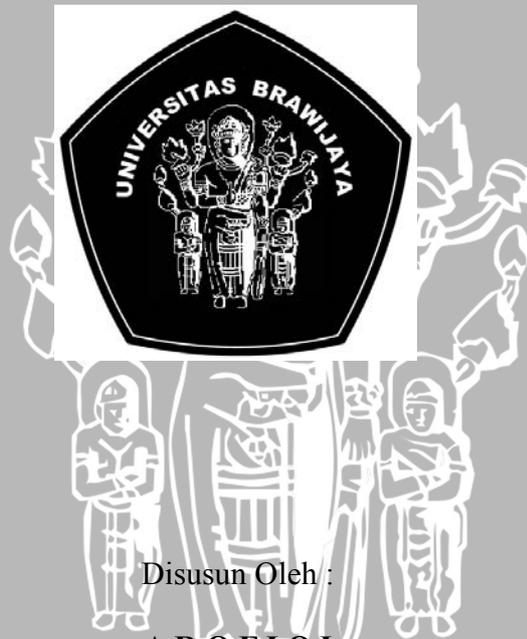


**PENGARUH VARIASI *MINOR CUTTING EDGE ANGLE* DAN *DEPTH OF CUT*
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN HASIL PEMBUBUTAN
BAJA AISI 1045**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

AROFIQI
NIM. 0410623014-62

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2009**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI *MINOR CUTTING EDGE ANGLE* DAN *DEPTH OF CUT*
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN HASIL PEMBUBUTAN
BAJA AISI 1045

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

AROFIQI
NIM. 0410623014-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II

Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.
NIP. 19591128 198710 1 001

Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. CSE.
NIP. 19670923 199303 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI *MINOR CUTTING EDGE ANGLE* DAN *DEPTH OF CUT*
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN HASIL PEMBUBUTAN
BAJA AISI 1045**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**AROFIQI
NIM. 0410623014-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 11 Juni 2009

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Ir. Erwin Sulistyvo, MT.
NIP. 19661213 199802 1 001

Komprehensif

Putu Hadi Setyarini, ST., MT.
NIP. 19770806 200312 2 001

**Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin**

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan rangkaian penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul **PENGARUH VARIASI *MINOR CUTTING EDGE ANGLE* DAN *DEPTH OF CUT* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN HASIL PEMBUBUTAN BAJA AISI 1045**. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna bagi industri manufaktur, khususnya pada proses pemotongan logam.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, proses penelitian dan penulisan skripsi ini tidak akan selesai. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Bapak Prof. Ir. Harnen Sulistio, M.Sc., Ph.D.
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT.
3. Ketua Konsentrasi Teknik Produksi Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT.
4. Bapak Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT. dan Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc., CSE. yang telah mengarahkan dan membimbing penulisan skripsi.
5. Bapak Prof. Ir. Sudjito, Ph.D. selaku dosen wali.
6. Ibu Putu Hadi Setyarini, ST., MT. selaku Ketua Laboratorium Metrologi Industri.
7. Mas Hartono selaku laboran Laboratorium Otomasi Manufaktur (NC/CNC) yang telah memberikan bantuan dan masukan selama proses penelitian.
8. Kedua orang tua, adik dan teman-teman MESIN 2004, Divisi Otomasi dan Robotika serta Lab. Otomasi Manufaktur (NC/CNC) atas segala doa, bantuan dan dukungannya, baik selama penelitian maupun dalam penulisan skripsi.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis memerlukan masukan-masukan dari semua pihak agar skripsi ini menjadi lebih baik di masa yang akan datang. Akhirnya, semoga skripsi ini berguna dan bermanfaat bagi semua. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan meridhoi setiap langkah dan perbuatan kita. Amin.

Malang, 11 Juni 2009

Penulis

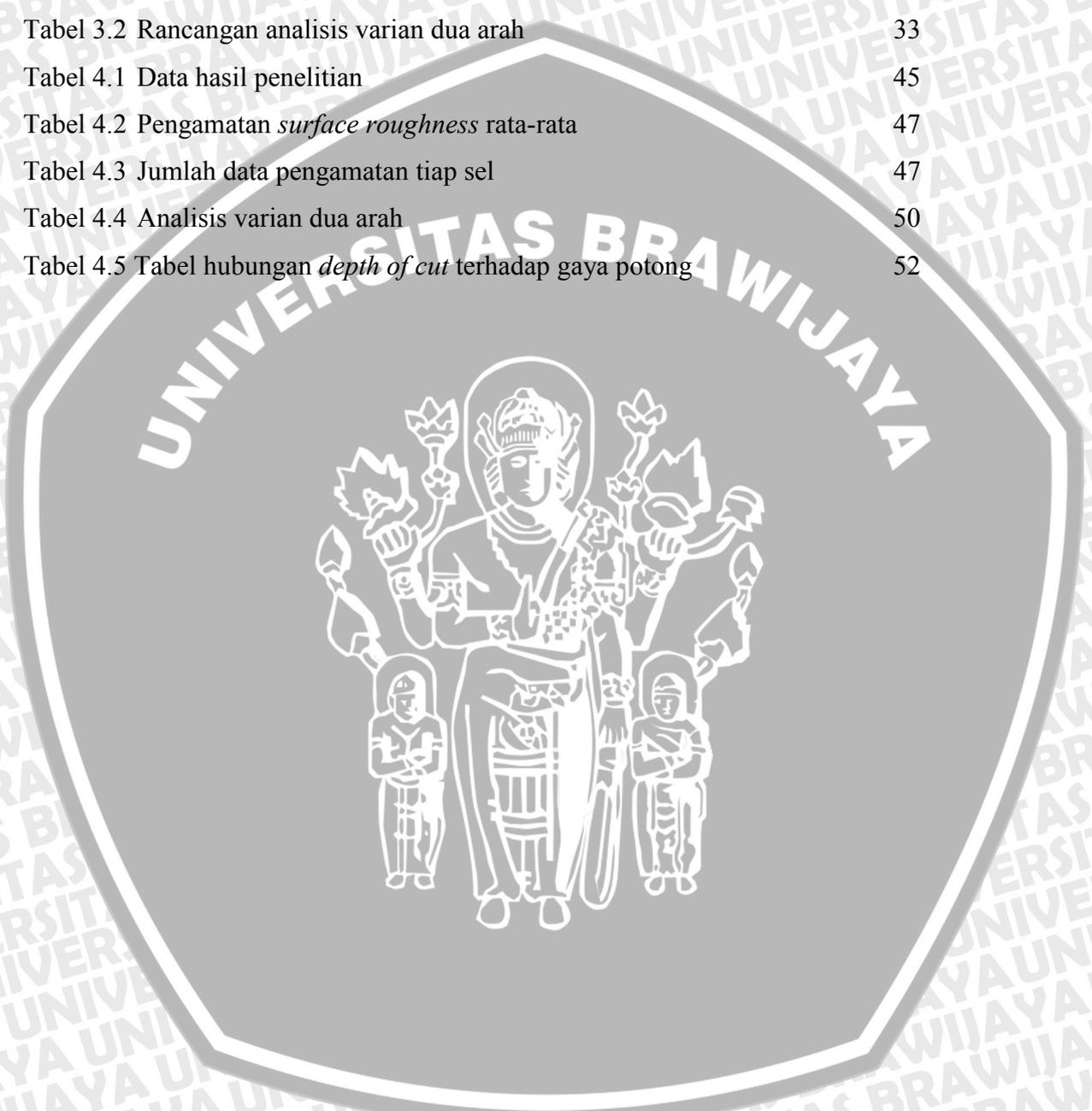
DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Proses Pemesinan	5
2.2.1 Klasifikasi dan Elemen Dasar Pemesinan	5
2.3 Proses Bubut (<i>Turning</i>)	6
2.4 Mekanisme Pembentukan Geram	8
2.4.1 Komponen Gaya Pembentukan Geram	9
2.5 Geometri Pahat	12
2.5.1 Sudut Potong Utama	15
2.5.2 <i>Minor Cutting Edge Angle</i>	16
2.6 Getaran Pada Proses Pembubutan	16
2.6.1 Getaran Paksa (<i>Forced Vibration</i>)	16
2.6.2 <i>Chatter (Self Exited Vibration)</i>	17
2.6.3 Dinamika Pemoangan Logam	17
2.7 Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah	18
2.7.1 Nomenklatur Baja	19
2.8 Kekasaran Permukaan	20
2.8.1 Kekasaran Permukaan Ideal	20

2.8.2	Kekasaran Permukaan Natural	22
2.8.3	Pengukuran Kekasaran Permukaan	23
2.9	Hipotesa	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Metode Penelitian.....	27
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
3.3	Alat dan Bahan Yang Digunakan	27
3.3.1	Data-data Alat yang Digunakan	27
3.3.2	Bahan Yang Digunakan	29
3.4	Variabel Penelitian	30
3.4.1	Variabel Bebas	30
3.4.2	Variabel Terikat	30
3.4.1	Variabel Terkontrol	31
3.5	Prosedur Penelitian	31
3.6	Rancangan Penelitian	31
3.7	Analisa Statistik	32
3.8	Diagram Alir Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengambilan Data	36
4.2	Data Hasil Penelitian	45
4.2	Analisis Varian	46
4.3	Gaya Pemotongan	51
4.4	Pembahasan	52
4.4.1	Pembahasan Analisis Varian	52
4.3.2	Pembahasan Grafik	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

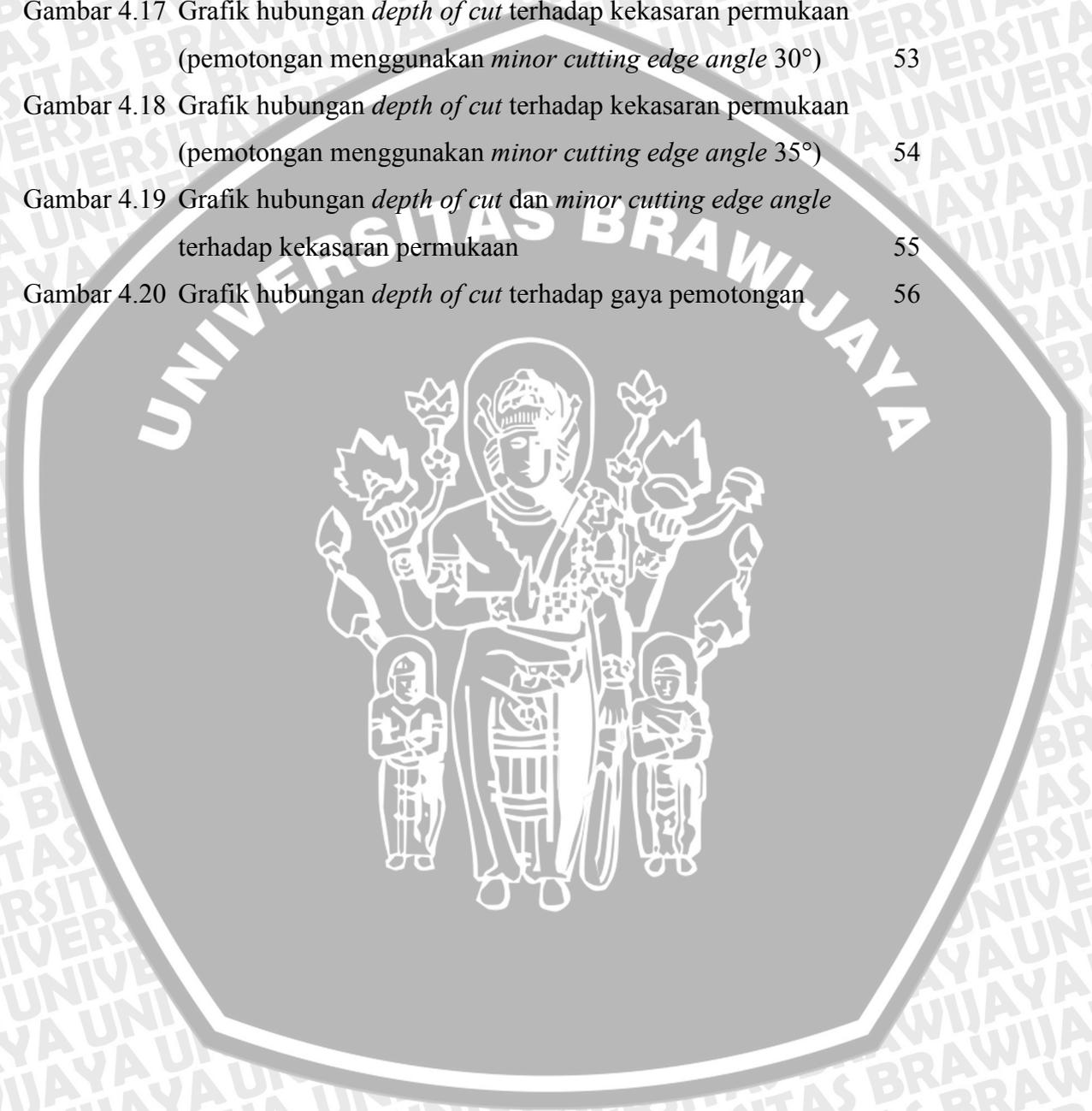
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nomenklatur baja AISI dan SAE	19
Tabel 3.1	Rancangan perlakuan percobaan	32
Tabel 3.2	Rancangan analisis varian dua arah	33
Tabel 4.1	Data hasil penelitian	45
Tabel 4.2	Pengamatan <i>surface roughness</i> rata-rata	47
Tabel 4.3	Jumlah data pengamatan tiap sel	47
Tabel 4.4	Analisis varian dua arah	50
Tabel 4.5	Tabel hubungan <i>depth of cut</i> terhadap gaya potong	52



DAFTAR GAMBAR

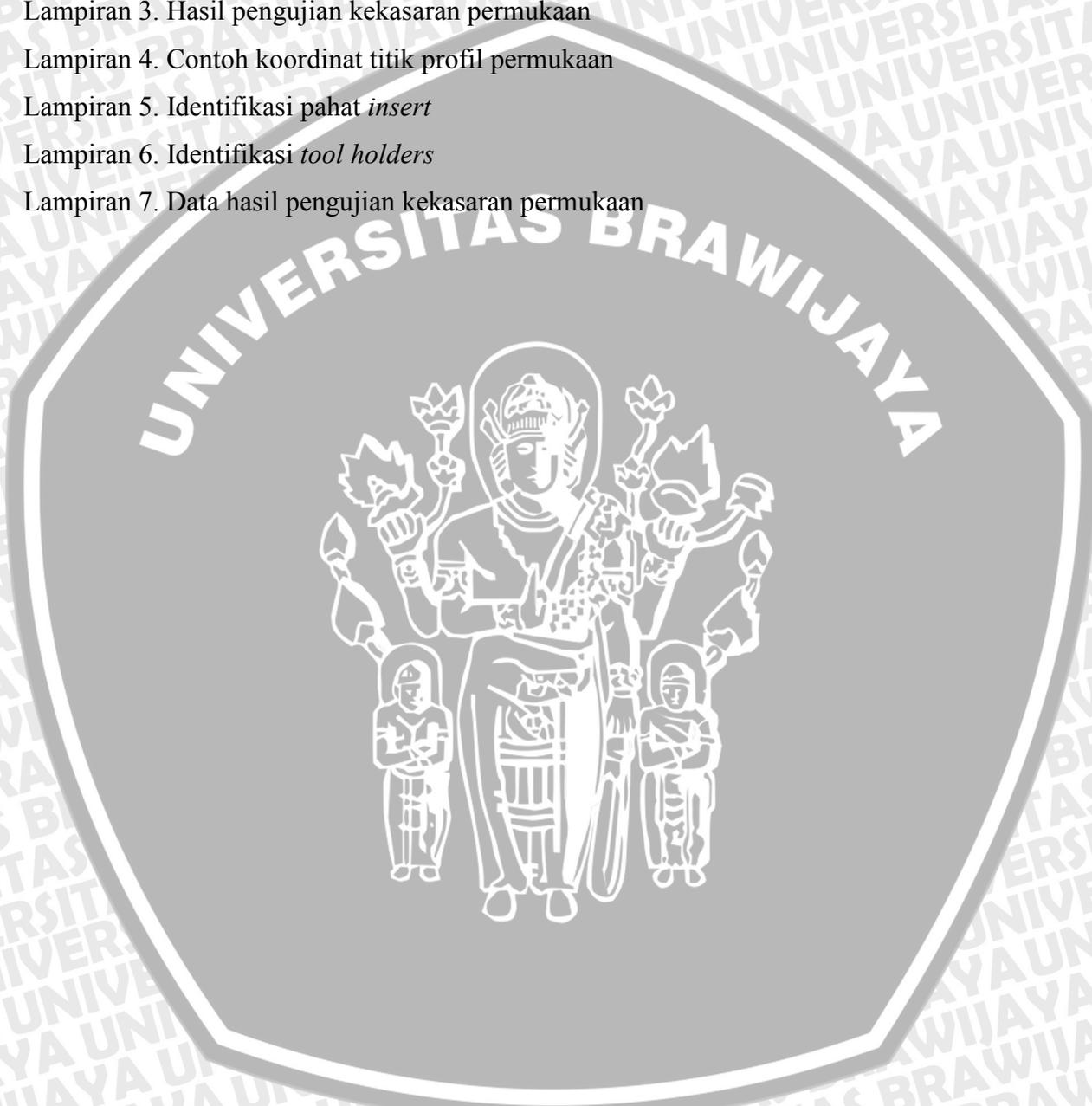
No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Pengaruh material dan <i>depth of cut</i> terhadap kekasaran permukaan	2
Gambar 1.2	Pengaruh <i>minor cutting edge angle</i> terhadap kekasaran permukaan	2
Gambar 2.1	Proses bubut	7
Gambar 2.2	Teori yang menerangkan terjadinya geram	8
Gambar 2.3	Proses terbentuknya geram	9
Gambar 2.4	Lingkaran gaya pemotongan (lingkaran Merchant)	11
Gambar 2.5	Bagian-bagian pahat	14
Gambar 2.6	Pahat sisipan (<i>insert</i>)	15
Gambar 2.7	Pahat bubut	16
Gambar 2.8	Gerakan sinusoidal dan gaya yang terjadi	18
Gambar 2.9	Model kekasaran permukaan ideal	21
Gambar 2.10	Pengaruh <i>minor cutting edge angle</i> terhadap kekasaran permukaan	22
Gambar 2.11	Posisi dan profil-profil	23
Gambar 2.12	Sampel profil permukaan	24
Gambar 3.1	<i>Tool holder</i> dan pahat yang digunakan	28
Gambar 3.2	Sudut potong mayor, <i>insert angle</i> dan sudut potong minor	28
Gambar 3.3	Dimensi benda kerja	30
Gambar 4.1	Skala profil permukaan	36
Gambar 4.2	Import gambar dari <i>Coreldraw</i>	37
Gambar 4.3	<i>Dimention tool</i> pada <i>Coreldraw</i>	38
Gambar 4.4	Pengukuran jarak antar titik	38
Gambar 4.5	Hasil kalibrasi	39
Gambar 4.6	Contoh pengambilan koordinat titik pada profil permukaan	39
Gambar 4.7	Menjalankan perintah <i>insert point series</i>	40
Gambar 4.8	Tabel <i>insert point series</i>	40
Gambar 4.9	Hasil memasukkan koordinat profil permukaan	41
Gambar 4.10	Mengedit <i>series 1</i>	41
Gambar 4.11	Hasil edit <i>series 1</i>	42

Gambar 4.12 Menjalankan perintah <i>insert trendline</i>	42
Gambar 4.13 <i>Insert trendline</i>	43
Gambar 4.14 Hasil menjalankan <i>trendline</i>	43
Gambar 4.15 Menjalankan perintah <i>area</i>	44
Gambar 4.16 Hasil perhitungan luasan	44
Gambar 4.17 Grafik hubungan <i>depth of cut</i> terhadap kekasaran permukaan (pemotongan menggunakan <i>minor cutting edge angle</i> 30°)	53
Gambar 4.18 Grafik hubungan <i>depth of cut</i> terhadap kekasaran permukaan (pemotongan menggunakan <i>minor cutting edge angle</i> 35°)	54
Gambar 4.19 Grafik hubungan <i>depth of cut</i> dan <i>minor cutting edge angle</i> terhadap kekasaran permukaan	55
Gambar 4.20 Grafik hubungan <i>depth of cut</i> terhadap gaya pemotongan	56



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Sertifikat material baja AISI 1045
Lampiran 2.	Proses pembubutan
Lampiran 3.	Hasil pengujian kekasaran permukaan
Lampiran 4.	Contoh koordinat titik profil permukaan
Lampiran 5.	Identifikasi pahat <i>insert</i>
Lampiran 6.	Identifikasi <i>tool holders</i>
Lampiran 7.	Data hasil pengujian kekasaran permukaan



DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan singkatan	Simbol
Diameter akhir	Milimeter atau mm	d_m
Diameter mula	Milimeter atau mm	d_0
Diameter rata-rata	Milimeter atau mm	d
Gaya makan	Newton atau N	F_s
Gaya potong	Newton atau N	F_v
Gaya total	Newton atau N	F
Masa equivalen	Kilogram atau Kg	m_e
Kedalaman pemotongan	Milimeter atau mm	a
Kekasaran permukaan	Mikrometer atau μm	R_a
Lebar pemotongan	Milimeter atau mm	b
Panjang pemesinan	Milimeter atau mm	l_t
Perpindahan normal	Milimeter atau mm	x
Sudut geram	Derajat atau $^\circ$	γ_0
Sudut gesek	Derajat atau $^\circ$	Φ
Sudut kristal	Derajat atau $^\circ$	Ψ_c
Sudut potong mayor	Derajat atau $^\circ$	k_{re}
Sudut potong minor	Derajat atau $^\circ$	k_{re}'
Tebal geram	Milimeter atau mm	h_c
Tebal geram sebelum terpotong	Milimeter atau mm	h



RINGKASAN

Arofiqi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2009, Pengaruh Variasi *Minor Cutting Edge Angle* dan *Depth of Cut* Terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan Baja AISI 1045, Dosen Pembimbing : Ahmad As'ad Sonief dan Tjuk Oerbandono.

Kekasaran permukaan adalah salah satu faktor penting dalam perancangan komponen mesin agar elemen-elemen mesin dapat berfungsi dengan baik. Kekasaran permukaan merupakan penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses pemesinan. Setiap proses permesinan mempunyai ciri tertentu atas benda kerja yang dihasilkan. Beberapa parameter permesinan yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah *minor cutting edge angle* dan *depth of cut*. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan.

Pada penelitian ini dilakukan proses pembubutan memanjang menggunakan mesin bubut konvensional maximat V13 dengan sistem pemotongan lurus (*orthogonal cutting*), pada benda kerja baja AISI 1045. Proses pembubutan dilakukan dengan variasi *minor cutting edge angle* 30° dan 35°, serta variasi *depth of cut* 0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm dan 1,25 mm dimana sebelumnya telah dilakukan pemakanan sedalam 1 mm (*facing*). Untuk mengetahui nilai kekasaran permukaannya digunakan *surf-test* SJ-301.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi pemotongan menggunakan *minor cutting edge angle* 30° dan *depth of cut* 0,5 mm menghasilkan kekasaran permukaan terendah yaitu 2,82 µm. Sedangkan pada pemotongan menggunakan *cutting edge angle* 35° dan *depth of cut* 1,25 mm menghasilkan nilai kekasaran permukaan tertinggi yaitu 7,075 µm. Terjadi kenaikan nilai kekasaran permukaan setiap penambahan *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* pada proses pembubutan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pahat dengan *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* yang lebih kecil pada proses pembubutan logam dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah.

Kata kunci : bubut, *depth of cut*, kekasaran permukaan, *minor cutting edge angle*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin bubut adalah salah satu alat pemesian yang paling tua dan yang paling banyak digunakan pada industri manufaktur saat ini. Banyak komponen-komponen penting yang berbentuk silindris diproses dengan menggunakan mesin bubut, seperti poros, bearing dan sebagainya.

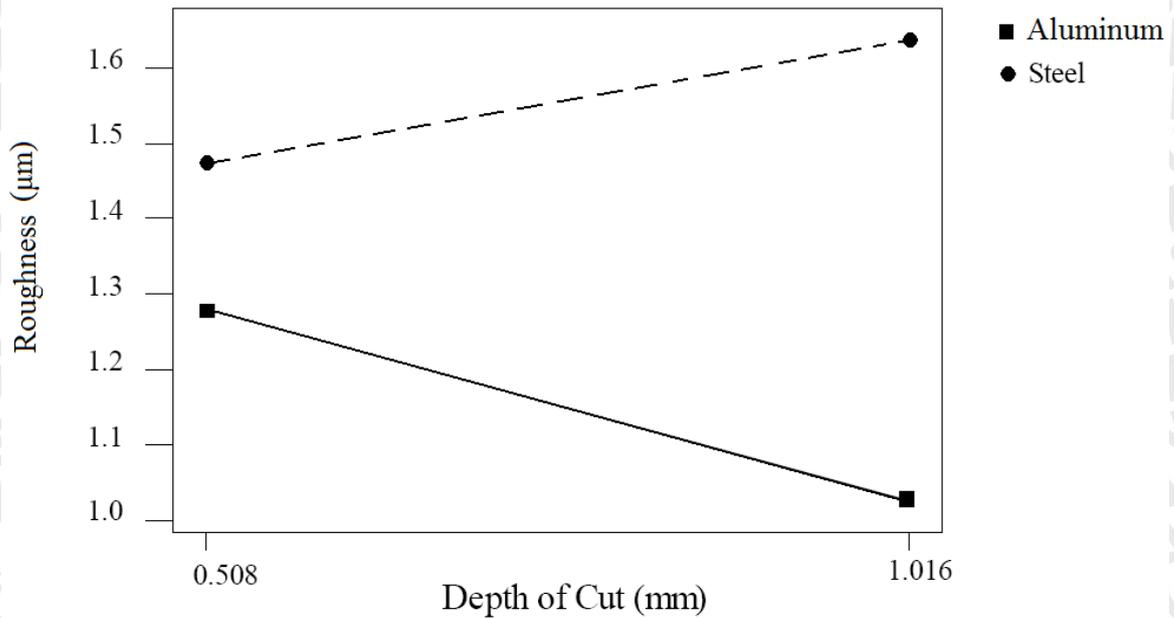
Seiring dengan majunya dunia perindustrian, maka semakin maju pula pola pikir konsumen. Dimana saat ini konsumen sangat memperhatikan kualitas dari barang yang akan mereka beli. Banyak faktor yang mempengaruhi kualitas dari komponen-komponen hasil pemesian tersebut yang salah satunya adalah kualitas kekasaran dari permukaan, atau yang dikenal dengan *surface roughness*.

Kekasaran permukaan adalah salah satu sifat bahan yang penting. Kekasaran merupakan sifat permukaan suatu benda yang dapat dirasakan oleh indera kita. Pada industri pemesian pengukuran sifat permukaan sangat diperlukan, terutama yang bergerak dibidang produksi. Elemen – elemen mesin seperti poros, lubang, pasak dan lain sebagainya, memerlukan pengukuran untuk menentukan nilai kekasaran selain ketepatan toleransi ukuran dan posisinya.

