

# PENGARUH SUDUT PENYAYATAN DAN JUMLAH MATA SAYAT *ENDMILL CUTTER* TERHADAP TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 40 HASIL PEMESINAN CNC *MILLING TOSURO* KONTROL GSK 983 Ma-H

Zainuddin, Budi Harjanto, dan Danar Susilo Wijayanto

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, FKIP, UNS  
Kampus UNS Pabelan Jl. Ahmad Yani 200, Surakarta, Tlp/Fax 0271 718419

E-mail: [zenze87@yahoo.com](mailto:zenze87@yahoo.com)

## ABSTRACT

The purpose of this study is to determine: (1) the effect of endmill cutter primary angel to the roughness level of steel ST 40 machining result by Tosuro CNC Milling controlled by GSK 983 Ma-H. (2) The effect of the endmill cutter flute amount to the roughness level of steel ST 40 machining result by Tosuro CNC Milling controlled by GSK 983 Ma-H. (3) a combination of primary angel and the flute amount of endmill cutter which produces the smallest level of roughness. This study is an experiment that uses two-factor variables (angle incision and the number of eyes slice endmill cutter) and one dependent variable (the level of surface roughness). This study was conducted at the Machining Practices Laboratory of SMK Warga Surakarta for the formation of Test Objects and implementation of the machining process using Tosuro CNC Milling controlled by GSK Ma-H. The level of the surface roughness conducted at Engineering Materials Laboratory of Mechanical Engineering Diploma, The Faculty of Engineering, GadjahMada University. The research method used in this study is an experimental method with analytic descriptive analytical techniques. The results showed that there was primary angel and the flute amount of endmill cutter effect to the roughness level of steel ST 40 machining result by Tosuro CNC Milling controlled by GSK 983 Ma-H. The smallest combination of primary angel and the flute amount of endmill cutter toward the roughness level of steel ST 40 machining results process by TS 218 CNC Milling is on the interaction between primary angel of  $5^\circ$  and 4 flutes of endmill cutter is equal to  $0,2013 \mu m$  and the greatest of the roughness level of steel ST 40 machining results process by TS 218 CNC Milling is on the interaction between primary angel of  $10^\circ$  and 2 flutes of endmill cutter is equal to  $0,4691 \mu m$ . The more the amount of endmill cutter the smaller the level of the roughness.

**Keywords:** *CNC milling, endmill cutter, primary angle, roughness level, ST 40*

## PENDAHULUAN

Dalam perjalanan perkembangan teknik produksi, didapatkan tuntutan-tuntutan produk hasil produksi harus benar-benar sesuai dengan standar yang diberlakukan di pasaran internasional, baik itu dilihat dari bentuk

profilnya, kepresisian ukuran, kekasaran permukaan, kekerasan, kelenturan bahan, dan banyak hal yang lain yang harus sesuai dengan standar internasional yang diberlakukan. Hal ini menuntut perlunya dikembangkan ilmu produksi yang berkaitan dengan ilmu merancang, ilmu bahan, ilmu pemesinan, yang

itu semua membutuhkan terobosan baru untuk mengejar produk yang laku di pasaran dunia.

Salah satu bentuk kemajuan dalam proses produksi adalah dengan ditemukannya mesin perkakas yang berbasis komputer yang lebih dikenal dengan mesin CNC (*Komputer Numerical Control*).

Dengan menggunakan mesin CNC dapat memproduksi produk dalam jumlah yang besar dan cepat, karena perintah pembuatan produk tersimpan dalam CPU mesin CNC *milling* dalam bentuk program. Ketika ingin membuat produk/benda kerja yang sama dan dalam jumlah yang banyak, maka program yang tersimpan dalam mesin tinggal dibuka dan dijalankan. Selain jumlah produk yang dapat ditingkatkan kuantitasnya dan waktu produksi dapat dipercepat, mesin CNC *milling* juga dapat menghasilkan produk dengan tingkat ketepatan ukuran atau kepresisian yang cukup tinggi. Mengingat banyaknya keuntungan yang didapatkan dengan penggunaan mesin CNC *milling* maka banyak industri dan bengkel pemesinan yang menggunakan mesin CNC *milling* untuk mendapatkan produksi yang berkualitas.

Suatu proses produksi dengan mesin CNC akan selalu memperhatikan kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkan. Untuk kuantitas barang hasil pemesinan dengan mesin frais CNC dapat dilakukan dengan

meningkatkan tingkat kecepatan sayat pisau frais, sehingga akan didapatkan proses produksi yang cepat. Kualitas barang hasil pemesinan dengan mesin frais CNC dapat ditinjau salah satunya dari segi tingkat kehalusan produk yang dihasilkan.

