

# PENGUJIAN KECEPATAN CAIRAN PENDINGIN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA PADA PROSES BUBUT KNUTH DM 1000 A

**Rudy Poeng, Frans P. Sappu**

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi Manado

## ABSTRAK

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yaitu melakukan pengujian mulai dari pembuatan benda uji, melakukan proses bubut dan pengukuran kekasaran permukaan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Unsrat. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data yang diperoleh langsung dari hasil pengukuran kekasaran permukaan benda uji hasil proses bubut pada kondisi pemotongan putaran 1000 rpm, gerak makan 0,25 mm, kedalaman potong 0,5 mm dan 1,00 mm dengan bervariasi posisi bukaan katub cairan pendingin  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$  dan  $60^{\circ}$ .

Dari hasil ini dapat disimpulkan variasi kecepatan cairan pendingin akan mempengaruhi secara mencolok terhadap kualitas kekasaran permukaan, yaitu bertambahnya kecepatan cairan pendingin akan menurunkan kekasaran permukaan atau meningkatkan kualitas permukaan benda kerja pada proses bubut.

Kata Kunci: Kecepatan Cairan Pendingin, Kekasaran Permukaan, Proses Bubut

## 1. PENDAHULUAN

Mesin bubut adalah suatu mesin perkakas yang mempunyai gerakan utama yang berputar berfungsi untuk mengubah bentuk dan ukuran benda kerja dengan cara meraut benda kerja tersebut menggunakan pahat potong. Posisi benda kerja berputar sesuai dengan sumbu mesin dan pahat bergerak relatif terhadap benda kerja ke kanan/kiri searah sumbu mesin bubut untuk melakukan proses pemotongan. Dalam proses pemotongan logam dengan mesin bubut akan terjadi gesekan antara pahat dengan benda kerja yang mengakibatkan temperatur tinggi pada daerah pemotongan sehingga terjadi kerusakan pahat dan permukaan benda kerja.

Pendinginan pada proses bubut memiliki fungsi langsung yang dikehendaki oleh perencana proses pemesinan dan operator mesin perkakas, melumasi proses pemotongan khususnya pada kecepatan potong rendah, mendinginkan benda kerja khususnya pada kecepatan potong tinggi dan membuang geram dari daerah pemotongan. Selain itu fungsi tak langsung yang menguntungkan dengan adanya penerapan cairan pendingin tersebut, melindungi permukaan yang dipotong dari korosi dan memudahkan pengambilan benda kerja karena bagian yang panas telah didinginkan.

Tingkat kehalusan suatu permukaan merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin perkakas, terutama berhubungan dengan masalah gesekan, pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Oleh karena itu, dalam

perencanaan dan pembuatan benda kerja dengan mesin bubut harus dipertimbangkan terlebih dahulu mengenai proses pemotongan yang akan dilakukan apakah dengan proses pemotongan tanpa menggunakan cairan pendingin atau menggunakan cairan pendingin. Sesungguhnya pemotongan pada mesin bubut dengan menggunakan cairan pendingin hasil permukaan benda kerja akan lebih baik dan umur pahat potong relatif lama.

Penelitian tentang kekasaran permukaan benda kerja pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Febriyano, 2015) dengan hasil yang diperoleh bahwa variasi *cutting speed* pada mesin bubut tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil permukaan benda kerja akan tetapi variasi *feeding rate* memberikan pengaruh yang signifikan untuk proses pemesinan tanpa menggunakan cairan pendingin. Sedangkan penelitian ini dengan proses pemesinan menggunakan cairan pendingin untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana mengetahui kekasaran permukaan benda kerja dengan bervariasi cairan pendingin pada proses bubut KNUT DM 1000 A.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hasil pengujian kecepatan cairan pendingin terhadap kekasaran permukaan benda kerja pada proses bubut KNUT DM 1000 A .

Batasan masalah dalam penelitian ini, adalah,

1. Alat pengukur kekasaran yang digunakan adalah *Surface Roughness Tester type Marsurf PS 10* yang ada di Laboratorium Teknik Mesin Unsrat;
2. Bahan yang digunakan sebagai benda kerja dalam proses pemesian bubut, yaitu baja poros berukuran 1 inci (25,4 mm);
3. Proses pembubutan menggunakan sistem pemotongan tegak dengan posisi bukaan katup cairan pendingin  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$  dan  $60^{\circ}$ ;
4. Cairan pendingin yang digunakan adalah dromus;
5. Pahat bubut yang digunakan karbida dan keausannya tidak diteliti;
6. Kondisi pemotongan mesin bubut yang digunakan yaitu putaran 700 rpm dan gerak makan 0,25 mm adalah konstan pada kedalaman potong yang berbeda 0,25 mm dan 1,00 mm.

