarmo, et al, 1988 : 567

Adapun beberapa bagian pahat adalah sebagai berikut :

*Shank* adalah bagian utama pahat untuk dipasang pada mesin perkakas

*Flank* adalah permukaan bagian bawah, bersisian dengan mata potong (*cutting edge*)

*Face* adalah permukaan pahat tempat geram meluncur

*Heel* adalah perpotongan antara *Flank* dan *base* pahat

*Nose* adalah radius ujung pahat yang merupakan titik perpotongan antara *side cutting edge* dan *end cutting edge*

*Cutting edge* adalah bagian tepi pahat yang menghilangkan material dari benda kerja

Menurut standarisasi dari ASA (*American Standard Assosiation*) *tool signature* meliputi *rake angles*, *relief angles*, *cutting edge angles* dan *nose radius*.

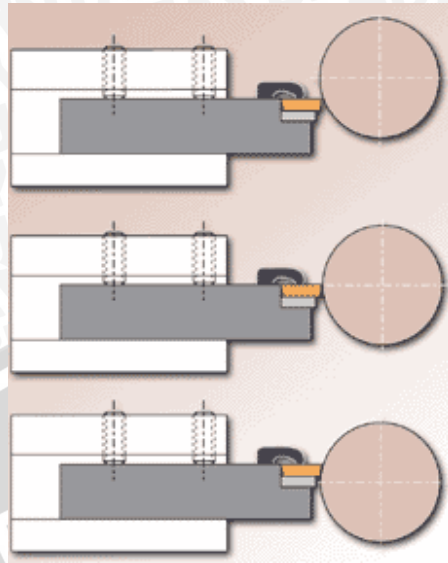
*Back rake angle* mempengaruhi kemampuan pahat untuk membentuk geram, dapat bernilai positif atau negatif. *Rake angle* positif mengurangi gaya potong sehingga mengakibatkan defleksi yang lebih kecil pada *tool holder*, benda kerja maupun mesin perkakas.

*Relief angle* mempengaruhi laju keausan pahat dan kualitas permukaan akhir benda kerja. *Relief angle* besar diperlukan untuk mengurangi defleksi *tool* dan benda kerja serta menghasilkan kualitas permukaan akhir yang baik.

Pahat karbida dan *tool holder* memiliki geometri yang ditentukan oleh standart ISO sebagaimana ditunjukkan pada lampiran 2



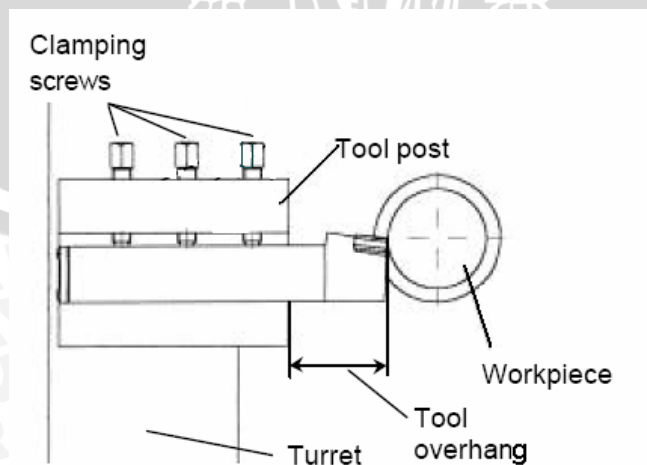
## 2.4.2 Pengaruh Posisi Pahat



Gambar 2.7 Posisi pahat  
Sumber: Hardinge, Inc, 2005:

Pada gambar 2.7 menunjukkan bagaimana sudut-sudut geometri diatas bervariasi tergantung pada posisi pahat dan benda kerja. Apabila *tool point* terletak di atas sumbu *spinde*, *rake angle* akan meningkat dan *clearence angle* akan menyempit. Hal ini akan mengakibatkan gesekan pada *flank face*. Apabila *tool point* terletak di bawah sumbu *spindle* *rake angle* akan mengecil dan *relief angle* akan meningkat, sehingga mengakibatkan peningkatan gaya potong. Untuk menjaga nilai sudut agar tidak berubah perlu untuk memegang pahat sedemikian rupa sehingga *cutting edge* tepat berada pada sumbu *spindle*.

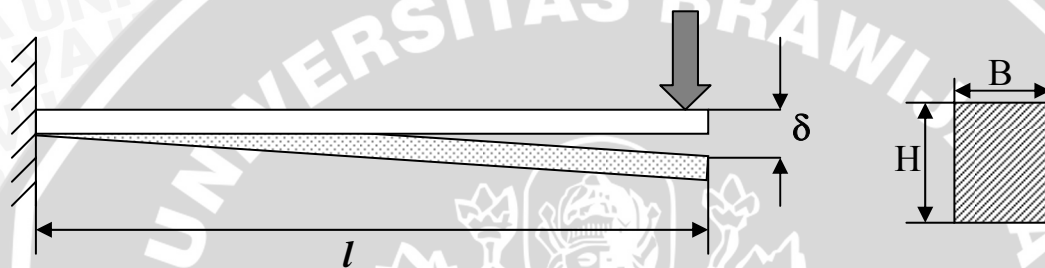
## 2.4.3 Tool Overhang



Gambar 2.8 Tool overhang  
Sumber : Failli, et al., 1998:3

*Tool overhang* didefinisikan sebagai bagian pahat yang menggantung dan memanjang dari *holdernya* (Zelinski,2005:1), sebagaimana yang terlihat pada gambar 2.8. Panjang *tool overhang* yang digunakan tergantung pada benda kerja dan profil yang akan dikerjakan (Cooperrider,1997:1). *Tool overhang* yang digunakan diusahakan sebesar 1 sampai 1,5 kali tinggi *tool holder* (Sharma:2001:541). *Tool overhang* panjang diperlukan apabila melakukan proses pembubutan benda kerja yang memiliki perbedaan diameter seperti pada poros bertingkat atau memiliki profil yang membutuhkan jangkauan yang panjang dari pahat.

*Tool overhang* yang panjang dapat menyebabkan defleksi seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Defleksi pahat

Defleksi yang terjadi pada *tool holder* (*square*) adalah :

$$\delta = \frac{4F_c l^3}{E.B.H^3} \quad (2-10)$$

Dimana :

$\delta$  = defleksi *tool holder* (mm)

$l$  = *tool overhang* (mm)

$E$  = Modulus Elastisitas *tool holder* (*carbon structural steel*) (N.mm<sup>-2</sup>)

= 20.10<sup>4</sup> N.mm<sup>-2</sup> - 22.10<sup>4</sup> N.mm<sup>-2</sup> (Sharma:2001:543)

$B$  = lebar *tool holder* (mm)

$H$  = tinggi *tool holder* (mm)

$F_c$  = Gaya Potong (N)

$F_c = f.a.K_s$

(2-11)

$K_s$  = Gaya Potong spesifik (N.mm<sup>-2</sup>)



Tabel 2.2 Nilai gaya potong spesifik dan gerak makan

Material	Gaya Potong Spesifik (N.mm <sup>-2</sup> )
	f = 0.1 - 0.4 (mm.put <sup>-1</sup> )
Carbon Steel	3000-2500
Alloy Steel	4500-3000
Cast Iron	2000-1500

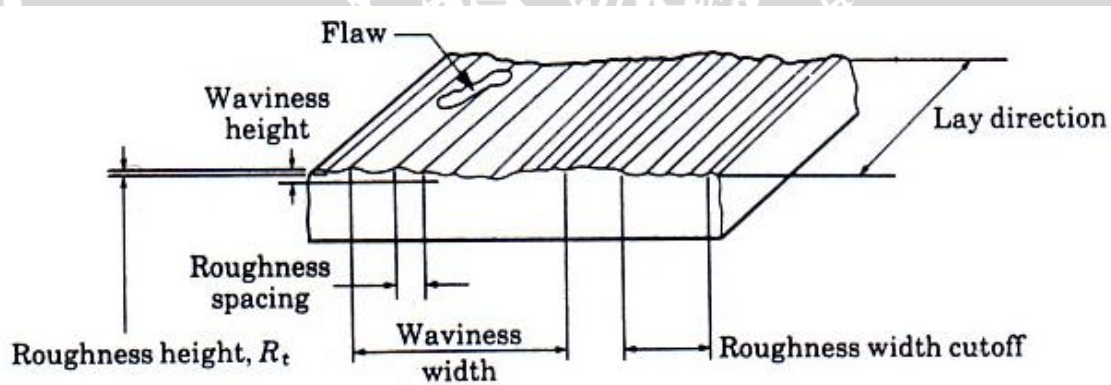
Sumber : Hitachi Turning Guide 2000,2000:34

$$\text{Sehingga } \delta = \frac{4 \cdot f \cdot a \cdot K_s \cdot l^3}{E \cdot B \cdot H^3} \text{ (mm)} \quad (2-12)$$

Defleksi yang diijinkan untuk proses pengkasaran sebesar 0,10 mm sedangkan untuk proses *finishing* sebesar 0,05 mm. (Sharma:2001:541)

### 2.5 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah ketidakrataan kehalusan permukaan pada suatu permukaan (Degarmo, et al., 1988). Pada gambar 2.10 berikut merupakan bentuk-bentuk ketidakrataan permukaan.



Gambar 2.10 Terminologi ketidakrataan permukaan

Sumber: Kalpakjian, 1990:163

*Flaws* atau cacat adalah ketidakrataan acak seperti goresan, retakan, lubang dan sebagainya

*Lays* atau arah merupakan arah dari pola permukaan yang dihasilkan oleh bekas pahat

*Roughness* atau kekasaran merupakan ketidakrataan berjarak pendek yang dihasilkan oleh pahat potong.

*Waviness* merupakan ketidakrataan yang memiliki jarak yang lebih besar dari kekasaran dan berupa gelombang.



Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah sebagai berikut (Sharma,2001:372)

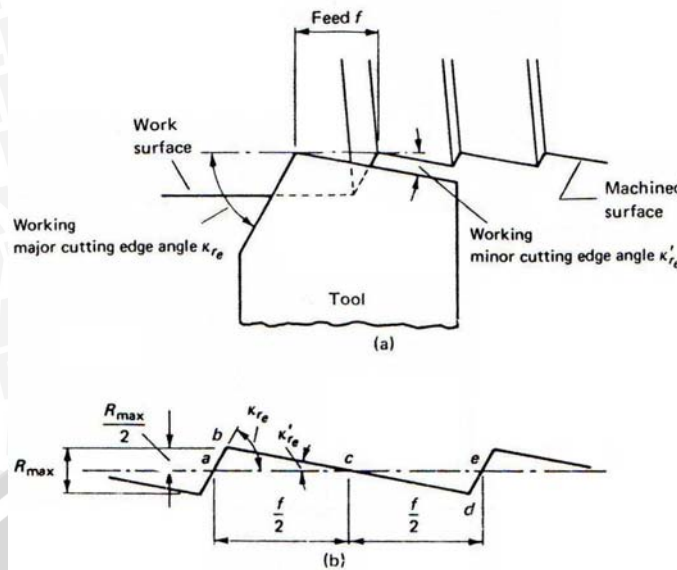
1. Getaran
2. Material benda kerja
3. Jenis mesin perkakas
4. Rigiditas, yang terdiri dari rigiditas mesin, pahat dan benda kerja
5. Jenis, bentuk, ketajaman pahat
6. Kondisi pemotongan
7. Jenis cairan pendingin yang digunakan

Kekasaran permukaan akhir yang didapat selama proses permesinan merupakan perpaduan dari dua macam kekasaran permukaan yaitu :

- a. kekasaran permukaan ideal
- b. kekasaran permukaan natural

### 2.5.1 Kekasaran Permukaan ideal

Kekasaran permukaan ideal merupakan kemungkinan hasil akhir yang mungkin didapatkan dari sebuah geometri pahat tertentu dan *feed*, dan hanya bisa didekati bila *Build Up Edge*, *chatter*, ketidaktepatan pergerakan mesin diabaikan. Hasil permukaan ideal untuk proses pembubutan (yang diperoleh pada kondisi ideal) dengan pahat yang tajam dapat dilihat pada gambar 2.11a. Pada gambar 2.11b ditunjukkan penampang permukaan, dimana garis rata-rata yang dibuat paralel terhadap arah permukaan membagi permukaan sedemikian sehingga luasan yang terbentuk diatas garis sama dengan luasan dibawah garis.



