

KARAKTERISASI TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 40 HASIL PEMESINAN CNC MILLING ZK 7040 EFEK DARI KECEPATAN PEMAKANAN (*FEED RATE*) DAN AWAL WAKTU PEMBERIAN PENDINGIN

Dhiah Purbosari, Herman Saputro, dan Danar Susilo Wijayanto

Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Kampus UNS Pabelan Jl. Ahmad Yani 200 Pabelan, SKH, Tlp/Fax 0271 718419
Email: Dhiah.Purbosari@gmail.com

ABSTRAK

The purpose of this research was to determine the level surface roughness characterization of steel ST 40 results ZK 7040 CNC Milling machining effect feed rate and the early timing of cooling.

This research was conducted at SMK WARGA Surakarta Laboratory. Machining process using ZK 7040 CNC Milling machines with control SIEMENS SINUMERIK 802S. Data obtained by measuring the level of roughness of the workpiece using a SURFCODER SE-1700 at Bahan Teknik D3, Universitas Gadjah Mada Laboratory. This research method using descriptive analysis with independent variable were feed rates and the early timing of cooling, dependent variable was levels of surface roughness of steel ST 40.

The results on the feedrate 0.11 mm / rev, 0.13 mm / rev and 0.15 mm / rev indicates that the higher the feedrate is used to produce the level of the rough workpiece roughness. In the early timing of the air 10 minutes, 15 minutes and, 20 minutes showed that the longer the first timing of cooling used in the CNC machining process Milling ZK 7040 on steel ST 40, would result in the level of the rough workpiece roughness. This research resulted in varying levels of surface roughness between N6 to N8.

The level of roughness of the workpiece machining CNC Milling results ZK 7040 on steel ST 40 that the smallest on the conditions before the beginning of the cooling at feed rate 0.11 mm / rev and the early cooling time 10 minutes is equal to 1.616 μm , while the greatest rudeness occurs the feed rate of 0.15 mm / rev and the early timing of the air 20 minutes is equal to 3.603 μm . The level of roughness of the workpiece machining CNC Milling results ZK 7040 on steel ST 40 that the smallest on the conditions after the timing of cooling on CNC milling machining process ZK 7040 occurred at a feed rate of 0.11 mm / rev and the early timing of cooling after 10 minutes is equal to 1.855 μm while the roughness of the greatest place on the feed rate of 0.15 mm / rev and the early timing of cooling after 20 minutes is equal to 5.782 μm .

Keywords: feed rate, early timing of air, surface roughness, steel ST 40, CNC Milling

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dari waktu ke waktu mengalami kemajuan yang pesat, semakin modern serta canggih. Kebutuhan manusia yang semakin meningkat dan beraneka ragam memicu berkembangnya teknologi, salah satunya teknologi di bidang industri pemesinan. Dalam industri pemesinan dikenal beberapa macam proses pengerjaan seperti pembubutan, pengefraisan, pengeboran, penggerindaan dan lain-lain. Letak perbedaan dari proses-proses tersebut adalah cara kerja dan hasilnya. Industri pemesinan banyak mengalami permasalahan, yaitu bagaimana menghasilkan produk yang berkualitas dan bagaimana memprediksi biaya pemesinan.

Industri pemesinan saat ini dituntut untuk menghasilkan produk mahal yang lebih murah, presisi, dan waktu produksi yang semakin cepat. Oleh karena itu, kebutuhan akan mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) saat ini sangat diperlukan bila dibandingkan dengan mesin konvensional. Mesin ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan mesin konvensional, yaitu ketelitian tinggi (*accurate*), ketepatan tinggi (*precision*), produktivitas tinggi (*productive*), dan dapat mengerjakan bentuk yang kompleks (Dalmasis Ganjar S, 2008: 42).

Mesin CNC milling (*Computer Numerically Controlled Milling*) adalah mesin milling yang diprogram secara numerik dengan komputer. Dunia industri dan bengkel pemesinan banyak yang menggunakan mesin CNC milling untuk mendapatkan produk yang berkualitas. Tingkat kekasaran hasil pengerjaan mesin CNC milling menjadi suatu tuntutan yang harus diperhatikan, karena tingkat kekasaran permukaan memiliki pengaruh dalam kualitas produk. Semakin halus permukaannya, semakin baik pula kualitasnya. Hasil kekasaran permukaan bergantung kepada parameter pemesinan, antara lain kecepatan spindle, kecepatan pemakanan, kecepatan potong, kedalaman pemakanan, gerak pemakanan, pendinginan, karakteristik pahat, dan lain-lain.

