

Optimasi Proses *Engraving* Kayu Mahoni dengan Mata Pahat *Conical* 3 mm pada Mesin CNC Router G-Weike WK1212 Menggunakan Metode *Full Factorial Design* dan Optimasi Plot Multi Respon

Dewa Kusuma Wijaya¹, Tita Talitha², Nur Alfathan Banoel³

^{1,2,3} Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri, Universitas Dian

Nuswantoro Jl. Nakula I no.5-11 Pendrikan Kidul, Semarang, 50131

Email: dewa.kuja@dsn.dinus.ac.id, tita.talitha@dsn.dinus.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya terkait optimasi proses ukir (*engraving*) dengan objek yang sama yaitu material kayu mahoni yang diproses dengan mesin CNC Router G-Weike WK1212 dan mata pahat jenis *Conical* ukuran 3 mm menggunakan metode Taguchi. Pada penelitian ini metode optimasi yang digunakan adalah *Full Factorial Design* dengan optimasi plot multirespon, dimana penggunaan metode tersebut juga mengacu pada hasil penelitian sebelumnya namun implementasinya diterapkan pada proses potong (*cutting*) dengan mata pahat jenis *End Mill* 3 mm menggunakan mesin CNC Router dan material kayu yang sama. Tujuan dari penelitian ini ada 2, pertama adalah membandingkan nilai optimalitas dari implementasi metode *Full Factorial Design* - optimasi plot multirespon dengan hasil implementasi metode Taguchi sebelumnya. Kedua, mengetahui apakah hasil optimal dari implementasi metode *Full Factorial Design* dengan optimasi plot multirespon untuk proses *engraving* menggunakan mata pahat *Conical* 3 mm dapat sama dengan pada proses *cutting* menggunakan mata pahat *End Mill* 3mm. Hasil dari penelitian ini diketahui bahwa level seting optimal dari hasil metode *Full Factorial Design* dengan optimasi plot multi respon adalah kecepatan *spindle* 7 step, kecepatan *motion* 5 step dan *depth per cut* 0.5 mm.

Kata Kunci: *Full Factorial Design*, optimasi plot multi respon, *engraving*, *Conical* 3 mm, CNC Router

ABSTRACT

This research is a follow-up study from previous research related to the optimization of the engraving process with the same object, mahogany wood processed with the G-Weike WK1212 CNC Router machine and 3 mm Conical bit using Taguchi method. In this research, the optimization method used is Full Factorial Design with multiresponse plots optimization, where the use of this method also refers to the results of previous studies but its implementation is applied to the cutting process with a 3 mm End Mill bit using a CNC Router machine and wood material, the same one. The purpose of this study is 2, the first is to compare the optimality value of the implementation Full Factorial Design method - multiresponse plots optimization with the results of the previous implementation of the Taguchi method. Second, knowing whether the optimal results from the implementation of the Full Factorial Design method with multiresponse plots optimization for the engraving process using a 3 mm Conical bit can be the same as in the cutting process using a 3mm End Mill bit. The results of this study are known that the optimal level settings from Full Factorial Design method with optimization of multi response plots are spindle speed 7 steps, motion speed 5 steps and depth

per cut 0.5 mm.

Keywords: *Full Factorial Design, multi response plots optimization, engraving, Conical 3 mm, CNC Router*

Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan terhadap mesin CNC Router WK1212 oleh karena tidak adanya tabulasi seting proses permesinan dari mesin tersebut, terutama untuk seting kecepatan putaran motor (*spindle*), kecepatan gerak (*motion*) dan kedalaman per layer potong (*depth per cut*) untuk berbagai macam proses permesinan yang dapat dilakukan dari mesin tersebut. Mesin CNC Router WK1212 ini seperti halnya mesin CNC Router secara umum yang mampu memproses potong (*cutting*) dan ukir (*engraving*) untuk berbagai jenis material dengan tingkat kekerasan rendah hingga medium seperti kayu solid, kayu laminasi, multiplek (*plyboard*), kayu partikel (LDF/MDF/HDF), polikarbonat, pvc board, akrilik, dan lain sebagainya menggunakan berbagai jenis mata pahat dengan berbagai ukuran khusus mesin router yaitu *Conical, End Mill, Ball Mill, V-Grove, Round Mill, Dove Tail*, dan lain sebagainya. Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi untuk seting proses permesinan *engraving* pada mesin CNC Router G-Weike WK1212 menggunakan material kayu mahoni dengan mata pahat jenis *Conical* berdiameter 3 mm. Perlu diketahui bahwa khusus proses *engraving* biasanya mata pahat yang sering digunakan adalah jenis *Conical* dan *V-Grove*, hal ini dikarenakan bentuk dari mata pahat tersebut yang menyerupai jarum ataupun segitiga dengan ujung meruncing. Desain mata pahat tersebut sangat sesuai untuk digunakan pada proses *engraving*, namun tidak tepat apabila dipergunakan untuk proses *cutting*. Besar kecilnya hasil ukuran dari ukiran tergantung dari besaran dimensi sudut ujung mata pahat tersebut, semakin besar sudutnya maka hasil ukiran yang dihasilkan menjadi tampak besar, begitu juga sebaliknya.

Penelitian ini merupakan lanjutan dari 2 penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya telah dilakukan optimasi untuk proses *cutting* kayu mahoni menggunakan mata pahat jenis *End Mill* ukuran 3 mm dengan mesin CNC Router yang sama, dimana pada penelitian tersebut digunakan metode optimasi berbasis *Design of Experiment* (DoE) yaitu *Full Factorial Design* dengan optimasi plot multirespon Herwin dan Dewa [1]. Penelitian berikutnya dilakukan optimasi untuk proses *engraving* kayu mahoni menggunakan mata pahat jenis *Conical* ukuran 3 mm dengan mesin yang sama juga, namun pada penelitian tersebut menggunakan metode optimasi Taguchi Nur, A.B., *et al.* [4]. Metode Taguchi sendiri juga telah diterapkan di dalam optimasi untuk proses permesinan mesin injeksi Wahjudi dan San [7]. Implementasi terkait dengan proses *cutting* pada mesin CNC milling metode Taguchi mampu dikombinasikan dengan metode *Response Surface* terhadap material proses P20 steel Vishnu, V.M., *et al.* [5] dan kemudian pada tahun berikutnya oleh peneliti yang sama metode optimasi berbasis *metaheuristic* yaitu *Artificial Neural Network* (ANN) diimplementasikan pada mesin CNC milling untuk memproses terhadap material yang sama Vishnu, V.M., *et al.* [6]. Terkait metode *Response Surface*, dapat pula diterapkan pada mesin CNC turning untuk proses material aluminium berjenis Al/Al₂O₃ Nataraj, M., *et al.* [3]. Metode-metode optimasi berbasis *Design of Experiment* dalam implementasinya mengharuskan peneliti untuk dapat menentukan faktor, level dan respon terlebih dahulu agar dapat ditentukan jumlah sampel yang ideal Montgomery, C.D. [2]. Di lain sisi tujuan dari *Design of Experiment* adalah mengurangi jumlah pengujian dengan pertimbangan efisiensi *resources* namun tetap mengedepankan efektifitas di dalam mencari solusi optimal. Gambar 1 berikut adalah fisik dari mesin CNC Router G-Weike WK1212.



Gambar 1. Mesin CNC Router G-Weike WK1212

Terdapat 2 tujuan dari penelitian ini, pertama adalah membandingkan nilai seting optimal untuk proses *engraving* kayu mahoni dengan mata pahat jenis *Conical* 3 mm dari hasil penelitian sebelumnya menggunakan metode Taguchi dengan metode penelitian saat ini yaitu *Full Factorial Design* dengan optimasi plot multirespon. Kedua, adalah membandingkan implementasi metode *Full Factorial Design* dengan optimasi plot multiresponnya dari hasil penelitian sebelumnya untuk proses *cutting* material kayu mahoni menggunakan mata pahat *End Mill* 3 mm dengan penelitian saat ini untuk proses *engraving* material kayu mahoni menggunakan mata pahat *Conical* 3 mm.

Penekanan terkait penggunaan mata pahat tersebut dikarenakan jenis mata pahat tersebut memang diperuntukan untuk tujuan proses *engraving* atau pahat. Hasil dari penelitian ini selanjutnya dapat menjadi acuan tabulasi level seting dari mesin CNC Router WK1212 untuk proses *engraving* pada material kayu mahoni menggunakan mata pahat jenis *Conical* ukuran 3 mm, selanjutnya dengan adanya acuan tabulasi seting tersebut dapat mengurangi proses seting mesin yang selama ini dilakukan secara *trial error* yang terindikasi dapat mengurangi efisiensi dan kualitas proses permesinan.

