

Optimasi Multi Respon Parameter Proses *Injection Molding* Material Biokomposit Menggunakan Metode Taguchi - PCR TOPSIS

Sufiyanto

Program Studi Teknik Mesin
Sekolah Tinggi Teknologi Nasional
Kota Jambi, Indonesia
sufiyanto07@gmail.com

Lilia Trisyathia Quentara

Program Studi Teknik Industri
Sekolah Tinggi Teknologi Nasional
Kota Jambi, Indonesia
lilia.quentara@gmail.com

Marfizal

Program Studi Teknik Mesin
Sekolah Tinggi Teknologi Nasional
Kota Jambi, Indonesia
marfizal65@gmail.com

Alfi Tranggono Agus Salim

Program Studi Teknik Perkeretaapian
Politeknik Negeri Madiun
Kota Madiun, Indonesia
alfitranggono@pnm.ac.id

Abstrak— Pengaturan parameter proses *injection molding* sangat berpengaruh terhadap kualitas produk hasil cetakan, diantaranya kualitas sifat mekanis pada kekuatan tarik dan impact. Pengaturan parameter untuk polimer jenis termoplastik sudah banyak direkomendasikan oleh perusahaan pembuat mesin *injection molding*, sedangkan pada material *Polymer Matrix Composite* (PMC) yang menggunakan serat alam disebut dengan biokomposit masih belum banyak digunakan. Pada penelitian ini biokomposit yang digunakan adalah campuran *polypropylene*, *maleic anhydride polypropylene* dan serbuk sekam padi. Perlu adanya eksperimen yang mengoptimasi parameter proses *injection molding* untuk memperoleh sifat mekanis yang optimal pada material hasil cetakan. Parameter yang divariasikan pada penelitian ini terdiri dari 4 faktor dan masing-masing faktor terdiri dari 3 level. Dengan menggunakan metode Taguchi diperoleh desain eksperimen menggunakan matriks ortogonal L27. Untuk memperoleh respon kekuatan tarik dan impact secara simultan maka digunakan metode PCR TOPSIS. Dari hasil optimasi multi respon PCR TOPSIS diperoleh parameter proses *injection molding* yang optimal untuk kekuatan tarik dan impact secara simulatan adalah: *barrel temperature* 215°C, *injection pressure* 60 bar, *holding pressure* 45 bar, dan *injection velocity* 65 mm/s.

Kata kunci— *Parameter Proses Injection Molding; Metode Taguchi; Optimasi Multi Respon; Metode PCR TOPSIS.*

I. PENDAHULUAN

Teknologi *injection molding* saat ini sangat berkembang pesat dalam industri manufaktur. *Injection molding* adalah suatu proses melelehkan material plastik menggunakan *heater* sebagai pemanas eksternal dan *screw* untuk pembawa polimer cair dan di injeksikan hingga membentuk produk sesuai cetakan [1]. Plastik merupakan jenis polimer yang sulit untuk terurai sehingga dapat mencemarkan lingkungan. Oleh karena itu perlu adanya solusi untuk mengurangi kebutuhan plastik dengan cara mencampur dengan serat alam sebagai filler dari

polimer matriks komposit. Adapun PMC yang menggunakan serat alam disebut dengan biokomposit.

Material biokomposit yang menggunakan serat alam dapat dimanufaktur menggunakan mesin *injection molding*, Yeh dkk [2] membuat biokomposit dengan mencampur antara *polypropylene* (PP), *maleic anhydride polypropylene* (MAPP) dan sekam padi. Rekomendasi yang diperoleh dari penelitian tersebut bahwa MAPP merupakan *coupling agents* untuk memperkuat ikatan dalam matriks komposit. Pengaturan parameter proses *injection molding* sangat berpengaruh terhadap hasil cetakan. Diantaranya adalah *nozzle temperature*, *Injection speed*, *holding pressure*, *injection pressure*, *holding time* dan *cooling time* [3]. Agar proses lebih terkontrol dan dapat diulang secara terukur maka perlu adanya penerapan metode eksperimen secara statistik, sehingga diperoleh beberapa parameter *injection molding* yang memiliki pengaruh lebih besar pada kualitas akhir [4]. Salah satu cara statistik yang dapat digunakan adalah metode Taguchi.

