



# The Effect Of Injection Temperature Variation On The Design Of Molding Injection Molding For Particulate Composite Products

Ridhwan Haliq<sup>1\*</sup>, Alfian Djafar<sup>2</sup>, Gad Gunawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia

## ABSTRACT

The injection molding machine designed in this study is equipped with a minimalist shape so that it can support small industries in processing plastic waste into useful products. The material used in the processing of plastic, in general, is a type of polymer that is difficult to decompose so in this study Poly Lactic-Acid (PLA) is used as the type of biopolymer which can be easily decomposed by the environment. Coffee powder waste which can pollute the environment is being innovated by blending PLA, which is applied to particulate composite. This study aims to be able to design, injection molding machines and the effect of injection machine temperatures on the results of products particulate composite from PLA and coffee powder waste. The study began with the determination of the dimensions of the injection element, namely the plunger with a diameter of 3.5 cm and a length of 12 cm. the Barrel inside diameter of 3.5 cm and 3 mm thick and the nozzle with an output diameter of 5 mm. Simulations are performed to obtain the stresses that occur on the injection element mounting plate of 210 N/mm<sup>2</sup> and the safety factor obtained is 12. The minimum force required to inject the melted material is 10 N. In this study, the best results were obtained at the injection temperature conditions of 170 °C with the lowest product defect results

## ABSTRAK

Mesin *injection molding* yang dirancang pada penelitian ini dilengkapi dengan bentuk yang minimalis sehingga dapat mendukung industri kecil dalam pengolahan limbah plastik menjadi produk bernilai guna. Material yang digunakan dalam pemrosesan plastik pada umumnya ialah jenis polimer yang sulit teruraikan sehingga digunakan jenis biopolimer Poly Lactic-Acid (PLA) pada penelitian ini dimana dapat mudah terurai oleh lingkungan. Limbah bubuk kopi yang dapat mencemarkan lingkungan kemudian dilakukan inovasi dengan dicampur PLA yang diaplikasikan menjadi *particulate composite*. Penelitian ini bertujuan untuk dapat merancang mesin injection molding dan pengaruh temperatur injeksi mesin terhadap hasil produk particulate composite dari PLA dan limbah bubuk kopi. Penelitian ini dimulai dengan penentuan dimensi elemen injeksi yaitu pada plunger dengan diameter 3,5 cm dan panjang 12 cm. Barrel dengan diameter dalam 3,5 cm dan tebal 3 mm dan *nozzle* dengan diameter keluaran 5 mm. Dilakukan simulasi dengan memperoleh tegangan yang terjadi pada pelat dudukan elemen injeksi sebesar 210 N/mm<sup>2</sup> dan faktor keamanan yang diperoleh sebesar 12. Gaya minimal yang dibutuhkan untuk menginjeksikan material yang dilelehkan ialah sebesar 10 N. Dalam penelitian ini didapatkan hasil yang terbaik pada kondisi temperatur injeksi 170 °C dengan hasil cacat produk yang paling rendah

## CONTACT

ridhwanhaliq@lecturer.itk.ac.id

## KEYWORDS

Injection molding, Poly lactic-acid, Temperature

Received: 06/02/2022

Revised: 28/02/2022

Accepted: 31/03/2022

Online: 27/04/2022

Published: 30/04/2022



Risenologi is licenced under a [Creative Commons Attribution 4.0 International Public Licence \(CC-BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## PENDAHULUAN