Metode Penelitian

Struktur dari penelitian ini terangkum sebagai berikut:

1. Optimasi yang digunakan adalah berbasis *Design of Experiment* (DoE) dengan memanfaatkan metode *Full Factorial Design* dan optimasi plot multi respon. Adapun model matematis yang akan di-generate dari pemanfaatan metode tersebut adalah sebagai berikut:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_p X_1 X_2 \dots X_k \quad (1)$$

Dimana: Y = Respon

α_0 = Koefisien *intercept*

$X_1, X_2 \dots X_k$ = Faktor

$\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_p$ = Koefisien faktor dan interaksi

Menggunakan metode tersebut maka jumlah sampel uji akan dihasilkan adalah sebanyak 98 sampel. Sampel uji yang diterapkan berbentuk logo pada gambar 2.



Gambar 2. Sampel Uji Proses *Engraving*

Penentuan faktor, *level* dan respon. Faktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah *spindle speed*, *motion speed* dan *depth per layer cut*. Respon adalah hasil dari perlakuan faktor terhadap komposisi *level*-nya, adapun parameter multi respon dari penelitian ini meliputi waktu proses aktual, total *depth of cut*, *length*, *width*, dan temperatur mata pahat. Faktor merupakan variabel keputusan yang kemudian akan mempengaruhi respon, sedangkan respon sendiri merupakan hasil dari *treatment* dari faktor berdasarkan komposisi *level*. *Level* yang diunakan dari penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Variabel dan *Level*

Faktor	Variabe 1	Leve l
<i>Depth per layer cut</i>	X ₁	0,25 mm - 0,5 mm
<i>Spindle speed</i>	X ₂	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 DSP Controller Step
<i>Motion speed</i>	X ₃	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 DSP Controller Step

2. Pemilihan objek proses berupa jenis dan dimensi dari mata pahat beserta material kerja proses. Mata pahat yang digunakan adalah berjenis *conical* dengan ukuran dimensi *shank* 3 mm. Pemilihan jenis mata pahat tersebut dikarenakan mata pahat jenis *conical* sesuai untuk kebutuhan proses *engraving*. Material kerja yang digunakan adalah kayu berjenis mahoni.
3. Penentuan *instrument* ukur respon. Berikut adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur setiap sampel ji berdasarkan parameter multi respon yang diterapkan pada penelitian ini.
 - a. *Stopwatch*, digunakan dalam pengukuran waktu proses aktual *engraving*.
 - b. *Vernier caliper* 12" merk Mitutoyo tipe 500-193-30, digunakan dalam pengukuran dimensi aktual dari sampel uji dari *length* dan *width*.
 - c. *Depth gauge* merk Insize tipe 6140, pengukuran total *depth of cut* dari sampel uji.
 - d. *Infrared thermometer* merk Fluke tipe 568, pengukuran temperatur pahat *conical* 3 mm.
4. Optimasi plot multi respon. Setelah 98 sampel uji diperoleh nilai hasil respon dari keseluruhan parameternya, selanjutnya dilakukan formulasi model matematis dan kemudian optimasi plot multi respon untuk mengetahui nilai optimal dari faktor. Tujuannya adalah agar diperoleh nilai seting yang ideal dari hasil implementasi metode *Full Factorial Design* dengan optimasi plot multi respon, sehingga dari hasil nilai seting tersebut dapat menjadi acuan tabulasi seting optimal untuk proses *engraving* kayu mahoni menggunakan mata pahat *conical* 3 mm.

Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Uji Komposisi

Hasil pengujian sebanyak 98 kombinasi yang telah dilakukan menggunakan 3 jenis faktor dan 4 jenis respon parameter berdasarkan kombinasi komposisi level faktor pengujian yang

telah ditetapkan dengan metode *Full Factorial Design* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Respon

No Uji	Spindle (step)	Motion (step)	Depth per Cut (mm)	Waktu (menit)	Total Depth (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Suhu (°C)
1	2	1	0.25	47.53	0.45	5.1	5.1	35.4
2	3	1	0.25	47.53	0.57	5.1	5.1	35.7
3	4	1	0.25	47.54	0.29	5.1	5.1	36.2
4	5	1	0.25	47.54	0.26	5.2	5.2	36.4
5	6	1	0.25	47.52	0.31	5.15	5.1	37
6	7	1	0.25	47.35	0.58	5.1	5.2	35.8
7	8	1	0.25	47.47	0.37	5.1	5.1	36.9
8	2	2	0.25	24.05	0.81	5.1	5.2	36.8
9	3	2	0.25	24.12	0.3	5.2	2.5	36.6
10	4	2	0.25	24.11	0.4	5.2	5.2	36.8
11	5	2	0.25	25.1	0.82	5.1	5.25	35.3
12	6	2	0.25	24.05	0.25	5.1	5.15	35.8
13	7	2	0.25	24.03	0.54	5.2	5.2	36.5
14	8	2	0.25	24.9	0.35	5.2	5.2	36.2
15	2	3	0.25	16.13	0.52	5.15	5.2	35.5
16	3	3	0.25	16.09	0.36	5.2	5.15	36
17	4	3	0.25	16.12	0.45	5.15	5.2	35.9
18	5	3	0.25	16.1	0.82	5.15	5.25	36.3

Lanjutan **Tabel 2.** Hasil Respon

No	Spindle (step)	Motion (step)	Depth per Cut (mm)	Waktu (menit)	Total Depth (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Suhu (°C)
19	6	3	0.25	16.11	0.64	5.15	5.15	36.2
20	7	3	0.25	16.11	0.25	5.15	5.1	35.7
21	8	3	0.25	16.08	0.4	5.2	5.2	36.2
22	2	4	0.25	12.1	0.36	5.1	5.2	35.9
23	3	4	0.25	12.16	0.41	5.1	5	36.7
24	4	4	0.25	12.14	0.41	5.2	5.2	36.4
25	5	4	0.25	12.16	0.25	5.1	5.1	36.3
26	6	4	0.25	12.16	0.46	5.15	5.15	36.8
27	7	4	0.25	12.13	0.49	5.15	5.1	36.5
28	8	4	0.25	12.15	0.83	5.2	5.2	36.9
29	2	5	0.25	9.39	0.39	5.2	5.15	34.8
30	3	5	0.25	9.47	0.39	5.1	5.15	34.5
31	4	5	0.25	9.49	0.33	5.1	5.1	34.9
32	5	5	0.25	9.48	0.6	5.2	5.1	35.2
33	6	5	0.25	9.44	0.8	5.15	5.15	34.8
34	7	5	0.25	9.39	0.76	5.1	5.15	34.7
35	8	5	0.25	9.41	0.6	5.15	5.2	34.1
36	2	6	0.25	8.05	0.5	5.2	5.25	36.3
37	3	6	0.25	8.08	0.44	5.1	5.2	36.9
38	4	6	0.25	8.11	0.3	5.1	5.1	36.7
39	5	6	0.25	8.12	0.32	5.15	5.1	36.5
40	6	6	0.25	8.09	0.25	5.15	5.1	36.2
41	7	6	0.25	8.11	0.67	5.2	5.2	36.8
42	8	6	0.25	8.06	0.26	5	5.1	36.1
43	2	7	0.25	7.05	0.9	5.15	5.15	36.9
44	3	7	0.25	7.1	0.45	5.15	5.15	36.7
45	4	7	0.25	7.03	0.37	5.2	5.1	36.5
46	5	7	0.25	7.07	0.7	5.1	5.15	35.9
47	6	7	0.25	7.1	0.25	5.1	5.1	35.5
48	7	7	0.25	7.1	0.44	5.15	5.15	35.8
49	8	7	0.25	7.1	0.38	5.1	5.2	36.3
50	2	1	0.5	42.5	0.67	5.25	5.15	34.5
51	3	1	0.5	42.5	0.54	5.25	5.25	34.8
52	4	1	0.5	42.5	0.8	5.25	5.2	34.6
53	5	1	0.5	42.5	0.89	5.25	5.2	34.1
54	6	1	0.5	42.5	0.53	5.25	5.2	32.9
55	7	1	0.5	42.5	0.61	5.2	5.25	33.4
56	8	1	0.5	42.4	0.55	5.3	5.35	33.6
57	2	2	0.5	21.2	0.75	5.15	5.25	34.8
58	3	2	0.5	21.2	0.58	5.25	5.25	34.5
59	4	2	0.5	21.2	0.62	5.2	5.2	34.2
60	5	2	0.5	21.2	0.7	5.2	5.2	35.9
61	6	2	0.5	21.2	0.52	5.2	5.25	35.7
62	7	2	0.5	21.2	0.55	5.15	5.25	36.8
63	8	2	0.5	21.2	0.75	5.2	5.25	35.9
64	2	3	0.5	14.11	0.51	5.2	5.2	33.9