Manfaat dari penelitian dari penelitian ini yaitu,

1. Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenisnya untuk pengembangan pengetahuan tentang pengaruh kekasaran permukaan pada proses pemotongan, dalam hal ini proses pemotongan pada mesin bubut;
2. Sebagai masukan serta informasi dalam meningkatkan kualitas produk dari proses pemotongan pada mesin bubut terkait dengan kekasaran permukaan;
3. Mengetahui prosedur pengukuran kekasaran permukaan hasil pemotongan pada mesin perkakas nonkonvensional;
4. Memberikan masukan kondisi mesin bubut KNUTH DM 1000 A yang ada di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin UNSRAT, sehingga dapat dilakukan tindakan pemakaian yang sesuai.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Proses Pemesian

Dalam industri manufaktur proses pemesian merupakan salah satu cara untuk menghasilkan produk dalam jumlah banyak dengan waktu relatif singkat. Banyak sekali jenis mesin yang digunakan, ini berarti mengarah pada proses yang berbeda-beda untuk setiap bentuk produk. Dalam proses pemesian, benda kerja merupakan jenis material dengan sifat mekanis tertentu yang dipotong secara kontinyu oleh pahat potong untuk menghasilkan bentuk sesuai keinginan, oleh sebab itu perlu penyesuaian material pahat. Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk dari logam (komponen mesin) dengan cara memotong. Proses pemotongan dengan menggunakan pahat potong

yang dipasang pada mesin perkakas dalam istilah teknik sering disebut dengan nama proses pemesian. Komponen mesin yang terbuat dari logam mempunyai bentuk yang beraneka ragam. Umumnya mereka dibuat dengan proses pemesian dari bahan yang berasal dari proses sebelumnya yaitu proses penuangan (casting) dan atau proses pengolahan bentuk (metal forming). Karena bentuknya yang beraneka ragam tersebut maka proses pemesian yang dilakukannya pun bermacam-macam sesuai dengan bidang yang dihasilkan yaitu silindrik atau rata. Klasifikasi proses pemesian dibagi menjadi tiga yaitu menurut jenis gerakan relatif pahat/perkakas potong terhadap benda kerja, jenis mesin perkakas yang digunakan, dan pembentukan permukaan.

Pahat yang bergerak relatif terhadap benda kerja akan menghasilkan geram dan sementara itu permukaan benda kerja secara bertahap akan terbentuk menjadi komponen yang dikehendaki. Pahat tersebut dipasang pada suatu jenis mesin perkakas dan dapat merupakan salah satu dari berbagai jenis pahat/ perkakas potong disesuaikan dengan cara pemotongan dan bentuk akhir dari produk. (Rochim, 2002)

### 2.2 Proses bubut

Mesin Bubut adalah suatu Mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar. Bubut sendiri merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja. Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakkan translasi dari pahat disebut gerak umpan.

Dengan mengatur perbandingan kecepatan rotasi benda kerja dan kecepatan translasi pahat maka akan diperoleh berbagai macam ulir dengan ukuran kisar yang berbeda. Hal ini dapat dilakukan dengan jalan menukar roda gigi translasi yang menghubungkan poros spindel dengan poros ulir. (Rochim, 2002)



Gambar 2.1 Mesin bubut KNUTH DM 1000 A di Laboratorium Teknik Mesin Unsrat

### 2.3 Cairan Pendingin

Pada proses pemesinan akan timbul panas yang tinggi, maka dibutuhkan menurunkan panas tersebut dengan menggunakan cairan pendingin. Cairan pendingin memiliki fungsi yang sangat penting dalam proses pemesinan. Baik itu dalam pembubutan, pengefraisan, pengeboran, dan lain-lain.