Mutu permukaan sering menjadi faktor yang penting agar elemen-elemen mesin dapat berfungsi dengan baik. Untuk permukaan-permukaan yang bergerak, kualitas permukaan berpengaruh pada gesekan dan keausan, baik menggunakan pelumasan maupun tidak. Pada permukaan-permukaan yang diam, kualitas permukaan berpengaruh pada daerah ikatan sambungan.

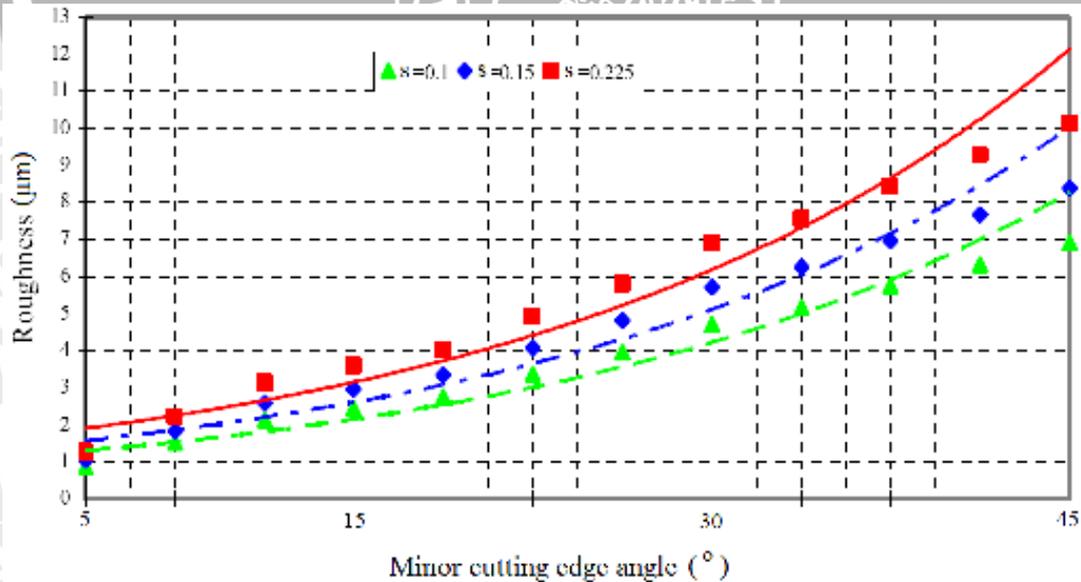
Untuk membuat suatu produk yang berkualitas tentunya harus didukung oleh parameter pemesian yang tepat. Setiap proses pemesian mempunyai ciri tertentu atas benda kerja yang dihasilkan termasuk kekasaran permukaan. Beberapa parameter pemesian yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah *minor cutting edge angle* dan *depth of cut*.

Feng (2001), melakukan penelitian tentang pengaruh parameter pembubutan terhadap kekasaran permukaan. Dari hasil penelitiannya dapat disimpulkan bahwa kekasaran permukaan untuk baja akan cenderung naik seiring dengan penambahan kedalaman pemotongan, sedangkan untuk aluminium kekasarannya akan turun jika kedalaman pemotongan dinaikkan. Seperti yang dijelaskan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Pengaruh material dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan
 Sumber: Feng, 2001.

Penelitian yang serupa juga dilakukan oleh Motoi et.al. (2005) tentang pengaruh geometri perkakas bubut terhadap kondisi permukaan benda kerja. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa *minor cutting edge angle* sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Semakin besar sudut potong minor maka kekasaran permukaan yang yang dihasilkan akan semakin besar, begitu juga sebaliknya. Hal ini bisa dijelaskan dalam gambar 1.2.



Gambar 1.2 Pengaruh *minor cutting edge angle* terhadap kekasaran permukaan
 Sumber: Motoi et. al., 2005

Berdasarkan uraian diatas, maka sangat perlu sekali untuk meneliti mengenai pengaruh *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* terhadap terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan baja AISI 1045.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti lebih lanjut yaitu bagaimana pengaruh variasi *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan baja AISI 1045.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan lebih terarah, maka perlu adanya batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Menggunakan material benda uji baja AISI 1045,
2. Mesin yang digunakan adalah mesin bubut maximat v13,
3. Pahat potong yang digunakan adalah pahat *insert*,
4. Proses yang dilakukan adalah pembubutan memanjang,
5. Tidak membahas suhu pemotongan dan keausan pahat,
6. Proses pembubutannya tanpa menggunakan *cutting fluid (dry turning)*,
7. Tidak timbul BUE (*Built-Up Edge*),
8. Putaran spindel 550 rpm.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan pada proses pembubutan dengan material baja AISI 1045.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan dan memberikan beberapa manfaat bagi industri pemotongan logam khususnya pada proses pembubutan, untuk dapat menghasilkan produk dengan kualitas yang baik dan sesuai dengan geometri yang diinginkan serta memberikan sumbangan tentang : pengaruh *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan pada proses pembubutan baja AISI 1045.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.2 Penelitian Sebelumnya

Andys Sumarsono SH (2007), melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh gerak makan dan kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar gerak makan maka kekasaran permukaan benda kerja akan naik. Dan semakin besar kecepatan potong maka kekasaran permukaan pada proses pembubutan akan menurun.

Ninuk Jonoadji dan Joni Dewanto (1999), melakukan penelitian tentang pengaruh parameter potong dan geometri pahat terhadap kekasaran permukaan pada proses bubut. Hasilnya menunjukkan bahwa faktor yang paling besar pengaruhnya adalah gerak makan dan yang paling kecil pengaruhnya adalah kecepatan potong. Gerak makan bertambah besar maka akan menaikkan nilai kekasaran permukaan sedangkan radius pahat (*nose radius*) dan kecepatan potong yang bertambah besar akan menurunkan nilai kekasaran permukaan.

Amelia Sugondo (2008), melakukan penelitian tentang studi pengaruh kedalaman pemakanan terhadap getaran dengan menggunakan mesin bubut Chien Yeh CY 800 Gf. Hasilnya menunjukkan bahwa Kedalaman pemotongan berpengaruh pada besarnya amplitudo getaran yang terjadi. Pada kedalaman pemotongan 0,5 mm, getaran yang ditimbulkan paling kecil dan dapat disimpulkan getaran akan semakin besar jika gaya yang dibutuhkan untuk pemotongan semakin besar. Berbeda dengan putaran, pada penelitian ini, putaran 300 rpm menghasilkan amplitudo getaran lebih tinggi daripada putaran tinggi 750 rpm. Arah sumbu penempatan probe untuk uji getar, juga mempengaruhi besarnya getaran yang terjadi. Pada arah sumbu x, getaran paling kecil dan pada arah sumbu y paling besar.

Safeen Y. Kassab dan Younis K. Khoshnaw (2007), melakukan penelitian tentang pengaruh *cutting tool vibration* terhadap kekasaran permukaan pada benda kerja dengan operasi *dry turning*. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi amplitudo getaran yang dihasilkan maka kekasaran permukaan benda kerja cenderung meningkat.

2.3 Proses Permesinan

Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk dari logam (komponen mesin) dengan cara memotong. Proses pemotongan logam dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok dasar, yaitu :

1. Proses pemotongan dengan mesin las.
2. Proses pemotongan dengan mesin press.
3. Proses pemotongan dengan mesin perkakas.
4. Proses pemotongan non konvensional.

Proses pemotongan menggunakan mesin perkakas disebut juga proses permesinan (*Machining process*).

2.3.1 Klasifikasi Dan Elemen Dasar Permesinan

Gerak relatif dari pahat terhadap benda kerja dapat dipisahkan menjadi dua macam komponen gerakan yaitu gerak potong (*Cutting Movement*) dan gerak makan (*Feeding Movement*). Berdasarkan jenis kombinasi dari gerak potong dan gerak makan, proses permesinan dikelompokkan menjadi tujuh macam proses yang berlainan, yaitu :

1. Proses membubut (*Turning*).
2. Proses menggurdi (*Drilling*).
3. Proses mengefraisi (*Milling*).
4. Proses menggerinda rata (*Surface Grinding*).
5. Proses menggerinda silindris (*Cylindrical Grinding*).
6. Proses menyekrap (*Shaping, Planing*).
7. Proses menggergaji atau memarut (*Sawing, Broaching*).

Pada proses-proses permesinan diatas, pahat yang dipasangkan pada mesin perkakas bergerak relatif terhadap benda kerja dan akan menghasilkan geram. Sementara itu permukaan benda kerja akan semakin berkurang secara bertahap dan akan terbentuk menjadi suatu benda yang diinginkan. Pada proses permesinan kecepatan menghasilkan geram dapat dipilih agar waktu pemotongan sesuai dengan yang dikehendaki, tetapi harus diperhatikan juga mengenai kekerasan benda kerja yang akan dipotong dan juga kekuatan dari pahat

Elemen proses permesinan diatas dihitung berdasarkan dimensi benda kerja dan pahat serta besaran dari mesin perkakas. Besaran mesin perkakas yang dapat diatur bermacam-macam tergantung dari jenis mesin perkakas. Oleh sebab itu, rumus yang dipakai untuk menghitung setiap elemen proses permesinan dapat berlainan.

2.3 Proses Bubut (*Turning*)

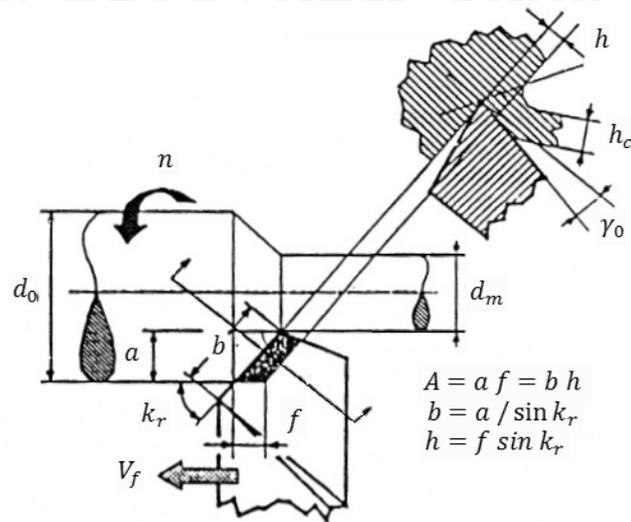
Benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasang diujung poros utama (spindel). Dengan mengatur lengan pengatur yang terdapat pada kepala diam, putaran poros utama (n) dapat dipilih. Harga putaran poros utama biasanya dibuat bertingkat dengan aturan yang telah distandarkan, misalnya 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800 dan 200 rpm. Untuk mesin bubut dengan putaran motor variabel ataupun dengan sistem transmisi variabel, kecepatan putaran poros utama tidak lagi bertingkat melainkan berkesinambungan (*continue*). Pahat dipasang pada kedudukan pahat dan kedalaman potong (a) diatur dengan menggeserkan peluncur silang melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter, dengan demikian kedalaman gerak translasi bersama-sama dengan kereta dan gerak makanya diatur dengan lengan pengatur pada rumah roda gigi. Gerak makan (f) yang tersedia bermacam-macam dan menurut tingkatan yang telah distandarkan.

Elemen dasar dari proses bubut dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan dengan memperhatikan gambar 2.1. Kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut (Taufiq Rochim, 1993:13):

Benda kerja : d_o = diameter mula (mm)
 d_m = diameter akhir (mm)
 l_t = panjang permesinan (mm)

Pahat : k_r = sudut potong utama ($^\circ$)
 γ_o = sudut geram ($^\circ$)

Mesin bubut : a = kedalaman potong (mm)
 $a = (d_o - d_m)/2 - d_o$ (mm) (2-1)
 f = gerak makan (mm/rev)
 n = putaran poros utama (rpm)



Gambar 2.1 Proses bubut
 Sumber: Taufiq Rochim (1993: 15)

Elemen dasar dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut:

1. Kecepatan potong (Taufiq Rochim, 1993:14):

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

Keterangan, d = diameter rata-rata, yaitu

$$d = (d_0 + d_m) / 2 - d_0 \quad (\text{mm}) \quad (2-3)$$

2. Kecepatan makan (Taufiq Rochim, 1993:15):

$$V_f = f \cdot n \quad (\text{mm/min}) \quad (2-4)$$

3. Waktu pemotongan (Taufiq Rochim, 1993:15):

$$t_c = l_t / V_f \quad (\text{min}) \quad (2-5)$$

4. Kecepatan penghasilan geram (Taufiq Rochim, 1993:15):

$$Z = A \cdot v$$

Dimana, penampang geram sebelum terpotong $A = f \times a \text{ (mm}^2\text{)}$

$$\text{Maka } Z = f \cdot a \cdot v \quad (\text{cm}^3/\text{min}) \quad (2-6)$$

Pada gambar 2.1 memperlihatkan sudut potong utama (k_r , *principle cutting edge angle*) yaitu merupakan sudut antara mata potong mayor (proyeksinya pada bidang referensi) dengan kecepatan makan v_f . Besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pahat (orientasi pemasangannya). Untuk harga a dan f yang tetap maka sudut ini menentukan besarnya lebar pemotongan (b, *with of cut*) dan tebal geram sebelum terpotong (h, *undeformed chip thickness*) sebagai berikut:

$$\text{Lebar pemotongan : } b = a / \sin k_r \quad (\text{mm}) \quad (2-7)$$

Tebal geram sebelum terpotong:

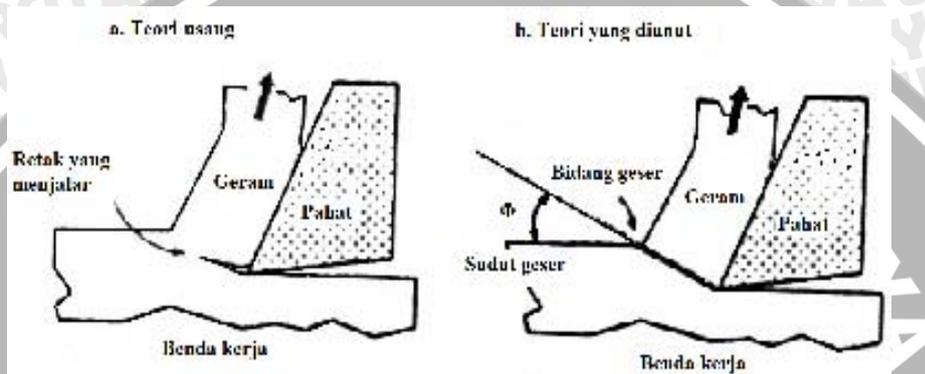
$$h = f \sin \alpha \quad (\text{mm}) \quad (2-8)$$

Dengan demikian penampang geram sebelum terpotong dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = f \cdot a = b \cdot h \quad (\text{mm}^2) \quad (2-9)$$

Perlu dicatat bahwa tebal geram sebelum terpotong (h) belum tentu sama dengan tebal geram (h_0 , chip thickness) dan hal ini antara lain dipengaruhi oleh sudut geram (γ_0) kecepatan potong dan material benda kerja.

2.4 Mekanisme Pembentukan Geram

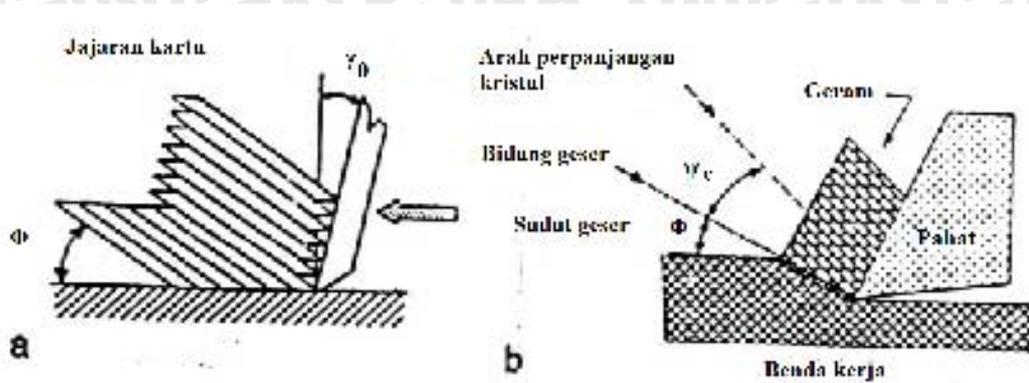


Gambar 2.2. Teori yang menerangkan terjadinya geram

- a. Teori usang (teori retak mikro)
- b. Teori yang dianut sekarang (teori bidang geser)

Sumber: Taufiq Rochim (1993: 25)

Pada mulanya diperkirakan geram terbentuk karena adanya retak mikro (*micro crack*) yang timbul pada benda kerja tepat diujung pahat pada saat pemotongan dimulai. Dengan bertambahnya tekanan pahat, retak tersebut menjalar kedepan sehingga terjadilah geram, lihat gambar 2.2 a. Anggapan ini sekarang sudah ditinggalkan berkat hasil berbagai penelitian mengenai mekanisme pembentukan geram. Logam yang pada umumnya bersifat ulet (*ductile*) apabila mendapat tekanan akan timbul tegangan (*stress*) didaerah disekitar konsentrasi gaya penekanan pada 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 plastik (perubahan bentuk) yang menggeser dan memutuskan benda kerja diujung pahat pada suatu bidang geser (*shear plane*), lihat gambar 2.2 b.



Gambar 2.3 Proses terbentuknya geram menurut:

1. Teori analogi kartu
2. Perpanjangan kristal setelah terjadi deformasi dan pergeseran bagi benda kerja berkrystal tunggal

Sumber: Taufiq Rochim (1993 : 25)

Bidang geser mempunyai lokasi tertentu yang membuat sudut terhadap vektor kecepatan potong dan dinamakan sudut geser (shear angle, Φ). Proses terbentuknya geram tersebut dapat diterangkan melalui analogi tumpukan kartu. Bila setumpukan kartu disejajarkan dan diatur sedikit miring (sesuai dengan sudut geser Φ) kemudian didorong dengan papan (penggaris) yang membuat sudut terhadap garis vertikal (sesuai dengan sudut geram γ_0) maka kartu bergeser keatas relatif terhadap kartu dibelakangnya. Pergeseran tersebut berlangsung secara berurutan dan kartu terdorong melewati bidang atas papan, lihat gambar 2.3a. Analogi kartu tersebut menerangkan keadaan sesungguhnya dari kristal logam (struktur butir metalografis) yang terdeformasi sehingga merupakan lapisan tipis yang tergeser pada bidang geser. Arah perpanjangan kristal (*crystal elongation*) membuat sudut (ψ_c) sedikit lebih besar dari pada sudut geser, lihat gambar 2.3b.

Proses deformasi tersebut tidak berlangsung secara mendadak pada bidang geser melainkan melalui bidang yang sempit dengan kecepatan regangan geser (*shear strain*) yang sangat cepat ($0,5 \mu \text{ sec}$).

2.4.1 Komponen Gaya Pembentukan Geram

Suatu analisis mekanisme pembentukan geram yang dikemukakan oleh Merchant mendasarkan teorinya atas model pemotongan sistem tegak (*orthogonal system*). Sistem pemotongan tegak merupakan penyederhanaan dari sistem pemotongan miring (*oblique system*) dimana gaya diuraikan menjadi komponennya pada suatu bidang. Beberapa asumsi yang digunakan dalam analisis model tersebut adalah : (Taufiq Rochim, 1993 : 26)

- Mata potong pahat sangat tajam sehingga tidak meggosok atau menggaruk menda kerja,
- Deformasi terjadi hanya dalam dua dimensi,
- Distribusi tegangan yang merata pada bidang geser, dan
- Gaya aksi dan reaksi pahat terhadap bidang geram adalah sama besar dan segaris (tidak menimbulkan momen koppel).

Karena sistem gaya dipandang hanya pada satu bidang (bukan ruang) maka gaya total dapat diuraikan menjadi dua komponen gaya yang saling tegak lurus. Tergantung pada cara penguraian dalam hal ini dapat dikemukakan tiga cara yaitu: (Taufiq Rochim, 1993 : 26)

1. Gaya total (F), ditinjau dari proses deformasi material, dapat diuraikan menjadi dua komponen yaitu :

F_s : gaya geser yang mendeformasikan material pada bidang geser sehingga melampaui batas elastik, dan

F_{sn} : gaya normal pada bidang geser yang menyebabkan pahat tetap menempel pada benda kerja.

2. Gaya total (F) dapat diketahui arah dan besarnya dengan cara membuat dinamometer (alat ukur gaya dimana pahat dipasang padanya dan alat tersebut dipasang pada mesin perkakas) yang mengukur dua komponen gaya yaitu :

F_v : gaya potong, searah dengan kecepatan potong, dan

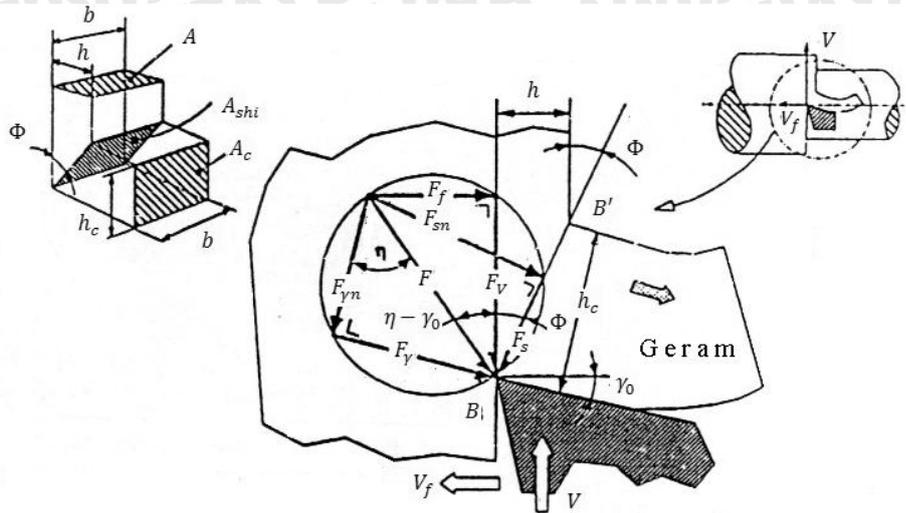
F_s : gaya makan, searah dengan kecepatan makan.

3. Gaya total (F) yang bereaksi pada bidang geram (A_γ , *face*, bidang pada pahat dimana geram mengalir) diuraikan menjadi dua komponen untuk menentukan koefisien gesek geram terhadap pahat yaitu :

F_γ : gaya gesek pada bidang geram, dan

$F_{\gamma n}$: gaya normal pada bidang geram.

Karena berasal dari satu gaya yang sama mereka dapat dilukiskan pada suatu lingkaran dengan diameter yang sama dengan gaya total (F), lihat gambar 2.4. Lingkaran tersebut digambarkan persis diujung pahat sedemikian rupa sehingga semua komponen menempati lokasi seperti yang dimaksud. Gambar ini merupakan sistem gaya pada pemotongan orthogonal dan dalam prakteknya dapat didekati dengan menggunakan pahat dengan sudut $k_r = 90^\circ$ dan sudut $\lambda_s = 0^\circ$ (sudut miring, *inclination angle*) dengan kecepatan potong jauh lebih tinggi dari pada kecepatan makan.



Gambar 2.4 Lingkaran gaya pemotongan (lingkaran Merchant)
 Sumber: Taufiq Rochim (1993: 27)

Sewaktu pemotongan mulai berlangsung, gaya potong F_v akan membesar. Daerah dimuka mata potong akan menderita tegangan geser dengan orientasi dan harga yang bervariasi. Salah satu bidang akan menderita tegangan geser yang terbesar, dan dengan naiknya gaya potong maka tegangan geser pada bidang tersebut (bidang geser) akan melampaui batas elastik (*yield*) sehingga terjadi deformasi plastik yang menyebabkan terbentuknya geram. Bila hal ini telah terjadi maka gaya gaya potong telah mencapai harga maksimum (tidak mungkin naik lagi). Berdasarkan analisa geometrik dari lingkaran gaya (Merchant) dapat diturunkan rumus dasar gaya potong F_v . (Taufiq Rochim, 1993 : 28)

Dari, $F_v = F \cos(\eta - \gamma_0)$, dan $F_s = F \cos(\Phi + \eta - \gamma_0)$,

$$\text{Maka, } F_v = \frac{F \cos(\eta - \gamma_0)}{F \cos(\Phi + \eta - \gamma_0)} \quad (2-10)$$

Gaya geser F_s dapat digantikan dengan penampang bidang geser dan tegangan geser yang terjadi padanya yaitu, (Taufiq Rochim, 1993 : 28)

$$F_s = A_{shi} \cdot \tau_{shi} \quad (\text{N}) \quad (2-11)$$

Keterangan :

τ_{shi} : tegangan geser pada bidang geser ; N/mm²,

A_{shi} : penampang bidang geser,

: $A/\sin \Phi$; mm²,

A : Luas penampang geram sebelum terpotong,

: $a * f$; mm².

Dengan demikian rumus gaya potong adalah, (Taufiq Rochim, 1993 : 28)

$$F_v = \tau_{shi} \cdot A \frac{\cos(\eta - \gamma_0)}{\sin\Phi \cos(\Phi + \eta - \gamma_0)} \quad (2-12)$$

Dari rumus 2-12 dapat disimpulkan beberapa variabel yang mempengaruhi gaya pemotongan sebagai berikut : (Taufiq Rochim, 1993 : 28)

1. Tegangan geser (dinamik) menentukan besarnya gaya potong maka kekuatan benda kerja merupakan faktor penentu dalam proses permesinan. Dalam praktek telah diketahui bahwa untuk kondisi pemotongan yang sama maka gaya potong bagi benda kerja alumunium lebih rendah dari gaya potong bagi benda kerja baja.
2. Semakin besar penampang geram, gaya potong akan semakin besar.
3. Sudut geram γ_0 , sudut geser Φ dan sudut geser η (ditentukan oleh koefisien gesek μ) menentukan besarnya gaya potong.

Koefisien gesek (μ , *coefficient of friction*) dari pahat terhadap geram dapat dicari berdasarkan informasi yang diperoleh dari dinamometer. Dari gambar 2.4, gaya gesek dan gaya normal pada bidang geram (F_v dan $F_{\gamma n}$) dapat diturunkan dari gaya potong dan gaya makan (F_v dan F_f), yaitu:

$$F_v = F_f \cos \gamma_0 + F_v \sin \gamma_0, \text{ dan } F_{\gamma n} = F_v \cos \gamma_0 - F_f \sin \gamma_0.$$

Maka koefisien gesek adalah : (Taufiq Rochim, 1993 : 29)

$$\mu = \tan \eta - \frac{F_v}{F_{\gamma n}} - \frac{F_f + F_v \tan \gamma_0}{F_v - F_f \tan \gamma_0} \quad (2-13)$$

Rumus 2-13 tersebut menyatakan bahwa koefisien gesek dipengaruhi oleh sudut geram. Akan tetapi rumus tersebut tidak menyatakan bahwa dengan mengubah sudut geram gaya potong dan gaya makan tidak berubah. Dalam kenyataan, gaya potong dan gaya makan berubah dengan berubahnya sudut geram dan hal ini disebabkan oleh perubahan sudut geser Φ .