Lanjutan **Tabel 2.** Hasil Respon

No Uji	Spindl e	Motio n	Depth per	Waktu	Total Depth	Panjang g	Leba r	Suhu
65	3	3	0.5	14.11	0.62	5.25	5.2	33.3
66	4	3	0.5	14	0.64	5.25	5.2	34.4
67	5	3	0.5	14.13	0.7	5.3	5.2	33.5
68	6	3	0.5	14.11	0.73	5.15	5.15	32.7
69	7	3	0.5	14.11	0.52	5.25	5.2	35
70	8	3	0.5	14.27	0.5	5.25	5.2	33.7
71	2	4	0.5	10.4	0.56	5.2	5.15	33.1
72	3	4	0.5	10.4	0.5	5.2	5.2	33.8
73	4	4	0.5	10.46	0.61	5.15	5.2	33.4
74	5	4	0.5	10.5	0.7	5.2	5.2	33.5
75	6	4	0.5	10.51	0.63	5.2	5.2	34.1
76	7	4	0.5	10.52	0.52	5.2	5.2	33.7
77	8	4	0.5	10.47	0.63	5.15	5.15	33.1
78	2	5	0.5	8.38	0.57	5.2	5.15	33.1
79	3	5	0.5	8.38	0.53	5.25	5.15	33.3
80	4	5	0.5	8.4	0.55	5.2	5.25	33.5
81	5	5	0.5	8.43	0.5	5.3	5.2	33.6
82	6	5	0.5	8.37	0.6	5.35	5.2	33.4
83	7	5	0.5	8.37	0.26	5.15	5.15	33.6
84	8	5	0.5	8.37	0.5	5.2	5.2	34.4
85	2	6	0.5	7.05	0.61	5.25	5.25	33.7
86	3	6	0.5	7.05	0.5	5.2	5.2	34
87	4	6	0.5	7.3	0.61	5.2	5.25	33
88	5	6	0.5	7.05	0.52	5.2	5.2	33.4
89	6	6	0.5	7.3	1.02	5.25	5.25	33.4
90	7	6	0.5	7.3	0.53	5.2	5.25	33.7
91	8	6	0.5	7.3	0.71	5.2	5.25	33.6
92	2	7	0.5	6.19	0.77	5.25	5.25	33.1
93	3	7	0.5	6.19	0.8	5.2	5.15	32.5
94	4	7	0.5	6.19	0.52	5.15	5.2	33.4
95	5	7	0.5	6.19	0.54	5.2	5.15	34.6
96	6	7	0.5	6.19	0.5	5.2	5.25	33.3
97	7	7	0.5	6.19	0.68	5.15	5.2	34
98	8	7	0.5	6.19	0.67	5.25	5.2	33.1

Hasil pengujian terkait kombinasi komposisi pada Tabel 2 di atas, diukur tiap parameternya menggunakan bantuan alat-alat ukur yang telah ditentukan sebelumnya sebagai instrument penelitian. Peralatan ukur tersebut juga telah terstandarisasi dan terkalibrasi sebagai alat ukur yang sesuai digunakan dalam instrument riset sehingga hasil pengukurannya dapat memberikan hasil yang optimal dan dipertanggungjawabkan..

B. Formulasi Model Matematis

Hasil uji tiap kombinasi dari komposisi *level* faktor pada Tabel 2 selanjutnya akan dilakukan pemodelan secara matematis untuk pada setiap parameter responnya, model matematis dari metode *Full Factorial Design* yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Model Matematis *Full Factorial Design*

Respon Parameter (Y)	Model Matematis
Waktu Proses Aktual	$16.7055 + 0.018 X1_2 + 0.036 X1_3 + 0.051 X1_4 + 0.118 X1_5 - 0.368 X1_6 + 0.038 X1_7 + 0.107 X1_8 + 28.286 X2_1 + 6.063 X2_2 - 1.595 X2_3 - 5.401 X2_4 - 7.793 X2_5 - 9.065 X2_6 - 10.495 X2_7 + 1.1072 X3_0.25 - 1.1072 X3_0.50 + 0.005 X1X2_2 1 - 0.162 X1X2_2 2 - 0.008 X1X2_2 3 - 0.072 X1X2_2 4 - 0.045 X1X2_2 5 - 0.109 X1X2_2 6 + 0.391 X1X2_2 7 - 0.012 X1X2_3 1 - 0.145 X1X2_3 2 - 0.046 X1X2_3 3 - 0.060 X1X2_3 4 - 0.023 X1X2_3 5 - 0.112 X1X2_3 6 + 0.398 X1X2_3 7 - 0.022 X1X2_4 1 - 0.165 X1X2_4 2 - 0.101 X1X2_4 3 - 0.055 X1X2_4 4 - 0.018 X1X2_4 5 + 0.013 X1X2_4 6 + 0.348 X1X2_4 7 - 0.090 X1X2_5 1 + 0.263 X1X2_5 2 - 0.132 X1X2_5 3 - 0.093 X1X2_5 4 - 0.076 X1X2_5 5 - 0.174 X1X2_5 6 + 0.301 X1X2_5 7 + 0.387 X1X2_6 1 + 0.225 X1X2_6 2 + 0.368 X1X2_6 3 + 0.399 X1X2_6 4 + 0.361 X1X2_6 5 + 0.422 X1X2_6 6 - 2.161 X1X2_6 7 - 0.105 X1X2_7 1 - 0.192 X1X2_7 2 - 0.038 X1X2_7 3 - 0.017 X1X2_7 4 - 0.070 X1X2_7 5 + 0.026 X1X2_7 6 + 0.396 X1X2_7 7 - 0.163 X1X2_8 1 + 0.175 X1X2_8 2 - 0.042 X1X2_8 3 - 0.101 X1X2_8 4 - 0.129 X1X2_8 5 - 0.067 X1X2_8 6 + 0.327 X1X2_8 7 - 0.074 X1X3_2 0.25 + 0.074 X1X3_2 0.50 - 0.056 X1X3_3 0.25 + 0.056 X1X3_3 0.50 - 0.072 X1X3_4 0.25 + 0.072 X1X3_4 0.50 + 0.008 X1X3_5 0.25 - 0.008 X1X3_5 0.50 + 0.337 X1X3_6 0.25 - 0.337 X1X3_6 0.50 - 0.105 X1X3_7 0.25 + 0.105 X1X3_7 0.50 - 0.038 X1X3_8 0.25 + 0.038 X1X3_8 0.50 + 1.399 X2X3_1 0.25 - 1.399 X2X3_1 0.50 + 0.461 X2X3_2 0.25 - 0.461 X2X3_2 0.50 - 0.112 X2X3_3 0.25 + 0.112 X2X3_3 0.50 - 0.269 X2X3_4 0.25 + 0.269 X2X3_4 0.50 - 0.581 X2X3_5 0.25 + 0.581 X2X3_5 0.50 - 0.659 X2X3_6 0.25 + 0.659 X2X3_6 0.50 - 0.240 X2X3_7 0.25 + 0.240 X2X3_7 0.$

