

Perbaikan Kualitas Pembatikan pada CNC Batik Tulis *Rotary Bed* Menggunakan Metode Taguchi

Kurniawan Hamidi ^{1*}, Muh. Arif Wibisono ²

¹Departemen Teknik Industri, Universitas Universal Batam

²Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada

*Corresponding author E-mail: khmd93@gmail.com

Article Info

Article history:

Received 26-07-2023

Revised 26-07-2023

Accepted 26-07-2023

Keyword:

Quality Improvement, Taguchi Method, GRBL Setting.

ABSTRACT

The *nglowongi* process is one part of the batik process, which is making patterns on *mori*. As technology develops, this process is replaced by machines that apply CNC technology, namely the CNC rotary bed. In its implementation, obstacles were found such as failure to form motifs that have perfect angles on the fabric. There are many possible factors that cause the failure, but the authors focus on the limiting factors on the speed and acceleration of the stepper motor movement and the design angle of the motif. The purpose of this research is to optimize the input setup (speed and acceleration) on GRBL during the process of making angular motifs on batik cloth. The method used is the Taguchi method and two way-ANOVA. The results of this study indicate that the optimal combination of motif design angle, speed and acceleration is 91° - 180° , 833.33 mm/s or 500 mm/min respectively and the input acceleration is 4000 mm/s².

Copyright © 2023 Journal of Digital Ecosystem for Natural Sustainability.
All rights reserved.

I. PENDAHULUAN

Dalam prakteknya di area industri, mesin CNC (*Computerized Numerical Control*) memiliki peranan paling penting karena CNC meningkatkan lebih banyak kemampuan dengan pengembangan perangkat lunak dan berkontribusi untuk meningkatkan produktivitas di berbagai bidang industri pengerjaan logam [1]. Mesin CNC merupakan salah satu peralatan teknologi proses manufaktur yang terpadu yang dimanfaatkan pada proses pembuatan komponen dan memiliki akurasi yang sangat tinggi [2], dengan toleransi ukuran pada kisaran beberapa mikron atau lebih kecil [3]. Akurasi mesin CNC juga dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti kondisi operasional, kestabilan termal, dan pemrograman yang tepat. Sebab tingkat kapabilitas produksi yang besar dan akurasi yang tinggi, teknologi CNC digunakan dan dikembangkan konsepnya agar dapat diadopsi di berbagai proses manufaktur seperti *cutting*, *milling*, *plotting*, *drilling*, dan *lasering* [4]. Selain itu, teknologi CNC dimanfaatkan pula pada proses manufaktur seperti pembuatan motif batik menggunakan cap dan menggunakan canting.

Pemanfaatan teknologi CNC pada proses pembuatan pola batik disebabkan oleh permasalahan dan tantangan yang dihadapi pelaku industri batik tulis yaitu kecepatan produksi dan kreatifitas karya seni yang cenderung monoton [5] serta

adanya tantangan pertumbuhan usaha batik tulis yang terus bertambah, mengingat rencana Pemerintah untuk terus meningkatkan ekspor batik ke luar negara, tetapi sebab pembuatan batik tulis masih dikerjakan secara manual, serta sedikitnya tenaga ahli yang mewarisi keahlian membatik menimbulkan penciptaan batik tulis masih sangat sedikit sehingga butuh sentuhan teknologi terapan dalam proses pembuatan batik tulis yang sanggup penuhi kebutuhan pasar batik luar negara. Salah satu teknologi terapan untuk proses pembuatan batik tulis menggunakan mesin CNC [6]. Pemakaian mesin CNC selaku salah satu inovasi pada penciptaan batik tulis memerlukan fitur pengembangan, ialah canting batik yang bisa dihubungkan terhadap mesin CNC itu sendiri sehingga mampu membaca perintah dari mesin [7]. Proses untuk melakukan perancangan sistem kendali dan penggerak untuk CNC batik dengan penggerak utama berasal dari *motor stepper* dan penggunaan software *G-code tool sender* sebagai sistem kendali.