Erdinc dkk [5] menggunakan metode Taguchi dalam desain eksperimen optimasi parameter proses *injection molding* dengan memakai jumlah eksperimen sebanyak 16 kali. Metode Taguchi digunakan untuk meminimalkan jumlah eksperimen akan tetapi dapat memberi informasi semua faktor parameter yang berpengaruh *significant* terhadap satu respon. Sufiyanto [6] pada penelitian terdahulu telah menggunakan metode Taguchi dalam optimasi parameter proses *injection molding*. Adapun parameter yang dioptimasi sebanyak 4 faktor dan masing-masing faktor terdiri dari 3 level. Respon yang diperoleh dari hasil penelitiannya adalah kekuatan tarik dari material biokomposit. Kekurangan dari metode Taguchi ini hanya dapat menghitung satu respon saja. Bila ingin memperoleh lebih dari satu respon secara simultan maka perlu

menggunakan perhitungan secara statistik menggunakan metode lain. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah PCR TOPSIS.

Process Capability Ratio (PCR) merupakan kemampuan sebuah proses untuk memenuhi spesifikasi berada dalam rentang $\pm 3\sigma$ dari rata-rata proses. Adapun *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) adalah salah satu metode pengambilan keputusan multi respon. Alternatif yang terpilih harus mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif. Metode Taguchi dapat dikombinasikan dengan PCR TOPSIS untuk memperoleh multi respon secara serentak [7]. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan optimasi parameter proses *injection molding* menggunakan metode Taguchi dengan pemilihan matrik orthogonal untuk memperoleh jumlah desain eksperimen dan menransformasi data yang diperoleh dalam bentuk *Signal to Noise Ratio* (SNR). Adapun untuk memperoleh respon kekuatan tarik dan dampak secara simultan menggunakan metode PCR TOPSIS.

II. METODOLOGI

A. Perancangan Eksperimen

Pada penelitian ini, perancangan eksperimen disusun sebagai pedoman untuk melakukan optimasi. Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada perancangan eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1) Menentukan Variabel Penelitian

Variabel yang divariasikan pada parameter proses *injection molding* sebanyak 4 faktor yang masing-masing faktor terdiri dari 3 level sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Parameter Proses *Injection Molding*

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
A	Barrel temperature (°C)	210	215	220
B	Injection pressure (bar)	50	55	60
C	Holding pressure (bar)	35	40	45
D	Injection velocity (mm/s)	55	65	75

Variabel konstan yang tetap dijaga agar tidak berubah selama proses eksperimen adalah:

- *Holding time* : 0.75 detik
- *Injection time* : 0.65 detik
- *Cooling time* : 7.63 detik

Adapun variabel respon yang diperoleh dari hasil pengamatan dan dipengaruhi oleh variabel proses adalah:

- Kekuatan tarik (MPa)
- Kekuatan dampak (kJ/m²)

2) Pemilihan *orthogonal array*

Berdasarkan banyaknya faktor dan level yang divariasikan dari Tabel 1. Maka pemilihan *orthogonal array* yang diperoleh dari metode Taguchi adalah L27. Matriks ini terdiri dari 27 rancangan percobaan sebagaimana ditampilkan pada