Gambar 2.11 Permukaan akhir ideal dengan pahat ujung tajam  
 Sumber : Boothroyd, 1981:136

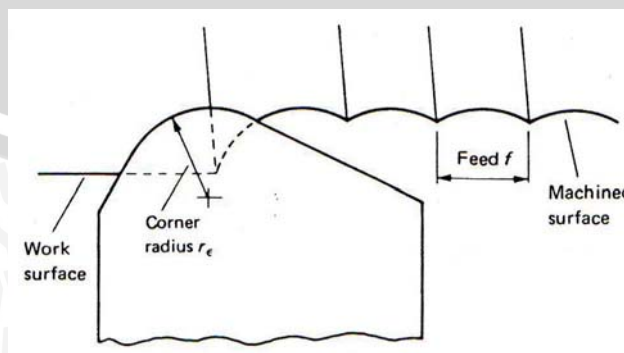
Nilai kekasaran permukaan Ra diberikan sebagai jumlah mutlak semua luasan di atas dan di bawah garis rata-rata dibagi panjang sampel, sehingga untuk gambar 2.12 nilai kekasaran permukaannya adalah:

$$Ra = \frac{|\text{luasan abc}| + |\text{luasan cde}|}{f} \quad (2-13)$$

Karena luas abc dan cde sama, maka

$$Ra = \frac{2}{f} (\text{luasan abc}) = \frac{R_{max}}{4} \quad (2-14)$$

Pahat potong biasanya mempunyai sudut yang beradius seperti ditunjukkan pada gambar 2.12. Gambar ini memperlihatkan pula permukaan yang dihasilkan oleh pahat pada kondisi ideal. Nilai kekasaran permukaannya dipengaruhi oleh pemakanan dan radius pahat. (Boothroyd,1985:136)



Gambar 2.12 Permukaan akhir ideal dengan pahat berujung radius  
 Sumber : Boothroyd, 1981:138

Untuk pahat dengan radius ujung menghasilkan kekasaran permukaan ideal sebesar

$$R_a = \frac{0.0321 f^2}{r_e} \text{ (mm) (Boothroyd,1985:138)} \quad (2-15)$$

Dimana :  $r_e$  = radius ujung pahat (mm)

### 2.5.2 Kekasaran Permukaan natural

Pada kenyataannya sulit mendapatkan kekasaran permukaan seperti yang ditunjukkan diatas. Biasanya kekasaran permukaan natural membentuk sebagian besar kekasaran permukaan akhir. Kekasaran permukaan natural banyak dipengaruhi oleh adanya BUE (*Build Up edge*). BUE bisa terbentuk secara kontinyu kemudian patah, bagian patahan BUE terbawa pada geram dan pada permukaan baru benda kerja. Oleh karena itu semakin besar BUE yang terjadi maka kekasaran permukaan yang dihasilkan juga semakin besar.

Kekasaran permukaan yang didapatkan juga dipengaruhi oleh kekakuan sistem pemotongan, ketermesinan benda kerja dan kondisi pemotongan yang dipilih. Kekasaran yang didapatkan sebesar

$$R_t = C_r \cdot \frac{f^2}{8r_e} \text{ (}\mu\text{m) (Rochim,1993:91)}$$

(2-16)

Dimana :

$R_t$  = kekasaran total ( $\mu\text{m}$ )

$f$  = gerak makan ( $\text{mm.put}^{-1}$ )

$C_r$  = faktor konversi, tergantung pada sifat ketermesinan benda kerja, kondisi pemotongan yang dipilih dan kekakuan sistem pemotongan (kaku = 2000, sedang = 2300, lemah = 3000)

### 2.5.3 Pengaruh Kekasaran Permukaan terhadap komponen

#### 1. Ketahanan aus

Kekasaran permukaan antara dua permukaan yang bergesekan sangat mempengaruhi tingkat keausan dari permukaan tersebut. Khususnya pada permukaan yang memiliki lapisan oli tipis, karena profil puncak dari kedua permukaan yang bertemu akan merusak lapisan tersebut. Namun kekasaran



permukaan tertentu diperlukan untuk menjaga keberadaan lapisan oli tipis sehingga diperlukan nilai optimum kekasaran untuk menyesuaikan dengan kondisi tersebut.

#### 2. Ketahanan lelah

Goresan, dan profil lembah pada permukaan benda kerja menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan sehingga dapat menyebabkan terjadinya retakan. Retakan akan menurunkan kekuatan material dan dapat menyebabkan kegagalan komponen mesin.

#### 3. Ketahanan korosi

Profil lembah pada benda kerja menjadi tempat terakumulasinya bahan pengkorosi. Oleh karena itu semakin kasar permukaan maka semakin besar lembah yang ada dan penetrasi korosi yang terjadi semakin dalam. Semakin halus permukaan benda kerja maka semakin sedikit luas kontak dengan media pengkorosi dan kerusakan yang terjadi semakin kecil.

#### 4. Kekuatan suaian

Kekasaran permukaan juga mempengaruhi kesesuaian antar komponen mesin, terutama tinggi dari *micro irregularities*. Ketika satu komponen mesin ditekankan satu sama lain ujung puncak profil kekasarannya tergerus dan permukaan menjadi lebih halus. Dan mengakibatkan kelonggaran yang diperoleh berbeda dengan yang direncanakan.

### 2.5.4 Metode Pemeriksaan Kekasaran Permukaan

#### 1. Pemeriksaan visual

Pemeriksaan visual merupakan metode paling sederhana untuk menilai kekasaran permukaan pada berbagai bentuk, ukuran dan material benda kerja. Benda kerja dibandingkan dengan spesimen yang memiliki standar tertentu dari proses permesinan tertentu pula. Perbandingan dapat dilakukan dengan visual dan meraba permukaan benda kerja dan spesimen.

#### 2. Pemeriksaan dengan alat ukur

Alat ukur yang biasa digunakan *surface profilometer*, sebuah alat elektromekanik yang menggunakan *stylus* yang dijalankan sepanjang garis lurus pada permukaan benda kerja. *Stylus* yang biasa digunakan memiliki ujung radius 10 $\mu$ m dan jarak yang ditempuh 0.8 mm, jarak ini dinamakan *cut off*. Hasil kekasaran permukaan yang diperiksa kemudian dicetak untuk kemudian

dianalisa. Alat ini dapat memberikan nilai kekasaran rata-rata, nilai kekasaran maksimum, atau kekasaran kuadratik.

### 2.5.5 Metode Pengukuran Kekasaran Permukaan

#### 1. Kekasaran rata-rata kuadratik

kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square*) dinyatakan dalam persamaan (Sharma,2001:376) :

$$R_q = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_n^2}{n}} \quad (2-17)$$

dimana :

$R_q$  = kekasaran rata-rata kuadratik ( $\mu\text{m}$ )

$y$  = jarak profil terukur dengan profiltengah ( $\mu\text{m}$ )

$n$  = jumlah data

#### 2. Kekasaran rata-rata aritmatik

kekasaran rata-rata aritmatik (*center line average*) adalah metode pengukuran kekasaran yang umum dipakai. Kekasaran rata-rata aritmatik dinyatakan dalam persamaan (Sharma,2001:376) :

$$R_a = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n}{n} \quad (2-18)$$

dimana :

$R_a$  = kekasaran aritmatik ( $\mu\text{m}$ )

$y$  = jarak profil terukur dengan profil tengah ( $\mu\text{m}$ )

$n$  = jumlah data

#### 3. Kekasaran total

Kekasaran total adalah jarak antara profil terukur maksimal (puncak tertinggi) dengan profil minimal (lembah terendah). Kekasaran total dinyatakan dalam persamaan 2-11:

$$R_t = R_{\max} = y_{\max} + y_{\min} \quad (2-19)$$

dimana :

$R_t = R_{\max}$  = kekasaran total ( $\mu\text{m}$ )

$y_{\max}$  = jarak profil terukur maksimal dengan profil tengah ( $\mu\text{m}$ )

$y_{\min}$  = jarak profil terukur minimal dengan profil tengah ( $\mu\text{m}$ )

4. Kekasaran total rata-rata

Kekasaran total rata-rata adalah jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah. Kekasaran total rata-rata dinyatakan dalam persamaan (Rochim,2001:57)

$$R_z = \sum \left( \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_5 - (R_6 + \dots + R_{10})}{5} \right) \quad (2-20)$$

dimana:

$R_z$  = kekasaran total rata-rata ( $\mu\text{m}$ )

$R_1, R_2, \dots, R_5$  = jarak profil alas ke profil terukur tertinggi ( $\mu\text{m}$ )

$R_6, R_7, \dots, R_{10}$  = jarak profil alas ke profil terukur terendah ( $\mu\text{m}$ )

5. Kekasaran perataan

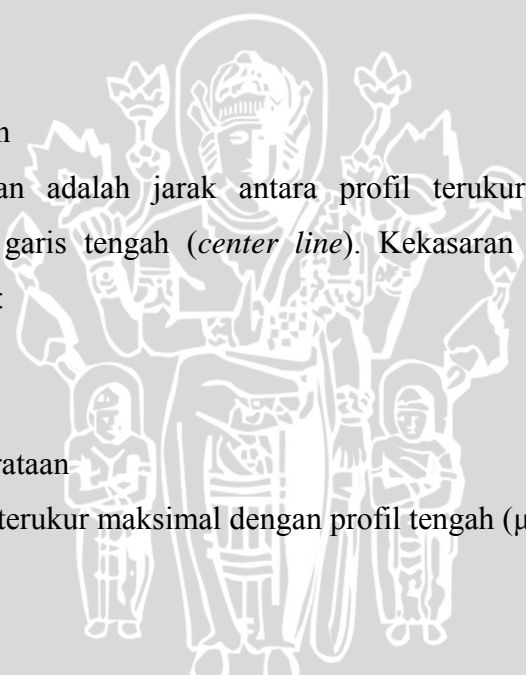
Kekasaran perataan adalah jarak antara profil terukur maksimal (puncak tertinggi) dengan garis tengah (*center line*). Kekasaran perataan dinyatakan dengan persamaan:

$$R_p = y_{\max} \quad (2-21)$$

Dimana :

$R_p$  = kekasaran perataan

$y_{\max}$  = jarak profil terukur maksimal dengan profil tengah ( $\mu\text{m}$ )





### 2.5.6 Representasi Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan dinyatakan dengan tingkatan atau *grade* menurut ISO sebagai berikut:

Tabel 2.3 Grade Nilai Kekasaran

Nilai kekasaran $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Grade kekasaran	Simbol kekasaran
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 : Sharma, 2001 : 381

Proses pembubutan umumnya (*turning*) menghasilkan nilai kekasaran permukaan antara  $R_a = 6.3 \mu\text{m}$  sampai  $R_a = 0.40 \mu\text{m}$  (Kalpakjian, 1990:514)

### 2.6 Getaran Pahat Potong

Terjadinya getaran antara pahat dan benda kerja pada saat proses permesinan selalu menimbulkan efek yang merugikan. Dari segi produk yang dihasilkan, getaran dapat menyebabkan rendahnya kualitas permukaan (terlalu kasar), dan terjadinya kesalahan bentuk atau ukuran pada benda kerja. Selain itu timbulnya getaran juga dapat mempercepat laju keausan pahat, memperpendek umur komponen-komponen mesin perkakas, yang akhirnya dapat menurunkan tingkat kecepatan produksi.

Secara garis besar, getaran yang timbul sewaktu dilakukan pemotongan dikelompokkan menjadi dua, yaitu: getaran paksa (*Forced Vibration*) dan *chatter* (*Self Induced Vibrations*).

#### 2.6.1 Getaran Paksa (*Forced Vibrations*)

Getaran yang terjadi pada proses permesinan dapat berupa getaran paksa yaitu getaran yang disebabkan oleh eksitasi getaran dari luar. Getaran paksa (*forced vibration*) kebanyakan disebabkan oleh karena adanya variasi siklik dari gaya-gaya pemotongan. Misalnya, variasi siklik pada proses milling, getaran paksa disebabkan

oleh persinggungan periodik antara pahat potong ketika masuk dan keluar permukaan benda kerja. Penyebab lain karena adanya cacat pada komponen yang melakukan gerak rotasi, getaran dari bagian-bagian penumpu (misal: pondasi mesin perkakas), getaran akibat proses pemotongan terputus, dan lain-lain.

