

Penerapan Metode Taguchi untuk Optimasi Setting Parameter CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Material

Farizi Rachman¹, Bayu Wiro K², Tri Andi Setiawan³, Pradita Nurkholies⁴

^{1,2,3,4} Teknik Desain dan Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Email: farizirachman@ppns.ac.id

Informasi Artikel:

Received:
24 Juli 2020

Accepted:
30 September 2020

Available:
15 Oktober 2020

ABSTRAK

Industri manufaktur di Indonesia semakin meningkat seiring dengan tingkat kebutuhan manusia yang beraneka ragam dan memicu berkembangnya teknologi, salah satunya industri proses permesinan atau machining. Kualitas produk yang baik dapat dilihat dari tingkat kekasaran permukaannya karena kekasaran permukaan dapat mempengaruhi performa yang berkaitan dengan aspek fungsional dari produk. Pada penelitian ini telah dilakukan optimasi setting parameter CNC milling terhadap kekasaran permukaan pada material S50C dengan end mill HSS diameter 8 mm. Material S50C banyak digunakan dalam manufaktur mesin seperti mekanis base plate, roda gigi, standart punch head dan komponen mesin lainnya. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi. Parameter yang digunakan yaitu spindle speed, Feed rate dan depth of cut dengan cairan pendingin sebagai variabel konstan. Parameter optimum untuk mendapatkan nilai kekasaran yang rendah yaitu spindle speed 1100 rpm, feed rate 46 mm/min dan depth of cut 0.5 mm. Dengan taraf signifikansi 0.1 menunjukkan bahwa spindle speed berpengaruh secara signifikan dengan kontribusi 38.42% diikuti feed rate dengan kontribusi 34.16%.

Kata Kunci:

*Quality
Roughness
Materials
Taguchi
CNC*

ABSTRACT

The manufacturing industry in Indonesia is increasing along with the level of diverse human needs and triggering the development of technology, one of which is the machining process industry. Good product quality can be seen from the level of surface roughness, because surface roughness can affect performance related to the functional aspects of the product. In this study, analyzed the optimization of CNC milling parameters setting to surface roughness with 8 mm HSS end mill. S50C materials are widely used in manufacturing machinery such as mechanical base plate, gears, standart puch heads and other machine components. This research uses the Taguchi method. The Parameter used are spindle speed, feed rate and depth of cut with coolant as a constant variabel. The optimum parameters for surface roughness is obtained as spindle speed of 1100 rpm, feed rate of 46 mm/min and 0.5 depth of cut. With a significance level of 0.1 indicating that spindle speed has a significance effect with a contribution of 38.41% followed by feed rate of 34.16%

1 PENDAHULUAN

Industri manufaktur di Indonesia semakin meningkat seiring dengan tingkat kebutuhan manusia yang beraneka ragam dan memicu berkembangnya teknologi, salah satunya industri proses permesinan. Machining merupakan istilah umum yang menggambarkan sekelompok proses yang terdiri dari penghilangan material dan modifikasi permukaan benda kerja dengan berbagai variasi metode pengerjaan [1]. Kualitas suatu produk machining yang baik dapat dilihat salah satunya yaitu tingkat kekasaran permukaannya karena dapat mempengaruhi performa yang berkaitan dengan aspek fungsional dari produk [2]. Beberapa komponen membutuhkan kehalusan permukaan yang tinggi agar tidak terjadi gesekan antar komponen, contohnya pada komponen mekanikal elemen mesin yang membutuhkan kehalusan tinggi agar tidak terjadi gesekan antar komponen mesin, ini sangat penting karena akan mempengaruhi kinerja mesin tersebut.

Pada setiap komponen mekanikal dapat dikerjakan menggunakan teknik yang berbeda-beda dengan hasil yang tidak jauh berbeda, namun setiap teknik tidak memiliki efisiensi yang sama [3]. Pilihan teknik pengerjaan tergantung pada tujuan yang ingin dicapai. Berdasarkan tujuan machining, ada kombinasi parameter yang berbeda, seperti spindle speed, feed rate dan depth of cut untuk mendapatkan hasil kualitas permukaan yang berbeda. Ada banyak penelitian untuk mengukur kualitas. Thakre (2013) menggunakan metode Taguchi untuk mengoptimasi Spindle speed, feed rate, depth of cut dan coolant flow terhadap kekasaran permukaan [4]. Hasilnya mengindikasikan bahwa coolant flow berpengaruh secara signifikan dengan kontribusi 60.69%. Parameter optimum adalah spindle speed 2500 rpm, feed rate 800 mm/min, depth of cut 0.8 mm dan coolant flow 30 lit/min.

