



Optimasi Parameter Proses Injeksi Molding Material Biokomposit Serat Sisal dan Polypropylene Terhadap kekuatan Impak

Rahmat Basya Shahrys Tsany^{1*}, Mar'atus Sholihah², Ridhani Anita Fajardini³, Mahasin Maulana Ahmad⁴, Alief Nur Aisyi Maulidia⁵, Abdillah Fashiha Ilman⁶

^{1,2,3,4,5} Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia.

⁶Politeknik Negeri Madura, Jalan Raya Camplong KM.4, Sampang, 69281, Indonesia

*Corresponding author: rahmatbasya@ppns.ac.id

ARTICLE INFO

Received: 30-09-2025
Revision: 03-10-2025
Accepted: 07-10-2025

Keywords:
Biocomposite
Sisal Fiber
Taguchi

ABSTRACT

The demand for environmentally friendly materials has driven the utilization of natural fiber-based biocomposites as an alternative engineering material. This study aims to optimize the injection molding process parameters of polypropylene (PP)-sisal fiber biocomposites with the aid of maleic anhydride polypropylene (MAPP) as a compatibilizer. The research scope covers the effect of process parameter variations on the mechanical properties, particularly impact strength. The composite material consists of 85% PP, 10% sisal fiber, and 5% MAPP, which were extruded into pellets prior to processing using an injection molding machine. Optimization was carried out using the Taguchi method with an L9 (3⁴) orthogonal array design. Four main parameters were investigated: barrel temperature (200°C, 210°C, 220 °C), injection pressure (50 bar, 55 bar, 60 bar), holding pressure (40 bar, 45 bar, 50 bar), and injection velocity (60 mm/s, 65 mm/s, 70 mm/s). The response variable was impact strength (kJ/m²) according to ASTM D256-04 standards, while other parameters were kept constant. Data were analyzed using the Signal-to-Noise Ratio (S/N ratio) with the "larger-the-better" criterion to obtain the optimum condition. The results showed that the optimum parameter combination A1B3C3D2 (200 °C, 60 bar, 50 bar, 65 mm/s) provided the best response, as this combination yielded the highest Signal-to-Noise ratio with a more stable impact performance. Under these conditions, the material flowed well into the mold, fiber distribution was uniform, and stronger bonding occurred between fiber and matrix, thereby enhancing the mechanical properties.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan material berbasis serat alam terus meningkat seiring dengan tuntutan akan material yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Biokomposit hadir sebagai alternatif material modern karena mampu mengurangi ketergantungan pada serat sintetis sekaligus menawarkan sifat mekanik yang kompetitif. Salah satu polimer termoplastik yang banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah polypropylene (PP). Material ini digemari karena ringan, mudah diproses, serta memiliki sifat mekanik yang cukup baik. PP banyak diaplikasikan dalam produk otomotif, peralatan rumah tangga, hingga pelindung kepala seperti helm. Meski demikian, PP memiliki kelemahan pada ketangguhan impak yang relatif rendah, sehingga memerlukan modifikasi agar sesuai untuk aplikasi yang menuntut sifat tahan benturan tinggi. Pemanfaatan serat terpotong sering dijadikan pilihan dalam memperkuat komponen plastik cetak, karena lebih mudah disesuaikan dengan proses pencetakan plastik [1]

Integrasi serat alam ke dalam matriks PP merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kinerjanya. Serat sisal menonjol karena kekuatan tariknya tinggi, bobotnya ringan, serta mudah diperoleh. Penambahan serat sisal ke dalam PP berpotensi menghasilkan material biokomposit yang tidak hanya kuat dan kaku, tetapi juga lebih ramah lingkungan.

Untuk meningkatkan ikatan antar muka serat–matriks, penggunaan *compatibilizer* seperti *maleic anhydride grafted polypropylene* (MAPP) telah terbukti memperbaiki adhesi dan distribusi tegangan dalam komposit.

