

**OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMESINAN *CNC MILLING*
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN KAYU JATI
DENGAN METODE TAGUCHI**

Nur Firstiawan, Danar Susilo Wijayanto, Budi Harjanto

Prodi. Pend. Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik Kejuruan, FKIP, UNS
Kampus UNS Pabelan JL. Ahmad Yani 200, Surakarta, Tlp/Fax 0271 718419
E-mail: nurfirstiawan@fkip.uns.ac.id

ABSTRAK

Nur Firstiawan. **OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMESINAN *CNC MILLING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN KAYU JATI DENGAN METODE TAGUCHI**. Skripsi, Surakarta: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Sebelas Maret Surakarta, September 2012.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui: (1) Pengaruh variasi kecepatan *spindle*, laju pemakanan, kedalaman pemakanan, dan arah potong serat kayu (longitudinal, radial, dan tangensial) terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil proses pemesinan *CNC milling type* ZK 7040 pada material kayu jati. (2) Mengetahui parameter manakah yang menghasilkan nilai kekasaran optimal pada proses pemesinan *CNC milling type* ZK 7040 pada material kayu jati, dengan menggunakan metode Taguchi.

Proses pemesinan kayu jati menggunakan mesin *CNC milling type* ZK 7040 dengan *control SIEMENS SINUMERIK 802S* dilaksanakan di SMK SAKTI Gemolong. Pengujian kadar air dilakukan di Laboratorium Bahan, Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret. Pengujian kekasaran permukaan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik, Program Diploma Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada. Metode optimasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Taguchi. ANAVA TAGUCHI (Analisis Varian Taguchi) dibantu *software Minitab 15* untuk mengetahui karakteristik performansi dari parameter pemesinan.

Hasil penelitian proses pemesinan *CNC milling type* ZK 7040 pada material kayu jati ini adalah: (1) Semakin tinggi kecepatan *spindle*, akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin kecil yaitu pada level 3 = 3000 rpm; semakin tinggi laju pemakanan, akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin besar yaitu pada level 3 = 1200 mm/min; semakin tinggi kedalaman pemakanan, akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin besar yaitu pada level 3 = 6 mm; dan semakin kering kayu pada variasi arah potong serat kayu, akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin kecil yaitu pada level 1 = arah pemotongan tangensial. (2) Parameter yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan optimal adalah pada kecepatan putaran *spindle* 3000 rpm, laju pemakanan sebesar 400 mm/min, kedalaman pemakanan 2 mm, dan arah potong serat kayu tangensial. Laju pemakanan memiliki pengaruh paling besar dengan delta S/N rasio sebesar 3,78 dan arah potong serat kayu memiliki kontribusi paling kecil yaitu dengan delta S/N rasio sebesar 1,92. (3) Hasil kekasaran yang optimal adalah $4,12 \pm 0,42 \mu\text{m}$.

ABSTRACT

Nur Firstiawan. **PARAMETER OPTIMIZATION OF MACHINING *CNC MILLING* PROCESS OF SURFACE ROUGHNESS TEAK WOOD WITH METHOD**

TAGUCHI. Thesis, Surakarta: The Faculty of Teacher Training and Education. Sebelas Maret University, September 2012.

The purpose of this research is to know: (1) Effect of spindle speed variation, feedrate, depth of cut and direction of the wood grain pieces (longitudinal, radial and tangential) to the level of surface roughness result type CNC milling machining process ZK 7040 at teak wood material. (2) Knowing which parameters that produce optimal roughness values on CNC milling machining process on the material type ZK 7040 at teak wood material, using the Taguchi method.

Teak wood machining process using CNC milling machine type 7040 with the ZK control SIEMENS SINUMERIK 802S in SMK SAKTI Gemolong. The testing of moisture content done in Laboratory of Materials, Civil Engineering, Sebelas Maret University. Surface roughness test was done in metrology laboratory, Mechanical Engineering Diploma Program, Vocational School, Gadjah Mada University. Optimization methods used in this study the Taguchi method. TAGUCHI ANOVA (Analysis of Taguchi Varian) in Minitab 15 software help to determine the performance characteristics of the machining parameters.