### 2.6.2 Chatter

Getaran ini dikenal dengan *chatter*, yaitu getaran eksitasi diri yang energi eksitasinya berasal dari proses permesinan itu sendiri. *Chatter* dapat timbul ketika pahat menjadi tumpul, pahat bergetar pada arah kecepatan potong dan menimbulkan suara yang melengking serta terjadinya permukaan produk yang bergelombang. Permukaan bergelombang ini akan menimbulkan *regeneratif chatter* bagi proses pemotongan berikutnya karena kedalaman pemotongan yang berubah-ubah.

### 2.7. Cutting Fluid

Fungsi *cutting fluid* atau cairan pendingin adalah (Black,1961:97)

1. Mendinginkan pahat
2. Mendinginkan benda kerja
3. Mengurangi gesekan antara pahat dan geram
4. Membantu membuang geram
5. Melindungi permukaan akhir dari korosi

Apabila *cutting fluid* tidak dipakai bukan berarti tidak ada yang menggantikan fungsinya. Udara akan berfungsi sebagai cairan pendingin walaupun dalam taraf yang rendah. Namun ada beberapa kerugian apabila tidak menggunakan *cutting fluid* (Kalpakjian,1990 :538) :

1. Gesekan pada bidang kontak pahat geram meningkat
2. BUE akan cenderung terbentuk
3. Permukaan akhir akan memburuk
4. Naiknya temperatur pada mata potong menyebabkan meningkatnya keausan pahat
5. Toleransi akan sulit dipertahankan karena kenaikan temperatur dan pemuaihan benda kerja selama proses permesinan



### 2.7.1 Jenis *Cutting Fluid*

*Cutting fluid* yang biasa digunakan dalam proses permesinan dapat dikategorikan dalam tiga jenis utama yaitu (Rao,2002:49) :

1. *Water based emulsions*

Air adalah cairan pendingin yang baik karena kemampuan menyerap panas yang baik, selain murah dan mudah didapat. Namun air mengkorosi benda kerja sehingga diperlukan bahan tambahan untuk meningkatkan sifat pelumasan, pencegah karat. Cairan ini disebut dengan *water soluble oil*.

2. *Straight mineral oil*

Merupakan minyak mineral murni tanpa zat adiktif. Fungsi utamanya adalah melumasi dan mencegah terjadinya karat.

3. *Mineral oil with additivies*

Sejumlah zat adiktif telah dikembangkan untuk ditambahkan pada minyak mineral sehingga menghasilkan karakteristik *cutting fluid* yang diinginkan. EP (*extreme pressure*) merupakan salah satu jenis adiktif yang banyak digunakan. EP terdiri dari *chlorine* atau *sulphur* atau kombinasi keduanya.

### 2.7.2 Cara Penggunaan *Cutting Fluid*

Cara penggunaan cairan pendingin sebagai berikut (Rochim,1993:446) :

1. Manual

Pemakaian *cutting fluid* secara manual adalah operator yang melakukan penyiraman *cutting fluid* ke arah pahat dan benda kerja

2. Dikururkan / dibanjirkan (*flooding*)

*Cutting fluid* dikururkan dengan menggunakan saluran untuk menyiramkan *cutting fluid* ke benda kerja dan pahat potong.

3. Ditekan lewat saluran pada pahat

Pemakaian *cutting fluid* melalui saluran pahat adalah dengan menggunakan suatu saluran yang ada di dalam pahat potong untuk menyiramkan *cutting fluid* ke benda kerja dan pahat

4. Dikabutkan (*mist*)

Cairan pendingin disemprotkan berupa kabut dan biasanya digunakan pada *cutting fluid* yang berbahan dasar air.



## 2.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesa pada penelitian ini adalah penambahan panjang *tool overhang* akan meningkatkan kekasaran permukaan benda kerja. Peningkatan kekasaran permukaan ini terjadi akibat berkurangnya rigiditas *tool holder* yang ditandai dengan adanya defleksi. Defleksi ini akan menimbulkan ketidakraturan permukaan (*surface irregularities*) pada permukaan benda kerja.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Eksperimen dilakukan dengan melakukan proses pembubutan pada baja AISI 1045 dengan model analisa varian dua arah dengan dua variabel bebas dan satu variabel terikat.

#### 3.2 Waktu dan Tempat penelitian

##### 3.2.1 Waktu penelitian

Pengambilan data akan dilakukan pada bulan Januari 2007 sampai selesai

##### 3.2.2 Tempat penelitian

1. Laboratorium CNC I Jurusan Teknik Mesin PoliTeknik Negeri Malang  
Pada laboratorium ini akan dilakukan proses pembubutan terhadap benda kerja
2. Bengkel Mesin Perkakas Balai Latihan Kerja Industri Singosari  
Pada bengkel ini akan dilakukan pengukuran kekasaran permukaan benda kerja untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan

#### 3.3 Alat dan Bahan Yang digunakan

##### 3.3.1 Alat yang digunakan

1. Mesin gergaji  
Mesin gergaji digunakan untuk memotong bahan menjadi benda kerja sesuai dengan ukuran yang dikehendaki
2. Mesin bubut ET-242  
Mesin bubut CNC ET-242 digunakan untuk dilakukan proses pembubutan terhadap benda kerja. Mesin memiliki spesifikasi sebagai berikut :

<i>Maximal turning diameter</i>	: 158 mm
<i>Maximal turning length</i>	: 255 mm
<i>Distance between center</i>	: 282,55 mm
<i>Speed range</i>	: 20-4500 rpm
<i>Rapid feed</i>	: 12 m.min <sup>-1</sup>
<i>Number of tools</i>	: 8

### 3. Alat ukur kekasaran permukaan

Alat ukur kekasaran permukaan digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja sehingga didapatkan nilai kekasaran permukaan. Alat ukur yang digunakan adalah Mitutoyo *Surface Tester 301*

### 3.3.2 Bahan yang digunakan

#### 1. Benda kerja

Benda kerja yang digunakan adalah baja AISI 1045 dengan diameter 30 mm dan panjang 60 mm, gambar rancangan benda kerja terdapat pada lampiran 6. Komposisi baja AISI 1045 terdapat pada lampiran 7.

#### 2. Pahat

Pahat yang digunakan adalah pahat *insert* karbida merk SECO TOOL tipe CCMT 120408 F2 TP30 dengan *tool holder* tipe SCACL 1212M09.

#### 3. *Cutting Fluid*

*Cutting fluid* yang digunakan adalah jenis *water soluble oil* berbahan dasar minyak mineral merk Kutwell 40

### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan untuk penelitian ini terdiri dari variabel terikat, variabel bebas, variabel kendali dengan rincian sebagai berikut :

#### 1. Variabel bebas

##### a. Variasi *tool overhang*

Panjang *tool overhang* yang digunakan adalah 14 mm, 21 mm, 28 mm, dan 35 mm.

##### b. Variasi gerak makan (*feeding*)

Besarnya batas gerak makan yang diijinkan untuk tipe pahat yang digunakan adalah 0,15 – 0,35 mm.putaran<sup>-1</sup>. Dalam penelitian ini digunakan tiga jenis variasi gerak makan yaitu : 0,15 mm putaran<sup>-1</sup> , 0,25 mm putaran<sup>-1</sup>, 0,35 mm. putaran<sup>-1</sup>

#### 2. Variabel terikat, yaitu kekasaran permukaan (*surface roughness*)

#### 3. Variabel kendali

- |                                     |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|
| a. Kecepatan pemotongan (V)         | : 240 m. min <sup>-1</sup> |
| b. Kedalaman pemotongan (a)         | : 1 mm                     |
| c. Laju aliran <i>cutting fluid</i> | : 5 lt. min <sup>-1</sup>  |



d. Panjang pemotongan (lt) : 25 mm

### 3.5 Rancangan Penelitian

Rancangan percobaan ini akan mencari pengaruh dua faktor yaitu variasi *tool overhang* dan variasi gerak makan terhadap variabel terikat yaitu kekasaran permukaan. Dimana faktor variasi *tool overhang* terdiri dari empat tingkatan dan faktor gerak makan pahat (*feeding*) terdiri dari tiga tingkatan. Menggunakan model Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan klasifikasi dua arah, rancangan penelitian terlihat seperti tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Faktor	Gerak makan pahat ( <i>feeding</i> )			
	Level	0,15 mm.put <sup>-1</sup> .	0, 25 mm.put <sup>-1</sup> .	0,35 mm.put <sup>-1</sup> .
<i>Tool overhang</i>	14 mm	Y <sub>111</sub>	Y <sub>121</sub>	Y <sub>131</sub>
		Y <sub>112</sub>	Y <sub>122</sub>	Y <sub>132</sub>
		Y <sub>113</sub>	Y <sub>123</sub>	Y <sub>133</sub>
		Y <sub>114</sub>	Y <sub>124</sub>	Y <sub>134</sub>
	21 mm	Y <sub>211</sub>	Y <sub>221</sub>	Y <sub>231</sub>
		Y <sub>212</sub>	Y <sub>222</sub>	Y <sub>232</sub>
		Y <sub>213</sub>	Y <sub>223</sub>	Y <sub>233</sub>
		Y <sub>214</sub>	Y <sub>224</sub>	Y <sub>234</sub>
	28 mm	Y <sub>311</sub>	Y <sub>321</sub>	Y <sub>331</sub>
		Y <sub>312</sub>	Y <sub>322</sub>	Y <sub>332</sub>
		Y <sub>313</sub>	Y <sub>323</sub>	Y <sub>333</sub>
		Y <sub>314</sub>	Y <sub>324</sub>	Y <sub>334</sub>
35 mm	Y <sub>411</sub>	Y <sub>421</sub>	Y <sub>431</sub>	
	Y <sub>412</sub>	Y <sub>422</sub>	Y <sub>432</sub>	
	Y <sub>413</sub>	Y <sub>423</sub>	Y <sub>433</sub>	
	Y <sub>414</sub>	Y <sub>424</sub>	Y <sub>434</sub>	

Keterangan :

Y = data hasil kekasaran permukaan

Y<sub>ijk</sub> = data pengamatan yang berupa data kekasaran permukaan pada perlakuan variasi *tool overhang* ke-i dan gerak makan ke-j pengulangan ke-k

### 3.6 Proses Penelitian

Proses penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk menemukan landasan teori dan informasi ilmiah bagi masalah yang diteliti. Studi literatur dilakukan di Perpustakaan Pusat Universitas Brawijaya dan Perpustakaan Jurusan Mesin Universitas Brawijaya.

2. Persiapan alat dan bahan

Persiapan alat dan bahan meliputi pemotongan bahan menjadi benda kerja dengan ukuran yang ditentukan, melakukan pengaturan panjang *tool overhang* pada mesin bubut.

3. Proses permesinan

Melakukan proses permesinan sesuai dengan parameter yang ditentukan untuk semua benda kerja. Proses permesinan yang dilakukan adalah proses perubutan pengkasaran dan proses pembubutan *finishing*. Proses pengkasaran bertujuan untuk mendapatkan permukaan benda kerja yang bersih dari karat dan cacat gores. Sedangkan proses *finishing* bertujuan untuk mendapatkan permukaan benda kerja yang akan diambil datanya.

4. Pengambilan data kekasaran permukaan

Pengambilan data kekasaran permukaan dilakukan dengan memakai alat uji kekasaran permukaan.

5. Pengolahan data kekasaran permukaan

Nilai kekasaran permukaan rata-rata aritmetis ( $R_a$ ) yang didapat kemudian diolah dengan menggunakan analisa varian.

6. Analisa dan pembahasan data hasil pengujian

Nilai kekasaran permukaan rata-rata yang telah diolah kemudian dianalisa dan dibahas

7. Penyusunan kesimpulan dan saran

Hasil analisa dan pembahasan digunakan sebagai dasar penyusunan kesimpulan dan saran

### 3.7 Analisa Statistik

Data yang diperoleh akan dianalisa secara statistik dengan metode Rancangan Acak Kelompok (RAK) memakai klasifikasi dua arah. Yang akan dihitung adalah

- pengaruh faktor *tool overhang*
- pengaruh faktor gerak makan pahat (*feeding*)
- pengaruh interaksi kedua faktor diatas

Kaidah statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa varian dan analisa regresi.

