

## Analisa Kekasaran Permukaan Pada Proses Pembubutan Material AISI 4140 dengan *Nose Radius* dan *Cutting Parameter* yang Berbeda

Masrufaiyah<sup>1</sup>, Sugeng Hariyadi<sup>2</sup>, Mochammad Miftahurrohman<sup>3</sup>

<sup>1 2 3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

Email: [1masrufaiyah@gmail.com](mailto:masrufaiyah@gmail.com), [2sugengiwe@yahoo.co.id](mailto:sugengiwe@yahoo.co.id), [3miftahurrohman.m20@gmail.com](mailto:miftahurrohman.m20@gmail.com)

### Abstract

The process of machining the shaft can be done using a lathe where it is often obtained that the surface roughness value is not as desired. This is influenced by several factors including the nose radius on the tool geometry and cutting parameters. To determine the effect of these two factors, this study used AISI 4140 material with a WNMG Sumitomo type carbide chisel with a nose radius R 04 and R 08 as well as different feeding starting from F 70, F 80, F 90, F 100, F 110 and F 120 and using the same Rpm, Rpm 900. The results show that to achieve a roughness value of N8 with a roughness value of 3.2 m, a tolerance of 2.4 m–4.8 m, the tool radius and feeding used include: R 04 with F 70 with a value of 3.101 m, R 04 with F 80 with a value of 4.050 m, R 08 with F 90 with a value of 2.562 m, R 08 with F 100 with a value of 3.164 m, R 08 with F 110 with a value of 3.828 m, R 08 with F 120 with a value of 4,556 m. Based on the roughness value (Ra), the larger the nose radius used, the lower the roughness value obtained. The more nose radius used, the higher the roughness value obtained.

**Keywords:** AISI 4140, Cutting, Nose, Parameter, Radius, Roughness, Surface.

### 1. Pendahuluan

Proses pemesinan poros dapat dilakukan dengan menggunakan mesin bubut dimana sering diperoleh nilai kekasaran permukaan yang tidak sesuai dengan yang diinginkan. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kecepatan makan, kedalaman potong, putaran dan jenis material pahat. Selain itu faktor mesin bubut dan operatornya juga berperan dalam produk yang dihasilkan.

Geometris yang terdapat pada pahat bubut meliputi sudut beram (*rake angle*), sudut bebas (*clearance angle*), dan sudut sisi potong (*cutting edge angle*) [9]. Selain itu geometri pada pahat yang jarang diperhatikan yaitu *nose radius* (radius pojok). Paridawati pada penelitiannya berjudul pengaruh kecepatan dan sudut potong terhadap kekasaran benda kerja pada mesin bubut [6] mengatakan bahwa radius pojok (*nose radius/ tool point*) merupakan perpotongan antara *side cutting edge* dengan *end cutting edge*. *Nose radius* dikatakan dapat berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil pembubutan. Penelitian yang dilakukan Abdullah [1] menghasilkan bahwa “secara umum kecepatan mesin yang lebih tinggi, tingkat pemakanan yang lebih rendah dan *insert nose radius* lebih tinggi mendapatkan tingkat kekasaran permukaan yang lebih baik”.

Selain *nose radius* pada geometri pahat, parameter pemotongan juga dapat mempengaruhi kekasaran hasil pembubutan. Widarto [9] menjelaskan tiga parameter utama pada setiap proses bubut adalah kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Hasil Penelitian [6] menyimpulkan bahwa “sudut potong, gerak makan, putaran poros spindel, dan kedalaman pemotongan merupakan variabel yang digunakan untuk menentukan angka kekasaran total”.

### Poros

Poros atau yang biasa juga disebut *shaft* merupa bagian dari mesin yang berputar. Penampang dari sebuah poros biasanya adalah bulat. Biasanya pada poros juga terpasang elemen-elemen seperti roda gigi (*gear*), *pulley*, *flywheel*, engkol dan *sprocket* yang berfungsi untuk memindahkan putaran dari poros tersebut. Poros juga ada beberapa macam jenis seperti poros transmisi, poros *spindle*, poros lurus dan poros engkol. Beberapa jenis poros tersebut memiliki berbagai fungsinya masing-masing.

