

# PENGARUH KECEPATAN PUTARAN *SPINDLE* DAN *FEED RATE* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAGIAN SISI NYLON MC-PA6 PADA PROSES *SLOT MILL*

Anggoro Nugraha Saputra, Achmad As'ad Sonief, Sofyan Arief Setyabudi

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. Mayjen Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia

E-mail : anggoronugrahasaputra@gmail.com

## ABSTRAK

*Slot milling* adalah proses pembuatan celah pada material, dalam prosesnya pembuatan *slot mill* menggunakan pahat *endmill* dimana pahat tersebut dapat memotong material pada bagian *face* dan *side*. Hasil kualitas dari proses *slot mill* dilihat dari kekasaran permukaan pada material setelah permesinan. Proses *slot mill* menghasilkan dua jenis kekasaran permukaan, pada bagian *side* dan *face* celah yang terbentuk. Kekasaran permukaan permesinan dipengaruhi oleh pemilihan *cutting parameter* yang tidak tepat, jenis material yang digunakan, hasil *chip* selama permesinan dan munculnya *chatter* saat proses berlangsung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *spindle speed* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan pada bagian sisi *slot mill*. Variasi yang digunakan adalah *spindle speed* 700rpm, 800rpm, 900rpm dan *feed rate* sebesar 50mm/min, 100mm/min, 200mm/min dengan *depth of cut* yang konstan sedalam 10mm. kualitas kekasaran hasil proses *slot mill* diukur dengan menggunakan alat *surface roughness tester* SJ-301 merek Mitutoyo. Hasil penelitian menunjukkan semakin meningkatnya *spindle speed* maka nilai kekasaran permukaan sisi *slot mill* akan mengalami hasil yang semakin menurun, sedangkan semakin meningkatnya nilai *feed rate* maka nilai kekasaran permukaan pada sisi *slot mill* akan mengalami hasil yang semakin meningkat pula. Kekasaran permukaan bagian sisi *slot mill* mengalami perbedaan antara sisi *up milling* dan sisi *down mill*, hal tersebut dikarenakan terjadinya perbedaan kondisi permesinan yang dialami permukaan sisi *slot mill*. Kekasaran permukaan terendah dihasilkan pada kombinasi *spindle speed* 900rpm dan *feed rate* 50mm/min pada bagian sisi *down milling* dengan nilai sebesar 0,465 $\mu$ m, sedangkan kekasaran permukaan tertinggi dihasilkan pada kombinasi *spindle speed* 700rpm dan *feed rate* 200 mm/min pada bagian sisi *up milling* dengan nilai kekasaran permukaan sebesar 1,446 $\mu$ m.

**Kata kunci:** *Slot Mill, Surface Roughness, Feed Rate, Spindle Speed, Up Mill, Down Mill*

## ABSTRACT

*Slot milling is the process of creating a slot on the material, in the process of slot milling is using the endmill tools which can cut materials on the face and the side of the tool. The quality of the process slot mill can be seen from the surface roughness on the material after machining. Process slots mill produces two types of surface roughness, on the both side and face of slot formed. Surface roughness on machining process affected by selection of cutting parameters are not appropriate, the type of material used, the chip during machining and the emergence of chatter during the processing takes place. This research aims to know the influence of spindle speed and feed rate to surface roughness on the side of slot mill. Variation of spindle speed used was 700rpm, 800rpm, 900rpm and feed rate of 0mm/min, 100mm/min, 200mm/min with dept of cut 4 mm constant quality of ruggedness result process of slot mill measured by using surface roughness tester SJ-301 brand Mitutoyo. The result showed by increasing spindle speed then the value of surface roughness side slot mill experience declining result, while increasing the value of feed rate then the value of the surface roughness on side of slot mill will experience increasing anyway. Surface roughness side slot mill experience the difference between the side up mill and the side down mill, that is because the occurrence of the differences surface machining condition experienced by the both sides of a slot mill. The lowest surface roughness generated in spindle speed combinations 900rpm and feed rate 50mm/min on the side of down milling with a value of 0.465  $\mu$ m, while the surface roughness resulting in the highest combination of spindle speed and feed rate 700rpm and feed rate 200mm/min on the side of up milling with value 1.446  $\mu$ m.*