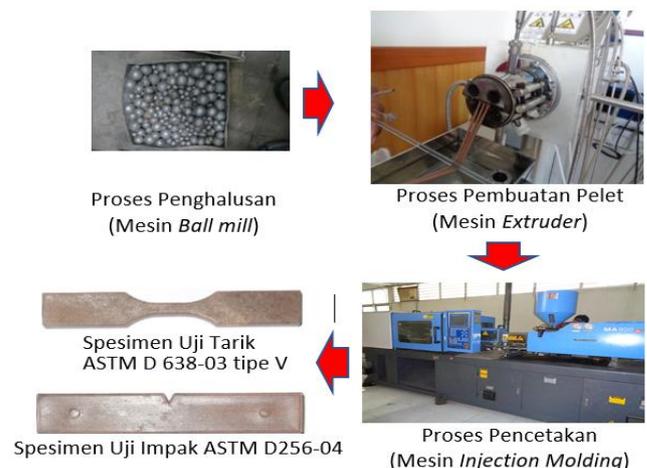
Tabel 2. Adapun rancangan ini dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dengan cara merandomisasi urutan kombinasi parameter, hal ini bertujuan untuk mengatasi faktor gangguan (*noise*) yang terjadi selama proses *injection molding*.

Tabel 2. Pemilihan *Orthogonal Array*

No. Eksp	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3
4	2	2	3	3
5	3	3	1	1
6	1	1	2	2
7	3	3	2	2
8	1	1	3	3
9	2	2	1	1
10	2	3	2	3
11	3	1	3	1
12	1	2	1	2
13	3	1	1	2
14	1	2	2	3
15	2	3	3	1
16	1	2	3	1
17	2	3	1	2
18	3	1	2	3
19	3	2	3	2
20	1	3	1	3
21	2	1	2	1
22	1	3	2	1
23	2	1	3	2
24	3	2	1	3
25	2	1	1	3
26	3	2	2	1
27	1	3	3	2

B. Proses Pencetakan Spesimen

Langkah dalam pembuatan spesimen yaitu menghaluskan serbuk sekam padi (SP) hingga berukuran 35 mesh kemudian digabung dengan *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP). Perbandingan berdasarkan persentase berat yaitu 10% SP, 85% PP dan 5% MAPP. Agar material bercampur secara homogen maka diproses menggunakan mesin *extruder* hingga menjadi pelet. Untuk pencetakan spesimen uji tarik dan dampak dilakukan pada mesin *injection molding* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pencetakan Spesimen

C. Tahapan Pengolahan Data

Hasil pengujian tarik dan dampak dari spesimen merupakan respon dalam pengambilan data. Untuk memperoleh parameter proses *injection molding* yang optimal maka dilakukan tahapan sebagai berikut:

1) Menentukan *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Karakteristik respon SNR yang digunakan dalam penelitian ini adalah semakin besar semakin baik (*larger is better*). SNR diperoleh berdasarkan *mean squared deviation* [7], yaitu simpangan kuadrat rerata dari nilai target.

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

dengan, η adalah SNR, n adalah jumlah pengulangan eksperimen, y adalah nilai respon pengulangan eksperimen ke- i ($i:1,2,3$).

2) Menentukan PCR untuk setiap SNR

Untuk mengetahui kemampuan sebuah proses memenuhi spesifikasi berada dalam rentang $\pm 3\sigma$ dari rata-rata proses, maka dilakukan perhitungan PCR dari setiap SNR sebagai berikut:

$$C_j^i = \frac{\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j}}{3s_{\eta_j}} \quad (2)$$

dengan rata-rata sampel dari SNR dalam respon j diberikan sebagai berikut:

$$\bar{x}_{\eta_j} = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_j^i}{m - 1} \quad (3)$$

Adapun standar deviasi sampel untuk SNR dalam respons j diberikan sebagai berikut:

$$s_{\eta_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j})^2}{m - 1}} \quad (4)$$