Kehalusan suatu produk hasil pemesinan sangat berpengaruh dengan fungsi sebagai apa produk tersebut itu dibuat. Sebagai contoh apabila dua komponen bekerja saling bergesekan, maka tingkat kehalusan antara kedua komponen tersebut berperan sangat penting demi keberlangsungan suatu proses kerja. Komponen yang saling bergesekan akan menyebabkan keausan dan lama-kelamaan akan habis sehingga efisiensi kerja akan menurun. Gesekan akan meningkat apabila permukaan yang saling bergesekan semakin kasar, sehingga suatu komponen dibuat sedemikian rupa sehingga gesekan yang timbul dapat diminimalisir. Mengingat pentingnya tingkat kekasaran permukaan produk mesin CNC *milling*, maka di setiap gambar benda kerja sering disyaratkan tentang tingkat kekasaran yang harus dipenuhi.

Tingkat kekasaran permukaan hasil CNC *milling* dapat dipengaruhi oleh dua faktor yaitu: 1) faktor yang masuk dalam program seperti: kecepatan pemakanan ( $F$ ), kecepatan spindel ( $S$ ) dan kedalaman pemakanan ( $DoC$ ), (2) faktor yang tidak

masuk dalam program seperti: geometri pahat, jumlah mata sayat pahat dan bahan benda kerja.

Penelitian tentang kehalusan permukaan terhadap hasil pemesinan dengan mesin perkakas telah banyak dilakukan, tetapi untuk penelitian tentang faktor yang tidak masuk dalam program belum begitu banyak dilakukan, terutama yang berhubungan dengan geometri pahat dan jumlah mata sayat pahat (*endmill*).

## LANDASAN TEORI

CNC adalah suatu mesin produksi berbasis komputer yang dikendalikan dengan menggunakan bahasa numerik (*numerically control*), yaitu perintah yang berupa kode huruf dan angka yang dapat dipahami oleh komputer (bahasa pemrograman). Jika pada blok mesin ditulis M03S1000, maka spindle akan berputar dengan kecepatan 1000 rpm.

Pada pekerjaan dengan mesin konvensional, informasi pengerjaan diberikan dengan memutar roda tangan, memindahkan tuas atau mengubah saklar mesin. Pada mesin CNC, kode-kode dilakukan dengan cara kendali terpadu dan perintah-perintah yang diterjemahkan pada mesin itu. Program CNC adalah sejumlah urutan logis yang disusun dengan kode-kode huruf dan angka yang bisa dimengerti oleh unit kontrol mesin. Program

mesin CNC dibuat khusus untuk mesin tertentu dan untuk pembuatan produk tertentu pula.

Mesin CNC dapat bekerja apabila telah memenuhi keenam syarat, yaitu:

1. Mesin menyala (*Swicth On*)
2. Mencapai titik acuan (*Reference Point*)
3. Penggeseran titik nol (*Zero Offset*)
4. Penetapan pada pahat (*Tool Data*)
5. Memasukkan data mesin (*Machine Data*)
6. Memasukkan program CNC (*Part Programming*)

Mesin CNC *milling* ini menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat kartesius:

“Apabila tiga jari tangan kanan diatur sedemikian rupa sehingga letaknya saling tegak lurus, maka jari tengah menunjukkan sumbu Z, jari telunjuk menunjukkan sumbu Y, dan ibu jari menunjukkan sumbu X”

Untuk mesin *milling* vertikal posisi sumbu Z adalah tegak, sumbu Y adalah arah melintang meja, dan sumbu X adalah arah memanjang meja.

Pengoperasian mesin CNC dilaksanakan dengan layanan CNC, dimana proses dikontrol komputer dengan memasukkan data numerik. Sistem ini beroperasi secara otomatis dan dapat menginterpretasikan kode-kode numerik yang

berupa huruf, angka dan simbol untuk membuat suatu bentuk dari kerja benda. Program NC adalah suatu urutan perintah yang disusun secara terperinci setiap blok per blok untuk memberitahu mesin CNC tentang apa yang harus dilakukan.

### **Kecepatan Potong dan Kecepatan Spindel.**

Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada proses penyayatan atau pemotongan benda kerja (Suhardi, 1999:74). Harga kecepatan potong ditentukan oleh jenis alat potong dan jenis benda kerja yang dipotong :

$$V_s = \frac{\pi \times d \times S}{1000} \text{ m/menit}$$

Keterangan :

$V_s$  = kecepatan potong dalam m/menit

$d$  = diameter pisau dalam mm

$S$  = kecepatan spindel dalam rpm

Kecepatan potong dipergunakan untuk menentukan kecepatan putaran spindel, semakin cepat putaran spindel maka akan berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja, (Suhardi, 1999:74). Dari kecepatan potong dan diameter benda kerja, maka kecepatan spindel bisa didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{V_s \times 1000}{\pi \times d} \text{ Rpm}$$

Keterangan :

$V_s$  = Kecepatan potong dalam m/menit

$d$  = Diameter pisau dalam mm

$S$  = Kecepatan spindel dalam rpm

## **Bagian-bagian Utama Mesin CNC Milling**

### **1. Step Motor**

Step motor adalah motor penggerak eretan, masing-masing eretan mempunyai step motor sendiri-sendiri, yaitu penggerak sumbu X, penggerak sumbu Y, dan penggerak sumbu Z. Jenis dan ukuran masing-masing step motor adalah sama.