**Keywords:** *Slot Mill, Surface Roughness, Feed Rate, Spindle Speed, Up Mill, Down Mill*

## Pendahuluan

Seiring dengan berkembangnya teknologi manufaktur dan semakin meningkatnya permintaan pelanggan akan produk yang berkualitas maka mulai dikembangkan mesin-mesin manufaktur yang mampu meningkatkan kapasitas produksi, kualitas produk dan menurunkan kerja operator. Mesin-mesin tersebut adalah mesin yang berbasis *numerical control* atau yang biasa disebut dengan mesin-mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*). Salah satu mesin CNC yang sering digunakan dalam industri manufaktur adalah mesin CNC berjenis mesin *milling*, dimana mesin ini memiliki peran penting dalam dunia industri karena mampu membentuk produk yang cukup kompleks dengan cepat.

Nylon adalah bahan teknik non-logam yang sering digunakan, tidak hanya karena tahan korosi, namun juga memiliki material properties yang baik dan cocok untuk sektor industri yang berhubungan dengan robotika, fluida, bahkan dunia otomotif, namun tidak menutup kemungkinan perkembangan penggunaan nylon akan lebih

banyak digunakan dalam bidang industri. Bahkan perkembangan penggunaan nylon diperkirakan akan terus meningkat penggunaannya hingga 5,5% pada tahun 2020

Dalam dunia produksi industri, produsen tentulah dituntut oleh kostumer untuk memberikan kualitas yang sebaik-baiknya. Oleh karena itulah diciptakanlah teknologi otomatisasi, dimana teknologi ini bisa menghasilkan produk yang sama berulang tanpa ada perbedaan dengan hasil benda yang pertama. Teknologi otomatisasi yang dibuat berdasarkan teknologi robotika dan numerical. Mesin tersebut dinamakan mesin CNC (*Computer Numerical Control*).

Mesin CNC yang paling sering digunakan dalam bidang industri adalah, mesin CNC berjenis *milling*. Mesin *milling* berbasis CNC adalah mesin yang paling sering digunakan dalam dunia industri, dikarenakan penggunaannya yang dapat menghasilkan produk-produk dengan desain yang kompleks dan tidak memakan banyak waktu. Dari berbagai macam proses *milling*, salah satunya adalah proses pembuatan *slot mill*. Proses *slot mill*

dilakukan untuk membuat celah pada material. Kualitas dalam pembuatan celah pada material dapat dilihat dari kekasaran permukaan dari hasil potongan material tersebut.

Kekasaran permukaan menjadi patokan utama kualitas, beriringan dengan hasil bentuk dan dimensi dari suatu produk permesinan [1] kekasaran permukaan dapat mempengaruhi mechanical properties (ketahanan karat, ketahanan fatigue, dll) dan juga functional attributes (suaian, konduktifitas termal, gesekan, dll) sebuah produk [2]

Kekasaran permukaan dari sebuah produk dihasilkan oleh proses permesinan yang kurang baik. Faktor – faktor yang berpengaruh dalam proses permesinan adalah tool, cutting parameters, workpiece, machine tool dan cutting fluid [3]. Salah satu contoh pengaruh dari pemilihan cutting parameters terhadap kekasaran permukaan adalah peningatan cutting speed dapat menyebabkan penurunan kekasaran permukaan dan peningkatan feed rate akan meningkatkan kekasaran permukaan [4]

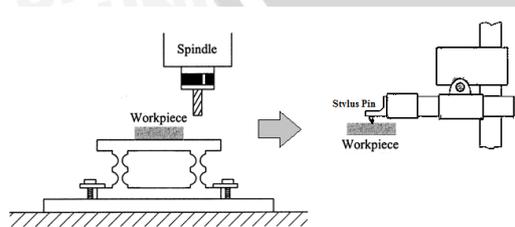
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari tahu bagaimana pengaruh *spindle speed* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan bagian sisi pada proses *slot milling*.

### Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental yaitu melakukan pengamatan langsung untuk mencari data sebab dan akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh dari variasi *spindle speed* dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan lubang pada proses *slot mill* menggunakan mesin *micromill CNC milling* merek *denford*.

Dalam penelitian ini peneliti memvariasikan besar *spindle speed* sebesar 700rpm, 800rpm, 900rpm dan besar *feed rate* sebesar 50mm/min, 100mm/min, 200mm/min dengan *depth of cut* 10mm. Pahat yang digunakan *endmill* Ø10mm.