Riset mengenai pemanfaatan teknologi CNC pada pembuatan pola batik telah cukup banyak dilakukan baik diimplementasikan pada batik cap maupun batik tulis, hanya saja saat dilakukan observasi langsung dan pengambilan data langsung di CV. Batik Cap Mekar yang berada di daerah Yogyakarta menggunakan mesin CNC batik tipe *rotary bed* (meja kerja tipe silinder), ditemukan salah satu kendala yaitu,

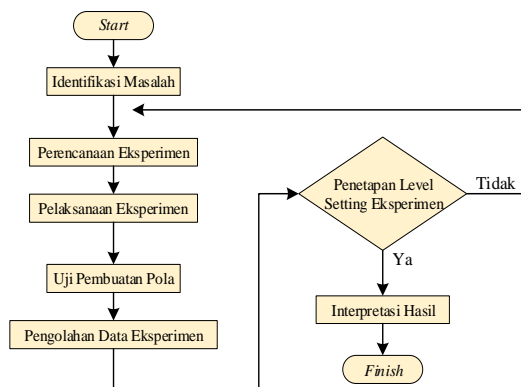
footprint (langkah pembuatan pola pada batik) yang tidak optimal dibuat saat pola batik pada desain memiliki arc (sudut).

Ketidak-optimalan pembuatan pola batik pada desain yang memiliki sudut ini mengakibatkan tindakan perbaikan berupa optimalisasi pada *setup* koding program di GUI (*Graphic User Interface*) yang memanfaatkan *extension* pada *software* Inkscape. Proses perbaikan meliputi penetapan parameter uji, level pengujian, dan respon hasil pengujian serta penetapan *design of experiment* (DoE) menggunakan Metode Taguchi.

Tujuan dari penelitian ini ialah mengoptimalkan *setup input* (kecepatan dan akselerasi) pada *GRBL* saat proses pembuatan motif bersudut pada kain batik jenis Primisima. Manfaat dari penelitian ini antara lain, *setup coding* menjadi acuan baku pada proses kalibrasi yang digunakan pada mesin batik CNC tipe *rotary bed* khususnya penerapan di CV Batik Cap Mekar dan menjadi nilai parameter pembanding pada riset sejenis di masa mendatang.

II. METODE

Metode yang digunakan untuk mengoptimalkan *setup coding* berbantuan *software* Inkscape agar mendapatkan hasil pembuatan pola batik dengan desain bersudut adalah metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan suatu desain eksperimen yang digunakan untuk mengevaluasi dua atau lebih faktor (parameter) secara serentak dengan cara memangkas beberapa kombinasi faktor dari *fractional factorial* terhadap kapabilitasnya untuk mempengaruhi rerata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Proses DoE agar dapat dilakukan dengan efektif diawali dengan menentukan desain *orthogonal array* lalu ditransformasi ke dalam bentuk rasio *signal* terhadap *noise* (*S/N Ratio*) [8]. Pengambilan data observasi dilakukan di CV. Batik Cap Mekar daerah Yogyakarta. Bahan baku dan alat yang digunakan pada riset ini antara lain, kain *mori primisima*, canting batik tulis listrik dengan diameter *nozzle* sebesar 0,4 mm, desain pola bersudut dengan motif bunga dan koding *software* Inkscape sebagai konverter gambar menjadi G-code. Diagram alir penelitian pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Setelah mengidentifikasi masalah berdasarkan observasi, maka dibuatlah perencanaan eksperimen dengan cara menentukan nilai-nilai parameter pada variabel peubah dengan respon hasil berbentuk nilai biner seperti pada Tabel 1. Selanjutnya dilakukan penentuan karakteristik kualitas. Proses penentuan karakteristik ini penting untuk dilakukan agar fokus eksperimen dapat lebih terarah. Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan *S/N ratio* untuk meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang timbul. Jenis dari *S/N ratio* tergantung pada karakteristik yang diinginkan, yaitu *Small the Better* (STB), *Larger the Better* (LTB), dan *Nominal the Best* (NTB) [9].