Lanjutan **Tabel 3.** Model Matematis *Full Factorial Design*

Respon Paramete r(Y)	Model Matematis
Panjan g (Length) Hasil Proses	$ \begin{aligned} &5.179 - 0.000510 X_{1_2} + 0.003061 X_{1_3} - 0.004082 X_{1_4} + 0.01020 X_{1_5} + 0.003061 X_{1_6} - \\ &0.01122 X_{1_7} - 0.000510 X_{1_8} + 0.006633 X_{2_1} - 0.004082 X_{2_2} + 0.02092 X_{2_3} - \\ &0.01480 X_{2_4} + 0.01020 X_{2_5} - 0.007653 X_{2_6} - 0.01122 X_{2_7} - 0.03724 X_{3_0.25} + \\ &0.03724 X_{3_0.50} - 0.01020 X_{1X2_2\ 1} - 0.04949 X_{1X2_2\ 2} - 0.02449 X_{1X2_2\ 3} - 0.01378 \\ &X_{1X2_2\ 4} + 0.01122 \\ &X_{1X2_2\ 5} + 0.05408 X_{1X2_2\ 6} + 0.03265 X_{1X2_2\ 7} - 0.01378 X_{1X2_3\ 1} + 0.04694 X_{1X2_3\ 2} + \\ &0.02194 X_{1X2_3\ 3} - 0.01735 X_{1X2_3\ 4} - 0.01735 X_{1X2_3\ 5} - 0.02449 X_{1X2_3\ 6} + 0.004082 \\ &X_{1X2_3\ 7} - 0.006633 X_{1X2_4\ 1} + 0.02908 X_{1X2_4\ 2} + 0.004082 X_{1X2_4\ 3} + 0.01480 X_{1X2_4\ 4} \\ &- 0.03520 X_{1X2_4\ 5} - 0.01735 X_{1X2_4\ 6} + 0.01122 X_{1X2_4\ 7} + 0.02908 X_{1X2_5\ 1} - 0.03520 \\ &X_{1X2_5\ 2} + 0.01480 X_{1X2_5\ 3} - 0.02449 X_{1X2_5\ 4} + 0.05051 X_{1X2_5\ 5} - 0.006633 X_{1X2_5\ 6} - \\ &0.02806 X_{1X2_5\ 7} + 0.01122 X_{1X2_6\ 1} - 0.02806 X_{1X2_6\ 2} - 0.05306 X_{1X2_6\ 3} + 0.007653 \\ &X_{1X2_6\ 4} + 0.05765 X_{1X2_6\ 5} + 0.02551 X_{1X2_6\ 6} - 0.02092 X_{1X2_6\ 7} - 0.02449 X_{1X2_7\ 1} + \\ &0.01122 X_{1X2_7\ 2} + 0.01122 X_{1X2_7\ 3} + 0.02194 X_{1X2_7\ 4} - 0.05306 X_{1X2_7\ 5} + 0.03980 \\ &X_{1X2_7\ 6} - 0.006633 X_{1X2_7\ 7} + 0.01480 X_{1X2_8\ 1} + 0.02551 X_{1X2_8\ 2} + 0.02551 X_{1X2_8\ 3} \\ &+ 0.01122 X_{1X2_8\ 4} - 0.01378 X_{1X2_8\ 5} - 0.07092 X_{1X2_8\ 6} + 0.007653 X_{1X2_8\ 7} + 0.001531 \\ &X_{1X3_2\ 0.25} - 0.001531 X_{1X3_2\ 0.50} - 0.009184 X_{1X3_3\ 0.25} + 0.009184 X_{1X3_3\ 0.50} + \\ &0.01224 X_{1X3_4\ 0.25} - 0.01224 X_{1X3_4\ 0.50} - 0.009184 X_{1X3_5\ 0.25} + 0.009184 X_{1X3_5\ 0.50} \\ &- 0.009184 X_{1X3_6\ 0.25} + 0.009184 X_{1X3_6\ 0.50} + 0.01939 X_{1X3_7\ 0.25} - 0.01939 X_{1X3_7\ 0.50} - \\ &0.005612 X_{1X3_8\ 0.25} + 0.005612 X_{1X3_8\ 0.50} - 0.02704 X_{2X3_1\ 0.25} + 0.02704 \\ &X_{2X3_1\ 0.50} + 0.01939 X_{2X3_2\ 0.25} - 0.01939 X_{2X3_2\ 0.50} + 0.001531 X_{2X3_3\ 0.25} - \\ &0.001531 X_{2X3_3\ 0.50} + 0.01582 X_{2X3_4\ 0.25} - 0.01582 X_{2X3_4\ 0.50} - 0.009184 X_{2X3_5\ 0.25} \\ &+ 0.009184 X_{2X3_5\ 0.50} - 0.005612 X_{2X3_6\ 0.25} + 0.005612 X_{2X3_6\ 0.50} + 0.005102 X_{2X3_7\ 0.25} \\ &- 0.005102 X_{2X3_7\ 0.50} - 0.01224 X_{1X2X3_2\ 1\ 0.25} + 0.01224 X_{1X2X3_2\ 1\ 0.50} - \\ &0.008673 X_{1X2X3_2\ 2\ 0.25} + 0.008673 X_{1X2X3_2\ 2\ 0.50} + 0.009184 X_{1X2X3_2\ 3\ 0.25} - \\ &0.009184 X_{1X2X3_2\ 3\ 0.50} - 0.03010 X_{1X2X3_2\ 4\ 0.25} + 0.03010 X_{1X2X3_2\ 4\ 0.50} + 0.04490 \\ &X_{1X2X3_2\ 5\ 0.25} - 0.04490 X_{1X2X3_2\ 5\ 0.50} + 0.01633 X_{1X2X3_2\ 6\ 0.25} - 0.01633 X_{1X2X3_2\ 6\ 0.50} - \\ &0.01939 X_{1X2X3_2\ 7\ 0.25} + 0.01939 X_{1X2X3_2\ 7\ 0.50} - 0.001531 X_{1X2X3_3\ 1\ 0.25} + \\ &0.001531 X_{1X2X3_3\ 1\ 0.50} + 0.002041 X_{1X2X3_3\ 2\ 0.25} - 0.002041 X_{1X2X3_3\ 2\ 0.50} + \\ &0.01990 X_{1X2X3_3\ 3\ 0.25} - 0.01990 X_{1X2X3_3\ 3\ 0.50} - 0.01939 X_{1X2X3_3\ 4\ 0.25} + 0.01939 \\ &X_{1X2X3_3\ 4\ 0.50} - 0.01939 X_{1X2X3_3\ 5\ 0.25} + 0.01939 X_{1X2X3_3\ 5\ 0.50} + 0.002041 \\ &X_{1X2X3_3\ 6\ 0.25} - 0.002041 X_{1X2X3_3\ 6\ 0.50} + 0.01633 X_{1X2X3_3\ 7\ 0.25} - 0.01633 \\ &X_{1X2X3_3\ 7\ 0.50} - 0.02296 X_{1X2X3_4\ 1\ 0.25} + 0.02296 X_{1X2X3_4\ 1\ 0.50} + 0.005612 \\ &X_{1X2X3_4\ 2\ 0.25} - 0.005612 X_{1X2X3_4\ 2\ 0.50} - 0.02653 X_{1X2X3_4\ 3\ 0.25} + 0.02653 \\ &X_{1X2X3_4\ 3\ 0.50} + 0.03418 X_{1X2X3_4\ 4\ 0.25} - 0.03418 X_{1X2X3_4\ 4\ 0.50} - 0.01582 X_{1X2X3_4\ 5\ 0.25} + \\ &0.01582 X_{1X2X3_4\ 5\ 0.50} - 0.01939 X_{1X2X3_4\ 6\ 0.25} + 0.01939 X_{1X2X3_4\ 6\ 0.50} + 0.04490 X_{1X2X3_4\ 7\ 0.25} - \\ &0.04490 X_{1X2X3_4\ 7\ 0.50} + 0.04847 X_{1X2X3_5\ 1\ 0.25} - 0.04847 X_{1X2X3_5\ 1\ 0.50} - 0.02296 X_{1X2X3_5\ 2\ 0.25} \\ &+ 0.02296 X_{1X2X3_5\ 2\ 0.50} - 0.03010 X_{1X2X3_5\ 3\ 0.25} + 0.03010 X_{1X2X3_5\ 3\ 0.50} - \\ &0.01939 X_{1X2X3_5\ 4\ 0.25} + 0.01939 X_{1X2X3_5\ 4\ 0.50} + 0.005612 X_{1X2X3_5\ 5\ 0.25} - 0.005612 \\ &X_{1X2X3_5\ 5\ 0.50} + 0.02704 X_{1X2X3_5\ 6\ 0.25} - 0.02704 X_{1X2X3_5\ 6\ 0.50} - 0.008673 \\ &X_{1X2X3_5\ 7\ 0.25} + 0.008673 X_{1X2X3_5\ 7\ 0.50} + 0.02347 X_{1X2X3_6\ 1\ 0.25} - 0.02347 \\ &X_{1X2X3_6\ 1\ 0.50} - 0.02296 X_{1X2X3_6\ 2\ 0.25} + 0.02296 X_{1X2X3_6\ 2\ 0.50} + 0.04490 \\ &X_{1X2X3_6\ 3\ 0.25} - 0.04490 X_{1X2X3_6\ 3\ 0.50} + 0.005612 X_{1X2X3_6\ 4\ 0.25} - 0.005612 \\ &X_{1X2X3_6\ 4\ 0.50} - 0.04439 X_{1X2X3_6\ 5\ 0.25} + 0.04439 X_{1X2X3_6\ 5\ 0.50} + 0.002041 \\ &X_{1X2X3_6\ 6\ 0.25} - 0.002041 X_{1X2X3_6\ 6\ 0.50} - 0.008673 X_{1X2X3_6\ 7\ 0.25} + 0.008673 \\ &X_{1X2X3_6\ 7\ 0.50} - 0.005102 X_{1X2X3_7\ 1\ 0.25} + 0.005102 X_{1X2X3_7\ 1\ 0.50} + 0.02347 \\ &X_{1X2X3_7\ 2\ 0.25} - 0.02347 X_{1X2X3_7\ 2\ 0.50} - 0.03367 X_{1X2X3_7\ 3\ 0.25} + 0.03367 X_{1X2X3_7\ 3\ 0.50} - \\ &0.02296 X_{1X2X3_7\ 4\ 0.25} + 0.02296 X_{1X2X3_7\ 4\ 0.50} + 0.002041 X_{1X2X3_7\ 5\ 0.25} - \\ &0.002041 X_{1X2X3_7\ 5\ 0.50} + 0.02347 X_{1X2X3_7\ 6\ 0.25} - 0.02347 X_{1X2X3_7\ 6\ 0.50} + 0.01276 \\ &X_{1X2X3_7\ 7\ 0.25} - 0.01276 X_{1X2X3_7\ 7\ 0.50} - 0.03010 X_{1X2X3_8\ 1\ 0.25} + 0.03010 X_{1X2X3_8\ 1\ 0.50} \\ &+ 0.02347 X_{1X2X3_8\ 2\ 0.25} - 0.02347 X_{1X2X3_8\ 2\ 0.50} + 0.01633 X_{1X2X3_8\ 3\ 0.25} - \\ &0.01633 X_{1X2X3_8\ 3\ 0.50} + 0.05204 X_{1X2X3_8\ 4\ 0.25} - 0.05204 X_{1X2X3_8\ 4\ 0.50} + 0.02704 \\ &X_{1X2X3_8\ 5\ 0.25} - 0.02704 X_{1X2X3_8\ 5\ 0.50} - 0.05153 X_{1X2X3_8\ 6\ 0.25} + 0.05153 X_{1X2X3_8\ 6\ 0.50} - \\ &0.03724 X_{1X2X3_8\ 7\ 0.25} + 0.03724 X_{1X2X3_8\ 7\ 0.50} \end{aligned} $