III. MENENTUKAN TOPSIS DARI HASIL PCR-SNR

Untuk memperoleh nilai TOPSIS dari PCR-SNR dengan cara menghitung batas ideal positif (C_j^+) dan batas ideal negatif (C_j^-), dimana jarak percobaan ke- i dari solusi ideal positif (d^{i+}) diberikan sebagai berikut:

$$d^{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^+)^2} \quad (5)$$

dan jarak percobaan i dari solusi ideal negatif (d^{i-}) diberikan sebagai berikut:

$$d^{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^-)^2} \quad (6)$$

dengan:

$$C_j^+ = \max C_j^i, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m$$

$$C_j^- = \min C_j^i, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m$$

$$C_j^i: (i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n)$$

Alternatif yang terpilih harus mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif, sehingga nilai PCR TOPSIS (S^i) untuk pengambilan keputusan multi kriteria adalah sebagai berikut:

$$S^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} + d^{i-}} \quad (7)$$

IV. MENENTUKAN KONTRIBUSI DARI MASING-MASING FAKTOR

Untuk memperoleh faktor yang berpengaruh signifikan terhadap multi respon dapat diperoleh dari *Analysis of Variance* (ANOVA). Adapun faktor dinyatakan berpengaruh signifikan apabila memperoleh nilai probabilitas $p\text{-value} < \alpha$, sedangkan nilai $\alpha = 0.05$. Dari nilai *sum of square* (SS) dan *sum of square total* (SST) maka diperoleh nilai persentase kontribusi (ρ) masing faktor sebagai berikut:

$$\rho = \frac{SS_{faktor}}{SS_T} \times 100 \% \quad (8)$$

V. HASIL DAN ANALISA

Berdasarkan jumlah observasi rancangan percobaan dari Tabel 2. Maka diperoleh respon pengujian tegangan tarik dan dampak sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Eksperimen Menggunakan *Orthogonal Array* L27

No	Faktor				Respon					
					Tegangan Tarik (MPa)			Tegangan Dampak (KJ/m ²)		
	A	B	C	D	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	30.46	30.19	30.21	5.33	4.48	4.48
2	2	2	2	2	31.70	26.04	28.84	4.48	3.62	3.62
3	3	3	3	3	28.62	29.48	29.06	5.33	3.62	3.62
4	2	2	3	3	31.07	29.2	29.68	4.48	4.48	4.48
5	3	3	1	1	28.18	28.28	28.24	3.62	3.62	3.62
6	1	1	2	2	30.32	30.96	29.98	4.48	4.48	4.48
7	3	3	2	2	26.93	30.88	28.88	3.62	4.48	3.62
8	1	1	3	3	30.58	30.48	30.38	4.48	4.48	5.33
9	2	2	1	1	27.94	29.82	31.17	5.33	5.33	5.33
10	2	3	2	3	28.7	29.24	28.86	3.62	3.62	4.48
11	3	1	3	1	28.86	28.44	28.62	2.74	4.48	4.48
12	1	2	1	2	29.97	30.28	30.38	5.33	4.48	4.48
13	3	1	1	2	29.77	29.30	29.52	5.33	5.33	3.62
14	1	2	2	3	30.58	30.16	30.38	4.48	5.30	5.30
15	2	3	3	1	28.41	27.52	27.98	2.74	2.74	2.74
16	1	2	3	1	30.58	30.30	30.38	4.48	4.48	5.33
17	2	3	1	2	28.81	28.76	28.77	4.48	3.62	3.62
18	3	1	2	3	30.54	29.63	31.03	5.33	5.33	4.48
19	3	2	3	2	28.28	27.65	27.98	3.62	3.62	3.62
20	1	3	1	3	30.58	30.32	30.38	4.48	4.48	5.33
21	2	1	2	1	31.03	30.00	30.24	5.33	4.48	4.48
22	1	3	2	1	30.58	30.58	30.38	4.48	4.48	3.62
23	2	1	3	2	28.34	27.45	28.12	2.74	2.74	2.74
24	3	2	1	3	30.03	30.74	30.5	5.33	4.48	4.48
25	2	1	1	3	28.17	29.63	28.77	4.48	4.48	4.48
26	3	2	2	1	30.88	29.58	30.18	5.33	6.16	4.48
27	1	3	3	2	28.28	27.65	27.98	3.62	3.62	3.62