Kadrigama menggunakan RSM dan RBFN untuk optimasi kekasaran permukaan pada mould aluminium alloys (AA6061-T6). Hasilnya menunjukkan feed rate adalah parameter yang berpengaruh secara signifikan [1]. Secara umum, mereduksi cutting speed dan axial depth of cut menyebabkan kekasaran permukaan menjadi besar. Di sisi lain, meningkatkan feed rate dan radial depth of cut akan mereduksi kekasaran permukaan. Naidu, et al.(2014) menunjukkan pada penelitiannya bahwa dengan menggunakan metode taguchi robust design dapat diperoleh nilai level optimum. Parameter optimum yaitu cutting speed 1094 rpm, feed rate 100 mm/min, depth of cut 1 mm dan coolant flow 90 lt/min[5].

Chaudhary, et al.(2017) melakukan penelitian yaitu Optimization of Machining Parameters Affecting Surface Roughness of Al682 in Dry End Milling Operation on VMC. Hasilnya menunjukkan bahwa spindle speed berpengaruh secara signifikan, diikuti dengan feed rate dan depth of cut. Kombinasi parameter optimum adalah spindle speed 1600 rpm, feed rate 100 mm/min dan depth of cut 1 mm [6]. Rao, et al.(2012) melakukan penelitian yaitu Surface Roughness Optimization in End Milling Operation with Damper Inserted End Milling Cutters. Hasilnya menunjukkan bahwa pengaruh spindle speed dan tipe pahat pada permukaan lebih besar dari feed rate dan depth of cut. Kombinasi parameter optimum yaitu spindle speed 960 rpm, feed rate 29 mm/rev, depth of cut 0.5 mm untuk hollow milling cutter dengan 2 damper [7].

Pada penelitian ini menggunakan metode Taguchi sebagai alat bantu analisis. Metode ini merupakan bagian dari desain eksperimen. Tujuan dari desain eksperimen adalah evaluasi serentak dari dua faktor atau lebih (parameter) terhadap kontribusinya mempengaruhi karakteristik produk atau proses tertentu. Metode taguchi lebih efisien dalam pelaksanaan eksperimen karena dapat menekan biaya dan waktu seminimal mungkin. Disamping itu juga memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di bengkel CNC Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Penelitian uji kekasaran permukaan benda kerja dilaksanakan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

2.1 Rancangan Eksperimen

Pada tahap ini yaitu menentukan variabel dan rancangan *orthogonal array*. Variabel yang digunakan yaitu variabel yang terdapat pada mesin CNC milling yang selanjutnya digunakan untuk melihat pengaruh dan mencari kondisi yang optimal terhadap variabel respon.

1. Menentukan jumlah faktor dan level faktor.

Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel prediktor dan variabel respon. Variabel bebas adalah Variabel yang mempengaruhi variabel yang akan diamati yaitu *spindle speed, feed rate dan depth of cut*. Kemudian Variabel respon yaitu variabel yang dipengaruhi variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel respon yang diteliti yaitu kekasaran permukaan. Dengan menggunakan acuan katalog *Recommendation Cutting Condition*, nilai level parameter ditentukan sebagai berikut.

Tabel 1 Nilai Level Variabel prediktor

Variabel bebas	Level		
	1	2	3
<i>Spindle Speed</i> (rpm)	600	900	1100
<i>Feed Rate</i> (mm/min)	46	70	84
<i>Depth of Cut</i> (mm)	0,5	1	1,5

2. Memilih Orthogonal Array

Memilih orthogonal array berdasarkan jumlah faktor dan level yang telah ditentukan, dan derajat kebebasan.

- i. Jumlah faktor = 3
- ii. Jumlah level setiap faktor = 3
- iii. Derajat kebebasan = $3 \times (3-1) = 6$

Maka matriks orthogonal array yang digunakan yaitu $L_9(3^3)$ seperti Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, maka desain eksperimen ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Orthogonal Array $L_9(3^3)$

Eksperimen	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Tabel 3. Desain Eksperimen

Eksperimen	Spindle Speed (RPM)	Feed Rate (mm/menit)	Depth Of Cut (mm)
1	600	46	0.5
2	600	70	1
3	600	84	1.5
4	900	46	1
5	900	70	1.5
6	900	84	0.5
7	1100	46	1.5
8	1100	70	0.5
9	1100	84	1