#### 3.7.1 Analisa Varian

Dari analisa varian dua arah ini dapat diketahui ada atau tidaknya pengaruh *tool overhang* dan pengaruh gerak makan pahat dan pengaruh interaksi keduanya terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

Yang diuji dari kejadian ini adalah

1. A: faktor pengaruh panjang *tool overhang*
2. B: faktor pengaruh gerak makan (*feeding*)
3. AB: faktor pengaruh interaksi panjang *tool overhang* dan gerak makan (*feeding*)

Ketiga hipotesisnya dituliskan sebagai berikut:

1.  $H_0^1: A_1 = A_2 = \dots = A_i$  (tidak ada pengaruh nyata variasi panjang *tool overhang* terhadap kekasaran permukaan)  
 $H_1^1$ : paling sedikit satu  $A_1 \neq 0$  (ada pengaruh nyata variasi panjang *tool overhang* terhadap kekasaran permukaan)
2.  $H_0^2: B_1 = B_2 = \dots = B_j$  (tidak ada pengaruh variasi gerak makan terhadap kekasaran permukaan)  
 $H_1^2$ : paling sedikit satu  $B_j \neq 0$  (ada pengaruh nyata variasi gerak makan terhadap kekasaran permukaan)
3.  $H_0^3: (AB)_{11} = (AB)_{12} = \dots = (AB)_{ij}$  (tidak ada pengaruh nyata variasi panjang *tool overhang* dan gerak makan terhadap kekasaran permukaan)  
 $H_1^3$ : paling sedikit satu  $(AB)_{ij} \neq 0$  (ada pengaruh nyata variasi panjang *tool overhang* dan gerak makan terhadap kekasaran permukaan)



Tabel 3.2 Analisa varian dua arah

Sumber keragaman	Db	JK	Varian	F hitung
Pengaruh A	r-1	JKA	$s_A^2 = \frac{JKA}{r-1}$	$F_B = \frac{s_A^2}{s^2}$
Pengaruh B	c-1	JKB	$s_B^2 = \frac{JKB}{c-1}$	$F_B = \frac{s_B^2}{s^2}$
Pengaruh interaksi A dan B	(r-1)(c-1)	JKAB	$s_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)}$	$F_{AB} = \frac{s_{AB}^2}{s^2}$
Galat	rc(t-1)	JKG	$s^2 = \frac{JKG}{rc(t-1)}$	-
Total	rct-1	JKT	-	-

Kesimpulan yang diperoleh dari uji F ini adalah sebagai berikut :

- abila  $F_A$  hitung  $>$   $F_A$  tabel maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima. Berarti faktor A (panjang *tool overhang*) berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- abila  $F_B$  hitung  $>$   $F_B$  tabel maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima. Berarti faktor B (gerak makan) berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- abila  $F_{AB}$  hitung  $>$   $F_{AB}$  tabel maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima. Berarti interaksi faktor A dan faktor B pengaruh terhadap kekasaran permukaan.

### 3.7.2. Interval Penduga

merupakan perhitungan statistik untuk menentukan interval pendugaan rata-rata dari data diatas. Persamaan – persamaan yang dipakai adalah :

- Data rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3-1)$$

- Standar Deviasi

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2}}{n-1} \quad (3-2)$$

- Standar Deviasi Rata-rata

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3-3)$$

- Interval penduga

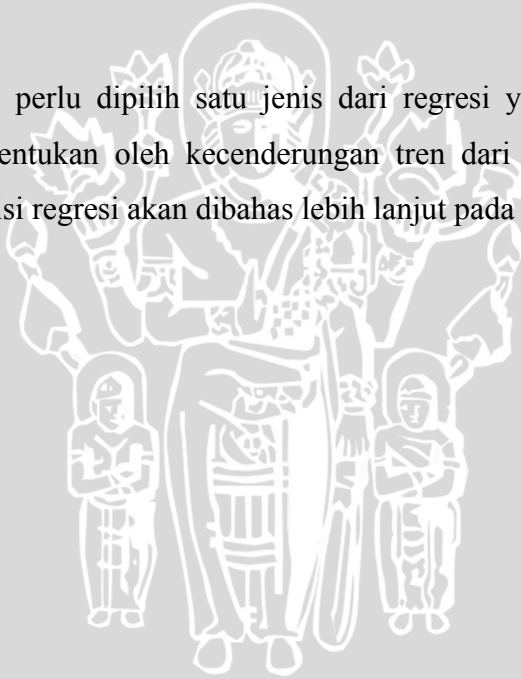
$$\bar{x} - t\left(\frac{\alpha}{2}; db\right)\bar{\sigma} < \mu < \bar{x} + t\left(\frac{\alpha}{2}; db\right)\bar{\sigma} \quad (3-4)$$

### 3.7.2 Analisa Regresi

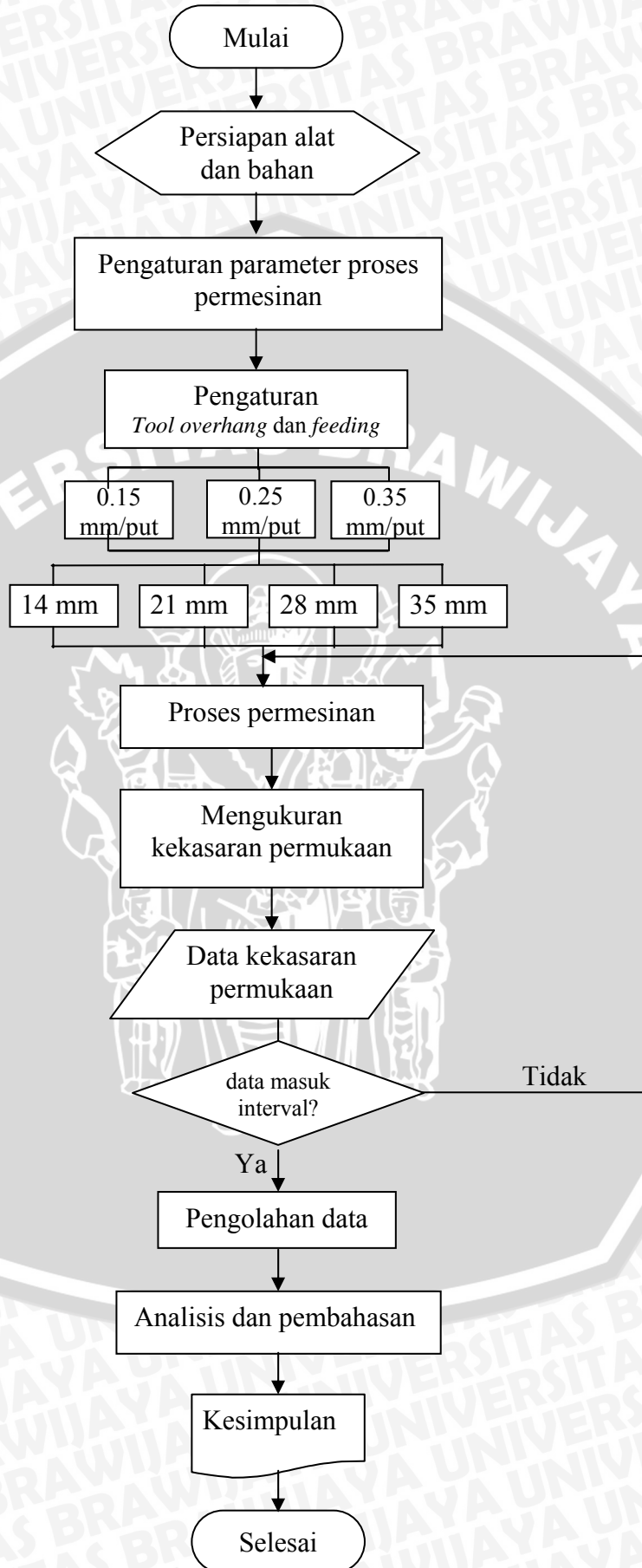
Analisa regresi berguna untuk meramalkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat dari data yang diperoleh. Adapun bentuk persamaan umum dari masing-masing regresi diantaranya:

1.  $y = a + bx$
2.  $y = a + bx + cx^2$

Dalam analisa ini perlu dipilih satu jenis dari regresi yang akan digunakan. Pemilihan regresi ini ditentukan oleh kecenderungan tren dari data penelitian yang didapat. Penggunaan analisa regresi akan dibahas lebih lanjut pada bab pengolahan data.



### 3.8 Diagram Alir Penelitian





**BAB IV**

**ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

**4.1. Data Kekasaran Permukaan**

Dari hasil pengujian kekasaran permukaan yang dilakukan dengan MITUTOYO *Surface tester* pada benda kerja hasil pembubutan, didapatkan data-data pada tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data hasil pengujian kekasaran permukaan ( $\mu\text{m}$ )

Faktor	Gerak makan pahat ( <i>feeding</i> )			
	Level	0,15 mm.put <sup>-1</sup>	0,25 mm.put <sup>-1</sup>	0,35 mm.put <sup>-1</sup>
<i>Tool overhang</i>	14 mm	1.07	2.54	4.21
		1.15	2.59	4.27
		1.21	2.55	4.07
		1.09	2.50	3.97
	21 mm	1.31	3.03	5.70
		1.57	3.21	5.98
		1.39	3.11	5.85
		1.26	3.24	5.70
	28 mm	1.84	3.69	6.23
		1.77	3.65	6.28
		1.69	3.84	6.40
		1.63	3.85	6.63
35 mm	2.36	4.25	7.07	
	2.38	4.21	6.96	
	2.40	4.34	7.00	
	2.53	4.18	7.19	

**4.2 Analisis Statistik**

**4.2.1 Interval Penduga kekasaran permukaan**

Analisis statistik ini digunakan untuk mengetahui interval penduga rata-rata. Berikut ini salah satu contoh perhitungan untuk data spesimen dengan *tool overhang* 14 mm dan gerak makan 0.15 mm.put<sup>-1</sup> :

1. Kekasaran permukaan rata-rata:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{4,52}{4} = 1,13$$

2. Standar deviasi ( $\sigma$ ).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,012}{3}} = 0,063246$$



3. Standar deviasi rata-rata ( $\bar{\sigma}$ ).

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,063246}{\sqrt{4}} = 0.031623$$

4. Interval penduga rata-rata dari kekerasan spesimen.

$$\text{Derajat kebebasan (db)} = n - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$\text{Dengan mengambil } \alpha = 5 \%, \text{ maka } t\left(\frac{\alpha}{2}; db\right) = (0.025; 3) = 3,182$$

$$\bar{x} - t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\bar{\sigma} < \mu < \bar{x} + t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\bar{\sigma}$$

$$1.13 - (3,182 \times 0,031623) < \mu < 1.13 + (3,182 \times 0,031623)$$

$$1,029 < \mu < 1,231$$

Dari hasil perhitungan dapat dikatakan bahwa interval penduga rata-rata kekerasan spesimen dengan *tool overhang* 14 mm dan gerak makan 0.15 mm.put<sup>-1</sup> adalah antara 1,029  $\mu$ m sampai dengan 1,231  $\mu$ m, dengan tingkat keyakinan 95%.

Melalui cara yang sama maka dapat ditentukan interval penduga rata-rata kekerasan spesimen dengan *tool overhang* dan variasi gerak makan yang lainnya ditunjukkan pada tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Interval penduga kekasaran permukaan rata-rata

Faktor	Gerak makan pahat ( <i>feeding</i> )			
	Level	0,15 mm.put <sup>-1</sup> .	0,25 mm.put <sup>-1</sup> .	0,35 mm.put <sup>-1</sup> .
<i>Tool overhang</i>	14 mm	1.029 < $\mu$ < 1,231	2,486 < $\mu$ < 2,603	3,914 < $\mu$ < 4,345
	21 mm	1,166 < $\mu$ < 1,598	2,995 < $\mu$ < 3,300	5,593 < $\mu$ < 6,022
	28 mm	1,586 < $\mu$ < 1,878	3,594 < $\mu$ < 3,920	6,101 < $\mu$ < 6,668
	35 mm	2,295 < $\mu$ < 2,539	4,134 < $\mu$ < 4,355	6,895 < $\mu$ < 7,215

#### 4.2.2 Analisis Varian

Dari data hasil pengukuran kekasaran permukaan yang diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis varian dua arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi *tool overhang* dan gerak makan (*feeding*), serta interaksi keduanya terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil pembubutan.

