

OPTIMISASI PROSES PEMESINAN CNC *MILLING 3 AXIS* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *TAGUCHI*

Benny Haddli Irawan, Nandang Rusmana

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135
Phone/Fax : 022 250 0241 / 250 2649
Email: benny_hi@yahoo.com

Abstrak

Mesin CNC milling 3 axis (*Computer Numerical Control milling machine*) merk *Feeler* dengan tipe VMP-30A merupakan salah satu mesin yang berada di jurusan Teknik Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bandung untuk melakukan proses pemesinan. Dalam penggunaannya, mesin tersebut memerlukan alat potong agar dapat dilakukan proses pemesinan. Salah satu aspek yang menjadi tujuan dari proses pemesinan adalah untuk memperoleh kekasaran permukaan (R_a). Berdasarkan informasi yang diperoleh dari bagian penyedia peralatan (*tool crib*) diketahui bahwa penggunaan dari alat potong masih belum optimum meskipun spesifikasi data pemotongan seperti kecepatan *spindle* (*spindle speed*), laju pemotongan (*feed rate*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) telah tersedia dari pabrik pembuat alat potong. Berdasarkan kondisi tersebut maka dilakukan optimisasi dari sejumlah spesifikasi data yang ditetapkan. Proses optimisasi dilakukan dengan menggunakan metode *Taguchi*. Material benda kerja yang digunakan dalam penelitian adalah St. 37 dengan ukuran 54x32x28 [mm]. Dari hasil penelitian diperoleh level untuk setiap faktor yang dapat mengoptimalkan kekasaran permukaan yaitu level 2 untuk kecepatan *spindel* dengan nilai 4460 [rpm] dan level 2 untuk kedalaman pemotongan dengan nilai 1 [mm]. Dengan metoda *Taguchi* dapat diprediksi kekasaran permukaan (R_a) yang dapat diperoleh yaitu 0,64 [μm]. Dengan menggunakan besaran dari level setiap faktor yang dapat mengoptimalkan kekasaran permukaan diperoleh kekasaran permukaan (R_a) yaitu 0,79 [μm].

Kata kunci : *kecepatan spindel, laju pemotongan, kedalaman pemotongan, alat potong, mesin CNC Milling*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Mesin CNC milling 3 axis (*Computer Numerical Control milling machine*) merk *Feeler* dengan tipe VMP-30A merupakan salah satu mesin yang berada di laboratorium Jurusan Teknik Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bandung. Fungsi utama dari mesin ini ialah sebagai sarana praktikum bagi mahasiswa diploma 3 maupun diploma 4 untuk melakukan proses pemesinan. Dalam penggunaannya, mesin tersebut memerlukan alat potong agar dapat dilakukan proses pemesinan. Salah satu aspek yang menjadi tujuan dari proses pemesinan adalah untuk memperoleh kekasaran permukaan. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari bagian penyedia peralatan (*tool crib*) jurusan Teknik Manufaktur, diketahui bahwa

penggunaan dari alat potong masih belum optimum meskipun spesifikasi data pemotongan (*data specification of cutting*) seperti kecepatan *spindle* (*spindlespeed*), laju pemotongan (*feedrate*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) telah tersedia dari pabrik pembuat alat potong.

1.2. Tujuan Penelitian

Melakukan optimasi terhadap parameter kecepatan *spindle* (*spindlespeed*), laju pemotongan (*feedrate*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) pada proses pemesinan CNC milling 3 axis.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Proses Pemesinan

Pemesinan adalah proses manufaktur yang disertai suatu alat potong yang tajam (*a sharp cutting tool*) digunakan untuk memotong material agar diperoleh suatu bentuk yang diinginkan. Berikut adalah beberapa alasan teknologi pemesinan menjadi sangat penting dalam pengolahan material :

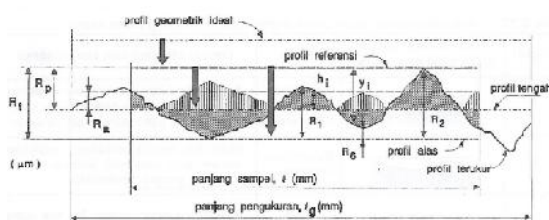
1. Variasi dari material benda kerja (*variety of work materials*).
2. Variasi dari bentuk komponen dan fitur geometri (*variety of part shapes and geometric features*).
3. Akurasi ukuran (*dimensional accuracy*).
4. Permukaan akhir yang baik (*good surface finishes*).