Tabel 1. Level Faktor Eksperimen

Variabel Peubah	1	2	3	Respon Keberhasilan Pembuatan Pola (Variabel tak bebas)
				Jumlah terjadinya <i>error</i> per titik pengamatan (R_j)
Besar Sudut Motif (°)	<10-49	50-90	>90-180	R1
Kecepatan Putar Motor Stepper (mm/s)	150	500	833,33	R2
Akselerasi (mm/s ²)	3000	4000	5000	R3

Adapun karakteristik kualitas yang dipilih pada penelitian ini adalah *smaller the better*. Pada penelitian ini, variabel tak bebas (R_j) adalah keberhasilan pembentukan pola. Keberhasilan pembentukan pola ini dapat diketahui dengan melakukan uji pembuatan pola dimana keberhasilan/kegagalan bernilai dapat dihitung berdasarkan jumlah terjadinya *error* pada 1 motif, sehingga semakin kecil nilai akumulasi titik *error*, maka hasil maka desain pola yang terbentuk pada kain disimpulkan bahwa pembuatan pola motif besudut berhasil. Demikian pula sebaliknya, apabila akumulasi titik *error* semakin banyak, maka dapat disimpulkan bahwa pembuatan pola motif bersudut gagal. Rumus karakteristik kualitas *small the better* ditampilkan pada persamaan (1).

Dimana: R_j = Respon ke- j ; $i= 1,2,3,\dots,n$

$$SN_{STB} = -10 \log \left[\frac{\sum y_i^2}{n} \right] \quad (1)$$

dimana:

SN_{STB} = *Signal noise to ratio small the better*

y_i^2 =replikasi ke i ; $i=1,2,3,\dots,n$ dan n = jumlah replikasi

Langkah selanjutnya ialah melakukan eksperimen membuat pola dengan motif yang ditetapkan setelah gambar motif dikonversi ke dalam bentuk G-code. Pengolahan data hasil eksperimen menggunakan analisis varians. Analisis varians pada metode Taguchi merupakan suatu metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil eksperimen [10]. Analisis varians pada metode Taguchi mengikuti langkah perhitungan sebagai berikut [8]:

1. Perhitungan nilai rerata keseluruhan eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \tag{2}$$

2. Perhitungan rerata respon masing-masing eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y_{ijk}}{n_{ijk}} \tag{3}$$

3. Perhitungan jumlah kuadrat total (*total sum of square*)

$$SS\ total = \sum y^2 \tag{4}$$

4. Perhitungan *total sum of square due to mean*

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2 \tag{5}$$

5. Perhitungan *total sum of square due to factors*

$$SS_i = (\sum_i(n_{ij})(\bar{l}_j^2)) - S_m \tag{6}$$

6. Perhitungan *total sum of square due to factors*

$$SS_e = SS_{total} - S_m - (\sum_i SS_i) \tag{7}$$

7. Perhitungan *the mean square*

$$MS_i = \frac{SS_i}{DF_i} \tag{8}$$

8. Perhitungan F hitung

$$F_{hitung} = \frac{MS_i}{MS_e} \tag{9}$$

9. Perhitungan *pure sum of square*

$$SS'_i = SS_i - (DF_i \cdot MS_e) \tag{10}$$

10. Perhitungan persen kontribusi

$$\rho_i = \frac{SS'_i}{SS_t} \tag{11}$$

Setelah analisa perhitungan dilakukan, maka dilanjutkan dengan penetapan *setting* level optimal dengan cara melihat table dan grafik respon, apabila hasil *setting* tidak *fit* maka dikembalikan kepada proses perencanaan eksperimen, jika *setting level* sudah *fit* maka dilanjutkan dengan proses eksperimen konfirmasi.