### Mesin bubut (*turning machine*)

Mesin bubut (*turning machine*) adalah suatu jenis mesin perkakas yang dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan potong pahat (*tools*) sebagai alat untuk memotong benda kerja tersebut. Mesin bubut merupakan salah satu mesin proses produksi yang dipakai untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris, namun dapat juga dipakai untuk beberapa kepentingan lain. Pada prosesnya benda kerja terlebih dahulu dipasang pada *chuck* (pencekam) yang terpasang pada spindel mesin, kemudian spindel dan benda kerja diputar dengan kecepatan tertentu.

Alat potong (pahat) yang dipakai untuk membentuk benda kerja akan ditempelkan pada benda kerja yang berputar sehingga benda kerja terbentuk sesuai dengan ukuran yang dikehendaki. Umumnya pahat bubut dalam keadaan diam, pada perkembangannya ada jenis mesin bubut yang berputar alat potongnya, sedangkan benda kerjanya diam.

Pada kelompok mesin bubut juga terdapat bagian-bagian otomatis dalam pergerakannya bahkan juga ada yang dilengkapi dengan layanan sistem otomatis, baik yang dilayani dengan sistem hidraulik ataupun elektrik. Ukuran mesinnya pun tidak semata-mata kecil karena tidak sedikit mesin bubut konvensional yang dipergunakan untuk mengerjakan pekerjaan besar seperti yang dipergunakan pada industri perkapalan dalam membuat atau merawat poros baling-baling kapal yang diameternya mencapai 1.000 mm atau lebih.

### Parameter pada mesin bubut

Tiga parameter utama pada setiap proses bubut adalah kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*), dan kedalaman potong (*depth of cut*). Tiga parameter di atas adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada mesin bubut. Kecepatan putar, *n* (*speed*), selalu dihubungkan dengan sumbu utama (spindel) dan benda kerja. Kecepatan putar dinotasikan sebagai putaran per menit (*rotations per minute*, rpm). Kemudian dari ketiga parameter tersebut, untuk menghitung kecepatan potong dari suatu proses pembentukan benda kerja pada mesin bubut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1)$$

$$d = \frac{(d_o + d_m)}{2} \quad (2)$$

dimana:

$v_c$  = kecepatan potong (m/menit)

$\pi$  = 3,14

$d$  = diameter rata-rata (mm)

$n$  = kecepatan putar (rpm)

$d_o$  = diameter awal (mm)

$d_m$  = diameter akhir (mm)

Kedalaman potong dari suatu proses pembentukan benda kerja pada mesin bubut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [7]:

$$a = \frac{(d_o - d_m)}{2} \quad (3)$$

dimana:

$a$  = kedalaman potong (mm)

$d_o$  = diameter awal (mm)

$d_m$  = diameter akhir (mm)

Kecepatan potong dari suatu proses pembentukan benda kerja pada mesin bubut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [7]:

$$v_f = f \times n \quad (4)$$

dimana:

$v_f$  = kecepatan makan (mm/menit)

$f$  = gerak makan (mm/r)

$n$  = kecepatan putar (rpm)

Waktu pemotongan dari suatu proses pembentukan benda kerja pada mesin bubut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [7]:

$$t_c = \frac{l_c}{v_f} \quad (5)$$

dimana:

$t_c$  = waktu pemotongan (menit)

$l_c$  = panjang pemotongan (menit)

$v_f$  = kecepatan makan (mm/menit)

Kecepatan penghasilan geram dari suatu proses pembentukan benda kerja pada mesin bubut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [7]:

$$Z = f \times a \times v_f \quad (6)$$

dimana:

$Z$  = kecepatan penghasilan geram

$f$  = gerak makan (mm/r)

$a$  = kedalaman potong (mm)

$v_f$  = kecepatan makan (mm/menit)