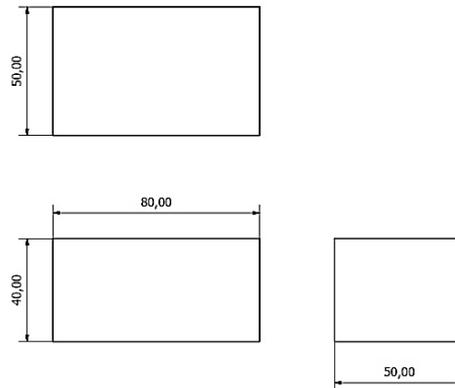
Pengukuran kekasaran permukaan menggunakan *surface roughness tester* SJ-301 merek mitutoyo dan pengukuran *chatter* menggunakan *vibration* meter.



Gambar 1 Skema Penelitian

Bahan yang digunakan untuk proses berupa MC PA6 nylon. Sifat material dan dimensi MC PA6 nylon antara lain :

- *Elongation* : 20%
- *Tensile strength* : 75 MPa
- *Proportion* : 1.2 g/cm<sup>3</sup>



Gambar 2 Dimensi Benda Kerja (mm)

### Hasil dan Pembahasan

Data hasil penelitian pengaruh *spindle speed* dan *feed rate* pada proses *reaming* terhadap kekasaran permukaan (*Ra*) lubang MC PA6 nylon dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 1 Data Hasil Penelitian

No	N rev/ min	<i>f<sub>r</sub></i> mm/ min	<i>Ra</i> (down) µm	Mean (down) µm	<i>Ra</i> (up) µm	Mean (up) µm
1	50	50	0,619	0,63125	0,645	0,668
2			0,631		0,657	
3			0,635		0,679	
4			0,64		0,691	
5	700	100	0,846	0,863	0,875	0,891
6			0,862		0,888	
7			0,872		0,898	
8			0,872		0,903	
9	800	200	1,364	1,391	1,43	1,446
10			1,398		1,448	
11			1,4		1,452	
12			1,402		1,454	
13	800	50	0,484	0,50725	0,563	0,58675
14			0,505		0,571	
15			0,516		0,605	
16			0,524		0,608	
17	800	100	0,733	0,7625	0,804	0,83025
18			0,754		0,82	
19			0,777		0,843	
20			0,786		0,854	
21	800	200	1,189	1,206	1,22	1,22425
22			1,208		1,221	
23			1,211		1,223	
24			1,216		1,233	

25	900	50	0,453	0,4655	0,457	0,51925
26			0,462		0,53	
27			0,469		0,544	
28			0,478		0,546	
29	100	0,71	0,685	0,95075	0,793	0,7985
30			0,703		0,798	
31			0,725		0,801	
32	200	0,95075	0,727	0,95075	0,802	0,9955
33			0,919		0,917	
34			0,938		0,991	
35			0,965		0,995	
36			0,981		1,079	

Analisa data dengan metode regresi linier berganda digunakan untuk menghitung besarnya pengaruh antara variabel bebas, yaitu *spindle speed* dan *feed rate* terhadap variabel terikat yaitu kekasaran permukaan ( $R_a$ ) sisi *up milling* dan *down milling*, dikarenakan terdapat dua variabel bebas dengan dua variabel terikat maka analisa data dengan persamaan regresi dilakukan dengan masing-masing variabel terikatnya. Pada analisa data dengan metode regresi linier terdapat 3 tabel yang dapat dianalisa, yaitu *multiple linear regression: model summary*, ANOVA, dan *multiple linear regression: coefficient*

**Tabel 2** Multiple Linear Regression: Model Summary Ra Down Mill

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.980 <sup>a</sup>	.961	.948	.07090912

a. Predictors: (Constant), Feed Rate, Spindle Speed

b. Dependent Variable: Ra (Down Milling)

**Tabel 3** Multiple Linear Regression: Model Summary Ra Up Mill

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.972 <sup>a</sup>	.945	.926	.08173903

a. Predictors: (Constant), Feed Rate, Spindle Speed

b. Dependent Variable: Ra (Up Milling)

Dari tabel diatas terdapat 2 data penting yang dapat dianalisa, yaitu:

1. Koefisien korelasi (R), digunakan untuk menghitung besarnya keterkaitan antara variabel bebas yaitu spindle speed dan feed rate dengan variabel terikatnya kekasaran permukaan pada sisi *down milling* Nilai R sebesar 0,980 atau 98% antara variabel bebas spindle speed dan feed rate terhadap variabel bebas kekasaran permukaan pada sisi *down milling* ( $R_a$ ), sedangkan untuk sisi *up milling* Nilai R sebesar 0,972 atau 97,2% antara variabel bebas spindle speed dan feed rate terhadap variabel bebas kekasaran permukaan pada sisi *up milling* ( $R_a$ ).