The results of CNC milling machining process on the material type ZK 7040 teak was: (1) higher spindle speed, will produce a surface roughness values less ie at level 3 = 3000 rpm; highe feedrate, will produce a surface roughness values greater ie at level 3 = 1200 mm/min; higher depth of cut, will produce value greater surface roughness is at level 3 = 6 mm, and more dry wood on the variation of direction wood grain pieces, would result in the value of the smaller surface roughness is at level 1 = direction tangential cutting. (2) Parameters that yield optimal surface roughness values are at 3000 rpm spindle rotation speed, feedrate 400 mm/min, depth of cut 2 mm and tangential cutting direction. The feedrate has the most effect with delta ratio S/N 3,78 and the direction of cutting wood has the smallest contribution is a delta ratio S/N 1,92. (3) The optimal roughness is $4,12 \pm 0,42 \mu\text{m}$.

Key words: Wood machining, CNC milling, surface roughness, and Taguchi method.

A. PENDAHULUAN

Kualitas suatu produk proses pemesinan sangat dipengaruhi oleh ketepatan geometri dan kekasaran permukaan benda yang dihasilkan.

Pada proses pemesinan konvensional, cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai kekasaran tertentu adalah dengan *trial and error* dalam memilih kecepatan spindle, laju pemakanan, kedalaman pemakanan, dan arah pemakanan. Besaran tersebut berpengaruh terhadap kualitas hasil pemesinan serta produktivitas. Cara *trial and error* tersebut tidak cocok diterapkan dalam

proses pemesinan dengan mesin CNC karena waktu proses produksi tidak efisien.

Dalam penelitian ini banyak faktor yang berpengaruh terhadap hasil kualitas permukaan suatu komponen. Ardiansyah (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter permesinan *milling* pada kayu terhadap kekasaran permukaan. Desain eksperimen menggunakan metode Taguchi dengan variabel bebas kecepatan potong, laju makan, kedalaman pemakanan dan arah pemakanan. Dari hasil analisis varian yang dilakukan oleh Ardiansyah bahwa arah pemakanan memiliki pengaruh paling besar terhadap kekasaran permukaan baik kayu

angka maupun mahoni. Kondisi parameter pemesinan paling baik untuk kayu angka diperoleh pada kecepatan potong rendah, kecepatan makan rendah, kedalaman tinggi dan arah pemakanan 0° . Kondisi parameter pemesinan paling baik untuk kayu mahoni diperoleh pada kecepatan potong tinggi, kecepatan makan rendah, kedalaman sedang dan arah pemakanan 0° . Penelitian Ardiansyah menunjukkan bahwa ada beberapa pengaruh parameter permesinan pada kayu di antaranya kecepatan potong, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, dan arah pemakanan.

Penelitian yang dilakukan oleh Didik Wagiyanto (2012) tentang pengaruh kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan kayu jati pada proses pemesinan *CNC 3 Axis*. Desain eksperimen menggunakan faktorial. Hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan *spindle*, akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin kecil; semakin tinggi laju pemakanan, akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin besar.

Patel K.P. (2012) menganalisis eksperimen kekasaran permukaan pada proses pemesinan *CNC Milling 3 Axis* dengan metode Taguchi untuk mendapatkan parameter pemotongan yang optimal. Variabel bebas yang digunakan adalah

kecepatan pemakanan, kecepatan spindle, diameter pahat, dan kedalaman pemakanan. Variabel terikatnya adalah kekasaran permukaan. Proses pemesinan *milling* dilakukan tanpa cairan pendingin dan material yang digunakan aluminium. Analisis eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa desain parameter Taguchi diperoleh parameter pemotongan yang optimal, yaitu: kecepatan pemakanan 500 mm/min, kecepatan spindle 5000 rpm, diameter pahat $\phi 12$ mm, dan kedalaman pemakanan 0,25 mm. Penelitian yang dilakukan Patel K.P. (2012) bertujuan mengurangi variabilitas proses dan meminimalkan cacat produk dengan menggunakan sejumlah kecil eksperimental dan biaya untuk mencapai produk berkualitas. Penelitian Patel K.P. (2012) juga menunjukkan bagaimana menggunakan desain parameter Taguchi untuk mengoptimalkan kinerja mesin dengan biaya minimum.

Dari literatur penelitian di atas, peneliti merumuskan masalah sebagai berikut: bagaimana pengaruh kecepatan pemotongan (*cutting speed*), laju pemakanan (*feed rate*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*) dan arah pemotongan (longitudinal, radial, dan tangensial), parameter manakah yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan optimal terhadap kekasaran permukaan kayu

jati pada proses pemesinan *CNC Milling*. Metode *Taguchi* digunakan untuk menganalisis faktor apa yang paling berpengaruh dan kondisi optimal parameter pemesinan seperti apa yang akan menghasilkan kekasaran permukaan yang terbaik. Salah satu keunggulan metode Taguchi adalah desain eksperimen taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah (Soejanto, 2009: 16).