2.5 Geometri Pahat

Untuk mengenal bentuk dan geometrinya, pahat harus diamati secara sistematis. Pertama-tama perlu dibedakan tiga hal pokok yaitu elemen, bidang aktif dan mata potong pahat, sehingga secara lebih rinci bagian-bagiannya dapat didefinisikan. Dengan mengetahui definisinya maka berbagai jenis pahat yang digunakan dalam proses permesinan dapat dikenal dengan lebih baik. Cara pengenalan melalui definisi ini harus dianut karena cara tersebut juga akan digunakan lebih jauh dalam menganalisis geometri pahat.

Beberapa bagian pahat yang dapat didefinisikan adalah (lihat gambar 2.5 untuk memperjelas lokasi sesungguhnya dari bagian yang dimaksud pada pahat bubut):

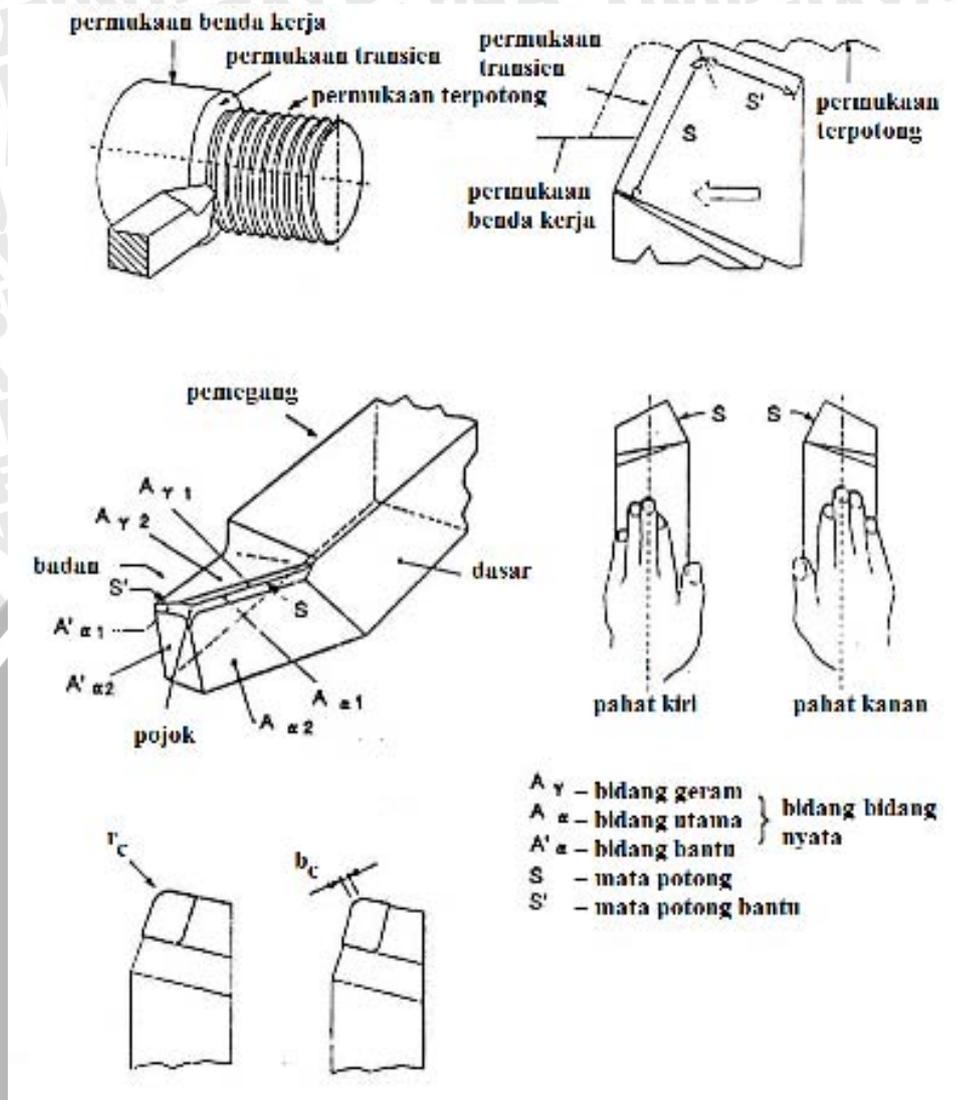
(Taufiq Rochim, 1993 : 52)

Elemen pahat :

- Badan (*body*); bagian pahat yang dibentuk menjadi mata potong atau tempat untuk sisipan pahat (dari karbida atau keramik).
- Pemegang atau gagang (*shank*); bagian pahat untuk dipasangkan pada mesin perkakas. Bila bagian ini tidak ada maka fungsinya diganti oleh lubang pahat.
- Lubang pahat (*tool bore*); lubang pada pahat melalui mana pahat dapat dipasang pada poros utama (spindel) atau poros pemegang dari mesin perkakas. Umumnya dipunyai oleh pahat freis.
- Sumbu pahat (*tool axis*); garis maya yang digunakan untuk mendefinisikan geometri pahat. Umumnya merupakan garis tengah dari pemegang atau sumbu pahat.
- Dasar (*base*); bidang rata pada pemegang untuk meletakkan pahat sehingga mempermudah proses pembuatan, pengukuran ataupun pengasahan pahat.

Bidang pahat; merupakan permukaan aktif pahat. Setiap pahat mempunyai bidang aktif ini sesuai dengan jumlah mata potongnya (tunggal atau jamak). Tiga bidang aktif dari pahat adalah :

- Bidang geram (A_v , *face*); bidang dimana geram mengalir.
- Bidang utama atau mayor (A_a , *principal/major flank*); bidang yang menghadap permukaan transien dari benda kerja. Permukaan transien benda kerja akan terpotong akibat gerakan pahat relative terhadap benda kerja. Karena adanya gaya pemotongan sebagian bidang utama akan terdeformasi sehingga bergesekan dengan permukaan transien benda kerja.
- Bidang bantu/minor (A_g , *auxiliary/minor flank*); bidang yang menghadap permukaan terpotong dari benda kerja. Karena adanya gaya pemotongan, sebagian kecil bidang bantu akan terdeformasi dan menggesek permukaan benda kerja yang telah terpotong atau dikerjakan.



Gambar 2.5 Bagian-bagian dari pahat
 Sumber: Taufiq Rochim (1993: 53)

Dalam beberapa hal disesuaikan dengan kondisi pemotongan yang khusus, pahat dibuat dengan bidang aktif yang bertingkat. Misalnya ada dua bidang utama, maka bidang tersebut disebut sebagai bidang utama pertama (A_{a1}) dan bidang utama kedua (A_{a2}) sesuai dengan urutan lokasi terhadap mata potong dengan lebar yang tertentu (b_{a1} , b_{a2} ; mm). demikian pula halnya dengan bidang yang lain.

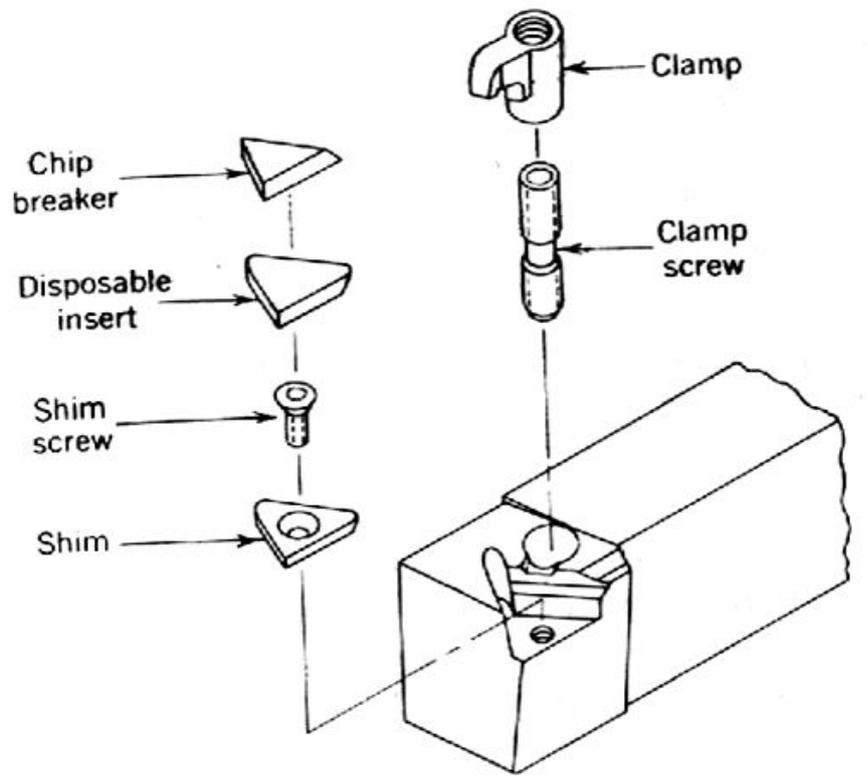
Pahat pemotong dapat digolongkan dengan beberapa cara. Berdasarkan jumlah mata potong yang dimiliki pahat pemotong dapat digolongkan menjadi dua tipe yaitu pahat bermata tunggal dan pahat bermata jamak. Berdasarkan konstruksinya pahat pemotong tersebut dapat digolongkan menjadi dua tipe, yaitu: (Sharma, 2001 : 536)

1. Pahat solid

Pahat solid adalah pahat yang keseluruhan bagiannya dibuat dari bahan yang sama. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.5.

2. Pahat sisipan (*Insert*)

Pahat sisipan merupakan pahat berbentuk sisipan (*insert*) yang dipegang secara mekanis oleh tangkainya.



Gambar 2.6 Pahat Sisipan (*Insert*)
Sumber: Amstead (1987: 459)

2.5.1 Sudut Potong Utama (K_r)

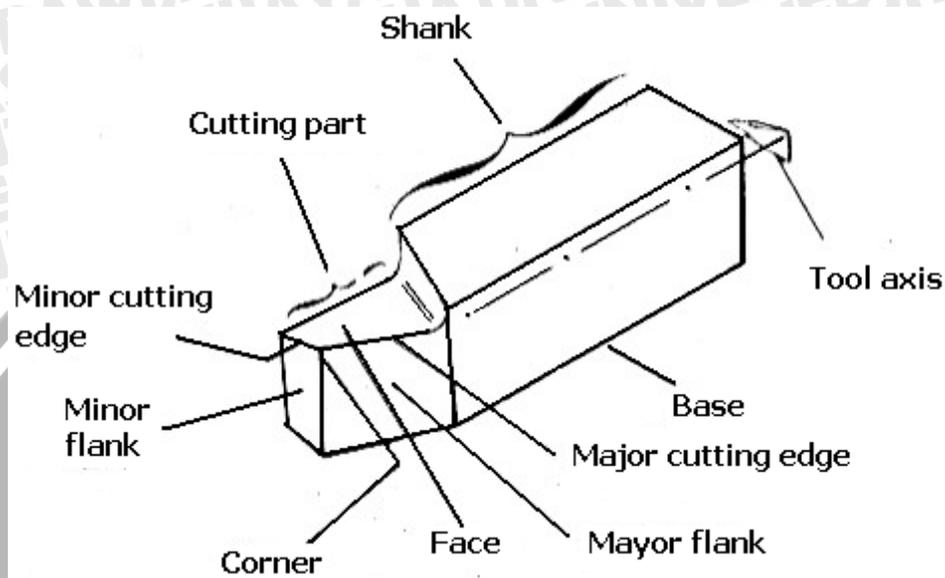
Sudut potong utama adalah sudut yang dibentuk oleh mata potong utama (proyeksinya pada bidang referensi) dengan kecepatan makan (V_f). Besar sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pada mesin perkakas. Peranan sudut potong utama adalah :

- Menentukan lebar dan tebal geram sebelum terpotong.
- Menentukan panjang mata potong aktif.
- Menentukan besarnya gaya radial.

Sudut utama yang besar akan menurunkan temperatur yang diderita pahat, sebab panjang mata potong yang aktif akan bertambah. Dilain pihak, hal tersebut menyebabkan meningkatnya gaya radial sehingga akan menyebabkan terjadinya getaran yang akan berpengaruh pada ketelitian geometri produk.

2.5.2 *Minor cutting edge angle (K'_r)*

Minor cutting edge angle atau sudut potong bantu adalah sudut yang dibentuk oleh garis pertemuan bidang bantu dengan garis kecepatan makan (V_f) dalam arah yang berlawanan. Pada proses pemotongan sedapat mungkin sudut potong bantu dipilih yang kecil, karena akan memperkuat ujung pahat serta mempertinggi kehalusan produk.



Gambar 2.7 Pahat bubut
Sumber: Boothroyd (1985: 7)

2.6 **Getaran pada Proses Pembubutan**

Secara garis besar, getaran yang timbul pada proses pemotongan dikelompokkan menjadi dua, yaitu getaran paksa (*forced vibration*) dan chatter (*self excited vibration*).

2.6.1 **Getaran Paksa (*Forced Vibration*)**

Terjadi getaran antara pahat dan benda kerja pada saat proses pemesinan 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 pada akhirnya akan menurunkan tingkat kecepatan produksi.

Getaran yang terjadi pada proses permesinan dapat berupa getaran paksa, yaitu getaran yang disebabkan oleh eksistensi getaran dari luar. Penyebabnya antara lain karena adanya cacat pada komponen mesin yang melakukan gerak rotasi, getaran dari

bagian-bagian penumpu (misalnya pondasi mesin perkakas), getaran akibat proses pemotongan terputus (seperti pada proses pemesinan frais), dan lain-lain.

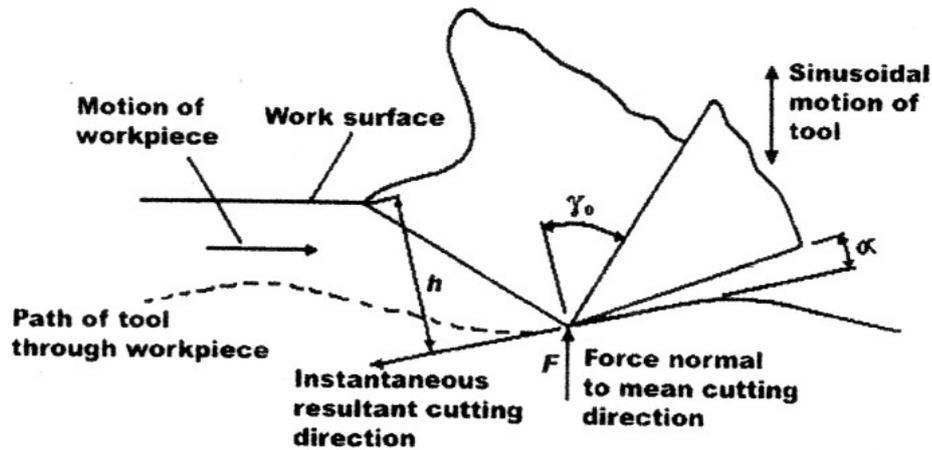
2.6.2 Chatter (*self excited vibration*)

Self excited vibration (chatter) adalah getaran exitasi diri, yang energy eksitasinya berasal dari proses pemotongan itu sendiri. *Self excited vibration* umumnya mempunyai amplitudo yang cukup besar. *Chatter* dapat terjadi dengan dua cara. Pertama, pada kondisi tertentu proses pemotongan yang cenderung tidak stabil menyebabkan perpindahan secara berulang-ulang posisi pahat relatif terhadap benda kerja sehingga menimbulkan getaran dengan amplitudo yang cukup besar. Kedua, *chatter* biasanya dimulai dengan adanya gangguan pada area pemotongan, gangguan yang dimaksud misalnya adalah kondisi homogenitas dari material benda kerja atau kondisi permukaannya, perubahan tipe dari geram yang terbentuk dan juga perubahan kondisi gesekan pada bidang kontak antara pahat-geram yang juga dipengaruhi oleh jenis *cutting fluid*.

Pada kondisi pemotongan tertentu terutama pada pemotongan dengan lebar geram kecil, maka amplitudo getaran yang timbul relatif kecil dan proses pemotongan stabil. Peningkatan lebar geram pada harga tertentu akan menimbulkan amplitudo getaran yang besar sehingga proses pemotongan menjadi tidak stabil. Terlampoinya batas kesetabilan pemotongan ditandai dengan membesarnya amplitudo getaran secara tiba-tiba pada suatu harga frekuensi tertentu dan timbulnya suara yang melengking serta terjadinya permukaan produk yang bergelombang. Untuk lebih memahami fenomena terjadinya *chatter* pada proses pemesinan, perlu kita ditinjau dinamika pemotongan logam.

2.6.3 Dinamika Pemotongan Logam

Selanjutnya akan dibahas mengenai model getaran yang terjadi yang mengakibatkan pergeseran posisi yang arahnya normal terhadap arah pemotongan. Dapat dilihat pada gambar 2.8 bahwa gerakan sinusoidal mengakibatkan besar dari tebal geram sebelum terpotong (h), sudut geram (γ_0) dan sudut *clearance* (α) menjadi terus-menerus bervariasi.



Gambar 2.8 Gerakan Sinusoidal dan gaya yang terjadi
 Sumber: Boothroyd (1985: 204)

Apabila F merupakan resultan dari gaya-gaya yang terjadi yang arahnya tegak lurus terhadap arah pemotongan, maka didapatkan persamaan:

(Boothroyd, 1981: 204) :

$$m_e \ddot{x} + c_d \dot{x} + S_e x = F \quad (2-14)$$

Keterangan :

x : perpindahan normal benda kerja terhadap arah potong, didapatkan dari posisi equilibrium dari benda kerja pada pemotongan *steady state* (m)

\dot{x} : turunan pertama dari x terhadap waktu (m/s)

\ddot{x} : turunan kedua terhadap x terhadap waktu (m/s²)

m_e : massa equivalen (kg)

c_d : konstanta peredaman (kg/s)

S_e : Kekakuan pegas efektif (N/m)

F : Gaya pemotongan (N)

2.7 Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah

Sebagian kelompok baja didesain untuk laku panas dalam daerah austenite, γ (*austenisasi*), disusul dengan pendinginan dan dekomposisi austenite secara langsung (atau tak langsung) membentuk ferit dan karbida ($\alpha + \dot{C}$). Bila baja hanya mengandung besi dan karbon (ditambah 0,5% Mn untuk memudahkan pemrosesan), paduannya disebut baja karbon. Istilah baja paduan rendah digunakan bila kandungan elemen paduan seperti nikel, khrom, molibden, mangan atau silikon sejumlah sekitar 5%.

Elemen paduan ditambahkan untuk menghambat laju dekomposisi austenit ke ($\alpha + \dot{C}$) selama laku panas. Baja menjadi lebih keras.

Ferit pra-eutektoid lebih mudah berdeformasi dari pada ferit dalam perlit karena lebih kasar dan tidak diperkuat oleh karbida yang lebih keras dan kaku. Baja dengan mikrostruktur yang mengandung daerah-daerah ferit yang terpisah disebut baja hipo eutektoid (arti harfiah kadar karbon lebih rendah dari komposisi eutektoid). Baja eutektoid terutama terdiri dari perlit, bila didinginkan secara perlahan-lahan. Baja hiper eutektoid mengandung karbon dengan kadar lebih besar dari pada komposisi eutektoid, sehingga menghasilkan karbida pra-eutektoid. Baja hipo eutektoid lebih sering didapat dibandingkan dengan baja hiper eutektoid.

2.7.1 Nomenklatur Baja

Mengingat pentingnya peran karbon dalam baja, dalam berbagai cara identifikasi baja, dicantumkan kadar karbonnya. Digunakan penomoran empat digit, dua digit terakhir menyatakan kadar karbon dalam perseratus persen. Sebagai contoh baja 1045 mempunyai karbon 0,45% (lebih atau kurang sejumlah tertentu). Dua digit pertama menunjukkan jenis elemen paduan yang ditambah pada besi dan karbon. Klasifikasi (10xx) digunakan untuk baja karbon dengan elemen paduan yang minimal sekali.

Tabel 2.1 Nomenklatur baja AISI dan SAE

Nomor AISI atau SAE	Komposisi
10xx	Baja-karbon
11xx	Baja-karbon (ditambah belerang untuk mampu pemesinaan)
15xx	Mangan (1,0 - 2,0 %)
40xx	Molibden (0,20 - 0,30 %)
41xx	Khromium (0,40 - 1,20 %), molibden (0,08 - 0,25 %)
43xx	Nikel (1,65 - 2,00 %), khromium (0,40 - 0,90 %), molibden (0,20 - 0,30 %)
44xx	Molibden (0,5 %)
46xx	Nikel (1,40 - 2,00 %), molibden (0,15 - 0,30)
48xx	Nikel (3,25 - 3,75 %), molibden (0,20 - 0,30)
51xx	Khromium (0,70 - 1,20 %)
61xx	Khromium (0,70 - 1,10 %), vanadium (0,10 %)
81xx	Nikel (0,20 - 0,40 %), khromium (0,30 - 0,55 %), molibden (0,08 - 0,15 %)
86xx	Nikel (0,30 - 0,70 %), khromium (0,40 - 0,85 %), molibden (0,08 - 0,25 %)
87xx	Nikel (0,40 - 0,70 %), khromium (0,40 - 0,60 %), molibden (0,20 - 0,30 %)
92xx	Silikon (1,80 - 2,20)

Sumber: Sriati Djaprie (1991:387)

Cara penandaan tersebut diatas telah diterima sebagai standar American Iron and Steel Institute (AISI) dan Society of Automotive Engineers (SAE). Masih banyak baja komersil yang tidak termasuk skema klasifikasi ini karena kandungan paduan yang berbeda. Biasanya baja-baja tersebut mempunyai penggunaan yang khusus, dan tidak termasuk persediaan pergudangan biasa.

2.8 Kekasaran Permukaan (Surface Roughness)

Kekasaran permukaan adalah salah satu sifat bahan yang penting. Kekasaran merupakan sifat permukaan suatu benda yang dapat dirasakan oleh indera kita. Pada industri pemesinan pengukuran sifat permukaan sangat diperlukan, terutama yang bergerak dibidang produksi. Elemen – elemen mesin seperti poros, lubang, pasak dan lain sebagainya memerlukan pengukuran untuk menentukan nilai kekasaran selain toleransi ukuran dan posisinya.

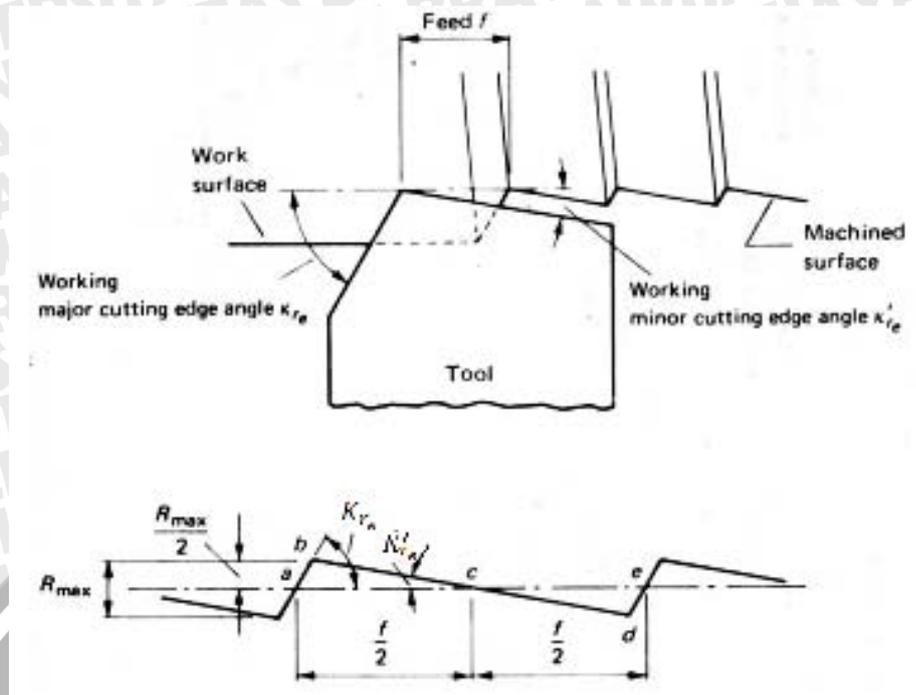
Mutu permukaan sering merupakan faktor yang paling penting agar elemen-elemen mesin dapat berfungsi dengan baik. Untuk permukaan-permukaan yang bergerak, kualitas permukaan berpengaruh pada gesekan dan keausan, baik menggunakan pelumasan maupun tidak. Pada permukaan-permukaan yang diam, kualitas permukaan berpengaruh pada daerah ikatan sambungan.

Kekasaran permukaan akhir yang diperoleh selama proses pemesinan dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Kekasaran permukaan ideal, yang dihasilkan karena pengaruh geometri pahat dan pemakanan pahat.
2. Kekasaran permukaan natural, yang dihasilkan karena ketidak teraturan dalam proses pemotongan.

2.8.1 Kekasaran Permukaan Ideal

Kekasaran permukaan ideal merupakan kemungkinan penyelesaian terbaik yang dapat diperoleh karena bentuk pahat dan pemakanan pahat. Dan hanya dapat didekati jika *build-up edge*, getaran (*chatter*), ketidak tepatan gerakan pahat pada mesin dan sebagainya diabaikan.



Gambar 2.9 Model kekasaran permukaan ideal
 Sumber: Boothroyd (1985 : 136)

Hasil permukaan ideal untuk proses pembubutan (yang diperoleh pada kondisi ideal) dengan pahat yang tajam dapat dilihat pada gambar 2.9. Pada gambar 2.9 ditunjukkan penampang permukaan, dimana garis rata-rata yang dibuat paralel terhadap arah permukaan sedemikian sehingga luasan yang terbentuk diatas garis sama dengan luasan yang terbentuk dibawah garis.

Nilai kekasaran permukaan R_a diberikan sebagai jumlah mutlak semua luasan diatas dan dibawah garis rata-rata dibagi panjang sampel, sehingga untuk gambar 2.9 nilai kekasaran permukaannya adalah (Boothroyd, 1985:136) :

$$R_a = \frac{[area abc]+[area cde]}{f} \tag{2-15}$$

Keterangan:

R_a = nilai rata-rata aritmatik kekasaran permukaan (μm)

f = pemakanan pahat (mm/rev).