Eksperimen konfirmasi merupakan eksperimen yang bertujuan untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisis data hasil eksperimen [7]. Dalam melakukan eksperimen konfirmasi memerlukan kombinasi optimal dari *factor* dan *level* yang memiliki nilai pengaruh yang signifikan. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melaksanakan eksperimen konfirmasi menurut [7] yaitu:

1. memperkirakan nilai rerata

perkiraan nilai rerata dihitung dengan menggunakan persamaan (12).

$$\mu_p = \bar{y} + \sum (X_i - \bar{y}) \tag{12}$$

dimana: $\mu_p = \mu$ prediksi

2. menghitung nilai interval kepercayaan perkiraan nilai rerata
 perhitungan interval kepercayaan untuk nilai perkiraan rerata dibutuhkan perhitungan *CI* menggunakan persamaan (13) dan persamaan (14).

$$n_{eff} = \frac{N}{df} \tag{13}$$

Dimana:

N = Jumlah total eksperimen

df = jumlah *degree of freedom* dalam perkiraan rerata

$$CI = \pm \sqrt{F_{(\alpha;v1;v2)} \times MS_e \times \left| \frac{1}{n_{eff}} \right|} \tag{14}$$

3. menghitung interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi

berdasarkan perhitungan μ_p dan *CI*, maka dapat ditentukan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi menggunakan persamaan (15).

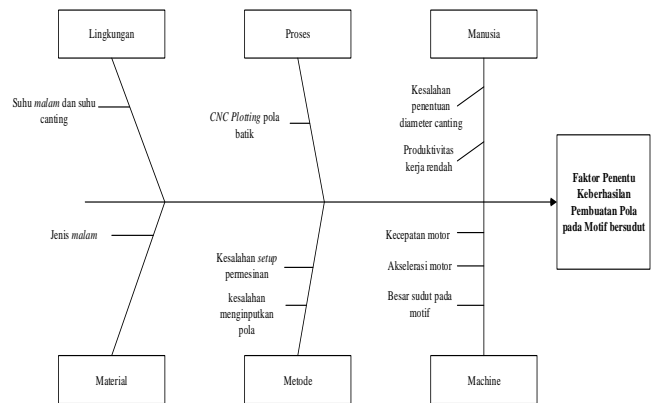
$$\mu_p - CI \leq \mu_p \leq \mu_p + CI \tag{15}$$

4. membandingkan hasil perhitungan interval kepercayaan pada kondisi optimal terhadap interval kepercayaan eksperimen konfirmasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Identifikasi Masalah

Proses mengidentifikasi masalah dilakukan melalui proses observasi dan percobaan pembatikan langsung dilapangan. Dari observasi dan percobaan dilapangan didapatkan hasil bahwa faktor-faktor penentu yang divisualisasikan menggunakan diagram *fishbone* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Fishbone Diagram

Pada Gambar 2, proses *plotting* motif batik tulis menggunakan teknologi CNC tipe *rotary bed* permasahan yang kritis diakibatkan oleh faktor permesinan. Penyebabnya dapat dilihat dari 3 faktor yaitu, kecepatan axis pergerakan motor, akselerasi motor dan besar sudut motif yang digunakan.

3.2. Perencanaan Eksperimen Menggunakan Taguchi Method

Tahapan awal dalam merencanakan eksperimen adalah menentukan level factor eksperimen seperti pada Tabel 1. Selanjutnya membuat *orthogonal array*. Dalam pembuatan *orthogonal array* acuan yang digunakan adalah jumlah factor dan jumlah level. Pada riset ini, jumlah factor peubah atau variabel peubah yang digunakan berjumlah 3 buah dan masing-masing level juga berjumlah 3 buah. Sehingga dengan terdapatnya 3 buah faktor dan 3 buah level *degree of freedom* yang digunakan pada riset ini berjumlah 6 derajat kebebasan. Langkah berikutnya adalah memilih kombinasi faktor dan level matriks *orthogonal array* metode Taguchi menggunakan bantuan *software* minitab dengan banyaknya

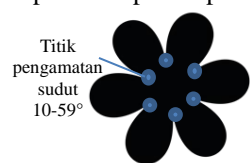
kombinasi faktor minimal yang terbentuk sebanyak 9 kombinasi. Kombinasi pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kombinasi Eksperimen Taguchi Method $L_9(3^3)$