Dalam dunia industri pengolahan sampah plastik salah satu kegiatan banyak kita jumpai (Kamsiati, Herawati, & Purwani, 2017). Metode yang banyak digunakan pada industri plastik yaitu *injection molding*. *Injection molding* adalah proses pembentukan plastik dengan cara penyuntikkan lelehan material plastik pada mold yang akan membentuk fitur produk menurut Giang dkk (2021). Manfaat adanya proses *injection molding* yaitu mengurangi sampah plastik

yang sulit terdegradasi dan menghasilkan produk yang bernilai guna dan mengurangi dampak masalah lingkungan (Ni'am dkk, 2017). Proses *injection molding* dapat dibentuk dan diolah dengan baik namun mesin *injection molding* konvensional memiliki harga yang mahal dan biaya *maintenance* yang mahal. Penggunaan mesin *injection molding* konvensional hanya digunakan pada industri besar menurut (Mawardi, 2015) sehingga untuk mendukung industri kecil dilakukan inovasi mesin *injection molding* dengan harga dan biaya *maintenance* yang relatif murah. *Injection molding* sebagai proses yang memiliki kelebihan dibanding proses produksi lainnya antara lain, tidak ada batasan kerumitan desain produk, sehingga dapat menghasilkan variasi produk yang luas, ukuran produk yang dapat dicetak dari produk kecil hingga besar, dan proses ini juga dapat menghasilkan produk dengan tingkat kepresisian yang baik menurut (Kamsiati dkk., 2017).

Penggunaan plastik di kehidupan sehari-hari dapat ditemui dari skala sederhana seperti perabotan rumah tangga sampai sektor industri. Dampak yang ditimbulkan dari penggunaan plastik tersebut dapat mendorong peningkatan limbah plastik secara nasional maupun global. Untuk mengatasi permasalahan tersebut ilmuwan dunia kemudian menemukan plastik dari bahan baku yang dapat diperbaharui (*bioplastic*) (Hastarina, Masruri, & Saputra, 2019) dan dapat terdegradasi (*biodegradable*) salah satunya adalah *Poly lactic-acid* (PLA). *Poly lactic-acid* (PLA) merupakan jenis plastik yang sering diaplikasikan pada bidang medis, komposit dan packaging industry (Mallick, 2017) dan material polimer ini dapat diuraikan kembali. PLA memiliki ikatan (*bonding*) yang kuat untuk dijadikan material komposit (Lim, On, Kim, Bang, & Kim, 2021), sehingga dapat mengurangi cacat pada permukaan dan bagian dalam produk material. Selain dari limbah plastik jumlah konsumsi kopi di Indonesia juga dapat menimbulkan limbah bubuk kopi. Limbah bubuk kopi dapat mengakibatkan pencemaran dan kontaminasi lingkungan apabila dibuang ke sembarang tempat. Diperlukan pengolahan limbah bubuk kopi untuk dapat digunakan kembali menjadi kebutuhan beragam lainnya. Solusi dari dua permasalahan limbah di atas dapat diaplikasikan menjadi suatu bahan campuran dari dua material yang berbeda yang disebut *particulate composite* dengan PLA sebagai penguat dan limbah bubuk kopi sebagai pengikat.

Pemrosesan plastik jenis PLA sangat perlu diperhatikan beberapa parameter operasi salah satunya temperatur injeksi. Temperatur injeksi sangat berpengaruh terhadap kualitas produk dari dimensi maupun tampilan produk. Semakin rendah temperatur injeksi terhadap temperatur leleh maka kecenderungan cacat yang terjadi semakin besar menurut (Mawardi, 2015). Cacat pada produk disebut dengan *hole* (Giang dkk., 2021). Salah satu cara untuk memecahkan permasalahan tersebut adalah melalui penelitian yang berbasis riset rancang bangun mesin *injection molding* dengan menggunakan polimer *Poly lactic-acid* (PLA) dan limbah bubuk kopi yang diaplikasikan menjadi *particulate composite*.

## METODE

Untuk menghasilkan produk *particulate composite* dari limbah bubuk kopi dengan tambahan PLA (Aup-Ngoen & Noipitak, 2020), serta pengaruh temperatur operasi terhadap *holding time* Peneliti dalam mengerjakan penelitian menggunakan material yang digunakan pada struktur rangka ini adalah ASTM A36 (American Society for Testing and Materials with Ultimate Tensile Strength 400-550 MPa dan Yield Tensile Strength 250 MPa). Band Heater digunakan sebagai pemanas saat diinjeksi dengan spesifikasi material *stainless steel* 316, diameter 35 mm, rated power 120 W dan voltage sebesar AC 220V. *Temperature controller* menggunakan tipe IL-80EN/400°C. Bahan yang digunakan adalah PLA dan ampas serbuk kopi.

