

ANALISIS PENGARUH PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA A36 MENGGUNAKAN METODE RESPON SURFACE

Anggun Cahyani¹, Pranowo Sidi^{1*}, Dhika Aditya¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia
Email: pransidi03@gmail.com

Abstract – A large material removal rate and minimal surface rigidity are the desired objectives of this study with the right process parameters to obtain a large material response rate and a minimum surface hardness. The parameters used are spindle speed, feed rate and depth of cut. The experimental design is based on the response surface methodology of a box behnken design. The trials were randomized in three replications to produce a more optimal result. The results of the research showed that the influence of the parameter on the material removal rate is spindle speed with P_{value} 0.442, feed rate with P_{value} 0,000 and depth of cut with P_{value} 0,000. parameter feed rate and deep of cut are stated to be significantly influenced. On the other hand, the influence of the parameter on the surface rigidity is that spindle speed with a P_{value} of 0.017, feed rate with a P_{value} of 0,000 and depth of cut has a P_{value} of 0.074. Furthermore, the combination of the most optimal parameters for the material response variable removal rate and surface rigidity is the spindle speed of 2006 RPM, the feed rate of 252 mm/min and the depth of cut of 0.1965 mm.

Keyword: Box Behnken Design, CNC Milling Machine, Depth of Cut, Feed Rate, and Spindle Speed

Nomenclature

SS	Spindle Speed
FR	Feed Rate
DoC	Depth of Cut
RPM	Satuan Spindle Sped

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya dunia industri manufaktur serta terus meningkatnya permintaan pasar terhadap produksi komponen mesin dalam industri pemesinan, harus diiringi dengan peningkatan kualitas hasil produksi. Standar dari menentukan kualitas dari hasil produksi adalah ketepatan ukuran dan kekasaran permukaan. Sehingga komponen-komponen tersebut dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Dalam melakukan proses pemesinan, waktu yang dibutuhkan untuk membuat komponen harus sesingkat mungkin agar dapat mencapai kapasitas produksi yang tinggi. Untuk memperoleh hasil yang memuaskan terhadap produk yang dikerjakan di mesin *milling* terutama dalam mencapai ukuran yang diinginkan, biasanya operator mesin mengubah atau mengatur *setting* mesin berdasarkan *manual book* yang terkadang kurang memuaskan hasilnya dan harus mengulangi proses untuk mencapai ketelitian ukuran yang diharapkan.

Permasalahan yang sering terjadi pada proses pemesinan adalah kecacatan pada hasil pemotongan yang kasar. Kecacatan ini mengakibatkan kerugian bagi perusahaan karena

menyebabkan tambahan proses pada produk tersebut sehingga dapat menurunkan jumlah produksi dan peningkatan biaya produksi. [1]

Kekerasan rendah dari baja A36 dapat mengakibatkan kekasaran permukaan yang tinggi dan memungkinkan kecepatan pemotongan yang lebih tinggi. Kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan deformasi material, mengurangi stabilitas pemotongan dan efisiensi pemesinan. Bahan yang lebih lunak cenderung meninggalkan permukaan yang tidak rata dan lebih kasar setelah pemesinan. [2]

Didalam pengerjaannya, hasil nilai kekasaran permukaan dipengaruhi oleh pemotongan pada proses pemesinan. Mutu produk yang diproduksi umumnya tergolong baik dilihat dari kualitas permukaan komponennya yang baik pula. Tidak mudah dalam memperoleh hasil kualitas permukaan yang memenuhi persyaratan desain, dikarenakan banyaknya faktor yang wajib ditinjau diantaranya parameter pemrosesan (*spindle speed*, *feed rate* dan *depth of cut*), material dan geometri pahat, material benda kerja, dan cairan pemotongan.

Untuk mendapatkan hasil produk dengan kekasaran yang minimum pada penelitian yang akan dilakukan, dibutuhkan tiga jenis parameter untuk divariasikan dalam percobaan, yaitu *feed rate*, *depth of cut* dan *spindle speed*. Untuk meminimalkan proses pemesinan *milling* dilakukan penelitian dengan menggunakan metode *respon surface*.