Dalam proses pemesinan, cairan pendingin yang biasa digunakan memiliki warna putih seperti susu. Cairan tersebut merupakan campuran dari air biasa dan *dromus oil*. *Dromus oil* adalah suatu cairan yang dapat larut dalam air dan membentuk emulsi putih yang sangat stabil ketika sudah tercampur dengan air. Adapun kegunaan cairan pendingin adalah sebagai berikut, (Rochim, 2002)

1. Menstabilkan suhu benda kerja  
Fungsi utama dari cairan pendingin adalah menstabilkan suhu benda kerja ketika sedang diproses. Ketika benda kerja tersayat akan menimbulkan gesekan antara benda kerja dengan alat potong. Gesekan tersebut akan menimbulkan panas. Apalagi pada saat menggunakan kecepatan potong yang tinggi. Sehingga perlu didinginkan menggunakan cairan pendingin;
2. Melumasi ketika proses pengerjaan  
Dalam proses pemesinan, pelumasan pada benda kerja juga merupakan sesuatu yang penting. Pelumasan yang tepat, dapat melancarkan proses pengerjaan benda kerja;
3. Memperpanjang umur alat potong  
Penggunaan cairan pendingin sangat berpengaruh dalam proses pemotongan. Dengan suhu yang stabil, ketajaman alat potong dapat terjaga atau lebih awet. Sehingga tidak perlu terlalu sering mengasah atau mempertajam alat potong;
4. Mengurangi deformasi benda kerja  
Deformasi merupakan perubahan bentuk atau ukuran benda kerja akibat panas yang diterima. Umumnya disebut pemuaiian. Hal ini tentu saja akan mempengaruhi ukuran hasil akhir benda kerja. Sehingga membutuhkan cairan pendingin untuk mengatasi masalah tersebut;
5. Membersihkan kotoran ketika proses pengerjaan  
Tak jarang geram atau sisa hasil potongan berada di permukaan benda kerja. Hal ini dapat mengganggu proses pengerjaan benda kerja. Untuk membersihkan geram tersebut, operator dapat menggunakan cairan pendingin. Karena sangat berbahaya apabila membersihkan menggunakan tangan;

6. Melindungi benda kerja dari korosi atau karatan  
Untuk benda kerja logam, karatan merupakan suatu masalah. Dengan menggunakan cairan pendingin, benda kerja dapat terlindung dari karatan. Tapi alangkah baiknya, benda kerja yang telah melalui proses pengerjaan sebaiknya dilumasi dengan oli. Agar lebih terlindung dari korosi atau karatan;
7. Memudahkan operator dalam mengambil benda kerja  
Setelah mengalami proses pengerjaan, suhu benda kerja pasti akan meningkat. Untuk memudahkan pengambilan benda kerja, suhu benda kerja harus distabilkan terlebih dahulu menggunakan cairan pendingin;
8. Menghaluskan permukaan benda kerja  
Untuk beberapa jenis material, penggunaan cairan pendingin dapat memperhalus permukaan benda kerja. Biasanya ketika menggunakan kecepatan potong yang rendah dan penggunaan cairan pendingin yang terus menerus;

### 2.4 Kecepatan Aliran

Untuk mencari kecepatan aliran ( $V$ ) berdasarkan debit aliran ( $Q$ ) dan luas penampang ( $A$ ). Diketahui persamaan debit aliran:

$$Q = V \cdot A \text{ (mm}^3\text{/detik)} \quad (2.1)$$

Dari persamaan 2.1 dapat dijabarkan menjadi:

$$V = \frac{Q}{A} \text{ (mm/detik)} \quad (2.2)$$

Jika diketahui debit aliran dan waktu aliran ( $t$ ), maka dapat menghitung volume aliran ( $v$ ) dengan persamaan berikut:

$$v = Q \cdot t \text{ (mm}^3\text{)} \quad (2.3)$$

Dari persamaan 2.3 dapat dijabarkan menjadi:

$$Q = \frac{v}{t} \text{ (mm}^3\text{/detik)} \quad (2.4)$$

Persamaan 2.4 disubstitusikan ke persamaan 2.2, diperoleh kecepatan aliran:

$$V = \frac{v}{t \cdot A} \text{ (mm/detik)} \quad (2.5)$$

### 2.5 Kekasaran Permukaan

#### 2.5.1 Batasan permukaan

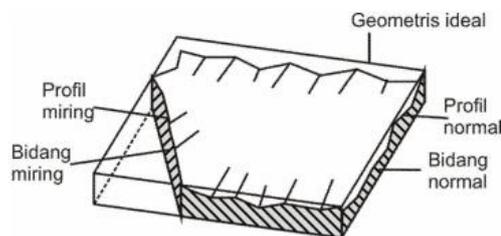
Permukaan yang dimaksud di sini adalah batas yang memisahkan benda padat dengan sekelilingnya. Dalam prakteknya, bahan yang digunakan untuk benda kebanyakan dari besi atau logam. Oleh karena itu, benda-benda padat yang bahannya terbuat dari tanah, batu, kayu dan karet tidak akan disinggung dalam pembicaraan mengenai karakteristik permukaan dan pengukurannya.