Karena luas abc dan cde sama maka (Boothroyd, 1985:136) :

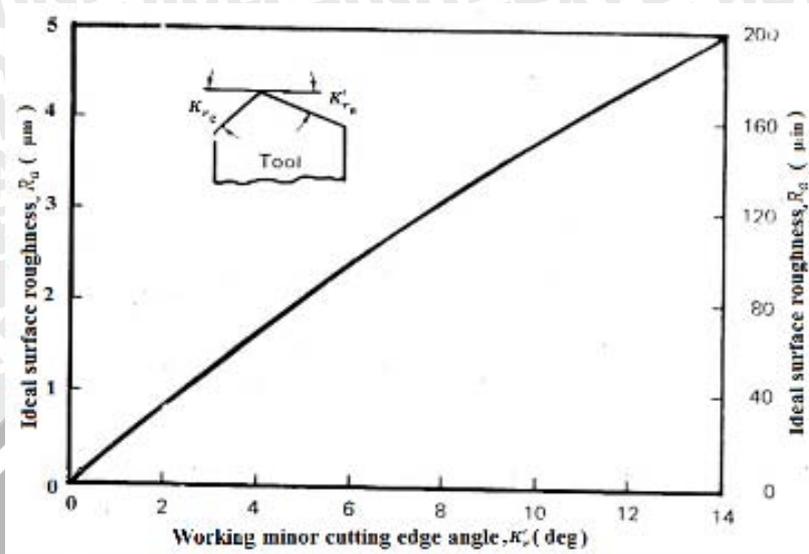
$$R_a = \frac{2}{f} (luas abc) = \frac{R_{max}}{4} \tag{2-16}$$

Dengan memasukkan geometri pahat, didapat persamaan sebagai berikut (Boothroyd, 1985:137) :

$$R_a = \frac{f}{4(\cot K_{re} + \cot K'_{re})} \tag{2-17}$$

Keterangan : K_{re} = sudut potong mayor, ($^{\circ}$)

K'_{re} = sudut potong minor, ($^{\circ}$)



Gambar 2.10 Pengaruh *minor cutting edge angle* terhadap kekasaran permukaan ($K_{re} = 45^{\circ}$ dan $f = 0,1 \text{ mm/rev}$)

Sumber: Boothroyd (1985 : 137)

2.8.2 Kekasaran Permukaan Natural

Dalam praktek biasanya sulit dicapai kondisi ideal. Biasanya kekasaran permukaan natural akan membentuk property yang besar terhadap kekasaran aktual. Salah satu faktor utama yang membantu terbentuknya kekasaran permukaan natural adalah terjadinya *build-up edge*. Semakin besar *build-up edge*, semakin kasar permukaan yang dihasilkan. Oleh sebab itu perlu adanya usaha-usaha untuk mengurangi gesekan antara geram dan pahat serta usaha untuk menghilangkan atau mengurangi *build-up edge* guna meningkatkan hasil permukaan. Salah satu usaha untuk itu adalah meningkatkan kecepatan pemotongan. Pengaruh kecepatan pemotongan dapat dilihat pada gambar 2.8, dimana kekasaran permukaan aktual untuk benda kerja pada kecepatan pemotongan yang lebih rendah lebih besar dari pada kekasaran permukaan aktual pada kecepatan potong yang tinggi. Bila kecepatan pemotongan dinaikkan, kekasaran permukaan akan semakin kecil serta mendekati kekasaran permukaan ideal pada kecepatan pemotongan yang tinggi.

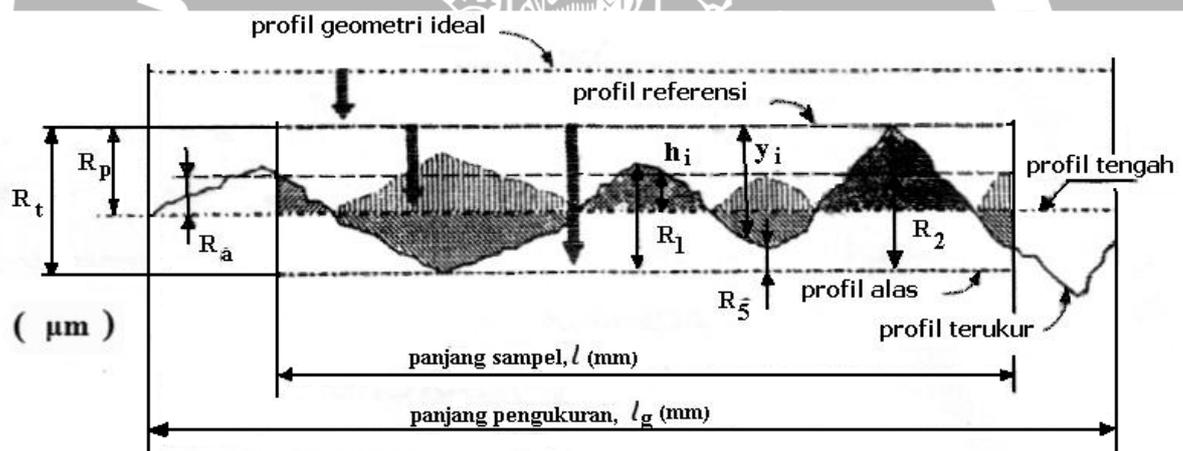
Faktor-faktor lain yang membentuk kekasaran permukaan adalah (boothroyd, 1985:139) :

1. Terjadinya getaran (*chatter*) pada pahat,

2. Ketidak tepatan gerakan pahat seperti gerakan penumpu (*saddle*) pada mesin bubut,
3. Ketidak teraturan mekanisme pemakanan,
4. Cacat-cacat struktur pada benda kerja,
5. Terbentuknya *discontinuous chip* pada proses pemesinan material yang rapuh,
6. Retak benda kerja yang liat bila dipotong pada kecepatan yang rendah,
7. Kerusakan permukaan yang disebabkan oleh aliran geram.

2.8.3 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Untuk menghasilkan permukaan benda kerja, jarum peraba (*stylus*) dari alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang sudah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut panjang pengukuran (*transversing length*) bagian dari panjang pengukuran dimana dilakukan analisis dari profil permukaan yang disebut dengan panjang sampel (*sample length*).



Gambar 2.11 Posisi dan profil-profil
 Sumber: Rochim (2001 : 56)

Dalam pengukuran kekasaran permukaan suatu kekasaran permukaan dikenal istilah penting yaitu :

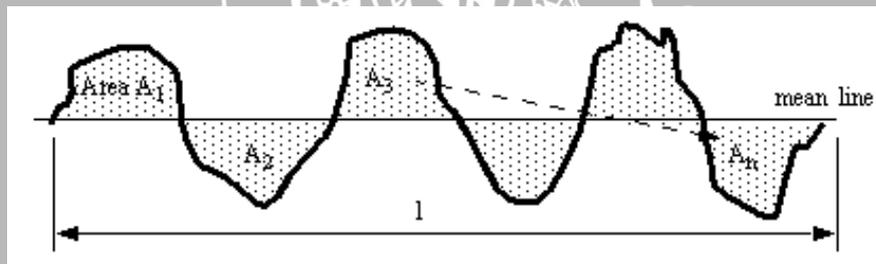
1. Profil geometris ideal (*geometrically ideal profile*) yaitu profil permukaan yang dapat berupa garis lurus, lingkaran atau garis lengkung.
2. Profil terukur (*measured profile*) yaitu profil permukaan material atau benda kerja yang akan diukur.
3. Profil referensi (*reference profile*) yaitu profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisis ketidak teraturan konfigurasi permukaan. Profil referensi dapat berupa

- garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometris ideal dan menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur dalam suatu panjang sampel.
4. Profil dasar (*root profile*) yaitu profil referensi yang digeserkan kebawah menyinggung titik terendah profil terukur.
 5. Profil tengah (*center profile*) merupakan nama yang diberikan untuk profil referensi yang digeserkan kebawah sehingga jumlah luas daerah atas profil tengah sampai keprofil terukur sama dengan jumlah luas daerah bawah profil tengah sampai keprofil terukur.

Berdasarkan profil-profil yang diterangkan diatas maka dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah mendatar. Pada dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter yaitu :

1. Kekasaran rata-rata aritmatik

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



Gambar 2.12 Sampel profil permukaan

Sumber: www.eod.gvsu.edu

$$R_a = \frac{\Sigma A}{l} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{l} \quad (2-18)$$

Keterangan :

R_a = kekasaran aritmatik (μm)

A = luas area (mm^2)

l = panjang sampel (mm)

Atau

$$R_a = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n}{n} \quad (2-19)$$

Keterangan :

y = jarak profil terukur dengan profil tengah (μm)

n = jumlah data

2. Kekasaran rata-rata kuadratik

Kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square*) dinyatakan dalam persamaan :

$$R_q = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_n^2}{n}} \quad (2-20)$$

Keterangan :

R_q = kekasaran kuadratik (μm)

y = jarak profil terukur dengan profil tengah (μm)

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 :

$$R_t = R_{max} = y_{max} + y_{min} \quad (2-21)$$

Keterangan :

$R_t = R_{max}$ = kekasaran total (μm)

y_{max} = jarak profil terukur maksimal dengan profil tengah (μm)

y_{min} = jarak profil terukur minimal dengan profil tengah (μm)

4. Kekasaran total rata-rata

Kekasaran permukaan rata-rata adalah jarak rata-rata profil alas keprofil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas keprofil terukur pada lima lembah terendah. Kekasaran total rata-rata dinyatakan dalam persamaan :

$$R_z = \sum \left(\frac{R_1 + R_2 + \dots + R_5 - (R_6 + \dots + R_{10})}{5} \right) \quad (2-22)$$

Keterangan :

R_z = kekasaran total rata-rata (μm)

R_1, R_2, \dots, R_5 = jarak profil alas keprofil terukur tertinggi (μm)

R_6, R_7, \dots, R_{10} = jarak profil alas keprofil terukur terendah (μm)

5. Kekasaran perataan

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

$$R_p = y_{max} \quad (2-23)$$

Keterangan :

R_p = kekasaran perataan

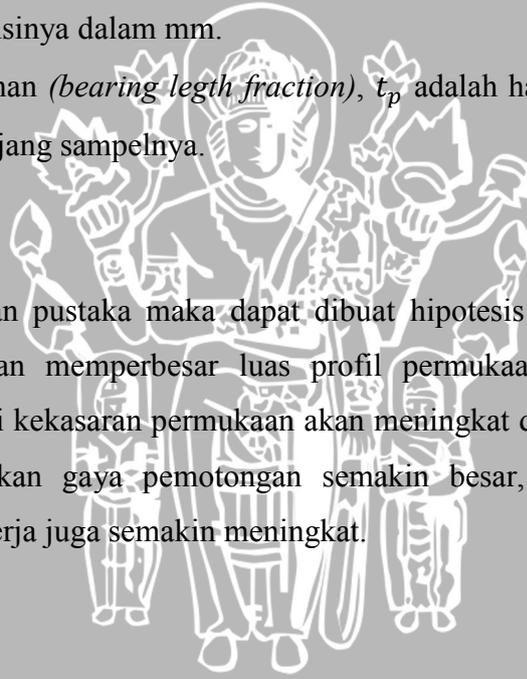
y_{max} = jarak profil terukur maksimal dengan profil tengah (μm)

Selanjutnya, parameter dimensi arah mendatar antara lain :

- Lebar gelombang (*waviness width*) A_w adalah rata-rata aritmetis dari semua jarak a_{wi} diantara puncak gelombang (dari profil terukur) yang berdekatan pada suatu panjang sampel l_w dimensinya dalam mm.
- Lebar kekasaran (*roughness width*), A_r adalah rata-rata aritmetis dari semua jarak a_{ri} diantara dua puncak kekasaran (dari profil terukur) yang berdekatan pada satu panjang sampel l , dimensinya dalam mm.
- Panjang penahan (*bearing legth*) l_t adalah profil referensi digeserkan kebawah sejauh c maka akan memotong profil terukur sepanjang $l_{c1}, l_{c2}, \dots, l_{cn}$ pada profil geometris ideal dimensinya dalam mm.
- Bagian panjang penahan (*bearing legth fraction*), t_p adalah hasil bagi dari panjang penahan terhadap panjang sampelnya.

2.9 Hipotesa

Berdasarkan kajian pustaka maka dapat dibuat hipotesis bahwa, penambahan sudut potong minor akan memperbesar luas profil permukaan benda kerja hasil pemesinan, sehingga nilai kekasaran permukaan akan meningkat dan pada penambahan *depth of cut* menyebabkan gaya pemotongan semakin besar, sehingga kekasaran permukaan pada benda kerja juga semakin meningkat.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen sejati (*true experimental research*). Untuk mendapatkan data-data dan informasi tambahan diperoleh melalui kajian literatur dari buku, internet dan jurnal.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan April 2009 sampai selesai. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu:

1. Laboratorium Otomasi Manufaktur (NC/CNC) Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Pada laboratorium ini akan dilakukan proses pemotongan benda kerja sesuai dengan ukuran yang ditentukan.
2. Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Pada laboratorium ini akan dilakukan proses pengukuran kekasaran permukaan benda kerja.

3.3 Alat dan Bahan Yang Digunakan

3.3.1 Data-data Alat Yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain :

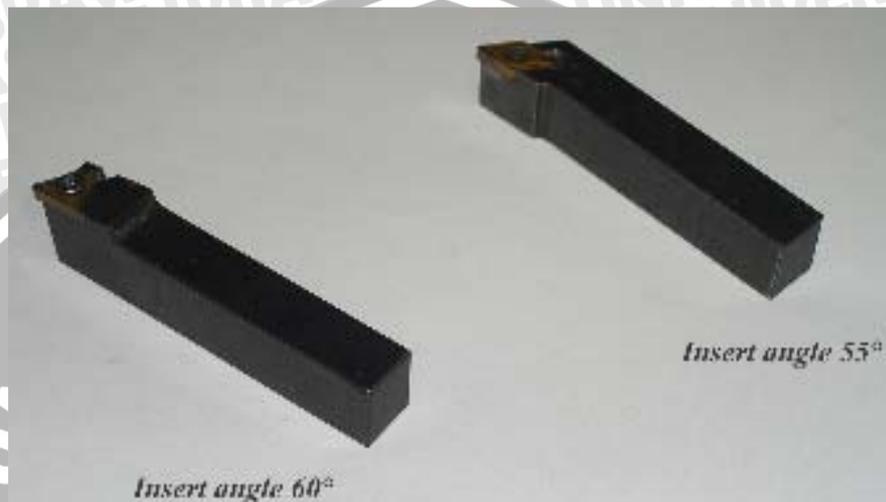
- a. Mesin bubut (emco maximat v13).

Pada penelitian ini digunakan mesin bubut konvensional, spesifikasi dari mesin bubut yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Jenis : Konvensional
- Merek : Emco
- Tipe : Maximat V13
- Berat : 500 kg
- Panjang : 2 m
- Lebar : 1 m
- Tinggi : 1,3 m
- Kecepatan Putar : 2500 rpm
- Tinggi Cekam : 140 mm
- Diameter Cekam Max : 40 mm

b. Pahat *insert* dan *tool holders*.

Pada penelitian ini digunakan pahat *Tungsten Carbide* (TC) sebagai mata potong. Pahat yang digunakan sebanyak dua buah beserta *tool holder* dengan *insert angle* pahat 60° (TCMT 110204) dan 55° (DCMT 070204), sedangkan *tool holder* yang dipakai untuk pahat insert 60° (STGCR 1210 N 11) dan untuk pahat insert 55° (SDJNR 1210 N 07)



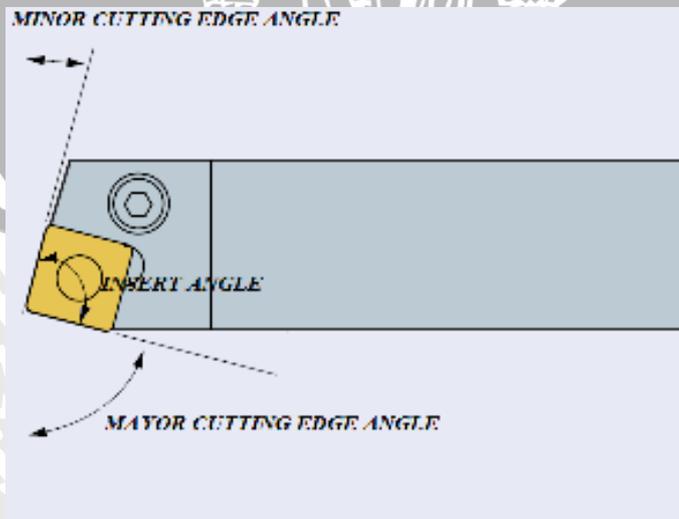
Gambar 3.1 *Tool holder* dan pahat yang digunakan

Cara menentukan sudut potong minor :

- Pahat dan *tool holder* dipasang pada mesin bubut dengan sudut potong mayor 90° .
- Melakukan proses perhitungan untuk mendapatkan sudut minor, yaitu $180^\circ - (\text{sudut potong mayor} + \text{sudut pahat insert})$

Misalkan sudut *insert* pahat 60° maka sudut minor adalah :

$$180^\circ - (90^\circ + 60^\circ) = 30^\circ$$



Gambar 3.2 Sudut potong mayor, *insert angle* dan sudut potong minor

c. Surface tester.

Pada penelitian ini digunakan alat uji kekasaran permukaan Mitutoyo *Surftest SJ-301*. Spesifikasi alat uji kekasaran permukaan adalah:

X-axis (drive unit)

Measuring range : 12.5 mm

Measuring speed : 0.25 dan 0.5 (mm/s)

Detector

Range : - 200 (μm) sampai + 150 (μm)

Measuring force : 4 (mN) or 0.75 (mN) (*low force type*)

Stylus tipe : *Diamond, 90°/5 (μmR)*

Skid radius of curvature : 40 (mm)

Skid force : *less than 400 (mN)*

Power supply : *Via AC adapter / rechargeable battery*

Prosedur pengujian kekasaran permukaan:

- Memasang *Surftest SJ-301*
Memasang *drive, detector unit* dan kabel koneksi.
- Menghidupkan *Surftest SJ-301*
- Menentukan kondisi pengukuran
- Melakukan proses kalibrasi
- Melakukan pengukuran benda kerja,
- Mengeluarkan data pengukuran berupa *printing measured data*.

d. *Center Drill*

Pada penelitian ini digunakan pahat *center drill* untuk membuat lubang pada ujung benda kerja sebagai tempat *tail stoc* mesin bubut.

e. Mesin gergaji.

Pada penelitian ini digunakan *Power Hack Saw* untuk memotong panjang benda kerja sesuai dengan dimensi penelitian.

f. Jangka Sorong

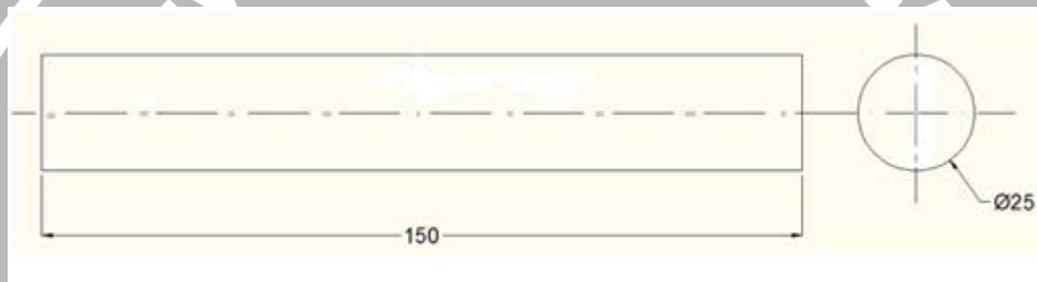
Pada penelitian ini digunakan jangka sorong untuk mengukur dimensi material sebelum dan sesudah penelitian.

3.3.2 Bahan Yang Digunakan

Pada penelitian ini digunakan benda kerja baja karbon AISI 1045 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Komposisi	: <u>C</u> 0,45%, <u>Si</u> 0,23%, <u>Mn</u> 0,69%, <u>P</u> 0.009%, <u>S</u> 0.05%, Cr 0.05% Ni 0.01%, Cu 0.02%.
Density	: 7,7 – 8,03 ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$)
Poisson's Ratio	: 0,27 – 0,30
Elastic Modulus	: 190 – 210 (Gpa)
Tensile Strength	: <u>585</u> (MPa).
Yield Strength	: <u>505</u> (MPa).
Elongation	: 12 (%)
Reduction in area	: 45 (%)
Hardness	: 170 (HB).

Dimensi benda kerja :



Skala 1 : 2
Satuan mm

Gambar 3.2 Dimensi benda kerja

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah :

- Variasi *minor cutting edge angle*, yaitu 30° dan 35° .
- Variasi *depth of cut*, yaitu 0.5, 0.75, 1, 1,25 mm.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kekasaran permukaan (*surface roughness*).

3.4.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga agar tetap konstan selama proses penelitian. Dalam penelitian ini variabel konstannya adalah :

- Putaran spindel $n = 550$ rpm
- Panjang pemakanan $l_t = 120$ (mm).
- Gerak makan $f = 0,112$ (mm/rev).
- Panjang spesimen $l = 15$ (cm).
- Mayor cutting edge angle* $K_r = 90^\circ$.

3.5 Prosedur Penelitian

Untuk mendapatkan data yang diinginkan, maka langkah-langkah yang dilakukan:

- Mempersiapkan semua peralatan yang diperlukan.
- Batang baja dipotong dengan mesin gergaji sepanjang 150 cm.
- Pembuatan lubang *tailstock* mesin bubut pada ujung benda kerja.
- Menyiapkan instalasi permesinan yaitu pemasangan pahat, dan pemasangan benda kerja pada mesin bubut.
- Melakukan proses pemakanan sedalam 1 mm (*facing*).
- Dilakukan proses pemotongan memanjang, sesuai dengan kondisi pemotongan yang telah direncanakan.
- Dilakukan pengukuran kekasaran permukaan.
- Data pengukuran diolah dengan analisa varian.
- Melakukan pembahasan dan menarik kesimpulan.

3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga member analisis yang tepat sehingga didapat suatu analisis yang objektif dan kesimpulan yang tepat.

Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisis data untuk memperoleh informasi tentang hal yang benar, oleh karena itu diperlukan ketelitian.

Adapun rancangan penelitian sebagaimana tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Rancangan perlakuan percobaan.

Faktor	Kedalaman Pemotongan				
	Level	B_1	B_2	B_3	B_4
S U D U T	A_1	Y_{111} Y_{112}	Y_{121} Y_{122}	Y_{131} Y_{132}	Y_{141} Y_{142}
	A_2	Y_{211} Y_{212}	Y_{221} Y_{222}	Y_{231} Y_{232}	Y_{241} Y_{242}

Keterangan: A = kedalaman pemotongan (mm)
 B = sudut potong minor (°)
 Y_{ijk} = data pengamatan yang berupa data besarnya nilai kekasaran permukaan pada perlakuan variasi kedalaman pemotongan ke-i dan sudut potong minor ke-j serta pengulangan ke-k.

3.7 Analisa Statistik

Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan analisis varian dua arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kedalaman pemotongan (faktor A) dan sudut pemotongan minor dalam proses pembubutan (faktor B) terhadap kakasaran permukaan benda kerja.

Faktor A mempunyai level A_1, A_2, \dots, A_r dan faktor B mempunyai level B_1, B_2, \dots, B_c . banyaknya pengulangan adalah t. Rancangan dua katategori A dan B dengan masing-masing kategori terdiri atas c dan r level, sedangkan pengaruh interaksi antara faktor A dan B dinyatakan dengan $(\alpha\beta)_{ij}$ dengan α_i merupakan pengaruh faktor A pada level ke i dan β_j merupakan faktor B pada level ke j, hipotesis yang akan diuji dapat ditulis dalam model matematis sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan:

- μ = nilai rata-rata dari seuruh pengamatan
- α_i = pengaruh faktor A ke i
- β_j = pengaruh faktor B ke j
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi faktor A ke i dan faktor B ke j
- ε_{ijk} = simpangan pengamatan dari nilai Y_{ijk}



Hipotesis penulisan bisa ditulis sebagai berikut:

$$H_{01} \quad A_1 = \dots = A_i$$

$$H_{11} \quad A_1 \neq \dots \neq A_i$$

$$H_{02} \quad A_1 = \dots = B_i$$

$$H_{12} \quad A_1 \neq \dots \neq B_i$$

$$H_{03} \quad (AB)_{11} = (AB)_{12} = \dots = (AB)_{ij}$$

$$H_{13} \quad (AB)_{11} \neq (AB)_{12} \neq \dots \neq (AB)_{ij}$$

Rumus perhitungan yang dipakai antara lain:

Jumlah seluruh perlakuan $: \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}$

Jumlah kuadrat seluruh perlakuan $: \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2$

Factor koreksi (f_k) $: \frac{[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2]}{rct}$

Jumlah kuadrat perlakuan (JKP) $: \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - f_k$

Jumlah kuadrat total (JKT) $: \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - f_k$

Jumlah kuadrat pengaruh A (JKA) $: \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{ct} - f_k$

Jumlah kuadrat pengaruh B (JKB) $: \frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{rt} - f_k$

Jumlah kuadrat interaksi AB (JKAB) $: \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - f_k - JKA - JKB$

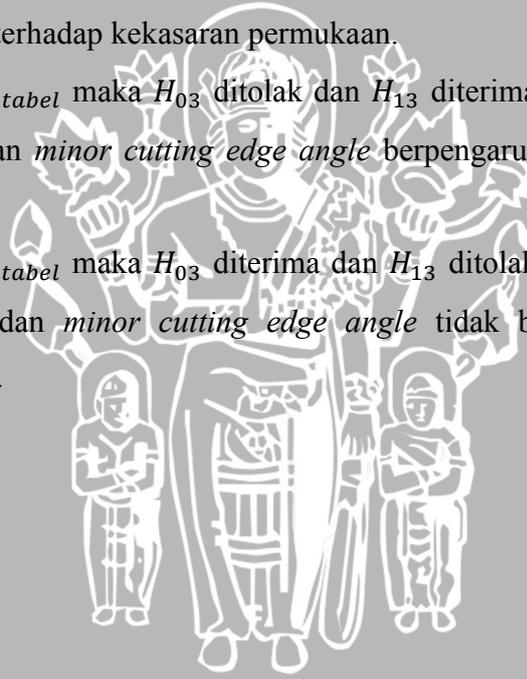
Jumlah kuadrat galat (JKG) $: JKT - JKA - JKB - JKAB$

Tabel 3.2 Tabel analisis varian dua arah

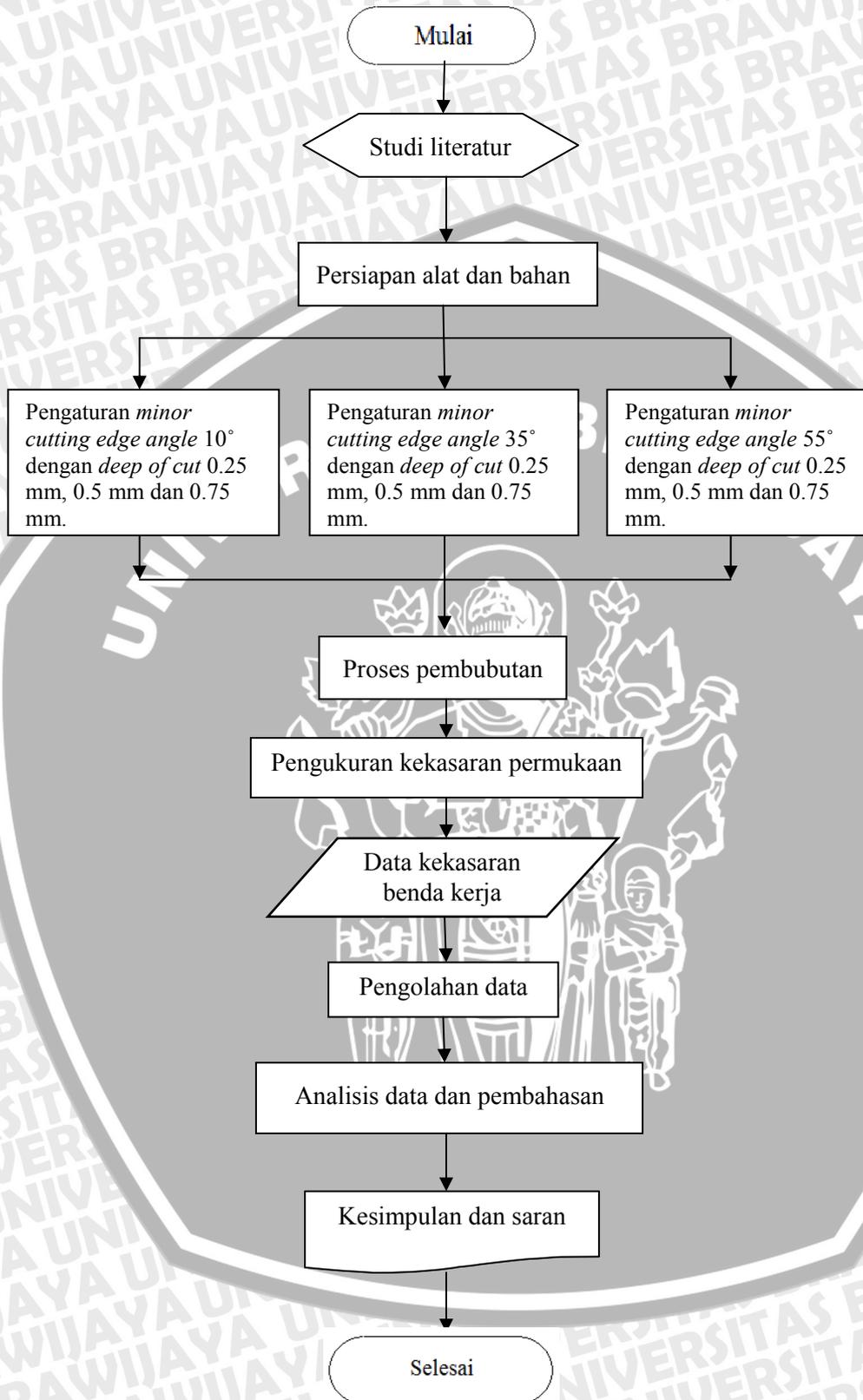
Sumber keragaman	db	JK	Varian (KT)	F_{hitung}	F_{tabel}
Faktor A	r-1	JKA	$S_A = \frac{JKA}{r-1}$	$\frac{S_A}{S}$	
Faktor B	c-1	JKB	$S_B = \frac{JKB}{c-1}$	$\frac{S_B}{S}$	
Interaksi A dan B	(r-1)(c-1)	JKAB	$S_{AB} = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)}$	$\frac{S_{AB}}{S}$	
Galat	rc(t-1)	JKG			
Total	Rct-1	JKT			

Kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

- Jika $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima, hal ini menyatakan bahwa *deep of cut* pada proses pembubutan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- Jika $F_B \text{ hitung} < F_B \text{ tabel}$ maka H_{01} diterima dan H_{11} ditolak, hal ini menyatakan bahwa *deep of cut* pada proses pembubutan tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- Jika $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_{02} ditolak dan H_{12} diterima, hal ini menyatakan bahwa *minor cutting edge angle* pada proses mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kekasaran permukaan.
- Jika $F_A \text{ hitung} < F_A \text{ tabel}$ maka H_{02} diterima dan H_{12} ditolak, hal ini menyatakan bahwa *minor cutting edge angle* pada proses pembubutan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekasaran permukaan.
- Jika $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_{03} ditolak dan H_{13} diterima, hal ini menyatakan bahwa *deep of cut* dan *minor cutting edge angle* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- Jika $F_{AB} \text{ hitung} < F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_{03} diterima dan H_{13} ditolak, hal ini menyatakan bahwa *deep of cut* dan *minor cutting edge angle* tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.