2.2. Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan memiliki peranan sebagai berikut :

1. Estetika (*aesthetic*).
2. Gesekan dan keausan (*friction and wear*).
3. Perakitan komponen-komponen (*assembly of parts*).
4. Hubungan arus listrik (*electrical contact*).
5. Keselamatan (*Safety*).
6. Sifat-sifat mekanik dan fisik (*mechanical and physical properties*).

Dalam penelitian ini, profil kekasaran yang digunakan adalah kekasaran rata-rata aritmetika (*mean roughness index*) / Ra. Yang dimaksud dengan kekasaran rata-rata aritmetika adalah harga absolutnya jarak antar profil terukur dengan profil tengah.



Gambar 1. Ilustrasi profil permukaan^[3]

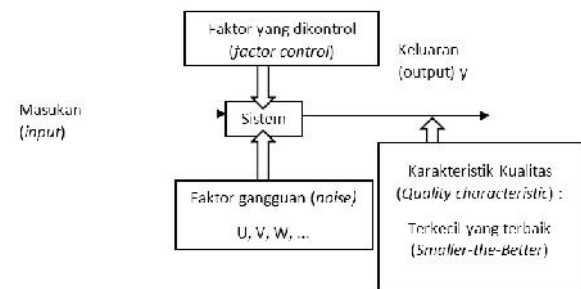
Ilustrasi untuk menjelaskan parameter Ra dapat dilihat pada gambar 1. Jika daerah-daerah dibawah profil tengah (“lembah”) dicerminkan keatas (menjadi daerah-daerah yang diarsir tegak) dirata-ratakan dengan daerah-daerah

di atas profil tengah (“gunung”; daerah yang diarsir miring) maka akan terbentuk “dataran tinggi dengan ketelitian sebesar Ra.

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |h_i| dx \quad (1)$$

2.3. Metode Taguchi

Metoda ini diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas proses atau faktor yang dikontrol, sehingga menjadi kokoh (*robust*) dari faktor gangguan (*noise*). Penggunaan metoda ini bertujuan agar diketahui faktor yang paling dominan (*signal*) mempengaruhi proses dan faktor yang hanya bersifat gangguan (*noise*). Dengan mengetahui faktor dominan maka dapat dilakukan proses optimisasi, sehingga diperoleh kondisi yang optimum. Oleh sebab itu, metode ini disebut dengan *robust design*.



Gambar 2. Diagram Proses parameter kokoh (*robust*) Taguchi

Dalam melakukan optimisasi, proses yang dilakukan oleh Dr. Taguchi diantaranya ialah dengan meminimalkan kehilangan kualitas (*quality loss*). Untuk melakukan hal tersebut, aspek yang diperhatikan adalah S/N (*Signal to Noise*) rasio. Prinsipnya adalah mengatur faktor-faktor yang dikendalikan agar diperoleh S/N rasio yang maksimal. Nilai S/N rasio diperoleh dari data hasil percobaan. Dari kondisi tersebut dapat diketahui faktor mana yang memberikan pengaruh besar terhadap proses. Dalam penelitian ini, kondisi yang diinginkan adalah memperoleh nilai kekasaran permukaan yang paling rendah, sehingga digunakan jenis S/N rasio *smaller the better*. Untuk memperoleh nilai S/N rasio *smaller the better* digunakan rumus berikut ini :

$$S/N \text{ ratio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2)$$

dimana,

- n = jumlah data hasil percobaan
- y_i = nilai hasil percobaan

3. Metodologi Penelitian

3.1 Peralatan Dalam Penelitian

1. Mesin Perkakas dan Alat Potong


Pengujian dari setiap parameter dilakukan di laboratorium CNC Jurusan Teknik Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bandung dengan menggunakan mesin CNC *Milling3 axismerkFeeler*.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin CNC *Milling*

Jenis Mesin	CNC <i>Miling</i>
<i>Merk</i>	Feeler
Model	VMP-30A
<i>Travel</i>	
Sumbu X	760 mm
Sumbu Y	420 mm
Sumbu Z	510 mm
<i>Spindle Speed</i>	10.000 rpm
<i>Spindle Motor</i>	11 kW

Adapun alat potong yang digunakan dalam proses percobaan menggunakan *flat end Mill* dengan material karbida yang dilapisi AlTiN yang diproduksi oleh HPMT (*High Precision Machine Tools*).