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendapatkan *setting* optimal parameter pemesinan *CNC milling type ZK 7040* pada material kayu jati. Kondisi optimal yang dimaksud adalah penggunaan parameter pemesinan yang tepat dan efisien waktu tetapi hasil kekasaran permukaannya rendah.

Proses optimasi menggunakan metode *Taguchi*. Metode *Taguchi* adalah metode eksperimen yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin sehingga dicapai kondisi yang optimal dan efisien (Soejanto, Irwan: 2009).

Parameter amplitudo kekasaran permukaan yang dipakai di industri ada macam tipe, seperti *roughness average* (R_a), *root-mean-square roughness* (R_q), dan

maximum peak-to-valley roughness (R_y atau R_{max}). Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah R_a , karena parameter ini dianggap paling cocok untuk proses pemesinan dan lebih sensitif terhadap penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan (Daniel, 2010). Kekasaran rata-rata (*average roughness*) R_a , adalah nilai integral absolut dari tinggi profil kekasaran sepanjang pengamatan

Menurut Taufiq Rochim (2001), R_a adalah harga rata-rata aritmetik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah dirumuskan sebagai berikut:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad \mu m$$

Dimana: R_a = simpangan rerata perhitungan dari rata-rata garis

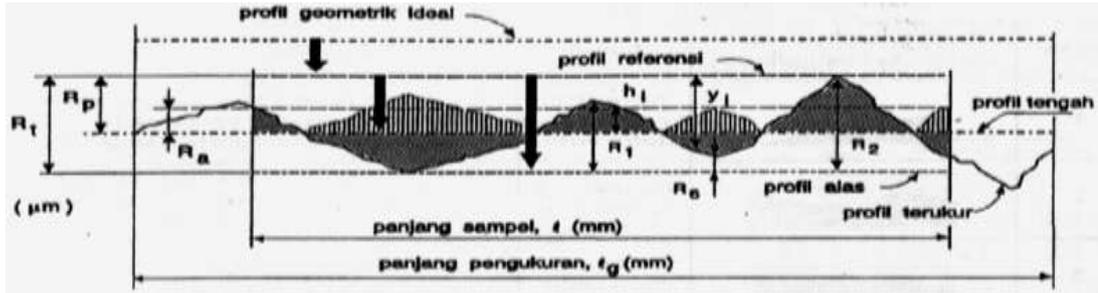
L = panjangnya sampling

y = ordinat kurva profil

Penelitian ini menggunakan alat ukur *Surfcoder SE-1700 Roughness Tester* untuk pengukuran kekasaran permukaan.



Gambar 1. Surfcoder SE-1700 *Roughness Tester*

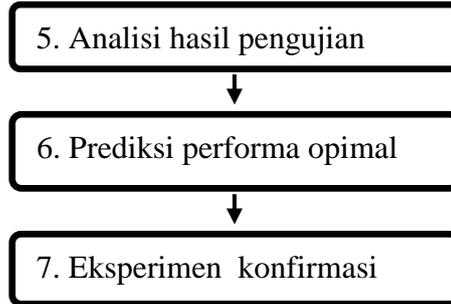


Gambar 2. Profil Kekasaran Permukaan

B. METODE PENELITIAN

Metode eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Taguchi. Tujuan utama desain eksperimen Taguchi adalah meminimalkan variabilitas proses atau produk dan menjadikan desain yang kokoh (*robust*) dan fleksibel terhadap kondisi lingkungan.

Cara yang digunakan dalam desain eksperimen ini adalah *Orthogonal array* untuk mempelajari *layout* desain parameter dan *Signal to Noise Ratio* (S/N Ratio) untuk indikator kualitas dan meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas. Gambar 3. Menunjukkan langkah- langkah eksperimen *Taguchi*:



Gambar 3. Prosedur Desain Parameter Taguchi

Proses pemesinannya menggunakan CNC Mill Master ZK 7040. Pahat yang digunakan adalah *Ball Nose HSS two flute length R4x8x19x63* produksi Shanghai Total Industrial Co., Ltd. Langkah-langkah penelitian ini adalah:

1. Pemilihan karakter kualitas

Karakteristik kualitas yang digunakan adalah *smaller the better*. Hal ini karena nilai kekasaran permukaan yang diinginkan paling kecil adalah nilai yang paling baik.