Penelitian dilakukan dengan menentukan dimensi alat pada kerangka utama dan pada elemen injeksi yaitu pada *plunger* serta penentuan material untuk dapat merancang mesin *injection molding* yang minimalis dengan biaya perawatan yang murah. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan hasil perancangan dan menganalisis struktur pada mesin *injection molding*. Selanjutnya, perancangan yang telah direncanakan dilakukan proses pembuatan komponen alat sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan. Mesin *injection molding* yang telah dibuat dilakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap hasil produk PLA dan *particulate composite* yang dihasilkan.

Perhitungan menentukan dimensi dari *plunger* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$d_{plunger} = \sqrt{\frac{4m}{\pi\rho l}} \quad (1)$$

dimana  $d$  adalah diameter dari *plunger*,  $m$  adalah massa material yang dilelehkan,  $\rho$  adalah massa jenis material yang akan dilelehkan dan  $l$  adalah panjang dari *plunger*.

Hasil produk dari PLA dan *particulate composite* dari campuran PLA dan limbah bubuk kopi pada proses percobaan mesin *injection molding* kemudian dianalisis dengan melihat cacat yang terjadi dengan memperhitungkan penyusutan yang terjadi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Penyusutan} = \frac{L_m - L_p}{L_m} \times 100\% \quad (2)$$

dimana  $L_m$  adalah panjang produk pada cetakan dan  $L_p$  adalah panjang dari hasil produk.

### HASIL DAN DISKUSI

Analisis dilakukan dengan menghitung dimensi dari *plunger*, didapatkan hasil data dengan nilai dari perhitungan sebagai berikut:

Dimana,

$$d_{plunger} = \sqrt{\frac{4 \times 150gr}{\pi \cdot 1,25 \frac{gr}{cm^3} \cdot 12cm}} \quad (3)$$

$$d_{plunger} = 3,5 \text{ cm}$$

Diameter barrel kemudian menyesuaikan dengan diameter *plunger* yaitu sebesar 3,5 cm pada diameter dalam dan diameter luar 3,8 cm sehingga diameter *band heater* dapat ditentukan dari diameter luar barrel. Massa injeksi yang diasumsikan sebesar 150 gram sehingga dapat diketahui material yang akan dilelehkan pada barrel untuk satu kali injeksi dapat mencetak sebanyak 6 produk dengan masa tiap produk sebesar 25 gram.

Adapun untuk menentukan nilai kecepatan keluaran aliran pada nozzle (Cao, Rong, & Zhang, 2021) dari mesin *injection molding* dapat diketahui sebagai berikut

$$Q_1 = \frac{V_1}{t}$$

$$Q_1 = \frac{\frac{1}{4}\pi D_1^2 l}{t} \quad (4)$$

$$Q_1 = \frac{\frac{1}{4}\pi 0,035^2 \cdot 0,12}{5}$$

$$Q_1 = 0,000023 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{0,000023}{\frac{1}{4}\pi 0,035^2} \quad (5)$$

$$v_1 = 0,024 \text{ m/s}$$

$$Q_1 = Q_2$$

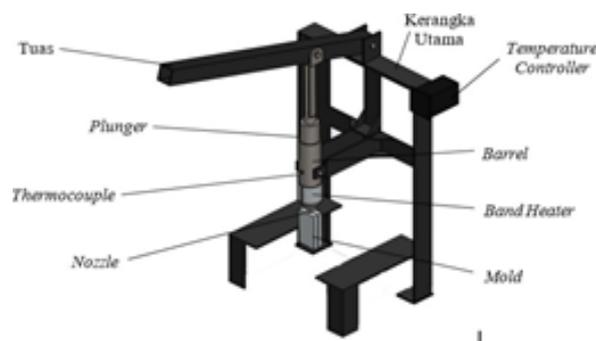
$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (6)$$