Dalam skala industri, *injection molding* merupakan salah satu metode pemrosesan utama untuk termoplastik karena mampu menghasilkan produk dengan bentuk kompleks dalam waktu siklus yang singkat. Akan tetapi, kualitas biokomposit yang diproduksi sangat bergantung pada parameter proses, seperti suhu leleh, tekanan injeksi, kecepatan injeksi, serta waktu penahanan. Parameter ini memengaruhi aliran *melt*, orientasi serat, distribusi serat dalam matriks, hingga sifat mekanik dan dimensi produk akhir.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji hal ini. Beberapa di antaranya menekankan bahwa lemahnya ikatan antar muka dan potensi pemutusan serat dapat diatasi melalui penggunaan *compatibilizer* serta pengaturan parameter proses yang tepat [2]. Studi lain menunjukkan bahwa urutan pencampuran serta kondisi ekstrusi memengaruhi sifat mekanik dan ketahanan termal biokomposit PP–sisal, sehingga pemrosesan tidak kalah penting dibanding komposisi material [3]. Penelitian tentang komposit PP bertulang serat pendek juga mengungkapkan bahwa temperatur leleh, tekanan injeksi, dan waktu pendinginan menentukan orientasi serat sekaligus penyusutan material [4]. Secara eksperimental, penambahan serat sisal pada PP terbukti meningkatkan modulus elastisitas namun menurunkan ketangguhan impak pada fraksi serat tinggi [5]. Dalam konteks aplikasi otomotif, dibutuhkan kombinasi *compatibilizer* dan parameter proses yang terkontrol agar produk memenuhi standar performa [6].

Metode optimasi statistik, seperti Taguchi maupun *Response Surface Methodology* (RSM), telah digunakan untuk menentukan kombinasi parameter injeksi yang paling berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit [7]–[9]. Penelitian lain juga menegaskan bahwa kecepatan injeksi dan kondisi aliran *melt* sangat menentukan distribusi serat, yang berpengaruh langsung pada sifat mekanik produk akhir [10]. Selain itu, tinjauan terkini menyoroti perlunya pendekatan holistik yang meliputi perlakuan serat, penggunaan *compatibilizer*, serta optimasi proses untuk menghasilkan biokomposit PP–sisal yang konsisten pada skala industri [11]. Variasi *barrel temperature*, *injection pressure*, *holding pressure*, dan *injection velocity* dapat dioptimalkan dengan rancangan ortogonal Taguchi untuk meningkatkan kekuatan tarik biokomposit berbasis polypropylene [12]. Penelitian lain melaporkan bahwa pada komposit *polypropylene/fiberglass*, faktor *cooling time* dan *injection time* lebih dominan terhadap kekuatan tarik dibandingkan *melt temperature* maupun *holding pressure* [13].

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa meskipun banyak penelitian telah dilakukan, masih diperlukan kajian lebih lanjut mengenai optimasi parameter *injection molding* pada biokomposit PP–sisal. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada penerapan metode Taguchi untuk menentukan kondisi proses yang optimal, sehingga dapat diketahui parameter yang paling berpengaruh serta kontribusinya terhadap peningkatan sifat impak biokomposit berbasis serat sisal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan material biokomposit berbasis *polypropylene* (85%), serat sisal (10%), dan MAPP (5%) sebagai *compatibilizer*. Campuran diekstrusi menjadi pelet, kemudian diproses dengan *injection molding* untuk mencetak spesimen uji impak sesuai standar ASTM D256-04, seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Spesimen injeksi Uji Impak

Optimasi parameter proses dilakukan menggunakan metode Taguchi dengan rancangan ortogonal L9 (3^4). Empat parameter proses yang diteliti yaitu *barrel temperature* (200 °C, 210 °C, 220 °C), *injection pressure* (50 bar, 55 bar, 60 bar), *holding pressure* (40 bar, 45 bar, 50 bar), dan *injection velocity* (60 mm/s, 65 mm/s, 70 mm/s). Setiap parameter terdiri atas tiga level, dengan total percobaan = 27 kombinasi (sesuai dengan desain ortogonal Taguchi L27), Respon yang diamati adalah nilai *impact strength*. Respon yang diamati adalah kekuatan impak (kJ/m^2), sedangkan parameter

konstan meliputi *clamping force* (15,27 ton), *nozzle temperature* (210 °C), *holding time* (15 s), *injection time* (2,2 s), dan *cooling time* (17,43 s).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 dibawah ini adalah data hasil eksperimen dengan 1 kali replikasi, terdapat 27 kombinasi parameter.