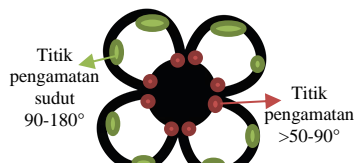
Eksperimen	Faktor		
	Besar sudut(A)	Kecepatan(B)	Akselerasi(C)
1	A1	B1	C1
2	A1	B2	C2
3	A1	B3	C3
4	A2	B1	C2
5	A2	B2	C3
6	A2	B3	C1
7	A3	B1	C3
8	A3	B2	C1
9	A3	B3	C2

3.3. Pengolahan Data Ekperimen

Setelah proses perencanaan eksperimen dibuat, maka dilanjutkan dengan melaksanakan tahapan ekperimen dan dilanjutkan dengan uji coba berdasarkan kombinasi faktor dan level yang didapatkan menggunakan metode Taguchi. Data-data hasil pengujian kemudian diamati oleh *expertis judgement* agar dapat dihitung jumlah pola gagal yang terbentuk pertitik poin yang diamati seperti pada Gambar 3a, Gambar 3b dan Gambar 3c Selanjutnya data-data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai rerata dan *signal to noise ratio* dengan klasifikasi *small the better*. Data-data tersebut dapat ditampilkan pada Tabel 3.



Gambar 3a. Motif 1



Gambar 3b. Motif 2

Pada Gambar 3a terdapat 6 buah titik pengamatan sudut <math><10-49^\circ</math> dan pada Gambar 3b terdapat 8 buah titik pengamatan sudut $>50-90^\circ$ dan 8 buah titik pengamatan sudut $>90-180^\circ$. Dikarenakan terdapat perbedaan jumlah titik pengamatan maka dilakukan kalibrasi angka pengamatan, menggunakan rumus (16).

$$p_n = \frac{x_i}{\max x_i} \tag{16}$$

dimana: p_n = nilai konversi kalibrasi; x_i = jumlah titik pengamatan ke- i ; $\max x_i$ = jumlah titik pegamatan terbesar.

Hasil konversi nilai untuk masing-masing titik poin sudut adalah $p_1=0.75$, $p_2=1$ dan $p_3=1$. Pada Gambar 4. Disajikan contoh hasil pengujian dilapangan dan disajikan pula pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian

Replikasi Ke	Eksperimen Ke	A	B	C	Jumlah Error	Koef. Konversi	Respon
1	1	1	1	1	5	0.75	3.75
	2	1	2	2	3	0.75	2.25
	3	1	3	3	1	0.75	0.75
	4	2	1	2	3	1	3
	5	2	2	3	2	1	2
	6	2	3	1	3	1	3
	7	3	1	3	2	1	2
	8	3	2	1	1	1	1
	9	3	3	2	1	1	1
2	1	1	1	1	4	0.75	3

2	1	2	2	4	0.75	3
3	1	3	3	0	0.75	0
4	2	1	2	2	1	2
5	2	2	3	1	1	1
6	2	3	1	3	1	3
7	3	1	3	2	1	2
8	3	2	1	1	1	1
9	3	3	2	0	1	0
1	1	1	1	5	0.75	3.75
2	1	2	2	3	0.75	2.25
3	1	3	3	2	0.75	1.5
4	2	1	2	3	1	3
5	2	2	3	2	1	2
6	2	3	1	3	1	3
7	3	1	3	3	1	3
8	3	2	1	2	1	2
9	3	3	2	0	1	0

3.4. Perhitungan Nilai Rerata Sampel (Mean) dan SNR

Pada bagian ini dihitung nilai rerata sampel dan *signal to noise ratio* (SNR) dengan karakteristik *smaller the best* (SN_{STB}) menggunakan rumus (2) dan rumus (1) sehingga didapatkan hasil perhitungan untuk masing-masing eksperimen seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Mean dan SN_{STB}

Eks	rep 0 (y1)	rep 1 (y2)	rep 2 (y3)	Jumlah	Mean (μ)	SNR
1	3.75	3	3.75	10.50	3.50	-10.93
2	2.25	3	2.25	7.50	2.50	-8.04
3	0.75	0	1.5	2.25	0.75	0.28
4	3	2	3	8.00	2.67	-8.65
5	2	1	2	5.00	1.67	-4.77
6	3	3	3	9.00	3.00	-9.54
7	2	2	3	7.00	2.33	-7.53
8	1	1	2	4.00	1.33	-3.01
9	1	0	0	1.00	0.33	4.77

3.5. Perhitungan ANOVA untuk Nilai Rerata

Pada *step* ini dilakukan perhitungan ANOVA untuk nilai rerata, dimulai dari rerata perhitungan eksperimen hingga perhitungan persen kontribusi untuk masing-masing eksperimen.