Berdasarkan nilai respon eksperimen Tabel 3, maka diperoleh nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dengan pemilihan karakteristik *larger is better*. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan (*Noise*). Adapun perhitungan PCR dari setiap SNR dilakukan untuk memperoleh kemampuan proses berdasarkan rata-rata proses yang berada dalam rentang $\pm 3\sigma$. Oleh karena itu dapat diperoleh solusi ideal positif (d^{i+}) dan solusi ideal negatif (d^{i-}). Untuk pengambilan keputusan multi respon dihitung nilai TOPSIS berdasarkan jarak terdekat dari (d^{i+}) dan jarak terjauh dari (d^{i-}), sehingga diperoleh hasil pengolahan data ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai SNR, PCR-SNR dan Solusi Ideal Multi Respon

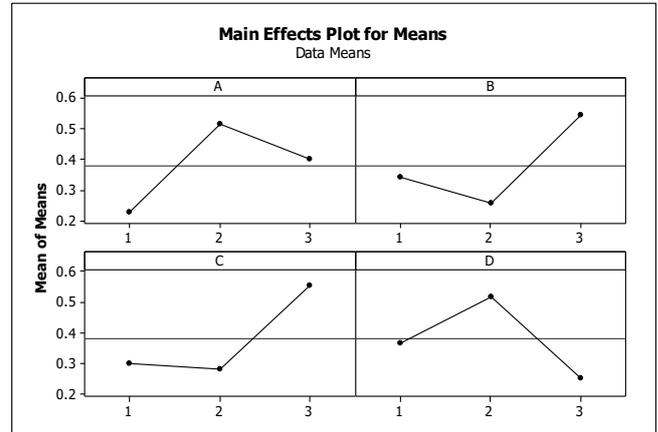
No	SNR		PCR-SNR		Distance		PCR-TOPSIS
	Teg. Tarik	Teg. Impak	Teg. Tarik	Teg. Impak	di+	di-	
1	29.6248	13.4727	-1.0299	0.1184	0.2498	1.3314	0.1580
2	29.1220	11.7081	-1.6163	-0.2772	0.9164	0.6984	0.5675
3	29.2620	12.0338	-1.4530	-0.2042	0.7504	0.8301	0.4748
4	29.5286	13.0256	-1.1421	0.0181	0.3869	1.1840	0.2463
5	29.0152	11.1742	-1.7408	-0.3970	1.0891	0.5511	0.6640
6	29.6609	13.0256	-0.9879	0.0181	0.3400	1.2808	0.2098
7	29.1763	11.7081	-1.5529	-0.2772	0.8718	0.7211	0.5473
8	29.6802	13.4727	-0.9653	0.1184	0.2383	1.3716	0.1480
9	29.4122	14.5345	-1.2779	0.3565	0.3236	1.4119	0.1865
10	29.2272	11.7081	-1.4936	-0.2772	0.8321	0.7466	0.5271
11	29.1390	11.1005	-1.5964	-0.4135	1.0026	0.5789	0.6339
12	29.6026	13.4727	-1.0559	0.1184	0.2588	1.3158	0.1644
13	29.4047	13.1066	-1.2866	0.0363	0.4614	1.1210	0.2916
14	29.6494	13.9425	-1.0012	0.2237	0.1408	1.4331	0.0895
15	28.9316	8.7550	-1.8382	-0.9394	1.5686	0.0002	0.9998
16	29.6630	13.4727	-0.9854	0.1184	0.2401	1.3589	0.1502
17	29.1818	11.7081	-1.5465	-0.2772	0.8674	0.7236	0.5452
18	29.6527	13.9713	-0.9974	0.2302	0.1335	1.4406	0.0848
19	28.9327	11.1742	-1.8369	-0.3970	1.1605	0.5424	0.6815
20	29.6649	13.4727	-0.9832	0.1184	0.2398	1.3603	0.1499
21	29.6614	13.4727	-0.9872	0.1184	0.2403	1.3578	0.1504
22	29.6897	12.3171	-0.9543	-0.1407	0.4972	1.1915	0.2944
23	28.9314	8.7550	-1.8385	-0.9394	1.5688	0.0000	1.0000
24	29.6629	13.4727	-0.9855	0.1184	0.2401	1.3588	0.1502
25	29.1993	13.0256	-1.5261	0.0181	0.6644	1.0072	0.3975
26	29.6000	14.3032	-1.0589	0.3046	0.1168	1.4681	0.0737
27	28.9327	11.1742	-1.8369	-0.3970	1.1605	0.5424	0.6815