Tabel 1. Data Hasil Eksperimen

KOMBINASI NO.	Barrel Temperature (°C)	Injection Pressure (Bar)	Holding Pressure (Bar)	Injection velocity (mm/s)	Impact Strength (kJ/m ²)
1	200	50	40	60	4.7915
2	200	50	40	60	3.1240
3	200	50	40	60	3.5150
4	200	55	45	65	4.3815
5	200	55	45	65	3.0995
6	200	55	45	65	3.8915
7	200	60	50	70	3.5095
8	200	60	50	70	4.1970
9	200	60	50	70	5.0000
10	210	50	45	70	3.2155
11	210	50	45	70	2.8640
12	210	50	45	70	4.6880
13	210	55	50	60	4.0190
14	210	55	50	60	4.8280
15	210	55	50	60	2.3875
16	210	60	40	65	4.4755
17	210	60	40	65	3.7050
18	210	60	40	65	4.4300
19	220	50	50	65	3.0545
20	220	50	50	65	4.6115
21	220	50	50	65	4.4700
22	220	55	40	70	3.7175
23	220	55	40	70	2.2910
24	220	55	40	70	4.4300
25	220	60	45	60	4.3245
26	220	60	45	60	4.7170
27	220	60	45	60	3.0560

Dari hasil percobaan kemudian dianalisis dengan metode taguchi yaitu SN Ratio. Karakteristik kualitas untuk respon impak adalah semakin besar semakin baik. Hasil dari *S/N ratio* ditunjukkan pada Tabel 2 sedangkan Tabel 3 menunjukkan data rata-rata dari percobaan.

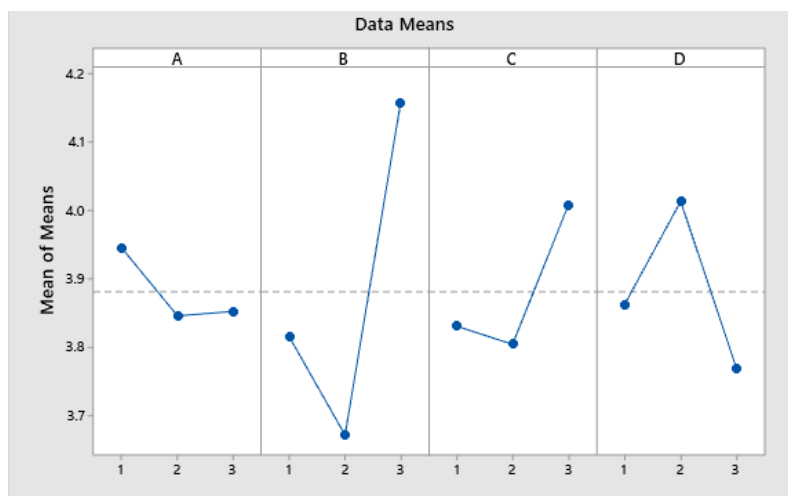
Tabel 2. *Signal to Noise Ratios (S/N)*

Level	A	B	C	D
1	11,59	11,14	11,13	11,05
2	11,07	10,47	11,17	11,78
3	11,04	12,09	11,41	10,88
Delta	0,59	1,63	0,28	0,91
Rank	3	1	4	2

Tabel 3. Data Means

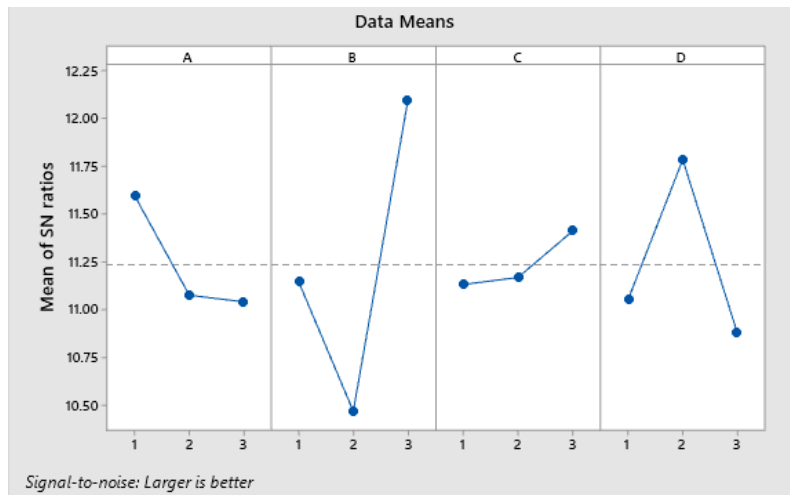
Level	A	B	C	D
1	11,59	11,14	11,13	11,05
2	11,07	10,47	11,17	11,78
3	11,04	12,09	11,41	10,88
Delta	0,59	1,63	0,28	0,91
Rank	3	1	4	2

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa level yang memberikan nilai optimum adalah A1 B3 C3 D2. Nilai tertinggi dari tabel tersebut menunjukkan kombinasi parameter memenuhi kondisi optimum.

**Gambar 2.** Main Effects Plot for Means

Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan perubahan nilai respon berdasarkan parameter proses yang digunakan. Semakin rendah nilai barrel temperatur menghasilkan nilai dampak maksimum. Sedangkan untuk *injection pressure* dan *holding pressure* semakin tinggi mengalami penurunan nilai dampak kemudian meningkat kembali saat *holding pressure* maupun *injection* meningkat. *Injection velocity* meningkat meningkatkan nilai dampak akan tetapi nilai dampak mengalami penurunan saat nilai *injection velocity* pada nilai tertinggi.

Nilai-nilai tertinggi pada setiap level parameter proses menunjukkan kondisi untuk mencapai nilai optimum. Hasil tersebut sesuai dengan tabel 2 S/N ratio yaitu kondisi optimum pada kombinasi adalah A1 B3 C3 D2 yaitu *barrel temperature* dengan nilai 200°C, *injection pressure* sebesar 60 bar, *holding pressure* sebesar 50 bar, dan *injection velocity* dengan nilai 65 mm/det



Gambar 3. Main Effects Plot For SN Ratio

Dari hasil Analisa diatas Faktor yang paling berpengaruh adalah *injection Pressure* (B), dikarenakan Dari analisis *Signal to Noise ratio* dan *Means*, faktor B memiliki nilai delta tertinggi (1,63 dan 0,485). Ini menunjukkan perubahan level tekanan injeksi memberikan variasi terbesar terhadap nilai dampak. Secara fisik, hal ini logis karena tekanan injeksi berperan penting dalam mengisi cetakan secara sempurna dan meminimalkan. Tekanan yang optimal menghasilkan distribusi serat dan matriks yang lebih merata, sehingga meningkatkan kekuatan dampak. Disusul Faktor kedua yang berpengaruh adalah *injection velocity* (D) dikarenakan Kecepatan injeksi menentukan seberapa cepat material masuk ke dalam cetakan. Jika terlalu rendah, pengisian tidak merata dan dapat menyebabkan cacat *short shot*. Jika terlalu tinggi, bisa menimbulkan orientasi serat berlebihan atau degradasi termal. Level optimum (65) memberikan keseimbangan antara pengisian yang cepat namun tetap menjaga kualitas material, sehingga kekuatan dampak lebih tinggi. Perubahan suhu *barrel* maupun tekanan penahanan tidak banyak memengaruhi nilai dampak, hal ini disebabkan karena parameter injeksi terutama berdampak pada densitas dan penyusutan, sedangkan kontribusinya terhadap kekuatan dampak relatif kecil [14]. Demikian pula, pengaruh *holding pressure* lebih dominan pada pengisian rongga dan pengurangan penyusutan volumetrik dibandingkan peningkatan ketangguhan dampak [15]. Secara teknis, ini karena rentang suhu yang digunakan (200–220°C) masih dalam batas yang aman bagi pencairan material, sehingga tidak menimbulkan degradasi signifikan. Begitu juga dengan *holding pressure*, efeknya lebih dominan terhadap penyusutan atau densitas, bukan pada sifat dampak.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian pengujian material biokomposit dengan campuran 85% *polypropylene*, 10% serat sisal, dan 5% *maleic anhydride polypropylene*, kemudian material tersebut di campur menggunakan alat ekstruder dan dicetak dengan specimen uji dampak sesuai standar ASTM D256-04 dengan mesin injeksi molding kemudian dilakukan optimasi parameter dengan metode Taguchi didapat kombinasi parameter optimum *barrel temperature* 200°C, *Injection Pressure* 60 bar, *Holding pressure* 50 bar, dan *injection velocity* 65 mm/det) memberikan respon terbaik, dikarenakan Kombinasi ini dipilih karena menghasilkan *Signal to Noise ratio* tertinggi dengan respon dampak yang lebih stabil. Pada kondisi ini, material mengalir dengan baik ke dalam cetakan, distribusi serat merata, dan terjadi ikatan yang lebih kuat antara serat dan matriks, sehingga meningkatkan sifat mekanik.