2. Pemilihan faktor bebas dan terikat

Faktor bebas yang dipilih dalam penelitian ini adalah kecepatan *spindle*, laju pemakanan, kedalaman pemakanan, dan arah pemotongan kayu (longitudinal, radial, dan tangensial). Faktor terikat yang

dipengaruhi faktor bebas adalah kekasaran permukaan. Berikut Tabel 1. Desain level (faktor) parameter eksperimen *Taguchi*:

Tabel 1. Faktor dan Level Percobaan

Faktor	Level			Spindel (n)			
	1 (low)	2 (medium)	3 (high)	B. Laju Pemakanan (f)	800	1200	
A. Kecepatan	1000	2000	3000	C. Kedalaman Pemakanan (α)	2	4	
				D. Arah Pematangan	Longitudinal	Radial	Tangensial

3. Pemilihan *Orthogonal array*

Penelitian ini menggunakan 4 faktor kontrol yaitu A, B, C, dan D, serta masing-masing faktor mempunyai 3 level. Berdasarkan perhitungan derajat kebebasan yang berjumlah 8 digunakan matriks *Orthogonal array* yang nilai derajat kebebasan sama atau lebih besar yaitu $L_9(3^4)$ seperti yang ditunjukkan tabel 2.

4. Pelaksanaan Pengujian

Spesimen yang digunakan adalah kayu jati (*Tectona grandis, L.f.*) berumur ± 10 tahun, pada kondisi kering udara. Kayu jati berdimensi balok S= 50 mm (Gambar 4).



Gambar 4. *Specimen* Kayu Jati

Ada sembilan eksperimen dengan masing-masing 3 replikasi sehingga ada 27 percobaan. Desain eksperimen *Taguchi* sesuai Tabel 2. Setelah proses pemesinan dilakukan pengukuran kekasaran permukaan dengan Surfcoeder SE-1700. Data eksperimen yang terkumpul diolah dengan ANOVA dan S/N rasio dengan rumus:

$$MSD = \left(\frac{1}{n} \right)$$

$$S/N = -10 \log_{10}(MSD)$$

Dimana:

= Hasil dari percobaan

n = Jumlah pengulangan

MSD = (Mean Squared Deviation)

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil eksperimen yang terkumpul kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh parameter pemesinan *CNC milling* terhadap karakteristik kualitas dan kondisi optimal dari kombinasi level parameter pemesinannya.



Gambar 5. Proses Pemesinan

Tabel 2. Data Eksperimen sesuai pada Tabel *Orthogonal Array*

Kondisi Eksperimen	Kecepatan Spindel (rpm)	Laju Pemakanan (mm/min)	Kedalaman Pemakanan (mm)	Arah pemotongan
1	1000	400	2	L
2	1000	800	4	R
3	1000	1200	6	T
4	2000	400	4	T
5	2000	800	6	L
6	2000	1200	2	R
7	3000	400	6	R
8	3000	800	2	T
9	3000	1200	4	L

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan (Ra)

Eksperimen	Replikasi			Rata-rata Ra	S/N Rasio
	Ra1	Ra2	Ra3		
1	11,13	12,74	6,31	10,06	-20,36
2	13,40	14,11	15,04	14,18	-23,05
3	16,74	18,41	21,81	18,99	-25,62
4	4,95	7,36	13,19	8,50	-19,25
5	17,74	16,14	17,44	17,11	-24,67
6	14,72	12,31	9,62	12,22	-21,86
7	8,16	9,06	10,94	9,39	-19,52
8	6,47	7,84	7,86	7,39	-17,41
9	12,33	13,80	15,92	14,02	-22,98

Tabel 4. Respon Rata-rata Kekasaran Permukaan dari Pengaruh Faktor

Parameter	Level			Selisih	Ranking
	1	2	3		
A. Kecepatan <i>Spindle</i> (rpm)	14,41	12,61	10,26	2,34	3
B. Kecepatan Pemakanan (mm/min)	9,32	12,89	15,08	5,76	1
C. Kedalaman Pemakanan (mm)	9,89	12,23	15,16	5,27	2
D. Arah Pematangan	13,73	11,93	11,63	2,10	4