Pendingin merupakan salah satu dari parameter pemesinan yang harus diperhitungkan sejak awal atau tahap perencanaan. Pendingin tidak hanya berfungsi sebagai pelumasan tetapi juga mempengaruhi biaya produksi. Belum diketahui kapan waktu pemberian pendingin yang tepat, dengan ditentukannya waktu pemberian pendingin yang tepat maka penggunaan pendingin akan lebih efektif dan efisien yang menjaga kualitas produksinya, sehingga biaya untuk cairan pendinginan dapat dikurangi atau mengalami

penghematan pada proses pemesinan. Pada proses pemotongan akan terjadi peningkatan temperatur akibat adanya gesekan antara pahat dan benda kerja yang dipotong. Pada mesin CNC milling, temperatur dikontrol dengan pendingin yang dipancarkan dari atas pahat melalui nozzle. Aliran pendingin tersebut akan mengenai benda kerja dan pahat, sehingga temperatur bisa dijaga. Untuk mengurangi temperatur yang dihasilkan dari proses tersebut tergantung dari besarnya debit aliran pendingin, waktu pemberian pendingin, dan jenis pendingin yang digunakan. Pemilihan parameter pemesinan yang dilakukan dalam proses produksi harus mempertimbangkan fungsi proses yang dilakukan, sehingga akan memperkecil biaya produksi.

Material baja ST 40 memiliki nilai kekerasan 44,70 HRA (142,50 BHN). Bahan ini banyak digunakan sebagai bahan pembuatan komponen-komponen mesin. Baja ini tergolong dalam baja karbon rendah dan sering disebut mild steel.

Dari latar belakang permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang variasi parameter pemotongan dan karakterisasi terhadap tingkat kekasaran hasil proses pemesinannya.

LANDASAN TEORI

Kekasaran Permukaan

Menurut istilah keteknikan, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Kekasaran terdiri dari ketidakteraturan tekstur permukaan benda, yang pada umumnya mencakup ketidakteraturan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi. Tekstur permukaan adalah pola dari permukaan yang menyimpang dari suatu permukaan nominal. Penyimpangan mungkin atau berulang yang diakibatkan oleh kekasaran, *waviness*, *lay*, dan *flaws*.

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) dibedakan menjadi dua, yaitu:

a) *Ideal Surface Roughness*

Ideal surface roughness adalah kekasaran ideal (terbaik) yang bisa dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran ideal di antaranya:

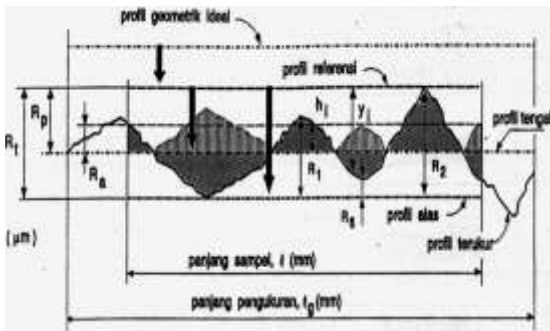
- (1) Getaran yang terjadi pada mesin.
- (2) Ketidaktepatan gerakan bagian-bagian mesin.
- (3) Ketidakteraturan *feed mechanism*.
- (4) Adanya cacat pada material.
- (5) Gesekan antara chip dan material

b) *Natural Surface Roughness*

Natural surface roughness adalah kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya berbagai faktor yang mempengaruhi proses permesinan tersebut.

Parameter Kekasaran Permukaan

Sebelum jauh melangkah ke parameter kekasaran perlu diketahui terlebih dahulu tentang profil yang penting seperti yang terlihat pada Gambar 1 berikut ini



Gambar 1. Posisi Profil Referensi, Profil Tengah dan Profil Alas terhadap Profil Terukur untuk Satu Panjang Sampel

Profil kekasaran permukaan terdiri dari:

- Profil geometrik ideal ialah profil permukaan yang sempurna dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur.
- Profil terukur (measured profil), merupakan profil permukaan terukur.
- Profil referensi adalah profil yang digunakan sebagai acuan untuk

menganalisa ketidakrataan konfigurasi permukaan.

- Profil akar/alas yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.
- Profil tengah adalah profil yang digeserkan ke bawah sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah diatas profil tengah sampai profil terukur adalah sama dengan jumlah luas daerah-daerah di bawah profil tengah sampai ke profil terukur.

Berdasarkan profil-profil di Gambar 1 di atas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah memanjang. Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter, yaitu:

- Kekasaran total (*peak to valley height/total height*), $R_t(\mu\text{m})$ adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/peak to mean line*), $R_p(\mu\text{m})$ adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
- Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index/center line average, CLA*), $R_a(\mu\text{m})$ adalah harga rata-rata aritmetik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^1 |h1| dx$$

- d) Kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square height*), $R_q(\mu\text{m})$ adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L hi^2 dx}$$

- e) Kekasaran total rata-rata, $R_z(\mu\text{m})$ merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

$$Rz = \frac{[R1 + R2 + \dots + R5 - R6 \dots - R10]}{5}$$

Parameter kekasaran yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan benda adalah kekasaran rata-rata (Ra). Harga Ra lebih sensitif terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan. Toleransi harga Ra, seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros) harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Tabel 1 menunjukkan angka kekasaran dan kelas kekasaran permukaan.

