



Optimasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja St 40 Pada Proses Bubut CNC Menggunakan *Response Surface Methodology*

Muhammad Afriadi¹, Muhamad Subhan², Ilham Ary Wahyudie³, Yuliyanto⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

Email : Adibone09@gmail.com

Received : 6 Juni 2023; Received in revised form : 20 September 2023; Accepted : 20 Oktober 2023

Abstract

Optimal surface roughness results are the desired goal in the machining process on a CNC machine, the appropriate machining process variables must be adjusted in order to obtain an optimal workpiece surface roughness response. The research that has been carried out aims to determine the effect of variables on the surface roughness of the St 40 steel machining process in CNC machining and the optimal setting of the CNC machining process variable on the response value of the St 40 steel surface roughness. The machining process variables that are varied are cutting speed and depth of infeed. The optimization method used is the Response Surface Method. The experimental design was determined based on a 2-factor CCD. Experiments were carried out according to the experimental design of variable cutting speed with levels of 200 m/minute, 230 m/minute, and 260 m/minute and variable depth of ingestion with levels of 0.6 mm, 0.8 mm, and 1 mm to determine the optimal variable level. on the surface roughness of St 40 steel. The results showed that the influence of the variable cutting speed and depth of infeed did not significantly affect the surface roughness of St 40 steel and at the variable level optimization setting the minimum optimal value was obtained, namely at the cutting speed at 19.92 m/minute and the depth of ingestion is at 5.58 mm and the resulting surface roughness value is smaller than 1,00 μm .

Keywords: surface roughness; st 40 steel; response surface method.

Abstrak

Kekasaran permukaan yang optimal adalah tujuan yang diinginkan pada proses pembubutan di mesin CNC, harus dilakukan pengaturan variabel proses pembubutan yang tepat agar diperoleh respon kekasaran permukaan benda kerja yang optimal. Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap kekasaran permukaan baja St 40 peroses pembubutan dimesin CNC dan pengaturan *setting* yang optimal pada variabel proses pemesinan CNC terhadap nilai respon kekasaran permukaan baja St 40. Variabel proses permesinan yang divariasikan adalah kecepatan potong dan kedalaman pemakanan. Metode optimasi yang digunakan adalah Metode Permukaan Respon. Desain eksperimen ditetapkan berdasarkan CCD 2 faktor. Percobaan dilakukan sesuai desain eksperimen variabel kecepatan potong dengan level 200 m/menit, 230 m/menit, dan 260 m/menit dan variabel kedalaman pemakanan dengan level 0,6 mm, 0,8 mm, dan 1 mm untuk menentukan level variabel yang optimal terhadap kekasaran permukaan baja St 40. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh dari variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan baja st 40 dan pada pengaturan optimasi level variabel didapatkan nilai optimal minimum yaitu pada kecepatan potong sebesar 19,92 m/menit dan kedalaman pemakanan sebesar 5,58 mm dan dihasilkan nilai kekasaran permukaan lebih kecil dari 1,00 μm .

Kata kunci: kekasaran permukaan; baja st 40; metode permukaan respon.

1. PENDAHULUAN

Dunia manufaktur terus berkembang seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, terbukti dengan peningkatan volume produksi. Dalam persaingan global, semua produsen harus bersaing dengan pesaing internasional. Produsen yang menghasilkan produk berkualitas dengan harga bersaing akan menang dan bertahan di pasar. Sebaliknya, kekasaran permukaan merupakan ciri utama yang menentukan kualitas produk olahan. Sifat-sifat ini mudah diukur dan dijadikan sebagai kriteria kualitas produk [1].

Kualitas produk mekanik selalu terkait pada dimensi, toleransi, dan nilai produk akhir. Oleh karena itu, diperlukan suatu mesin yang dapat menghasilkan produk dengan kualitas terbaik. Salah satunya adalah penggunaan mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Dibandingkan dengan mesin tradisional, mesin CNC memiliki banyak keunggulan seperti presisi tinggi, akurasi dimensi tinggi, waktu produksi yang efisien, dan produktivitas yang tinggi [2].

Beberapa faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja saat melakukan proses pembubutan. Selain faktor *skill* operator, kedalaman potong dan kecepatan potong juga sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Kualitas pembubutan selain kecepatan potong dan gerak makan serta kedalaman pemakanan. Kedalaman pemakanan sering diabaikan oleh operator karena mereka ingin menyelesaikan pekerjaan dengan cepat, dan kedalaman pemakanan yang besar sering digunakan. Sementara itu, karena faktor waktu, kecepatan potong seringkali diabaikan untuk menyelesaikan pekerjaan dengan cepat. Padahal kedua faktor ini sangat penting dalam proses pembubutan untuk mendapatkan hasil permukaan yang tepat dan tingkat kekasaran yang kecil [3].

Baja ST 40 merupakan baja karbon rendah (dengan kandungan karbon di bawah 0,2%) dan sering disebut sebagai baja karbon rendah. Baja ST 40 memiliki karakteristik kekuatan yang rendah dan keuletan yang tinggi, tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas kecuali pada proses *surface hardening*, baja ini sering digunakan sebagai bahan untuk pembuatan bagian-bagian mekanik karena memiliki keuletan yang tinggi, sehingga baik untuk dilakukan proses pemesinan [4]. Baja St 40 banyak digunakan pada roda gigi, poros engkol, roda gigi ring, roda gila, gandar dan baut [5]. Untuk menentukan desain eksperimen variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan dalam penelitian ini digunakan *Response Surface Methodology (RSM)*.

Response Surface Methodology adalah seperangkat metode matematika dan statistik yang digunakan dalam pemodelan dan analisis untuk melihat pengaruh beberapa variabel kuantitatif pada variabel respon dan untuk mengoptimalkan variabel respon tersebut [6].

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang, penulis akan melakukan penelitian pengaruh variabel proses permesinan terhadap kekasaran permukaan benda kerja dengan judul "Optimasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja St 40 Pada Prsoses Bubut CNC Menggunakan *Response Surface Methodology*".

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ST 40. Baja ST 40 dipilih karena baja ini merupakan material yang umum digunakan dalam pembuatan komponen mesin. Spesimen baja St 40 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki panjang 100 mm dan diameter 40 mm pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk Material Baja ST 40

2.2 Alat Penelitian

a. Mesin Bubut CNC

Mesin bubut CNC yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin bubut *CNC MORI SEIKI SL-25* dengan spesifikasi sebagai berikut: *Merk Mitsubishi*, *Type: MORI SEIKI SL-25*, *Pembuatan: di buat di Jepang dengan tahun pembuatan 2011*, Mesin CNC yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Mesin bubut CNC MORI SEIKI SL-25

b. Mata Potong

Mata potong (pahat bubut) yang digunakan dalam proses pembubutan pada penelitian ini menggunakan mata potong *insert carbide merk WNMG*, mata potong atau pahat *carbide* memiliki ketahanan aus yang baik dengan tingkat kekerasan yang tinggi pada beberapa suhu, sehingga mata potong yang terbuat dari *carbide* lebih efektif dan efisien dalam penelitian ini. mata potong yang digunakan pada penelitian ini dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Mata potong insert carbide merk WNMG

c. Alat Uji Kekasaran Permukaan Benda Kerja

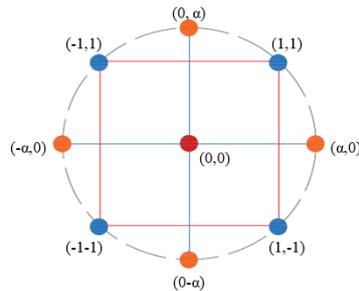
Surface Roughness Tester digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pembubutan dimesin CNC. Alat uji kekasaran yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Roughness tester Mitutoyo SJ-210* yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210*

2.3. Menentukan Jumlah Dan Kode Sampel

Terdapat 3 bagian jenis data yang diambil dalam menentukan jumlah sampel. Bagian-bagian tersebut yaitu *cube point*, *aksial point* dan *center point*, 3 bagian ini adalah sebuah ketentuan dalam menentukan jumlah sampel menggunakan rancangan orde model kedua yaitu *Central Composite Design (CCD)*. Proses menentukan jumlah sampel 2 faktor ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. *Central Composite Design 2k*.

Penentuan kode sampel dilakukan dengan cara membuat kode yang sudah ditetapkan dalam menggunakan rancangan orde model kedua yaitu *Central Composite Design (CCD)*, Kode sampel berdasarkan pada Gambar 5. dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode Sampel *Central Composite Design 2k*

Jenis sampel	Faktor	
	A	B
<i>Cube Point</i>	-1	-1
	-1	1
	1	-1
	1	1
<i>Aksial Point</i>	$-\alpha$	0
	$+\alpha$	0
	0	$-\alpha$
	0	$+\alpha$
<i>Center Point</i>	0	0
	0	0
	0	0

Sumber: Hasil Penentuan

Pada Tabel 1 dijelaskan pada kode -1 pada jenis sampel *cube point* adalah level terendah yang terdapat pada variabel yang ditentukan, sedangkan kode +1 adalah nilai level tertinggi pada variabel yang ditentukan. Pada jenis sampel *aksial point* kode (α dan $-\alpha$) adalah nilai yang harus dihitung untuk menentukan nilai sampel pada setiap variabel, dan pada jenis sampel *center point* dengan kode 0,0 adalah nilai tengah pada setiap level variabel.

2.4. Variasi variabel Sampel

Variasi variabel Sampel yang digunakan menyesuaikan dengan mengikuti kode sampel pada Tabel 1. sehingga rancangan level pada variabel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Variasi Level Pada Variabel Penelitian

No sampel	Variabel Penelitian	
	Kecepatan Potong (m/mm)	Kedalaman Pemakanan (mm)
1	200	0,6
2	200	1
3	260	0,6
4	260	1
5	187,58	0,8
6	272,42	0,8
7	230	0,5172
8	230	1,0828
9	230	0,8
10	230	0,8
11	230	0,8

Sumber: Hasil Penentuan

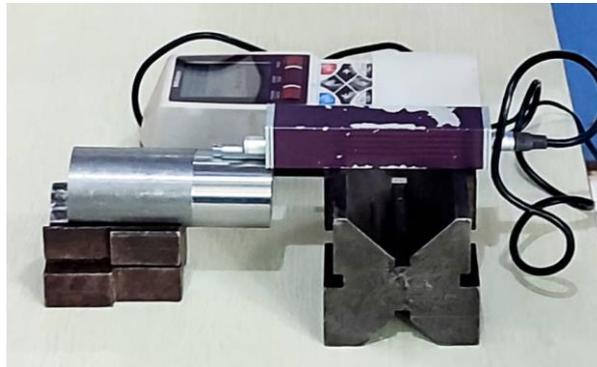
2.5. Pengujian Sampel

a. Benda kerja yang akan diuji menggunakan *surface roughness tester* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Benda Kerja Hasil Pengerjaan CNC MORI SEIKI SL-25.

b. Benda kerja hasil pemesinan CNC MORI SEIKI SL-25 diletakkan pada *V-block* kecil, dimana *Surface Roughness Tester* juga diletakkan pada *V-block* besar pada meja perata atur ketinggian alat uji dengan benda kerja. di tunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian Benda Kerja *Roughness Tester*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian kekasaran

Pengujian dan pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja St 40 menggunakan alat uji kekasaran permukaan, setiap masing-masing benda kerja dilakukan 3 kali pengujian dalam 3 titik sudut pada permukaan benda kerja. Berikut data hasil pengukuran uji kekasaran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Uji Kekasaran Menggunakan *Surface Roughness Tester*

Benda kerja	Hasil Pengujian Kekasaran (Ra)			Rata-Rata kekasaran (μm)
	1	2	3	
1	0,292	0,808	0,276	0,292
2	1,619	1,577	1,672	1,623
3	1,489	1,536	1,547	1,524
4	1,332	1,373	1,406	1,370
5	1,678	1,626	1,686	1,663
6	1,244	1,287	1,324	1,285
7	1,579	1,554	1,575	1,569
8	1,342	1,361	1,326	1,343
9	0,839	0,859	0,849	0,849
10	0,878	0,897	0,888	0,888
11	0,846	0,816	0,808	0,823

Sumber: Pengujian dan Perhitungan

3.2. Analysis of Variance (Anova)

Tabel analisis varian telah divalidasi menggunakan *software minitab versi 21.3 (Minitab License)* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Analysis Of Variance*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
Model	5	1,17100	0,234199	1,66	0,297
Linear	2	0,11654	0,058268	0,41	0,683
Kecepatan Potong (vc)	1	0,02472	0,024724	0,17	0,693
Kedalaman Pemakanan	1	0,09181	0,091812	0,65	0,457
Square	2	0,50365	0,251824	1,78	0,261
Vc * Vc	1	0,33797	0,337966	2,39	0,183
Ked.Pemakanan*Ked. Pemakanan	1	0,31355	0,313554	2,22	0,197
2-Way Interaction	1	0,55081	0,550811	3,89	0,106
Vc*Kedalaman Pemakanan	1	0,55081	0,550811	3,89	0,106
Error	5	0,70741	0,141483		
Lack-of-Fit	3	0,70532	0,235106	224,17	0,004
Pure Error	2	0,00210	0,001049		
Total	10	1,87841			

Sumber: *Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License)*

- Hipotesis:
 H_0 : Kecepatan potong (VC) tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 H_1 : Kecepatan potong (VC) berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 H_0 : Kedalaman pemakanan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 H_1 : Kedalaman pemakanan berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 H_0 : Interaksi variabel kecepatan potong (VC) dan kedalaman pemakanan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
 H_1 : Interaksi variabel kecepatan potong (VC) dan kedalaman pemakanan berpengaruh signifikan terhadap kekasaran.
- Kriteria Uji:
Tolak H_0 : Jika $P\text{-value} < \alpha$.
Gagal ditolak: Jika $P\text{-value} > \alpha$.
- α : 0.05 (5%).
- Analisis:
Dari hasil tabel analisis varian menggunakan *software minitab versi 21.3 (Minitab License)*. Nilai $P\text{-value}$ variabel kecepatan potong yang didapatkan adalah (0,693), pada nilai $P\text{-value}$ variabel kedalaman pemakanan adalah (0,457) dan nilai $P\text{-value}$ interaksi variabel kecepatan potong (vc) dan kedalaman pemakanan adalah (0,106). Dimana ketiga nilai $P\text{-value}$ yang didapatkan lebih besar dari nilai α : 0.05 (5%) sehingga variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan tidak berpengaruh signifikan dikarenakan $P\text{-value}$ H_0 gagal ditolak.

3.3. Uji Lack of Fit

Lact of fit pada tabel 4.3. *Analysis of Variance* menggunakan *software minitab versi 21.3 (Minitab License)* mendapatkan nilai *lact of fit* $P\text{-value}$.

- Hipotesis
 H_0 : ketidakcocokan model
 H_1 : kecocokan model
- Daerah penolakan:
Hipotesis awal (H_0) akan ditolak apabila nilai $P\text{-Value}$ dari *Lact of Fit* kurang dari α , sebaliknya H_1 akan gagal ditolak apabila nilai $P\text{-Value}$ dari *Lact of Fit* lebih besar dari nilai α .
- $\alpha = 0,05$ (5%)
- Interpretasi hasil uji *Lact of Fit* pada tabel 4.3. Nilai $P\text{-Value}$ *Lact of Fit* (0,004) lebih kecil dari nilai $\alpha = 0,05$ (5%) sehingga keputusan yang didapatkan tolak H_0 .

3.4. Analisis Response Surface Methodology

Dalam melakukan *analisis response surface methodology* terdapat beberapa perhitungan yang harus dilakukan, hal yang pertama adalah mencari persamaan second order model, Second order model dilakukan dengan pendekatan regresi :

$$B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_{11} \\ \hat{\beta}_{22} \\ \hat{\beta}_{12} \end{bmatrix} = [(X'X)^{-1}](X'Y)$$

Dengan Kode:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X1 & X2 & X_1^2 & X_2^2 & X1.X2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1,414 & 0 & 1,999 & 0 & 0 \\ 1 & 1,414 & 0 & 1,999 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1,414 & 0 & 1,999 & 0 \\ 1 & 0 & 1,414 & 0 & 1,999 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} 0,292 \\ 1,623 \\ 1,524 \\ 1,370 \\ 1,663 \\ 1,285 \\ 1,569 \\ 1,343 \\ 0,849 \\ 0,888 \\ 0,823 \end{bmatrix}$$

Matrik X dan Y digunakan untuk mencari persamaan second order. Kode nilai matrix X diatas merupakan nilai kode sampel variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan dan nilai matrix Y merupakan nilai rata-rata hasil pengujian kekasaran permukaan menggunakan alat uji kekasaran permukaan.

Dalam perhitungan untuk mencari persamaan second order dilakukan dengan menghitung $[(X'X)^{-1}](X'Y)$, perhitungan ini dilakukan secara manual dan divalidasi menggunakan *Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License)* bertujuan untuk mencegah terjadinya kesalahan perhitungan dalam proses analisa. Hasil perkalian $[(X'X)^{-1}](X'Y)$ sebagai berikut:

Persamaan *second-order* yang didapatkan sebagai berikut:

$$\hat{y} = 0,853 + 0,0556x_1 + 0,107x_2 + 0,245x_1^2 + 0,235x_2^2 - 0,371x_1x_2$$

dengan: \hat{y} : Nilai taksiran untuk respon kekasaran permukaan.

x_1 : Nilai kode variabel Kecepatan Potong (m/mm).

x_2 : Nilai kode variabel kedalaman pemakanan (mm).

x_1^2 : Nilai kode variabel kecepatan potong yang dikuadratkan

x_2^2 : Nilai kode variabel kedalaman pemakanan yang dikuadratkan

x_1x_2 : Nilai kode variabel kecepatan potong dikali kedalaman pemakanan

3.5. Menentukan Nilai Optimal

Dari nilai persamaan *second order* yang telah diperoleh dari hasil perkalian matriks. Maka dilakukan perhitungan dalam menentukan nilai kode optimal menggunakan rumus 1.

$$x_0 = -\frac{1}{2}B^{-1}b \quad (1)$$

Dari perhitungan menentukan nilai kode optimal, diperoleh nilai *Coded Stationary Point* X_0 untuk menentukan nilai level optimal pada setiap variabel sebagai berikut:

$$X_0 = \begin{bmatrix} -0,709 \\ -0,786 \end{bmatrix}$$

X_0 kecepatan potong = -0,709

X_0 kedalaman pemakanan = -0,786

3.6. Menghitung Nilai Optimal RSM Dari *Coded Stationary Point* (X_0)

Menghitung nilai optimal dari hasil *coded* X_0 ke nilai optimal yang sebenarnya pada variabel kecepatan potong (VC) dan kedalaman pemakanan. Maka dilakukan perhitungan nilai optimal pada setiap variabel menggunakan rumus 2. sebagai berikut:

- **Kecepatan Potong (X_1)**

$$X_0 (\text{Kecepatan Potong}) = \frac{VC - \text{CENTER POINT}}{\frac{1}{2}(\text{MAX}-\text{MIN})} \quad (2)$$

Sehingga didapatkan hasil $V_c = 199,92$ m/mm.

- **Kedalaman Pemakanan (X_2)**

$$X_0 (\text{Kedalaman Pemakanan}) = \frac{K.\text{Pemakanan} - \text{CENTER POINT}}{\frac{1}{2}(\text{MAX}-\text{MIN})} \quad (3)$$

Sehingga didapatkan hasil Kedalaman pemakanan = 0,58 mm

Jadi hasil perhitungan diatas nilai level optimal dari variabel kecepatan potong (VC) yang didapatkan adalah 199,92 m/menit, sedangkan nilai level optimal dari variabel kedalaman pemakanan adalah 0,58 mm.

3.7. Menentukan Model *Canonical*

Untuk mengetahui apakah nilai *Stationary Point* (X_0) merupakan variabel optimum dalam bentuk nilai maksimum, minimum atau saddle, perlu dilakukan analisis model kanonik. Analisis kanonik adalah mencari nilai eigen dari matrik B. Persamaan untuk mencari nilai eigen matrik B menggunakan fungsi respon (3) sebagai berikut. Sehingga dihasilkan:

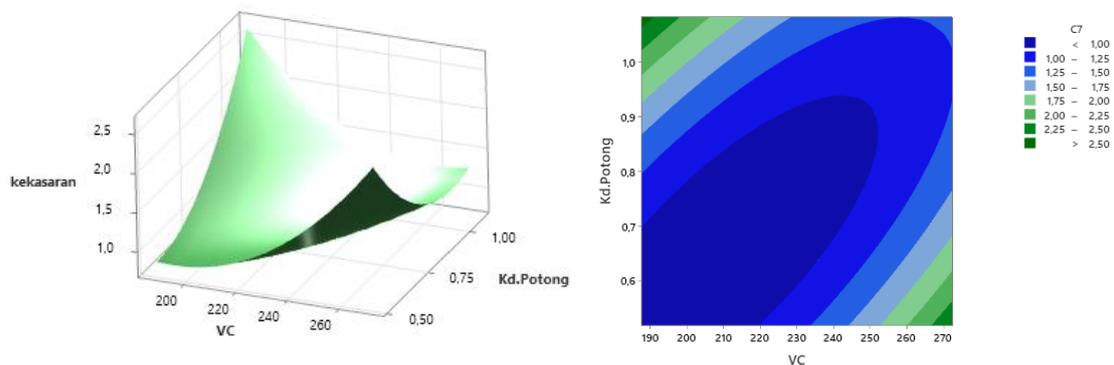
$$\begin{aligned} \hat{y} &= \hat{y}_0 + \lambda_1 \omega_1^2 + \lambda_2 \omega_2^2 \\ \hat{y} &= \hat{y}_0 + 0,245 \omega_1^2 + 0,236 \omega_2^2 \end{aligned} \quad (4)$$

dengan: ω_1 = Variabel independen baru hasil transformasi

\hat{y}_0 = Harga taksiran y pada titik stasioner

λ_i = Konstanta yang merupakan *eigen value* dari matrik B

Karakteristik dari permukaan respon λ_i yang dihasilkan semua positif, maka X_0 adalah nilai minimum. Untuk memudahkan pembacaan hasil dari X_0 adalah nilai minimum dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. (a) *Surface Plot* dari Respon Kekasaran, (b) *Counter Plot* dari Respon Kekasaran
Software Minitab Versi 21.3 (Minitab License)

Dari hasil Gambar 8. (a) *Surface plot* dari respon kekasaran yang dihasilkan adalah titik minimum sehingga gambar surface plot yang dihasilkan berbentuk cekung. Pada Gambar 8 (b) *Counter*

plot respon kekasaran, nilai optimal minimum yang didapatkan pada variabel kecepatan potong (VC) adalah 199,92 m/menit dan nilai optimal minimum yang didapatkan pada variabel kedalaman pemakanan adalah 0,58 mm. Sehingga pada gambar *counter plot* titik optimal *minimum* yang dihasilkan berada pada area kekasaran <1,00 μm .

4. SIMPULAN

1. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari kedua variabel yang ditetapkan yaitu kecepatan potong dengan level 200 m/menit, 230 m/menit, dan 260 m/menit, kedalaman pemakanan dengan level 0,6 mm, 0,8 mm, dan 1 mm pada proses pembubutan baja ST 40 menggunakan mesin *CNC MORY SEIKI SL-25*. didapatkan kesimpulan dimana variabel kecepatan potong dan kedalaman pemakanan tidak berpengaruh signifikan terhadap respon kekasaran permukaan baja St 40.
2. Hasil variabel kecepatan potong (m/menit) dan kedalaman pemakanan (mm) terhadap kekasaran permukaan baja St 40 didapatkan nilai level variabel optimal minimum dan hasil pada setiap variabel proses pembubutan pada mesin *CNC MORY SEIKI SL-25* sebagai berikut:
 - a. Kecepatan Potong (vc) diatur sebesar 199,92 m/menit.
 - b. Kedalaman pemakanan diatur sebesar 0,58 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Nugraha, D. A., Qoryah, R. D. H., & Darsin, M. (2020). Pengaruh Metode Minimum Quantity Lubrication (MQL) Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan. *Rekayasa*, 13(2), 125–129. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i2.6259>
- [2]. Nugroho, T. U., Saputro, H., & Estriyanto, Y. (2012). Pengaruh Kecepatan Pemakanan Dan Waktu Pemberian Pendingin Terhadap Tingkat Keausan *Cutter End Mill Hss Hasil Pemesinan Cnc Milling Pada Baja St 40*. 1(1), 79–89.
- [3]. Siswanto, B., & Sunyoto. (2018). Bambang Dan Sunyoto. *Pengaruh Kecepatan Dan Kedalaman Potong Pada Proses Pembubutan Konvensional Terhadap Kekasaran Permukaan Lubang*, 3(2), 82–86. <https://journal.uny.ac.id/index.php/dynamika/issue/view/1599>
- [4]. Adrianto, R. (2011). Pengaruh Kecepatan Spindel, Kecepatan Pemakanan Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Pemesinan Bubut Cnc Pada Baja St 40. *Febriani Setyaningrum*, 6.
- [5] Metinvest, *Application of St 40 Steel*, available at: <https://metinvestholding.com/en/products/steel-grades/40>.
- [6]. Ariyanto, N. (2018). Optimasi Parameter Permesinan Pemrograman Cnc Milling Terhadap Waktu Proses Untuk Meningkatkan Efisiensi Di Pt. Mekar Armada Jaya
- [7]. Montgomery, D. C. (2001). *Motgometry design-and-analysis-of-experiments-5th-edition.pdf* (p. 679). <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=kMMJAm5bD34C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Design+and+Analysis+of+Experiments&ots=KmiaRq3HxE&sig=GL0BRM1e2q39HIg35Ie9K8-5V1I>
- [8]. Munadi, S. (2017). Pengukuran Kekasaran Permukaan. In Panduan Pengajar Buku Dasar-Dasar Metrologi Industri.
- [9]. Nugraha, D. A., Qoryah, R. D. H., & Darsin, M. (2020). Pengaruh Metode Minimum Quantity Lubrication (MQL) Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan. *Rekayasa*, 13(2), 125–129. <https://doi.org/10.21107/Rekayasa.V13i2.6259>
- [10]. Rozaq, M. M., & Iswanto, I. (2017). Analisa Pengaruh Gerak Makan Dan Putaran Spindel Terhadap Keausan Pahat Pada Proses Bubut Konvensional. *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 2(1), 13.