2. Koefisien determinasi ( $R^2$ ), digunakan untuk menghitung besarnya pengaruh variabel bebas yaitu spindle speed dan feed rate dengan variabel terikatnya kekasaran permukaan pada sisi *down milling*. Nilai R square ( $R^2$ ) 0,961 atau 96,1% antara variabel bebas dengan variabel terikatnya, sedangkan sisanya 3,9% (100% - 96,1%) dipengaruhi oleh variabel yang tidak diteliti, sedangkan untuk sisi *up milling* terdapat keterkaitan sebesar 0,945 atau 94,5% antara variabel bebas dengan variabel terikatnya, sedangkan sisanya 5,5% (100% - 94,5%) dipengaruhi oleh variabel yang tidak diteliti di penelitian ini.

Pengujian secara simultan bertujuan untuk mengetahui pengaruh secara simultan dari pada variabel bebas, spindle speed dan feed rate terhadap kekasaran permukaan pada sisi  $R_a$ . Nilai dianggap signifikan apabila  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, sedangkan tidak signifikan apabila  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak.

Pengambilan keputusan dengan cara perbandingan  $F_{Tabel}$  dengan  $F_{Hitung}$  dengan persamaan sebagai berikut:

- Jika  $F_{hitung} \geq F_{tabel}$  atau signifikan  $\leq 0.05$  maka  $H_0$  ditolak dan menerima  $H_1$
- Jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$  atau signifikan  $> 0.05$  maka  $H_0$  diterima dan menolak  $H_1$  Berdasarkan tabel diatas didapatkan persamaan regresi sebagai berikut :

**Tabel 4** Hasil Uji ANOVA Down Milling

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	.737	2	.369	73.293	.000 <sup>b</sup>
Residual	.030	6	.005		
Total	.767	8			

a. Dependent Variable: Ra (Down Milling)

b. Predictors: (Constant), Feed Rate, Spindle Speed

**Tabel 5** Hasil Uji ANOVA Up Milling

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	.682	2	.341	51.060	.000 <sup>b</sup>
Residual	.040	6	.007		
Total	.722	8			

a. Dependent Variable: Ra (Up Milling)

b. Predictors: (Constant), Feed Rate, Spindle Speed

Dari tabel 10 dan tabel 11 di atas dapat dilihat bahwa nilai  $F_{hitung}$  pada ANOVA *down milling* adalah sebesar 73,293 dan pada *up milling* adalah sebesar 51.06 yang dimana artinya lebih besar dari pada  $F_{tabel}$  yang sama-sama sebesar 5,14 (tabel distribusi nilai  $F_{0,05}$ ), dengan nilai signifikansi



yang keduanya nilainya sama yaitu sebesar 0,000 yang berarti lebih kecil dari pada 0,05, maka dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat pengaruh secara simultan antara variabel bebas, *spindle speed* dan *feed rate* terhadap variabel terikatnya, kekasaran permukaan sisi *down milling* maupun sisi *up milling*.

**Tabel 6** Multiple Linear Regression: Coefficient Ra Down Mill

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	1.345	.237		5.675	.001
Spindle Speed	-.001	.000	-.354	-4.370	.005
Feed Rate	.004	.000	.914	11.291	.000

a. Dependent Variable: Ra (Down Milling)

Berdasarkan tabel diatas didapatkan persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

$$Y = 1,345 - 0,001X_1 + 0,004X_2$$

Dimana :

- Y = Kekasaran Permukaan (Ra) *Up Milling*
- X<sub>1</sub> = *Spindel Speed*
- X<sub>2</sub> = *Feed Rate*

Sesuai dengan persamaan regresi yang diperoleh di atas, maa model regresi dapat diinterpretasikan sebagai berikut :