Adapun rerata PCR-TOPSIS dari kombinasi faktor dan level parameter proses *injection molding* dihitung untuk memperoleh level optimum dari masing-masing faktor sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rerata PCR-TOPSIS dari masing-masing faktor dan level

Level	Faktor			
	A	B	C	D
1	0.2273	0.3416	0.3008	0.3679
2	0.5134	0.2566	0.2827	0.5210
3	0.4002	0.5427	0.5573	0.2648
Selisih	0.2861	0.2860	0.2746	0.2562
Rank	4	2	1	3
Rerata Total	0.3813			

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh nilai rerata PCR-TOPSIS tertinggi yaitu faktor A pada level 2 sebesar 0.5134, faktor B pada level 3 sebesar 0.5427, faktor C pada level 3 sebesar 0.5573 dan faktor D pada level 2 sebesar 0.5210. Adapun grafik untuk melihat level optimum dari masing-masing faktor dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Rerata PCR-TOPSIS Terhadap Faktor dan Level

Grafik pada Gambar 2 menampilkan kombinasi faktor dan level parameter proses *injection molding* yang dapat memperoleh multi respon optimum yaitu $A_2-B_3-C_3-D_2$, sehingga diperoleh setting parameter sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kombinasi Faktor dan Level Multi Respon Optimum

Faktor	Parameter Proses	Level Optimum	Setting Parameter
A	Barrel temperature	2	215 °C
B	Injection pressure	3	60 Bar
C	Holding pressure	3	45 Bar
D	Injection velocity	2	65 mm/s

Untuk menduga apakah masing-masing parameter yang diteliti berpengaruh signifikan terhadap respon, maka dilakukan analisis variansi perbedaan rerata antara kelompok yang ada pada Tabel 4. Sehingga diperoleh nilai probabilitas (P_{value}) dan kontribusi dari masing faktor sebagaimana ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Faktor	DF	SS	MS	SS'	F	P-value	Cont
A	2	0.3737	0.1868	0.3261	7.852	0.004	17.03%
B	2	0.3885	0.1942	0.3409	8.163	0.003	17.80%
C	2	0.4247	0.2124	0.3771	8.925	0.002	19.70%
D	2	0.2994	0.1497	0.2518	6.291	0.006	13.15%
Residual Error	18	0.4283	0.0238	0.6187			32.31%
Total	26	1.9145					100%

Berdasarkan Tabel 7 diperoleh bahwa nilai P_{value} dari masing-masing faktor < 0.05 sehingga dapat diduga bahwa semua faktor yang diteliti berpengaruh signifikan terhadap respon. Kontribusi parameter proses yang berpengaruh pada kekuatan tarik dan impak secara simultan dari hasil cetakan *injection molding* adalah: *barrel temperature* 17.03%, *injection pressure* 17.80%, *holding pressure* 19.70%, dan *injection velocity* 13.15%. Walau semua faktor berpengaruh signifikan dan masing-masing memberi kontribusi, akan tetapi nilai *residual error* juga memberi kontribusi sebesar 32.31%. Hal ini menyatakan bahwa ada beberapa faktor diluar variabel penelitian ini yang ikut juga mempengaruhi dalam respon penelitian.