- Jumlah seluruh perlakuan = 174,94

2. Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 = 807,9514$$

3. Faktor koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[ \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk} \right]^2}{rct} = \frac{174,94^2}{48} = 637,5834$$

4. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - FK = 807,9514 - 637,5834$$

$$JKT = 170,368$$

5. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c Y_{ij}^2}{t} - FK = \frac{3230,11}{4} - 637,5834 = 169,9441$$

6. Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r Y_i^2}{c.t} - FK = 25,03974$$

7. Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c Y_j^2}{r.t} - FK = 140,866$$

8. Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB)

$$JKAB = JKP - JKA - JKB = 4,038371$$

9. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB = 0,42385$$

10. Kuadrat tengah pengaruh A ( $S_A^2$ )

$$S_A^2 = \frac{JKA}{r-1} = \frac{25,03974}{3} = 8,346581$$

11. Kuadrat tengah perngaruh B ( $S_B^2$ )

$$S_B^2 = \frac{JKB}{c-1} = \frac{140,866}{2} = 70,43301$$

12. Kuadrat tengah perngaruh interaksi Adan B ( $S_{AB}^2$ )

$$S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} = \frac{4,038371}{3.2} = 0,673062$$

13. Kudarat tengah galat ( $S^2$ )

$$S^2 = \frac{JKG}{r.c(t-1)} = \frac{0,42385}{4.3.3} = 0,011774$$



14.  $F_{hitung}$  pengaruh A

$$F_{hitung} A = \frac{S_A^2}{S^2} = \frac{8,346581}{0,011774} = 708,9227$$

15.  $F_{hitung}$  pengaruh B

$$F_{hitung} B = \frac{S_B^2}{S^2} = \frac{70,43301}{0,011774} = 5982,278$$

16.  $F_{hitung}$  pengaruh interaksi Adan B

$$F_{hitung} AB = \frac{S_{AB}^2}{S^2} = \frac{0,673062}{0,011774} = 57,16698$$

Tabel 4.3 Analisis Varian dua arah

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	$F_{hitung}$	$F_{tabel}$
<i>Tool overhang</i>	3	25,03974	8,346581	708,9227	2,872
Gerak makan ( <i>Feeding</i> )	2	140,866	70,43301	5982,278	3,266
Interaksi	6	4,038371	0,673062	57,16698	2,542
Galat	36	0,42385	0,011774		
Total	47				

Keterangan :

A : *Tool overhang*

B : gerak makan (*feeding*)

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- $F_{hitung} > f_{tabel}$ , maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pada perubahan *tool overhang* (faktor A) terhadap kekasaran permukaan benda kerja dengan tingkat keyakinan 95%
- $F_{hitung} > f_{tabel}$ , maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pada perubahan gerak makan (*feeding*) (faktor B) terhadap kekasaran permukaan benda kerja dengan tingkat keyakinan 95%
- $F_{hitung} > f_{tabel}$ , maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh nyata pada interaksi perubahan *tool overhang* dan gerak makan (*feeding*) (faktor AB) terhadap kekasaran permukaan benda kerja dengan tingkat keyakinan 95%

## 4.2.3 Analisis Regresi

### 4.2.3.1 Analisis Regresi Linier

Dari data kekasaran permukaan yang diperoleh dapat dilakukan analisis regresi. Untuk persamaan regresi *tool overhang* terhadap kekasaran permukaan dilakukan untuk masing-masing variasi gerak makan (*feeding*). Persamaan regresi yang digunakan dalam penelitian ini adalah model persamaan linier, dengan persamaan umum sebagai berikut :

$$Y = a + bx$$

Sebagai contoh untuk mencari regresi linier, digunakan perhitungan regresi untuk kekasaran permukaan pada variasi gerak makan 0,15 mm.put<sup>-1</sup>.

Tabel 4.4 Perhitungan persamaan regresi hubungan *tool overhang* 14 mm, 21 mm, 28 mm, 35 mm dengan kekasaran permukaan untuk gerak makan 0,15 mm.put<sup>-1</sup>.

no	X	Y	X <sup>2</sup>	XY
1	14	1.07	196	14.98
2	14	1.15	196	16.1
3	14	1.21	196	16.94
4	14	1.09	196	15.26
5	21	1.31	441	27.51
6	21	1.57	441	32.97
7	21	1.39	441	29.19
8	21	1.26	441	26.46
9	28	1.84	784	51.52
10	28	1.77	784	49.56
11	28	1.69	784	47.32
12	28	1.63	784	45.64
13	35	2.36	1225	82.6
14	35	2.38	1225	83.3
15	35	2.4	1225	84
16	35	2.53	1225	88.55
Σ	392	26.65	10584	711.9

Keterangan : X = *tool overhang* (mm)

Y = kekasaran permukaan (μm)

$$\sum_{i=1}^n Y_i = na + b \sum_{i=1}^n X_i \quad (4-1)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_i = a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (4-2)$$

$$26,65 = 16a + 329b$$

$$711,9 = 329a + 10584b$$

Dari persamaan diatas didapatkan nilai :

$$a = 1,1913$$

$$b = 0,0602$$

setelah didapatkan nilai a dan b maka dapat disusun persamaan regresinya sebagai berikut :

$$Y = 0,1913 + 0,0602X$$

Dengan :  $X = \text{tool overhang}$

$Y = \text{kekasaran permukaan}$

Perhitungan koefisien korelasi ( $R^2$ )

$$R = \frac{\sum(x - x_{rt})(y - y_{rt})}{\left[ \sum(x_i - x_{rt})^2 \sum(y_i - y_{rt})^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

Hasil perhitungan uji kekerasan dapat dibuat tabel sebagai berikut:

Tabel 4.6. Perhitungan koefisien korelasi *tool overhang* dengan kekasaran permukaan pada variasi gerak makan 0,15 mm.put<sup>-1</sup>.

No	X	Y	X-X <sub>rt</sub>	Y-Y <sub>rt</sub>	(X-X <sub>rt</sub> )(Y-Y <sub>rt</sub> )	(X-X <sub>rt</sub> ) <sup>2</sup>	(Y-Y <sub>rt</sub> ) <sup>2</sup>
1	14	1.07	-10.5	-0.595625	6.2540625	110.25	0.354769
2	14	1.15	-10.5	-0.515625	5.4140625	110.25	0.265869
3	14	1.21	-10.5	-0.455625	4.7840625	110.25	0.207594
4	14	1.09	-10.5	-0.575625	6.0440625	110.25	0.331344
5	21	1.31	-3.5	-0.355625	1.2446875	12.25	0.126469
6	21	1.57	-3.5	-0.095625	0.3346875	12.25	0.009144
7	21	1.39	-3.5	-0.275625	0.9646875	12.25	0.075969
8	21	1.26	-3.5	-0.405625	1.4196875	12.25	0.164532
9	28	1.84	3.5	0.174375	0.6103125	12.25	0.030407
10	28	1.77	3.5	0.104375	0.3653125	12.25	0.010894
11	28	1.69	3.5	0.024375	0.0853125	12.25	0.000594
12	28	1.63	3.5	-0.035625	-0.1246875	12.25	0.001269
13	35	2.36	10.5	0.694375	7.2909375	110.25	0.482157
14	35	2.38	10.5	0.714375	7.5009375	110.25	0.510332
15	35	2.4	10.5	0.734375	7.7109375	110.25	0.539307
16	35	2.53	10.5	0.864375	9.0759375	110.25	0.747144
Σ	392	26.65	0	1.78E-15	58.975	980	3.857794
rata	24.5	1.66					

$$R = \frac{58,975}{\sqrt{980.3,857794}}$$

$$R = 0,959166$$

Koefisien korelasinya adalah

$$R^2 = 0,959166^2$$

$$R^2 = 0,92$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan persamaan regresi dan koefisien korelasi sebagai berikut :





- Gerak makan 0,25 mm.put<sup>-1</sup>.

$$Y = 1,4253 + 0,0816X$$

$$R^2 = 0,9857$$

- Gerak makan 0,35 mm.put<sup>-1</sup>.

$$Y = 2,571 + 0,1336X$$

$$R^2 = 0,9193$$

#### 4.2.3.2 Analisis Regresi Multi Linier

Dari data hasil pengujian yang didapat, dilakukan analisis regresi multi linier. Persamaan regresi yang digunakan adalah model persamaan multi linier dengan persamaan umum sebagai berikut :

$$Y = a + bX_1 + cX_2$$

Dimanan :

Y = kekasaran permukaan

X<sub>1</sub> = *tool overhang*

X<sub>2</sub> = Gerak makan

Dengan menggunakan persamaan berikut akan didapatkan nilai a,b, dan c

$$\sum_{i=1}^n Y_i = na + b \sum_{i=1}^n X_{1i} + c \sum_{i=1}^n X_{2i}$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_{1i} = a \sum_{i=1}^n X_{1i} + b \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + c \sum_{i=1}^n X_{1i} \cdot X_{2i}$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_{2i} = a \sum_{i=1}^n X_{2i} + b \sum_{i=1}^n X_{1i} \cdot X_{2i} + c \sum_{i=1}^n X_{2i}^2$$

Dari hasil perhitungan dapat diperoleh persamaan regresi interaksi antara *tool overhang* dan gerak makan terhadap kekasaran permukaan adalah :

$$174,94 = 48a + 1176 b + 12c$$

$$4555,88 = 1176a + 31752b + 294c$$

$$50,421 = 12a + 294b + 3,32c$$

Dari persamaan diatas diperoleh nilai :

$$a = -3,83$$

$$b = 0,09$$

$$c = 20,89$$

pengaruh interaksi *tool overhang* dan gerak makan terhadap kekasaran permukaan dapat dinyatakan dalam persamaan regresi sebagai berikut :

$$Y = -3,83 + 0,09X_1 + 20,89X_2$$

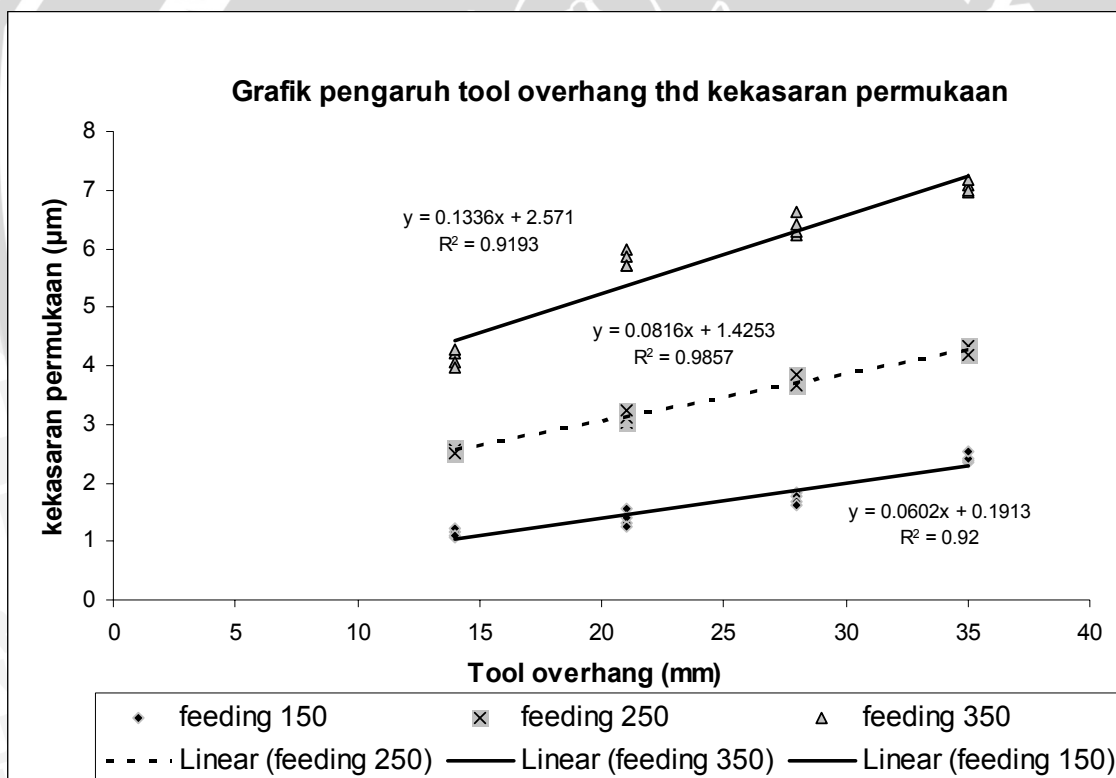
Dari persamaan diatas diperoleh koefisien korelasi  $R^2 = 0.97$

### 4.3 Grafik dan Pembahasan

#### 4.3.1 Hubungan *tool overhang* terhadap kekasaran permukaan dengan variasi gerak makan (*feeding*)

Berdasarkan hasil analisis varian pada tabel 4.3, nilai  $F_{hitung}$  *tool overhang* lebih besar dari  $F_{tabel}$ . Artinya bahwa perubahan panjang *tool overhang* akan mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja secara nyata

Analisis interval penduga pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa data hasil pengujian kekasaran permukaan berada pada daerah antara batas maksimum dan minimum. Dugaan rata-rata tersebut dapat diartikan bahwa pengulangan pengambilan data kekasaran permukaan adalah seragam. Analisis ini dilakukan dengan tingkat kesalahan 5%,tingkat keyakinan 95%.