1. Nilai koefisien b<sub>1</sub> adalah sebesar -0,001 oleh karena itu dapat diinterpretasikan jika nilai X<sub>1</sub> (*spindle speed*) mengalami kenaikan sebanyak 1 poin sementara nilai X<sub>2</sub> (*feed rate*) tidak berubah, maka nilai Y (kekasaran permukaan sisi *down milling*) akan mengalami penurunan sebesar 0,001 μm. Koefisien pada X<sub>1</sub> (*spindel speed*) bernilai negatif, artinya bila X<sub>1</sub> (*spindle speed*) mengalami peningkatan maka nilai Y (kekasaran permukaan sisi *down milling*) akan mengalami penurunan.
2. Nilai koefisien b<sub>2</sub> adalah sebesar 0,004 oleh karena itu dapat diinterpretasikan jika nilai X<sub>2</sub> (*feed rate*) mengalami kenaikan sebanyak 1 poin sementara nilai X<sub>1</sub> (*spindle speed*) tidak berubah, maka nilai Y (kekasaran permukaan sisi *down milling*) akan mengalami peningkatan sebesar 0,004 μm. Koefisien pada X<sub>2</sub> (*feed rate*) bernilai positif, artinya bila X<sub>2</sub> (*feed rate*) mengalami peningkatan maka nilai Y (kekasaran permukaan sisi *down milling*) akan mengalami peningkatan pula.

**Tabel 7** Multiple Linear Regression: Coefficient Ra Up Milling

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	1.323	.273		4.842	.003
Spindle Speed	-.001	.000	-.332	3.455	.014
Feed Rate	.004	.000	.913	9.496	.000

a. Dependent Variable: Ra (Up Milling)

Berdasarkan tabel diatas didapatkan persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

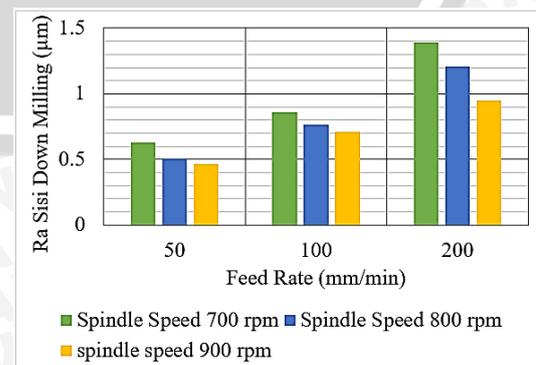
$$Y = 1,323 - 0,001X_1 + 0,004X_2$$

Dimana :

- Y = Kekasaran Permukaan (Ra) *Down Mill*
- X<sub>1</sub> = *Spindel Speed*
- X<sub>2</sub> = *Feed Rate*

Sesuai dengan persamaan regresi yang diperoleh di atas, maa model regresi dapat diinterpretasikan sebagai berikut :

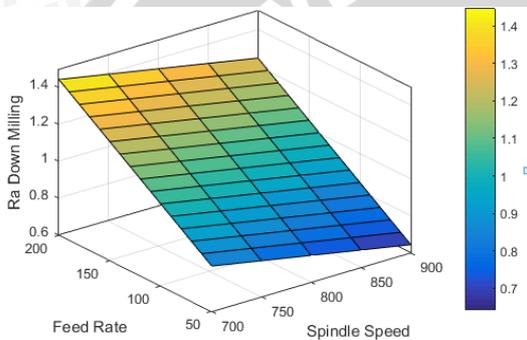
1. Nilai koefisien b<sub>1</sub> adalah sebesar -0,001 oleh karena itu dapat diinterpretasikan jika nilai X<sub>1</sub> (*spindle speed*) mengalami kenaikan sebanyak 1 poin sementara nilai X<sub>2</sub> (*feed rate*) tidak berubah, maka nilai Y (kekasaran permukaan sisi *up milling*) akan mengalami penurunan sebesar 0,001 μm. Koefisien pada X<sub>1</sub> (*spindel speed*) bernilai negatif, artinya bila X<sub>1</sub> (*spindle speed*) mengalami peningkatan maka nilai Y (kekasaran permukaan sisi *up milling*) akan mengalami penurunan.
2. Nilai koefisien b<sub>2</sub> adalah sebesar 0,004 oleh karena itu dapat diinterpretasikan jika nilai X<sub>2</sub> (*feed rate*) mengalami kenaikan sebanyak 1 poin sementara nilai X<sub>1</sub> (*spindle speed*) tidak berubah, maka nilai Y (kekasaran permukaan sisi *up milling*) akan mengalami peningkatan sebesar 0,004 μm. Koefisien pada X<sub>2</sub> (*feed rate*) bernilai positif, artinya bila X<sub>2</sub> (*feed rate*) mengalami peningkatan maka nilai Y (kekasaran permukaan sisi *up milling*) akan mengalami peningkatan pula