VI. KESIMPULAN

Dari penelitian diperoleh kombinasi parameter proses *injection molding* yang menghasilkan respon optimum adalah $A_2-B_3-C_3-D_2$, sedangkan kombinasi parameter tersebut tidak berada dalam desain eksperimen. Hal ini membuktikan bahwa metode Taguchi dengan pemilihan *orthogonal array* L27 sudah mampu mewakili seluruh rancangan percobaan yang seharusnya dilakukan sebanyak 81 kali, karena parameter yang divariasikan sebanyak 4 faktor dan 3 level.

Untuk mengatasi ketidakmampuan metode Taguchi mengoptimasi multi respon kekuatan tarik dan impak secara simultan maka digunakan metode PCR-TOPSIS. Dari analisis variansi data PCR-TOPSIS dengan tingkat keyakinan 95% diperoleh bahwa semua parameter *injection molding* berpengaruh signifikan. Hal ini dibuktikan bahwa nilai probabilitas (P_{value}) semua faktor < 0.05 , dengan kata lain besarnya peluang kesalahan dari data penelitian yang diamati kurang dari 5%.

Dengan diperolehnya kontribusi *residual error* sebesar 32.31% pada analisis variansi data. Diduga bahwa masih ada faktor lain yang ikut berpengaruh terhadap respon. Perlu

adanya penyelidikan terhadap parameter proses *injection molding* yang belum termasuk dalam penelitian ini. Selain itu juga perlu dilakukan uji interaksi dari masing-masing parameter (faktor).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Fu, H. Xu, Y. Liu, and Y. Zhaogang, "Overview of Injection Molding Technology for Processing Polymers and Their Composites," *ES Mater. Manuf.*, pp. 3–23, 2020.
- [2] S. K. Yeh, C. C. Hsieh, H. C. Chang, C. C. C. Yen, and Y. C. Chang, "Synergistic Effect of Coupling Agents and Fiber Treatments on Mechanical Properties and Moisture Absorption of Polypropylene-Rice Husk Composites and Their Foam," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 68, pp. 313–322, 2015.
- [3] B. P. Kumar, P. Venkataramaiah, and J. S. Ganesh, "Optimization of Process Parameters in Injection Moulding of a Polymer Composite Product by Using GRA," *Mater. Today Proc.*, vol. 18, pp. 4637–4647, 2019.
- [4] O. Ogorodnyk, O. V. Lyngstad, M. Larsen, and K. Martinsen, "Application Of Feature Selection Methods For Defining Critical Parameters In Thermoplastics Injection Molding," *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 110–114, 2019.
- [5] E. Arıcı, E. Çelik, and O. Keleştemur, "An Analysis Of The Engineering Properties Of Mortars Containing Corn Cob Ash And Polypropylene Fiber Using The Taguchi And Taguchi-Based Grey Relational Analysis Methods," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 15, no. April, 2021.
- [6] Sufiyanto, "Optimasi Parameter Injection Molding Menggunakan Metode Taguchi Untuk Meningkatkan Kekuatan Tarik Material Biokomposit," *J. Tek. Mesin - Inst. Teknologi Padang*, vol. 7, no. 2, pp. 81–87, 2017.
- [7] A. Nugroho, "Metode Taguchi -PCR Topsis Untuk Optimasi Energi dan Kecepatan Grafir Mesin Laser," June, 2019.
- [8] M. Nalbant, H. Gökkaya, and G. Sur, "Application Of Taguchi Method In The Optimization Of Cutting Parameters For Surface Roughness In Turning," *Mater. Des.*, vol. 28, no. 4, pp. 1379–1385, 2007.
- [9] E. Pujiyanto, R. D. Yuliasromo, and R. W. Damayanti, "Using Taguchi PCR-Topsis And Genetic Algorithm to Optimise Of Diametral Tensile Strength And Density Of Pmma-Zirconia Composite," vol. 39, pp. 11–15, 2016.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”