Tabel 1. Angka Kekasaran (ISO *roughness number*)

Harga kekasaran, Ra (μm)	Angka kelas kekasaran	Panjang sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2,5
6,3	N9	
3,2	N8	0,8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0,25
0,1	N3	
0,005	N2	
0,025	N1	0,08

Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaan. Pengukuran Kekasaran Permukaan :

- a) Pengukuran Kehalusan Permukaan dengan *Profilometer*
 Pemeriksaan kekasaran dengan *profilometer* adalah salah satu jenis pengukuran kehalusan secara langsung. Sistem kerja *profilometer* pada dasarnya sama dengan prinsip peralatan *gramaphon*. Perubahan gerakan stilus sepanjang muka ukur dapat dilihat dan dibaca pada bagian amplimeter. Gerakan stilus bisa dilakukan dengan tangan dan bisa dengan otomatis yang dilakukan oleh motor penggerakannya. Angka yang ditunjukkan pada bagian skala adalah angka tinggi rata-rata kekasaran.
- b) Pengukuran Kekasaran Permukaan dengan *Surftests*. *Surfcoder* adalah

alat pengetes kehalusan permukaan logam yang ringkas dan mudah dibawa. Kedua mesin pengetes ini mempunyai beberapa kelebihan, yaitu: (1) mudah diopersikan, (2) murah, (3) ringkas, (4) ramah lingkungan. Bentuknya yang ringkas juga menggunakan baterai isi ulang dapat dibawa kemana-mana dengan tas khusus yang merupakan perlengkapan standar. Pengukuran kekasaran pada penelitian ini adalah proses pengukuran kekasaran suatu permukaan benda kerja dengan cara membandingkan terhadap acuan standar atau menguji dengan peralatan khusus. Penelitian ini menggunakan alat ukur Surface Roughness Tester. Bekerjanya alat ukur ini karena adanya detektor yang berupa jarum untuk meraba permukaan yang akan diukur. Pendeteksian dapat dilakukan 3 parameter, Ra, Rz, dan Rmax dalam spesifikasi DIN atau ISO/JIS. Dalam metode DIN ketiga parameter dapat ditentukan dari profil kekesatan yang ditampilkan. Untuk ISO/JIS model

parameter Ra dapat ditentukan dari profil kekesatan sedangkan parameter Rz dan Rmax ditentukan tidak melalui tampilan. Hasil dari pengukuran tersebut akan muncul pada layar monitor berupa grafik maupun angka.

METODE PENELITIAN

1. Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan SIEMENS SINUMERIK ZK 7040 di SMK Warga Surakarta. Material yang digunakan baja ST 40 dengan nilai kekerasan 44,0 HRA(142,50 BHN). Peralatan dan perlengkapan pengujian, seperti Tabel 2.

Tabel 2. Perlengkapan Pengujian

Alat	Tipe/ Merek
Pahat	End mill HSS Kobe
Alat Uji Kekasaran	Surfcoder SE-1700
Foto Makro	Canon EOS 60D
Temperatur Pahat	<i>infrared termometer</i> tipe KRISBOW KW06-280

Tabel 3. Variabel Penelitian

Parameter	Level			Hasil Penelitian
Kecepatan Pemakanan (mm/rev)	0, 11	0,13	0,15	Hasil Kekasaran
Awal Waktu Pemberian Pendingin (menit)	10	15	20	
Kecepatan Spindel (rpm)	1150			
Kedalaman Pemakanan (mm)	10			
Kondisi Pemotongan	Dry (Dromus)			

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Studi Temperatur Pahat

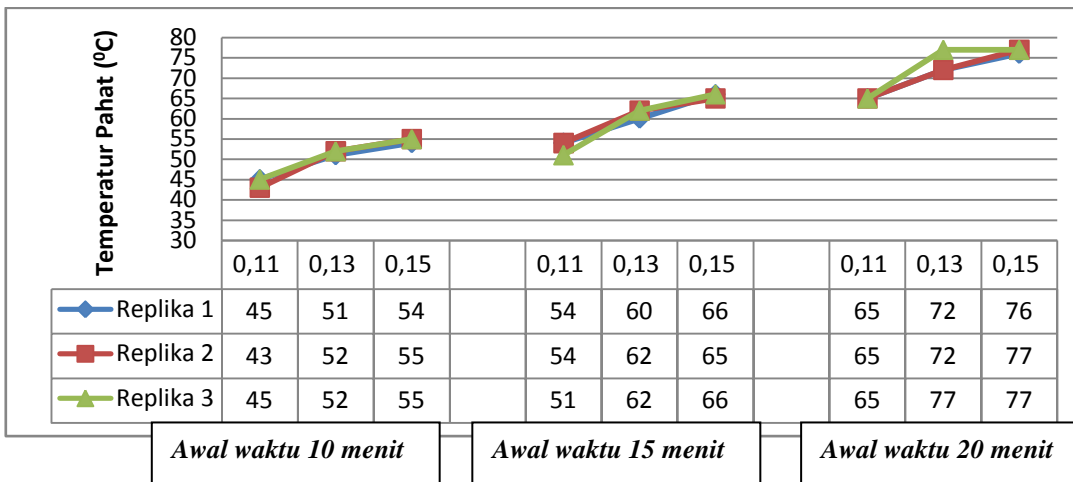
Tabel 4. Rerata Hasil Pengukuran Temperatur Pahat *Endmill* HSS Kobe