3. Alat dan Bahan

Material benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja S50C dengan dimensi pemotongan sepanjang 400 mm. S50C banyak digunakan dalam manufaktur mesin, seperti untuk membuat komponen mekanis, antara lain base plate, pegas, milling cutter, roda gigi, studs shafts, standart punch head, dan roller. Pahat yang digunakan yaitu HSSco end mill cutter 4 flute diameter 8 mm dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Material : HSSco8
2. Flute : 4
3. Mill diameter : 8 mm
4. Shank Diameter : 10 mm
5. Length of Cut : 21 mm
6. Overall Length : 75 mm



Gambar 1. End Mill Cutter

Penerapan Metode Taguchi untuk Optimasi Setting Parameter CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Material

Kekasaran permukaan benda kerja hasil eksperimen diukur dengan alat ukur *Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-310*. Sedang bahan yang digunakan adalah pelat baja S50C.

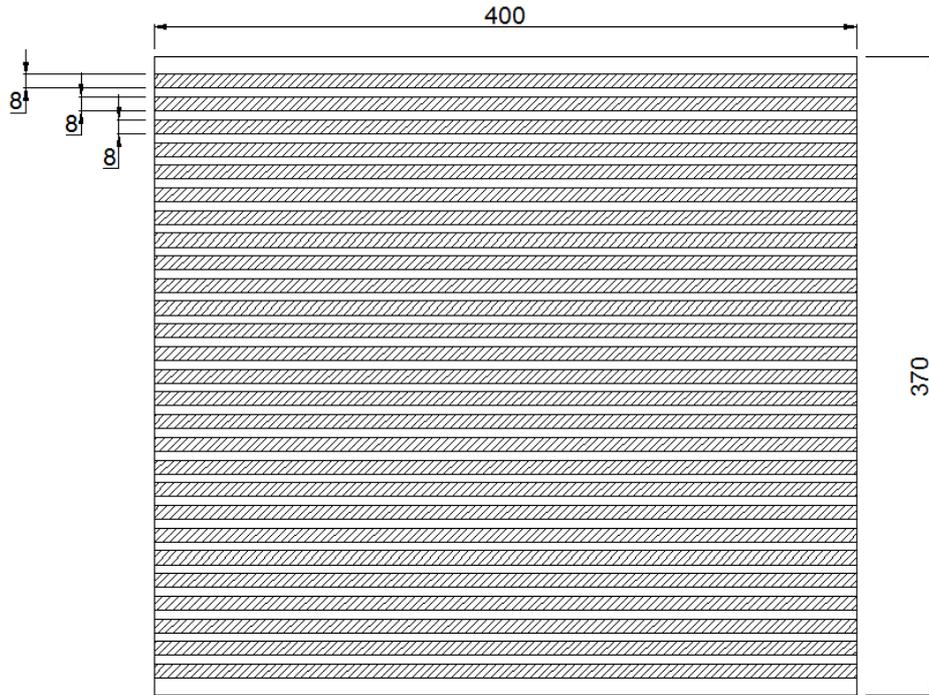


Gambar 2. Pelat S50C

4. Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Bengkel CNC Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dimana terdapat mesin CNC Milling YCM MV66A menggunakan pelat baja S50C dengan dimensi pemotongan sepanjang 400 mm. Dengan desain eksperimen, pelat akan diberi perlakuan oleh tiga parameter dengan tiga level setiap parameter. Adapun langkah-langkah percobaan sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan
2. Persiapan program untuk running proses penyayatan dengan variasi parameter yang sudah ditentukan. Setting hanya dilakukan pada batasan yang telah ditentukan, untuk setting yang lain dianggap konstan.
3. Hidupkan mesin dan lakukan setting X0 Y0 Z0 pada mesin CNC milling
4. Pasang end mill pada tool holder dan benda kerja pada ragum
5. Masukkan program yang telah dibuat pada mesin CNC
6. Melakukan proses running pada program yang telah dibuat
7. Lepaskan benda kerja
8. Hitung nilai kekasaran dan catat pada tabel yang dibuat



Gambar 3. Layout Pemotongan Benda Kerja dalam Satuan Milimeter (mm)