### **Pahat**



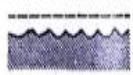

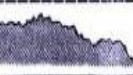
Pahat adalah suatu alat yang terpasang pada mesin perkakas yang berfungsi untuk memotong benda kerja atau membentuk benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Pahat digunakan untuk memotong material-material yang keras sehingga material pahat haruslah lebih keras daripada material yang akan dipotong. Material pahat harus mempunyai sifat-sifat: (1) Keras, kekerasan material pahat harus melebihi kekerasan dari material benda kerja. (2) Tahan terhadap gesekan, material pahat harus tahan terhadap gesekan, hal ini bertujuan agar saat proses pembubutan berlangsung pahat tidak mudah habis (berkurang dimensinya) sehingga keakuratan dimensi dari benda kerja dapat tercapai. (3) Ulet, material dari pahat haruslah ulet, karena saat proses pembubutan pahat akan menerima beban kejut. (4) Tahan panas, material dari pahat harus tahan panas, karena proses pembubutan akan menimbulkan panas yang cukup tinggi ( $250^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ ) tergantung putaran dari mesin bubut (semakin tinggi putaran mesin bubut maka semakin tinggi suhu yang dihasilkan). (5) Ekonomis, material pahat harus bersifat ekonomis (pemilihan material pahat haruslah sesuai dengan jenis pengerjaan yang dilakukan dan jenis material dari benda kerja).

### **Permukaan dan profil**

Ketidaktepatan alat ukur dan cara pengukuran maupun cara evaluasi hasil pengukuran dapat terjadi. Hal itu membuat suatu permukaan sesungguhnya (*real surface*) tidaklah dapat dibuat tiruan/ duplikatnya secara sempurna. Tiruan permukaan hasil pengukuran hanya bisa mendekati bentuk/konfigurasi permukaan sesungguhnya, dengan kata lain dapat disebut permukaan terukur (*measured surface*). Karena dalam pembuatan sebuah komponen dapat terjadi penyimpangan, maka permukaan geometri ideal (*geometrically ideal surface*), yaitu permukaan yang dianggap mempunyai bentuk yang sempurna, tidaklah dapat dibuat. Dalam prakteknya, seorang perancang akan menuliskan syarat

permukaan pada gambar teknik. Suatu permukaan yang disyaratkan pada gambar teknik ini disebut sebagai permukaan nominal (*nominal surface*).

Mengukur dan menyatakan besaran yang diukur dari suatu permukaan secara tiga dimensi sangat sulit dilakukan, sehingga dilakukan pembatasan-pembatasan. Permukaan hanya dipandang sebagai penampang permukaan yang dipotong (yang ditinjau relatif terhadap permukaan dengan *geometric ideal*) secara tegak lurus (*normal*), serong (*oblique*) atau singgung (*tangensial*). Ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa tingkat.

Tingkat	Profil terukur; bentuk grafik hasil pengukuran	Istilah	Contoh kemungkinan penyebabnya
1		Kesalahan bentuk (form error)	Kesalahan bidang-bidang pembimbing mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan posisi pengecaman benda kerja,
2		Gelombang (waviness)	Kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penyenteran perkakas, getaran dalam proses pemesinan.
3		Alur (grooves)	Jejak/bekas pemotongan (bentuk ujung pahat, gerak makan).
4		Serpihan (flakes)	Proses pembentukan geram, deformasi akibat proses pancar pasir, pembentukan module pada proses electroplating.
			Kombinasi ketidakteraturan dari tingkat 1 sampai dengan 4.

Gambar 1. Tabel ketidakteraturan suatu profil.

Permukaan merupakan suatu titik yang memisahkan antara suatu benda dengan sekelilingnya. Bentuk dari permukaan suatu benda memegang peranan penting dalam melakukan perancangan sebuah benda karena permukaan suatu benda berkaitan dengan gesekan, keausan, pelumasan dan lain sebagainya. Salah satu hal penting yang juga perlu diperhatikan dalam merancang sebuah benda adalah kekerasan permukaannya. Kekerasan permukaan sebuah benda tidak harus memiliki nilai yang kecil atau halus, tetapi terkadang sebuah produk memerlukan nilai kekasaran permukaan yang besar sesuai dengan fungsinya.