Lanjutan **Tabel 3.** Model Matematis *Full Factorial Design*

Respon Paramete r(Y)	Model Matematis
Lebar (Width))Hasil Proses	$ \begin{aligned} &5.154 + 0.03520 X1_2 - 0.1791 X1_3 + 0.02449 X1_4 + 0.02449 X1_5 + 0.01735 X1_6 + \\ &0.03163 X1_7 + 0.04592 X1_8 + 0.02449 X2_1 - 0.1291 X2_2 + 0.03163 X2_3 + 0.006633 \\ &X2_4 + 0.01020 X2_5 + 0.03878 X2_6 + 0.01735 X2_7 - 0.05510 X3_0.25 + 0.05510 \\ &X3_0.50 - 0.08878 \\ &X1X2_2\ 1 + 0.1648 X1X2_2\ 2 - 0.02092 X1X2_2\ 3 - 0.02092 X1X2_2\ 4 - 0.04949 X1X2_2\ 5 + \\ &0.02194 X1X2_2\ 6 - 0.006633 X1X2_2\ 7 + 0.1755 X1X2_3\ 1 - 0.9709 X1X2_3\ 2 + 0.1684 \\ &X1X2_3\ 3 + 0.1184 X1X2_3\ 4 + 0.1648 X1X2_3\ 5 + 0.1862 X1X2_3\ 6 + 0.1577 X1X2_3\ 7 - \\ &0.05306 X1X2_4\ 1 + 0.1505 X1X2_4\ 2 - 0.01020 X1X2_4\ 3 + 0.01480 X1X2_4\ 4 - 0.01378 \\ &X1X2_4\ 5 - 0.04235 X1X2_4\ 6 - 0.04592 X1X2_4\ 7 - 0.003061 X1X2_5\ 1 + 0.1755 X1X2_5\ 2 + \\ &0.01480 X1X2_5\ 3 - 0.03520 X1X2_5\ 4 - 0.03878 X1X2_5\ 5 - 0.06735 X1X2_5\ 6 - 0.04592 \\ &X1X2_5\ 7 - 0.04592 X1X2_6\ 1 + 0.1577 X1X2_6\ 2 - 0.05306 X1X2_6\ 3 - 0.003061 X1X2_6\ 4 - \\ &0.006633 X1X2_6\ 5 - 0.03520 X1X2_6\ 6 - 0.01378 X1X2_6\ 7 + 0.01480 X1X2_7\ 1 + 0.1684 \\ &X1X2_7\ 2 - 0.06735 X1X2_7\ 3 - 0.04235 X1X2_7\ 4 - 0.04592 X1X2_7\ 5 + 0.000510 X1X2_7\ 6 - \\ &0.02806 X1X2_7\ 7 + 0.000510 X1X2_8\ 1 + 0.1541 X1X2_8\ 2 - 0.03163 X1X2_8\ 3 - 0.03163 \\ &X1X2_8\ 4 - 0.01020 X1X2_8\ 5 - 0.06378 X1X2_8\ 6 - 0.01735 X1X2_8\ 7 + 0.04439 X1X3_2\ 0.25 - \\ &0.04439 X1X3_2\ 0.50 - 0.1699 X1X3_3\ 0.25 + 0.1699 X1X3_3\ 0.50 + 0.01939 X1X3_4\ 0.25 - \\ &0.01939 X1X3_4\ 0.50 + 0.04082 X1X3_5\ 0.25 - 0.04082 X1X3_5\ 0.50 + 0.01224 X1X3_6\ 0.25 - \\ &0.01224 X1X3_6\ 0.50 + 0.02653 X1X3_7\ 0.25 - 0.02653 X1X3_7\ 0.50 + 0.02653 X1X3_8\ 0.25 - \\ &0.02653 X1X3_8\ 0.50 + 0.005102 X2X3_1\ 0.25 - 0.005102 X2X3_1\ 0.50 - 0.1556 X2X3_2\ 0.25 + \\ &0.1556 X2X3_2\ 0.50 + 0.04796 X2X3_3\ 0.25 - 0.04796 X2X3_3\ 0.50 + 0.03010 X2X3_4\ 0.25 - \\ &0.03010 X2X3_4\ 0.50 + 0.03367 X2X3_5\ 0.25 - 0.03367 X2X3_5\ 0.50 + 0.01224 X2X3_6\ 0.25 - \\ &0.01224 X2X3_6\ 0.50 + 0.02653 X2X3_7\ 0.25 - 0.02653 X2X3_7\ 0.50 - 0.01939 X1X2X3_2\ 1 \\ &0.25 + 0.01939 X1X2X3_2\ 1\ 0.50 + 0.1413 X1X2X3_2\ 2\ 0.25 - 0.1413 X1X2X3_2\ 2\ 0.50 - \\ &0.03724 X1X2X3_2\ 3\ 0.25 + 0.03724 X1X2X3_2\ 3\ 0.50 + 0.005612 X1X2X3_2\ 4\ 0.25 - 0.005612 \\ &X1X2X3_2\ 4\ 0.50 - 0.02296 X1X2X3_2\ 5\ 0.25 + 0.02296 X1X2X3_2\ 5\ 0.50 - 0.001531 \\ &X1X2X3_2\ 6\ 0.25 + 0.001531 X1X2X3_2\ 6\ 0.50 - 0.06582 X1X2X3_2\ 7\ 0.25 + 0.06582 \\ &X1X2X3_2\ 7\ 0.50 + 0.1449 X1X2X3_3\ 1\ 0.25 - 0.1449 X1X2X3_3\ 1\ 0.50 - 0.9944 X1X2X3_3\ 2 \\ &0.25 + 0.9944 X1X2X3_3\ 2\ 0.50 + 0.1520 X1X2X3_3\ 3\ 0.25 - 0.1520 X1X2X3_3\ 3\ 0.50 + \\ &0.09490 X1X2X3_3\ 4\ 0.25 - 0.09490 X1X2X3_3\ 4\ 0.50 + 0.1913 X1X2X3_3\ 5\ 0.25 - 0.1913 \\ &X1X2X3_3\ 5\ 0.50 + 0.2128 X1X2X3_3\ 6\ 0.25 - 0.2128 X1X2X3_3\ 6\ 0.50 + 0.1985 X1X2X3_3\ 7 \\ &0.25 - 0.1985 X1X2X3_3\ 7\ 0.50 - 0.01939 X1X2X3_4\ 1\ 0.25 + 0.01939 X1X2X3_4\ 1\ 0.50 + \\ &0.1913 X1X2X3_4\ 2\ 0.25 - 0.1913 X1X2X3_4\ 2\ 0.50 - 0.01224 X1X2X3_4\ 3\ 0.25 + 0.01224 \\ &X1X2X3_4\ 3\ 0.50 + 0.005612 X1X2X3_4\ 4\ 0.25 - 0.005612 X1X2X3_4\ 4\ 0.50 - 0.07296 \\ &X1X2X3_4\ 5\ 0.25 + 0.07296 X1X2X3_4\ 5\ 0.50 - 0.05153 X1X2X3_4\ 6\ 0.25 + 0.05153 X1X2X3_4 \\ &6\ 0.50 - 0.04082 X1X2X3_4\ 7\ 0.25 + 0.04082 X1X2X3_4\ 7\ 0.50 + 0.009184 X1X2X3_5\ 1\ 0.25 - \\ &0.009184 X1X2X3_5\ 1\ 0.50 + 0.1949 X1X2X3_5\ 2\ 0.25 - 0.1949 X1X2X3_5\ 2\ 0.50 - 0.008673 \\ &X1X2X3_5\ 3\ 0.25 + 0.008673 X1X2X3_5\ 3\ 0.50 - 0.06582 X1X2X3_5\ 4\ 0.25 + 0.06582 \\ &X1X2X3_5\ 4\ 0.50 - 0.06939 X1X2X3_5\ 5\ 0.25 + 0.06939 X1X2X3_5\ 5\ 0.50 - 0.04796 X1X2X3_5 \\ &6\ 0.25 + 0.04796 X1X2X3_5\ 6\ 0.50 - 0.01224 X1X2X3_5\ 7\ 0.25 + 0.01224 X1X2X3_5\ 7\ 0.50 - \\ &0.01224 X1X2X3_6\ 1\ 0.25 + 0.01224 X1X2X3_6\ 1\ 0.50 + 0.1485 X1X2X3_6\ 2\ 0.25 - 0.1485 \\ &X1X2X3_6\ 2\ 0.50 - 0.005102 X1X2X3_6\ 3\ 0.25 + 0.005102 X1X2X3_6\ 3\ 0.50 - 0.01224 \\ &X1X2X3_6\ 4\ 0.25 + 0.01224 X1X2X3_6\ 4\ 0.50 - 0.01582 X1X2X3_6\ 5\ 0.25 + 0.01582 X1X2X3_6 \\ &5\ 0.50 - 0.04439 X1X2X3_6\ 6\ 0.25 + 0.04439 X1X2X3_6\ 6\ 0.50 - 0.05867 X1X2X3_6\ 7\ 0.25 + \\ &0.05867 X1X2X3_6\ 7\ 0.50 - 0.001531 X1X2X3_7\ 1\ 0.25 + 0.001531 X1X2X3_7\ 1\ 0.50 + 0.1592 \\ &X1X2X3_7\ 2\ 0.25 - 0.1592 X1X2X3_7\ 2\ 0.50 - 0.06939 X1X2X3_7\ 3\ 0.25 + 0.06939 X1X2X3_7\ 3 \\ &0.50 - 0.05153 X1X2X3_7\ 4\ 0.25 + 0.05153 X1X2X3_7\ 4\ 0.50 - 0.005102 X1X2X3_7\ 5\ 0.25 + \\ &0.005102 X1X2X3_7\ 5\ 0.50 - 0.008673 X1X2X3_7\ 6\ 0.25 + 0.008673 X1X2X3_7\ 6\ 0.50 - \\ &0.02296 X1X2X3_7\ 7\ 0.25 + 0.02296 X1X2X3_7\ 7\ 0.50 - 0.1015 X1X2X3_8\ 1\ 0.25 + 0.1015 \\ &X1X2X3_8\ 1\ 0.50 + 0.1592 X1X2X3_8\ 2\ 0.25 - 0.1592 X1X2X3_8\ 2\ 0.50 - 0.01939 X1X2X3_8\ 3 \\ &0.25 + 0.01939 X1X2X3_8\ 3\ 0.50 + 0.02347 X1X2X3_8\ 4\ 0.25 - 0.02347 X1X2X3_8\ 4\ 0.50 - \\ &0.005102 X1X2X3_8\ 5\ 0.25 + 0.005102 X1X2X3_8\ 5\ 0.50 - 0.05867 X1X2X3_8\ 6\ 0.25 + 0.05867 \\ &X1X2X3_8\ 6\ 0.50 + 0.002041 X1X2X3_8\ 7\ 0.25 - 0.002041 X1X2X3_8\ 7\ 0.50 \end{aligned} $