### **2. Motor Utama**

Motor utama adalah motor penggerak rumah alat potong (*Milling Taper Spindle*) untuk memutar alat potong/*tool*.

### **3. Eretan (Support)**

Eretan adalah gerakan persumbuan jalannya mesin, untuk mesin 3 axis mempunyai 2 fungsi gerakan kerja, yaitu posisi vertikal dan posisi horisontal.

### **4. Rumah Alat Potong (*Milling Taper Spindle*)**

Rumah alat potong pada mesin *milling* digunakan untuk menjepit penjepit alat potong (*tool holder*) pada waktu proses pengerjaan benda kerja. Adapun sumber putaran dihasilkan dari putaran motor utama yang mempunyai kecepatan putar antara 300-2000 putaran/menit. Pada CNC *milling* hanya memungkinkan menjepit satu alat potong.

## 5. Ragum

Ragum pada mesin CNC *milling* digunakan untuk menjepit benda kerja pada waktu proses penyayatan benda kerja berlangsung.

## 6. Bagian Pengendali/Kontrol

Bagian pengendali/kontrol merupakan blok kontrol mesin CNC dengan tombol-tombol dan saklar yang dilengkapi dengan monitor. Pada bok kontrol merupakan unsur layanan langsung berhubungan dengan operator.

### *Tool Grinding*

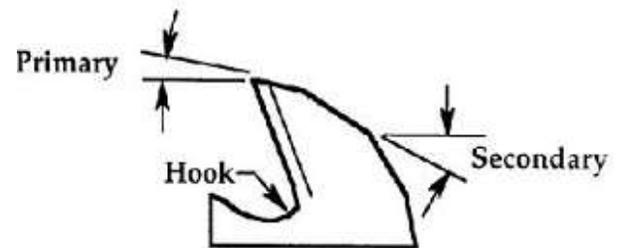
*Tool grinding* adalah suatu peralatan pemesinan yang digunakan untuk mengasah pahat endmill maupun mata bor. Gerak utama *tools grinding* berputar, putaran diperoleh dari motor listrik, putaran tersebut memutar roda gerinda yang terpasang pada poros motor. Proses penyayatan terjadi karena *tools* disentuhkan secara halus terhadap roda gerinda, bahan *abrasive* pada roda gerinda akan menyayat/mengikis pisau tersebut.



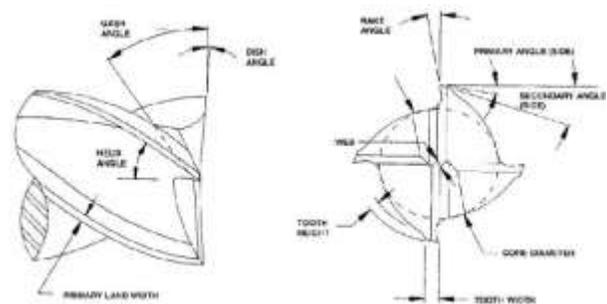
Gambar 1. *Tool Grinding*

### *Endmill cutter*

Pisau jari (*endmill*) merupakan salah satu jenis *cutter* mesin CNC *milling* yang banyak digunakan. Ukuran *cutter* jenis ini sangat bervariasi, mulai ukuran kecil sampai ukuran besar. Biasanya *cutter* ini terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida, dan memiliki satu atau lebih alur (*flute*). *Cutter* ini dipakai untuk membuat alur pada bidang datar atau pasak dan umumnya dipasang pada posisi tegak (vertikal), namun pada kondisi tertentu dapat juga dipasang pada posisi horisontal.