**Gambar 3** Grafik Pengaruh *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap Data Kekasaran Permukaan Sisi *Down Milling*

Gambar 3 diatas menjelaskan hubungan variabel bebas *spindel speed* dan *feed rate* dengan variabel terikat kekasaran permukaan ( $R_a$ ). Sumbu X menunjukkan *feed rate* dan sumbu Y menunjukkan kekasaran permukaan ( $R_a$ ) pada sisi *down milling*. Data pada grafik dikelompokkan berdasarkan *feed rate*, sehingga dapat terlihat bagaimana perbedaan kekasaran permukaan antar masing-masing *feed rate*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kenaikan *feed rate* akan menyebabkan kenaikan kekasaran permukaan sisi *down milling*, dan kekasaran permukaan sisi *down milling* paling besar adalah pada *spindle speed* 700 rpm dan *feed rate* 200 mm/min dengan nilai kekasaran permukaan 1,391  $\mu\text{m}$ . dan kekasaran permukaan paling kecil terjadi pada *spindle speed* 900 rpm dan *feed rate* 50 mm/min dengan nilai kekasaran permukaan 0,4655  $\mu\text{m}$ .



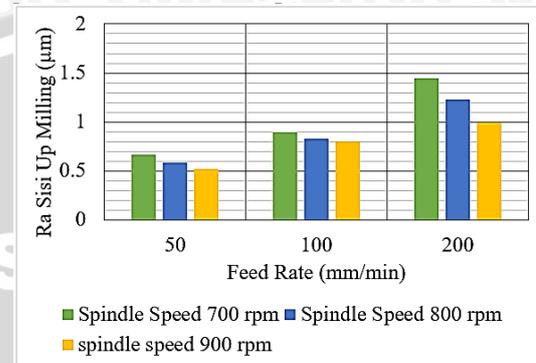
Gambar 4 Grafik Hubungan *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap Kekasaran Permukaan Sisi *Down Milling*

Grafik yang didapat dari analisa regresi linear berganda didapatkan  $Y = 1,345 - 0,001X_1 + 0,004X_2$  yang artinya nilai kekasaran permukaan sisi *down milling* berbanding lurus positif dengan *feed rate*, dan berbanding lurus negatif terhadap *spindle speed*. Hal tersebut sesuai dengan grafik pengaruh *spindle speed* dan *feed rate* dengan kekasaran permukaan sisi *down milling*.

Berdasarkan analisa regresi linear berganda  $Y = 1,345 - 0,001X_1 + 0,004X_2$  variabel bebas *spindle speed* dengan variabel terikat kekasaran permukaan sisi *down milling* berbanding lurus negatif terhadap *spindle speed*. Nilai kekasaran permukaan sisi *down milling* berurutan dari yang paling kecil hingga yang paling besar berbanding lurus negatif dengan *spindle speed*, dimana kekasaran permukaan semakin menurun bila *spindle speed* semakin meningkat, dengan urutan *spindle speed* 700 rpm, 800 rpm, kemudian 900 rpm yang semakin menurunkan nilai kekasaran permukaan sisi *down milling*.

Berdasarkan analisa regresi linear berganda  $Y = 1,345 - 0,001X_1 + 0,004X_2$  variabel bebas *feed rate* dengan variabel terikat kekasaran permukaan sisi *down milling* berbanding lurus positif terhadap *spindle speed*. Nilai kekasaran permukaan sisi

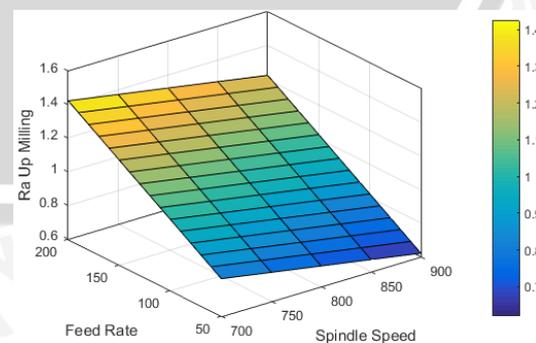
*down milling* berurutan dari yang paling kecil hingga yang paling besar berbanding lurus positif dengan *feed rate*, dimana kekasaran permukaan semakin meningkat bila *feed rate* semakin meningkat, dengan urutan *feed rate* 200 mm/min, 100 mm/min, kemudian 50 mm/min yang semakin menurunkan nilai kekasaran permukaan sisi *down milling*.