Taraf		Faktor X ₁					
		Kecepatan Pemakanan					
		0,11 mm/rev		0,13 mm/rev		0,15 mm/rev	
		A	B	A	B	A	B
Faktor X ₂ (Awal Waktu Pemberian Pendingin)	10 menit	45 ⁰ C	28 ⁰ C	51 ⁰ C	29 ⁰ C	54 ⁰ C	30 ⁰ C
		43 ⁰ C	28 ⁰ C	52 ⁰ C	28 ⁰ C	55 ⁰ C	31 ⁰ C
		45 ⁰ C	29 ⁰ C	52 ⁰ C	29 ⁰ C	55 ⁰ C	31 ⁰ C
	Jumlah	133 ⁰ C	85 ⁰ C	155 ⁰ C	86 ⁰ C	164 ⁰ C	92 ⁰ C
	Rata-rata	44 ⁰ C	28 ⁰ C	52 ⁰ C	29 ⁰ C	55 ⁰ C	31 ⁰ C
	15 menit	54 ⁰ C	31 ⁰ C	60 ⁰ C	34 ⁰ C	66 ⁰ C	35 ⁰ C
		54 ⁰ C	32 ⁰ C	62 ⁰ C	33 ⁰ C	65 ⁰ C	34 ⁰ C
		51 ⁰ C	33 ⁰ C	62 ⁰ C	34 ⁰ C	66 ⁰ C	35 ⁰ C
	Jumlah	159 ⁰ C	96 ⁰ C	184 ⁰ C	101 ⁰ C	197 ⁰ C	104 ⁰ C
	Rata-rata	53 ⁰ C	32 ⁰ C	61 ⁰ C	34 ⁰ C	66 ⁰ C	35 ⁰ C
20 menit	65 ⁰ C	37 ⁰ C	72 ⁰ C	38 ⁰ C	76 ⁰ C	38 ⁰ C	
	65 ⁰ C	36 ⁰ C	72 ⁰ C	37 ⁰ C	77 ⁰ C	39 ⁰ C	
	65 ⁰ C	36 ⁰ C	71 ⁰ C	38 ⁰ C	77 ⁰ C	39 ⁰ C	
Jumlah	195 ⁰ C	109 ⁰ C	215 ⁰ C	113 ⁰ C	230 ⁰ C	116 ⁰ C	
Rata-rata	65 ⁰ C	36 ⁰ C	72 ⁰ C	38 ⁰ C	77 ⁰ C	39 ⁰ C	

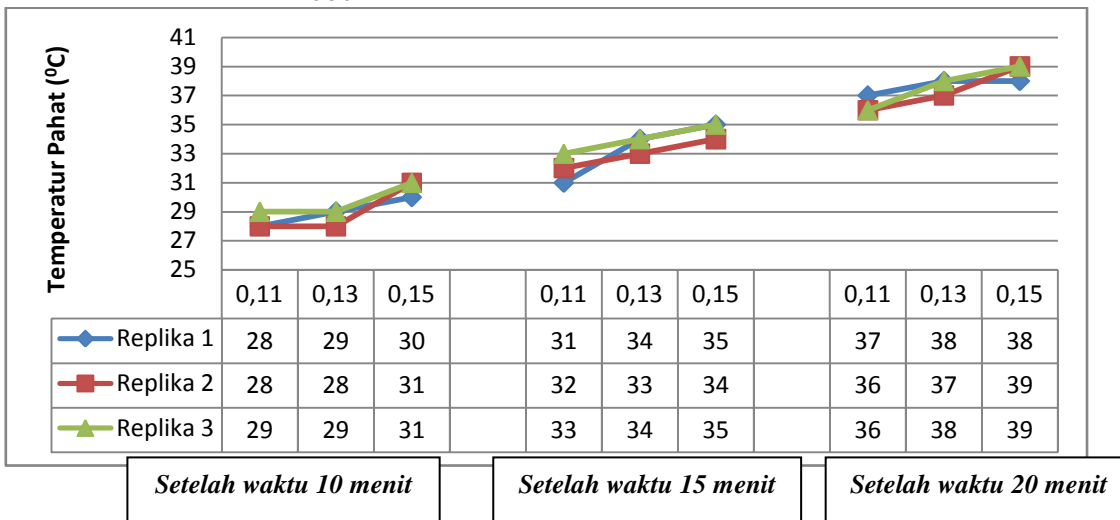
Ket:

A : Awal Sebelum Waktu Pemberian Pendingin

B : Setelah Awal Waktu Pemberian Pendingin



Gambar 2. Hasil sebelum Awal Waktu (t) Pemberian Pendingin dan *Feed Rate* (mm/rev) terhadap Temperatur Pahat (°C) *Endmill* HSS Kobe