Gambar 2. Desain Sisi Potong *Endmill cutter*



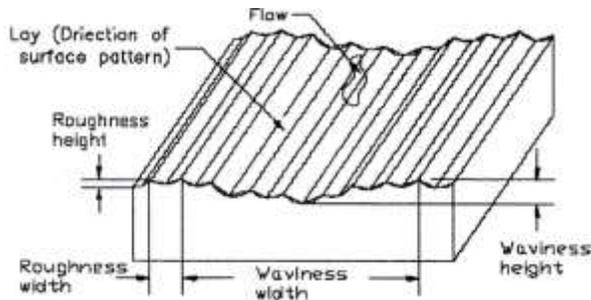
Gambar 3. Geometri Sisi Potong *Endmill cutter*

### **Kekasaran**

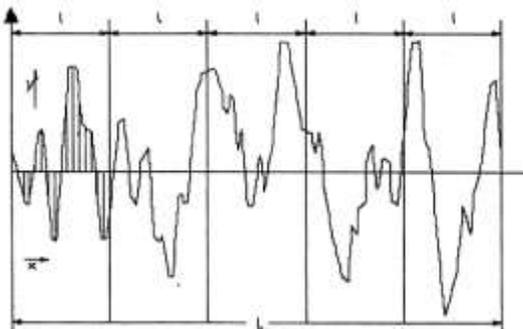
Tekstur permukaan adalah pola dari permukaan yang menyimpang dari suatu permukaan nominal. Penyimpangan mungkin

acak atau berulang yang diakibatkan oleh kekasaran, *waviness*, *lay*, dan *flaws*.

Kekasaran terdiri dari ketidakrataan dari tekstur permukaan, yang pada umumnya mencakup ketidakrataan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi



Gambar 4. Tekstur Permukaan Benda Kerja



Gambar 5. Hasil Pengukuran Tekstur Kekasaran Permukaan

### Pengukuran Kekasaran dengan *Surftest*

Penelitian ini menggunakan alat ukur *surface roughness tester*. Bekerjanya alat ini karena adanya detektor yang berupa jarum untuk meraba permukaan yang akan diukur. Jarum tersebut bergerak sepanjang ukuran yang telah ditetapkan pada saat pengaturan awal, sehingga akan didapat beberapa titik sesuai pengaturan yang diinginkan. Pendeteksian dapat dilakukan 3 parameter,

$R_a$ ,  $R_z$ , dan  $R_{max}$  dalam spesifikasi DIN atau ISO/JIS.



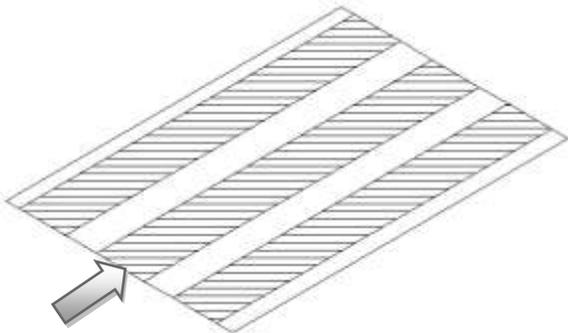
Gambar 6. *Surface Roughness Tester*

### METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini untuk pengukuran tingkat kehalusan digunakan desain eksperimen 3 faktorial 3 x 3. Terdapat dua variabel bebas yang kemudian pada desain eksperimen ini disebut faktor. Faktor pertama mempunyai tiga taraf yaitu variasi sudut penyayat *Endmill Cutter*, yaitu  $2^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ . Faktor kedua mempunyai tiga taraf, yaitu variasi jumlah mata sayat *Endmill Cutter* yaitu 2 mata sayat, 3 mata sayat dan 4 mata sayat. Sehingga pada eksperimen ini diperoleh desain eksperimen faktorial 3 x 3. Dengan demikian diperlukan 9 kondisi eksperimen atau 9 kombinasi perlakuan yang berbeda - beda. Pada masing - masing perlakuan dilakukan 1 kali replikasi, akan tetapi tiap replikasi diperoleh 3 data.

Pemesinan dilakukan dengan memakai *endmill carbide* dengan diameter 6 pada baja *ST 40* menggunakan mesin CNC *milling* "TOSURO" tipe TS 218.

Langkah penyayatan *cutter* dilakukan dengan satu arah gerak pemakanan, yaitu dari koordinat mesin Y- ke Y+.



Gambar 7. Alur Penyayatan *Cutter*

Adapun langkah-langkah pemesinan adalah:

1. Persiapan Alat dan Bahan



Gambar 8. Alat dan Bahan Penelitian

2. Menentukan Titik 0 pada Sumbu X Dan Y dengan Menggunakan *Centrifik*



Gambar 9. Proses Menentukan Titik 0 Sumbu X dan Y

3. Menentukan titik 0 sumbu Z pada semua pahat dengan menggunakan *Z center*



Gambar 10. Proses Menentukan Titik 0 Sumbu Z

4. Proses pemakanan spesimen



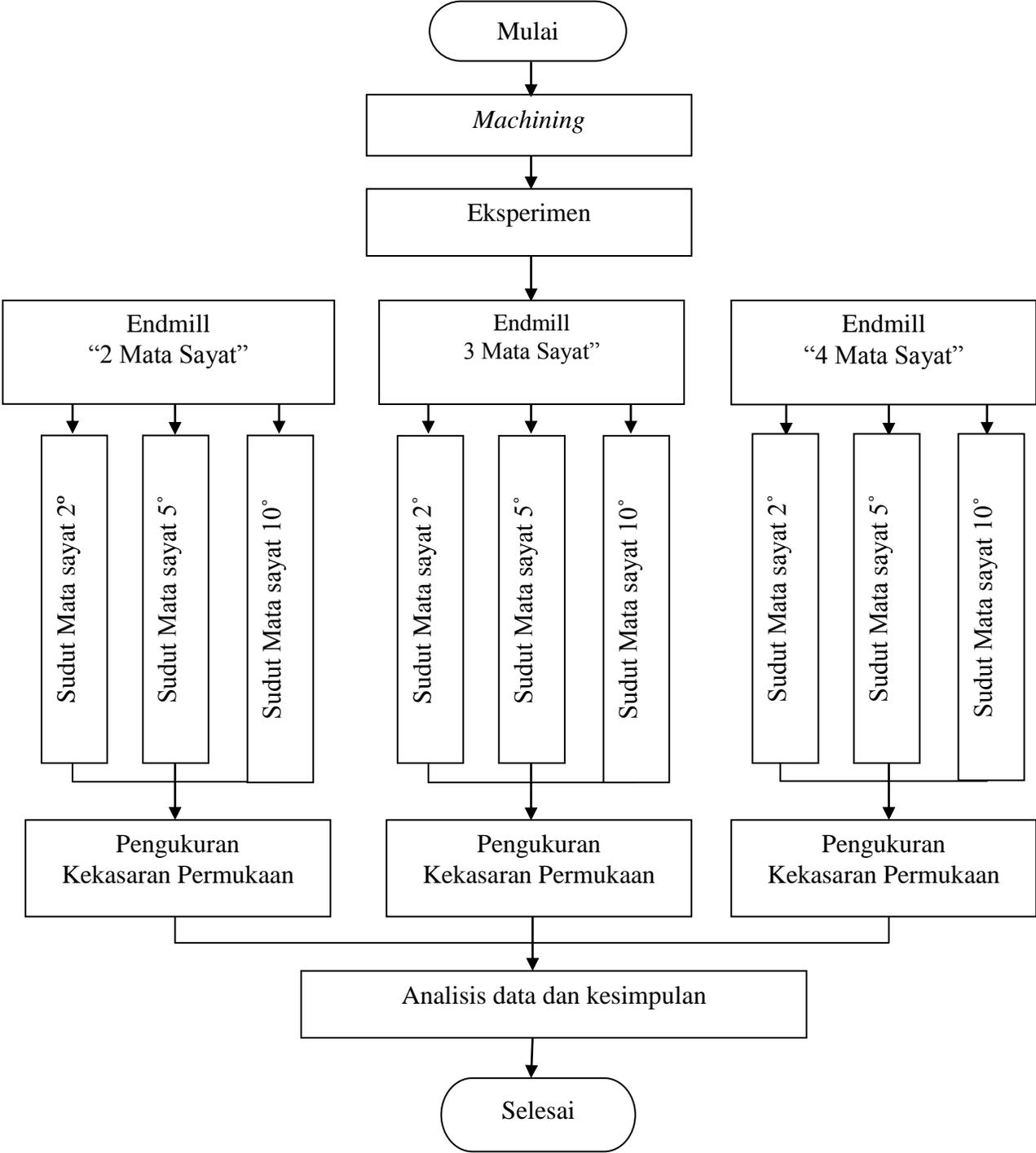
Gambar 11. Proses Pemesinan

5. Melakukan penggerindaan perbesaran sudut penyayatan



Gambar 12. Proses Penggerindaan *Endmill Cutter*

Tahap eksperimen dalam penelitian ini dapat digambarkan dengan diagram alir eksperimen sebagai berikut:



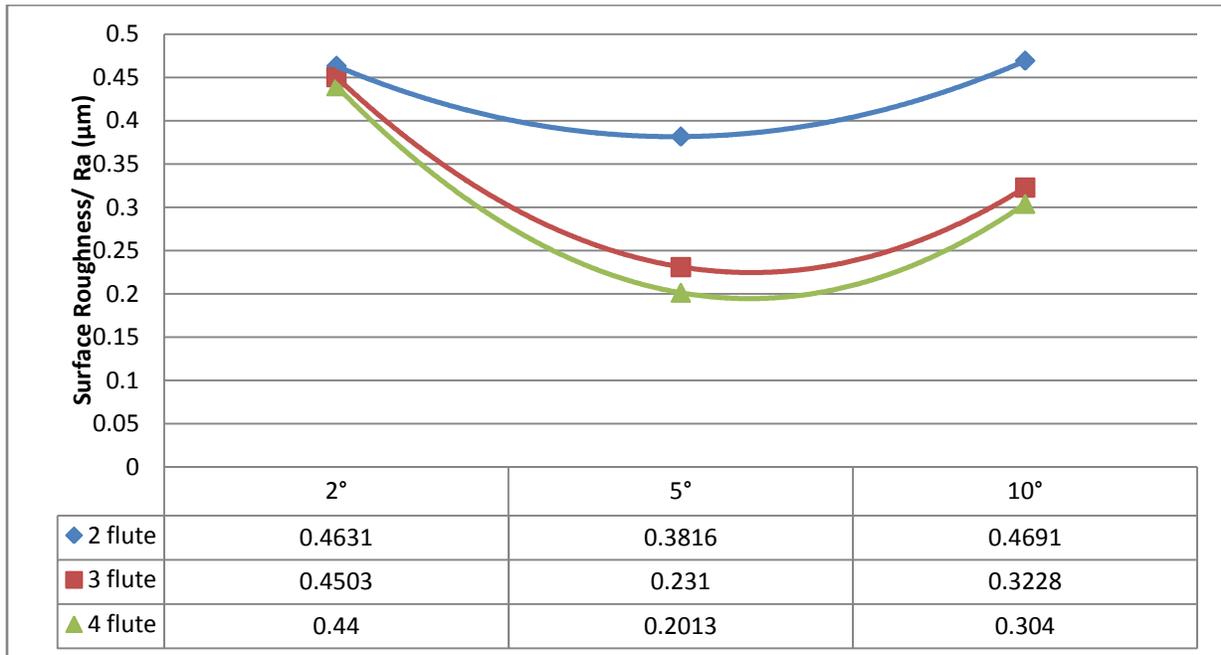
Gambar 13. Bagan Aliran Proses

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Nilai Tingkat Kekasaran Baja *ST 40* (dalam  $\mu\text{m}$ )

	taraf	Faktor A			Jumlah keseluruhan Nilai Kekasaran ( $\mu\text{m}$ )	Rata – rata keseluruhan Nilai Kekasaran ( $\mu\text{m}$ )
		Nilai Kekasaran ( $\mu\text{m}$ )				
		2°	5°	10°		
Faktor B (jumlah mata sayat)	2 mata sayat	0,4616	0,3848	0,5469	3,9417	0,4379
		0,4149	0,4025	0,5215		
		0,5129	0,3575	0,3391		
	<b>Jumlah</b>	1,3894	1,1448	1,4075		
	<b>Rata – rata</b>	0,4631	0,3816	0,4691		
	3 mata sayat	0,5858	0,2996	0,2050	3,0124	0,3347
		0,3478	0,2168	0,3228		
		0,4173	0,1766	0,4407		
	<b>Jumlah</b>	1,3509	0,6930	0,9685		
	<b>Rata – rata</b>	0,4503	0,2310	0,3228		
	4 mata sayat	0,4059	0,1871	0,2891	2,8361	0,3151
		0,4399	0,2327	0,3113		
		0,4742	0,1841	0,3118		
	<b>Jumlah</b>	1,3200	0,6039	0,9122		
	<b>Rata – rata</b>	0,4400	0,2013	0,3040		
<b>Jumlah Keseluruhan</b>	4,0603	2,4417	3,2882	9,7902		
<b>Rata – rata keseluruhan</b>	0,4511	0,2713	0,3653		0,3625	