Tabel 5. Respon Nilai Rerata

	Faktor		
	A	B	C
1	-6.23	-9.04	-7.83
2	-7.66	-5.28	-3.98
3	-1.92	-1.50	-4.01
Ranking	2	1	3

Tabel 6. Hasil Hitung Nilai Rerata Kuadrat (Mean Square)

Faktor	SS _i	Df _i	MS _i	MS _e	F _{ratio}
A	6.338	2	3.169	1.072	6.11
B	10.17	2	5.086	0.912	9.80
C	5.171	2	2.586	1.12	4.98

Tabel 7. Hasil Hitung Anova untuk Nilai Rerata

Faktor	SS	DF	Fratio	SS'	Kontribusi (%)	F _{tabel}
A	6.34	2	2.96	4.194	13.08	3.68
B	10.17	2	5.58	8.346	26.03	3.68
C	5.17	2	2.31	2.931	9.14	3.68
Error	10.38	20				
lack of fit	5.17	2				
pure error	5.21	18				
Total	32.06	26				

Setelah mencari nilai-nilai hitung pada *two-way* ANOVA menggunakan bantuan minitab, maka langkah berikutnya adalah proses menginterpretasikan hasil. Dalam menginterpretasikan hasil perhitungan ANOVA, maka akan dilakukan uji hipotesis. Berikut uji hipotesis yang digunakan dalam pengambilan keputusan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Besar Sudut ($^{\circ}$)

- H_0 : Tidak terdapat pengaruh dari besar sudut pada motif secara signifikan terhadap jumlah kegagalan pada proses pembuatan pola batik.
- H_1 : Besar sudut pada motif secara signifikan mempengaruhi jumlah kegagalan pada proses pembuatan pola batik.
- α : 0.05 (5%)
- F_{ratio} : 6.11

Kesimpulan: $F_{ratio} > F_{tabel}$, H_0 ditolak, artinya besar sudut memiliki pengaruh secara signifikan terhadap jumlah *error* yang dihasilkan pada proses pembuatan pola batik.

2. Kecepatan (m/s)

- H_0 : Tidak terdapat pengaruh dari besar sudut pada motif secara signifikan terhadap jumlah kegagalan pada proses pembuatan pola batik.
- H_1 : Besar sudut pada motif secara signifikan mempengaruhi jumlah kegagalan pada proses pembuatan pola batik.
- α : 0.05 (5%)
- F_{ratio} : 9.80

Kesimpulan: $F_{ratio} > F_{tabel}$, H_0 ditolak, artinya kecepatan memiliki pengaruh secara signifikan terhadap jumlah *error* yang dihasilkan pada proses pembuatan pola batik.

3. Akselerasi (m/s^2)

- H_0 : Tidak terdapat pengaruh dari besar sudut pada motif secara signifikan terhadap jumlah kegagalan pada proses pembuatan pola batik.
- H_1 : Besar sudut pada motif secara signifikan mempengaruhi jumlah kegagalan pada proses pembuatan pola batik.
- α : 0.05 (5%)
- F_{ratio} : 4.98

Kesimpulan: $F_{ratio} > F_{tabel}$, H_0 ditolak, artinya akselerasi memiliki pengaruh secara signifikan terhadap jumlah *error* yang dihasilkan pada proses pembuatan pola batik.