Gambar 3. Hasil setelah Waktu (t) Pemberian Pendingin dan *Feed Rate* (mm/rev) terhadap Temperatur Pahat (°C) *Endmill* HSS Kobe

Temperatur pahat terendah tanpa pemberian pendingin terjadi pada *feed rate* 0,11 mm/rev dengan sebelum awal waktu pemberian pendingin 10 menit yaitu sebesar 44°C, sedangkan temperatur pahat tertinggi pada *feed rate* 0,15 mm/rev dengan

sebelum awal waktu pemberian pendingin 20 menit sebesar 77 °C. Pada kondisi pemberian pendingin, temperatur pahat terendah terjadi pada *feed rate* 0,11 mm/rev dengan setelah waktu pemberian pendingin 10 menit yaitu sebesar 28 °C, sedangkan

temperatur pahat tertinggi pada *feed rate* 0,15 mm/rev dengan setelah waktu pemberian pendingin 20 menit sebesar 39 °C.

Berdasarkan data hasil pengukuran temperatur pahat pada Tabel 4 dan Gambar 2 dan Gambar 3 diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan pemakanan dan semakin lama awal waktu pemberian pendingin maka temperatur

pahat semakin tinggi, sedangkan besarnya temperatur pahat setelah waktu pemberian pendingin pada semua variasi pemakanan cenderung sama. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kecepatan pemakanan dan variasi awal waktu pemberian pendingin mempunyai karakteristik dan pengaruh tertentu terhadap temperatur pahat *end mill* HSS pada proses pemesinan CNC milling.

2. Foto Makro pada Tingkat Kekasaran Permukaan Baja ST 40



Replika 1
1,812 μm (45°C)



Replika 2
1,317 μm (43°C)



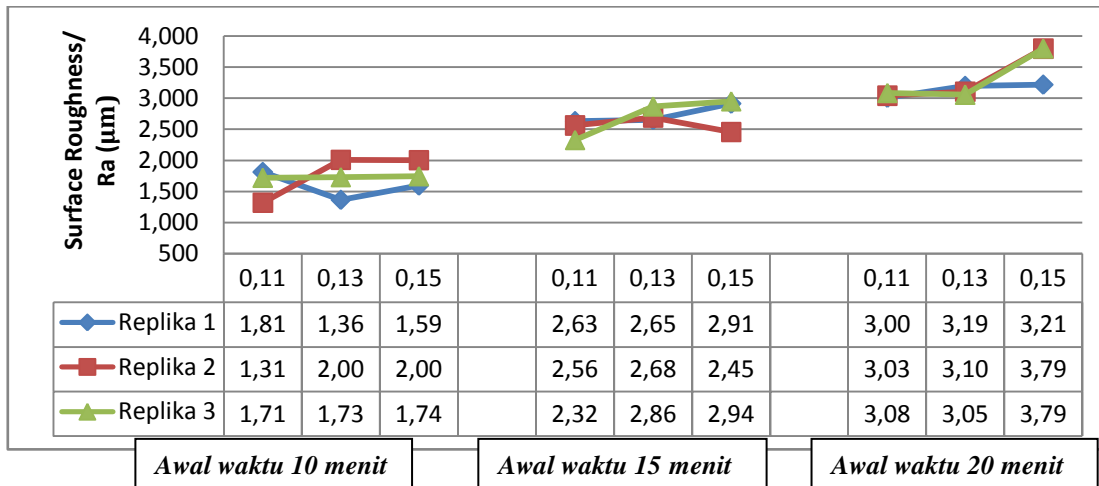
Replika 3
1,719 μm (45°C)

Gambar 4. Salah Satu Hasil Foto Makro pada *feed rate* 0,11 mm/rev dan sebelum Awal Waktu Pemberian Pendingin selama 10 menit

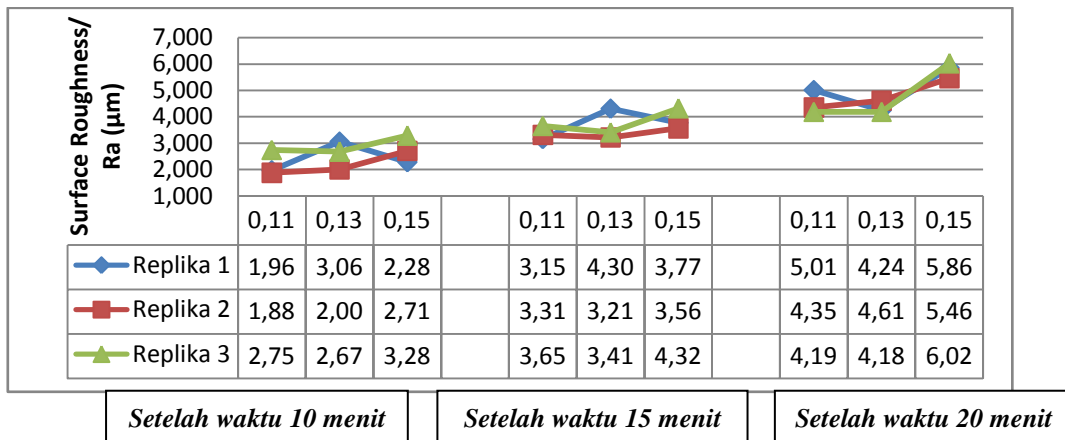
3. Hasil Tingkat Kekasaran Material Baja ST 40 (μm)