## Sudut Penyayatan



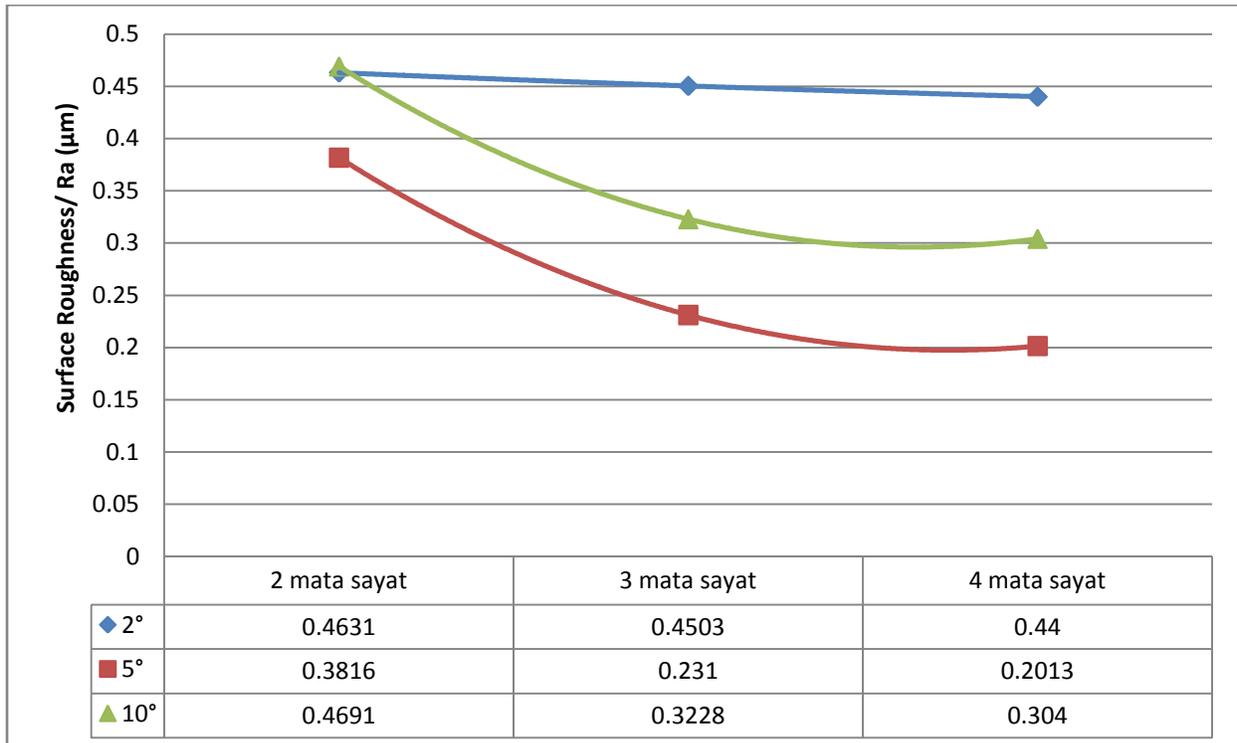
Gambar 14. Grafik Hubungan Variasi Sudut Penyayatan terhadap Tingkat Kekasaran Baja *ST 40* Hasil Pemesinan CNC *Milling* Jenis TS 218

Dari gambar 14 dapat diamati bahwa pada variasi sudut penyayatan 2° ke 5° tingkat kekasaran semakin kecil, sedangkan pada variasi sudut penyayatan 5° ke 10° tingkat kekasaran semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa variasi jumlah mata sayat dan variasi sudut penyayatan terhadap baja *ST 40* hasil pemesinan dengan mesin CNC *milling* jenis TS 218 mempunyai karakteristik tertentu.

Semakin kecil sudut penyayatan maka kekuatan potong *endmill cutter* lebih kuat,

akan tetapi dengan sudut yang kecil tersebut *endmill cutter* tidak terlalu tajam untuk menyayat benda kerja. Dengan sudut penyayatan yang terlalu besar maka dalam proses pemesinan *endmill cutter* akan mudah aus karena kekuatan potong terlalu kecil walaupun lebih tajam dari *endmill cutter* yang mempunyai sudut penyayatan yang kecil. Untuk mendapatkan hasil pemesinan dengan tingkat kekasaran yang kecil dapat dengan menyeimbangkan tingkat ketajaman dan kekuatan *endmill cutter*.

## Jumlah Mata Sayat



Gambar 15. Grafik Hubungan Variasi Jumlah Mata Sayat terhadap Tingkat Kekasaran Baja *ST 40* Hasil Pemesinan *CNC Milling* Jenis *TS 218*

Pada Gambar 15, semakin banyak jumlah mata sayat *endmill cutter* maka tingkat kekasaran permukaan proses pemesinan *CNC milling* semakin kecil, begitu pula sebaliknya semakin sedikit jumlah mata sayat *endmill cutter* maka tingkat kekasaran permukaan semakin besar. Pernyataan ini berlaku untuk semua sudut penyayat yang digunakan (2°, 5°, dan 10), kekasaran permukaan terkecil terjadi pada interaksi 4 mata sayat *endmill cutter* dengan sudut penyayat 5° yaitu sebesar 0,2013  $\mu\text{m}$ . Kekasaran permukaan terbesar terjadi pada interaksi 2 mata sayat *endmill cutter* dengan sudut penyayat 10°

yaitu sebesar 0,4691  $\mu\text{m}$ . Hal ini disebabkan semakin banyak jumlah mata sayat maka geram yang dihasilkan semakin kecil karena tiap mata sayat tidak menyayat terlalu banyak sehingga jarak hasil penyayat semakin dekat. Jarak hasil penyayat tersebut menentukan tingkat kekasaran pada hasil proses pemesinan, semakin dekat jarak hasil penyayat tiap mata sayat maka tingkat kekasaran semakin kecil.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