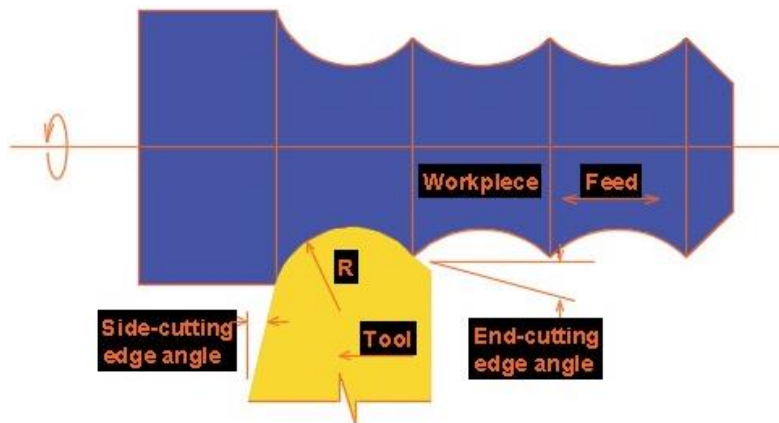
Terkadang dalam praktek di lapangan, didapati nilai kekasaran permukaan dari sebuah produk tidak sesuai dengan yang diharapkan. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti: (1) pemilihan mata pahat yang kurang tepat, (2) pahat yang digunakan sudah aus sehingga berpengaruh pada kemampuan pahat tersebut untuk memotong, dan (3) kesalahan proses atau tahapan yang dilakukan dalam proses pemesinan untuk membentuk atau membuat sebuah produk.

Terdapat empat tingkat ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan. Tingkat pertama merupakan ketidakteraturan makrogeometri. Tingkat kedua yang disebut dengan gelombang (*waviness*) merupakan ketidakteraturan periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar dari kedalamannya (amplitudonya). Tingkat ketiga atau alur (*grooves*) serta tingkat keempat yang disebut dengan serpihan (*flakes*), keduanya lebih dikenal dengan kekasaran (*roughness*). Empat tingkatan ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan jarang ditemukan secara terpisah/tersendiri melainkan kombinasi beberapa tingkat ketidakteraturan tersebut.

### Parameter kekasaran permukaan

Untuk memproduksi profil suatu permukaan, sensor/peraba (*stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Panjang





Gambar 3. Ilustrasi kekasaran permukaan secara teoritik.

Model teoritik kekasaran permukaan tersebut belum sempurna karena belum mempertimbangkan getaran mesin dan sifat material. Selain itu, model juga tidak mewakili pengaruh parameter proses, dimana kecepatan potong dan gerak makan memiliki pengaruh yang signifikan pada kekasaran permukaan.

## 2. Metode

Terdapat beberapa proses tahapan yang harus dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini. Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengamatan permasalahan tentang kekasaran permukaan benda kerja (poros), studi literatur yang mendukung penelitian. Selanjutnya pemilihan jenis material poros dan pahat potong yang akan digunakan. Setelah itu dilakukan pembuatan benda kerja dengan menggunakan mesin bubut. Dan hasil proses bubut diukur waktu pemotongan dan kekasaran permukaannya serta memperhatikan bentuk profil keausan pahat.

Sebelum melakukan pengukuran kekasaran permukaan, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi alat ukur kekasaran agar diperoleh ketelitian sesuai ketentuan. Proses pengukuran kekasaran permukaan benda kerja dilakukan pada empat bagian poros. Nilai kekasaran permukaan akan terlihat pada setiap titik yang telah ditentukan, dan besar nilai tersebut akan muncul pada layar alat ukur tersebut. Langkah selanjutnya adalah membandingkan nilai kekasaran permukaan yang didapat pada masing-masing hasil pengukuran. Kemudian diambil kesimpulan dari proses permesinan yang dilakukan seperti *nose radius* dari pahat yang cocok untuk material AISI 4140.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mesin bubut, pahat potong, benda kerja, dan komponen lainnya. Mesin bubut yang digunakan adalah mesin bubut tipe BJ 1660 A buatan China, yang menggunakan penggerak motor listrik dengan daya 7,5 kW, phase 3 dan frekuensi 50 Hz. Mesin bubut ini memiliki berat kurang lebih 2.500 kg. Pahat yang digunakan ialah pahat *carbides* Sumitomo WNMG dengan *nose radius* yang dipilih yaitu: 04 dan 08. Pengukuran kekasaran permukaan benda kerja menggunakan *surface roughness tester* Mitutoyo SurfTest Sj-210. Cara penggunaan alat ukur kekasaran ini adalah dengan menempelkan sensor alat ukur ke permukaan benda kerja yang akan diukur. Setelah sensor tertempel dengan benar, kemudian tekan tombol *start* dan tunggu beberapa saat hingga nilai kekasaran permukaan ditampilkan pada layar alat ukur. Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu material jenis AISI 4140, dimana sering digunakan untuk pembuatan poros pada umumnya. Di bawah ini adalah spesifikasi material AISI 4140.