2.2 Pengolahan Data

Metode eksperimen desain yang digunakan pada penelitian ini adalah Taguchi. Metode Taguchi merupakan suatu metodologi yang memiliki tujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan dengan menggunakan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi menggunakan matriks orthogonal untuk menentukan batas minimum jumlah eksperimen yang dilakukan namun memperoleh informasi sebanyak mungkin terkait pengaruh parameter. Sehingga bagian terpentingnya adalah dalam pemilihan kombinasi level variabel-variabel eksperimen [8]. Metode taguchi telah mengembangkan konsep rasio S/N untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Perhitungan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- Menghitung Rasio S/N
- Normalisasi nilai rasio S/N
- Analysis of Varians* (ANOVA)
- Uji Hipotesis.
- Mencari nilai yang optimum

Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi α sebesar 5% atau 0,05 dengan artian ada kemungkinan satu diantara dua puluh tujuh keputusan penolakan hipotesis nol adalah keputusan yang keliru. Uji hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi error. Variansi error adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor yang tidak dapat dikendalikan

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilaksanakan di bengkel CNC Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Eksperimen dilaksanakan dengan membuat spesimen yaitu penyayatan satu kali pemakanan pada benda kerja sepanjang 400 mm menggunakan *end mill* 8 mm dan dilakukan sebanyak sembilan kali dengan tiga kali replikasi. Saat pelaksanaan dilakukan randomisasi terhadap eksperimen, hal ini dimaksudkan untuk menyamakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak terkendali pada semua eksperimen.



Gambar 4. Pelaksanaan Eksperimen

3.2 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan benda kerja hasil eksperimen diukur dengan alat ukur *Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-310* milik Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengambilan data nilai kekasaran permukaan dilakukan sebanyak empat kali replikasi pada setiap spesimen dengan jarak antar pengukuran yaitu 133,3 mm dan dilakukan secara horizontal dengan arah sejajar dengan arah pemakanan benda kerja saat proses penyayatan, karena memungkinkan untuk mendapatkan nilai kekasaran secara merata pada benda kerja. Nilai kekasaran yang digunakan yaitu nilai kekasaran aritmatik atau rata-rata (R_a).

Panjang sampel kekasaran permukaan yang digunakan sesuai dengan tingkat kekasaran permukaan yang dicapai oleh pengerjaan *face milling*. Saat pengambilan data, *detector drive* unit akan bergerak secara konstan sejauh panjang sampel secara horizontal. Setelah detector berhenti maka akan didapatkan hasil nilai kekasaran permukaan yang muncul di monitor. Berikut merupakan *surface roughness tester*.



Gambar 5. Alat Ukur Surface Roughness Tester

3.3 Analisis Data

Analisis data menggunakan metode Taguchi dilakukan untuk mengetahui kontribusi dari parameter *spindle speed*, *feed rate* dan *depth of cut* berdasarkan eksperimen yang ditentukan, dalam penelitian ini diharapkan parameter-parameter tersebut dapat mempengaruhi kekasaran permukaan. Kemudian dapat diketahui kombinasi dari nilai level dari parameter tersebut untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang minimal.

1. Perhitungan Rasio S/N

Metode Taguchi telah mengembangkan konsep rasio S/N (rasio Signal to Noise) untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Perhitungan rasio S/N bertujuan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi pada saat jumlah eksperimen, karena dalam metode Taguchi jumlah eksperimen direduksi untuk mengantisipasi pembengkakan biaya pada saat melakukan penelitian. Perhitungan rasio S/N tergantung pada karakteristik kualitas. Persamaan yang digunakan untuk karakteristik kualitas *smaller is better*. Perhitungan rasio S/N untuk kekasaran permukaan sebagai contoh untuk eksperimen 1 sampai 3 adalah sebagai berikut ini:

a. Eksperimen 1

$$\begin{aligned} S/N_1 &= -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2) \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \times (1,438^2 + 1,699^2 + 1,717^2) \right) \\ &= -10 \log (2,634) \\ &= -4,206 \end{aligned}$$

Penerapan Metode Taguchi untuk Optimasi Setting Parameter CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Material

b. Eksperimen 2

$$\begin{aligned} S/N_2 &= -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2) \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \times (2,834^2 + 2,001^2 + 2,425^2) \right) \\ &= -10 \log (5,972) \\ &= -7,761 \end{aligned}$$

c. Eksperimen 3

$$\begin{aligned} S/N_3 &= -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2) \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \times (2,280^2 + 3,039^2 + 3,337^2) \right) \\ &= -10 \log (8,522) \\ &= -9,306 \end{aligned}$$

Hasil dari pengukuran kekasaran permukaan sembilan eksperimen dengan tiga replikasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Experiment Data Related To Surface Roughness (Ra)