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Tingkat Kekasaran Material Baja ST 40 (μm)

Taraf		Faktor X_1					
		Kecepatan Pemakanan					
		0,11 mm/rev		0,13 mm/rev		0,15 mm/rev	
		A	B	A	B	A	B
Faktor X_2 (Awal Waktu Pemberian Pendingin)	10 menit	1,812	1,966	1,363	3,060	1,593	2,282
		1,317	1,881	2,007	2,008	2,003	2,713
		1,719	2,751	1,730	2,679	1,745	3,285
	Jumlah	4,848	5,566	5,1	7,747	5,341	8,28
	Rata-rata	1,616	1,855	1,7	2,582	1,780	2,76
	15 menit	2,631	3,157	2,651	4,308	2,911	3,779
		2,560	3,318	2,686	3,219	2,455	3,566
		2,326	3,653	2,866	3,416	2,948	4,321
	Jumlah	7,517	10,128	8,203	10,943	8,314	11,666
	Rata-rata	2,506	3,376	2,734	3,647	2,771	3,889
20 menit	3,006	5,011	3,197	4,241	3,216	5,862	
	3,039	4,352	3,103	4,610	3,796	5,461	
	3,084	4,191	3,054	4,189	3,797	6,022	
Jumlah	9,129	13,554	9,345	13,04	10,809	17,345	
Rata-rata	3,043	4,347	3,118	4,518	3,603	5,782	



Gambar 5. Hasil sebelum Awal Waktu Pemberian Pendingin dan *Feed Rate* (mm/rev) terhadap Kekasaran Permukaan ($^{\circ}\text{C}$) *Endmill* HSS Kobe



Gambar 6. Hasil setelah Waktu Pemberian Pendingin dan *Feed Rate* (mm/rev) terhadap Kekasaran Permukaan ($^{\circ}\text{C}$) *Endmill* HSS Kobe

Dari data hasil pengukuran tingkat kekasaran baja ST 40 proses pemesian dengan mesin CNC *milling* ZK 7040, dapat dijelaskan bahwa sebelum awal waktu pemberian pendingin tingkat kekasaran paling kecil terjadi pada *feedrate* 0,11 mm/rev dan awal waktu pemberian pendingin 10 menit yaitu sebesar 1,616 µm, sedangkan tingkat kekasaran paling besar terjadi pada *feedrate* 0,15 mm/rev dan awal waktu pemberian pendingin 20 menit yaitu sebesar 3,603 µm. Untuk data hasil pengukuran tingkat kekasaran baja ST 40 setelah

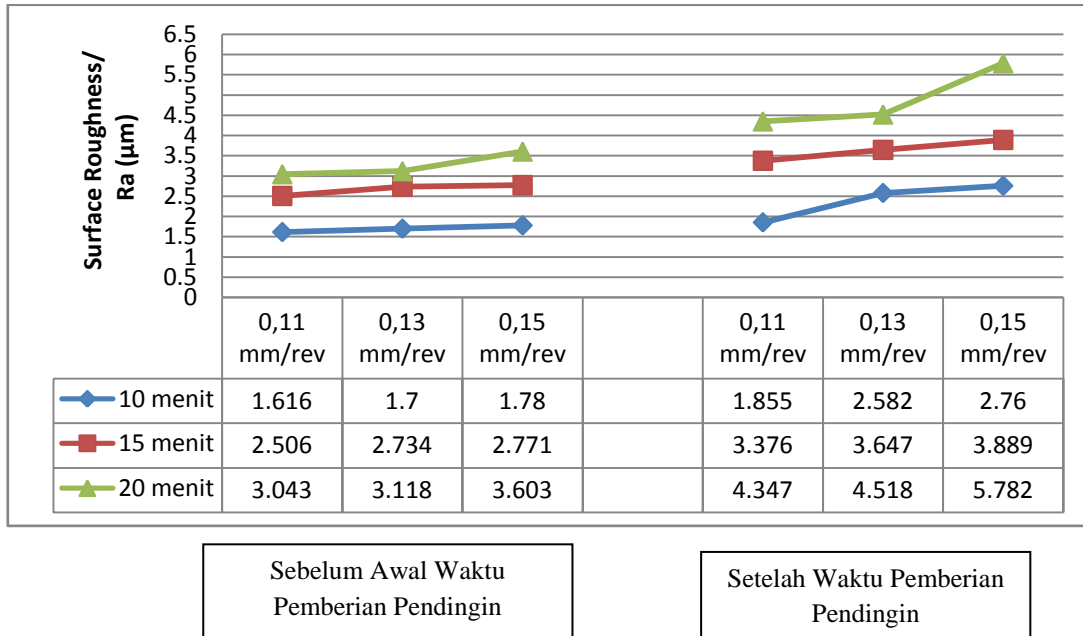
awal waktu pemberian pendingin tingkat tingkat kekasaran paling kecil terjadi pada *feedrate* 0,11 mm/rev dan waktu pemberian pendingin setelah 10 menit yaitu sebesar 1,855 µm sedangkan tingkat kekasaran paling besar terjadi pada kecepatan pemakanan 0,15 mm/rev dan waktu pemberian pendingin setelah 20 menit yaitu sebesar 5,782 µm.