- a. sudut penyayatan *endmill* yang terlalu kecil tidak tajam tetapi mempunyai kekuatan, sedangkan sudut penyayatan yang terlalu besar mudah mengalami keausan tetapi mempunyai ketajaman.
- b. Semakin banyak jumlah mata sayat, tingkat kekasaran baja *ST 40* hasil pemesinan dengan mesin *CNC milling* jenis *TS 218* semakin kecil.
- c. Tingkat kekasaran baja *ST 40* hasil pemesinan dengan mesin *CNC milling* jenis *TS 218* yang paling kecil yaitu pada interaksi sudut penyayatan  $5^\circ$  dan 4 mata sayat *endmill cutter* yaitu sebesar  $0,2013 \mu\text{m}$  dan tingkat kekasaran baja *ST 40* hasil pemesinan dengan mesin *CNC milling* jenis *TS 218* yang paling besar yaitu pada interaksi sudut penyayatan  $10^\circ$  dan 2 mata sayat *endmill cutter* yaitu sebesar  $0,4691 \mu\text{m}$ .

### 2. Saran

- a. Untuk mendapatkan hasil pemesinan yang mempunyai tingkat kekasaran paling kecil, gunakan variasi antara sudut penyayatan  $5^\circ$  dengan 4 mata sayat *endmill cutter*.
- b. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis sangat baik kalau dianalisis faktor-faktor atau variabel-variabel lain yang mempengaruhi tingkat kekasaran baja *ST*

40 hasil pemesinan dengan mesin *CNC milling* jenis *TS 218*, misalnya diameter pahat, jenis pendingin, dan kekerasan pahat.

- c. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis sangat baik kalau mencoba memilih variasi sudut penyayatan dengan jarak yang lebih dekat. Dalam penelitian ini jarak variasi sudut penyayatan terlalu besar, sehingga perlu dilakukan penelitian lagi dengan memperpendek variasi sudut penyayatan *endmill cutter*.
- d. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis sangat baik kalau mencoba memilih variasi *secondary angle*. Sudut ini sangat berpengaruh pada kekuatan *endmill cutter* saat proses pemesinan.
- e. Selain hal di atas, bagi peneliti yang akan mengadakan penelitian yang relevan di masa mendatang diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan masukan dan pertimbangan dalam melakukan penelitian.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang sudah membantu dalam penelitian ini, terutama kepada Bapak Budi Harjanto, S.T., M.Eng. selaku pembimbing I dan Danar Susilo Wijayanto, S.T., M.Eng. selaku pembimbing II yang telah

memberikan bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis selama melakukan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 1993. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Rineka Cipta. 2008.
- Astakhov, V.P. 2004. *The Assessment of Cutting Tool Wear*. International Journal Of Machine Tools & Manufacture. 44: 637–647.
- Budiman, H. & Richard. 2007. *Analisis Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan Metoda Variable Speed Machining Test*. Bandung: Jurnal Teknik Mesin. Vol. 9 No. 1 : 31-39.
- Daniel. 2009. *Optimasi Parameter Pemesinan Proses CNC Frais terhadap Hasil Kekasaran Permukaan dan Keausan Pahat Menggunakan Metode Taguchi*. Semarang: Tugas Sarjana Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Darmanto, J. 2007. *Modul CNC Milling*. Surakarta: Yudhistira.
- Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret. 2012. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surakarta: UNS Pers.
- Ganjar, S. & Dalmasius. 2008. *Teknik Pemrograman CNC Bubut dan Frais (CNC Lathe and CNC Milling Machine Programming)*. Jakarta: LIPI Press.
- Giyatno. 2009. *Optimasi Parameter Proses Pemesinan terhadap Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda Hasil Proses CNC Turning dengan Menggunakan Metode Taguchi*. Semarang: Tugas Sarjana Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Karmin & Muchtar. 2012. *Analisis Peningkatan Kekerasan Baja Amutit Menggunakan Media Pendingin Dromus*. Jurnal Austenit Volume 4, Nomor 1, 2012.
- Kim, Hyun & Ko, Lim. 2002. *Development of Design and Manufacturing Technology for End Mills in Machining Hardened Steel*. Journal of materials processing technology 130-131
- Kivanc V.B & Budak, E. 2004. *Structural Modeling of End Mill for Form Error and Stability Analysis*. International journal of machine tools & manufacture 44 (2004) 1151-1161
- Lou, S.M., Chen, C.J. & Li, M.C. 1999. *Surface Roughness Prediction Technique for CNC End-Milling*. International Journal Of Industrial Technologi Volume 15, 1999.
- Sudjana. 1991. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Bandung: Tarsito
- Sugiyono. 2001. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suhardi. 1999. *Teknologi Permesinan*. Surakarta: Pendidikan Teknik Mesin UNS.
- Wen-Hsiang Lai. 2000. *Modeling of Cutting Forces in End Milling Operations*. Journal of Science and

Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 15-22.

Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.

Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan Jilid 2 untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan

Wirawan, S. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan