

## Optimasi Parameter *Injection molding* menggunakan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kekuatan Tarik Material Biokomposit

### *Optimization of Injection molding Parameters using the Taguchi Method to Maximize Biocomposite Material Tensile Strength*

Sufiyanto

Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi  
Jl. Kapt. Patimura No.100 Rawasari, Kotabaru, Jambi, Indonesia, 36125

Received 30 August 2017; Revised 15 September 2017; Accepted 08 October 2017, Published 31 October 2017  
<http://dx.doi.org/10.21063/JTM.2017.V7.81-87>

Academic Editor: Asmara Yanto ([asmarayanto@yahoo.com](mailto:asmarayanto@yahoo.com))

\*Correspondence should be addressed to [sufiyanto07@gmail.com](mailto:sufiyanto07@gmail.com)

Copyright © 2017 Sufiyanto. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

#### Abstract

This research explained a study for optimization of parameters process on the injection molding biocomposite material, which is a mixture of plastics and natural fibers. Natural fibers used is rice husk (RH) mixed with polypropylene (PP) and maleic anhydride polypropylene (MAPP). The biocomposite molded into tensile specimens ASTM D638-03 using the injection molding machine. The varied of injection molding is the parameters process, that are divided into 4 parameters and each consists of 3 levels, then be done tensile tests on specimens. Optimization performed using the Taguchi method with orthogonal matrix design  $L_{27}(3^3)$ . The maximum tensile strength of biocomposite were barrel temperature of 210°C, injection pressure of 55 bar, holding pressure of 40 bar, and injection velocity of 75 mm/sec.

**Keywords:** Biocomposite, injection molding parameters, Taguchi method, tensile strength.

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan material polimer pada saat ini semakin banyak digunakan, baik pada industri besar maupun industri kecil. Polimer termasuk material yang mudah diolah dan dapat digabungkan dengan material lain dalam bentuk komposit yang disebut dengan *polymer matrix composite* (PMC). Pembuatan PMC masih banyak kita temukan menggunakan bahan berpenguat serat sintesis yang kurang ramah lingkungan dan harga cukup mahal. Untuk itu perlu adanya serat pengganti yang ramah lingkungan dengan harga murah, seperti dengan memanfaatkan serat alam. Kombinasi PMC menggunakan penguat serat alam disebut dengan polimer biokomposit.

Sekam padi merupakan material alami yang cukup murah dan dapat dijadikan sebagai

biokomposit memperkuat polimer *polypropylene* [1]. Serat yang dikandung oleh sekam padi dapat digunakan sebagai filler pada PMC natural sehingga menjadi produk bernilai tinggi [2]. Untuk mencetak biokomposit dapat dilakukan dengan proses cetakan terbuka ataupun cetakan tertutup. Proses pencetakan tertutup dapat dilakukan dengan menggunakan mesin *injection molding*.

Proses *injection molding* adalah suatu proses pencetakan material termoplastik dengan cara memanaskan material dalam keadaan yang sangat plastik hingga meleleh. Material dipaksa mengalir dengan tekanan tinggi kedalam rongga cetakan (*mold*) sampai membeku [3]

Pengaturan parameter proses pada mesin *injection molding* dapat mempengaruhi kualitas hasil pencetakan seperti pada sifat mekanik material [4]. Untuk mengoptimalkan respon

dari parameter proses tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Taguchi* [5],[6].

Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan proses *injection molding* menggunakan material biokomposit dengan bermacam serat natural sebagai *filler*. Yeh dkk [7] melakukan proses *injection molding* menggunakan biokomposit yang terdiri dari sekam padi ukuran 35-40 mesh, *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP). Dari penelitian tersebut merekomendasikan bahwa untuk meningkatkan ikatan antar muka pada serat sekam padi dan PP perlu adanya MAPP sebagai *coupling agents*.

Subasinghe dkk [8] melakukan proses *injection molding* pada material biokomposit PP, MAPP dan serat kenaf. Proses pengolahan material dilakukan dengan cara pengeringan PP dan MAPP pada temperatur 80°C selama 12 jam. Sedangkan kenaf dikeringkan pada temperatur 70°C selama 40 jam. Penelitian tersebut menyatakan bahwa hasil pengujian tarik dan dampak dipengaruhi oleh komposisi biokomposit yang homogen. Agar homogen, sebelum dilakukan proses *injection molding* terlebih dahulu melalui proses ekstrusi menggunakan mesin *Twin-Screw Extruder*.

Berbagai referensi tentang optimasi parameter mesin *injection molding* juga diperoleh dari beberapa penelitian sebelumnya. KC dkk [6] melakukan optimasi menggunakan metode *Taguchi*. Parameter yang divariasikan adalah *injection pressure*, *melt temperature*, *mold temperature*, *holding pressure*, *cooling time* serta *hold time*. Rancangan eksperimen menggunakan *orthogonal array* L18, dengan respon yang diambil adalah cacat *shrinkage*.

Berdasarkan tinjauan para peneliti terdahulu sebagai referensi, masih belum ada peneliti yang melakukan optimasi parameter proses *injection molding* menggunakan metode *Taguchi* pada material biokomposit khususnya serat sekam padi. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian tentang pembuatan material biokomposit menggunakan serat sekam padi sebagai *filler* yang dicetak menggunakan mesin *injection molding*. Adapun pengaturan parameter proses *injection molding* dioptimasi menggunakan metode *Taguchi*.

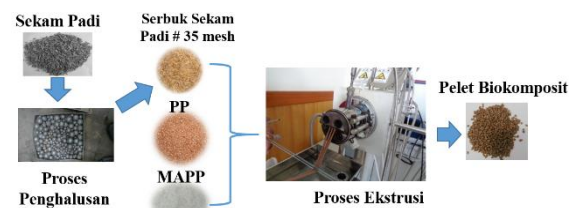
## 2. Material dan Metode

Metode yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan tersebut dimulai dari proses pembuatan biokomposit, kemudian dicetak menggunakan mesin *injection molding*. Parameter proses *injection molding* dioptimasi menggunakan metode *Taguchi*. Hasil pencetakan *injection molding* adalah spesimen

ASTM D638-03 yang diuji sifat mekanisnya. Nilai kekuatan tarik spesimen merupakan respon dari optimasi sehingga diperoleh parameter proses *injection molding* yang yang memberi respon optimum.

### A. Pembuatan Biokomposit

Material biokomposit yang dibuat merupakan PMC terdiri dari sekam padi (RH), *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP). Sebelum dilakukan penggabungan, sekam terlebih dahulu dihaluskan menggunakan mesin *Ball mill* lalu disaring hingga ukuran 35 - 40 mesh. Setelah itu di-oven pada temperatur 80°C selama 12 jam untuk mengurangi kadar air yang terkandung didalamnya. Komposisi biokomposit yang digunakan adalah 10 wt% RH, 85 wt% PP dan 5 wt% MAPP dicampur menggunakan mesin *extruder* pada putaran 150 rpm dengan temperatur 180°C hingga terbentuk pelet sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pembuatan biokomposit

### B. Proses Injection molding

Pencetakan biokomposit dilakukan melalui proses *injection molding*, material yang digunakan pada mesin *injection molding* adalah pelet biokomposit dari proses ekstrusi. Hasil cetakan *injection molding* adalah spesimen pengujian tarik ASTM D 638-03 tipe V seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Injection molding

Parameter proses *injection molding* yang diteliti adalah 1) Pengaturan temperatur *barrel* yang berasal dari elemen pemanas untuk melelehkan material, 2) Tekanan Injeksi yang dibutuhkan oleh *screw* untuk mendorong cairan material kedalam rongga cetakan (*mold cavity*), 3) Tekanan tahan yang dibutuhkan oleh *screw* saat material sudah masuk kedalam *mold* yang bertujuan untuk memastikan bahwa material

terisi penuh pada  *mold*, 4) kecepatan injeksi yang merupakan jarak tempuh *srew* tiap satuan waktu untuk mendorong material masuk ke  *mold*. Dari empat parameter tersebut, maka masing-masing parameter divariasikan sebanyak 3 level sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Variasi temperatur parameter  *injection molding*

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
A	Temperatur Barrel (°C)	210	215	220
B	Tekanan Injeksi (bar)	50	55	60
C	Tekanan tahan (bar)	35	40	45
D	Kecepatan Injeksi (mm/s)	55	65	75

### C. Optimasi Metode Taguchi

Optimasi metode Taguchi digunakan untuk memperbaiki proses dan kualitas produk dari hasil pencetakan biokomposit. kualitas terbaik dapat dicapai dengan meminimalkan variabilitas proses disekitar nilai target dan menjadikan produk kokoh (*robust*) terhadap faktor *noise* [9]. Langkah-langkah dalam melakukan optimasi menggunakan metode Taguchi adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.** Rancangan eksperimen matriks orthogonal  $L_{27}$

No. Eksp	Parameter Proses			
	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

#### 1) Pemilihan Matriks *Orthogonal*

Pemilihan matriks *orthogonal* yang akan digunakan harus memiliki derajat kebebasan lebih besar dari pada total derajat kebebasan parameter proses/ faktor. Berdasarkan jumlah masing-masing faktor yang terdiri dari 3 level, maka rancangan matriks orthogonal yang digunakan adalah  $L_{27}$  ( $3^{13}$ ) [10]. Matriks ini terdiri dari 27 rancangan eksperimen dan 13 kolom faktor, namun pada penelitian ini hanya 4 kolom yang digunakan sesuai jumlah faktor yang diteliti karena interaksi masing faktor diabaikan. Adapun 4 kolom faktor yang digunakan adalah kolom 9, 10, 12 dan 13 sebagaimana anjuran pemilihan matriks orthogonal metode Taguchi, sehingga rancangan matriks orthogonal pada penelitian ini dapat ditampilkan pada Tabel 2.

#### 2) Menentukan Rasio S/N

Konsep rasio S/N (*Signal-to-Noise*) pada eksperimen digunakan untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan. Faktor gangguan tersebut merupakan faktor yang tidak dapat diprediksi. Rasio S/N diperoleh berdasarkan *mean squared deviation* (MSD) [11], yaitu simpangan kuadrat rerata dari nilai target berdasarkan tujuan atau karakteristik kualitas respon. Karakteristik respon rasio S/N yang digunakan pada penelitian ini adalah *larger is better* yaitu semakin besar semakin baik [12].

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

dengan,  $\eta$  adalah rasio S/N,  $n$  adalah jumlah pengulangan pengujian,  $y$  nilai respon dari pengulangan eksperimen ke- $i$  ( $i:1,2,3$ ).

#### 3) Menentukan Kombinasi Level Optimum

Kombinasi parameter  *injection molding* dapat diperoleh berdasarkan rerata dari rasio S/N dari masing-masing level faktor.

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta_k \quad (2)$$

dengan,  $\gamma_i$  adalah rerata kombinasi parameter/ faktor,  $\eta_k$  adalah rasio S/N ke  $k$  ( $k = 1$  s/d  $9$ ), sedangkan  $n$  adalah jumlah level yang sama dalam satu faktor yaitu sebanyak 9.

#### 4) Analisis Varians dan Persen Kontribusi

Analisis varians digunakan untuk menganalisis perbedaan rerata antara kelompok. Teknik ini tidak secara langsung menganalisis data, melainkan menentukan variabilitas (*varians*) dari faktor terkendali dan faktor yang tidak terkendali (*noise*) dari data penelitian. Walaupun demikian, analisis varians dapat digunakan untuk membantu mengidentifikasi pengaruh masing-masing faktor secara signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi faktor terhadap respon. Adapun untuk melakukan analisis varians dari masing faktor terhadap respon dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SS = n \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3)$$

$$MS = \frac{SS}{DF} \quad (4)$$

$$SS' = SS - DF \cdot MS_E \quad (5)$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (6)$$

dengan, *SS* (*sum of square*) yaitu jumlah kuadrat dari selisih antara level dan rerata level sehingga diperoleh *SST* yaitu total jumlah kuadrat, sedangkan *MS* (*mean of square*) adalah Jumlah kuadrat tengah yang merupakan perbandingan dari *SS* terhadap *DF* (*degree of freedom*). Adapun *SS'* adalah *sum of square* yang akan dihitung persen kontribusinya, sedangkan *MS<sub>E</sub>* merupakan rerata kuadrat dari faktor *error* yaitu faktor gangguan atau faktor lain yang ikut memberi kontribusi walaupun tidak diperhitungkan dalam penelitian. Dari analisis tersebut maka dapat diperoleh kontribusi dari masing-masing faktor [6], dengan menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{SS'_{faktor}}{SS_T} \times 100 \% \quad (7)$$

dengan,  $\rho$  adalah persen kontribusi, *SS'*<sub>faktor</sub> adalah jumlah kuadrat dari masing masing faktor yang terdiri dari temperatur *barrel*, tekanan injeksi, tekanan tahanan dan kecepatan injeksi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Data penelitian ini diolah berdasarkan metode Taguchi untuk memperoleh kombinasi parameter proses yang dapat memaksimalkan kekuatan Tarik.

#### A. Data Respon Percobaan

Respon dari penelitian ini adalah hasil uji tarik material biokomposit dengan urutan kombinasi 27 kali berdasarkan matriks ortogonal *L*<sub>27</sub>. Masing-masing kombinasi parameter proses direplikasi sebanyak 3 kali yaitu *y*<sub>1</sub>, *y*<sub>2</sub> dan *y*<sub>3</sub> dengan cara merandomisasi urutan proses dengan tujuan agar mengurangi adanya faktor gangguan (*noise*) yang terjadi saat mesin *injection molding* dioperasikan. Hasil perhitungan nilai Rasio S/N dari pengujian Tarik dengan karakteristik semakin besar semakin baik menggunakan persamaan (1) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Respon Kekuatan Tarik dan Rasio S/N

No. Eksp	kekuatan tarik (MPa)			Rasio S/N
	<i>y</i> <sub>1</sub>	<i>y</i> <sub>2</sub>	<i>y</i> <sub>3</sub>	
1	30.46	30.19	30.21	29.6248
2	28.86	27.98	28.84	29.1124
3	28.62	29.48	29.06	29.2620
4	30.57	29.70	29.68	29.5351
5	28.18	28.28	28.24	29.0152
6	30.32	30.96	29.98	29.6609
7	29.10	28.70	28.90	29.2175
8	30.58	30.48	30.38	29.6802
9	29.19	29.82	29.92	29.4370
10	28.70	29.24	28.86	29.2272
11	28.86	28.44	28.62	29.1390
12	29.97	30.28	30.38	29.6026
13	29.77	29.30	29.52	29.4047
14	30.58	30.16	30.38	29.6494
15	28.22	27.52	28.02	28.9169
16	30.36	30.76	30.26	29.6739
17	28.81	28.76	28.77	29.1818
18	30.54	30.13	30.53	29.6570
19	28.28	27.65	27.98	28.9327
20	30.58	30.32	30.38	29.6649
21	30.53	30.50	30.24	29.6639
22	30.58	30.58	30.38	29.6897
23	27.57	28.07	27.97	28.9020
24	30.34	30.24	30.74	29.6682
25	28.96	28.76	28.86	29.2058
26	30.35	30.08	30.18	29.6009
27	28.18	27.65	27.98	28.9227

Berdasarkan nilai Rasio S/N sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3, maka diperoleh kombinasi masing-masing faktor dari rerata faktor yang levelnya sama, sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan (2) dengan hasil sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.

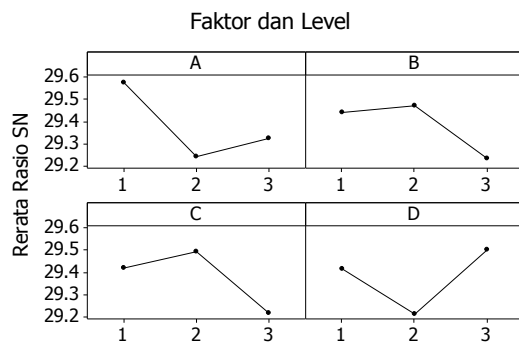
#### B. Parameter Optimum

Pada penelitian ini, yang dimaksud dengan parameter optimum adalah kombinasi parameter proses *injection molding* yang dapat memperoleh kekuatan tarik tertinggi. Kekuatan

tarik tertinggi diperoleh berdasarkan nilai maksimum rerata rasio S/N yang tertera pada Tabel 4, yaitu A=29.574, B=29.468, C=29.498 dan D=29.506. Sehingga dapat ditentukan level-level dari masing faktor yang menghasilkan respon optimum sebagai mana ditampilkan pada Gambar 3.

**Tabel 4.** Nilai Rerata Rasio S/N

Level	Parameter Proses			
	A	B	C	D
1	<b>29.574</b>	29.438	29.423	29.418
2	29.242	<b>29.468</b>	<b>29.498</b>	29.215
3	29.322	29.233	29.218	<b>29.506</b>
Selisih	0.332	0.235	0.279	0.290
Rank	1	4	3	2
Rerata Total	29.3796			



**Gambar 3.** Grafik Rasio S/N untuk level dan faktor parameter *injection molding*

Dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 3, maka diperoleh kombinasi faktor yg menghasilkan respon optimum dengan karakteristik semakin besar semakin baik (*larger is better*) yaitu  $A_1B_2C_2D_3$  sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** kombinasi factor dan level yg menghasilkan respon optimum

Faktor	Parameter Proses	Level Optimum	Setting Parameter
A	Temperatur <i>Barrel</i>	1	210°C
B	Tekanan Injeksi	2	55 Bar
C	Tekanan tahan	2	40 Bar
D	Kecepatan Injeksi	3	75 mm/det

### C. Analisis Varians dan Persen Kontribusi

Untuk menganalisis perbedaan rerata variabilitas (*varians*) dari faktor/ parameter *injection molding* yang terkendali maupun faktor yang tidak terkendali dari data rasio S/N, maka digunakan ANOVA (*Analysis of variance*) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Analisis Varians dan Persen Kontribusi

Parameter	DF	SS	MS	SS'	F	P-value	Cont
A	2	0.5406	0.2703	0.4772	8.54	0.002	21.9%
B	2	0.2938	0.1469	0.2305	4.64	0.024	10.6%
C	2	0.3764	0.1882	0.3131	5.94	0.010	14.4%
D	2	0.3990	0.1995	0.3357	6.30	0.008	15.4%
Residual Error	18	0.5700	0.0317	0.8233			37.8%
Total	26	2.1799					100%

Untuk menduga pengaruh dari masing-masing parameter proses/faktor terhadap respon kekuatan tarik, maka dinyatakan hipotesa sebagai berikut:

$H_0$ : Faktor tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

$H_1$ : Faktor berpengaruh terhadap kekuatan tarik  
Kriteria penolakan adalah: Tolak  $H_0$  jika  $p$ -value  $< \alpha$ , dengan nilai  $\alpha = 0.05$ .

Berdasarkan analisis variansi yang ditampilkan pada Tabel 6, maka dapat diketahui pengaruh dari masing-masing faktor sebagai berikut:

- Faktor Temperatur *Barrel* memperoleh  $p$ -value lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0.002. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan impact secara serentak. Adapun kontribusi yang diberikan oleh faktor Temperatur *Barrel* lebih besar dari faktor lainnya yaitu 21.9%.
- Faktor Tekanan Injeksi memperoleh  $p$ -value lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0.024. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik. Kontribusi yang diberikan oleh faktor Tekanan Injeksi terhadap respon adalah sebesar 10.6%.
- Faktor Tekanan Tahan memperoleh  $p$ -value lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0.010. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik. Kontribusi yang diberikan oleh faktor Tekanan Tahan terhadap respon adalah sebesar 14.4%.
- Faktor Kecepatan Injeksi memperoleh nilai  $p$ -value lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0.008. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik. Kontribusi yang diberikan oleh faktor

*injection velocity* terhadap respon adalah sebesar 15.4%.

Secara keseluruhan dapat dinyatakan bahwa semua faktor yang divariasikan pada percobaan ini berpengaruh signifikan terhadap respon kekuatan tarik. Selain itu, kontribusi yang diberikan oleh ke-empat faktor tersebut sebesar 62.2%, sedangkan kontribusi *error* sebesar 37.8%.

#### D. Percobaan Konfirmasi

Pada percobaan konfirmasi, dilakukan kembali proses cetakan injeksi dengan menggunakan kombinasi parameter dan level terpilih yang menghasilkan respon optimum sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa kombinasi dari parameter tersebut *valid*. Percobaan konfirmasi dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Percobaan Konfirmasi berdasarkan Kombinasi Faktor dan Level Optimum

Faktor & level optimum	Replikasi ke-	Kekuatan tarik (Mpa)	Rasio S/N
$A_1B_2C_2D_3$	1	30.38	29.6932
	2	30.40	
	3	30.42	
	4	30.44	
	5	31.00	

Dari hasil percobaan konfirmasi diperoleh rasio S/N sebesar 29.6932, dimana nilainya lebih tinggi bila dibandingkan dengan S/N rasio yang ada pada rancangan eksperimen pendahuluan yang ditampilkan pada Tabel 3. Hal ini membuktikan bahwa kombinasi  $A_1B_2C_2D_3$  adalah kombinasi faktor dan *level* optimum yang *valid* untuk memperoleh kekuatan Tarik maksimum.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil optimasi menggunakan metode Taguchi diperoleh bahwa pengaturan parameter *injection molding* yang dapat menghasilkan kekuatan tarik maksimum pada material biokomposit adalah kombinasi faktor dan level  $A_1B_2C_2D_3$ , sedangkan kombinasi faktor tersebut tidak ada ditampilkan pada rancangan matriks orthogonal  $L_{27}$ . Hal ini membuktikan bahwa rancangan percobaan yang dilakukan sebanyak 27 kali tersebut sudah mampu mewakili percobaan yang seharusnya 81 kali percobaan, karena jumlah faktor pada

penelitian ini ada 4 dan masing-masing faktor terdiri dari 3 level.

Berdasarkan analisis varians data penelitian diperoleh bahwa masing-masing faktor/parameter *injection molding* memperoleh *p-value* lebih kecil dari  $\alpha$ , sedangkan nilai  $\alpha$  yang ditetapkan sebesar 0.05. Hal ini menyatakan bahwa semua faktor berpengaruh *significant* terhadap respon dengan total kontribusi sebesar 62.2%, tetapi bila dilihat dari persentase kontribusi *error* sebesar 37.8% penulis masih menduga adanya faktor *noise* ataupun faktor lain yang berinteraksi terhadap masing-masing faktor sehingga mempengaruhi respon yang belum diperhitungkan pada penelitian ini. Faktor *noise* yang dimaksud pada penelitian ini adalah faktor-faktor gangguan dari mesin *injection molding* saat beroperasi.

#### Referensi

- [1] P. Jearanaisilawong, S. Eahkanong, B. Phungsara, and A. Manonukul, "Determination of in-plane elastic properties of rice husk composite," *J. Mater.*, vol. 76, pp. 55–63, 2015.
- [2] S. Yeh, C. Hsieh, H. Chang, C. C. C. Yen, and Y. Chang, "Composites: Part A 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*, vol. 68, pp. 313–322, 2015.
- [3] Groover, M.P, *Fundamentals of modern manufacturing*, 4 th edition, USA, john wiley & sons inc, 2010
- [4] D. Bhattacharya and B. Bepari, "Feasibility study of recycled polypropylene through multi response optimization of injection moulding parameters using grey relational analysis," *Procedia Eng.*, vol. 97, pp. 186–196, 2014.
- [5] E. Kuram, E. Tasci, A. Ihsan, M. Metin, F. Yilmaz, and B. Ozelik, "Materia ls and Design Investigating the effects of recycling number and injection parameters on the mechanical properties of glass-fibre reinforced nylon 6 using Taguchi method," *Mater. Des.*, vol. 49, pp. 139–150, 2013.
- [6] B. Kc, O. Faruk, J. A. M. Agnelli, A. L. Leao, J. Tjong, and M. Sain, "Composites: Part A Sisal-glass fiber hybrid biocomposite: Optimization of *injection molding* parameters using Taguchi method for reducing shrinkage," 2015.

- 
- [7] J. Yeh and T. Tsai, "Microelectronics Reliability Optimizing the fine-pitch copper wire bonding process with multiple quality characteristics using a grey-fuzzy Taguchi method," *Microelectron. Reliab.*, vol. 54, no. 1, pp. 287–296, 2014.
- [8] A. D. L. Subasinghe, R. Das, and D. Bhattacharyya, "Fiber dispersion during compounding / injection molding of PP / kenaf composites: Flammability and mechanical properties," *JMADE*, vol. 86, pp. 500–507, 2015.
- [9] Pyzdek, T, and Keller, Paul A, "Quality Engineering Handbook," Second Edition, Marcel Dekker, Newyork, 2003.
- [10] Ross, P. J, Taguchi Techniques for Quality Engineering, Taiwan, McGraw-Hill Companies, Inc., 2008.
- [11] Roy, Ranjit K., Design of Experiments Using The Taguchi Approach, John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- [12] B. S. Raju, U. C. Sekhar, and D. N. Drakshayani, "Optimizing Multiple Quality Characteristics of Stereolithography Process via Taguchi Method-based Grey Analysis for SL5530 Epoxy Resin Material to Enhance Part Quality," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 5, pp. 2532–2541, 2014.