Gambar 4.1 grafik pengaruh *tool overhang* terhadap kekasaran permukaan

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa terjadi peningkatan kekasaran permukaan seiring dengan semakin panjangnya *tool overhang*, dan ini terjadi pada semua tingkatan gerak makan. Nilai kekasaran permukaan terendah didapatkan pada gerak makan  $0,15 \text{ mm.put}^{-1}$ . dan *tool overhang* 14 mm sedangkan kekasaran permukaan

terbesar didapat pada benda kerja dengan gerak makan  $0,35 \text{ mm.put}^{-1}$ . dan *tool overhang* 35 mm

Peningkatan kekasaran permukaan terjadi karena semakin panjang *tool overhang* maka defleksi akan semakin besar karena kekakuan pahat akan semakin berkurang. Hal ini dapat dibuktikan dengan persamaan 2-10.

$$\delta = \frac{4F_c \cdot l^3}{E \cdot B \cdot H^3} \quad (2-10)$$

Persamaan diatas dapat dirubah menjadi persamaan berikut

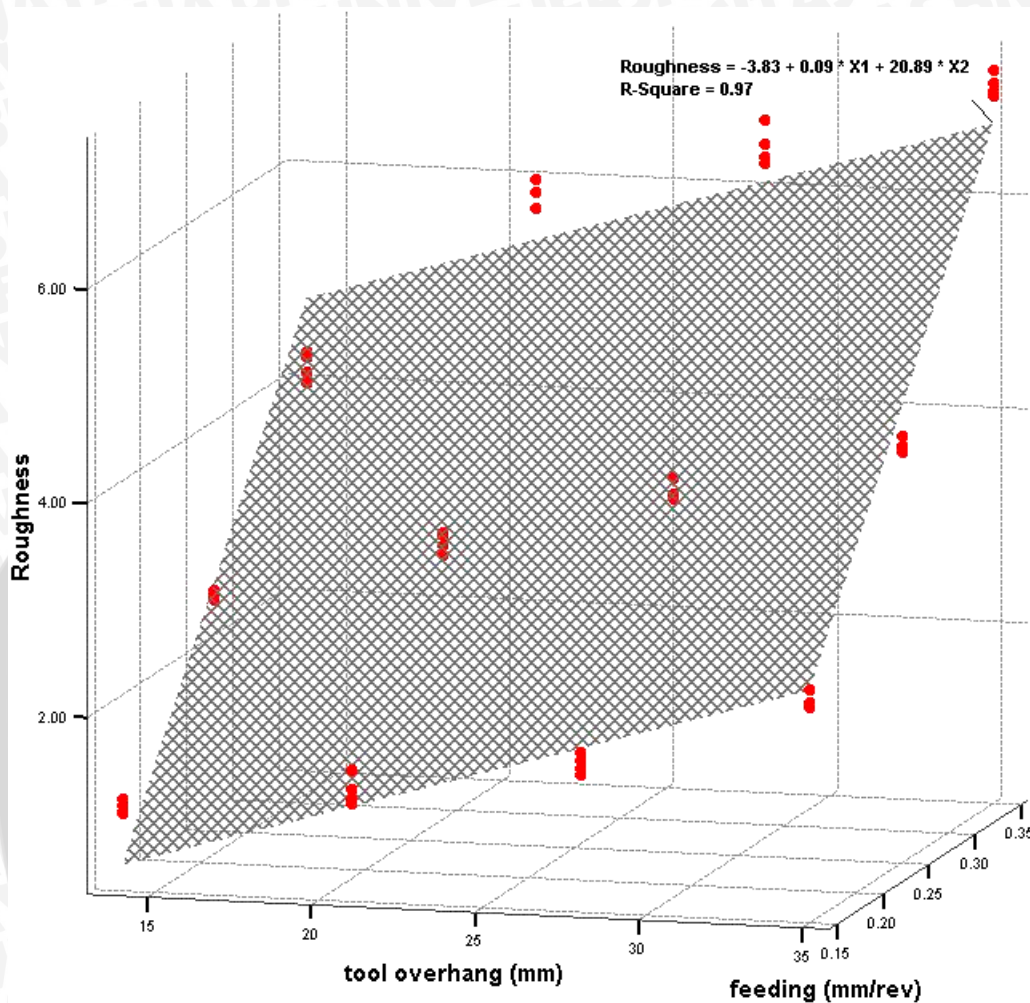
$$F_c = \frac{E \cdot B \cdot H^3}{l^3} \cdot \delta \quad (4-1)$$

$$F = k \cdot x \quad (4-2)$$

Apabila *tool overhang* ( $l$ ) semakin panjang, sedangkan besarnya  $E$ ,  $B$ ,  $H$  konstan maka defleksi yang terjadi pun semakin besar. Bila bandingkan antara persamaan (4-1) dan (4-2) maka dapat dilihat bahwa kekakuan pahat sebesar  $\left(\frac{E \cdot B \cdot H^3}{l^3}\right)$  sebanding dengan kekakuan pegas ( $k$ ), dan defleksi ( $\delta$ ) sebanding dengan ( $x$ ). Kekakuan pahat akan semakin berkurang dengan bertambah panjang *tool overhang*. Berkurangnya kekakuan pahat berakibat terjadinya defleksi. Adanya defleksi menyebabkan terjadinya perubahan kedudukan mata potong yang menyebabkan terjadinya kekasaran permukaan yang semakin besar pula.



### 4.3.2 Hubungan interaksi perubahan *tool overhang* dan gerak makan (*feeding*) terhadap kekasaran permukaan



Gambar 4.2 grafik hubungan interaksi *tool overhang* dan gerak makan terhadap kekasaran permukaan

Berdasarkan hasil analisis varian pada tabel 4.3,  $F_{hitung}$  interaksi *tool overhang* dan gerak makan lebih besar dari  $F_{tabel}$ . Artinya bahwa interaksi antara *tool overhang* dengan gerak makan berpengaruh secara nyata terhadap kekasaran permukaan yang terjadi dengan tingkat keyakinan 95%.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa interaksi *tool overhang* dan gerak makan akan menghasilkan perubahan pada kekasaran permukaan yang terjadi. Semakin panjang *tool overhang* dan semakin besar gerak makan kekasaran permukaan yang terjadi juga semakin besar.

Semakin besar gerak makan kekasaran permukaan yang terjadi juga semakin besar, hal ini dapat dilihat pada persamaan (2-15).

$$R_a = \frac{0.0321 f^2}{r_e} \text{ (mm) (Boothroyd,1985:138)}$$

(2-15)

Gerak makan yang besar akan meninggalkan jejak pemakanan yang besar, hal ini dapat diatasi dengan penggunaan gerak makan kecil, dimana jejak pemakanan tersebut dapat diperkecil oleh pemakanan selanjutnya.

Semakin besar gerak makan menyebabkan gaya potong yang terjadi semakin besar, hal ini sesuai dengan persamaan (2-11).

$$F_c = f.a.K_s$$

(2-11)

Sehingga defleksi yang terjadi merupakan hasil dari bertambahnya gaya potong akibat peningkatan gerak makan, dan berkurangnya kekakuan pahat akibat bertambah panjangnya *tool overhang*. Hal ini sesuai dengan persamaan (2-12) berikut

$$\delta = \frac{4.f.a.K_s.l^3}{E.B.H^3} \text{ (mm)}$$

(2-12)

Defleksi yang terjadi merupakan indikasi dari kekakuan sistem pemotongan yang digunakan. Semakin besar defleksi maka kekakuan sistem pemotongan tersebut semakin lemah. Lemahnya kekakuan sistem pemotongan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan total yang terjadi. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$R_t = c_r \cdot \frac{f^2}{8r_e} \text{ (\mu m) (Rochim,1993:91)}$$

(2-16)

Nilai  $c_r$  akan semakin kecil bila sistem pemotongan yang digunakan (pahat) semakin kaku. Sehingga kekasaran permukaan yang dihasilkan akan semakin kecil dengan meningkatnya kekakuan dari sistem pemotongan yang digunakan. Demikian juga sebaliknya kekasaran permukaan yang dihasilkan akan semakin besar apabila kekakuan dari sistem pemotongan yang digunakan lemah.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

*Tool overhang* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pembubutan dalam berbagai variasi gerak makan (*feeding*). Semakin panjang *tool overhang* dan semakin besar gerak makan akan menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin besar. Kekasaran permukaan terendah didapatkan dari *tool overhang* sepanjang 14 mm dan gerak makan (*feeding*)  $0,15 \text{ mm.put}^{-1}$ .

#### 5.2. Saran

Hal-hal yang disarankan oleh penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan sensor untuk mengukur defleksi *tool holder* yang terjadi pada proses pembubutan.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh ukuran penampang *tool holder* dan parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Black, Paul H.1961. *Theory Of Metal Cutting*. New York: McGraw Hill Book Co.
- Boothroyd, Geoffrey.1983. *Fundamental Of Metal Machining And Machine Tool*.Tokyo: McGraw Hill Book Co.
- Bangalore, HMT. 1978. *Production Technology*.New Delhi: McGraw Hill Book Co.
- Cooperrider, Bryan.1997.*General Lathe Information*.  
<http://www.prl.stanford.edu/documents/obsolete/lathe.pdf>
- Degarmo, Ernest P, JT Black, dan RA Kohser.1988. *Material And Process In Manufacturing 7<sup>th</sup> edition*.New York: Macmillan Publishing Company
- Drew,T Wayne. 1963. Machinery Repairman.  
<http://metalworking.com/disort.php/Navy-Repairman-Manual-Chapter06.pdf>
- Failli, F, M. Beghini, G. Dini, M. Santochi, G. Tantussi.1998. *A sensor integrated tool for two-components cutting force monitoring*.Pisa: Department of Mechanical, Nuclear and Production Engineering, University of Pisa, Pisa,Italy.[http://www2.ing.unipi.it/~dimnp/CD/supporto/pdf/failli\\_beghini\\_santochi\\_dini.pdf](http://www2.ing.unipi.it/~dimnp/CD/supporto/pdf/failli_beghini_santochi_dini.pdf)
- Hifni, M.1992. *Analisis Varian & Penerapannya*. Malang: Kopma Press.
- Kalpakjian, Serope.1990. *Manufacturing Engineering And Technology*. Illinois: Addison Wesley Publishing Co.
- Keraita,J N, H. J. Oyango, and G. K. Misoi.2001. *Lathe Stability Charts Via Acoustic Emission Monitoring*.Kenya. African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series Vol. 2, No. 2, pp. 81-93
- Rao, P N.2002. *Manufacturing Technology: Metal Cutting and Machine Tools*. Singapore: McGraw Hill Book Co.
- Rochim, Taufiq.1993. *Proses Permesinan*.Bandung: Penerbit ITB
- Sharma, PC.1983. *A Text Book Of Production Engineering*.New Delhi: S Chand & Company Ltd.
- Thomas, M, Y Beauchamp.2003. *Statistical Investigation of modal parameters of cutting tool in dry turning*.Quebec.
- Thomas, M, Y Beauchamp, A Youssef, J Masounave. *An Experimental design for surface roughness an build up edge formation in lathe dry turning*. Montreal.