$$\frac{1}{4}\pi 0,035^2 \times 0,024 = \frac{1}{4}\pi 0,005^2 \times v_2$$

$$v_2 = \frac{0,000023}{\frac{1}{4}\pi 0,005^2}$$

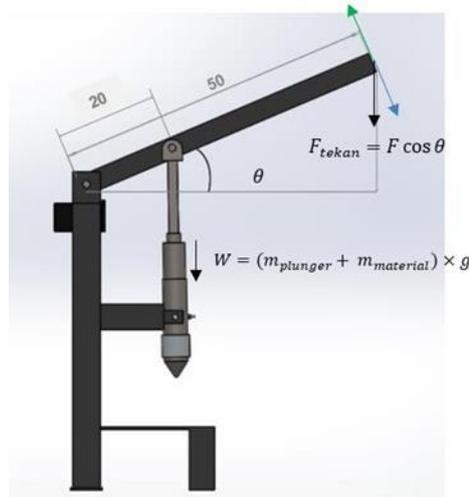
$$v_2 = 1,1719 \text{ m/s}$$

Sehingga didapatkan nilai dari kecepatan keluaran aliran dari nozzle sebesar 1,1719 m/s. Tahap berikutnya setelah didapatkan data dimensi-dimensi dari proses perancangan kemudian dilanjutkan dengan memodelkan mesin *injection molding* menggunakan *software* CAD ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Skema Perancangan Mesin Injection Molding

Gaya minimal yang dibutuhkan mesin untuk menekan tuas agar dapat menginjeksikan material yang dilelehkan dalam barrel keluar dari nozzle dan mengisi cetakan ( $F_{tekan}$ ) dapat ditentukan dengan mengetahui panjang lengan dari tuas dan massa dari plunger serta dari material yang akan dilelehkan. Skema percobaan mesin ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Skema Percobaan Mesin

Dimana,

$m_{plunger} = 2 \text{ Kg}$ . Merupakan massa plunger

$m_{material} = 0.15 \text{ Kg}$ , merupakan massa dari material yang akan dilelehkan

$\theta = 30^\circ$

$l_1 = 0.5 \text{ m}$

$l_2 = 0.2 \text{ m}$

Maka,

$$F_{tekan} \times l_1 = W \times l_2 \quad (7)$$

$$F_{tekan} = \frac{W \times l_2}{l_1}$$

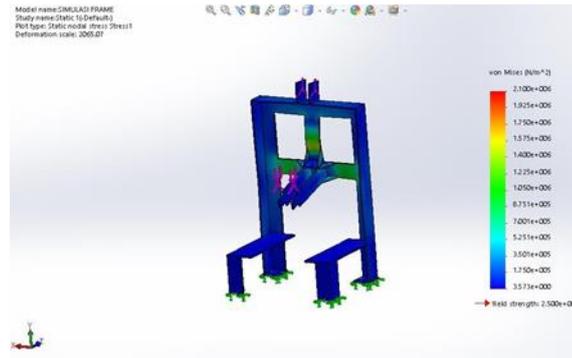
$$F_{\cos \theta} = \frac{(m_{plunger} + m_{material}) \times g \times l_2}{l_1}$$

$$F_{tekan} = \frac{(m_{plunger} + m_{material}) \times g \times l_2}{\cos \theta \times l_1}$$