Analisis grafik untuk masing-masing parameter pemotongan dan pengaruh masing-masing level dari rerata hasil pengukuran.

Tabel 6. Rerata Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Baja ST 40 (dalam µm)

Waktu Pemberian Pendingin	<i>Feed rate</i> (mm/rev)					
	0,11mm/rev		0,13 mm/rev		0,15 mm/rev	
10 menit	A	B	A	B	A	B
	1,616	1,855	1,7	2,582	1,780	2,76
15 menit	A	B	A	B	A	B
	2,506	3,376	2,734	3,647	2,771	3,889
20 menit	A	B	A	B	A	B
	3,043	4,347	3,118	4,518	3,603	5,782

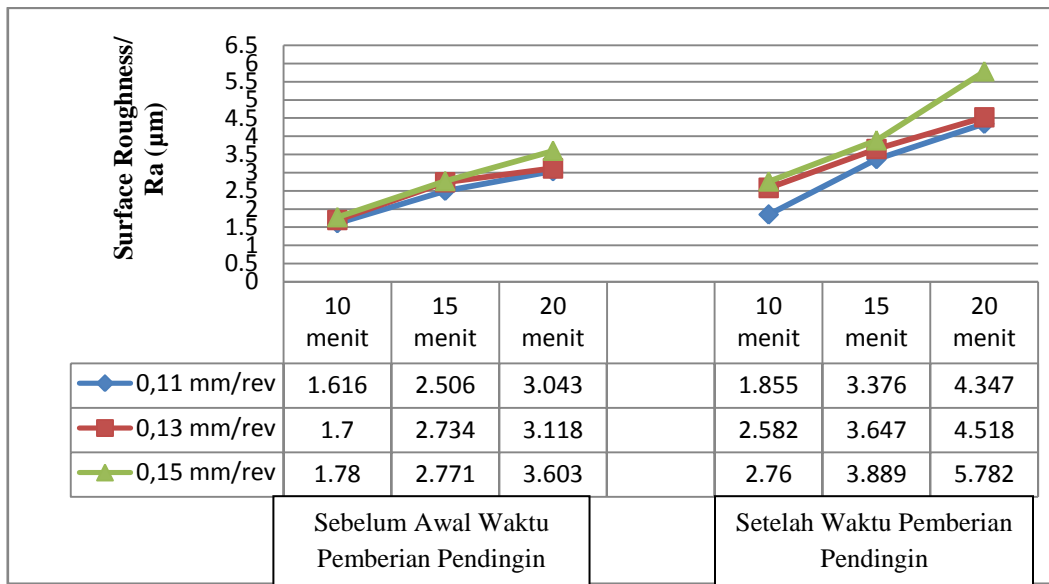
Berdasarkan Tabel 6 data tingkat kekasaran permukaan benda kerja proses pemesinan CNC *Milling* ZK 7040 pada baja ST 40 dengan dua kondisi pemakanan dari pengaruh *feed rate* dapat dideskripsikan seperti pada Gambar 5.



Gambar 7. Pengaruh *Feed rate* terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Proses Pemesinan CNC *Milling* ZK 7040 pada Baja ST 40

Semakin tinggi *feed rate* maka kekasaran permukaan proses pemesinan CNC *Milling* semakin besar, begitu pula dengan rendahnya *feed rate* maka kekasaran permukaan akan semakin kecil meskipun sebelum dan setelah pemberian pendingin.

Dengan *feed rate* yang besar maka pergerakan pahat untuk melakukan pemakanan pada permukaan benda kerja akan semakin besar, sehingga akan meninggalkan alur pengerjaan yang besar dan akan semakin kasar.



Gambar 8. Pengaruh Awal Waktu Pemberian Pendingin terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Proses Pemesinan CNC *Milling* ZK 7040 pada Baja ST 40

Pada Gambar 8 semakin lama waktu pemberian pendingin maka tingkat kekasaran permukaan proses pemesinan CNC *Milling* semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin cepat waktu pemberian pendingin maka tingkat kekasaran permukaan semakin kecil. Pernyataan ini berlaku untuk semua *feed rate* yang digunakan (0,11 mm/rev, 0,13 mm/rev, dan 0,15 mm/rev), meskipun sebelum pemberian pendingin dan setelah pemberian pendingin. Kekasaran permukaan terkecil pada awal waktu pemberian pendingin 10 menit dan *feed rate* 0,11 mm/rev. Kekasaran permukaan terbesar pada waktu pemberian pendingin 20 menit dan pada *feed rate* 0,15 mm/rev. Hal ini disebabkan semakin lambat waktu

pemberian pendingin akan terjadi kenaikan temperatur sehingga pergerakan antar partikel pada pahat menjadi lebih cepat dan pahat akan cepat aus. Pahat yang aus mengakibatkan tingkat kekasaran permukaan bertambah kasar.