Vernon, Aaron, Tugrul Ozel. 2003. *Factors Affecting Surface Roughness in Finish Hard Turning*. New Jersey.

[www.soe.rutgers.edu/ie/research/working\\_paper/paper%2003-104.pdf](http://www.soe.rutgers.edu/ie/research/working_paper/paper%2003-104.pdf)

Wibowo, Wahyu. 2000. Pengaruh kondisi pemotongan pada kecepatan pemotongan yang konstan terhadap getaran pahat potong untuk bahan S45C dalam proses *roughing turning*. Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

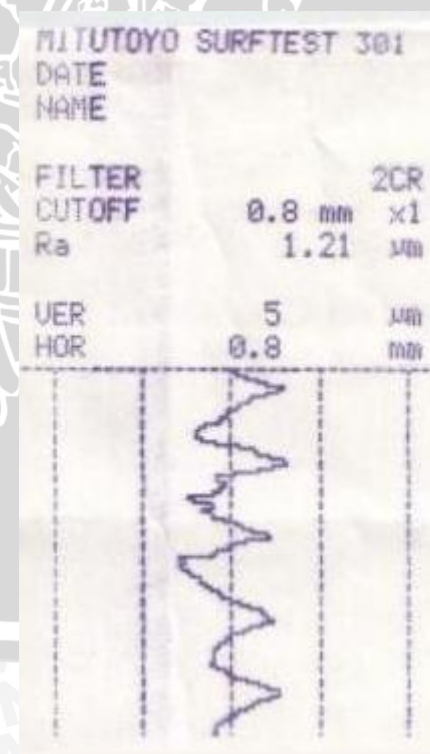
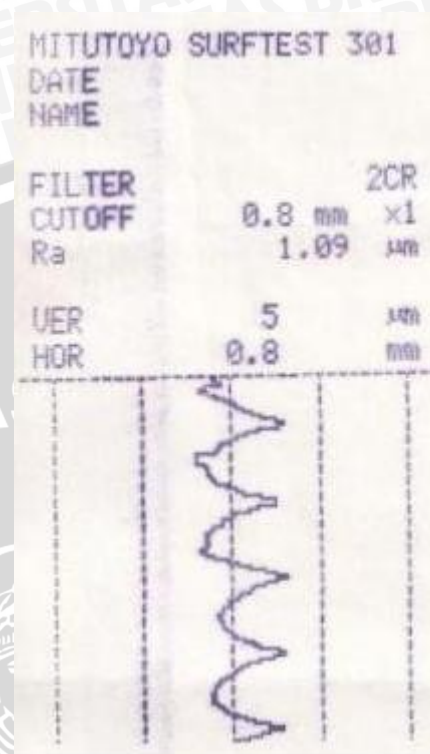
Zelinski, Peter. 2005. *The Overhang Effect*. [www.mmsonline.com/articles/010301.html](http://www.mmsonline.com/articles/010301.html)





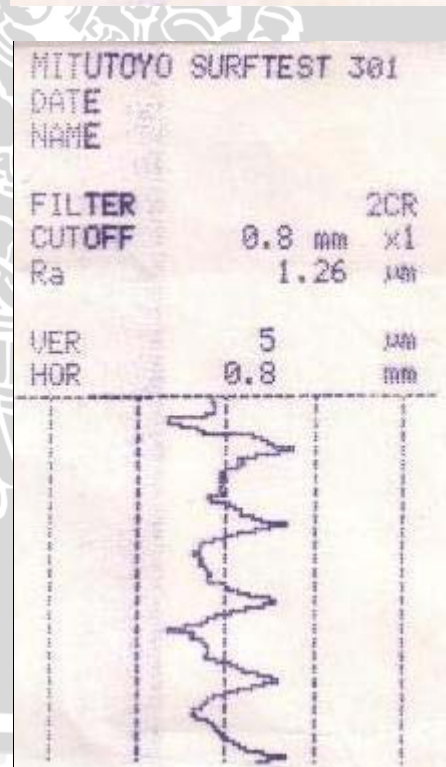
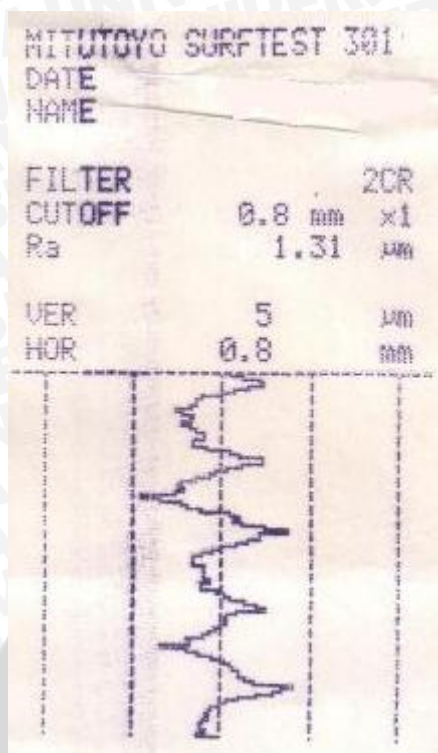
## Lampiran 1

Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 14 mm *Feeding* 0,15 mm.put<sup>-1</sup>.

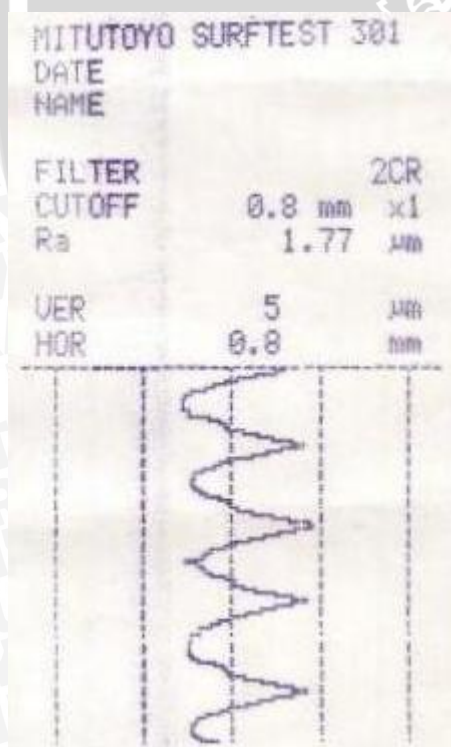




Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 21 mm *Feeding* 0,15 mm.put<sup>-1</sup>.

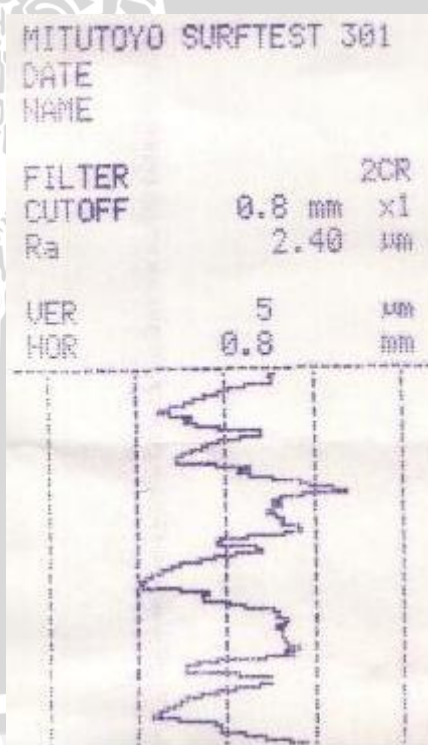
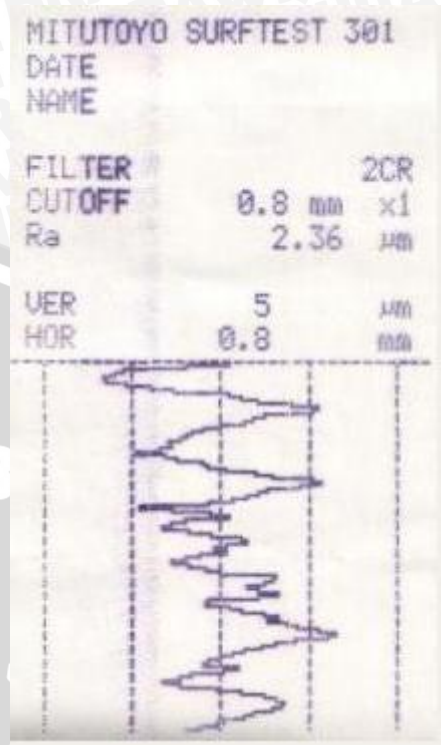
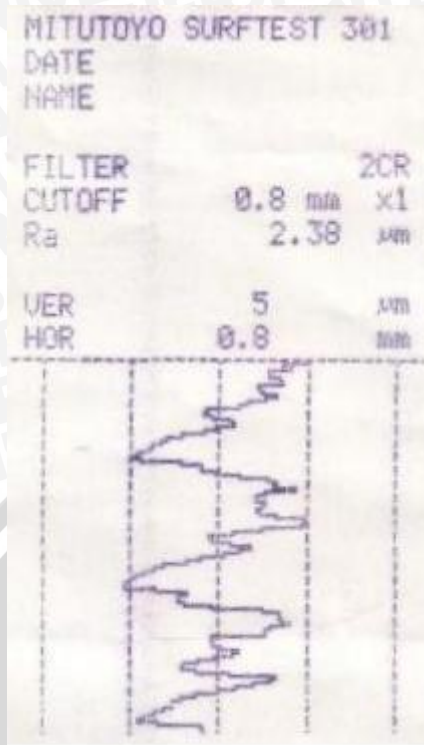


Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 28 mm *Feeding* 0,15 mm.put<sup>-1</sup>.





Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 35 mm *Feeding* 0,15 mm.put<sup>-1</sup>.

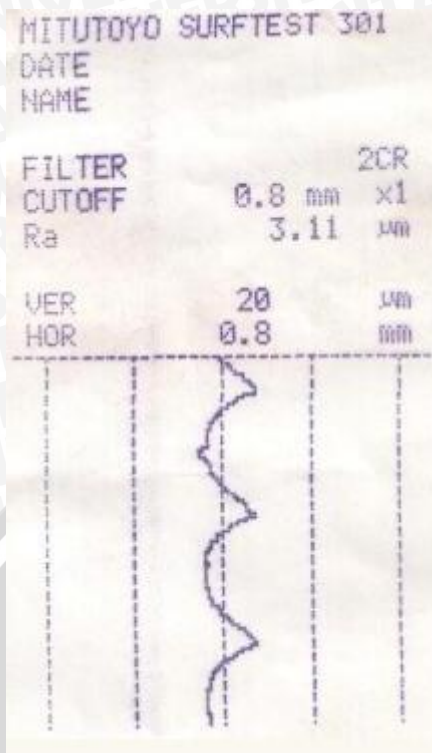




Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 14 mm *Feeding* 0,25 mm.put<sup>-1</sup>.



Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 21 mm *Feeding* 0,25 mm.put<sup>-1</sup>.