Sehingga dapat diambil kesimpulan berdasarkan hasil uji hipotesis di atas, bahwa ketiga faktor yang digunakan dalam eksperimen, yaitu besar sudut motif, kecepatan putar motor, dan akselerasi pergerakan *tools* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah *error* pada pembuatan pola batik menggunakan mesin CNC Batik Tipe *Rotary Bed*.

Setelah mengetahui bahwa ketiga faktor yang diteliti memiliki pengaruh terhadap hasil respon, maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses *pooling up*. Proses ini dilakukan untuk menghindari estimasi yang berlebihan dan meminimalisir kesalahan pada eksperimen. Caranya adalah memilih faktor atau variabel peubah dengan nilai SS terkecil dan persen kontribusi terendah. Pada penelitian ini, faktor yang menjadi acuan tersebut adalah faktor C atau faktor Akselerasi. Berikut adalah proses hitung *pooling up* yang ditunjukkan ke dalam bentuk Tabel 8.

Tabel 8. *Pooling Up* Faktor C

<i>Pooling Up</i>	
SS (pooled e) =	$SS_e + SS_C$
SS (pooled e) =	10.38+5.17
SS (pooled e) =	15.55
DF (pooled e) =	$DF_e + DF_C$
DF (pooled e) =	22
MS (pooled e) =	$\frac{SS \text{ (pooled e)}}{DF \text{ (pooled e)}}$
MS (pooled e) =	$\frac{15.55}{22} = \mathbf{0.707}$

Berdasarkan Tabel 7 didapatkan bahwa faktor A dan B memang memiliki pengaruh atau kontribusi yang signifikan dalam menghasilkan jumlah *error* saat proses pembatikan. Sedangkan untuk faktor C sebenarnya juga memiliki kontribusi, namun kontribusinya lebih rendah. Di samping itu juga dapat dilihat persentase kontribusi sebesar 39,11% setelah faktor C di-*pooled up*, dimana hal ini dapat diartikan bahwa semua faktor yang dikatakan signifikan berpengaruh terhadap nilai rata-rata sudah cukup untuk dilibatkan dalam eksperimen dikarenakan terdapat kesesuaian syarat persen kontribusi pada metode Taguchi adalah $\leq 50\%$.

Setelah menetapkan *setting* level optimal pada nilai ANOVA rerata, maka dilanjutkan dengan uji ANOVA SNR. Hasil uji *two-ways* ANOVA ditunjukkan pada Tabel 9. Dari hasil perhitungan ANOVA SNR dapat ditarik kesimpulan bahwa 3 faktor yang diuji tidak memiliki pengaruh secara signifikan terhadap pola pembuatan pola pembatikan.

Tabel 9. ANOVA SNR

Faktor	DF	SS	MS	Fratio
A	2	53.42	26.71	0.010
B	2	85.28	42.64	0.016
C	2	29.40	14.70	0.006
<i>error</i>	1	2633.16	2633.16	
total	7	2801.27		

Berdasarkan hasil analisis diatas, maka *setting-an* input GRBL yang tepat untuk mesin CNC batik tulis sebagai berikut:

GRBL Setting
$\$0 = 10$ (step pulse, usec)
$\$1 = 25$ (step idle delay, msec)
$\$2 = 0$ (step port invert mask: 00000000)
$\$3 = 0$ (dir port invert mask: 00000000)
$\$4 = 0$ (step enable invert, bool)
$\$5 = 0$ (limit pins invert, bool)
$\$6 = 0$ (probe pin invert, bool)
$\$10 = 3$ (status report mask :00000011)
$\$11 = 0.010$ (junction deviation, mm)
$\$12 = 0.010$ (arc tolerance, mm)
$\$13 = 0$ (report inches, bool)
$\$20 = 0$ (soft limits, bool)
$\$21 = 0$ (hard limits, bool)
$\$22 = 0$ (homing cycle, bool)

```

$2 3 = 0 (homing dir invert mask: 00000000)
$2 4 = 25.000 (homing feed, mm/min)
$25 = 500.000 (homingseek, mm/min)
$26 = 250 (homing debounce, msec)
$27 = 1.000 (homing pull-off, mm)
$100 = 80.000(x, step/mm)
$101 = 7.5 (y, step/mm)
$102 = 80.000 (z, step/mm)
$110 = 500.000(x max rate, mm/min)
$111 = 500.000 (y max rate, mm/min)
$112 = 0 (z max rate, mm/min)
$120 = 4000.000 (x accel, mm/sec^2)
$121 = 4000.000(y accel, mm/sec^2)
$122 = 30.000 (z accel, mm/sec^2)
$130 = 200.000 (x max travel, mm)
$131 = 471.000 (y max travel, mm)
$132 = 200.000 (z max travel, mm)