KESIMPULAN

1. Tingkat kekasaran permukaan terkecil sebelum awal waktu pemberian pendingin pada proses pemesinan CNC milling ZK 7040 terjadi pada *feed rate* 0,11 mm/rev dan awal waktu pemberian pendingin 10 menit yaitu sebesar 1,616 μm , sedangkan tingkat kekasaran paling besar terjadi pada *feed rate* 0,15 mm/rev dan awal waktu

- pemberian pendingin 20 menit yaitu sebesar 3,603 μm .
2. Tingkat kekasaran permukaan terkecil setelah waktu pemberian pendingin pada proses pemesinan CNC milling ZK 7040 terjadi pada *feed rate* 0,11 mm/rev dan waktu pemberian pendingin setelah 10 menit yaitu sebesar 1,855 μm sedangkan tingkat kekasaran paling besar terjadi pada *feed rate* 0,15 mm/rev dan awal waktu pemberian pendingin setelah 20 menit yaitu sebesar 5,782 μm .
 3. Bahan baja ST 40 apabila dilaksanakan proses pemesinan CNC milling ZK 7040 dengan variasi *feed rate* 0,11 mm/rev, 0,13 mm/rev, 0,15 mm/rev dan awal waktu pemberian pendingin 10 menit, 15 menit dan 20 menit akan menghasilkan variasi tingkat kekasaran permukaan antara N6 sampai dengan N8, dengan dua kondisi pemakanan yaitu sebelum awal waktu pemberian pendingin dan setelah waktu pemberian pendingin.
 4. Bahan baja ST 40 apabila dilaksanakan proses pemesinan CNC milling ZK 7040 akan menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang semakin tinggi seiring bertambahnya *feed rate* yang digunakan dalam proses pemesinan, dengan dua kondisi pemakanan yaitu sebelum awal waktu pemberian pendingin dan setelah waktu pemberian pendingin.
 5. Bahan baja ST 40 apabila dilaksanakan proses pemesinan CNC milling ZK 7040 akan menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang semakin tinggi seiring bertambahnya waktu pemberian pendinginan pada benda kerja.
 6. *Feed rate* dan waktu pemberian pendingin sangat berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja proses pemesinan CNC milling ZK 7040 pada baja ST 40.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Darmanto, J. (2007). *Modul CNC Milling*. Surakarta: Yudhistira.
- Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret. (2012). *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surakarta: UNS Perss.
- Ganjar, S. D. (2008). *Teknik Pemrograman CNC Bubut dan Freis (CNC Lathe and CNC Milling Machine Programming)*. Jakarta: LIPI Press.
- Handoko dan Prayogo, B. T. (2008). *Studi Parameter Pemesinan*

- Optimum pada Operasi CNC End Milling Surface Finish Bahan Aluminium.* Yogyakarta: Proceeding Seminar Nasional Teknologi 2008 Bidang Teknik Mesin.
- Iowa Waste Reduction Center. (2003). *Cutting Fluid Management for Small Machining Operation.* University of Northern Iowa.
- Lou, Mike S., et al. (1998). *Surface Roughness Prediction Technique For CNC End Milling.* Journal of Industrial Technology Vol.15. No.1.
- Marsudi. (2009). *Memprogram Mesin CNC dengan Mastercam.* Bandung: Informatika.
- Prasetyo, E. (2010). *Optimasi Parameter Proses Pemesinan Turning terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 40 dengan Metode Taguchi.* Surakarta: Laporan Tugas Akhir Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Rochim, T. (2001). *Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik.* Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sudjana. (1991). *Desain dan Analisis Eksperimen.* Bandung: Tarsito.
- Sugiyono. (2011). *Statistika untuk Penelitian.* Bandung: Alfabeta.
- Suhardi (1999). *Teknologi Permesinan.* Surakarta: Pendidikan Teknik Mesin UNS.
- Susilo, D.W. dan Estriyanto, Y. (2005). *Teknologi Mekanik Mesin Perkakas.* Surakarta: LPP dan UNS Press.
- Suteja, J. (2008). *Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology.* Jurnal Teknik Mesin. Surabaya: Universitas Surabaya.
- Wang M. Y., Chang H. Y. (2004). *Experimental Study of Surface Roughness in Slot End Milling Al2014-T6,* Journal of Machine Tools & Manufacturing, Vol. 8 No. 1. Tatung University, Taiwan: International
- Widarto, S. (2008). *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2.* Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Yang, J. C. & Chen, J. C. (2001). *A Systematic Approach For Identifying Optimum Surface Roughness Performance In End-Milling Operation.* Journal Of Industrial Technology. 17 (2), 2-8.