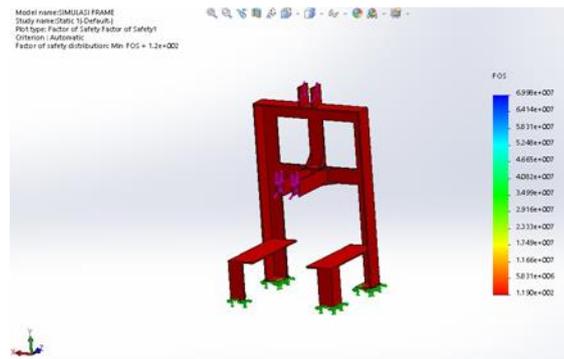
$$F_{tekan} = \frac{(2 + 0.15) \times 9.8 \times 0.2}{\cos 30^\circ \times 0.5}$$

$$F_{tekan} = 10 \text{ N}$$

Hasil perhitungan di atas didapatkan bahwa gaya minimal yang diperlukan untuk menginjeksikan material yang akan dilelehkan dengan sudut  $30^\circ$  adalah sebesar 10 N. Perlu dirancang strukturnya dengan metode simulasi dengan tujuan mendapatkan tegangan dan faktor keamanan. Simulasi ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 menggunakan material ASTM A36.



Gambar 3. Simulasi Struktur Berupa Tegangan pada Pelat Dudukan Elemen Injeksi



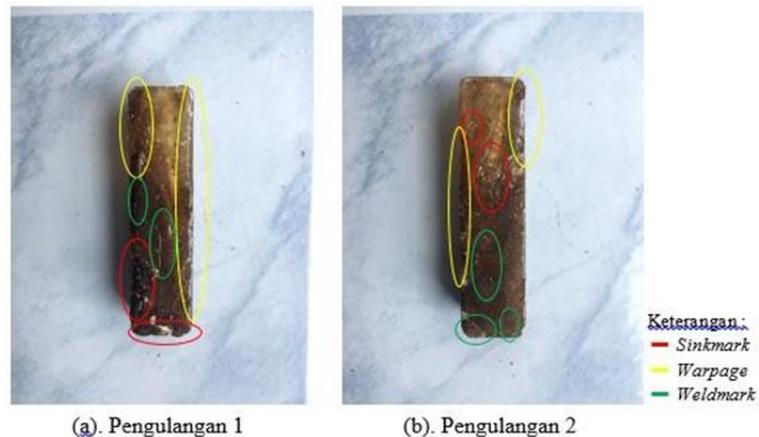
Gambar 4. Simulasi Struktur Berupa Faktor Keamanan pada Pelat Dudukan Elemen Injeksi

Perancangan struktur dengan dilakukannya simulasi pada pelat dudukan elemen injeksi dengan diberikan beban sebesar 10 N yang didapatkan dari perhitungan gaya pada mesin dengan menggunakan material ASTM A36. Didapatkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 1.

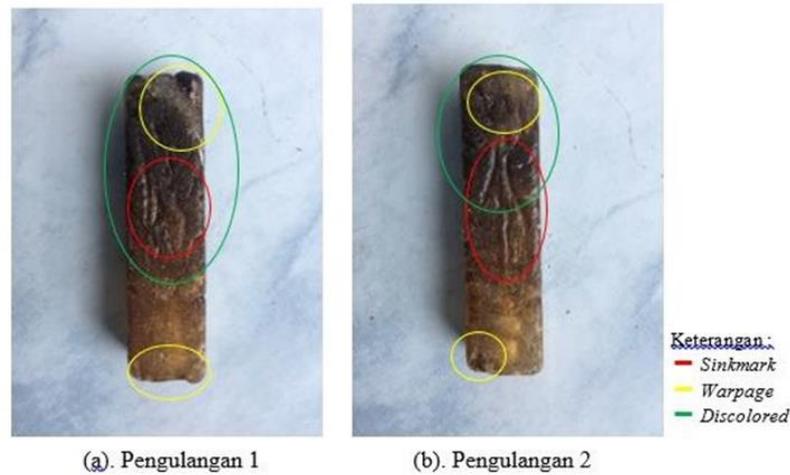
Tabel 1. Hasil Perancangan Struktur Pelat Dudukan Elemen Injeksi

ASTM A36	
Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )	Faktor Keamanan
210	12