3.8 Diagram Alir Penelitian



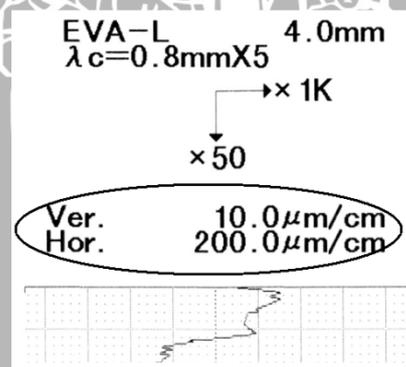
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan data

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data kekasaran permukaan hasil proses pembubutan setiap variasi *minor cutting edge angle* dan *depth of cut*. Setiap pengambilan data kekasaran permukaan menggunakan alat ukur surfstest SJ-301. Nilai kekasaran yang diambil adalah *roughness arithmetic* (R_a). Prosedur pengambilan data menurut profil permukaan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan skala profil permukaan

Hasil *print out* alat uji kekasaran mempunyai dua skala yaitu skala *vertical* dan *horizontal* dan masing-masing skala mempunyai nilai yang berbeda. Skala *vertical* searah dengan sumbu y sedangkan skala *horizontal* searah dengan sumbu x. Misalnya skala *vertikal* profil permukaan 10,0 $\mu\text{m}/\text{cm}$ dan skala *horizontal* 200 $\mu\text{m}/\text{cm}$, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.1. Jadi setiap 1 mm *vertical* mempunyai nilai 1,0 μm dan setiap 1 mm *horizontal* mempunyai nilai 20 μm . Jadi setiap 1 mm² pada profil permukaan mempunyai nilai 20 μm^2 untuk nilai sebenarnya, nilai tersebut diperoleh dari perkalian antara nilai *vertical* dan *horizontal* setiap 1 mm. Skala ini merupakan skala gambar profil permukaan hasil *print out* alat ukur kekasaran.



Gambar 4.1 Skala profil permukaan

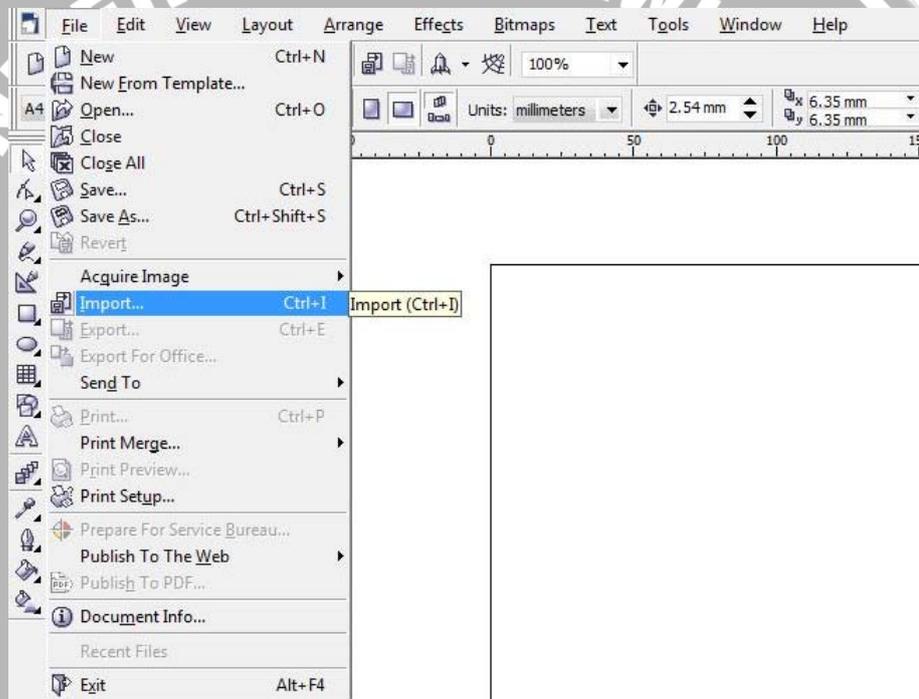
Pada gambar 4.1 EVA-L (*evaluation length*) 4,0 mm menunjukkan panjang profil permukaan sebenarnya. Sedangkan λ_c (*cutoff filter*) 0,8mmX5 adalah panjang sampel profil permukaan yang sebenarnya dan jumlah dari sampel. 0,8 mm menunjukkan panjang sampel dan X5 menunjukkan jumlah sampel. Hal ini berarti EVA-L dibagi menjadi 5 bagian yang sama dengan panjang masing-

masing 0,8 mm. $\times 1K$ dan $\times 50$ adalah pembesaran profil permukaan, arah pembesarnya profil permukaan sesuai dengan arah anak panah.

2. Mengambil data koordinat profil permukaan

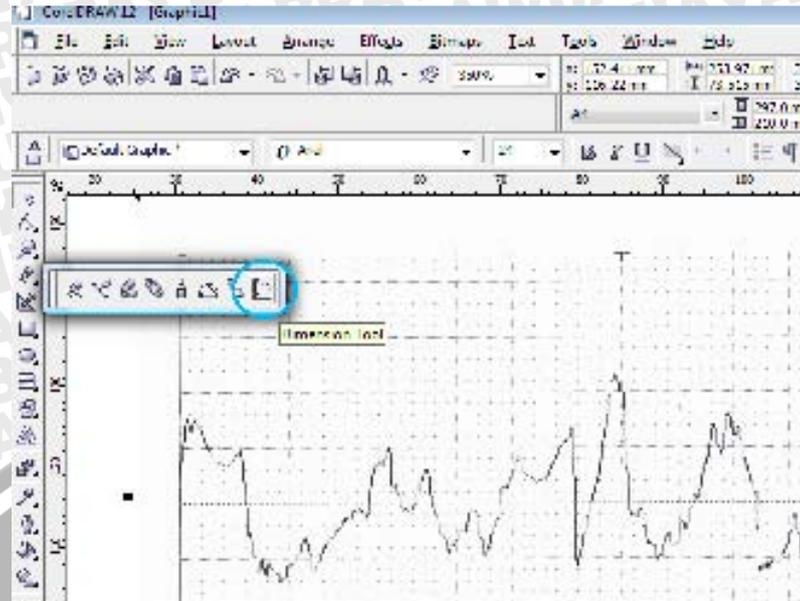
Pengambilan data koordinat dilakukan dengan menggunakan *software corel draw*. Sebelum itu profil permukaan discan terlebih dahulu agar bisa diolah dikomputer. Ada beberapa tahapan yang perlu diperhatikan ketika pengambilan data dengan menggunakan *software Corel Draw*, yaitu:

- a. Mengimport foto atau gambar yang akan diukur ke dalam software. Dengan perintah *File* → *Import* lalu pilih data gambar yang akan diimport ke dalam *CorelDraw*. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.2. Dipilih profil permukaan untuk sudut minor 30° dan kedalaman potong 0,75 mm.



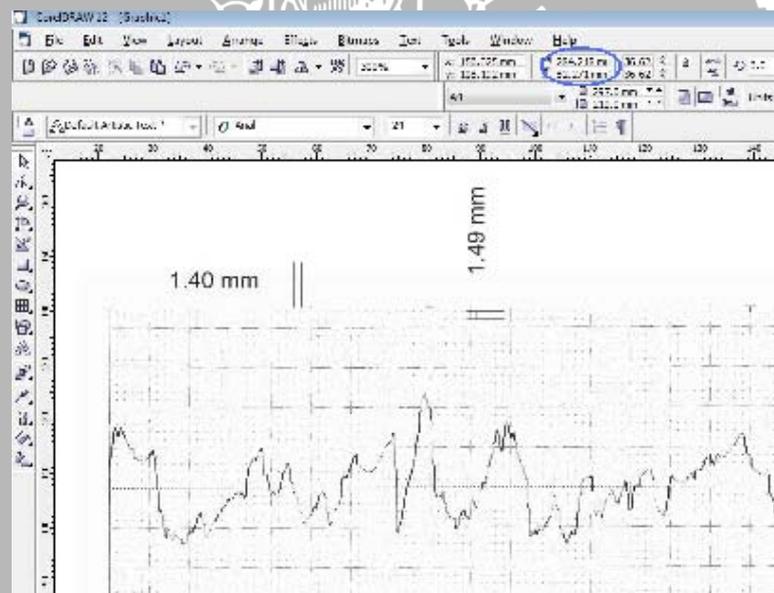
Gambar 4.2 Import gambar dari CorelDraw

- b. Setelah gambar diimport, gambar yang ditampilkan tidak sesuai dengan ukuran sebenarnya, karena itu harus disamakan terlebih dahulu. Sebagai skala perbandingan pada profil permukaan sudah ada titik-titik yang berukuran 1 mm. Untuk menyamakan ukuran dapat dilakukan dengan cara menggunakan perintah *dimension tool* pada *tool bar*, dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Dimension tool pada CorelDraw

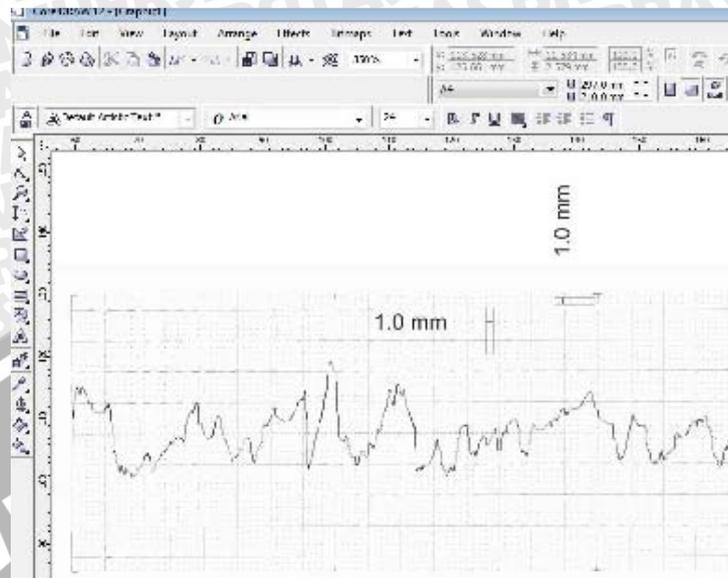
Kemudian diukur jarak antar titik pada gambar, sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pengukuran jarak antar titik

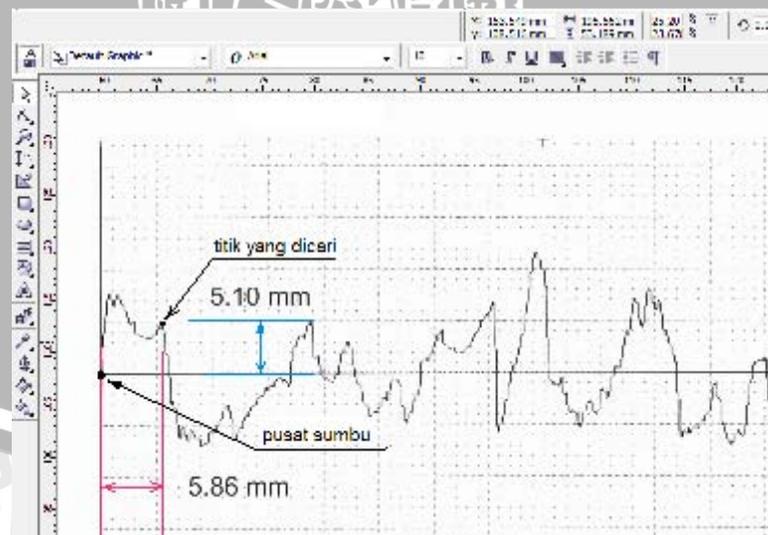
- c. Pada gambar 4.4 terlihat bahwa ukuran gambar belum sesuai dengan ukuran yang sebenarnya, kemudian ukuran disesuaikan dengan merubah panjang gambar total (lingkaran) yaitu 284,218 mm dibagi dengan jarak antar titik gambar 1,40 mm dan hasilnya 203,013 mm serta lebar gambar total 82,271 dibagi dengan jarak antar titik gambar 1,49 dan hasilnya 55,215.
- d. Kemudian dilakukan pengukuran lagi jarak antar titik dengan *dimensi tool* untuk memeriksa apakah hasilnya sudah sesuai dengan ukuran yang sebenarnya. Jika belum sesuai dengan ukuran yang sebenarnya harus

dikalibrasi ulang sebagaimana proses sebelumnya sampai benar. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil kalibrasi

- e. Setelah proses kalibrasi sudah sesuai atau mendekati ukuran sebenarnya, maka pengambilan data koordinat profil permukaan dapat dilakukan. Pengambilan koordinat profil permukaan dapat dilakukan dengan cara mengukur jarak antara titik-titik pada profil permukaan terhadap pusat sumbu dengan menggunakan perintah *dimension tool*. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.6.



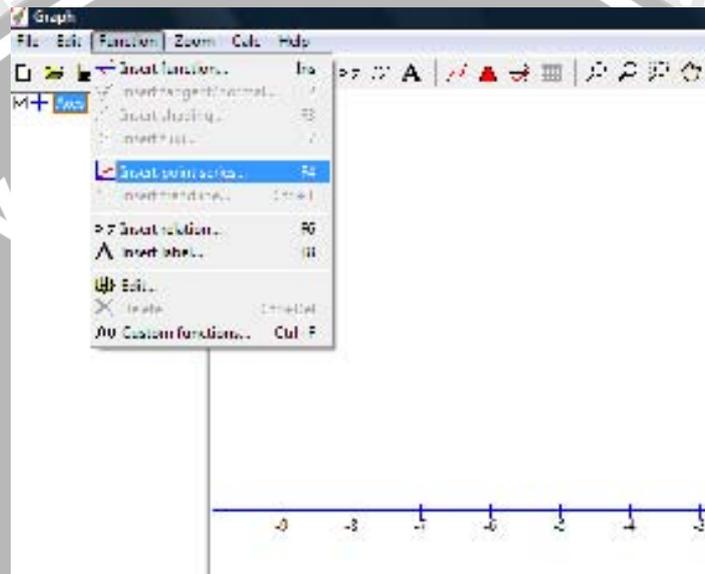
Gambar 4.6 Contoh pengambilan koordinat titik pada profil permukaan

3. Menghitung luas profil permukaan.

Untuk mempermudah menghitung luasan profil, dilakukan dengan menggunakan bantuan *software graph* 4.3. Luasan yang dihitung adalah lembah

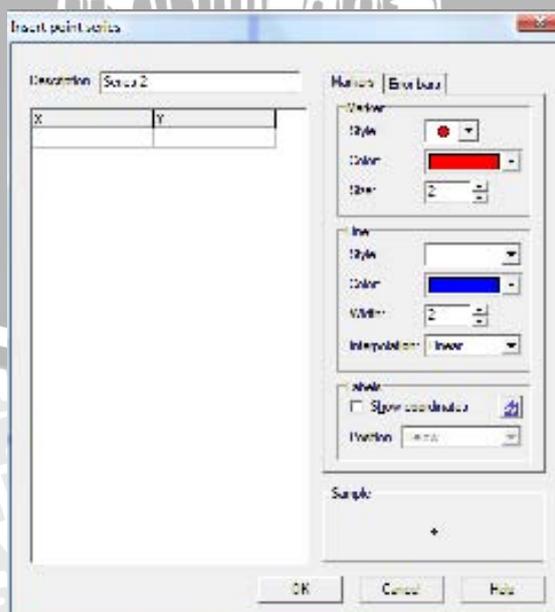
dan gunung dengan batas profil tengah. Agar tidak ada nilai luasan negatif, maka lembah dibalik menjadi gunung dengan batas profil tengah. Ada beberapa tahapan yang perlu diperhatikan ketika mengambil data luasan dengan menggunakan *software graph 4.3*, yaitu:

- a. Memasukkan data profil permukaan kedalam *software*. Karena tidak ada nilai fungsi persamaan profil permukaan, maka profil permukaan digambar dengan koordinat titik. Dengan perintah *Function* → *Insert point series* seperti yang terlihat pada gambar 4.7.



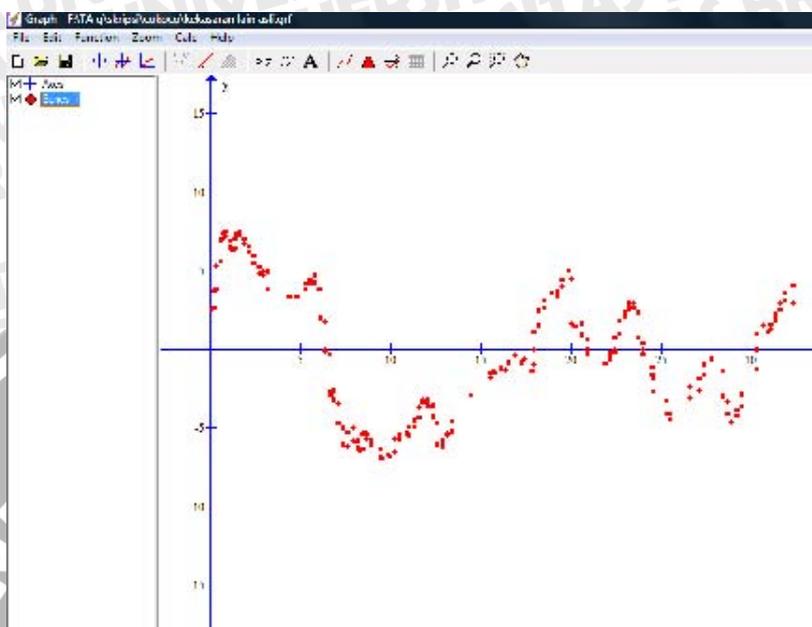
Gambar 4.7 Menjalankan perintah *Insert point series*

Kemudian masukkan nilai koordinat titik profil permukaan pada tabel *insert point series*. Untuk tabel insert point series dapat dilihat pada gambar 4.8.



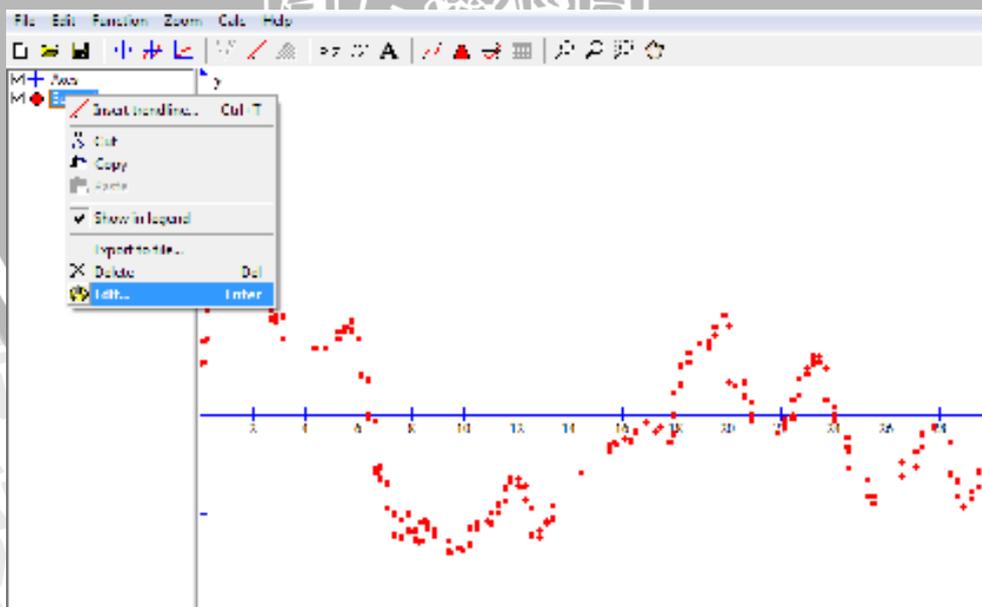
Gambar 4.8 Tabel *insert point series*

Setelah semua data koordinat titik profil permukaan dimasukkan dalam tabel *insert point series*, lalu pilih perintah *ok*. Dan hasilnya terlihat pada gambar 4.9.



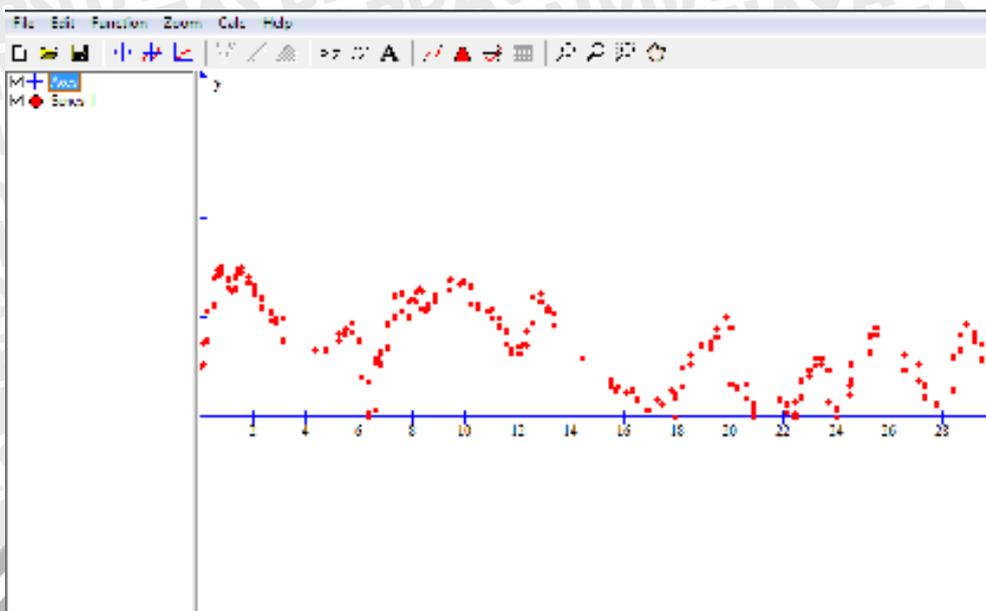
Gambar 4.9 Hasil memasukkan koordinat profil permukaan

- b. Membalik koordinat dibawah sumbu x menjadi diatas sumbu agar tidak ada nilai luasan yang negatip. Dengan cara klik kanan pada series 1 dan pilih perintah edit, maka akan muncul tabel *insert point series1*, sebagaimana terlihat pada gambar 4.10.