Lanjutan **Tabel 3.** Model Matematis *Full Factorial Design*

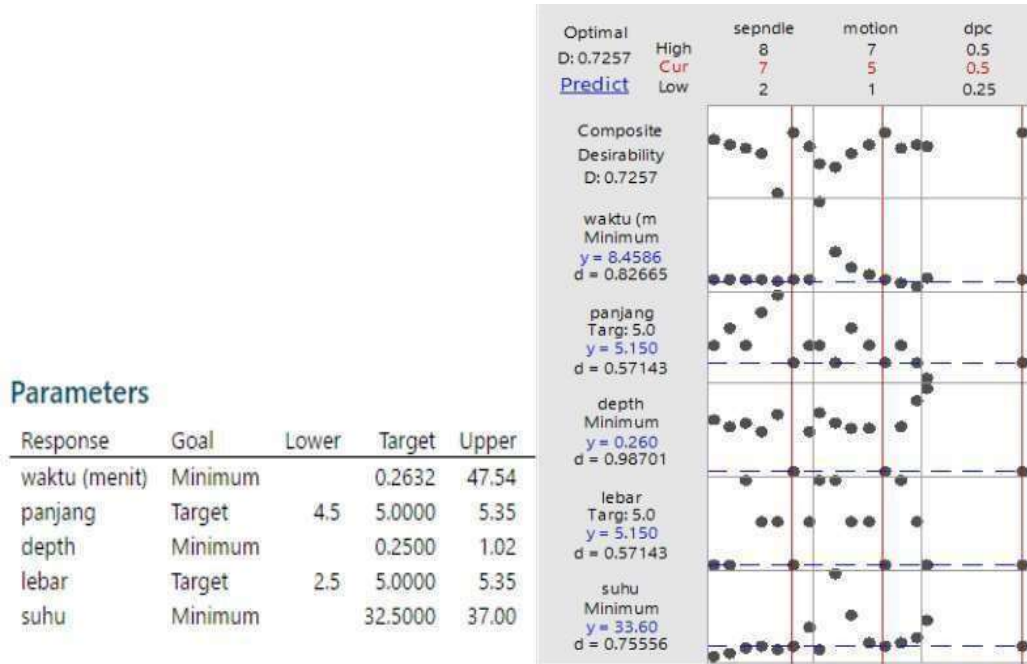
Respon Paramete r(Y)	Model Matematis
<i>Depth of Cut Hasil Proses</i>	$ \begin{aligned} &0.5405 + 0.05735 X1_2 - 0.04122 X1_3 - 0.04765 X1_4 + 0.05378 X1_5 - 0.005510 X1_6 - 0.01194 \\ &X1_7 - 0.004796 X1_8 - 0.01051 X2_1 + 0.02663 X2_2 + 0.006633 X2_3 - 0.01480 X2_4 - 0.01337 \\ &X2_5 - 0.02337 X2_6 + 0.02878 X2_7 - 0.07010 X3_0.25+ 0.07010 X3_0.50 - 0.02735 X1X2_2 1 + \\ &0.1555 X1X2_2 2 - 0.08949 X1X2_2 3- 0.1231 X1X2_2 4 - 0.1045 X1X2_2 5 - 0.01949 X1X2_2 6 + \\ &0.2084 X1X2_2 7+ 0.06622 X1X2_3 1 - 0.08592 X1X2_3 2 - 0.01592 X1X2_3 3 - 0.02949 X1X2_3 4- \\ &0.02592 X1X2_3 5 - 0.005918 X1X2_3 6 + 0.09694 X1X2_3 7 + 0.06265 X1X2_4 1- 0.009490 X1X2_4 \\ &2 + 0.04551 X1X2_4 3 + 0.03194 X1X2_4 4 - 0.03949 X1X2_4 5 - 0.01449 X1X2_4 6 - 0.07663 \\ &X1X2_4 7 - 0.008776 X1X2_5 1 + 0.1391 X1X2_5 2+ 0.1591 X1X2_5 3 - 0.1045 X1X2_5 4 - 0.03092 \\ &X1X2_5 5 - 0.1509 X1X2_5 6- 0.003061 X1X2_5 7 - 0.1045 X1X2_6 1 - 0.1766 X1X2_6 2 + 0.1434 \\ &X1X2_6 3+ 0.02480 X1X2_6 4 + 0.1784 X1X2_6 5 + 0.1234 X1X2_6 6 - 0.1888 X1X2_6 7+ 0.07694 \\ &X1X2_7 1 - 0.01020 X1X2_7 2 - 0.1502 X1X2_7 - 0.008776 X1X2_7 4- 0.005204 X1X2_7 5 + 0.09480 \\ &X1X2_7 6 + 0.002653 X1X2_7 7 - 0.06520 X1X2_8 1- 0.01235 X1X2_8 2 - 0.09235 X1X2_8 3+ 0.2091 \\ &X1X2_8 4 + 0.02765 X1X2_8 5- 0.02735 X1X2_8 6 - 0.03949 X1X2_8 7 + 0.03367 X1X3_2 0.25 - \\ &0.03367 X1X3_2 0.50- 0.01204 X1X3_3 0.25 + 0.01204 X1X3_3 0.50 - 0.05847 X1X3_4 0.25+ 0.05847 \\ &X1X3_4 0.50 + 0.01439 X1X3_5 0.25- 0.01439 X1X3_5 0.50- 0.04204 X1X3_6 0.25 + 0.04204 X1X3_6 \\ &0.50 + 0.07439 X1X3_7 0.25- 0.07439 X1X3_7 0.50 - 0.009898 X1X3_8 0.25 + 0.009898 X1X3_8 0.50- \\ &0.05561 X2X3_1 0.25 + 0.05561 X2X3_1 0.50 - 0.001327 X2X3_2 0.25+ 0.001327 X2X3_2 0.50 + \\ &0.01439 X2X3_3 0.25 - 0.01439 X2X3_3 0.50 + 0.002959 X2X3_4 0.25 - 0.002959 X2X3_4 0.50 + \\ &0.09582 X2X3_5 0.25- 0.09582 X2X3_5 0.50 - 0.05561 X2X3_6 0.25 + 0.05561 X2X3_6 0.50- \\ &0.000612 X2X3_7 0.25 + 0.000612 X2X3_7 0.50 - 0.01796 X1X2X3_2 1 0.25+ 0.01796 X1X2X3_2 1 \\ &0.50 + 0.06776 X1X2X3_2 2 0.25 - 0.06776 X1X2X3_2 2 0.50+ 0.02704 X1X2X3_2 3 0.25 - 0.02704 \\ &X1X2X3_2 3 0.50 - 0.06653 X1X2X3_2 4 0.25+ 0.06653 X1X2X3_2 4 0.50 - 0.1494 X1X2X3_2 5 0.25 \\ &+ 0.1494 X1X2X3_2 5 0.50+ 0.03704 X1X2X3_2 6 0.25 - 0.03704 X1X2X3_2 6 0.50 + 0.1020 \\ &X1X2X3_2 7 0.25- 0.1020 X1X2X3_2 7 0.50 + 0.1528 X1X2X3_3 1 0.25 - 0.1528 X1X2X3_3 1 0.50- \\ &0.05653 X1X2X3_3 2 0.25 + 0.05653 X1X2X3_3 2 0.50 - 0.06224 X1X2X3_3 3 0.25+ 0.06224 \\ &X1X2X3_3 3 0.50 + 0.03418 X1X2X3_3 4 0.25 - 0.03418 X1X2X3_3 4 0.50- 0.08367 X1X2X3_3 5 0.25 \\ &+ 0.08367 X1X2X3_3 5 0.50 + 0.1078 X1X2X3_3 6 0.25 - 0.1078 X1X2X3_3 6 0.50 - 0.09224 \\ &X1X2X3_3 7 0.25 + 0.09224 X1X2X3_3 7 0.50- 0.07082 X1X2X3_4 1 0.25 + 0.07082 X1X2X3_4 1 \\ &0.50 + 0.01990 X1X2X3_4 2 0.25- 0.01990 X1X2X3_4 2 0.50 + 0.01918 X1X2X3_4 3 0.25 - 0.01918 \\ &X1X2X3_4 3 0.50 + 0.02561 X1X2X3_4 4 0.25 - 0.02561 X1X2X3_4 4 0.50 - 0.07724 X1X2X3_4 5 \\ &0.25+ 0.07724 X1X2X3_4 5 0.50 \end{aligned} $