2. METODOLOGI .

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Respon Surface Methodology* dengan model *Box Behnken Design*. Box dan Behnken (1960) telah mengusulkan beberapa desain tiga tingkat untuk pemasangan permukaan respon. Desain ini dibentuk dengan menggabungkan faktorial 2k dengan desain blok yang tidak lengkap. Desain yang dihasilkan biasanya sangat efisien dalam hal jumlah putaran yang diperlukan dan keduanya dapat diputar atau hamper dapat diputar. Rancangan faktorial 2k Box Behnken Design digunakan untuk percobaan yang terdiri dari k faktor dengan masing-masing faktor mempunyai level rendah (-1), level tengah (0) dan level tinggi (+1). [3]

2.1 Variabel Bebas dan Respon

Variabel-variabel yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas
 - a. *Spindle Speed*
 - b. *Feed Rate*
 - c. *Depth of Cut*
2. Variabel Respon
 - a. Kekasaran permukaan

2.2 Konsep Eksperimen

Untuk membuat desain eksperimen diperlukan variabel level dan parameter yang digunakan dalam penelitian, untuk variabel level dan parameter dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 1. Parameter Penelitian

Faktor Kontrol	Satuan	Level		
		-1	0	+1
SS	RPM	1600	1803	2006
FR	Mm/min	252	266	280
DoC	mm	0.15	0.20	0.25

Dalam eksperimen ini menggunakan rancangan *Box Behnken Design* dengan 15 percobaan dan 3 replikasi.

Tabel 2. Rancangan Eksperimen

No.	<i>Spindle Speed</i>	<i>Feed Rate</i>	<i>Depth of Cut</i>
1	1803	280	0.25
2	1600	266	0.15
3	1803	266	0.20
4	2006	252	0.20
5	1803	266	0.20
6	1600	252	0.20
7	2006	280	0.20
8	1803	252	0.15
9	2006	266	0.25
10	1803	252	0.25
11	2006	266	0.15
12	1803	280	0.15
13	1600	266	0.25
14	1803	266	0.20
15	1600	280	0.20

Alat dan bahan yang digunakan dalam eksperimen ini sebagai berikut:

1. Mesin CNC Milling
2. Endmill HSS diameter 10mm
3. *Surface Roughness Tester*

Percobaan dilakukan dengan melakukan pengukuran material uji menggunakan *surface roughness tester* setelah di *machining* di mesin CNC milling.

2.3 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan nilai $\alpha = 0.05$. berikut ini merupakan tahapan yang digunakan dalam proses analisis data menggunakan *response surface*:

1. Uji Lack of Fit

Uji lack of fit digunakan untuk mengetahui ketidaksesuaian antara model yang diduga dengan model sebenarnya [4]

2. Uji Determinasi Berganda

Koefisien determinasi berganda (R^2) digunakan untuk mengetahui kesesuaian model regresi. Apabila nilai koefisien determinan berganda mendekati nilai 100%, maka model tersebut semakin baik [5]

3. Uji Koefisien Regresi

Pengujian koefisien regresi digunakan untuk mengkaji hubungan antara beberapa variabel. Kelebihan uji regresi adalah kemampuannya melakukan prediksi. Pengujian ini dilakukan secara individu dan serentak

4. Uji Asumsi Residual

Residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya. Apabila syarat-syarat terpenuhi maka estimasi parameternya tidak bias sehingga hasil dari pemodelannya dapat dipertanggung jawabkan. Asumsi yang harus dipenuhi pada analisis antara lain residual harus identik, residual harus independen, dan residual berdistribusi normal. [5]

5. *Countour* dan *Surface Plot*

Contour merupakan sebuah kurva yang digambarkan dalam xi, xj dengan respon berupa gradient. Setiap contour memiliki ketinggian berbeda sesuai respon yang dihasilkan. [5]

6. Optimasi Respon

Optimasi dilakukan untuk mendapatkan nilai yang optimum yaitu kekasaran permukaan yang minimum. Dalam penelitian optimasi respon dilakukan dengan *software minitab 19* Menggunakan menu Respon Optimizer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses eksperimen pada mesin CNC milling, maka langkah selanjutnya yaitu analisis data dengan tahap di bawah ini:

3.1 Data Hasil Kekasaran Permukaan

Dari hasil eksperimen yang dilakukan, kekasaran permukaan akan dilakukan proses pengukuran menggunakan *surface roughness tester* dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 3: hasil pengukuran kekasaran permukaan

Run	R1	R2	R3
1	0.462	0.465	0.469
2	0.314	0.332	0.324
3	0.364	0.365	0.362
4	0.202	0.204	0.208
5	0.296	0.288	0.287
6	0.292	0.299	0.294
7	0.471	0.485	0.472
8	0.343	0.358	0.368
9	0.359	0.364	0.372
10	0.378	0.372	0.378
11	0.336	0.343	0.341
12	0.431	0.441	0.439
13	0.423	0.428	0.429
14	0.469	0.478	0.477
15	0.586	0.585	0.572

3.2 Uji Lack of Fit

Dari Tabel 3 dapat digunakan untuk menguji kekasaran permukaan, yaitu dengan pengujian kesesuaian model. Untuk mendapatkan kesesuaian model tersebut dilakukan dengan uji berikut ini:

a. Pengujian Lack of Fit

Uji *lack of fit* diperlukan dalam menentukan ketepatan model. Hipotesa untuk uji *lack of fit* dari kekasaran permukaan adalah sebagai berikut:

- H_0 : nilai $P_{value} < \alpha$, berarti tidak ada *lack of fit* dalam model
- H_1 : nilai $P_{value} > \alpha$, berarti ada *lack of fit* dalam model

Berikut hasil uji *lack of fit* kekasaran permukaan pada *software minitab*.

Tabel 4. Hasil Uji Lack of Fit

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Error	35	0.119940	0.003427		
Lack of Fit	3	0.067155	0.022385	13.57	0.000
Pure Error	32	0.052785	0.001650		
Total	44	0.369502			

Penelitian ini menggunakan nilai $\alpha = 0,05$. Pada Tabel 4. terdapat nilai $P_{value} < \alpha$, berarti H_0 diterima atau tidak terjadi *lack of fit* pada model, sehingga model ini memenuhi.

3.3 Uji Determinasi Berganda

Uji koefisien determinan didapat dari nilai R-sq dan nilai R-sq didapatkan saat proses analisis menggunakan *software minitab*. Tabel 5. Berikut menunjukkan hasil uji determinasi berganda.

Tabel 5: Model Summary Kekasaran Permukaan

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.0585394	67.54%	59.19%	49.47%

Pada tabel 5. menunjukkan bahwa pada penelitian ini presentase nilai koefisien determinasi berganda (R2) pada kekasaran permukaan adalah sebesar 67.54%. Dengan nilai tersebut maka nilai determinasi masuk ke dalam kategori kuat.

3.4 Uji Koefisien Regresi

a. Uji Koefisien Secara Serentak

Hipotesis untuk uji koefisien regresi secara serentak dari hasil uji kekasaran permukaan adalah sebagai berikut:

- H_0 : Tidak ada parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- H_1 : Terdapat parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan

Nilai pengujian yang digunakan adalah nilai P_{value} yang didapat dari ANOVA output minitab sebagai berikut:

Tabel 6 Regresi Kekasaran Permukaan

Source	DF	Adj SS	P-Value
Regressin	9	0.249562	0.000

Pada tabel 6. nilai P_{value} adalah 0.000. Sedangkan penelitian ini menggunakan $\alpha = 0.05$. Maka dapat disimpulkan bahwa $P_{value} < \alpha$, yang berarti H_0 ditolak dan terima H_1 . Disimpulkan bahwa terdapat parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

b. Uji Koefisien Secara Individu

Hipotesis untuk uji koefisien regresi secara individu dari hasil uji kekasaran permukaan adalah sebagai berikut:

- H_0 : Tidak ada parameter yang berpengaruh terhadap respon secara individu
- H_1 : Terdapat parameter yang berpengaruh terhadap respon secara individu

Hasil regresi pada *software minitab* dapat dilihat pada Tabel 7. berikut:

Tabel 7 Hasil Analisis Regresi

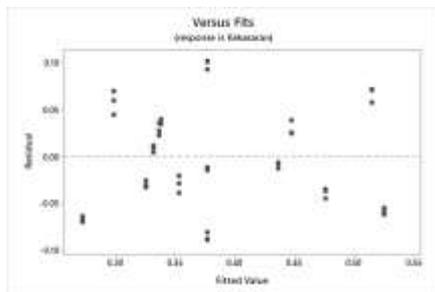
Term	Coef	P-Value
Constant	0.3762	0.000
Spindle Speed	-0.0300	0.017
Feed Rate	0.0909	0.000
Depth of Cut	0.0220	0.074

Dari hasil diatas nilai P_{value} spindle speed dan feed rate lebih kecil dari nilai α . Dengan demikian, secara individual parameter tersebut berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

3.5 Uji Asumsi Residual

a. Uji Asumsi Identik

Uji identik adalah plot antara nilai residual dari tiga variabel dengan nilai \hat{y} estimasi kekasaran permukaan. Apabila dalam plot tersebut nilai residual dari tiga variabel dengan nilai \hat{y} estimasi keakuratan dimensi tidak menunjukkan naik turun (nilai residual menyebar secara acak) maka dapat diartikan bahwa nilai residual bersifat identik. Berikut hasil analisis identik pada kekasaran permukaan. ditunjukkan pada Gambar 1.

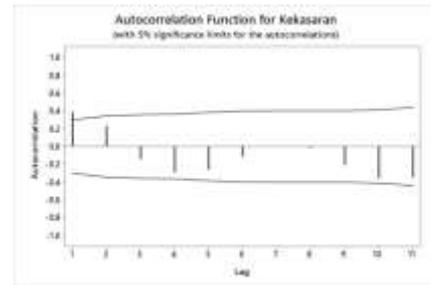


Gambar 1. Hasil Uji Asumsi Identik

Pada gambar 1 di atas dijelaskan bahwa data terdistribusi secara menyebar disekitar garis diagonal dan penyebaran titik-titik data searah dengan garis diagonal dengan nilai residual menyebar secara acak tidak cenderung naik maupun turun sehingga residual bersifat identik.

b. Uji Asumsi Independen

Uji Independen adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya ketergantungan diantara nilai residual tiga variabel yang diteliti. Jika ada, maka plot residual dengan \hat{y} estimasi akan akan menunjukkan penyebaran yang tidak merata. Hasil pengujian dikatakan independen apabila tidak terdapat lag yang keluar dari batas signifikan, hal ini menunjukkan bahwa asumsi independen terpenuhi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Hasil Uji Independen

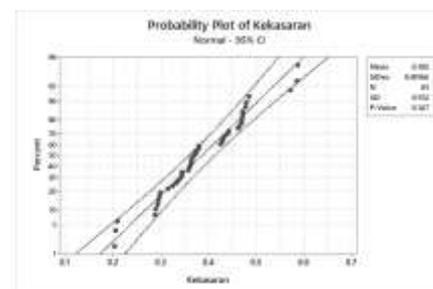
Pada Gambar 2 merupakan hasil uji independen dari 3 variabel yang diteliti. Di mana terdapat garis biru yang merupakan lag, dan garis merah merupakan batas signifikan. Dari data diatas terdapat lag (garis biru) yang melewati batas signifikan, sehingga uji asumsi independen pada kekasaran permukaan dinyatakan tidak memenuhi

c. Uji Normalitas

Dalam penelitian ini, pengujian residual distribusi normal yang digunakan adalah uji Kolmogorov-smirnov. Dengan hipotesis berikut:

- $H_0: P_{value} < 0.05$, maka residual tidak berdistribusi normal
- $H_1: P_{value} > 0.05$, maka residual berdistribusi normal

Hasil dari uji distribusi ditunjukkan pada gambar 3 berikut:



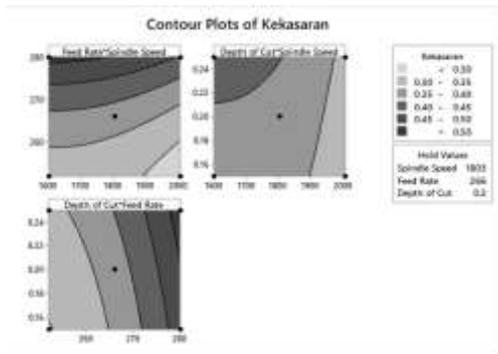
Gambar 3. Hasil Uji Normalitas

Berdasarkan pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pengujian Kolmogorov-smirnov menghasilkan P_{value} sebesar 0.147. Sehingga dapat menunjukkan bahwa nilai $P_{value} > \alpha$, sehingga keputusan yang dapat diambil adalah H_0 ditolak yang berarti residual berdistribusi normal

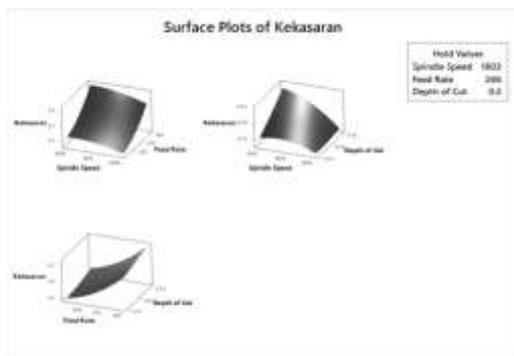
3.6 Contour dan Surface Plot

Pada setiap contour plot memiliki warna dan ukuran yang berbeda sesuai dengan parameter yang dibandingkan. Sedangkan pada surface plot merupakan proyeksi dari bentuk contour plot yang diubah dalam bentuk 3 dimensi. Berikut merupakan hasil contour plot dan surface plot

pada masing-masing parameter kekasaran permukaan :



Gambar 4. Contour Plot Kekasaran Permukaan

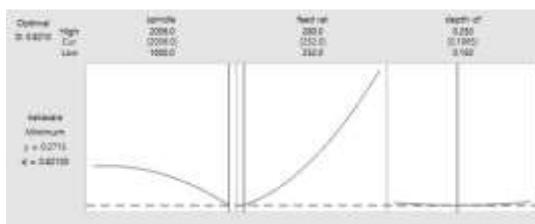


Gambar 5. Surface Plot Kekasaran Permukaan

Pada gambar 4 *contour plot* dapat dilihat bahwa warna dan hasil dari kekasaran permukaan sesuai dengan parameter yang dibandingkan. Dari ketiga gambar diatas dapat disimpulkan saat nilai hold values *spindle speed*, *feed rate* dan *depth of cut* berada di 0.20 mm diprediksi mendapatkan kekasaran permukaan sebesar 0.364 μm .

3.7 Optimasi Respon

Optimasi respon dilakukan untuk mendapatkan setting optimum dari variabel bebas yang diteliti. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka digunakan pendekatan desirability. Fungsi pendekatan desirability yaitu untuk mengetahui nilai kombinasi variabel bebas yang akan menghasilkan nilai respon yang optimum. Gambar 6 berikut merupakan hasil optimasi respon



Gambar 6. Hasil Respon Optimizer

Pada Gambar 6 berdasarkan hasil optimasi respon, didapatkan *setting spindle speed* 2006 RPM, *feed rate* 252 mm/min dan *depth of cut*

0.1965 mm. dari kombinasi parameter tersebut, diprediksi akan menghasilkan respon yang optimal yaitu kekasaran permukaan sebesar 0.2715 μm .

3.8 Persentase Kontribusi

Besar kontribusi setiap variabel bebas dihitung menggunakan persen kontribusi. Untuk mengetahui persen kontribusi dilakukan dengan melihat hasil analisis menggunakan *software minitab* pada Tabel 8 sebagai berikut:

Tabel 8 Output ANOVA

Source	DF	Adj SS	P-Value
Regression	9	0.249562	0.000
Spindle Speed	1	0.021660	0.017
Feed Rate	1	0.198380	0.000
Depth of Cut	1	0.011660	0.074
Total	44	0.369502	

Berikut adalah nilai prosentase pengaruh parameter pada respon kekasaran permukaan

1. *Spindle Speed* : $\frac{0.021660}{0.369502} \times 100\% = 5.86\%$
2. *Feed Rate* : $\frac{0.198380}{0.369502} \times 100\% = 53.68\%$
3. *Depth of Cut* : $\frac{0.011660}{0.369502} \times 100\% = 3.15\%$

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis data dengan response surface diketahui bahwa *spindle speed* dan *feed rate* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan dibuktikan dengan nilai $P_{value} < \alpha$. Sedangkan untuk *depth of cut* tidak memberikan pengaruh yang signifikan tetapi tetap memberikan persentase kontribusi sebesar 3.15%. kombinasi setting parameter yang optimum yaitu *spindle speed* sebesar 2006 RPM, *feed rate* sebesar 252 mm/min dan *depth of cut* sebesar 0.1965 mm.

5. PUSTAKA

- [1] Hutapea, G., Witanto, Y., & Hoten, H. Van. (2021). *Pengaruh Kecepatan Spindle Utama Mesin Gurdi Radial Z3050 X 16 (Ii) Terhadap Keausan Pahat Hss Pada Proses Penggurdian Dengan Bahan Baja Astm A36 The Effect Of Main Spindle Speed*

- Of Z3050 X 16 (II) Radial Surving Machine on Hss Tool Wear. 5(2), 29–33.*
- [2] Satyanarayana, K., Kumar, V. T., & Rathod, R. (2023). *Optimization Of Machining Parameters of CNC Milling Operation for Material Removal Rate and Surface Roughness on En-24 Steel Using Taguchi Method. 01011.*
- [3] Rahmawaty, F., Tri Sutanto, H., Matematika, J., Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., & Negeri Surabaya Jalan Ketintang, U. (N.D.). *Penerapan Metode Permukaan Respon Untuk Optimalisasi Proses Sealing Pada Pengemasan Produk Makanan Jelly.*
- [4] Pilarian, Ferihan. Purwanti, Endang. Pudji. (2013). *Optimasi Parameter Proses Pemotongan Stainless Steel Sus 304 Untuk Kekasaran Permukaan Dengan Metode Response Surface. 11, 1-16*
- [5] Mayasari, A. I., Wuryandari, T., & Hoyyi, A. (2014). *Optimalisasi Proses Produksi Yang Melibatkan Beberapa Faktor Dengan Level Yang Berbeda Menggunakan Metode Taguchi. 3(3), 303–312.*