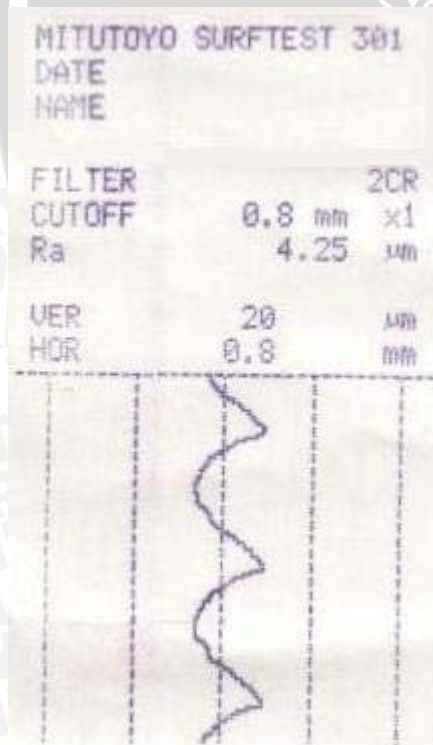
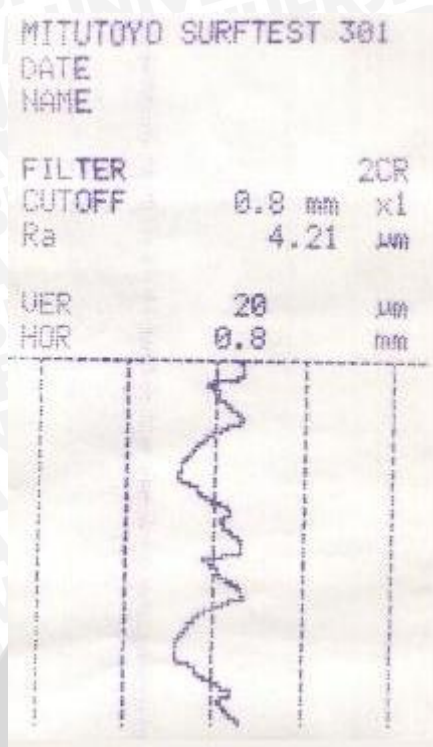


Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 28 mm *Feeding* 0,25 mm.put<sup>-1</sup>.





Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 35 mm *Feeding* 0,25 mm.put<sup>-1</sup>.



Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 14 mm *Feeding* 0,35 mm.put<sup>-1</sup>.

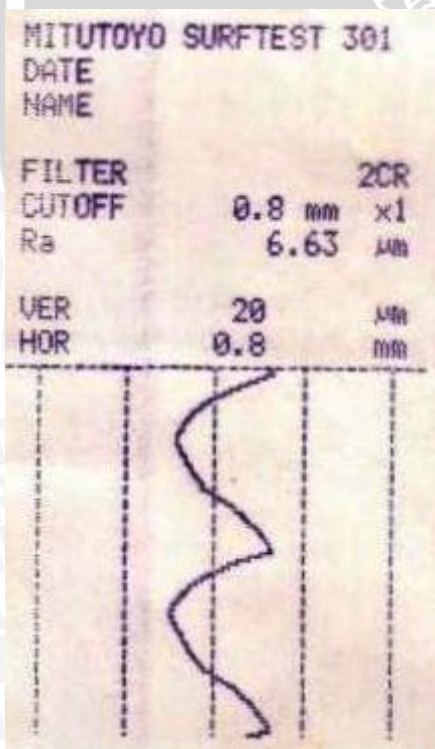




Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 21 mm *Feeding* 0,35 mm.put<sup>-1</sup>.



Data kekasaran permukaan *Tool Overhang* 28 mm *Feeding* 0,35 mm.put<sup>-1</sup>.

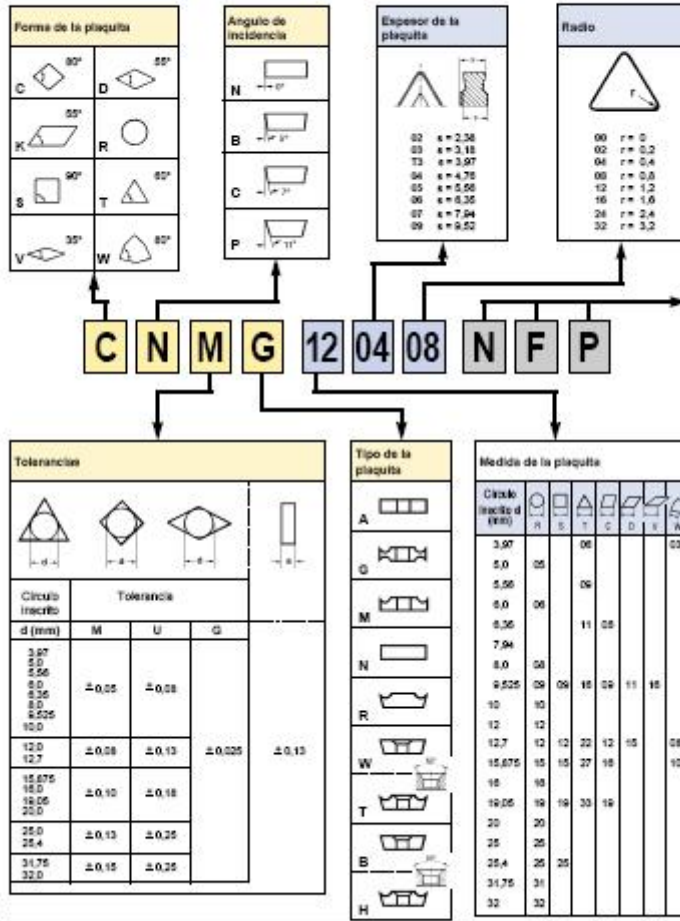




Data kekasaran permukaan *Tool Overhang 35 mm Feeding 0,35 mm.put<sup>-1</sup>*.

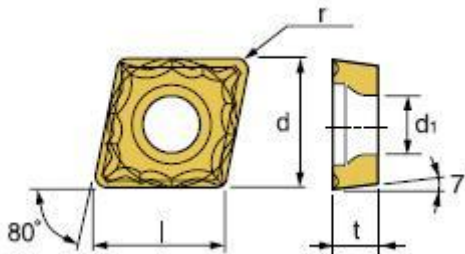


ISO - IDENTIFICACION DE LAS PLAQUITAS



Sumber : SECO Catalogue

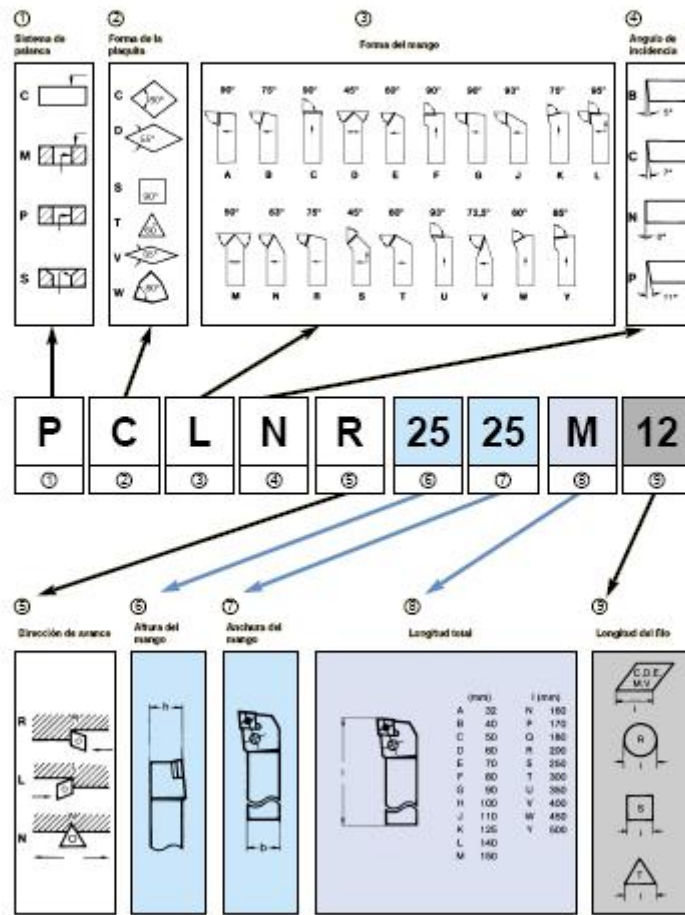
CCMT 120408



Standar ISO TOOL HOLDER

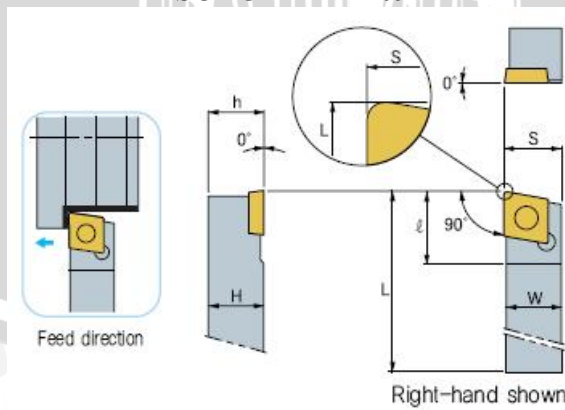


IDENTIFICACION DE PORTAHERRAMIENTAS DE TORNEADO EXTERIOR



Sumber : SECO Catalogue

SCACL 1212M09



Lampiran 3 Peralatan Penelitian



Mesin CNC ET 242



SURFACE TESTER MITUTOYO



Mesin Gergaji



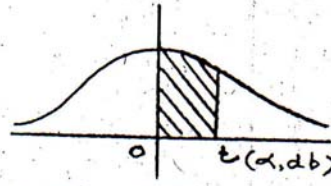
Lampiran 4

Tabel F ( $\alpha ; v_1; v_2$ ) untuk  $\alpha = 0.05$

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	-
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	253	254
2	18.5	19	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.2	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.7	8.66	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6	5.96	5.91	5.86	5.8	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.5	4.46	4.43	4.4	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.1	4.06	4	3.94	3.87	3.81	3.77	3.74	3.7	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.34	3.3	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.7	2.66	2.62	2.58	2.54
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	-
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.2	3.09	3.01	2.95	2.9	2.85	2.79	2.72	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45	2.4
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3	2.91	2.85	2.8	2.75	2.69	2.62	2.54	2.47	2.43	2.38	2.34	2.3
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.6	2.53	2.46	2.38	2.34	2.3	2.25	2.21
14	4.6	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.7	2.65	2.6	2.53	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.45	3.68	3.29	3.06	2.9	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.4	2.33	2.25	2.2	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.2	2.96	2.81	2.7	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.15	2.1	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.71	2.6	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.2	2.12	2.04	1.99	1.95	1.9	1.84
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	-
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.6	2.49	2.4	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.55	1.5	1.43	1.35	1.25
-	3.84	3	2.6	2.37	2.21	2.1	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.46	1.39	1.32	1.22	1

Lampiran 5. Tabel T

TABEL - T



db	$\alpha$	0,05	0,01	0,025	0,05	0,10
1		63.657	31.821	12.706	6.314	3.078
2		9.925	6.965	4.303	2.920	1.686
3		5.841	4.541	3.182	2.353	1.638
4		4.604	3.747	2.776	2.132	1.533
5		4.032	3.365	2.571	2.015	1.476
6		3.707	3.143	2.447	1.943	1.440
7		3.499	2.998	2.365	1.895	1.415
8		3.355	2.896	2.306	1.860	1.397
9		3.250	2.821	2.262	1.833	1.363
10		3.169	2.764	2.228	1.812	1.372
11		3.106	2.718	2.201	1.796	1.363
12		3.055	2.681	2.179	1.796	1.363
13		3.0122	2.650	2.160	1.771	1.350
14		2.977	2.624	2.145	1.761	1.341
15		2.947	2.602	2.131	1.753	1.341
16		2.921	2.583	2.120	1.746	1.337
17		2.898	2.567	2.110	1.740	1.333
18		2.878	2.552	2.101	1.734	1.330
19		2.861	2.539	2.093	1.729	1.328
20		2.845	2.528	2.086	1.725	1.325
21		2.831	2.518	2.080	1.721	1.323
22		2.819	2.508	2.074	1.717	1.321
23		2.807	2.500	2.069	1.714	1.319
24		2.797	2.492	2.064	1.711	1.318
25		2.787	2.485	2.060	1.708	1.316
26		2.779	2.479	2.056	1.706	1.315
27		2.771	2.473	2.052	1.703	1.314
28		2.763	2.467	2.048	1.701	1.313
29		2.756	2.462	2.045	1.699	1.311
30		2.750	2.457	2.042	1.696	1.310
40		2.704	2.423	2.021	1.684	1.303
60		2.660	2.390	2.000	1.671	1.296
100		2.617	2.358	1.980	1.658	1.289
		2.576	2.326	1.960	1.645	1.282

Sumber : Hifni, H.M, 1993.