Tabel 1. Komposisi material AISI 4140

Jenis	Kadar (%)
Carbon (C)	0,40
Silicon (Si)	0,25
Manganese (Mn)	0,85
Chromium (Cr)	1,00
Molybdenum (Mo)	0,25

### Prosedur pengujian

Untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan, diperlukan beberapa tahap proses pengukuran sebagai berikut:

1. Memberi tanda pada titik ukur benda kerja.
2. Memasang sensor alat ukur kekasaran pada *chasing*.
3. Mengukur kekasaran permukaan dengan menempelkan ujung sensor pada titik yang akan diukur nilai kekasaran permukaannya.
4. Catat komponen kekasaran permukaan seperti nilai  $R_a$ ,  $R_p$  dan  $R_t$  yang tertera pada layar alat ukur permukaan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Perhitungan teoritis

Pahat potong karbida sumitomo memiliki kecepatan potong ( $v_c$ ) sebesar 200 m/menit. Kecepatan potong ini akan menghasilkan putaran spindle sebesar 270,7 rpm. Nilai putaran *spindle* ini digunakan sebagai acuan untuk memilih elemen dasar proses pembuatan benda kerja, seperti putaran *spindle* dan gerak makan. Nilai putaran yang ada pada mesin perkakas adalah 48 rpm – 2.000 rpm. Pada penelitian ini putaran spindle yang digunakan yaitu 900 rpm.

#### Perhitungan proses pembuatan benda kerja

Proses pembuatan benda kerja dalam penelitian ini melalui 2 tahap. Tahap pertama adalah proses *facing* (bubut rata), yang bertujuan untuk meratakan permukaan benda kerja dan membuang sisa-sisa kotoran yang terdapat pada benda kerja. Pada tahap *facing* ini benda kerja yang dipotong adalah material AISI 4140 dengan kedalaman potong 1 mm, dengan *feeding* yang berbeda dari beberapa *sample* material. Tahap kedua adalah proses *finishing* dengan kedalaman potong 0,5 mm dengan *feeding* yang berbeda dari beberapa *sample* material. Selama proses pembubutan, spindle/kecepatan putar pada mesin yaitu 900 rpm. Pahat potong yang digunakan adalah pahat karbida sumitomo dengan *nose radius* 04 dan 08. Data yang didapat dari hasil perhitungan parameter permesinan adalah:

**Tabel 2. Hasil perhitungan pembubutan**

Parameter permesinan		900 rpm					
		F70	F80	F90	F100	F110	F120
Kecepatan potong (mm/menit)	$V = \frac{\pi d n}{1000}$	114,453	114,453	114,453	114,453	114,453	114,453
Kedalaman potong (mm)	$a = \frac{(d_o - d_m)}{2}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kecepatan potong (mm/menit)	$v = f \times n$	63	72	81	90	99	108
Waktu pemotongan (menit)	$t_c = \frac{l_c}{vf}$	1,59	1,39	1,23	1,11	1,01	0,92
Diameter rata-rata (mm)	$d = \frac{(d_o + d_m)}{2}$	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5
Kecepatan penghasil gram (cm <sup>3</sup> /menit)	$Z = f \times a \times v$	108,15	123,60	139,06	154,51	169,96	185,41