Tabel 5. Respon S/N rasio Kekasaran Permukaan dari Pengaruh Faktor

Parameter	Level			Selisih	Ranking
	1	2	3		
A. Kecepatan <i>Spindle</i> (rpm)	-23,01	-21,93	-19,97	3,04	3
B. Kecepatan Pemakanan (mm/min)	-19,71	-21,71	-23,49	3,78	1
C. Kedalaman Pemakanan (mm)	-19,88	-21,76	-23,27	3,39	2
D. Arah Pematangan	-22,67	-21,47	-20,76	1,91	4

Tabel 6. Analisis Varians (ANOVA) Rata-rata Kekasaran Permukaan

Faktor	V	SS	MS	F-Rasio	F-Tabel	SS'	P (%)
A	2	25,37	12,68	140,05	6,01	25,19	20,31
B	2	51,07	25,53	281,97	6,01	50,89	41,04
C	2	39,49	19,74	218,03	6,01	39,31	31,70
D	2	8,09	4,04	44,65	6,01	7,91	6,38
Error	18	1,63	0,09	-	-	-	-
Total	26	125,64	-	-	-	-	100

Dari tabel *appendiks* diambil $F_{(0,01;2;8)} = 6,01$

Prediksi Performa Optimal

Prediksi nilai optimal bertujuan untuk mengetahui apakah nilai hasil pengujian di lapangan masih dalam batas toleransi yang diijinkan.

Prediksi Nilai Kekasaran Permukaan

Prediksi nilai kekasaran optimum dilakukan untuk mengetahui perkiraan nilai kekasaran permukaan rata-rata yang mungkin bisa dicapai

Interval Kepercayaan Kekasaran Permukaan Rata-rata

dari hasil eksperimen. Penghitungan nilai prediksi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \mu_{\text{prediksi}} &= \bar{y} + (\bar{A}_3 - \bar{y}) + \\
 &+ (\bar{C}_1 - \bar{y}) + (\bar{D}_2 - \bar{y}) \\
 &= \bar{A}_3 + B_1 + \bar{C}_1 + \\
 &= 10,26 + 9,32 + 9,89 \\
 &+ 11,93 - 3 \cdot 12,43 \\
 &= 4,12 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$n_{\text{eff}} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan ra}}$$

$$n_{\text{eff}} = 3$$

$$CI_1 = \pm \sqrt{\frac{F_{(0,01;2;18)} \times MS_e}{n_{\text{eff}}}}$$

$$CI_1 = \pm \sqrt{\frac{6,01 \times 0,09}{3}}$$

=

Interval kepercayaan untuk kekasaran permukaan rata-rata adalah:

$$Ra_{\text{prediksi}} - CI \leq Ra_{\text{prediksi}} \leq Ra_{\text{prediksi}} + CI$$

$$4,12 - 0,42 \leq 4,12 \leq 4,12 + 0,42$$

$$3,70 \leq 4,12 \leq 4,54$$

Eksperimen Konfirmasi

Kondisi optimal *setting* parameter pemesian *CNC milling* berdasarkan grafik respon kekasaran permukaan adalah kecepatan spindle level 3 (3000 rpm); kecepatan pemakanan level 1 (400 mm/min);

kedalaman pemakanan level 1 (2 mm), dan arah pemotongan level 3 (arah tangensial). Hasil Eksperimen konfirmasi dan eksperimen *Taguchi* ditunjukkan Tabel 8. Berikut Tabel 7. Hasil konfirmasi pengukuran kekasaran permukaan optimal:

Tabel 7. Hasil Pengukuran Kekasaran Rata-rata Optimal

Pengukuran	Replika			Ra Rata-rata	Mean	S/N Rasio
	1	2	3			
1	3,89	3,79	4,05	3,91	3,89	-11,81
2	3,83	3,82	3,70	3,78		
3	4,54	3,70	3,72	3,99		

Eksperimen Konfirmasi Kekasaran Permukaan Rata-rata

$$CI = \pm \sqrt{F_{(0,01;2;18)} \times MS_e \times \left(\frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r} \right)}$$

$$n_{\text{eff}} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan ra}}$$

$$n_{\text{eff}} = \quad = 3$$

Dimana: r = jumlah replika

Untuk nilai $F_{(0)}$, diambil dari tabel *Appendiks* dengan toleransi error

sebesar 1% = 6,01.