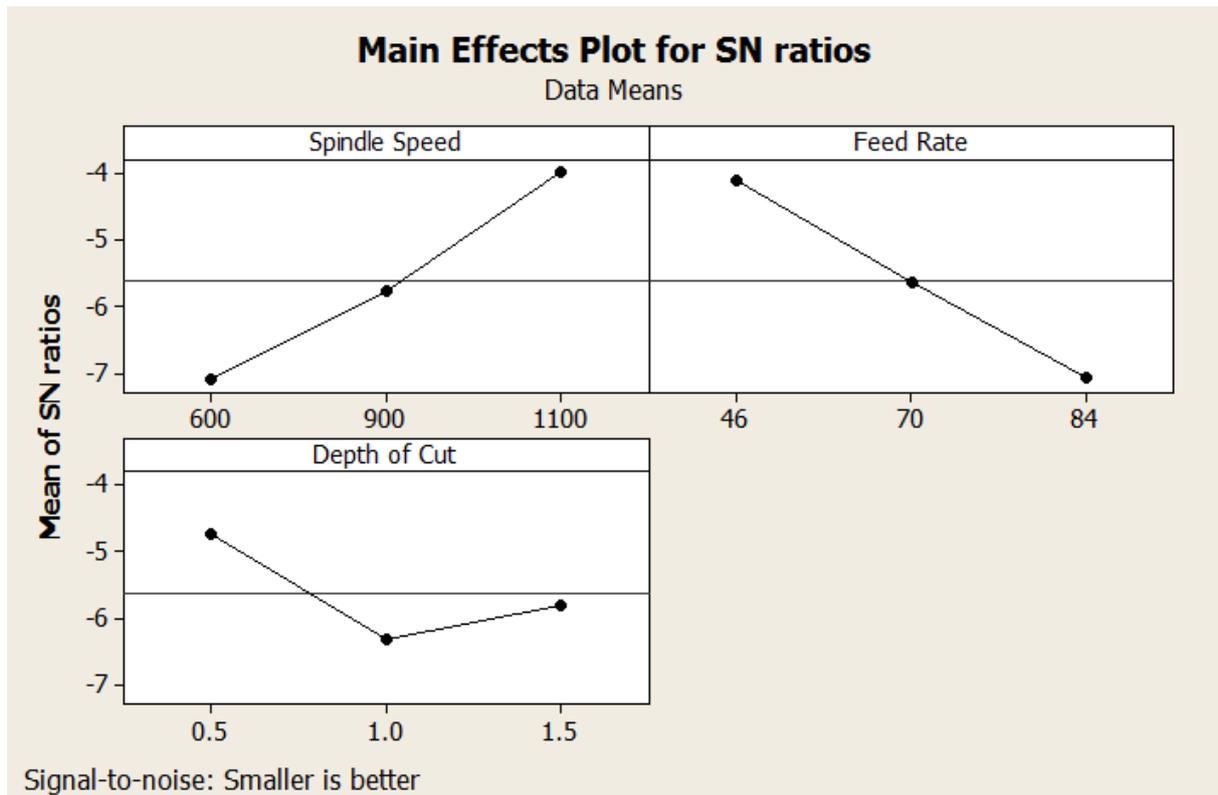
Exp No.	Faktor			Surface Roughness (Ra)			Means	Rasio S/N
	Spindle Speed	Feed Rate	Depth of Cut	Trial 1	Trial 2	Trial 3		
1	600	46	0.5	1.438	1.699	1.717	1.618	-4.206
2	600	70	1	2.834	2.001	2.425	2.420	-7.761
3	600	84	1.5	2.280	3.039	3.337	2.885	-9.306
4	900	46	1	1.286	1.725	2.479	1.830	-5.553
5	900	70	1.5	1.904	1.841	1.906	1.884	-5.500
6	900	84	0.5	1.711	2.319	2.107	2.046	-6.283
7	1100	46	1.5	1.331	1.273	1.441	1.348	-2.606
8	1100	70	0.5	1.461	1.353	1.755	1.523	-3.706
9	1100	84	1	1.569	1.871	2.250	1.897	-5.652

Rasio S/N diformulasikan untuk memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas. Walaupun karakteristik kualitas kekasaran permukaan adalah semakin kecil semakin baik, tetapi rasio S/N didefinisikan sedemikian hingga selalu dapat ditransformasikan karakteristik kualitas semakin besar, semakin baik.