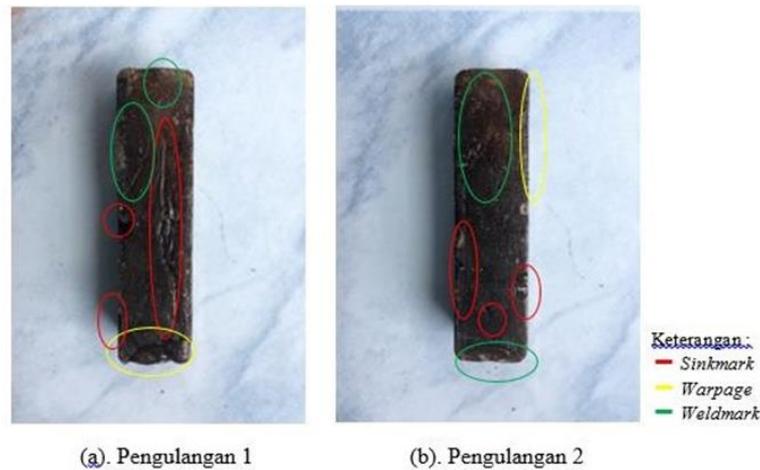
Percobaan mesin pada material PLA dan *particulate composite* dari campuran PLA dan limbah bubuk kopi dilakukan dengan variasi temperatur injeksi yaitu 150 °C, 160 °C dan 170 °C. Adapun hasil produk yang diperoleh pada material PLA ditampilkan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 sebagai berikut:



Gambar 5. Hasil Produk PLA pada Temperatur 150 °C



Gambar 6. Hasil Produk PLA pada Temperatur 160 °C



Gambar 7. Hasil Produk PLA pada Temperatur 170 °C

Dapat dilihat pada hasil produk pengulangan 1 PLA temperatur 150 °C yang terbentuk kurang sempurna karena pada produk mengalami penyusutan yang tidak merata karena *cooling time* yang terlalu pendek sehingga menyebabkan terjadinya cacat *warpage* pada dua bagian sehingga produk mengalami penyusutan yang didapatkan dari perhitungan berikut :

$$L_m = 12mm$$

$$L_p = 11mm$$

Sehingga

$$Penyusutan = \frac{L_m - L_p}{L_m} \times 100\%$$

$$Penyusutan = \frac{12 - 11}{12} \times 100\%$$

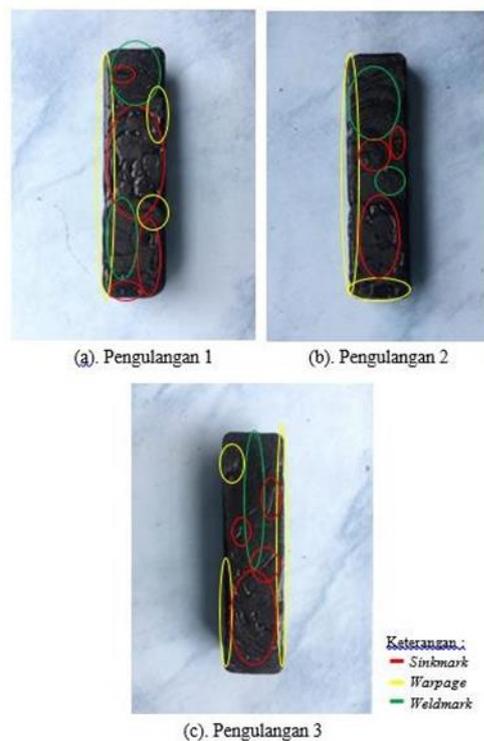
$$Penyusutan = 8,3\%$$

Hasil perhitungan di atas berdasarkan penelitian (Ramadhan dkk., 2017:72) maka didapatkan nilai penyusutan sebesar 8,3 % pada hasil produk pengulangan 1 pada PLA dengan temperatur 150°C. Didapatkan hasil penyusutan hasil produk pada PLA yang ditunjukkan pada Tabel 2.