#### Hasil pengukuran kekasaran permukaan benda kerja

Dari pengukuran kekasaran permukaan, didapatkan nilai kekasaran permukaan rata-rata aritmatik ( $R_a$ ). Hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3. Kekasaran permukaan aritmatik ( $R_a$ )**

Pahat Carbides Sumitomo WNMG	900 rpm					
	F 70	F 80	F 90	F 100	F 110	F 120
R 04	3,101 $\mu$ m	4,050 $\mu$ m	5,125 $\mu$ m	6,328 $\mu$ m	7,657 $\mu$ m	9,112 $\mu$ m
R 08	1,550 $\mu$ m	2,025 $\mu$ m	2,562 $\mu$ m	3,164 $\mu$ m	3,828 $\mu$ m	4,556 $\mu$ m

Tabel 3 di atas menunjukkan nilai  $R_a$  hasil perhitungan kekasaran permukaan pada beberapa sampel benda kerja. Pahat dengan ujung pahat R 04 memiliki nilai  $R_a$  tertinggi pada sampel F12 dengan nilai 9,112  $\mu\text{m}$  dan nilai terendah pada sampel F70 dengan nilai 3,101  $\mu\text{m}$ . Sedangkan pahat dengan ujung pahat R 08 memiliki nilai  $R_a$  tertinggi pada sampel F12 dengan nilai 4,556  $\mu\text{m}$  dan nilai terendah pada sampel F70 dengan nilai 1,550  $\mu\text{m}$ .

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari pengamatan pembubutan benda kerja material AISI 4140 dengan menggunakan *nose radius* R 04 dan 08 jenis pahat *carbides* Sumitomo ialah:

1. Untuk mencapai nilai kekasaran N8 dengan nilai kekasaran 3,2  $\mu\text{m}$  toleransi 2,4  $\mu\text{m}$  – 4,8  $\mu\text{m}$ , maka radius pahat dan *feeding* yang digunakan antara lain:
  - R 04 dengan F 70 dengan nilai 3,101  $\mu\text{m}$ .
  - R 04 dengan F 80 dengan nilai 4,050  $\mu\text{m}$ .
  - R 08 dengan F 90 dengan nilai 2,562  $\mu\text{m}$ .
  - R 08 dengan F 100 dengan nilai 3,164  $\mu\text{m}$ .
  - R 08 dengan F 110 dengan nilai 3,828  $\mu\text{m}$ .
  - R 08 dengan F 120 dengan nilai 4,556  $\mu\text{m}$ .
2. Semakin besar *nose radius* yang digunakan maka nilai kekasaran yang didapatkan semakin rendah, dan semakin kecil *nose radius* yang digunakan maka nilai kekasaran yang didapatkan semakin tinggi.

#### Referensi

- [1] Abdullah, M. F., Abdullah, C., Hakimi, M. I., Sulong, A. B., & Ghani, J. A. 2010. Effects of insert nose radius and processing cutting parameter on the surface roughness of AISI 316 stainless steel. *In Key Engineering Materials*, 447, 51-54. Trans Tech Publications.
- [2] Daryanto, Drs. 2006, *Mesin Perkakasa Bengkel*. Jakarta: Rineka Cipta Dewanto dan Jonoadji. 1999, *Pengaruh Parameter Pemotongan dan Geometri Pahat terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Bubut*, Jurnal Teknik Mesin., Universitas Kristen Petra Surabaya.
- [3] Kalpakjian, Serope & Schmid, Steven (2006). *Manufacturing Engineering and Technology*, 5th Edition, Prentice Hall.
- [4] Koswara, E. 1999. *Pengujian Bahan Logam*. Humaniora Utama Press. Bandung
- [5] Paridawati. 2015. Pengaruh Kecepatan Dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Benda Kerja Pada Mesin Bubut. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 3 (1): 53-67.
- [6] Rochim, Taufik. 1993, *Dasar-dasar Perencanaan Perkakas dan Mesin- mesin Perkakas*. Rajawali Pers. Jakarta
- [7] Sumitomo. 2015- 2016. *Performance Cutting tools*. Sumitomo Electric. Japan
- [8] Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [9] Wiryosmarto, H. dan Toshie Okumoro. 1981. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.