Gambar 5 Grafik Pengaruh *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap Data Kekasaran Permukaan Sisi *Up Milling*

Gambar 5 diatas menjelaskan hubungan variabel bebas *spindel speed* dan *feed rate* dengan variabel terikat kekasaran permukaan ( $R_a$ ). Sumbu X menunjukkan *feed rate* dan sumbu Y menunjukkan kekasaran permukaan ( $R_a$ ). Grafik diatas didapatkan berdasarkan data yang didapat dari penelitian. Data pada grafik dikelompokkan berdasarkan *feed rate*, sehingga dapat terlihat perbedaan kekasaran permukaan pada masing-masing *feed rate*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kenaikan *feed rate* akan menyebabkan kenaikan kekasaran permukaan sisi *up milling*, dan kekasaran permukaan sisi *up milling* paling besar adalah pada *spindle speed* 700 rpm dan *feed rate* 200 mm/min dengan nilai kekasaran permukaan 1,446  $\mu\text{m}$ . dan kekasaran permukaan paling kecil terjadi pada *spindle speed* 900 rpm dan *feed rate* 50 mm/min dengan nilai kekasaran permukaan 0,51925  $\mu\text{m}$ .



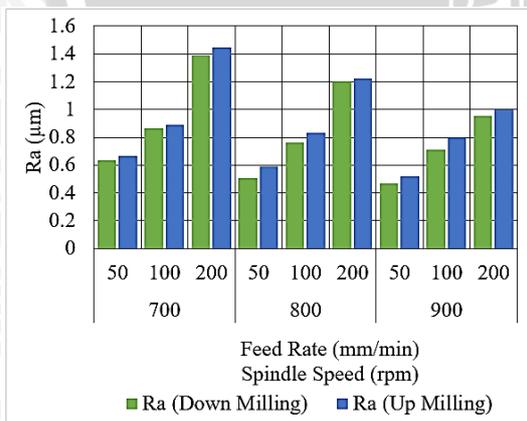
Gambar 6 Grafik Hubungan *Spindle Speed* dan *Feed Rate* terhadap Kekasaran Permukaan Sisi *Up Milling*



Berdasarkan grafik yang didapat dari analisa regresi linear berganda didapatkan  $Y = 1,323 - 0,001X_1 + 0,004X_2$  yang artinya nilai kekasaran permukaan sisi *up milling* berbanding lurus positif dengan *feed rate*, dan berbanding lurus negatif terhadap *spindle speed*. Hal tersebut sesuai dengan grafik pengaruh *spindle speed* dan *feed rate* dengan kekasaran permukaan sisi *up milling*.

Berdasarkan analisa regresi linear berganda  $Y = 1,323 - 0,001X_1 + 0,004X_2$  variabel bebas *spindle speed* dengan variabel terikat kekasaran permukaan sisi *up milling* berbanding lurus negatif terhadap *spindle speed*. Nilai kekasaran permukaan sisi *up milling* berurutan dari yang paling kecil hingga yang paling besar berbanding lurus negatif dengan *spindle speed*, dimana kekasaran permukaan semakin menurun bila *spindle speed* semakin meningkat, dengan urutan *spindle speed* 700 rpm, 800 rpm, kemudian 900 rpm yang semakin menurunkan nilai kekasaran permukaan sisi *up milling*.

Berdasarkan analisa regresi linear berganda  $Y = 1,323 - 0,001X_1 + 0,004X_2$  variabel bebas *feed rate* dengan variabel terikat kekasaran permukaan sisi *up milling* berbanding lurus positif terhadap *spindle speed*. Nilai kekasaran permukaan sisi *up milling* berurutan dari yang paling kecil hingga yang paling besar berbanding lurus positif dengan *feed rate*, dimana kekasaran permukaan semakin meningkat bila *feed rate* semakin meningkat, dengan urutan *feed rate* 200 mm/min, 100 mm/min, kemudian 50 mm/min yang semakin menurunkan nilai kekasaran permukaan sisi *up milling*.