Lanjutan **Tabel 3.** Model Matematis *Full Factorial Design*

Respon Paramete r(Y)	Model Matematis
Temperatu rMata Pahat Conical 3 mm	$ \begin{aligned} &34.97 - 0.1306 X1_2 - 0.02347 X1_3 + 0.01939 X1_4 + 0.06224 X1_5 - 0.1306 X1_6 + 0.1694 \\ &X1_7 + 0.03367 X1_8 + 0.1194 X2_1 + 0.8694 X2_2 - 0.09490 X2_3 + 0.04082 X2_4 - 0.8378 \\ &X2_5 + 0.04796 X2_6 - 0.1449 X2_7 + 1.084 X3_0.25 - 1.084 X3_0.50 - 0.01224 X1X2_2\ 1 + \\ &0.08776 X1X2_2\ 2 - 0.04796 X1X2_2\ 3 - 0.3837 X1X2_2\ 4 - 0.05510 X1X2_2\ 5 + 0.1092 \\ &X1X2_2\ 6 + 0.3020 X1X2_2\ 7 + 0.1806 X1X2_3\ 1 - 0.2694 X1X2_3\ 2 - 0.2051 X1X2_3\ 3 + \\ &0.2592 X1X2_3\ 4 - 0.2122 X1X2_3\ 5 + 0.4520 X1X2_3\ 6 - 0.2051 X1X2_3\ 7 + 0.2878 X1X2_4 \\ &1 - 0.3622 X1X2_4\ 2 + 0.2520 X1X2_4\ 3 - 0.1337 X1X2_4\ 4 + 0.04490 X1X2_4\ 5 - 0.1908 \\ &X1X2_4\ 6 + 0.1020 X1X2_4\ 7 + 0.09490 X1X2_5\ 1 - 0.3051 X1X2_5\ 2 - 0.04082 X1X2_5\ 3 - \\ &0.1765 X1X2_5\ 4 + 0.2020 X1X2_5\ 5 - 0.1337 X1X2_5\ 6 + 0.3592 X1X2_5\ 7 - 0.01224 \\ &X1X2_6\ 1 + 0.03776 X1X2_6\ 2 - 0.2980 X1X2_6\ 3 + 0.5663 X1X2_6\ 4 + 0.09490 X1X2_6\ 5 - \\ &0.09082 X1X2_6\ 6 - 0.2980 X1X2_6\ 7 - 0.6622 X1X2_7\ 1 + 0.6378 X1X2_7\ 2 + 0.3020 \\ &X1X2_7\ 3 - 0.08367 X1X2_7\ 4 - 0.1551 X1X2_7\ 5 + 0.05918 X1X2_7\ 6 - 0.09796 X1X2_7\ 7 + \\ &0.1235 X1X2_8\ 1 + 0.1735 X1X2_8\ 2 + 0.03776 X1X2_8\ 3 - 0.04796 X1X2_8\ 4 + 0.08061 \\ &X1X2_8\ 5 - 0.2051 X1X2_8\ 6 - 0.1622 X1X2_8\ 7 + 0.01633 X1X3_2\ 0.25 - 0.01633 X1X3_2 \\ &0.50 + 0.1235 X1X3_3\ 0.25 - 0.1235 X1X3_3\ 0.50 + 0.1235 X1X3_4\ 0.25 - 0.1235 X1X3_4 \\ &0.50 - 0.1337 X1X3_5\ 0.25 + 0.1337 X1X3_5\ 0.50 + 0.1163 X1X3_6\ 0.25 - 0.1163 X1X3_6 \\ &0.50 - 0.2551 X1X3_7\ 0.25 + 0.2551 X1X3_7\ 0.50 + 0.009184 X1X3_8\ 0.25 - 0.009184 \\ &X1X3_8\ 0.50 + 0.02347 X2X3_1\ 0.25 - 0.02347 X2X3_1\ 0.50 - 0.6408 X2X3_2\ 0.25 + 0.6408 \\ &X2X3_2\ 0.50 + 0.009184 X2X3_3\ 0.25 - 0.009184 X2X3_3\ 0.50 + 0.4020 X2X3_4\ 0.25 - \\ &0.4020 X2X3_4\ 0.50 - 0.5051 X2X3_5\ 0.25 + 0.5051 X2X3_5\ 0.50 + 0.3949 X2X3_6\ 0.25 - \\ &0.3949 X2X3_6\ 0.50 + 0.3163 X2X3_7\ 0.25 - 0.3163 X2X3_7\ 0.50 - 0.6735 X1X2X3_2\ 1\ 0.25 \\ &+ 0.6735 X1X2X3_2\ 1\ 0.50 + 0.5408 X1X2X3_2\ 2\ 0.25 - 0.5408 X1X2X3_2\ 2\ 0.50 - 0.3092 \\ &X1X2X3_2\ 3\ 0.25 + 0.3092 X1X2X3_2\ 3\ 0.50 - 0.1020 X1X2X3_2\ 4\ 0.25 + 0.1020 X1X2X3_2 \\ &4\ 0.50 + 0.2551 X1X2X3_2\ 5\ 0.25 - 0.2551 X1X2X3_2\ 5\ 0.50 - 0.1949 X1X2X3_2\ 6\ 0.25 + \\ &0.1949 X1X2X3_2\ 6\ 0.50 + 0.4837 X1X2X3_2\ 7\ 0.25 - 0.4837 X1X2X3_2\ 7\ 0.50 - 0.7806 \\ &X1X2X3_3\ 1\ 0.25 + 0.7806 X1X2X3_3\ 1\ 0.50 + 0.4837 X1X2X3_3\ 2\ 0.25 - 0.4837 X1X2X3_3 \\ &2\ 0.50 + 0.1337 X1X2X3_3\ 3\ 0.25 - 0.1337 X1X2X3_3\ 3\ 0.50 - 0.1592 X1X2X3_3\ 4\ 0.25 + \\ &0.1592 X1X2X3_3\ 4\ 0.50 - 0.1020 X1X2X3_3\ 5\ 0.25 + 0.1020 X1X2X3_3\ 5\ 0.50 - 0.1520 \\ &X1X2X3_3\ 6\ 0.25 + 0.1520 X1X2X3_3\ 6\ 0.50 + 0.5765 X1X2X3_3\ 7\ 0.25 - 0.5765 X1X2X3_3 \\ &7\ 0.50 - 0.4306 X1X2X3_4\ 1\ 0.25 + 0.4306 X1X2X3_4\ 1\ 0.50 + 0.7337 X1X2X3_4\ 2\ 0.25 - \\ &0.7337 X1X2X3_4\ 2\ 0.50 - 0.4663 X1X2X3_4\ 3\ 0.25 + 0.4663 X1X2X3_4\ 3\ 0.50 - 0.1092 \\ &X1X2X3_4\ 4\ 0.25 + 0.1092 X1X2X3_4\ 4\ 0.50 - 0.002041 X1X2X3_4\ 5\ 0.25 + 0.002041 \\ &X1X2X3_4\ 5\ 0.50 + 0.2480 X1X2X3_4\ 6\ 0.25 - 0.2480 X1X2X3_4\ 6\ 0.50 + 0.02653 \\ &X1X2X3_4\ 7\ 0.25 - 0.02653 X1X2X3_4\ 7\ 0.50 + 0.1765 X1X2X3_5\ 1\ 0.25 - 0.1765 X1X2X3_5 \\ &1\ 0.50 - 0.6092 X1X2X3_5\ 2\ 0.25 + 0.6092 X1X2X3_5\ 2\ 0.50 + 0.4408 X1X2X3_5\ 3\ 0.25 - \\ &0.4408 X1X2X3_5\ 3\ 0.50 + 0.04796 X1X2X3_5\ 4\ 0.25 - 0.04796 X1X2X3_5\ 4\ 0.50 + 0.3551 \\ &X1X2X3_5\ 5\ 0.25 - 0.3551 X1X2X3_5\ 5\ 0.50 + 0.2051 X1X2X3_5\ 6\ 0.25 - 0.2051 X1X2X3_5 \\ &6\ 0.50 - 0.6163 X1X2X3_5\ 7\ 0.25 + 0.6163 X1X2X3_5\ 7\ 0.50 + 0.8265 X1X2X3_6\ 1\ 0.25 - \\ &0.8265 X1X2X3_6\ 1\ 0.50 - 0.5092 X1X2X3_6\ 2\ 0.25 + 0.5092 X1X2X3_6\ 2\ 0.50 + 0.5408 \\ &X1X2X3_6\ 3\ 0.25 - 0.5408 X1X2X3_6\ 3\ 0.50 - 0.2520 X1X2X3_6\ 4\ 0.25 + 0.2520 X1X2X3_6 \\ &4\ 0.50 + 0.005102 X1X2X3_6\ 5\ 0.25 - 0.005102 X1X2X3_6\ 5\ 0.50 - 0.1949 X1X2X3_6\ 6\ 0.25 \\ &+ 0.1949 X1X2X3_6\ 6\ 0.50 - 0.4163 X1X2X3_6\ 7\ 0.25 + 0.4163 X1X2X3_6\ 7\ 0.50 + 0.3480 \\ &X1X2X3_7\ 1\ 0.25 - 0.3480 X1X2X3_7\ 1\ 0.50 - 0.3378 X1X2X3_7\ 2\ 0.25 + 0.3378 X1X2X3_7 \\ &2\ 0.50 - 0.4878 X1X2X3_7\ 3\ 0.25 + 0.4878 X1X2X3_7\ 3\ 0.50 + 0.1694 X1X2X3_7\ 4\ 0.25 - \\ &0.1694 X1X2X3_7\ 4\ 0.50 + 0.2265 X1X2X3_7\ 5\ 0.25 - 0.2265 X1X2X3_7\ 5\ 0.50 + 0.3265 \\ &X1X2X3_7\ 6\ 0.25 - 0.3265 X1X2X3_7\ 6\ 0.50 - 0.2449 X1X2X3_7\ 7\ 0.25 + 0.2449 X1X2X3_7 \\ &7\ 0.50 + 0.5337 X1X2X3_8\ 1\ 0.25 - 0.5337 X1X2X3_8\ 1\ 0.50 - 0.3020 X1X2X3_8\ 2\ 0.25 + \\ &0.3020 X1X2X3_8\ 2\ 0.50 + 0.1480 X1X2X3_8\ 3\ 0.25 - 0.1480 X1X2X3_8\ 3\ 0.50 + 0.4051 \\ &X1X2X3_8\ 4\ 0.25 - 0.4051 X1X2X3_8\ 4\ 0.50 - 0.7378 X1X2X3_8\ 5\ 0.25 + 0.7378 X1X2X3_8 \\ &5\ 0.50 - 0.2378 X1X2X3_8\ 6\ 0.25 + 0.2378 X1X2X3_8\ 6\ 0.50 + 0.1908 X1X2X3_8\ 7\ 0.25 - \\ &0.1908 X1X2X3_8\ 7\ 0.50 \end{aligned} $