Tabel 2. Spesifikasi Alat Potong



Kode Pabrik	Dimensi					Jenis Pelapis
	D	H	L	d2	γ	
1000 070	10	22	70	10	10°	AlTiN

2. Pengukur Kekasaran Permukaan

Dalam penelitian ini, proses pengujian kekasaran permukaan dilakukan dengan menggunakan peralatan pengukur kekasaran.

Spesifikasi

<i>Merk</i>	: Mitutoyo
<i>Seri</i>	: SJ-400
<i>Measuring Range</i>	: 800 μm
<i>Resolution (Ra)</i>	: 0,01 μm
<i>Printer</i>	: Thermalprinter

3. Data Penelitian

Dalam pengujian ini, nilai dari setiap factor dan level yang dikontrol dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai bagi setiap Faktor

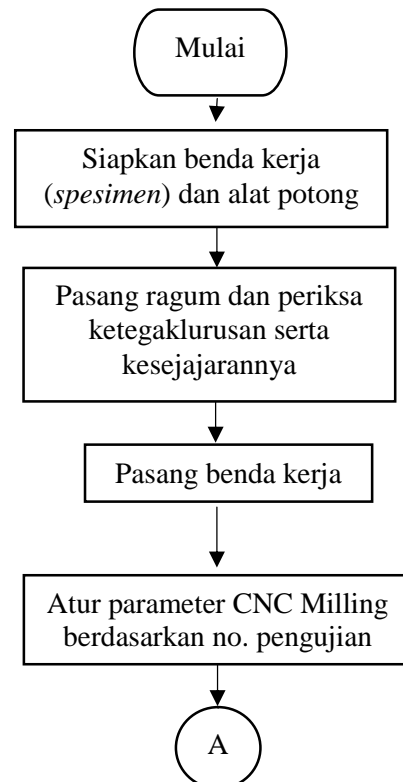
Faktor (Simbol Faktor)	Level		Satuan
	1	2	
Kecepatan <i>spindel</i> (A)	3820	4460	rpm
Laju pemotongan (B)	530	690	mm/menit
Kedalaman pemotongan (C)	0,5	1	mm

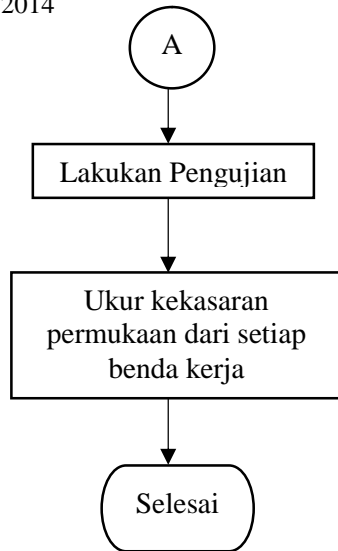
Nilai dari setiap level factor terhadap rancangan pengujian (design of experiment) orthogonal array dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Tabel *Orthogonal Array* dari setiap faktor dan level yang dikontrol

No. Pengujian	Simbol Faktor		
	A (rpm)	B (mm/menit)	C (mm)
1	3820	530	0,5
2	3820	690	1
3	4460	530	1
4	4460	690	0,5

3.2 Langkah Pengambilan Data





Gambar 3. Diagram alir pengambilan data

3.3. Analisis Data

Setelah pengujian dilakukan, maka dilanjutkan dengan pengecekan terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Pada tabel 5 ditampilkan data kekasaran permukaan (Ra) dari setiap pengecekan yang dilakukan. Berikut salah satu contoh perhitungan Ra rata-rata pada no. pengujian 1.

$$Ra \text{ rata-rata} = (1,26 + 1,25 + 1,26) \mu\text{m} = 1,26 \mu\text{m}$$

Tabel 5. Data Kekasaran Permukaan

No. Pengujian	Hasil Pengukuran Ra (μm)			Ra rata-rata (μm)
	1	2	3	
1	1,26	1,25	1,26	1,26
2	1,16	1,15	1,18	1,16
3	0,6	0,53	0,73	0,62
4	0,9	0,73	0,69	0,77
Rata-rata total				0,95