**Gambar 7** Grafik Perbandingan Kekasaran Permukaan pada Sisi Down Milling dan Up Milling

Grafik di atas adalah grafik perbandingan kekasaran permukaan pada sisi *down milling* dan sisi *up milling*. Grafik diatas dibuat berdasarkan data kekasaran permukaan pada masing-masing sisi permesinan, dengan mengelompokkan berdasarkan *feed rate* dan *spindle speed*. Pada bar yang berwarna biru menunjukkan hasil kekasaran permukaan pada sisi *up milling*,

sedangkan bar yang berwarna hijau menunjukkan hasil kekasaran permukaan pada sisi *down milling*.

Terlihat pada grafik semakin tinggi nilai daripada *feed rate* maka pengaruh *spindle speed* terhadap kekasaran akan semakin berperan aktif. hal tersebut sesuai dengan persamaan berikut dimana nilai *feed* (*f*) akan semakin mengecil seiring meningkatnya nilai *spindle speed* (*N*).

$$f_r = Nf$$

Dimana nilai *feed* adalah nilai yang berbanding lurus dengan mempengaruhi kekasaran permukaan dengan melihat persamaan berikut:

$$Ra = \frac{f^2}{32NR}$$

Berdasarkan dasar teori yang telah dibuat hasil ini sesuai dengan hipotesa yang telah dibuat yaitu terjadi perbedaan pada masing-masing sisi proses *slot milling* hal ini dikarenakan terjadi perbedaan perlakuan permesinan yang diterima antara sisi satu dengan yang lainnya. Salah satu sisi pada *slot milling* akan mengalami perlakuan *down milling* sedangkan sisi lainnya akan mengalami perlakuan *up milling*, dimana hasil geometri permukaan akan mengalami perbedaan. Perbedaan dimana nilai kekasaran pada sisi *up milling* lebih kasar dibandingkan pada sisi *down milling*.

Perbedaan kekasaran permukaan pada sisi *milling* dan *down milling* terjadi selama pembuatan slot. Dari hasil data sisi *up milling* cenderung lebih kasar dibandingkan sisi *down milling*. Penyebab terjadinya perbedaan kekasaran pada sisi permukaan *slot milling* disebabkan terjadinya perbedaan pembentukan hasil *chip* yang terjadi akibat permesinan. Hasil *chip* pada sisi *up mill* terjadi pembentukan BUE sedangkan pada sisi *down mill* tidak terjadi pembentukan BUE.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Spindle speed* semakin meningkan maka akan semakin menurun nilai kekasaran permukaan pada masing-masing permukaan sisi *slot milling*. Nilai kekasaran paling rendah terjadi pada *spindle speed* 900 rpm, sedangkan nilai kekasaran paling tinggi terjadi pada *spindle speed* 700 rpm.
2. *Feed rate* semakin meningkat maka semakin meningkat pula nilai kekasaran permukaan pada masing-masing permukaan sisi *slot milling*. nilai kekasaran paling rendah terjadi pada *feed rate* 50 mm/min, sedangkan nilai kekasaran paling tinggi terjadi pada *feed rate* 200 mm/min.
3. Terjadi perbedaan kekasaran permukaan pada sisi *up milling* dan sisi *down milling*. Nilai kekasaran paling tinggi terjadi pada sisi permukaan *slot milling* bagian *up mill*,

**Daftar Pustaka**

- [1] Kyratsis P., (2014). *Prediction of Surface Roughness in CNC Milling of AL7075 alloy: A case study using 8mm slot mill cutter*, Department of Mechanical Engineering, Technological Educational Institute of Thessaly, Larisa, Greece
- [2] Raju, K. V. (2011). Optimization Of Cutting Conditions For Surface Roughness In CNC End Milling . *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing* , 383.
- [3] Muller, P. (2012). Reaming Process Improvement And Control:And Application Of Statistical Engineering . *CIRP Journal Of Manufacturing Science And Technology* , 197.
- [4] Sultan, A. (2015). Effect Of Machining Parameters On Tool Wear And machining Quality Of AISI 316L Stainless Steel In Conventional Drilling . *2nd International Materials, Industrial And Manufacturing Engineering Conference* , 205.
- [5] Groover Mikell P., (2013). *Fundamentals of Modern Manufacturing*, College of Engineering and Applied Science, Lehigh University