REFERENCES

- [1] D. Kusic, U. Božić, M. Monzón, R. Paz, and P. Bordón, "Thermal and mechanical characterization of banana fiber reinforced composites for its application in injection molding," *Materials*, vol. 13, no. 16, p. 3581, 2020, doi: 10.3390/ma13163581.
- [2] M. S. Rabbi, J. Kahouli, J. P. Riviere, and S. F. Hosseini, "Injection-molded natural fiber-reinforced polymer composites: processing and performance review," *Journal of Composites Science*, vol. 5, no. 8, pp. 1–25, 2021.
- [3] Z. Wang, L. Chen, J. Huang, H. Liu, and Y. Huang, "Sisal-fiber-reinforced polypropylene flame-retardant composites: Influence of compounding sequence on performance," *Polymers*, vol. 15, no. 10, pp. 1–16, 2023.
- [4] T. Höftberger, G. Zitzenbacher, and C. Burgstaller, "Influence of processing parameters in injection molding on the properties of short carbon and glass fiber reinforced polypropylene composites," *Polymers*, vol. 16, no. 2, pp. 1–17, 2024.
- [5] D. Tesfay, M. Seyoum, and H. Kebede, "Mechanical properties of sisal fibre/polypropylene composites produced by plunger injection moulding," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 11, no. 3, pp. 45–52, 2022.

- [6] R. A. P. Fernandes, L. C. Pereira, and J. L. Rosa, "Bio-based composites for light automotive parts: Polypropylene reinforced with sisal fibers," *Sustainability*, vol. 14, no. 9, pp. 1–12, 2022.
- [7] A. A. Adediran, A. A. Akinlabi, M. O. Bodunrin, and E. T. Akinlabi, "Mechanical and optimization studies of polypropylene composite reinforced with natural fibers," *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, 2022.
- [8] Y. Ryu, S. H. Park, and H. J. Kim, "Shrinkage optimization in talc- and glass-fiber-reinforced polypropylene composites using design of experiments," *Materials*, vol. 12, no. 24, pp. 1–15, 2019.
- [9] B. KC, R. P. Babu, and S. N. Maiti, "Optimization of injection molding parameters using Taguchi method for sisal-glass fiber reinforced polypropylene composites," *Composites Part B: Engineering*, vol. 98, pp. 1–10, 2016.
- [10] A. Elsabbagh, A. H. Abdelkareem, and T. R. Taha, "Flow behaviour and fibre distribution models of injected natural-fibre polypropylene composites," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 267, pp. 216–225, 2019.
- [11] A. Pokharel, J. Yang, and M. A. Khan, "Biobased polymer composites: A review," *Polymers*, vol. 14, no. 22, pp. 1–20, 2022.
- [12] Sufiyanto, "Optimization of Injection molding Parameters using the Taguchi Method to Maximize Biocomposite Material Tensile Strength," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 81–87, 2017.
- [13] M. Ali, N. Idayu, M. Salleh, S. Sivaraos, and M. Yamaguchi, "OPTIMIZATION OF INJECTION MACHINE PARAMETERS ON HIGH TENSILE STRENGTH OF POLYPROPYLENE/FIBREGLASS", *JAMT*, vol. 16, no. 3, Dec. 2022.
- [14] J. Wang, Q. Mao, N. Jiang, dan J. Chen, "Effects of Injection Molding Parameters on Properties of Insert-Injection Molded Polypropylene Single-Polymer Composites," *Polymers*, vol. 14, no. 1, art. no. 23, Dec. 2021. doi: 10.3390/polym14010023.
- [15] O. Zöllner, *The Fundamentals of Shrinkage in Thermoplastics*, Covestro Deutschland AG, Leverkusen, Germany, 2016.