Berdasarkan data pada tabel 5, maka dilakukan optimasi untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan yang paling rendah, sehingga digunakan jenis S/N rasio *smaller The Better*. Adapun persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 2. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan dengan menggunakan data dari tabel 5 dengan menggunakan nomor pengujian satu serta pengulangan pengukuran sebanyak tiga kali (n) :

$$S/N \text{ ratio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{3} (1,26^2 + 1,25^2 + 1,26^2) \right]$$

$$S/N \text{ ratio} = -1,984$$

Tabel 6. Data S/N (Signal to Noise) rasio

No. Pengujian	Hasil Pengukuran Ra (μm)			S/N Ratio
	1	2	3	
1	1,26	1,25	1,26	-1,98
2	1,16	1,15	1,18	-1,32
3	0,6	0,53	0,73	4,07
4	0,9	0,73	0,69	2,17
Rata-rata total				0,74

3.3.1. Analisis Varian (Analysis of Variance/ ANOVA)

Analisis varian dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh dari setiap faktor yang dikendalikan. Tahapan yang dilakukan dalam melakukan analisis variasi adalah menghitung *Sum of Squares* (SS), *Sum of Squares* dari hasil pengukuran (SS_T) selanjutnya menghitung *Mean Squares* (MS).

Tabel 7. Tabel Analisis Variasi

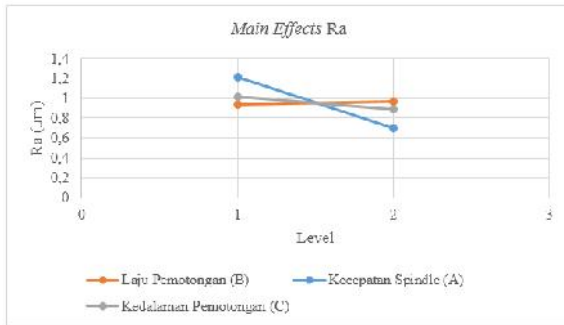
Faktor	DOF	SS	SS _T	MS (%)
Kecepatan spindle (spindle speed)	1	0,79	0,885	89,34
Laju pemotongan (feed rate)	1	0,0027	0,885	0,31
Kedalaman pemotongan (depth of cut)	1	0,045	0,885	5,16

3.3.2. Efek Utama (Main Effects)

Efek utama berfungsi untuk menginterpretasikan efek yang ditimbulkan dari setiap level faktor. Efek yang ditimbulkan digunakan untuk memprediksi level yang paling tepat dari setiap faktor agar diperoleh nilai kekasaran permukaan yang paling optimum. Nilai Ra rata-rata pada tabel 8 diperoleh dari tabel 5, sedangkan nilai S/N ratio pada tabel 9 diperoleh dari tabel 6.

Tabel 8. Efek Utama (Main Effects) terhadap Ra

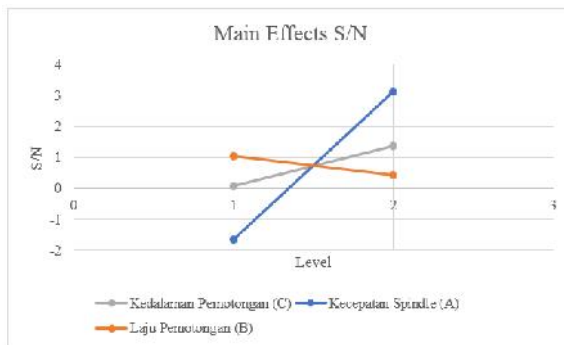
NO. PENGUJIAN	Ra RATA-RATA (μm)	FAKTOR I.A.T. PEMOTONGAN LEVEL				KEDALAMAN PEMOTONGAN	
		KECEPATAN SPINDLE		PEMOTONGAN LEVEL		KEDALAMAN PEMOTONGAN	
		1	2	1	2	1	2
1	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26		
2	1,16	1,16	1,16	1,16		1,16	
3	0,62		0,62	0,62		0,62	
4	0,77		0,77		0,77	0,77	
JUMLAH		2,42	1,39	1,88	1,94	2,03	1,78
RATA-RATA		1,21	0,70	0,94	0,97	1,02	0,89