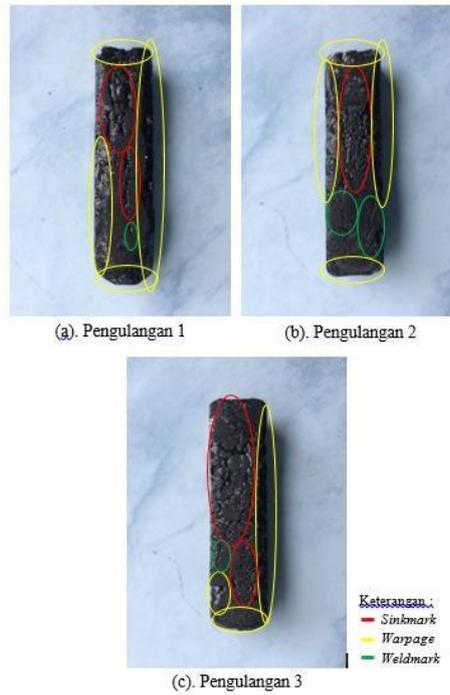
Tabel 2. Nilai Penyusutan pada produk PLA

Temperatur	Pengulangan	$L_m$	$L_p$	Penyusutan
150°C	1	12 mm	11 mm	8,3 %
	2		11 mm	8,3 %
160°C	1		10 mm	16,6 %
	2		10,5 mm	12,5 %
170°C	1		11 mm	8,3 %
	2		11,5 mm	4,17 %

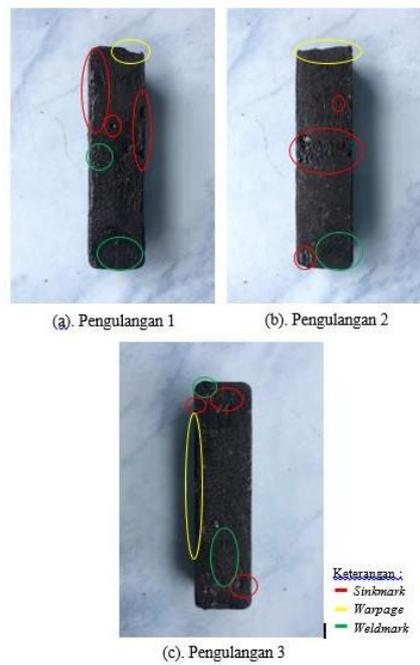
Pada tabel 2. Menunjukkan apabila penyusutan terbesar terjadi pada temperatur 160 °C. penyusutan dengan perubahan terbesar terjadi pada pada temperatur 170 °C dari pengulangan pertama ke pengulangan ke dua. Adapun hasil produk yang diperoleh pada material particulate composite dari PLA dan limbah bubuk kopi ditampilkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10 sebagai berikut:



Gambar 8. Hasil Produk Particulate Composite pada Temperatur 150 °C



Gambar 9. Hasil Produk Particulate Composite pada Temperatur 160 °C



Gambar 10. Hasil Produk Particulate Composite pada Temperatur 170 °C

Hasil perhitungan untuk menentukan nilai penyusutan pada hasil produk *particulate composite* yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Penyusutan pada produk Particulate composite

Temperatur	Pengulangan	$L_m$	$L_p$	Penyusutan
150°C	1	12 mm	11 mm	8,3%
	2		11 mm	8,3%
	3		11,5 mm	4,17%
160°C	1		10 mm	16,6%
	2		10,5 mm	12,5%
	3		10 mm	16,6%
170°C	1		11 mm	8,3%
	2		11,5 mm	4,17%
	3		11,5 mm	4,17%

Dapat diketahui bahwa pada Tabel 3, nilai %penyusutan pada temperatur160°C lebih tinggi dibandingkan temperatur150°C dan 170°C, hal ini dikarenakan laju perpindahan panas yang terjadi pada temperatur160°C lebih besar dibandingkan temperatur lainnya, hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Giang et al., 2021) yang ditunjukkan melalui grafik thermal transition untuk rubber PLA (Bakken & Taleyarkhan, 2020). Temperatur sangat mempengaruhi perubahan bukan hanya dari polimer (PLA) melainkan juga pada limbah serbuk kopi yang mengalami perubahan bentuk dan degradasi partikel (Mallick, 2017) (Surata, Nindhia, & Yolanda, 2020)

## KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan mesin injeksi molding untuk hasil produk *particulate composite* dengan Perhitungan dimensi dari elemen injeksi diperoleh dimensi dari plunger dengan diameter 3,5 cm dan panjang 12 cm, barrel dengan diameter dalam 3,5 cm dan ketebalan 3 mm, band heater dengan diameter 4 cm dan diameter keluaran *nozzle* sebesar 5 mm. Penentuan kerangka utama mesin diperoleh lebar kerangka 30 cm dan tinggi kerangka 45 cm. Struktur kerangka dirancang dengan metode simulasi dengan besarnya tegangan yang terjadi sebesar 210 N/mm<sup>2</sup> dan faktor keamanan sebesar 12. Gaya minimal untuk injeksi sebesar 10 N. Temperatur untuk menghasilkan material dengan persentase penyusutan yang kecil pada temperatur 170°C dan akan mendapatkan cacat yang minimum untuk hasil produk *particulate composite*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Kalimantan atas dukungan sarana dan prasarana selama proses penelitian.

## REFEREENSI

- Aup-Ngoen, K., & Noipitak, M. (2020). Effect of carbon-rich biochar on mechanical properties of PLA-biochar composites. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 15(January), 100204. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100204>
- Bakken, A. C., & Taleyarkhan, R. P. (2020). Plywood wood based composites using crystalline/amorphous PLA polymer adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 99(February), 102581. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102581>
- Cao, Y., Rong, M. Z., & Zhang, M. Q. (2021). Covalent adaptable networks impart smart processability to multifunctional highly filled polymer composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 151(August), 106647. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106647>
- Giang, N. T., Minh, P. S., Son, T. A., Uyen, T. M. T., Hai, N. T., & Dang, H. S. (2021). Study on external gas-assisted mold temperature control with the assistance of a flow focusing device in the injection molding process. *Materials*, 14(4), 1–2. <https://doi.org/10.3390/ma14040965>

- Hastarina, M., Masruri, A. A., & Saputra, S. A. (2019). Perancangan Mesin Peleleh Biji Plastik Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Plastik dengan Penerapan Metode Value Engineering Design of Plastic Injection Molding as an Alternative to Plastic Waste Treatment by Using Value Engineering Method, 2.
- Kamsiati, E., Herawati, H., & Purwani, E. Y. (2017). POTENSI PENGEMBANGAN PLASTIK BIODEGRADABLE BERBASIS PATI SAGU DAN UBIKAYU DI INDONESIA / The Development Potential of Sago and Cassava Starch-Based Biodegradable Plastic in Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 36(2), 67. <https://doi.org/10.21082/jp3.v36n2.2017.p67-76>
- Lim, S. H., On, S. Y., Kim, H., Bang, Y. H., & Kim, S. S. (2021). Resin impregnation and interfacial adhesion behaviors in carbon fiber/epoxy composites: Effects of polymer slip and normalized surface free energy with respect to the sizing agents. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 146(November 2020), 106424. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106424>
- Mallick, P. K. (2017). *Particulate filled and short fiber reinforced polymer composites. Comprehensive Composite Materials II* (Vol. 2). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.03837-6>
- Mawardi, I. H. H. (2015). Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection Molding. *Industrial Engineering Journal*, 4(2), 30–35.
- Ni'am, L., Budiyanoro, C., & Rahman, M. (2017). Desain dan Optimasi Injection Mold Sistem Slider pada Produk Stick T15. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(3), 155–165. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2017.008.03.6>
- Surata, I. W., Nindhia, T. G. T., & Yolanda, W. E. (2020). Grain size effect on tensile and flexural strength of particulate composites reinforced with Acropora waste. *Materials Today: Proceedings*, 22, 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.031>