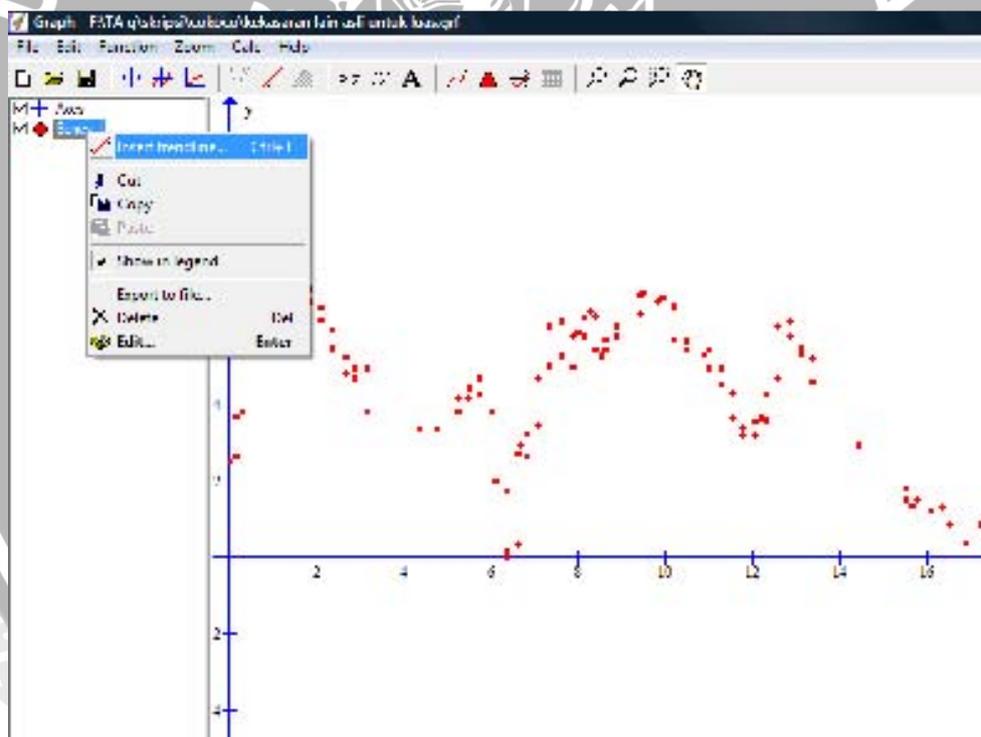
Gambar 4.10 Mengedit *series 1*

Kemudian ubah semua nilai pada sumbu y yang bernilai negatip menjadi positif dan hasilnya seperti yang terlihat pada gambar 4.11.



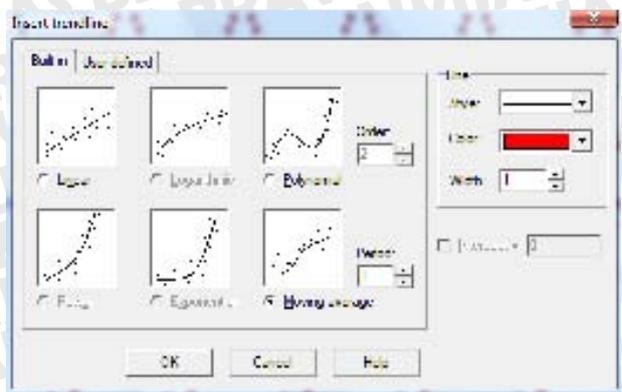
Gambar 4.11 Hasil edit *series 1*

- c. Agar dapat dicari luasnya, maka tiap-tiap titik dihubungkan. Dengan perintah *Function* → *Insert trendline*. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.12.



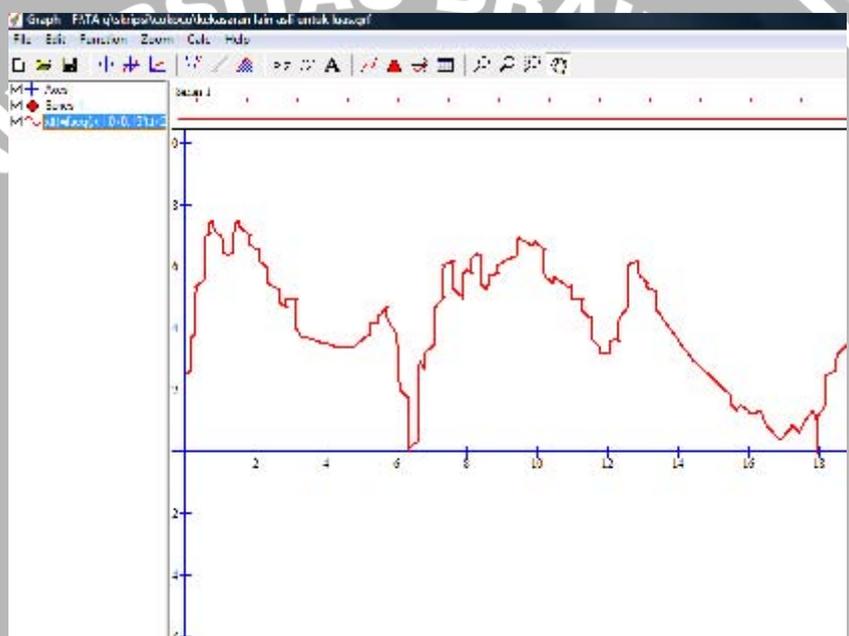
Gambar 4.12 Menjalankan perintah *insert trendline*

Pada tabel *insert trendline* dipilih *moving average* dengan *period 1*. Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 *Insert trendline*

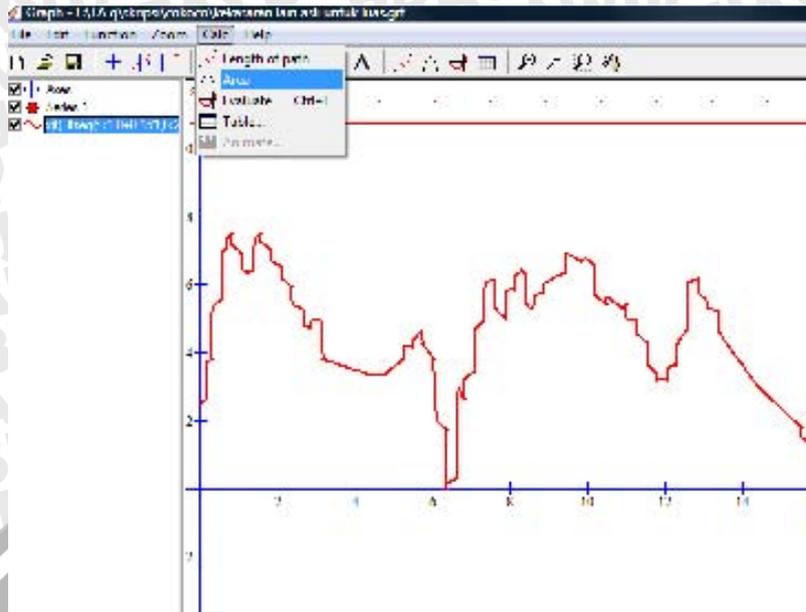
Setelah perintah *insert trendline* dijalankan, maka luas grafik sudah dapat dicari. Hasil menjalankan perintah *trendline* terlihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hasil menjalankan *trendline*

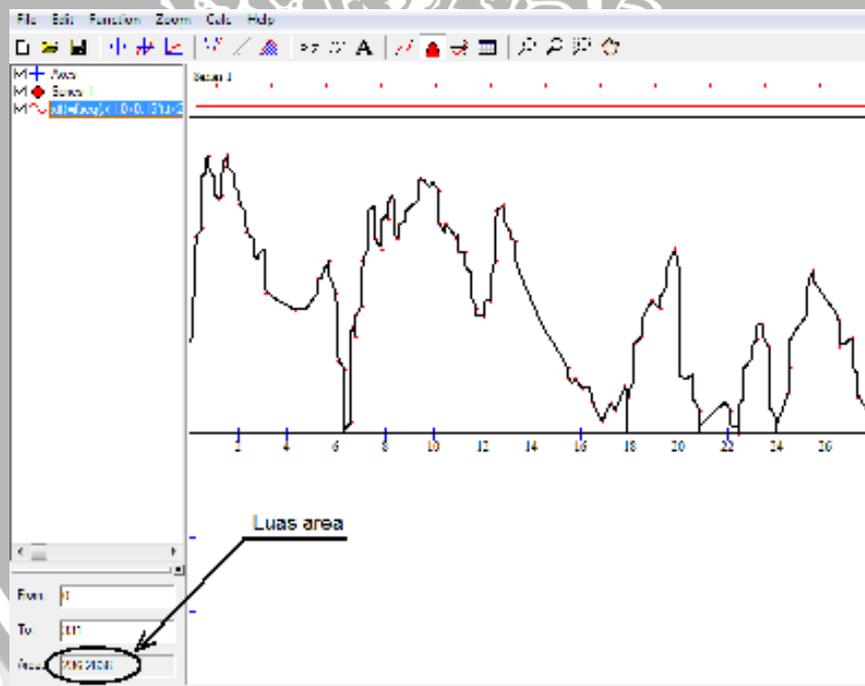
- d. Menghitung luasan grafik dengan batas sumbu x. Dengan perintah *calc* → *area*, seperti yang terlihat pada gambar 4.15. lalu masukkan data grafik yang akan diukur luasnya berdasarkan urutan titik. Misalnya nomer titik 0 sampai 178. Dari gambar 4.16 dapat dilihat luasan grafik yang diarsir adalah 102.6183.





Gambar 4.15 Menjalankan perintah *area*

Kemudian memasukkan data grafik yang akan diukur luasnya berdasarkan urutan titik. Misalnya nomer titik 0 sampai 331. Dari gambar 4.16 dapat dilihat luasan grafik yang diarsir adalah 236,2638.



Gambar 4.16 Hasil perhitungan luasan

4. Menghitung luas sebenarnya

Pada gambar 4.16 luas areanya adalah 236,2638 mm², untuk mengetahui luas sebenarnya harus dikalikan dengan skalanya. Grafik tersebut mempunyai skala 20 μm² setiap 1 mm² (diperoleh dari proses menentukan skala profil

permukaan). Jadi luas sebenarnya adalah luas pengukuran 236,2638 dikalikan dengan skala 20 dan hasilnya adalah 4725,276 μm^2 .

5. Menghitung kekasaran permukaan.

Setelah jumlah luasan profil permukaan diketahui, kemudian nilai luasan dibagi dengan panjang sampel. Pada gambar 4.1 diketahui skala horizontal 200 $\mu\text{m}/\text{cm}$ dan panjang sampel yang diukur luasnya adalah 7,117 cm, jadi panjang sampel sebenarnya adalah 1423,4 μm . Maka, nilai kekasarannya adalah:

$$R_a = \frac{\text{luas profil permukaan}}{\text{panjang sampel}}$$

$$R_a = \frac{4725,276}{1423,4}$$

$$R_a = 3,33 \mu\text{m}$$

Surftest SJ301 adalah alat ukur kekasaran jenis pencacah langsung yang mencatat kekasaran permukaan dalam micron. Perangkat ini terdiri dari pencacah yang mengubah gerak vertical menjadi tegangan listrik (volt), mesin penggerak (pilotor) yang menggerakkan jarum pencacah dan amplimeter. Tegangan yang diterima amplimeter dibesarkan dan diolah sehingga hasilnya dapat diketahui. Hasil pengukuran kekasaran dikeluarkan dalam bentuk *print out* beserta profil permukaannya.

4.2 Data hasil penelitian

Dari penelitian didapatkan data pengaruh *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan benda kerja dengan bahan baja AISI 1045 seperti terdapat pada tabel 4.1:

Tabel 4.1 Data hasil penelitian

Minor cutting edge angle (°)	Surface Roughness			
	Depth of Cut			
	0,5 (mm)	0,75 (mm)	1 (mm)	1,25 (mm)
30	2,7	3,33	5,38	7,27
	2,94	4,14	3,98	4,73
35	3,01	3,86	4,77	7,98
	3,2	4,17	6,03	6,17



4.2 Analisis varian

Untuk menguji pengaruh dua buah faktor, yaitu *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan dengan masing-masing faktor mempunyai beberapa kategori maka digunakan analisis varian dua arah. Jika harga variabel terikat pada faktor *depth of cut* benda kerja dianggap A_1, A_2, A_3 dan A_4 . Maka hipotesis untuk *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan adalah :

$H_0 : A_1 = A_2 = A_3 = A_4$ (*depth of cut* tidak memberikan pengaruh berarti terhadap kekasaran permukaan).

$H_0 : A_1 \neq A_2 \neq A_3 \neq A_4$ (*depth of cut* memberikan pengaruh berarti terhadap kekasaran permukaan).

Jika harga variabel terikat pada faktor *minor cutting edge angle* dianggap B_1, B_2 . Maka hipotesis untuk pengaruh *minor cutting edge angle* terhadap kekasaran permukaan adalah :

$H_0 : B_1 = B_2$ (*minor cutting edge angle* tidak memberikan pengaruh berarti terhadap kekasaran permukaan).

$H_0 : B_1 \neq B_2$ (*minor cutting edge angle* memberikan pengaruh berarti terhadap kekasaran permukaan).

Sedangkan jika harga interaksi antara *depth of cut* dengan *minor cutting edge angle* adalah $(AB)_1, (AB)_2, (AB)_3, (AB)_4$. Maka hipotesis untuk interaksi antara *depth of cut* dengan *minor cutting edge angle* terhadap kekasaran permukaan adalah :

$H_0 : (AB)_1 = (AB)_2 = (AB)_3 = (AB)_4$ (interaksi antara *depth of cut* dengan kondisi *minor cutting edge angle* tidak memberikan pengaruh berarti terhadap kekasaran permukaan).

$H_0 : (AB)_1 \neq (AB)_2 \neq (AB)_3 \neq (AB)_4$ (interaksi antara *depth of cut* dengan *minor cutting edge angle* memberikan pengaruh berarti terhadap kekasaran permukaan).

Untuk mempermudah pelaksanaan perhitungan, tiap sel pada tabel rancangan pengambilan data kemudian dijumlahkan dan dituliskan sebagai berikut :

Tabel 4.2 Pengamatan *surface roughness* rata-rata

Minor cutting edge angle (°)		Surface Roughness			
		Depth of Cut			
		0,5 (mm)	0,75 (mm)	1 (mm)	1,25 (mm)
30	1	2,7	3,33	5,38	7,27
	2	2,94	4,14	3,98	4,73
Σ		5,64	7,47	9,36	12
Rata - rata		2,82	3,735	4,68	6
35	1	3,01	3,86	4,77	7,98
	2	3,2	4,17	6,03	6,17
Σ		6,21	8,03	10,8	14,15
Rata - rata		3,105	4,015	5,4	7,075

Dari tabel pengamatan eksperimen dua arah kemudian disederhanakan lagi menjadi tabel jumlah data pengamatan tiap sel seperti berikut :

Tabel 4.3 Jumlah data pengamatan tiap sel

Depth of cut (mm)	Surface roughness minor cutting edge angle		
	30 (°)	35 (°)	Σ
0,5	5,64	6,21	11,85
0,75	7,47	8,03	15,5
1	9,36	10,8	20,16
1,25	12	14,15	26,15
Σ	34,47	39,19	73,66

Dari tabel 4.2 dan 4.3 dapat dilakukan perhitungan statistik seperti berikut :

1. Faktor koreksi (FK)

keterangan : r = jumlah variasi *depth of cut* = 4.

c = jumlah variasi *minor cutting edge angle* = 2.

t = jumlah pengulangan = 2.

$$FK = \frac{T^2}{r \cdot c \cdot t}$$

$$= \frac{(73,66)^2}{4 \cdot 2 \cdot 2}$$

$$= 339,112225$$

2. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c Y_{ij}^2}{t} - FK$$

$$= \frac{(5,64^2) + (7,47^2) + (9,36^2) + (12^2) + (6,21^2) + (8,03^2) + (10,8^2) + (14,15^2)}{2}$$

$$- 339,112225$$

$$= 395,6380 - 339,112225$$

$$= 56,525775$$

3. Jumlah kuadrat total (JKT)

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

$$= \{(2,7^2) + (2,94^2) + (3,33^2) + (4,14^2) + \dots + (6,17^2)\} - 339,112225$$

$$= 402,698525 - 339,112225$$

$$= 63,5863$$

4. Jumlah Kuadrat Pengaruh Faktor A (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{c \cdot t} - FK$$

$$= \frac{(11,85^2) + (15,5^2) + (20,16^2) + (26,15^2)}{2 \cdot 2} - 339,112225$$

$$= 367,73015 - 339,112225$$

$$= 28,617925$$

5. Jumlah kuadrat pengaruh faktor B (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{r \cdot t} - FK$$

$$= \frac{(34,47^2) + (39,19^2)}{4 \cdot 2} - 339,112225$$

$$= 345,04625 - 339,112225$$

$$= 5,9340$$

6. Jumlah kuadrat pengaruh interaksi A dan B

$$JKAB = JKP - JKA - JKB$$

$$= 56,525775 - 28,617925 - 5,9340$$

$$= 21,973825$$

7. Jumlah kuadrat galat

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKA - JKB - JKAB \\ &= 37,512175 - 28,617925 - 5,9340 - 21,973825 \\ &= 7,0606 \end{aligned}$$

Apabila masing-masing suku dibagi dalam derajat bebasnya, akan diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering pula disebut sebagai kuadrat tengah yang disingkat *KT*. Nilai varian tersebut adalah :

$$\begin{aligned} 1. S_1^2 &= \frac{JKA}{r-1} \\ &= \frac{28,617925}{3} \end{aligned}$$

$$= 9,53930833$$

$$\begin{aligned} 2. S_2^2 &= \frac{JKB}{c-1} \\ &= \frac{28,617925}{1} \end{aligned}$$

$$= 28,617925$$

$$\begin{aligned} 3. S_3^2 &= \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} \\ &= \frac{21,973825}{3} \end{aligned}$$

$$= 7,3246$$

$$\begin{aligned} 4. S^2 &= \frac{JKG}{r \cdot c(t-1)} \\ &= \frac{7,0606}{8} \end{aligned}$$

$$= 0,882575$$

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas dihitung harga F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman (faktor A, B dan interaksinya) kemudian dibandingkan dengan F_{tabel} dengan derajat bebas yang sesuai dengan nilai α tertentu. Nilai F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 1. F_{hitung} &= \frac{S_1^2}{S^2} \\ &= \frac{9,53930833}{0,882575} \\ &= 10,8085 \end{aligned}$$



$$2. F_{2\text{hitung}} = \frac{S_2^2}{S^2} = \frac{5,9340}{0,882575} = 6,7235$$

$$3. F_{3\text{hitung}} = \frac{S_3^2}{S^2} = \frac{7,3246}{0,882575} = 8,2991$$

Dari perhitungan-perhitungan diatas dibuat tabel analisis varian dua arah seperti berikut :

Tabel 4.4 Analisis varian dua arah

Sumber Keragaman	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F _{hitung}	F _{tabel} (α = 0,05)
Depth of cut (A)	3	28,617925	9,53930833	10,8085	4,07
Minor cutting edge angle (B)	1	5,9340	5,934025	6,7235	5,32
Pengaruh Interaksi A dan B	3	21,973825	7,3246	8,2991	4,07
Galat	8	7,0606	0,882575	-	-
Total	15	63,5863	-	-	-

Dari tabel analisis varian dua arah dapat disimpulkan pengaruh *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan dengan cara membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel}. Dengan mengambil α = 5%, maka :

1. F_{1hitung} = F_(3;8) = 10,8085 > F_{1tabel} = F_(0.05; 3;8) = 4,07, maka H₀₁ ditolak. Hal ini berarti variasi *depth of cut* memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekasaran permukaan.
2. F_{2hitung} = F_(1;8) = 6,7235 > F_{2tabel} = F_(0.05;1;8) = 5,32, maka H₀₂ ditolak. Hal ini berarti *minor cutting edge angle* memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekasaran permukaan.
3. F_{3hitung} = F_(3;8) = 8,2991 > F_{3tabel} = F_(0.05;3;8) = 4,07, maka H₀₃ ditolak. Hal ini berarti interaksi antara *depth of cut* dan *minor cutting edge angle* memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekasaran permukaan.

4.3 Gaya pemotongan

- Gaya potong untuk proses turning

$$F = \frac{\tau_{shi} A}{\sin \Phi} \frac{1}{\cos (\Phi+\eta-\gamma_0)}$$

Keterangan : F = gaya potong (N)

τ_{shi} = tegangan geser (386,1 N/mm²)

A = penampang geram sebelum terpotong (mm²)

Φ = sudut geser (45°)

η = sudut gesek (0°)

γ_0 = sudut geram (0°)

- Gaya potong untuk *depth of cut* 0,5 mm

$$F = \frac{\tau_{shi} A}{\sin \Phi} \frac{1}{\cos (\Phi+\eta-\gamma_0)}$$

$$= \frac{386,1 (0,5 \times 0,112)}{\sin 45} \frac{1}{\cos (45+0-0)}$$

$$= 43,2428 \text{ (N)}$$

- Gaya potong untuk *depth of cut* 0,75 mm

$$F = \frac{\tau_{shi} A}{\sin \Phi} \frac{1}{\cos (\Phi+\eta-\gamma_0)}$$

$$= \frac{386,1 (0,75 \times 0,112)}{\sin 45} \frac{1}{\cos (45+0-0)}$$

$$= 64,8642 \text{ (N)}$$

- Gaya potong untuk *depth of cut* 1 mm

$$F = \frac{\tau_{shi} A}{\sin \Phi} \frac{1}{\cos (\Phi+\eta-\gamma_0)}$$

$$= \frac{386,1 (1 \times 0,112)}{\sin 45} \frac{1}{\cos (45+0-0)}$$

$$= 86,4856 \text{ (N)}$$

- Gaya potong untuk *depth of cut* 1,25 mm

$$F = \frac{\tau_{shi} A}{\sin \Phi} \frac{1}{\cos (\Phi+\eta-\gamma_0)}$$

$$= \frac{386,1 (1,25 \times 0,112)}{\sin 45} \frac{1}{\cos (45+0-0)}$$

$$= 108,1070 \text{ (N)}$$

Tabel 4.5 Tabel hubungan *depth of cut* terhadap gaya potong

<i>Depth of cut</i>	0,5	0,75	1	1,25
Gaya potong	43,2428	64,8642	86,4856	108,107

4.4 Pembahasan

4.4.1 Pembahasan analisis varian

Dari pengolahan data menggunakan analisa varian dengan tingkat keyakinan 95% menunjukkan bahwa pengaruh variasi *depth of cut* yaitu 0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm dan 1,25 mm memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekasaran permukaan. Hal ini terlihat dari F_{hitung} yang lebih besar dari F_{tabel} . Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa peningkatan kekasaran permukaan secara drastis dalam setiap peningkatan *depth of cut*.

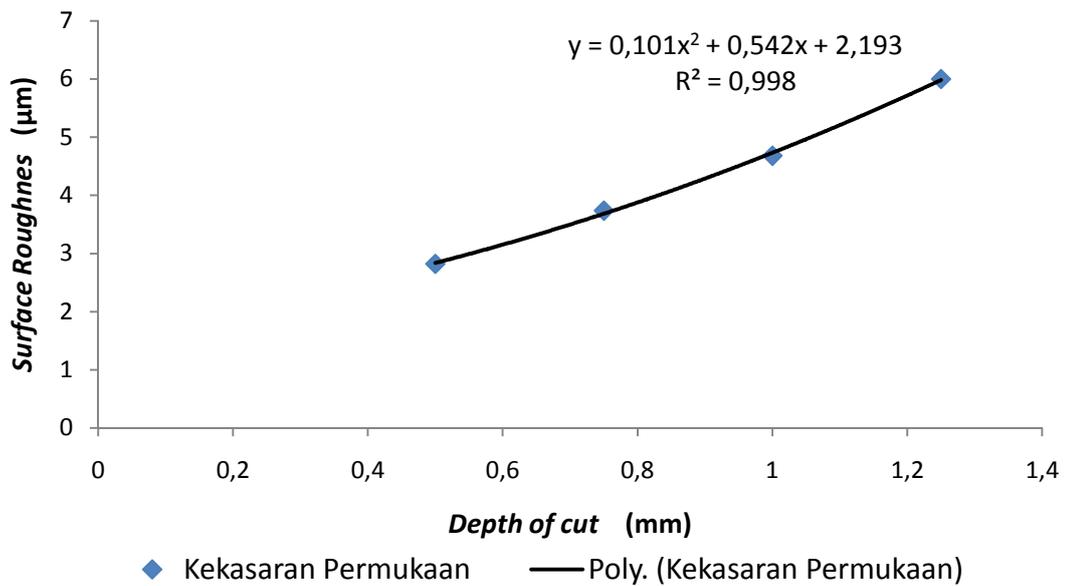
Pada variasi *minor cutting edge angle*, yaitu 30° dan 35° tidak terjadi pengaruh yang nyata pada kekasaran permukaan benda kerja. Hal ini terlihat dari nilai F_{hitung} yang lebih kecil dari F_{tabel} . Pengaruh yang nyata akibat variasi *minor cutting edge angle* ini dapat dilihat pada tabel 4.4 dimana pada *minor cutting edge angle* 30° mempunyai nilai kekasaran permukaan tertinggi pada 7,27 μm . Sedangkan pada *minor cutting edge angle* 35°, kekasaran permukaan tertinggi hanya 7,98 μm .

Pada interaksi antara *depth of cut* dan *minor cutting edge angle* memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekasaran permukaan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.4 dengan nilai F_{hitung} yang lebih kecil dari F_{tabel} .

Untuk mempermudah menganalisis data, maka hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik.

4.4.2 Pembahasan Grafik

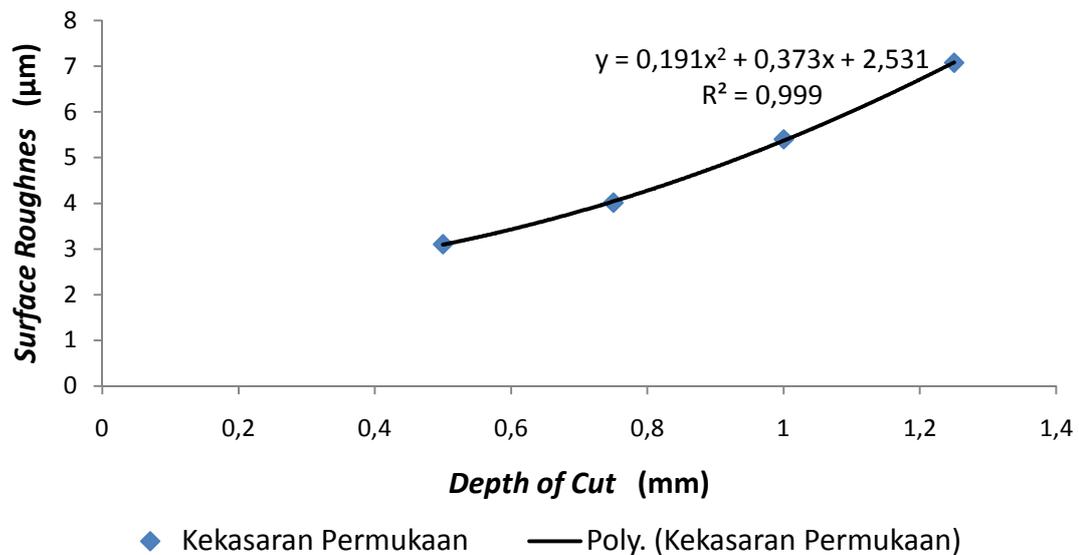
Untuk grafik hubungan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan dengan *minor cutting edge angle* 30° dapat dilihat pada gambar 4.17:



Gambar 4.17 Grafik hubungan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan (Pemotongan menggunakan *minor cutting edge angle* 30°)

Dari grafik hubungan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan pada kondisi pemotongan menggunakan pahat dengan *minor cutting edge angle* 30° dapat dilihat pada *depth of cut* 0,5 mm kekasaran permukaan 2,82 µm, pada *depth of cut* 0,75 mm kekasaran permukaan 3,735 µm, pada *depth of cut* 1 mm kekasaran permukaan 4,68 µm, pada *depth of cut* 1,25 mm kekasaran permukaan 6 µm. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi *depth of cut* maka semakin tinggi pula kekasaran permukaan dari benda kerja. Hal ini terjadi karena semakin tinggi *depth of cut* semakin tinggi pula gaya pemotongan yang digunakan untuk proses pemesinan. Semakin tinggi gaya pemotongan pada proses pemesinan dapat meningkatkan kekasaran permukaan.