Kadang-kadang ada pula istilah lain yang berkaitan dengan permukaan yaitu profil. Istilah profil sering disebut dengan istilah lain yaitu

bentuk. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Untuk mengukur dan menganalisis suatu permukaan dalam tiga dimensi adalah sulit.

Oleh karena itu, untuk mempermudah pengukuran maka penampang permukaan perlu dipotong. Cara pemotongan biasanya ada empat cara yaitu pemotongan normal, serong, singgung dan pemotongan singgung dengan jarak kedalaman yang sama. Garis hasil pemotongan inilah yang disebut dengan istilah profil, dalam kaitannya dengan permukaan. Dalam analisisnya hanya dibatasi pada pemotongan secara normal. Gambar 2.2. menunjukkan perbedaan antara bidang dan profil.

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

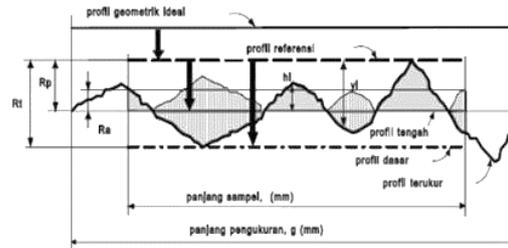


Gambar 2.2 Bidang dan profil pada penampang permukaan (Handoko, 2008)

#### 2.5.2 Parameter kekasaran permukaan

Beberapa parameter yang bisa dijabarkan dari profil suatu permukaan adalah,

- Kedalaman Total (*Peak to Valley*),  $R_t$ ; Kedalaman total adalah besarnya jarak dari profil referensi sampai dengan profil
- Kedalaman Perataan (*Peak to Mean Line*),  $R_p$  Kedalaman perataan ( $R_p$ ) merupakan jarak rata-rata dari profil referensi sampai dengan profil terukur. Juga dikatakan bahwa kedalaman perataan merupakan jarak antara profil tengah dengan profil referensi;
- Kekasaran Rata-rata Aritmetis, (*Roughness Average*),  $R_a$   
kekasaran rata-rata  $R_a$  adalah harga rata-rata aritmetik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.



Gambar 2.3 Profil suatu permukaan (Handoko, 2008)

Dari bermacam-macam parameter permukaan tersebut, parameter  $R_a$  relatif lebih banyak digunakan untuk mengidentifikasi. Parameter  $R_a$  cocok apabila digunakan untuk memeriksa kualitas permukaan komponen mesin yang dihasilkan dalam jumlah yang banyak dengan menggunakan suatu proses pemesinan tertentu, karena harga  $R_a$  lebih sensitif terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan. Dengan demikian, jika permukaan produk dimonitor dengan menggunakan  $R_a$ , maka tindakan pencegahan permukaan dapat dilakukan jika ada tanda-tanda bahwa ada peningkatan kekasaran (misalnya dengan mengasah atau mengganti perkakas potong atau batu gerindanya).

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

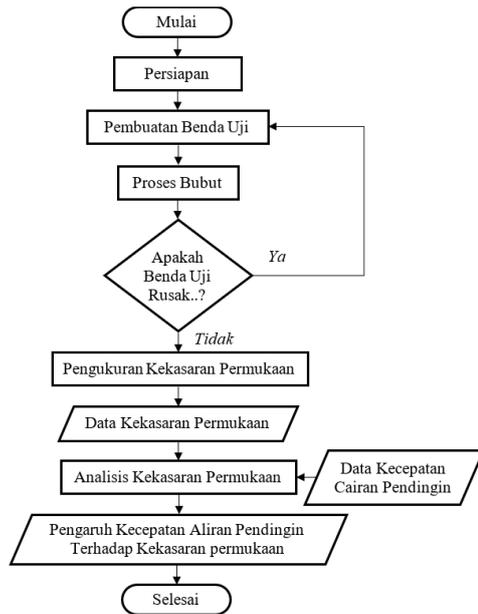
#### 3.1 Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, berupa bahan atau benda kerja yang dijadikan benda uji, yaitu baja poros, dengan menggunakan peralatan:

1. Mesin bubut dan perlengkapannya
2. Mesin potong (*Cut-off*)
3. *Stopwacht*
4. *Surface Roughness Tester type Marsurf PS 10.*
5. Gelas ukur

#### 3.2 Prosedur Penelitian

Metode penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang dilaksanakan secara sistematis seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Prosedur Penelitian

### 3.4 Pengolahan Data

#### 3.4.1 Sumber Data

Sumber data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah data primer yang langsung didapatkan dari obyek pelaksanaan penelitian ini, yaitu melakukan pengujian pada proses bubut KNUTH DM 1000 A. Dan dari hasil pengujian proses bubut, benda uji dilakukan pengukuran kekasaran permukaan menggunakan *Roughness tester type Marsurf PS 10*.

#### 3.4.2 Pengujian Pembubutan

##### 1. Benda Uji

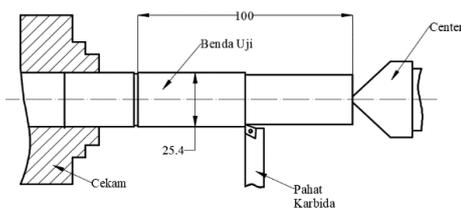
Benda kerja yang dijadikan benda uji, dengan data sebagai berikut:

Bahan : Baja porous;  
 Panjang : 100 mm;  
 Diameter : 25,4 mm.

##### 2. Mesin Bubut dan Pahat

Mesin bubut dan geometri pahat yang digunakan dalam pengujian ini, dengan data sebagai berikut,

Tipe : KNUTH  
 DM 1000 A;  
 Sudut potong utama ( $K_r$ ) :  $90^\circ$ ;  
 Jenis pahat : Karbida.



Gambar 3.2 Dimensi benda uji

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengamatan

#### 4.1.1 Data Hasil Pengukuran Waktu Aliran Cairan Pendingin

Hasil pengukuran waktu aliran cairan pendingin dari pengujian yang dilakukan dengan menggunakan alat ukur *stopwacht*, gelas ukur dan posisi bukaan katub  $0^\circ$  (peneliti sebelumnya),  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , seperti diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran waktu aliran pendingin

No	Posisi Katub( $^\circ$ )	Waktu Alirant (detik)			Keterangan
		I	II	III	
1	0	0	0	0	Tanpa Cairan Pendingin (Peneliti Sebelumnya)
2	30	28	26	28	Dengan Cairan Pendingin
3	60	6	6	6	Dengan Cairan Pendingin

Dari hasil perhitungan kecepatan aliran pendingin pada tiga variasi posisi katub, maka dapat ditabelkan seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kecepatan aliran

No	Posisi Katub ( $^\circ$ )	Kecepatan Aliran $V_a$ (mm/detik)
1	0	0,00
2	30	0,55
3	60	2,51
4	90	3,48

#### 4.1.3 Data Hasil Pengujian

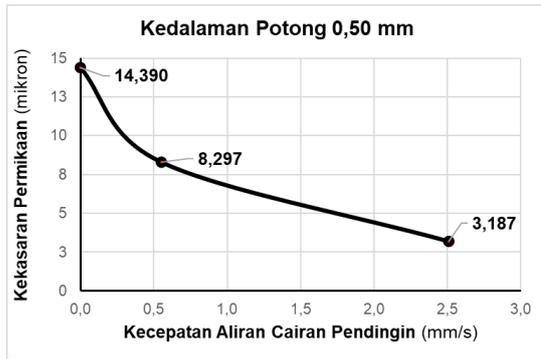
Data hasil pengukuran kekasaran permukaan *Roughness Average (Ra)*, diperlihatkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran kekasaran permukaan