$$CI = \pm \sqrt{6,01 \times 0,09 \times \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right)}$$

$$CI = \pm \sqrt{\frac{6,01 \times 0,09 \times 2}{3}}$$

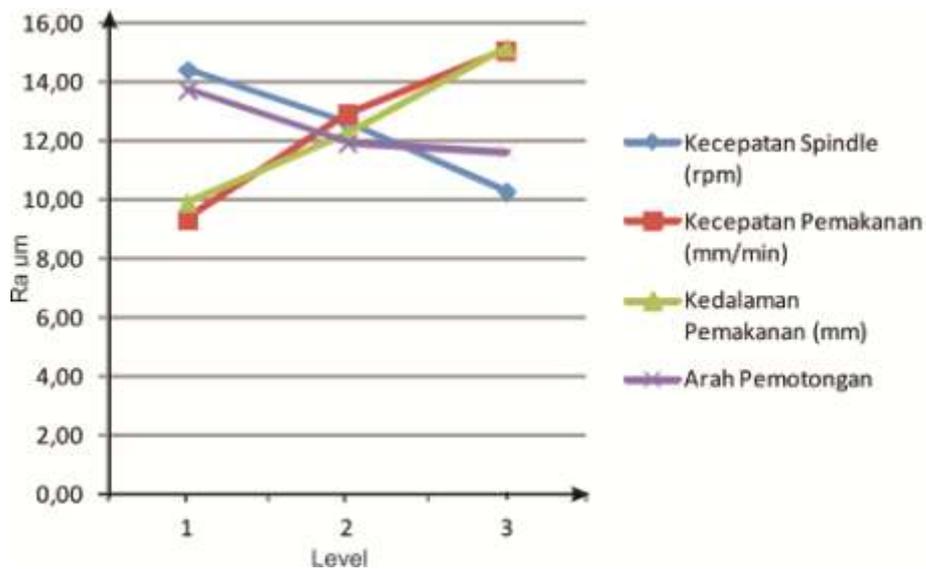
$$= \mu\text{m}$$

Interval kepercayaan untuk kekasaran permukaan rata-rata adalah:

$$Ra_{\text{prediksi}} - CI \leq Ra_{\text{prediksi}} \leq Ra_{\text{prediksi}} + CI$$

$$3,89 - 0,60 \leq \quad \leq 3,89 + 0,60$$

$$3,29 \leq \quad \leq 4,49$$



Gambar 6. Grafik Respon Kekasaran Permukaan

Tabel 8. Interpretasi Hasil Eksperimen Konfirmasi dan Eksperimen Taguchi

Respon (kekasaran permukaan)		Prediksi	Optimasi
Eksperimen Taguchi	Rata-rata (μm)	4,12	$4,12 \pm 0,42$
	Rasio S/N (dB)	-16,11	$-16,11 \pm 0,05$
Eksperimen konfirmasi	Rata-rata (μm)	3,89	$3,89 \pm 0,60$
	Rasio S/N (dB)	-11,81	$-11,81 \pm 0,07$

D. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Semakin tinggi kecepatan *spindle*, maka akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin kecil. Sebaliknya semakin rendah kecepatan *spindle*, maka akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin besar. Perbedaan pengaruh yang sangat signifikan pada taraf signifikansi 1% yaitu pada variasi kecepatan spindle terhadap besarnya nilai kekasaran material kayu Jati hasil proses pemesinan *CNC milling type ZK 7040*. Ini dapat dilihat pada hasil uji analisis data yang menyatakan bahwa $F_{\text{observasi}} = 140,05$ lebih besar daripada $F_{\text{tabel}} = 6,01$ ($F_{\text{observasi}} > F_{\text{tabel}}$).
- Semakin tinggi laju pemakanan, maka akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin besar. Sebaliknya semakin rendah

laju pemakanan, maka akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin kecil. Perbedaan pengaruh yang sangat signifikan pada taraf signifikansi 1% yaitu pada variasi kecepatan spindle terhadap besarnya nilai kekasaran material kayu Jati hasil proses pemesinan *CNC milling type ZK 7040*. Ini dapat dilihat pada hasil uji analisis data yang menyatakan bahwa $F_{\text{observasi}} = 281,97$ lebih besar daripada $F_{\text{tabel}} = 6,01$ ($F_{\text{observasi}} > F_{\text{tabel}}$).