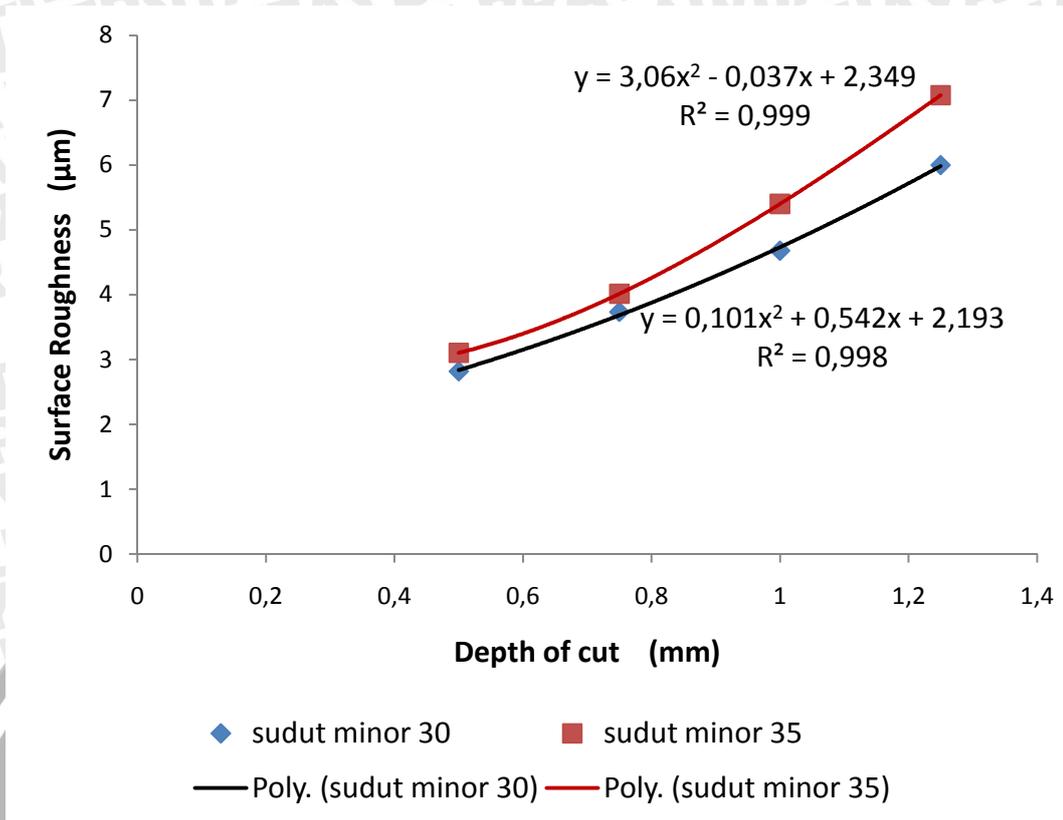
Untuk grafik hubungan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan untuk parameter pahat menggunakan *minor cutting edge angle* 35° dilihat pada gambar 4.18:



Gambar 4.18 Grafik hubungan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan (Pemotongan menggunakan *minor cutting edge angle* 35°).

Dari grafik hubungan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan pada kondisi pemotongan dengan parameter pahat menggunakan *minor cutting edge angle* 35° dapat dilihat pada *depth of cut* 0,5 mm kekasaran permukaan 3,105 µm, pada *depth of cut* 0,75 mm kekasaran permukaan 4,015 µm, pada *depth of cut* 1 mm kekasaran permukaan 5,4 µm, sedangkan pada *depth of cut* 1,25 mm kekasaran permukaan 7,075 µm. Pada penggunaan *minor cutting cutting edge angle* 35° ini pada *depth of cut* antara 0,5 mm sampai 1 mm kekasaran permukaan benda kerja masih bisa dijaga kenaikannya sesuai dengan kenaikan gaya pemotongan. Sedangkan kemampuan untuk menjaga kekasaran permukaan agar kenaikannya tidak terlalu besar menurun pada *depth of cut* diatas 1 mm, karena gaya potong yang besar mengakibatkan material tidak mampu lagi menahan gaya potong dari pahat. Sehingga terjadi *deflection* yang cukup besar yang juga akan meningkatkan getaran benda kerja dan akhirnya kekasaran permukaan akan meningkat.

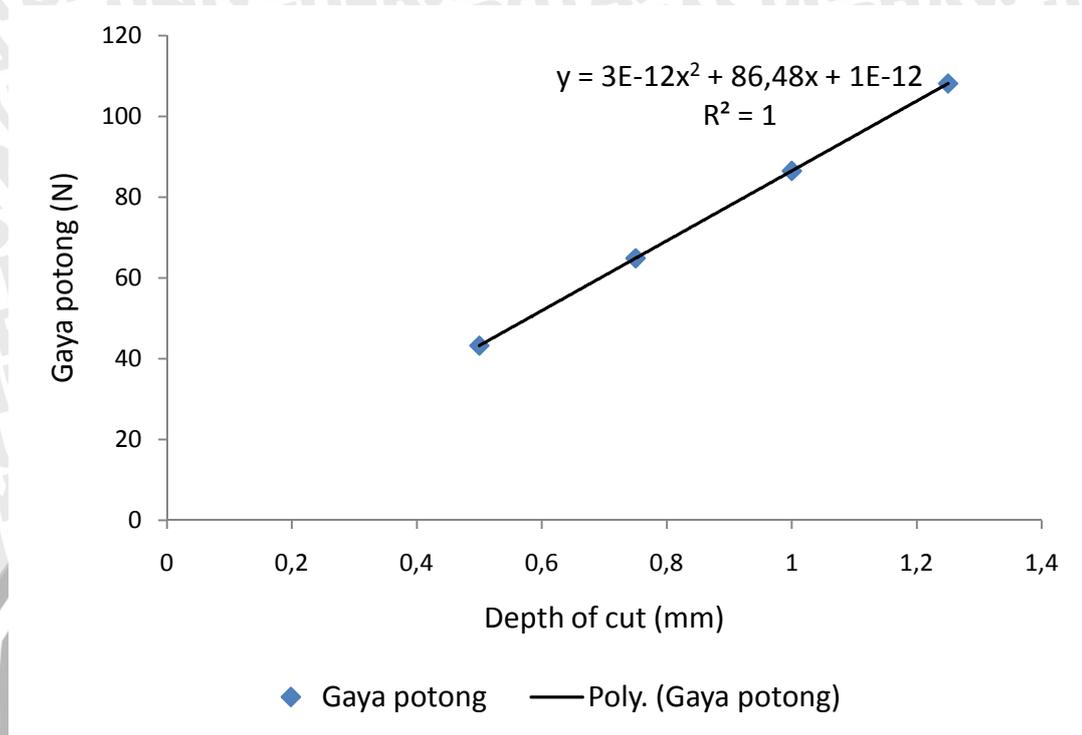
Untuk grafik hubungan putaran benda kerja dan kondisi pemotongan terhadap temperatur pahat dapat dilihat pada gambar 4.19:



Gambar 4.19 Grafik hubungan *depth of cut* dan *minor cutting edge angle* terhadap kekasaran permukaan

Dari grafik hubungan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan dengan parameter pemotongan menggunakan *minor cutting edge angle* 30° dan 35°. Dapat dilihat pada parameter pemotongan menggunakan *minor cutting edge angle* 30° lebih rendah jika dibandingkan dengan parameter pemotongan dengan *minor cutting edge angle* 35°. Kekasaran permukaan benda kerja pada parameter pemotongan menggunakan *minor cutting edge angle* 30° terendah 2,82 µm terjadi pada *depth of cut* 0,5 mm dan yang tertinggi 6 µm terjadi pada *depth of cut* 1,25 mm. Sedangkan kekasaran permukaan terendah pada parameter pemotongan dengan *minor cutting edge angle* 35° adalah 3,105 µm terjadi pada *depth of cut* 0,5 mm dan kekasaran permukaan tertinggi 7,075 terjadi pada *depth of cut* 1,25 mm. Kekasaran permukaan terendah terjadi pada parameter pemotongan dengan *minor cutting edge angle* 30° yang mencapai 2,82 mm dan kekasaran permukaan tertinggi terjadi pada parameter pemotongan dengan *minor cutting edge angle* 35° yang mencapai 7,075 µm. Hal ini terjadi karena pada parameter pemotongan menggunakan *minor cutting edge angle* 35° mempunyai ujung yang lebih runcing dari pada pahat dengan *minor cutting edge angle* 30°, sehingga luasan permukaan yang terbentuk menjadi lebih besar maka kekasaran permukaannya lebih besar.

Untuk grafik hubungan *depth of cut* terhadap gaya pemotongan dapat dilihat pada gambar 4.20:



Gambar 4.20 Grafik hubungan *depth of cut* terhadap gaya pemotongan

Dari grafik hubungan *depth of cut* terhadap gaya pemotongan pada *depth of cut* 0,5 mm gaya potongnya 43,2428 N, pada *depth of cut* 0,75 mm gaya potongnya 64,8642 N, pada *depth of cut* 1 mm gaya potongnya 86,4856 N, pada *depth of cut* 1,25 mm gaya potongnya 108,1070 N. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi *depth of cut* maka semakin tinggi pula gaya pemotongan pada proses pembubutan. Hal ini terjadi karena semakin tinggi *depth of cut* maka semakin besar pula luas penampang geram yang harus dibubut, sehingga gaya yang dibutuhkan untuk membubutnya juga semakin besar. Jadi semakin tinggi *depth of cut* mengakibatkan gaya pemotongan semakin besar.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari data hasil pengolah dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut *minor cutting edge angle* maka kekasaran permukaannya semakin tinggi, hal ini dikarenakan semakin besar *minor cutting edge angle* maka luas profil permukaan spesimen semakin besar pula sehingga kekasaran permukaannya meningkat. Kenaikan *depth of cut* juga berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Dengan meningkatnya *depth of cut* akan meningkatkan gaya pemotongan, maka kekasaran permukaan yang dihasilkan pada proses pembubutan juga akan meningkat. Kekasaran permukaan terendah yaitu 2,82 μm terjadi pada kondisi pemotongan menggunakan *minor cutting edge angle* 30° dan *depth of cut* 0,5 mm. Sedangkan kekasaran permukaan tertinggi terjadi yaitu 7,075 terjadi pada kondisi pemotongan menggunakan *cutting edge angle* 35° dan *depth of cut* 1,25 mm. Jadi dengan meningkatnya *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* maka kekasaran permukaan juga akan meningkat.

5.2 Saran

Pada penelitian pengaruh *minor cutting edge angle* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan pada proses bubut (*turning*), terdapat beberapa hal yang perlu untuk dikembangkan lebih lanjut, yaitu :

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal perlu diperhatikan mengenai tingkat keausan pahat, jika perlu menggunakan pahat baru setiap melakukan proses pembubutan.
2. Perlu dikembangkan lebih lanjut mengenai keausan pahat, temperatur pemotongan dan getaran yang ditimbulkan pada proses pemesinan.
3. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai variabel-variabel lain yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan pada proses *turning*, sehingga didapatkan gambaran yang lebih lengkap mengenai proses ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B., Begeman, Myron L., Ostwald, Philip F. 1987. *Manufacturing Processes*. New York : John Willey & Sons.
- Bethroyd, Geoffrey. 1985. *Fundamental of Metal Machining and Machine Tools*. Singapore : Mc Grow-Hill Book Co.
- CMTI (Central Machine Tool Institute). 1982. *Machine Tool Design Handbook*. New Delhi : Tata Mc Grow-Hill Publishing Co.
- Djaprie, Sriati.1991. Ilmu dan Teknologi Bahan. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.
- Feng, Chang-Xue (Jack). 2001. *An Experimental Study of the Impact of Turning Parameters on Surface Roughness*. Peoria: Department of Industrial and Manufacturing Engineering Bradley University.
- Fnides, B., Aouici, H., Yaltese, M. A. *Cutting Force and Surface Roughness in Hard Turning of Hot Work Steel X38CrMoV5-1 Using Mixed Ceramic*. Algeria: Department of mechanics.
- Gerling, Heinrich. 1982. All About Machine Tools. New Delhi : Willey Eastern Limited.
- Hicks, Charles R. 1982. *Fundamental Concepth in the Design of Exsperiments*. third edition. New York : Holt, Rinehart and Winston, inc.
- Hifni, M. 1988. *Metode Stastitika*. Malang : Penerbit Politeknik Universitas Brawijaya.
- Hifni, M. 1992. *Analisis Variant dan Penerapannya*. Malang : Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Jack, Hugh. 2001. *Manufacturing Engineer On a Disk*. <http://www.eod.gvsu.edu> (diakses 5 Mei 2009).
- Jain, R. K and S. C Gupta. 1984. *Production Technology*. seventh edition. New Delhi : Khanna Publisher.
- Kassab, Saffen Y. & Khoshnaw, Younis K. 2006. *The Effect Tool Vibration on Surface Roughness of Workpiece in Dry Turning Operation*. Erbil: Mechanical Eng. Dep University of Salahddin.
- Maslov, D. 1967. *Engineering Manufacturing Processes*. Moscow : Mir Publishers.
- Motoi, et. al. 2005. *The Influence of the Geometry of the Lathe Tool on the Surface Condition at the Processing of the Polyamida PA 66-GF 30*. Galati: University of Pitesti.
- Muin, Samsir A. 1989. *Dasar-dasar Perancangan Perkakas dan Mesin-mesin Perkakas*. Jakarta : Rajawali.
- Rochim, Taufiq dan Soetarto S.M. 1980. *Teknik Pengukuran (Metrologi industri)*. Jakarta : Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Menengah dan Kejuruan.
- Rochim, Taufiq. 1985. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung : Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Bandung.

Sugondo, Amelia., Siahaan, Ian H. & Kristianto, Bobby. 2008. *Studi Pengaruh Kedalaman Pemakanan Terhadap Getaran Dengan Menggunakan Mesin Bubut Chien Yeh CY 800 Gf*. Bandung: Seminar Nasional-VII ITENAS.

Thamizhmanii, S., Saparudin, S., Hasan, S. 2007. *Analyses of Surface Roughness by Turning Process Using Taguchi Method*. Malaysia: Jurnal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering (JAMME).



Lampiran 1. Sertifikat Material Baja AISI 1045



P.T. BHINNEKA BAJANAS

S.I.J.P. No. 1298/9709 - 02/PB/XII/2000



Jl. Karang Bolong Raya No. 5, Ancel Barat, Jakarta -- Indonesia P.O.Box.4108/JKT
Phone: 02-21-5912710, 021-2201. 8222122, 8925431, 8925551, 8929105 (multilig) Fax: 0211505. 6304291

TEST CERTIFICATE

Mr./No./No. : 194.761 - 05.02.28
Seri/Page/Page : 01

Order No./Auftrag's Order No./No. de commande :

6572440/08

Order/Bestell./Orders Code No./No. commande/Bestell.

658.0081/RI

Delivery Order/Spedition's order/No. d'expédition :

521135 0151/SP

Product name/Name of the tested material :

STEEL BARS K945 (AISI 1045)
K 945 S.M.S 45

Unit/size of the material/Volume of delivery/Liste descriptive :

01 EA, 25.00 MM

Gewicht kg
Weight
Poids

1350.00

Schmelz-
Zahl/
No. analyse

7104991

Prost.-Nr.
Test No.
Cm. Analyse

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%) :

Stahlnummer Steel No. No. Acier	C	Si	Mn	P	S	CR	Ni	Mo	V	Al	Cu
7104991	45	23	69	.008	.005	.05	.01				.02

SERTIFIKAT INI HANYA BERLAKU
UNTUK DO NO : *103 12702*
PT. BHINNEKA BAJANAS

TRUE COPY

Chemische Zusammenfassung/Chemical Composition/Composition chimique (%) :

Prost.-Nr. Test No. Cm. Analyse	Erweiter- Bereich	Tensile Strength (Rp0.2) N/mm ²	Yield Strength (Rp0.2) N/mm ²	Elongation %	Reduction %
---------------------------------------	----------------------	---	---	-----------------	----------------



Lampiran 2. Proses dan Hasil Pembubutan



Gambar 1. Proses pembubutan



Gambar 2. Spesimen hasil pembubutan

Lampiran 3. Hasil pengujian kekasaran permukaan

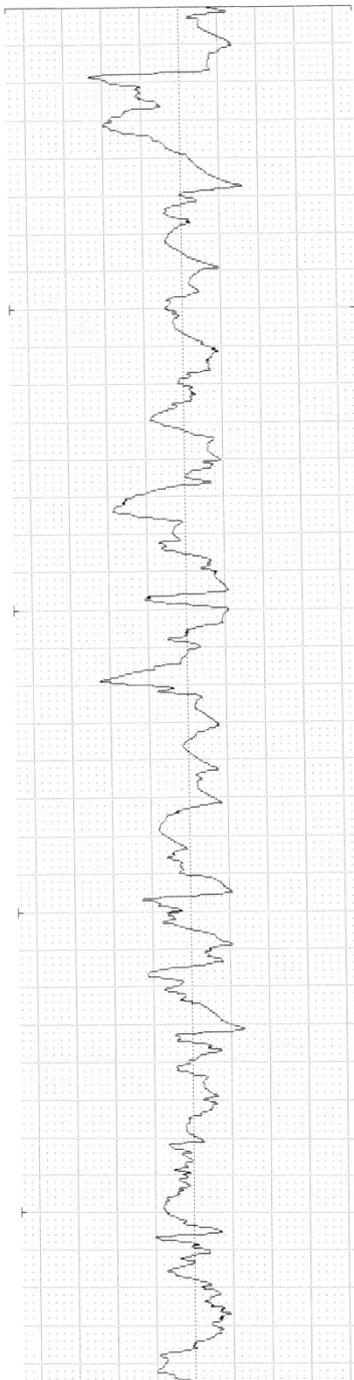
a. Untuk $k_r' = 30^\circ$ dan $a = 0,5 \text{ mm}$

R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
λ_c	0.8mmX5
Ra	2.70 μm
Rz	15.36 μm
Rq	3.32 μm

R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
$\lambda_c=0.8\text{mmX5}$	
→ x 1K	
↓ x 50	
Ver.	10.0 $\mu\text{m/cm}$
Hor.	200.0 $\mu\text{m/cm}$

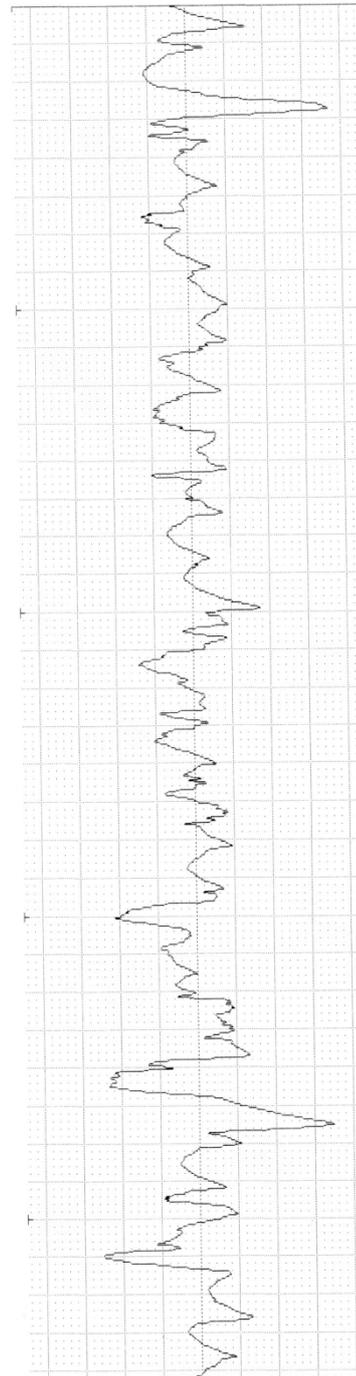


R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
λ_c	0.8mmX5
Ra	2.94 μm
Rz	20.24 μm
Rq	3.90 μm

R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
$\lambda_c=0.8\text{mmX5}$	
→ x 1K	
↓ x 50	
Ver.	10.0 $\mu\text{m/cm}$
Hor.	200.0 $\mu\text{m/cm}$



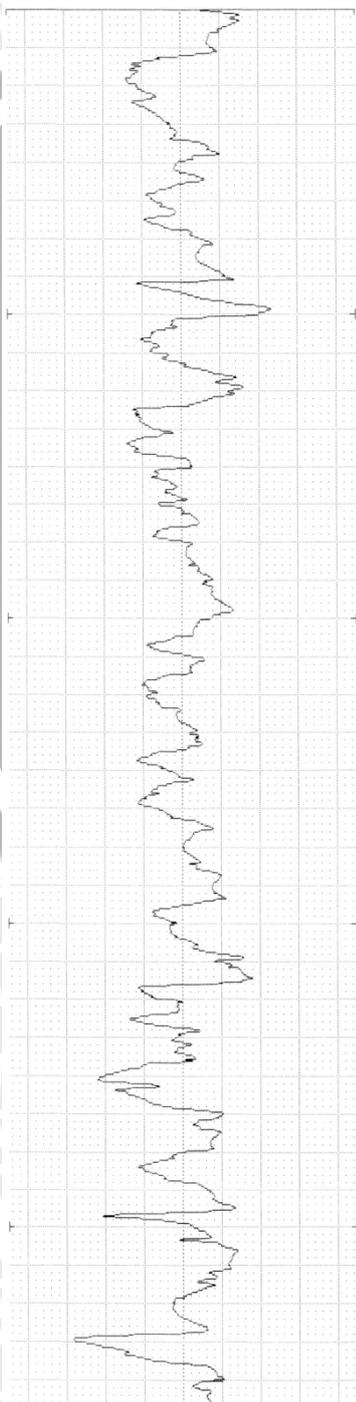
b. Untuk $k'_r = 30^\circ$ dan $a = 0,75 \text{ mm}$

R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
λ_c	0.8mmX5
Ra	3.33 μm
Rz	17.67 μm
Rq	4.03 μm

R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
$\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$	
	$\times 1K$
	$\times 50$
Ver.	10.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
Hor.	200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$

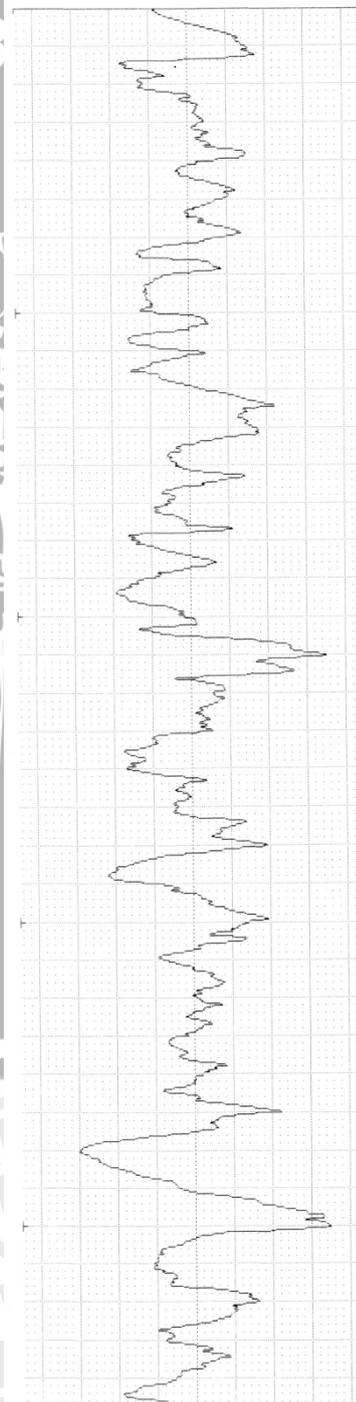


R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
λ_c	0.8mmX5
Ra	4.14 μm
Rz	25.19 μm
Rq	5.28 μm

R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
$\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$	
	$\times 1K$
	$\times 50$
Ver.	10.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
Hor.	200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



c. Untuk $k'_r = 30^\circ$ dan $a = 1 \text{ mm}$

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

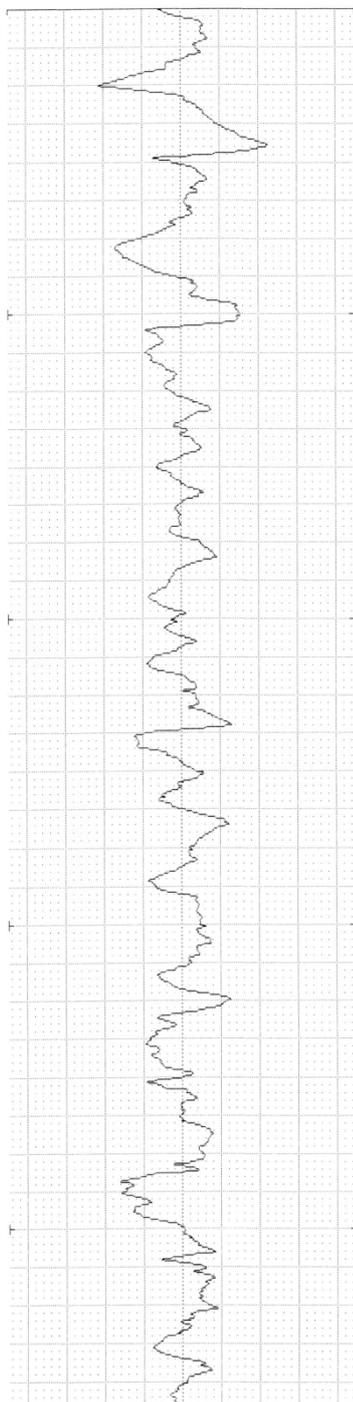
Ra 5.38 μm
 Rz 30.31 μm
 Rq 6.68 μm

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

$\rightarrow \times 500$
 $\downarrow \times 50$

Ver. 20.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
 Hor. 200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

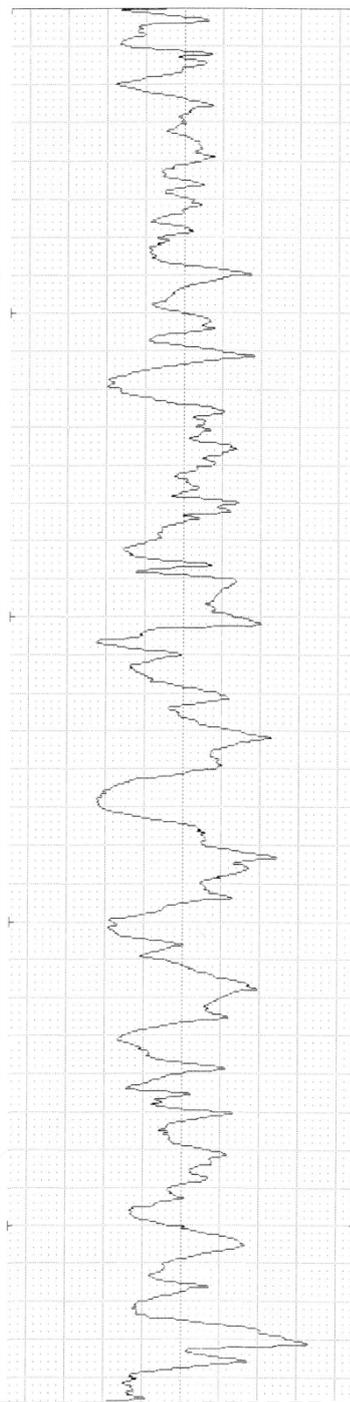
Ra 3.98 μm
 Rz 21.15 μm
 Rq 4.80 μm

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

$\rightarrow \times 1K$
 $\downarrow \times 50$

Ver. 10.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
 Hor. 200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