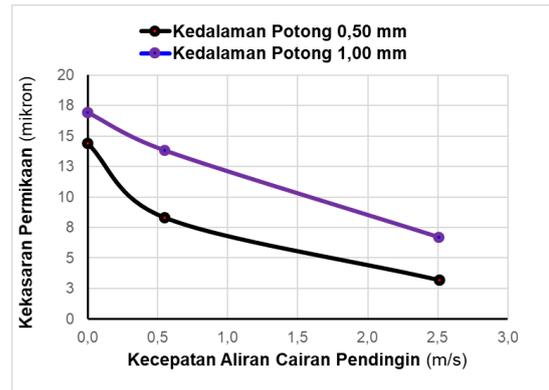
No	Posisi Katub ( $^\circ$ )	Kecepatan Cairan Pendingin $V_a$ (mm/s)	Pengukuran Kekasaran Permukaan			
			I	II	III	Rata-rata
Kedalaman Potong $a = 0,50$ mm						
1	0	0,000	12,764	14,568	15,837	14,390
2	30	0,551	4,764	15,079	5,049	8,297
3	60	2,511	2,179	2,989	4,393	3,187
Kedalaman Potong $a = 1,00$ mm						
1	0	0,000	15,542	14,931	16,459	15,644
2	30	0,551	10,059	17,082	18,169	15,103
3	60	2,511	12,223	4,655	3,143	6,674

### 4.2 Hasil Pengolahan Data

#### 4.2.1 Analisis Kekasaran Permukaan pada Kedalaman Potong 0,50 mm



Gambar 4.1 kecepatan cairan pendingin terhadap kekasaran permukaan untuk kedalaman potong 0,50 mm



Gambar 4.3 Pengaruh kecepatan cairan pending terhadap kekasaran permukaan untuk kedua kedalaman potong

4.2.2 Analisis Kekasaran Permukaan pada Kedalaman Potong 0,50 mm



Gambar 4.2 kecepatan cairan pendingin terhadap kekasaran permukaan untuk kedalaman potong 1,00 mm

4.3 Pembahasan

Pembahasan dari penelitian ini yaitu pengaruh kecepatan cairan pendingin terhadap kekasaran permukaan benda uji hasil proses bubut.

1. Pengaruh Bukaasi Posisi Katub

Dari grafik 4.1 dan 4.2, terlihat bahwa dengan bertambah besar posisi bukaasi katub cairan pendingin akan menurunkan kekasaran permukaan. Dengan demikian semakin banyaknya cairan pendingin atau semakin bertambahnya kecepatan cairan pendingin akan meningkatkan kualitas permukaan benda uji;

2. Pengaruh Kedalaman Potong

Grafik pengaruh kecepatan cairan pendingin terhadap kekasaran permukaan, diperlihatkan pada Gambar 4.3. Dari gambar grafik ini menjelaskan bahwa kedalaman potong 1,00 mm lebih tinggi kekasaran permukaan dibandingkan dengan kedalaman potong 0,50 mm. Dengan demikian semakin dalam pemotongan proses bubut akan menurunkan kualitas permukaan benda uji.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian yang dilakukan diperoleh bahwa kecepatan cairan pendingin 0,00 menghasilkan kekasaran permukaan rata-rata 15,644  $\mu\text{m}$ , kecepatan cairan pendingin 15,103 mm/s menghasilkan kekasaran permukaan 8,297  $\mu\text{m}$  dan kecepatan cairan pendingin 2,511 mm/s menghasilkan kekasaran permukaan 6,674  $\mu\text{m}$ . Dari hasil ini dapat disimpulkan dengan bertambahnya kecepatan cairan pendingin akan menurunkan kekasaran permukaan atau meningkatkan kualitas permukaan benda kerja pada proses bubut.

5.2 Saran

- Dianjurkan kepada operator mesin bubut tidak menggunakan bukaasi posisi katub diarah 60<sup>0</sup>, sebab akan terjadi percikan cairan pendingin yang banyak sehingga membahayakan operator oleh sebab itu dianjurkan dipasang kotak pelindungan cairan pendingin di daerah pemotongan ketika melakukan proses bubut;
- Dalam proses bubut disarankan tidak menggunakan kedalaman potong yang besar, karena akan menaikkan kekasaran permukaan benda kerja oleh sebab itu dianjurkan menggunakan kondisi pemotongan yang sesuai sehingga akan menaikkan hasil proses bubut benda kerja.

DAFTAR PUSTAKA

Febriyano, R, Sutrisno, A, Poeng, R, 2015. Analisis Pengaruh *Cutting Speed* dan *Feeding Rate* Mesin Bubut Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja dengan Metode Analisis Varians, Jurnal Online Poros Teknik Mesin Unsrat Vol.4. No.2.

- Handoko, Prayoga, 2008. Studi Parameter Permesinan Optimum pada Operasi CNC End Milling Surface Finish Bahan Aluminium. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Rochim, T. 2002. Klasifikasi Proses Gaya dan Daya Pemesinan, Institut Teknologi Bandung.