```

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa *coding* setup GRBL untuk kecepatan dan akselerasi yang optimal digunakan adalah \$110, \$111=833,33 mm/s dan \$120, \$121=4000 mm/s². Selain itu, dapat disimpulkan pula bahwa pengerjaan motif bersudut dengan sudut 90°-180° memiliki jumlah *error* yang kecil saat proses pematikan dengan mesin CNC mesin batik tipe *rotary bed* dilakukan.

Dari penelitian ini juga didapatkan bahwa semakin tinggi kecepatan dan akselerasi *setup* pada *motor stepper* akan memperbanyak jumlah *error* pada bagian motif yang memiliki sudut, bentuk *error* yang terjadi berupa garis terputus, garis pola terlalu tipis dan posisi motif bergeser. Sebaliknya jika kecepatan dan akselerasi motor stepper pada CNC batik *rotary* di setting lebih lambat, jumlah *error* juga cukup tinggi. Bentuk *error* yang terjadi selama pengujian adalah pada sudut pertemuan antar garis terjadi penumpukan *malam*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan agar dapat dimanfaatkan menjadi tolak ukur dan parameter pembandingan pada riset sejenis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam upaya pengerjaan dan penerbitan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Arm, Z. Bradac, S. Misik, and J. Streit, "CNC Motion Controller Testing Methods," *IFAC PapersOnline* vol. 51(6), pp. 244–249, 2018.
- [2] R. Nozawa, H. Kawamura and M. Kawamata, "CNC Applications", *Information-Control Problems in Manufacturing Technology*, pp.207-210, 1978.
- [3] J. Mao, X. Chen, W. Feng, S. Yuan, and R. Duxu, "A precision CNC turn-mill machining center with gear hobbing capability," *Precision Engineering*, vol. 41, pp.126–134, 2015.
- [4] J. Ganseman, *Build Your Own 4-Axis Multifunctional CNC Machine The capabilities of the Z99 machine*, 1st ed. Reading, Netherlands: Elektor International Media B.V., 2022. [E-book] Available: www.elektor.com.
- [5] A. A. Kurdianto, A. Mustofa, M.A. Fikri, "Pengembangan Mesin Batik Tulis Digital Berbasis Cnc Dengan 3 Canting Batik,". *Nusantara Journal of Computers and Its Applications*, vol. 6, no.1, pp. 21-27, Juni. 2021.
- [6] I. G. N. I Gede Sudirtha, "Pengembangan Prototipe Alat Batik Canting Elektronik Melalui Inovasi Alat Batik Canting Pada Proses Pembuatan Batik Tulis Tradisional", *Seminar Nasional Riset Inovatif (SENARI)*, 2016, pp. 181–189.
- [7] C. F. I. Sayekti, H. Ulfa, "Rancang Bangun Mesin Canting Cap Elektronik Dilengkapi Pengatur Suhu dan Detektor Kain Berbasis Arduino Untuk Industri Batik Cap", *Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Polines*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 1–23.
- [8] I. Soejanto, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Yogyakarta: Graha Ilmu. 2009.
- [9] N. W. Setyanto, R. P. Lukodono, "Teori dan Aplikasi Desain Eksperimen Taguchi", Malang: UB Press. 2017.
- [10] N. Triawati, "Penentuan Setting Level Optimal untuk Meningkatkan Kualitas Benang Rayon (30r) dengan Eksperimen Taguchi sebagai Upaya Jaminan Atas Spesifikasi Kualitas Benang", Universitas Sebelas Maret, 2007.