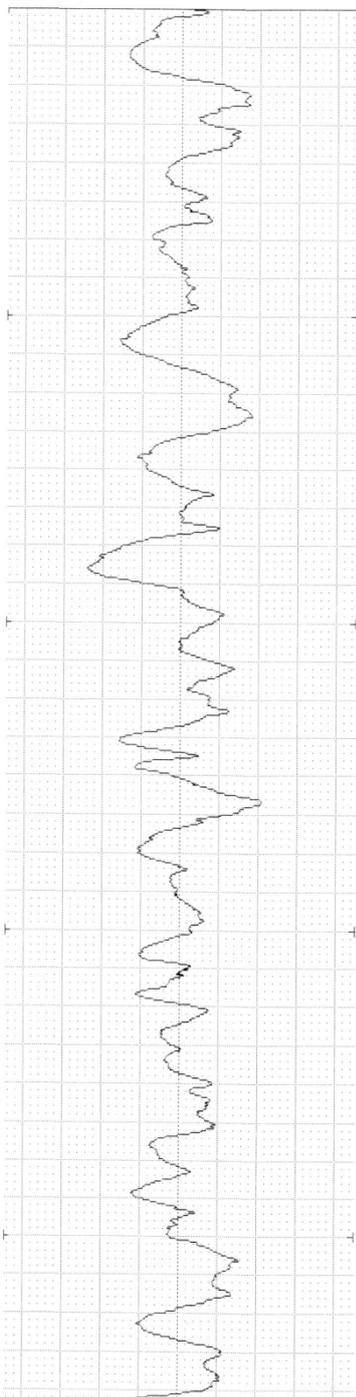
d. Untuk $k'_r = 30^\circ$ dan $\alpha = 1,25 \text{ mm}$

R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
λ_c	0.8mmX5
Ra	7.27 μm
Rz	34.19 μm
Rq	8.65 μm

R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
$\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$	
$\times 500$	
Ver.	20.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
Hor.	200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$

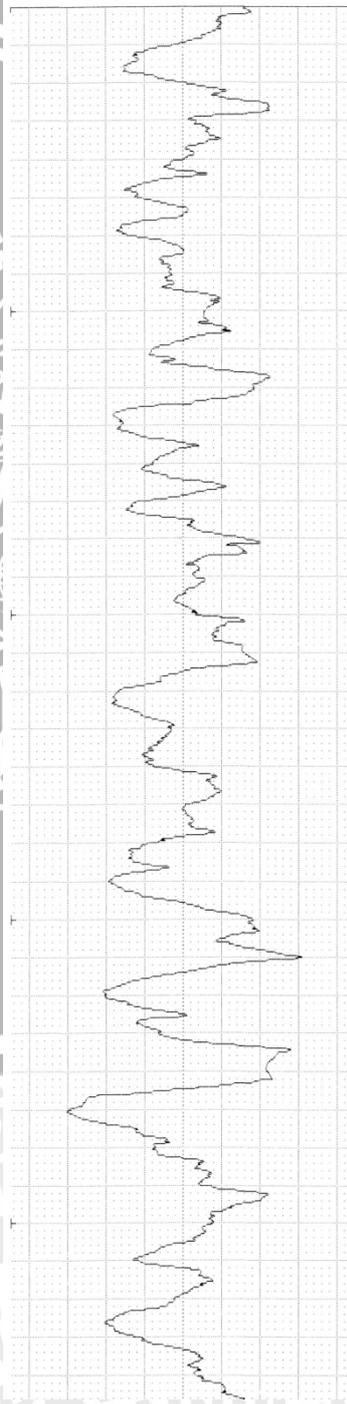


R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
λ_c	0.8mmX5
Ra	4.73 μm
Rz	21.99 μm
Rq	5.61 μm

R-PROFILE

EVA-L	4.0mm
$\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$	
$\times 1K$	
Ver.	10.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
Hor.	200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



e. Untuk $k'_r = 35^\circ$ dan $a = 0,5 \text{ mm}$

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

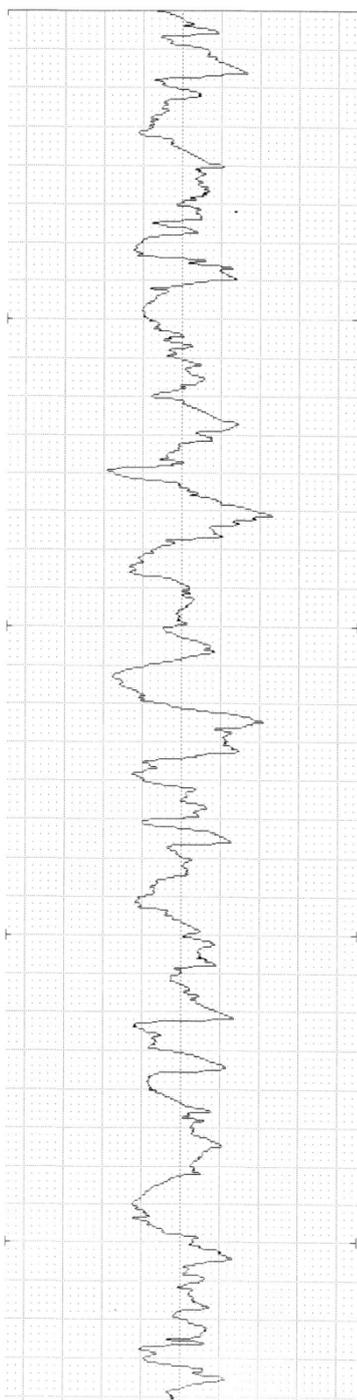
Ra 3.01 μm
 Rz 16.42 μm
 Rq 3.67 μm

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

$\rightarrow \times 1K$
 $\downarrow \times 50$

Ver. 10.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
 Hor. 200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

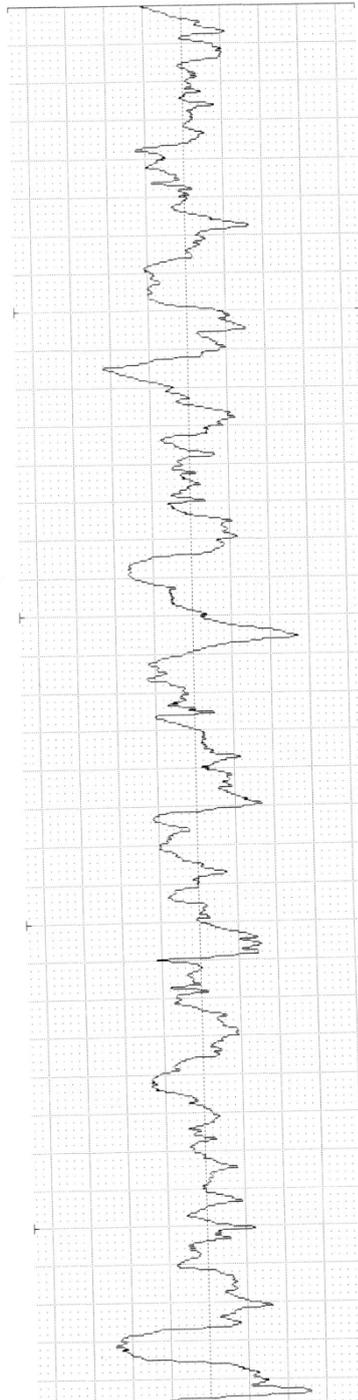
Ra 3.20 μm
 Rz 18.53 μm
 Rq 3.98 μm

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

$\rightarrow \times 1K$
 $\downarrow \times 50$

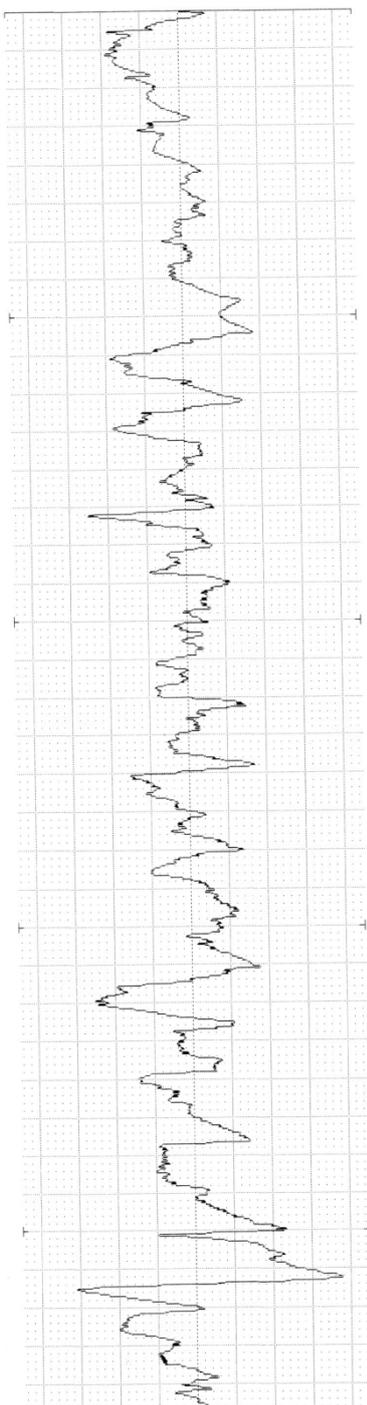
Ver. 10.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
 Hor. 200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



f. Untuk $k'_r = 35^\circ$ dan $a = 0,75$ mm

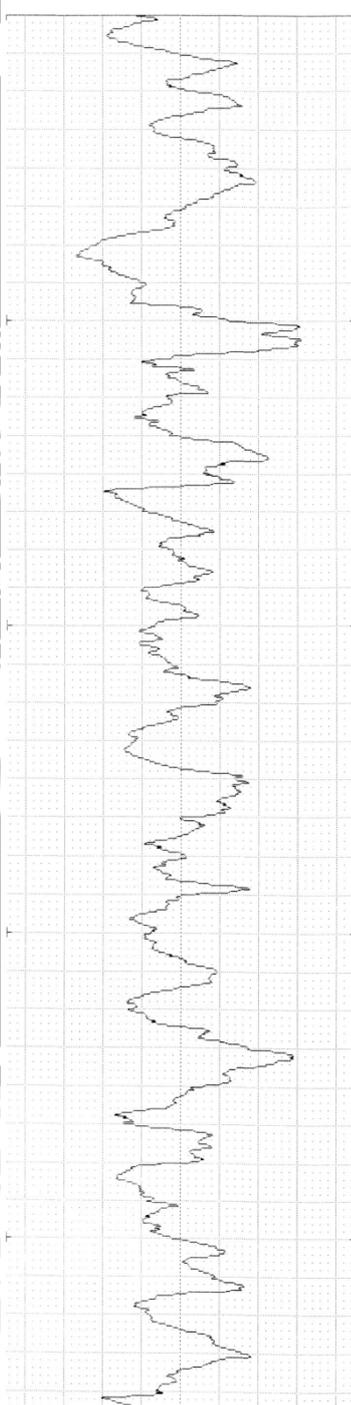
R-PROFILE	
EVA-L	4.0mm
λ_c	0.8mmX5
Ra	3.86 μ m
Rz	22.71 μ m
Rq	4.79 μ m

R-PROFILE	
EVA-L	4.0mm
$\lambda_c = 0.8$ mmX5	
	$\rightarrow \times 1K$
	$\downarrow \times 50$
Ver.	10.0 μ m/cm
Hor.	200.0 μ m/cm



R-PROFILE	
EVA-L	4.0mm
λ_c	0.8mmX5
Ra	4.17 μ m
Rz	21.41 μ m
Rq	5.12 μ m

R-PROFILE	
EVA-L	4.0mm
$\lambda_c = 0.8$ mmX5	
	$\rightarrow \times 1K$
	$\downarrow \times 50$
Ver.	10.0 μ m/cm
Hor.	200.0 μ m/cm



g. Untuk $k'_r = 35^\circ$ dan $a = 1 \text{ mm}$

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

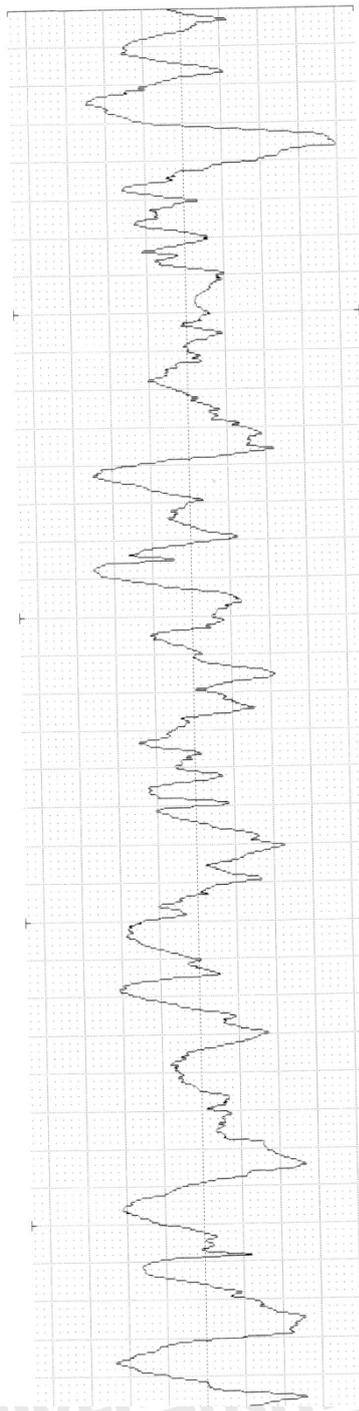
Ra 4.77 μm
 Rz 25.00 μm
 Rq 5.95 μm

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

$\times 1K$
 $\times 50$

Ver. 10.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
 Hor. 200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

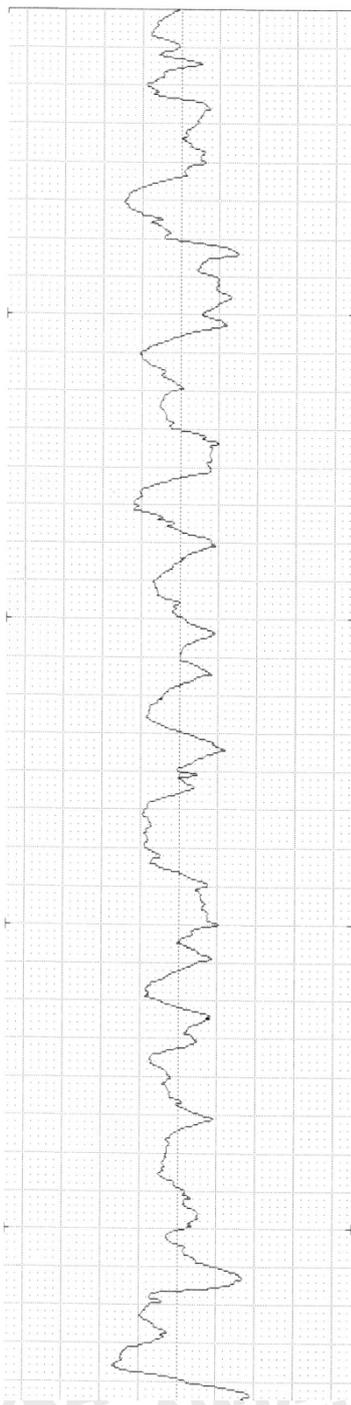
Ra 6.03 μm
 Rz 27.58 μm
 Rq 7.04 μm

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

$\times 500$
 $\times 50$

Ver. 20.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
 Hor. 200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



h. Untuk $k'_r = 35^\circ$ dan $a = 1,25 \text{ mm}$

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5

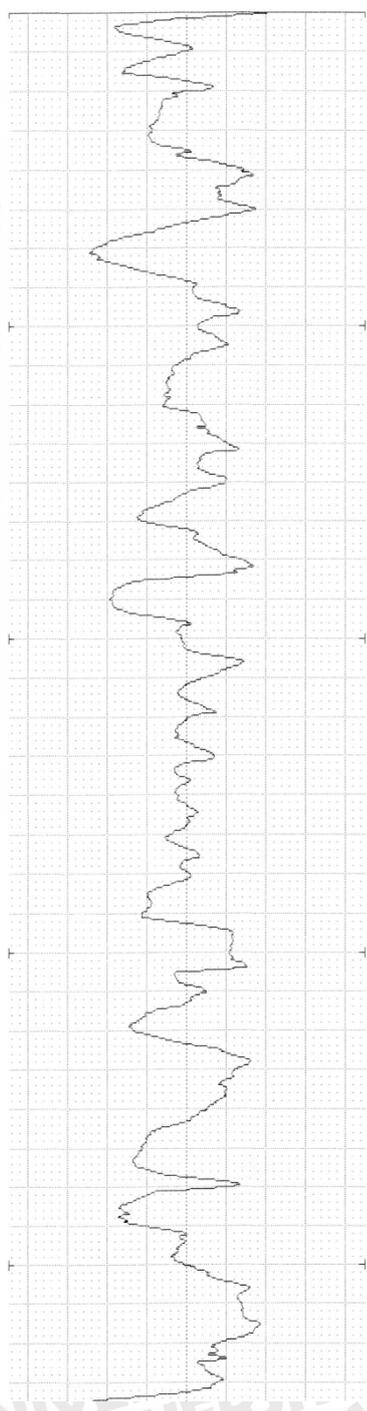
Ra 7.98 μm
Rz 39.54 μm
Rq 9.90 μm

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

→ x 500
↓ x 50

Ver. 20.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
Hor. 200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 λ_c 0.8mmX5

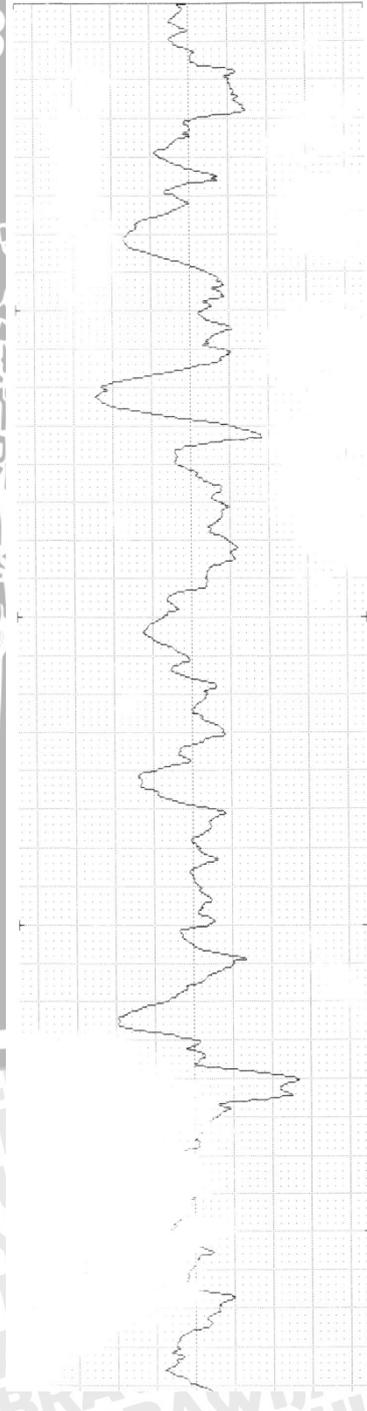
Ra 6.17 μm
Rz 32.99 μm
Rq 7.84 μm

R-PROFILE

EVA-L 4.0mm
 $\lambda_c = 0.8\text{mm} \times 5$

→ x 500
↓ x 50

Ver. 20.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
Hor. 200.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



i. Hasil kalibrasi

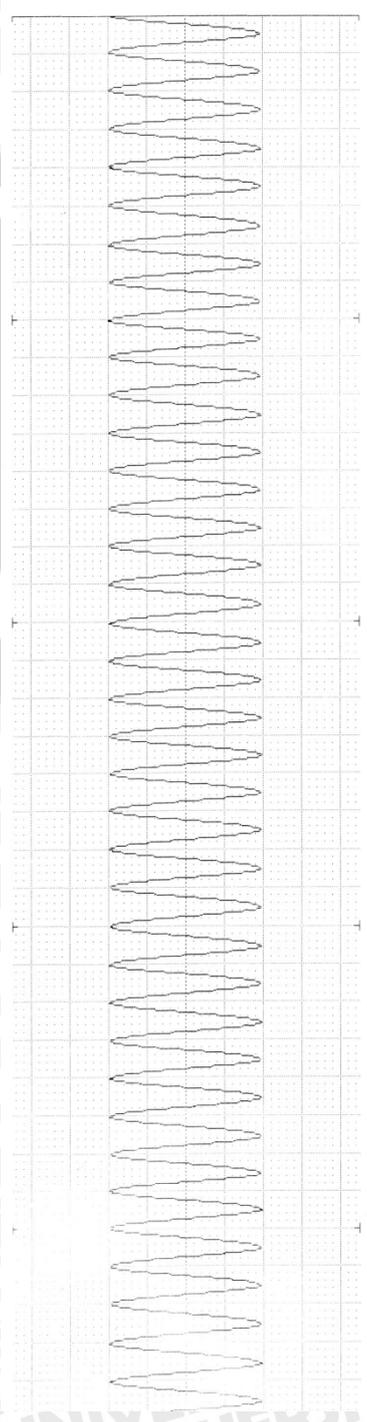
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
 λc 0.8mmX5

Ra 3.10 μ m
Rz 9.89 μ m
Rq 3.45 μ m

R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
 $\lambda c=0.8mmX5$

→ x 2K
↓ x 50

Ver. 5.0 μ m/cm
Hor. 200.0 μ m/cm



Lampiran 4. Contoh koordinat titik profil permukaan

No.	X	Y
1	7.08	-3.46
2	7.08	-4.67
3	7.34	-5
4	7.34	-6.05
5	7.61	-6.17
6	7.61	-5.28
7	7.88	-4.99
8	7.88	-5.8
9	8	-5.9
10	8.14	-5.8
11	8.14	-6.28
12	8.28	-6.42
13	8.4	-6.32
14	8.4	-5.42
15	8.53	-5.28
16	8.61	-5.42
17	8.61	-5.68
18	8.88	-5.78
19	8.88	-6.06
20	9.41	-6.36
21	9.41	-6.86
22	9.47	-6.92
23	9.82	-6.68
24	9.94	-6.8
25	10.2	-6.55
26	10.2	-5.68
27	10.47	-5.42
28	10.47	-5.67
29	10.88	-5.31
30	11	-5.43
31	11	-4.93
32	11.27	-4.93
33	11.27	-4.53
34	11.54	-4.31
35	11.54	-3.66
36	11.75	-3.4
37	11.75	-3.2
38	12.04	-3.2
39	12.04	-3.55

No.	X	Y
40	12.2	-3.65
41	12.31	-3.58
42	12.31	-4.28
43	12.55	-4.69
44	12.55	-6.04
45	12.84	-6.17
46	12.84	-5.79
47	13.12	-5.47
48	13.12	-5.31
49	13.37	-5.2
50	13.37	-4.59
51	14.42	-2.94
52	15.51	-1.8
53	15.51	-1.51
54	15.66	-1.36
55	15.77	-1.51
56	16.07	-1.22
57	16.33	-1.32
58	16.5	-0.86
59	16.89	-0.36
60	17.24	-0.86
61	17.42	-0.63
62	17.8	-1.35
63	17.93	-0.97
64	17.93	0
65	17.93	1.11
66	18.18	1.53
67	18.18	2.46
68	18.49	2.65
69	18.49	3.11
70	18.89	3.62
71	19.25	3.39
72	19.25	3.72
73	19.48	4
74	19.48	4.43
75	19.84	5
76	20.02	4.45
77	20.02	1.63
78	20.24	1.47

No.	X	Y
79	20.6	1.65
80	20.6	0.91
81	20.88	0.63
82	20.88	0
83	20.88	-0.26
84	21.87	-0.88
85	22.15	-0.62
86	22.15	-0.24
87	22.43	-0.18
88	22.43	0
89	22.43	0.78
90	22.69	1.01
91	22.69	1.82
92	22.97	2.08
93	22.97	2.36
94	23.2	2.58
95	23.2	2.94
96	23.45	2.94
97	23.45	2.63
98	23.7	2.35
99	23.7	0.77
100	24	0.37
101	24	0
102	24	-0.34
103	24.5	-1.12
104	24.5	-1.59
105	24.56	-1.82
106	24.56	-2.66
107	25.27	-3.24
108	25.27	-4.07
109	25.51	-4.45
110	25.51	-4.11
111	26.58	-3.11
112	26.58	-2.37
113	27.09	-2.64
114	27.09	-1.83
115	27.35	-1.6
116	27.35	-0.99
117	27.79	-0.62

No.	X	Y
118	28.4	-1.36
119	28.4	-2.98
120	28.67	-3.35
121	28.67	-4.12
122	28.9	-4.63
123	29.2	-4.19
124	29.2	-3.85
125	29.47	-3.65
126	29.47	-2.88
127	30.31	-1.27
128	30.31	0
129	30.31	0.98
130	30.68	1.52
131	30.93	1.1
132	31.1	1.26
133	31.1	1.6
134	31.35	1.89
135	31.35	2.22
136	31.6	2.51
137	31.6	2.92
138	31.85	3.09
139	31.85	3.59
140	32.35	4.09
141	32.35	2.92
142	33.85	1.88
143	34.93	2.5
144	35.94	4.41
145	35.94	5
146	36.89	5.83
147	36.89	6.37
148	37.19	6.74
149	37.19	3.62
150	37.35	3.45
151	37.35	2.37
152	37.48	2.24
153	37.48	0
154	37.48	-5.05
155	37.72	-5.6
156	37.72	-5

Lampiran 6. Identifikasi Tool Holders



Lampiran 7. Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
LABORATORIUM METROLOGI INDUSTRI
Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 216 Malang 65145

DATA HASIL PENGUJIAN KEKASARAN PERMUKAAN

PEMOHON : AROFIQI
NIM : 0410623014

<i>Minor cutting edge angle</i> ($^{\circ}$)	<i>Surface Roughness</i>			
	<i>Depth of Cut</i>			
	0,5 (mm)	0,75 (mm)	1 (mm)	1,25 (mm)
30	2,7	3,33	5,38	7,27
	2,94	4,14	3,98	4,73
35	3,01	3,86	4,77	7,98
	3,2	4,17	6,03	6,17

Malang, 30 September 2009
Kalab. Metrologi Industri



Putu Hadi Setyarini, ST., MT.
19770806 200312 2 001