C. Optimasi Plot Multi respon

Dari hasil formulasi model matematis pada Tabel 3 di atas, selanjutnya dilakukan optimasi plot multi respon. Tahapan tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai optimal dari setiap faktor, level dan respon yang digunakan, sehingga akan diperoleh luaran berupa hasil nilai seting optimal dari mesin CNC Router G-Weike WK1212 untuk proses *engraving* terhadap material kayu mahoni menggunakan mata pahat *conical* 3 mm. Hasil nilai seting optimal tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah, dimana diketahui menggunakan metode *full factorial design* dan optimasi plot multirespon diperoleh nilai seting optimal mesin adalah *spindle speed* 7 step, *motion speed* 5 step dan *depth per layer cut* 0.50 mm. Nilai komposisi seting tersebut terpilih berdasarkan nilai *desireability* tertinggi yaitu sebesar 0.7257 hal ini dikarenakan nilai *desireability* tersebut paling mendekati nilai 1, dimana semakin nilai *desireability* mendekati nilai 1 maka kombinasi komposisi tersebut terpilih secara optimal menurut metode yang digunakan.



Gambar 3. Hasil Optimasi Plot Multi Respon

Simpulan

Dari hasil dan pembahasan di atas telah diperoleh nilai setingan mesin secara optimal untuk proses *engraving* dari mesin CNC Router G-Weike WK1212 menggunakan mata pahat *Conical* 3 mm terhadap material kayu mahoni berdasarkan metode *Full Factorial Design* dan optimasi plot multi respon adalah *spindle speed* 7 step, *motion speed* 5 step dan *depth per layer cut* 0.50 mm dengan hasil prediksi optimal multi respon adalah waktu proses aktual minimum sebesar 8.4586 menit, panjang (*length*) hasil proses sebesar 5.15 cm, lebar (*width*) hasil proses sebesar 5.15 cm, total *depth per cut* hasil proses sebesar 0.26 cm dan temperatur mata pahat *conical* 3 mm minimum sebesar 33.6 °C. Hasil tersebut berbeda dengan pemanfaatan metode Taguchi dari penelitian sebelumnya yaitu diperoleh nilai seting optimal *spindle speed* 8 step, *motion speed* 7 step dan *depth per layer cut* 0.5 mm untuk objek mesin, proses, material dan parameter respon yang sama. Kemudian dengan metode yang sama untuk proses *cutting* dengan mata pahat *end mill* 3 mm dari hasil penelitian sebelumnya diperoleh nilai seting optimal yang berbeda pula yaitu *spindle speed* 7 step, *motion speed* 6 step dan *depth per layer cut* 0,25 mm. Semua perbedaan tersebut pun akan menghasilkan nilai *desireability* yang berbeda yang kemudian akan berpengaruh terhadap nilai hasil prediksi, penyebab perbedaan tersebut dikarenakan karakteristik dari masing-masing metode.

Daftar Pustaka

- [1] Herwin, S., dan Dewa, K.W., Optimasi Permesinan CNC Router untuk Proses Cutting Material Kayu Mahoni Menggunakan Mata Pahat End Mill 3mm Tungsten Carbide, *Jurnal Teknik Industri*, Universitas Trisakti, Vol.10, No.3, 2020, pp. 227-239.
- [2] Montgomery, C.D., *Design and Analysis of Experiment, Eight Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2013.
- [3] Nataraj, M., Balasubramanian, K., dan Palanisamy, D., Optimization of Machining Parameters for CNC Turning of Al/Al₂O₃ MMC Using RSM Approach, *Materials Today*, Vol.5, 2018, pp.14265-14272.
- [4] Nur, A.B., Dewa, K.W., dan Tita, T., Metode Taguchi untuk Optimasi Proses Engraving CNC Router G- Weike WK1212 untuk Kayu Mahoni, *Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, Vol.7, No.2, 2021, pp. 98-103.
- [5] Vishnu, V.M., Sankaraiah, G., Yohan, M. dan Jeevan, R.H., Optimization of Parameters in CNC milling of P20 steel using Response Surface methodology and Taguchi Method, *Materials Today*. Vol.4, 2017, pp.9163-9169.
- [6] Vishnu, V.M., Sankaraiah, G., Yohan, M. dan Jeevan, R.H., Optimization of cutting Parameters and Prediction of Ra & MRR for machining of P20 Steel on CNC milling using Artificial Neural Networks, *Materials Today*, Vol.5, 2018, pp.27058-27064.
- [7] Wahjudi, D., dan San, G.S., Optimasi Proses Injeksi Dengan Metode Taguchi. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.3, No.1, 2001, pp. 24-28.