- Semakin tinggi kedalaman pemakanan, maka akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin besar. Sebaliknya semakin rendah kedalaman pemakanan, maka akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin kecil. Perbedaan pengaruh yang sangat signifikan pada taraf signifikansi 1% yaitu pada variasi kedalaman pemakanan terhadap besarnya nilai kekasaran material kayu berumur

± 10 tahun pada kondisi kadar air 14,50% (kadar air kering udara) Jati hasil proses pemesinan *CNC milling type ZK 7040*. Ini dapat dilihat pada hasil uji analisis data yang menyatakan bahwa $F_{\text{observasi}} = 218,03$ lebih besar daripada $F_{\text{tabel}} = 6,01$ ($F_{\text{observasi}} > F_{\text{tabel}}$).

- d. Semakin kering kayu kaitannya dengan arah pemotongan kayu (arah longitudinal, radial, dan tangensial), maka akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin besar. Sebaliknya semakin basah kayu, maka akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang semakin kecil. Ini dapat dilihat pada hasil uji analisis data yang menyatakan bahwa $F_{\text{observasi}} = 44,65$ lebih besar daripada $F_{\text{tabel}} = 6,01$ ($F_{\text{observasi}} > F_{\text{tabel}}$).
- e. Parameter proses pemesinan *CNC milling type ZK 7040* pada material kayu Jati yang menghasilkan nilai

kekasaran optimal adalah kecepatan *spindle* level 1= 3000 rpm; laju pemakanan level 1= 400 mm/min; kedalaman pemakanan level 1= 2 mm; dan arah pemotongan kayu level 3= tangensial.

2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dan implikasi yang ditimbulkan, maka dapat disampaikan saran-saran sebagai berikut:

- a. Penelitian yang dilaksanakan terbatas pada parameter proses pemesinan *CNC milling type ZK 7040*, yaitu kecepatan *spindle*, laju pemakanan, kedalaman pemakanan, dan arah pemotongan kayu (longitudinal, radial, dan tangensial), sehingga perlu adanya penelitian lain yang membahas mengenai parameter-parameter lain sesuai dengan diagram *fishbone* mengenai kekasaran permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah. (2011). *Pengaruh Parameter Permesinan pada Kayu terhadap Kekasaran Permukaan*. Semarang: Skripsi, UNDIP.
- Daniel. (2010). *Optimasi Parameter Pemesinan Proses CNC Freis terhadap Hasil Kekasaran Permukaan dan Keausan Pahat Menggunakan Metode Taguchi*. Semarang: Skripsi, UNDIP.
- Darmanto, J. (2007). *Modul CNC Milling*. Surakarta: Yudhistira.
- Kiswanto, G. & Zuhendri, (2007). *Pengaruh Tipe Pahat dan Arah Pemakanan Permukaan Berkontur pada Pemesinan Milling Awal (Roughing) dan Akhir (Finishing) terhadap Permukaan Hasil Pemesinan*. Depok: Universitas Indonesia.
- K. P., Patel. (2012). *Experimental Analysis on Surface Roughness of CNC End Milling Process using Taguchi Design Method*. International

- Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). Vol. 4 No.02: 540-545.
- Rahmadi, F. (2010). *Optimasi Parameter Proses Pemesinan CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 40 dengan Metode Taguchi*. Surakarta: Skripsi, UNS..
- Subagio, D. G. (2008). *Teknik Pemrograman CNC Bubut dan Freis (CNC Lathe and CNC Milling)*. Jakarta: LIPI Press.
- Sucipto, T. (2009a). *Penentuan Air dalam Rongga Sel Kayu*. Medan: USU e-Repository.
- Sucipto, T. (2009b). *Pengerjaan Kayu dan Sifat Pemesinan Kayu*. Medan: USU e-Repository..
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rochim, T. (2001). *Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Bandung: ITB.
- Utomo, R. N. (2006). *Struktur Anatomi Kayu Jati Plus Perhutani Kelas Umur I Asal Kph Bojonegoro*. Bogor: Skripsi, IPB.
- Wuryandari, T., Widiharih, T., Anggrain, D. S. (2009). *Metode Taguchi untuk Optimalisasi Produk pada Rancangan Faktorial*. Media Statistika, Vol. 2, No. 2, 81-92.
- Yunita, L. (2001). *Peningkatan Stabilitas Dimensi Kayu Jati (Tectona gradis, L.f.) dengan Proses Fisi dan Mekanis*. Bogor : Skripsi, IPB.