Gambar 4. Grafik Efek Utama (Main effects) terhadap Ra

Tabel 9. Efek Utama (Main Effects) S/N (smaller the better) terhadap Ra

NO. PENGUJIAN	S/N Ratio	FAKTOR					
		KECEPATAN SPINDLE (A)		LAJU PEMOTONGAN (B)		KEDALAMAN PEMOTONGAN (C)	
		1	2	1	2	1	2
1	-1,984	-1,98		-1,98		-1,98	
2	-1,314	-1,31			-1,31		-1,31
3	4,075		4,08	4,08			4,08
4	2,173		2,17		2,17	2,17	
JUMLAH		-3,30	6,25	2,00	0,86	0,19	2,76
RATA-RATA		-1,649	3,12	1,05	0,43	0,09	1,38



Gambar 5. Grafik Efek Utama (Main effects) S/N (smaller the better) terhadap Ra

3.3.3. Proses Pemesinan Optimum

Kondisi proses pemesinan optimum terjadi apabila diperoleh nilai kekasaran permukaan yang paling kecil. Untuk diperoleh nilai kekasaran permukaan yang paling kecil, dipilih level dari setiap faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan. Berdasarkan tabel 7, faktor yang memiliki pengaruh signifikan ialah kecepatan spindle dengan nomor level 2 (A2) dan kedalaman pemotongan dengan nomor level 2 (C2). Dari kondisi tersebut, dengan mempertimbangkan efek utama yang ditampilkan pada gambar 4 dan gambar 5, dapat diprediksi level yang paling tepat untuk setiap faktor agar diperoleh nilai

kekasaran permukaan yang paling kecil (tabel 10).

Tabel 10. Prediksi Level untuk setiap faktor

Level yang dipilih untuk setiap Faktor					
Kecepatan Spindle Level 2 (A2)			Kedalaman Pemotongan Level 2 (C2)		
Nilai Ra (µm)	Nilai S/N	Nilai Parameter (rpm)	Nilai Ra (µm)	Nilai S/N	Nilai Parameter (mm)
0,70	3,12	4460	0,89	1,38	1

Dari kondisi di atas, dapat diprediksi nilai kekasaran permukaan, yaitu :

Prediksi Kekasaran Permukaan (Ra) [µm]

$$Ra = A2 + C2 - T$$

$$Ra = 0,7 + 0,89 - 0,95$$

$$Ra = 0,64$$

Keterangan : Nilai T diperoleh dari tabel 5 pada nilai rata-rata total.

Dari uraian di atas, dilakukan pengujian untuk pembuktian dari prediksi yang dilakukan dengan menyertakan factor laju pemotongan nomor level 1 (B1).

Tabel 11. Hasil Pengujian Prediksi Variasi Level bagi setiap Faktor

No. Pengujian	Faktor			Hasil Pengukuran Ra (µm)			Ra rata-rata
	A2	B1	C2	1	2	3	
1	4460	530	1	0,80	0,80	0,77	0,79

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, besaran parameter yang optimum pada proses pemesinan CNC milling 3 axis adalah 4460 rpm untuk kecepatan spindle, 1 mm untuk kedalaman pemotongan dan 530 mm/menit untuk laju pemotongan.

4.2. Saran

Sebagai pertimbangan bagi peneliti berikutnya untuk dapat menambahkan faktor-faktor seperti gaya pemotongan, getaran, sudut alat potong dan overhang alat potong dalam melakukan penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] **Groover, Mikell P.**, “Fundamentals of Modern Manufacturing second edition”, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [2] **Hayajneh, Mohammed T. et al**, “A Study of the Effects of Machining Parameters on the Surface Roughness in the End Milling Process”, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2007.
- [3] **Rochim, Taufik**, “Spesifikasi, Metrologi, & Kontrol Kualitas Geometrik 1”, Bandung: Penerbit ITB, 2001.
- [4] **Chudhary, Himanshu & Prateek Gupta**, “Optimization of Free-form Surfaces”, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 5-61, 2012.
- [5] **Yang, Kai & Basim S. El-Haik**, “Design for Six Sigma”, United States of America: The McGraw_Hill Companies, Inc., 2009.