Setelah menentukan nilai rasio S/N, didapatkan nilai level optimum pada parameter permesinan terhadap respon dengan memisahkan masing-masing parameter berdasarkan rasio S/N pada level yang berbeda. Pada Tabel 5 dan gambar 6 menunjukkan parameter dengan level optimum yaitu spindle speed pada level 3, feed rate pada level 1 dan *depth of cut* pada level 1.

Tabel 5. Response Table for Signal to Noise Ratios Smaller is better

Level	Spindle Speed	Feed Rate	Depth of Cut
1	-7,091	-4,122	-4,732
2	-5,779	-5,656	-6,322
3	-3,988	-7,080	-5,804
Selisih	3,103	2,958	1,590
Rank	1	2	3



Gambar 6. Main Effects Plot for SN Ratios

Analisis varians digunakan untuk menginterpretasikan data-data hasil eksperimen, yaitu teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Tingkat kepercayaan yaitu 90% atau signifikansi 10%. Nilai P adalah nilai kesalahan yang didapat dari hasil perhitungan statistik. Jika nilai P-value lebih kecil atau sama dengan nilai alpha maka parameter berpengaruh secara signifikan, jika lebih besar dari alpha maka parameter tidak memberikan pengaruh secara signifikan. Berikut ini merupakan hasil analisis varians yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Analysis of Variance for SN Rasio using Adjusted SS for Tests

Faktor	DF	Seq SS	Adj SS	MS	F	P	Contribution (%)
Spindle Speed (A)	2	14.5532	14.5532	7.2766	8.39	0.10	38.417
Feed Rate (B)	2	13.1330	13.1330	6.5665	7.57	0.117	34.161
Depth of Cut (C)	2	3.9477	3.9477	1.9739	2.28	0.305	6.634
Eror	2	1.7341	1.7341	0.8670			
Total	8	33.3680					
S = 0.931153		R-Sq = 94.80%		R-Sq (sdj) = 79.21%			

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa *spindle speed* memberikan berpengaruh secara signifikan terhadap kekasaran dengan kontribusi 38.4%, hal ini ditunjukkan nilai P-value sebesar 0,1. Sedangkan *feed rate* dan *depth of cut* tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan, hal ini disebabkan nilai P-value lebih besar dari α , kontribusi yang diberikan masing-masing sebesar 34.2% dan 6.6%.

4 KESIMPULAN

1. Kombinasi parameter yang optimum pada mesin CNC milling YCM 66A pada material S50C menggunakan end mill HSS diameter 8 mm untuk meminimalkan kekasaran permukaan yaitu spindle speed 1100 RPM, feed rate 46 mm/min dan depth of cut 0,5 mm.
2. *Spindle speed* memberikan berpengaruh secara signifikan terhadap kekasaran dengan kontribusi 38.4%, hal ini ditunjukkan nilai P-value sebesar 0,1. Sedangkan *feed rate* dan *depth of cut* tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan, hal ini disebabkan nilai P-value lebih besar dari α , kontribusi yang diberikan masing-masing sebesar 34.2% dan 6.6%.

REFERENSI

- [1] Kalpakjian S and Schmid S R 2008 *Manufacturing Engineering and Technology* London, Prentice Hall.
- [2] Londhe P and Chilwant 2016 Optimization of Cutting Parameters in Milling Operation to Improve Surface Rughness Finish of EN 31 *International Journal of Engineering Sciences & Management Research* **3** 9.
- [3] Riberio J, Lopes H, Queijo L, and Figueiredo D 2017 Optimization of Cutting Parameters to Minimize the Surface Roughness in the End Milling Process Using the Taguchi Method *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* **61** (1) pp 30-35
- [4] Thakre A A 2013 Optimization of Milling Parameters for Minimize Surface Roughness Using Taguchi's Approach *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* **3** 6
- [5] Naidu G G, Vishnu A V and Raju G J 2014 Optimization of Process Parameters for Surface Roughness in Milling of EN-31 Steel Material Using Taguchi Robust Design Methodology. *International Journal of Mechanical And Production Engineering* **2** 9
- [6] Chaudhary A and Saluja V 201 Optimization of Machining Parameters Affecting Surface Roughness of Al6082 in Dry Milling Operation on VMC *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* **4** 8
- [7] Rao K M, Kumar G R and Sownya P 2012 Surface Roughness Optimization in End Milling Operation with Damper Inserted End Milling Cutters *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineerin*, **6** 10
- [8] Montgomery, D.C. (2012). *Design and Analysis of Experiments Eighth*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

